

В. Г. ПАДАЛКО, д. т. н. С. Г. ГРИЩЕНКО,
к. т. н. В. В. ЗУБАРЕВ, д. т. н. А. В. НОГОВИЦЫН,
к. т. н. Ю. Е. НИКОЛАЕНКО, к. т. н. В. М. ЧМИЛЬ,
к. т. н. В. И. БОСЫЙ

Дата поступления в редакцию
10.11 1999 г.

Украина, г. Киев, Минпромполитики Украины, НПП «Сатурн»

КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ СВЧ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ В УКРАИНЕ

Показаны актуальность, основные направления и целесообразные этапы восстановления и развития производства СВЧ элементной базы в Украине.

The general direction and reasonable stage of recovery and development of production of microwave frequencies component base in Ukraine has been shown.

Развитие электроники в Украине в определяющей степени зависит от уровня развития микроэлектроники [1, 2], в т. ч. СВЧ полупроводниковой элементной базы.

Полупроводниковые приборы лежат в основе почти всех видов связи (космической, радиорелейной, сотовой, радиотелефонной), навигации (системы управления потоками воздушных, морских и речных судов) [3–6], они определяют критические компоненты большинства систем специального назначения — систем радиоэлектронного вооружения и противодействия, бортового навигационного оборудования, систем управления огнем, самонаводящихся снарядов и др. Значительная часть вышеперечисленных систем работает в ВЧ- и СВЧ-диапазонах длин волн в приемных и передающих устройствах, в которых нашли широкое применение СВЧ-транзисторы, диоды, балансные смесители, аналоговые делители и умножители частоты, широкополосные фазовращатели и защитные устройства, а также многофункциональные приемные модули и др., созданные в основном на арсениде галлия.

Таким образом, СВЧ-микроэлектроника — это не только важнейшая отрасль промышленности, но и государства в целом. В настоящее время вопрос о перспективах ее развития в Украине приобретает особую актуальность. Отношение к микроэлектронике — это вопрос государственной, национальной значимости. Оставшись без СВЧ элементной базы, наши предприятия электронного приборостроения окажутся не в состоянии разрабатывать и производить современную аппаратуру, и им останется переходить в ранг сборочных филиалов зарубежных фирм.

Обсуждаем целесообразность и направления развития СВЧ элементной базы в Украине на нескольких примерах, исходя из логики развития современной техники.

Космическая связь.

Наступает время, когда к термину «персональный компьютер» будет добавлен новый термин — «персональная радиосвязь». Очевидно, что развитие систем связи в любой стране с помощью традиционных кабельных сетей является дорогостоящим и медленным процессом. Намного дешевле эту проблему решить с помощью систем космической связи, в которых наземные станции могут передавать информацию через ретранслятор на спутнике. Для приема телевизионных программ достаточно создать портативную твердотельную аппаратуру для непосредственного приема телевизионного сигнала на персональную или коллективную антенну, находящуюся вблизи места пользования.

Этот путь развития — действительно, революционный этап, этап массового использования в бытовой аппаратуре твердотельных СВЧ-приборов и, в первую очередь, маломощных арсенидгаллиевых транзисторов. Появляется возможность создать радиоприемную аппаратуру, способную принимать телевизионные сигналы ретранслятора, находящегося на орбите. Это сделает доступным непосредственный прием мировых телевизионных программ в любой квартире. Дальнейшее развитие этого вида техники зависит только от наличия спутника — ретранслятора телевизионного вещания и объема приемной радиоаппаратуры, которую сможет выпускать промышленность.

Для такого шага необходимо создать мощные компактные твердотельные устройства того же диапазона длин волн для радиопередатчиков, способных перенести информационный поток на ретранслятор, находящийся на орбите. Такая передающая СВЧ-аппаратура совместно с приемной аппаратурой может располагаться непосредственно на антенне, образуя практически персональную станцию космической связи. Основой для создания таких мощных радиопередатчиков являются мощные широкополосные полевые арсенидгаллиевые транзисторы.

Большая полоса частот, в которой может работать такая станция, позволяет в одной радиолинии обслуживать большое количество каналов абонентов. В зависимости от мощности передатчика станция может быть персональной или коллективной, предназначенной для телефонной, телефаксной связи и передачи больших потоков деловой компьютерной инфор-

мации, в т. ч. биржевой и банковской, может входить в единую мировую систему глобальной телекоммуникации. В настоящее время в таких странах, как Япония и США, ведутся работы по созданию этого вида спутниковой связи для коммерческого использования в диапазонах 4/6 и 12/14 ГГц. Эти диапазоны используются в связи с реальными возможностями, которыми сегодня располагает твердотельная СВЧ-электроника.

Экспертные оценки показывают, что на начальном этапе развития спутниковых систем связи в Украине требуется создание около 30 тыс. наземных станций персональной или коллективной связи. Это означает, что может быть востребован новый объем производства гражданской продукции. Потребность в СВЧ-транзисторах при этом составит 230–300 тыс. шт.

Многоканальные радиорелейные линии связи СВЧ-диапазона.

Для связи города с населенными пунктами-сателлитами могут быть созданы коротковолновые многоканальные радиорелейные линии связи — также на основе твердотельных СВЧ-приборов, которые позволяют использовать достаточно свободные диапазоны частот 13, 15, 38 и 90 ГГц.

Электроника обладает широким набором источников СВЧ-мощности в этих диапазонах в виде арсенидгаллиевых мощных транзисторов, диодов Ганна, а также мощных кремниевых лавинно-пролетных диодов (для диапазона 90 ГГц).

Поскольку твердотельные генераторы и усилители СВЧ-сигналов обладают низким коэффициентом полезного действия и рассеивают значительную часть мощности в виде тепла, актуальной (с повышением уровня мощности новой СВЧ полупроводниковой элементной базы) становится проблема обеспечения нормального теплового режима в условиях эксплуатации такой элементной базы [7, с. 16–18]. Традиционные способы охлаждения (воздушное охлаждение, металлические теплоотводы и т. п.) уже не позволяют обеспечить заданную температуру корпуса мощных СВЧ-элементов. Это, в свою очередь, отрицательно сказывается на надежности и функциональных параметрах изделий на основе СВЧ полупроводниковых приборов. Так, перегрев активных СВЧ полупроводниковых элементов антенных решеток приводит к искажению энергетического спектра поля излучения и ухудшению других важных характеристик антенн. Поэтому одновременно с разработкой новой, более мощной, элементной базы необходимо вести и разработку новых, более эффективных, систем термостабилизации и охлаждения [7, с. 87–90].

Сотовая радиотелефонная связь.

Перспективными являются системы сотовой радиотелефонной связи, которые планируется использовать в диапазоне 1,4–2 ГГц с уменьшением мощности передатчика в радиотелефонной трубке почти в десять раз. Основой сверхминиатюрного приемопередатчика в радиотелефонной трубке абонента являются твердотельные СВЧ монолитные арсенидгаллиевые интегральные схемы.

Для функционирования таких систем необходимо создать базовые радиотелефонные станции, находящиеся в узлах сот, которые должны выполнять функции привычных кабельных АТС и взаимодействовать с ними. Каждая базовая станция также должна быть оснащена компактной твердотельной станцией для связи с большим числом одновременно работающих абонентов. Для городов средней величины число абонентов может составлять 1–2 млн. Это означает, что только для оснащения одного города системой сотовой телефонии необходимо производство приемопередающей аппаратуры на сумму до 1–2 млн. долл.

Система сотовой радиотелефонии не противопоставляется спутниковым системам связи. Эта мощная система, локализованная в границах города, через многоканальную систему связи входит в единую телекоммуникационную систему страны и в международную.

Телевизионные и радиоприемники.

Использование малошумящих арсенидгаллиевых транзисторов при разработке входных устройств телевизионных приемников повышает их чувствительность, а применение GaAs-варакторов в умножителях частоты для частотной модуляции сигналов, автоматической подстройки частоты гетеродинов телевизионных приемников и передатчиков значительно повышает их надежность в работе.

Лавинно-пролетные диоды (ЛПД) и диоды Ганна широко применяются для создания различных классов генераторов от сантиметрового до миллиметрового диапазона длин волн. Такие генераторы используются в качестве гетеродинов в приемниках и передающих устройствах различного назначения (системы охранной сигнализации, безопасности дорожного движения, навигации, радиопротиводействия и др.). В сочетании с варакторными диодами использование ЛПД и диодов Ганна привело к созданию особого класса быстро перестраиваемых генераторов в области миллиметрового диапазона. Благодаря высокой скорости перестройки, малой неравномерности амплитудно-частотной характеристики такие генераторы значительно улучшают качество систем радиопротиводействия.

КВЧ-терапия.

КВЧ-терапия является высокоэффективным средством безмедикаментозной коррекции физического состояния организма человека при психосоматических заболеваниях и осуществляется путем локального неинвазивного воздействия электромагнитным излучением крайне высоких частот (КВЧ) на биологически активных резонансных частотах. КВЧ-терапия найдет широкое применение в группах, на длительное время оторванных от крупных лечебных центров (в геологоразведочных партиях, при длительных полетах в космосе, в походах на судах и подводных лодках ВМФ и др.).

Аппаратным средством КВЧ-терапии являются малогабаритные СВЧ-генераторы на диодах Ганна миллиметрового диапазона длин волн. Для комплектации СВЧ-генераторов необходимо разрабаты-

вать и выпускать диоды Ганна с рабочими токами менее 100 мА.

Представленные примеры использования СВЧ элементной базы не исчерпывают всех возможностей арсенидгаллиевого направления. Необходимо также подчеркнуть, что обороноспособность Украины в значительной степени будет определяться наличием на вооружении интеллектуального оружия, базой для которого также являются эти приборы.

Восстановление и развитие СВЧ элементной базы целесообразно осуществлять в пять этапов.

1. Возобновление в 2000–2001 гг. серийного выпуска разработанной конкурентоспособной СВЧ элементной базы, а именно:

- малощумящие GaAs-транзисторы типа MESFET диапазона 0,5...36 ГГц;
- транзисторы повышенной мощности (мощностью 1 Вт, диапазон 0,5...18 ГГц; мощностью 0,5...0,2 Вт, диапазон 18...36 ГГц);
- смесительные диоды диапазона 0,5 ... 120 ГГц;
- лавинно-умножительные диоды (K_y до 25) диапазона 150 ГГц;
- диоды Ганна диапазона 118 ГГц;
- ЛПД диапазона 150 ГГц;
- $p-i-n$ -диоды диапазона 180 ГГц.

2. Развитие сборочных и финишных технологий для корпусирования отечественных и импортных кристаллов (в большей части СВЧ-транзисторов) элементной базы (сроки – 2001–2003 гг.). Корпусирование импортных кристаллов, которых в настоящее время нет в Украине и необходимых для комплектации изделий электронной техники, даст экономии 50–75% средств на приобретение новой комплектации. В этом случае Минпромполитики в лице НПП «Сатурн» могло бы взять на себя функции комплектования импортной СВЧ элементной базой (ориентировочный объем годовой потребности в импортной элементной базе в Украине оценивается в сотни тысяч долларов).

3. Развитие СВЧ элементной базы (сроки 2001–2004 гг.):

- повышение мощности транзисторов в диапазоне 0,5–36 ГГц;
- повышение частоты диодов Ганна до 160 ГГц;
- создание монолитных однофункциональных GaAs-схем с рабочими частотами до 12 ГГц для массового производства;
- корпусирование пластмассой СВЧ-приборов до 12 ГГц;
- уменьшение времени переключения GaAs $p-i-n$ -диодов до 0,5 нс;
- понижение уровня АМ-шумов лавинно-умножительных GaAs-диодов на 15 дБ.

4. Развитие новых направлений (сроки – 2000–2010 гг.):

Силовая электроника (сверхскоростные выпрямительные $p-i-n$ -диоды и диоды Шоттки на основе GaAs и Si). Эти приборы необходимы как для создания нового поколения систем высокоэффективного электропривода (транспорт, станкостроение,

энергетика), так и для развития экономичных преобразовательных источников питания с высокими рабочими частотами (до 200 кГц). Ориентировочная потребность – до 1,5 млн. шт. в год.

Инфракрасная техника систем ночного видения, охранной сигнализации, контроля качества деталей и узлов машин, медицинской техники и др. Устройства могут быть использованы как в технике специального назначения, так и в народном хозяйстве. В основе направления лежит технология создания интегральных матричных фотоприемников с рабочим диапазоном длин волн 0,7...1,6 мкм на основе гетероструктур или соединений A^3B^5 .

Кроме того, целесообразно восстановить выпуск GaAs-монокристаллов на заводе чистых металлов (г. Светловодск) и организовать разработку и выпуск СВЧ металлокерамических корпусов для транзисторов, диодов и монолитных схем на базе предприятия «Термокерамика» (г. Львов).

5. Исследование и разработка новых, более эффективных систем термостабилизации и охлаждения мощных СВЧ полупроводниковых приборов (сроки – 2000–2005 гг.).

Развитие этого направления под силу соответствующей головной организации Минпромполитики Украины – НИИ «Шторм» (г. Одесса).

Исходя из реальных возможностей экономики Украины в ближайшие годы, представляется нецелесообразным развивать на Украине следующие направления:

- монолитные многофункциональные GaAs СВЧ-схемы;
- монолитные однофункциональные GaAs СВЧ-схемы с рабочей частотой более 12 ГГц;
- СВЧ-транзисторы с рабочей частотой более 36 ГГц;
- мощные СВЧ GaAs-транзисторы с $P_{\text{вых}} > 2$ Вт.

Развитие указанных направлений может осуществляться после выхода экономики Украины из кризиса

Что сдерживает развитие СВЧ полупроводниковой базы?

Во-первых, это *отсутствие необходимой финансовой поддержки научных разработок со стороны государства*.

СВЧ-микроэлектроника является чрезвычайно динамичной отраслью техники и производства и поэтому требует постоянных затрат на развитие технологии и науки. В этих условиях государство должно осуществлять финансовую поддержку научных разработок, поскольку промышленность в настоящее время не сможет обеспечить заказы на НИОКР в необходимых объемах. Попытки проводить отдельные разработки в рамках специальных заказов не дают положительных результатов: требуется поддержка всего технологического базиса.

Во-вторых, это *отсутствие протекционистской политики государства по защите отечественного производителя СВЧ элементной базы*.

Успешное развитие перечисленных направлений СВЧ полупроводниковой элементной базы может быть реализовано только при государственной

поддержке предприятий-разработчиков через систему благоприятных условий и льгот, закрепленных на законодательном уровне.

С этой целью ряд научно-исследовательских институтов и предприятий Минпромполитики Украины вместе с аналитико-экспертным Советом по вопросам разработки и реализации Государственной программы развития электроники в Украине при Председателе Верховной Рады Украины подготовили и направили на рассмотрение в комиссии Верховной Рады Украины предложения по изменению законодательной и нормативной базы. В частности, для государственной поддержки развития электроники в Украине предлагается:

1. Отменить налог на прибыль предприятий — исполнителей Программы с 2000 по 2005 годы и использовать его для развития предприятий.

2. Освободить предприятия от НДС на проводимые работы и продукцию электронной отрасли.

3. Отменить пени и штрафы для предприятий — исполнителей Программы и реструктуризовать их долги.

4. Выделить целевые ресурсы, инновационные кредиты и фонды энергосбережения на производство и внедрение отечественной электроники.

5. Запретить закупки предприятиями и государственными организациями импортной техники за счет выделенных бюджетных средств, за исключением закупки лицензий на передовые технологии.

6. Ежегодно выделять 10% целевого финансирования на разработку и внедрение отечественной электроники в объеме средств, определенных бюджетом на развитие отдельных отраслей (топливно-энергетический комплекс, корабле-, самолето-, ракетостроение, оборона и т. д.).

7. Установить увеличенный таможенный сбор на изделия фирм, не вкладывающих инвестиций в отечественное производство, часть которого направлять на развитие соответствующего направления электроники Украины.

8. Для решения вопросов льготного кредитования предприятий электронной промышленности и промышленности в целом создать Государственный банк кредитования промышленности Украины, который предоставлял бы кредиты по ставкам ниже ставок Национального банка Украины, и др.

После распада СССР на территории Украины осталось 32,5% научного потенциала бывшего МЭП по твердотельным СВЧ-приборам и устройствам [8]. Так, почти 100% слиточного материала производилось в г. Светловодске, НПП «Сатурн»

и НИИ «Орион» занимали лидирующее положение в разработке и производстве транзисторов диапазона 0,5...40 ГГц, смесительных диодов, диодов Ганна, различных разновидностей монолитных интегральных схем и др. В Украине имеются также производственные мощности по разработке и выпуску СВЧ керамических корпусов для указанных приборов («Термокерамика»). На указанных предприятиях технология изготовления изделий основывается на базовых технологиях, принятых во всем мире; она пока еще сохранена и может получить дальнейшее развитие.

Анализ инфраструктуры производства GaAs-приборов показывает, что Украина имеет почти полный замкнутый цикл изготовления приборов, за исключением изготовления эпитаксиальных структур. Восстановление и развитие СВЧ полупроводниковой элементной базы по предложенным направлениям позволит сохранить важнейшую отрасль промышленности Украины.

Таким образом, развитие СВЧ полупроводниковой элементной базы остается практически одним из немногих в электронике, которое может быть конкурентоспособным как на внутреннем рынке, так и на рынке СНГ, и может рассматриваться как национальное достояние Украины.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Падалко В. Г. Состояние, проблемы и перспективы возрождения электроники Украины // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. — 1999. — № 2—3. — С. 3—5.

2. Падалко В. Г., Гриценко С. Г., Зубарев В. В. и др. Программа развития конкурентоспособных направлений микроэлектроники в Украине // *Там же*. — 1999. — № 4. — С. 3—8.

3. Мат-лы 9-й Междунар. Крымской конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». — Севастополь, Украина, 13—16 сентября 1999 г.

4. Филиппов В. С., Пономарев Л. И., Гринев А. Ю. и др. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решеток. — М.: Радио и связь, 1994.

5. Высоцкий Б. Ф., Корниенко Ю. Н., Назаров А. С. Эволюция конструкции интегральных СВЧ-устройств летательных аппаратов // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. — 1992. — № 1. — С. 5—8.

6. Высоцкий Б. Ф., Корниенко Ю. Н., Назаров А. С. Возможности унифицированного микроэлектронного субблока КВЧ // *Там же*. — 1998. — № 2. — С. 7—11.

7. Яшин А. А. Конструирование микроблоков с общей герметизацией. — М.: Радио и связь, 1985.

8. Андреев А. С. Электроника: что мы потеряли? // *Петербургский журнал электроники*. — 1993. — № 1. — С. 3—5.