

**Информационно-аналитический обзор
по критической технологии
«Технологии создания электронной компонентной базы:
технологические тренды, приоритетные направления, перспективы
развития, основные организации, оценка рынков, сопоставление
российских и мировых результатов»**

Информационно-аналитический обзор подготовлен при тесном взаимодействии и с активным участием Центра прогнозирования научно-технического развития по критической технологии РФ «Технологии создания электронной компонентной базы», созданного на базе Национального исследовательского университета «МИЭТ» и лично – руководителя Центра – Герасименко Н.Н. Мы выражаем глубочайшую признательность нашим коллегам за участие в подготовке материала.

Основное назначение и краткая характеристика критической технологии «Технологии создания электронной компонентной базы» - это разработка, промышленный выпуск и промышленное применение широкой номенклатуры интегральных схем, составляющих элементную базу высокопроизводительных компьютеров, радиоэлектронной аппаратуры, средств связи и телекоммуникаций специального назначения, в том числе, космического и оборонного.

Критическая технология «Технологии создания электронной компонентной базы» охватывает следующие тематические области, методы, технологические решения:

- технологии производства кремниевых сверхбольших интегральных схем с проектными нормами менее 100 нм;
- процессорные КМОП схемы, схемы памяти, аналоговые/ВЧ-схемы, высоковольтные ИС, БиКМОП и др. Приборы и интегральные схемы силовой электроники. СВЧ-ИС;
- технологии производства сверхскоростных гетеропереходных ИС, в том числе, на туннельно-резонансных приборах;
- технологии автоматизированного проектирования СБИС и технологии создания фотошаблонов;
- дизайн-центры, центры производства фотошаблонов, разработка сложных функциональных блоков (СФБ) для систем на кристалле и систем в корпусе;
- технологии создания элементной базы квантовых компьютеров (КК) на твердотельных кубитах, квантовых клеточных автоматов;
- квантовые компьютеры на спинах ядер атомов фосфора в

моноизотопном кремнии, на электронах в квантовых точках, на ионах в твердотельных ловушках, на фотонах в интегральных твердотельных волноводах, на куперовских парах в сверхпроводниковых цепях с переходами Джозефсона и др.

Области применения критической технологии «Технологии создания электронной компонентной базы»:

- информационно-вычислительная техника, телекоммуникации;
- энергетика и энергосбережение;
- авиационная и космическая техника;
- автомобиле- и судостроение;
- медицина;
- производство средств вооружения;
- системы безопасности.

Остановимся на основных этапах развития электронной промышленности.

В исходном своем значении электроника - это наука о взаимодействии заряженных частиц (электронов, ионов) с электромагнитными полями и методах использования явлений в твердых телах, вакууме, газовом разряде, плазме для создания электронных приборов и устройств, предназначенных для преобразования и усиления сигналов различной природы. Наряду с классической электроникой возникли еще «комбинированные» виды электроники, которые связаны с использованием взаимодействия электронов и других носителей энергии: в случае фотонов - оптоэлектроника, в случае фононов - акустоэлектроника, в случае магнитных доменов - магнитоэлектроника.

Оптоэлектроника - раздел электроники, связанный с эффектом взаимодействия электронов и оптического излучения в веществах и использованием этих эффектов для генерации оптического излучения или преобразования его в электрические сигналы. Приборы на основе оптоэлектроники принято делить на фотоэлектрические - преобразование света в электрический сигнал, оптоэлектронные - излучение света в результате электронных процессов.

Акустоэлектроника - раздел науки и техники на стыке акустики твердого тела, физики полупроводников и радиоэлектроники, изучает проблемы генерации и усиления упругих волн в веществе при взаимодействии последних с носителями заряда, преобразования и обработки радиосигналов акустическими методами, а также создания соответствующих устройств.

Магнитоэлектроника - раздел электроники, изучающий поведение локальных магнитных не- однородностей в материале при взаимодействии их с электрическим или магнитным полем и изменение электрических или магнитных характеристик материала, включая изменение тонкой структуры неоднородностей, например изменение спина.

Радиоэлектроника - собирательное название ряда областей науки и техники, связанных с преобразованием и передачей информации на основе использования электромагнитных колебаний, в основном радиочастотного диапазона. Информация может быть представлена в цифровом и аналоговом виде. Основными составляющими радиоэлектроники являются радиотехника и электроника. Методы и средства радиоэлектроники применяются практически во всех областях промышленности, энергетики, науки и техники, быту, оборудовании, медицины, систем управления, обороны, охраны природы.

В последнее время появилась уже классическая для естественных наук межвидовая комбинация электроники, подобная биофизике или биохимии, такая как биоэлектроника. Биоэлектроника - область электроники, изучающая и использующая электронные процессы в биоструктурах и природные методы формирования биологических объектов для создания электронных приборов и структур.

Продвижение микроэлектроники в область наноразмеров привело к созданию абсолютно нового раздела - нанoeлектроники, которая оперирует с объектами нанометрового размера. Появилась новая отрасль науки и техники, которая изучает нанометровые объекты и носит обобщенное название - нанотехнология. Нанотехнология исследует и разрабатывает физические основы формирования структур на атомарном и молекулярном уровнях, изучает специфику свойств материалов с характерными размерами частиц нанометрового диапазона, когда «поверхностные свойства» трансформируются в объем вещества, развивает принципы создания нанометровых структур, основанные на локальной модификации материала на атомарном уровне, что приводит к созданию квантово-размерных структур. Электронные явления в таких наноструктурах во многом поддаются общим принципам описания работы твердотельных приборов, что определяет определенное родство электроники и нанотехнологий.

На стыке между биоэлектроникой и нанотехнологией стоит молекулярная электроника, в которой в качестве изучаемого объекта выступают молекулы, их электронная структура определяет электрические свойства, а ее модификация позволяет создавать активные приборы на молекулярном уровне.

Технологические возможности микроэлектроники позволили создать новую фантастическую область механики - микромеханику, где величины деталей и узлов устройств лежат в микронном диапазоне размеров.

Сочетание таких микромеханических устройств с микропроцессорными системами управления обеспечивает изготовление микророботов (микроробототехника), способных, например, вести обследование и выполнять хирургические операции внутри сосудов человека. В настоящее время за этим разделом электроники закрепилось обобщенное название - МЭМС (микроэлектромеханические системы), основные задачи которого заключаются в создании датчиков и сенсоров преобразования различных физических и химических параметров в электрический сигнал с целью контроля и управления системами.

Электроника породила многие смежные разделы науки и техники и обеспечила технологический базис их развития. Практика деятельности современного общества обобществила термин «электроника» в утилитарном его понимании и все, что связано с использованием и применением электронных приборов и устройств на их основе, получило термин «электроника». Таким образом возникло новое разделение электроники по областям применения: СВЧ электроника; силовая электроника; бытовая электроника, автомобильная электроника; ядерная электроника; связанная электроника; специальная электроника; медицинская электроника и т.д. Этот перечень можно продолжать достаточно долго и толкование частных значений электроники, по-видимому, не нуждается в дополнениях и уточнениях.

Появившаяся в 1959 г. планарная технология дала мощный импульс новому технологическому направлению - формированию множества электронных планарных элементов на небольшом по размеру полупроводниковом кремниевом кристалле. На основе новой технологии были созданы первые интегральные микросхемы, вдохнувшие новую жизнь в электронику. Улучшалась координация НИР, ОКР и их уровень за счет выделения приоритетных направлений, концентрации на них имеющихся материальных и кадровых ресурсов, роста специализации НИИ и КБ, организации при последних на базе опытных производств опытных заводов, значительно расширивших технические и технологические возможности разработчиков изделий электронной техники. С организацией МЭП СССР была создана единая и, как показало время, более эффективная система управления: разработка-производство.

Выбранная в начале 1960-х гг. стратегия развития электроники дала возможность стране включиться в начавшийся мировой процесс широкой электронизации сфер жизнедеятельности общества. В его основе лежал динамичный научно-технический и технологический прогресс в создании элементной базы изделий электронной техники (ИЭТ). На их основе разрабатывались промышленная техника и бытовые приборы.

Вместе с тем сам научно-технический прогресс ИЭТ, в силу их технической и технологической усложняемости, требовал больших, постоянно возрастающих человеческих, материальных и финансовых

ресурсов.

При организационном единстве руководства страны расширялась сеть специализированных по основным направлениям электроники НИИ, КБ, строились новые современные предприятия, как правило крупные, что отвечало существовавшей концепции экономической эффективности в сложившихся условиях государственного управления собственностью.

Были созданы два крупных научно-технических центра электроники, во многом предопределившие ее дальнейшее развитие, - в Зеленограде (микроэлектроника) и во Фрязино (электровакуумные приборы). С учетом специфики потребляемых материалов (малообъемность, высокая химическая чистота, специфичность и широта ассортимента), уникальности применяемого оборудования и инструмента в отрасли были организованы разработка и производство этих материалов как в специализированных НИИ и КБ, так и на промышленных предприятиях или в их отдельных цехах. Повышению эффективности производства способствовало развитие подетальной и технологической специализации за счет создания небольших специализированных самостоятельных предприятий или филиалов крупных заводов. Была организована сеть базовых институтов по стандартизации, технологии, применимости, экономическому анализу.

В 1985 г. разработана и стала воплощаться последняя Генеральная схема развития электронной промышленности СССР на период до 2000 г. Это была развернутая комплексная программа перехода электроники в соответствии с мировыми тенденциями на качественно новый технический и технологический уровень. Приоритетным направлением была определена микроэлектроника. Конечная цель указанной программы - довести уровень электронизации народного хозяйства и быта населения СССР до уровня индустриально развитых стран мира за счет создания и производства конкурентоспособной на внутреннем и внешнем рынке продукции на базе технически и технологически новых ИЭТ. Намечаемое развитие электроники увязывалось с разработанными или разрабатываемыми государственными программами: вооружения и военной техники, вычислительной техники и др. К ресурсному обеспечению производства новых ИЭТ (сырье, материалы, универсальное оборудование) привлекались многие НИИ, КБ и заводы различных отраслей промышленности - от черной и цветной металлургии до текстильной и пищевой промышленности.

Были пересмотрены принципы проектирования и строительства новых предприятий от системы под сплошной единой крышей (первая очередь завода «Интеграл», г. Минск, Белоруссия) к модульной («гребешковой») системе (последовательный ряд производственных корпусов, постепенно соединяемых инженерно-техническими и бытовыми вставками на ряде предприятий Зеленограда, Баку, Тбилиси). Последнее ускорило ввод и освоение мощностей в несколько раз.

Благодаря отраслевому управлению, в относительно короткий исторический период в СССР был создан научно-технический и производственный потенциал отечественной электроники, который по техническому и технологическому, объемному и номенклатурному уровню мог в полной мере быть сравним с США - наиболее экономически развитой страной мира. В части ИЭТ оборонного назначения отечественная электроника в научно-техническом отношении в полной мере отвечала мировому уровню, а по отдельным направлениям опережала его. Производственный потенциал развивался в соответствии с планируемыми потребностями В и ВТ СССР.

В области микроэлектроники были созданы наборы: быстродействующих логических микросхем, операционных усилителей и компараторов, широкий набор СБИС памяти различной структуры и разрядности (оперативной, программируемой и перепрограммируемой), микропроцессорных СБИС цифровой обработки сигналов, базовых матричных кристаллов, быстродействующих и высокоразрядных цифроаналоговых и аналого-цифровых преобразователей и др. Это позволило сформировать полную микроэлектронную компонентную базу для радиоэлектронной аппаратуры специального и общего назначения, обеспечило техническую и военную независимость государства.

В области СВЧ электроники уникальные разработки СВЧ-транзисторов, широкополосных высоконадежных электровакуумных приборов с повышенной мощностью и рабочей частотой обеспечили развитие связной техники и радиолокации, дали возможность создать аппаратуру мирового уровня.

В области оптоэлектроники была разработана расширенная номенклатура широкоспектральных помехозащищенных приемников излучения для систем сверхточного оружия, приемопередающих модулей для волоконно-оптических каналов связи, знаковосинтезирующих табло и экранов, полноцветных быстродействующих систем отображения и преобразования изображений.

В области квантовой электроники были созданы полупроводниковые, твердотельные и газовые лазеры широкого спектрального диапазона для технологических целей, оптоэлектронных систем, медицинской техники, специальной аппаратуры, экологического мониторинга и бытовой техники.

В области систем отображения информации - высокоинформативные экраны и табло, высокояркостные модульные экраны коллективного пользования при дневном свете, высокоэффективные указатели, маяки и светофоры, полноцветные газоразрядные экраны индивидуального и коллективного пользования.

В области радиокомпонентов - новые классы устройств пьезотехники, акустоэлектроники, магнитоэлектроники, системы высокоточных датчиков

и сенсоров для роботизированной военной техники и аппаратуры, высокопрецизионные и стабильные резисторы, сверхминиатюрные конденсаторы, магнитные переключатели, реле и другие установочные изделия.

Практически была построена технически полная система электронной компонентной базы для нужд обороны и народного хозяйства. На базе отечественной электроники созданы современные радиоэлектронные системы управления, средства связи, противодействия, вычислительной и другой техники для всех видов и родов войск. Советская космонавтика своими успехами в немалой степени обязана разработке и выпуску специальных ИЭТ повышенной надежности и стойкости к специальным условиям эксплуатации.

К моменту распада СССР в электронной промышленности насчитывалось 816 предприятий, НИИ, КБ и их филиалов, в том числе 584 промышленных предприятий с филиалами и 232 НИИ и КБ с филиалами. Количественный состав отрасли с 1964 по 1991 г. вырос более чем в 10 раз. К 1991 г. предприятия и организации отрасли функционировали во всех союзных республиках. Объем производства за 1960-1990 гг. вырос более чем в 185 раз, ее удельный вес в промышленности СССР увеличился с 0,15 процента в 1960 г. до 2,57 процента в 1990 г., т.е. почти в 17 раз. При этом численность промышленно-производственного персонала увеличилась лишь в 5,9 раза, т.е. производительность труда возросла почти в 32 раза. Доля прироста промышленной продукции за счет роста производительности труда составила в 1965 г. - 26,1 процента, в 1990 г. - более 97 процентов. Основные промышленно- производственные фонды увеличились почти в 48 раз, а фондоотдача - почти в 4 раза. Промышленная площадь - более чем в 10 раз. Снижение затрат на 1 рубль товарной продукции составило более 82 процентов, материальных - более 74 процентов. Объем научно- технической продукции вырос почти в 35 раз.

Наметившаяся в 1990-е годы потеря темпов производства отечественной электронной промышленности совпала с наращиванием производства электроники в развитых и развивающихся странах. Так, развитые в электронном отношении зарубежные страны за последние годы XX века ежегодно инвестировали в электронную промышленность от 20 млрд. долл. (США) до 5 млрд. долл. (Япония, Южная Корея). Развивающиеся страны (Тайвань, Сингапур, Малайзия, Гонконг, Китай) сумму ежегодных государственных инвестиций в электронику довели до 2 млрд. долл. При этом 87 процентов всех мировых инвестиций были истрачены на развертывание новых производств. Уже в середине 1990-х гг. электронная промышленность США опередила авиационную и автомобильную промышленность по величине добавленной стоимости. При этом, прогрессивный рост сложности выпускаемых электронных изделий и расширение областей применения привел к значительной «электронизации»

различных видов техники (например, автомобиль, бытовые товары).

В 1991 г. был проведен анализ развития зарубежной электроники, осуществлена оценка состояния отечественной электронной промышленности, разработаны конкретные предложения по дальнейшему развитию электроники России.

В последние годы XX века прекратилось падение производства. Безусловно, на это в значительной степени оказали влияние мероприятия, реализуемые в рамках президентской программы. Объем производства за год возрос в 1999 г. на 46 процентов, в 2000 г. на 37,7 процентов (причем выпуск микросхем увеличился в полтора раза, а почти 30 процентов экспортируемой высокотехнологичной продукции получили сертификат соответствия международным стандартам). Значительно вырос объем наукоемкой продукции. При этом снизилось количество убыточных и нерентабельных предприятий. Именно в 1990-е гг. предприятия электронной промышленности приобрели определенный опыт выхода на внешний рынок. Экспорт продукции за десять лет вырос, причем основная масса продукции поставлялась в страны дальнего зарубежья (США, Англия, Германия, Китай). Многим предприятиям электронной промышленности экспорт дал возможность не только удержаться в новых условиях, но и развить производство и ускорить финансовое положение.

В XXI веке предприятия и организация электронной промышленности сумели укрепить положительные тенденции в своем развитии и выйти по объемам произведенной продукции на уровень 1992 г. За шесть лет (2001-2006 гг.) предприятиям электронной промышленности удалось в 2,1 раза увеличить объемы производства: военной продукции - в 2,7 раза, гражданской продукции - в 1,9 раза.

Количество предприятий, увеличивших объемы производства в 2006 г., выросло в 1,3 раза по сравнению с предыдущим годом и составило 74,7 процента от общего количества предприятий электронной промышленности, на их долю приходится 79 процентов всей произведенной продукции.

Устойчивый рост промышленного производства, активизация научно-технической деятельности позволили существенно улучшить финансово-экономическое состояние как промышленных, так и научных организаций ЭП РФ. Количество прибыльных промышленных предприятий выросло с 58 процентов в 2001 г. до 72 процентов в 2006 г. Соотношение убытков и полученной прибыли снизилось с 43,7 процента в 2001 г. до 12,5 процента в 2006 г.

Отметим среди основных федеральных, межгосударственных и межведомственных целевых программ, такие как: «Национальная технологическая база» на 2007-2011 гг., «Развитие ОПК РФ на 2007-2010 годы и на период до 2015 года», «Развитие гражданской авиационной

техники России на 2002-2010 годы и на период до 2015 года», «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации» на 2007-2010 гг., «Совершенствование федеральной системы разведки и контроля воздушного пространства Российской Федерации (2007-2010 годы)», «Антитеррор» (2008-2012 годы) с разделом «Научно-техническое и технологическое обеспечение борьбы с терроризмом», «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса на 2007- 2012 годы», «Функциональная СВЧ-электроника-2», Программа СНГ «Радионавигация», новые программы Союзного государства, находящиеся в стадии согласования, «Создание и сертификация современного оборудования для управления воздушным движением», «Создание наукоемкой медицинской техники с использованием критических технологий двойного назначения, разработанных организациями ОПК» на 2007-2009 годы, «Радиотелевизионные цифровые технологии ОПК в интересах телевидения».

В настоящее время развитие электронной промышленности в России приобрело другой характер по сравнению с тем, что наблюдалось до начала 2000-х гг., то есть прослеживается систематическая тенденция направленных действий, подчиняющихся государственным плановым документам.

Например, ФЦП «Развитие ЭКБ и радиоэлектроники» на 2008-2015 годы. В рамках этой программы разрабатываются базовые промышленные технологии и создается научно-технический задел по перспективным технологиям и конструкциям электронных компонентов, унифицированным узлам и блокам радиоэлектронной аппаратуры, вертикально-интегрированным системам автоматизированного проектирования сложных электронных компонентов. При этом решается задача сокращения отставания от мирового уровня, уменьшения импортной зависимости, за счет использования сквозных систем проектирования ЭКБ и радиоэлектронных средств наиболее полно реализуются достигнутые возможности электронных технологий в целях обеспечения требуемых характеристик радиоаппаратуры.

В 2011 году предприятия отрасли должны существенно расширить фронт работ по освоению выпуска перспективной радиоэлектронной техники. Поставлены задачи по созданию аппаратуры беспроводного широкополосного доступа, средств радиочастотной идентификации, планируется выпуск новой навигационной аппаратуры потребителей, медицинских приборов, аппаратуры управления воздушным движением, оборудования для топливно-энергетического и аграрно-промышленного комплексов, жилищно-коммунального хозяйства и т.п. Одним из приоритетов в нашей научно-технической политике является сфера СВЧ-техники. Выделены серьезные бюджетные средства для развития СВЧ-технологий, чтобы к 2015 году обеспечить всех российских потребителей необходимой СВЧ-техникой с параметрами, соответствующими мировому уровню.

К указанному хотелось бы добавить, что намечен ряд мер по поддержке микроэлектронного направления. Речь идет об использовании отечественных разработок для производства электронных документов: паспорт, социальная карта, платежные карты и т. д. В настоящее время ведется работа по созданию облика и определению функций универсальной электронной карты. Такая карта будет включать в себя аналог гражданского паспорта, водительских прав, пенсионного удостоверения и целый ряд ведомственных приложений. Эта карта будет одновременно и платежной. В перспективе это будет самый массовый рынок в сфере электронных документов. Учитывая, что единая электронная карта будет у всех граждан России, а это огромный рынок, его упустить нельзя. 2011 год рассматривается как пилотный, а в 2012 году необходимо сделать все возможное, чтобы этот сегмент рынка закрепился за отечественными производителями.

К сожалению, развитию большинства предприятий препятствует высокий физический износ их оборудования. Сегодня, по различным оценкам, он превышает 75%. Переоснащение - основной путь, с помощью которого промышленность может решить вопрос своей низкой конкурентоспособности. И здесь проблему нельзя решать по частям, поскольку производственный процесс - система, состоящая из технически и технологически взаимосвязанных элементов, совершенствование которых нужно проводить комплексно. Только системный подход в вопросе переоснащения производств - залог оптимизации инвестиций на закупку нового современного оборудования, сокращения издержек и повышения прибыли предприятия.

Процесс совершенствования работы предприятий осложняется тем, что во многом не преодолены последствия произошедшего с распадом СССР разрыва технологических и кооперационных связей. Как одно из следствий, производительность труда на предприятиях в среднем продолжает оставаться в несколько раз ниже, чем в индустриально развитых странах. Несмотря на положительные изменения, российские производители электроники до сих пор существенно отстают от своих зарубежных конкурентов в масштабах производственной деятельности, и, соответственно, в своих инвестиционных возможностях. Для решения этой проблемы через федеральные целевые программы координируются и реализуются задачи, которые позволяют в рамках программно-целевого метода конкретизировать усилия для комплексного и системного решения среднесрочных и долгосрочных описанных проблем. Так, капитальные вложения по ФЦП «Развитие ЭКБ и радиоэлектроники» на 2008-2015 распределялись по трем направлениям:

- реконструкция и техническое перевооружение действующих радиоэлектронных производств;
- реконструкция и техническое перевооружение для создания базовых центров системного проектирования;

- реконструкция и техническое перевооружение (включая приобретение программно-технических средств) для создания межотраслевого центра проектирования, каталогизации и изготовления фотошаблонов.

В 2011 году по ФЦП «Развитие ЭКБ и радиоэлектроники» на 2008-2015 годы по направлению «капвложения» предусмотрено финансирование в объеме более 2,8 млрд. руб. Ряд инвестиционных проектов отрасли осуществляется при поддержке государственных институтов развития: Инвестиционного фонда Российской Федерации, государственных корпораций «Ростехнологии» и «Росатом», ОАО «Роснано».

В структуре стоимости электронных устройств микроэлектронные компоненты составляют до 25% [5]. Полупроводники лежат в основе большинства других отраслей: медицины, металлургии, машиностроения, химического и нефтяного секторов, военной и аэрокосмической промышленности. Эти отрасли неспособны работать без микроэлектроники, которая определяет конкурентоспособность и безопасность электроники и далее всех отраслей по цепочке поставок.

Вместе с тем, производство полупроводников - самая науко- и капиталоемкая сфера деятельности человека. Стоимость микроэлектронных фабрик нового поколения технологий растет экспоненциально. Если взять знаменитый закон Мура, который определяет прогресс микросхем, во времена СССР мы отставали на два поколения, занимая третье место в мире после США и Японии. После разрушительных 1990-х отставание увеличилось до семи технологических поколений. Рост стоимости фабрик привел к тому, что число игроков, участвующих в гонке уменьшения топологических размеров, резко сократилось. За последние 5 лет существенно сократилось отставание при реализации на «Микроне» проекта уникального трансфера и освоения технологии 180 нм EEPROM лидера европейской микроэлектроники, компании №5 в мире STMicroelectronics.

Что касается спроса, то рыночные перспективы наноэлектроники очень позитивны. Чипы с топологией 180-90 нм используются в телекоммуникациях, смарт-картах, бытовой электронике, промышленной, авто- и авиа-электронике. В 2010 году по технологическим нормам 180-90нм в мире было произведено 17% всех микросхем, это рынок объемом в \$51 млрд. Поэтому экспорт составит около четверти продаж проекта.

На российский рынок будут поставляться микрочипы для электронных документов, измерительной аппаратуры, включая интеллектуальные счетчики электроэнергии, воды и газа, меток радиочастотной идентификации для борьбы с контрафактом и логистики, космической аппаратуры и телекоммуникаций, в том числе, для ГЛОНАСС. Однако пока российский рынок микросхем составляет менее 1% от мирового, и для развития проекта на внутреннем и мировом рынках огромное значение имеет

частно-государственное сотрудничество по формированию спроса на микроэлектронику и созданию конкурентных с Азией экономических условий производства.

Пример других стран, история развития микроэлектроники в таких регионах как Китай, Южная Корея, Германия, Франция - а сегодня это ведущие мировые производители полупроводников - показывает, что в первую очередь спрос на продукцию микроэлектроники формирует само государство. В том числе и с помощью введения различных стандартов. Например, государство может обязать производителей размещать гарантирующие защиту от подделок чипы на всех фармацевтических препаратах, алкогольной продукции, почтовых отправлениях. Сейчас на государственном уровне идет процесс перехода к электронным паспортно-визовым документам, информатизации, вводится универсальная электронная карта, электронное правительство. Все эти новшества основаны на чипах, которые хранят зашифрованную информацию и обеспечивают национальную безопасность. Ведь чип, произведенный зарубежным партнером и включающий компоненты от массы разных поставщиков, в конечном счете, не может гарантировать полную защиту от несанкционированного доступа и полную безопасность ключей. Поэтому в силах правительства регламентировать использование отечественных микросхем при реализации инновационных проектов.

Во всем мире высокие технологии развиваются в технопарках - так называемых «кремниевых долинах», которые образовались вокруг микроэлектронных фабрик. Точно также производство в Зеленограде формирует технологическую экосистему: в проекте уже задействованы 50 компаний из 12 стран мира, некоторые западные компании локализовали производства в Зеленограде, образовались новые дизайн центры. В целом, проект создал 3 ключевые фактора развития экосистемы - инвестиции, технологии и кадры.

Именно наличие собственного производства микроэлектроники обеспечивает технологическую безопасность государства и определяет его статус среди лидирующих мировых держав. И сегодня благодаря таким проектам у России есть реальные перспективы интеграции в мировой рынок в качестве глобального игрока в области микроэлектроники.

Необходимость развития отечественной микроэлектроники обусловлена следующими причинами:

- Трудность приобретения новейших изделий микроэлектроники специального исполнения, которые предназначены для использования при производстве военной техники.
- Современная микроэлектроника достигла такого уровня сложности, что изделия специального назначения стали узкоспециализированы и системоориентированы, и их

использование возможно только при условии создания точных аналогов аппаратуры и систем.

Препятствием для развития отечественной микроэлектроники является то, что производство изделий микроэлектроники требует очень больших начальных капиталовложений (стоимость современной микроэлектронной фабрики превышает 2 млрд. долларов), срок окупаемости составляет около 3 лет, а сбыт продукции связан с серьезной конкуренцией на внешнем и внутреннем рынках. Кроме того, производство радиоэлектронной аппаратуры в России не развито в той мере, чтобы оно стало стимулирующим фактором для отечественных производителей ЭКБ (электронной компонентной базы). Поэтому, без государственной поддержки финансами и гарантированными рынками сбыта развитие микроэлектроники невозможно.

Структура мировой системы производства и потребления в сфере высоких технологий основана на технологической цепочке, базирующейся на разработке и производстве электронной компонентной базы. В основе этой технологической цепочки лежит спецтехнологическое оборудование и электронные материалы и структуры.

Мощные мировые производители электронной компонентной базы, электронной аппаратуры и электронных услуг, такие как Intel, IBM, Samsung, Hitachi, NEC, Microsoft поделили сферы влияния и определяют политику в сфере производства и потребления продукции электроники.

США традиционно специализируются на создании сложнофункциональной электронной компонентной базы, а Юго-восточному региону отведена роль производителя массовой продукции на базе развитой сети кремниевых фабрик.

Кремниевые фабрики Юго-Восточной Азии за счет более низкой заработной платы, освоенных технологий высокого уровня обеспечивают выпуск конкурентоспособной продукции на мировой рынок и развитие экономики государств, участвующих в этой мировой системе разделения труда.

Мировой рынок электроники достаточно специализирован. Наиболее динамичной категорией является память MOS, которая составляет и будет составлять более 25 % всего выпуска микроэлектронной продукции [1].

В [2] указаны следующие возможные направления развития технологий создания электронной компонентной базы:

- производство кремниевых интегральных схем с лицензированной технологией *90 нм*;
- производство кремниевых интегральных схем на пластинах *300 мм* с лицензированными технологиями *65 и 45 нм*;

- технологии и технологическое оборудование для создания отечественного производства кремниевых интегральных схем с проектными нормами 32 и 22 нм, а именно, литографа-степпера на длине волны 13,5 нм (экстремальный ультрафиолет), установок плазменного травления, нанесения и имплантации;
- промышленная технология и оборудование, организация промышленного выпуска пластин со структурой КНИ;

В рамках данной тематической области предполагается развитие следующих ключевых направлений задельных исследований [2]:

- технологии производства кремниевых сверхбольших интегральных схем с проектными нормами менее 100 нм;
- процессорные КМОП схемы, схемы памяти, аналоговые/ВЧ-схемы, высоковольтные ИС, БиКМОП и др. Приборы и интегральные схемы силовой электроники. СВЧ-ИС;
- технологии производства сверхскоростных гетеропереходных ИС, в том числе, на туннельно-резонансных приборах;
- технологии автоматизированного проектирования СБИС и технологии создания фотошаблонов;
- дизайн-центры, центры производства фотошаблонов, разработка сложных функциональных блоков (СФБ) для систем на кристалле и систем в корпусе;
- технологии создания элементной базы квантовых компьютеров (КК) на твердотельных кубитах, квантовых клеточных автоматов.

Наиболее перспективные российские разработки в данной области, превышающие мировой уровень или соответствующие ему:

- гетероструктурные лазеры и фотоприемники с квантовыми точками;
- сверхскоростные гетеропереходные интегральные схемы специального применения (СВЧ-ИС);
- запуск отечественного производства СБИС с проектными нормами 0,18 - 0,13 мкм на пластинах диаметром 200 мм;
- технологии и оборудование для отечественного производства кремниевых ультрабольших интегральных схем с проектными нормами 32 и 22 нм, а именно, в области литографии на длине волны 13,5 нм (экстремальный ультрафиолет) и плазменных процессов травления, нанесения и ионной имплантации;
- дизайн-центры, разработаны некоторые типы сложных функциональных блоков для систем на кристалле и систем в корпусе, центр по производству фотошаблонов;

- пакеты прикладных программ для квантового моделирования характеристик МДП-транзисторов с длинами канала в суб-100 нм области, моделирования электромиграционной и адгезионной стойкости многоуровневых соединений СБИС.

Перспективные направления, по которым имеется наибольшее отставание России от мирового уровня:

- производство кремниевых СБИС с минимальными размерами меньше 100 нм;
- элементная база СВЧ-электроники;
- производство полупроводниковых приборов силовой электроники.

Основными потребителями нового поколения изделий элементной базы являются: радиолокационные системы наземного, морского, воздушного и космического базирования, включая подповерхностную, ближнюю, дальнюю сверхдальнюю радиолокацию, системы Государственного опознавания, системы навигации и связи наземного, морского, воздушного и космического базирования, скоростные системы передачи данных; системы наблюдения в сложных метеорологических условиях, системы радиометрии, в том числе из космоса, системы контроля и защиты окружающей среды, атомных электростанций, химических производств и других объектов повышенной опасности. Выпуск СВЧ полупроводниковых приборов и СВЧ модулей класса «система в корпусе» позволит обеспечить отечественной СВЧ элементной базой аппаратуру военного назначения приведя соотношение вакуумной и твердотельной СВЧ электроники в аппаратуре радиоэлектронных систем России в соответствие с современным уровнем технологии и выйти на рынок гражданской продукции.

Технологическая база отечественной СВЧ электроники ориентирована, в основном, на выпуск продукции военного назначения. Вместе с тем, потенциальная емкость гражданского рынка в России велика и определяется действующими и развертываемыми системами, такими как [6]:

- аппаратура систем управления воздушным движением, включающая: аэродромные и трассовые локаторы, глиссадные маяки, метеолокаторы, системы навигации и связи;
- аппаратура глобальной навигационной системы позиционирования «Глонасс»;
- аппаратура систем сотовой связи;
- системы цифрового телевидения и связи;
- радиорелейные линии связи;
- системы идентификации грузов;

- системы спасения на море и на суше;
- системы управления движением автомобильного транспорта;
- изделия личного пользования, такие как:

портативные навигаторы глобальных навигационных систем «Navstar» и «Глонасс», радиомаяки, пейджеры, радиотелефоны и др.

Отечественный сегмент гражданского рынка, практически не сформирован, поскольку доля импортной комплектации в аппаратуре гражданского применения очень высока.

Для организации производства радиоэлектронной аппаратуры гражданского применения необходимо выделить основные типы изделий, обеспечивающие коммерческие преимущества их производства.

Для технологических производств Si и SiGe БиКМОП это:

-аппаратура аэродромных локаторов управления воздушным движением

-аппаратура вторичной радиолокации (система опознавания «свой-чужой»);

- СВЧ устройства дополнительного сжигания топлива автомобилей;

Для технологических производств GaN и SiGe 5иКМОП это:

- аппаратура сетей стандартов WiMAX и LTE, обеспечивающих большую дальность (более чем в три раза по сравнению радиотелефонами стандарта GSM и сетями EatherNet, использующими усилители мощности на GaAs транзисторах) из-за большей выходной мощности передатчиков и высокой линейности СВЧ приемников, обеспечиваемой применением GaN транзисторов;

- метеолокаторы, фиксирующие скорости восходящих и нисходящих потоков на взлетно-посадочной полосе аэродромов при посадке и взлете самолетов, в которых применение GaN транзисторов позволяет заменить клистронные передатчики твердотельными, уменьшив их объем, что из-за большего числа суммируемых транзисторов на GaAs реализовать в тех же объемах невозможно;

- измерители уровней жидких металлов, обеспечивающих работу СВЧ датчиков на GaN транзисторах при высоких температурах; радиорелейные линии в труднодоступных районах, где уменьшение числа ретрансляторов компенсирует большую стоимость GaN транзисторов.

Ведущими российскими исследовательскими центрами по критической технологии «Технологии создания электронной компонентной базы» являются согласно паспорту критической технологии [3] являются:

- Физико-технологический институт РАН,
- Научно-исследовательский институт системных исследований РАН,
- Институт физики микроструктур РАН,
- Институт физики полупроводников СО РАН,
- Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН,
- Санкт-Петербургский научно-образовательный центр РАН,
- Институт проблем технологии микроэлектроники РАН,
- ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт физических проблем имени Ф.В. Лукина»;
- ГОУ ВПО «Московский институт электронной техники»;
- ГНЦ «Технологический центр» при Московском институте электронной техники;
- Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН;
- Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»;
- Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова;
- ГИРЕДМЕТ, ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет»;
- ГОУ ВПО «Таганрогский радиотехнический университет»;
- Институт неорганической химии СО РАН,
- Институт геохимии СО РАН.

Ведущие производственные центры:

- Концерн «Ситроникс»,
- ОАО «НИИМЭ и Микрон»,
- ОАО «Ангстрем»,
- НИИМА «Прогресс»,
- Центр фотошаблонов (Инновационный центр МИЭТ),
- НПО «Светлана», ФГУП «Пульсар».

Наиболее перспективные разработки/опытные образцы:

- технологии и оборудование для создания рентгеновских зеркал и других узлов литографа-степпера в области экстремального ультрафиолета, метрологические средства контроля качества зеркал (интерферометры);
- плазменные технологии и оборудование для процессов травления,

нанесения и ионной имплантации в производстве ультрабольших интегральных схем;

- технология создания пластин «кремния на изоляторе» (КНИ) и опытные образцы МДП-нанотранзисторов со структурой КНИ;
- технология элементной базы СВЧ-электроники.

Важнейшие инновационные продукты, создаваемые с использованием критической технологии «Технологии создания электронной компонентной базы»:

- элементная база информационных управляющих, вычислительных и телекоммуникационных систем;
- широкий набор сложных функциональных блоков для проектирования систем на кристалле и систем в корпусе;
- элементная база силовой электроники;
- элементная база СВЧ-электроники специального применения;
- элементная база бытовой электроники.

Эффекты от внедрения данной критической технологии:

- создание новых сегментов рынка высокотехнологичной продукции;
- повышение эффективности энерго- и ресурсосбережения;
- создание современных конкурентоспособных средств вооружения;
- повышение безопасности транспортных систем;
- повышение эффективности диагностики и лечения социально значимых заболеваний.

Меры поддержки для обеспечения высокой конкурентоспособности и выхода на внутренний и внешний рынки:

- развитие инновационной инфраструктуры;
- создание механизмов стимулирования и поддержки инновационной деятельности.

Список использованных источников:

1. О перспективах развития Электронной компонентной базы и отечественной электронной промышленности (интервью с Борисовым Ю. И., начальником управления Роспрома) [Электронный ресурс]: Сайт ассоциации государственных научных

центров – Электрон. дан М., 16 марта 2006.
<http://www.agnc.ru/index.php?id=30&t=2> Свободный - Загл. с экрана

2. Рабочие материалы для обсуждения по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы» Подпрограммы 2 «Прикладные проблемно-ориентированные исследования и развитие научно-технического задела в области перспективных технологий» государственная программы «Развитие науки и технологий» на 2012-2020 годы [Текст] : [Файл, присланный из Министерства образования и науки Российской Федерации]
3. Паспорт критической технологии «Технологии создания электронной компонентной базы» [Текст]: [Файл, присланный из НИУ «Высшая школа экономики»]
4. Комплексный подход – залог развития радиоэлектронной промышленности. Интервью с А.С.Якуниным, Директором Департамента радиоэлектронной промышленности Министерства промышленности и торговли РФ. / Вестник российской недели электроники. Сентябрь 2011 г. С.1-2 [Электронный документ] Режим доступа: http://chipexpo.chipexpo.ru/content/vestnik_2011.pdf
5. Микроэлектроника – основа инноваций. Интервью с Г.Красиковым Академиком РАН, членом президиума Совета при Президенте РФ по науке, технологиям и образованию, председателем совета директоров ОАО «НИИ МЭ и «Микрон» / Вестник российской недели электроники. Сентябрь 2011 г. С.4-5 [Электронный документ] Режим доступа: http://chipexpo.chipexpo.ru/content/vestnik_2011.pdf
6. Перспективы развития российской твердотельной СВЧ электроники. Интервью с А.Г.Васильевым, генеральным директором ФГУП «НПП Пульсар». / Вестник российской недели электроники. Сентябрь 2011 г. С.8-9 [Электронный документ] Режим доступа: http://chipexpo.chipexpo.ru/content/vestnik_2011.pdf