

СОЮЗНЫЕ ПРОГРАММЫ ПО МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ

Первые результаты

А.Бевзо, В.Мартынов, А.Петухов

На совещании ведущих специалистов российской электроники "Судьба электроники в России", организованном редакцией журнала "ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ" в январе 2002 года в Доме журналистов, академик К.А.Валиев отметил, что главная задача в области электроники – развитие технологии. Но это возможно только при наличии современного специального технологического оборудования, уровень развития которого определяют не только его технические характеристики (прецизионность и воспроизводимость процессов), но и технико-экономические показатели (производительность, энергозатраты, надежность и готовность к работе). Несомненно, один из важнейших инструментов решения этой задачи – государственные целевые программы, призванные обеспечить необходимую организационную и финансовую поддержку отечественной электроники. К таким программам относятся союзные программы России и Белоруссии в области микроэлектроники. Каковы их структура и цели? Что уже достигнуто в области создания нового класса специального технологического оборудования?

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В ведущих мировых державах (США, Япония, Англия, Германия, Франция) электроника – важнейший рычаг удержания мирового технического, финансового, политического и военного господства. В США электроника по объему добавленного продукта вышла на первое место, опережая по этому показателю автомобильную и авиационную отрасли промышленности [1]. Поэтому не вызывает удивления целенаправленная политика этих стран по реализации определяющей роли микроэлектроники. Результат такой политики – повышенные в два с половиной – три раза темпы развития этой отрасли по сравнению с общеиндустриальными отраслями. Новые страны, вышедшие на мировую арену электроники (Республика Корея, Китай, Индия, страны ЮВА), также оказывают активную государственную поддержку отечественной электронной промышленности, рассматривая ее как наиболее эффективный способ подъема всей промышленности и вхождения в мировой рынок. Опыт развития электроники развитых стран показывает, что в основе совершенствования ее продукции и наращивания объемов продаж главным образом лежат целевые научно-технические программы, финансируемые до 50% из средств государственного бюджета. Ежегодно в мире на эти программы выделяется до 12 млрд. долл. Особое внимание уделяется разработке субмикронных технологий производства СБИС.

Из сказанного следует, что проблема развития отечественной электроники – проблема государственная, требующая политических инструментов решения, и что развитие отечественной микроэлектроники должно идти по пути освоения новых уровней технологии, что предполагает, в первую очередь, переход в субмикронную область [2]. Это позволит не только решить важнейшую задачу создания современной элементной базы, необходимой для разработки и реализации расширенной номенклатуры радиоэлектронной аппаратуры и систем общепромышленного, бытового и социального назначения, но и ликвидировать импортную зависимость отечественной электронной промышленности и существенно повысить ее экспортный потенциал. Но все это возможно лишь на базе новых поколений специального технологического оборудования и материалов, разработка которых должна стать основной частью программ развития новейших технологий.

Прошедшие в начале 90-х годов в стране преобразования нанесли серьезный урон отечественной электронной промышленности, приведя практически к полному разрушению научно-технических связей между предприятиями отрасли. Из-за существовавшей специализации и последовавшей монополизации решаемых задач ведущими предприятиями Россия лишилась баз машиностроения и разработки специального технологического оптико-механического, контрольного и сборочного оборудования, а крупнейший производитель этого оборудования – белорусский концерн "Планар" – остался без российских заказов. Вот почему курс на динамичное и опережающее развитие микроэлектроники должен полностью соответствовать приоритетам и целям социально-экономического развития Союзного государства России и Белоруссии, задачам укрепления его оборонной, экономической и технологической независимости [3].

Программа экономического развития Союза России и Белоруссии, направленная на решение важнейших вопросов экономической интеграции обоих государств, принята в 1998 году. В нее вошел комплекс совместных межгосударственных проектов, направленных на объединение сил и средств для решения актуальных народнохозяйственных проблем, представляющих общий технический и экономический интерес [4]. Символично, что в комплексе проектов освоения производства дизельных автомобилей и химических волокон, развития лазерных технологий и выпуска телеаппаратуры и оптики XXI века, а также СВЧ-техники двойного назначения проект создания специального технологического оборудования для микроэлектроники получил наивысший приоритет.

Разработка современного специального технологического оборудования – это не просто создание нового "железа", а прежде всего развитие новых технологических принципов и оптимальная их реализация в оборудовании, отвечающем требованиям обеспечения высокой производительности, выхода годных изделий, надежности и т.п. Выполнить это можно только при условии тесного взаимодействия технологов и разработчиков новых изделий, детальной предварительной проработки и выяснения нюансов технологического процесса, обеспечения цикла



внедрения в серийное производство в рамках действующих производственных условий с учетом динамики их развития. Головным исполнителем программы "Разработка и создание оптико-механического и контрольного оборудования для производства сверхбольших интегральных схем с топологическими элементами 0,8–0,5 мкм", шифр "Победа", специальным постановлением Совета Министров Союза России и Белоруссии была утверждена Научно-техническая ассоциация (НТА) "Субмикрон". Как показал дальнейший опыт, это было оптимальное решение задачи создания системы научно-технического и организационного управления союзными программами. НТА "Субмикрон" – негосударственная, некоммерческая организация, созданная группой ведущих предприятий микроэлектроники для решения задач развития субмикронных технологий. Этот статус позволил НТА пройти без потерь бурный период преобразований государственных органов управления электронной промышленностью 90-х годов. Благодаря развитой динамичной системе привлечения высококвалифицированных специалистов ведущих предприятий микроэлектроники НТА "Субмикрон" сумела минимизировать затраты на управленческий аппарат и одновременно обеспечить максимально возможное сопровождение научно-технического уровня проводимых разработок.

СТРУКТУРА ПРОГРАММ

Уровень специального технологического оптико-механического оборудования (степперов, контрольного оборудования и т.п.), устойчивость и прецизионность технологии генерации и переноса изображения – главные факторы, определяющие возможность создания нового поколения современных микросхем. Разработка нового класса литографического оборудования и оптимизация технологии – первичная и основополагающая задача всех технологических программ США, стран Европы и Японии. Значение литографического оборудования при переходе от одного уровня технологии к другому закреплено в принятой классификации технологии по минимальному критическому размеру топологических элементов – 0,8; 0,5; 0,35; 0,25; 0,18; 0,13; 0,1 мкм и т.д.

Следует еще раз подчеркнуть, что разработка специального технологического оборудования не должна заканчиваться только созданием опытного образца и организацией серийного производства в необходимом объеме. Важнейшая задача – отработка технологии и адаптация ее к массовому производству интегральных схем в реальных технологических условиях. Этот фактор учтен в комплексных, взаимодополняющих программах Союзного государства в области микроэлектроники, оптимизированных по составу работ и исполнителям (см. рисунок).

ПЕРВЫЕ ИТОГИ

Технологические уровни, освоение которых предусмотрено программами, условно делятся на два: 0,8–0,5 и 0,5–0,25 мкм. Сегодня уже можно считать успешно решенной задачу создания в рамках программы "Победа" основного литографического и контрольного оборудования 0,8-мкм уровня. Установка совмещения и мультипликации для изготовления СБИС с 0,8-мкм топологическими нормами модели ЭМ-5084АМ прошла длительную опытно-промышленную эксплуатацию в реальных условиях и продемонстрировала высокие технические и производственные показатели. Переход на новую элементную базу резко повысил показатели надежности практически всех блоков управления, так как в предшествующих моделях отказы в основном были вызваны недостаточной надежностью именно элементной базы.

Одна из самых успешных и эффективных разработок – установка контроля топологии на промежуточных шаблонах с адаптацией к САПР заказчика – ЭМ-6029Б. Ее обнаружительная способность составляет

0,5 мкм (достоверность обнаружения дефектов не менее 95%), что обеспечивает контроль одиночных и групповых дефектов в автоматическом режиме с составлением карты дефектов, используемой в дальнейшем для автоматического выхода на дефект, визуальной оценки его вида и лазерной ретуши. В опытной эксплуатации установка продемонстрировала повышенную надежность и высокую достоверность контроля. Это позволило резко поднять уровень технологии изготовления промежуточных шаблонов для СБИС и снизить брак на операциях литографии, поскольку установка проверяет рабочие шаблоны с пелликлами.

Программно-управляемая установка лазерного устранения дефектов промежуточных шаблонов модели ЭМ-5001Б позволяет как размерно удалять (вырезать заданный прямоугольник) "темные" дефекты методом лазерной абляции, так и локально осаждать из газовой фазы маскирующие покрытия при лазерной стимуляции. Она обеспечивает точный выход на дефекты по карте их координат. Предусмотрен режим интеллектуального обучения, позволяющий оптимизировать процесс устранения дефектов. Благодаря наличию двух лазеров (для удаления и осаждения) возможна работа в комплексном режиме без переналадки. Установка формирует прямоугольные элементы, в том числе и наклонные, с координатной ошибкой, не превышающей 0,5 мкм.

В системе автоматического контроля привносимых дефектов на пластинах без топологического рисунка модели ЭМ-6479 использован оригинальный конструктивный принцип, защищенный российским патентом №2064670. Особенность конструкции – осесимметричная зеркальная система детектирования рассеянного на частицах лазерного излучения. Ее применение привело к стабилизации режима контроля, устранению апертурных эффектов и резкому уменьшению габаритов установки, что в дальнейшем позволило встраивать эти системы в специальное технологическое оборудование, например в установки осаждения или термической обработки. Обнаружительный порог установки оценен в 0,15 мкм, но, вероятно, он еще выше.

В зондовом автомате с 1-мкм элементом контактирования для проверки пластин диаметром 200 мм модели ЭМ-6070 впервые использована система машинного зрения, что резко повысило точность зондирования за счет автоматической коррекции положения по характерным топологическим элементам. Адаптивная система позволяет "обучать" автомат при контроле произвольного топологического рисунка и обеспечивать необходимые координатные коррекции в реальном времени. Эта установка стала предшественником нового класса зондовых автоматов с повышенной прецизионностью и расширенными функциями.

Установка контроля макродефектов модели ЭМ-6379, автоматизированный микроскоп для оперативного визуального контроля промежуточных шаблонов с пленочной защитой ЭМ-6005, автоматизированная система визуального макро- и микроконтроля дефектов полупроводниковых пластин ЭМ-6369 создают комфортные условия при работе, требующей зрительного напряжения контролеров и повышенной достоверности контроля. Автоматическое манипулирование пластинами повышает производительность и снижает уровень привносимой дефектности, а улучшенное качество оптических узлов существенно облегчает контроль и повышает его эффективность.

Одна из ключевых установок, спроектированных в рамках программы "Победа", – ЭМ-5484Э – система совмещения и мультипликации при производстве СБИС 0,5-мкм технологического уровня. Но изготовление опытного образца сдерживается из-за отсутствия необходимого оптического стекла (современное плачевное состояние отечественной оптической промышленности не может обеспечить выпуск стекла с необходимыми показателями).



Программы Союзного государства в области микроэлектроники

Таким образом, можно считать, что в результате реализации совместных программ уровень 0,8-мкм в целом преодолен и ближайшая задача – переход к 0,5- и 0,25-мкм уровням. США реализовали подобные программы при прямой государственной поддержке в конце 80-х и начале 90-х годов, и сегодня основная часть американской военной техники создана на базе микросхем с 0,5-мкм топологическими нормами, что дает значительный выигрыш в ее тактико-технических характеристиках.

Достижение 0,5–0,25-мкм технологического уровня предусмотрено программой "Победа–2000". В ее рамках, помимо литографического и контрольного оборудования соответствующих классов, разрабатывается комплект нового поколения прецизионного автоматизированного сборочного оборудования с возможностью программного управления для выпуска ИС в корпусах типов SO, QFP, PLLCC, BGA, предназначенных для поверхностного сверхплотного монтажа при производстве радиоэлектронной аппаратуры широкого и специального применения. Для создания этого оборудования планируется максимально задействовать возможности машиностроительной базы исполнителей и использовать опыт стран Союзного государства за счет участия машиностроительных предприятий и предприятий микроэлектроники в про-

цессах как разработок, так и отработки промышленной 0,5–0,25-мкм технологии производства ИС, а также в проведении технологических испытаний. Всего по программе предусмотрено создать 20 типов нового оборудования, среди которых следует отметить степпер с разрешением 0,25 мкм, многолучевой быстродействующий генератор изображений, кластерный комплекс обработки слоев фоторезиста, комплект автоматического оборудования для контроля метрологических характеристик и дефектности формируемых технологических структур БИС, комплект автоматизированного сборочного оборудования.

Реализация программы "Победа–2000" позволит приступить к освоению 0,25-мкм технологии. Если же учесть возможности, предоставляемые осваиваемыми сегодня методами экстенсивной литографии (шаблоны с фазовым сдвигом, коррекция оптического эффекта близости, фоторезисты с химическим усилением и т.п.), то достижение 0,18-мкм уровня также окажется осуществимым.

В комплекс союзных программ по микроэлектронике естественным образом входит программа "Разработка и освоение серий цифровых, цифроаналоговых, аналоговых интегральных микросхем для аппаратуры специального назначения и двойного применения", шифр "База". Главный исполнитель со стороны Белоруссии – НПО "Инте-



рал", со стороны России – ОАО "Ангстрем" и АООТ "НИИМЭ и "Микрон". НПО "Интеграл" на постсоветском пространстве остается крупнейшим разработчиком и производителем микросхем для радиоэлектронной аппаратуры широкого и специального назначения, что определяет необходимость и важность координации работ в рамках союзной программы. Программа имеет комплексный характер: охватывает сферы проектирования и серийного освоения СБИС двойного и специального назначения, а также сферу технологического обеспечения их производства. Большинство разрабатываемых в рамках программы СБИС соответствуют перечню, рекомендованному Министерством обороны РФ. Реализация программы позволит резко поднять качество, снизить себестоимость, сократить сроки разработки и освоения изделий электронной техники, обеспечив тем самым их конкурентоспособность и независимость от импортных поставок.

В рамках программы, предусматривающей выполнение 56 ОКР, планируется разработать и освоить производство:

- микросхем для приоритетных отраслей промышленности, бытовой техники и аппаратуры специального назначения (всего должно быть разработано и освоено более 30 типов новых микросхем двойного назначения с техническими характеристиками, соответствующими мировому уровню);
- микросхем для изделий спецтехники, в том числе ИС повышенной устойчивости к воздействию специальных факторов, повышенной помехозащищенности и надежности. Микросхемы должны соответствовать реализуемым и перспективным программам создания систем вооружений и военной техники, включая автоматизированные системы управления и специальную бортовую аппаратуру (всего в Белоруссии и России планируется разработать и внедрить в серийное производство более 150 типоминиатюр микросхем и их модификаций);
- ряда базовых субмикронных технологий, наряду с созданием базовых унифицированных библиотек и технологий проектирования и изготовления больших интегральных схем.

В целом эффективность программ "Победа", "Победа-2000" и "База" можно оценить по следующим технико-экономическим показателям:

Оборудование

Стоимость разрабатываемого оборудования 50 – 60% от стоимости закупаемых зарубежных аналогов

Стоимость эксплуатации в серийном производстве 40 – 50% от уровня аналогов

Надежность и коэффициент готовности к работе 90 – 95% (в два-три раза выше уровня мирового оборудования "second hand")

Производительность в 2–2,5 раза выше современного оборудования, используемого в серийном производстве

Прецизионность в 3–4 раза выше используемого оборудования

Экономический эффект прямой – не менее 50–200 тыс. долл. в год на установку; косвенный – 100–300 тыс. долл. на установку

Экспортные возможности расширение рынка на 20–25 млн. долл. в год

Технология

Каждый шаг перехода на более высокий уровень технологий в ряду 1,2 → 0,8 → 0,5 → 0,35 → 0,25 мкм обеспечивает

снижение трудозатрат на создание РЭА в 3–4 раза

повышение уровня автоматизации сборки РЭА на 30 – 40%

повышение производительности (съем кристаллов с пластины) в 2 – 2,5 раза

Общий экономический эффект при переходе к 0,5-мкм технологии за период 2003–2006 годы составит 1200–1300 млн. руб. Если же учесть, что 1 кг (условно) чипов в 2,4 раза дороже 1 кг золота и нор-

Представляем авторов статьи

БЕВЗО Александр Александрович. Заместитель начальника административного департамента Постоянного комитета Союза Беларуси и России.
Тел.: (095) 206 4677, факс: (095) 206 4279.

МАРТЫНОВ Валерий Владимирович. Д-р. техн. наук, профессор, директор по науке НТА "Субмикро", научный руководитель комплекса НИОКР программ Союзного государства "Победа", "Победа-2000", "База". Тел.: (095) 536 2810, факс: (095) 536 6934, E-mail: submicro@access.orgland.ru

ПЕТУХОВ Анатолий Евсеевич. Генеральный директор НТА "Субмикро", руководитель программ Союзного государства "Победа", "Победа-2000", "База". Тел.: (095) 536 28 10, факс: (095) 536 69 34.

ма прибыли при их продаже равна 30–40%, а 1 кг сложной радиоэлектронной специальной и бытовой аппаратуры стоит 600–900 и 50 долл., соответственно, против 20 долл. за баррель сырой нефти, то важность и значение проводимых программ станут очевидны.

Хотелось бы отметить, что успешному выполнению программ препятствует действующая система финансирования, предусматривающая выделение средств только в рамках текущего финансового года, тогда как длительность реализации этапов программы, как правило, превышает календарный год. Требуется авансирований и закупка дорогостоящих комплектующих изделий и материалов. Для особо сложных разработок затраты на разовые закупки превышают 100–150 тыс. долл., что в действующей системе финансирования становится невозможным.

Микроэлектроника – одна из самых динамично развивающихся наукоемких отраслей промышленности и поэтому требует оперативного контроля и корректировки действующих планов и программ. Так, изменились требования к номенклатуре и параметрам интегральных схем, разрабатываемых по программе "База", начатой в 1997–1998 годах. Возникли новые задачи в области развития и освоения субмикронных технологий. Кроме того, принят к реализации ряд новых государственных программ, в частности Федеральная целевая программа "Национальная технологическая база". В результате для координации работ потребовалась корректировка программы "База". Однако существующая чиновничья система препятствует этому, так как любая корректировка, даже в сторону улучшения параметров или расширения работ, рассматривается как новая программа, которая подлежит согласованию "по длинному коридору" министерств и ведомств двух союзных государств. Тем не менее, сегодня новая редакция программы проходит стадию согласования.

Несмотря на все организационные и финансовые трудности, следует признать, что союзные программы по микроэлектронике приобрели вполне определенное политическое и научно-техническое значение и обеспечили освоение 0,8-мкм технологии. Современная задача – переход к 0,5–0,25-мкм технологиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жильцов В.И., Мартынов В.В. Базовая субмикронная технология – основа дальнейшего развития микроэлектроники. – Электронная промышленность, 1993, №11–12, с. 37–41.
2. ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2002, №2, с. 4–11.
3. Technecom Analytic Research. STA. 1997 – Annual Databook. Semiconductor Industry Assotiation Review of Global and U.S. Semiconductor Competetive Trends.
4. Годин Ю. Конвергенция России и Беларуси. – В кн.: Вестник Союз-Инфо. Спец. выпуск. Союз Беларуси и России: шаги интеграции, 2001, с. 14.