

РЫНОК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

ПРОГНОЗЫ И РЕАЛЬНОСТЬ

М. Гольцова

Сумеет ли полупроводниковая промышленность мира достичь прогнозируемого к 2000 году объема продаж? Мнения американских и западноевропейских экспертов на этот счет не совпадают. Данные, содержащиеся в публикуемом ниже обзоре, говорят о том, что сомнения скептически настроенных европейцев имеют под собой реальную почву.

Несмотря на ожидавшийся спад деловой активности, мировой объем продаж полупроводниковых приборов в 1995 году, по оценкам фирмы Dataquest, увеличился по сравнению с предыдущим годом более чем на 35% и достиг 150 млрд. долл. (по данным группы мировой торговой статистики по полупроводниковым приборам — WSTS, объем продаж полупроводниковых приборов в 1995 году был равен 144,4 млрд. долл.) В результате в 1995 году фирма Dataquest была вынуждена три раза пересматривать свой прогноз. Вначале предполагалось, что объем продаж изделий полупроводниковых приборов на мировом рынке к 2000 году увеличится до 240 млрд., затем до 275 млрд. и, наконец, до 330 млрд. долл. при среднегодовых темпах прироста объема продаж 20%. Последнюю оценку полупроводниковое сообщество США в конце 1995 года приняло за окончательную, но уже в начале 1996 года из-за сокращения объема продаж ПК на американском рынке, снижения (на 50% к середине 1996 года) цен на схемы ДЗУ и избыточных товарно-материальных запасов оптимистические прогнозы сменились более уравновешенными. К середине 1996 года эксперты фирм Dataquest, VLSI Research и Ассоциации полупроводниковой промышленности США (SIA) оценивали темпы прироста мирового объема продаж полупроводниковых приборов на текущий год в 8—15%. В результате согласно скорректированным прогнозам, в 1996 году мировой объем продаж вместо 180 млрд. долл. составит 154—162 млрд. долл., хотя прогноз на 2000 год по-прежнему остается достаточно оптимистичным (рис. 1).

Прогноз спада деловой активности в 1995 году был основан на ряде факторов. В их числе намерение Федерального резервного фонда США замедлить темпы экономиче-

ского роста путем постоянного повышения ставки процента; задержка реализации версии ОС Windows 95 фирмы Microsoft и перехода от микропроцессоров класса 486 к устройствам класса 586, а также от ДЗУ емкостью 4 Мбит к 16-Мбит схемам.

Любой из названных факторов сам по себе уже мог стать причиной уменьшения объема потребления ИС. Не произошло этого, по мнению фирмы Dataquest, благодаря росту спроса на персональные компьютеры и средства связи, в том числе сотовые системы, а также увеличению удельного веса ИС в радиоэлектронном оборудовании.

Как отметил президент фирмы VLSI Research Дан Хатчесон, статус персональных компьютеров на рынке коренным образом изменился. В течение последних 20 лет ПК превратились из игрушки в текстовые процессоры, затем в средства повышения производительности отдельных работников и, наконец, благодаря появлению компьютерных сетей в неотъемлемую часть корпоративной инфраструктуры. Применение ПК позволило предпринимателям увеличить добавленную стоимость изделий и услуг, что заставило их одновременно (до выпуска Windows 95) приобретать более мощные машины класса 586 и дополнительные схемы памяти, гарантирующие стабильную работу ПК в сети к моменту появления ОС Windows 95.

В результате ПК из разряда товаров производственного назначения перешли в разряд потребительских товаров. Приобретение ПК как товара производственного назначения



в основном связано с модернизацией или расширением производственных мощностей, т.е. с процессами, носящими циклический характер. Приобретение ПК как потребительского товара определяется общим состоянием потребительского рынка и связано в первую очередь с покупательной способностью населения. Потребительский рынок ПК имеет два важнейших преимущества перед рынком ПК производственного назначения: существенно большие емкость и стабильность. Таким образом, переход ПК в разряд потребительских товаров привел к значительному увеличению и стабилизации их продаж. Другое следствие этого перехода — более стабильный и менее подверженный циклическим изменениям рынок полупроводниковых приборов.

Одновременно с приобретением нового статуса ПК изменился и подход к разработке их архитектуры. В 70-е годы специалисты корпорации IBM прогнозировали максимальный удельный вес полупроводниковых приборов в электронном оборудовании на уровне 15%, после чего темпы прироста объема продаж изделий полупроводниковой промышленности будут такими же, как в РЭП в целом. В период подготовки этого прогноза фирмы, выпускавшие вычислительную технику, разрабатыва-

ли и архитектуру систем, т.е. ту их часть, где добавленная стоимость наиболее высока. Контролируя разработку архитектуры, эти фирмы, в том числе и IBM, в то время крупнейший поставщик ПК, могли управлять ценами на рынке и, следовательно, прибылью.

По последним данным консультативной фирмы Rose Associates, удельный вес полупроводниковых приборов в конечных изделиях за период 1960—1995 годов в среднем увеличился на 17,5%, тогда как среднегодовые темпы прироста объема продаж изделий РЭП были равны всего 7,1%. При таких темпах к 2010 году теоретически вся система сможет быть выполнена на полупроводниковых приборах. Правда, специалисты считают, что максимальный удельный вес ИС в конечной продукции РЭП будет достигнут в конце столетия и составит 33%.

По оценкам VLSI Research, удельный вес ИС в ПК в настоящее время равен 42%, в результате архитектуру этих систем определяют не их изготовители, а фирмы Intel и Microsoft — основные поставщики аппаратных и программных средств. Таким образом, изготовители ИС впервые получили возможность контролировать развитие систем, в которых применяются выпускаемые ими изделия, и, следовательно, рынок последних и прибыли. Это обеспечивает стабильность продаж и инвестиций в полупроводниковую промышленность.

Однако, несмотря на столь блестящие прогнозы развития полупроводниковой промышленности, на различных совещаниях и симпозиумах, проходивших в конце 1995 — начале 1996 годов, эксперты высказывали серьезные опасения относительно возможности их реализации.

Первыми не поддержали оптимистические прогнозы американских экспертов три крупнейших европейских поставщика ИС — Philips, SGS-Thomson и Siemens. На симпозиуме по промышленной стратегии (ISS), проводившемся Международной организацией по полупроводниковому оборудованию и материалам (SEMI) в начале 1996 года в Дрездене, было высказано предположение, что мировой объем продаж ИС к 2000 году составит 200—250 млрд. долл. Европейские фирмы посчитали этот прогноз завышенным и предупредили, что это может привести к переизобилию ИС, резкому падению цен и, в итоге, к краху рынка.

Одна из причин этого — обесценивание иностранных валют по отношению к американскому доллару. Данный фактор привел к снижению предполагавшихся в конце 1995 года темпов прироста объема продаж полупроводниковых приборов (по утверждению экспертов WSTS на 43%, по оценкам фирмы Dataquest — на 3,5 пункта).

Другой серьезный фактор, подтверждающий справедливость более сдержанного прогноза европейских фирм, — начавшееся в конце ноября 1995 года резкое падение цен на 4-Мбит ДОЗУ, работающие в режиме страничного доступа. Цена этих ДОЗУ при продаже за наличные снизилась с 25 долл. до менее 8 долл., договорная цена — до менее 10 долл. за 1Мбайт. Эта тенденция сохранялась и в начале 1996 года, когда цены на 4-Мбит ДОЗУ с расширенным выводом данных (EDO-типа) упали до 6,5 и 9 долл. соответственно. Этот уровень цен уже близок к критическому, ниже которого валовая прибыль составляет менее 50%. Если считать, что себестоимость 4-Мбит ДОЗУ равна 3,5 долл., то их производство станет убыточным при падении цен до 6 долларов.

Чем вызвана эта ситуация? По мнению ряда промышленных обозревателей, многие изготовители ИС и фирмы-поставщики комплектующего оборудования создали большой запас схем ДОЗУ, ожидая дополнительный спрос на них в связи с выпуском версии Windows 95. Однако после этого долгожданного события спрос оказался меньше прогнозируемого. Положение усугубило еще и то, что к концу 1995 года объем продаж ПК в США также оказался ниже ожидавшегося уровня. В результате образовался избыточный запас схем ДОЗУ, фирмы-изготовители вынуждены принимать экстренные меры, чтобы сократить запасы. Эта тенденция подтверждается и снижением такого показателя, как отношение суммы размещаемых заказов на полупроводниковые приборы к перечисленным платежам — с 1,12 в декабре 1995 года до 0,78 в апреле 1996 года. Резкое (более чем на 50%) снижение цен на 4-Мбит схемы ДОЗУ привело к тому, что крупные поставщики стали ускоренными темпами осваивать производство схем емкостью 16Мбит EDO-типа, что не могло не вызвать снижения цен и на эти изделия. По дан-

ных аналитика фирмы ING Baring Securities, П.Вульфа, во втором квартале 1996 года договорная цена на 16-Мбит ДОЗУ EDO-типа упала с 47 долл. (начало года) до 20—25 долл. при себестоимости 18—20 долл. Изготовители комплектующих изделий ожидали такое снижение лишь в третьем квартале.

В октябре 1995 года снизились и темпы прироста продаж схем СОЗУ. Прогнозируемый высокий рост спроса на эти изделия в связи с увеличением их потребления в кэш-памяти ПК на базе микропроцессоров семейства Pentium не подтвердился. Лишь в 20% ПК этого класса, поставленных в 1995 году, использовались кэш на базе синхронных СОЗУ с пакетной выборкой (ожидалось, что такими схемами будут оснащены 80% этих ПК). Цена схем упала ниже 8 долл. Правда, по мнению экспертов фирмы Samsung, в третьем квартале 1996 года цены на них стабилизируются на уровне 8—10 долларов.

Изменения на рынке схем памяти не могли не повлиять на производство логических ИС и деятельность фирм, предоставляющих услуги кремниевого завода. Снижение спроса на схемы памяти вызовет сокращение их производства и позволит использовать освобождающиеся площади для освоения или увеличения объема производства логических и специализированных (ASIC) ИС. Так, фирма Texas Instruments в два раза уменьшила объем выпуска схем ЭСППЗУ на заводе в г.Луббок, шт. Техас, использовав высвободившиеся мощности для расширения производства схем цифровой обработки сигнала (ЦОС), объем продаж которых, согласно прогнозам фирмы Forward Concepts, за период 1994—2000 годов возрастет с 1 млрд. до 10 млрд. долларов.

В результате падения цен на схемы памяти и усиления конкуренции на рынке ПК изготовители последних, в том числе IBM, Compaq Computer, Hewlett-Packard и Digital Equipment, в марте 1996 года объявили о снижении цен на свою продукцию. Большинство экономических обозревателей признает такой ход событий нормальным, в отличие от ситуации 1995 года. Тогда вследствие оснащения ПК постоянной памятью на компакт-дисках и средствами комплексной обработки данных цены на

них возросло стоимость изделия. Т.е. Как фирмы AM спросом п "кадиллак"

Снижен ет увели прежде обретаем вания. По домашни типом бы 15% ам ют прио ды боле ретающ менее 4 мей с д 100 тыс сти усоз взамен

Как у высоко ет уве средств пущенн будет п потреб ва мод для ни та про в 1996 тельн Brown вят 25 мулир ИС. В ИС, ое котор та об серье ных ф произ рынка лом з прим тят и удер: ности ствен лени ще дит ны к В Мар дущ фир дел при тов: соб

них возросли, что отнюдь не способствовало увеличению спроса на эти изделия. Теперь положение улучшилось. Как отметил вице-президент фирмы AMD, у покупателя большим спросом пользуются "шевроле", а не "кадиллаки".

Снижение цен на ПК способствует увеличению объема их продаж, прежде всего за счет машин, приобретаемых для домашнего пользования. По данным фирмы Dataquest, домашние ПК становятся основным типом бытовой техники. В 1996 году 15% американских семей планируют приобрести ПК. При этом доходы более половины семей, приобретающих ПК впервые, составляют менее 40 тыс. долл. в год; 21% семей с доходами, превышающими 100 тыс. долл., намерены приобрести усовершенствованные модели взамен имеющихся.

Как уже отмечалось, сохранению высокого спроса на ИС способствует увеличение объема продаж средств связи. Большая часть из выпущенных в 1995 году 64 млн. ПК будет подключена к сети Internet, что потребует расширения производства модемов и, следовательно, ИС для них. Кроме того, темпы прироста продаж устройств сотовой связи в 1996 году, по оценкам исполнительного директора фирмы Alex Brown & Sons, Дж. Маррена, составят 25—30%, что достаточно для стимулирования роста производства ИС. В результате снижение цен на ИС, особенно на схемы ДОЗУ, и некоторое сокращение темпов прироста объема их продаж не должны серьезно повлиять на доходы крупных фирм с диверсифицированным производством. В 1996 году судьба рынка ДОЗУ и, во многом, ИС в целом зависит от шагов, которые предпримут ведущие поставщики: сократят их производство и попытаются удержать цены или, наоборот, полностью используют свои производственные мощности с целью укрепления позиций на рынке. В настоящее время, по-видимому, происходит последнее, особенно со стороны южнокорейских поставщиков.

В то же время, по мнению Дж. Маррена, наибольшего успеха в будущем добьются полупроводниковые фирмы, выпускающие на рынок изделия, право на продажу которых принадлежит только им (т.е. запатентованных изделий, являющихся их собственностью). Например, объем

заказов на изделия фирмы ESS Technology, изготовителя схем синтеза аудиосигнала, используемых, в основном, в ПК, по-прежнему велик. Фирма планирует в 1996 году увеличить свои доходы почти в два раза: со 105 млн. до 190 млн. долларов.

Появляющееся новое поколение устройств, используемых в ПК, приведет к стабилизации американского рынка этих изделий. В Японии и других странах АТР и Европе в начале 1996 года спрос на эти системы оставался достаточно высоким. Благодаря этому рынок полупроводниковых приборов в этих странах и регионах был более стабильным, чем в США (отношение суммы размещаемых заказов к перечисленным платежам 0,97; 1,02 и 1,5 соответственно). Все это позволило экспертам сделать вывод о том, что, несмотря на резкое снижение в первом полугодии 1996 года темпов прироста объема продаж полупроводниковых приборов, рынок их к 2000 году достигнет прогнозируемого уровня в 300 млрд. долларов.

Эксперты фирм Alex Brown & Sons и Robertson, Stephens & Co отмечают следующие тенденции рынка полупроводниковых приборов:

- увеличение удельного веса более сложных ИС и инновационных изделий в электронном оборудовании; опрос руководителей полупроводниковых фирм и аналитиков США, Японии и Тайваня показал, что уже сейчас производственные мощности по выпуску ИС с минимальной шириной линии 0,5 мкм избыточны, тогда как мощностей по производству схем с линиями шириной менее 0,5 мкм недостаточно;

- усиление роли систем связи с высокой пропускной способностью в вычислительной технике и информационных сетях, что повлечет за собой рост популярности специализированных ИС (ASIC), которые в конце концов могут стать основной движущей силой развития полупроводниковой промышленности;

- как результат первых двух тенденций, опережающие темпы прироста продаж программируемых устройств, способствующих сокращению сроков поставок новых изделий на рынок.

Изменение ситуации на рынке полупроводниковых приборов — отнюдь не единственный, хотя и один из основных факторов, ставящих под сомнение возможность достижения к 2000 году прогнозируемого высокого объема продаж. Опасения экспертов связаны также с дефицитом исходного материала и высококвалифицированного инженерно-технического персонала. На развитии полупроводниковой промышленности может отрицательно сказаться и срыв в проведении многонациональной программы перехода к обработке пластин диаметром 300 мм. Специалисты отделения AT&T Microelectronics важнейшим фактором, препятствующим достижению прогнозируемого объема продаж, считают дефицит производственных мощностей, за который, по их мнению, несут ответственность главным образом поставщики технологиче-



Рис. 2. Требуемое число предприятий и средние затраты на ввод одного предприятия (млрд. долл.)

ского оборудования. За оставшиеся четыре года необходимо ввести в строй 160 новых предприятий (рис. 2), что при существующих сроках поставок оборудования, которые, по утверждению руководителя отделения Кроуфорда, для литографических систем последовательного шагового экспонирования могут достигать 18 месяцев, практически невозможно.

Этот срок недопустим, особенно если принять во внимание расчеты фирмы Dataquest, согласно которым сейчас правомерно говорить о необходимости увеличения годового объема поставок литографических систем с 600—700 до 1000 единиц оборудования.

Кроуфорд также отмечает, что вследствие высоких темпов освоения технологических достижений реальные сроки амортизации полупроводникового технологического оборудования составляют три и менее лет против утвержденных в США технических норм в пять лет. Столь большие нормативы на амортизационный срок облегчают проникновение зарубежных конкурентов на американский рынок технологического оборудования и приводят к снижению стоимости капитала. Японские фирмы могут списать до 88% амортизационных отчислений в первый год эксплуатации оборудования, тогда как американские фирмы — не более 20%.

Большинство промышленных обозревателей отмечают, что несмотря на ожидаемое снижение темпов прироста объема продаж полупроводниковых приборов и решение ряда крупных поставщиков (в том числе Micron Technology, Fujitsu, Micro-chip Technology, NEC и National Semiconductor) приостановить расширение производственных мощностей, поставщики технологического оборудования продолжают получать заказы на его поставку. Фирма Dataquest не намерена пересматривать оптимистический прогноз рынка технологического оборудования, согласно которому в 1995—2000 годах совокупные среднегодовые темпы прироста его продаж составят 19—27%. (При этом в 1996 году темпы прироста будут наиболее высокими — 30% вследствие большого объема невыполненных заказов и устойчивого портфеля заказов в начале года). Самым тяжелым для поставщиков технологического оборудования ожидается 1998 год, но уже в 1999 году темпы прироста продаж начнут расти.

По мнению ряда экспертов, изготовители не должны дожидаться восстановления высоких темпов прироста объема продаж полупроводниковых приборов, чтобы вновь начать расширение производственных мощностей. В конце 80-х годов на рынке схем ДОЗУ лидировали японские фирмы. Однако в начале 90-х их конкуренты (фирмы Samsung, Micron, Hundai и Texas Instruments) воспользовались стагнацией экономики Японии и, вложив капитал в производство ДОЗУ, сумели значительно упрочить свое положение на этом рынке. Samsung стала ведущим поставщиком схем ДОЗУ на мировом рынке; благодаря схемам, отгружаемым

фирмами Micron и Texas Instruments. На долю ДОЗУ американского производства в 1996 году приходится 15% мирового рынка этих изделий. К 2005 году, по оценкам фирмы ICE, основными поставщиками схем ДОЗУ на мировой рынок станут южнокорейские и тайваньские компании. В конце концов, без ввода в строй новых заводов не удастся и продавать ИС. Никакая политика совместного финансирования или налогообложения не сможет изменить этот железный закон рынка.

Другая проблема, которую необходимо решить полупроводниковой промышленности, — устранение дефицита кремния. При существующих темпах наращивания объема потребления кремния, который, по оценкам экспертов фирмы Rose Associates, в

атах, если при обработке пластин диаметром 100 и 150 мм 28—30% поликристаллического кремния, требуемого для получения таких пластин, приносит доход (т.е. используется для создания выпущенных на рынок приборов), то при обработке пластин диаметром 200 мм этот показатель равен 17—20%, а пластин диаметром 300 мм — 5—10%. Если произойдет спад полупроводникового производства, поставщики исходного материала понесут крупные убытки. Правда, по мнению экспертов фирмы Dataquest, поставщики кремния смогут установить достаточно высокие цены на свою продукцию, что позволит этой отрасли ближе подойти к экономической модели других секторов полупроводниковой промышленности.



Рис.3. Предложение может превысить спрос

1996 году составит 16 тыс. тонн, можно ожидать, что дефицит этого материала уже в июле—августе 1996 года будет равен 1,5 тыс. тонн. Такие поставщики поликристаллического материала, как Waker Siltronic (Германия), расширяют производственные мощности, а фирма Mitsubishi, обеспокоенная нехваткой исходного материала, планирует построить завод по получению кремния (возможно, в США, шт. Алабама).

Увеличение объема производства кремния — непростая задача для этой низкодоходной отрасли, полностью зависящей от спроса со стороны изготовителей полупроводниковых приборов. Проблема осложняется высоким процентом отходов материала при изготовлении ИС на пластинах диаметром 200 мм и более. По данным фирмы Rose Associ-

Проблема дефицита исходного поликристаллического кремния связана также с трудностями перехода от обработки пластин диаметром 200 мм к пластинам диаметром 300 мм. Нехватка первых, возникшая в 1996 году, сохранится вплоть до 2000 года (рис. 3). Когда в 1993 году диаметр 300 мм был принят Международным сообществом изготовителей полупроводниковых приборов как стандартный для следующего поколения пластин, семь фирм (Mitsubishi, Hitachi, NEC, Toshiba, Samsung, Intel и Motorola) объявили 1998 год последним сроком перехода к обработке пластин такого диаметра. Однако сейчас все фирмы, кроме Motorola, отказались от этого плана из-за больших издержек, связанных с его реализацией (около 2 млрд. долл.). При этом

вместо предложенного в 1993 году в Женеве одного международного проекта по переходу к 300-мм пластинам появился ряд программ многонациональных консорциумов, конкурирующих друг с другом. В частности, это программа японского консорциума SELETE (в который входят 10 фирм с пятилетним инвестированием в объеме 370 млн. долл.) и инициатива T3001 консорциума Sematech, которую поддерживают 13 фирм мира (в том числе и европейские), в течение 18 месяцев вложившие в нее 26 млн. долл.. Это может привести к разработке различных стандартов на пластины и увеличению затрат на разработку технологического оборудования.

Поставщики технологического оборудования и материалов довольно мрачно оценивают перспективы перехода к 300-мм пластинам, поскольку им одновременно придется вкладывать средства в разработку оборудования двух поколений: системы для 200-мм и 300-мм пластин не являются взаимозаменяемыми. Пока тестовые пластины диаметром 300 мм по цене 1500 долл. за каждую при сроках поставок 8—12 недель предлагает только американская фирма MEMC. Предполагается, что цены на такие пластины будут выше 1 тыс. долл. вплоть до 1999 года. В результате затраты на разработку некоторых технологических систем, рассчитанных на обработку 300-мм пластин, могут достичь 15 млн. долларов.

По мнению фирмы Dataquest, крупносерийное производство первых ИС на пластинах этого диаметра начнется не ранее 2001 года, полностью же оно будет освоено в 2001—2004 годах. При этом затраты на формирование инфраструктуры такого производства составят 15—30 млрд. долл. Несколько более оптимистичен прогноз, представленный SEMI на симпозиуме по Глобальной 300-мм инициативе в середине 1996 года. Согласно прогнозу, в 1998 году три поставщика планируют ввести в строй опытные линии по обработке 300-мм пластин (с производительностью 500—1000 пластин в месяц) и три изготовителя — освоить мелкосерийное производство схем на таких пластинах (2 тыс. пластин в месяц). К 2000 году можно ожидать, что крупносерийное производство ИС на 300-мм пластинах будет освоено четырьмя фирмами.

Еще одна серьезная проблема, препятствующая достижению прогно-

зируемого объема продаж, — дефицит высококвалифицированного персонала, как ИТР, так и операторов. По мнению Д.Хатчесона (фирма VLSI Research), такой дефицит может привести к замедлению темпов прироста объема продаж на 5—10%. Доведенные до отчаяния фирмы-изготовители технологического оборудования нанимают персонал и после короткого обучения посылают на предприятия заказчика для установки фактически неизвестных им систем, что отрицательно сказывается на выходе годных изделий.

Поскольку объем производства полупроводниковой промышленности за два года увеличился в два раза, половина занятых в ней новички. По мнению Дж. Пинсона, технологического директора SEMI, задача поиска и подготовки специалистов, способных обеспечить развитие полупроводниковой промышленности, выходит за рамки одной страны. В январе 1996 года SEMI завершила комплектацию 42 групп по переподготовке инженеров общей численностью 600 человек.

По данным AT&T Microelectronics, в США полупроводниковым фирмам уже сегодня требуется около 15 тыс. инженеров-технологов, специалистов в области ВЧ-техники, конструкторов и т.п. Ожидается, что к середине 1997 года потребность в ИТР такого профиля возрастет в три раза. В то же время число выпускников высших учебных заведений страны сокращается. Если в 80-х годах вузы США ежегодно готовили 78 тыс. инженеров и технологов, то в 1995—1996 учебном году их число уменьшилось до 62 тыс. человек.

Как считает руководитель отделения AT&T Microelectronics Кроуфорд, помимо переподготовки безработных специалистов оборонной промышленности США, необходимо увеличить процент женщин и представителей национальных меньшинств, работающих в полупроводниковой промышленности, который до сих пор был сильно занижен. По его мнению, следует также изменить политику в отношении иностранных студентов, число которых составляет около половины всех обучающихся в вузах США. Действующие ныне законы обязывают их по окончании учебы возвращаться на родину, где они используют приобретенные знания на фирмах — конкурентах американских изготовителей. При существующем дефиците специалистов нынешняя политика в отношении

интересам США. Правда, эксперты консорциума Sematech настроены более оптимистично, указывая на то, что в 1985 году в полупроводниковой промышленности США было занято 522 тыс. человек при объеме продаж 46,6 тыс. долл. в пересчете на одного занятого, в настоящее время аналогичные показатели составляют 655 тыс. человек и 185 тыс. долл. соответственно.

Хотя развитие полупроводниковой промышленности мира будут определять 10—12 крупнейших фирм, появление новых технологий и инноваций, определяющих пути развития, во многом зависит от предпринимчивых "первопроходцев". Поэтому прогнозируемый к 2000 году объем продаж ИС волнует не только экономические обозреватели, но и разработчиков изделий микроэлектроники. Одно из свидетельств тому — итоги Международной конференции по электронным приборам (IEDM) 1995 года. В работе секции "Технология будущего или нанониша", где обсуждались перспективы полупроводниковой технологии и материалов, приняли участие более 200 специалистов в области микроэлектроники. Среди них ведущие специалисты Управления перспективных разработок (ARPA), Международной организации по полупроводниковому оборудованию и материалам (SEMI) / консорциума Sematech, фирм Triquint Semiconductor (изготовителя арсенидгаллиевых приборов), Micron Technology (одного из ведущих поставщиков схем памяти), IBM, католического университета Левена (Бельгия), Технологического института штата Джорджия и др.

Участники секции пришли к единому мнению, что кремний еще долго будет основным материалом полупроводниковой техники, хотя такие материалы, как кремний-германий, арсенид галлия и кремний на сапфире найдут свои ниши применения. При этом выбор исходного материала, технологического процесса, корпуса и др. будут диктовать прежде всего экономические факторы.

Возможности кремниевой технологии были продемонстрированы на примере СВЧ транзистора фирмы Hughes Aircraft с микрополосковой структурой, работающего на частоте 15—20 ГГц, что ранее считалось достижимым только на арсениде галлия. Отмечалось, что к 2010 году длина канала МОП транзисторов, изготавливаемых на объемном крем-

нии, составит 100 нм. К 2022 году в МОП транзисторах с ретроградным профилем этот параметр будет равен 50 нм, а в транзисторах на кремнии на изоляторе (КНИ) — 25 нм.

В итоге проблема заключается не в технических возможностях обработки кремния, а в способности создания приборов, пригодных для крупносерийного производства с достаточно высоким выходом годных. Специалисты консорциума Sematech продемонстрировали возможность получения линий шириной 0,1 мкм с помощью методов отражательной оптики. Однако эти методы пригодны только для изготовления лабораторных образцов. Предельные значения разрешающей способности промышленной оптической литографии составляют 0,25–0,30 мкм. Для получения линий меньшей ширины нужны УФ эксимерные лазеры, излучающие на длинах волн 248 и 193 нм. Кроме того, системы отражательной оптики гораздо сложнее и дороже обычных преломляющих оптических систем.

На конференции отмечалось, что для более широкого распространения КНИ технологии, на базе которой могут быть созданы приборы для малолитражных СВЧ устройств, таких как портативные радиотелефоны, работающие на частоте 2 ГГц, необходимо наладить массовое производство КНИ-пластин.

В области арсенидгаллиевой технологии одна из основных проблем, стоящих перед разработчиками, — объединение кремниевых резонансно-туннельных и арсенидгаллиевых приборов. Заместитель директора по электронным приборам ARPA Д.Александр считает, что основная задача заключается в размещении GaAs устройств поверх кремниевых нанозлектронных схем. Решить ее

можно путем увеличения объема исследований в области химии и молекулярной физики. Продолжив эту мысль, профессор электротехники Технологического института шт. Джорджия Дж. Мейндель отметил, что изготовители систем на базе изделий микроэлектроники должны сосредоточить свои усилия на разработке новых сотовых архитектур электронной аппаратуры, в которых связь устанавливается между макроячейками, а не между схемами и платами.

По мнению Д.Овенса, руководителя работ консорциума Sematech, Карта основных направлений развития национальной полупроводниковой промышленности США (National Technology Roadmap for Semiconductors), в основу которой положено предположение о возможности изготовления схемы, работающей на тактовой частоте 1 ГГц с рассеиваемой мощностью 160 Вт и содержащей 50 млн. транзисторов, размещенных на площади 1 см², слишком оптимистична. «Совершенно не ясно, как можно одновременно достичь всех этих параметров», — отмечает Овенс. Сегодня главное, что мешает этому, — межсоединения.

Полупроводниковая промышленность должна активизировать работы в области перспективного моделирования и имитации процессов, происходящих в линиях очень малой ширины. Сейчас усилия специалистов в основном сосредоточены на моделировании макроскопических элементов, например кристаллических структур, в то время как в первую очередь необходимо понять характер атомных взаимодействий. Больше внимания следует уделять вопросам автоматизированного проектирования схем, ина-

че вместо нескольких сот человек, участвовавших в разработке микропроцессора P6, через пять лет к созданию перспективного логического устройства придется привлечь несколько тысяч.

Однако, как уже говорилось, материал, технологический процесс и корпус будут определяться в основном экономическими факторами. Требования к полосе пропускания и уровню интеграции непрерывно меняются, приводя к изменению и способов их выполнения, в том числе путем изготовления схемы на одном или нескольких кристаллах (например, микропроцессор P6 фирмы Intel выполнен на двух кристаллах).

Electronic Design, 1996, v.44, N3, pp.40,42.

Electronic Engineering Times, 1995, N871, p.33.

Electronic News, 1996, v.42, N2099, pp.1,6.

Electronic Engineering Times, 1996, N888, pp.18, 24,95.

Semiconductor International, 1996, v.19, N3, pp.20,22,62

Electronic News, 1996, v.42, N2107, pp.1,62,66.

Electronic Engineering Times, 1996, N884, pp.1,136.

Electronic Engineering Times, 1996, N871, p.33.

Electronic News, 1995, v.41, N2095, p.54.

Electronic Engineering Times, 1996, N892, pp.1,8

Electronic News, 1996, v.42, N2106, pp.1,49

Electronic Engineering Times, 1996, N885.

ДАЙДЖЕСТ

Фирмы Samsung Electronics и Intel заключили соглашение, согласно которому в выпускаемом на рынок в конце 1996 года наборе ИС Triton VX последней будут использоваться синхронные ДОЗУ и центральные процессоры, изготовленные южнокорейской фирмой. Согласно контракту Samsung становится эксклюзивным поставщиком синхронных ДОЗУ для американской фирмы. Условия контракта, включая объемы поставок, не оглашаются, однако Samsung намерена построить дополнительные производственные мощности по выпуску синхронных ДОЗУ. Цель расширения — увеличить долю синхронных ДОЗУ в общем объеме производства ДОЗУ с 3% в 1995 году до 20% в 1996-м и 50% в 1997 году.

JEI, 1996, v.43, N4, p.17