

Микроэлектроника мобильной эры и финансовые кризисы

А.Н. Бубенников,
А.А. Бубенников

Каковы ключевые особенности и признаки новой эры "мобильной" микроэлектроники? Какие тенденции и закономерности проявят себя в ней? В чем суть динамики и качественных изменений мировой микроэлектронной индустрии? Насколько подвержена локальным и глобальным финансовым кризисам микроэлектронная индустрия? Мини-фабы и спейсфабы — объективная реальность или мечта разработчиков? Публикуемая статья посвящена анализу этих ключевых проблем микроэлектроники на пороге третьего тысячелетия.

Всем еще памятен шок, который пережила мировая микроэлектронная индустрия в 1996 году в связи с резким — в 4–5,5 раза — падением цен на схемы ДОЗУ. Огромные убытки, понесенные электронными компаниями Юго-Восточной Азии, в первую очередь Южной Кореи и Японии, заставили их кардинально изменить производственную стратегию. В ожидании новых волн финансовых кризисов пострадавшие компании стали быстро перестраивать свои специализированные производства на одновременный выпуск регулярных схем памяти и нерегулярных логических схем. И хотя оказалось, что только менее трети производственных линий можно адаптировать к выпуску расширенной номенклатуры таких изделий, ведущие фирмы Юго-Восточной Азии надеются, что к 2000 году 90–95% их производственных линий станут пригодными для выпуска СБИС как памяти, так и логики, а в обозримом будущем и смешанных цифроаналоговых СБИС.

Серьезно осложнил выполнение этих планов новый финансовый кризис, разразившийся в октябре прошлого года на фондовых биржах стран Юго-Восточной Азии. Начавшись в Гонконге, где рыночные котировки акций ведущих фирм, в том числе компьютерных, микроэлектронных и телекоммуникационных, упали на 9–12%, кризис охватил финансовые системы Сингапура, Южной Кореи, Тайваня, Малайзии, Таиланда, Филиппин, Вьетнама, Индонезии и докатился до Японии. По словам премьер-министра Малайзии, за несколько дней октября кризис перечеркнул все достижения экономики страны, включая информа-

ционную и микроэлектронную отрасли. В результате обвала национальной валюты (курс воны упал на 40%) возникли серьезные проблемы у крупнейших южнокорейских конгломератов Samsung, LG Electronics, Hyundai, Daewoo Electronics, Samsucong, Sanvuong Group. Экспорт продукции этих компаний в Северную Америку уменьшился в ноябре-декабре прошлого года на 13–15%, а к марту текущего — на 5–8%.

Финансовые кризисы возникают как бы ниоткуда и также в никуда исчезают, поражая прежде всего сферы рискованного предпринимательства, связанные с высокими технологиями. К таковым бесспорно относится микроэлектронная индустрия с ее гигантскими рыночными оборотами (к 2000 году — 250–300 млрд. долл.), огромными рискованными инвестициями в производство, дорогостоящими научно-исследовательскими программами и неожиданными изменениями рыночного спроса. Что это — неизбежный коллапс политики экономического глобализма и монетаризма или проявление неизлечимой болезни технологической информационной эры?

Финансовый кризис в Юго-Восточной Азии и микроэлектронная индустрия

Финансовый кризис октября 1997 года многие аналитики связывают с предпринимательскими США усилиями по формированию однополярной экономико-политической мировой структуры, что стало возможным после развала социалистического лагеря и СССР. Сегодня налицо специфическое экономико-политическое противостояние США — Юго-Восточная Азия. Очевидно, поэтому финансовый

кризис октября 1997 года обошел стороной европейские страны и Россию. В последнее время США стремительно наращивают финансово-экономический потенциал, все более успешно манипулируя Федеральной Резервной Системой, управляющей динамикой американской и мировой экономики через косвенные механизмы: процентные ставки, эмиссию доллара, координацию усилий главных операторов фондовых рынков и бирж и др.

США. С начала 90-х годов в экономике США наблюдается неуклонный подъем: среднегодовые темпы роста ВВП составляют 3–3,3%. Суммарный индекс корпоративных бумаг ежегодно увеличивается на 25–28% [1,2]. В стране бурно развивается микроэлектронный и информационный бизнес. Яркое свидетельство тому — успехи корпорации Intel, признанного лидера в этой сфере. Доходы и прибыль Intel растут уже восемь лет подряд. Так, в 1996–1997 годах доходы корпорации выросли с 20,8 до 25,1 млрд. долл. При этом чистая прибыль составила 6,9 млрд. долл., а дивиденд на акцию достиг 3,87 долл. (в 1996 году — 5,2 и 2,9 долл., соответственно). Успешно работает Intel на российском рынке: в 1996 году ее доходы здесь составили 201 млн. долл., а в 1997-м — уже 350 млн. [3]. Рекордными были общие доходы корпорации в IV кв. прошлого года — 6,6 млрд. долл. при чистой прибыли 1,8 млрд. долл. Престиж Intel в мировой экономике чрезвычайно высок. При "стоимости" свыше 150 млрд. долл. (рыночная капитализация, шестое место в мире) квартальный доход на акцию в 1996–1997 годах составлял 0,99–1,06 долл. С конца 1991 года фирма выкупила 213,4 млн. акций на 7 млрд. долл., в том чис-

ле в 1997-м — 43,6 млн. стоимостью 3,4 млрд. долларов.

Пример Intel наглядно показывает, что волны финансовых кризисов не затрагивают экономику США и ее микроэлектронную отрасль. Тем не менее там активно идет характерный для кризисных периодов процесс слияния крупнейших фирм в эффективные вертикальные системы (например, недавнее поглощение фирмы DEC более мощной и удачливой Compaq, ставшей теперь вторым в мире производителем “начинки” компьютеров), а также образования стратегических национальных альянсов (например, Microsoft и Sun, Microsoft и Apple и др.). Многие фундаментальные достижения в сфере высоких информационных и микроэлектронных технологий середины—конца 90-х годов уже взяты на вооружение американской индустрией. На очереди их переход в производственно-торговую сферу, что выведет США на новый уровень, пока недостижимый для главных конкурентов (Япония, новые индустриальные страны АТР, объединенная Европа). Все это говорит о том, что США удалось укрепить свою финансовую систему и позиции доллара как основной расчетной единицы, причем именно за счет высоких технологий, т. е. тех фирм и корпораций, которые осуществляют технологический, индустриальный прорыв.

Россия. Уход с российского рынка реальных и потенциальных инвесторов в связи с кризисом в Юго-Восточной Азии показал слабость открытой экономики нашей страны. Ориентация на отечественных и международных финансовых спекулянтов, играющих на российских фондовых рынках и биржах, но не инвестирующих в экономику и высокотехнологичные отрасли России, оказалась проигрышной. Именно поэтому российские сырьевые и финансовые магнаты по примеру американских коллег из информационной индустрии консолидируют капиталы для инвестиций в перспективные конкурентоспособные проекты. Но эти инвестиции станут реальностью в весьма отдаленном будущем. А каковы же ближайшие перспективы?

В отличие от Южной Кореи, Тайвана и, разумеется, Японии очень быстро выкарабкавшихся из кризиса благодаря своему огромному производственно-технологическому потенциалу, Россия, которую кризис, казалось бы, едва зацепил, все еще балансирует на грани

краха. Причина тому — огромная и односторонняя зависимость российской экономики от западных финансов и кредитов, ее ориентация на экспорт невозобновляемых природных ресурсов. Вот почему как только напуганные иностранные инвесторы начали отзывать свои капиталы с нестабильных российских рынков, сразу же возникла угроза девальвации рубля. Абсурд нашей сегодняшней экономики — стабильный рубль при разваливающемся производстве, проедании высокотехнологичных и сырьевых ресурсов — долго продолжаться не может. Реформы начнут давать положительные результаты только тогда, когда до предела будет сжат процветающий ныне в России спекулятивный, непроизводительный сектор и поддержано реальное конкурентоспособное производство, практически не зависящее от финансовых кризисов. Ресурсный и золото-валютный потенциал страны должен работать на высокотехнологичное производство, которое обязано в дальнейшем восполнить затраченные на его развитие запасы. Главный урок для России из восточно-азиатского кризиса и всей совокупности складывающейся вокруг него финансово-экономической конъюнктуры — в том, что мы должны ориентироваться на максимально быстрое, инновационное становление национальных конкурентоспособных высокотехнологичных производств. Чтобы подтвердить этот вывод, попробуем разобраться, как отразился кризис на южнокорейских, тайваньских, гонконгских, сингапурских микроэлектронных, телекоммуникационных и компьютерных фирмах.

В конце октября прошлого года в **Южной Корее** рыночные котировки акций ведущих микроэлектронных и компьютерных производителей упали на 57%. Seriously пострадали такие известные фирмы, как Samsung Electronics, LG Electronics, Daewoo, Hyundai, Sancuong Electronics и др. Однако уже ко второй декаде декабря рыночные котировки их акций выросли на 2–3% [4]. Таким образом, ведущие южнокорейские конгломераты успешно преодолели кризис на фондовых биржах, а главными потерпевшими оказались фирмы-спекулянты, которые потеряли колоссальные суммы, играя на акциях. Большой ущерб кризис нанес и средним фирмам, оказывающим наукоемкие услуги (консалтинговые, инжиниринговые, реинжиниринговые, лизинговые). Однако это

связано не с финансовым кризисом, а скорее, с конъюнктурой рынка страны.

Показательны колебания товарооборота Южной Кореи и России в разгар кризиса и в период его затухания. По оценкам экспертов [4], экспорт южнокорейских конгломератов в РФ в ноябре—декабре 1997 года уменьшился на 33%. Это вызвано серьезнейшими макроэкономическими проблемами южнокорейской экономики, ухудшением финансового положения национальных конгломератов, а также насыщенностью российского рынка товарами иностранного производства*. С началом кризиса представители Samsung, LG Electronics, Daewoo Electronics, RWE Engineering спешно покинули Россию и отправились в Корею решать свои деловые проблемы. В Воронеже были закрыты представительства LG Electronics и Samsung.

На **тайваньских** производителях компьютеров и микроэлектронных компонентов кризис практически никак не сказался, поскольку в отличие от южнокорейских конгломератов на Тайване ведущими производителями являются средние и малые фирмы, ментально приспособившиеся к быстро меняющейся ситуации. Оперативно преодолеть последствия кризиса им не помешала даже сильная зависимость от краткосрочных и среднесрочных банковских кредитов, поскольку банки продолжали предоставлять такие кредиты, но только под более высокий процент. Надо отметить, что и достаточно крупные тайваньские производители (Acer Group, TSMC, Mitac, Dinalab, Hualon, Windbond, RTC Semiconductor и др.) практически не понесли потерь от жесточайшего кризиса на фондовых биржах. Видимо, поэтому товарооборот между Тайванем и Россией в ноябре—декабре 1997 года не только не упал, но даже увеличился на 4,2% по сравнению с соответствующим периодом 1996-го [6]. Особенно заметно (на 10,7%) выросли поставки на российский рынок компании Acer Group. Ее продукция — компьютеры, программное обеспечение, микроэлектронные схемы и логические цифровые системы — продается в 27 городах РФ. Фирмы TSMC, Hualon, Windbond, Mitac, Dinalab, поставляющие нам ультрабольшие и сверхскоростные интегральные схемы, а также си-

*Так, чистая прибыль Samsung и LG Electronics в IV кв. 1997 года, по оценкам экспертов Business Week, должна была уменьшиться соответственно на 14 и 17% [5].

стемы-на-пластинах, также значительно увеличили свои продажи в России. Компании TSMC, Hualon, WSI-Semiconductor, ввозящие к нам принтеры, терминалы, оборудование для чистых комнат, в ноябре—декабре 1997 года, по оценке журнала Taiwan Semiconductor, увеличили поставки на российский рынок на 3–4% по сравнению с ноябрем—декабром 1996 года [7].

Поставки в Россию японских персональных компьютеров, бытовой электроники и средств связи производства фирм NEC, Fujitsu, Hitachi, Matsushita, Toshiba, Sanyo, Rohm, Mitsubishi Electronics, Sumitomo и др. с началом кризиса практически не сократились. По мнению экспертов “Кагаку гидзюцу хакусе” (Белая книга японской экономики — декабрь 1997), экспорт японских фирм в Россию в 1998 году будет возрастать на 2–2,5% каждый квартал [8]. В целом же кризис на фондовых биржах негативно сказался лишь на трех японских корпорациях — Sanyo, NEC и Toshiba (рыночные котировки акций этих фирм уменьшились в среднем на 20%). Другие японские фирмы неплохо справились с кризисом — рыночные котировки их акций после обвала 27–30 октября буквально за два месяца достигли докризисного уровня и даже превысили его [5]. Это стало возможным благодаря большому финансовым запасам на счетах ведущих высокотехнологичных фирм, устойчивому положению на рынке, неуклонному росту производительности труда (3–3,5% в год), интенсивной инвестиционно-воспроизводственной политике. Важно подчеркнуть, что японские информационные и микроэлектронные корпорации, сокращая свое присутствие на европейском рынке, все активнее вторгаются на рынки стран АТР, а также Южной и, отчасти, Северной Америки. Так, фирмы NEC, Fujitsu, Toshiba укрепили свои позиции на рынке микроэлектронных компонентов США, потеснив ведущие американские высокотехнологичные фирмы.

Кризис на фондовых биржах никак не сказался на производственном секторе Сингапура и Гонконга, чего нельзя сказать о фирмах, оказывающих одновременно наукоемкие и финансовые услуги. Так, фирма НКМ предоставляла как наукоемкие (например, планирование и проектирование завода для американской фирмы VLSI Semiconductor), так и финансовые услуги, а кроме того играла на курсе акций

гонконгских компьютерных фирм. Именно чрезмерное увлечение игрой на биржах привело ее практически на грань разорения [9, 10].

Кризис больно ударил по микроэлектронным фирмам *Малайзии*, которые брали крупномасштабные краткосрочные и среднесрочные кредиты для расширения и реконструкции производства, а также пытались диверсифицировать его, скупая пакеты акций компьютерных фирм Гонконга, Сингапура, США и Западной Европы. Эти фирмы, можно сказать, тоже доигрались на финансовых биржах. В начале кризиса рыночные котировки их акций упали на 23–25% [4]. Для *таиландских, индонезийских и филиппинских* производителей УБИС кризис прошел практически безболезненно.

Легко перенесла кризис на фондовых рынках АТР и электроника *Западной Европы*. Так, в Германии пострадали лишь те, кто сотрудничал с беспроизводственными компаниями, играющими на акциях других фирм. Объемы экспорта из стран Юго-Восточной Азии в Европу неуклонно снижались в течение всего 1997 года, а в октябре—ноябре, по предварительным данным, сократились на 8%. Под угрозой срыва оказались многие крупномасштабные совместные проекты, в том числе сотрудничество Siemens и гонконгской Csuachan Semiconductor в строительстве завода по производству микроэлектронных компонентов. Начало работ по проекту пока перенесено с февраля на май—июнь текущего года, что связано с резким ухудшением финансового положения гонконгской фирмы, потерявшей в результате кризиса около 48 млн. долл. [4].

Динамика экспорта из Юго-Восточной Азии в Северную Америку в октябре—ноябре 1997 года по сравнению с предыдущим годом фактически не изменилась. Совместные проекты крупнейших южнокорейских и тайваньских производителей с североамериканскими партнерами остаются в силе.

Итак, в целом кризис на фондовых биржах мира практически никак не сказался на развитии производственного высокотехнологичного сектора стран Юго-Восточной Азии. *Однако предостережением для России должен стать обвал спекулятивных структур на рынке ценных бумаг в ходе кризиса.* Какие же процессы происходят сегодня в мировой электронике, позволяющие ей эффективно противостоять финансовым кризисам?

Новая мобильная эра микроэлектроники

В 1995 году в микроэлектронное производство было вложено около 37 млрд. долл. (26% от объема продаж на мировом рынке микроэлектроники), в 1996-м — 43 млрд., а в 1997-м, по предварительным оценкам, — уже 50–51 млрд. [11–13]. Проследим роль инвестиций в производство и НИОКР на примере разработки наиболее массовых СБИС ДОЗУ новых поколений. При переходе к следующему поколению СБИС инвестиции в производство увеличиваются в 1,8–1,9 раза. При выпуске 2 млн. схем в месяц фирме Hitachi потребовалось инвестировать для ДОЗУ объемом 1 Мбит около 250 млн. долл., а для 64-Мбит — 1,4 млрд. долл. Затраты на НИОКР для 1-Мбит СБИС составили 200 млн. долл., а для 1-Гбит УБИС — 1,5 млрд. [12]. По объемам продаж (10 млрд. долл. в 1979 году, 100 — в 1993-м, 200 — в 1997-м, 250–300 — в 2000-м) и темпам их ежегодного прироста (около 15%) сверхдинамичный рынок микроэлектронной индустрии уже оставил далеко позади рынки средств автоматизации и сталелитейной промышленности. В целом же рынок электроники по объему продаж уступает только сельскохозяйственному. Новой точкой отсчета в этой области стала конкурентоспособность инновационных технологий и эффективность производства УБИС, причем разработка УБИС идет под девизом “инновации превыше эффективности”.

Эволюция продуктов микроэлектронной индустрии все более соответствует мобильному стилю цивилизации нового тысячелетия. Мобильная эра характеризуется тремя основными понятиями: мультимедиа, связь, портативность [11, 12]. Важнейшие вехи на этом пути — мобильный сотовый телефон (1990 год), персональные цифровые помощники (1993), устройства пространственного поиска и передвижения (1994), цифровые радиоприемники (1995), портативные персональные компьютеры с расширенными функциями мобильной связи и обработки информации (1996), “электронные деньги” и линии цифровых подписчиков (1997) и др.

Если на рубеже 90-х годов рынки компьютеров, телекоммуникационной техники, бытовой электроники были полностью изолированы друг от друга, то в середине—конце 90-х произошло их функциональное слияние, которое по-

ложило начало новому, бурно развивающемуся рынку. Главный товар на этом рынке — конкурентоспособные наукоемкие продукты (КНП) микроэлектронной индустрии. В КНП известные функции компьютеров, средств телекоммуникации и бытовой электроники сочетаются с новыми возможностями: высокой производительностью, малыми размерами и мощностью потребления, многофункциональностью и интеллектом. Целевые функции качества разработки массовых компьютеров F_c и мобильных интеллектуальных продуктов F_m для сравнения можно представить следующим образом [12]:

$$F_c = \frac{P}{SC} \text{ и } F_m = \frac{I}{SCW}$$

где S — размеры, C — стоимость (цена), W — потребляемая мощность, P — производительность, I — фактор интеллекта, оцениваемый произведением производительности на фактор многофункциональности M , $F_m = P \cdot M$.

Для современных компьютеров, в первую очередь для ПК и рабочих станций, характерна тенденция увеличения отношения производительности к стоимости (P/C) на два порядка за 10 лет, в то время как размеры (S) за тот же период уменьшились на один порядок. Соответственно, скорость увеличения F_c составляет три порядка за 10 лет. Благодаря совмещению в одной схеме на кристалле функций логики и памяти, а также снижению топологических размеров элементов в рамках субмикронных технологий вполне вероятно, что такие темпы увеличения функции F_c сохранятся на протяжении еще нескольких десятилетий. Для симбиозных мобильных продуктов наряду с увеличением фактора интеллекта первостепенное значение приобретает снижение на несколько порядков потребляемой мощности микропроцессоров. В наиболее быстродействующих RISC-архитектурах микропроцессоров типа Alpha достигнута производительность $(300-500) \cdot 10^6$ команд/с при потребляемой мощности 20–40 Вт на кристалл. Новые перспективы открывает использование RISC-архитектур процессоров типа SH4 производительностью свыше $300 \cdot 10^6$ команд/с при по-

требляемой мощности менее 1 Вт, которые обладают значительно большими отношениями P/C, P/CW, чем традиционные [11–13]. На базе новых поколений маломощных RISC-процессоров к 2000 году будет развернуто производство навигационных автомобильных систем, мобильных экспертных камер, многофункциональных, экспертных, портативных ПК.

Интеграция цифровых блоков логики и памяти, а также аналоговых (усилители, фильтры), цифроаналоговых, аналого-цифровых фрагментов в виде законченных систем-на-кристалле откроет новые сферы применения маломощным, высокочастот-

да. Время перехода к массовому, “товарному” выпуску для СБИС килобитного уровня составляло два-три года, в то время как для УБИС уровня 1Мбит — четыре, для УБИС 16 Мбит — шесть, а для УБИС 64 Мбит — уже восемь лет. Первые экспериментальные 1-Гбит ДОЗУ были реализованы фирмами NEC и Hitachi в 1995 году, а Samsung и Mitsubishi Electric — в 1996-м. Однако их товарного производства следует ожидать не ранее 2004 года. Выявляется любопытная тенденция: с увеличением временного сдвига между экспериментальными и “товарными” УБИС более старших поколений значительно увеличивается их жизненный цикл. Эта тенденция развивается, с одной стороны, под влиянием видоизменения рыночного спроса на наукоемкие продукты, а с другой — растущих затрат на НИОКР, модернизацию и строительство новых микроэлектронных производств для разработки и выпуска таких продуктов. Для производителей УБИС увеличение жизненного цикла микроэлектронных КНП вполне благоприятно, так как позволяет в течение более длительного срока получать возвратные средства от ранее сделанных инвестиций в дорогостоящие производства и обеспечивает достаточно высокую прибыль от выпуска более наукоемких продуктов.

Другой способ минимизировать риск и финансовые затраты при разработке и освоении принципиально новых технологий глубокого субмикрона — организация национальных и международных стратегических альянсов (например, Toshiba-IBM-Siemens, Hitachi-Mitsubishi-Texas Instruments и др.) [1,14–17]. Так, для введения в строй полупроводниковых производств, обрабатывающих пластины диаметром 300 мм по принципиально новым технологиям глубокого субмикрона, в феврале 1996 года в Японии образован стратегический национальный альянс SELETE (Semiconductor Leading Edge Technologies, Inc.), куда вошли ведущие фирмы Fujitsu, Hitachi, Matsushita, Mitsubishi, NEC, Oki, Sanyo, Sharp, Sony, Toshiba. В том же году под эгидой консорциума Sematech с аналогичными целями создан между-

нашим УБИС в портативных видеокамерах, компактных дисководах, многофункциональных радио- и видеоприборах со значительно расширенным частотным диапазоном (к 2000 году — от 0,9 до 2 ГГц) [12,13].

Динамика микроэлектронного производства

Обостряющаяся конкуренция и растущие требования к микроэлектронным КНП значительно сокращают их жизненный цикл. Особую актуальность в связи с этим приобретает минимизация времени, необходимого для того, чтобы результаты НИОКР стали товаром, который можно предлагать на рынке. Рис.1 иллюстрирует качественные изменения жизненного цикла СБИС ДОЗУ по мере перехода от одного поколения к другому. Функциональная сложность экспериментальных СБИС в условиях опытного микроэлектронного производства ведущих фирм мира увеличивается в четыре раза каждые два го-

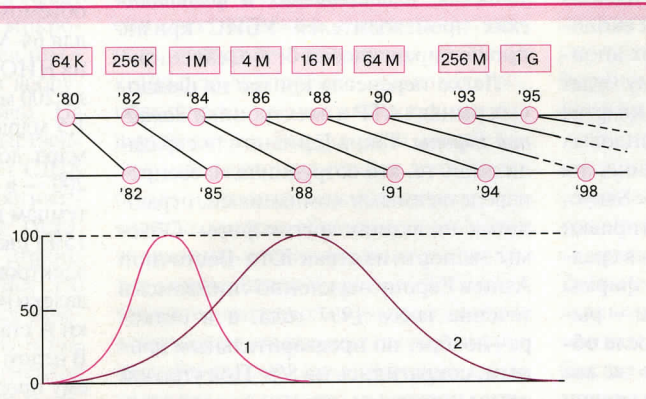


Рис. 1. Изменение жизненного цикла СБИС ДОЗУ от экспериментального освоения (верхняя временная ось) до промышленного выпуска (нижняя временная ось) для ДОЗУ килобитного (кривая 1) и мегабитного уровня (2)

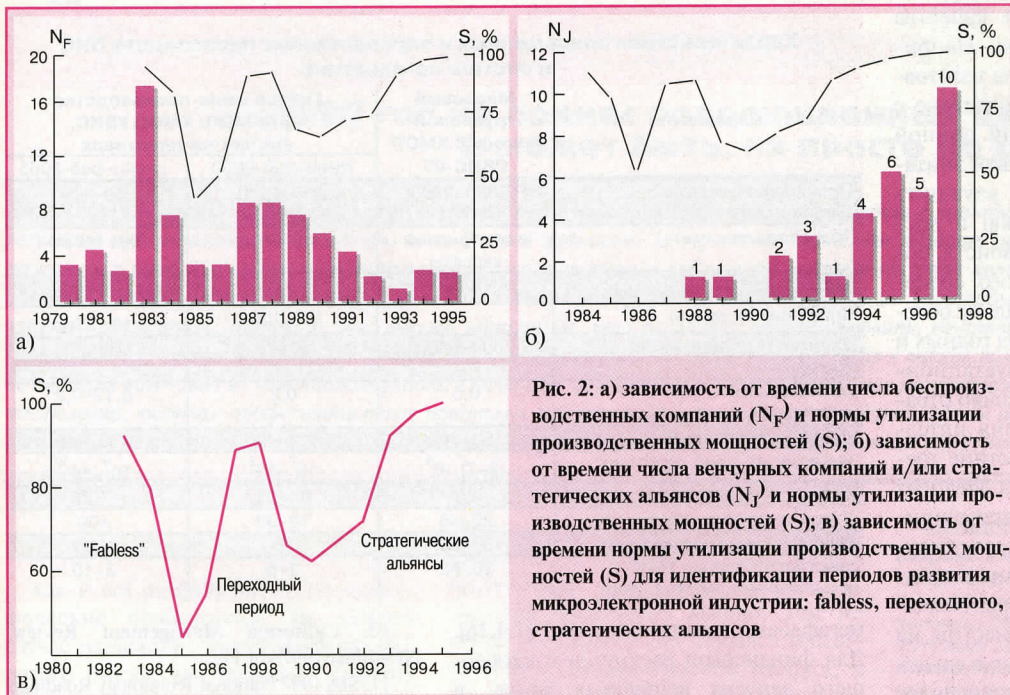


Рис. 2: а) зависимость от времени числа беспроизводственных компаний (N_F) и нормы утилизации производственных мощностей (S); б) зависимость от времени числа венчурных компаний и/или стратегических альянсов (N_J) и нормы утилизации производственных мощностей (S); в) зависимость от времени нормы утилизации производственных мощностей (S) для идентификации периодов развития микроэлектронной индустрии: fables, переходного, стратегических альянсов

народный альянс J 300, объединивший ведущие фирмы США, Европы, Южной Кореи, Тайваня.

СБИС и УБИС различной номенклатуры сегодня производятся на 225 заводах. В ближайшие несколько лет появятся еще 25–30 таких предприятий [1, 2, 11–13, 17, 18]. Жизнеспособность микроэлектронной промышленности все больше будет определяться возможностями фирмы-производителя организовать разработку КНП, их производство и адаптацию к быстро меняющимся требованиям рынка. Зависит она и от деятельности венчурных предприятий, стратегических национальных и международных альянсов разработчиков качественно новой, конкурентоспособной продукции. В 80-х годах появление многих беспроизводственных (Fables) компаний (N_F) мотивировалось снижением затрат на разработку и выпуск СБИС, возможностями арендовать или использовать имеющиеся производственные площади, а также нежеланием вкладывать средства в производство (рис. 2а). Необходимость преодолеть экономические и технологические барьеры в разработке конкурентоспособных УБИС вызвала к жизни феномен венчурных предприятий, национальных и международных стратегических альянсов N_J и рост их числа с ежегодным увеличением нормы утилизации производственных мощностей (S) (рис. 2б). Именно их агрессивная предпринимательская деятель-

ность под девизом “инновации превыше эффективности” в ближайшие годы будет играть решающую роль в освоении новых секторов мирового рынка. Представленная на рис. 2в зависимость нормы утилизации производственных мощностей от времени дает представление о динамике микроэлектронного производства, четко выделяя три периода: первый (1980–1986 годы) — большого числа разработчиков, не имеющих собственного производства, второй (1985–1990) — переходный и третий — введение в строй сверхконкурентных полупроводниковых производств в рамках венчурных компаний и стратегических альянсов [1, 2].

Перспективы микроэлектронной индустрии

Структура затрат, качество и оперативность изготовления интегральных систем — “интеллект в кристалле/пластине” — позволяют поддерживать на производствах (мега-, мини- и спейсфабах) высочайший уровень рентабельности и прибыли за счет минимизации себестоимости производства СБИС, удовлетворения требований традиционных и формируемых сегментов мирового рынка при приемлемой цене изделий и, соответственно, объемов их реализации [14–17]. Выгода от продажи современных СБИС огромна и практически не зависит от локальных финансовых кризисов. По оценкам специалистов, она значительно выше

доходов, которые получают газовики, нефтяники и даже золотодобытчики. Сегодня на мировом рынке килограмм СБИС стоит в 3–3,5 раза дороже килограмма золота, а цена килограмма перспективных глубокосубмикронных СБИС и УБИС, реализующих законченные интеллектуальные системы-на-кристалле и системы-на-пластине (2D-, 3D-WSI), очевидно, превысит стоимость килограмма золота в четыре–семь раз.

Резкое увеличение оперативности и выхода годных чипов УБИС и систем-на-пластине потребует организации безлюдного автоматизированного производства с самоочищающимися кластерными установками и инструментами, высокоточной роботизированной индивидуальной обработкой пластин, их перемещением в вакуумных кассетах (с классом чистоты 0,1–0,01) или без кассет в вакууме космоса. В таблице дано сравнение характеристик и параметров стандартных жестких мегапроизводств СБИС на базе типовых КМОП-процессов с перспективными гибкими мини-фабами и спейсфабами по изготовлению КВИКМОП/КМОП УБИС и систем-на-пластине с минимальными топологическими нормами 0,12–0,2 мкм. Техноэкономический подход к созданию гибких, ультрачистых мини-фабов и спейсфабов обеспечит конкурентоспособные технико-эксплуатационные характеристики производства, позволит формировать новые рынки КНП, более оперативно откликаться на требования мобильной эры микроэлектроники на земле и в космосе [16].

Характеристики современных и перспективных производств БИС и систем-на-пластине

Благоприятные условия производства на будущих спейсфабах (сверхвысокий вакуум, состояние невесомости, наличие источника световой энергии с широким спектром, низкие рабочие температуры и перепады температур на освещенной и теневой сторонах) предоставляют новые возможности для изготовления полупроводниковых

материалов и повышения качества технологических процессов. Например, в рамках полного цикла изготовления УБИС и систем-на-пластине с использованием технологий зонной плавки и молекулярно-лучевой эпитаксии можно кардинально улучшить однородность, стехиометрию и воспроизводимость состава и свойств, повысить степень структурного совершенства и чистоту материалов, обеспечивая сверхвысокий выход годных и сверхконкурентные эксплуатационные параметры изделий. Однако отработка маршрута изготовления интеллектуальных систем-на-пластине требует проведения комплекса научных исследований и создания принципиально нового технологического оборудования, в котором необходимо предусмотреть следующие факторы: в качестве главного источника энергии на спейсфабах предстоит использовать концентрированную солнечную энергию; химические вещества, необходимые для формирования структурированного материала, в основном, будут содержаться в исходной пластине-заготовке; условия протекания процесса должны максимально снизить число привносимых дефектов.

Оперативность изготовления КНП, минимальный временной сдвиг между экспериментальным изготовлением образцов и выпуском товарной продукции, более высокие технические характеристики изделий позволяют говорить об огромной перспективности использования гибких и оперативных ультрачистых мини- и спейсфабов в сложной рыночной ситуации начала следующего века, которая неминуемо будет осложняться мировыми финансовыми кризисами. Экономическая целесообразность их создания подтверждается меньшими, плавными реинвестиционными циклами мини-фабов (два-четыре года) и спейсфабов (четыре-восемь лет) по сравнению с массовыми

Характеристики современных и перспективных производств БИС и систем-на-пластине

Параметры	Массовый групповой мегафаб КМОП СБИС-97	Гибкое мини-производство КБИКМОП/ КМОП УБИС, систем-на-пластинах	
		мини-фаб-2000	спейс-фаб-2005
Производительность, пластин/мес.	110000-20000	500-1000	50-100
Транспорт пластин	атмосферные кассеты	вакуумные	без кассет
Площадь чистых комнат, м ²	>10000	500	20-80
Класс чистых комнат	1	100-1000	10 ⁻¹⁴ Top
Стоимость производства, млн.долл.	1000-3000	50-70	300-600
Минимальный литографический размер, мкм	0,5	0,2	0,12-0,2
Диаметр пластин, мм	150-200	300-400	300-400
Интеграция, приб./кристалл	(2-7) 10 ⁶	10 ⁷ -10 ⁹	10 ⁹ -10 ¹²
Автоматизация производства, %	20	90-95	100
Утилизация оборудования, %	25-45	70-90	100
Выход годных кристаллов, %	50-70	95	99
Цикл изготовления УБИС и систем-на-пластине, дней	30-60	2-5	3-10

мегафабами (шесть-семь лет) [1,4,16]. Для финансовой раскрутки и скорейшего запуска венчурных мини- и спейсфабов наиболее привлекателен феномен национальных и международных стратегических альянсов, предпринимательская деятельность которых играет решающую роль в освоении прорывных технологий изготовления УБИС и систем-на-пластине, а также в формировании новых секторов мирового рынка таких изделий.

Литература

- Hicks D. Deep Industrial Dynamics Shaping Next-generation Semiconductor Manufacturing. — Proc.ISSM, 1997.
- Hicks D. Evolving Complexity and Cost Dynamics in the Semiconductor Industry. — IEEE Trans.1996 v.SM-9,N3.
- Финансовые известия, 1998, N4.
- California Management Review, 1997, December, vol.12.
- Business Week, 1998, N 1.
- Деловой мир, 1997, N 12.
- Taiwan Semiconductor, 1997, December, vol. 24.
- Кагаку гидзюцу хакусэ, December 1997.
- Financial Times, 1997, November 24.

10. California Management Review, November, 1997, vol.11.

11. SIA 1997 National Technology Roadmap for semiconductors. —Semiconductor Industry Association, 1997.

12. Makimoto T. Market and Technology Outlook into the Year 2000. — Proc.ISSM, 1997.

13. McIntosh S. Conquering Semiconductor's Economic Challenges by Increasing Capital Efficiency. — Proc.ISSM, 1997.

14. Бубеников А.Н., Бубеников А.А. Техноэкономика в производстве наукоемких продуктов микроэлектроники. — Электроника: НТБ, 1997, N 6.

15. Бубеников А.Н. Архитектурно-технологический облик интеллектуальных нейронных сетей на кремниевых пластинах и трехмерных нейрокомпьютеров. — Зарубежная радиоэлектроника, 1998, N1.

16. Bubenikov A.N., Bubenikov A.A., Rakitin V.V. — New Technonomics Trends and Concepts of Manufacturing for Competitive Deep-Submicron ULSI and WSI — ISSM'97, October 6-8, 1997.

17. Бубеников А.Н., Бубеников А.А., Ракитин В.В. Техноэкономика производства процессорных УБИС и систем-на-пластинах на мини- и спейсфабах. — Труды научной сессии МИФИ, 1998.

18. Сулакшин С., Ушаков А. Российская электроника замерла у последней черты. — Финансовые известия, 1997, N 10.

Москва поможет оборонке

В марте мэрия Москвы провела расширенное совещание с предприятиями оборонно-промышленного комплекса города, подготовка к которому длилась более месяца. Незадолго до этого московское правительство приняло пакет документов, предусматривающих ряд мер по реструктуризации столичных предприятий ВПК. На совещании была принята программа реструктуризации столичной "оборонки". В составе правительства Москвы решено создать совет по конверсии оборонных предприятий и департамент оборонной промышленности. На совещании обсуждалась и возможность предоставления оборонным предприятиям льгот в виде бесплатной поставки электроэнергии и тепла, а также некоторые другие формы безвозмездной поддержки предприятий за счет средств города.

Новости

Собств инф.