

А.Васенков, В.Юдинцев

НОВАЯ СТРАТЕГИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

РЕСУРСЫ НЕИСЧЕРПАЕМЫ

Полупроводниковая промышленность с момента зарождения развивалась эволюционно с чередующимися циклами спада и подъема производства, при этом рынок формировали такие крупные интегрированные компании, как Motorola, Intel, Texas Instruments. Но в середине 80-х годов, с насыщением рынка начался рост концентрации капитала, необходимый для снижения себестоимости производства все более сложных устройств. И если еще недавно затраты на ввод в строй нового завода по выпуску полупроводниковых приборов были равны 1 млрд. долл., то сегодня они уже существенно превышают эту сумму. С необходимостью концентрации капитала при сохранении высоких темпов развития промышленности связано появление специализированных заводов, выпускающих изделия, спроектированные на специализированных фирмах другого типа. Структурная революция в мировой полупроводниковой промышленности, о необходимости которой так долго говорили аналитики, свершилась.

ФОРМИРОВАНИЕ НОВОЙ КОММЕРЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Окупаемость инвестиций при современных темпах реинвестиций в 21% возможна при условии обеспечения срока службы технологического оборудования не менее десяти лет. И многие фирмы придерживаются этого принципа, продолжая выпускать устаревшие изделия на исходном оборудовании как можно дольше. Вместе с тем сохранить соотношение капитальных затрат к продажам на уровне 2,0 (при большем соотношении затраты на приобретение нового технологического оборудования не окупаются) можно лишь при соответствующем росте годовых объемов продаж производимых изделий и быстром освоении производства новых перспективных изделий, моральный срок износа которых непрерывно сокращается.



Но сегодня большинство компаний, даже крупных, не в состоянии финансировать все НИОКР и закупки нового технологического оборудования. В ответ на необходимость концентрации капитала и наращивания производства при сохранении высоких темпов развития происходит изменение структуры полупроводниковой промышленности, начавшееся с появления относительно небольшого числа специализированных заводов (СЗ) — silicon foundries, предоставляющих производственные услуги. Такие предприятия не имели отделений проектирования схем и маркетинга, но могли повысить эффективность НИОКР, направленных на совершенствование технологических процессов. Это в конечном итоге позволило снизить удельную себестоимость обработки в пересчете на единицу площади пластины кремния.

Наряду с СЗ формировался еще один новый тип предприятия, названный *fabless* (не производящая фирма). Под это понятие попадают фирмы с ограниченными или вовсе отсутствующими производственными мощностями, занимающиеся только разработкой изделий. Такие компании или организации можно рассматривать как фирмы-разработчики (ФР). Вот эти-то ФР и пользуются услугами СЗ для изготовления разработанных ими изделий.

Критическая реакция на появление коммерческой модели *fabless-foundry* сменилась интересом к ней после кризиса 1985–1986 годов, выдвинувшего на передний план проблемы проектирования ИС. А организация в 1987 году СЗ на базе тайваньской фирмы Taiwan Semiconductor Manufacturing (TSMC) на практике продемонстрировала возможности таких заводов. В то время мировой рынок полупроводниковых приборов, на котором еще доминировали крупные фирмы, сочетавшие разработку и производство изделий, был равен примерно 30 млрд. долл., а средняя стоимость завода по обработке пластин составляла 100 – 200 млн. долл. Лишь незначительное число разрабатывающих фирм обращались к кремниевым СЗ, обычно не получавшим высоких прибылей из-за нестабильности производства и устаревших технологий. Поэтому фундамент развития промышленности со структурой ФР – СЗ был заложен в период 1990–1992 годов. Таким образом, создание TSMC можно рассматривать как шаг, значительно опередивший время.



За период 1987–1997 годов мировые продажи полупроводниковых изделий достигли примерно 150 млрд. долл., а стоимость завода по обработке пластин – 1,0–1,5 млрд. долл. В промышленности по-прежнему господствовали интегрированные фирмы. Но уже начался резкий рост специализированного производства и сектора разрабатывающих фирм, создающих большое число новых изделий для конечных пользователей. С формированием структуры ФР–СЗ появилась такая интересная тенденция, как увеличение числа малых ФР с численностью занятых около 20 человек. Концентрация сил и средств СЗ позволила создать мощные, гибкие производства, способные успешно конкурировать по уровню освоения новой технологии с интегрированными промышленными фирмами. Но пока растущий спрос на полупроводниковые изделия полностью не удавалось удовлетворить.

Успешная проверка новой модели специализированного производства на жизнеспособность и прибыльность дала стимул интенсивному строительству, преимущественно в странах Юго-Восточной Азии, новых СЗ – потенциальных конкурентов промышленных фирм. И Тайвань благодаря наличию квалифицированной рабочей силы, сформировавшейся инфраструктуре и значительным капиталовложениям становится центром подотрасли специализированного производства. По данным экспертов, в 1995 году около трети мировых продаж изделий СЗ (более 4,4 млрд. долл.) приходилось на долю Тайваня, а уже в 1997–1998 годы этот показатель превысил 50%. По оценкам фирмы Dataquest, для удовлетворения растущего спроса со стороны ФР и интегрированных промышленных фирм, среднегодовой прирост объема производства СЗ в период 1999 – 2004 годов должен составить 25,4%.

УЧАСТНИКИ РЕВОЛЮЦИИ

Клиенты СЗ

В результате переориентации производства на преимущественный выпуск продукции СЗ число ФР с 1987 по 1999 годы возросло в девять раз (с 49 до 434). Столь стремительный рост привел к созданию в 1994 году Ассоциации непроизводящих полупроводниковых фирм (Fabless Semiconductor Association – FSA), задачей которой стало установление оптимального баланса между спросом на пластины и производственными мощностями, необходимыми для реализации разработок ФР и обеспечения перехода к освоению глубокой субмикронной технологии. Это подразумевает стандартизацию технологических процессов, управление каналами поставок изделий, разработанных ФР, улучшение взаимоотношений между партнерами (ФР–СЗ и ФР–заказчик). Сегодня в FSA входят более 200 ФР Северной Америки. Среди успешно действующих ФР – Altera, Aural Semiconductor, Bradcom, Galileo Technology, Genesis Microchip, Integrated Circuit Systems, Level One Communications, MMC Networks, Transmeta, Xilinx, Sandisc, Silicon Storage Technologies.

Многие промышленные фирмы, стремясь увеличить гибкость производства и снизить себестоимость продукции, намерены сократить свои мощности на 20–30% за счет передачи производства на СЗ. Фирма Toshiba планирует свернуть свои производственные мощности на 40%, а Motorola – к концу 2001 года обеспечить около 50% своего объема продаж за счет изделий, изготовленных на СЗ. Такие крупнейшие производители микросхем, как Lucent Technologies, LSI Logic, Motorola и National Semiconductor рассматривают СЗ как ключевой элемент своей производственной стратегии.

Наблюдается и преобразование предприятий крупных корпораций в СЗ. Одной из первых на это решилась фирма Hyundai Electronics Industries, ассигновавшая из своих капитальных затрат 1,0 млрд. долл. на переоборудование завода, выпускающего 64-Мбит ДОЗУ, в СЗ, производящий логические устройства. Фирма

объявила об амбициозных планах по увеличению объема выпуска продукции на СЗ фирмы до 400 млн. долл. в 2000 году (на 277% больше, чем в 1999 году) и до 1,2 млрд. долл. в 2002-м.

Следует отметить, что заказчиками СЗ начали активно выступать и системные фирмы, нуждающиеся в изготовлении запатентованных ими специализированных микросхем. Но основными заказчиками СЗ остаются ФР и интегрированные промышленные фирмы. Так, в 2000 году из общего объема изделий, выпущенных СЗ на общую сумму более чем в 8 млрд. долл., 65% было произведено по заказам ФР, 32% – по заказам промышленных фирм и 3% – системных фирм. В 2003 году, согласно оценкам Dataquest, продажи СЗ составят 13 млрд. долл. при той же их структуре.

Специализированные заводы

Дезинтеграция полупроводниковой промышленности и установление прочных контактов типа ФР–СЗ, начиная с 1994 года, привели к существенному увеличению загруженности заводов. В середине 2000 года загруженность полупроводниковых заводов в целом составила 94,5%, а заводов, выпускающих ИС с 0,35-мкм проектными нормами, – 98%. При этом все большая часть производимой продукции ложится на плечи СЗ. В 2000 году объем заказов, поступающих СЗ от ФР, должен был возрасти по сравнению с предыдущим годом на 39%, а в 2001 году – еще на 48%.

Современные СЗ можно классифицировать на два типа: выпускающие традиционные ИС и специализированные ИС (СПИС). СЗ первого типа получают фотошаблоны (предоставляемые, как правило, интегрированными промышленными фирмами) или базу данных (от ФР) на стандартном носителе с информацией о конструкции заказываемого изделия. Большинство таких СЗ проводят полную обработку пластин, включая зондовые испытания, разделение на кристаллы, корпусирование, испытание на воздействие окружающей среды, хотя ряд заказчиков предпочитают покупать лишь готовые пластины. СЗ второго типа получают от заказчика базовый кристалл с рисунком межсоединений. Эти данные используются для изготовления фотошаблонов и производства заказных микросхем. Сотрудничество ФР с СЗ проиллюстрирует пример фирм Chartered Semiconductor Manufacturing (СЗ) и Dialog Semiconductor – разработчик микросхем смешанной обработки сигнала для средств связи, в том числе беспроводной, и для автомобилей. По соглашению между этими фирмами (на сумму 250 млн. долл.), Chartered Semiconductor должна производить микросхемы и конструкции систем-на-кристалле фирмы Dialog с встраиваемыми флэш-памятью и ЭСРПЗУ по отработанной на СЗ 0,35–0,18-мкм технологии.

По характеру финансовой деятельности СЗ также можно разделить на два типа: контрактный и абонентский. Контрактный завод – независимая компания, работающая только по контрактам. Клиентам такого завода гарантировано право в течение определенного периода пользоваться частью производственных мощностей завода. Если клиенту необходимы дополнительные мощности, он вынужден конкурировать с другими претендентами на право пользования ими. Если же клиент не в состоянии полностью загрузить оговоренные контрактом мощности, ему обычно приходится платить штраф.

Второй тип СЗ имеет абонентов или инвесторов, которые приобретают определенное число акций и которым гарантирована возможность использовать определенную часть производственных мощностей, а при необходимости – и дополнительные мощности. Они имеют право продавать незадействованные мощности другим компаниям.

Задача СЗ проста: поставлять заказчикам полностью обработанные пластины, освобождая тем самым их производственные мощности и позволяя перераспределять затраты за счет уменьшения объема инвестиций в строительство новых заводов и отчисления освободившихся средств на НИОКР. Но для этого необходимо осваивать производство новых усовершенствованных устройств для ПК, бытовой электроники, средств связи, в особенности беспроводной, а также вводить в строй новые производственные мощности, в том числе заводы по обработке 300-мм пластин. И СЗ прекрасно справляются с этим. По оценкам М. Павлика, вице-президента по корпоративному маркетингу фирмы TSMC, к середине текущего десятилетия в мире будет около 40 заводов по обработке 300-мм пластин. Стоимость половины или более из них составит около 4 млрд. долл. каждый.

Заметны успехи и в области технологии. На начальном этапе 1985–1987 годов, когда на рынке преобладали изделия с минимальными размерами элементов 1,5 мкм, СЗ по уровню технологии отставали от передовых промышленных компаний приблизительно на два поколения (2,5 мкм). Спустя десять лет этот “разрыв” сократился до полпоколения. К 0,35-мкм и 0,25-мкм проектным нормам крупные промышленные фирмы и СЗ перешли фактически одновременно и сейчас осваивают 0,18-мкм технологию. Большинство тайваньских СЗ уже в 1998 году освоили 0,25-мкм технологию (что соответствует программе перспективного развития полупроводниковой промышленности США – Roadmap для СЗ) и в 1999 году планировали перейти к 0,18-мкм нормам.

Об уровне технологии, достигнутом СЗ, свидетельствует продажа тайваньской фирмой TSMC лицензии на технологию изготовления логических ИС и встраиваемых ЗУ с проектными нормами 0,25–0,1 мкм компании National Semiconductor. Еще пять лет назад такую сделку трудно было представить. Сегодня TSMC владеет 0,15-мкм технологией с медной металлизацией, что соответствует уровню таких фирм-лидеров, как IBM и Texas Instruments. По-видимому, этот факт свидетельствует о зарождающейся конкуренции между мощными СЗ и крупнейшими полупроводниковыми фирмами. Это подтверждает и решение IBM затратить 2,5 млрд. долл. на строительство ультрасовременного завода по производству на 300-мм пластинах схем с проектными нормами 0,1–0,05 мкм, медной металлизацией, диэлектриком с низким коэффициентом диэлектрической проницаемости, а также КНИ- и SiGe-структур. Начало производства намечено на 2002 год, массовое производство – на 2003-й. Завод будет выпускать продукцию по лицензиям или выступать в качестве СЗ.

По мере уменьшения проектных норм меняется и характер СЗ. Повышаются требования к точности проектирования приборов, корпусированию и тестированию. Согласно сегодняшним представлениям, СЗ должен наряду с современной технологией располагать и соответствующими САПР, библиотеками элементов, банками интеллектуальной собственности, средствами корпусирования и тестирования. До коммерциализации проекта конструкторы должны иметь доступ к широкому ассортименту услуг самого высокого уровня.

КТО ИЗ СЗ ВПЕРЕДИ ПЛАНЕТЫ ВСЕЙ?

Можно выделить три крупнейших производителя схем по заказу фирм-разработчиков. Как уже отмечалось, ведущая фирма-foundry – **TSMC**. В числе ее заказчиков такие “зубры”, как Motorola, Intel и IBM Microelectronics. Motorola предоставила TSMC документацию на производство изделий (в основном микроконтроллеров) по 0,35- и 0,25-мкм КМОП-технологии, а Intel ведет переговоры о производ-

стве таких микросхем чипсетов и материнских плат, как интерфейсы универсальной последовательной шины (USB), Southbridge и устройств ввода/вывода. В сентябре TSMC и Philips Semiconductor объявили о намерении открыть совместный СЗ в Сингапуре – Systems on Silicon Manufacturing Co. (SSMC). Максимальная мощность завода к июню 2002 года достигнет 30 тыс. пластин в месяц. Базовой станет 0,25- и 0,18-мкм КМОП-технология. Затраты на ввод завода в строй составят 1,2 млрд. долл. 48% акций SSMC будут принадлежать Philips Semiconductor, 32% – TSMC и 20% – сингапурской организации Economic Development Board Investments. TSMC располагает библиотекой конструкций схем сложных графических микросхем и ПЛИС с 0,15-мкм проектными нормами, предоставленных ей компаниями Artisan Components, Nurlogic Design, Synopsis, Virage Logic. Кроме того, американская фирма Artisan Component заключила соглашение с TSMC на разработку библиотеки элементов с 0,13-мкм размерами.

Недавно фирма закончила строительство в Тайване, как полагают, крупнейшего в мире завода №6 с площадью чистых помещений 15 тыс. м², которые примерно поровну поделены между мощностями по обработке 200- и 300-мм пластин. Монтаж оборудования был начат в октябре 1999 года, опытное производство намечалось на начало 2000 года, массовое производство микросхем на 300-мм пластинах – на 2001 год. На заводе планируется выпускать широкую номенклатуру логических, заказных, связанных микросхем, микропроцессоров, СОЗУ, графических устройств. Затраты на ввод его в строй оцениваются в 2,1 млрд. долл. В 2001 году фирма планирует построить еще два завода по обработке 300-мм пластин. С их вводом мощности компании в 2001 году составят 23 тыс., в 2002-м – 200 тыс. и в 2003-м – около 1 млн. 300-мм пластин.

В 2000 году фирма намерена освоить 0,15-мкм и в 2001-м – 0,13-мкм технологию. Уже сегодня она выпускает тестовые схемы с 0,13-мкм проектными нормами, которые найдут применение в САПР, предназначенных для технологических линий СЗ. С началом производства на новом заводе фирма TSMC займет лидирующее положение не только среди других фирм, занятых специализированным производством, но и сможет потеснить на рынке крупные интегрированные промышленные фирмы – признанных мировых лидеров. В 2000 году TSMC планирует довести свои общие производственные мощности до 3,4 млн. пластин, а в 2001 году – до 4,8 млн. пластин, приведенных к диаметру 200 мм, что на 147% больше, чем в 1999 году (1,9 млн. шт.). С целью расширения производственных возможностей и услуг в Северной Америке TSMC объявила о намерении приобрести в полную собственность фирму WaferTechLLCC – совместное предприятие TSMC, Altera, Analog Devices и Integrated Silicon Solution.

Важное достижение TSMC – предоставление в сети Интернет в онлайн-режиме сведений об имеющихся фотошаблонах. Специалисты любого конструкторского центра получают возможность работать в интерактивном режиме со специалистами TSMC, просматривая на сайте рисунки шаблона. Тем самым сокращается время конструирования прибора и снижается его себестоимость. Совместно с компаниями Synopsis и Avant! фирма TSMC намерена предоставить возможность конструирования в web-сети микросхем с 0,25- и 0,18-мкм проектными нормами. Новый сайт выполнен на основе платформы транзакций Virtual Component Exchange (VCX), позволяющей заказчикам эффективно покупать и продавать интеллектуальную собственность (ИнтС). Сайт должен был начать функционировать уже в конце 2000 года. Он будет способствовать сокращению времени продвижения на рынок новых изделий, обеспечивая при этом как владельцам, так и лицензиатам ИнтС защиту и под-



держку в формирующейся коммерческой модели взаимодействия. Адреса web-сайтов ИнтС TSMC: www.tsmc.com, online.tsmc.com.

Второе место в мире среди СЗ занимает тайваньская фирма **United Microelectronics Corp. (UMC)**. Она входит в концерн UMC Group, организованный в 1999–2000 годах несколькими компаниями с целью увеличения объема производства. В 2000 году производственные мощности UMC должны составить 2,4 млн. пластин, приведенных к диаметру 200 мм (на шести заводах), в 2001 году – 3,3 млн. пластин, в 2002-м – 4,2 млн. пластин (на 10 заводах). При этом половина продукции будет изготовлена по 0,25- и 0,18-мкм технологиям. В 2001 году для обработки 300-мм пластин будет отведено 7,5% мощностей фирмы UMC, в 2003-м – 31%.

Среди тайваньских фирм UMC – лидер по производству схем с субмикронной геометрией. В 2000 году 14% ее продаж придется на пластины с 0,18-мкм проектными нормами, 35% – на пластины с 0,25-мкм и 33% – на пластины с 0,35-мкм нормами (у TSMC – соответственно 5%, 30% и 36%). Для сохранения лидерства фирма намерена в кратчайшие сроки освоить 0,15- и 0,13-мкм технологии. Образцы схем с 0,13-мкм проектными нормами планируется выпустить в 4-м квартале 2000 года. Полная аттестация технологического процесса будет завершена в марте 2001-го. Недавно UMC заключила соглашение с IBM и Infineon Technologies по освоению 0,13- и 0,1-мкм технологий. Кроме того, совместно с Hitachi создано предприятие Trecenti Technologies по обработке 300-мм пластин. Принятые меры с учетом собственных НИОКР позволяют фирме UMC, по ее мнению, сохранить высокий технологический уровень.

Третий по величине СЗ – **Chartered Semiconductor Manufacturing** – находится в Сингапуре. Фирма проводит ту же политику, что и TSMC и UMC. Ее научно-исследовательский центр поддерживают Национальный совет по науке и технологии, Институт микроэлектроники и университеты Тайваня. В августе 2000 года Chartered заключила соглашение с фирмой Lucent Technologies, которая ассигнует 700 млн. долл. на совместную разработку и производство логических КМОП-схем, микросхем смешанной обработки сигнала и встраиваемых СОЗУ с 0,13-; 0,1- и 0,08-мкм проектными нормами (срок проведения работ – пять лет). Совместно с Lucent предусматривается также создание лаборатории по освоению технологии обработки 300-мм пластин. Помимо Lucent у Chartered совместное предприятие с Agilent Technologies. В 2001 году Chartered планирует увеличить производственные мощности по обработке 200-мм пластин с 700 тыс. до 1,4 млн.

РОЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

Новая структура полупроводникового производства формирует и новую модель взаимодействия с заказчиком, позволяющую оказывать услуги в использовании ИнтС и библиотек конструкций третьей стороны. Так, IBM заключила соглашение с фирмой Nurlogic Design на приобретение ИнтС в виде библиотек элементов при разработке СпИС. Право пользования библиотечками будет передано СЗ. Расширяется практика непосредственного приобретения ИнтС самими СЗ, причем в ряде случаев по более низким ценам, чем у промышленных фирм. Но некоторые владельцы библиотек ИнтС и конструкций изделий терпят убытки из-за того, что крупные СЗ, чтобы выиграть в конкурентной борьбе, предоставляют приобретенную ИнтС другим заказчикам по низкой цене или бесплатно. Как отмечает президент фирмы TSMC Тценг, для успешного развития новой модели СЗ, по-видимому, ФР и владельцы ИнтС должны вместе работать над ее совершенствованием. А пока СЗ наращивают библиотеки ИнтС и конструкций.

НОВЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЮ СПИС

По мере совершенствования освоенной технологии возможности СЗ все больше привлекают новый класс заказчиков – поставщиков СпИС. Следует отметить, что изначально фирмы, выпускавшие СпИС, были полностью интегрированы. Сейчас от такой структуры отказываются. Производство СпИС передают СЗ такие поставщики, как RealChip и VLSI Logic. Появившееся мнение, что разработчику СпИС собственный завод вообще не нужен, привело к появлению независимых фирм, занимающихся созданием САПР. То же происходит и в области разработки средств корпусирования и тестирования. Недавно была организована фирма-разработчик специализированных схем – eSilicon, которая будет разрабатывать схемы с 0,18- и 0,25-мкм проектными нормами. Она уже заключила соглашения с тремя провайдерами ИнтС, двумя СЗ (TSMC и Silterra) и фирмами, осуществляющими корпусирование и тестирование.

Ведущие фирмы-разработчики САПР – Mentor, Cadence и Synopsys – изучают возможность конструирования ИС, СпИС и, в последнее время, систем-на-кристалле на программном виртуальном уровне. Создаваемые модели могут передаваться СЗ для реализации приборов. При этом ФР могут проектировать изделия на базе стандартизованных спецификаций, переданных им СЗ. Такая концепция считается превосходной, но для ее реализации потребуется время. Дело в том, что конструкция ориентирована на определенный производственный процесс, а на разных заводах трудно обеспечить проведение полностью идентичных технологических операций. СЗ и фирмы-изготовители СпИС пока не предпринимают должных мер по приведению своих процессов в соответствие с требованиями САПР компаний.

Сегодня в новой структуре полупроводниковой промышленности появились фирмы-разработчики ИнтС, фирмы по оказанию услуг в области конструирования, системные фирмы (последние нередко имеют собственные СЗ). Характерная особенность новой структуры – прозрачность взаимоотношений, оперативная обратная связь цепи сверху донизу, тесное сотрудничество и широкий обмен информацией, доверительные отношения между заказчиками и поставщиками, приводящие к быстрым темпам роста массового производства и получению больших прибылей.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МОДЕЛИ ФР–СЗ

По мнению авторитетных экспертов, процесс, который радикально изменит всю полупроводниковую промышленность, сейчас только “пошел”. Изменения структуры полупроводниковой промышленности повлияют и на отрасли, занятые выпуском оборудования и материалов.

По данным фирмы Dataquest, через 15 лет на долю СЗ придется до 35–50% мирового объема производства полупроводниковых приборов (против 10% сегодня). Такой прогноз основан, во-первых, на существовании рынков изделий полупроводниковой промышленности массового потребления – ПК, средств мобильной связи и др. Во-вторых, быстрый рост рынков позволяет СЗ, несмотря на конкуренцию, добиваться приемлемых экономических показателей, особенно при производстве таких изделий, как ДОЗУ.

В ближайшие годы конструировать и производить полупроводниковые приборы будут не более 25 компаний, а остальные (вероятно, около 150 фирм) либо займутся только разработкой, либо вовсе исчезнут. Более того, указанные 25 компаний будут активно пользоваться услугами СЗ. Сегодня доля изделий крупных интегрированных промышленных фирм в продукции СЗ составляет 5–15%. Вполне возможно, что в дальнейшем она возрастет до 20–30%.

Серьезное влияние СЗ оказывают и на инфраструктуру полупроводниковой промышленности. Изменения уже заметны. Началось объединение заводов по обработке пластин и сборочных заводов. Об этой тенденции свидетельствует вступление на рынок СЗ фирм Alphatech и Amkor/Anam и сборочной линии фирмы Chartered Semiconductor. Контрактное выполнение сборочных операций хорошо отработано, что позволит быстро интегрировать его с процессами обработки пластин.

Традиционные фирмы-изготовители СПИС уже с трудом могут конкурировать со специализированными заводами при создании топологии схем на кремнии. Системные компании начинают "игнорировать" СПИС-фирмы и обращаться непосредственно к СЗ. Поэтому коммерческая модель такой фирмы должна измениться, при этом все больше внимания следует уделять системотехнике и программным средствам.

Жестко управляемая производственная модель СЗ предъявляет особые требования к поставщикам: материалы должны иметь требуемые характеристики, а параметры оборудования — соответствовать параметрам процесса. Владение характеристиками процесса может приблизить момент, когда поставщики сами пожелают влиять на конструкционные особенности прибора, как это произошло в ситуации с СПИС. Вполне возможно, что компании, выпускающие полупроводниковое оборудование, придут к выводу, что встраивание элементов конструкции (в программном виде) в технологические операции должно начинаться на ранней стадии процесса конструирования. Это позволит связать оборудование завода в единую систему. Уже действуют компании, занятые инструментальными средствами конструирования. Они поставляют подобное оборудование ФР или центрам конструирования ИС. Вполне возможно, что

таким образом сформируется стратегическое направление развития компаний, занятых оборудованием.

Особенность коммерческой модели СЗ — освоение в производстве только хорошо отработанных технологий, что позволяет снизить затраты на разнообразные НИОКР. Но сейчас ситуация меняется, и прежде всего в полупроводниковой промышленности: с повышением дохода с единицы площади пластины (даже при уменьшении минимального размера элемента) СЗ начинают увеличивать инвестиции в НИОКР для создания потенциала дальнейшего роста. Заметной тенденцией стала ускоренная, приближенная к системному уровню, интеграция. СЗ становятся основными изготовителями систем-на-кристалле. Это возможно благодаря привлечению широкого контингента ФР, работы которых отвечают наиболее актуальным требованиям заказчиков систем-на-кристалле. В долгосрочной перспективе движущей силой технологии будут микропроцессоры, ДОЗУ и системы-на-кристалле. Благодаря особенностям системной интеграции вполне возможно, что эта область техники будет задавать тон в развитии технологии в последующие 10-15 лет.

ЛИТЕРАТУРА

- Channel, 1997, v.10, N4.
- Semiconductor Business News, 1999, Jan.15.
- Trends in Foundry Industry, 1997. Фирменные материалы TSMC. Status, 1988.
- Status, 2000.
- SEMI's European Industry Strategy Symposium, Feb.22–29.
- Electronic News Online, 2000, July 31.
- Semiconductor Magazine, 2000, v.1, N3.
- Electronic Business Asia, 2000, Nov.