

РАЗВИТИЕ МИРОВОЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

НОВОЕ В СТРАТЕГИИ. ЧАСТЬ II*

С момента появления закона Мура, отразившего тенденцию к удвоению числа транзисторов в микросхеме каждые два, а затем полтора года, прошло сорок лет. За это время мировая полупроводниковая промышленность претерпела огромные изменения. Прошли этапы ее становления, развития и совершенствования, приведшие к появлению сложных микросхем с высоким быстродействием, в первую очередь микропроцессоров и памяти, содержащих несколько миллионов транзисторов на кристалле. С конца 1990-х годов основное внимание уделяется своевременному выпуску на рынок конкурентоспособных высококачественных и высокопроизводительных микросхем для компьютерной, связанной и бытовой техники. И здесь важную роль играет возможность совместного использования производственного опыта различных поставщиков. Ведь известно, что знание – сила, но объединенное знание – великая сила.

Сегодня освоен промышленный выпуск микросхем памяти гигабитной емкости на пластинах диаметром 300 мм. Разрабатываются многоядерные процессоры с быстродействием до более 1 Tflops. Правда, стоимость заводов, производящих такие микросхемы, превышает 2 млрд. долл. Тем не менее, эти заводы достаточно эффективны, поскольку в пересчете на выполняемые микросхемой функции стоимость ее снижается (даже при производстве микросхем, содержащих до 2 млрд. транзисторов). В соответствии с законом Мура продолжается масштабирование микросхем, последовательно осваиваются топологические нормы 90, 65, 45 нм и менее. Таким образом, представляется возможным появление еще нескольких поколений традиционных микросхем. Однако, по мере дальнейшего масштабирования и увеличения диаметра пластин, даже у самой благополучной компании или объедине-

*Часть I – см.: ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2008, №3, с.124–129.



В.Юдинцев

ния нескольких крупных производителей может не хватить средств на освоение производства новых поколений микросхем и обеспечение требуемого выхода годных. По-видимому, в этой ситуации для того, чтобы закон Мура по-прежнему действовал, необходимо следующее:

- приобретать уже построенные заводы с современным оборудованием;
 - иметь доступ к современным технологиям, неразрывно связанным с развитием традиционной технологии, но позволяющим создавать новые приборные парадигмы, в частности к МЭМС- и нанотехнологиям;
 - обеспечивать эффективное управление все более сложными глобальными сетями поставок;
 - совместно пользоваться информацией и опытом партнеров, входящих в объединения производителей, а также активно использовать в коммерческой деятельности сети Интернет и Интранет.
- Рассмотрим эти положения.

ПРИБРЕТЕНИЕ ПОСТРОЕННЫХ ЗАВОДОВ

На заре полупроводниковой промышленности заводы по производству полупроводниковых приборов конструировались и строились производителями, поскольку не было специалистов по проектированию и обеспечению эффективной работы этих заводов. Кроме того, большая часть технологического оборудования также создавалась либо производителями, либо совместно с "гаражными мастерскими", которые решили связать свое будущее с зарождающейся промышленностью. Со временем по мере накопления опыта появились эксперты в области чистых помещений, средств подачи первичных материалов (газообразных и химических веществ), конструктивных элементов (в том числе средств вибрационного контроля) и, что особенно важно, специалисты в области технологического оборудования. Были разработаны автоматизированные системы транспортировки пластин, системы контроля технологических операций и их качества, прикладное программное обеспечение для управления всем технологическим оборудованием и рабочим процессом.



Со временем началось объединение конструктивных систем. Чистые помещения, системы вибрационного контроля и подачи материалов вошли в заводскую структуру, а средства программного обеспечения позволили объединить технологическое оборудование, системы механизации, автоматизации и контроля. В результате в составе структуры предприятия были сформированы функциональные модули, или гибкие производственные ячейки, входящие в автоматизированную систему технологической подготовки производства и обеспечивающие автоматизированную переналадку при изменении программы производства изделий. В цехах обработки пластин сокращалось число рабочих и усиливалась интеграция автоматизированных систем и технологического оборудования. Была сформирована интегрированная информационная система предприятия, использующая общую базу данных и позволяющая более эффективно решать вопросы проектирования изделий, подготовки, планирования и управления производством, а также задачи его материально-технического обеспечения. Система охватывала все процессы предприятия и обеспечивала взаимосвязь различных производственных участков. Появились полностью интегрированные заводы, способные выпускать современные изделия с высоким выходом годных. По сути, произошло слияние средств производства и конструктивных объектов предприятия (рис.1). И теперь крупный производитель, обладающий достаточными средствами, может приобрести полностью функционирующий современный полупроводниковый завод.

Но при этом остается проблема обеспечения конкурентоспособности производимых изделий, которая решается путем снижения издержек производства, сокращения времени выпуска изделий, оперативного перехода к изготовлению следующего поколения микросхем и освоения новых технологических процессов. В целом успех зависит от опыта и владения секретами производства (ноу-хау).

ОСВОЕНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

С точки зрения конкурентоспособности преимущества имеют компании, сумевшие первыми выпустить на рынок изделия, выполненные по усовершенствованной или совершенно новой технологии. Это подразумевает создание микросхем на основе новых структур (МЭМС, микросхем с оптическими соединениями, изделий нанотехнологии), освоение новых технологических процессов и материалов (например, замена алюминиевой металлизации медной, применение в качестве затворного диэлектрика материала с высокой диэлектрической постоянной, а в качестве межслойной изоляции металлизации – диэлектрика с низкой диэлектрической постоянной). Ряд компаний пытаются обойти существующие приборные парадигмы и вторга-

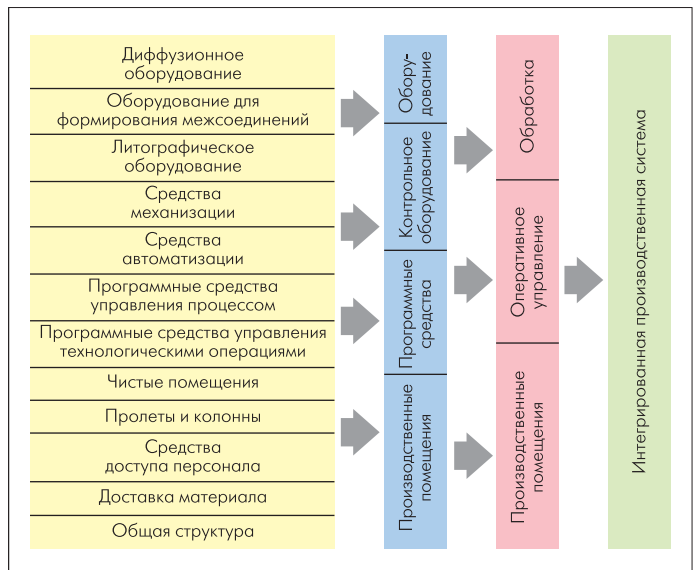


Рис.1. Слияние средств производства и структурных объектов

ются в новые области. Пример – работы компании Intel в области "кремниевой фотоники", приведшие к появлению первого гибридного кремниевого лазера.

Благодаря тенденции к сокращению сроков создания новых конкурентоспособных изделий независимо от их сложности темпы развития микроэлектроники достигли необычайно высокого уровня. А поскольку современный мир становится "беспроводным", компании могут подключаться к разработке конкурентоспособных изделий, процессов и материалов в любое время и в любой точке мира. Компания, которая приобретает новое современное предприятие, получает доступ к новым материалам и процессам. Тем самым ее технологический статус поднимается на более высокий уровень. Появляется возможность освоения производства новых жизнеспособных изделий, таких как оптические МЭМС, изделия на базе нанотехнологии.

ГЛОБАЛИЗАЦИЯ И ГЛОБАЛЬНАЯ СЕТЬ ПОСТАВОК

Известно, что цепь поставок оборудования и материалов имеет критическое значение для поддержания эффектив-

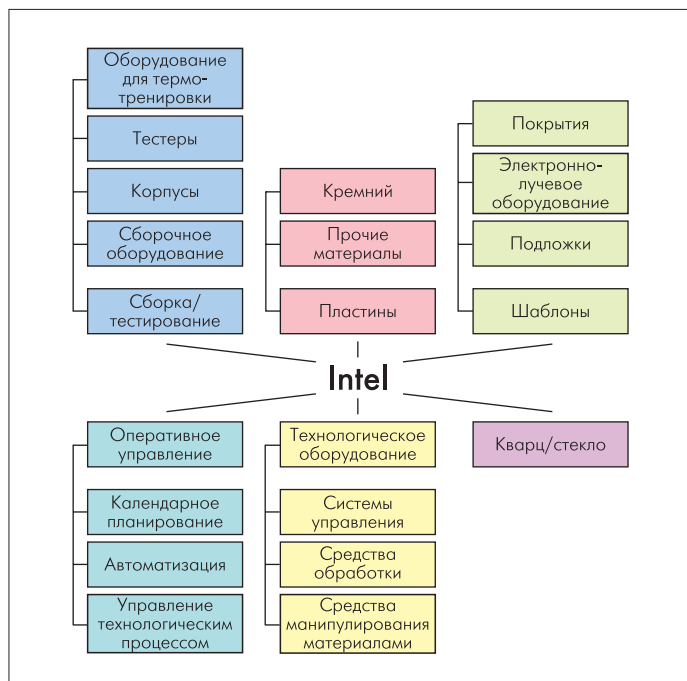


Рис.2. Сеть поставок первой очереди

ного производства. И сегодня глобальная сеть поставок и управление ею приобретают все большее значение. На начальных этапах развития полупроводниковой промышленности и действия закона Мура США лидировали в области производства полупроводниковых приборов и соблюдения этого закона, поскольку в стране были расположены почти все заводы по обработке кремниевых пластин. Позже сборочные заводы переводились в слаборазвитые страны с низкой заработной платой. В 1990-е годы, когда производственные компании столкнулись с проблемами маркетинга конкурентоспособных полупроводниковых приборов, в этих странах начали появляться заводы по обработке пластин (foundries). И сегодня во многих странах мира освоено производство современных полупроводниковых приборов с высокими характеристиками.

Благодаря наличию большой и относительно недорогой высококвалифицированной рабочей силы, крупным рынкам сбыта, сравнительно стабильной экономической ситуации Дальний Восток и Юго-Восточная Азия – наиболее приемлемые регионы для освоения полупроводникового производства. Сегодня большинство строящихся и планируемых к строительству заводов находятся в этих регионах. Китай, Тайвань, Корея и Индия стали главными поставщиками научных и инженерных кадров для США. В будущем Китай может стать "мировой полупроводниковой фабрикой". Однако следует отметить, что основные поставщики оборудования, пластин и других материалов для полупроводникового производства все еще остаются в Северной Америке, Европе и Японии.

Согласно такому авторитетному документу, как Международная программа развития технологии полупровод-

никовых приборов (International Technology Roadmap for Semiconductors – ITRS) последней версии 2007 года, поставщики оборудования и материалов должны поддерживать производство не только современных заводов, но и заводов, выпускающих изделия по различным перспективным технологиям. Более того, поставщики должны обеспечивать реализацию опытных и установочных партий за два-три года до освоения их массового производства. Однако сегодня поставки оборудования, химических веществ и газов, кремния, шаблонов, материалов для корпусирования и плат в полной мере не отвечают потребностям изготовителей приборов.

В условиях конкуренции на мировом рынке, когда стоимость выпускаемого изделия зависит от своевременности поставок необходимых материалов и оборудования, управление сетью поставок приобретает решающее значение. Оборудование, материалы, шаблоны, корпуса должны поступать в распоряжение производства повсюду и в любое время. Поэтому сейчас для этого ведущие компании-поставщики реализуют различные программы консолидации, предусматривающие сокращение числа компетентных поставщиков и оказание им помощи в адаптации к требованиям быстрого, глобального реагирования за счет стандартизации данных, предоставляемых поставщиками и заказчиками. Консолидация глобальной сети поставок первой очереди на примере компании Intel представлена на рис.2. Очевидно, при рассмотрении поставщиков второй и третьей очереди глобальная взаимосвязанная сеть будет гораздо более сложной.

Процесс глобализации производства связан с множеством проблем, поэтому управление глобальной сетью поставок совсем не простая задача. В ходе глобализации труднодоступные сельские районы (например, Индии или Китая) могут стать новыми достаточно крупными рынками сбыта и источниками дохода. Чтобы обслуживать эти новые рынки, в таких регионах необходимо строить автоматизированные заводы и открывать дистрибьюторские центры, способные быстро реагировать на потребности новых заказчиков. На случай непредвиденной остановки завода следует обеспечить быстрый доступ специалистов по ремонту и обслуживанию оборудования.

Как правило, заводы по обработке пластин и сборочные заводы ведущих полупроводниковых компаний оснащены коммуникационными сетями, обеспечивающими их дистанционную коммерческую деятельность и связывающими удаленных экспертов для решения возникающих проблем. Далеко не так благополучно обстоят дела с сетью поставок материалов и оборудования. Фирмы-поставщики не располагают большими финансовыми средствами и не могут в должной мере отвечать требованиям, возникающим при взрывном развитии удаленных производс-



твенных комплексов. Кроме того, они обслуживают многих заказчиков и должны обеспечивать соответствие поставляемых изделий их технологическим процессам, а также интерфейсам и протоколам средств связи. К счастью, протоколы связи и транзакций стандартизируются, так что проблема многочисленных интерфейсов не столь критична.

Тем не менее, управление глобальной сетью поставок сегодня рассматривается как главный фактор, способный обеспечить победу в конкурентной борьбе. Повышение производительности и эффективности сети, которая наравне с производством обеспечивает выполнение закона Мура, требует совершенствования средств управления. Программы моделирования сети поставок проводят многие университеты, на эту тему написаны книги, им посвящены конференции. Основные поставщики отлично справляются с требованиями заказчиков и передают свои знания и опыт собственным поставщикам и т.д.

ИНТЕРНЕТ

Без сомнения, важный фактор, влияющий на мировую экономику, – широкое распространение Интернета. Последствия резкого роста пользователей Всемирной паутины (более чем в два раза за полтора года) как положительные, так

и отрицательны. Использование Интернета в производственной деятельности полупроводниковых компаний осваивалось медленно, так как основные изготовители консервативны и обычно противостоят изменениям, не желая отказываться от проверенных стандартных средств. Обращение к Интернету, независимо от его эффективности и выгоды, сталкивается с самой жесткой формой корпоративной бюрократии, считающей обеспечение стабильности производства более важной задачей, чем некоторое улучшение стоимостных и временных показателей.

Медленный старт, но быстрое развитие – такова особенность Интернета с точки зрения его внедрения в полупроводниковое производство. После того, как эта техника была проверена и реализованы средства защиты данных, промышленные предприятия начали использовать Интернет для переговоров и заключения контрактов с поставщиками, онлайн-передачи спецификаций и рабочих инструкций на оборудование, для дистанционного обслуживания и контроля его работы. При этом с ростом числа пользователей эффективность сети как бизнес-инструмента увеличивается. Следующее десятилетие действия закона Мура можно рассматривать как Эру Сети (рис.3). Однако по мере освоения Интернета, стандартизации средств

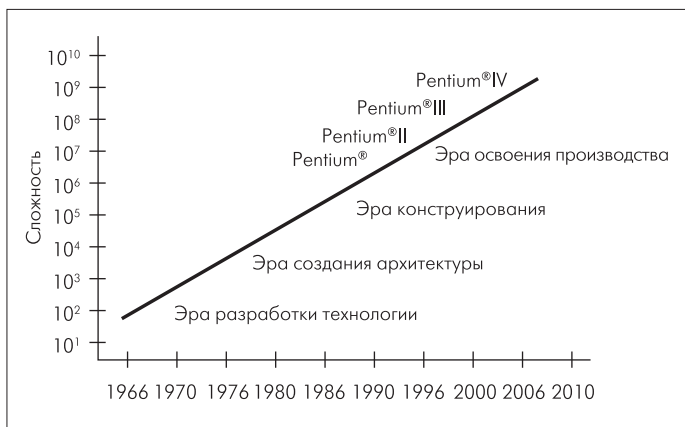


Рис.3. Закон Мура

связи и роста числа пользователей возможность быстрого опережения одной компанией других исчезает.

Особенность Интернета, дающая преимущество в конкурентной борьбе, – возможность распространения знаний, а не спецификаций, контрактов или других официальных документов. Знания распространяются независимо от международных границ, временных поясов, культурных и ценностных особенностей пользователей, их языковых барьеров. Знание – средство поддержания конкурентных преимуществ, даже когда это знание доступно всем компаниям в равной мере. Многие конструкции и критерии проекта хранятся в базах данных, благодаря чему возможен быстрый обмен информацией между сотрудничающими сторонами, удаленными друг от друга. Партнеры могут обмениваться знаниями и быстро проводить эксперименты, на выполнение которых при отсутствии Интернета потребовалось бы значительно больше времени. С другой стороны, данные и знания, касающиеся инновационных решений, могут стать доступными конкурентам. В результате срок сохранения конкурентного преимущества благодаря введению инноваций в лучшем случае составляет один-два года.

Фактически для производителя стратегическое значение приобретают не физические объекты (заводы, оборудование, компьютеры, транспортные средства и т. п.),

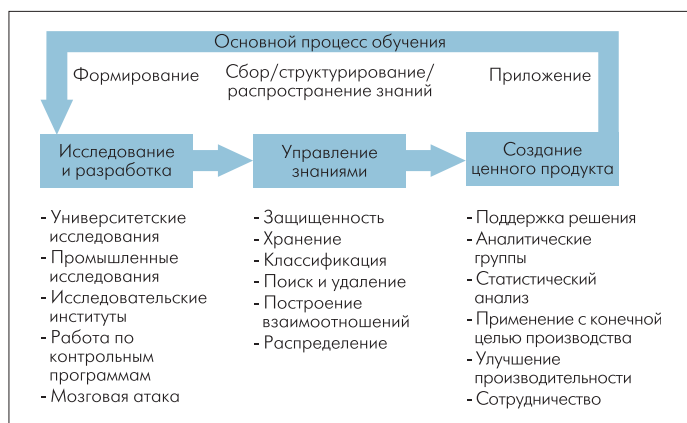


Рис.4. Цепь поставки знаний

а интеллектуальная собственность (ноу-хау, программное обеспечение, опыт, установившиеся связи, сформировавшееся доверие и т. п.).

СИСТЕМА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАНИЙ

На рис.4 представлена модель "сети поставок" знаний, которая должна управляться столь же эффективно, как и сеть поставок физических объектов, приведенная на рис.2. Для успешной деятельности комплексной заводской среды задачи завода должны быть тесно увязаны со средствами управления (рис.5). Объекты знаний должны распространяться автоматически или по команде между программами, между программами и работниками, между отдельными работниками или коллективами. Главная задача цепи поставок знаний – интеграция знаний различных источников, с тем чтобы, в первую очередь, обеспечить сотрудничество отдельных работников и коллективов. Организовать такое сотрудничество можно различными способами: по телефону, почте, телетайпу, телеграфу, электронной почте, с помощью видеоконференций. Сотрудничество, как ранее интеграция оборудования, – скрытая составляющая успеха.

Распространение знаний служит главной опорой для сотрудничества. В свою очередь сотрудничество, особенно при росте сложности производства и "рассеяния" заказчиков, поставщиков, заводов, рабочей силы и опыта по всему миру, – важное условие успешной работы завода. Очевидно, что разбросанные по миру крупные производственные предприятия должны сотрудничать и обмениваться информацией в случае возникновения проблем. Переговоры с поставщиками должны проводиться независимо от национальных и языковых границ. Для решения проблемы могут привлекаться различные специалисты, находящиеся в самых различных регионах мира. Появляется возможность быстрого решения проблемы коллективом, члены которого никогда не встречались, но могут тесно сотрудничать.

Таким образом, наличие системы распространения знаний – важный фактор, способствующий развитию высокотехнологичных промышленных комплексов и позволяющий устанавливать различие между лидером и "ведомым" или успехом и неудачей промышленного предприятия.

Несомненно, на развитие мировой полупроводниковой промышленности окажет влияние Международный полупроводниковый альянс (Global Semiconductor Alliance – GSA), образованный в 2007 году на основе Ассоциации компаний-разработчиков, не располагающих собственными производственными мощностями (Fabless Semiconductor Association – FSA). Главная задача Альянса – ускорить темпы развития мировой полупроводниковой промышленности и увеличить рентабельность инвестиций за счет стимулирования эффективной экосистемы, формируемой в ус-

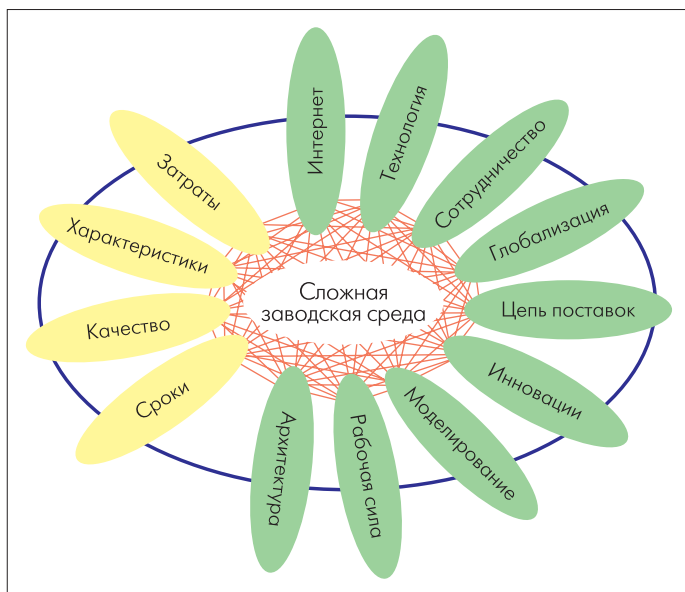


Рис.5. Для успешного функционирования комплексной заводской среды необходимо взаимодействие поставленных перед предприятиями задач (желтые эллипсы) и средств их реализации (зеленые эллипсы)

ловиях сотрудничества, интеграции, внедрения инноваций и принятия широкомасштабных решений, касающихся цепи поставок интеллектуальной собственности, средств САПР, обработки пластин, тестирования и корпусирования. Сейчас в GSA входят компании 25 стран.

ЛИТЕРАТУРА

Meieran E. From Atoms and Molecules to Information and Knowledge: New Driving Forces in Manufacturing.— 2006 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference, p.264–271.

Yario J. 2006 Top Fab Award: Texas Instruments and Chartered Semiconductor Manufacturing. – Semiconductor International Dec.1, 2006.

Mouli Ch. Next Generation Manufacturing Execution System (MES) enabling fully integrated fab automation in 300mm technology development and manufacturing. – Advanced Semiconductor Manufacturing Conference and Workshop, IEEE/SEMI, April 11–12, 2005, p. 77–85.

The International Technology Roadmap for Semiconductor– 2007, Final Draft.

Iwai H. Semiconductor Manufacturing Technology in the 21st Century. – International Symposium on VLSI Technology, Systems and Applications. April, 2006, p.1–17.

Mutschler A. FSA seeks to take on larger industry role: transitions to Global Semiconductor Alliance. – Electronic News, Dec.3, 2007.