

МИРОВАЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКА;

ЧЕМ МЕНЬШЕ РАЗМЕРЫ, ТЕМ КРУПНЕЕ ИГРОКИ

Современное состояние и перспективы развития мировой полупроводниковой промышленности зависят от ряда факторов. Первый – это продолжающееся изменение структуры промышленности. Традиционные вертикально интегрированные полупроводниковые фирмы, ведущие разработку, проектирование, производство и маркетинг микросхем (Integrated Device Manufacturers, IDM), все активнее вытесняются тандемом fabless-foundry. Укрепляются позиции фирм, занимающихся разработкой, проектированием и маркетингом микросхем (fabless), производимых на кремниевых заводах (foundries) или свободных мощностях IDM. Второй фактор – укрупнение существующих фирм и более активное сотрудничество компаний в области разработок новых поколений базовых процессов, что обусловлено их удорожанием по мере освоения все меньших топологических норм. Процесс консолидации связан с достижением полупроводниковой промышленностью этапа зрелости. В результате отрасль становится привлекательной для крупных вложений частного капитала, при этом акционерный характер полупроводниковых фирм меняется. Кроме того, освоение процессов обработки пластин диаметром 450 мм (одно из требований обеспечения развития полупроводниковой промышленности) в одиночку могут себе позволить лишь считанные крупные корпорации. И, наконец, новаторские продукты, так называемые "изделия-захватчики" (killer application, или killer apps), вытесняют традиционные продукты в ряде секторов рынка. Структура как рынка полупроводниковых приборов, так и рынка конечных электронных систем меняется.

М.Макушин

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЫНКА МИКРОСХЕМ ПО СЕКТОРАМ КОНЕЧНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Согласно прогнозам, среднегодовые темпы прироста рынка микроэлектроники в период с 2008 по 2012 год составят 8–11%. Это означает, что рынок находится в относительно стабильном состоянии. Правда, из-за его зависимости от продаж бытовой электроники существует определенная вероятность нарушения стабильности. Анализ рынка микроэлектроники по секторам конечного потребления показывает, что в ближайшие десять лет его структура существенно изменится. Так, доля микросхем для беспроводных средств связи вырастет с 14,9% в 2000 году до 27,4% в 2012-м.

Ожидается, что в 2007 году темпы прироста рынка микроэлектроники будут ниже показателей 2006-го и составят 2% (табл.1, 2). Динамика рынка микросхем для компьютерных систем в 2007 году будет сравнительно вялой, поскольку рост их продаж в натуральном выражении компенсируется снижением цен. Рынок микросхем для компьютерных систем в первую очередь зависит от цен на процессоры. Обостряющаяся конкуренция между основными их производителями – компаниями AMD и Intel – приносит потребителям значительные выгоды: цены на процессоры снижаются при непрерывном улучшении их характеристик. Растет потребность в процессорах с высокими рабочими характеристиками, что стимулирует разработку их перспективных конструкций и технологических процессов производства. При этом требования, предъявляемые производителями ноутбуков, многочисленной и весьма чувствительной к потребляемой микросхемой мощности категории компьютеров, стимулируют переход к 45-нм технологии. Ожидается, что в четвертом квартале 2007 года появятся первые процессоры с 45-нм проектными нормами, изготовленные компанией Intel.

Рынок компьютерной периферии, на котором представлено множество типов оборудования, сильно фрагментирован. Поскольку в последнее время в странах Азиатско-Тихоокеанского региона активно развивается конструирование новых систем, можно предположить, что в будущем в этом регионе возрастет объем потребления микросхем компьютер-

**Таблица 1. Структура рынка микросхем по конечному потреблению**

Тип систем	2000	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Вычислительные системы								
объем продаж, млрд. долл.	64,418	61,995	59,493	59,702	65,577	69,549	73,715	77,814
прирост/доля рынка, %	-/37,36	1,81/29,95	-4,04/28,18	0,35/26,11	9,84/25,85	6,06/24,89	5,99/24,08	5,56/23,28
Периферийное оборудование вычислительных систем								
объем продаж, млрд. долл.	14,849	19,872	20,394	22,180	24,683	26,853	29,357	31,821
прирост/доля рынка, %	-/8,61	8,15/9,60	2,63/9,66	8,76/9,70	11,29/9,73	8,79/9,61	9,33/9,59	8,39/9,52
Проводные средства связи								
объем продаж, млрд. долл.	25,218	14,842	15,179	16,555	18,595	20,649	22,776	25,102
прирост/доля рынка, %	-/14,63	10,56/7,17	2,28/7,19	9,06/7,24	12,32/7,33	11,05/7,39	10,30/7,44	10,21/7,51
Беспроводные средства связи								
объем продаж, млрд. долл.	25,681	45,104	49,338	56,981	63,497	72,594	81,705	91,484
прирост, %/доля рынка, %	-/14,89	18,74/21,79	9,39/23,37	15,49/24,92	11,43/25,03	14,33/25,98	12,55/26,69	11,97/27,37
Бытовая электроника								
объем продаж, млрд. долл.	29,629	44,897	45,749	49,939	55,455	61,166	67,103	73,502
прирост/доля рынка, %	-/17,18	8,86/21,69	1,90/21,67	9,16/21,84	11,05/21,86	10,30/21,89	9,71/21,92	9,54/21,99
Прочее								
объем продаж, млрд. долл.	12,627	20,286	20,964	23,300	25,876	28,613	31,470	34,528
прирост/доля рынка, %	-/7,32	9,72/9,80	3,34/9,93	11,14/10,19	11,05/10,20	10,58/10,24	9,98/10,28	9,72/10,33
ВСЕГО, млрд. долл.	172,422	206,996	211,119	228,656	253,683	279,424	306,126	334,251
Прирост, %	-	8,71	1,99	8,31	10,95	10,15	9,56	9,19

ной периферии. Ожидается, что рост продаж периферийного оборудования вычислительных систем в натуральном выражении, вызванный расширением их функциональных возможностей, будет сопровождаться падением цен на микросхемы этого типа. Отгрузки таких накопителей, как накопители на жестких дисках (HDD), в натуральном выражении будут снижаться из-за обострения конкуренции в секторе младших моделей со стороны схем флэш-памяти. Вот почему основной задачей изготовителей HDD станет увеличение емкости накопителей. Так, недавно компания Hitachi выпустила HDD емкостью 1 Тбайт (пять дисков).

Наблюдающийся рост продаж оптических запоминающих устройств, в том числе быстрое наращивание поставок таких накопителей большой емкости, как HD-DVD и Blu-ray (стандарт DVD высокой плотности записи), будет оказывать довольно слабое влияние на потребление микросхем в секторе компьютерной периферии.

Продажи принтеров в натуральном выражении практически не изменятся, поэтому, несмотря на их растущие функциональные возможности, потребление микросхем для них вырастет незначительно.

Что касается рынка микросхем памяти, объем их продаж в первую очередь будет определяться ростом потребности в них систем с ОС Windows Vista. При этом существенный удельный (в пересчете на бит) прирост продаж микросхем памяти будет сопровождаться снижением цен на них. Правда, говорить об устойчивом снижении цен на ДОЗУ нельзя, поскольку они зависят от соотношения производственных мощностей, выделенных для изготовления динамической и флэш-памяти NAND-типа*. По мере быстрого падения цен на флэш-

*Мощности ведущих изготовителей схем памяти создавались с расчетом возможности их перевода в случае необходимости на производство более востребованных микросхем – с ДОЗУ на флэш и наоборот.

память NAND-типа эти мощности, очевидно, будут переведены на производство ДОЗУ, что приведет к "размягчению" цен последних.

Рынок микросхем для беспроводных средств связи в 2007 году продемонстрирует относительно высокий рост в стоимостном выражении, несмотря на некоторое уменьшение спроса на них со стороны поставщиков мобильных телефонов. Это объясняется наращиванием функциональных возможностей микросхем.

Устойчивый рост в 2007 году демонстрируют микросхемы для средств связи третьего поколения. При этом начинают расти продажи микросхем для устройств стандарта WiMAX. Рост будет наблюдаться и в других секторах рынка беспроводных средств связи – систем стандартов Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee и MediaFLO (позволяющего получать видеоизображение высокой четкости).

Для сегмента рынка микросхем для бытовой электроники наблюдается сравнительно устойчивый рост, однако он может быть весьма нестабильным из-за интенсивного давления цен в различных его секторах. На этом рынке доминируют страны АТР, где производство микросхем малозатратно. В этом секторе помимо предложения конкурентоспособных по цене продуктов важно иметь доступ к портфелю IP-блоков и поддерживать развитую систему материально-технического обеспечения.

Рынок микросхем для бытовой электроники в рассматриваемый период останется одним из крупнейших сегментов мирового рынка микроэлектроники. При этом расширяющееся применение в бытовой технике мультимедийных платформ и процессоров с высокими рабочими характеристиками приведет к перекрытию рынков микросхем для бытовой электроники и вычислительной техники. Так, ожидается существен-

Таблица 2. Структура рынка ИС по типам изделий

Сектор рынка	2000	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Микропроцессоры								
объем продаж, млрд. долл.	30,124	34,927	35,966	39,426	43,437	47,364	52,183	58,147
прирост/доля рынка, %	9,43/17,47	-0,41/16,87	2,97/17,04	9,62/17,24	10,17/17,12	9,04/16,95	10,18/17,05	11,43/17,40
Микроконтроллеры, \$ млрд.								
объем продаж, млрд. долл.	12,372	12,472	11,983	12,566	13,663	14,611	15,710	17,005
прирост/доля рынка, %	28,30/7,18	1,93/6,03	-3,92/5,68	4,87/5,50	8,73/5,39	6,94/5,23	7,52/5,13	8,25/5,09
ЦОС-процессоры								
объем продаж, млрд. долл.	5,974	8,843	9,311	10,544	11,806	13,042	14,280	15,743
прирост/доля рынка, %	33,32/3,46	8,54/4,27	5,30/4,41	13,24/4,61	11,96/4,65	10,47/4,67	9,49/4,66	10,25/4,71
ASIC на стандартных элементах, \$млрд.								
объем продаж, млрд. долл.	13,241	8,627	8,737	9,198	9,647	10,102	10,559	10,996
прирост/доля рынка, %	21,77/7,68	6,40/4,17	1,27/4,14	5,28/4,02	4,88/3,80	4,71/3,62	4,53/3,45	4,14/3,29
Структурированные ASIC								
объем продаж, млрд. долл.	0	0,141	0,196	0,251	0,302	0,357	0,410	0,464
прирост/доля рынка, %	-/0	39,05/0,07	39,27/0,09	27,62/0,11	20,43/0,12	18,28/0,13	14,86/0,13	13,15/0,14
ASIC на вентилях матрицах								
объем продаж, млрд. долл.	1,592	0,343	0,250	0,171	0,121	0,045	0,027	0,003
прирост/доля рынка, %	-12,58/0,92	-28,09/0,17	-27,18/0,12	-31,47/0,07	-29,16/0,05	-62,74/0,02	-41,27/0,01	-87,65/0,00
Программируемая логика								
объем продаж, млрд. долл.	3,635	3,447	3,745	4,229	4,796	5,381	6,025	6,739
прирост/доля рынка, %	35,43/2,11	12,46/1,67	8,64/1,77	12,93/1,85	13,41/1,89	12,19/1,93	11,97/1,97	11,86/2,02

ное увеличение объема поставок в натуральном выражении игровых приставок для домашних мультимедийных платформ с межсетевыми интерфейсами. В результате может усилиться конкуренция между такими приставками и персональными компьютерами, поскольку оба поддерживают доступ к Интернету и мультимедийному контенту.

Что касается платформ HD-DVD и Blu-ray, то в 2007 году рост их отгрузок будет сдерживаться из-за недостатка дисков с фильмами, аудио/видеоклипами, энциклопедиями и т.п. Наличие на рынке поставщиков микросхем, поддерживающих оба протокола (таких, как компания LG Electronics), облегчает потребителям выбор таких платформ.

ОСВОЕНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПО МЕРЕ УМЕНЬШЕНИЯ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ НОРМ: ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Основная проблема освоения новых технологий – значи-

Таблица 3. Средние затраты на создание шаблона/промежуточного шаблона

Минимальная ширина линии микросхемы, мкм	Стоимость шаблона, тыс. долл.	
	Критический шаблон*	Некритический шаблон**
>0,8	0,5–1,2	0,5–1,2
0,8–0,5	2,0	2,0
0,35	4,0	2,0
0,25	6,0	4,0
0,18	14,0	10,0
0,13	24,0	18,0
0,09	60,0	40,0
0,065	120,0	80,0
0,045	250,0–300,0	160,0–200,0

Примечание. *Шаблоны с топологическими элементами, отвечающие критичным требованиям рассматриваемого поколения технологического процесса. **Шаблоны, используемые на операциях, не являющихся критичными при формировании основных топологических элементов (например, при пассивации).

тельный рост стоимости технологического процесса, включая стоимость его отдельных операций, например операции создания шаблонов (табл.3). Эти проблемы во многом связаны и с необходимостью снижения тока утечки и потребляемой мощности. При топологических нормах менее 65 нм около 70% потребляемой мощности обусловлено током утечки. И по мере масштабирования эта проблема обостряется.

Решение проблемы уменьшения токов утечки недавно предложила корпорация Mears Technologies. В структуру транзистора добавлена встраиваемая суперрешетка, которая позволяет току течь в горизонтальной плоскости транзистора, блокируя перпендикулярный каналу ток. Утверждается, что такая решетка типа "кремний-на-кремнии" может снизить ток утечки на 70–90% и одновременно увеличить ток канала.

Согласно данным Международной программы развития технологии полупроводниковых приборов (International Technology Roadmap for Semiconductors, ITRS), за период 2007–2012 годы число маскируемых шаблонов при изготовлении ДОЗУ увеличится с 24 до 26, микропроцессора – с 33 до 35. А в 2012 году начнется промышленное освоение пластин диаметром 450 мм.

Пока не существует известных технологических решений формирования микросхем с размерами элементов ДОЗУ и флэш-памяти 45 и 40 нм, соответственно (появление которых планируется на 2010 год). Нет технологических решений для процессов получения в микросхемах памяти ширины контактов после травления 57 нм (прогнозируемый уровень 2008 года, современный уровень – 64 нм), в схемах микропроцессоров – 51 нм (прогнозируемый уровень 2010 года). Не разработаны методы контроля критичных размеров схем памяти с точностью до 3,7 нм (ожидаемый уровень 2012 года), схем микропроцессоров – 2,6 нм (современный уровень).



Тем не менее, разработки новых технологий дают надежду на то, что решения этих проблем будут найдены. Так, фирма Hewlett-Packard объявила о разработке прорывной технологии, позволяющей создавать FPGA с плотностью размещения элементов, в восемь раз превосходящей этот показатель современных FPGA. По утверждению разработчиков, при одной и той же вычислительной мощности новая микросхема будет потреблять меньшую, чем современные приборы, мощность. Предлагаемая технология, названная "программируемое пользователем нанопроводное межсоединение (Field Programmable Nanowire Interconnect, FPNI), предусматривает размещение наноразмерного матричного переключателя в верхнем слое КМОП-микросхемы, изготовленной по стандартной технологии.

А ученые Университета Альберта (Канада) разработали метод получения элементов с топологическими размерами 10 нм. Это выше норм, прогнозируемых ITRS на 2020 год. С помощью стандартного литографического оборудования сначала создаются канавки глубиной 30 нм и шириной 1,38 мкм для шины разводки. Затем на базе "самособирающихся" блоков сополимеров в них формируются 10-нм параллельные линии с шагом 36 нм.

IDM, ПРОЩАЙТЕ...?

Основа экономической модели IDM – массовое производство полупроводниковых приборов для устройств широкого потребления, таких как ПК, аудио/видеотехника, средства связи, бытовая электроника и т.п. Стоимость полупроводниковых заводов постоянно растет, и сегодня этот сектор представлен относительно небольшим числом крупных корпораций: Intel, Texas Instruments, Micron, NEC, Toshiba, Samsung (основные поставщики микросхем процессоров и памяти), VLSI, LSI Logic (поставщики специализированных схем, ASIC). На них приходится более 70% мировых продаж полупроводниковых приборов. Микросхемы для более узких применений традиционно проектируются fabless-фирмами и изготавливаются на кремниевых заводах. Сектор fabless-фирм представлен изготовителями FPGA, микросхем для средств связи, телекоммуникационных систем и т.п. – Qualcomm, Altera, Xilinx и Lattice, а также множеством малых фирм, основанных инженерами-конструкторами, покинувшими крупные компании.

В 1970-е годы, когда изготовители материалов и оборудования, ранее входившие в корпоративные структуры, полупроводниковых фирм выделились в самостоятельные отрасли, начался процесс изменения структуры полупроводниковой промышленности. И вот уже более 15 лет происходит дезинтеграция сформировавшейся в 1970-е годы структуры полупроводниковой промышленности, а именно переход от вертикальной интеграции к горизонтальной. Каждая операция изготовления полупроводниковых приборов становится самостоятельным этапом. Первая стадия дезинтеграции на-

чалась в конце 1980-х годов и характеризовалась разделением этапов разработки и производства изделий микроэлектроники. Началось ускоренное развитие индустрии fabless-фирм, что стимулировало быстрое наращивание мощностей кремниевых заводов. Вторая стадия дезинтеграции пришлась на конец 90-х годов. Одной из ее отличительных черт стало бурное развитие индустрии независимых поставщиков сложных электронных блоков, так называемой интеллектуальной собственности (IP). Появление систем на кристалле (SoC), систем в корпусе (SiP), многокристальных модулей и т.п. значительно увеличило нагрузку разработчиков. Возникла необходимость в верифицированных IP-блоках (для упрощения конструирования многофункциональных микросхем), разрабатываемых независимыми поставщиками. На этой стадии кремниевые заводы начинают играть ключевую роль в предоставлении IP-блоков и обеспечивают ускоренный переход к конструированию микросхем с меньшими топологическими нормами. Действительно, сегодня "чистые" кремниевые заводы располагают новейшими технологическими процессами, современной производственной базой для выпуска микросхем со все меньшими топологическими нормами. А это позволяет многим компаниям обходиться без собственного производства. Таким образом, формировалась новая модель полупроводниковой промышленности, согласно которой на fabless-фирмы приходится функции разработки различных IP-блоков и объединения их в систему, на кремниевые заводы – производство микросхем, на изготовителей комплектного оборудования (OEM) и контрактных производителей – производство конечных электронных систем.

Сегодня, по мере перехода к 45-нм технологии, процесс изменения структуры полупроводниковой промышленности обретает новые черты. Далеко не все IDM намерены по-прежнему одновременно владеть заводами по производству изделий микроэлектроники и самостоятельно разрабатывать новые базовые технологические процессы. Так, в январе 2007 года руководство корпорации Texas Instruments приняло решение отказаться от дорогостоящего производства логических схем и положиться на процессы своих foundry-партнеров. Разработка собственных процессов будет прекращена на уровне 45-нм топологических норм, а привлечение кремниевых заводов начнется с уровня топологических норм 32 нм и менее. Считается, что это позволит корпорации сэкономить значительные средства как на разработке технологических процессов, так и на строительстве заводов, и сосредоточиться на получении добавленной стоимости в процессе проектирования микросхем. Фактически, Texas Instruments через этап "модели легких активов" – fablite (fab-lite) переходит к fabless-модели, по крайней мере в области цифровых приборов. Стратегия fablite предусматривает производство на собственных мощностях только новейших микросхем (с высокой добавленной стоимостью) по наиболее передо-

Таблица 4. Структура рынка кремниевых заводов по топологическим нормам

Топологическая норма	2000	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
≤65 нм								
объем продаж, млрд. долл.	0	0,243	1,175	4,584	7,963	12,342	17,948	24,137
прирост/доля рынка, %	-/0	н/д/1,1	383,5/4,8	290,1/16,8	73,7/26,0	55,0/36,3	45,4/46,7	34,5/55,4
90 нм								
объем продаж, млрд. долл.	0	3,621	7,032	7,986	9,018	9,117	9,006	8,963
Прирост/доля рынка, %	-/0	159,6/16,8	94,2/28,8	13,6/29,2	12,9/29,4	1,1/26,8	-1,2/23,5	-0,5/20,6
0,13 мкм								
объем продаж, млрд. долл.	0	6,296	5,698	5,204	5,064	4,917	4,793	4,506
прирост/доля рынка, %	-/0	31,9/29,3	-9,5/23,4	-8,7/19,0	-2,7/16,5	-2,9/14,5	-2,5/12,5	-6,0/10,3
0,15 мкм								
объем продаж, млрд. долл.	0,151	2,175	2,071	1,965	1,783	1,627	1,523	1,407
прирост/доля рынка, %	-/1,2	-4,7/10,1	-4,8/8,5	-5,1/7,2	-9,3/5,8	-8,7/4,8	-6,4/4,0	-7,6/3,2
0,18 мкм								
объем продаж, млрд. долл.	0,977	4,092	3,634	3,208	2,875	2,422	2,016	1,863
прирост/доля рынка, %	-/7,8	-2,7/19,0	-11,2/14,9	-11,7/11,7	-10,4/9,4	-15,8/7,1	-16,8/5,3	-7,6/4,3
0,25 мкм								
объем продаж, млрд. долл.	3,412	1,981	1,869	1,676	1,509	1,347	1,226	1,093
прирост/доля рынка, %	-/27,1	-12,6/9,2	-5,7/7,7	-10,3/6,1	-10,0/4,9	-10,7/4,0	-9,0/3,2	-10,8/2,5
0,35 мкм.								
объем продаж, млрд. долл.	5,092	1,874	1,722	1,634	1,481	1,297	1,148	0,997
прирост/доля рынка, %	-/40,5	-4,9/8,7	-8,1/7,1	-5,1/6,0	-9,4/4,8	-12,4/3,8	-11,5/3,0	-13,2/2,3
>0,35 мкм								
объем продаж, млрд. долл.	2,949	1,236	1,194	1,078	0,964	0,892	0,736	0,610
прирост/доля рынка, %	-/23,4	-1,2/5,7	-3,4/4,9	-9,7/3,9	-10,6/3,1	-7,5/2,6	-17,5/1,9	-17,1/1,4
Рынок кремниевых заводов, всего	12,581	21,518	24,395	27,335	30,657	33,961	38,396	43,576
прирост/доля рынка, %	-/7,30	18,6/10,40	13,4/11,56	12,1/11,95	12,2/12,08	10,8/12,15	13,112,54/	13,5/13,04
Рынок микросхем в целом, млрд. долл.	172,422	206,996	211,119	228,656	253,683	279,424	306,126	334,251
прирост, %	-	8,7	2,0	8,3	10,9	10,1	9,6	9,2

вым процессам (топологические нормы до 90–65 нм). Производство схем со средним и меньшим уровнями добавленной стоимости передается сторонним фирмам в рамках модели fables–foundry. Переход к 45-нм топологиям и менее по стратегии fablite предусматривает сохранение своих наиболее передовых и экономически эффективных производств, отказ от строительства собственных заводов под новые нормы в пользу все той же модели fables–foundry. Такая стратегия – промежуточный этап процесса перехода от IDM к fables–фирме.

Однако в результате такого перехода Texas Instruments теряет одно из своих преимуществ (собственные базовые технологические процессы, которые передаются кремниевым заводам в обмен на снижение цены изготавливаемой для Texas Instruments продукции) перед традиционными fables–конкурентами типа компании Qualcomm. Традиционными партнерами Texas Instruments были такие кремниевые заводы, как Taiwan Semiconductor Manufacturing Co. (TSMC), United Microelectronics Corp. (UMC) и Semiconductor Manufacturing International Corp (SMIC). За счет их мощностей корпорация в зависимости от конъюнктуры рынка наращивала или снижала объемы производства (в дополнение к своим мощностям). Теперь вместо разработки собственных базовых технологий Texas Instruments будет работать совместно с foundry–партнерами над детализацией и продвижением следующих поколе-

ний технологических процессов изготовления цифровых микросхем. Правда, Texas Instruments продолжит выпуск продукции по этим технологиям на своих оставшихся мощностях.

По оценке банка ABN-Amro, решение Texas Instruments может повлиять на электронную промышленность стран Западной Европы. Такие фирмы, как Infineon Technologies, CSR и Wolfson Microelectronics уже относительно хорошо подготовились к изменению структуры промышленности, тогда как более "старые" компании – STMicroelectronics, ARM Holdings – готовы к нему в меньшей степени. Политика Texas Instruments отражает тот факт, что кремниевые заводы в большей или меньшей степени догнали IDM и владение технологическими процессами и производственными предприятиями перестает быть преимуществом последних. Действительно, уровень освоения передовых технологий ведущими кремниевыми заводами выше, чем по отрасли в целом (табл. 4, 5).

Аналитики отмечают, что решение Texas Instruments принято на основании информации о намерениях фирмы Nokia сократить объем заказов микросхем и увеличить применение стандартных чипсетов. Речь идет о создании открытых конструкций телефонов Nokia на базе стандартных цифровых и ВЧ-микросхем. Переход к открытым платформам предоставляет таким фирмам, как Wolfson Microelectronics возможности обслуживания компаний Nokia, Sony, Ericsson и Motorola на основе моделей OEM- или ODM- (изготовитель из-

**Таблица 5. Структура продаж ведущих кремниевых заводов по топологическим нормам микросхем за первые девять месяцев 2006 года**

Топологическая норма, мкм	TSMC		UMC		SMIC		Chartered		Всего	
	объем продаж, млн. долл.	доля, %								
≤0,090	1698	22,7	402	16,8	19	1,9	270	25,2	2389	19,9
0,13	1966	26,3	536	22,4	486	44,9	280	26,0	3268	27,2
0,15/0,18	2418	32,3	768	32,1	470	43,4	150	13,9	3806	31,6
0,25/0,35	1022	13,7	477	19,9	106	9,8	268	24,9	1873	15,6
Более 0,35	374	5,0	208	8,8	-	-	108	10,0	690	5,7
ВСЕГО	7478	100	2391	100	1081	100	1076	100	12026	100

деля по оригинальному проекту, а не по лицензии) аутсорсинга. Фактически, один из важнейших заказчиков Texas Instruments планировал перевод на аутсорсинг большей части своего бизнеса в области мобильных телефонов.

Решение Texas Instruments может повлиять и на другие IDM, такие как STMicroelectronics, чей портфель IP-блоков и системных программ, особенно в области беспроводных систем, невелик. Соответственно, от STM потребуются значительные инвестиции в НИОКР и/или затраты на поглощение фирм, обладающих необходимыми технологиями. Таким образом, нынешняя бизнес-модель STM мало приспособлена к современной обстановке, что вызывает опасения относительно положения фирмы в среднесрочной перспективе. Ее положение осложняет и ситуация с исследовательским консорциумом Crolles2 Alliance (срок завершения его деятельности – конец 2007 года), из состава которого вышли партнеры STM – NXP Semiconductors и Freescale Semiconductor. В результате следующий этап исследований в области разработки новейших процессов STMicroelectronics придется вести только за свой счет. Правда, руководство TSMC объявило, что этот кремниевый завод останется членом Crolles2 Alliance, по крайней мере в краткосрочной перспективе, и сохранит связи и с вышедшими из альянса фирмами.

Уход Texas Instruments из сферы разработки новейших технологических процессов также негативно повлияет на ARM Holdings, лицензиара процессов изготовления микросхем и IP-блоков процессоров. Похоже, что технологические процессы будут разрабатывать всего пять–шесть крупных IDM и кремниевых заводов, а также один–два консорциума, в которые войдет большое число фирм различного профиля. В связи с этим ARM ожидает, что ее бизнес по обслуживанию IDM IP-блоками в следующие пять лет может прекратиться. В текущем году о возможности выхода из IDM-модели заявили еще ряд фирм, включая Infineon, STMicroelectronics.

Что предстоит пережить кремниевым заводам и fabless-фирмам? В 2007 году стратегии обеспечения высоких прибылей при освоении 65-нм технологии будут существенно отличаться от стратегий, характерных для 90-нм

технологий. Топологические нормы 65 нм будут преимущественно освоены при производстве цифровых микросхем с крупными блоками встраиваемой памяти. А по 90-нм технологиям начнется ускоренное освоение производства аналоговых ВЧ-схем и схем смешанной обработки сигнала. Возрас-

Факторы, определяющие foundry-бизнес на каждом из технологических поколений

90 нм

Объем отгрузок обработанных пластин к концу 2007 года будет значительным. Специализированные технологические процессы будут поддерживаться при возможности получения премиальной цены (цены товара или услуги, установленные на более высоком уровне, чем цены сходных товаров/услуг, установленные конкурентами, например цена за товары/услуги с уникальными свойствами или на товары под торговой маркой, представляющей интерес для потребителей). В 2007 году будут быстро развиваться 90-нм технологии ВЧ КМОП-схем, поточно-массовое производство которых планируется освоить в 2008-м. Начнется и освоение производства КМОП-микросхем смешанной обработки сигнала. Намечается тенденция к выполнению по этой технологии специализированных микросхем

65 нм

Объем отгрузок обработанных пластин к концу 2007 года будет большим. Основные поставщики – фирмы TSMC, UMC, Chartered, Samsung и Fujitsu. Для многих фирм затраты на запуск заводов по производству микросхем с 65-нм нормами окажутся выше, чем ожидалось. Их конкурентоспособность в сфере 45-нм технологий будет ослаблена. Технологии уровня 65 нм достигнут зрелости в 2008 году, но освоение их производства потребует жесткого контроля параметров процесса.

45 нм

Необходим переход 65-нм мощностей на литографию с повышенной разрешающей способностью. Перевод оборудования на 45-нм технологии, похоже, будет происходить медленнее, чем на 65-нм технологию, из-за проблем с токами утечки и литографией. TSMC, UMC и Chartered (при поддержке IBM) перейдут на этот уровень технологии при производстве логических микросхем не позднее 2009 года. В освоении 45-нм технологии будут участвовать и компании Samsung и Fujitsu.

32 нм

Стоимость освоения мощностей по обработке пластин может достигать 8–10 млрд. долл., стоимость разработки процесса – 1 млрд. долл. При цене обработанной пластины 10 тыс. долл. и выпуске 30 тыс. пластин в месяц доходы от кремниевого завода могут достичь 3,6 млрд. долл. Единственная "чистая" кремниевая фирма-foundry с достаточными финансовыми ресурсами для строительства такого завода без поддержки извне – TSMC.

тет необходимость поддержки этих конструкций библиотеками элементов и IP-блоками.

По данным исследовательской фирмы IC Insights, доля доходов fabless-фирм в 2006 году составила 20% от мирового рынка изделий микроэлектроники. Это вдвое выше показателя 2000 года. В 2011 году доля fabless-фирм на мировом рынке, по оценкам, составит как минимум 25%. Эта тенденция может усилиться, если крупные фирмы, такие как LSI Logic и Agere Systems, продолжат в ближайшие годы переход к fabless- и fablite-стратегиям. Согласно последнему изданию ежегодника The MoClean Report аналитической компании IC Insights, доходы fabless-фирм в 2006 году увеличились на 16% по сравнению с 9%-ным ростом рынка микроэлектроники в целом. Таким образом, с учетом продаж кремниевых заводов, на модель fabless-foundry в 2006 году пришлось более 30% доходов от продаж полупроводниковых приборов. Ожидается, что в 2011 году этот показатель приблизится к 40%. Однако, по мнению ряда экспертов, реальная доля кремниевых заводов выше, поскольку существенная часть IDM пользуется услугами кремниевых заводов. Соответственно, из-за сокращения числа IDM рыночная доля fabless-foundry к 2011 году может превысить 50%.

Как отмечается, за время существования в структуре полупроводниковой промышленности fabless-фирм темпы их роста были существенно выше, а размеры спада менее болезненны, чем рынка микроэлектроники в целом. Так, в период 1998–2006 годы среднегодовые темпы прироста продаж на рынке микроэлектроники составляли 9%, а темпы прироста продаж fabless-фирм почти в три раза превысили этот показатель. В целом, продажи fabless-фирм за упомянутый период увеличились в шесть раз (с 7,3 млрд. до 42,3 млрд. долл.) при увеличении общего объема продаж микросхем всего на 93% (со 109,1 млрд. до 211 млрд. долл.).

Foundry-поставщикам придется точно подстраивать свои стратегии под специфические специализированные процессы обработки пластин каждого технологического уровня. Необходимость разработки таких специализированных процессов повышает затраты foundry-бизнеса, а также требует тесной взаимосвязи между проектировщиками и технологами, т.е. их насущная задача – вовлечение заказчиков в эти работы. Для того чтобы заводы по обработке 300-мм пластин могли функционировать с высокими коэффициентами использования мощностей, нужны достаточно крупные объемы поставок пластин.

Высокие прибыли из foundry-бизнеса смогут извлекать фирмы с уникальными технологическими процессами, способные получать премиальную цену (т.е. коэффициент валовой доходности выше 40%). Возрастающая стоимость разработки перспективных технологических процессов под 65-нм и 45-нм технологии, а также потребность в специализированных процессах обработки пластин для зрелых технологий означают, что foundry-поставщикам не обойтись без партнерс-

ких соглашений с другими фирмами в целях распределения затрат на разработку технологий перспективных с точки зрения спроса микросхем.

Чтобы кремниевый завод мог отчислять 10% своих доходов на НИОКР* по разработке 45-нм базового технологического процесса, его прибыль должна составлять 5,5 млрд. долл., а для разработки 32-нм технологии – 8,0 млрд. долл. С переходом к 32-нм технологии стоимость завода по обработке пластин может составить от 8 млрд. до 10 млрд. долл. Заводу с производственными мощностями стоимостью 9 млрд. долл. нужно ежегодно выпускать продукцию на сумму ~3,6 млрд. долл. с начислением 50%-ной амортизации на стоимость пластины. Столь крупное увеличение затрат на разработку технологического процесса требует и капиталовложений в поддерживающую инфраструктуру (чистые комнаты, новейшее оборудование и т.п.). При этом новейшие технологические процессы осваиваются задолго до того, как с их помощью будут получены реальные доходы.

КОНСОЛИДАЦИЯ ОТРАСЛИ, ВОЗНИКНОВЕНИЕ "ЭКОСИСТЕМ"

Быстрая реализация продуктов, выполненных по новейшим технологиям, требует поддержки секторов рынка конечного потребления. Этим секторам нужен большой объем поставок при достаточно коротком цикле разработка–массовое производство микросхем (например, схем памяти). Необходимость тесной связи между проектировщиками и технологами стимулирует формирование так называемой экосистемы (сообщества фирм, объединенных не только общей программой НИОКР, как консорциум, но и устойчивыми технологическими и производственными связями). Экосистема должна эффективно поддерживать проектирование с обеспечением возможности непосредственной (прямой) передачи изделия в производство (Design-For-Manufacturing, DFM). По мере того, как связь между проектировщиками и технологами становится теснее, растет стратегическая ценность экосистемы. Правда, при формировании экосистемы необходимо помнить о поставщиках инструментальных средств САПР. Ожидается, что экосистемы будут формироваться вокруг специфических DFM-возможностей (ключевой проблемой станет уменьшение тока утечки и соответственно снижение потребляемой мощности) и включать заводы-поставщики, их стратегических партнеров-заказчиков, а также поставщиков инструментальных средств проектирования. Примером наиболее развитой экосистемы можно считать сообщество IBM и ее партнеров (см. рисунок). IBM ежегодно получает от своих технологических партнеров от 400 млн. до 600 млн. долл., что позволяет компании оставаться одним из мировых лидеров в области технологических процессов. Тем не менее, экосистема IBM нуждается в расши-

*Затраты на НИОКР в полупроводниковой промышленности в среднем составляют ~20% доходов от продаж.



рении, в частности, за счет поддержки дополнительных DFM-возможностей, касающихся уменьшения токов утечки.

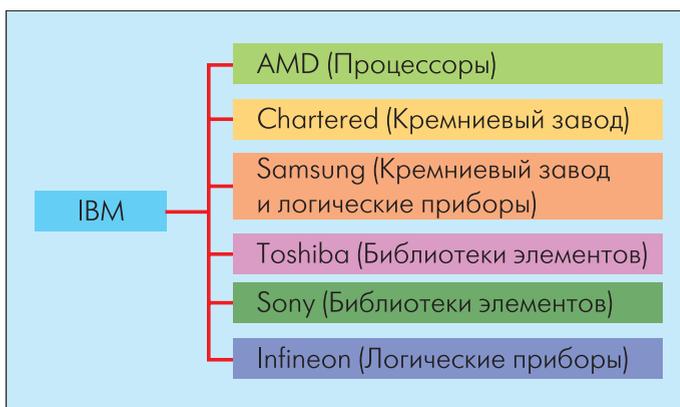
Как ожидается, создать мощности для обработки пластин по 32-нм технологии сможет очень небольшое число кремниевых заводов (два–три), что весьма рискованно в плане обеспечения поставок микросхем. Кремниевым заводам с более зрелыми технологиями для повышения доходности придется либо добиваться повышения коэффициента использования производственных мощностей, либо переключаться (полностью или частично) на выпуск других видов продукции – в первую очередь MEMS и солнечных элементов.

Таким образом, продолжающийся процесс изменения структуры полупроводниковой промышленности, обусловленный непрерывным увеличением затрат на разработку новых поколений технологических процессов, производственного оборудования и т.п., приведет в среднесрочной перспективе к существенной консолидации производственной базы отрасли. На уровне новейших технологий база будет представлена небольшим числом компаний-foundries с их fabless-партнерами, а также крайне ограниченным кругом IDM. Микросхемы по более зрелым топологиям будут производить меньше, чем сейчас, число укрупненных (путем слияний/поглощений) фирм. Процесс консолидации кремниевых заводов уже идет – в прошлом году немецкий кремниевый завод X-Fab поглотил малазийскую фирму 1st Silicon.

Важно отметить быстрый рост секторов рынка, контролируемых китайскими кремниевыми заводами (которые, как и на Тайване, создавались с участием государства). Корпорация SMIC уже второй год подряд занимает третье место в рейтинге "чистых" кремниевых заводов, обогнав сингапурскую компанию Chartered. При этом она серийно выпускает 90-нм микросхемы и приступила к освоению 65-нм процессов.

Еще одно важное структурное изменение – выкуп фирм за счет кредита, т.е. покупка контрольного пакета акций фирмы, финансируемая выпуском новых акций или с помощью кредитов, которые должна погасить сама фирма (обеспечением служат ее активы). Такой выкуп иногда производят, если предполагается ликвидировать компанию и заработать на распродаже ее активов.

В 2006 году объем выкупа фирм за счет кредита превысил 27 млрд. долл. На сделку по образованию компании Freescale было потрачено 17,6 млрд. долл., NXP – более 10 млрд. долл. Фирмы, специализирующиеся на операциях с частными акциями, ожидают, что прибыли помогут увеличить стоимость поглощенных фирм. При этом поглощаемые фирмы из акционерных становятся частными. Это, кстати говоря, один из признаков того, что полупроводниковая промышленность стала более зрелой, экономически стабильной и привлекательной для инвестиций (действительно, со времени кризиса 2001 года, когда общий объем продаж полупроводниковых приборов упал бо-



Экосистема компании IBM

лее чем на 30%, уже необычно длительный период наблюдается рост продаж). В 2007 году эта тенденция продолжится и, возможно, по итогам года можно будет говорить об общем объеме сделок по слиянию/поглощению полупроводниковых фирм более чем 100 млрд. дол. Среди возможных сделок можно назвать поглощение фирмой STMicroelectronics корпорации Infineon Technology. При хорошей окупаемости этих операций, даже с использованием долговых обязательств, оценка стоимости приобретенных фирм должна значительно вырасти.

ПЕРЕХОД К ОБРАБОТКЕ ПЛАСТИН БОЛЬШЕГО ДИАМЕТРА – КОМУ И ЗАЧЕМ ЭТО НУЖНО?

Освоение обработки пластин большого диаметра вызвано, прежде всего, экономическими соображениями. Так, на 300-мм пластине, по сравнению с 200-мм пластиной, можно разместить почти в 2,5 раза больше микросхем. В итоге, как показывает опыт компании Infineon Technologies, удельные затраты на производство одной микросхемы ДОЗУ емкостью 256 Мбит оказываются на 30% ниже, чем для аналогичной структуры, производимой на 200-мм пластинах.

Существуют и другие оценки эффективности обработки 300-мм пластин. По данным журнала Solid State Technology, эффективность производственных линий по обработке 200- и 300-мм пластин можно сравнивать, исходя из следующего:

- оцениваемые линии ежемесячно обрабатывают 20 тыс. пластин;
- затраты на средства обработки 300-мм пластины увеличиваются в 1,3 раза по сравнению с затратами на обработку 200-мм пластин;
- стоимость пластины при переходе от 200-мм к 300-мм диаметрам увеличивается в 3,7 раза.

И в этом случае в зависимости от площади себестоимость формируемой на 300-мм пластине схемы уменьшается более чем на 30%.

Фирмы, первыми перешедшими на обработку пластин большого диаметра и поточно-массовый выпуск микросхем по новым технологиям, получали значительные конкурентные преимущества. Переход на обработку 300-мм пластин

начался в 2000–2001 годах. В 2006 году на них пришлось более 25% общего объема поставок кремниевых пластин (в пересчете на площадной эквивалент 200-мм структур). В 2008–2009 годы ожидается увеличение доли 300-мм пластин в общем объеме поставок до 50%.

Однако по мере увеличения диаметра обрабатываемых пластин растет и стоимость их обработки. Так, обработка 200-мм пластин для отрасли в целом была освоена одной фирмой – Texas Instruments. А для выработки стандартов и доконкурентной разработки базовой технологии обработки 300-мм пластин в рамках консорциума Sematech (Сегодня члены Sematech – компании Advanced Micro Devices, Hewlett-Packard, IBM, Infineon, Intel, Matsushita, Micron, NEC, NXP, Qimonda, Renesas, Samsung, Spansion, TSMC и Texas Instruments) проводилась программа Initiative 300 International (I300I). Значительная часть первых 300-мм заводов были совместными предприятиями, что позволило распределить и снизить затраты на освоение новой технологии. Действительно, стоимость новых 200-мм производств составляет 0,8–1,0 млрд. долл., а 300-мм заводов – 1,5–3,0 млрд. долл.

В прошлом году Sematech предложил план перехода на обработку пластин диаметром 450 мм, который поддержали многие изготовители, в том числе и поставщики оборудования для полупроводниковой промышленности. Программа перехода консорциума на 300-мм пластины 300mmPrime предусматривает улучшение действующих 300-мм заводов (минимум по 25 показателям), а в будущем – и заводов по обработке 450-мм пластин. Речь идет о совершенствовании последовательной обработки единичных пластин и создании непосредственных интерфейсов между носителями пластин и инструментальными средствами предприятия.

В 2007 году Sematech представил план Международной производственной инициативы Sematech (International Sematech Manufacturing Initiative, ISMI) – ISMI 450mm, призывающий изготовителей микросхем в период 2012–2014 годы непосредственно перейти от современных 300-мм производств к 450-мм заводам. Изготовители полупроводникового оборудования, до сих пор не оправившиеся от затрат на НИОКР по переходу к обработке 300-мм пластин, находят много причин для критики плана. Основной вопрос – кто будет финансировать разработку оборудования следующего поколения, и нужен ли вообще такой переход. Некоторые полагают, что консорциум в который входят крупные фирмы, попытается использовать этот переход в своих интересах. Указывается также, что корпорация Intel, играющая большую роль в консорциуме, пытается взять управление процессом под свой контроль. Поставщики технологического оборудования опасаются, что переход к 450-мм пластинам может их обанкротить. Они заявляют, что поставщики технологического оборудования не в состоянии разработать инструментальные средства для обработки 450-мм пластин. Представители Sematech, со

своей стороны, заявляют, что программа ISMI 450mm предлагается потому, что 300mmPrime "...не дотягивает до выполнения традиционных требований сокращения издержек, обеспечивающих продолжение действия закона Мура. Даже если старая программа улучшает эффективность 300-мм заводов, в рамках плана ISMI 450mm будут определены и разработаны стандарты для пластин следующего поколения". Sematech рассчитывает выпустить общие положения о создании 450-мм завода и тестированию пластин этого диаметра уже в 2008 году.

Аналитики исследовательских фирм поддерживают поставщиков оборудования. Представители корпорации Gartner заявляют, что переход к обработке 450-мм пластин без "доведения до ума" 300-мм производств нецелесообразен. Стоимость оборудования для заводов по обработке 450-мм пластин, когда оно появится на рынке (если вообще появится), окажется в пять-восемь дороже оборудования для 300-мм аналогов. Еще два года назад VLSI Research опубликовала доклад, в котором предупреждала отрасль о необходимости перенести переход на 450-мм пластины на 2020-2025 годы. По ее оценкам, на разработку оборудования обработки 450-мм пластин промышленности придется затратить 102 млрд. долл. И еще не ясно, сможет ли отрасль позволить себе это оборудование, даже если затраты на его разработку удастся снизить до 20 млрд. долл.

Один из немногих поставщиков микросхем, который может позволить себе сооружение завода по обработке 450-мм пластин – компания Intel, которую активно поддерживает Samsung. Поэтому она и выступает за более быстрый переход к 450-мм пластинам, рассчитывая укрепить свои позиции на рынке, потеснив основных конкурентов. В самом деле, главный конкурент Intel, корпорация AMD, может не осилить ввод в строй 450-мм мощностей. В прошлом ей было трудно справиться и с переходом на 300-мм пластины.

Нежелание поставщиков оборудования переходить на установки, рассчитанные на обработку 450-мм пластин, объясняется опытом перехода от 200- к 300-мм пластинам. Тогда им пришлось затратить на разработку оборудования огромные средства и при этом они понесли значительные убытки, когда многие изготовители микросхем "притормозили" переход на 300-мм пластины. По оценкам изготовителей оборудования, чтобы окупить их капиталовложения, 300-мм заводы должны функционировать 30 лет. В случае же 450-мм производств прибыль на вложенные инвестиции крайне проблематична, ведь такие заводы могут создать всего несколько фирм – Intel, Samsung, возможно, Toshiba и TSMC. Большинство поставщиков оборудования – мелкие и средние фирмы с ограниченными бюджетами НИОКР. Таким образом, по их мнению, если переход к 450-мм пластинам и не обанкротит промышленность в целом, то, как минимум, разорит каждого десятого производителя.

