

РАЗВИТИЕ БИЗНЕС-МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОНИКИ: ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ И АКТУАЛЬНОСТЬ ДЛЯ РОССИИ

М.Макушин¹

УДК 621.319.4
 ВАК 05.27.00

Бизнес-модели микроэлектроники и ее связи со смежными, не имеющими прямого отношения к электронике отраслями не являются чем-то заранее запланированным. Они складывались по мере развития в соответствии с изменением структуры издержек и со сменой предпочтений заказчиков. С момента возникновения и примерно до начала 2000-х годов динамика микроэлектроники слабо коррелировалась с динамикой мирового ВВП – среднегодовые темпы роста за долгосрочный период существенно превышали темпы роста мировой экономики (17,4% в сложных процентах за период 1975–1997 годов [1]). Однако по мере набора "критической массы" – превышения объемов продаж ИС в 200 млрд долл. темпы роста микроэлектроники и мирового ВВП начали коррелироваться (6–8% в сложных процентах за период 2001–2015 годов [2]). Бизнес-модели микроэлектроники все отчетливее встраиваются в бизнес-модели более высокого уровня.

За прошедшие более чем полвека структура микроэлектроники (полупроводниковой промышленности) постоянно менялась, что обусловлено в первую очередь фактором издержек производства. Поначалу, на этапе полной интеграции, выделившиеся из электронных корпораций микроэлектронные фирмы были вертикально интегрированы и осуществляли весь цикл производства (рис.1). На втором этапе, помимо вертикальных, появились горизонтальные связи, которые на третьем этапе привели к дезинтеграции традиционной структуры

отрасли. Однако постоянно растущие издержки производства, разработки базовых процессов, материалов

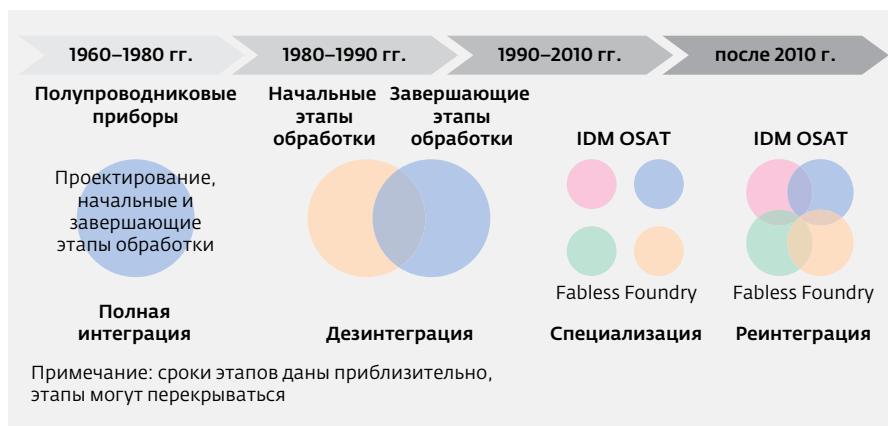


Рис.1. Этапы изменения структуры полупроводниковой промышленности (микроэлектроники)

¹ АО "ЦНИИ "Электроника",
 mmackushin@gmail.com.

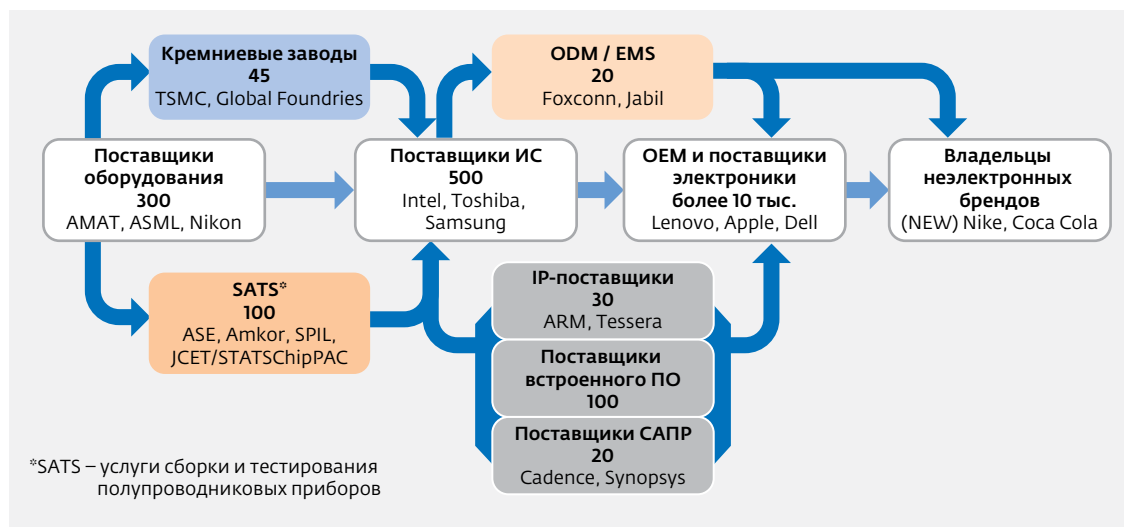


Рис.2. Современная экосистема электронной промышленности

и оборудования на этапе реинтеграции приводят к формированию объединений, но не на корпоративном, а на межкорпоративном уровне. При этом в создаваемые объединения входят и электронные фирмы, и поставщики материалов, оборудования, сложнофункциональных (СФ) блоков (IP, полупроводниковая интеллектуальная собственность) виртуального и физического уровней, инструментальных средств САПР, что приводит к формированию структур с элементами как вертикальной, так и горизонтальной интеграции, тесно связанных между собой. Создается принципиально иная структура отрасли. Речь идет о чем-то большем, чем реинтеграция [3].

Первые fabless-фирмы и кремниевые заводы появились во второй половине 1970-х годов, но существенного развития, как по числу фирм, так и по объемам продаж, достигли к началу 1990-х годов. Вместе с кремниевыми заводами fabless-фирмы положили начало этапу специализации.

На современном этапе (см. рис.1) микроэлектронные фирмы, использующие различные бизнес-модели, широко взаимодействуют с изготовителями электроники, а также с поставщиками систем, в которых электронная начинка – лишь часть конечного изделия. Потребителями изделий микроэлектроники и электроники стали владельцы не электронных брендов (рис.2) [4].

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ БИЗНЕС-МОДЕЛЕЙ

В сегменте микроэлектроники основными моделями производственно-хозяйственной деятельности, или бизнес-модели, являются IDM, fablited, fabless, foundry и OSAD/SATS. В сфере изготовления конечных электронных систем используются модели EMS, ODM и OEM. Они по-разному возникали, по-разному реализуются и находятся в постоянном взаимодействии. Рассмотрим их подробно.

IDM, Integrated Device Manufacturers – интегрированные изготовители приборов; традиционные полу-

проводниковые фирмы полного цикла, обеспечивающие разработку, проектирование, производство и маркетинг ИС.

Fablited (fab-lite) – так называемая стратегия "легких активов", используемая IDM. На уровне топологий до 90–65 нм стратегия предусматривала продолжение производства на собственных мощностях только новейших ИС (с высокой добавленной стоимостью) по наиболее передовым (совершенным) процессам; производство ИС со средним и меньшим уровнем добавленной стоимости передавалось сторонним фирмам в рамках модели fabless-foundry. При переходе на топологии 45 нм и менее fablited-стратегия предусматривала сохранение наиболее передовых и экономически эффективных производств, отказ от строительства собственных заводов под топологии порядка 45 нм и менее в пользу использования на уровне этих топологий модели fabless-foundry. Этот этап является промежуточным при переходе от IDM к fabless-фирме.

Однако ряд фирм придерживается другого варианта fablited-модели: они создают новейшие производственные мощности (под топологии менее 45 нм, а в настоящее время – 22/20 нм) для проведения НИОКР и организации только опытного производства. На своих мощностях они опробуют перспективные технологии, приборные структуры и конструкции, доводя их до полной готовности к массовому производству. В дальнейшем дополнительный объем продукции изготавливается на мощностях кремниевых заводов.

Foundry – кремниевый завод, производство ИС по спецификациям заказчика с предоставлением инструментальных средств фирм-союзников из числа поставщиков САПР для проектирования собственных ИС с использованием базы библиотек стандартных элементов различных fabless- и IDM-фирм (по контрактам foundry с последними), платформ и СФ-блоков (на тех же усло-

виях). Кремниевые заводы могут предлагать новейшие технологические процессы, но разработкой собственных конструкций ИС, как правило, не занимаются, поскольку это контрактные изготовители полупроводниковых приборов.

FABricationLESS – тип организации полупроводникового бизнеса, когда фирма занимается разработкой, проектированием и маркетингом ИС, которые изготавливаются на мощностях кремниевых заводов или свободных мощностях традиционных фирм (IDM). Подобные фирмы – "чистые" разработчики полупроводниковых приборов, включая ИС.

Outsourced Semiconductor Assembly and Test/ Semiconductor Assembly and Test Services – аутсорсинговые услуги по сборке и тестированию полупроводниковых приборов. Данная модель на всем протяжении развития микроэлектронной и электронной промышленности практически не претерпела изменений. Однако в последние годы в связи с появлением методик 2,5D- и 3D-корпусирования OSAT/SATS сталкиваются с растущей конкуренцией со стороны крупных кремниевых заводов (TSMC, GlobalFoundries, UMC, SMIC), которые активно осваивают эти перспективные методики создания гетерогенных приборов (по топологическим нормам и функциональности входящих в них элементов/блоков) в качестве альтернативы масштабированию ИС за пределы топологических норм 16/14 нм и менее.

EMS, Electronics Manufacturing Services – (контрактные) производственные услуги в области электроники, услуги по (контрактному) производству электронной техники. По аналогии с кремниевым заводом собственные конструкции не выпускают, производят продукцию по спецификациям заказчика.

ODM, Original Design Manufacturer – изготовитель оригинального изделия по проекту, а не по лицензии. Зачастую роль таких фирм сводится к разработке собственной, не имеющей аналогов конструкции, организация ее производства/сборки из комплектующих на мощностях сторонних фирм под своим товарным знаком.

OEM, Original equipment manufacturer – изготовитель оборудования, то есть конечного изделия, из комплектующих других фирм по собственным конструкциям (имеющим, как правило, прототип на рынке) или по лицензии. Модель OEM известна не только в электронике, но и в других отраслях. В англоязычной прессе термин OEM часто применяется, например, к автопроизводителям.

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ПРОИЗВОДИТЕЛИ

На этапе дезинтеграции и в течение первой половины этапа специализации (до начала 2000-х годов) бизнес-модель IDM преобладала во всех секторах и нишах полупроводниковой промышленности. Однако в 2000–2002 годах, особенно на фоне "схлопывания" пузыря "дотком"-

экономики (т.е. деятельности интернет-компаний, бизнес и источники, прибыли которых сосредоточены в сети Интернет; название образовано от английского прочтения окончания ".com" – электронных адресов таких компаний) значительное число мелких и средних IDM начали планировать преобразование в fabless-фирму или поиск ниш, где они могли бы стать монополистами.

На данном этапе основными преимуществами IDM были масштабы производства, позволявшие снижать издержки и, соответственно, цену продукции за счет ее массового выпуска. Тем не менее из-за постоянного роста стоимости заводов по обработке пластин уже к началу 2000-х годов этот сектор оказался представлен относительно малым числом крупных корпораций, включая изготовителей микропроцессоров и схем памяти (Intel, Motorola, Texas Instruments, Micron, NEC, Toshiba, Samsung, Hyundai), а также полужаказных специализированных ИС (ASIC), таких как VLSI, LSI Logic.

Коллапс в сфере продаж полупроводниковых приборов в 2001 году (по сравнению с 2000 годом объем продаж уменьшился на 33% до 152 млрд долл.) подтвердил, помимо прочего, ранее обнаружившую себя в полупроводниковой промышленности тенденцию повышения роли модели "fabless-фирмы – кремниевые заводы". Fabless-фирмы, не отягченные расходами на поддержание производственной структуры, продемонстрировали большую устойчивость, чем традиционные компании (IDM).

В этих условиях начала формироваться новая тенденция: традиционные фирмы сосредотачивали на своих мощностях производство только новейшей продукции, где они были монополистами либо могли обеспечить экономическую эффективность на уровне, сопоставимом с уровнем модели "fabless-фирмы – кремниевые заводы". Производство прочей продукции передавалось на кремниевые заводы. Традиционные фирмы все теснее сотрудничали с кремниевыми заводами в разработке новейших технологий. Более того, в некоторых направлениях своей деятельности традиционные фирмы сами начали использовать бизнес-модель fabless-фирм. Пример подобного подхода демонстрировали корпорации IBM и Intel в области специализированных ИС (ASIC).

Перед IDM встал выбор пути дальнейшего развития – в частности в зависимости от их размеров:

- мелкие фирмы (с объемом годовых продаж до 10 млн долл.) столкнулись с необходимостью перекалфикации в fabless-фирму либо в кремниевый завод (единичные случаи). Другие возможные варианты: объявить о банкротстве либо постараться найти нишу, которая могла бы обеспечить их существование;
- у средних фирм (объем продаж от 10 до 100 млн долл.) выбор оказался несколько шире – не только между преобразованием в fabless-фирму или кремниевый

завод. Они могли выйти на рынок услуг проектирования, сохранив нужный объем мощностей (чтобы при необходимости оказывать услуги кремниевого завода) в рамках оптимизации хозяйственной деятельности. Так, например, поступила французская фирма Alcatel Microelectronics, которая отказалась от производства ИС и сосредоточилась на продаже услуг по проектированию и интеллектуальной собственности, одновременно сохранила производственные операции для некоторых технологических процессов (например, в сфере смешанной обработки сигнала), где могло бы быть оправданным производство в малых объемах;

- крупные корпорации имели наибольшую свободу маневра – могли развивать собственное производство там, где это выгодно (например, освоение обработки 300-мм пластин обеспечивало по сравнению с обработкой 200-мм пластин снижение удельных издержек формирования кристалла ИС на 30–39%), использовать модель fabless-фирм, где собственное производство нерентабельно, предоставлять услуги кремниевых заводов на свободных или специально выделенных для этого мощностях и оказывать услуги

по проектированию схем, пользуясь объемными портфелями интеллектуальной собственности.

Таким образом, у традиционных фирм было несколько основных стратегий: использование моделей кремниевого завода или fabless-фирмы, включая услуги по оказанию помощи в проектировании ИС, развитие собственного производства одновременно с концентрацией программ НИОКР на перспективных направлениях.

Помимо этого, не исключались слияния/поглощения и приобретения перспективных технологий для укрепления позиций на рынке и повышения конкурентоспособности. Выбор стратегии (стратегий) зависел от экономического состояния фирмы, портфеля новых разработок, ситуации на традиционных рынках, перспектив освоения новых ниш и т.п. [5].

Вторая часть этапа специализации, примерно с 2003-го по 2009–2011 годы, характеризовалась укрупнением ведущих IDM – как американских, так и европейских, южнокорейских и японских – в процессе слияний/поглощений, а также наращивания инвестиций. С другой стороны, на фоне быстрого роста издержек производства и на НИОКР по мере масштабирования ИС на рубеже 45-нм технологии началось массовое преобразо-

Таблица 1. Капиталовложения ведущих полупроводниковых фирм в 2015–2017 годах. Источники: IC Insights, отчеты фирм

Место в рейтинге (2017 год)	Фирма	Капиталовложения, млрд долл.			Прирост, %	
		2015	2016	2017	2016/2015	2017/2016
1	Samsung	13,010	11,300	12,500	-13	11
2	Intel	7,326	9,625	12,000	31	25
3	TSMC*	8,089	10,249	10,000	27	-2
4	SK Hynix	6,011	5,188	6,000	-14	16
5	Micron**	4,500	5,760	5,000	28	-13
6	SMIC*	1,401	2,626	2,300	87	-12
7	UMC*	1,899	2,842	2,000	50	-30
8	GlobalFoundries*	3,985	1,500	2,000	-62	33
9	Toshiba	1,745	1,840	1,900	5	3
10	SanDisk/WD	1,460	1,750	1,800	20	3
11	STMicroelectronics	0,467	0,607	1,050	30	73
Всего 11 ведущих фирм		49,893	53,287	56,550	7	6
Прочие		15,339	14,695	15,755	-4	7
Капиталовложения, всего		65,232	67,982	72,305	4	6

* "Чистый" кремниевый завод.

** Включая капиталовложения фирмы Inotera в 2017 году.

вание мелких и средних IDM в fabless-фирмы (с прохождением стадии fablite либо без). Многие фирмы отказались от полупроводникового бизнеса или ушли в специфические ниши.

В этот же период проявилась и другая тенденция в реализации модели fablite, связанная с НИОКР и опытным производством. Так, корпорация STMicroelectronics отказалась от "зрелых" производств, оставив ряд новейших линий и опытное производство в г. Кроль (ранее совместный центр НИОКР с IBM и Infineon Technologies) для работ в области масштабирования ИС, разработки новых приборных структур и развития технологии SOI (silicon on insulator) и ее модификаций. На опытном производстве отрабатывается новинка, а основной объем производства ИС по этой технологии осуществляется на мощностях кремниевых заводов.

К концу периода обанкротился один из ведущих поставщиков ДОЗУ, фирма Qimonda, а у тайваньской индустрии ДОЗУ начались трудности (впоследствии IDM-поставщики ДОЗУ второго уровня перестали существовать). Надо отметить, что в то время в мире дали знать о себе азиатский финансовый и американский ипотечный кризисы, отразившиеся на многих отраслях.

По мере перехода к 45-нм технологии процесс изменения структуры полупроводниковой промышленности обрел новые черты. Далеко не все IDM собирались одновременно владеть заводами по производству изде-

лий микроэлектроники и самостоятельно разрабатывать новые базовые технологические процессы. Рассмотрим наиболее показательный пример.

В январе 2007 года руководство корпорации Texas Instruments приняло решение отказаться от дорогостоящего производства логических схем в пользу своих foundry-партнеров. Разработка собственных базовых технологических процессов была прекращена на уровне 45-нм топологий, использование процессов кремниевых заводов началось на уровне топологических норм 32 нм и менее. Как ожидалось, это позволит корпорации сэкономить значительные средства на разработке технологических процессов, строительстве заводов и сосредоточиться на обеспечении добавленной стоимости в процессе проектирования микросхем. Однако в результате Texas Instruments потеряла одно из своих преимуществ (обладание собственными базовыми технологическими процессами, предоставляемыми кремниевым заводам в обмен на снижение цены изготавливаемой для Texas Instruments продукции) перед традиционными fabless-конкурентами типа компании Qualcomm.

Пример Texas Instruments показал, что полупроводниковым фирмам для выживания в условиях консолидации отрасли необходимо перенести основное внимание со строительства заводов по обработке пластин на разработку новой продукции с участием заказчиков – поставщиков конечных электронных систем, причем на достаточно

Таблица 2. Полупроводниковые фирмы-лидеры по отчислениям на НИОКР в 2016 году. Источники: отчеты фирм, база данных Strategic Review корпорации IC Insights

Место в рейтинге	Фирма	Отчисления, млрд долл.	Прирост, %	Отчисления как доля продаж, %
1	Intel	12,740	5	22,4
2	Qualcomm	5,109	-7	33,1
3	Broadcomm	3,188	-4	20,5
4	Samsung	2,881	11	6,5
5	Toshiba	2,777	-5	27,6
6	TSMC	2,215	7	7,5
7	MediaTek	1,730	13	20,2
8	Micron	1,681	5	11,1
9	NXP	1,560	-6	16,4
10	SK Hynix	1,514	9	10,2
Всего 10 ведущих фирм		35,395		
11	Nvidia	1,463	10	22,0
12	Texas Instruments	1,370	7	11,0
13	STMicroelectronics	1,336	-6	19,3

глубоком техническом уровне. Обладание собственным базовым технологическим процессом перестало быть конкурентным преимуществом – фирмы получают доступ к схожим процессам примерно одновременно. Поэтому приоритет за ноу-хау в области проектирования систем в достаточно ограниченном секторе рынка. В то же время многие японские изготовители ИС в это же время продолжали строить заводы по обработке 300-мм пластин с использованием собственных новейших технологий. Они обладали значительными производственными нахо-

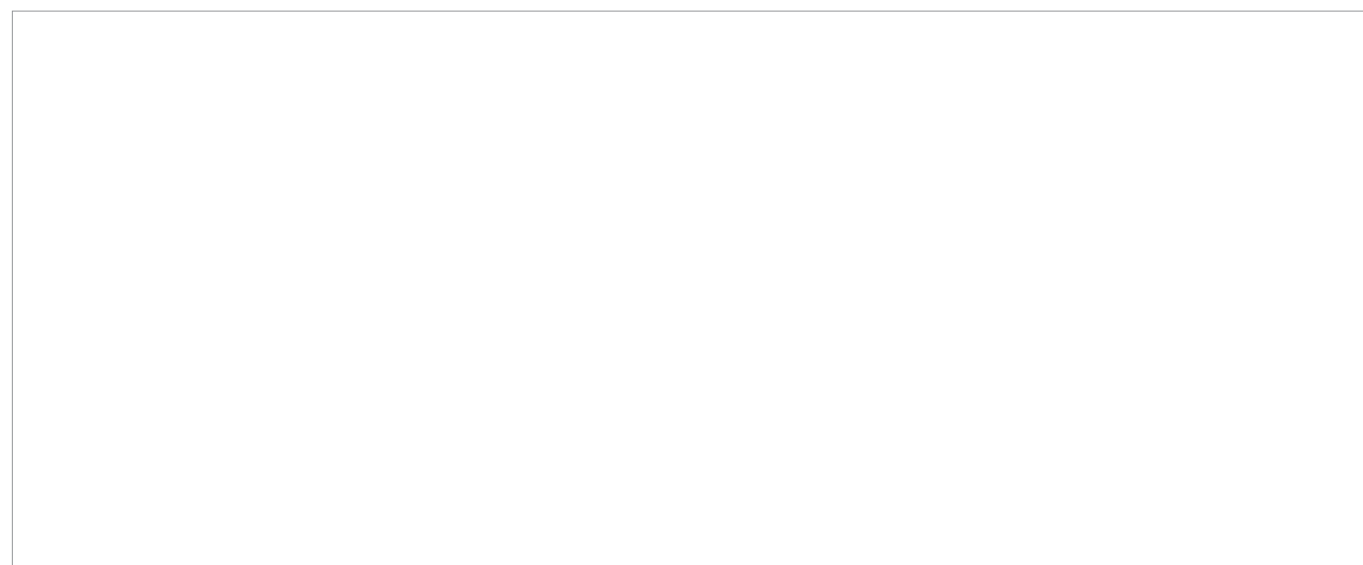
дами, но ноу-хау системного уровня все еще удерживали их заказчики, такие как Denso и Panasonic, из-за чего рыночная доля японских изготовителей ИС в период 2001–2010 годов серьезно сократилась [6].

Особенности развития модели IDM на этапе реинтеграции. Во-первых, в отрасли продолжается процесс консолидации, в том числе и среди IDM. Во-вторых, даже крупнейшие IDM не могут сохранить бизнес-модель "чистой" и вынуждены значительно активизировать практику fabless-фирм и кремниевых заводов. В-третьих, крупнейшие IDM продолжают наращивать мощности. В-четвертых, ведущие IDM по-прежнему лидируют по объему капиталовложений и отчислений на НИОКР.

Процесс консолидации микроэлектронных фирм в 2015–2016 годах достиг невиданных масштабов: объемы сделок слияний/поглощений

в 2015 году в несколько раз превысили среднегодовые объемы за период 2010–2014 годов, а по итогам 2016-го их объем варьировался в пределах от 98 млрд до 130 млрд долл. Один из ярких примеров – продажа в прошлом году корпорацией IBM полупроводникового отделения. Другой пример – предполагаемое в 2017 году поглощение fabless-корпорацией Qualcomm такого крупного IDM, как NXP [7].

Оказание услуг кремниевых заводов становится все более важной составляющей деятельности IDM. Корпо-



рация Samsung в 2011–2012 годах создала в своей структуре автономное foundry-подразделение. Главные цели корпорации, в том числе ее кремниевого завода, – наращивание выпуска 28-нм и 22/20-нм ИС, а также переход к меньшим топологиям. Для этого с 2012 года foundry-отделение Samsung осуществляет тестовые MPW-прогоны (MPW – Multi Project Wafer services – (shuttle services) – услуги по производству на одной пластине опытных ИС разных проектировщиков с целью сокращения и распределения накладных расходов, затрат на разработку и производство) для избранных потребителей по 14-нм технологии. Уже представлен ряд 14-нм тестовых кристаллов на основе FinFET (трехмерные полевые транзисторы или полевые транзисторы с вертикально расположенным затвором), что стало поворотным моментом в формировании экосистемы проектирования ультра-субмикронных (глубокосубмикронных) ИС. В создаваемую экосистему вошли такие фирмы, как ARM, Cadence, Mentor Graphics и Synopsys. В 2017 году ожидается осуществление MPW-прогонов по 11-/9-нм топологиям.

В отличие от Samsung, корпорация Intel не создала специализированное foundry-подразделение, а работает с избранными заказчиками напрямую. Особенность foundry-практики Intel в том, что она предоставляет fabless-фирмам современные мощности для изготовления ИС по технологиям Intel, а не заказчиков. Таким образом, она не только загружает свои производственные мощности, но и расширяет клиентскую базу, которая использует технологии Intel. Первым клиентом этой практики в 2014 году стала fabless-фирма Altera (интеграция собственных FPGA (field-programmable gate array, программируемая пользователем вентильная матрица) с 64-разрядными процессорными ядрами фирмы ARM). К началу 2017 года foundry-услугами Intel пользовались уже более десятка фирм [2].

В сфере наращивания производственных мощностей крупнейшими IDM можно привести пример корпорации Intel, которая в начале этого года объявила о планах инвестирования 7 млрд долл. в завершение строительства и оснащения завода (Fab 42) в г. Чандлер (штат Аризона). Проект был начат несколько лет назад, но затем из-за неблагоприятной конъюнктуры рынка его заморозили. Теперь в соответствии с уточненными планами на этом заводе будет налажен массовый выпуск 7-нм ИС. Предполагается, что рост инвестиций Intel в производственные мощности и НИОКР поможет сохранить корпорации и стране ведущие позиции в полупроводниковой промышленности.

Хорошие примеры увеличения капиталовложений и отчислений на НИОКР демонстрируют такие IDM, как Intel, Samsung и ряд других. Как ожидается, в 2017 году Intel сохранит лидирующие позиции как по капиталовложениям (табл.1), так и по ассигнованиям на НИОКР (табл.2).

По данным фирмы IC Insights, в 2017 году капиталовложения 11 ведущих полупроводниковых компаний превысят отметку в 1 млрд долл. (см. табл.1). При этом у трех фирм (Intel, GlobalFoundries и STMicroelectronics) рост капиталовложений превысит уровень 2016 года более чем на 25%. В 2013 году капиталовложения более 1 млрд долл. были у восьми фирм. **Отмечается рост капиталовложений как IDM, так и кремниевых заводов, которые становятся (за счет fabless-фирм) производственной базой мировой микроэлектроники.** Правда, соотношение затрат фирм этих типов пока остается на том же уровне. Так, если в 2015 году на IDM приходилось 69,2% капиталовложений ведущих 11 фирм, то в 2017-м, по оценкам IC Insights, этот показатель составит 71,2%.

Что касается инвестиций в НИОКР, то и здесь на первом месте по-прежнему Intel (см. табл.2). На нее приходится около 36% ассигнований на НИОКР от десяти ведущих полупроводниковых фирм и около 23% всех отчислений на эти цели в отрасли. Стоимость разработки новых информационно-коммуникационных технологий повышается, поэтому расходы на НИОКР как доли продаж постоянно растут – у Intel этот показатель увеличился с 16,4% в 2010 году до 22,4% в 2016-м (в 1995-м составлял 9,3%, в 2005-м – 14,5%).

На втором месте по затратам на НИОКР fabless-корпорация Qualcomm, эту позицию она занимает с 2012 года, некоторое сокращение ассигнований связано с последствиями поглощений в 2015 году фирм CSR (Великобритания) и Ikanos Communications (США). На третьем месте корпорация Broadcom, которая после поглощения в начале 2016 года фирмой Avago Technologies сменила название. Собственно Avago до слияния с Broadcom в 2015 году занимала по отчислениям на НИОКР 13-е место.

Крупнейший изготовитель схем памяти, фирма Samsung, среди самых крупных компаний по отчислениям на НИОКР занимает четвертое место, при этом у нее самый низкий показатель этих затрат в доле продаж. В 2016 году он составил 6,5%, слегка увеличившись по сравнению с 2015 годом (6,2%) [8–10].

FABLESS-ФИРМЫ

Появление fabless-индустрии связано с развитием рынка электронной аппаратуры, на котором формируются сегменты, требующие производства малых и средних партий специализированной конечной аппаратуры для определенного круга заказчиков. IDM, специализирующиеся в основном на массовом производстве стандартных ИС, не всегда могли удовлетворить требования изготовителей комплектной аппаратуры (OEM) либо их продукция оказывалась слишком дорогой. Контрактные разработчики ИС не всегда могли создать приборы необходимой сложности. Поэтому появились фирмы, занятые конструированием специализированных ИС (ASIC), программируемых логических и некоторых дру-

гих типов приборов. Конструкции могли быть достаточно сложными, но более дешевыми, чем аналогичные разработки IDM. Снижения затрат можно добиться главным образом за счет отказа от собственных мощностей поточно-массового производства, которые при переходе от поколения к поколению ИС и пластин (увеличение диаметра), на которых они формировались, становились все дороже. При наличии кремниевых заводов, служивших резервными мощностями IDM и производственной базой контрактных разработчиков, появление fabless-фирм было вопросом лишь времени.

В целом fabless-модель позволяет выйти на рынок полупроводниковых приборов с достаточно малыми затратами и в случае правильного выбора перспективного направления быстро нарастить объем продаж. Хотя в последнее время это путь стартапов, и далеко не все из них становятся успешными компаниями. Кроме того, на рынке fabless-фирм со второй половины 2000-х годов наблюдается тенденция к укрупнению, что выражается в росте числа поставщиков с годовым оборотом более 1 млрд долл.

При переходе к топологиям 32/28 нм стратегическим фактором успешной деятельности (и выживания) fabless-фирм становится гарантированный доступ к соответствующим мощностям кремниевых заводов (или IDM) при выходе на рынок с новейшей продукцией.

Этап дезинтеграции и начало специализации fabless-индустрии. Собственно fabless-индустрия была создана в середине 1970-х – начале 1980-х годов фирмами Кремниевой Долины, такими как Altera, Chips&Technologies и C-Cube Microsystems. Именно они доказали возможность успешного ведения бизнеса в области полупроводниковых приборов без инвестирования средств в заводы-изготовители. К середине 2002-го насчитывалось около 1000 фирм, использовавших данную бизнес-модель, которые находились более чем в 25 странах и почти половина – за пределами США. Крупнейшими точками компактного расположения таких фирм за пределами США в период до 2002 года были Тель-Авив, Оттава и научно-промышленный парк Синчу

на Тайване. Но уже в начале 2000-х годов все большую роль начали играть Шанхай и некоторые другие центры микроэлектроники КНР.

Что касается доли fabless-фирм в общих мировых продажах ИС, то она в рассматриваемый период постоянно увеличивалась: доходы fabless-фирм в 2002 году выросли до 15 млрд долл., и их доля на мировом рынке полупроводниковых приборов – до 12%. Это вдвое больше, чем в 1997 году, когда данные показатели составляли, соответственно, 7,3 млрд долл. и 6%. Стоит отметить, что fabless-фирмы оказались более устойчивы, чем IDM, в условиях спада в 2001-м: их продажи сократились на 24%, тогда как в сфере полупроводниковой промышленности в целом – на 33%. У десяти ведущих fabless-фирм снижение составило 6,7%, а у IDM-фирм – 29,8%.

В то же время для полупроводниковых фирм США глобальный рост fabless-индустрии представлял серьезную угрозу. Так, например, лучшие китайские и индийские разработчики все чаще предпочитали оставаться на родине, а не искать возможность делать карьеру за рубежом. КНР и Индия превращались в крупные центры данной индустрии, в то время как американские фирмы испытывали все большие трудности с набором персонала и давлением конкуренции со стороны зарубежных фирм.

Еще одна возникшая в то время проблема – усложнение финансирования fabless-фирм венчурными капиталистами, желающими получить продукт как можно быстрее и дешевле в целях окупаемости инвестиций.

Все эти барьеры в сочетании с глобальным застоем в электронной промышленности создали много трудностей для fabless-фирм. В результате в 2001–2002 годах в fabless-индустрии наблюдались процессы многочисленных разорений мелких фирм и консолидации отрасли [1].

Вторая часть этапа специализации. Развитие модели fabless-foundry в период с 2003 по 2011 год привело, по крайней мере, к двум серьезным последствиям. Во-первых, продолжалась консолидация относительно недавно возникшей отрасли, что вылилось в рост числа фирм-миллиардеров. Во-вторых, наблюдалось расслоение существующей модели – начали появляться "промежуточные" модели, в частности модель так называемого "облегченного" проектирования (design-lite). Другими словами, в рамках fabless-модели крупные фирмы начали предлагать более мелким, например стартапам услуги по проектированию перспективных конструкций ИС с использованием своих наработок на платформенной основе и инструментальных средств.

Возвращаясь к вопросу увеличения числа fabless-фирм с годовыми продажами более 1 млрд долл., можно сказать, что это отражает повышение входных барьеров fabless-

рынка за счет роста издержек по мере масштабирования. По данным исследовательской корпорации IC Insights (Скоттсдэйл, штат Аризона), в 2008 году фирм-миллиардеров насчитывалось всего восемь (при общем объеме продаж fabless-фирм в 31 млрд долл.), а в 2010-м – уже 13 (fabless-рынок 46 млрд долл.).

По мере перехода полупроводниковой промышленности к fabless-модели первоочередное внимание к 2010 году стали уделять разработке и совершенствованию продукции. Попутно возникла модель "облегченного" проектирования, позволяющая заказчикам расширить ассортимент выпускаемой продукции силами существующего штата проектировщиков путем использования услуг партнеров. Одной из фирм, оказывающих подобные услуги, стала корпорация Open-Silicon. Так, например, фирма собственными силами создает базовую систему-на-кристалле, а Open-Silicon на основе этой конструкции предлагает ее вариации, производные (деривативные) конструкции и налаживает их производство. Это позволяет заказчикам наращивать доход от существующих линеек ИС за счет модификаций, без увеличения штата проектировщиков, а также сосредоточить усилия персонала на разработке новых поколений базовых конструкций в соответствии с продуктовой маршрутной картой. В результате повышается коэффициент окупаемости общих инвестиций в продуктовую линию [2].

Fabless-фирмы на этапе реинтеграции. Развитие модели fabless-foundry в ущерб традиционным вертикально интегрированным фирмам (IDM) привело к тому, что конкурентоспособность и существование fabless-фирм зависят от гарантированного доступа к новейшим производственным мощностям кремниевых заводов или IDM, оказывающих услуги кремниевого завода (Intel, Samsung, Toshiba). Например, крупнейшая fabless-фирма Qualcomm из-за дефицита 28-нм производственных мощностей кремниевого завода TSMC не смогла летом 2012 года своевременно выпустить свои новейшие ИС для средств связи и понесла существенные убытки.

Не менее любопытны и другие примеры. Первый касается практики взаимодействия SMIC и Qualcomm. Крупнейший китайский кремниевый завод Semiconductor Manufacturing International Corp. (SMIC) и fabless-фирма Qualcomm летом 2014 года приступили к совместным работам по освоению 28-нм технологий на мощностях SMIC по обработке пластин в целях производства процессоров Snapdragon (Qualcomm) для мобильных приборов поколений 3G и 4G. Сотрудничество позволило ускорить доработку и освоение 28-нм процесса SMIC и открытие соответствующих производственных мощ-

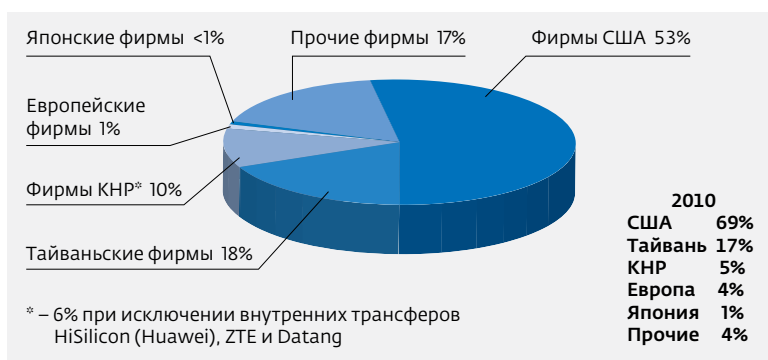
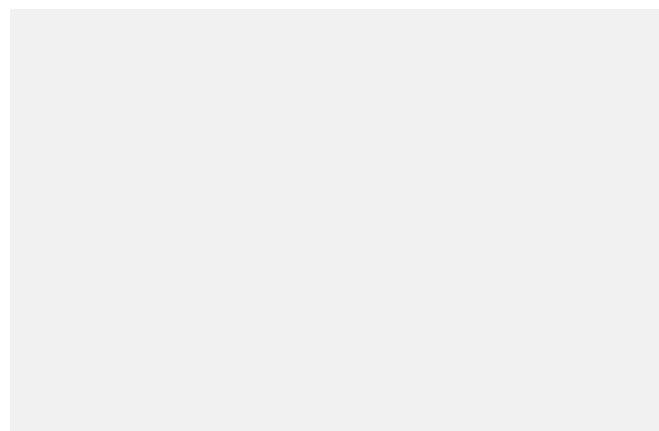


Рис.3. Географическая структура продаж fabless-фирм в 2016 году (общий объем 90,4 млрд долл.). Источник: IC Insights

ностей, а также подтвердило позиции SMIC в качестве ведущего китайского кремниевого завода, обеспечившего выпуск новейших 28-нм процессоров Snapdragon в КНР. Сотрудничество этих фирм продолжается – с 2016 года ведутся работы в рамках 22/20-нм процесса.

Второй пример связан с практикой ARM, крупнейшего fabless-поставщика ядер процессоров для смартфонов и планшетных ПК, и кремниевого завода UMC. Весной 2014 года они заключили соглашение о предложении сторонним изготовителям платформы СФ-блоков физического уровня Artisan (ARM) и СФ-блоков семейства POP (ARM) в рамках технологического 28-нм процесса UMC, предназначенного для изготовления высокопроизводительных ИС с малой потребляемой мощностью (HLP). UMC и ARM представляют современный технологический процесс и комплексную платформу СФ-блоков широкому кругу заказчиков, изготавливающих широкий диапазон потребительской электроники – смартфоны, планшетные ПК, оборудование для оказания беспроводных и цифровых домашних услуг [12].

В настоящее время очевидна еще одна тенденция развития fabless-индустрии: доля американских корпораций в продажах fabless-фирм за последнее десятилетие уменьшилась почти на 30%, в то время как в Китае суще-



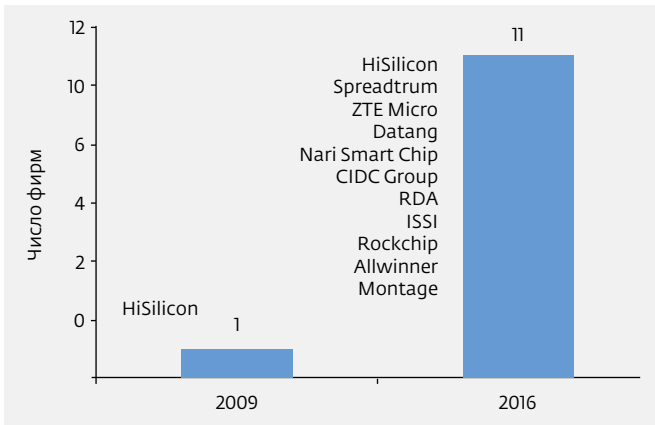


Рис.4. Увеличение числа китайских поставщиков в перечне 50 крупнейших fabless-фирм. *Источник: IC Insights*

ственно увеличилось количество поставщиков, входящих в топ-50 fabless-фирм.

По данным корпорации IC Insights, на долю fabless-фирм в 2016 году пришлось около 30% мировых продаж ИС, в то время как в 2006-м этот показатель составлял 18%. Географическое распределение fabless-фирм в зависимости от расположения штаб-квартир представлено на рис.3. Как видно, по-прежнему доминируют американские корпорации, но за последние шесть лет их доля уменьшилась с 69 до 53%. В частности, это объясняется поглощением в феврале 2016-го американской корпорации Broadcom сингапурской фирмой Avago, которая теперь называется Broadcom Limited. Несмотря на то, что у нее есть производственные мощности по выпуску дискретных приборов на основе материалов группы A^{III}B^V, мощности по изготовлению ИС отсутствуют, это и позволяет отнести ее к fabless-фирмам.

Существенное увеличение количества китайских поставщиков в числе 50 ведущих fabless-фирм за последние семь лет демонстрируется на рис.4. Во многом это связано с государственной поддержкой и стимулированием развития высокотехнологичных производств, что предусмотрено последними пятилетними планами развития народного хозяйства.

Доля европейских фирм в 2016 году составила 1% по сравнению с 4% в 2014-м. Частично это вызвано поглощением второго по величине в Европе fabless-поставщика CSR (Великобритания) американской фирмой Qualcomm в начале 2015-го и покупкой третьей (по величине) в Европе fabless-фирмы Lantiq (Германия) корпорацией Intel в середине того же года. После того как фирма Nordic Semiconductor (Норвегия) покинула рейтинг 50 ведущих fabless-фирм, европейских поставщиков в перечне фактически не осталось.

Из японских производителей в рейтинге представлен только Megachip. Компания нарастила объем продаж

в 2016 году на 20% (при этом 8% роста было достигнуто за счет благоприятного курса обмена валют). Из азиатских фирм в рейтинге остались Silicon Works (Южная Корея) и Broadcom Ltd. (Сингапур) [13].

Во второй части статьи рассмотрим вопросы развития модели кремниевых заводов, особенности формирования экосистем на этапе реинтеграции, влияние процесса слияний/поглощений на модели взаимодействия производителей ИС и конечных электронных систем, возможности применения зарубежного опыта в российских условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Авдонин Б.Н., Макушин М.В.** Прямое воздействие полупроводниковой промышленности на экономику США // Зарубежная электронная техника. ЦНИИ "Электроника". – М., 1998. №3 (420). С. 75–96.
2. **Макушин М.** Производственная база мировой электроники: тенденции развития // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2014. №5. С. 116–130.
3. **Наррич J.** TSVs to split more chips: re-integration is the focus // EE Times Europe. January 27. 2015.
4. **Garrou P.** Walker discusses emergence of new business models in semiconductor industry // Solid State Technology. The Pulse. March 14. 2017.
5. **Макушин М.В.** Тенденции изменения структуры мировой полупроводниковой промышленности. Часть 1. Стратегии традиционных фирм в новых условиях // Зарубежная электронная техника. ЦНИИ "Электроника". 2002. № 1 (435). С. 3–17.
6. **Макушин М.** Мировой рынок электроники: некоторые тенденции и проблемы // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2010. № 5. С. 116–124.
7. 2015–2016 Deals Dominate Semiconductor M&A Ranking // IC Insights. January 19. 2017.
8. Intel announces \$7B investment in next-gen semiconductor fab in Arizona // Solid State Technology. Advanced Packaging. February 14. 2017.
9. Eleven companies forecast to account for 78% of semi capex in 2017 // Design&Reuse. March 2. 2017.
10. Intel Continues to Drive Semiconductor Industry R&D Spending. EMS Now, Feb 20, 2017.
11. **Макушин М.В.** Тенденции изменения структуры мировой полупроводниковой промышленности. Часть 3. Индустрия fabless-фирм // Зарубежная электронная техника. ЦНИИ "Электроника". 2002. № 3–4 (437–438). С. 4–17.
12. **Макушин М., Мартынов В.** Новые аспекты развития современной электроники // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2016. № 3. С. 110–123.
13. U.S. companies still hold largest share of fabless company IC sales // Solid State Technology. Advanced Packaging. March 23. 2017.