

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

ЧАСТЬ 2

М.Макушин¹

УДК 621.319.4
ВАК 05.27.06

Во второй части статьи рассматриваются модели производственно-хозяйственной деятельности зарубежных предприятий микроэлектроники, или бизнес-модели. Основное внимание уделяется вопросам развития кремниевых заводов, особенностям формирования экосистем на этапе реинтеграции, влиянию процесса слияний/поглощений на взаимодействие производителей ИС и конечных электронных систем. Автор анализирует возможности применения зарубежного опыта в российских условиях.

КРЕМНИЕВЫЕ ЗАВОДЫ Этап дезинтеграции и первая половина этапа специализации

На этом этапе (до начала 2000-х годов) пионером индустрии кремниевых заводов стал Тайвань. Большая часть тайваньских фирм в свое время "отпочковалась" (spin-off – процесс создания новой фирмы путем отделения от существующей с передачей ей части активов) от государственного Института промышленно-технологических исследований (ITRI) после завершения исследовательских программ в области полупроводниковых технологий.

Так, в 1979 году был создан первый завод по обработке пластин корпорации United Microelectronics (UMC), а в 1986-м – первый завод и центр конструирования корпорации Taiwan Semiconductor Manufacturing (TSMC), которые по сей день являются лидерами в данной индустрии. В 2002 году объем их (TSMC и UMC) продаж и доля рынка кремниевых заводов составили, соответственно, 5,1 млрд долл. (57%) и 2,2 млрд долл. (24%).

Стратегии TSMC и UMC предусматривали предоставление самого широкого спектра полупроводниковых технологий – от изготовления ДОЗУ до систем-на-кристалле, обеспечение заказчику доступа к объемному портфелю интеллектуальной собственности и возможностей использования различных систем электронного проектирования ИС. Последние две услуги оказывались (и оказываются) с участием технологических партнеров – поставщиков СФ-блоков (IP) и САПР. Обе корпорации активно продолжают исследования в широком диапазоне. Особое внимание уделяется НИОКР в области наноэлектроники и освоению в производстве различных блоков оптоэлектронных приборов для оптических коммуникационных систем.

"Чистые" кремниевые заводы создавались также путем открытия совместного производства с иностранными технологическими инвесторами. В этом случае значительный объем обработанных пластин закупался зарубежными партнерами. Лучшие примеры – Tower Semiconductor (Израиль) и 1st Silicon (Малайзия).

В 1979–2002 годы среднегодовой темп прироста продаж в полупроводниковой промышленности соста-

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

вил, по разным оценкам, 17–19%, а темп роста кремниевых заводов был значительно выше – до 2001 года он на 20–40% опережал темп развития отрасли в целом. Коэффициент использования производственных мощностей кремниевых заводов в 2000 году составил 100%, а у TSMC, UMC и еще нескольких фирм даже превысил этот показатель. До 2001 года загрузка мощностей кремниевых заводов не опускалась в среднем ниже 80–85%. Это объяснялось тем, что они в основном обслуживали OEM-фирмы, и на рынке электронных систем не наблюдалось спадов – темпы годового прироста были малые, вплоть до нулевого, однако абсолютное снижение на уровне 10% впервые зафиксировано именно в 2001-м.

На рубеже 1999–2000 годов начала складываться ситуация, когда IDM стало выгодно переводить производство массовой продукции с низким, а иногда даже средним уровнем добавленной стоимости, со своих площадок на мощности кремниевых заводов и оставлять у себя только изготовление новейших приборов по самым современным технологиям с высоким уровнем добавленной стоимости. То есть они сохраняли за собой нишу, где кремниевые заводы какое-то время не могли составить им серьезной конкуренции. С одной стороны, это стимулировало быстрое наращивание мощностей кремниевых заводов, а с другой – вывело их в зону значительно более высоких рисков.

В результате кремниевые заводы превратились частично в резервные мощности полупроводниковой промышленности. С 2001 года и по настоящее время в периоды спада они испытывают наибольшие трудности. При снижении спроса IDM прежде всего сокращают дополнительные заказы на мощностях foundry, стараясь максимально загрузить собственные мощности. Fabless-фирмы и OEM в такие периоды также уменьшают заказы во избежание чрезмерного увеличения товарно-материальных запасов. Однако падение коэффициента использования производственных мощностей у кремниевых заводов в кризисные периоды неоднородно: с точки зрения топологий технологических процессов наибольшее снижение наблюдается в сегменте зрелых технологий, наименьшее – новейших.

Таким образом, с середины 1979 года по 2001–2002 годы кремниевые заводы прошли путь от начального становления до обретения достаточно устойчивых позиций и выработки специализированных стратегий. Подавляющая их часть, например, TSMC, UMC, Chartered Semiconductor Manufacturing (Сингапур), 1st Silicon, Siltera (оба – Малайзия) и Semiconductor Manufacturing International Corp. (SMIC, КНР), возникли не без непосредственной поддержки центральных и/или местных властей, иногда как совместные предприятия с американскими, европейскими и японскими фир-

мами. При этом практически все кремниевые заводы располагались в странах Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР). За пределами АТР также создавались предприятия, но объем их выпуска был незначителен. На данном этапе кремниевые заводы обладали зрелыми технологиями среднего уровня, фактически обслуживали связку fabless – OEM и одновременно являлись резервными мощностями IDM. Доля их доходов относительно рынка полупроводниковых приборов в целом была невелика.

Развитие индустрии кремниевых заводов в данный период, особенно на конечном его этапе, находилось под сильным влиянием освоения технологии изготовления ИС типа система-на-кристалле (SoC). Тенденции развития таких технологий способствовали ускорению дезинтеграции традиционной структуры полупроводниковой промышленности. Отмечалось, что ее важнейшими составляющими становятся услуги по конструированию и интеллектуальная собственность (такой вывод сделан на основе анализа деятельности "чистых" кремниевых заводов). Наличие независимых поставщиков интеллектуальной собственности способствовало снижению барьеров при выходе на полупроводниковый рынок и сокращению времени вывода изделий fabless-фирм, IDM, конструкторских компаний (design houses).

Основу этого эволюционного развития составляло **несколько ключевых факторов**. Первый – использование мощностей кремниевых заводов предоставляло возможность входа в индустрию ИС с конкурентоспособной продукцией при малых рисках – fabless-фирмы избавлялись от обременительной необходимости обладания собственной производственной базой. **Второй** – тенденции развития SoC, сложность конструкций которых постоянно повышалась, вынуждали fabless-фирмы и IDM концентрировать свои усилия на главном: разработке конструкций высокого уровня и создании интеллектуальной собственности.

К концу этапа (в 2001 году) три крупнейших участника рынка услуг кремниевых заводов – TSMC, UMC и Chartered – продолжали удерживать лидирующие позиции. Однако новые игроки, включая 1st Silicon, Siltera и SMIC, демонстрировали большие успехи в расширении своей деятельности. Основная часть производственной базы кремниевых заводов была представлена мощностями по обработке 200-мм пластин, но началось строительство линий и по обработке 300-мм пластин. Два шанхайских кремниевых завода – SMIC и Grace Semiconductor Manufacturing Co. (GSMC), введенные в строй в 1999–2000 годах и связанные с тайваньскими капиталами и инженерными талантами, уже к 2002 году осуществляли обработку 200-мм пластин, а SMIC планировал строительство первого 300-мм завода в Пекине [14].

Вторая часть этапа специализации

Этот этап (примерно с 2003 года по 2009–2010-е) характеризовался укрупнением ведущих foundry как в результате слияний/поглощений, так и благодаря наращиванию инвестиций. Кремниевые заводы второго и третьего уровней продемонстрировали тенденцию к поиску специфических ниш. Одним из знаменательных событий в этот период стало быстрое развитие китайского SMIC, обогнавшего Chartered Semiconductor Manufacturing и вышедшего на третье место в рейтинге кремниевых заводов в середине 2000-х годов.

Еще одно событие – создание Globalfoundries, на 100% принадлежащего правительству эмирата Абу-Даби, но со штаб-квартирой в США. Благодаря инвестированию в создание (как СП с американской AMD) и развитие этого кремниевого завода более 12 млрд долл. в первые три года существования его владельцы смогли вывести предприятие сразу на третье, а по итогам 2013-го – на второе место в индустрии "чистых" кремниевых заводов. Эту позицию корпорация удерживает и сейчас.

В период с 2003 года по 2009–2010 годы ведущие кремниевые заводы уделяли значительное внимание освоению/разработке современных технологий и техническому перевооружению. Благодаря этому ко второй половине указанного периода они догнали и обогнали многие IDM (за исключением Intel и Samsung) – в области топологий, используемых в массовом производстве технологических процессов.

Главная особенность данного периода – формирование вокруг кремниевых заводов экосистем, в которые вошли fabless-фирмы, поставщики оборудования и/или инструментальных средств САПР, разработчики СФ-блоков (полупроводниковая интеллектуальная собственность) и даже некоторые IDM. **Таким образом, кремниевые заводы становились ядрами новой структуры полупроводниковой промышленности.**

Доля доходов таких предприятий к концу данного периода по отношению к общему объему продаж полупроводниковых приборов, по различным оценкам, колебалась в пределах 24–35%.

В 2003 году продажи "чистых" кремниевых заводов увеличились на 36%, в то время как общий рынок ИС – только на 16%. В 2004 году их продажи составили 16,7 млрд долл., что на 45% превысило уровень 2003 года. Мировой рынок ИС вырос только на 28% [15].

По итогам 2004 года, аналитики говорили об изменении ландшафта – вместо "Большой тройки" (TSMC, UMC и Chartered, поглощенной в 2010 году Globalfoundries) возникла "Большая четверка" за счет присоединения корпорации SMIC, которая за 2002–2004 годы увеличила объем продаж почти в 20 раз, а ее доля рынка в сегменте "чистых" кремниевых заводов увеличилась с 1 до 6%. Китайские компании и другие участники рынка

увеличивали свои доли, в основном, за счет крупнейших игроков – TSMC и UMC. Так, первая, несмотря на рост продаж и чистого дохода, уменьшила контролируемую долю рынка в 2003 году на 4%, а в 2004-м – еще на 5%.

Проблемы, относящиеся к сегментированию foundry-рынка по размерам топологических элементов (технологиям), по состоянию на 2006–2007 годы, включали в себя:

- рост рынка кремниевых заводов в 2006 году составил 18,6%. В 2006–2011 годы рост продолжался, однако его темпы колебались в зависимости от сочетания таких факторов, как меняющийся спрос со стороны поставщиков ИС и влияние цен на обработанные пластины. Важнейший фактор для foundry-рынка – спрос на пластины в натуральном выражении со стороны конечных потребителей, что стало важным и для дальнейшего роста рынка ИС в целом;
- при переходе к 65-нм и 45-нм технологиям начала меняться структура рынка кремниевых заводов – немногие фирмы были способны освоить эти технологии. Затраты на внедрение быстро росли, и только кремниевые заводы, обладающие значительными финансовыми ресурсами, смогли удерживать свои позиции на рынке приборов с новейшими топологическими элементами.

Кремниевые заводы, выходящие на 45-нм и 32-нм технологии, должны были обеспечивать существенный рост доходов (т.е. ежегодный объем производства завода стоимостью 5 млрд долл. должен был быть как минимум на уровне 2 млрд долл.).

В период до 2006–2007 годов четко прослеживалась тенденция: собственные заводы по обработке пластин с использованием 45-нм и 32-нм технологий создавали очень ограниченное число IDM. Соответственно, многие "наследники" IDM пользовались услугами кремниевых заводов. Высокие затраты на разработку новых поколений технологического процесса ограничивались числом поставщиков ИС, имеющих доступ к требуемой технологической базе. На решение IDM относительно инвестиций в новые мощности заводов по обработке пластин влияли такие факторы, как возможность работы предприятий с высоким коэффициентом использования производственных мощностей.

Необходимость перехода к меньшим размерам топологических элементов, когда цены на обработанные пластины значительно превышают цены пластин, обработанных по устаревшим технологиям, также оказало влияние на рост foundry-бизнеса в долгосрочной перспективе.

Однако для кремниевых заводов важно было сделать все необходимое, чтобы потребление пластин, обработанных по более зрелым технологиям, оставалось на высоком уровне.



ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫЕ КОМПОНЕНТЫ И РЕШЕНИЯ ДЛЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ



Источники питания



Электроприводы



Электронные
компоненты



Датчики



На уровне 32-нм технологий были предприняты попытки использования иммерсионной литографии. Однако ее широко начали применять на уровне 28–22-нм топологических норм такие корпорации, как Intel, Samsung и TSMC. При этом использовались методы коррекции эффекта оптической близости (OPC).

Следует отметить, что в период до 2012 года диаметр обрабатываемых кремниевыми заводами пластин в своей основной массе достиг 300 мм. Кроме того, начались НИОКР по разработке технологии обработки 450-мм пластин, которые в конце прошлого – начале текущего года были свернуты [16].

В целом, foundry-рынок показывал хороший рост, большая его доля в 2010 году (63,2%) пришлась на пластины, обработанные по технологиям 90 нм и менее (в 2012-м этот показатель увеличился до 76%), то есть

возросла доля пластин диаметром 300 мм. Увеличение доходов обусловлено тем, что кремниевые заводы осваивали технологии со все меньшим размером топологических элементов и продолжали наращивать мощности по обработке 300-мм пластин.

Рынок кремниевых заводов стал более фрагментированным, так как поставщики разрабатывали все более сложные бизнес-модели. Foundry-бизнес остается капиталоемким, поэтому для покрытия затрат на требующиеся производственные мощности кремниевым заводам необходимо получать высокие прибыли (причем без предоставления им специальной финансовой поддержки, оказываемой изготовителям в КНР).

Рынок кремниевых заводов имеет хороший потенциал роста, индустрия изготовления ИС все в большей степени ориентируется на использование поставок кремниевых заводов. У кремниевых заводов очень

Таблица 1. Основные поставщики услуг кремниевых заводов в 2008–2010 годах

Место в рейтинге		Фирма (страна/регион)	Тип foundry	Объем продаж, млрд долл.			Прирост, %	
2010	2009			2008 г.	2009 г.	2010 г.	'09/'08	'10/'09
1	1	TSMC (Тайвань)	"чистый"	10,556	8,989	13,307	-15	48
2	2	UMC (Тайвань)	"чистый"	3,070	2,815	3,965	-8	41
3	4	Global Foundries (США)	"чистый"	0	1,101	3,510	н/д	219
4	5	SMIC (Китай)	"чистый"	1,353	1,070	1,555	-21	45
5	9	Tower Jazz (Израиль)	"чистый"	0,252	0,300	0,510	19	70
6	7	Vanguard (Тайвань)	"чистый"	0,511	0,382	0,508	-25	33
7	6	Dongbu (Ю. Корея)	"чистый"	0,430	0,395	0,495	-19	25
8	8	IBM (США)	IDM*	0,400	0,335	0,430	-16	28
9	12	MagnaChip (Ю. Корея)	IDM	0,346	0,262	0,420	-24	60
10	10	Samsung (Ю. Корея)	IDM	0,340	0,290	0,400	-15	38
11	11	SSMC (Сингапур)	"чистый"	0,340	0,280	0,330	-18	18
12	15	X-Fab (Европа)	"чистый"	0,368	0,212	0,320	-42	51
13	14	Hua Hong NEC (Китай)	"чистый"	0,280	0,240	0,295	-14	23
14	13	Texas Instruments (США)	IDM	0,315	0,250	0,245	-21	14
15	16	Grace (Китай)	"чистый"	0,230	0,180	0,240	-22	44
-	3	Chartered** (Сингапур)	"чистый"	1,743	1,540	0	-12	н/д

* Использование свободных мощностей.

** Поглощен в IV квартале 2009 года корпорацией GlobalFoundries.

устойчивые позиции в долгосрочной перспективе, так как число IDM, располагающих собственными мощностями по обработке 300-мм пластин, ограничено.

В 2010 году о намерении выйти на рынок услуг кремниевых заводов вслед за корпорацией Samsung объявила Intel. Значит, крупнейшие IDM не могут больше полагаться на собственную бизнес-модель и вынуждены осваивать инструментарий модели foundry-fabless. При этом ряд IDM, оказывающих на свободных мощностях услуги кремниевых заводов, занимают только 5,7% данного рынка. А корпорация Samsung, несмотря на значительные усилия по расширению клиентской базы (за счет Apple, Ixys, Qualcomm и Xilinx), хотя и вошла в десятку таких (оказывающих услуги кремниевых заводов) фирм, но в 2008–2010 годы оставалась на десятом месте (табл.1). При этом на экосистему корпорации IBM, куда входят Samsung и GlobalFoundries, приходится 16,5% рынка услуг кремниевых заводов [17].

Одна из существенных проблем кремниевых заводов в данный период – выход годных на топологиях 28 нм. По данным исследовательской корпорации Gartner, несмотря на то, что кремниевые заводы в 2010–2011 годы демонстрировали более высокие темпы роста, чем рынок ИС в целом, у них возникли проблемы при освоении 28-нм технологического уровня. В частно-

сти, предприятия испытывают трудности с внедрением 32/28-нм НКМГ КМОП-процесса. Изготовление НКМГ на объемном кремнии в рамках 28-нм процесса – непростая задача, и все кремниевые заводы столкнулись с проблемами выхода годных и концентрации дефектов. Кроме того, снизился спрос на 28-нм приборы из-за неопределенной ситуации в мировой экономике [18].

Кремниевые заводы рассчитывали, что спрос на 28-нм конструкции позволит им улучшить показатель выхода годных. Однако в 2012 году общий объем отгрузок приборов, реализованных по 28-нм НКМГ-технологии, не превысил 200 тыс. пластин диаметром 300 мм. Их стоимость соответствовала менее чем 4% общих доходов кремниевых заводов. Отгрузки подобных ИС росли медленнее, чем ожидалось. В то же время график роста отгрузок 32/28-нм приборов со временем все более был похож на график роста отгрузок 45/40-нм приборов (рис.1).

Специалисты корпорации Lam Research – одного из ведущих поставщиков оборудования обработки пластин – утверждали, что кремниевые заводы к концу 2011 года достигли уровня мощности установленного технологического оборудования (производственных линий) по изготовлению 28-нм интегральных схем – 40–50 тыс. стартовых пластин в месяц. Однако вопрос аттестации



Рис.1. Структура отгрузок кремниевых заводов по топологическим нормам

и выхода на полное соответствие мощностей предъявляемым требованиям оставался открытым [19].

Кремниевые заводы на этапе реинтеграции

Особенность данного периода, который начался в 2010–2011 годах и продолжается по настоящее время, состоит в дальнейшем укрупнении ведущих кремниевых заводов. При этом рост затрат на НИОКР и производство по мере масштабирования полупроводниковой технологии до 22/20 нм и менее привел к возникновению производственной олигополии, то есть ситуации, когда новейшие производственные мощности fabless-заказчикам может предоставить очень узкий круг производителей. При этом на рубеже 20 нм такими производителями стали два кремниевых завода – TSMC и GlobalFoundries, а также два IDM – Intel и Samsung.

К сожалению, зарубежные исследовательские фирмы в последнее время ограничивают бесплатный доступ к своим материалам, поэтому последний рейтинг компаний, оказывающих услуги кремниевых заводов, датируется первой половиной 2016 года и охватывает период 2013–2015 годов (табл.2).

На первом месте по-прежнему TSMC, продажи этой компании в 2015 году более чем в пять раз превысили продажи занимающей второе место GlobalFoundries и почти в 12 раз – крупнейшего кремниевого завода КНР – SMIC (на пятом месте). В 2015 году в рейтинге кремниевых заводов только два IDM-foundry – Samsung и Fujitsu. К тому времени из foundry-бизнеса выбыли IBM и Magnachip. Несмотря на утрату большей части заказов от корпорации Apple (Apple изменила структуру заказов в пользу TSMC), Samsung остался крупнейшим IDM-foundry с объемом продаж втрое большим, чем у Fujitsu.

Эксперты отмечают значительное влияние колебаний обменных валютных курсов на темпы роста продаж. Если в долларовом исчислении продажи TSMC увеличились на 6%, то в тайваньских долларах – на 11%.

Для TSMC доступ к заказам от Apple стал крайне важным. Действительно, продажи компании в 2015 году увеличились на 1,464 млрд долл., а заказы Apple составили 1,99 млрд долл., то есть объем продаж увеличился более чем на 100%. Таким образом, без заказов Apple доходы TSMC сократились бы на 2% [20].

Стоит заметить, что технологические возможности кремниевых заводов различаются – TSMC и GlobalFoundries большую часть своей продукции производят по топологиям 45 нм и менее, что сказывается на стоимости пластин (табл.3) [21].

Согласно прогнозам фирмы IC Insights, доходы кремниевых заводов в 2018 году превысят 72 млрд долл. (рис.2).

Рынок услуг кремниевых заводов в 2013–2018 годы будет демонстрировать CAGR (среднегодовой рост за определенный период в сложных процентах), равный 11%, что почти вдвое больше ожидаемого показателя для рынка ИС в целом. В настоящее время около 88% продаж обработанных по контракту пластин приходится на "чистые" кремниевые заводы, в то время как на IDM, оказывающие услуги кремниевых заводов на своих мощностях, – 11%.

Капиталовложения кремниевых заводов ("чистых" и IDM) в 2015 году достигли рекордного уровня – 24,8 млрд долл. Коэффициент использования производственных мощностей четырех ведущих "чистых" кремниевых заводов (TSMC, GlobalFoundries, UMC и SMIC) в 2016 году превысил 94%, по сравнению с 89% в 2013 году и 88% – в 2012-м [22].

"Чистые" кремниевые заводы уделяют большое внимание развитию современных производственных мощностей и освоению перспективного оборудования. Так, TSMC закупила у фирмы ASML (Нидерланды) два сканера (NXE:3350B) с источниками, работающими в наиболее коротковолновой части ультрафиолетовой области спектра (предельной УФ-области спектра). Длина волны излучения этих EUV-установок 13,5 нм. Хотя ASML рекомендует использовать свои EUV-установки с 10-нм топологией, TSMC планирует их применять при производстве ИС по 7-нм технологическому процессу.

Смещение к EUV может свидетельствовать об изменении общепринятых точек зрения на следующее поколение оборудования литографии. Ранее считалось, что для производства 10-нм ИС будет использоваться традиционная иммерсионная литография, а не долгожданная EUV-литография. Долгожданная, так как первоначально (более 10 лет назад) предполагалось применять EUV-литографию на топологических нормах в 90 нм.

По оценкам ASML, TSMC способна начать производство 7-нм ИС на EUV-сканерах в 2018 году. Правда, представители TSMC предпочитают говорить об опытном производстве в первой половине 2017-го и начале серийного производства к концу текущего года. При этом топологические нормы не называются. Более того, утверждается, что TSMC не будет использовать EUV-литографию для производства первых 10-нм ИС. Тем не менее TSMC и ASML продолжают совместные работы по созданию инструментальных средств для EUV технологического процесса, в том числе в целях снижения стоимости владения (затраты на приобретение, разработку и эксплуатацию) на рубеже 10 нм и менее.

Интересно отметить, что в рамках акционерного инвестирования ASML уже получила деньги на продвижение EUV технологического процесса как от TSMC – (1,4 млрд долл.), так и от Intel – 4,1 млрд долл. Эти средства пошли не только на разработку процесса и оборудования, но и на защиту (в интересах Intel и TSMC) производственных ноу-хау. Еще любопытнее то, что, несмотря на крупные инвестиции, Intel со скепсисом относится к EUV-литографии. Так, недавно корпорация заявила, что знает способы продления действия так называемого закона Мура на уровень до 7-нм топологий без использования EUV-литографии. Она по-прежнему полагается на оптическую 193-нм иммерсионную лито-

графию с использованием методик многократного формирования топологического рисунка [23].

ЭКОСИСТЕМЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В последнее десятилетие началось формирование экосистем вокруг мощностей кремниевых заводов, так как они все в большей мере становятся производственной базой для полупроводниковой промышленности в целом. Под экосистемой в этой сфере понимается сообщество фирм, объединенных не только общей программой НИОКР, как консорциум, но и устойчивыми технологическими и производственными связями. В экосистемы, помимо IDM, fabless-фирм, поставщиков оборудования, материалов, инструментальных средств САПР и СФ-блоков, все чаще входят производители конечных электронных систем. Кремниевые заводы предлагают партнерам широкий выбор технологических процессов с различными топологическими нормами, включая самые современные. В целях интеграции разработки технологических процессов и новых приборов кремниевые заводы широко практикуют совместные с клиентами НИОКР. В рамках перспективных НИОКР также осваиваются методики создания 2,5- и 3-мерных ИС. По мере того как расширяются возникшие вокруг foundry экосистемы, укрепляются

взаимосвязи между проектированием и технологическим процессом, кремниевые заводы активизируют сотрудничество с разработчиками ИС в целях обеспечения приемлемого выхода годных и ускоренного освоения массово-поточного производства. В рамках экосистемы кремниевые заводы оказывают клиентам более высокий уровень поддержки. Экосистемы формируются вокруг специфических DFM-возможностей (design-for-manufacturability – проектирование с учетом пригодности для массового производства), включающих взаимоотношения foundry, их стратегических партнеров и поставщиков инструментальных средств САПР. При этом ключевая зона возможностей – управление током утечки.

Можно утверждать, что **цикл преобразования традиционной вертикально интегрированной струк-**

туры отрасли в горизонтальную модель fables-foundry завершается. Сейчас идет реинтеграция вертикально-горизонтальной структуры на новом уровне. При этом экосистемы взаимосвязаны посредством членства, инвестиций и обмена акциями. По сути, возникает новая более устойчивая структура, для которой характерна более высокая концентрация производства, НИОКР и т.д. На современном этапе в центре взаимодействия партнеров в рамках экосистем стоит вопрос о перспективных методиках корпусирования (рис.3) [3].

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА СЛИЯНИЙ/ПОГЛОЩЕНИЙ НА БИЗНЕС-МОДЕЛИ

В последние два года стоимость сделок слияния/поглощения почти вдвое превысила их объем за предшест-

Таблица 2. Основные поставщики услуг кремниевых заводов в 2013–2015 годы. Источник: IC Insights

Место в рейтинге		Фирма (страна)	Тип foundry	Объем продаж, млрд долл.			Прирост 2014/2013, %	Прирост 2015/2014, %
2015	2014			2013 г.	2014 г.	2015 г.		
1	1	TSMC (Тайвань)	"чистый"	19,935	24,975	26,439	25	6
2	2	GlobalFoundries* (США)	"чистый"	4,122	4,355	5,019	6	15
3	3	UMC (Тайвань)	"чистый"	3,959	4,331	4,464	9	3
4	4	Samsung (Южная Корея)	IDM	3,450	2,590	2,670	-25	3
5	5	SMIC (КНР)	"чистый"	1,962	1,970	2,236	0	14
6	6	Powerchip (Тайвань)	"чистый"	1,182	1,291	1,268	9	-2
7	7	TowerJazz (Израиль)	"чистый"	0,505	0,828	0,961	64	16
8	10	Fujitsu (Япония)	IDM	0,440	0,645	0,870	47	35
9	8	Vanguard (Тайвань)	"чистый"	0,713	0,790	0,736	11	-7
10	9	Hua Hong Semi (КНР)	"чистый"	0,585	0,665	0,650	14	-2
11	11	Dongbu (Южная Корея)	"чистый"	0,452	0,541	0,593	20	10
12	12	SSMC (Сингапур)	"чистый"	0,496	0,480	0,460	-3	-4
13	15	WIN (Тайвань)	"чистый"	0,354	0,327	0,389	-8	16
Итого 13 фирм				38,155	43,788	46,745	15	7
Доля 13 фирм на рынке				91%	92%	93%	-	-
Прочие				3,755	3,689	3,515	-2	-5
Всего				41,910	47,477	50,260	13	6

* Включая 740 млн долл. продаж IBM после ее приобретения во второй половине 2015 года.

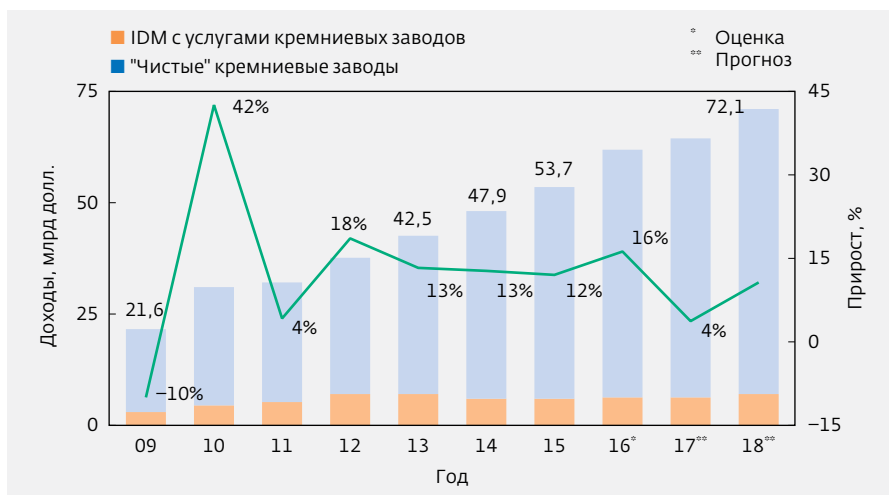


Рис. 2. Состояние и прогноз структуры рынка услуг кремниевых заводов

вующие пять лет. Особенность нынешней волны в том, что в них шире вовлекаются фирмы смежных и даже не относящихся к электронике отраслей, что приводит к изменениям действующих бизнес-моделей. Сами модели уже не так тесно связаны с собственно полупроводниковой промышленностью, в них появляются выходы на конечных продавцов электронных систем под их собственным брендом, в том числе из неэлектронных отраслей.

По данным корпорации IC Insights, общая сумма объявленных в прошлом году сделок слияния/поглощения по более чем 20 полупроводниковым фирмам составила 98,5 млрд долл. по сравнению с рекордным показателем 2015-го в 103,3 млрд долл. (по более чем 30 фирмам). Корпорация Gartner назвала цифру в 130 млрд долл. Расхождение с данными IC Insights, по всей видимости, вызвано тем, что Gartner рассматривает не объявленные, а завершённые сделки. Относительно перспектив 2017 года специалисты Gartner прогнозируют дальнейший рост стоимости сделок слия-

брендов неэлектронных товаров могут представлять другие отрасли (рис.4). Эта модель возникла тогда, когда операторы сотовой связи начали продавать сотовые телефоны под собственной маркой, хотя они были узнаваемы, как, скажем, изделия Nokia или Motorola. Такая бизнес-модель непосредственного взаимодействия обладателя бренда и ODM/EMS хороша для поставщиков ИС, но не подходит для традиционных фирм – производителей электроники.

Еще одна относительно новая проблема для некоторых поставщиков ИС заключается в том, что теперь они выпадают из цепочки "кремниевый завод – EMS/ODM – электронная фирма и/или OEM" (OEM Direct model). Пример – проектирование ИС компаниями, например Apple или Facebook, под свои нужды с последующим изготовлением на базе мощностей TSMC.

Примечателен пример Foxconn (Hon Hai), создающей устойчивую производственную базу с широкими возможностями. Для этого в феврале прошлого года завершилось поглощение корпорации Sharp (Япония)

Таблица 3. Сопоставление технологий и средней цены пластины крупнейших "чистых" кремниевых заводов. Источник: IC Insights, отчеты фирм

Технология/ средняя цена пластины	TSMC		GlobalFoundries		UMC		SMIC	
	2015 г.	I-III кв. 2016 г.	2015 г.	I-III кв. 2016 г.	2015 г.	I-III кв. 2016 г.	2015 г.	I-III кв. 2016 г.
Доля приборов с топологиями ≤45 нм в общих продажах, %	62	67	65	64	34	42	16	23
Средняя цена пластины (в 200-мм эквиваленте), долл.	1,348	1,349	1,043	1,015	0,761	0,748	0,741	0,733



Рис.3. Актуальные вопросы взаимодействия в рамках экосистем, связанные с перспективными методиками корпусирования

и в 2017 году сделано предложение корпорации Toshiba (Япония) о приобретении ее подразделения по производству схем памяти [4].

ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ БИЗНЕС-МОДЕЛЕЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ В РОССИИ

К сожалению, в российских программах развития радиоэлектронного комплекса, от Президентской программы 1994 года до Госпрограммы "Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013–2025 годы", зарубежный опыт бизнес-моделей не учитывается. А это вопросы структуры затрат, эффективности НИОКР и освоения их результатов в производстве по срокам и рентабельности.

Применимость модели IDM в отечественной микроэлектронике

Как показывает мировой опыт развития модели IDM, на фоне быстрого роста издержек производства и расходов на НИОКР по мере масштабирования ИС на рубеже 45-нм технологии началось массовое преобразование мелких и средних IDM в fabless-фирмы (с прохождением стадии fab-lite либо без нее). Многие подобные фирмы ушли из полупроводникового бизнеса или заняли специфические ниши. На уровне технологий 22/20 нм фактически возникла производственная олигополия, то есть ситуации, когда новейшие производственные мощности fabless-заказчикам может предоставить очень узкий круг производителей. При этом на рубеже 20 нм такими производителями стали два

ведущих IDM – Intel и Samsung, а также два кремниевых завода – TSMC и Global Foundries.

Для деятельности "чистых" IDM места не осталось.

Поскольку сохранившиеся со времен СССР микроэлектронные предприятия Российской Федерации, по сути, используют модель IDM, стоит отметить, что она действенна только до тех пор и в той мере, пока имеются гарантированные объемы заказов и государственная поддержка. При увеличении емкости внутреннего рынка они не смогут увеличить продажи в условиях открытой конкуренции и заработать средства на техническое перевооружение. Реализация модели "чистого" IDM в Российской Федерации бесперспективна.

Для нашей страны перспективной представляется модель fab-lite в варианте НИОКР и опытного производства с передачей основного объема выпуска сторонним организациям.

Основной путь выживания отечественных микроэлектронных предприятий, обладающих собственной производственной базой, – преобразование в fabless-фирмы (центры проектирования). Решение о том, какой вариант выбрать, необходимо принимать с учетом состояния / возраста производственных мощностей и действующих государственных программ, определяющих объемы потребностей и номенклатуру, а также величину государственного заказа.

Применимость модели кремниевого завода

Актуально создание современного кремниевого завода. Ситуация с санкциями показывает, что для определен-

МК семейства PIC18F "K40" с интеллектуальным АЦП с фильтрацией и обработкой сигнала

8-разрядные МК PIC®-отличный выбор для обработки сигналов и работы с сенсорными панелями



Независимая от ядра периферия (CIP) семейства 8-разрядных МК PIC18F "K40" поддерживает фильтрацию и обработку сигналов в приложениях с сенсорными панелями и трактах формирования сигнала.

В состав интеллектуальной аналоговой CIP входит АЦП с вычислительными возможностями (ADC2), реализующий фильтрацию, усреднение сигнала, передискретизацию и автоматическое формирование уставок. В МК интегрированы критически важная CIP, аппаратный модуль ШИМ, большое число коммуникационных интерфейсов, а также флэш-память и EEPROM. Перечисленные особенности вкупе с 5-В питанием позволяют увеличить гибкость проектирования систем с МК семейства PIC18F "K40" и уменьшить стоимость системы в целом.



microchip
DIRECT
www.microchipdirect.com

 **MICROCHIP**

www.microchip.com/EUPIC18FK40

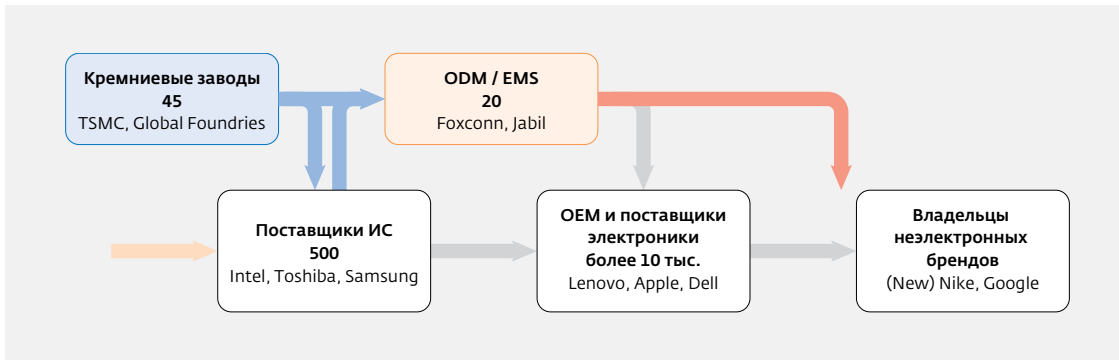


Рис.4. Модель "Кремниевый завод – ODM/EMS – владельцы брендов неэлектронных товаров"

ных типов ИС необходимо собственное производство. Однако с учетом малой емкости внутреннего рынка речь может идти о появлении одного-двух производств. При реализации проекта строительства кремниевого завода в Российской Федерации возможно использование нескольких стратегий, как с точки зрения выбора партнеров, так и с точки зрения способа оснащения предприятия.

В первом случае можно говорить о вариантах создания совместного предприятия со следующими предприятиями:

- крупная традиционная фирма (IDM);
- кремниевый завод;
- fabless-фирма (фирмы);
- поставщики инструментальных средств САПР и СФ-блоков.

Первый вариант – объединение (СП) производства и НИОКР. При этом IDM-партнер не будет потреблять весь объем продукции СП, а НИОКР будут касаться разработки не столько типов или семейств полупроводниковых приборов, сколько новых или усовершенствованных промышленных технологий полупроводникового производства.

Второй вариант можно реализовать, только если у зарубежного кремниевого завода есть потребность в расширении своих возможностей для более быстрого

и, не исключено, более дешевого обслуживания европейских заказчиков.

Третий вариант, как показывает практика, представляет интерес для нескольких fabless-фирм, разрабатывающих примерно одинаковые изделия и нуждающихся в более дешевой, чем у независимого кремниевого завода, производственной базе. Яркий пример – израильский Tower Semiconductor. Преимущество и недостатки этого варианта: относительно небольшие стартовые средства партнеров, стабильность спроса, а также ограниченный круг клиентов зарубежных партнеров по СП и присоединившихся чуть позднее "технологических партнеров". При возможном расширении производства большая доля средств обычно предоставляется партнерами в качестве кредита – часть под будущие поставки обработанных пластин и часть за вновь эмитируемые акции (при этом общая их доля возрастает, повышается роль в управлении деятельностью, а также получаемая доля прибыли).

Четвертый вариант является обязательным элементом любого из первых трех.

Применимость fabless-модели

Мировой опыт показывает, что с учетом постоянного увеличения издержек по мере масштабирования микроэлектронных технологий и соответствующих барьеров выхода на рынок fabless-модель остается наиболее дешевой для ведения бизнеса в области полупроводниковых приборов. Тем более что, несмотря на консолидацию fabless-индустрии и увеличение масштабов fabless-фирм, остается поле деятельности и для более мелких изготовителей, которые ориентируются на свои рыночные ниши.

На рубеже 2001–2002 годов в России сложились условия для развития fabless-индустрии (дизайн-

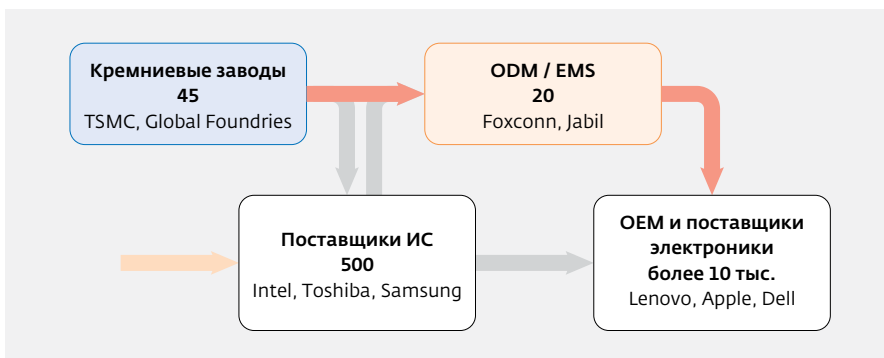


Рис.5. Модель "Кремниевый завод – EMS/ODM – электронная фирма и/или OEM"

Разработка и производство конденсаторов




оксидно-электролитические алюминиевые конденсаторы
K50-15, K50-17, K50-27, K50-37, K50-68, K50-74, K50-76, K50-77,
K50-80, K50-81, K50-83, K50-84, K50-85, K50-86, K50-87, K50-88,
K50-89, K50-90, K50-91, K50-92, K50-93, K50-94, K50-95

оксидно-полупроводниковые танталовые конденсаторы
K53-1А, K53-7, K53-65(чип), K53-66, K53-68(чип),
K53-71(чип), K53-72(чип), K53-74(чип), K53-77(чип)




объемно-пористые танталовые конденсаторы
K52-1, K52-1М, K52-1БМ, K52-1Б, K52-9, K52-11,
K52-17, K52-18, K52-19, K52-20, K52-21, K52-24

конденсаторы с двойным электрическим слоем (ионисторы, суперконденсаторы)
K58-20, K58-21

Новые разработки оксидно-электролитических алюминиевых конденсаторов

Тип конденсатора	Отличительные особенности	$U_{ном}$, В	$C_{ном}$, мкФ	Диапазон температур среды при эксплуатации T_{cp} , °С	Наработка ч. предельно-допуст. режима / облегчен. режима
 K50-93	Высокий удельный заряд. Уменьшенные габаритные размеры корпуса и вес.	6,3...450	1,0...200	-60...+100	1 000 / 50 000
 K50-94	Самофиксирующиеся выводы. Малые габариты корпуса.	160...450	47...2 000	-60...+125	2 000 / 250 000
 K50-95	Высокий удельный заряд. Уменьшенные габаритные размеры корпуса и вес.	6,3...450	3,3...10 000	-60...+100	2 000 / 30 000

Накопители электрической энергии на основе модульной сборки суперконденсаторов

Тип накопителя	Отличительные особенности	$U_{ном}$, В	$C_{ном}$, Ф	Диапазон температур среды при эксплуатации T_{cp} , °С	Срок сохраняемости, лет не менее
 10Вx3,75Ф	без корпуса	10	3,75	-40...+50	17
 10Вx3,75Ф	в корпусе	10	3,75	-50...+65	25
 20Вx1,875Ф	без корпуса	20	1,875	-50...+65	25

центров), что при грамотном подходе давало основание для вывода конструирования полупроводниковых приборов на уровень современных технологий мирового класса. Принятый в 2000 году закон об инвестиционной деятельности открыл дорогу к созданию фондов венчурного капитала, играющих важную роль в развитии fabless-индустрии. В разделе "Электронная компонентная база" Федеральной целевой программы "Национальная технологическая база" серьезное внимание уделялось созданию дизайн-центров и разработке СФ-блоков. Однако до сих пор fabless-модель в Российской Федерации не получила должного развития. Главная проблема – создание налоговых и иных условий, стимулирующих развитие высокотехнологических отраслей, с учетом накопленного в мире опыта.

Расширение сети дизайн-центров необходимо для развития отечественной микроэлектроники. Для этого на национальном уровне нужно решить вопросы:

- о предоставлении дизайн-центрам льготных субсидий;
- введении налоговых скидок на НИОКР, арендную плату и т.п.;
- централизованной закупке современных инструментальных средств САПР для коллективного использования дизайн-центрами на льготных условиях.

При этом надо отметить, что в Российской Федерации не ставятся вопросы о развитии крупносерийного производства новых ИС мирового уровня и проектировании СБИС с топологиями 22 нм и менее.

* * *

В современных условиях количество IDM на рынке быстро уменьшается. Малые и часть средних IDM стали глубоко специализированными нишевыми игроками. Часть средних и крупных IDM пытаются использовать модель fab-lite в ее втором варианте, – то есть новейшие мощности для НИОКР и опытного производства, где до требований массового производства доводятся перспективные технологии и приборные структуры, когда недостающие объемы мощностей покрываются за счет контрактных изготовителей (foundry или IDM). Некоторые крупнейшие IDM вынуждены использовать модель кремниевого завода для части своих мощностей на регулярной основе. "Чистых" IDM практически не осталось.

Fabless-модель демонстрирует значительные темпы роста. По мере увеличения сложности приборов и уменьшения топологических норм увеличиваются издержки на их проектирование. Соответственно, все более важными становятся сотрудничество и консолидация fabless-индустрии посредством слияний и поглощений. Для fabless-фирм гарантированный доступ к новейшим производственным мощностям кремниевых заводов уже к 2012 году стал фактором выживания

в конкурентной борьбе. Модель кремниевого завода – основа современного микроэлектронного и в дальнейшем радиоэлектронного производства. Укрепление взаимодействия fabless-фирм и кремниевых заводов с учетом прочных связей таких предприятий с независимыми поставщиками СФ-блоков и разработчиками инструментальных средств САПР ведет к формированию новых "сверхкорпораций", которые смогут отказать от модели IDM. Применение fabless-фирмами разнонаправленных стратегий развития позволят охватить возможные сектора деятельности, а также концентрироваться на перспективных направлениях; оптимизировать затраты, с помощью услуг типа design-lite с минимальными потерями и переделками находить для своей продукции дополнительные рынки сбыта.

Опыт КНР показывает перспективность применения программно-целевого подхода и мер государственного стимулирования, их высокую эффективность в деле развития высокотехнологических отраслей с учетом практики частно-государственного партнерства. Fabless-модель в отечественной микроэлектронике, несмотря на некоторые успехи на начальном этапе развития, пока не получила должного развития. Главная проблема – отсутствие налоговых и иных условий, стимулирующих развитие высокотехнологических отраслей с учетом мирового опыта. В то же время решение задачи создания кремниевого завода затруднено из-за необходимости больших капиталовложений.

ЛИТЕРАТУРА

14. **Авдонин Б.Н., Макушин М.В.** Тенденции изменения структуры мировой полупроводниковой промышленности. Часть 2. Индустрия услуг кремниевых заводов // Зарубежная электронная техника. ЦНИИ "Электроника". – М. 2002. № 2 (436). С. 3–39.
15. **LaPedus M.** Specialty foundries seek new growth strategies // EE Times. 10/06/2009.
16. **LaPedus M.** Foundries to boost capex in 2011 // EE Times. 12/21/2010.
17. **LaPedus M.** Update: IBM 'fab club' switches high-k camps // EE Times. 1/18/2011.
18. **McGrath D.** Foundry sales growth hitting the skids // EE Times. 10/5/2012.
19. **Clarke P. and McGrath D.** Foundries have 28-nm yield issues, say execs // EE Times – EDN. 2011. November 2.
20. Apple drove entire foundry sales increase at TSMC in 2015 // Solid State Technology. The Pulse. 2016. April 26.
21. **Shoji Tomoaki.** Toshiba confirm memory chip spinoff // EE Times. 2017. January 27.
22. **Clarke P.** Foundry sales growth faster, than chip market // EE Times Europe. 2014. December 08.
23. **Patterson A.** TSMC to use EUV for 7 nm, says ASML // EE Times. 12/08/2014.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ



БЕЗМАСОЧНАЯ ЛИТОГРАФИЯ

- Многоканальные лазерные генераторы изображений
- Проектная норма 1.0, 0.6, 0.35 μm
- Быстрая переналадка пластина – шаблон
- $\varnothing 300, 200, 150, 100$ мм



КОНТАКТНАЯ ЛИТОГРАФИЯ

- Ручная и автоматизированная загрузка
- Двусторонняя литография
- Высокая точность совмещения
- Низкий уровень генерации дефектов



ГЕНЕРАТОРЫ ИЗОБРАЖЕНИЙ

- Диапазон UV, DUV
- Проектная норма 130, 90 нм
- Фазосдвигающие шаблоны
- Опция прямого рисования
- 16/32-лучевая архитектура



СТЕППЕРЫ

- Твердотельный источник света
- Проектная норма 0.8, 0.35 μm
- Автоматический масштаб
- Двустороннее совмещение
- $\varnothing 200, 150, 100$ мм



КОНТРОЛЬ ФОТОШАБЛОНОВ

- Проектная норма 130, 90 нм
- Твердотельный лазер
- Контроль методом Die-to-DB, Die-to-Die
- Высокая производительность



КОНТРОЛЬ ТОПОЛОГИИ

- Контроль привносимых дефектов пластин без топологии
- Автоматический микро и макро контроль дефектов пластин с топологией



РЕМОНТ ФОТОШАБЛОНОВ

- Фемтосекундный / пикосекундный лазер
- 0.2 / 0.5 μm min элемент
- Размер шаблона 7"х7"
- Устранение прозрачных и непрозрачных дефектов



КОНТРОЛЬ И ИЗМЕРЕНИЕ

- Автоматический контроль
- Контроль микроразмеров
- Контроль неплоскостности
- Контроль координат
- Визуальный контроль



- Единое таможенное пространство
- 55-летний опыт разработки и производства прецизионного оптико-механического оборудования
- Высокий уровень применяемых технологий и современного оборудования
- Полный цикл разработки и производства
- Высококвалифицированный персонал
- Высокое качество изделий подтверждено национальными и международными стандартами
- Возможность комплексной поставки оборудования, в том числе, адаптированного для Российского рынка программного обеспечения для поддержки процессов изготовления фотошаблонов и 3D-моделирования для фотолитографии компании GenISys (Германия)

