

НОВЫЙ ФОРМАТ КОМПАКТНЫХ КРЕМНИЕВЫХ ФАБРИК – РЕШЕНИЕ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ РОССИИ

ДМИТРИЙ БОДНАРЬ, к.т.н., генеральный директор, ЗАО «Синтез Микроэлектроника»

Экспоненциальный рост стоимости современных кремниевых фабрик, достигающий 10 млрд. долл., вынуждает искать новые форматы более компактных и дешевых линий обработки пластин. Ввиду малого объема российского рынка изделий электронной техники успехи, достигнутые японскими и американскими компаниями в создании недорогих и маневренных производственных линий обработки пластин уменьшенного диаметра, могут оказаться крайне полезными для отечественной полупроводниковой промышленности.

ТЕНДЕНЦИИ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН

Увеличение диаметра пластин и снижение проектных топологических норм является неотъемлемой частью истории развития полупроводниковой микроэлектроники. За более чем 50-летнюю историю производство полупроводников прошло путь от пластин диаметром 25 мм до современных фабрик, обрабатывающих кремниевые пластины диаметром 300 мм. К 2020 г. (а, вероятно, и раньше) планируется запуск первой фабрики для пластин диаметром 450 мм. Одновременно с этим происходит постоянное снижение проектных норм топологии, достигшее значений 14 нм.

Основными итогами обозначенных тенденций являются повышение степени интеграции интегральных схем (ИС) и уменьшение стоимости обработки единицы площади ИС и полупроводниковых приборов (см. рис. 1). Но одновременно с этим стоимость новых фабрик обработки пластин повышенного диаметра и уменьшенных топологических размеров постоянно увеличивается (см. рис. 2). Растет также стоимость комплекта фотошаблонов (см. рис. 3), а также оборудования для литографической обработки пластин (см. рис. 4) и стоимость разработки техпроцессов для новых субмикронных технологий (см. рис. 5). В результате капитальные затраты на строительство современной фабрики

для обработки пластин диаметром 300 мм составляют 5–10 млрд. долл., а для пластин диаметром 450 мм могут достигать 20–30 млрд. долл.

В настоящее время в мировой полупроводниковой микроэлектронике только 6–7 компаний могут позволить себе самостоятельно построить завод для пластин 300 мм. Но для 450 мм пластин уже только 3–4 мировых компании способны профинансировать строительство производственных и энергетических корпусов такой фабрики с частичным укомплектованием оборудованием. А вот для разработки и создания литографического оборудования для проектных норм 7–14 нм необходи-

мо объединять финансовые ресурсы нескольких ведущих полупроводниковых производителей. Таким образом, чтобы только возместить понесенные затраты в 10 млрд. долл., новому предприятию необходимо в течение 10 лет обеспечивать продажи пластин ежедневно почти на 20 млн. долл. Сейчас только Intel, Samsung, TSMC потенциально способны нести такие расходы и обеспечивать загрузку новых производственных фабрик для пластин диаметром 450 мм.

Но очевидно, что в соответствии с циклом жизни и потребности на мировом рынке пластин разного диаметра после 2020 г. пик потребности и запуска

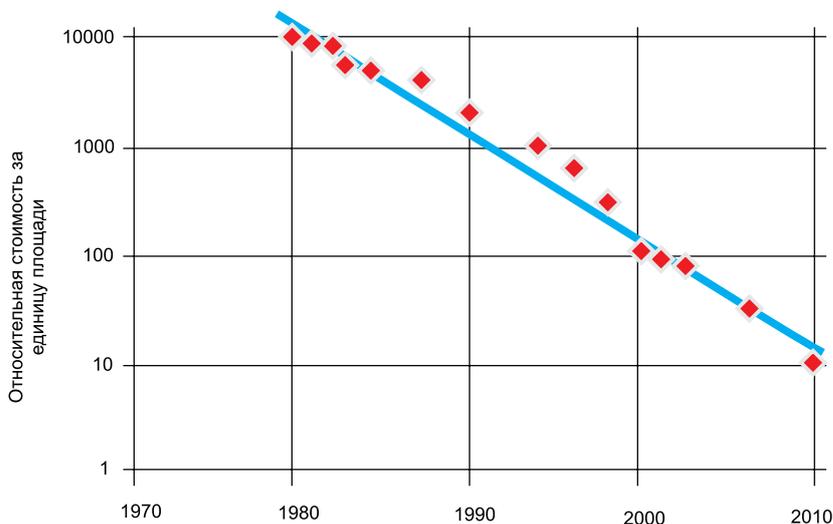


Рис. 1. Стоимость изготовления единицы площади кремниевой пластины в 1980–2010 гг.

300 мм пластин будет пройден и начнется стремительный рост запуска 450 мм пластин (см. рис. 6). А это означает, что мелким и средним фаблесс-компаниям будет все сложнее проникать на крупные фондри-фабрики с пилотными и инженерными партиями и малыми заказами. И особенно злободневной данная проблема может стать для небольших фаблесс-компаний, проектирующих изделия по технологии менее 45 нм, а также для стран со слабым рынком и не располагающих соответствующими фабриками и технологиями, например, для России.

КОМПАКТНЫЕ ЛИНИИ – РЕВОЛЮЦИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ?

В последние годы ограничение возможностей для большинства участников мирового полупроводникового рынка в создании новых фабрик обработки пластин, а также их высокая стоимость вынуждают искать новые решения по формату этих фабрик. Эти решения направлены на снижение стоимости фабрик и уменьшение диаметра обрабатываемых пластин. Очевидно, что снижение диаметра пластин приведет к снижению эквивалентной производительности фабрики и повышению стоимости обработки единицы площади. Однако, такие решения незаменимы для малосерийного производства и изготовления лабораторных и опытных образцов.

В Японии разработка концепции создания компактных производственных линий в разных отраслях промышленности является настолько актуальной, что для этого даже создана ассоциация, объединяющая многие компании этого профиля. Созданная в апреле 2013 г. под эгидой Национального института современных промышленных исследований и технологий ассоциация включает 24 японские компании полупроводниковой промышленности. Ожидания революционных результатов распространяются так далеко, что даже предусматривают возвращение Японии потерянных лидирующих позиций в мировой электронике.

Новая концепция распространяется не только на полупроводниковую промышленность, но и на автомобилестроение. Ранее для снижения издержек и затрат в автомобилестроении производственные линии делали короче и меньше, но это приводило только к экономии места и к сокращению цикла между операциями. Сейчас основные усилия направлены на снижение стоимости, маневрен-

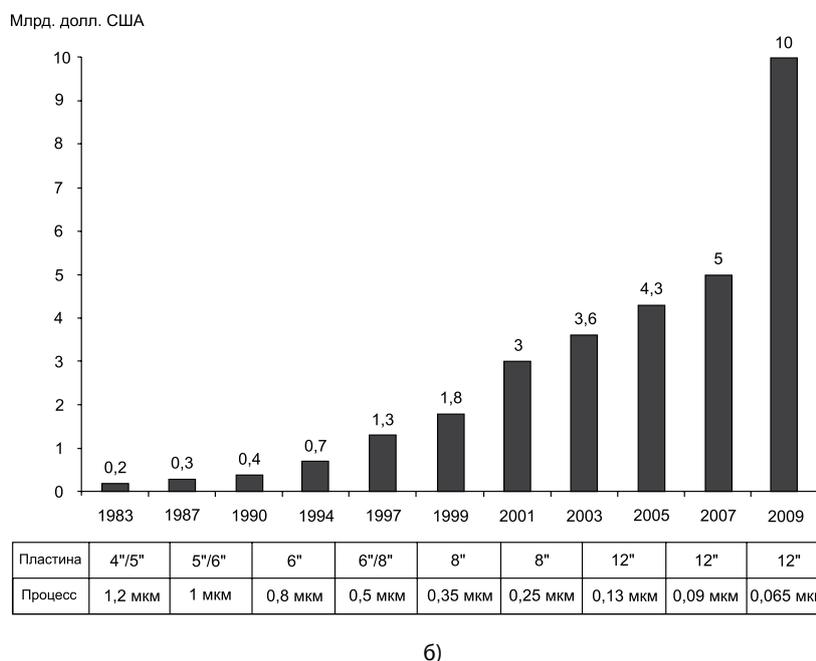
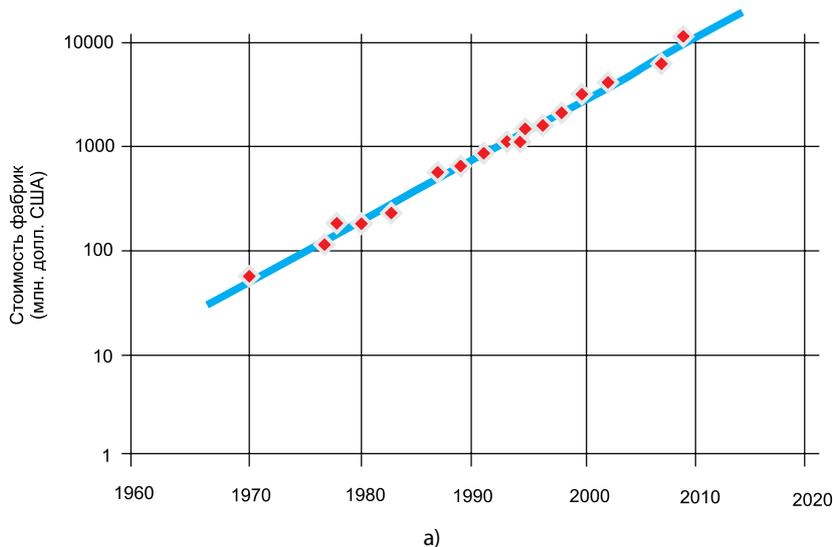


Рис. 2. Рост стоимости кремниевых фабрик в 1970–2010 гг. (а) в зависимости от диаметра пластин и проектных норм топологии (б)

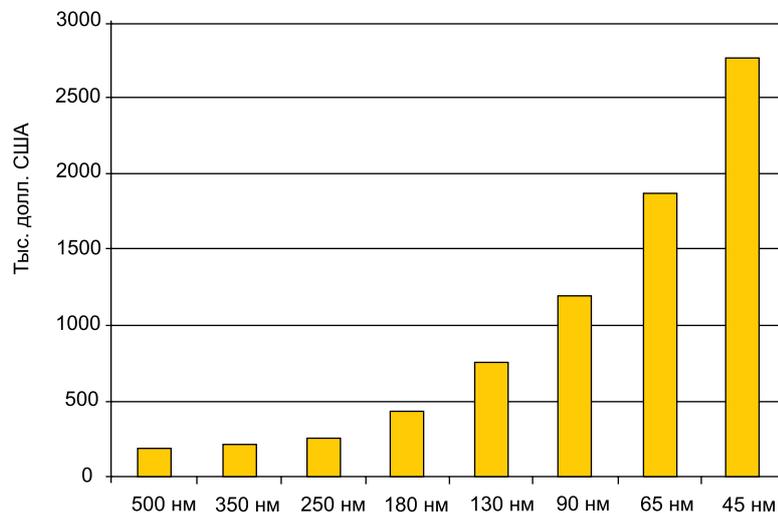


Рис. 3. Влияние проектных норм топологии на стоимость комплекта фотошаблонов

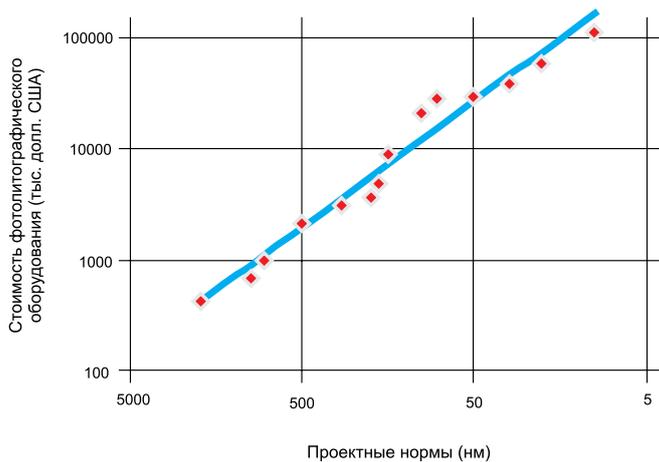


Рис. 4. Влияние проектных норм топологии на стоимость фотолитографического оборудования

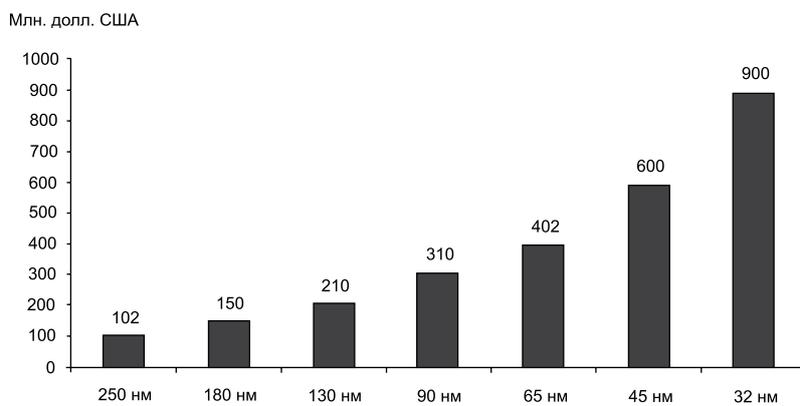


Рис. 5. Рост стоимости разработки техпроцессов для разных технологий

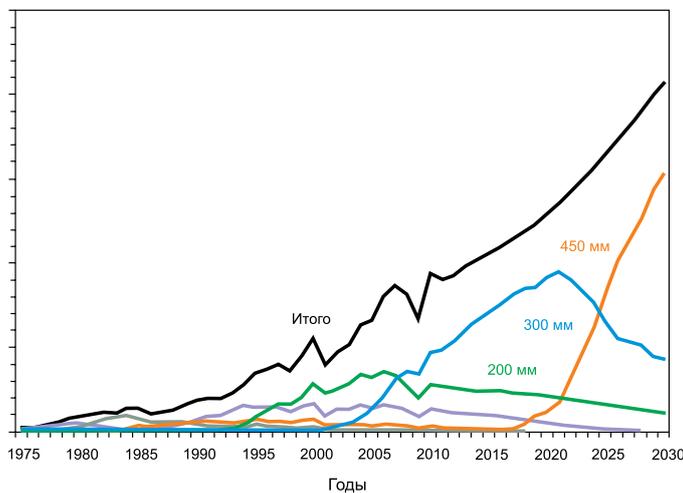


Рис. 6. Цикл жизни и потребности на мировом полупроводниковом рынке пластин разного диаметра

ность, интеграцию, уменьшение количества процессов и сокращение технологического цикла. Достигнутые результаты в автомобилестроении – поразительные. Новая линия для покраски автодеталей компании Honda на 40% короче, чем стандартная. Новая компактная линия Toyota обеспечивает снижение производственной площади на 58% и остается прибыльной даже при снижении объемов производства наполовину. А новая линия отливки алюминиевых заготовок для автомо-

бильных двигателей компании Denso обеспечила сокращение расходов на 80% в сравнении с типовой линией. Хорошие результаты достигнуты и в компактном производстве устройств электропитания компании TDK – экономия составила 40%.

Самого пристального внимания заслуживают результаты компании Minimal Fab в создании новых компактных производственных линий для полупроводниковой промышленности. Их компактные линии ориентирова-

ны на производство различных видов полупроводников в небольших количествах. Пластины диаметром 0,5 дюйма соответствуют размеру большинства ИС и полупроводниковых приборов и обеспечивают очень компактный размер устройств обработки пластин шириной всего 30 см (см. рис. 7а). Транспортировка пластин в герметичных контейнерах Minimal Shuttle избавляет от необходимости использования чистых комнат. Пример компактной производственной линии Minimal Fab представлен на рисунке 7б. Стоимость линии нового революционного формата может быть снижена более чем в 1000 раз.

В таблице приведены расчетные показатели производительности, размеров и экономичности производственных линий от типового формата до комнатных и даже настольных размеров для пластин диаметром 12, 8 и 0,5 дюйма по технологии 90 нм. Расчеты выполнены японским консорциумом AIST, занимающимся исследованием производственных процессов и систем. И хотя некоторые показатели расчетов вызывают вопросы, снижение капитальных затрат, сокращение производственного цикла и повышение эффективности в случае использования компактных линий очевидны. Первая презентация и демонстрация новой линии Minimal Fab в 2013 г. на симпозиуме в Японии не смогла вместить и половины желающих ознакомиться с ней. А прямо на выставке Semicon Japan-2014 за два дня без всяких чистых комнат компания развернула линию из 25 установок для полного цикла изготовления КМОП. Уже сейчас на линии реализована технология 0,8 мкм, а в ближайшие годы она будет снижена до 22 нм.

Американская компания Futrfab Inc. пытается реализовать концепцию компактной фабрики обработки пластин диаметром 2 дюйма. На рисунке 8 сравниваются размеры нового малопроизводительного производства, именуемого Protofab, с современным производством с ячеистым размещением оборудования. Размеры современного производства эквивалентны 6 футбольным полям и кроме стандартных чистых комнат включают помещения для оснастки, материалов, персонала. Только одно капитальное здание без оборудования и материалов стоит около 1 млрд. долл. Стоимость современной полупроводниковой фабрики с классическими чистыми комнатами достигает 10 млрд. долл.

Futrfab предлагает пересмотреть понятие чистой комнаты в классическом понимании. Новая модель помещений, именуемых «чистое место» (cleanspace), вмещает все элементы чистых комнат,



а)



б)

Рис. 7. Пример компактной установки (а) и линии обработки пластин 0,5 дюйма (б) компании Minimal Fab

но изменяет концепцию их расположения для обеспечения эффективности, автоматизации и сокращения обслуживания персонала. За счет компактного вертикального расположения оборудования оснастки (см. рис. 9) оно может легко сниматься, заменяться и при этом обеспечивается максимальная автоматизация.

Использование 2-дюймовых вместо 12-дюймовых пластин позволяет значительно снизить размеры оборудования. Применение безмасочной литографии не только повышает маневренность производства, но и позволяет использовать меньше производственных площадей и исключить помещения для инструмента и оснастки. В производство пластин может быть также интегрировано оборудование для сборки интегральных микросхем и полупроводниковых приборов в различные типы корпусов. Таким образом, может быть реализован полный цикл создания изделий от исходной пластины до корпусированного прибора. Подобные решения являются незаменимыми для разработки и создания прототипа новой продукции, т.к. фабрики для крупносерийного производства

и обработки пластин не заинтересованы и не поддерживают выпуск малых объемов разнотипных изделий. Кроме того, сборочные производства часто расположены в других странах и далеко от кремниевых фабрик. Компания Futrfab полагает, что новая концепция чистых помещений cleanspace и новой компактной фабрики под названием Prototfab станет революцией в полупроводниковом производстве и обеспечит максимальную эффективность для компактных производственных линий с небольшой производительностью.

ПРИМЕНЕНИЕ В РОССИЙСКОЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ

Что касается российских полупроводниковых производств, то перспективы создания современных технологий 14–32 нм не грозят им даже в отдаленном будущем. Рынок электронных компонентов в России в 2012 г. по оценке ООО «СовЭл» составил 2522 млн. долл. Это эквивалентно 6% от объема продаж компании Samsung в 2014 г. И означает, что в нашей стране отсутствуют не только финансовые ресурсы для закупки и строительства фабрики для 300 мм пла-

стин, но и рыночный потенциал для ее загрузки.

Российский рынок электронных компонентов отличается очень малым объемом и большой номенклатурой продуктов. Даже удвоение этого рынка не сделает окупаемыми современные фабрики обработки пластин, ориентированные на массовое производство. Даже новые производственные линии завода «Микрон», обладающие производительностью среднего и ниже среднего уровня, в полной мере ощущают проблемы слабой загрузки производственных мощностей. Многие российские дизайн-центры для изготовления инженерных партий и пилотных образцов пользуются услугами зарубежных компаний TSMC, UMC, Silterra, XFab и т.д. Однако после завершения разработки и аттестации изделия ежегодные объемы заказов составляют не более 25–50 пластин каждого изделия по проектным нормам 130–350 нм, и в некоторых случаях 65–90 нм. Причем, как правило, для каждого топологического размера на зарубежных фабриках используется отдельная производственная линия.

Очевидно, что новый формат полупроводниковой линии обработки пла-

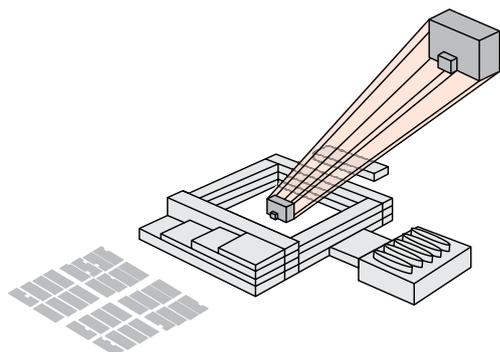


Рис. 8. Сравнение размеров и инфраструктуры типовой кремниевой фабрики и новой линии Prototfab компании Futrfab

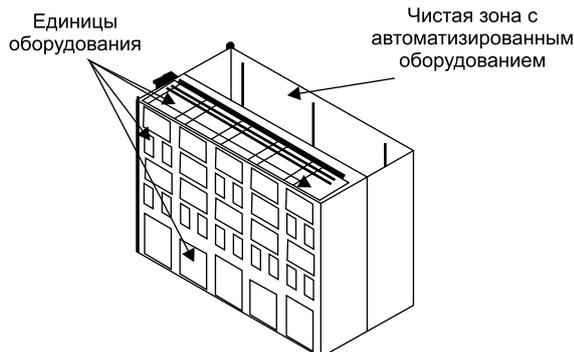


Рис. 9. Новый вертикальный формат производства для обработки пластин компании Futrfab

Таблица. Влияние размера фабрики производства пластин на ее показатели

Условия • время произв. цикла = 1 мин/пл. • процессы = 500 (8 слоев металлиз.) • проектные нормы = 90 нм	Имеющаяся Мега FAB	Мини-FAB (HALCA) проект	FAB компактного размера				FAB настоящего размера
			Производственная FAB Один процесс на одну ед. оборудования		Пилотная FAB Несколько процессов на одну ед. оборудования		
Типы произв. процессов	Текущий	Усовершенств.	Текущий	Минимальные	Текущий	Минимальные	Нанотех.
Площадь фабрики	150 м ²	30 м ²	10 м ²	5 м ²			1 м ²
Диаметр пластин	12"	8"	0,5"				0,5"
Кол-во чипов на пл. (1 чип=1 см ²)	600	300	1				1
Ширина ед. оборудования	3 м	1 м	30 см				–
Кол-во масок	34	34	Без масок	Без литографии	Без масок	Без литографии	Без литографии
Кол-во процессов	600	500	350	32	350	32	~30
Пластины в незавершенном производстве	17 тыс.	7500	350	32	1	1	1
Кол-во единиц оборудования	300	100	350	32	20	20	1 система
Инвестиции в фабрику	5 млрд долл.	0,1 млрд долл.	0,5 млн долл.	450 тыс. долл.	300 тыс. долл.	250 тыс. долл.	10 долл.
План расположения оборудования	Рабочий	Рабочий	Поточный	Поточный	Поточный	Поточный	Поточный
Объем выпуска пл. (длительность произв. цикла /общая длительность)	~1%	~1%	40%	50%	90%	90%	90%
Время выхода партии	30 дней	10 дней	17 ч	32 ч	8 ч	18 ч	120 дней
Произв. мощность (300 мм)	17 тыс.	1 тыс.	24	1	0,17	0,057	4x10 ⁻⁴
Производительность в год (чип 1 см ²)	140 млн	7 млн	0,5 млн	8,400	1,400	500	3
Производительность для массовых продуктов для ПК	70%	3,5%	0,1%	4×10 ⁻⁵	7×10 ⁻⁶	2×10 ⁻⁶	1,5×10 ⁻⁸
Объем продаж	10 млрд долл.	0,2 млрд долл.	0,5 млн долл.	300 тыс. долл.	300 тыс. долл.	250 тыс. долл.	300 тыс. долл.
Цена чипа (объем продаж/кол-во произведенных чипов)	12 долл.	29 долл.	1,7 долл.	36 долл.	36 долл.	500 долл.	100 тыс. долл.
Эффективность использования средств	0,1%	0,2%	0,2%	100%	0,2%	100%	100%

стин уменьшенного диаметра является отличным решением для российской полупроводниковой промышленности, позволяющим значительно снизить стоимость капитальных затрат, обеспечить универсальность и маневренность для разных технологий, обеспечить окупаемость при слабой рыночной потребности, сократить сроки и стоимость разработки новых изделий.

Однако в современных условиях имеется одно существенное ограничение, которое может помешать использованию всех этих преимуществ. Этим ограничением являются зарубежные санкции. Очевидно, что подобное оборудование и технологии в условиях санкций не могут быть проданы в Россию. До отмены санкций и создания открытой экономики в нашей стране возможности воспользоваться этими преимуществами у отечественной электроники, увы, не будет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Снижение проектных норм, увеличение диаметра обрабатываемых пластин до 300–450 мм и рост инвестиций в создание таких фабрик,

достигающих 10–30 млрд. долл., делают доступными их строительство только для 3–6 крупных мировых компаний.

- После 2020 г. можно ожидать сложностей для малых и средних фаблесс-компаний и стран со слабо развитым полупроводниковым рынком в изготовлении небольших инженерных, пилотных и производственных партий на пластинах большого диаметра с топологией менее 45 нм.
- Переход к новому формату компактных фабрик невысокой производительности для обработки пластин малого диаметра без классических чистых комнат и с безмасочной литографией позволяет более чем в 1000 раз снизить их стоимость, уменьшить требуемые производственные площади и циклы, повысить маневренность и эффективность малосерийного производства.
- В условиях слабо развитого рынка и большой номенклатуры ИЭТ в России целесообразно применение недорогих и компактных производственных линий нового формата с использованием пластин уменьшенного диаметра.

ЛИТЕРАТУРА

- TSMC on 450 mm Wafers and Litography// EETimes, May 9, 2012.
- Samsung announces mass production of industry's first 14 nm FinFET mobile application processor//Samsung Tomorrow, February 16, 2015.
- IC Knowledge LLC//www.icknowledge.com.
- J. McGregor. In-depth analysis. The common platform technology: a new model for semiconductor manufacturing. January 5, 2007.
- In-Stat 2009//www.in-stat.com.
- A simulation study of 450 mm wafer fabrication costs//IC Knowledge LLC.
- Forecasting the 450 mm Ramp Up//IC Knowledge LLC.
- Revolution of Compact Line – to strengthen japanese manufacturing industry//Nikkei Business Publications Inc., 2014.
- www.minimalfab.com.
- Sh. Hara. Minimal FAB//Fab System Research Consortium. – AIST, Japan. 2010.
- Мнение: японская революция в микроэлектронике. Время электроники. 9 декабря 2014//www.russianelectronics.ru.
- www.futrfab.com.
- Отчет исследования российского рынка электронных компонентов//ООО «СовЭл», 2013.