

## 450-мм "МЕГАФАБРИКИ": СТОИТ ЛИ ОВЧИНКА ВЫДЕЛКИ?

Серийное производство полупроводниковых приборов на пластинах диаметром 300 мм было освоено в 2000–2001 годы. В 2007 году в натуральном выражении (по площади в пересчете на 200-мм эквивалент) 300-мм пластин обрабатывалось больше, чем пластин других диаметров. Сегодня на 300-мм пластинах изготавливается широкая номенклатура современных микросхем. Пять лет назад переход на обработку пластин диаметром 450 мм рассматривался как перспектива 2018–2020 годов. В 2007 году консорциум Sematech принял две программы – 300mmPrime и 450mm, реализуемая дочерней компанией International SEMATECH Manufacturing Initiative (ISMI). Программы нацелены на освоение производства микросхем на 450-мм пластинах. Согласно первой, примерно в указанные сроки предполагается освоить 450-мм технологию путем "доводки до ума" 300-мм производств. Вторая программа предусматривает непосредственный переход к 450-мм пластинам уже в 2012–2014 годы [1]. В связи с этим возникает несколько вопросов. Чем вызван переход к обработке пластин большего диаметра? Как это отразится на полупроводниковом сообществе и сколько фирм способны содержать собственные производственные мощности для обработки таких пластин? Что будет с производственными мощностями предшествующих поколений? И, наконец, зачем "погонять лошадей"? Россия также не избежит влияния этой тенденции. И сегодня в связи с кризисом и привычкой перевыполнять пожелания высшего руководства высказывается мнение, что три-четыре "мегафабрики" нового поколения закроют все мировые потребности в полупроводниковых приборах и появится возможность сократить капитальные вложения на развитие современной производственной базы российской микроэлектроники. Разумна ли такая позиция?



М.Макушин

### ОБ ОСНОВНЫХ ТЕНДЕНЦИЯХ – ВМЕСТО ВВЕДЕНИЯ

Основные тенденции развития полупроводниковой промышленности – наращивание объемов выпуска и увеличение ассортимента продукции. Эти тенденции сопровождаются борьбой изготовителей за получение конкурентных преимуществ за счет снижения удельных издержек производства, развития передовых базовых технологических процессов, создания уникальных конструкций, наиболее полно отвечающих требованиям заказчиков и способствующих формированию новых потребностей и рынков. Процесс масштабирования микросхем до сих пор подчиняется сформулированному в конце 1970-х годов закону Мура (удвоение числа транзисторов на кристалле каждые 18 месяцев без увеличения удельной стоимости функций для конечного потребителя) – эмпирически выведенному правилу Гордона Мура, одного из основателей и ведущих специалистов корпорации Intel. Гонка за первенство при масштабировании топологических норм микросхем зачастую имеет неоднозначные последствия. С одной стороны, увеличение объемов производства и снижение цен приводят к росту потребления полупроводниковых приборов как на традиционных рынках, так и на новых рынках конечных систем. С другой стороны, эта гонка не всегда позволяет изготовителям получать запланированную прибыль, а иногда и окупать затраты на инновации. Кстати, это одна из причин преобразования промышленности, состоящей из вертикально интегрированных корпораций, занимающихся разработкой, проектированием, производством и маркетингом микросхем (Integrated Device Manufacturers – IDM), в промышленность, включающую фирмы, занимающиеся разработкой, проектированием и маркетингом микросхем (fabless), производство которых передается кремниевым заводам (foundries) или IDM, имеющим свободные мощности, – модель fabless-foundry. При этом кремниевый завод предоставляет заказчику широкий спектр услуг, возможности применять инструментальные средства фирм-партнеров, в том числе и САПР для проектирования микросхем с использованием библиотек стандартных элементов различных fabless- и IDM-фирм (по контрактам заводов-foundries с последними).

Наиболее ярко эта тенденция проявилась при реализации в последние пять-семь лет так называемого правила Хвана (бывшего руководителя отделения микроэлектроники компании Samsung). Для расширения применения схем флеш-памяти NAND-типа компании Samsung в конечных электронных системах и отрыва от конкурентов за счет ускоренного освоения новых поколений микросхем со все меньшими топологическими размерами элементов, Хван считал необходимым каждый год удваивать число транзисторов памяти этого типа и на 40% снижать ее цену. Сначала идея работала – цены на флеш-память NAND-типа быстро снижались. NAND-память находила применение в новых устройствах, таких как MP3-плееры, твердотельные накопители (SSD), заменяющие накопители на жестких дисках, цифровые фотокамеры и т.п. Однако по этому пути пошло слишком много поставщиков флеш-памяти, что привело к избыточному предложению и неконтролируемому падению средних продажных цен (СПЦ). Практически все поставщики, включая Samsung, стали терпеть убытки. Для выхода из этой ситуации компания Samsung консолидировала свои отделения, объединив четыре отделения (полупроводниковых приборов, ЖК-дисплеев, мобильных телефонов и телевизоров) в два – полупроводниковых приборов (в том числе и для мобильных устройств) и ТПТ-ЖК-дисплеев для портативных компьютеров, мониторов и телевизоров [2].

Оборотная сторона масштабирования микросхем – необходимость периодически увеличивать диаметр обрабатываемых пластин, вызванная, в первую очередь, экономическими соображениями (снижение издержек производства, в том числе удельных затрат на производство микросхем). Освоение производства микросхем на кремниевых пластинах диаметром 75, 100, 125 и 150 мм прошло достаточно гладко, иногда параллельно, без существенных негативных последствий для отрасли. Поэтому особого внимания этим процессам не уделялось. Во второй половине 1980-х годов были введены в строй первые мощности по обработке 200-мм пластин. На них размещалось более чем в 1,7 раза больше кристаллов, чем на 150-мм пластинах с аналогичными микросхемами. В результате удельные затраты на изготовление микросхемы на кристалле снижались примерно на 20%. Базовый технологический процесс и первое производство микросхем на пластинах диаметром 200 мм освоила компания Texas Instruments, которая в одиночку "вытянула" этот переход на пластины большего диаметра. Освоение процесса обработки 200-мм пластин обошлось компании около одного миллиарда долларов. Стоимость новых заводов первоначально составляла ~600 млн. долл., что было на 20–30% выше стоимости передовых заводов по обработке 150-мм пластин. К началу освоения производства на 300-мм пластинах стоимость самых современных 200-мм заводов (таких как дрезденский завод Fab32 корпорации AMD) колебалась от 800 млн. до 1,2 млрд. долл. Переход на обработку 200-мм пластин впервые выявил наметившуюся

и еще слабую тенденцию к трансформации IDM-корпораций в fabless-фирмы, которые раньше возникали исключительно как фирмы-разработчики собственных микросхем, ориентирующиеся только на свободные мощности IDM и начинавшую формироваться индустрию кремниевых заводов.

В начале нового тысячелетия в результате реализации двух программ – "Международной инициативы-300" (i300i) консорциума Sematech и программы японского консорциума Selete появились предприятия по обработке 300-мм пластин. Стоимость освоения 300-мм технологий приблизилась к 10 млрд. долл. Первыми "чисто 300-мм" технологиями стали процессы производства микросхем с топологическими нормами 90 нм. Стоимость завода увеличилась до 1,3–1,5 млрд. долл. При освоении 65- и 45-нм технологий стоимость новых 300-мм производств превысила 3–3,5 млрд. долл. Переход на 300-мм пластины имел серьезные последствия для промышленности – все больше IDM стали трансформироваться в fabless-фирмы, руководствуясь так называемой стратегией "легких активов" – fablite\* [3]. Определяющим стал рубеж в 45 нм. Перешагнуть его на базе собственного производства отказались такие крупные производители полупроводниковых приборов, как Freescale, NXP, Texas Instruments и множество более мелких фирм. При переходе на 32-нм технологию (до освоения обработки 450-мм пластин) собственное производство пока намерены сохранять только компании Intel, Samsung, Toshiba и TSMC.

Таким образом, в области производства микросхем складывается олигополия\*\*. Важнейшим условием сохранения конкурентоспособности fabless-фирм, число которых растет, становится гарантированный доступ к современным производственным мощностям для своевременного выхода на рынок с новейшими разработками. И первый звонок уже прозвучал – в сентябре 2008 года корпорация Nvidia не смогла своевременно выпустить новейшие 55-нм приборы, так как из-за ожидания спада заказов и кризиса крупнейшие мировые кремниевые заводы-foundries – TSMC и UMC – не стали расширять соответствующие мощности, а наличные были уже загружены на полгода вперед [4].

Наступила очередь освоения технологии обработки 450-мм пластин. Какова стоимость перехода? По оценкам

\* На уровне топологий до 90–65 нм предусматривается производство на собственных мощностях по передовым технологиям только новейших микросхем с высокой добавленной стоимостью. Производство микросхем со средним и меньшим уровнями добавленной стоимости передается сторонним фирмам в рамках модели fabless-foundry. При переходе на 45-нм и менее топологии предусматривается продолжение функционирования наиболее передовых и экономически эффективных производств, отказ от строительства собственных заводов под эти топологии и реализация модели fabless-foundry.

\*\* Oligopoly – рыночная структура, характеризующаяся существованием незначительного числа продавцов при наличии большого числа покупателей. Важнейшее свойство этой структуры – взаимозависимость фирм в установлении цен на поставляемую продукцию, объемов выпуска, инвестиций и т.п., что затрудняет моделирование поведения олигополистических фирм.

компании VLSI Research, еще в 2006 году предупреждавшей отрасль о необходимости отсрочить переход на 450-мм пластины на 2020–2025 годы, стоимость освоения обработки 450-мм пластин составит 102 млрд. долл. И еще не ясно, сможет ли отрасль приобрести эти средства, даже если затраты на их разработку удастся снизить до 20 млрд. долл. [1, 5]. О возможности такого снижения в 2007–2008 годы заявляли сторонники перехода. Кто же среди желающих перейти на 450-мм пластины. Теперь это узкий круг – Intel, Samsung и TSMC, которая в декабре 2008 года назвала цену планируемого завода в 10 млрд. долларов.

### ЧТО ПОБУЖДАЕТ ПЕРЕХОДИТЬ НА ОБРАБОТКУ ПЛАСТИН БОЛЬШЕГО ДИАМЕТРА?

Как уже отмечалось, увеличение диаметра обрабатываемых пластин обусловлено прежде всего экономическими соображениями. Так, на 300-мм пластине, по сравнению с 200-мм пластиной, можно разместить почти в 2,5 раза больше микросхем, что ведет к снижению удельных затрат на производство одного кристалла с микросхемой. Сравнение микросхем, изготавливаемых на 200- и 300-мм пластинах на сопоставимых по производительности линиях (20 тыс. пластин в месяц) с учетом роста затрат на средства обработки в 1,3 раза и увеличение стоимости пластины в 3,7 раза, показало, что себестоимость микросхемы на 300-мм пластине примерно на 30% меньше. Так, на пластине диаметром 200 мм может быть размещено 85 кристаллов площадью 280 мм<sup>2</sup>, а на 300-мм пластине их будет уже 208 (прирост 145%). В результате себестоимость кристалла с микросхемой снизится на 40,8%. При изготовлении микросхем на кристаллах площадью 350 мм<sup>2</sup> прирост числа кристаллов на пластине увеличивается на 140% (163 кристалла против 68), а себестоимость кристалла снижается на 39,6%. Переход на обработку 450-мм пластин предполагает увеличение числа кристаллов на пластине в 2,3 раза при сокращении удельных затрат на 30%.

Обработка 300-мм пластин привела к тому, что минимальный эффективный объем производства, при котором обеспечиваются минимальные средние затраты (minimum efficient scale – MES), увеличился до уровня, который смогли "выдержать" только десяток полупроводниковых компаний. Стоимость завода по обработке 300-мм пластин настолько высока, что для того, чтобы окупить вложения, необходимо как можно быстрее освоить поточно-массовое производство и полностью использовать производственные мощности. В период 2000–2004 годы считалось, что для решения этой задачи лучше всего подходят производство микропроцессоров для ПК, схем памяти, выпуск микросхем типа система на кристалле (SoC) и специализированных микросхем типа ASIC, а также предоставление услуг кремниевого завода [3]. Относительно схем памяти эти расчеты не вполне оправдались. Резкое снижение цен на них сопровождалось со-

кращением объема продаж в стоимостном выражении при сохранении роста отгрузок в натуральном выражении (т.е. увеличением объема памяти, поставляемой на рынок), а также банкротством ряда крупных изготовителей (Qimonda, ранее отделение ДОЗУ компании Infineon Technology, Spansion Japan) и процессами слияний/поглощений. Пример этого – слияние японской компании Elpida Memory с тремя ведущими тайваньскими производителями ДОЗУ – Powerchip Semiconductor, ProMOS Technologies и Rexchip. Это первое объединение японской компании с зарубежными фирмами позволит улучшить финансовые показатели Elpida и создать производителя ДОЗУ, уступающего по объему производства лишь компании Samsung, и. Объединение происходит при финансовой поддержке тайваньского правительства. Кроме того, Elpida может подать заявку на получение денежной помощи от японского правительства. Официально о сделке сообщалось в конце февраля 2009 года, операции интеграции должны быть завершены к 31 марта 2010 года [6].

Необходимо также отметить, что с увеличением диаметра обрабатываемых пластин лидеры на рынке стремятся подмять под себя отраслевую инфраструктуру и ликвидировать за счет эффекта MES конкурентов, освоивших аналогичные или лучшие процессы и разработки, располагающих альтернативными инновационными решениями, но не обладающих новейшими производственными мощностями. Так, один из немногих поставщиков микросхем, которые могут позволить себе ввод в строй завода по обработке 450-мм пластин – компания Intel – активно выступает за более быстрый переход к обработке 450-мм пластин, рассчитывая укрепить свои позиции на рынке и потеснить основных конкурентов. Действительно, главный конкурент Intel, корпорация AMD, может не осилить строительство 450-мм мощностей. В прошлом ей было трудно справиться и с переходом на 300-мм пластины [5]. Позицию Intel поддерживает компания Samsung.

### ПРОГРАММЫ 300mm Prime И 450mm

План консорциума International Sematech\* ускорить переход промышленности на обработку пластин диаметром 450 мм вбил клин между поставщиками полупроводникового оборудования и некоторыми производителями микросхем. Возник новый повод для споров относительно того, кто должен финансировать разработку оборудования следующего поколения, и вообще – о целесообразности такого перехода. Ряд фирм полагают, что консорциум, состоящий из крупных компаний-производителей полупроводниковых приборов, пытается использовать переход на 450-мм пластины в своих

\* Сегодня в консорциум International Sematech входят компании Advanced Micro Devices, Hewlett-Packard, IBM, Infineon, Intel, Panasonic, Micron, National Semiconductor, NEC, NXP, Qimonda, Renesas, Samsung, Spansion, Texas Instruments, Toshiba, Taiwan Semiconductor Manufacturing Co. (TSMC), UMC, Fuller Road Management Corp, Колледж наноразмерной науки и техники при Университете Олбани.

интересах. Указывается также, что корпорация Intel, играющая большую роль в консорциуме, стремится получить контроль над этим процессом. Поставщики оборудования для производства микросхем опасаются, что переход к 450-мм пластинам может обанкротить их отрасль.

Изготовители полупроводникового оборудования, до сих пор не оправившиеся от затрат на НИОКР по переходу к обработке 300-мм пластин, находят множество причин для критики ISMI программы 450mm, впервые представленной на выставке-конференции Semicon West 2007 году. Согласно этой программе, отдельным изготовителям микросхем предлагается в 2012–2014 годы непосредственно перейти от современных 300-мм производств к 450-мм заводам.

У изготовителей оборудования сразу возникает вопрос: "Кто будет за это платить? Индустрия полупроводникового оборудования не в состоянии самостоятельно (без широкой кооперации с заинтересованными изготовителями микросхем, включая их финансовую помощь) разработать установки по обработке 450-мм пластин". Указывается, что предложенный ранее в том же 2007 году Sematech проект 300mmPrime (300P) нашел более широкую поддержку среди изготовителей оборудования. Этот проект предусматривал как минимум 25 мер по улучшению производительности, которые могли быть достигнуты на существующих 300-мм заводах, а в будущем использованы и на заводах по обработке 450-мм пластин [1]. К этим мерам относятся, в частности, следующие:

- сокращение времени установки обрабатываемой партии в загрузочный порт и начала обработки первой пластины;
- уменьшение размера обрабатываемой партии и определение технических условий на оборудование для заводов по обработке малых партий при многономенклатурном или ускоренном производстве;
- предсказуемое, предупредительное техническое обслуживание и ремонт (Predictive, Preventative Maintenance – PPM) с целью улучшения готовности оборудования к эксплуатации и его производительности;
- повышение качества данных, используемых для управления оборудованием;
- использование данных САПР всем оборудованием предприятия для анализа большого объема данных в реальном времени.

Но, как отмечают представители консорциума Sematech, "Программа 300mmPrime ... не обеспечивает выполнение традиционных требований к сокращению издержек производства, необходимых для продолжения действия закона Мура, даже если старая программа позволит улучшить эффективность 300-мм заводов и в рамках проекта 450mm смогут быть определены и разработаны стандарты для пластин следующего поколения". Консорциум Sematech рассчитывал выпустить общие положения о 450-мм заводе и порядке тестирования пластин этого диаметра в 2008 году [6].

#### Сопоставление показателей по обработке 300-мм и 450-мм пластин

Показатель	Модель Sematech		Промышленные оценки (SEMI)
	300-мм	450-мм	
Обработка пластин в час, шт.	150	150	~81
Число кристаллов на пластине, шт.	400	920	920
Число кристаллов, обрабатываемых единицей оборудования в час, тыс. шт.	60,0	138,0	~74,4
Число единиц оборудования, шт.	1	1	2

Аналитики исследовательских фирм поддерживают поставщиков оборудования. Представители корпорации Gartner заявляют, что непосредственный переход к 450-мм пластинам без "доведения до ума" 300-мм производств нецелесообразен. Указывается, что если и когда появится оборудование для заводов по обработке 450-мм пластин, оно может быть в пять-восемь раз дороже аналогов для обработки 300-мм пластин.

Кроме того, сторонники и противники непосредственного перехода к пластинам диаметром 450 мм не сходятся в оценке эффективности такого производства. Так, по данным корпорации Gartner, число обрабатываемых пластин в час будет ниже, чем утверждают эксперты Sematech, и даже ниже, чем на существующих предприятиях по обработке 300-мм пластин. В результате число кристаллов, формируемых в час на пластине единицей оборудования, практически будет вдвое меньше ожидаемого, правда, несколько больше, чем при обработке 300-мм пластин. Поэтому для обеспечения заявленного показателя потребуется на одна, а две единицы оборудования. Это ставит под сомнение экономическую эффективность заводов по обработке 450-мм пластин (см. таблицу) [5]. Таким образом, овчинка выделки еще не стоит – и не будет стоять до тех пор, пока 450-мм производства не приобретут существенных экономических преимуществ по сравнению с 300-мм линиями.

Нежелание поставщиков оборудования переходить на создание 450-мм средств коренится в ранее случившемся переходе от 200- к 300-мм пластинам. Тогда им пришлось затратить на разработку оборудования огромные средства. Кроме того, они понесли существенные потери, когда многие изготовители ИС "притормозили" свои планы по переходу на 300-мм пластины. По оценкам изготовителей оборудования, чтобы капиталовложения окупались, заводы по обработке 300-мм пластин должны функционировать 30 лет. В случае же 450-мм производств получение прибыли на вложенные инвестиции крайне проблематично, ведь такой завод могут ввести в строй всего несколько компаний. Большинство поставщиков оборудования – мелкие и средние фирмы с ограниченными бюджетами НИОКР. Таким образом, по их мнению, если переход к 450-мм пластинам и не обанкротит промышленность в целом, то "выкосит как минимум" каждого десятого изготовителя [1]. Тем не менее, ряд поставщиков оборудования активно сотру-

ничает со сторонниками 450-мм производств.

Важнейший фактор, который позволит 450-мм заводам приступить к разработке первоначальных систем подачи, транспортировки и обработки полупроводниковых пластин – стандарт на 450-мм пластины. Вот почему, надеясь ускорить создание заводов по обработке таких пластин, консорциум International Sematech, Международная ассоциация производителей полупроводникового оборудования и материалов (SEMI) и представители полупроводниковой промышленности сформулировали предварительный стандарт на 450-мм кремниевые пластины. В соответствии с этим так называемым "механическим" стандартом, толщина 450-мм пластины должна составлять  $925 \pm 25$  мкм (толщина 300-мм пластин была равна 775 мкм). В ноябре 2008 года планировалось представить стандарт по методике испытаний, ориентированный скорее всего на толщину пластин 925 мкм [7].

Чтобы приблизить "450-мм эру", компания ISMI в рамках программы 450mm в 2008 году объявила о плане создания Испытательного стенда процессов интеграции инструментальных средств 450-мм завода (Factory Integration Test Bed). Цель плана – поддержать разработку первоначально-го оборудования автоматизации производства, такого как транспортеры пластин, загрузочные порты, модули и т.п. В предлагаемых спецификациях расстояние между пластинами в унифицированной таре (Front Opening Unified Pod – FOUP) задается равным 10 мм. Однако позже Sematech предложил установить расстояние 9,2 мм при степени деформации пластины вследствие провисания 0,353. Масса пластины диаметром 450 мм составляет 330 г, что может вызвать ее провисание или деформацию в системах подачи, транспортировки и обработки. Для решения этой проблемы необходимо создать достаточно робастные подложки и транспортно-загрузочные устройства, способные противостоять эффекту провисания [7].

Sematech надеется, что первое "демонстрационное" оборудование для обработки 450-мм пластин появится к 2010 году, а первая пилотная линия – к 2012 году. Эти ожидания подкреплены намерением корпораций Intel, Samsung и TSMC (каждой самостоятельно) в 2012 году ввести в строй "прото-фабрики" [8]\*. В случае успеха проекта 450mm полупроводниковая промышленность превратится в закрытую площадку для ограниченного круга крупнейших игроков со слишком высокими входными барьерами [1, 5]. Но вновь подчеркнем, что наступление эры 450-мм пластин может задержаться или вовсе не состояться из-за спада полупроводниковой промышленности и текущего общего экономического кризиса.

Тем не менее, сегодня, несмотря на кризис, в отделении ISMI консорциума Sematech на испытательном стенде фун-

кциональной совместимости (Interoperability Test Bed – ITB) при участии специалистов компаний-членов консорциума и производителей оборудования активно ведутся работы по испытанию кассет для 450-мм пластин (как кремниевых синтезированных поликристаллических, так и монокристаллических), а также автоматизированных инструментальных средств [9]. Испытательное подразделение располагает разнообразными кассетами, унифицированной тарой FOUP и двумя загрузочными устройствами. Работы ведутся в трех направлениях:

- получение данных по манипулированию пластинами, которые могут быть использованы в стандартах SEMI для физического интерфейса оборудования и носителей (Physical Interface and Carrier – PIC);
- испытание 450-мм пластин, в том числе и монокристаллических кремниевых;
- привлечение производителей технологического оборудования к обсуждению проблем создания транспортно-загрузочных инструментальных средств.

Исходя из опыта, накопленного при освоении промышленной технологии обработки 300-мм пластин, участники работ по программе 450mm ставят своей целью создание оборудования, превышающего по размерам инструментальные средства 300-мм заводов менее чем на 50%.

Редактор новостей журнала Semiconductor International Дэвид Ламмер (David Lammer), посетивший ITB в начале 2009 года, отметил работы по совершенствованию программных средств опытного образца загрузочного устройства 450-мм пластин. Устройство отличается от предшествующих вариантов способом открытия и закрытия дверей – с помощью магнитов и вакуума, а не ключей. Ведутся испытания новых способов подавления вибрации и оценка конструкции рабочего органа устройства. Ряд поставщиков роботов изучают концепции манипулирования, используемые при производстве плоскопанельных дисплеев, которые изготавливаются на стеклянных подложках значительно большего размера, чем 450-мм пластины. ITB проведено более миллиона испытаний роботов по загрузке и разгрузке FOUP-тары при расстоянии между пластинами 10 мм.

В этом году специалисты ITB намерены поместить устройства манипулирования пластинами в чистые комнаты с тем, чтобы проверить их совместимость с установками травления, системами транспортировки и другим оборудованием.

Руководитель программы 450mm компании ISMI Том Джефферсон (Tom Jefferson) заявил, что специалисты делают все, что должны делать, и хорошо подготовлены к достижению поставленной цели по переходу к обработке 450-мм пластин [9].

Несколько другой подход к проблеме перехода на пластины диаметром 450 мм – в духе программы 300mmPrime – демонстрирует европейский Межуниверситетский центр мик-

\* Появилось сообщение о поставке японской фирмой S.E.S. Co. Ltd. компании Samsung опытного лабораторного образца установки очистки пластин нового поколения, пригодной для работы с 450-мм пластинами (Electronic Engineering Times, 06/06/2008).

роэлектроники (IMEC, Бельгия). Центр намерен расширить опытный завод по обработке 300-мм пластин с целью увеличения его производственной мощности и подготовки к использованию оборудования литографии, работающего в предельной УФ-области спектра, которое появится в 2010 году. Это решение также является шагом к освоению технологий обработки пластин диаметром 450 мм. Цель предполагаемого расширения мощностей – уменьшение топологических размеров элементов и подготовка к "эпохе после Мура". На расширенных мощностях планируется освоить производство систем в корпусе, трехмерных микросхем, МЭМС, биомедицинских и фотогальванических устройств [10].

### ЧТО БУДЕТ С ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ МОЩНОСТЯМИ ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ ПОКОЛЕНИЙ?

Опыт освоения процессов обработки 200- и 300-мм пластин говорит о том, что через семь-восемь лет после появления первых массово-поточных производств новейшего поколения их продукция начинает вытеснять на рынке изделия, выпускаемые ранними поколениями. При этом изделия предшествующих поколений могут оставаться на рынке еще 10–15 лет, так как на изделия, производимые по передовым топологиям на новых заводах, приходится менее половины продаж микросхем. Рынок демонстрирует стабильно высокий спрос на относительно дешевую продукцию, изготавливаемую по "зрелым" технологиям. Так что изделия заводов по обработке 300-мм пластин с наибольшей на данный момент экономической эффективностью еще долго будут оставаться на рынке. Это касается и значительной части микросхем 200-мм производств, несмотря на то, что изготовители схем памяти из-за обвала своего сектора рынка закрывают такие заводы, сосредотачиваясь на 300-мм мощностях. Останутся рыночные ниши и для 150-мм производств.

В условиях современного кризиса планы по освоению серийного производства на 450-мм пластинах практически нереальны. Вероятность перехода на обработку таких пластин в более отдаленной перспективе, достоверно неизвестна. Все будет определяться реальными достижениями в области снижения затрат на обработку 450-мм пластин, сокращения цикла обработки, стоимости новых производств и уровня их рентабельности. Тем не менее, тенденции концентрации производства будут нарастать. Все более важными условиями конкурентоспособности разработчиков микросхем станет не столько обладание собственными базовыми технологическими процессами (что для многих заведомо дорого), сколько взаимодействие с самого начала разработки новых микросхем с проектировщиками конечных электронных систем и гарантированный доступ к производственным мощностям в требуемом объеме.

Для России нынешняя ситуация позволяет дополнительно приобретать современные 300-мм линейки по производству

микросхем с топологическими нормами до 65–45 нм по достаточно низким ценам, поскольку рынок полупроводникового оборудования в 2008 году сократился почти на треть. В 2009 году улучшения ждать не приходится. Так, в январе этого года отношение объема новых заказов оборудования в мире к отгруженному оборудованию составило 0,48, что является самым низким значением этого показателя с 1991 года. В этих условиях изготовители пойдут на многое, чтобы продать хоть что-то. Еще лучшая ситуация по оборудованию для 200-мм производства с топологиями 0,25–0,18 мкм и 90 нм.

При этом ссылки на кризис и необходимость экономить средства не могут считаться однозначно верными и разумными. Как раз в подобные периоды ведущие зарубежные компании не снижают, а иногда и увеличивают ассигнования на НИОКР, концентрируя средства на прорывных направлениях, в том числе за счет закрытия или заморозки менее важных программ. Именно в период кризиса происходит формирование новых конкурентных позиций, в том числе и за счет сооружения новых, перспективных производств, которые станут "локомотивом" корпорации на новом цикле подъема спроса. Пример? Intel в начале февраля 2009 года заявила о выделении в ближайшие два года 7 млрд. долл. на создание (в рамках существующих 300-мм заводов в Аризоне, Нью-Мексико и Орегоне) линеек по 32-нм технологии [11].

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Mark LaPedus.** Sematech 450-mm planar fab tool makers. — EE Times, 07/23/2007.
2. **Mark LaPedus.** Analysts to memory makers: consolidation. — EE Times, 01/20/2009.
3. **Макушин М.** Заводы по обработке пластин диаметром 300 мм: мифы и реальность.— ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2005, №8.
4. **Dylan McGrath.** Fabless business model 'stressed out,' says analyst. Nvidia reportedly not getting enough 55-nm capacity from TSMC.— EE Times, 09/11/2008.
5. **Mark LaPedus.** Call to slam brakes on 450-mm fabs.— EE Times, 10/26/2007.
6. Reuters. Elpida, Taiwan DRAM makers to integrate. — EE Times, 02/10/2009.
7. **Mark LaPedus.** Industry agrees on first 450-mm wafer standard. EE Times, 10/22/2008
8. **Mark LaPedus.** Sematech: 450-mm 'demo' tools due in 2010.
9. **Lammers D.** ISMI Reports Progress at 450 mm Program. — Semiconductor International, 2/4/2009.
10. **Clarke P.** IMEC ponders manufacturing expansion, 450-mm wafers.— EE Times Europe, 10/20/2008.
11. **Mark LaPedus.** Updated: Intel to spend \$7 billion on 32-nm production in U.S. — EE Times, 02/10/2009.