

ТЕХНОЛОГИИ УРОВНЯ 45 НМ: 45, 32, ДАЛЕЕ ВЕЗДЕ?

Еще недавно топологическое разрешение порядка 45 нм казалось фантастическим, а уровень 32 нм и менее – вообще нереализуемым. Однако уже сегодня можно купить процессоры, произведенные по 45-нм технологии, а через год 45-нм микросхем будет гораздо больше. Пожалуй, 2008 год станет годом массового перехода на принципиально новые виды кремниевой КМОП-технологии, где незаменимое, казалось бы, место SiO₂ занимают иные материалы, поликремний в затворах замещается металлом, меняются конструкции транзисторных структур, чрезвычайно снижаются токи утечки... И что удивительно, 45 нм – это не предел, а скорее, первый шаг к новым технологическим горизонтам микроэлектроники. В предыдущей публикации мы рассмотрели освоение технологий уровня 65 нм (см. Шахнович.И. Технологии уровня 65 нм. Хроника событий. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, №8, 2007, с.120–123). Предлагаемая статья посвящена следующему шагу – технологиям уровня 45 нм и менее.

ЛИДЕРЫ ВЫБИРАЮТ 45 нм

Переход на технологии уровня 45 нм в серийном производстве у компаний-лидеров происходит прямо сейчас. Причем ряд производителей рассматривает 65-нм уровень как переходный к 45 нм (и далее – к 32 нм), а некоторые, возможно, и вовсе "перепрыгнут" 65 нм, сразу перейдя к 45 нм. Уже можно назвать основных членов "45-нм клуба". Это IBM и связанные с ней компании, включая альянс "общей платформы" CPТА (IBM, Samsung, Chartered Semiconductor и др.), а также корпорации Intel, TSMC, Texas Instruments. Отдельно выделим японский альянс компаний Sony, Toshiba и NEC.

Однако первой компанией, освоившей 45 нм в серийном производстве, стала Matsushita Electric Industrial, представленная на рынке под торговой маркой Panasonic. 19 июля 2007 года она

И.Шахнович

объявила о начале массового выпуска СБИС по 45-нм процессу на своей фабрике в Уозу (центральная Япония). Этот процесс был анонсирован еще в августе 2006 года. Известно, что в техпроцессе используется иммерсионный литограф с ArF-источником и с числовой апертурой более единицы. Среди других технологических особенностей – транзисторы с увеличенной подвижностью носителей, достигнутой за счет формирования слоев напряженного кремния, а также применение диэлектриков с низкой относительной диэлектрической проницаемостью. Важную роль сыграло и использование средств моделирования производственных процессов (DFM – design for manufacturability). Техпроцесс разрабатывался совместно с другой японской компанией – Renesas Technology (основанное в 2003 году совместное предприятие компаний Hitachi и Mitsubishi Electric). По заявлению компании, переход на 45-нм процесс по сравнению с 65-нм дает выигрыш в потребляемой мощности от 33 до 50%. Примечательно, что уже 2 октября 2007 года Matsushita Electric объявила о применении СБИС, произведенных по 45-нм процессу, в своих изделиях бытовой электроники. Речь идет об устройствах записи видео, в том числе с поддержкой технологии Blue-Ray (как для жестких дисков, так и для DVD).

Корпорация Intel пусть и не стала пионером серийного производства по 45-нм процессу, однако именно она первой приступила к опытному изготовлению СБИС по этой технологии. Еще 25 января 2006 года этот законодатель полупроводниковых мод продемонстрировал первые образцы СБИС статического ОЗУ (СОЗУ), изготовленные по 45-нм процессу на 300-мм пластинах на заводе 1D1 в Хиллсборо (шт. Орегон). Опытные СБИС содержали свыше 1 млрд. транзисторов, объем СОЗУ составлял 153 Мбит. А в январе 2007 года на этой фабрике началось опытное производство процессоров по 45-нм техпроцессу.

Уже летом 2007 года Intel объявила об открытии первого из четырех серийных кремниевых заводов с технологическим процессом, обеспечивающим разрешение в 45-нм. Первенцем стала фабрика Fab 32 в Чандллере (шт. Аризона), ориентированная на 300-мм пластины. Инвестиции Intel в это предприятие составили 3 млрд. долл. Фабрика должна производить новые 45-нм процессоры Intel, включая семейство Penryn. Коммерческий вы-



пуск таких процессоров по 45-нм технологии для серверов и рабочих станций начался 12 ноября 2007 года.

Фабрика Fab 32 в Аризоне – это только начало. Следующим серийным 45-нм предприятием станет уже упомянутый завод D1D, выпускающий сейчас продукцию по 65-нм технологии. Третья 45-нм фабрика – это действующее уже 27 лет предприятие Fab 11X, расположенное в Рио-Ранчо (шт. Нью-Мексико). В его переоснащение под "45 нм" Intel вложит 1–1,5 млрд. долл. с тем, чтобы уже во второй половине 2008 года оно начало работать по новой технологии. Intel также инвестирует 3,5 млрд. долл. в свой израильский завод Fab 28 в Кириат Гат, который должен начать выдавать на-гора в первой половине 2008 года.

Новый технологический процесс Intel с разрешением 45 нм предполагает формирование транзисторов с металлическим затвором и оксидом гафния в качестве подзатворного диэлектрика (HfO_2 – материал с высокой диэлектрической проницаемостью). В рамках 65-нм процесса Intel толщину традиционного подзатворного диэлектрика SiO_2 удалось снизить до 1,2 нм (примерно пять монослоев). Однако дальнейшее его утончение приводит к чрезмерному возрастанию токов утечки через подзатворный диэлектрик со всеми нежелательными последствиями, в том числе – к паразитному нагреву. Проблему решает использование диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью, что позволяет увеличить толщину подзатворного диэ-

Fab 32 – это уже шестая кремниевая фабрика компании Intel, работающая с 300-мм пластинами. Площадь ее чистых комнат составляет 17,1 тыс. м², а общая площадь – почти 100 тыс. м². На предприятии работают более 1000 сотрудников. Представители Intel подчеркивают, что Fab 32 – это одно из наиболее экологически чистых электронных предприятий. Так, на 15% снижено тепловыделение, в замкнутом цикле удается сохранить более 70% воды.

лектрика, сохраняя управляющее напряжение таким же, как и у транзистора с SiO_2 под затвором. В качестве материала для таких диэлектриков используют соединения гафния – оксид или силицид. Однако при этом возникает новая проблема – на оксиде гафния невозможно сформировать поликремниевый затвор. Да и с металлическими затворами поверх этого материала все непросто. Поэтому немало сил было потрачено на разработку структуры металлических затворов, которые можно формировать поверх диэлектрика на основе соединений гафния.

По словам автора одноименного закона и одного из основателей Intel Гордона Мура, "Применение диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью вкупе с металлами в затворах – это крупнейшее изменение в технологии транзисторов с тех пор, как в конце 1960-х годов были предложены поликрем-

ниевые затворы". Эта технология позволяет радикально снизить токи утечки транзисторов, что открывает перед разработчиками и производителями захватывающие перспективы. Благодаря новой технологии можно примерно вдвое увеличить плотность транзисторов на кристалле по сравнению с 65-нм процессом. Необходимая для переключения 45-нм транзистора мощность снижена примерно на 30%. Применение медных межсоединений и новых подзатворных диэлектриков повысит производительность и снизит энергопотребление. Все это позволяет увеличить быстродействие процессоров, создавать более интегрированные СБИС, что неизбежно скажется на архитектуре процессоров и компьютеров: снизит их размеры, энергопотребление, уровень шумов и цену.

Для формирования 45-нм элементов Intel использует сухой (не иммерсионный) процесс с источником, длина волны которого составляет 193 нм. Это означает выигрыш в себестоимости производства приборов по сравнению с иммерсионной фотолитографией, которую собираются использовать в своих 45-нм технологиях другие члены 45-нм клуба, – компании IBM (и альянс "общей платформы"), AMD, TSMC и др.

Немаловажно, что начав с выпуска в ноябре 2007 года четырехъядерного процессора QX9650, Intel уже в январе существенно расширил свой "45-нм" модельный ряд, объявив о выпуске 16 новых типов процессоров (двухъядерного семей-

ства Xeon 5200 и четырехъядерного семейства Xeon 5400). Они предназначены как для серверов, так и для пользовательских ПК, в том числе и ноутбуков. Одновременно было объявлено о прекращении производства 65-нм процессоров серий Xeon 3040, 3050, 3060 и 3070.

В отличие от Intel, корпорация IBM не собирается возводить новые заводы для 45-нм технологии. "Голубой гигант" предполагает встроить 45-нм технологическое оборудование в свои уже существующие производственные линии, с минимальными изменениями в оборудовании и процессах, и за этот счет снизить себестоимость 45-нм технологии. Первым таким производством, переоснащаемым под 45-нм технологию, станет линия в Ист-Фишвилл (шт. Нью-Йорк), которая уже в 2008 приступает к выпуску новой 45-нм продукции. По мнению руководства компании, именно экономически рентабельный переход на новую технологию – залог успеха полупроводникового производства. Кроме того, основную производственную ставку IBM делает на своего партнера по альянсу "общей платформы" – контрактного производителя Chartered Semiconductor.

Отметим, что особенность подхода IBM и ее партнеров – применение технологии "кремний на изоляторе" (КНИ). Причем IBM развивает как направление КНИ, так и технологии объемного кремния. В частности, компания IBM, выступая как контрактный производитель, уже объявила о пополнении своего

Ведущие Foundry – показатели 2007 года

Чтобы лучше продемонстрировать, как развиваются ведущие контрактные производители СБИС, укажем лишь некоторые показатели. В 2006 году рынок foundry достиг объема 19,3 млрд. долл., что составило около 9% от всего мирового рынка полупроводников. И 83% рынка foundry контролировали всего четыре фирмы – TSMC (50%), UMC (17%), Chartered Semiconductor и SMIC (по 8%). Для многих производителей массовой полупроводниковой продукции 2007 год выдался неудачным, главным образом из-за обвального падения цен на рынке ДОЗУ. Но это не остановило ведущих контрактных производителей на пути освоения новых технологий, хотя и существенно сократило их прибыли.

Общая выручка компании TSMC превысила 9,941 млрд. долл., чистый доход – 3,365 млрд. долл. (на 16% меньше, чем в 2006 году). В четвертом квартале 2007 года 42% продукции производилось для рынка телекоммуникаций, 35% – для рынка компьютеров, 15% – бытовой электроники. Более половины (59%) продукции в четвертом квартале 2007 года выпущено по технологиям уровня 0,13 мкм и менее против 48% год назад (табл.1).

Для UMC 2007 год совсем не задался. При общей выручке в 3,29 млрд. долл. чистый доход снизился вдвое по сравнению с 2006 годом и составил лишь 522,7 млн.

Таблица 1. Динамика продаж продукции по различным технологиям компании TSMC

Технология, нм	4 кв. 2007	3 кв. 2007	4 кв. 2006
65 и ниже	10%	7%	–
90	29%	27%	23%
110–130	20%	22%	25%
150–180	27%	28%	33%
250–350	10%	11%	14%
500 и более	4%	5%	5%

долл. Тем не менее, капитальные затраты компании UMC в 2007 году составили 900 млн. долл., 80% из них направлены в развитие 300-мм производств. На 2008 год запланировано 500–700 млн. долл. капитальных затрат. В четвертом квартале 2007 года доля проданной продукции по 65-нм технологии составила 3% (1% в третьем квартале), по 90-нм – 23%, по 130-нм – 22%. Отметим, что 56% всей продукции предназначено для коммуникационной аппаратуры, 24% – для изделий бытовой электроники, 18% – для компьютеров.

В 2007 году общая выручка Chartered Semiconductor (с учетом дочерних структур) составила 1,5266 млрд. долл. (на 4,5% меньше, чем в 2006 году). Чистый доход – 101,7 млн. долл., в 1,5 раза больше, чем год назад. Столь



технологического портфолио 45-нм КМОП-процессом 11LP. Он позволяет создавать СБИС с планарными размерами элементов до 40 нм, до 10 слоев металлизации (медь), до 1,5 млрд. вентиляей на мм². Возможная плотность ячеек СОЗУ по этой технологии – до 0,299 ячеек/мкм². Компания предлагает и заказные ИС (ASIC) уровня 45-нм Cu-45HP.

В тесном контакте с IBM работает и второй по величине производитель микропроцессоров для ПК – компания AMD. Ее представители также заявляют о намерении приступить к выпуску продукции по 45-нм технологии в первой половине 2008 года. AMD уже объявила о запуске пилотной линии по технологии 45 нм на своем предприятии Fab 36 (Дрезден), которое сейчас выпускает процессоры семейства AMD64 по 65-нм технологии.

В начале февраля о начале коммерческого производства flash-памяти (типа И-НЕ) объявила японская компания Toshiba. СБИС производятся в содружестве с компанией SanDisk по 43-нм КМОП-процессу, объем памяти – 16 Гбит. Массовые продажи обещано начать в марте 2008 года, образцы были доступны еще в феврале. Отмечается, что площадь кристалла такой СБИС – 120 мм², это на 30% меньше, чем площадь аналогичной ИС, производимой компанией по 56-нм процессу. В третьем квартале 2008 года Toshiba намеревается приступить к массовому выпуску 45-нм flash-памяти объемом 32 Гбит.

Отметим, что еще в феврале 2004 года японские гиганты Sony и Toshiba объединили усилия для разработки 45-нм технологии на базе Центра перспективной микроэлектроники Toshiba в Йокогаме. Через два год к этому союзу присоединилась другая японская компания – NEC. Планы союза не ограничиваются 45 нм и простираются до 32 нм и далее. Причем Toshiba и Sony тесно взаимодействовали с IBM в рамках проекта многоядерных процессоров Cell Broadband Engine. Однако в ноябре 2007 года Sony решила выйти из этой игры, передавая компании Toshiba свой полупроводниковый технологический центр Fab 2 в Нагасаки. На этом предприятии на 300-мм пластинах производятся СБИС для игровой консоли Playstation 3. Но, отказываясь от полупроводникового производства, Sony продолжает работать с Toshiba и IBM над проектированием СБИС с планарными размерами 32 нм и менее.

В феврале 2008 года о создании собственной 40-нм технологии UX8GD встраиваемого динамического ОЗУ (ДОЗУ) для систем на кристалле объявила и компания NEC. Новая технология позволит создавать банки встроенной ДОЗУ с тактовой частотой до 800 МГц объемом до 256 Мбит. Площадь ячейки памяти составляет 0,06 мкм². В технологии используются подзатворные диэлектрики с большой диэлектрической проницаемостью (на основе соединений гафния), никель-силицидные затворы, конденсаторы на основе оксида циркония. Начало массового производства намечено на конец 2008 года. Один из основных пот-

низкий удельный доход (менее 7%) объясняется существенными вложениями в развитие (свыше 1 млрд. долл.). Так, инвестиции в НИОКР составили 160 млн. долл., капитальные расходы – 758 млн. долл. В 2008 году компания намерена вложить 180 млн. в НИОКР (на развитие 45- и 32-нм технологий) и 630 млн. в капитальные затраты. В результате в декабре 2008 года предполагается ввести в строй новое предприятие Fab 8 с производительностью 30 тыс. 300-мм пластин в месяц. В сектор телекоммуникаций в четвертом квартале 2007 года направлено 46% произведенных СБИС, в сектор бытовой электроники – 31%, в компьютерную индустрию – 20%.

Таблица 2. Динамика продаж продукции по различным технологиям компании Chartered Semiconductor

Технология, нм	4 кв. 2007	3 кв. 2007	4 кв. 2006
65 и менее	13%	12%	–
до 90	4%	6%	34%
до 130	31%	33%	26%
до 150	–	–	1%
до 180	16%	16%	12%
до 250	13%	12%	7%
до 350	14%	13%	12%
свыше 350	9%	8%	8%

Таблица 3. Динамика продаж продукции по различным технологиям компании SMIC

Технология, нм	4 кв. 2007	3 кв. 2007	4 кв. 2006
90	25,3%	26,7%	14,4%
130	24,4%	28,6%	43,0%
150	5,5%	2,0%	2,4%
180	28,3%	28,8%	33,3%
250	0,5%	1,0%	1,6%
350	16,0%	12,9%	5,3%

Важно отметить, что Chartered Semiconductor чрезвычайно активно внедряет передовые технологии – в четвертом квартале 2007 года 13% всей продукции производилось с технологическим разрешением 65 нм (табл.2).

Выручка компании SMIC в 2007 году составила 1549,8 млн. долл., а это на 5,8% больше, чем в 2006 году. Компания официально обнародовала чистый убыток в 40 млн. долл., что связано с ее интенсивным развитием. Так, капитальные затраты в 2007 году составили 860 млн. долл., инвестиции в НИОКР – 75 млн. долл. В третьем–четвертом кварталах 2007 года более половины продукции выпущено по технологиям уровня 0,09 и 0,13 мкм (табл.3). Основные потребительские рынки продукции SMIC – телекоммуникации (44,7%), компьютеры (22,9%) и бытовая электроника (22,7%).

ребителей новой продукции, равно как и ДОЗУ по 55-нм процессу, – игровые приставки Nintendo Wii.

Компания Fujitsu также объявила в июне 2007 года о создании 45-нм технологической платформы для производства логических СБИС. В 2008 году Fujitsu предполагает производить по этой технологии СБИС для мобильных приложений.

В середине 2007 года французская компания STMicroelectronics объявила о создании 45-нм КМОП-технологической платформы с иммерсионной литографией. А в январе 2008 года она уже анонсировала первые КМОП ВЧ ИС с топологическим разрешением 45 нм. В представленных прототипных приборах полностью интегрирована сигнальная цепь – от детектирования ВЧ-сигнала до цифрового выхода, включая малошумящий усилитель, смеситель, АЦП и фильтры. Причем рабочее напряжение ИС составляет лишь 1,1 В.

В декабре 2007 года о своих планах в области "45 нм" объявила и компания Freescale, один из членов альянса "общей платформы". В частности, была представлена новая архитектура многоядерной "масштабируемой фабрики" на кристалле. Новая платформа обеспечивает неблокирующую коммутацию до 32 разнородных процессорных ядер с аппаратными ускорителями и трехуровневой кэш-памятью, аппаратно поддерживая полную когерентность кэш. В качестве центрального ядра используется процессор e500-мс (1,5 ГГц) семейства PowerPC. Производство СБИС на основе этой платформы запланировано на конец 2008 года. Для этого будет использована технология, разработанная в содружестве с IBM и реализованная на производстве компании Chartered Semiconductor. Отметим, что для Freescale 45 нм – это следующий шаг после современного уровня 90 нм, т.е. этап 65 нм компания пропускает.

О создании своей 45-нм технологии объявили и представители компании Texas Instruments, затратившей на разработку собственного технологического процесса немало сил. В феврале на конференции ICCSS в Сан-Франциско компания представила свое решение для сотовой телефонии 3,5-поколения (3,5G) на базе 45-нм процесса в рамках платформы SmartReflex 2. Речь идет о СБИС, интегрирующей в корпусе 12×12 мм цифровые и аналоговые блоки, включая телекоммуникационный процессор, процессорные ядра ARM11 и TMS320C55x, процессор обработки изображения и т.д. Все это позволяет достичь в мобильном телефоне качества и возможностей обработки информации, аналогичных бытовой электронике. В телефоне станут доступными такие функции, как запись и воспроизведение видео высокой четкости, одновременный запуск ряда приложений, например игр с трехмерной графикой с параллельной видеоконференцией между игроками. Причем благодаря решениям в рамках платформы SmartReflex и 45-нм процессу изготовления общее энергопотребление системы удалось снизить на 63% при одновременном увеличении производительности на 55% по сравнению с изделиями по 65-нм процессу. Производство ИС началось в конце 2007 года на фабрике Texas Instruments DMOS6

в Далласе (300-мм пластины), коммерческий выпуск продукции ожидается к середине 2008 года.

Однако важно отметить, что, несмотря на затраченные усилия и значимые успехи в области разработки собственного 45-нм технологического процесса, Texas Instruments объявила о прекращении работ по дальнейшим исследованиям в области 32-нм технологии. Более того, компания передает технологию своим производственным партнерам – ведущим контрактным производителям TSMC и UMC, причем технологическая группа Texas Instruments уже тесно взаимодействует с этими крупнейшими "кремниевыми мастерскими".

FOUNDRY КАК ЗЕРКАЛО МИРОВОЙ 45-нм РЕВОЛЮЦИИ

Ведущий мировой контрактный производитель – "Тайваньская полупроводниковая производственная компания" TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company) – уже в конце 2007 года официально объявила о приеме заказов на изготовление СБИС с топологическим разрешением 45 нм. В активе этой foundry – 193-нм иммерсионная фотолитография, технология формирования слоев напряженного кремния, применение диэлектриков со сверхнизким коэффициентом диэлектрической проницаемости.

Отметим, что все больше и больше мировых производителей доверяют TSMC изготовлению своих кристаллов, причем по собственным техпроцессам. Например, в ноябре 2007 года компания Qualcomm представила первый 3G-сотовый телефон с ИС, произведенной по 45-нм технологии. Изготовлен этот чип компанией TSMC. Отметим, что техпроцесс разработан самой компанией Qualcomm. Начало массового выпуска таких СБИС ожидается в конце 2008 – начале 2009 года.

По следам компании Texas Instruments, перенесшей свое производство на TSMC, пошла и корпорация Sun Microsystems. В феврале 2008 года она объявила о переносе производства процессоров семейства UltraSPARC на мощности TSMC. Причем рассчитанное на 15 лет соглашение между Sun и TSMC предусматривает совместную работу по программе OpenSPARC, в том числе включающую развитие сервиса IP-блоков.

Другие ведущие "кремниевые мастерские" не объявляли о массовом переходе к приему заказов по 45-нм технологиям, однако о намерении освоить их в 2008 году заявляют практически все. Так, еще в ноябре 2006 года об успешном выпуске опытных образцов СОЗУ по 45-нм технологии сообщила "Объединенная микроэлектронная корпорация" UMC (United Microelectronics Corporation). А в конце 2007 года представители UMC анонсировали выпуск 45-нм СОЗУ, правда, не указав сроки начала массовых продаж. Готова к переходу на 45 нм и Chartered Semiconductor – ведущий производственный партнер IBM по альянсу "общей платформы".

Семимильными шагами к внедрению 45-нм технологии идет еще один из ведущих в мире контрактных производителей – "Международная полупроводниковая производственная корпорация" SMIC (Semiconductor Manufacturing International Corporation), крупнейшая foundry на территории континентально-



го Китая. В конце декабря 2007 года было объявлено о заключении лицензионного соглашения на передачу компании SMIC 45-нм КМОП-технологии объемного кремния корпорации IBM. Как сообщается, SMIC по лицензионной технологии будет производить СБИС для мультимедийных мобильных устройств, графических процессоров и т.п. Технологию планируется внедрять для производства микросхем на 300-мм пластинах.

Планы у компании SMIC простираются далеко вперед. В октябре 2007 года она ввела в строй свое предприятие Fab 8 в Шанхае, работающее с 300-мм пластинами, построенное всего за два года. А в конце января 2008 года компания объявила о намерении инвестировать 1,58 млрд. долл. в научно-исследовательский центр и производственную базу в Шеньжене. На первом этапе проект предусматривает создание 200-мм технологической линии, которая вступит в строй в конце 2009 года с начальной производственной мощностью 30–50 тыс. пластин в месяц. Предполагается, что 45-нм технология IBM будет внедряться на 300-мм фабрике, создаваемой в рамках данного проекта.

Контрактные производители – это самый чувствительный флюгер новых веяний микроэлектроники, поскольку они подстраиваются под нужды и запросы ведущих разработчиков СБИС и электронных систем всего мира. И если они столь активно развивают 45- и 32-нм технологии, то это не прихоть, а жесткое требование времени.

Таким образом, с точки зрения технологии, топологическое разрешение 45 нм – это уже достигнутый рубеж. Причем производители активно поддерживают практически все ведущие разработчики САПР (Cadance, Mentor Graphics, Synopsis, Magma и др.), в том числе в области средств DFM. Благодаря их успехам, для разработчиков СБИС (в отличие от технологов) переход к 45-нм технологии может оказаться очень мягким и отнюдь не "революционным". Важность САПР в деле освоения 45 нм выходит на первый план, особенно с учетом того, что по некоторым оценкам стоимость запуска проекта по 45-нм технологии поначалу может составить 75 млн. долл.

32 нм – БЛИЗКАЯ ПЕРСПЕКТИВА?

Удивительно, но, едва освоив (или еще осваивая) фантастические 45 нм, передовые компании уже интенсивно работают над топологическим уровнем в 32 нм и менее. Забойщиками тут выступают все те же игроки – Intel с одной стороны, и IBM со своими партнерами по альянсу "общей платформы" – с другой.

Еще 18 сентября 2007 года – за два месяца до начала промышленного выпуска процессоров по технологии 45 нм – президент Intel Пол Отеллини на очередном форуме разработчиков Intel (IDF) продемонстрировал 300-мм пластину с первым работающим чипом, произведенным с топологическим разрешением 32 нм. Причем он объявил, что производство массовой

продукции по 32-нм технологии Intel начнет в 2009 году. Тестовый чип включал СОЗУ и логические схемы, построенные более чем на 1,9 млрд. транзисторов. Он произведен по технологическому процессу Intel второго поколения, с использованием диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью и металлических затворов транзисторов.

В декабре 2007 года о своих планах в области 32-нм технологий сообщила и IBM. Эта компания со своими партнерами (AMD, Chartered Semiconductor, Freescale, Infineon и Samsung) намерена развивать 32-нм технологии СОЗУ с использованием подзатворных диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью и металлическими затворами. Причем речь идет о параллельном развитии двух технологий – на объемном кремнии и КНИ. Этот подход разработчики противопоставляют сложным структурам с силицидными затворами и слоями металла сложной наборной структуры. По словам представителей IBM и ее партнеров, выбранный подход позволяет уменьшить размеры кристалла на 50% по сравнению с аналогом, произведенным с 45-нм разрешением. При этом примерно на 45% снижается энергопотребление и до 30% вырастает производительность. Такие результаты получены в ходе исследований на 300-мм фабрике IBM в Ист-Фишвилл. Новая технология станет промышленно доступной для членов альянса IBM и их заказчиков во второй половине 2009 года. А уже к концу 2011 года IBM

обещает технологии уровня 22 нм. Исследования в этой области проводит Нанотехнологический центр IBM в Олбани. В конце февраля 2008 года представители AMD и IBM сообщили об успешном эксперименте по формированию топологии верхнего слоя металла на чипе размером 22×33 мм посредством экстремальной УФ-литографии (EUV) с длиной волны излучения источника 13,5 нм. Тестовый чип изготовлен по 45-нм технологии на заводе AMD Fab 32 в Дрездене, операции по формированию топологии верхнего слоя посредством EUV-литографии проводились в исследовательском центре в Олбани. Данная технология предназначена для формирования кристаллов с топологическими нормами 22 нм.

Другой партнер IBM – компания Toshiba – вела работы в области снижения топологических размеров в рамках японского альянса с Sony и NEC. После выхода Sony из технологической игры Toshiba и NEC продолжили совместные исследования в области 32 нм в центре Toshiba в Йокогаме.

В октябре 2007 года Toshiba объявила о решении использовать в своих КМОП-технологиях уровня 22 нм импринтную литографию на основе оборудования компании Molecular Imprints (MII). С помощью системы Imprio 250 от MII специалистам Toshiba удалось сформировать топологию с защитными промежутками до 18 нм, шагом размещения элементов топологии до 24 нм с разбросом критических размеров менее 1 нм и неровностью кро-



мок линий менее 2 нм. Уровень обнаруженных дефектов составил менее 0,3 дефектов на 1 см², что соответствует уровню иммерсионной литографии. Если учесть, что импринт-технологии с большой осторожностью рассматриваются в качестве перспективных для микроэлектроники, интересны слова исполнительного директора III Марка Меллиар-Смита: "В противоположность экстремальной УФ-литографии, наша технология основана на применении существующего оптического оборудования, что поможет ей стать идеальным решением для экономичного производства сверхвысокоплотных КМОП-приборов".

Работы в области 32- и 22-нм технологий ведутся и в известном независимом исследовательском центре IMEC (Бельгия). Так, в октябре 2007 года было объявлено о начале исследовательской программы по созданию технологии формирования конденсаторных структур "металл-изолятор-металл" для ДОЗУ с топологическими размерами 32 нм и менее. В частности, в середине 2008 года предполагается достичь толщины диэлектрика 0,5 нм, а в 2009 году – 0,3 нм. Эта программа – лишь часть работ, проводимых в рамках создания технологической платформы для суб-32-нм КМОП СБИС. В этих работах участвуют пять ведущих мировых производителей памяти – компании Hynix Semiconductor, Elpida Memory, Micron Technology, Qimonda и Samsung Electronics, а также другие компании-производители логических СБИС и контрактные производители.

Таким образом, можно заключить, что через год–два 45-нм технологии станут массовыми. А на пятки им уже наступают 32-нм и суб-32-нм технологии. И это не "гонка за нанометрами как таковыми", как пытаются представить дело некоторые специалисты, а естественный и безальтернативный путь создавать дешевые многофункциональные схемы с чрезвычайно низким энергопотреблением. Технологии со столь высоким разрешением предоставляют конечному потребителю невиданные ранее возможности в мобильных сверхкомпактных интегрированных устройствах. Поэтому очевидно, что эти технологии обречены на успех.

Еще один важный вывод: все производители ориентированы на 300-мм пластины, на массовый выпуск СБИС. У ведущих контрактных производителей более 90% продукции предназначены для таких массовых секторов рынка, как телекоммуникации, компьютеры и бытовая электроника. Поэтому лучше сразу похоронить какие-либо идеи о возможности применения глубоко субмикронной технологии преимущественно в немассовых областях, например военной или военно-космической. Подобные приложения могут быть только вторичными по отношению к основному массовому производству. Иными словами, чтобы создавать защищенную высокотехнологичную связь специального назначения, необходимо сначала развивать беспроводные гражданские мультимедийные сети. Любой другой путь, как показывает практика, не по силам экономике ни одной страны в мире. ○