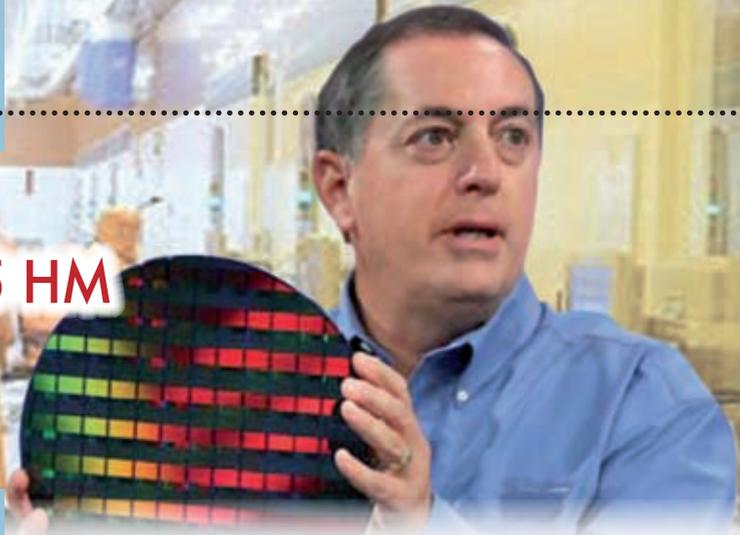


ТЕХНОЛОГИЯ УРОВНЯ 65 НМ

ХРОНИКА СОБЫТИЙ



И.Шахнович

Последние годы микроэлектроника, оставив позади область "глубокого субмикрона", стремительно вторгается в области менее 100 нм. Изменения происходят столь быстро, что возникают вопросы – а зачем вообще нужны такие технологии, что они дают производителям и потребителям? Для ответа на эти вопросы рассмотрим состояние дел с освоением технологий уровня 65 нм, а в следующей публикации перейдем к ставшими сегодня промышленной реальностью технологиям 45 нм. Отметим лишь, что термины "45-нм технология", как и "65-нм", достаточно условны и относятся к шагу сетки размещения элементов топологии при проектировании СБИС. Важно понимать, что это не минимальный размер элемента топологии и не максимальное разрешение технологического оборудования.

МИКРОПРОЦЕССОРЫ

О работах по промышленному освоению 65-нм технологии основные производители объявили в 2004 году. Главные рыночные стимулы для ее внедрения – повышение степени интеграции на кристалле и снижение энергопотребления. Очевидно, что данные достоинства необходимы для функционально-сложных устройств, а также для портативных (мобильных) применений. Поэтому первыми компаниями, приступившими к выпуску продукции по 65-нм технологии, стали ведущие производители микропроцессоров (МП): Intel, AMD и IBM.

В середине 2004 года Intel объявил о создании 70-Мбит СОЗУ по процессу P1264. Толщина подзатворного диэлектрика (SiON) – 1,2 нм, длина канала транзистора – 35 нм, встроенный напряженный кремниевый канал (за счет Si₃N₄), NiSi-затвор, восемь слоев медной металлизации. Ячейка СОЗУ состояла из шести транзисторов, ее общая площадь – 0,57 мкм². В

технологическом процессе использовалась УФ-литография с длиной волны источника 193 нм. Рабочее напряжение полупроводниковой СБИС – 1,2 В при тактовой частоте свыше 3 ГГц.

Уже в 2005 году компания Intel приступила к выпуску МП по 65-нм процессу (двухъядерные процессоры для мобильных приложений), уже к концу 2005 года они стали экономически рентабельными. В 2006 году Intel полностью перешел на выпуск МП по 65-нм технологии. Новые процессоры, прежде всего, отличает увеличенный объем кэш-памяти на кристалле (до 8 Мбит), 2–4 процессорных ядра, а также некоторый рост тактовой частоты. Первые 4-ядерные МП были выпущены в ноябре 2006 – МП Xeon 5300 для бизнес-приложений и Intel Core 2 Extreme для игровых задач. Тактовая частота Xeon 5300 – от 1,6 до 2,66 ГГц, частота шины FSB – от 1066 до 1333 МГц. Мощность тепловыделения – 80–120 Вт.

Первым предприятием Intel, работающим по 65-нм процессу, стала фабрика D1D в Орегоне, затем – Fab 12 в Аризоне. Третьим стал завод Fab 24-2 в Лейкслипе (Ирландия).

В конце 2006 года о начале серийного выпуска процессоров по 65-нм процессу объявила и компания AMD (Athlon 64 X2). Единственным его преимуществом перед аналогом, произведенным по 90-нм технологии, называли снижение на 30% мощности потребления. Однако со следующим процессором – 4-ядерным МП Barcelona (тактовая частота – 2,5 ГГц) – произошла задержка, и о начале их производства объявили лишь 10 сентября 2007 года. До этого, в мае 2007 года компания сообщила о выпуске графических процессоров серии ATI Radeon HD 2000 (AMD купила известную канадскую фирму ATI – одного из лидеров двух мировых в производстве графических процессоров).

Отметим, что технология AMD отличается от Intel. Причина тому – традиционный союз AMD и IBM. Обе эти компании для снижения токов утечки используют в своих МП технологию "кремний на изоляторе" (КНИ). AMD развивает технологию 65-нм на заводе Fab 36 в Дрездене (Германия). Это предприятие, работающее с 300-мм пластинами, вступило в строй в 2005 году, в марте 2006-го там начался выпуск процессоров AMD64. Fab 36 полностью работает по 65-нм процессу, но уже запущены пилотные линии по 45-нм технологии.



Кроме того, AMD тесно сотрудничает и с компаниями-foundry. В частности, в марте 2007 года было объявлено о начале производства продукции AMD по 65-нм технологии на заводах сингапурской компании Chartered Semiconductor Manufacturing. До этого Chartered Semiconductor производила МП AMD по 90-нм технологии, для чего еще в июле 2006 года на принадлежащей Chartered фабрике Fab 7 была внедрена технология AMD.

В мае 2007 года IBM объявила о выпуске двухъядерного процессора POWER6 по 65-нм технологии КНИ с использованием технологии напряженного кремния. По сравнению с предшественником (POWER5, 90 нм), его тактовая частота (4,7 ГГц) и объем кэш-памяти второго уровня (8 Мбит) вдвое выше при том же энергопотреблении (100 Вт). Чуть ранее – в марте 2007 года – было объявлено о начале серийного производства многоядерных Cell-процессоров (Cell Broadband Engin), продукте совместной деятельности IBM, Sony и Toshiba. Производятся процессоры на заводе IBM в Ист Фишвилл (East Fishkill, шт. Нью-Йорк).

Отметим, что еще в июне 2005 года IBM представила две 65-нм заказные СБИС (ASIC) и анонсировала два своих технологических процесса – для ASIC с малым энергопотреблением (Cu-65LP), и для высокопроизводительных ASIC (Cu-65HP). Были предложены средства разработки, включающие стандартные библиотеки логических элементов, множество семейств интерфейсов, встроенные SRAM и DRAM; коллекцию процессорных ядер, в том числе SerDes и PowerPC, а также ARM Artisan physical IP, SRAM compilers и др.

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ И МУЛЬТИМЕДИА

Для развития субмикронной технологии, в противовес Intel, вокруг IBM сложился альянс компаний – CPTA (Common Platform Technology Alliance). Изначально, еще на стадии разработки 90-нм технологии, он включал две компании – Chartered Semiconductor и IBM. Позднее к нему присоединилась корпорация Samsung. На разных стадиях к этому устойчивому триумвирату, ближайшая цель которого – разработка технологии уровня 32 нм, присоединялись компании Infineon и Freescale. После краха европейского Кроллесского альянса (Crolles Alliance) с этой группой стала взаимодействовать фирма NXP. И конечно, в "лагерь IBM" входят Sony, Toshiba и AMD.

В результате взаимодействия с CPTA 31 января 2006 года Infineon Technologies объявила о выпуске первых СБИС по 65-нм КМОП-технологии на фабрике компании Chartered. В этом альянсе Infineon выступил как fabless-разработчик 65-нм процессорных и DSP-ядер, библиотек и ВЧ-модулей, а также аналоговых и смешанных модулей. Все это предназначено для требующих высокого быстродействия и низкого энергопотребления приложений. Например, в кремнии проверены процессорные модули на основе ядра ARM9, широкий спектр таких элементов, как СОЗУ, ПЗУ, ВЧ-модули, блоки аналого-

вой и смешанной обработки, DSP-ядро. Уже в мае 2006 года Infineon анонсировал свой первый чип для GSM-телефона по технологии 65 нм.

Но еще в октябре 2005 года, компания Qualcomm объявила о начале работ по освоению 65-нм технологии СБИС для 3G-телефонии (как cdma2000, так и WCDMA). В июне 2007 года компания сообщила о начале коммерческого применения ее 65-нм чипсетов (так называемых Mobile Station Modem) для 3G-телефонов. Причем эти чипсеты уже использованы в трех продававшихся в тот момент телефонах стандарта WCDMA (UMTS) – в U120 компании Huawei, в KU250 компании LG Electronics и в U700 компании Samsung. Причем последний поддерживает технологию высокоскоростного пакетного доступа HSDPA. Производится чипсет на заводах компании TSMC.

Еще один лидер рынка чипсетов для беспроводной связи – компания Broadcom – в октябре 2007 года объявила о создании 65-нм "3G-телефона на чипе". Это СБИС BCM21551, на которой интегрированы все основные функции 3G-телефона, многдиапазонный ВЧ-трансивер, модуль Bluetooth 2.1, УКВ-радиоприемник и УКВ-передатчик для автомобильного радио. СБИС также поддерживает такие мультимедийные приложения, как 5-мегапиксельную видеокамеру, запись видео со скоростью 30 кадров в секунду, сотовые протоколы HSPA, HSDPA, WCDMA, EDGE и др. Примечательно, что цена СБИС (в больших объемах) – 23 долл.

А чуть ранее – 26 сентября 2007 года – Broadcom представила образцы 65-нм СБИС BCM4322 для модемов беспроводной связи draft-стандарта IEEE 802.11n. Коммерческие продажи этих чипов начнутся в первом квартале 2008 года.

В декабре 2005 года о разработке собственного 65-нм технологического процесса сообщила компания Texas Instruments (TI). В ноябре 2006 компания объявила о создании СБИС для сотовой телефонии по 65-нм технологии. Это OMAPV1035 (eCosto) – новая однокристалльная платформа для телекоммуникационного (baseband), ВЧ- и функционального (центрального) процессоров. OMAPV1035 поддерживает протоколы GSM, GPRS и EDGE. Фактически это дальнейшее развитие однокристалльной платформы LoCosto. Продажи СБИС начались в середине 2007 года.

В феврале 2007 года TI объявила о двух новых СБИС. Это WiLink 6.0, однокристалльный процессор для мобильных беспроводных сетей, с поддержкой draft-стандарта IEEE 802.11n, а также Bluetooth и УКВ-приемником. Другая СБИС – BlueLink 7.0 – это объединение Bluetooth и УКВ-трансивера.

Примечательно, что в феврале 2006 года на международной конференции International Solid States Circuit Conference (ISSCC) разработчики Массачусетского технологического института (MIT) анонсировали сверхмаломощную опытную СБИС СОЗУ объемом 256 Кбит, произведенную по 65-нм технологии Texas Instruments. За счет уменьшения размеров транзистора, ячейка СОЗУ состоит из 10, а не из 6 транзисторов, что

Квартальная структура выручки компании Chartered Semiconductor, %

Уровень технологии, нм	3Q 2006	4Q 2006	1Q 2007	2Q 2007	3Q 2007
65 и менее	—	—	—	7	13
До 90	31	37	29	12	6
До 130	27	27	32	36	35
До 180	7	8	7	8	10
До 250	9	8	9	12	13
До 350	16	12	13	15	14
Выше 350	10	8	10	10	9

позволило снизить рабочее напряжение до 0,4 В. Работа проводилась при поддержке агентства перспективных исследований МО США DARPA. Цель работы – создание семейства сверхмаломощных схем логики и памяти с рабочими напряжениями ниже 400 мВ.

Все работы TI в области беспроводной связи – это размещение нескольких процессорных DSP-ядер и иных устройств на одном кристалле, что стало возможным благодаря высокой степени интеграции 65-нм СБИС. Так, процессор TMS320TCI6488 (TCI6488), разработанный для WCDMA-приложений, в том числе базовых станций, включает три независимых DSP-субсистемы, каждая из которых содержит DSP-ядро C64x+ (тактовая частота – 1 ГГц). 3 Мбайта кэш второго уровня могут гибко распределяться между ядрами (например, 1/1/1 или 1,5/1/0,5 Мбайт). СБИС также содержит декодер Витерби, турбодекодер, набор интерфейсов, включая Ethernet, RapidIO и т.д.

Другой член СРТА – компания Samsung Electronics – 27 июня 2007 года анонсировала 65-нм чипсет в составе мультистандартного декодера S3C4F31 и многодиапазонного ВЧ-приемника S5M8602 для мультистандартного цифрового мобильного ТВ (поддержка стандартов DVB-H/T, DAB-IP, ISDB-T и наземного DMB в различных странах мира). Образцы СБИС чипсета уже доступны, массовое производство должно начаться со дня на день.

КОНТРАКТНЫЕ ПРОИЗВОДИТЕЛИ

Поистине знаковым для 65-нм технологии стал 2007 год. Именно тогда крупнейшие кремниевые контрактные производители – foundry – приступили к серийному выпуску продукции по этой технологии.

Так, TSMC в третьем квартале 2007 года объявила о консолидированной выручке в размере 2,73 млрд. долл. В структуре продаж (заказов) компании 56% производится по технологии 130 нм и выше, 90-нм процессы составляют 27%, а 65-нм – около 7%. Это очень хороший показатель, учитывая, что о первом коммерческом запуске СБИС по 65-нм процессу (для цифровых камер) на TSMC было объявлено в апреле 2007 года. TSMC стала первой foundry, освоившей 65-нм технологию. Уже в марте 2007 года компания Nvidia и TSMC объявили о завершении отработки процесса для встроенных ДОЗУ (от 4 до 256 Мбит), необходимых для графических процессоров Nvidia. В планах компании – освоение различных технологий уровня 65 нм (см. рис.)

Другой гигант контрактного кремниевого производства, сингапурская компания Chartered Semiconductor Manufacturing, объявил о выручке в 3 квартале 2007 года в 354,8 млн. долл. В этом показателе доля 65-нм продуктов составляет 13% (см. таблицу). При том, что в первом квартале коммерческого производства по 65-нм технологии не было совсем.

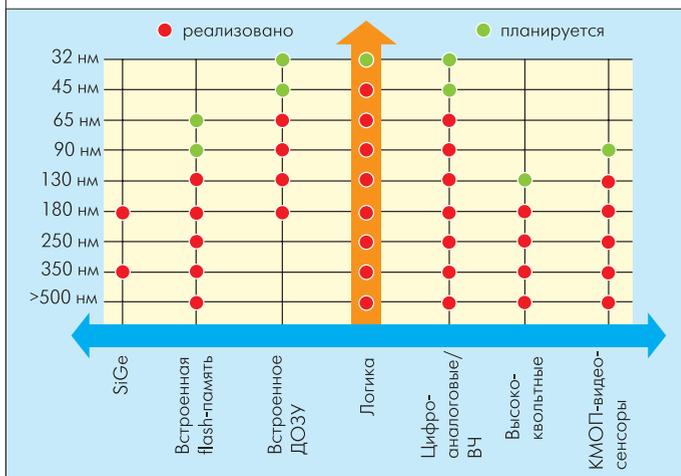
В 2006 году о поддержке 65-нм технологии объявила и UMC (выручка за первые три квартала 2007 года – 2,4 млрд. долл.). В ноябре 2007 года компания сообщила о готовности процесса производства 65-нм КМОП ВЧ ИС.

ПЛИС

Не прошли новые технологические веяния и мимо ПЛИС. В частности, компания Xilinx в декабре 2006 года объявила о начале выпуска FPGA семейства Virtex-5 по 65-нм процессу. Они производятся на фабриках компаний UMC и Toshiba. По сравнению с предыдущим семейством Virtex-4 (90 нм), у новых ПЛИС на 35% выросло быстродействие и на 30% снизилось энергопотребление. FPGA Virtex-5 – это до 330 тыс. логических ячеек, 10 Мбит памяти, 1200 портов ввода/вывода, поддержка сотен IP-блоков платформы Virtex-5 LX Platform. Компания Synplicity – известный производитель средств САПР СБИС – совместно с Xilinx в мае 2006 года объявила о начале работы над системой проектирования, специально предназначенной для 65-нм технологии FPGA.

Другой известный производитель ПЛИС – компания Altera – представила в 2007 году семейство FPGA Cyclone III, которое изготавливается по 65-нм технологии на заводах компании TSMC. В составе семейства Cyclone III – ПЛИС от 5 до 120 тыс. логических элементов, до 4 Мбит памяти и до 288 встроенных умножителей, работающих на частоте 260 МГц. В результате Altera первой приступила к выпуску "дешевых" FPGA по 65-нм технологии. Причем удельная цена логического элемента FPGA Cyclone III снизилась на 20%.

До этого, в ноябре 2006 года, Altera объявила о выпуске высокопроизводительных FPGA семейства Stratix III по 65-нм технологии, также на заводах TSMC.



Технологические планы TSMC



ПАМЯТЬ

Еще одна сфера, где бурно развивается производство по 65-нм технологии – производство СБИС памяти.

Еще в сентябре 2004 года Samsung приступил к производству 60-нм 8-Гбит flash-памяти (NAND). А осенью 2007 года компания объявила о создании 64-Гбит flash-памяти уже по 30-нм технологии.

Японская компания Elpida Memory – один из лидеров в производстве ДОЗУ – сообщила о завершении разработки СБИС SDRAM DDR2 емкостью 1 Гбит, которые будут изготавливаться по 65-нм технологическому процессу. Запуск серийного производства запланирован на первый квартал 2008 года, образцы доступны в конце 2007 года. А во втором квартале 2007 года к производству этих СБИС присоединится и тайваньский партнер Elpida – компания Rexchip Electronics Corporation. Примечательно, что в декабре 2006 года Elpida Memory начала массовое изготовление 70-нм микросхем SDRAM DDR2, что привело к снижению их себестоимости. Сейчас это производство реализовано и на заводе REXCHIP.

Другой японский производитель памяти – компания Spansion – в сентябре 2007 года объявила о запуске 65-нм процесса на своем предприятии Spansion 1 (SP1). Производительность предприятия SP1, в которое предполагается вложить 1,2 млрд. долл., составит 15–20 тыс. 300-мм пластин в месяц. Причем при дополнительных инвестициях производительность можно удвоить. Компании принадлежит и фабрика JV-3, также обрабатывающая 300-мм пластины. В планах Spansion – переход в 2008 году на 45-нм технологию. Причем в мае 2007 года Spansion заключила соглашение с TSMC о разработке технологии уровня 40 нм и ниже.

IP-БЛОКИ И САПР

Разумеется, 65-нм технологию поддержали и производители IP-блоков. В частности, для 65-нм процесса TSMC компания Virage Logic разработала (и верифицировала, включая проверку в кремнии) IP-блоки памяти.

В августе 2007 года Intel объявил о применении в 65-нм продуктах встроенной flash-памяти (типа NOR). Напомним, в планах этой корпорации – увеличение своей доли на мировом рынке энергонезависимой памяти с 20 млрд. долл. в 2006 году до 40 млрд. долл. к 2010 году.

Компания STMicroelectronics (февраль 2007) сообщила о разработке 65-нм интерфейсного IP-блока физического уровня serial-interface multi interface PHY (MIPHY). По словам представителей STMicroelectronics, разработанная ими макроячейка предназначена для интеграции в малопотребляющие системы на кристалле, поддерживающие 3- и 6-Гбит/с интерфейсы ATA (SATA) жестких дисков для мобильных и обычных компьютеров. Уже в конце года STMicroelectronics готова поставлять свои IP-решения для 65-нм технологии. MIPHY – это ключевой IP-блок в портфеле решений STMicroelectronics для жестких дисков.

Компания Kilopass Technology в августе 2007 года объявила о доступности ее технологии IP-блоков высокоинтегрированной встроенной энергонезависимой памяти для стандартного 65-нм КМОП-процесса как для малопотребляющих (XPM-65LP), так и для обычных (XPM-65G+) устройств. Решения Kilopass XPM верифицированы в кремнии. Kilopass также предлагает средства оценки (evaluation kits) XPM-65LP and XPM-65G+.

Ирландская компания Silicon and Software Systems (S3), известный поставщик mixed-signal IP-решений, объявила об инвестициях в разработку IP-решений для WiMAX и беспроводных сетей передачи информации в целом. S3 намерена перенести свои решения для 90-нм технологий в область 65 нм и ниже. В сентябре 2007 года S3 анонсировала библиотеку mixed-signal IP для 65-нм технологии TSMC (для малопотребляющих продуктов). Библиотека, в том числе, включает 10-бит АЦП (30 и 40 Мвыборок/с), а также 11-разрядный сигма-дельта АЦП (160 Мвыборок/с) и ФАПЧ.

Естественно, 65-нм технология потребовала изменений в средствах САПР СБИС, прежде всего – в инструментах уровня Design for Manufacturing (DFM).

Практически все ведущие мировые компании-разработчики САПР (Synopsis, Cadence, Mentor Graphics, Magama и др.) представили свои продукты, так или иначе ориентированные на технологии уровня 65 нм и ниже. Объявлено о сотрудничестве таких компаний, как UMC и Magma Design Automation (продукты Magma Quartz DRC, Quartz LVS and Quartz DFM), Takumi Technology и Chartered Semiconductor Manufacturing, Cadence и TSMC (совместимость process design kit для 65-нм ВЧ-технологии TSMC и платформы Virtuoso), Chartered и Mentor Graphics (технологический САПР для 65-нм технологии CPTA, адаптированный для платформы IStudio Mentor Graphics) и т.д.

Подводя итог, отметим, что 2007 год стал годом перехода к массовому освоению технологии уровня 65 нм. Основные виды СБИС, для которых данный технологический уровень эффективен и необходим, – это:

- высокопроизводительные универсальные процессоры;
- сложные системы на кристалле, разнообразные специализированные сопроцессоры, интерфейсные модули и т.п. для мультимедийных устройств и средств беспроводной передачи информации (3G, WiMAX и др.);
- ПЛИС;
- память высокой емкости.

Причем данная технология поддержана не только производителями уникальной продукции (Intel, AMD, отчасти IBM, TI), но и foundry (TSMC, UMC, Chartered Semiconductor).

На смену технологии 65 нм уже идет (а местами и пришла) технология 45 нм. Но ей посвящена наша следующая статья

