

Эффективная разработка и производство мелкосерийных заказных СБИС

Денис Адамов (Москва)

В статье обсуждаются проблемы проектирования и освоения производства специализированных СБИС, выпускаемых ограниченными партиями. Рассмотрены затраты на подготовку производства. Предложены проектные и организационные методы снижения этих затрат. Приведены примеры разработки микросхем с использованием модифицированных производственных маршрутов.

ЗАКАЗНЫЕ СБИС КАК ОСНОВА ЭФФЕКТИВНОЙ РАЗРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

Структура рынка электронных компонентов меняется очень быстро. Уже произошло насыщение рынка персональными компьютерами и бытовой электроникой. Бурно развиваются микросхемы для информационных систем и сетей. Основные доходы в микроэлектронике перемещаются в сектор предоставления информационных услуг. Однако с ростом степени интеграции массовых электронных компонентов проблема эффективности технических решений зачастую требует создания заказных СБИС с уникальным сочетанием функциональных возможностей. Такие микросхемы в небольших количествах требуются в измерительном оборудовании, системах промышленной автоматизации, в медицине, безопасности и навигации.

В недавнем прошлом экономические технологические барьеры, в первую очередь связанные с этапами производства, не позволяли эффективно решить эти задачи и заставляли разработчиков аппаратуры применять универсальные компоненты, которые использовали небольшую часть заложенных в них функций, что приводило к возрастанию энергопотребления и увеличению габаритов устройств. Ниже будут рассмотрены подходы, позволяющие существенно снизить затраты на разработку и подготовку производства заказных СБИС, не прибегая к компромиссным решениям.

Разнообразие требований к заказным СБИС является главной проблемой их производства. При разработке различных блоков должны использоваться единые требования, обеспечивающие их технологичес-

кую, системную и проектную совместимость. Задача подготовки спецификации должна решаться совместно с выбором технологии производства контроллеров.

Для эффективной разработки и создания большой номенклатуры заказных СБИС необходимы технологии, позволяющие объединять в одном кристалле самые разнообразные полупроводниковые приборы.

Возможности «РАЗУМНОГО ПРОИЗВОДСТВА»

Решение проблемы заключается в использовании новых и эффективных предложений производителей микросхем. Предлагаемое сейчас «разумное производство» (smart foundry) представляет собой объединение технологического участка с дизайн-центром и службой поддержки заказчиков. При этом допускается согласованная модификация технологического процесса и правил проектирования для каждого проекта. Такое производство существенно дороже, но обеспечивает выпуск уникальных изделий с высокой добавленной стоимостью.

Модель «разумного производства» сейчас реализуется многими зарубежными технологическими компаниями (TSMC, X-FAB, Silterra, Tower Semiconductor и пр.). Например, компания Silterra (Малайзия) аттестовала унифицированный маршрут производства микросхем, который позволяет реализовать в одном кристалле транзисторные КМОП-структуры с рабочими напряжениями 1,8; 3,3; 5,0; 5,5; 32 и 36 В для технологических норм 110...180 нм. Дополнительно могут быть реализованы биполярные транзисторы, конденсаторы с большой удельной ёмкостью, индукторы, высокоомные резисторы,

ячейки памяти различных типов и другие элементы.

«Разумное производство» допускает использование любой комбинации полупроводниковых приборов и даже отказ от неиспользуемых стандартных элементов. Производственный маршрут построен по модульному принципу, позволяющему исключать или изменять некритические операции. Однако режимы и последовательность критических высокотемпературных операций никогда не меняются, даже если они предназначены для формирования исключённых из структуры элементов. Маршрут модифицируется под заказчика только в пределах некритических низкотемпературных операций.

Подобной технической политики придерживается и компания X-FAB, хорошо известная в России. X-FAB поддерживает десятки производственных маршрутов и постоянно расширяет номенклатуру реализуемых полупроводниковых приборов. В 2006 г. произошло слияние компаний X-FAB и 1st Silicon. В настоящее время компания X-FAB обладает технологией с минимальными размерами 180 нм и осваивает 130-нм процесс.

СТРУКТУРА И ЭТАПЫ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Мелкосерийное производство с множеством параметров и модификаций не может быть очень дешёвым. Затраты на изготовление фотошаблонов для современных процессов, включающих в себя 32–45 масок, становятся непреодолимым барьером для реализации многих проектов. И здесь «разумное производство» идёт навстречу заказчику. Для самых мелких опытных партий производители запускают сборные партии, объединяющие несколько разных кристаллов (Multy Project Wafer, MPW). Площадь кадра экспозиции при фотолитографии составляет от 100 до 600 мм². В одном кадре размещается от 10 до 30 кристаллов. Каждый заказчик имеет возможность оплатить только свою долю затрат на подготовку производства. Взаимоисключающие технологические параметры снижают ко-

личество годных кристаллов с каждой пластины, но позволяют очень эффективно – «в кремнии» – проверить схемотехническое решение и функционал разработанной СБИС.

Для удобства работы с заказчиками фабрики работают с компаниями, которые производят объединение заказов в один комплект шаблонов по типу производственного маршрута, размерам кристаллов и объёмам производства. Объединённые заказы снижают потери при разделении пластин на кристаллы, но требуют больше времени на подготовку производства. Такое производство уже способно обеспечить выпуск мелких и средних серий микросхем, а компании могут взять на себя как изготовление опытных образцов микросхем, так и весь комплекс задач по подготовке и освоению производства, гарантируя выход годных изделий. Так, российские заказчики могут использовать возможности TSMC через компанию eSilicon, X-FAB – через воронежский «Микродизайн», а Silterra – через «Цифровые решения».

Ещё один метод снижения затрат на подготовку производства основан на возможности экспозиции пластины не полным кадром, а только его частью. Для этого в установке фотолитографии должна быть вторая маска, закрывающая часть фотошаблона. При этом один фотошаблон объединяет рисунок двух или четырёх топологических слоёв. Метод называется Multy Layer Mask (MLM). Размер кадра экспозиции уменьшается в два или четыре раза соответственно. Уменьшение кадра экспозиции и необходимость менять дополнительные маски снижают производительность оборудования и повышают стоимость пластин, но позволяют снизить стоимость комплекта

фотошаблонов в два-четыре раза, что существенно для затрат на мелкосерийное производство.

Соотношение затрат на подготовку и освоение производства можно оценить на основе следующих усреднённых показателей для наиболее широко используемого технологического процесса КМОП с минимальными размерами 180 нм на пластинах диаметром 200 мм:

- стоимость полного комплекта фотошаблонов 80 тыс. долл. США;
- пластина с микросхемами в массовом производстве (более 1000 пластин) – 400 долл.;
- эффективная рабочая площадь пластины 26 тыс. мм²;
- один квадратный миллиметр в кристалле микросхемы обходится в 1,5 цента без учёта затрат на подготовку производства;
- пластина с микросхемами в мелкосерийном производстве (24 пластины) – 800 долл.;
- один кв. мм в кристалле микросхемы из опытной партии – 3 цента;
- один кв. мм в кристалле микросхемы с учётом затрат на фотошаблоны – 16 центов;
- комплект фотошаблонов для маршрута с MLM (четыре маски на шаблоне) – 20 тыс. долл.;
- пластина с микросхемами в мелкосерийном производстве с MLM – 2000 долл. США;
- один кв. мм в кристалле на пластине (партия 24 пластины) – 7,7 цента;
- один кв. мм в кристалле с учётом затрат на фотошаблоны – 11 центов;
- стоимость партии из 100 кристаллов для маршрута MPW – 10 тыс. долл.;
- стоимость одного кв. мм в кристалле размером 5 × 5 мм в маршруте MPW – 4 долл.;

- полная стоимость подготовки массового производства с учётом опытной партии (12 пластин) – 120 тыс. долл.;

- полная стоимость подготовки мелкосерийного производства в маршруте MLM с учётом опытной партии – 70 тыс. долл.;

- полная стоимость подготовки мелкосерийного производства в маршруте MPW с учётом опытной партии 720 кристаллов 5 × 5 мм – 15 тыс. долл.

Стоимость приведена, исходя из средних цен фабрики для базового логического процесса. Использование технологических опций потребует увеличения числа фотошаблонов. В среднем каждая опция увеличивает стоимость комплекта фотошаблонов на 2 тыс. долл., а стоимость пластины – на 50 долл.

Существуют определённые предпочтения производителей в выборе маршрута для мелкосерийного производства. Компания X-FAB использует маршрут MLM. Это позволяет ей поддерживать большое количество разнообразных производственных маршрутов с минимальными затратами на подготовку производства. Маршрут MPW используется для ограниченного числа наиболее востребованных производственных маршрутов. Компания Silterra имеет меньше вариантов производственных маршрутов и использует метод MPW, однако позволяет использовать различные технологические параметры и в комбинированных партиях.

Компании, реализующие бизнес-модель «разумного производства», сами стремятся расширить возможности выбора элементов микросхем. Для этого базовые маршруты имеют большое количество модификаций, рас-

ширяющих состав элементов. Например, компании X-FAB и Silterra могут реализовать в структуре микросхемы любую комбинацию следующих элементов:

- конденсаторы со структурой металл–диэлектрик–металл с высокой удельной ёмкостью или с высоким пробивным напряжением;
- индукторы в слое металлизации толщиной более двух микрон;
- поликремниевые резисторы с заданным значением слоёвого сопротивления в диапазоне от 80 до 1000 Ом на квадрат;
- КМОП-транзисторы с высокими и низкими пороговыми напряжениями;
- КМОП-транзисторы с минимальными размерами и низким напряжением питания для быстродействующих блоков и на том же кристалле высоковольтные КМОП-транзисторы;
- биполярные транзисторы на основе КМОП-структуры или с использованием эпитаксиальных слоёв (только компания X-FAB);
- изоляцию от подложки низковольтных КМОП-транзисторов с использованием скрытого n-слоя;
- число уровней металлизации от трёх до шести, по требованию заказчика;
- комплексную модификацию процесса для реализации блоков однократно программируемых ПЗУ;
- комплексную модификацию процесса для реализации блоков флэш-памяти.

Расширение числа типов элементов повышает стоимость производства. Однако в реальных проектах обычно не требуется более 2–4 типов дополнительных элементов, не входящих в базовый маршрут. Стоимость производства оценивается по числу циклов с использованием фотолитографии. Стоимость производственного цикла в базовом маршруте составляет около 30 долл. для каждой пластины. Цены приведены для маршрутов типа MPW и базового, в которых на каждом шаблоне только один кадр экспозиции. Для маршрута типа MLM цены возрастают в два раза.

ПРИМЕРЫ РАЗРАБОТКИ СБИС

Примером использования «смарт фаундри» может служить процесс разработки новых технологий для видеосистем на кристалле. Кроме использования дополнительных высокоэнергетических легирований для

формирования скрытых слоёв, блок обработки изображений требует наличия динамической и статической памяти.

Российская компания Юник Ай Сиз и американская Sigma используют фотоприёмники с глубинным цветоделиением в кремнии без внешних оптических фильтров. Разработаны оригинальные структуры цветных фотоприёмников. Для реализации этих структур в составе КМОП-микросхем потребовался комплекс изменений в типовом производственном маршруте:

- введены три дополнительных легированных слоя с максимальной энергией имплантации 1 млн. эВ;
- разработаны маски для легирования с большими энергиями;
- исключены фиктивные элементы в слоях металлизации над фотоприёмниками;
- введены металлические экраны для защиты аналоговых блоков от воздействия света;
- уменьшена толщина слоёв металлизации и изоляции;
- все слои изоляции над фотоприёмниками имеют одинаковый коэффициент преломления. Для этого локально удаляется пассивирующий слой нитрида кремния.

Новые структуры цветных матричных фотоприёмников реализованы в составе фоточувствительных микросхем, изготовленных на фабриках компаний X-FAB и Silterra.

Обычно большая часть площади кристалла контроллера занята фоточувствительными элементами, аналоговыми блоками и блоками ввода-вывода. Цифровая часть занимает 10...25% площади. Параметры чувствительности определяются аналоговой частью, а функции обработки – цифровой [1, 3]. Расширение функциональных возможностей достигается усложнением цифровой части микросхемы. Легко обеспечить широкие возможности цифровой обработки, разместить на кристалле микропроцессор. Однако, это возможно только при отсутствии жёстких ограничений на потребляемую мощность. В подавляющем большинстве случаев ограничения на мощность определяют выбор цифрового блока на основе конечного автомата. В России имеются примеры разработки многофункциональных контроллеров для систем пожарной безопасности [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для дальнейшего освоения бизнес-модели «разумного производства» в России следует использовать структуру, которая объединяла бы технологически совместимые проекты в один комплект фотошаблонов и размещала заказы в компаниях, поддерживающих мелкосерийное производство.

В основе развития элементной базы всегда находятся требования разработчика аппаратуры, касающиеся совершенствования характеристик приборов и устройств. При этом разработчик ЭКБ в конечном итоге определяет баланс обоснованности и реализуемости технических требований. Для этого требуется знание возможностей технологии и реальная оценка затрат на освоение производства СБИС. Экономически важным этапом является физико-технологическое моделирование и согласование производственного маршрута с техническими специалистами. Фабрика должна модифицировать производственный маршрут и внести изменения в программы автоматического управления для эффективного использования технологических процессов. Использование современных средств разработки с элементами технологического проектирования позволяет получить требуемые характеристики заказных СБИС уже в первой партии.

ЛИТЕРАТУРА

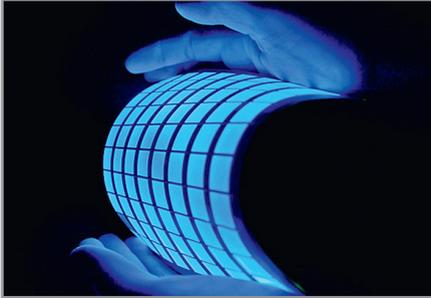
1. Адамов Д.Ю., Матвеев О.С. Новые технологии для контроллеров интеллектуальных датчиков. Датчики и системы. 2009. № 9. С. 50–51.
2. Матвеев О.С. Особенности проектирования интеллектуальных датчиков. Тр. 51-й научной конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук». 2008. С. 172–174.
3. Матвеев О.С., Сибгатуллин А.Г. Высокоинтегрированная интегральная микросхема контроллера оптоэлектронного дымового пожарного извещателя для систем пожарной безопасности. Тр. 52-й научной конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук». 2009. С. 176–178.
4. Адамов Ю.Ф., Куликов К.Е., Куцов А.С., Сибгатуллин А.Г. Дымовой оптикоэлектронный пожарный извещатель. Патент Российской Федерации на изобретение № 2356097 по заявке № 2008112088 от 20.05.2009.



Новости мира News of the World Новости мира

Новые органические светодиоды эффективнее, чем предполагалось

Исследователи из Института Мичигана разработали органические светодиоды нового поколения, которые впечатлили всех своими характеристиками. Это флюоресцентные светодиоды голубого свечения.



Подобные устройства в будущем могут применяться при производстве OLED-дисплеев, которые, в свою очередь, найдут применение в телевизорах, мобильных телефонах, компьютерах, а также многих других областях техники. Разработанные ранее флюоресцентные светодиоды были значительно менее эффективными по излучению света, чем фосфоресцентные эквиваленты.

Благодаря исследованию, проведённому профессором Джоном Кайфером и студентом Чанга Женом, эффективность образцов удалось увеличить почти вдвое по сравнению с предыдущими наиболее эффективными устройствами. Столь впечатляющих результатов исследователям удалось достигнуть благодаря изменению структуры материала, разработанного в Сингапуре, и компьютерному моделированию. «Используя в качестве основы готовый материал, мы стали экспериментировать с его молекулярной структурой на компьютерных моделях, – сообщил Кайфер. – Нам удалось отследить механизмы, влияющие на эффективность излучения и изменить вещество таким образом, чтобы значительно улучшить характеристики будущих устройств».

Работа исследователей опубликована в специализированном научном издании *Advanced Functional Materials*.

<http://www.tgdaily.com/>

Новая технология производства позволит заряжать аккумуляторы за 2 мин

Аккумуляторные батареи являются неотъемлемой частью современных электронных устройств. Тем не менее, данный компонент зачастую является самым «узким местом» устройства. Одним из главных недостатков, наряду с низкой

ёмкостью и малым сроком службы, является время зарядки аккумулятора.

Исследователи из Института штата Иллинойс утверждают, что решили эту проблему. Разработанная учёными технология производства батарей позволяет достичь полного уровня заряда всего за 2 мин. Основная сложность в зарядке современных аккумуляторов состоит в скорости перемещения ионов лития внутри самой батареи. Исследователи решили поменять структуру устройства таким образом, чтобы сократить это время, а точнее, расстояние, которое ионы должны пройти, пока не достигнут электрода. Так как время, необходимое для диффузии лития, пропорционально квадрату расстояния, которое должны пройти электроны, уменьшение этого расстояния приводит к весьма впечатляющим результатам.

Технология, которую разработали исследователи, довольно проста и легко применима в массовом производстве. В её основе лежит очень аккуратное структурирование катода, которого удалось добиться благодаря использованию микроскопических гранул полистирола, регулирующих расстояние.



В результате учёные получили работающие образцы NiMH-батареи, которая достигала 75% заряда всего за 2,7 с, а 90% – за 20 с. Для литий-ионной батареи такие показатели удалось достигнуть за 1 и 2 мин соответственно.

<http://arstechnica.com/>

В Германии изобрели микрокамеру размером 1 куб. мм

Использование в медицинской практике одноразовых перчаток, инструментов и материалов уже никого не удивит, но появление одноразовой миниатюрной камеры-зонда может вывести медицину на новый уровень.

Микроскопическая камера является результатом совместной работы исследователей института Фраунгофера, находящегося в Берлине, и компании Awaiba при поддержке Института прикладной оптики и точной механики, находящегося в Йене.

Цифровая камера состоит из двух компонентов: объектива и датчика, который преобразует изображение в электрические сигналы.



Площадь слоя датчика изображения равна всего 1 мм. Поверх этого слоя установлен объектив, а общий размер камеры равен 1 мм³. Это самая миниатюрная камера из всех, изобретённых ранее, и она не больше крупинки соли.

Что касается стоимости, то, по заявлению разработчиков, изготовление камер подобного типа очень дёшево благодаря новому типу производства, так что можно предположить, что они будут одноразовыми.

Помимо медицины, микрокамерами заинтересовались представители автомобильной промышленности. Предполагается, что при замене боковых зеркал заднего вида в автомобилях на микрокамеры снизится воздушное сопротивление и, следовательно, затраты энергии. Помимо этого, установленная в салоне, микрокамера будет в состоянии вычислить движение глаз водителя и помешает ему уснуть в течение нескольких секунд.

Уже в следующем году планируется начать массовое производство миниатюрных камер.

<http://www.izm.fraunhofer.de/>

Toshiba продала Sony завод по выпуску CMOS-сенсоров

Несколько месяцев назад распространились сведения о том, что Sony собираются приобрести завод Toshiba в Японии. Теперь эти сведения официально подтверждены со стороны Toshiba. Сумма сделки составит около \$650 млн.

Toshiba в прошлом году заявила о том, что намерена распродать свои мощности по производству высокоинтегрированной полупроводниковой продукции из-за огромной стоимости строительства современных заводов. Таким образом, она собирается стать полупроводниковой компанией вроде AMD или NVIDIA, которые не имеют собственных производственных мощностей.

Изначально заводом в Нагасаки, о котором идёт речь, владела компания Sony, которая в 2008 г. продала его Toshiba. Последняя переоснастила завод для производства CMOS-сенсоров. Sony с помощью возвращения себе завода сможет вдвое увеличить объёмы производства сенсоров. Владелец завода изменился официально 1 апреля.

<http://www.techeye.net/>