

# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЕВРОПЕ

## ПУТИ РАЗВИТИЯ

**Стремительно развивающаяся на протяжении уже почти 45 лет в соответствии с законом Мура полупроводниковая технология привела к созданию малогабаритных высокопроизводительных интеллектуальных электронных устройств, спрос на которые непрерывно растет. Но вместе с тем с развитием микроэлектроники возникают и проблемы повышения стоимости производства, обеспечения дальнейшей микроминиатюризации, снижения энергопотребления и т.п. Как эти вопросы могут быть решены в будущем? Каковы мировые тенденции развития микроэлектроники в мире и в Европе? Попробуем ответить на эти вопросы на основе материалов международных конференций, статей экспертов, отчетов организаций-лидеров в области интегральных технологий.**

В начале 21 века одной из основных тенденций развития электроники стало направление, получившее название "окружающий разум" (Ambient Intelligence). Это новое веяние в информационных технологиях, которое подразумевает цифровое окружение, представляющее собой скрытую от пользователя сеть устройств, способных отвечать на нужды, привычки, жесты людей, упрощая их привычные действия в быту. По мере уменьшения размеров такие устройства все легче интегрируются в окружающее пространство, совершенствуются информационные связи, и в итоге лишь интерфейсы управления оказываются доступными общественному пользователю.

Тенденции развития транспорта, применение современных двигателей, выполняемых на основе принципиально новых конструктивных решений и материалов, выдвигают требования работы электронных устройств в расширенных температурных диапазонах и меньших по объему пространствах. Поиск альтернативных методов получения энергии и развития беспроводных коммуникационных систем требуют повышения многофункциональности и снижения энергоемкости используемых для решения этих задач микроэлектронных устройств.

Несомненным локомотивом новых электронных инноваций является также область здравоохранения, начиная от ин-

Дж.Хэйер, А.Пятенко  
Johann.hauer@iis.fraunhofer.de  
anna.pyatenko@iis.fraunhofer.de

теллектуальных датчиков и регистраторов различного назначения, контролирующих процессы жизнедеятельности, и заканчивая целыми лечебно-диагностическими комплексами.

Для реализации перечисленных систем используются такие технологии, как:

- методы радиочастотной идентификации (Radio Frequency Identification, RFID);
- информационные и коммуникационные технологии (Information and Communication Technologies);
- сенсорные системы;
- эмоциональная компьютеризация (affective computing) – распознавание, детектирование, анализ человеческих эмоций с помощью технических средств, компьютерных систем;
- нанотехнологии;
- биометрия.

Рынок электроники стремительно развивается, и для европейских разработчиков очень важно не упустить возможность занять на нем свое место. Однако реализация интеллектуальных систем диктует необходимость еще большей микроминиатюризации с обеспечением как можно более удобного интерфейса пользователя и особенно более высокого быстродействия микросхем.

Развитие микроэлектроники началось с изготовления микросхем, содержащих несколько десятков компонентов с минимальными размерами 25 мкм, сегодня эта цифра в соответствии с законом Мура составляет миллиарды компонентов размером ~22 нм. В связи со стремительным развитием микросхемотехники улучшаются такие показатели микросхем, как скорость переключения, плотность интеграции, возможность реализации систем на кристалле.

Однако процессы повышения степени интеграции микросхем сопровождаются следующими факторами:

- ростом цен на производство по новейшим кремниевым технологиям;
- усложнением уровня схемотехники и системотехники вследствие возникновения новых эффектов в материалах, не проявлявшихся при других уровнях проектирования;



- увеличением стоимости современных CAD-систем;
- сложностью установки, настройки и использования CAD-систем.

Продолжение закона Мура – тенденция ценообразования при производстве микросхем. Сегодня для открытия полного производственного цикла по новейшей КМОП-технологии требуется ~50 млрд. долл. Поэтому в мире всего несколько подобных производств. На сегодняшний день большинство заводов по производству полупроводниковых устройств расположены в Азии или перемещаются туда. По оценкам экспертов, развитие микроэлектроники приведет к тому, что в мире останутся только две компании – Intel и Samsung, которые будут инвестировать в дальнейшее уменьшение топологических норм. Это самый дорогой путь, который могут позволить себе только гиганты индустрии [1–4].

В настоящее время физический предел КМОП-технологии практически достигнут. Как следствие, появились следующие три альтернативных направления развития исследований и разработок полупроводниковых устройств:

- "Больше Мура" (More Moore): продолжение развития современных КМОП-технологий до физических и технологических пределов проектирования в соответствии с законом Мура;
- "Больше, чем Мур" (More than Moore): объединение в одной микросхеме не только КМОП-компонентов, но и элементов, выполняющих нестандартные функции, например создание микроэлектромеханических систем (МЭМС), наноэлектромеханических систем (НЭМС), сенсорных систем, систем на кристалле;
- "За пределами КМОП" (Beyond CMOS): освоение нанотехнологий, новых материалов.

Рассмотрим каждое направление более подробно.

**Больше Мура**, к особенностям которого относятся:

- увеличение сложности техпроцессов;
- применение новых материалов, в том числе диэлектриков с низкой и высокой диэлектрической постоянной (low-k и high-k);
- разработка новых архитектур компонентов;
- освоение новых методов схемотехники (борьба с разбросами характеристик и статическими утечками);
- внедрение новых архитектур на системном уровне (повышение надежности, избыточности).

В связи с тенденцией перевода производств кремниевых приборов в Азию европейская микроэлектронная промышленность остается преимущественно без производственных мощностей (fabless). Тем не менее, Европе очень важно сохранять лидирующие позиции в схемотехнике и системотехнике. Для поддержки мирового уровня на этих позициях разработчикам приходится постоянно повышать квалификацию и углублять свои научные знания, с тем чтобы поддерживать технологи-

ческие ноу-хау, преодолевать физические пределы и феномены второго порядка при освоении глубоких субмикронных топологических норм, добиваться успеха в разработке и моделировании передовых микроэлектронных устройств, развивать инновационные технологии в схемотехнике (радиочастотные устройства, статическая утечка-свободные цепи) и инновационные архитектуры на системном уровне (сверхнизкомощные системы).

**Больше, чем Мур** – новая область микро- и наноэлектроники, которая реализуется с помощью технологий за пределами традиционных полупроводниковых технологий и приложений. Это направление предусматривает создание и интеграцию различных нецифровых функциональных компонентов в цифровые микросхемы. Направление "Больше, чем Мур", мотивируемое новыми технологическими возможностями и неограниченным потенциалом практических приложений, сосредотачивается на создании большого числа микро- и наноэлектронных систем.

Согласно этому направлению развития электроники, в одной микросхеме или корпусе необходимо интегрировать значительно большее число элементов, чем просто КМОП-компонентов. Многие приложения, такие как радиочастотные устройства, подсистемы управления мощностью, пассивные

компоненты, биочипы, сенсоры, исполнительные механизмы и МЭМС играют важную роль в современных электронных устройствах. Интеграция аналоговых функций в специализированные КМОП-микросхемы позволяет реализовывать оптимизированные по стоимости системные решения.

Устройства More than Moore представляют собой комплекс систем на кристалле со следующими вариантами интегрированных элементов: КМОП-логика, встроенная оперативная память, аналоговые интерфейсы, энергонезависимая память, процессорные микроядра МЭМС, НЭМС, сенсоры. Интегральные системы и гетерогенные системы этого типа открывают новые перспективы для систем безопасности (датчики движения, системы сигнализации) и коммуникации (беспроводные системы связи, мобильные системы), медицинского оборудования, средств умного дома (интеллектуальные системы управления: климат-контроль, управление освещением и электропитанием, придомовая инфраструктура) и энергетики (альтернативные методы получения энергии) и др.

На сегодняшний день уже сформирован огромный рынок, основанный на технологиях More than Moore. И этот рынок продолжает быстро расти. Изделия, выполненные по технологиям More than Moore – ключевые для Европы, и здесь уже существует технологическая база для их активного развития.

**За пределами КМОП.** Согласно Международной технологической карте развития полупроводниковых приборов (International Technology Roadmap for Semiconductors, ITRS), к 2010 году планировалось освоить производство микросхем с топологическими нормами ~20 нм. Однако сегодня мировые гиганты полупроводниковой промышленности ведут разговоры о 22-нм технологическом процессе. Когда интегральные технологии выйдут за границы таких топологических размеров, новые устройства и вычислительные разработки потребуют замены и дополнения стандартных КМОП-устройств микросхемами сверхвысокой степени интеграции. Новые развивающиеся технологии переориентируют электронную промышленность на замену транзисторов на основе кремниевых нанопроводов наноразмерными молекулярными устройствами.

Но в настоящее время нельзя не учитывать того факта, что электронные характеристики наноустройств чрезвычайно восприимчивы к малейшим изменениям таких свойств структуры и материала, как размер, шероховатость поверхности и дефекты. Сверхчувствительность электронных функций к физическим особенностям на наноуровне диктует серьезное требование не только к точности методологии, но и к специальному оборудованию для разработки и проектированию наноматериалов и наноустройств [2].

Европейские лидеры полупроводниковой промышленности всячески пытаются избежать тупика, обусловленного физическим и технологическим пределами топологических норм размера микросхем. В то же время рынок электроники выдвигает новые и все более высокие требования. В связи с этим одним из перспективных направлений развития микроэлектроники являются нанотехнологии, которые требуют особого технологического оборудования, специальной инфраструктуры, а значит больших затрат. Технология "Больше Мура" экономически не оправдана и маловероятно, что она получит широкое распространение в мире. По этому пути идут лишь корпорации-гиганты, которые могут позволить большие объемы вложений капитала в новые производства. Приоритетным на сегодняшний день считается направление "Больше, чем Мур", которое позволяет на существующей технологической базе разрабатывать новые системы и устройства, отвечающие последним запросам рынка микроэлектроники.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Эрлих А. Кремниевая долина: Перспективы российской микроэлектроники — взгляд из Европы, 17 июня 2010, [www.zelenograd.ru](http://www.zelenograd.ru).
2. Declercq M. A passport for the future of IC design in Europe. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.— EURO PRACTICE Conference, Leuven, Belgium, Sept. 17, 2009.
3. Taylor G.F. Future of Analog Design and Upcoming Challenges in Nanometer CMOS. — Intel, 23rd international conference on VLSI Design, Bangalore, India, Jan.3–7, 2010.
4. Tuomi I. Future of Semiconductor Intellectual Property Architectural Blocks in Europe.— Report for the European Commission, Oy Meaning Processing Ltd., March, 2009

В журнале «ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ» №4 за 2010 год в статье И.Викулова «Вакуумная СВЧ-электроника. По материалам конференции IVEC 2009» допущена опечатка в подписи к рис.8. Вместо слова «катода» надо читать «клистрона».