

Д. ф.-м. н. В. Д. ВЕРНЕР, к. т. н. А. А. КОВАЛЕВ, д. т. н. А. А. РЕЗНЕВ,
д. т. н. А. Н. САУРОВ, д. т. н. Ю. А. ЧАПЛЫГИН

Россия, Московский государственный институт электронной техники
(технический университет)

Перепечатано из журнала
"Известия вузов. Электроника",
№ 3'2005

БЫСТРЕЕ, ЛУЧШЕ, ДЕШЕВЛЕ (ВЫСТАВКА «ЭЛЕКТРОНИКА-2004», г. МЮНХЕН)

На основе анализа экспозиции выставки «Электроника-2004» (г. Мюнхен) рассмотрены тенденции развития электроники в настоящее время и в обозримом будущем.

Международная выставка «Электроника» является одной из крупнейших в мире и дает представление об основных результатах и тенденциях развития электроники в мире на момент ее проведения [1]. Высокий авторитет этой выставки подтверждается успехом региональных выставок того же наименования («Электроника–Америка», «Электроника–Китай», «Электроника–Индия») [2]. Значимость выставки связана с широким участием в ней производителей изделий электронной техники (ИЭТ), а также большим спектром сопровождающих выставку мероприятий: конференций, семинаров, подиумов и т. д. Таким образом, посетитель выставки получает обширную информацию о мировой электронике. По оценке организаторов 91% посетителей имели возможность подробно ознакомиться с необходимой информацией, 20% — будут использовать полученную информацию для организации собственной деятельности по производству ИЭТ.

В работе выставки (9—12 ноября 2004 г.) приняли участие 3574 фирмы, в том числе 1401 из Германии и 1719 из 48 стран мира (373 — Тайвань, 328 — США, 197 — Китай, 82 — Япония, 60 — Индия, 9 — Россия, 9 — Венгрия и т. д.). Доля иностранных участников выросла с 32% в 2002 г. до 42% в 2004 г. Из 9 российских участников 5 являются изготовителями электронных компонентов, а 4 представляли сервисные направления: дистрибьюторы, издательские дома и выставочный бизнес. Но появление на «Электронике-2004» группы российских фирм, а не отдельных представителей, как это было на прошлых выставках, организаторы считают положительным фактом, свидетельствующим о развитии производства и рынка ИЭТ в России. Выставка проводилась по 12 направлениям в 14 павильонах. Наибольшее число фирм участвовали в следующих направлениях: полупроводниковые приборы — 537, пассивные элементы — 635, платы — 234, дисплеи — 196, сенсоры — 128. Непосредственно в области микроэлектромеханических систем (МЭМС) было представлено 15 фирм.

Основное отличие выставки 2004 г. от выставки 2002 г. состоит в том, что она проводилась на фоне максимума подъема продаж. Как известно, при циклическом развитии мирового рынка электроники следует ожидать последующего его спада. Эта проблема обсуждается большинством аналитических фирм.

Различия в терминологии этих фирм затрудняют анализ их статистики (электронные компоненты, электронные элементы, полупроводниковые приборы, кристаллы), но тенденции развития на качественном уровне совпадают. В качестве «опорной точки» был взят анализ фирмы iSuppli Corp., который дополнялся данными SIA, WTS, Gartner Corp. Следует добавить, что ранние и более поздние прогнозы могут существенно колебаться у одной и той же фирмы. По данным iSuppli Corp. падение продаж полупроводниковых приборов в 2001 г. составило 31,7% по сравнению с 2000 г. В 2002 г. наблюдался слабый рост на 1,5% и общий объем продаж составил 156 млрд. долл. США. Эти данные были получены на базе 100 полупроводниковых компаний. Основная доля продаж (78%) при этом падает на 30 ведущих компаний. Максимальный объем продаж в 2003 г. (27,03 млрд. долл.) имеет Intel (2004 г. — 30,9 млрд. долл.). Общий объем продаж полупроводниковых приборов в 2003 г. оценивался в 182 млрд. долл. (объем продаж ИЭТ — 1,06 трилл. долл.), в 2004 г. — 213 млрд. долл., т. е. рост составил 24%. Общий объем продаж ИЭТ вырос на 10% и достигает 1,16 трилл. долл. Объем продаж полупроводниковых приборов рос в течение всего 2004 г. (52,8; 54,7 млрд. в I кв. и II кв. и 58; 61 млрд. в III кв. и IV кв.). Предполагается, что в 2005 г. темп роста продаж будет снижаться до 11,8% (253,3 млрд. долл.), в 2006 г. будет +0,1% (253,4 млрд. долл.), а в 2007 г. начнется рост или стабилизация рынка +9,2% (276,6 млрд. долл.) и в 2008 г. +10,4% (305,4 млрд. долл.). Несмотря на такое снижение темпов, 85% посетителей и участников выставки оценивают перспективы рынка электроники хорошими (**таблица**).

Все аналитики считают, что в этот раз не будет обвала рынка, как это произошло в 2001 г. Однако опасения у производителей остаются, что сказывается в осторожности ввода новых мощностей. Загрузка существующих мощностей оценивается в 2003 г. на уровне 90,9% и в 2004 г. — 93,5%. Считают, что для снятия напряжения спроса необходимо ввести 5—10 заводов по производству на 300 мм пластинах. Ста-

ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

Прогноз годового роста продаж (в %)

| Фирма | Год | | | | | |
|---------------|------|------|------------|------|------|------|
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
| iSuppli Corp. | 16,6 | 24,4 | 11,8 (4,7) | 0,1 | 9,2 | 10,4 |
| SIA | 20 | 28,6 | | | | |
| WTS | | 28,4 | 8,5 | 0,7 | 9,3 | |
| Gartner | | 25 | 15 | | | |
| WSTS | | | 1,2 | 3,0 | 6,0 | |

тистика планируемого роста этого производства разных аналитических фирм существенно различается. Для определенности остановимся на прогнозе iSuppli: 11 новых заводов в 2004 г., 16 заводов в 2005 г. и последующий спад к 2007 г. Реально в 2003 г. только 4 фирмы ввели новое производство на 300 мм пластинах (Micron, Sony, SMIC, Texas Instruments). В результате вместо ожидаемого соотношения производств на 200 и 300 мм пластинах — 50:50 фактически оно составляет 60:40. В настоящее время 2/3 производства на 300 мм пластинах сосредоточено в Азии. Вместе с тем считают, что если темп роста числа транзисторов на кристалле сохранится (54% в год), то к 2012 г. производство должно перейти на 450 мм пластины. Рынок кремниевых пластин в 2004 г. вырос на 10,9% (7,34 млрд. долл.). В 2005 г. ожидается дальнейший рост на 12% (8,22 млрд. долл.). При этом в 2004 г. отмечался существенный рост продаж оборудования для полупроводникового производства (64% Gartner Inc.). 50% продаж произведено в Юго-Восточной Азии (рост 108%).

Выставка — это форум изготовителей и потребителей ИЭТ. Предполагается, что они должны понимать друг друга. Формированию общепринятой терминологии способствуют аналитические издания различных так называемых «дорожных карт» (Roadmap). В качестве примера можно назвать ITRS — ежегодные издания по микроэлектронике [3]. Для потребителя нужно знать, какие характеристики будут иметь новые ИС, какая у них будет цена и когда они будут доступны на рынке. Для изготовителя важно знать, какие технологии и в какие сроки он должен освоить, чтобы не отстать от конкурентов. Большое значение здесь имеет выявление тенденций изменения различных характеристик ИС и их технологий от времени. Наиболее ярким примером может служить закон Мура, который действует в течение более 40 лет. Закон Мура позволяет предсказать удвоение функциональных характеристик (например, числа бит или транзисторов на кристалле) за определенный промежуток времени (1,5 — 3 года). Специалисты Интел считают, что закон Мура будет действовать еще 10 лет. Все эти тенденции должны быть для потребителя ИЭТ пересчитаны в цены, например уменьшение цены транзистора в кристалле или цены одного вывода готового корпуса ИС. Например, цена транзистора в ИС за 30 лет упала в миллион раз. Для потребителя ИЭТ законом являются тенденции своего рынка. Если цена на функцию мобильного телефона в среднем падает на 29% в год, то их изготовитель ждет такого же уменьшения цены от поставщика ИС. Для изготовителя ИС указанные тенденции — производные. Из-

готовитель должен знать, когда нужно освоить новые технологические процессы проектирования, литографии, тестирования или производства на пластинах большего диаметра. Учитывая постоянно растущие цены на технологическое и измерительное оборудование, ему необходимо сбалансировать свои возможности и темпы развития рынка. Для этого он должен иметь возможность оценить тенденции развития технологии ИС на базе какого-то обобщающего параметра. По предложению ITRS в качестве такого параметра принята так называемая «узловая точка» (node). Это минимальное значение половины ширины и зазора металлизации в структуре транзистора ИС ОЗУ. Для микропроцессора эти параметры пересчитываются в литографическую/физическую длину затвора. Она приблизительно в 2 раза меньше значения узловой точки. С некоторыми вариациями последовательность уменьшения значений узловых точек (для ОЗУ) формулируется в виде: (90, 65, 45, 32, 22, 18 ...) нм, т. е. происходит уменьшение значений в 0,7 раз на одно поколение или в 0,5 раз за два поколения. Соответственно физическая длина затвора (37, 25, 18, 13, 9, 7...) нм. Важнейшей информацией при этом является темп смены поколений узловых точек. До последнего времени это было 2 года, сейчас есть основания считать, что срок смены увеличивается до 3 лет. На этой базе строится прогноз дальнейшего уменьшения значений узловых точек. Глубина прогноза должна быть не менее 15 лет. Отметим некоторые временные позиции узловых точек по ITRS-2003: 2004 г. — 90 нм, 2007 г. — 65 нм, 2010 г. — 45 нм, 2013 г. — 32 нм, 2016 г. — 22 нм, 2018 г. — 18 нм.

Само понимание достижения определенного уровня производства тоже должно быть формализовано так, чтобы сообщение отдельных фирм о достигнутом не противоречило прогнозу развития микроэлектронной промышленности в целом. К примеру, можно считать, что стадия «производство» начинается только после того, как первая фирма, а через 3 месяца — вторая выходят на уровень производства 10 К кристаллов в месяц. Для промышленного выпуска должно обрабатываться не менее 20 К пластин диаметром 300 мм. Для ОЗУ с площадью кристалла ~140 мм² это означает выпуск 6 М штук ИС в месяц. Следует отметить, что производство новой коммерческой генерации ИС охватывает период действия двух узловых и в течение 2—3 лет может составить до половины общего рынка, например ОЗУ. При этом на рынке одновременно присутствуют генерации, находящиеся в разных стадиях жизненного цикла. Так, в 2003 г. 4 Гб ОЗУ находились в стадии «введения», 1 Гб на стадии растущего производства, 512, 256, 128 и 64 Мб на различных участках массового производства кривой жизненного цикла.

Таким образом, необходимые темпы развития известны всем. Следующая проблема связана с путями преодоления трудностей при переходе к новым значениям узловых точек. Появились так называемые неклассические КМОП и технологические ускорители (напряженный кремний, ультратонкие КНИ, металлические затворы, структуры с двойным-тройным и объемным затвором и т. д.). Предлагаются альтер-

нативные 3У для замены классических кремниевых, например основанные на магнитных эффектах. Исследуются новые типы логической и информационной архитектуры. Ситуация тем более обостряется, что новые сектора рынка, например ИС для устройств бытовой техники, связаны с необходимостью сочетания цифровых и логических элементов. Потребность в новых и все более дорогих исследованиях непрерывно растет. Только часть результатов этих исследований может быть использована в производстве. По этой причине расширяется практика, начавшаяся более 20 лет назад, создания различных объединений, консорциумов и т. п. для совместного решения назревших проблем, в частности, возникающих на переходе к 45 нм.

Прежде всего, это материаловедческие проблемы замены подзатворного и изолирующего диэлектриков для медной металлизации. ITRS считает, что этот переход должен произойти к 2010 г. Фирмы Texas Instruments, Intel, AMD предполагают, что они преодолют этот рубеж к 2007 г. Соответственно преодоление 22 нм ожидается к 2010—2012 гг. В любом случае традиционные материалы для транзисторных и конденсаторных структур Si—SiO₂ и поли-Si исчерпали свои возможности при переходе уже на 65 нм. В связи с этим считают, что наступила эра ограниченного материалами масштабирования. Предлагаются различные замены материалов элементов транзистора (например, силициды Hf, Ni и др.). При этом они могут быть разными для *n*- и *p*-транзисторов КМОП-структуры и различаться для низковольтных и высоковольтных приборов. Европа старается сохранить свое положение одного из ведущих регионов в области электроники. Например, проблему диэлектрика и затвора для 45 нм намерен решить Европейский альянс на базе LETI, NanoCMOS-проект (Франция). Другую проблему, связанную с фотолитографией для таких структур, будет разрабатывать альянс на базе IMEC (Бельгия). При переходе к 30—10 нм проектным нормам необходимо будет решить ряд принципиальных вопросов — это нагрев структур и возрастание токов утечки, необходимость снижения потребляемой энергии при росте тактовой частоты. Решение ищут в новой архитектуре ИС (например, многоядерный принцип для микропроцессоров), а также в управлении потреблением питания (выключение незадействованных ячеек). Сокращая сроки освоения нового поколения изделий, этапы исследования, проектирования и производства стараются вести параллельно. И, как следствие, передовыми фирмами (например, ST Microelectronics) осознана необходимость объединения в одном месте проведения НИОКР, создания пилотных образцов и развертывания массового производства. Следует отметить, что этот принцип много лет назад был положен в основу создания микроэлектронной промышленности СССР.

Чем меньше критический размер элементов ИС, тем ближе область, в которой начинают сказываться фундаментальные ограничения работоспособности КМОП-структуры. Разные специалисты называют разные минимальные размеры физической длины затвора: 5, 4 и 1,5 нм. К таким размерам должны по-

дойти к 2017—2020 гг. и тогда закончится эра классического транзистора. Поэтому к 2010 г. основные производители ИС должны уже иметь ориентиры новой элементной базы электроники. Как промежуточное решение рассматривается транзистор с нанотрубками (2014—2015 гг.). Однако, по мнению Г. Мура, пока не ясно, как соединить миллиарды нанотрубок в микросхеме. Фирма Fujitsu намерена использовать углеродные нанотрубки диаметром 5—10 нм для межсоединений вместо меди (проводимость в 1000 раз больше) при переходе к 45 нм технологии в 2010 г. На экспериментальных образцах было получено 10000 соединений. При освоении новых технологий необходимы существенные затраты на НИОКР, нужно новое поколение технологического оборудования (стоимость завода производства на 300 мм пластине — 3 млрд. долл., она удваивается каждые 4 года). Рост комплексности структур на кристалле требует новую методологию проектирования. Даже при уже отработанной САПР переход к следующей генерации связан с необходимостью создания комплекта фотошаблонов стоимостью до миллиона долл. Само проектирование требует от 1 до 100 млн. долл. Конкретное решение по проблемам каждой фирмы или уже более узкой группы фирм должно обеспечить преимущество в конкуренции на рынке перед другими участниками научно-исследовательских объединений. Поэтому на выставке «Электроника» фирмы представляют не только разработки, но и концепцию развития своей продукции.

В связи с указанными обстоятельствами перейти к новым поколениям ИС могут только фирмы, обладающие «критической массой» финансов, оборудования, интеллектуальных и трудовых ресурсов. В результате постоянно возрастает минимальный коммерчески эффективный объем массового производства. В конечном итоге область современной микроэлектроники становится ареной соперничества только технологических промышленных гигантов.

Эволюция рынка электроники все в большей степени носит региональный характер. В 2002 г. рост капитальных вложений в микроэлектронику Юго-Восточной Азии составлял 62%, в Европе — 8%. Одновременно менялся и региональный объем продаж ИС: 2001 г. — 29,9% (Азия) и 27,5% (США); 2003 г. — 39,9% (Азия) и 20,1% (США). Может показаться, что фирмы США теряют свои позиции мировых лидеров и лидерство смещается в Китай. Однако в 2002 г. фирмам США принадлежало 48,7% мировых продаж, при этом им принадлежало 51,2% продаж в Азии. Поэтому смещение производства в Азию (аутсорсинг) отнюдь не означает потерю лидерства фирмами США и Европы в области ИС.

Тенденция развития аутсорсинга (или «глобализации») производства служит одной из основных тем дискуссий различных изданий, приуроченных к времени проведения выставки. Движущей силой при этом является снижение себестоимости при переводе производства в страну с низкой оплатой труда и низкими налогами. Однако при передаче «ноу-хау» возникают трудности, связанные с более низкой производительностью труда и различием в технической

культуре. В результате западноевропейские фирмы стремятся перевести производство в Восточную Европу, например в Чехословакию — 50%, и только 23% — в Китай, 27% — в другие регионы, прежде всего в Латинскую Америку. Другим мощным фактором является закрепление фирм на новых, потенциально перспективных рынках. Самый перспективный рынок — китайский, который растет с темпом 14%, к 2010 г. должен достичь 459 млрд. долл. Эта цифра может и возрасти, так как, например, производство ИЭТ в 2005 г. должно достичь уровня 65 млрд. долл. (+135% к 2003 г.). Китай в 2003 г. экспортировал 65 видов электронных компонентов на 38 млрд. долл. (рост 26% к 2002 г.). Статистика, приводимая по Китаю, часто противоречива. Но в любом случае, 47% общего числа полупроводниковых приборов потребляется в Юго-Восточной Азии, из них треть — в Китае, на дочерних предприятиях иностранных фирм и в собственном производстве.

Огромное значение для полупроводниковой промышленности, которая остается наиболее быстроразвивающимся сектором индустрии, является гарантированный сбыт продукции. Один из значительных секторов потребления полупроводниковых приборов (24%) — производство электронной аппаратуры (ОЕМ). По данным iSuppli 160 крупнейших производителей аппаратуры потребляли в 2004 г. на 167,158 млрд. долл. кремниевых приборов. Почти половину этой суммы составляет потребление 10 ведущих фирм (76,306 млрд. долл.). Среди этих фирм на долю производителей средств вычислительной техники Hewlett-Packard и Dell приходится 14,482 и 13,442 млрд. долл., соответственно. Ожидаемый рост потребления в среднем +5%, у лидеров он выше (Hewlett-Packard — 11% и Dell — 16,1%). Фирмы контрактного производства ИЭТ покупают 13% всех чипов. Этот сектор быстро прогрессирует. Наибольший рост у азиатских EMS-фирм (Сервис Электронного Производства) — 20%, в Европе — 10%, в США существенного роста не предвидится. Значительными темпами растет и контрактное производство ИС — 45% в 2004 г. (16,7 млрд. долл.). Общую тенденцию поляризации рынка можно сформулировать так: массовое производство будет развиваться в азиатском регионе, прежде всего в Китае, малые серии и сложные электронные устройства — в Европе. США и Япония пока занимают срединную позицию.

Следует остановиться на конкурентной борьбе в различных секторах микроэлектроники. Один из «старых» конфликтов продолжает развиваться в области разделения сфер влияния между традиционными полужаказными ИС (ASIC) и программируемыми ИС. По данным iSuppli сектор ASIC (в основном на базе стандартных ячеек) растет, по крайней мере, с темпом +6%/год и к 2008 г. должен достичь 25 млрд. долл. Технологической основой этого сектора является производство в широком диапазоне проектных норм (от 0,25 мкм до 90 нм). Конкурирующее направление программируемых ИС (ПЛИС), в частности FPGA, в качестве главного аргумента против ASIC выдвигает высокую стоимость проектирования на базе ASIC. В результате по их оценкам

экономически целесообразным для ASIC является область с 600—800 тыс. ключей и выше. Проектирование ИС такого уровня занимает около 6 месяцев и стоит 15—20 млн. долл., комплект шаблонов — 1,1—1,3 млн. долл. Для амортизации этих затрат фирма должна выпустить продукцию на 400 млн. долл.

Необходимо учесть следующую статистику. Только одна из пяти разработок потребительских товаров, для которых создана ИС, выходит на рынок, и только один из десяти товаров выходит на серию порядка миллиона штук в год. Вместе с тем, ограничения FPGA, связанные с надежностью, быстродействием, числом актов перезаписи, не позволяют им занять абсолютно лидирующую позицию. Один из выходов видят в разработке так называемых структурированных sASIC, в которые включены как элементы, заданные маской (ASIC), так и программируемые элементы. Для них стоимость комплекта шаблонов снижается до 200—250 тыс. долл. и эффективный объем производства начинается с 10 тыс. шт. (для ASIC — с 250 тыс. шт.). Другой сектор рынка программируемых ИС — сектор флэш-памяти в 2003 г. достиг по данным Semico Research 11,3 млрд. долл. Более поздние прогнозы менее оптимистичны относительно спроса на ИС-флэш из-за их перепроизводства в 2004 г. Вместе с тем FPGA и ИС флэш-памяти уже испытывают трудности при масштабировании. Даже при 90 нм нормах возникают трудности с выходом годных из-за статистических вариаций параметров технологических процессов. Еще большие сложности возникают при 65 нм нормах. Появляется необходимость компенсировать эти отклонения на уровне структуры ИС. В связи с этим активно обсуждаются новые типы памяти, в которых традиционные электронные носители информации заменяются другими. Прежде всего это различные магнитные и другие нетрадиционные виды памяти. Они должны устранить недостатки существующих флэш- и динамических ИС памяти и позволить большее число перезаписи по сравнению с традиционными перепрограммируемыми ИС памяти. Считают, что новые типы памяти имеют пока только «нишевое» (специфическое) применение и их заметное появление на рынке ожидается в 2008—2010 гг.

В перспективном плане большое значение имеет расширение возможностей кремния как материала для создания приборов — источников света. Существует две проблемы: расширение спектрального диапазона от ультрафиолета до области ближнего инфракрасного диапазона (750—2500 нм) и увеличение интенсивности света, генерируемого источником света. О решении этих проблем упоминалось в [1]. Исследователи немецкого центра FZR за счет модификации Si ионным легированием получили излучение с длиной волны 1100 нм. С помощью микрорезонатора (силикд кобальта и чередующиеся слои Si и SiO₂) удалось увеличить световой поток в 1000 раз. Идея микрорезонатора известна еще с 90-х гг., но реально осуществить ее удалось только сейчас.

Существенное внимание на выставке было уделено источникам питания. Рынок аккумуляторов и батарей оценивается на уровне 6 млрд. долл. 60—70% его составляют ионно-литиевые источники. Значительная их

часть изготавливается в Китае (в 2003 г. на 2,96 млрд. долл.), половина из них поставляется в США и Европу. Плотность энергии современной батареи уже равна приблизительно 1/3 энергии соответствующего куска динамита. Цена и недостаточная длительность работы батареи заставляют искать альтернативные источники, например топливные элементы на базе газовых или жидких веществ. Однако пока они не могут быть использованы в носимых электронных приборах (минимальный топливный элемент 42×80×13 мм, 104 г). Недавно фирма Georgia Tech анонсировала микрогенератор диаметром 10 мм, изготовленный с использованием МЭМС-технологии и способный развивать мощность 1,1 Вт. Проектируется довести мощность генератора до 20—50 Вт. Такие генераторы увеличат срок службы источников энергии носимых приборов в 10 раз по сравнению с батареями. Носимые электронные приборы дают существенный вклад в развитие миниатюризации элементной базы и уменьшения потребления энергии на единичную функцию. Так, сотовый телефон становится пакетным медицентром, в котором есть цифровая камера, Интернет-браузер, ТВ-усилитель, MP3 DVD-плеер и т. д. Поэтому каждый элемент должен быть с минимальными весогабаритными характеристиками и потребляемой мощностью. «Самый малый в мире», «самый тонкий» — эти эпитеты часто сопровождают рекламу новых изделий (например, Epson так рекламирует свой гироскопический сенсор с размерами 5,0×3×2×1,3 мм). Эти же требования существуют для имплантируемых медицинских приборов и протезов. Для имплантации в глаз необходимо снижение мощности современных микропроцессоров в 1000 раз, и оно, как предполагается, будет достигнуто за 10 лет [4]. Автор [4] считает возможным полное решение задачи восстановления зрения за счет имплантированной электроники в течение 20 лет. В разрабатываемых проектах внутриглазная электроника контактирует с внешней электроникой на «очках» с помощью беспроводной связи.

Тематика беспроводной связи (БПС) была широко представлена на выставке и специальной конференции. Существенным сектором БПС стало ее применение в области бесконтактного считывания (RFID) со смарт-карт, интеллектуальность которых непрерывно растет за счет перехода к высокоразрядной архитектуре (32 и 64 разряда) и увеличения объема памяти до 128—256 Мбайт. По данным фирмы Frost&Sullivan нынешний рынок карт находится на уровне 1,4 млрд. долл. Следует отметить, что 37,1% карт и 47,3% чипов для них производит немецкая фирма Infineon. БПС используется в глобальных, региональных и локальных сетях. Последним уделяется особое внимание. Помимо традиционных CAN и Bluetooth активно развиваются новые сетевые стандарты широкополосные и высокочастотные: UWB, Zigbee, nanoNet, WiMAX, LIN, FlexRay, MOST и т. д. Они позволяют передавать информацию с большей скоростью и на большие расстояния. Информационное сетевое взаимодействие технических устройств становится все более актуальным. Это направление межмашинного информационного обмена обозначено аббревиатурой

«M2M». По данным фирмы Forrester Research только число SMS-сообщений между машинами к 2005 г. сравняется с числом SMS между людьми: в 2004 г. их было в мире 20 млрд., а к 2010 г. их число увеличится в 30 раз. В свою очередь, это означает дальнейшее развитие встроенных систем и скрытой (hidder) электроники. Тематика развития встроенных систем была представлена разделом на выставке и конференцией. Следует отметить, что в связи с необходимостью сокращения сроков разработки новых аппаратных устройств встроенных систем все большее значение получает встраиваемое программное обеспечение. По данным фирмы VDC в IV квартале рынок этого продукта достиг 1 млрд. долл. и растет с темпом 6,8% до 2006 г.

Значительная роль программному продукту отводится в обеспечении сбоеустойчивых электронных систем автомобилей. Автоэлектроника остается одним из важнейших секторов мировой электроники. Как уже указывалось [1], стоимость электронных блоков уже определяет 25%, а к 2010 г. — 40% стоимости автомобиля. Значительную долю этих блоков составляют системы безопасности. Общая стоимость произведенных систем безопасности в 2003 г. составляла 48 млрд. долл. и к 2010 г. вырастет до 62 млрд. долл. При этом темп роста продаж пассивных средств безопасности в год 4,3%, а активных — 14%. Насыщенность автомобиля электронными средствами (в среднем автомобиле около 50 различных электронных блоков со средним числом компонентов — 300) потребовала особых мер в обеспечении их сбоеустойчивости. При дефектности 1 ppm (1 на миллион) на компонент 1,5% автомобилей будут с дефектами электроники. Для гарантии общей дефектности на уровне 0,05% компоненты должны иметь дефектность 1 ppm (1 на миллиард). Для обеспечения необходимой сбоеустойчивости автоэлектроники разработана специальная европейская программа «Autosar». Фирмы Крайслер, Форд и Дженерал Электрик образовали специальный совет по сертификации электронных компонентов. Роль электроники в автомобиле возрастает в связи с широким внедрением круиз-контроля. К 2005 г. 1/3 военного транспорта США должна быть обеспечена такими системами. Автомобилем ближайшего будущего будут управлять на базе автоматизированного обобщения информации о состоянии собственных систем, окружающей обстановки и общения с соседним автотранспортом [5]. Сейчас в автомобиле вычислительной техники больше, чем в среднем университете 80-х гг. С учетом замены гидравлических и механических систем автомобиля на электромеханические (Drive-by-Wire) роль электроники еще более возрастает [1]. Создается (прежде всего в военной области) полностью автоматизированный транспорт. Говорят, что автомобиль становится суперкомпьютером на колесах. В связи с этим возникает новый сектор оборудования для тестирования электроники автомобиля.

Постоянно растущим сектором рынка электроники является бытовая техника («товары народного потребления» — ТНП в терминологии советских времен). По данным фирмы Gartner объем продаж «потреби-

тельской» электроники достигает 34 млрд. долл./год. Во всех случаях настоящее развитие бытовой техники связано с массовым производством. При этом важна скорость изменения поколений техники. Темп появления новых моделей электронных изделий постоянно увеличивается. Практически необходимо обновлять модельный ряд ежегодно. Это требует сокращения времени между созданием прототипа и массовым производством. Комплекующие микроэлектронные изделия должны все больше походить на конечный продукт. Именно в этом смысл перехода от простых СБИС к комплексным системам на кристалле (СНК-SoC). Разработка каждой новой генерации СНК требует существенных затрат, которые окупаются только при массовом производстве, а для него нужен массовый потребитель. Следовательно, необходимо расширять области применения микроэлектроники в конечной продукции. Во-первых, нужно насыщать электроникой уже существующие сектора рынка. Выше говорилось о тенденции роста цены электроники в автомобиле. В товарах народного потребления эти цифры, в среднем, составляли 6—7% несколько лет назад, сейчас — 20%, в перспективе — 40%. Во-вторых — диверсифицировать сектора этого рынка за счет новых возможностей ИЭТ. Например, развивать многофункциональные мобильные телефоны, средства индивидуального транспорта и т. д. При этом возникает проблема обеспечения новой продукцией массового рынка. Как уже отмечалось, создание новых СНК требует значительных затрат. Но в СНК помимо традиционной для микроэлектроники аппаратной составляющей (hardware) уже присутствует программная составляющая (software). Поэтому «подстройку» под требования новых заказчиков можно осуществлять за счет программной составляющей СНК. Например, в разрабатываемых подразделениях фирмы STM уже сейчас 50% занимают работы по программному обеспечению СНК. Развивая эту тенденцию, формируют задачу более полного перехода от локальной СНК к системе конечного продукта. Эволюция в этом направлении уже началась. Возрастает стратегический вес микроэлектронного производства в развитии всех секторов рынка, связанных с ИЭТ. Ускорению этого процесса будет способствовать появление крупных объединений проектировщиков и изготовителей СНК. Примером может служить планируемый альянс между Тайваньским СНК Консорциумом и Индийской Полупроводниковой Ассоциацией (ISA).

Таким образом, в эру СНК микроэлектроника предлагает своим потребителям — изготовителям аппаратуры и систем — путь наиболее быстрого и эффективного расширения рынка их изделий за счет дальнейшего увеличения степени интеграции в аппаратной и программной компонентах СНК. В этом направлении вполне возможно и расширение российского внутреннего рынка. Несмотря на узость его полупроводниковой составляющей (1,6 млрд. долл.), объем общего рынка ИЭТ в России около 20 млрд. долл., а в СНГ в целом — 30 млрд. долл. [8]. За счет деятельности центров проектирования (fables), изготовления фотошаблонов («маск-шоп»), отечествен-

ного малосерийного и заказного зарубежного массового производства (foundry) ИС и СНК могут быть удовлетворены потребности российских изготовителей аппаратуры различного применения.

Во избежание повторения глубокого провала рынка электроники в 2002 г. необходим постоянный приток инноваций, который нельзя обеспечить без проведения НИОКР (R&D). Электронные предприятия в среднем расходуют на них 10—15% оборотных средств. В [4] приводится перечень 100 фирм мира, вложивших максимальные средства в НИОКР в 2003 г. Он учитывает абсолютный уровень затрат, рост по отношению к 2002 г., долю затрат на НИОКР в обороте и удельную сумму НИОКР на одного работающего. На первом месте (в 2002 г. — десятое место) Microsoft Corp. с вложением 7,779 млрд. долл. в 2003 г. (рост +17%), долей расходов на НИОКР — 21,1% и объемом затрат на одного работающего — 141 тыс. долл. Intel находится на четырнадцатом месте в этом списке с показателями соответственно 4,360 млрд. долл. (рост +8,1%), долей расходов на НИОКР 14,5% и объемом затрат на одного работающего 55 тыс. долл. Мы привели эти цифры для того, чтобы была понятна трудность конкуренции российских инноваций на мировом уровне в области электроники при существенно меньшем финансировании НИОКР. К сожалению, следует отметить, что пока российский вклад в мировой рынок высоких технологий составляет 0,5% [6].

Наибольшая вероятность конкурентного выхода на рынок, очевидно, существует для новых направлений высоких технологий, например в микросистемной технике (МСТ). О перспективности этого направления говорилось много раз [7]. Проблема трансферта технологии микроэлектроники в МСТ становится актуальной и для западных полупроводниковых фирм из-за усиления конкуренции [8]. Западные аналитики рынка, например фирма WTC, считают эту область перспективной для западных малых и средних фирм. Вероятно, к этой категории следует отнести и российских производителей МСТ. Общие тенденции развития МСТ, отраженные на выставке 2004 г., мало изменились по сравнению с 2002 г. Пожалуй, наибольший интерес представляют работы в области сенсорных распределенных систем (сетей), в том числе с элементами самоорганизации. В этом направлении работает Siemens и группа европейских институтов и фирм, объединенных проектом Scatterweb. В отличие от родоначальника этого направления — американского проекта «Умная пыль» с активной единицей объемом порядка 1 мм³, европейские исследователи не ставят задачу минимизации объема активной ячейки, а направляют усилия на решение проблем самоорганизации сети и увеличения расстояния передачи информации до нескольких километров. Благодаря отсутствию требования минимизации размера ячейки возможна коммуникация не на базе оптической (лазерной) системы, а на основе систем беспроводной (радио) связи. По такому же пути пошла американская фирма Crossbow — лидер в области беспроводных сетей для датчиков. В области технологии МСТ следует отметить дальнейшую активность в развитии методов сборки и корпусирования МСТ, в

том числе на базе клеевых соединений и гибких носителей, а также успех IMEC в создании гироскопической системы на основе поверхностной микрообработки. Использование поли-SiGe для интеграции МЭМС с КМОП-электроникой давно пропагандируется этим институтом. В отличие от поли-Si технологии с температурами более 800°C, применение поли-SiGe позволяет снизить температурный интервал до 450—520°C. В результате МЭМС можно формировать поверх КМОП-структур. Совместно с фирмами Bosch и ASM в IMEC был изготовлен гироскоп на основе SiGe слоя толщиной 10 мкм, расположенный поверх стандартной КМОП-структуры с 5 уровнями металлизации.

Но не только техническое содержание инноваций позволяет быстро продвигать разработку на рынок. Огромную роль играет человеческий фактор, а конкретно — роль инженера в развитии и продвижении инновационных идей. Этому был посвящен специальный форум на «Электронике-2004» — Job Forum — «Semiconductor Careers Europe» и публикации в сопутствующей выставке периодике. Что касается выбора профессии инженера электронной техники и места работы, то основным критерием является уверенность в стабильности. По этой причине в Германии половина выпускников вузов хотели бы работать в больших и средних фирмах и только 6—7% — в малых. Другим фактором является отношение к работе, т. е. наличие мотивации к хорошей работе. Исследования показывают, что инженеров с высокой мотивацией к труду на фирмах в США — 29%, в Германии — 13%, Сингапуре — 6%. Работников с малой мотивацией в США — 54%, в Германии — 69%, в Сингапуре — 77%. Считают, что из-за потерь рабочего времени и малой производительности труда при низкой мотивации к работе Германия теряет 234—245 млрд. евро в год. В целом формируется мнение, что на предприятиях следует относиться к персоналу не как к стоимостному фактору, а как к важнейшему ресурсу. По существу вопрос состоит в оптимальном решении дилеммы: зарплата и необходимость быстрых инноваций. В определенной мере аутсорсинг решает проблему зарплат. По оценкам западных экспертов средняя зарплата опытного инженера в год составляет в США — 70 тыс. долл., в Индии — 20 тыс. долл., в России — 15 тыс. долл. [9]. По данным VDI Verlag в Германии эта цифра — 57 тыс. евро (с учетом курса зарплата, как в США). Но зарплата не решает проблему мотивации труда и «преданности» фирме. По опросам VDI в 2004/05 г. 41% инженеров хотят со временем поменять работу (в 2002 г. их было 49%). В США многие инженеры так часто меняют работу, что возникают проблемы с их будущей пенсией. Несмотря на все колебания в содержании профессиональной деятельности инженера и местах его работы, по мнению автора статьи [11] работа инженером электроники остается билетом в комфортабельную жизнь уровня среднего класса. А сама профессия будет сохраняться, пока остается необходимость работы с «более или менее реальным миром».

Обобщая впечатление о выставке, подкрепленное публикациями, посвященными развитию электроники, следует отметить некоторую профессиональную напряженность. Она связана с неопределенностью судьбы полупроводниковой микроэлектроники при приближении к нижней границе КМОП-технологии. Существующий огромный массив технологического оборудования пока окупается в сравнительно короткие сроки и вполне ликвиден. Менее понятна судьба столь же огромного интеллектуального потенциала и ноу-хау, накопленного за десятилетия развития микроэлектроники в темпах, заданных законом Мура. Отметим некоторые тенденции современного этапа развития микроэлектроники.

- Расширение области применений изделий микроэлектроники путем смещения границы между комплектующей и конечной продукцией в сторону последней.
- Повышение роли встроенного программного обеспечения и возможностей БПС для большей гибкости в удовлетворении потребностей конкретных потребителей — изготовителей аппаратуры и систем.
- Трансферт технологии микроэлектроники субмикронного диапазона в микросистемную технику и нанотехнологию.
- Исследование и использование новых материалов (неорганических и органических) в массовом микроэлектронном производстве.
- Исследование возможностей применения эффектов, не связанных с переносом заряда, в конструкциях изделий микроэлектроники и нелиитографических технологий (например, самоорганизации) для массового производства.
- Усиление внимания к роли персонала как важнейшему ресурсу ускорения инновационного процесса и выхода изделий на рынок.
- Дальнейшее развитие процесса «глобализации» электронной промышленности путем усиления инновационной деятельности в западных странах и производственной в Юго-Восточной Азии, прежде всего в Китае.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вернер В. Д., Ковалев А. А., Тарасов В. А. Выставка «Электроника-2002» как зеркало мировой электроники // Изв. вузов. Электроника.— 2003.— № 2.— С. 96—102.
2. <http://www.global-electronics.net>
3. <http://www.public.itrs.net>
4. Jonson R. C. EE Times, November 2004.— P. 33—39.
5. Murray C. J. Self-navigating venchile EETimes, November 2004.— P. 41—46.
6. Алферов Ж. Полупроводниковая электроника в России // Электроника.— 2004.— № 4.— С. 88—91.
7. Вернер В. Д., Чаплыгин Ю. А., Сауров А. Н., Шелепин Н. А. Микросистемы и биочипы — трансферт технологии микроэлектроники // Электронные компоненты.— 2000.— Вып. 31.— С. 3—5.
8. Mounier E. The are plenty of exotic application for IC equipment makers outside the mainstream semiconductor business // Micronews.— 2005 Februar.— N 33.— P. 1.