

УДК 621.3.049.77(001.18)

*Д. т. н. А. И. БЕЛОУС, чл.-корр. НАН Беларуси, д. т. н. В. А. ПИЛИПЕНКО,
д. т. н. А. С. ТУРЦЕВИЧ, С. В. ШВЕДОВ*

Республика Беларусь, г. Минск, ОАО «ИНТЕГРАЛ»
E-mail: office@bms.by

МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ И МЕСТО РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В ЭТОМ ПРОЦЕССЕ

В обзоре приведен анализ развития микроэлектроники в экономически развитых странах за период 7–10 лет до 2008 года, когда в мировой экономике начало проявляться влияние экономического кризиса. В статье использованы данные Stat World Fab Watch. Также рассмотрены достижения и потенциальные возможности ОАО «ИНТЕГРАЛ» — головной организации, отвечающей за микроэлектронную отрасль в Белоруссии.

Ключевые слова: микроэлектроника, элементно-компонентная база, наукоемкая продукция, тенденции развития, мировой рынок.

Современное развитие индустриальных стран базируется на все более широком использовании изделий электронной техники во всех сферах жизнедеятельности — промышленности, транспорте, связи, телекоммуникациях, здравоохранении, банковской и социальной областях, военной технике и т. д. Ни одна отрасль хозяйства, ни одно предприятие не могут работать продуктивно, если не оснащены современной высокотехнологичной электронной аппаратурой и электронной системой управления.

С середины XX века электронная промышленность — ключевая составляющая электронной отрасли, обеспечивающей благосостояние любого государства, безусловный лидер в мировом разделении труда, объемы ее производства неуклонно возрастают, определяя прогресс во всех других сферах жизни. Это самая быстро развивающаяся отрасль, которая производит больше добавочной стоимости, чем любая другая промышленная отрасль.

Главное место в электронной промышленности занимает микроэлектроника, развитие которой базируется на достижениях микроэлектронной элементно-компонентной базы и определяет уровень развития радиоэлектронной отрасли промышленности в целом.

Микроэлектронная элементно-компонентная база — это широкая номенклатура изделий и приборов, определяющая технические и потребительские характеристики конечной продукции, выпускаемой во всех отраслях промышленности (машиностроение, транспорт, энергетика, медицинское приборостроение и др.).

Статья подготовлена на основании доклада на конференции «Современные информационные и электронные технологии» (Украина, г. Одесса, 4–8 июня 2012 г.)

Опыт ведущих стран мира показывает, что реализация технических и социально-экономических программ развития микроэлектроники приводит к интегральному эффекту, далеко выходящему за рамки микроэлектронной отрасли, в том числе к росту рынка наукоемкой продукции, повышению технического уровня и конкурентоспособности в смежных отраслях — связи и телекоммуникаций, вычислительной техники, ракетно-космической, авиационной, машиностроительной, автотранспортной, станкостроительной и других.

Объем производства продукции мировой радиоэлектронной отрасли промышленности почти в 4,5 раза превосходит объем производства нефти, бензина и минерального сырья, почти в 3 раза — производство химических продуктов и пластика, в 2,5 — объемы грузоперевозок и более чем в 2 раза — производство электричества и газа.

Следует отметить, что в развитых странах именно наукоемкий продукт является главным источником пополнения бюджета. Если продажа одной тонны сырой нефти может принести до 20 USD прибыли, то всего лишь один килограмм промышленной продукции в сложной радиоэлектронной бытовой технике дает прибыль до 50 USD, в авиации до 500–600, а в электронике до 3000 USD (1 кг кристаллов современных СБИС в 2,4 раза дороже 1 кг золота).

Экономическую эффективность электроники в развитых странах наглядно демонстрируют следующие факты:

- 1 USD вложений приносит до 100 USD в конечном продукте;
- среднемировой срок окупаемости вложений составляет два-три года;

- темпы роста отрасли в три раза выше темпов роста внутреннего валового продукта;
- одно рабочее место в электронной промышленности позволяет создать до четырех рабочих мест в других отраслях;
- 1 кг изделий микроэлектроники по стоимости соответствует 110 т нефти.

Но одной лишь экономической эффективностью дело не ограничивается. Информационные технологии и микроэлектроника, получив широчайшее развитие в передовых странах мира, привели к глубоким изменениям их социальной структуры, еще больше увеличив отрыв этих стран от остального человечества. Пример тому — удельное производство электронной техники, показанное на **рис. 1**.

Показателен тот факт, что доля стоимости изделий электронной техники в стоимости современных промышленных, бытовых и военных

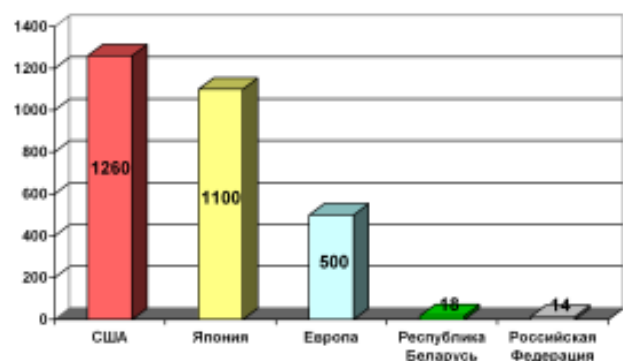


Рис. 1. Удельное производство электронной техники (в расчете на душу населения)

радиоэлектронных приборов и систем составляет от 30 до 80% и ежегодно возрастает. Объем продаж электронных изделий на мировом рынке имеет абсолютное лидерство (больше автомобилестроения, металлургии, нефтехимии и т. д.). Электронная отрасль является безусловным лидером в мировом разделении труда, объемы ее производства неуклонно растут, определяя прогресс во всех других сферах, таких как аэрокосмическая и радиоэлектронная промышленность, роботостроение, приборостроение, производство вычислительной и оптоволоконной техники, офисного оборудования, разработка программного обеспечения. Сама же электроника базируется на развитии и достижениях микроэлектронной отрасли. Поэтому ведущие страны мира уделяют приоритетное внимание развитию микроэлектроники как «точки роста» экономики и национальной безопасности. Опыт этих стран показывает, что реализация технических и социально-экономических целей и задач развития микроэлектроники приводит к появлению интегрального эффекта, выходящего далеко за рамки микроэлектронной отрасли, в том числе к росту рынка наукоемкой продукции, повышению технического уровня и конкурентоспособности в смежных отраслях — радиоэлектронной,

связи и телекоммуникаций, вычислительной техники, автотранспортной, станкостроительной и др.

Основной тенденцией развития микроэлектроники является непрерывный рост интеграции многих функций в составе одного микроэлектронного изделия — совмещение функций приема, хранения, обработки и передачи данных. Это позволяет создать новую элементную базу для радиоэлектронных систем, обеспечивая резкое снижение затрат на ее производство и эксплуатацию, повышение надежности и расширение функциональных возможностей. Наиболее ярко это видно на примерах телевидения (однокристальный телевизор) и связи (мобильные телефоны с выходом в Internet).

Отметим важную особенность в развитии микроэлектроники — экстенсивный рост производства во время роста продаж и технологический рост (разработка и внедрение новых технологий и перспективных изделий) при сужении рынка. При этом обострение конкуренции вызывает ускоренный переход к меньшим проектным нормам и переход к «глубокому субмикрону». Так, переход, например, от 1,0 к 0,35 мкм обеспечивает снижение себестоимости БИС в 8–9 раз за счет уменьшения площади кристалла при одновременном росте рентабельности в 3–4 раза за счет повышения функциональной сложности интегральных схем.

Однако переход на новые проектные нормы требует огромных финансовых затрат на капитальное строительство, оборудование, новые технологии. На **рис. 2** в качестве типового примера представлена информация, характеризующая уровень финансовых затрат на создание производств изделий с проектными нормами менее 0,1 мкм. Так, например, стоимость создания завода (фабрики) с одним базовым техпроцессом производства пластин Ø300 мм в зависимости от его мощности для проектных норм 90...65 нм составляет от 2,5 до 3,0 млрд USD; для 45...32 нм — от 3,5 до 4,0 млрд USD; для 22...12 нм — от 4,5 до 6,0 млрд USD. И это только стоимость строительства и оборудования без учета стоимости разработки (или покупки лицензии) технологического процесса.

Стоимость разработки базового КМОП-процесса изготовления БИС с проектными нормами 90 нм в AMD составляла 310 млн USD и 400 млн USD для 65 нм. Стоимость разработки 45 и 32 нм-технологий оценивается, соответственно, в 600 и 900 млн USD, а разработка 22 нм-процесса — более 1,3 млрд USD. Количество фирм, которые могут позволить себе такие затраты, очень мало, так, технология с проектными нормами 22 нм освоена только четырьмя фирмами.

На **рис. 3** представлена динамика распределения мирового производства пластин за период 1999–2007 гг. для различных проектных норм. По вертикальной оси представлены объемы еженедельного запуска (тысяч пластин) в пересчете

ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

Transition to new semiconductor technologies are becoming technologically and financially challenging

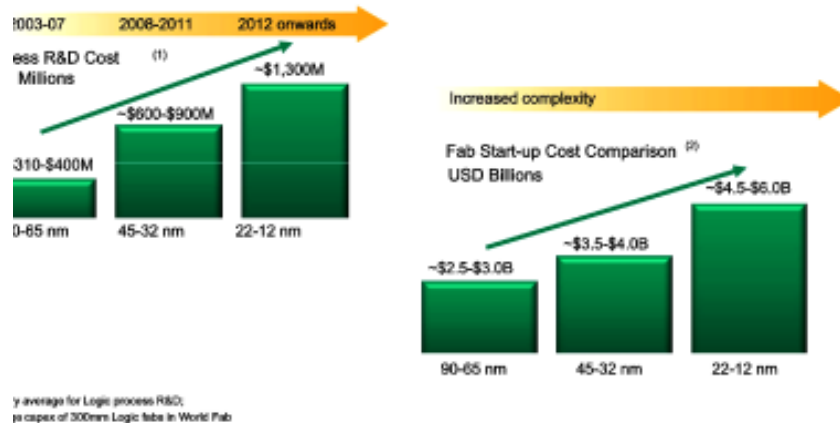


Рис. 2. Уровень финансовых затрат на создание производств с проектными нормами менее 0,1 мкм (источник: In-Stat 1/07, World Fab Watch; analyst reports)



Рис. 3. Динамика распределения мирового производства пластин для различных проектных норм (источник: SICAS/Future Horizons)

на эквивалентные 200 мм-пластины, а по горизонтальной оси — квартал и год выпуска.

Отвлекаясь от количественных характеристик, т. е. от объемов производства, следует отметить главное — каждые два года на рынок выходит следующее поколение микросхем. Так, в I квартале 2000 г. пик производства приходился на изделия с 0,25 мкм-нормами, и в это время на рынке появляются 0,18 мкм-изделия, производство которых достигает пика во II квартале 2002 г. В III квартале 2002 г. начинается спад производства 0,18 мкм-БИС, потому что на рынок выходят 0,13 мкм-изделия, которые достигают пика производства через два года и т. д.

Вместе с этим следует отметить важный факт — хотя объемы запуска изделий со «старыми» проектными нормами существенно упали, они все же остались на рынке. Наблюдается парадоксальная, на первый взгляд, картина — на начало «кризисного» 2008 г. в мире еженедельно запускалось в два раза больше пластин с 0,8 мкм-нормами, чем с 0,25 мкм, и больше, чем 0,35 и 0,18 мкм. При этом в течение семи предшествующих лет (2001 — 2007 гг.) объемы запуска пластин с этими нормами не уменьшались, следовательно — они востребованы на рынке.

Обратим внимание на то, что наиболее стабильна ниша изделий с проектными нормами 0,35 мкм и выше, причем объем производства

ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

таких изделий составляет около 20% объема рынка. Этот факт еще раз подтверждает вывод о том, что данный сегмент полупроводниковой отрасли может быть использован для разработки таких изделий и продвижения их на мировой рынок.

Поскольку для создания микроэлектронных изделий кроме технологии и оборудования необходимо иметь дорогостоящие программные и аппаратные средства проектирования, становится очевидной причина стремительного развития фаблисс-модели бизнеса в микроэлектронике.

Сегодня фаблисс-модель является наиболее динамично развивающейся и наиболее эффективной в полупроводниковом бизнесе, поскольку размер требуемых инвестиций на организацию стандартного дизайн-центра и приобретение для него средств САПР и библиотек проектирования на несколько порядков ниже стоимости любой современной производственной линейки. Не случайно рост продаж, продемонстрированный фаблисс-компаниями, последние годы значительно выше среднеотраслевого. Так, объем продаж десятки лучших фаблисс-фирм (дизайн-центров) за 2007 год составил 28,015 млрд USD, что всего лишь в 4 раза меньше объема продаж десятки лучших фирм, имеющих собственные производственные линии.

Головной организацией, отвечающей за развитие микроэлектронной отрасли в Беларуси, является ОАО «ИНТЕГРАЛ» [1]. По общепринятой мировой классификации предприятие относится к классу IDM, т. е. к компаниям, которые производят микроэлектронные компоненты только собственной разработки. На ОАО «ИНТЕГРАЛ» реализуется весь комплекс работ, включающий проектирование и производство широкой номенклатуры микроэлектронных изделий и законченных товаров (медицинские приборы, электронные табло, блоки управления бытовой, промышленной, автомобильной и сельскохозяйственной техникой и др.). Таких крупных фирм в мире насчитывается всего несколько десятков, и к их числу относятся Intel, Motorola, Siemens, Texas Instruments (TI), NEC, Toshiba.

В отличие от большинства зарубежных компаний, ОАО «ИНТЕГРАЛ» обладает широким спектром технологических процессов: базовый КМОП, КМОП со встроенным блоком EEPROM, КМОП со встроенными высоковольтными (100 В и выше) блоками, специальный радиационно стойкий КМОП-процесс, различные варианты биполярных процессов, включая радиационно стойкие, комбинированные биполярно-полевые (БиКМОП); КНИ-технология для спецприменений, MOSFET — процессы для изготовления мощных быстродействующих и высоковольтных транзисторов и другие.

За всю историю своего существования предприятие не купило ни одной лицензии, что, безусловно, говорит о высоком уровне квалификации персонала — как разработчиков, так и линейных производственных технологов.

Постоянное обновление номенклатуры выпускаемой микроэлектронной продукции (более 2 тыс. типов интегральных микросхем, 500 типов полупроводниковых приборов, 200 типов жидкокристаллических индикаторов, около 150 типов изделий электронной техники) позволяет ОАО «ИНТЕГРАЛ» в условиях жесткой конкуренции сохранять завоеванные на мировом рынке ниши и в значительной степени удовлетворять потребности структурообразующих предприятий отечественной радиоэлектронной отрасли в микроэлектронных компонентах.

В **таблице** приведены данные для сопоставления количества типов изделий и объемов выпуска интегральных микросхем и полупроводниковых приборов в России и ОАО «ИНТЕГРАЛ» за 2007 год.

Количество типов и объемы производства изделий электронной техники	Россия	ОАО «ИНТЕГРАЛ»
Количество типов ИМС	1500	2000
Количество типов полупроводниковых приборов	2000	500
Объем производства микросхем, млрд шт.	1,7	1,2
Объем производства дискретных полупроводниковых приборов, млрд шт.	2,2	2,1

Большую часть в номенклатуре микроэлектронной продукции ОАО «ИНТЕГРАЛ» занимает микроэлектронная элементно-компонентная база (**ЭКБ**) специального и двойного назначения (категории качества «ВП» и «ОСМ»). В настоящее время производится свыше 250 типов интегральных микросхем и дискретных полупроводниковых приборов специального назначения, половина из которых создана за последние пять лет. Эта продукция пользуется спросом на внешнем рынке (преимущественно в Российской Федерации) благодаря высокому качеству и надежности. Министерством обороны РФ ОАО «ИНТЕГРАЛ» сертифицирован на разработку и серийный выпуск изделий для предприятий Военно-промышленного комплекса (**ВПК**) РФ.

Главные преимущества ЭКБ ОАО «ИНТЕГРАЛ», безоговорочно признанные потребителями ВПК России и их конкурентами, — это новые конструктивно-технологические решения и топологии ИМС, запатентованные в РФ, обеспечивающие высокую надежность и работоспособность устройств в условиях воздействия повышенной радиации, облучения нейтронами, гамма-излучения, рентгеновского излучения, электромагнитного импульса [2]. Такие техни-

ческие характеристики и параметры исключительно важны для систем вооружения, электронных систем управления военной и космической техникой, систем управления и обеспечения безопасности АЭС. На постсоветском пространстве ОАО «ИНТЕГРАЛ» — единственный реально признанный поставщик таких изделий для атомной энергетики, ряда предприятий «Роскосмоса».

В космическом пространстве полупроводниковые устройства должны функционировать при наличии жесткой радиации, обусловленной облучением ионами, присутствующими в космических лучах и солнечном ветре, а также захваченными в радиационных поясах вокруг Земли. ОАО «ИНТЕГРАЛ» в течение ряда лет участвует в работах для «ближнего» и «дальнего» космоса, в частности — в новом направлении по созданию производства уникальных интегральных микросборок приборов с зарядовой связью для космических аппаратов дистанционного зондирования земли, не имеющих мировых аналогов (аппарата «БелКА» и миниспутника «БКЛ» (Беларусь); спутника «Канопус» (Россия); космического аппарата «БКВР» с видеоаппаратурой высокого разрешения, систем картографии и метеорологических наблюдений («Летающий электронный глаз») (Россия).

С использованием микроэлектронной продукции ОАО «ИНТЕГРАЛ» в России создаются новейшие образцы систем стратегических вооружений — «Тополь-М», «Булава», «Синева», зенитно-ракетный комплексы С-400, 500, истребители пятого поколения Су-35, МиГ-35, вертолеты МИ-28, «Акула», «Аллигатор» (КА-50, 52), подводные лодки четвертого поколения типа «Юрий Долгорукий» проекта 955 «Борей» и др.

Созданная на ОАО «ИНТЕГРАЛ» электронная компонентная база используется в научных проектах разных стран, что прекрасно демонстрирует возможности белорусской науки и микроэлектронной промышленности. Ряд интегральных схем, спроектированных и изготовленных в ОАО «Интеграл», прошел успешную апробацию и безотказно работает в проектах GEM (суперколлайдер SSC, США), DO (коллайдер Тэватрон Национальной ускорительной лаборатории им. Ферми, США), CMS (Большой адронный коллайдер LHC, Центр Европейского совета ядерных исследований), PiBeta (Швейцария), PANDA (ускорительный комплекс FAIR, Германия), в многочастичном спектрометре и универсальном калориметрическом детекторе в Дубне, в программе СВД-2 на спектрометре с вершинным детектором и установке ОКА на ускорителе У-70 (Россия). Успех такой деятельности обусловлен меньшей по сравнению с зарубежными стоимостью разработок, их высокой надежностью, стабильными техническими параметрами, приемлемой ценой, хорошо организованным коммерческим сотрудничеством.

Эффективная концентрация усилий ученых НАН Беларуси, ВУЗов, отраслевых НИИ и КБ

и серийных заводов позволила в значительной степени решить задачу насыщения рынка Республики Беларусь и стран СНГ конкурентоспособной элементной базой для приоритетных отраслей народного хозяйства и национальной обороны, обеспечила повышение экспортного потенциала РБ, развитие новых энерго- и ресурсосберегающих импортозамещающих наукоемких технологий и изделий.

В настоящее время в области электроники и ее применений в Республике Беларусь проводятся исследования и разработки по различным программам. В рамках программы «Союзный телевизор» уже разработан и внедрен в серийное производство целый спектр сложнофункциональных микросхем и полупроводниковых приборов для приемников цветного изображения, которые используются как отечественными («Горизонт», «Витязь»), так и российскими производителями телевизоров.

В рамках подпрограммы «База» ОАО «ИНТЕГРАЛ» разрабатывает более 70 типов новых микросхем, предназначенных в первую очередь для систем вооружения и военной техники, а также для изделий народнохозяйственного назначения.

В рамках программы «Суперкомпьютер» ОАО «ИНТЕГРАЛ» разработана и уже поставлена Заказчику СБИС потокового гиперпроцессора «Мини-Тера», где на кристалле размером 10,6×11,0 мм размещено более миллиона транзисторов с 0,5 мкм проектными нормами. Использование оригинальной архитектуры СБИС в 10-выводном корпусе с напряжением питания 3 В позволило обеспечить производительность суперкомпьютера до 1,2 гигафлопс на первом образце и до 20 гигафлопс в дальнейшем.

ОАО «ИНТЕГРАЛ» вместе со специалистами-материаловедами РБ развивает наступательную деятельность на рынке полупроводников, которая обозначена весьма широко: изделия военного назначения, комплекты схем для автомобильной электроники, телевизионной техники, средства связи и телекоммуникаций, приборы и средства управления ними в виде конвертеров, интеллектуальных ключей и т. п.

Уже созданы сверхбольшие интегральные схемы на пластинах диаметром 200 мм с проектными нормами 0,35 мкм в рамках инвестиционного проекта «Организация субмикронного производства на ОАО «ИНТЕГРАЛ». Этот проект позволит решить многие проблемы совместного радиоэлектронного комплекса Белоруссии и России, в том числе по изготовлению микросхем с информационной емкостью 1—4 Мбит, устойчивых к внешним воздействиям. В дальнейшем предполагается разработать высоковольтные элементы, микросхемы RF-диапазона, кристаллы с возможностью радиоприема FM-диапазона, новые конкурентоспособные изделия: радиационно стойкие микросхемы специального назначения для систем вооружений и военной техники, сверхбольшие интегральные схемы цифровой

обработки сигналов, микросхемы для средств связи и телекоммуникаций и т. д. Изделия двойного назначения найдут свое применение в создании систем вооружения и военной техники, в том числе и в России. Существующий в Беларуси достаточно мощный комплекс тракторо- и автомобилестроения предполагает повышенное внимание к электронике, стоимость которой составляет до 30% стоимости авто. При этом применяются комплекты схем, основанные на новых стандартах бортовой аппаратуры.

Перспективной является разработка мощных приборов и средств управления ними — так называемых интеллектуальных ключей, схем управления импульсными источниками питания. Планируется выпуск новых поколений DC/DC- и AC/DC-преобразователей, имеющих громадный спрос на рынке. Первые используются в каждом сотовом телефоне, вторые — в каждом зарядном устройстве для него. Освоение этого направления обеспечит потребности внутреннего рынка и позволит завоевать часть зарубежного, в том числе и российского, несмотря на присутствие западных гигантов в этом секторе.

Из проведенного анализа и перспектив развития микроэлектроники следует, что Республике Беларусь необходимо использовать свой большой научный и практический опыт для разработки новых технологий, которые используются на ведущих микроэлектронных фирмах мира. К таким технологиям относятся:

— технология изготовления структур кремний-на-изоляторе (КНИ), включая разработку системы проектирования ИС на КНИ-подложках и разработку техпроцессов изготовления КМОП-ИС на КНИ-пластинах. Это позволит создавать радиационно-, тепло- и помехоустойчивые ИС, высокотемпературные ИС (до 350°C), ИС силовой электроники, а также откроет принципиальные возможности разработки схем с трехмерной интеграцией;

— технология формирования Si/Ge-структур для изделий высокоскоростной электроники, включая разработку систем проектирования ИС на Si/Ge-структурах и разработку техпроцессов изготовления приборов с высоким быстродействием. Для разработки такой технологии необходимо проведение предварительных исследований особенностей роста субтонких (50 нм на 10 слоев) наноразмерных пленок и нанокластеров сплава Si_xGe_y на полупроводниковых и диэлектрических подложках. На основе этих исследований будут разработаны процессы создания СВЧ-транзисторов нового поколения, светодиодов и элементов энергонезависимой памяти;

— технология изготовления систем энергонезависимой памяти на транзисторах с плавающим затвором с германиевыми квантовыми точками в туннельном диэлектрике и на основе сегнетоэлектриков (FRAM-технология);

— технологии изготовления радиационно стойких ИС (биполярная, КМОП, Би-КМОП), включая систему их проектирования.

Основными потребителями электронной элементной базы производства ОАО «ИНТЕГРАЛ» являются практически все крупные структурообразующие предприятия радиоэлектронных комплексов Беларуси, России и других стран СНГ, а также стран Юго-Восточной Азии, Европы и Северной Америки. Только использование современной элементной базы позволит решить задачу обеспечения конкурентоспособности их продукции на мировом рынке. Именно поэтому задача развития отечественной микроэлектроники является приоритетной для нашего государства и заслуживает особого внимания.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Турцевич А. С., Гуминский В. В., Перец А. Ф. Нарращивание, заимствование, преемственность — постулаты инновационного развития ОАО «ИНТЕГРАЛ» // Наука и инновации. — №3. — 2012. — С. 9—12. [Turtsevich A. S., Guminski V. V., Perets A. F. // Nauka i innovatsii. N 3. 2012. P. 9]
2. Богатырев Ю. В., Шведов С. В. Радиационно стойкие интегральные схемы // Наука и инновации. — №3. — 2012. — С. 13—14. [Bogatyrev Yu. V., Shvedov S. V. // Nauka i innovatsii. N 3. 2012. P. 13]

*Дата поступления рукописи
в редакцию 05.06 2012 г.*

Belous A. I., Pilipenko V. A., Turtsevich A. S., Shvedov S. V. **Global trends in microelectronics and place of Belarus in this process.**

Keywords: microelectronics, element-component base, high-tech products, trends, world market.

The review summarizes development of microelectronics in the developed countries over the period of 7—10 years until 2008, when the economic crisis started to effect the global economy. The data from Stat World Fab Watch has been used in the paper. Achievements and potential of "Integral" PC — the parent organization responsible for the microelectronic industry in Belarus — are also reviewed.

Republic of Belarus, Minsk, "INTEGRAL" PC.

Білоус А. І., Пилипенко В. О., Турцевич А. С., Шведов С. В. **Світові тенденції розвитку мікроелектроніки та місце Республіки Білорусь у цьому процесі.**

Ключові слова: мікроелектроніка, наукоємна продукція, тенденції розвитку, світовий ринок.

Наведено аналіз розвитку мікроелектроніки в економічно розвинутих країнах за період 7—10 років до 2008 р. (використано дані Stat World Fab Watch). Розглянуто досягнення та потенційні можливості ВАТ «Інтеграл» — головної організації у мікроелектронній галузі Білорусі.

Республіка Білорусь, м. Мінськ, ВАТ «ІНТЕГРАЛ».