

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ: «МОДЕРНИЗАЦИЯ» С НУЛЯ

Балан Н.Н., ФГУП «ВО«Внештехника»

В предлагаемой статье делается попытка проанализировать процессы, происходящие в отечественной полупроводниковой промышленности в свете современных модернизационных инициатив российской власти. Рассматривается вариант построения мелкосерийных кластерных минифабов как один из возможных методов перелома ситуации с перманентным отставанием России в области полупроводниковой технологии от развитых стран.

МЕСТО ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

Ведущие страны мира уделяют приоритетное внимание развитию электронной техники и технологии, как «**точки роста**» экономики и национальной безопасности. В последние 20 лет прогресс микроэлектроники стал попросту гигантским, позволив отрасли к началу 21-го века окончательно выйти в область наноразмеров. Размеры (по X и Y) элементов электронных схем, изготавливаемых огромными тиражами, сегодня достигли уровня нескольких десятков нанометров и продолжают уменьшаться. Что же касается размеров по Z, то они перешагнули рубеж в 1 нм гораздо раньше. Само собой разумеется, что быстро растущие потребности общества в средствах передачи и обработки информации подгоняли развитие технологии создания таких средств, часто это происходило и в обратном порядке. Главное то, что это развитие никогда не замедлялось и не замедляется до сих пор, какие бы «пределы» для него не устанавливали различного рода «эксперты» (а они занимаются этим уже не первый десяток лет и, большей частью, безуспешно: пресловутый закон Мура об удвоении числа элементов интегральных схем каждые 1,5-2 года как выполнялся, так и выполняется и, скорее всего, будет выполняться в обозримом временном промежутке).

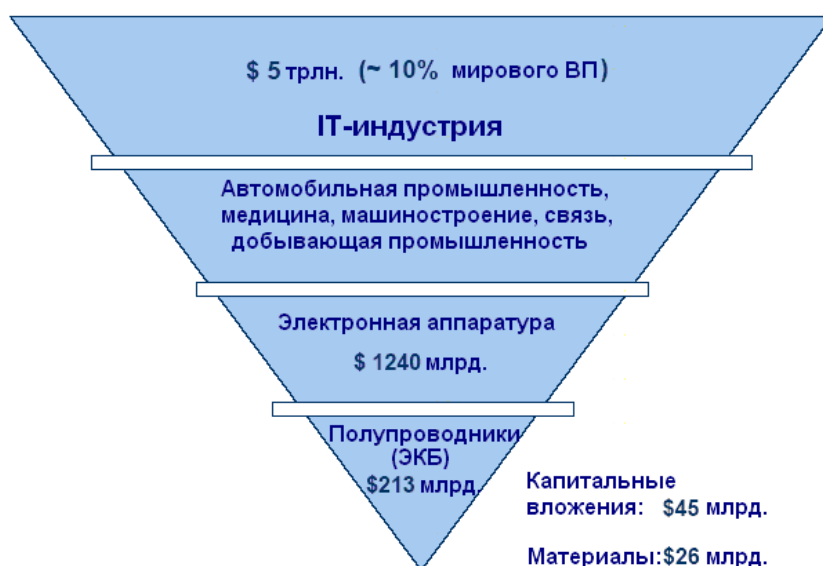


Рис.1 Влияние полупроводниковой индустрии на мировую экономику (данные на 2004 год) [2]

На **Рис.1** показано влияние полупроводниковой индустрии на мировую экономику в целом по данным 5-летней давности. В настоящее время оно еще более велико.

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.

Корея, Китай, страны ЮВА используют **государственную поддержку** для развития отечественной электронной промышленности как наиболее эффективного способа подъема всей промышленности и вхождения в мировой рынок. Опыт этих стран показывает, что реализация технических и социально-экономических целей и задач развития микроэлектроники приводит к появлению интегрального эффекта, далеко выходящего за рамки микроэлектронной отрасли, в том числе – к росту рынка наукоемкой продукции, повышению технического уровня и конкурентоспособности в смежных отраслях.

Сегодняшний уровень развития технологического оборудования, применяемого в производстве электронной компонентной базы, может быть проиллюстрирован **Рис.2**, на котором показаны возможности современного степпер-сканера **Twinscan 1250** фирмы **ASML** (Нидерланды) [3]. Эта установка соответствует уровню разработок пятилетней давности. Она способна производить литографию по полупроводниковым пластинам с размером элемента рисунка 50 нм и со скоростью 100 пластин (диаметром 300 мм) в час. При этом точность размеров рисунка составляет ± 10 нм по всей пластине. В качестве сравнения: это соответствует ситуации, если бы за одну минуту(!) вся территория Нидерландов была покрыта рисунком с размером элемента 5 см с точностью ± 1 см по всей площади рисунка (то есть, при формировании этого воображаемого рисунка от края и до края Голландии может «набежать ошибка» в 1 см!).

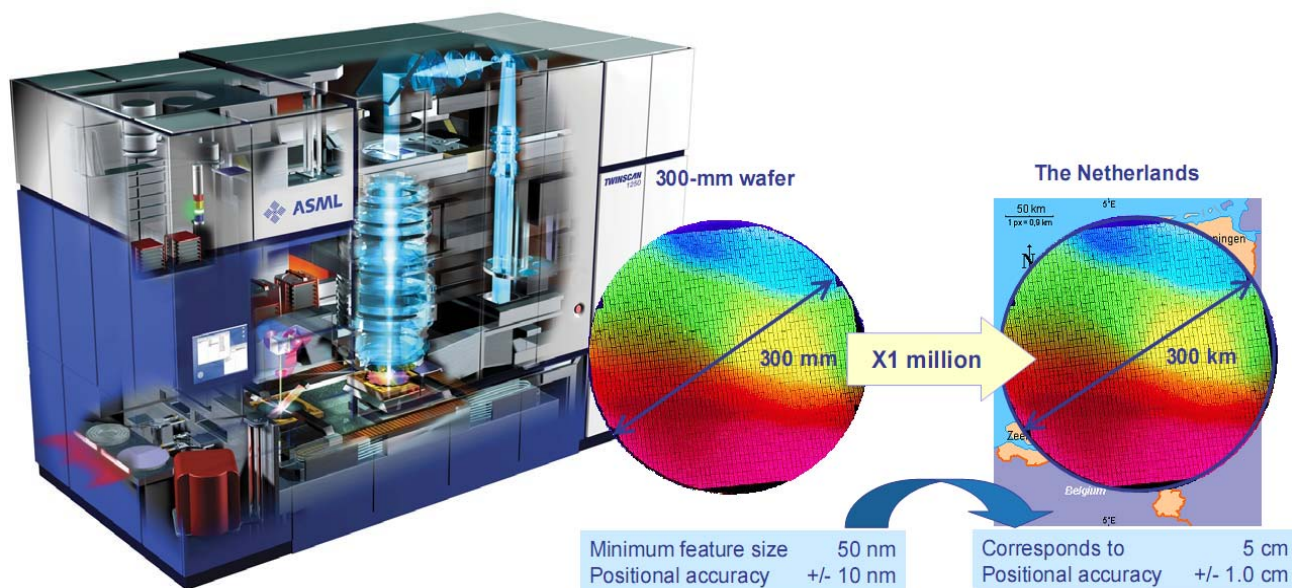


Рис.2 Иммерсионный оптический литограф (степпер-сканер) Twinscan 1250 фирмы ASML (Нидерланды) и его возможности

Такие установки изготавливаются **исключительно с использованием широкой международной кооперации** (как, впрочем, и все остальное оборудование для этой отрасли промышленности). В частности, объектив степпер-сканера **Twinscan 1250** (виден на рисунке) составляет около 40% стоимости всей установки и изготавливается фирмой Carl Zeiss (Германия). Устройства транспортировки пластин и фотошаблонов, измерительные узлы и агрегаты изготавливаются рядом американских, европейских и японских фирм.

Таким образом, на сегодняшний день электроника и, в частности, полупроводниковая промышленность является **основой современного «информационного общества»**, определяя производительность труда и конкурентоспособность **всех без исключения отраслей промышленности**. Полупроводниковая технология сегодняшнего дня

немыслима без международной кооперации, концентрируя в себе новейшие достижения мировой науки и техники. Это явилось результатом колоссального труда огромного количества людей нескольких поколений во многих странах мира (не исключая, кстати, и СССР) и не менее колоссальных капиталовложений, приносящих соответствующие прибыли.

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКА КАК ОБЪЕКТ МОДЕРНИЗАЦИИ

Ни для кого не секрет, в каком состоянии до недавнего времени находилась наша полупроводниковая промышленность (и фактически находится до сих пор, несмотря на то, что некоторые шаги по ее модернизации уже предприняты). **Практически ни в каком.** Ее просто не стало за 90-е годы прошлого века, и уже давно не важно, по каким причинам это произошло. Очевидно, что эпоха «реформ» обернулась практически полным разрушением отечественной электронной промышленности и науки, необратимой деградацией научного, технологического и кадрового потенциала (хотя в начале этой, с позволения сказать, «эпохи» наблюдалось отставание отечественной электроники всего лишь на 1-2 поколения от мирового уровня). Как следствие, это привело к росту зависимости от поставок высокотехнологичной продукции из-за рубежа и ослаблению оборонного потенциала. Сегодня в России даже при выпуске военной и специальной продукции используется **65%** импортной и только **35%** отечественной ЭКБ, а в производстве радиоаппаратуры массового производства – **90%** и **10%** соответственно. Было полностью утеряно производство спецтехнологического оборудования и почти полностью – специальных материалов.

«Флагманы» отечественной микроэлектроники – «Ангстрем» и «НИИМЭ и Микрон» – до конца 2000-х годов сохраняли уровень технологии середины 90-х годов прошлого века, производя изделия по технологическому процессу уровня 1,5-0,8 мкм (микросхемы для часов, калькуляторов, бытовой техники и т.п.) на остатках отечественного и импортном Second-hand оборудовании и с использованием преимущественно импортных расходных материалов (резисты, мишени, реактивы, газы и пр.). Однако существующие ниши рынка для такой продукции неизменно сокращаются, уступая место более «продвинутым» изделиям, производить которые по данным топологическим нормам либо уже нерентабельно, либо попросту невозможно (**Рис.3**).

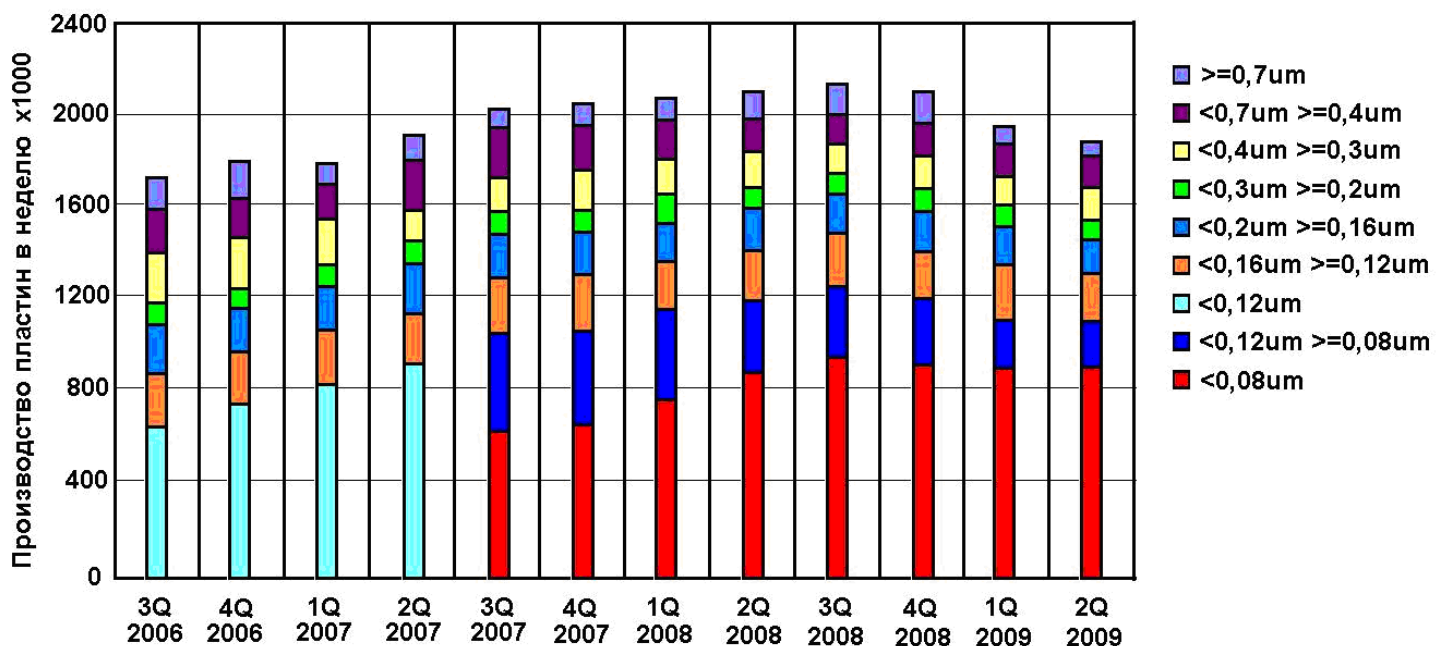


Рис.3 Количество производимых в мире МОП-пластин под различные уровни топологии

Переход отечественных заводов на уровень технологии 0,18 мкм и 0,13 мкм путем закупки подержанного оборудования за рубежом несколько затянулся. Очевидно, что к

моменту выхода обновленных таким образом производств на полную мощность эта технология тоже станет «10-летней давности».

Научоемкая составляющая отечественной электронной промышленности фактически «приказала долго жить» (как и многие другие направления). Общие объемы финансирования НИОКР в России в сравнении с США в период с 1986 г. по 2005 г. приведены на **Рис.4**. Данная диаграмма не нуждается в комментариях.

Постепенный поворот государства «лицом» к проблемам отечественной электронной отрасли начался в середине 2000-х годов. Так, уже в 2006 году предприятиями радиоэлектронного комплекса выполнялось 150 НИОКР по федеральным целевым программам, государственным заказчиком которых являлось Федеральное агентство по промышленности, и 15 НИОКР по другим федеральным целевым программам.

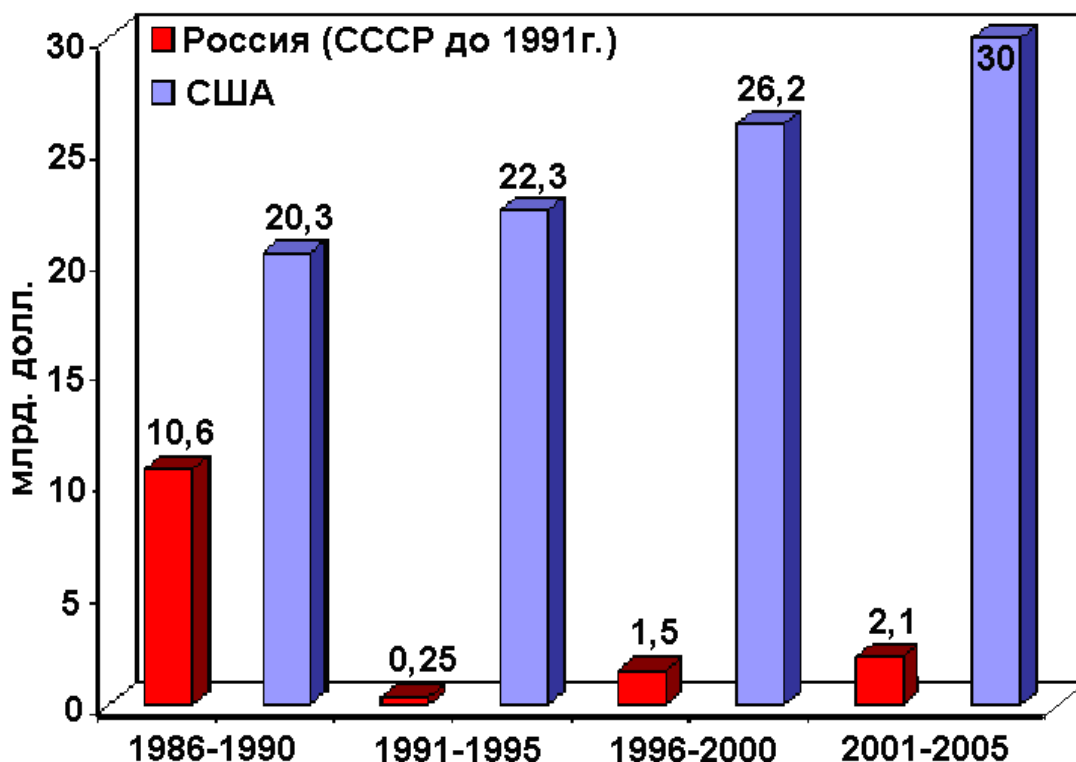


Рис.4 Средства, выделенные на НИОКР в России и США с начала 90-х гг. прошлого века по середину 2000-х гг. [4]

В 2005-2007 гг. предприятия отечественной электронной отрасли участвовали в реализации программных мероприятий по следующим ФЦП, государственным заказчиком которых являлось Федеральное агентство по промышленности [5]:

- «Национальная технологическая база» на 2002-2006 годы (НТБ);
- «Реформирование и развитие оборонно-промышленного комплекса (2002-2006 годы)» (Реформирование ОПК);
- «Глобальная навигационная система» на 2002-2011 годы (ГЛОНАСС);
- «Развитие гражданской авиационной техники России на 2002-2010 годы и на период до 2015 года» (Развитие ГА).

Объем выполненных работ по ФЦП 2005-2007 гг. представлен на **Рис.5**.

В рамках реализации принятых в 2002 году «Основ политики Российской Федерации в области развития электронной компонентной базы (ЭКБ) на период до 2010 года и дальнейшую перспективу» в августе 2007 года была утверждена «**Стратегия развития электронной промышленности**». Тогда же была подготовлена и принята подпрограмма «**Развитие электронной компонентной базы**» на 2007–2011 годы в составе Федеральной целевой программы (ФЦП) «**Национальная технологическая база**», рассчитанной на период до 2011 года (выглядит наиболее солидно на **Рис.5**).

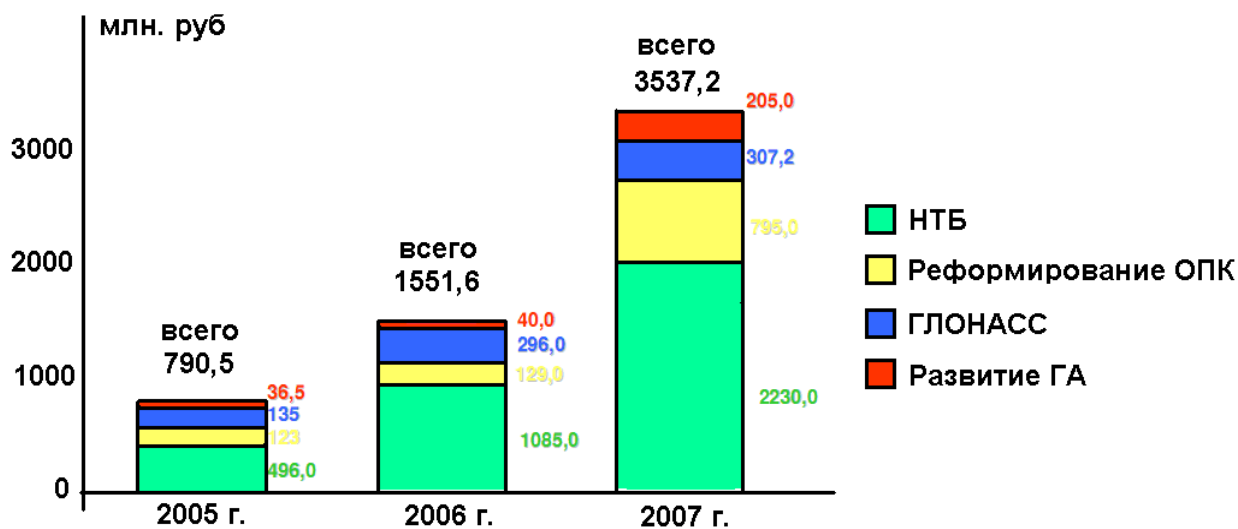


Рис.5 Финансирование НИОКР по ФЦП в радиоэлектронном комплексе в 2005-2007 гг.

Казалось бы, налицо существенный рост. Однако, все немедленно встает на свои места, вполне укладываясь в тенденции, иллюстрируемые **Рис.4**, если сравнить расходы в 2008 году по двум наиболее серьезным отечественным научно-технологическим программам федерального уровня (Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы, Национальная технологическая база на 2007-2011 годы) с бюджетами только лишь агентств Министерства обороны США на развитие науки и технологий в том же 2008 году [6] (**Рис.6**).

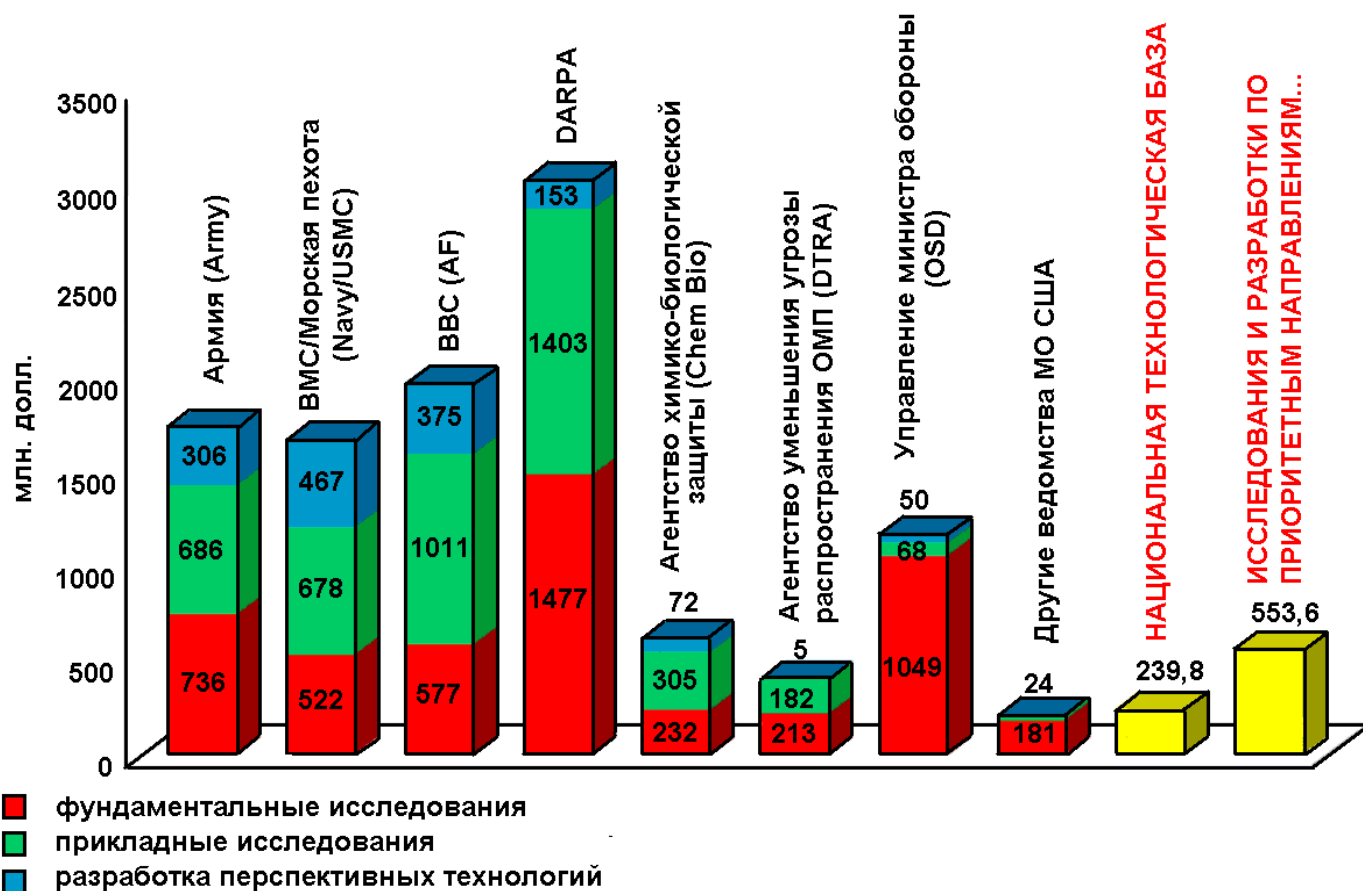


Рис.6 Расходы Минобороны США на развитие науки и технологий в 2008 году в сравнении с расходами по двум крупнейшим российским научно-техническим программам за тот же период времени

Объемы ассигнований на крупнейшие отечественные научно-технологические программы составили в 2008 г. примерно **793,4 млн. долл.** и могут рассматриваться в качестве ошибок округления научно-технологического бюджета Минобороны США (**10,772 млрд. долл.**) на тот же период времени.

В конце концов российской власти пришлось все же признать тот факт, что на сегодняшний момент проблемы отечественной радиоэлектронной отрасли достигли своей «критической массы», и эта ситуация ни в коем случае не может и не должна быть пущена на самотек. Для перелома сложившегося критического положения было явно недостаточно выделяемых средств. Специфика данной отрасли (как, в принципе, и любой другой) такова, что **вложения ниже некоторого порогового уровня не приносят ожидаемой отдачи и попросту «уходят в никуда»**, тем более, если отрасль находится в вышеописанном критическом состоянии.

В 2007 году было принято решение о внесении изменений в ФЦП **«Национальная технологическая база»** на 2007-2011 годы в части подпрограммы **«Развитие электронной компонентной базы»**. Согласно данным изменениям, реализация указанной подпрограммы была прекращена в 2007 году, за исключением работ, выполняемых в рамках уже заключенных на тот момент Государственных контрактов. Решение о замене вышеуказанной подпрограммы самостоятельной Федеральной целевой программой на период до 2015 года было принято с учетом критического состояния отечественной радиоэлектронной отрасли. В результате постановлением Правительства РФ от 26 ноября 2007 года № 809 была утверждена ФЦП **«Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники»** на 2008–2015 годы [7]. Основная цель – перелом критической ситуации, сложившейся в отечественной электронной промышленности, путем оказания государственной поддержки предприятиям отрасли. Можно констатировать, что по количеству выделяемых средств (**бюджетных 111 млрд. руб.**) обсуждаемая Программа является первым за последние 15-20 лет по-настоящему серьезным вкладом государства в отечественную электронную промышленность.

Программа была разделена на **2 этапа: первый этап – 2008–2011 годы, второй – 2012–2015 годы.**

На первом этапе предполагалось **«разработать базовые промышленные технологии микроэлектроники и освоить в производстве к 2011 году технологический уровень 0,1–0,09 мкм»**, что, по мнению одного из главных разработчиков Программы, «позволит значительно сократить отставание от мирового уровня». На этой технологической базе планируется разработать и освоить производство новых классов ЭКБ для решения стратегически важных задач. Данная задача представляется вполне реализуемой на первом этапе Программы, тем более, что **формально считается свершившимся фактом освоение и запуск в 2008 году в ОАО «НИИМЭ и завод «Микрон», принадлежащем концерну «Sitronics», технологии EEPROM по топологическим нормам 0,18 мкм, переданной предприятию фирмой STMicroelectronics. Согласно амбициозным планам руководства компании, на конец 2009 года было запланировано формальное освоение технологии EEPROM уже с нормами топологии 0,13 мкм.** К тому же, практически на завершающей стадии (идет монтаж технологического оборудования в чистых производственных помещениях) находится **проект по передаче технологии с топологическими номами 0,13 мкм фирмой AMD заводу «Ангстрем».**

На **втором этапе планируется освоить технологию с топологическими нормами 45 нм.** Данное заявление уже вызывает значительные сомнения (в случае крупносерийного производства) хотя бы по той причине, что время, отпущенное Программой на овладение данной технологией чрезвычайно мало (не учитывая даже стоимости такой фабрики, реалий российского рынка изделий этого уровня, особенностей экспортного контроля и прочих негативных факторов). Отметим, что срок от начала переговоров с зарубежными партнерами о передаче технологий уровня 0,13 мкм и 0,18 мкм до запуска (**пусть даже**

формального) этих технологий на российской территории составил около 5 лет (необходимо учитывать, что речь шла о передаче готовых технологических линий, которые уже функционировали порядка 10 лет). И уж совсем сомнительны планы относительно **«ликвидации отставания от прогнозируемого мирового уровня и обеспечения технологического паритета с ведущими мировыми производителями»** к концу 2015 года.

«Паритет» в этой области и вовсе не представляется возможным в какой-либо обозримой перспективе, учитывая положение с производством в нашей стране спецтехнологического оборудования и особо чистых материалов (этих производств просто не существует). И если выпуск электронных материалов возможно наладить в течение нескольких лет (ценой огромных усилий), то отечественное технологическое оборудование вряд ли сможет появиться в ближайшей перспективе (разве что путем приобретения контрольных пакетов акций зарубежных производителей, как это случилось с фирмой **Oerlicon**, контрольный пакет акций которой с относительно недавних пор принадлежит российскому капиталу).

В настоящее время для создания в России **полноценных** производственных мощностей по крупносерийному выпуску микроэлектронной продукции **последнего поколения** (имеются в виду предприятия, работающие по проектным нормам 45 нм с производительностью порядка 20000 300-мм пластин в мес.) необходимы чрезвычайно крупные вложения порядка нескольких млрд. долл. США **на один завод** (не учитывая затраты на «преодоление» существующего до сих пор **эмбарго** на поставку в нашу страну современного технологического оборудования). Принимая во внимание российские реалии, можно предположить, что к моменту ввода предприятия в эксплуатацию мировая промышленность уйдет вперед в лучшем случае на 2 поколения. При этом ни для кого не секрет, что мировой рынок данной продукции уже сейчас весьма жестко структурирован между крупными электронными компаниями, и внедрение на него требует создания приборов с более высокими технико-экономическими характеристиками (что по понятным причинам практически невозможно), а также высоких затрат на маркетинг. Внутренний же рынок микроэлектроники в России не превышает 100-й доли от мирового рынка, что в денежном выражении по разным оценкам составляет на сегодняшний день около 1,5 млрд. долл. с прогнозируемым приростом до 2,7 млрд. долл. к 2011 г. Несмотря на достаточно высокие темпы роста по сравнению с общемировыми, указанный объем рынка сбыта **ставит под сомнение окупаемость создания в настоящее время даже одного современного производства на российской территории**. Сложившаяся ситуация с внутренним рынком сбыта электронных компонентов объясняется прекращением в России собственного производства бытовой электроники, вычислительной техники широкого потребления, сворачиванием производства средств автоматизации и связи все в тех же пресловутых 90-х годах.

В качестве примера можно упомянуть **Китайскую Народную Республику**. Там ситуация совершенно иная: развивающаяся микроэлектронная промышленность реализует интегральные схемы местным заказчикам, которые массово экспортируют дешевые потребительские конечные продукты, количество же производимой в Китае электронной аппаратуры массового применения просто колоссально (стоит отметить, что на долю китайской полупроводниковой промышленности приходится всего лишь 10% внутреннего рынка микросхем, и **отнюдь не по причине отсталости отрасли**). Однако, даже в таких благоприятных условиях окупить создание крупного производства – весьма сложная задача. В частности, один из крупнейших мировых производителей микросхем, имеющий несколько заводов на территории Китая, в числе которых весьма современные производства по проектным нормам от 350 нм на 200 мм пластинах до 45 нм на 300 мм пластинах, – **SMIC (Semiconductor Manufacturing International Corp.) с момента своего создания в 2000 году так и не окупил инвестиции в полном объеме**, несмотря на то, что там работают менеджеры высочайшей квалификации, досконально знающие специфику отрасли.

Более того, современные тенденции развития мировой полупроводниковой промышленности таковы, что большинство микроэлектронных фирм прекращают инвестиции во внутреннюю разработку технологий уровня 45 нм и менее. Считается, что такие технологии будут сконцентрированы в 4-5 мировых **foundry** и, быть может, еще в нескольких больших **IDM-компаниях** наподобие **Intel** или **IBM**. Для всех остальных это уже нерентабельно. Многие ведущие менеджеры отрасли предрекают, что в недалеком будущем в мире останутся всего лишь 5-6 крупнейших производителей микроэлектроники.

ВАРИАНТ РАЗВИТИЯ СИТУАЦИИ

Отстав на десятилетия в производстве, но сохранив квалифицированных разработчиков и школу их подготовки, а также обладая хоть и небольшим, но довольно интенсивно растущим рынком изделий микроэлектроники, Россия все же имеет некоторые предпосылки для успешного позиционирования себя как игрока на рынке мировой микроэлектроники. Сделать это возможно путем создания национальной **fabless-индустрии**.

В России созданы и продолжают создаваться дизайн-центры, успешно работающие на иностранные fabless-компании. Привлеченные высокой креативностью некоторых российских разработчиков, такие известные компании, как **Intel, Siemens, Motorola, Sun Microsystems** и другие, организуют здесь свои дизайн-центры. При этом **Intel**, открывая свои региональные дизайн-центры в Москве, Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде и Новосибирске, ориентирует каждый из них на определенный сегмент рынка: высокоскоростные процессоры для персональных компьютеров, системы телекоммуникации, системы быстрого счета и т. д. Однако, все же большинство западных фирм смотрят на Россию лишь как на многообещающий и быстрорастущий рынок сбыта микросхем, и, как это ни печально, этим дело ограничивается. Реальные собственные разработки микросхем из России на Западе не просматриваются – есть только квалифицированные российские инженеры и технологи, поодиночке приезжающие работать в микроэлектронные компании и успешно реализующие там свои идеи в рыночных продуктах, которые на родине почти всегда умирали в стадии прототипа. Те фирмы (перечисленные выше), которые имеют в России свои дизайн-центры (группы разработчиков), делают это, главным образом, не из стратегических соображений и не из-за дешевизны российской инженерной силы (она уже давно не дешева), а из-за личных контактов и отдельно взятых специалистов.

Имеются **два ключевых фактора**, которые говорят о том, что Россия должна создать свой **fabless**-сектор микроэлектроники.

Первый фактор – это наличие непрерывно растущего внутреннего рынка. **Второй фактор** – это наличие национальной политехнической системы образования, которая позволяет готовить разносторонних специалистов, способных к нетривиальному мышлению.

Можно, впрочем, предположить, что оба этих фактора являются в некотором смысле условными. Первый свидетельствует скорее о том, что в России только лишь начинают формироваться потребности в электронных компонентах в отличие от остальных развитых стран, где они уже сформировались. Второй же фактор уже частично утратил свою актуальность в результате многочисленных «реформ», проведенных за последние десятилетия в области отечественного образования. Тезис о сохранении высокого уровня подготовки сегодняшних выпускников отечественных вузов очень напоминает самообман. Контрактная система высшего образования в условиях современного прагматизма молодых людей и катастрофически низкого уровня материальной и моральной мотивации преподавательского состава породила условия для «приобретения» не знаний, а оценок, зачетов и рейтинговых баллов с последующим «приемом» экзаменов автоматом. Как следствие, инженер-выпускник вуза зачастую не способен самостоятельно решать технические задачи не то что завтрашнего дня, но и прошлого века. Огромное количество людей, которых раньше называли опытными наставниками молодых специалистов,

сегодня либо на пенсии, либо вовсе ушли из жизни. Это свидетельствует о необходимости воспитания новых кадров, по возможности, в кратчайшие сроки, что само по себе является труднейшей задачей.

Для инженеров и вузов (откуда идут специалисты) одним из главных ограничивающих факторов является слабое знание английского языка, препятствующее интеграции в мировое инженерное и академическое сообщество. Необходимо повышать качество высшего инженерного образования, ездить на конференции, общаться, налаживать контакты и, самое главное – посылать студентов в лучшие университеты США и Европы (как это весьма активно делает тот же Китай).

Итак, **основной целью** российской электронной промышленности на ближайшее время является создание инфраструктуры для эффективного **перенимания** знаний и технологий у зарубежных разработчиков и производителей с целью последующей полноценной работы в этих направлениях.

Компонентами данной инфраструктуры должны стать:

- **сеть центров подготовки кадров;**
- **сеть дизайн-центров;**
- **центр изготовления фотошаблонов, имеющий возможность производить фотошаблоны под все виды изделий, проектируемых на территории России;**
- **некоммерческая ассоциация дизайн-центров** — единая информационная среда, призванная поддержать российских разработчиков;
- **предприятия, позволяющие осуществлять мелкосерийный выпуск современных электронных компонентов.**

В случае создания государственно-частного межотраслевого консорциума по принципу «**fabless – фотошаблоны – прототипирование**» могут быть решены некоторые особо острые из имеющихся сегодня проблем, связанных, в частности, с вопросами **безопасности страны и конкурентоспособности российских вооружений** на мировом рынке.

Естественно, что все мероприятия по созданию этих структур должны происходить на фоне модернизации имеющихся предприятий электронной промышленности, таких как «Ангстрем» или «Микрон», для которых должен быть в принудительном порядке любыми возможными способами (из цивилизованных) сформирован отечественный рынок сбыта.

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ НА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ МЕЛКОСЕРИЙНЫХ МОДУЛЬНО-КЛАСТЕРНЫХ ПРОИЗВОДСТВ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ СОВРЕМЕННОГО УРОВНЯ

Остановимся более подробно на концепции мелкосерийных производств электронной компонентной базы. Они должны обладать **гибкой технологией и небольшим объемом заказа**, ориентированным на нужды заинтересованных министерств и ведомств с использованием технологии уровня 65 нм (с дальнейшим переходом на 45 нм) на кремнии, КНИ, КНС и, возможно, гетероструктурах. Как показывает мировая практика, такое производство может быть успешно реализовано на основе **кластерного подхода**. Для этих целей следует использовать богатый опыт специалистов **НИИСИ РАН**, сумевших накопить за последние годы весьма существенный опыт в создании и эксплуатации кластерных мелкосерийных минифабов. Оценки показали, что стоимость организации такого производства может быть почти **на порядок ниже** стоимости создания крупносерийного промышленного предприятия. На **Рис.7** показана одна из возможных планировок подобной технологической линии, реализующей КМОП процесс (в приблизительном варианте).

Как известно, даже сейчас, несмотря на бурное развитие вычислительной техники и программных средств моделирования, технологические и схемотехнические модели вовсе

не дают стопроцентной гарантии того, что изготовленная схема будет работать согласно заложенным в проект требованиям. Часто случается, что допущенная схемотехническая, топологическая или технологическая ошибка обнаруживается только тогда, когда микросхема уже выпускается крупным тиражом. Это приводит к необходимости останавливать выпуск изделия и отзывать реализованную продукцию, переделывая в некоторых случаях, как минимум, несколько фотошаблонов из комплекта, видоизменяя технологический процесс и теряя при этом большое количество времени и денег. Поэтому **мелкосерийное производство интегральных схем на окончательной стадии их разработки, а именно, прототипирование изделий микроэлектроники, и является основной коммерческой задачей подобного производства.**

Другой задачей линии может стать **экспериментальная отработка и усовершенствование технологических процессов** производства новых видов изделий. В связи с этим, важной особенностью разрабатываемой линии может стать использование в комплекте метрологического оборудования ионно-лучевых установок, позволяющих производить быстрый автоматизированный анализ качества наносимых слоев, выявлять скрытые дефекты сформированных на пластине структур, обусловленные ошибками в технологическом процессе и недоступные для выявления традиционными методами анализа.

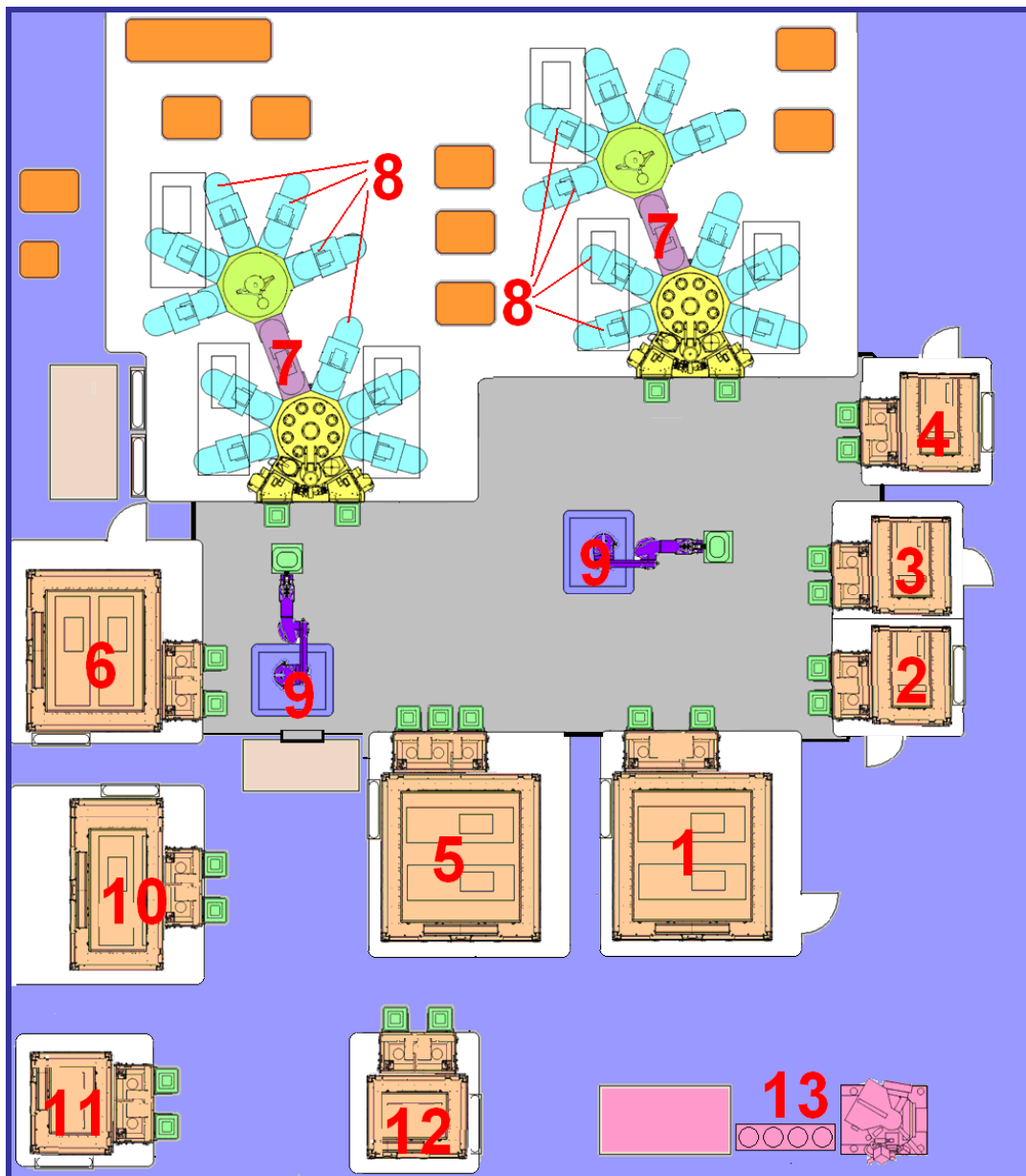


Рис.7 Возможная планировка мелкосерийной модульно-кластерной линии по производству электронных компонентов (основное технологическое оборудование)

Обозначения на **Рис.7**:

1. Установка электронно-лучевой литографии;
2. Трековая установка (нанесение и обработка резиста);
3. Установка жидкой химии (мегазвуковая и криокинетическая очистка поверхности, а также жидкостное изотропное травление);
4. Установка электрохимического осаждения металлов;
5. Установка химико-механической планаризации;
6. Установка ионной имплантации;
7. Вакуумная перегрузочная платформа;
8. Технологическая камера сухих процессов;
9. Роботизированный перегрузчик гермоконтейнеров с пластинами;
10. Электронно/ионно-лучевая установка анализа дефектов;
11. Установка контроля топологии;
12. Установка измерения критических размеров топологии;
13. Электронно/ионно-лучевая установка анализа и редактирования топологии микросхем.

Для бесшаблонного формирования изображения на полупроводниковых пластинах в составе такой технологической линейки может быть использовано высокопроизводительное электронно-лучевое литографическое оборудование. Помимо этого, в линейке должна быть предусмотрена возможность редактирования топологии уже изготовленных микросхем посредством оборудования ионно-лучевой коррекции.

Возможность осуществления бесшаблонной литографии и ионно-лучевой коррекции топологии придадут создаваемому производству необходимую гибкость и позволят успешно осуществлять выпуск пилотных партий интегральных схем, допускающих доработку в процессе изготовления, и только после проведения необходимых испытаний пилотной партии изделий делать заказ на изготовление комплекта фотошаблонов для отправки на крупносерийный кремниевый завод. Что же касается микросхем, выпускаемых сверхмалыми партиями для узкоспециальных применений (сотни штук), то в данном случае становится целесообразным и вовсе не использовать перенос изображения с фотошаблонов, обходясь лишь возможностями электронно-лучевой литографии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Модернизация, точнее **создание практически с нуля** отечественной полупроводниковой промышленности – это труднейший процесс, который потребует огромного и длительного напряжения сил как от властей, так и от отечественных бизнес-структур. К сожалению (или к счастью), **требовать безвозмездного напряжения сил от простых граждан сегодня никто не вправе, и модернизация должна проводиться современными цивилизованными методами, что значительно усложняет задачу** (ибо у России попросту нет опыта «цивилизованной модернизации» какой бы то ни было отрасли промышленности).

Сегодня в некоторых отечественных средствах массовой информации активно пропагандируется возможность некоего **«асимметричного ответа»** на вызовы, стоящие перед отечественной наукой и техникой (в том числе и военной). Утверждается, что, вложив один-другой (а, может быть, даже и третий) миллиард нефтедолларов в какие-то «исследования» (при фактическом отсутствии исследователей) или в покупку каких-то технологий (как правило, не первой свежести), можно вдруг лет через пять взять и оказаться среди индустриально развитых держав, а то и обогнать их и, что самое главное, **попутно окупить вложенные средства (!!!)**. Это не соответствует действительности и является, как минимум, профанацией. Очень жаль, но таких «чудес» не бывает в принципе.

Рассматриваемый в данной статье вариант ни в коей мере не является предложением подобного «асимметричного ответа». Скорее, здесь производится попытка обрисовать

некий минимальный комплекс мер, принятие которых, по мнению автора, может позволить отечественной полупроводниковой промышленности в какой-то степени решить стоящие перед ней **наиболее насущные** на сегодняшний день проблемы, а также создать некоторые предпосылки для **последующего постепенного вхождения** России в мировые бизнес-процессы в области микроэлектронной нанотехнологии.

Такое вхождение с наибольшей вероятностью может быть осуществлено по пути, в чем-то похожему на пройденный странами Юго-Восточной Азии: привлечение крупных фирм на отечественную территорию путем налоговых преференций, открытие совместных производственных мощностей, участие отечественных учебных, научных и промышленных центров в международной научно-производственной кооперации, стимулирование отечественного рынка микроэлектроники путем разворачивания отечественного **аппаратного производства гражданского назначения**. Тогда, возможно, лет через 15-20 и появится у нас относительно приличная **отечественная** электронная промышленность, способная встать в один ряд с компаниями зарубежных стран. При этом от государства потребуются **огромные организационные и финансовые усилия**, но деваться, по всей видимости, некуда.

В КАЧЕСТВЕ ДОПОЛНЕНИЯ

В качестве дополнения к статье прилагаются два видеоролика, иллюстрирующие сегодняшний уровень отечественного и зарубежного полупроводникового производства (соответственно, зеленоградский «Ангстрем» и полупроводниковая фабрика фирмы IBM в городе Ист Фишкилл (США, штат Нью-Йорк), выпускающая продукцию под проектные нормы 45 нм). Читателю предлагается почувствовать разницу и оценить масштабы отечественного технологического отставания. При просмотре видеоролика про отечественный завод можно обратить внимание на монохромные трубчатые мониторы на панелях управления диффузионными печами 20-летней давности (кстати говоря, импортными).

ЦИТИРУЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Модернизация России как построение нового государства, Независимый экспертный доклад, М., ИНСОР, 2009
2. Medea+, The European Semiconductor Industry: 2005 Competitiveness Report
3. <http://www.asml.com>
4. СТЕНОГРАММА Совещания Межфракционного депутатского объединения "Наука и высокие технологии" совместно с Комитетом по образованию и науке и Комитетом по промышленности, строительству и наукоемким технологиям на тему: "Состояние и перспективы развития полупроводниковой электроники в России", Международный научный журнал "Экология-XXI век", №1-2 (25-26), 2005
5. Ю.И. Борисов Радиоэлектронный комплекс – экономике России, Научно-техническая конференция предприятий радиоэлектронного комплекса, Ростов-на-Дону, 2006
6. А.А. Ивлев Основы теории Бойда. Направления развития, применения и реализации, М., 2008
7. <http://www.fasi.gov.ru/fcp/electro/>