

К. т. н. А. А. МЕРЖВИНСКИЙ

Дата поступления в редакцию
13.09 1999 г.

Украина, г. Киев, Ин-т кибернетики им. В. М. Глушкова НАНУ

МОДЕЛЬ ИНДУСТРИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Разработана модель организации производства интегральных микросхем. Высказаны соображения по организации такого производства в Украине.

Известные процессы перестройки экономики и достижения ведущих электронных фирм привели к сокращению выпуска интегральных микросхем (ИМС) в странах СНГ, в т. ч. на Украине. Вместе с тем анализ показывает, что полное прекращение собственного производства ИМС в Украине следует считать недопустимым [1].

Разработка и производство микросхем обеспечиваются научными и производственными предприятиями с отличающимися друг от друга технологическими процессами, структурой и связями [2]. Для анализа таких систем обычно используются модели DF (поток данных), ER (сущность — связь) и др. [3]. Известны модели [4, с. 71; 5], в которых предприятие может быть представлено как «производственная система» (ПС), осуществляющая на основе определенных технологических операций преобразование входных объектов в выходные. В общем случае деятельность ПС можно отобразить шестью потоками — материалов, оборудования, рабочей силы, заказов, денежных средств, информации.

Представляется целесообразным разработать модель [6] *индустрии ИМС*, отражающую эти потоки и позволяющую определить возможные структуры производств.

Модель производственной системы

Современное производство ИМС как реальный объект представляет собой многоуровневую иерархическую систему компьютеризированных производственных, аппаратно-технологических и других модулей.

Для построения иерархической модели производства ИМС в качестве структурообразующей «единицы» введем понятие *модуль «ПС»* (рис. 1), отражающее основные функции производственной системы (либо ее подсистемы). Входные и выходные объекты могут быть материальными (предметы труда, персонал) либо информационными (данные, знания, финансы и др.). Здания и сооружения для упоминания не показаны.

Суть понятий на рис. 1 может быть определена следующим образом.

«Технологический процесс (ТП)» отображает процесс преобразования входных объектов в выходные продукты (например, кристаллы ИМС) под влиянием технологических воздействий.

Понятие «Оборудование» отображает совокупность взаимодействующих технических средств обеспечения ТП, в т. ч. накопительные системы (камеры, склады). Конкретное технологическое оборудование включает *материальную* компоненту (связанную с воздействием на материальные объекты) и *информационную* (hardware + коды software).

Персонал при изготовлении ИМС с компонентами ТП непосредственно не взаимодействует. Влияние финансовых и других стимулов работы в модели на рис. 1 учтено с помощью понятия «мотивация деятельности обслуживающего персонала».

«Технологический процесс» может быть представлен математической моделью, основу которой может составлять, например, описание процесса преобразования *облика* входных объектов в выходные под влиянием технологических воздействий с учетом свойств объекта.

Входные данные — это описание топологии слоев изготавливаемой ИМС, режимов изготовления ИМС, критерии управления. По входным данным (задаваемым или измеряемым) software может формировать предсказываемые значения параметров процесса и обрабатываемого объекта.

Software может содержать машинные модели функционирования оборудования и формирования технологических воздействий, а также базу знаний данной области, обеспечивающую возможность эффективного взаимодействия персонала и управляемого процесса.

Таким образом, в элементах структуры на рис. 1 можно отметить существование следующих моделей:

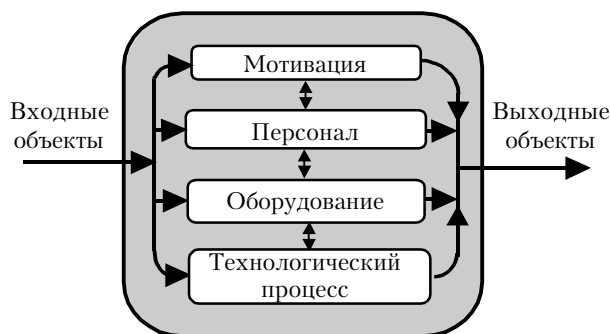
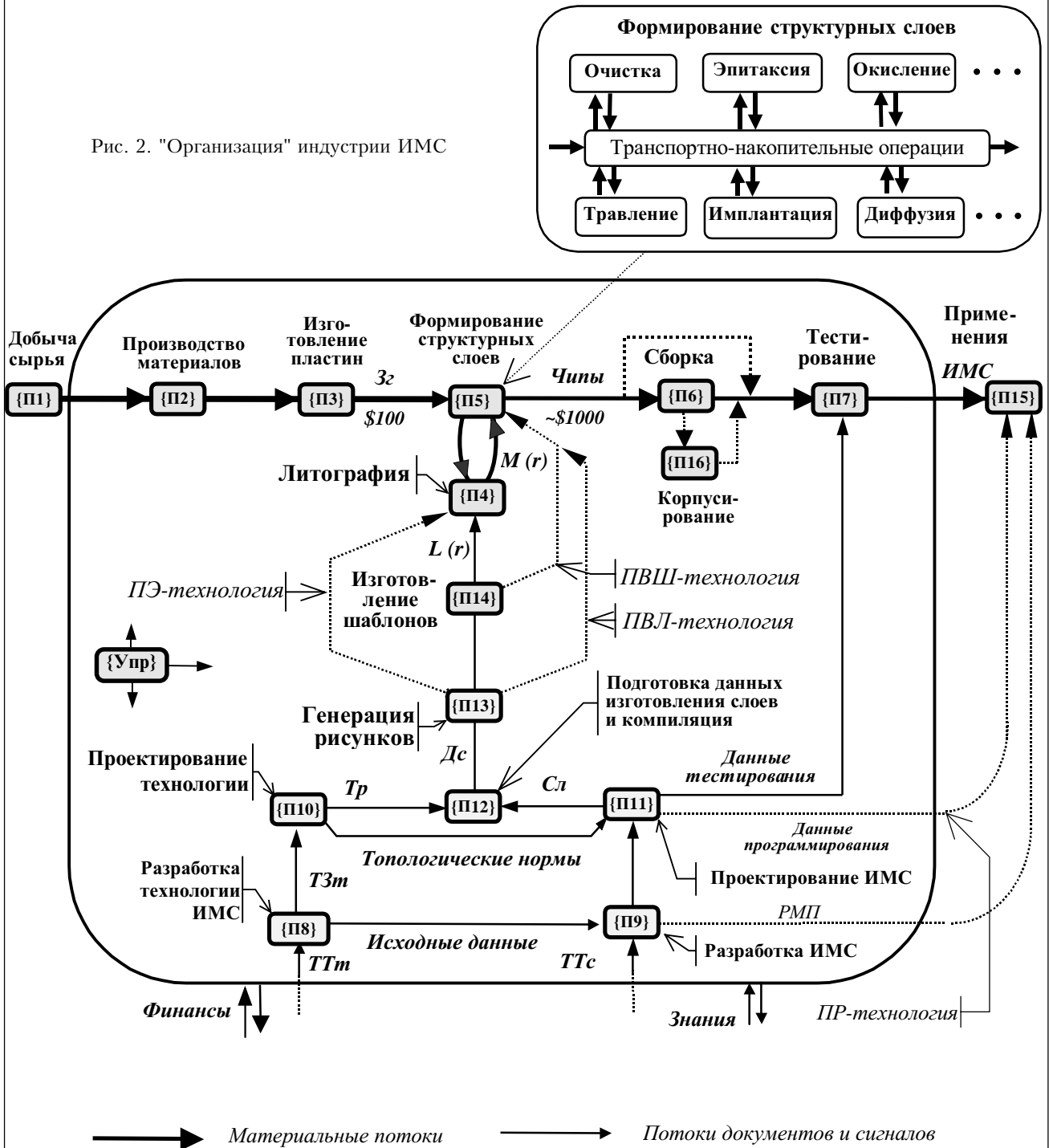


Рис. 1. Модель производственной системы

Рис. 2. "Организация" индустрии ИМС



{П1}...{П3} — множества процессов, реализуемых в ПС (предприятиях, участках) по добыче сырья, производству материалов и изготовлению исходных пластин; {П4} — литография; {П5}, {П6} — формирование структурных слоев; резка кристаллов и корпусирование; {П7} — процессы тестирования; {П8}, {П9} — предпроектные исследования возможности создания новой технологии и нового класса ИМС; {П10} — процессы разработки нового ТП с помощью «САПР технологии»; {П11} — процессы разработки конкретной ИМС с помощью «САПР топологии»; {П12} — процессы подготовки данных управления формированием топологического слоя; {П13}, {П14} — процессы изготовления шаблонов слоев; Z_g — заготовки; $TТm$, $TТc$ — технические требования на новые ТП и ИМС; $Tр$ — данные типовых режимов изготовления; $Cл$ — описания схемы на языке описания топологии слоев ИМС; $Dл$ — данные формирования слоев и режимов управления на входном языке генератора рисунка структурного слоя топологии ИМС; $L(r)$, $M(r)$ — топология изображения и маски слоя ИМС, $TЗс$, $TЗm$ — технические задания на разработку ИМС и ТП; $РМП$ — руководящие материалы по применению

— модель реально протекающего ТП преобразования входного объекта в выходной;

— "расчетная" модель в виде кодов software на основе некоторой идеализированной модели ТП (в объекте «Оборудование»);

— "желаемая" модель ТП, отражающая замысел технологической операции (в простейшем случае — технические требования).

Все три модели сосуществуют в сознании оператора или разработчика ТП, и рассогласования между ними — управляющие воздействия при отладке ТП. Специальные знания *технологов* о методах ТП могут быть реализованы в виде кодов *software* системы управления ТП. Рассогласование между реальными (или измеренными) и расчетными параметрами может использоваться для управления исполнительными механизмами с помощью некоторой модели управления, например RSM-модели [7].

“Организация” индустрии ИМС

Планарная технология предусматривает сотни последовательных операций по формированию структурных слоев ИМС, достаточно подробный состав которых приведен в [8]. Каждой *i*-й операции может быть поставлена в соответствие ПС_{*i*}, которая может быть описана структурной единицей на рис. 1. Характерные подмножества ПС, ассоциирующиеся с доминирующими, могут быть агрегированы в иерархические модели ПС, каждая из которых, очевидно, также может быть представлена моделью на рис. 1.

Воспользуемся подходом, при котором сложная система представляется в виде “организации”, понятия более высокого ранга, чем структура [6, с. 15]. “Организация” в смысле [6] — модель, на основе которой могут строиться конкретные системы. В нашем случае “организацию” индустрии ИМС удобно представлять в виде гиперграфа, в узлах которого находятся множества {ПС}, а ребра отражают соответствующие информационные и материальные потоки.

Анализ показывает, что независимо от физических механизмов выполнения основных технологических операций существенными факторами структурообразования ТП являются применение фото- и электронных резистов и способы формирования слоев ИМС. Тогда “организацию” индустрии (в смысле [6]) можно представить как на рис. 2.

Синонимами имен узлов {П1}, ..., {П14} являются названия ТП верхнего уровня. Входы и выходы помечены именами входных и выходных объектов соответствующих ПС. Пример структуры модуля П5 приведен на выноске.



ПС (на рис. 2), объединяя персонал и оборудование, могут образовывать *финансово-промышленные группы*. {Упр} — управляющие структуры, в алгоритмы которых заложены "плановые" либо "рыночные" механизмы и механизмы, определяющие мотивацию деятельности {ПС}.

Технологическая задача — формирование с высокой точностью структурных слоев ИМС — в современных ПС достигается применением адаптивных алгоритмов управления, при которых измеряются как отклонения технологических режимов процессов в каждой ПС, так и отклонения параметров выходных продуктов. Обратные связи внешнего контура управления процессом обычно замыкаются через ПС подготовки данных {П13}, т. к. в ней задачи коррекции искажений структурных элементов слоя в последующих процессах [9] могут быть решены программно путем предыскажения топологии слоя ИМС либо изменением расчетных параметров режимов ТП.

Объединяя элементы модели на рис. 2, можно получить новую модель — обобщенный графический "образ" индустрии ИМС (рис. 3), которая может использоваться для определения понятия «индустрия ИМС» и интерпретации индустрии ИМС как объекта базы знаний (И_{инд} = {ИМС & ТТс & ТТт & Материальные компоненты}).

Модель индустрии ИМС, в которой «мотивом» взаимодействия с заказчиком является «величина счета в банке», включает потоки «Заказы» (Заказ = ТТс & ТТт & Финансы), «Персонал» требуемой квалификации и «Знания» в той или иной форме (рис. 3, б).

"Организация" индустрии ИМС, приведенная на рис. 2, может быть применена для классификации технологий изготовления. В зависимости от вхождения ПС в цепочку изготовления ИМС могут быть выделены следующие структурные категории технологий.

III-технология (при изготовлении ИМС выполняют ТП ПС 13, 14, 4–7). В этом случае предполагается изготовление *шаблона* путем последовательной генерации элементов топологии с помощью узконаправленного фотонного или электронного пучка. Перенос рисунка топологии с шаблона на пластину осуществляется параллельным способом. При этом обеспечивается наибольшая производительность, но ограничивается номенклатура ИМС — в связи с громоздкостью "шаблонного хозяйства".

При *ПЭ-технологии* или технологии *прямого экспонирования* исключается изготовление шаблонов в П14,

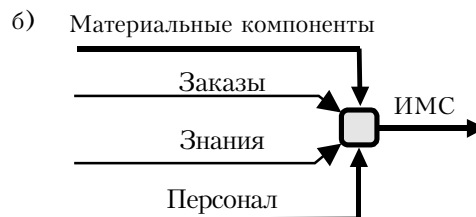


Рис. 3. Макроструктура индустрии ИМС:
а — упрощенная; б — полная

Сравнительные характеристики технологий изготовления ИМС

Назначение технологии ИМС	Основные признаки технологий						
	Число индивидуальных слоев ИМС	Величина партии пластин	Количество типов ИМС	Длительность ТП	Адаптивность технологии	Время совершенствования	Выходной продукт
Массовое производство	Все топологические слои (до 16)	Большая	Небольшое	Месяцы, недели	Жесткая* (номинальные технологические режимы)	Годы	Товар
Производство полузаказных и заказных ИМС	2–3 (слои межсоединений); все	Малая или большая	Большое	Дни	Гибкая (индивидуальные режимы)	Месяцы	Добавленная стоимость
Производство специальных ИМС	Различное	То же	Небольшое	Дни	Жесткая, гибкая	Различное	Товар
Программирование структуры ИМС	Нет	Используется готовая ИМС	Единичный	Минуты	—	Отработанная технология	Услуга

* Ведутся разработки ПС на основе технологий GaAs с производственным циклом в 1–2 недели [9].

вследствие чего сокращается цикл изготовления ИМС. Формирование данных генерации рисунка по данным топологии слоя и технологии осуществляется с учетом особенностей формирования скрытого изображения на пластине (нелинейные искажения генератора рисунка, рассеяние электронов при электронно-лучевом экспонировании), а также процессов проявления и последующих технологических воздействий (усадка, подтравы). Основным недостатком ПЭ-технологии — снижение производительности при увеличении количества топологических элементов в слое.

ПВ-технология основана на прямом воздействии на обрабатываемый слой *точечного* или *модулированного шаблоном* потока энергии, кластеров вещества, либо на *массопереносе*.

Для формирования точечных потоков фотонов, электронов, ионов, кластеров используются экраны с субмикронными отверстиями либо игла с нанометровым размером острия. Созданию оборудования *массопереноса* в значительной степени способствовало развитие туннельной микроскопии.

Метод отличается низкой производительностью, обусловленной малой скоростью процессов стимулированного осаждения (аддитивные процессы) или травления, сублимации (субтрактивные процессы).

БК-технология (*бескорпусная* технология) предусматривает сборку и герметизацию чипов ИМС на этапе применения.

Отметим на рис. 2 также цепочку *ПР-технологии* (программирование структуры), при которой на этапе применения ИМС программируются соединения между ее элементами путем записи определенных кодов в специальные ячейки памяти. Данные проектирования конкретной схемы поступают в П15, обеспечивая самый короткий цикл изготовления ИМС (например, ПЛИС).

Основные характеристики индустрии ИМС — *капитальные вложения, рентабельность, цикл реинвестиций* [10], *совокупный продукт* — ИМС (электронные, оптические, оптоэлектронные), знания, полученные в результате исследований.

Другими характеристиками собственно индустрии являются:

- *Топологические нормы* ТП, определяющие размеры элементов и расход материалов, параметры и стоимость интегральных схем.

- *Технический потенциал* — наличие результатов мирового уровня, know-how, изобретений, патентов, стандартов.

- *Гибкость* — способность перестраиваться в соответствии с условиями функционирования.

- *Согласованность с окружением*, характеризуемая такими факторами:

- потребность в ИМС на доступном рынке;
- согласование производительности центров проектирования {П10} с потоком заказов на проектирование;
- наличие в стране необходимых специалистов;
- финансовые возможности инвесторов;
- обеспеченность законодательством (выходные продукты {П1}...{П7} могут несколько раз пересекать таможенные границы).

- *Целостность технологических цепочек* создания ИМС, определяющая техническую независимость. В условиях международного разделения труда трудоемкие операции, связанные с индивидуальной обработкой кристалла и изготовлением спецоснастки (например, сборка ИМС или тестирование), выполняются в странах с меньшей стоимостью труда.

- *Технические характеристики* (см. **табл. 1**).

Создание ПС требует не только инвестиций и современных средств проектирования, но и некоторой *производственной и научной среды* (**рис. 4**).

При определении категорий производств существенно оказывается соотношение затрат на создание *технологии и самих ИМС* и отношений *заказчик — разработчик — изготовитель — пользователь*.

ИМС общего применения создаются с учетом тенденций развития данного типа схем и производятся *независимо от частных требований заказчиков*. Их разработка — результат как многих исследований, так и

ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

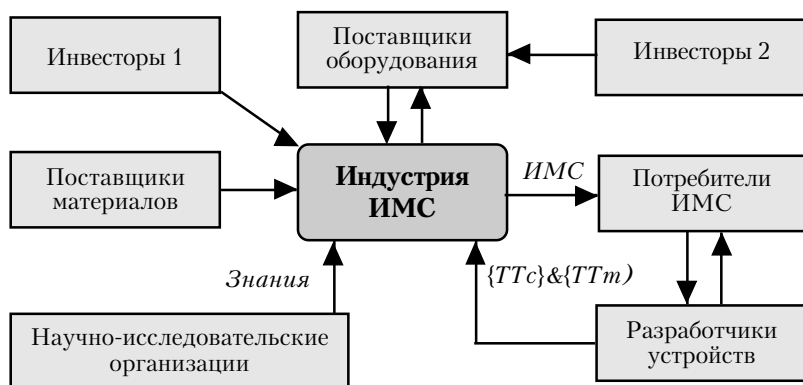


Рис. 4. Связи индустрии ИМС с окружением

изобретений отдельных схемотехников, технологов. Движущей силой являются *идеи полезности* таких схем (интеллектуального продукта, который может быть создан вне ПС индустрии ИМС, например в вузах или институтах Академии наук); прибыль же зависит от совершенства методов реализации этих идей в конкретном ТП. Процесс может быть стимулирован решением об инвестициях (например, управленческими структурами финансово-промышленных групп).

Низкая себестоимость таких ИМС, как правило, обеспечивается высокой производительностью оборудования и высоким процентом выхода годных изделий.

Заказные ИМС частного применения. При их изготовлении получение прибыли обеспечивается производством и реализацией устройств, в которых они применяются. Заказчика интересуют заданные им функции (реализуемые, желательно, по *отработанным* технологиям), цена и сроки создания. *Заказная* схема может быть изготовлена на базе стандартных ячеек, элементов электрической схемы или индивидуально.

Сокращение сроков проектирования достигается применением технологий ПЭ, ПР, а также технологии «финишных слоев». Архитектура конкретной схемы в последнем случае определяется верхними слоями межсоединений, и число циклов {П4} – {П5}, определяющих тип ИМС, сокращается.

При проектировании заказных ИМС последние могут макетироваться на одной или нескольких программируемых ИМС с последующими испытаниями в составе устройства и автоматической трансляцией электрической схемы в описание структуры кристалла в {П12}. Сокращение сроков также достигается применением технологий ПЭ, ПР.

Увеличение производительности генераторов рисунков {П13} и совершенствование литографии позволили реализовать технологии «сложная схема на нескольких чипах» и «много заказчиков на одной пластине».

Роль связей П9 → П15. Обеспечение подробной технической информацией на этапе разработки ИМС определенной группы разработчиков устройств и систем, с одной стороны, и создателей ИМС о потенциальных потребностях в ИМС, с другой, — существенный фактор их победы в конкурентной борьбе благодаря возможности улучшить характеристики изделий за счет более совершенных характеристик применяемых ИМС и, одновременно, возможности сбыта.

Такая технология предпочтительного сотрудничества вытекает из международного права на интеллектуальную собственность.

Производственные системы изготовления ИМС

Системы массового производства ИМС высокой степени интеграции — весьма капиталоемкое производство на основе Ш-технологии. Литография выполняется с помощью фото- или рентгеновских шаблонов. Номинальные режимы определяются в течение длительного процесса оптимизации ТП по величине процента брака.

В жизненном цикле уже разработанной ПС можно выделить три стадии [11]:

“Опытная стадия (pilot stage)”, когда сделаны основные капитальные вложения и получены первые партии пластин, определяющие экономический успех проекта.

“Быстрый цикл (fast cycle)” — стадия, на которой необходимые технологические блоки интегрированы в единую систему и процесс уже “молотит”, но еще “выманивает деньги” (“ramped”).

“Стадия совершенства (mature)” — на этой стадии достигнуто высокое качество продукции, высоки объем производства и экономические показатели.

В ПС используется разнотипное оборудование многих фирм, которое окупается при эксплуатации в три смены семь дней в неделю.

Системы производства ИМС частного применения. Оборудование и ТП таких производств разрабатываются обычно комплексно. Широкие потребности изготовителей устройств информатики в заказных ИМС привели к созданию гибких ПС, отличающихся модульностью построения, технологией чистых “коридоров”, а не “комнат”, малыми размерами технологических реакторов, интеграцией процессов на основе многокамерного оборудования, индивидуальной обработкой пластин, коротким циклом изготовления и др.

Характерной является разработанная фирмой *Texas Instrument* компьютеризированная фабрика для производства заказных СБИС [12], основные данные которой приведены в **табл. 2**. Система управления включает в себя аппаратные и программные средства SPARCstation2 и SPARCstation IPC, сеть Ethernet, ОС UNIX, распределенную архитектуру “клиент — сервер”.

Специальное производство отличается оригинальной технологией, связанной с физическим механизмом функционирования ИМС (например, опти-

Характеристики индустрии производства ИМС

Класс ИМС и ПС	Характеристики производственных систем							
	Размер пластин, мм	Топологические нормы, мкм	Степень интеграции, компонентов	Производственный цикл	Структура технологической линии	Производительность	Помещение ПС (класс чистоты)	Стоимость ПС, дол. США
Массовое производство ИМС	200	0,2; 0,35	До 10 000 000	1—3 месяца	Смешанная конфигурация оборудования	~20000 пластин/мес	1—10	~ 500 млн.
Производство полузаказных и заказных ИМС	100—150; 30	0,3; -1,5 >500000 вентиляей	До 1 000 000	5—15 дней	Вакуумные модули + чистые "коридоры"	100—1000 пластин/мес	1000	30—50 млн.
Производство специальных ИМС	Объекты произвольной формы	0,1—2; 5	~100 000	В зависимости от изделия	Комбинированная	Различная	10—1000	до 30 млн.
Программирование структуры ИМС	Используется готовая ИМС	>25000 вентиляей	Используется готовая ИМС	Минуты	ПЭВМ; встроенное в ИМС оборудование	Приемлемая	100 000	20—30 за штуку, САПР — ~ 3 тыс.

ческие, оптоэлектронные, акустоэлектронные ИМС, изделия микромеханики, многокристальные платы, датчики и др.).

При ПР-технологии используется готовое изделие, которое может изменять свою структуру в результате программирования схемы: а) с помощью специального оборудования; б) с помощью встроенных непосредственно в ИМС средств программирования (последние снабжены интерфейсом, допускающим подключение к системной шине микропроцессоров).

Отметим также, что рынок заказных ИМС с *непредельными степенью интеграции и быстродействию* по мере совершенствования ПР-технологий естественно переходит к производителям ИМС общего применения — *программируемых ИМС*.

Отметим особенности и проблемы создания ПС ИМС.

Потребительские свойства ИМС — быстродействие и функциональные возможности — определяются *структурными элементами* кристалла [13]. Традиционные пути совершенствования последних:

- уменьшение предельных размеров элементов, увеличение проводимости соединений, применение гетероструктур;

- увеличение степени интеграции;

- применение фотонов вместо электронов для переноса информации *между* ИМС и даже *внутри* ИМС.

Для технологий современных скоростных оптоэлектронных систем характерным является:

- применение новых материалов (A_3B_5 и др.) и необходимость интеграции кремниевых и арсенид-галлиевых технологий [14];

- внедрение технологических норм, меньших *четверти* используемой *длины волны* (для волн 0,82, 1,31 и 1,55 мкм нормы должны быть соответственно 0,2—0,38 мкм);

- усложнение сборки {П6} из-за необходимости юстировки оптических соединений.

Субмикронные и нанометровые размеры в горизонтальной плоскости достигаются, как известно, применением таких технологий, как *электронно-лучевая, рентгеновская* и др. При освоении этого диапазона размеров элементов в технологии завершается переход от простого масштабирования к резкому *усложнению моделей управления*. При этом требуется учет все более тонких *механизмов взаимодействия* обрабатываемого объекта и компонент ТП для коррекции возмущающего действия различных факторов на точность изготовления структур с такими малыми размерами. Поэтому ключевым оборудованием становится не только высоковакуумное оборудование {П4}, но и оборудование компиляции {П12} и *генераторы рисунков* ИМС {П13}, производительность которых определяет возможности коррекции ТП и характеризуется высокой скоростью передачи потока данных экспонирования (~1 Гбит/с).

Применительно к вертикальной интеграции структурные слои новейших ИМС характеризуются уже не толщиной в мкм пленки некоторого вещества, а количеством определенных атомов. Управление формированием таких структур на установках эпитаксии осуществляется компьютерными системами, в алгоритмах которых реализованы модели ТП эпитаксии.

При расстояниях между проводниками менее 50 нм существенно квантовое взаимодействие между ними, и радикально изменяются механизмы работы. Приборы на наноструктурах реализуются на основе методов ПВ-технологии.

Новейшие технологии предполагают хранение и обработку информации уже внутри молекулы вещества, и к указанным проблемам добавляется необходимость локального управления химической реакцией.

Своевременная разработка новых технологий и достаточной номенклатуры новых ИМС — необходимое условие конкурентоспособности. Особенностью создания новых ПС является известный факт, что они могут стать действующими только в ре-

зультате *некоторой эволюции от простой системы к сложной*.

Цикл создания технологий включает время выполнения фундаментальных физико-технологических исследований, поисковых НИР, патентных работ и может составлять 10–15 лет, что намного больше циклов смены выпускаемых изделий (~ год), оборудования (~2–3 года), реинвестиций (2,5–4 года).

Указанные циклы по длительности соизмеримы с фазами развития экономики — структурными изменениями, изменениями рыночных форм, денежных структур (10–20 лет).

До последнего времени разработкой оборудования занимались специальные предприятия либо крупные фирмы — производители ИМС. Однако в связи с тем, что стоимость основных средств П4, П5, П13, П14 сегодня достигла *нескольких сотен миллионов долларов* (для субмикронных технологий), поставщики оборудования уже ставят вопрос о целесообразности передачи предприятиям ИМС не оборудования, а услуг по изготовлению пластин ИМС и самих ИМС.

С другой стороны, истоки создания современных массовых ИМС могут быть в институтах, занимающихся разработкой программного обеспечения. Например, коллективом под руководством академика Б. А. Бабаяна (Москва) закончена логическая разработка микропроцессора «Эльбрус-2000». Этот микропроцессор при 0,18 мкм технологии в 1,5 раза быстрее интеловского Merced [15]. Результат достигнут благодаря опыту в разработке компиляторов кодов для зарубежных микропроцессоров, а также микропроцессоров серии «Эльбрус». По оценке акад. Б. А. Бабаяна, требуемые для промышленного освоения инвестиции составляют ~ \$ 40 млн. В России, однако, нет технологической базы, позволяющей выпускать этот микропроцессор, и его разработчики на приемлемых условиях готовы воспользоваться услугами любой фирмы, имеющей такую технологию.

Из изложенного следует, что производство ИМС *любых классов* могут себе позволить *единицы элитарных стран*; остальные страны (в пределах упомянутых циклов исследований и фаз перестройки экономики) не могут быть технически независимы

В заключение

В табл. 3 схематично изложен концептуальный взгляд на важнейшие атрибуты программы создания индустрии производства ИМС.

Парк оборудования производства ИМС в Украине нуждается в замене или модернизации. Вероятность инвестиций в Украину извне сотен миллионов долларов для приобретения новейших производственных систем для изготовления ИМС массового применения — невелика, как и вероятность эволюции существующих ПС к современному уровню — даже при талантливых специалистах и организаторах.

В сложившейся ситуации естественно пользоваться услугами предприятий, имеющих действующие технологические линии и успехи в области создания процессоров, схем памяти, чип-сетов, программируемых ИМС. Ими могут быть «Интеграл» (Минск), «Электроника» (Воронеж), международные корпорации «Intel», «Motorola». Необходима интеграция в международные структуры для обеспечения поставок ИМС, столь же надежных, как поставки нефти.

С учетом изложенного ранее собственные инвестиции в Украине целесообразно направить на относительно менее капиталоемкие технологии изготовления *заказных и специальных* ИМС. В Китае, например, была импортирована, а затем развита технология ASIC, в результате чего в настоящее время там существуют десятки центров проектирования заказных СБИС [16].

Как было показано, предпосылки стать конкурентоспособными есть у современных технологий изготовления устройств на новых физических принципах и с минимальными размерами элементов.

Таблица 3

Атрибуты процесса восстановления производства ИМС

Атрибуты ПС	Класс производственной системы			
	Массовое производство ИМС	Производство заказных ИМС	Производство специальных ИМС	Кодирование структуры ИМС
Характерная цель создания	Создание рабочих мест, конкурентоспособных ИМС и получение прибыли	Обеспечение параметров разрабатываемых устройств	Обеспечение специальной элементной базой	Обеспечение разработок новых устройств
Головные исполнители	Совместные предприятия с иностранным основным капиталом	Крупные совместные предприятия	Отраслевые государственные и частные предприятия	Предприятия любых типов
Основные инвесторы	Зарубежные, отечественные	Отечественные, зарубежные	Отечественные, зарубежные	Отечественные
Способ обеспечения оборудования	Поставка зарубежного оборудования	Разработка либо закупка	Модернизация, самостоятельная разработка	Закупка за рубежом САПР
Основание для проведения работ	Стратегическое решение правительства			Решение предприятия

Технологический прорыв более вероятен в областях, в которых имеются научные заделы. В Украине можно выделить работы по субмикронным технологиям и оптоэлектронике, выполненные ранее в НПО «Сатурн» и Институте кибернетики им. В. М. Глушкова НАНУ, НИИ Микроприборов, по СВЧ-приборам в НИИ «Орион», позволяющие создать конкурентоспособное поколение микросхем гигагерцевого и оптического диапазона.

В США разработка оборудования и технологии заказных СБИС осуществлялась по заказам Министерства обороны. Должно ли наше государство (Правительство, Верховный Совет) самоустраняться от решения этой проблемы? По мнению автора, определенное выше понятие *индустрии ИМС* должно быть субъектом законодательства; политическое же решение может быть найдено, например, на основе инновационной теории известного украинского экономиста М. И. Туган-Барановского и концепций стратегии экономического развития в переходный период Н. А. Павловского [17].


Промышленная политика может быть направлена на образование на основе ПС (см. рис. 2) прибыльных микроэлектронных финансово-промышленных групп (на основе, например, НИИ Микроприборов в г. Киеве). В рамках такой политики должны быть выбраны цели создания индустрии производства ИМС, пути обеспечения оборудованием и льготы при функционировании.

Проблемы восстановления индустрии ИМС стратегически настолько важны, что исследования, взаимодействие с ведущими производителями, создание САПР технологии и ИМС, обеспечение технологическим оборудованием целесообразно производить не только на основе самофинансирования каких-то проектов, но и централизованно — может быть, пропорционально средствам на оборону.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Борщ Н. И., Репях А. П. Пути развития элементной базы для РЭА в современных условиях // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. — 1997. — №2. — С. 3–5.
2. Мерзвинский А. А. Альтернативы развития производства микросхем в Украине // *Информатизация та нові технології*. — 1996. — № 2. — С. 9–12.
3. Кутанов А. Т., Юдицкий С. А. Комплекс моделей компьютеризированной системной инженерии (CASE-

- технологий) // *Автоматика и телемеханика*. — 1995. — № 1. — С. 174–187.
4. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия. *Индустриальная динамика*. — М.: Прогресс, 1971.
5. Литюшкин В. В. Модели производственных систем // *Приборы и системы управления*. — 1994. — № 4. — С. 45–47.
6. Молчанов А. А. Моделирование и проектирование сложных систем. — К.: Вища школа, 1988.
7. Sharad Saxena and Amy Unruh. Diagnosis of semiconductor manufacturing equipment and processes // *IEEE Transaction on Semiconductor Manufacturing*. — May 1994. — Vol. 7, N 2. — P. 220–232.
8. Черняев В. Н. Технология производства интегральных схем и микропроцессоров. — М.: Радио и связь, 1987.
9. Мерзвинский А. А., Осинский В. И., Коржинский Ф. И. Структура комплекса задач управления электронно-литографическим процессом и современные концепции их решения / Сб. мат-лов 6 междунар. крымской конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», Севастополь, 16–19 сентября 1996. — С. 447–451.
10. Бубенников А. Н., Бубенников А. А. Техноэкономика в производстве наукоемких продуктов микроэлектроники // *Электроника: Наука, Технология, Бизнес*. — 1997. — № 6. — С. 49–54.
11. Krishna S. Saraswat, Pushkar P. Aple, Leonard Both et al. Rapid thermal multi processing for a programable factory for adaptable manufacturing of IC'S // *IEEE Transaction on Semiconductor Manufacturing*. — May 1994. — Vol. 7, N 2. — P. 159–173.
12. John McGehee, John Hebley and Jack Mahabley. The MMST computer integrated manufacturing system framework // *Ibid.* — P. 107–117.
13. Деркач В. П. Состояние и важнейшие тенденции в развитии элементно-технологической базы ЭВМ // *УСиМ*. — 1987. — № 6. — С. 61–70.
14. Осинский В. И., Олексенко П. Ф., Палагин А. В. и др. Проблемы интеграции структур гетероэлектроники с кремниевыми ИС // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. — 1999. — № 1. — С. 3–17.
15. «Эльбрус-2000». Интервью с Бабаяном Б. А. // *Электроника: Наука, Технология, Бизнес*. — 1999. — № 1. — С. 3–5.
16. *Электронная промышленность за рубежом*. — М.: Прогресс, 1988.
17. Павловский М. А. Макроекономіка перехідного періоду: Український контекст. — К.: Техніка, 1999.

в портфеле редакции	в портфеле редакции	в портфеле редакции	в портфеле редакции
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Автоматизированный монтаж кристаллов мощных транзисторов вибрационной пайкой. Л. П. Ануфриев, В. Л. Ланин, А. Ф. Керенцев, А. М. Иваиш (Белоруссия, г. Минск) ➤ Система диагностирования машинного оборудования. Э. А. Дмитриев, С. В. Емельянов (Украина, г. Одесса) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Устройство для очистки и легирования поверхности полупроводника. А. В. Иващук, В. П. Кохан (Украина, г. Киев) ➤ Особенности применения напыленной фольги для алюминиевых электролитических конденсаторов. Г. Ф. Гордиенко, А. И. Стрелецкий, Г. В. Трифонова (Украина, г. Хмельницкий) 		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Устройство для очистки и легирования поверхности полупроводника. А. В. Иващук, В. П. Кохан (Украина, г. Киев) ➤ Особенности применения напыленной фольги для алюминиевых электролитических конденсаторов. Г. Ф. Гордиенко, А. И. Стрелецкий, Г. В. Трифонова (Украина, г. Хмельницкий)
в портфеле редакции	в портфеле редакции	в портфеле редакции	в портфеле редакции