

УДК 681.3

## ИНТЕГРИРОВАННОЕ ПРОИЗВОДСТВО СВЕРХБОЛЬШИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

А.М. СУХОДОЛЬСКИЙ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 19 декабря 2003*

В статье рассматриваются основные направления автоматизации производства интегральных схем. Предлагаются принципы построения интегрированных производственных систем. Рассматриваются ключевые задачи применения информационных технологий в производстве интегральных схем.

*Ключевые слова:* сверхбольшие интегральные схемы, интегрированное производство.

### Введение

Основным направлением развития микроэлектроники является повышение степени интеграции на одном кристалле и увеличение диаметра обрабатываемых пластин, что позволяет минимизировать себестоимость микросхем и одновременно наращивать их функциональные возможности. Создание таких изделий обеспечивается новейшими технологическими процессами производства СБИС и специальным оборудованием. Однако увеличение интеграции и уменьшение размеров ведет к повышению сложности процессов обработки.

В этих условиях особую важность приобретает увеличение выхода годной продукции и уменьшение длительности технологического цикла путем автоматизации производства. Автоматизация производственных процессов позволяет существенно снизить стоимость СБИС, однако при этом необходимо не просто автоматизировать работу отдельных единиц оборудования и систем, а осуществить комплексную автоматизацию, обеспечивающую оптимальное управление каждой стадией технологического процесса, хранение важных параметрических данных производственных линий и оборудования, которое позволяет быстро осуществить анализ состояния производства, на основе интеграции систем автоматизированного проектирования, управления и контроля качества.

Анализируя проблемы, стоящие перед микроэлектроникой, можно сделать вывод, что высокая эффективность интегрированных производственных систем (ИПС) может быть обеспечена только в результате обоснованного выбора всего комплекса средств и организации их четкого взаимодействия в ходе производственного процесса. Несоблюдение этих условий ведет к снижению экономических показателей производства в целом.

Разработки последних лет в области комплексной автоматизации обеспечивают создание глобальных систем, охватывающих все стороны производственной деятельности. При этом наблюдаются следующие тенденции:

- переход от монолитных систем к ИПС модульно/кластерной структуры;
- повышение степени "интеллектуальности" (использование систем технического зрения, алгоритмов адаптивного управления и т.д.);

усиление учета взаимосвязей производственного процесса в целом и переход к реализации концепции "интегрированного производства".

ИПС способны значительно повысить производительность, снизить накладные расходы и расходы на рабочую силу, существенно сократить затраты на материалы вследствие увеличения выхода годных изделий и снижения процента неисправимого брака, обеспечить более высокую гибкость благодаря уменьшению общей продолжительности подготовительно-заключительных операций, повышению качества продукции и снижению уровня материально-технических запасов, значительно уменьшить сроки проектирования и освоения новых изделий.

При этом предполагается совместное решение экономических и технологических задач на всех этапах проектирования системы и охват всех аспектов подготовки и реализации выпуска новых изделий: оформление заказа, проектирование, управление, изготовление и поставка заказа. Непременным условием успеха является интеграция систем электронной коммерции, электронного документооборота, систем автоматизированного контроля, САПР, систем подготовки, планирования и управления производством, средств автоматизированного складирования, перемещения и подачи материалов, автоматизированного технологического оборудования и робототехники.

Главной побудительной причиной создания ИПС в электронной промышленности является потребность в экономически эффективном производстве сложных интегральных микросхем.

Анализ современного состояния работ по созданию ИПС в электронной промышленности позволяет сформулировать основные направления их развития: интеграция и децентрализация; стандартизация основных решений; использование решений электронной коммерции; автоматизация транспортных систем; повышение "интеллектуального" уровня; совершенствование человеко-машинного интерфейса; автоматизированный синтез программного обеспечения; совершенствование микропроцессорных систем управления; широкое использование моделирования на всех этапах производства, включая и проектирование ИПС; алгоритмизация технологических процессов; управление качеством изделий; оперативное планирование и управление производством; интеграция технологических операций в одном технологическом модуле или кластере; модульное построение каждой единицы оборудования на единой конструктивной базе.

Анализ производства СБИС и концептуальной модели ИПС обуславливает необходимость реализации следующих принципов построения ИПС изготовления СБИС:

принципа интеграции систем электронной коммерции, автоматизированного проектирования, производства, контроля и управления качеством с взаимодействием через единую систему сквозного моделирования по циклу оборудование – технология – прибор – схема;

принципа информационной интеграции технологического оборудования, контрольно-измерительных и транспортно-складских систем;

принципа имитационного моделирования ИПС.

Рассмотрим особенности использования сформулированных принципов при разработке ИПС изготовления СБИС.

Первый принцип является прямым следствием постепенной автоматизации отдельных сторон многогранной деятельности промышленного предприятия и широкого использования информационных технологий при проектировании технологического оборудования, технологических процессов, полупроводниковых приборов и электронных схем, включая поиск заказа и поставку готовой продукции. В соответствии с этим принципом в создаваемых ИПС необходимо обеспечить: информационное взаимодействие программ, моделирующих технологическое оборудование, технологические процессы, полупроводниковые приборы и электронные схемы; реализуемость настройки используемых моделей по результатам промышленного эксперимента на реальное технологическое оборудование, процессы и организацию производства; точное слежение за изделиями в процессе производственного цикла путем идентификации полупроводниковых пластин; контроль протекания отдельных технологических операций и технологического процесса в целом, посредством встраивания датчиков в технологическое оборудование, использования тестовых структур.

Принцип информационной интеграции технологического оборудования, контрольно-измерительных и транспортно-складских систем определяет необходимость использования информационной технологии производства СБИС, включающей процессы получения, сжатия, хранения, визуального отображения и использования информации о ходе технологических операций; о результатах межоперационного контроля, проверки изделий на функционирование, различных испытаний готовых изделий, измерений параметров тестовых структур; о маршруте изделий; о контролируемых характеристиках технологического оборудования; о параметрах изготавливаемых схем.

Создание информационной технологии является ключевой задачей для реализации комплексно-автоматизированных производств в микроэлектронике и вызывает необходимость: приближения средств обработки информации к местам ее получения и использования; решения вопросов разработки широкого набора тестовых структур и методики их использования для получения дифференцированной информации о состоянии технологического оборудования, качестве технологического процесса и настройки используемых математических моделей; разработки алгоритмического, технологического и программного обеспечения специализированных тестеров для обеспечения высокопроизводительного автоматизированного контроля; разработки статистических моделей технологических процессов, учитывающих стохастическую распределенную взаимосвязь отдельных операций и динамику их осуществления; реализации информационного взаимодействия технологического оборудования посредством использования специализированных протоколов связи; разработки человеко-машинного интерфейса; получения релевантной информации, диагностики технологического процесса и оборудования, назначения допусков, определения номинальных режимов, прогнозирования свойств изготавливаемых изделий; разработки систем принятия решений; диспетчеризации и синхронизации материальных и информационных процессов и взаимодействий между ними.

Принцип имитационного моделирования ИПС заключается в использовании имитационных моделей ИПС как на этапах предварительного проектирования, так и на этапе промышленной эксплуатации. Это обусловлено: значительной долей переходных процессов вследствие многономенклатурности выпускаемых изделий, что не позволяет использовать аналитические методы для расчета оптимальных параметров ИПС, так как они пригодны в основном для установившихся состояний анализируемых объектов; сложностью объекта проектирования и огромными экономическими затратами на изготовление опытных образцов; необходимостью учета взаимодействия управляющей и исполнительной компонент ИПС; наличием множества временных ограничений, приоритетных схем и возможностью возникновения тупиковых состояний; необходимостью синхронизации материальных процессов.

Реализация вышеизложенного определяет функциональную структуру ИПС изготовления СБИС (рис. 1), обеспечивающую взаимодействие систем электронной коммерции, автоматизированного проектирования, автоматизированного производства, автоматизированного контроля и автоматизированного управления качеством. Перемещение материалов и обрабатываемых изделий осуществляется транспортной системой. На основе статистической обработки результатов контроля работы технологического оборудования, межоперационного контроля, проверки функционирования, контроля сложных свойств изделий и исходного продукта, контроля параметров технологической среды осуществляется формирование параметрических данных для настройки моделей технологических операций, моделей приборов и моделей технологического оборудования. Система управления качеством обеспечивает решение задач оптимизации номинальных режимов, назначения допусков, диагностики технологического процесса, выработку и реализацию решений по управлению разработкой, изделий и управлению производством. Управление материальными потоками, технологическим оборудованием и режимами обработки изделий осуществляется с использованием моделей отдельных операций и технологического процесса в целом и взаимодействием с имитационной моделью ИПС.

Процессы, протекающие в ИПС изготовления СБИС, характеризуются большим количеством параметров, оказывающих существенное влияние на технико-экономические показатели и эффективность функционирования ИПС.

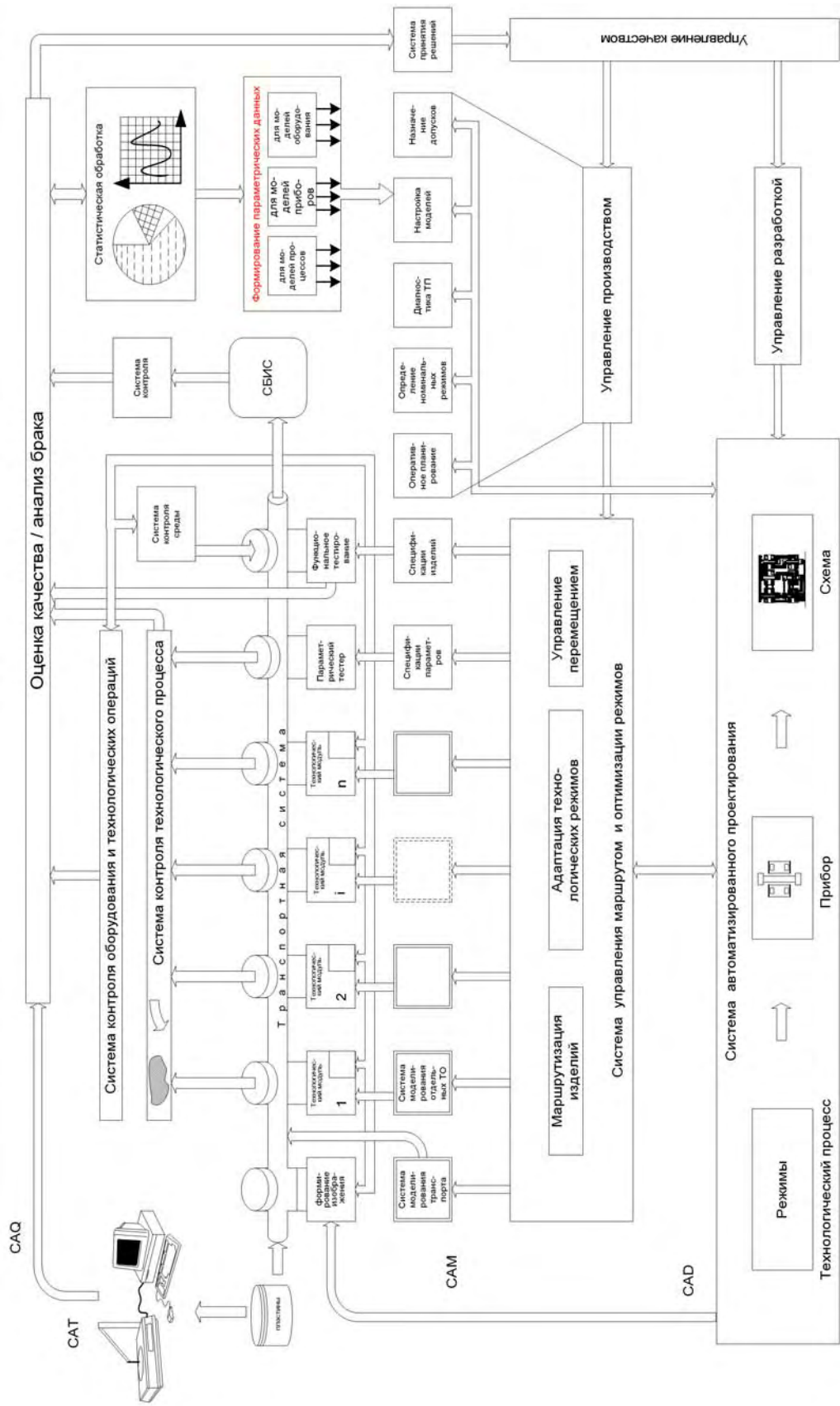


Рис. 1. Функциональная структура ИПС изготовления СБИС

В общем случае совокупность частных или некоторый обобщенный критерий эффективности проектируемой ИПС для заданного объекта изготовления коррелируют со следующими системообразующими факторами: СФ1 — структура ИПС; СФ2 — организация транспортно-складской системы; СФ3 — архитектура системы управления; СФ4 — механизм диспетчеризации и приоритизации материальных потоков; СФ5 — надежность, экономические и технические характеристики оборудования; СФ6 — система электронной коммерции; СФ7 — электронный документооборот.

На первом этапе с использованием аналитических методов на основе требуемой производительности системы, заданной номенклатуры изготавливаемых изделий, имеющих в распоряжении финансовых средств, технологических процессов, оборудования определяются начальные значения системообразующих факторов. На втором этапе с использованием имитационной модели осуществляется уточнение основных характеристик системы.

Разработанная функциональная структура ИПС отвечает требованиям современного производства СБИС, которое характеризуется: нежелательностью присутствия человека, являющегося источником загрязняющих частиц; сильной взаимосвязью режимов последующих операций от результатов предыдущих; наличием ограничений на сроки межоперационного хранения пластин; значительным разбросом характеристик как в пределах одной пластины, так и партии; постоянно меняющейся приоритетной схемой обработки пластин; использованием результатов межоперационного и финишного контроля для коррекции режимов предыдущих и последующих операций; небольшим количеством циклически повторяющихся базовых операций; сложными физико-химическими явлениями, лежащими в основе работы технологического оборудования и используемых процессов; коротким циклом существования оборудования; тенденцией повышения значения сквозного моделирования с использованием для настройки моделей значительных объемов экспериментальной информации.

Теоретическим изысканиям и практической реализации вышеизложенных результатов посвящены диссертационные исследования аспирантов БГУИР Г.А. Сачка [3, 17], В.И. Бричковского [6], О.В. Германа [2, 5], Ю.Р. Бейтюка [5, 7], О.Н. Жарова [12, 15], В.Ф. Аникеенко [10], А.В. Малиновского [1, 11, 12], О.А. Лубневского [4, 7, 8, 16], И.В. Кривошеина [16], С.И. Акулича [8, 16], Ю.В. Палькина [9, 13], В.Н. Лутова [14], В.В. Лабоцкого [17] и др.

## INTEGRATED SUPERSCALE INTEGRATION MANUFACTURING

A.M. SOUKHODOLSKI

### Abstract

In this paper the main approaches of computer-aided integrated circuits manufacturing are considered. The construction principles for integrated manufacturing systems are suggested. The key tasks of using Information Technologies for integrated circuit manufacturing are viewed.

### Литература

1. Суходольский А.М., Малиновский А.В. Диагностика причин снижения выхода годных ИС с использованием статистических методов // Микроэлектроника. 1986. Вып. 4 (234). С. 37 - 39.
2. Суходольский А.М., Герман О.В. Автоматизированная подсистема синтеза и анализа структуры гибридной производственной системы // Электронная техника. Сер.9.: Экономика и системы управления. 1984. №3. С. 18 - 23.
3. Суходольский А.М., Сачок Г.А. Система автоматического управления электролитическим анодированием // Детерминированные и стохастические системы управления. М.: Наука, 1984. С. 39 - 46.
4. Суходольский А.М., Лубневский О.А. Интерактивная система управления производством БИС // Электронная техника. Сер.9.: Экономика и системы управления. 1985. Вып. 3 (56). С. 7 - 12.

5. Суходольский А.М., Герман О.В., Бейтюк Ю.Р. Использование средств имитационного моделирования при автоматизированном проектировании гибких производственных систем // Приборы и системы управления. 1986. №4. С. 3 - 7.
6. Суходольский А.М., Бричковский В.И. Пакет программ для построения математических моделей технологических процессов // Электронная техника. Сер.9.: Экономика и системы управления. 1986. Вып. 2 (59). С. 21 - 25.
7. Суходольский А.М., Лабунов В.А., Бейтюк Ю.Р., Лубневский О.А. Зарубежный опыт создания гибких производственных систем в микроэлектронике // Мн.: БелНИИНТИ, 1986. 46 с.
8. Суходольский А.М., Акулич С.И., Лубневский О.А. Операционная система технологического модуля // Электронная промышленность. 1987. Вып. 2 (160). С. 51 - 53.
9. Суходольский А.М., Палькин Ю.В. Человеко-машинный интерфейс для систем управления производством изделий электронной техники // Электронная промышленность. 1987. Вып. 3 (161). С. 57 - 61.
10. Суходольский А.М., Аникеенко В.Ф., Тельнов В.М. Автоматизация разработки технологических процессов ионно-лучевого распыления // Материалы 8-й Всесоюзной конф. "Взаимодействие атомных частиц с твердым телом". М., 1987. С. 71 - 73.
11. Суходольский А.М., Малиновский А.В. Диагностика причин снижения выхода годных ИС с использованием статистических методов // Микроэлектроника. 1986. Вып. 4 (234). С. 111 - 116.
12. Суходольский А.М., Жаров О.Н., Малиновский А.В. Программный комплекс для статистического моделирования технологических процессов изготовления СБИС // Электронная техника. Сер.9.: Экономика и системы управления. 1988. Вып. 2 (67). С. 19 - 24.
13. Суходольский А.М., Палькин Ю.В. FMS Operator Interfase // Proc.of International Fair Symposium Computer-Aided Quality Assurance. Berlin, 1988. Vol.2. PP. 95 - 99.
14. Суходольский А.М., Лутов В.Н. Комплекс программ для автоматизации проектирования АТС // Экономика и системы управления. Сер.9. 1990. №4. С. 25 - 29.
15. Суходольский А.М., Дрюк Е.Л., Жаров О.Н. On Software Development to Support Statistical Simulation of Analogue Circuits // Proceedings The European Design and Test Conference. ED& TE 1995 IEEE Computer Society Press. Los Alamitos, California, 1995.
16. Суходольский А.М., Лубневский О.А., Акулич С.И., Кривошеин И.В. Устройство для моделирования гибких автоматизированных производственных систем // А.с. № 1345209 "Бюллетень открытий и изобретений", № 38, 1988.
17. Суходольский А.М., Лабоцкий В.В., Сачок Г.А. Технологический модуль электрохимической обработки // Приборы и системы управления. 1988. №5. С. 32 - 36.