

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.

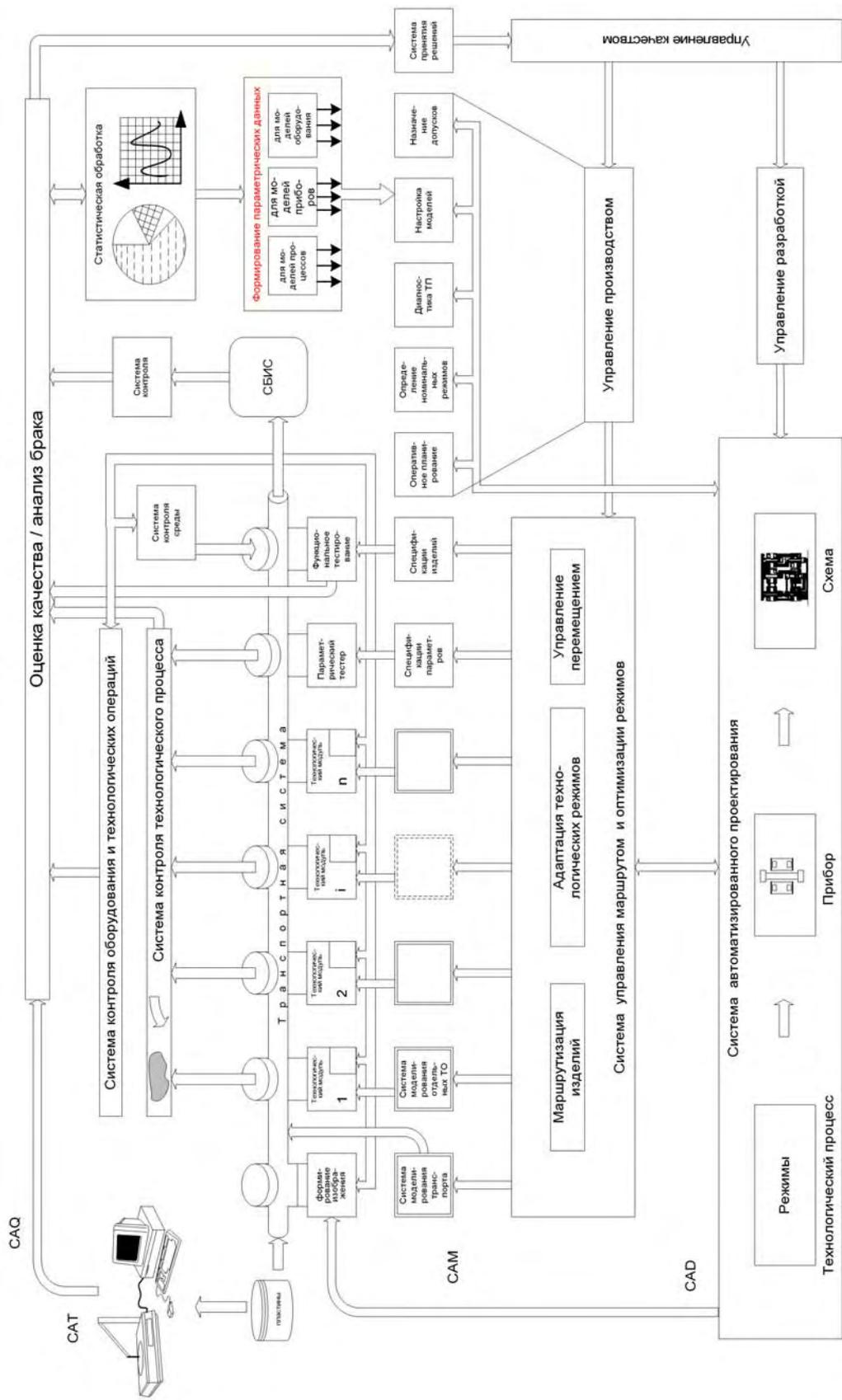


Рис. 1. Функциональная структура ИПС изготовления СБИС

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, имеющихся 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., Анисеенко 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 Accurance. 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.