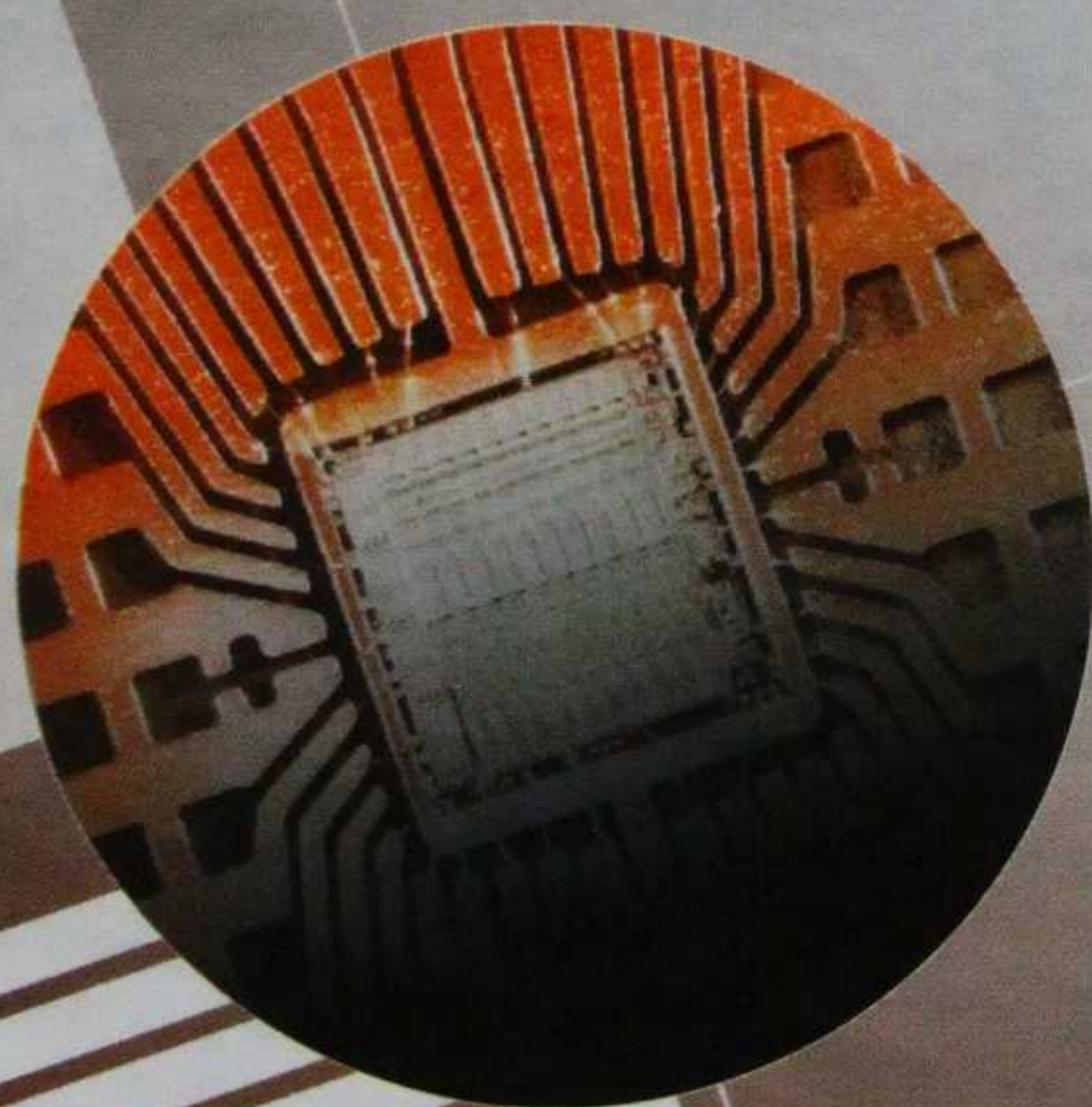


Информатика в техническом университете

КОНСТРУКТОРСКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ



Издательство
МГТУ имени
Н.Э. Баумана

5

2

Серия основана в 2000 году

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

чл.-кор. РАН *И.Б. Федоров* — главный редактор
д-р техн. наук *И.П. Норенков* — зам. главного редактора
д-р техн. наук *Ю.М. Смирнов* — зам. главного редактора
д-р техн. наук *В.В. Девятков*
д-р техн. наук *В.В. Емельянов*
канд. техн. наук *И.П. Иванов*
д-р техн. наук *В.А. Матвеев*
канд. техн. наук *Н.В. Медведев*
д-р техн. наук *В.В. Сюзев*
д-р техн. наук *Б.Г. Трусов*
д-р техн. наук *В.М. Черненко*
д-р техн. наук *В.А. Шахнов*

Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры

*Под редакцией заслуженного деятеля науки РФ,
профессора В.А. Шахнова*

Издание второе, переработанное и дополненное

*Допущено Министерством образования Российской Федерации
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальности*

*«Вычислительные машины, комплексы, системы и сети»
направления подготовки дипломированных специалистов
«Информатика и вычислительная техника» и специальности
«Биотехнические и медицинские аппараты и системы»
направления подготовки дипломированных специалистов
«Биомедицинская техника»*

Москва
Издательство МГТУ имени Н.Э. Баумана
2005

УДК 681.321(075.8)

ББК 32.971

К65

Рецензенты:

профессор И.Г. Мироненко (Санкт-Петербургский
государственный электротехнический университет);
кафедра «Конструирование и технология радиоэлектронных средств»
Владимирского государственного университета
(зав. кафедрой — профессор М.В. Руфицкий)

Авторы:

К.И. Билибин, А.И. Власов, Л.В. Журавлева, В.В. Макарчук, Э.В. Мысловский,
О.Д. Парфенов, Е.В. Пирогова, В.А. Шахнов, В.В. Шерстнев

К65 **Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры:** Учебник для вузов / К.И. Билибин, А.И. Власов, Л.В. Журавлева и др.; Под общ. ред. В.А. Шахнова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. — 568 с.: ил. — (Информатика в техническом университете).

ISBN 5-7038-2716-7

Изложены общие принципы организации проектирования электронной аппаратуры различного назначения, рассмотрены задачи конструкторского и технологического проектирования: обеспечение надежной работы аппаратуры, правила конструирования, технологические процессы формообразования, изготовление коммутационных плат, сборки и монтажа, наладки и испытания.

Во втором издании (1-е — 2002 г.) уточнены некоторые данные по техническим характеристикам материалов и технологических процессов. Приведенные в приложении примеры документов помогут студенту в разработке конструкторско-технологической документации при курсовом и дипломном проектировании.

Содержание учебника соответствует курсу лекций, который авторы читают в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для студентов высших технических учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов «Информатика и вычислительная техника» и другим специальностям, связанным с созданием электронной аппаратуры различного назначения.

УДК 681.321(075.8)
ББК 32.971

ISBN 5-7038-2716-7

© Коллектив авторов, 2005
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005
© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	8
СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ	10
ВВЕДЕНИЕ	12
1. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ. ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ.....	14
1.1. Этапы разработки электронной аппаратуры	14
1.2. Техническая документация.....	18
1.3. Схемная документация	27
1.4. Показатели конструкции ЭА	34
2. УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КОНСТРУКЦИЮ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ	37
2.1. Внешние факторы, влияющие на работоспособность ЭА	37
2.2. Объекты установки ЭА и их характеристики	46
2.3. Требования, предъявляемые к конструкции ЭА.....	50
3. КОНСТРУИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ, УЗЛОВ И УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ	56
3.1. Модульный принцип конструирования, конструктивная иерархия элементов, узлов и устройств	56
3.2. Стандартизация при модульном конструировании	60
3.3. Модули нулевого уровня	62
3.4. Микросборки.....	66
3.5. Модули первого уровня	66
3.6. Модули второго уровня	70
3.7. Модули третьего уровня	80
3.8. Рамы.....	86
4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОЙ РАБОТЫ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ	88
4.1. Защита конструкции от механических воздействий	88
4.2. Защита ЭА от воздействия влажности.....	103
4.3. Защита от воздействия пыли	107
4.4. Герметизация ЭА.....	109

4.5. Защита от температурных воздействий.....	113
4.6. Защита конструкции от воздействия помех.....	126
4.7. Надежность конструкции ЭА.....	136
5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ В ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЕ.....	147
5.1. Виды электрических соединений в ЭА.....	147
5.2. Конструкции сигнальных ЛП.....	159
5.3. Волоконно-оптические ЛП.....	167
5.4. Конструирование линий электропитания.....	171
5.5. Конструирование заземления.....	175
5.6. Электрические контакты в ЭА.....	179
6. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ.....	187
6.1. Основные понятия.....	187
6.2. Виды технологических процессов.....	190
6.3. Этапы разработки технологических процессов.....	191
6.4. Технологические процессы и качество ЭА.....	204
6.5. Качество поверхности деталей.....	216
6.6. Производительность труда и норма штучного времени.....	220
6.7. Технологическая себестоимость.....	224
6.8. Выбор наиболее экономичного варианта ТП по себестоимости.....	226
7. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОСХЕМ.....	228
7.1. Общие сведения о микросхемах и технологии их изготовления.....	228
7.2. Изготовление монокристалла полупроводникового материала.....	230
7.3. Резка монокристалла и получение пластин.....	231
7.4. Изготовление фотошаблонов.....	232
7.5. Полупроводниковые микросхемы.....	232
7.6. Легирование методом термической диффузии примесей.....	235
7.7. Легирование методом ионной имплантации.....	240
7.8. Проектирование полупроводниковых резисторов в ИМС.....	245
7.9. Фотолитография.....	247
7.10. Расчет топологических размеров областей транзистора.....	255
7.11. Осаждение тонких пленок в вакууме.....	257
7.12. Тонкопленочные резисторы.....	264
7.13. Основы толстопленочной технологии.....	268
7.14. Коммутационные платы микросборок.....	272
7.15. Крепление подложек и кристаллов.....	276
7.16. Электрический монтаж кристаллов ИМС на коммутационных платах микросборок.....	284
7.17. Герметизация микросхем и микросборок.....	290
8. ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ.....	308
8.1. Общие сведения о печатных платах.....	308
8.2. Материал печатных плат.....	315

8.3. Изготовление оригиналов и фотошаблонов.....	320
8.4. Технологические процессы изготовления печатных плат.....	324
8.5. Основные технологические этапы в производстве печатных плат.....	340
9. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ФОРМООБРАЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ.....	358
9.1. Обработка резанием деталей ЭА.....	358
9.2. Изготовление деталей ЭА методом литья.....	371
9.3. Изготовление деталей ЭА холодной штамповкой.....	374
9.4. Изготовление деталей из пластмасс для ЭА.....	381
9.5. Электрофизические и электрохимические методы обработки деталей.....	384
10. СБОРКА И МОНТАЖ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ.....	392
10.1. Сборочно-монтажные операции.....	392
10.2. Сборка и монтаж модулей первого уровня.....	395
10.3. Технология монтажа объемных узлов.....	409
10.4. Размещение ленточных проводов в ЭА.....	422
11. РЕГУЛИРОВКА, НАСТРОЙКА, КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ.....	430
11.1. Технологические операции регулировки и настройки.....	430
11.2. Контроль, диагностика ЭА.....	438
11.3. Виды неисправностей ЭА и их устранение.....	451
11.4. Испытания ЭА.....	462
12. ЭРГОДИЗАЙН ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ.....	482
12.1. Характеристика человека-оператора как звена в единой системе человек—машина.....	485
12.2. Организация рабочего места при эксплуатации ЭА.....	505
12.3. Проектирование эргономичных узлов и устройств ЭА.....	513
12.4. Основы художественного проектирования ЭА.....	529
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	540
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	542
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	561
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.....	563

ПРЕДИСЛОВИЕ

Роль и значение работ, связанных с разработкой конструкции и технологии производства, в общем процессе создания электронной аппаратуры (ЭА) все более возрастает. Это связано, с одной стороны, с ростом степени интеграции применяемой микроэлектронной элементной базы, что требует новых подходов к решению задач компоновки, помехоустойчивости, обеспечения нормальных тепловых режимов и высокой надежности. С другой стороны — расширением сфер применения ЭА, что требует использования современных методов конструирования и технологических процессов, обеспечивающих оптимальное сочетание необходимых эксплуатационных и экономических характеристик. Поэтому от правильного решения конструкторских и технологических проблем при проектировании ЭА зависят в конечном итоге ее потребительские качества.

Разработчики (инженеры-системотехники, инженеры-схемотехники, программисты, специалисты по сетям и техническому обслуживанию) при решении специфических задач должны хорошо ориентироваться в вопросах построения конструкции, разработки технологических процессов и организации производства ЭА. Это не только позволит получать самые совершенные **эксплуатационные** показатели создаваемой ЭА, но и обеспечит возможность организации ее производства с применением передовых технологий и достижением высоких **экономических** показателей.

Предлагаемая вниманию читателя книга отражает современные тенденции разработки конструкции и технологии изготовления электронной аппаратуры, микроэлектронных элементов и устройств, электронной аппаратуры различного назначения: радиоэлектронной, электронно-вычислительной, транспортируемой, бытовой, медицинской (только электронной ее части). В ней приведены наиболее общие сведения по этим проблемам, по мнению авторов достаточные для схемотехников, системотехников, программистов, конструкторов и технологов. Материал книги базируется на лекциях, читаемых авторами по различным разделам конструкторских и технологических дисциплин студентам соответствующих специальностей.

Следует отметить, что под термином «электронная аппаратура» авторами подразумевается любой тип радиоэлектронной, электронно-вычислительной и управляющей аппаратуры, построенной с использованием микроэлектронной элементной базы. В книге не приводятся особенности проектирования СВЧ-техники — это предмет особого рассмотрения. В современной учебной и научно-технической литературе широко применяются термины «радиоэлектронная аппаратура», «компьютер», «электронная вычислительная машина (ЭВМ)»,

«электронно-вычислительная аппаратура (ЭВА)», «электронно-вычислительные средства (ЭВС)», «радиоэлектронные средства», «биомедицинская аппаратура» и др. Принципиальных различий между этими терминами с точки зрения конструкторско-технологического проектирования нет. Поэтому в дальнейшем изложении авторы используют термин «электронная аппаратура (ЭА)».

Во втором издании (1-е издание — 2002 г.) уточнены некоторые данные по техническим характеристикам материалов и технологических процессов, расширен раздел по основам художественного проектирования ЭА. Добавлено приложение с примерами выполнения конструкторской и технологической документации. Эти примеры документов помогут студенту в разработке конструкторско-технологической документации при курсовом и дипломном проектировании. Отражены также некоторые результаты исследований, полученных авторами в ходе выполнения НИОКР по НТП Минобразования РФ «Производственные технологии» (05.01.030), «Информационно-телекоммуникационные технологии» (209.01.01.037), гранта РД02-2.8–70 и гранта Президента РФ по поддержке молодых российских ученых и ведущих научных школ (МК-2063.2003.01).

Материал книги распределяется между авторами следующим образом: главы 1, 2 и заключение — д-р техн. наук, проф. В.А. Шахнов; главы 3, 4 и 5 — канд. техн. наук, доц. В.В. Шерстнев; главы 6, 9 и 10 — канд. техн. наук, доц. К.И. Билибин; глава 7 (кроме § 7.9 и § 7.19) — канд. техн. наук, доц. О.Д. Парфенов; глава 8 — канд. техн. наук, доц. Е.В. Пирогова; глава 11 — канд. техн. наук, проф. Э.В. Мысловский; глава 12 — канд. техн. наук, доц. А.И. Власов; § 7.9 — канд. техн. наук, доц. В.В. Макарчук; § 7.17 — канд. техн. наук, доц. Л.В. Журавлева. Общая редакция — д-р техн. наук, проф. В.А. Шахнов.

Подготовка к изданию этой книги была бы невозможной без всесторонней и доброжелательной помощи сотрудников кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Глубокую благодарность авторы выражают рецензентам: заслуженному деятелю науки Российской Федерации, заведующему кафедрой Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета, доктору технических наук, профессору И.Г. Мироненко и коллективу кафедры «Конструирование и технология радиоэлектронных средств» Владимирского государственного электротехнического университета (заведующий кафедрой — доктор технических наук, профессор М.В. Руфицкий), чьи замечания способствовали улучшению содержания книги.

Авторы будут признательны читателям за все замечания по содержанию книги, которые следует направлять по адресу: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Шахнов В.А.

Учебное издание

Информатика в техническом университете

**Билибин Константин Иванович
Власов Андрей Игоревич
Журавлева Людмила Васильевна
Макарчук Владимир Васильевич
Мысловский Эдуард Викентьевич
Парфенов Олег Дмитриевич
Пирогова Елена Вячеславовна
Шахнов Вадим Анатольевич
Шерстнев Вячеслав Викторович**

**КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ
ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ**

*Редактор Н.Е. Овчеренко
Художники В.Н. Константинов, С.С. Водчиц
Корректор Г.С. Беляева
Технический редактор Н.В. Быкова
Компьютерная верстка С.Ч. Соколовского*

Оригинал-макет подготовлен в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 17.99.02.953.Д.005683.09.04 от 13.09.2004 г.

Подписано в печать 26.07.05. Формат 70x100/16. Печать офсетная.
Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс». Печ. л. 35,5 + 0,5 цвет. вклейка.
Усл. печ. л. 46,8. Уч.-изд. л. 45,98.
Тираж 2000 экз. Заказ 1572

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
105005, Москва, 2-я Бауманская, 5

Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленных диапозитивов в ППП «Типография «Наука»
121099, Москва, Шубинский пер., 6