

Высшее профессиональное образование

А. А. Коваленко
М. Д. Петропавловский

ОСНОВЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Учебное пособие



Радиоэлектроника



А. А. КОВАЛЕНКО, М. Д. ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ

ОСНОВЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Допущено

*Учебно-методическим объединением по направлениям
педагогического образования*

*Министерства образования и науки Российской Федерации
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению 050200
«Физико-математическое образование»*



**Москва
Издательский центр «Академия»
2006**

УДК 621.3.049.77(078)
ББК 32.844.1я73
К56

Рецензенты:

д-р физ.-мат. наук, проф. кафедры экспериментальной физики Алтайского государственного университета *В. А. Плотников*;
д-р пед. наук, проф. кафедры теоретической физики и математики Барнаульского государственного педагогического университета *А. А. Веряев*

Коваленко А. А.

К56 Основы микроэлектроники : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А. А. Коваленко, М. Д. Петропавловский. — М. : Издательский центр «Академия», 2006. — 240 с.
ISBN 5-7695-2861-3

Изложены основные теоретические принципы микроэлектроники и физические основы работы полупроводниковых приборов. Кратко описаны технологии изготовления микросхем, а также принципы работы отдельных узлов и блоков вычислительной техники.

Для студентов высших учебных заведений.

УДК 621.3.049.77(078)
ББК 32.844.1я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается*

ISBN 5-7695-2861-3

© Коваленко А. А., Петропавловский М. Д., 2006
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2006
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2006

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие современных средств вычислительной техники, робототехники, аппаратуры цифровых коммуникаций основано на использовании достижений микроэлектроники в разработке и выпуске интегральных микросхем (ИМС), а также на широком применении микропроцессоров и микрокомпьютеров, создаваемых на базе больших и сверхбольших интегральных схем (БИС и СБИС).

Целью курса «Основы микроэлектроники» является обучение будущего учителя информатики продуктивному восприятию технических аспектов информатики, а также ознакомление его с устройством и физической сущностью работы электронных приборов и узлов. Совершенно необходимо, чтобы он четко представлял принципы организации и функционирования современных электронных систем (прежде всего, цифровых) и творчески применял полученные знания на практике (например, в школьной кружковой работе).

Основные задачи курса:

формирование знаний в области теоретических принципов микроэлектроники, составляющих основу для системотехнических и схемотехнических решений при построении средств вычислительной техники;

овладение умениями и навыками оценки функциональных, количественных и качественных характеристик микроэлектронных компонентов компьютеров и периферийных устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вениаминов В. Н.* Микросхемы и их применение / В. Н. Вениаминов, О. Н. Лебедев, А. И. Мирошниченко. — М. : Радио и связь, 1989.
2. *Гук М.* Аппаратные средства IBM PC / М. Гук. — 2-е изд., — СПб. : Питер, 2001.
3. *Гусев В. Г.* Электроника / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. — М. : Высш. шк., 1991.
4. *Джонс М. Х.* Электроника — практический курс / М. Х. Джонс. — М. : Постмаркет, 1999.
5. *Калабеков Б. А.* Микропроцессоры и их применение в системах передачи и обработки сигналов / Б. А. Калабеков. — М. : Радио и связь, 1988.
6. *Карлашук В. И.* Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение / В. И. Карлашук. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : СОЛОН-Пресс, 2003.
7. *Корнеев В. В.* Современные микропроцессоры / В. В. Корнеев, А. В. Киселев. — 3-е изд., перераб. и доп. — СПб. : БХВ-Петербург, 2003.
8. *Лебедев О. Н.* Микросхемы памяти и их применение / О. Н. Лебедев. — М. : Радио и связь, 1990.
9. *Партала О. Н.* Цифровая электроника / О. Н. Партала — 2-е изд., доп. — СПб. : Наука и техника, 2001.
10. *Петров К. С.* Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника / К. С. Петров. — СПб. : Питер, 2004.
11. *Степаненко И. П.* Основы микроэлектроники : учеб. пособие / И. П. Степаненко. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2001.
12. *Фролов В. В.* Язык радиосхем / В. В. Фролов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Радио и связь, 1988.
13. *Хоровиц П.* Искусство схемотехники : пер. с англ. / П. Хоровиц, У. Хилл. — 6-е изд. — М. : Мир, 2001.
14. *Шило В. Л.* Популярныe цифровые микросхемы / В. Л. Шило. — М. : Радио и связь, 1988.
15. *Янсен Й.* Курс цифровой электроники : в 4 т. Т. 4. Микрокомпьютеры / Й. Янсен ; пер. с гол. — М. : Мир, 1987.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
Глава 1. Основные положения и направления развития микроэлектроники	6
1.1. Краткая история развития микроэлектроники	6
1.2. Основные положения и принципы микроэлектроники	7
1.3. Классификация изделий микроэлектроники	8
1.4. Современные проблемы, направления и перспективы развития микроэлектроники	10
Глава 2. Физические основы полупроводниковой электроники	15
2.1. Современные представления об электропроводности	15
2.2. Общие сведения о полупроводниках	17
2.3. Электронные переходы	20
2.3.1. Электронно-дырочный $p-n$ -переход	20
2.3.2. Контакты металл—полупроводник	23
2.3.3. Гетеропереходы	24
2.3.4. Граница полупроводник—диэлектрик	25
2.4. Полупроводниковые диоды	26
2.4.1. Принцип работы полупроводникового диода с $p-n$ -переходом	26
2.4.2. Вольт-амперная характеристика диода	28
2.4.3. Применение диодов	30
2.4.4. Маркировка диодов отечественного производства	32
2.5. Биполярные транзисторы	33
2.5.1. Устройство и принцип действия биполярного транзистора	33
2.5.2. Биполярный транзистор как усилитель электрических сигналов	37
2.5.3. Характеристики транзистора в схеме с ОБ	39
2.5.4. Характеристики транзистора в схеме с ОЭ	41
2.5.5. Транзистор как четырехполюсник. Система h -параметров транзистора	42
2.5.6. Основные параметры биполярных транзисторов	45
2.6. Униполярные транзисторы	45
2.6.1. МДП-транзисторы	46
2.6.2. МеП-транзисторы	48

2.6.3. Полевые транзисторы с затвором в виде $p-n$ -перехода	49
2.6.4. Статические характеристики и основные параметры полевых транзисторов	50
2.6.5. Маркировка транзисторов отечественного производства	51
Глава 3. Элементы полупроводниковой цифровой электроники	54
3.1. Понятия информации и сигнала как ее носителя	54
3.2. Понятие о цифровых устройствах	56
3.3. Передача и преобразование цифровых сигналов	59
3.3.1. Импульсный сигнал и его основные характеристики	59
3.3.2. Передача и преобразование импульсных сигналов	62
3.4. Элементы комбинационной логики	64
3.4.1. Элементарные логические функции и их физическая реализация	64
3.4.2. Электронные ключевые схемы	68
3.4.3. Основные схемы комбинационной логики	72
3.4.4. Логические элементы как ключи	74
3.4.5. Элемент исключающее ИЛИ и его применение	75
3.4.6. Мажоритарный элемент и его применение	77
3.5. Базовые логические элементы интегральных схем	79
3.5.1. Базовый интегральный элемент ТТЛ-серии	80
3.5.2. Схемотехнические варианты ТТЛ-ключей	82
3.5.3. Логические элементы на МОП-транзисторах	85
3.5.4. Логические элементы на биполярных БиКМОП-структурах и MeП-транзисторах	88
3.5.5. Основные параметры и сравнительные характеристики интегральных логических элементов разных серий	89
3.6. Минимизация логических схем и выражений	91
3.6.1. Основные законы алгебры логики	91
3.6.2. Карты Карно	94
Глава 4. Основные узлы и блоки цифровой техники	100
4.1. Основные узлы цифровых устройств	100
4.1.1. Триггеры	100
4.1.2. Счетчики	115
4.1.3. Регистры	125
4.1.4. Селектор-мультиплексор и демультимплексор	131
4.1.5. Шифраторы и дешифраторы	133
4.1.6. Преобразователи кодов	136
4.2. Основы двоичной арифметики	137
4.3. Сумматоры и суммирующие устройства	140
4.3.1. Сумматоры	140
4.3.2. Суммирующее устройство последовательного типа	143
4.3.3. Суммирующее устройство параллельного типа	144
4.4. Устройства умножения	144

4.5. Арифметико-логические устройства	146
4.6. Цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи	147
4.6.1. Цифроаналоговые преобразователи	148
4.6.2. Аналого-цифровые преобразователи	152
4.7. Электронные запоминающие устройства	155
4.7.1. Устройство микросхем ОЗУ статического типа	156
4.7.2. Расширение объема памяти микросхем статических ОЗУ	158
4.7.3. Устройство микросхем ОЗУ динамического типа	161
4.7.4. Микросхемы ПЗУ	163
4.8. Устройства памяти компьютера	167
4.8.1. Общие представления о запоминающих устройствах ЭВМ	167
4.8.2. Основная память компьютера	168
4.8.3. Принципы организации ОЗУ	171
4.9. Внешняя память ЭВМ	173
4.9.1. Физические принципы хранения информации на магнитном носителе	174
4.9.2. Организация памяти на гибком магнитном диске	176
4.9.3. Организация памяти на жестком магнитном диске	177
4.9.4. Запись и хранение информации на лазерных дисках	181
4.9.5. Устройства флэш-памяти	186
4.9.6. Принцип работы магнитооптического накопителя	187
Глава 5. Микропроцессоры	190
5.1. Понятие о микропроцессорной системе	190
5.1.1. Состав и функционирование микропроцессорной системы	190
5.1.2. Общие понятия об архитектуре процессора	192
5.1.3. Общее описание структуры и функционирования микропроцессорной системы	194
5.2. Модель ЭВМ	198
5.2.1. Структура микропроцессора КР580ИК80	199
5.2.2. Понятие о программировании процессора	200
5.2.3. Понятие о системе команд микропроцессора КР580ИК80	201
5.2.4. Общее устройство модели ЭВМ на основе КР580ИК80	203
5.2.5. Параллельный интерфейс ввода-вывода	204
5.3. Краткая история развития микропроцессоров	207
Глава 6. Интегральные схемы. Построение микросистемных приборов, устройств и систем	216
6.1. Интегральные схемы как самостоятельный тип электронных приборов	216
6.1.1. Основные особенности интегральных схем	216

6.1.2. Классификация и маркировка интегральных схем	217
6.1.3. Серии цифровых интегральных схем	218
6.2. Базовые технологические операции и технология производства интегральных схем	220
6.2.1. Общие представления о технологии производства микросхем	220
6.2.2. Подготовительные операции	220
6.2.3. Эпитаксия	221
6.2.4. Легирование	221
6.2.5. Травление	222
6.2.6. Литография	224
6.2.7. Формирование диэлектрических пленок	225
6.2.8. Формирование проводящих пленок	226
6.2.9. Активные элементы полупроводниковых ИС	227
6.2.10. Пассивные элементы ИС	228
6.3. Надежность интегральных схем. Некоторые методы оценки надежности	230
6.4. Защита интегральных схем	232
Список литературы	235