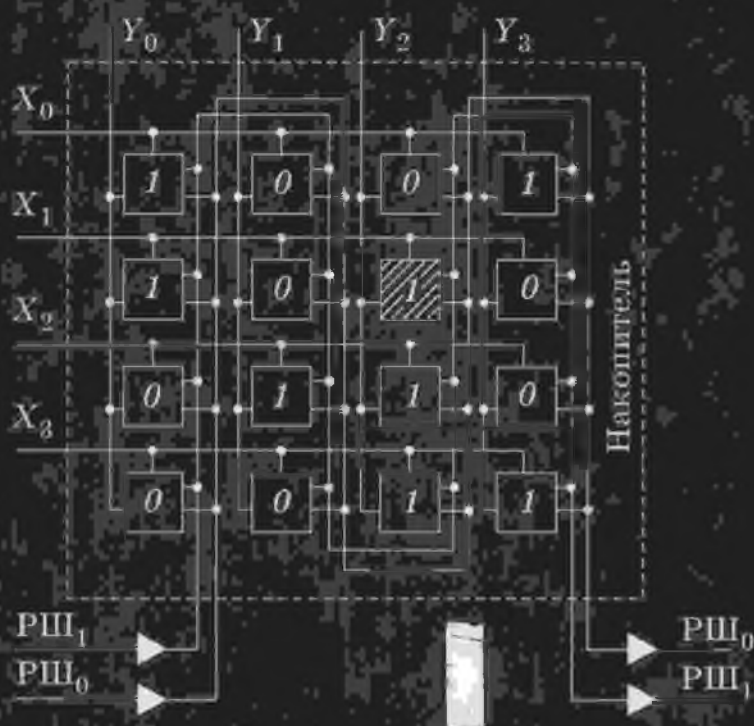




О С Н О В Ы МИКРО ЭЛЕКТРОНИКИ

И. П. СТЕПАНЕНКО



ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



И. П. СТЕПАНЕНКО

О С Н О В Ы
МИКРО
ЭЛЕКТРОНИКИ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ



Москва
Лаборатория Базовых Знаний
2003

УДК 621.3.049.77
ББК 32.852
С79

Второе издание данного учебного пособия подготовили:
А. В. Шальнов (гл. 1, 2, 3), В. С. Першенков (гл. 4, 5),
Л. Н. Патрикеев (гл. 6, 7, заключение), В. В. Беляков (гл. 8, 9, 10)

Степаненко И. П.

С79 Основы микроэлектроники: Учеб. пособие для вузов /
И. П. Степаненко. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Лабо-
ратория Базовых Знаний, 2003. — 488 с.: ил.
ISBN 5-93208-045-0

Рассмотрены основные аспекты микроэлектроники: физические, техно-
логические и схемотехнические. Дается представление об уровне совре-
менной микроэлектроники, ее методах, средствах, проблемах и перспек-
тивах. Обсуждаются виды интегральных схем и схемотехника цифровых
и аналоговых ИС. Во 2-м издании отражены новые фундаментальные до-
стижения в области микроэлектроники, используемые в настоящее время
на практике.

Предназначается для студентов радиотехнических и радиофизиче-
ских специальностей вузов. Может быть полезна широкому кругу специ-
алистов, связанных с созданием и эксплуатацией радиоэлектронной ап-
паратуры на ИС.

По вопросам приобретения обращаться:
в Москве

«Лаборатория Базовых Знаний» (095) 955-03-98, e-mail: lbz@aha.ru
в Санкт-Петербурге

«Диалект» (812) 247-93-01, e-mail: dialect@sndlet.ioffe.rssi.ru

Учебное издание

Степаненко Игорь Павлович
Основы микроэлектроники

Художник *Н. Лозинская*. Технический редактор *Н. Журавлева*.
Компьютерная верстка *В. Носенко*

Лицензия на издательскую деятельность № 066140 от 12 октября 1998 г.
Подписано в печать 10.12.02. Формат 60x90^{1/16}. Гарнитура Школьная.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 30,5.

Тираж 3000 экз. Заказ 4141

Издательство «Лаборатория Базовых Знаний».

Адрес для переписки: 127473, Москва, а/я 9.

Отпечатано с готовых диаэзеттидов в полиграфической фирме
«Полиграфист». 160001, г. Вологда, ул. Челюскинцев, 3.

ISBN 5-93208-045-0

© Степаненко И. П., 2003
© Лаборатория Базовых Знаний, 2003

Содержание

Предисловие ко второму изданию	6
Предисловие к первому изданию	7
Глава 1. Предмет микроэлектроники	10
1.1. Введение	10
1.2. Интегральные схемы.	13
1.3. Особенности интегральных схем как нового типа электронных приборов	18
1.4. Краткий исторический обзор.	20
1.5. Заключение	23
Контрольные вопросы	24
Глава 2. Полупроводники	25
2.1. Введение	25
2.2. Структура полупроводников	25
2.3. Носители заряда	30
2.4. Энергетические уровни и зоны	33
2.5. Распределение носителей в зонах проводимости	36
2.6. Эффект поля.	45
2.7. Рекомбинация носителей	53
2.8. Законы движения носителей в полупроводниках	63
Контрольные вопросы	71
Глава 3. Полупроводниковые переходы и контакты	73
3.1. Введение	73
3.2. Электронно-дырочные переходы	73
3.3. Контакты полупроводник-металл	89
3.4. Граница полупроводник-диэлектрик	95
Контрольные вопросы	97
Глава 4. Униполярные транзисторы	99
4.1. Введение	99
4.2. МДП-транзисторы	100
4.3. Полевые транзисторы	116
Контрольные вопросы.	124
Глава 5. Физические принципы работы биполярного транзистора и тиристора.	125
5.1. Введение.	125
5.2. Принцип действия	125
5.3. Распределения носителей.	130
5.4. Коэффициенты усиления тока.	137

5.5. Статические характеристики	145
5.6. Малосигнальные эквивалентные схемы и параметры	152
5.7. Переходные и частотные характеристики	155
5.8. Тиристор	163
Контрольные вопросы.	167
Глава 6. Технологические основы микроэлектроники	169
6.1. Введение	169
6.2. Подготовительные операции	169
6.3. Эпитаксия	171
6.4. Термическое окисление	173
6.5. Легирование	176
6.6. Травление	184
6.7. Техника масок	187
6.8. Нанесение тонких пленок	193
6.9. Металлизация	200
6.10. Сборочные операции	203
6.11. Технология тонкопленочных гибридных ИС	205
6.12. Технология толстопленочных гибридных ИС	211
Контрольные вопросы.	214
Глава 7. Элементы интегральных схем	216
7.1. Введение	216
7.2. Изоляция элементов	218
7.3. Транзисторы $n-p-n$	227
7.4. Разновидности $n-p-n$ -транзисторов	235
7.5. Транзисторы $p-n-p$	241
7.6. Интегральные диоды	244
7.7. Полевой транзистор.	247
7.8. МДП-транзисторы	248
7.9. Полупроводниковые резисторы	258
7.10. Полупроводниковые конденсаторы.	264
7.11. Элементы ИС на полупроводниках группы $A^{III}B^V$	271
7.12. Элементы пленочных ИС	274
Контрольные вопросы.	280
Глава 8. Основы цифровой схемотехники	282
8.1. Введение	282
8.2. Статический режим простейшего биполярного ключа.	284
8.3. Переходные процессы в простейшем биполярном ключе.	293
8.4. Ключ с барьером Шоттки	303
8.5. Переключатель тока	305
8.6. МДП-транзисторные ключи	310
8.7. Помехоустойчивость ключей	322
8.8. Вистабильные ячейки и триггеры	326
8.9. Триггер Шмитта	330
Контрольные вопросы.	334

Глава 9. Основы аналоговой схемотехники	336
9.1. Введение	336
9.2. Составные транзисторы	337
9.3. Статический режим простейшего усилителя	339
9.4. Переходные процессы в простейшем усилителе	347
9.5. Простейшие усилители на МДП-транзисторах	352
9.6. Дифференциальные усилители.	357
9.7. Эмиттерные повторители	373
9.8. Каскод	385
9.9. Выходные каскады	386
9.10. Стабилизаторы напряжения	394
9.11. Стабилизаторы тока	400
Контрольные вопросы.	409
Глава 10. Интегральные схемы	411
10.1. Введение	411
10.2. Логические элементы на биполярных транзисторах	412
10.3. Логические элементы на МДП-транзисторах	426
10.4. Логические элементы на совмещенных биполярных и МОП-транзисторах (БиКМОП).	434
10.5. Логические элементы на полевых транзисторах с управляющим переходом металл-полупроводник (МЭП)	435
10.6. Параметры логических элементов	436
10.7. Интегральные триггеры.	440
10.8. Запоминающие устройства.	446
10.9. Большие и сверхбольшие интегральные схемы	453
10.10. Операционные усилители.	460
10.11. Надежность интегральных схем	473
10.12. Заключение	479
Контрольные вопросы.	480
Заключение. Перспективы развития микроэлектроники.	483
Литература	488

ки информации. В частности, уже в ближайшие годы могут быть промышленно реализованы элементы памяти со сверхвысокой плотностью (10^{12} бит/см²) записи информации, что в тысячи раз превосходит плотность записи на традиционных лазерных дисках.

Учитывая резкий рост публикаций по нанотехнологиям, структурам и приборам и широчайший характер практических направлений исследований, можно с уверенностью сказать, что одним из ближайшим продолжений развития микроэлектроники является *нанoeлектроника*.

Нанотехнология обеспечивает не только успехи в развитии элементной базы информационного приборостроения. Уже в настоящее время нанотехнологические разработки используются в медицине, робототехнике, машиностроении, атомной энергетике, оборонных системах и многих других областях. Не случайно в подавляющем большинстве развитых стран огромное внимание уделяется поддержке национальных программ по нанотехнологиям. Начало XXI века будет характеризоваться бурным развитием нанотехнологий вообще и *нанoeлектроники* в частности.

Литература

1. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учебное пособие для вузов. М.: Сов. Радио, 1980.
2. Росадо Л. Физическая электроника и микроэлектроника. М.: Высшая школа, 1991.
3. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. Т.1,2. М.: Мир, 1984.
4. Grove A.S. Physics and Technology of Semiconductor Devices. John Wiley & Sons, New York, 1967.