

Г. Г. Шишкин, А. Г. Шишкин

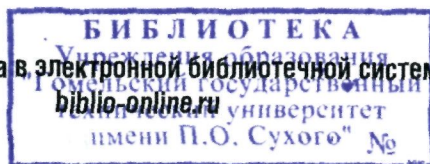
ЭЛЕКТРОНИКА

УЧЕБНИК ДЛЯ БАКАЛАВРОВ

2–е издание, исправленное и дополненное

*Рекомендовано учебно–методическим объединением вузов
Российской Федерации по образованию в области радиотехники,
электроники, биомедицинской техники и автоматизации
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению 210300 – «Радиотехника»*

Книга доступна в электронной библиотечной системе
biblio-online.ru



Москва ■ Юрайт ■ 2015

Шишкин, Г. Г. Электроника: учебник для бакалавров / Г. Г. Шишкин, А. Г. Шишкин. 2-е изд. — Москва: Юрайт, 2015. — 703 с. — Библиогр.: с. 690-691. — (Бакалавр. Базовый курс).

УДК 621.38(075.8)

ББК 31

Ч/31 — 5 экз.

Учебник состоит из шести разделов и охватывает все области современной электроники — физику полупроводников и электрических переходов, физические процессы, устройство и характеристики полупроводниковых диодов, биполярных и полевых транзисторов, тиристоров, фотоэлектрических, оптоэлектронных и электровакуумных приборов, а также такие актуальные вопросы, как базовые элементы аналоговых и цифровых интегральных схем, принципы и устройства квантовой электроники, наноэлектроники и функциональной электроники. Рассматриваются проблемы шумов, радиационной стойкости и надежности приборов. Все главы снабжены контрольными вопросами для повторения материала.

Соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования третьего поколения.

Для подготовки бакалавров, магистров и инженеров (специалистов) широкого профиля, обучающихся по направлению 210300 — «Радиотехника».

Предисловие	3
Введение	6

Раздел 1

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

Глава 1. ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ	12
1.1. Равновесная концентрация свободных носителей заряда	12
1.2. Неравновесные носители заряда	20
1.3. Электропроводность полупроводников	23
1.4. Законы движения носителей заряда в полупроводниках	27
Глава 2. КОНТАКТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДЫ	31
2.1. Основные определения. Классификация электрических переходов	31
2.2. Физические процессы в электронно-дырочных переходах	32
2.3. Вольт-амперная характеристика $p-n$ -перехода	41
2.4. Электрическая модель $p-n$ -перехода	51
2.5. Переходные процессы в $p-n$ -переходе	54
2.6. Контакты металл—полупроводник	58
2.7. Гетеропереходы	64
Глава 3. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ	71
3.1. Общие сведения и классификация диодов	71
3.2. Выпрямительные диоды	76
3.3. Импульсные диоды	82
3.4. Стабилитроны	84
3.5. Варикапы	87
3.6. Туннельные диоды	90
3.7. Лавинно-пролетные диоды	95
3.8. Диоды Ганна	104
Глава 4. ВИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ	115
4.1. Общие вопросы. Устройство, режимы работы транзисторов	115

4.2.	Физические процессы в нормальном активном режиме. Коэффициенты передачи тока	118
4.3.	Модель Эберса—Молла. Статические характеристики биполярных транзисторов	122
4.4.	Биполярный транзистор как линейный четырехполюсник. Параметры транзистора	132
4.5.	Эквивалентные схемы	139
4.6.	Переходные и частотные характеристики биполярного транзистора	142
4.7.	Импульсный режим работы. Транзисторный ключ ...	148
4.8.	Разновидности биполярных транзисторов	154
Глава 5.	ТИРИСТОРЫ	159
5.1.	Общие сведения. Устройство. Режимы работы	159
5.2.	Основные физические процессы. Принцип действия ..	161
5.3.	Переходные процессы и импульсные свойства тиристоров	167
5.4.	Разновидности тиристоров. Параметры и модели тиристоров	173
Глава 6.	ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ	178
6.1.	Общие сведения	178
6.2.	Формирование канала в МДП-транзисторах	180
6.3.	Общие принципы управления проводимостью канала в полевых транзисторах. Статические вольт-амперные характеристики	185
6.4.	Моделирование полевых транзисторов	194
6.5.	Полевой транзистор как линейный четырехполюсник. Параметры транзисторов. Эквивалентные схемы	196
6.6.	Частотные и импульсные свойства полевых транзисторов	200
6.7.	Разновидности полевых транзисторов. Силовые комбинированные транзисторы	201

Раздел 2

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ

Глава 7.	АКТИВНЫЕ И ПАССИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ	205
7.1.	Общие сведения. Термины и определения	205
7.2.	Электрическая изоляция элементов полупроводниковых ИС	208
7.3.	Особенности биполярных транзисторов ИС	211
7.4.	Транзисторы ИС типа $p-n-p$	217
7.5.	Интегральные диоды	219
7.6.	Полевые транзисторы ИС	222
7.7.	Пассивные элементы ИС	225

Глава 8.	АНАЛОГОВЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ	228
8.1.	Общие сведения. Термины и определения	228
8.2.	Источники стабильного тока, напряжения и опорного напряжения	230
8.3.	Дифференциальные усилители	238
8.4.	Операционные усилители	246
Глава 9.	ЦИФРОВЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ	249
9.1.	Особенности цифровых интегральных схем	249
9.2.	Элементарные (базовые) цифровые схемы на биполярных транзисторах	251
9.3.	Простейшие инверторные (ключевые) схемы на МДП-транзисторах	253
9.4.	Бистабильные схемы и триггеры	258
9.5.	Логические элементы на биполярных транзисторах	260
9.6.	Логические элементы на полевых транзисторах	269
9.7.	Элементы полупроводниковых запоминающих устройств	271
Глава 10.	НАНОЭЛЕКТРОНИКА И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА	276
10.1.	Общие положения. Возможности нанозлектроники и функциональной электроники	276
10.2.	Особенности нанозлектронных приборов	279
10.3.	Приборы с зарядовой связью	285
10.4.	Элементы акустоэлектроники	293
10.5.	Элементы СБИС на цилиндрических магнитных доменах	296

Раздел 3

ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ И ДИНАМИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ

Глава 11.	ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ	301
11.1.	Общие сведения	301
11.2.	Основы эмиссионной электроники	302
11.3.	Электронно-управляемые лампы	307
11.4.	Мощные генераторные и модуляторные лампы	317
11.5.	Эквивалентные схемы электронных ламп	321
11.6.	Вакуумные интегральные схемы	323
Глава 12.	ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫЕ ПРИБОРЫ	328
12.1.	Классификация, устройство и принцип действия электронно-лучевых приборов	328

12.2.	Электронный прожектор с электростатической фокусировкой	330
12.3.	Электронный прожектор с магнитной фокусировкой	336
12.4.	Отклоняющие системы	338
12.5.	Экраны электронно-лучевых трубок	342
12.6.	Особенности электронно-лучевых приборов различного назначения	347
Глава 13.	ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ СВЧ С ДИНАМИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ И ПРОДОЛЬНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ — ПРИБОРЫ ТИПА О	361
13.1.	Общие сведения	361
13.2.	Клистроны	363
13.3.	Лампы бегущей волны. Устройство ЛБВО. Замедляющие системы	377
13.4.	Физические процессы в ЛБВО	384
13.5.	Параметры и характеристики ЛБВО	386
13.6.	Лампы обратной волны типа О	390
Глава 14.	ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ СВЧ С ДИНАМИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ И СКРЕЩЕННЫМИ ПОЛЯМИ — ПРИБОРЫ ТИПА М	395
14.1.	Общие сведения	395
14.2.	Магнетроны. Движение электронов в скрещенных полях	396
14.3.	Колебательная система магнетрона	400
14.4.	Характеристики и параметры магнетронов	405
14.5.	Приборы магнетронного типа	410

Раздел 4

ПРИБОРЫ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

Глава 15.	ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ПРИБОРЫ И ИНДИКАТОРЫ	416
15.1.	Общие сведения	416
15.2.	Элементарные процессы в газовых разрядах	418
15.3.	Приборы тлеющего разряда. Плазменные панели	422
15.4.	Приборы дугового разряда	433
15.5.	Электрорадиационные и электролюминесцентные индикаторы	434
15.6.	Пассивные индикаторы. Жидкокристаллические индикаторы	439
15.7.	Сравнение индикаторов различного типа	449
Глава 16.	ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ	450
16.1.	Общие сведения	450
16.2.	Оптические явления в полупроводниках	452
16.3.	Светодиоды	458

16.4.	Полупроводниковые фотоприемники	465
16.5.	Оптопары	491
16.6.	Солнечные преобразователи	496
16.7.	Электровакуумные фотоприемники	508

Раздел 5

ПРИБОРЫ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Глава 17.	ОСНОВЫ КВАНТОВОГО УСИЛЕНИЯ	521
17.1.	Индукцированные и спонтанные переходы	521
17.2.	Усиление в квантовых системах	526
17.3.	Основные элементы устройства квантовых генераторов	526
17.4.	Условия баланса мощности и фаз в лазерах (оптических квантовых генераторах)	534
17.5.	Спектр и характеристики излучения квантовых генераторов	535
Глава 18.	КВАНТОВЫЕ ПРИБОРЫ СВЧ-ДИАПАЗОНА (МАЗЕРЫ) ..	540
18.1.	Активное вещество твердотельных мазеров. Парамагнитные уровни энергии	540
18.2.	Квантовые парамагнитные усилители	546
18.3.	Охлаждение мазеров и их параметры	552
18.4.	Квантовые генераторы СВЧ-диапазона	554
Глава 19.	ГАЗОВЫЕ ЛАЗЕРЫ	558
19.1.	Общие сведения	558
19.2.	Процессы создания инверсии населенностей в газовых лазерах	559
19.3.	Атомарные газовые лазеры. Гелий-неоновый лазер ..	561
19.4.	Ионные лазеры	566
19.5.	Молекулярные газовые лазеры	568
19.6.	Разновидности газовых лазеров	570
Глава 20.	ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ И ЖИДКОСТНЫЕ ЛАЗЕРЫ	574
20.1.	Особенности активных сред	574
20.2.	Системы накачки	577
20.3.	Рубиновый лазер	583
20.4.	Лазеры на средах, активированных неодимом	586
20.5.	Жидкостные лазеры	589
20.6.	Режимы работы и основные характеристики твердотельных лазеров	594
Глава 21.	ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИНЖЕКЦИОННЫЕ ЛАЗЕРЫ ..	603
21.1.	Полупроводниковые материалы, используемые в источниках излучения	603

21.2.	Инжекционные полупроводниковые лазеры на основе гомопереходов	606
21.3.	Инжекционные лазеры на основе гетеропереходов ...	611
21.4.	Разновидности полупроводниковых лазеров	617

Раздел 6

ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

Глава 22.	ШУМЫ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ	622
22.1.	Общие сведения	622
22.2.	Источники шумов	623
22.3.	Методы описания шумов	629
22.4.	Шумы электронных приборов различного типа	633
Глава 23.	ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ УСЛОВИЯ РАБОТЫ, РЕЖИМЫ И НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ..	644
23.1.	<i>Эксплуатационные условия, параметры и режимы</i> работы электронных приборов	644
23.2.	Радиационная стойкость электронных приборов ...	647
23.3.	Надежность электронных приборов	673
Приложение 1.	Основные параметры Si, GaAs и Ge	679
Приложение 2.	Основные уравнения, используемые для анализа работы электронных приборов	681
Литература	690
Список основных использованных обозначений	692