

Г. Г. Шишкин, И. М. Агеев

НАНОЭЛЕКТРОНИКА

ЭЛЕМЕНТЫ ПРИБОРЫ УСТРОЙСТВА

Учебное пособие

4-е издание, электронное

Рекомендовано
Государственным образовательным
учреждением высшего профессионального образования
«Московский государственный технический
университет имени Н. Э. Баумана»
в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся по направлениям
210600 «Нанотехнология», 152200 «Наноинженерия»,
210100 «Электроника и микроэлектроника»



Москва
Лаборатория знаний
2020

УДК 621.382(075.8)
ББК 38.852+32.844.1
Ш65

Шишкин Г. Г.

Ш65 Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства : учебное пособие / Г. Г. Шишкин, И. М. Агеев. — 4-е изд., электрон. — М. : Лаборатория знаний, 2020. — 411 с. — Систем. требования: Adobe Reader XI ; экран 10". — Загл. с титул. экрана. — Текст : электронный.

ISBN 978-5-00101-731-8

В учебном пособии излагаются физические и технологические основы нанoeлектроники, в том числе принципы функционирования и характеристики нанoeлектронных устройств на базе квантово-размерных структур: резонансно-туннельных, одноэлектронных и спинтронных приборов. Рассматриваются особенности квантовых компьютеров, электронных устройств на сверхпроводниках, а также приборов нанобиoeлектроники. Каждая глава снабжена контрольными вопросами и заданиями для самоподготовки.

Для студентов технических вузов, аспирантов, преподавателей и практических специалистов в области электроники.

УДК 621.382(075.8)
ББК 38.852+32.844.1

Деривативное издание на основе печатного аналога: Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства : учебное пособие / Г. Г. Шишкин, И. М. Агеев. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. — 408 с. : ил. — ISBN 978-5-9963-0638-1.

Издание осуществлено при финансовой поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы по лоту «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров в области нанотехнологий и наноматериалов», госконтракт № 02.740.11.0790 от 17 мая 2010 г.

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации

ISBN 978-5-00101-731-8

© Лаборатория знаний, 2015



<i>Введение</i>	3
Раздел 1. Физические и технологические основы наноэлектроники	7
Глава 1. Теоретические основы наноэлектроники	9
1.1. Основные положения квантовой механики, используемые в наноэлектронике	9
1.2. Момент импульса и спин	14
1.3. Магнитный резонанс	17
1.4. Туннельный переход через потенциальный барьер	21
1.5. Квантовые потенциальные ямы	24
1.6. Интерференционные эффекты в наноструктурах	27
1.7. Элементы зонной теории и транспортные явления в наноразмерных структурах	29
1.8. Сверхрешетки	33
1.9. Плотность энергетических состояний в низкоразмерных структурах	37
1.10. Одноэлектроника	43
1.11. Физические основы спинтроники	46
Контрольные вопросы и задания	53
Глава 2. Физические свойства наноструктур и наноструктурированных материалов	54
2.1. Классификация низкоразмерных структур и наноматериалов	54
2.2. Свойства двумерных структур	58
2.3. Свойства одномерных структур и материалов	76
2.4. Свойства углеродных наноструктур	80
2.5. Свойства наночастиц и материалов с наночастицами	92
Контрольные вопросы и задания	96
Глава 3. Технология создания наноматериалов и наноструктур и методы их диагностики	97
3.1. Методы диагностики нанообъектов	97
3.2. Эпитаксиальные методы создания тонких пленок и гетероструктур	104
3.3. Технология создания квантовых точек и нитей	112
3.4. Основные технологические методы создания углеродных наноматериалов	118
3.5. Методы зондового сканирования	122
3.6. Нанолитография	124
Контрольные вопросы и задания	127

Раздел 2. Нанoeлектронные приборы	129
Глава 4. Полупроводниковые гомо- и гетероструктуры и приборы на их основе	131
4.1. Электрические гомо- и гетеропереходы	131
4.2. Туннельные диоды	159
4.3. Биполярные транзисторы	168
4.4. Полевые транзисторы	200
Контрольные вопросы и задания	232
Глава 5. Нанoeлектронные приборы на основе квантово-размерных структур	234
5.1. Резонансно-туннельные приборы	234
5.2. Одноэлектронные приборы	248
5.3. Спинтронные приборы	260
5.4. Полупроводниковые фотоприборы	268
5.5. Полупроводниковые инжекционные лазеры и светодиоды	290
Контрольные вопросы и задания	316
Глава 6. Базовые логические элементы квантовых компьютеров ..	318
6.1. Общие сведения о квантовых компьютерах	318
6.2. Базовые элементы полупроводникового кремниевого квантового компьютера на основе ядерно-магнитного резонанса	324
6.3. Базовые элементы для квантовых компьютеров на квантовых точках	331
6.4. Логические элементы квантовых компьютеров на сверхпроводниках	335
Контрольные вопросы и задания	341
Глава 7. Сверхпроводимость и электронные устройства на сверхпроводниках	342
7.1. Основные свойства сверхпроводящего состояния	342
7.2. Сверхпроводники 1-го и 2-го рода	355
7.3. Джозефсоновские переходы и их модели	364
7.4. Аналоговые сверхпроводниковые устройства	374
7.5. Криотроны, логические элементы и элементы памяти на джозефсоновских переходах	383
7.6. Электронные устройства, использующие ВТСП	389
Контрольные вопросы и задания	390
Глава 8. Нанобиоэлектроника	391
8.1. Общие положения и термины	391
8.2. Электропроводные свойства ДНК	394
8.3. Приборы на основе биоэлектроники	396
8.4. Конечный биоавтомат Шапиро	401
Контрольные вопросы и задания	403
Литература	404