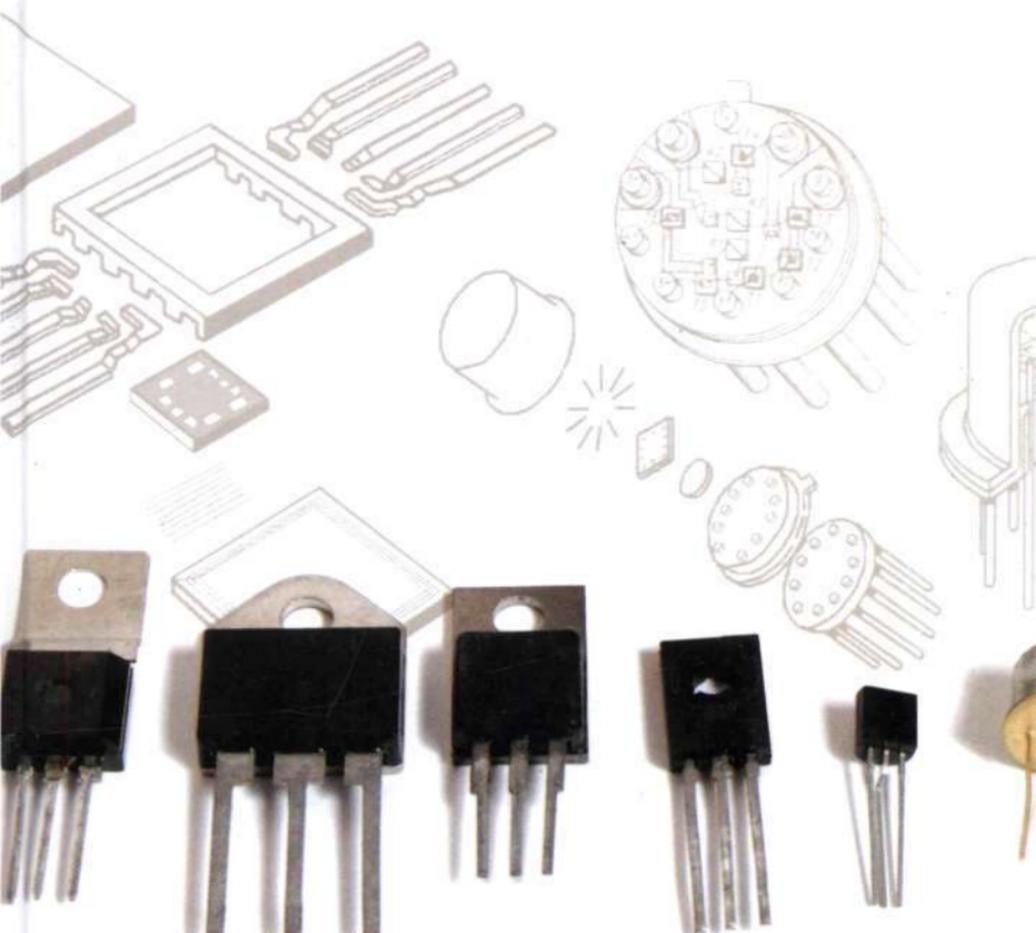


Ю. А. Смирнов
С. В. Соколов
Е. В. Титов

М



ОСНОВЫ НАНО- И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ



**Ю. А. СМИРНОВ
С. В. СОКОЛОВ
Е. В. ТИТОВ**

ОСНОВЫ НАНО- И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Издание второе, исправленное



**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ • МОСКВА • КРАСНОДАР
2013**

ББК 32.85я73

С 50



Смирнов Ю. А., Соколов С. В., Титов Е. В.

С 50 Основы нано- и функциональной электроники: Учебное пособие. — 2-е изд., испр. — СПб.: Издательство «Лань», 2013. — 320 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература).

ISBN 978-5-8114-1378-2

В книге изложены история становления и развития наноэлектроники, физические основы наноструктур и приборов наноэлектроники, физические и микросистемные основы построения элементной базы приборов и устройств направлений развития функциональной электроники (акустоэлектроники, диэлектрической электроники, полупроводниковой электроники, магнитозлектроники, оптоэлектроники, молекулярной электроники). Пособие содержит контрольные вопросы, задачи с решениями и списки рекомендуемой литературы для углубленного изучения материала.

Предназначено для подготовки бакалавров, магистров и специалистов направлений «Электроэнергетика и электротехника», «Электроника и наноэлектроника», «Радиотехника», «Информационные технологии и системы связи», «Конструирование технологий и микросистемная техника».

ББК 32.85я73

Рецензенты:

Д. А. БЕЗУГЛОВ — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, проректор по научно-методической работе Ростовского технологического института сервиса и туризма (филиал) Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса;

В. А. ПОГОРЕЛОВ — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Ростовского-на-Дону научно-исследовательского института радиосвязи.

Обложка
Е. А. ВЛАСОВА

*Охраняется законом РФ об авторском праве.
Воспроизведение всей книги или любой ее части
запрещается без письменного разрешения издателя.
Любые попытки нарушения закона
будут преследоваться в судебном порядке.*

- © Издательство «Лань», 2013
- © Ю. А. Смирнов, С. В. Соколов,
Е. В. Титов, 2013
- © Издательство «Лань»,
художественное оформление, 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Введение	7
<i>Раздел первый</i>	
Основы наноэлектроники	14
1.1. Барьеры на пути перехода от микро к наноэлектронике	14
1.2. Начала наноэлектроники	16
1.3. Квантовые ограничения	19
1.4. Туннелирование электронов	23
1.5. Квантовые точки	26
1.6. Квантовые эффекты в наноструктурах	27
1.6.1. Одноэлектронное туннелирование	27
1.6.2. Транспортный эффект Ааронова — Бома	30
1.7. Новые транзисторные структуры	32
1.7.1. Полевые транзисторы	32
1.7.2. Транзисторы с резонансным туннелированием	35
1.8. Квантовые приборы наноэлектроники	36
1.8.1. Квантовый вентиль	37
1.8.2. Квантовый интерферометр	39
1.8.3. Квантовый каскадный лазер	39
1.9. Одноэлектронные приборы	41
1.10. Новые материалы наноэлектроники	45
1.10.1. Углеродные нанотрубки	49
1.10.2. Графен	51
1.10.3. Последние «углеродные» достижения	52
1.10.4. Перспективы применения углеродных наноматериалов	55
1.10.4.1. Дисплей	55
1.10.4.2. Память	58
1.10.4.3. Процессоры	61

Раздел второй

Основы функциональной электроники	68
2.1. Краткая историческая справка и начала функциональной электроники	68
2.1.1. Краткая историческая справка	68
2.1.2. Начала функциональной электроники	74
2.2. Основы функциональной акустоэлектроники	82
2.2.1. Физические основы	82
2.2.2. Микросистемные основы приборов	101
2.2.2.1. Линии задержки	103
2.2.2.2. Устройства частотной селекции	109
2.2.2.3. Генераторы на ПАВ	121
2.2.2.4. Усилители	123
2.2.3. Основы нелинейных устройств	126
2.2.3.1. Физические основы	126
2.2.3.2. Конвольверы	130
2.2.3.3. Устройства памяти	134
2.2.3.4. Фурье-процессоры	141
2.2.4. Акустоэлектроника в системах и средствах связи	145
2.3. Основы функциональной диэлектрической электроники	147
2.3.1. Физические основы	147
2.3.2. Микросистемные основы приборов и устройств	157
2.3.2.1. Слоистые структуры	157
2.3.2.2. Устройства памяти	159
2.3.2.3. Процессоры	163
2.4. Основы функциональной полупроводниковой электроники	167
2.4.1. Физические основы	167
2.4.2. Микросистемные основы приборов и устройств	193
2.4.2.1. Аналоговые процессоры на ПЗС-структурах	193
2.4.2.2. Цифровые процессоры на ПЗС-структурах	200
2.4.2.3. Запоминающие устройства на ПЗС-структурах	206
2.4.2.4. БИСПИН-приборы	210
2.4.2.5. Приборы на волнах пространственного заряда	218
2.4.2.6. Ганновские приборы	222
2.5. Функциональная магнитоэлектроника	226
2.5.1. Физические основы	226
2.5.2. Микросистемные основы приборов и устройств	237
2.5.2.1. Процессоры сигналов на ЦМД	237
2.5.2.2. Процессоры сигналов на МСВ	239

2.5.2.3. Запоминающие устройства на ЦМД	241
2.5.2.4. Запоминающие устройства на магнитных вихрях	244
2.6. Основы функциональной оптоэлектроники	246
2.6.1. Физические основы	246
2.6.2. Процессоры функциональной оптоэлектроники	252
2.6.3. Запоминающие устройства функциональной оптоэлектроники	256
2.7. Основы функциональной молекулярной электроники	260
2.7.1. Физические основы	260
2.7.2. Молекулярные устройства	267
2.7.3. Автоволновая электроника	270
<i>Раздел третий</i>	
Приборы функциональной электроники второго поколения	274
3.1. Приборы с акустическим переносом зарядов	274
3.2. Приборы акустооптики	277
Заключение	283

ПРИЛОЖЕНИЯ

<i>Приложение 1</i>	
Специфика применения САПР в процессе создания радиоэлектронной аппаратуры	286
<i>Приложение 2</i>	
Программное обеспечение моделирования наносистем	294