



А. А. Шука

# Электроника

2-е издание

- Вакуумная и плазменная электроника
- Твердотельная электроника
- Микронанoeлектроника
- Квантовая и оптическая электроника
- Процессы микро- и нанотехнологии
- Методы исследования материалов и структур
- Микросхемотехника
- Примеры решения задач по разделам курса

bhv



**А. А. Щука**

# **Электроника**

**2-е издание**

Рекомендовано УМО по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 654100 "Электроника и микроэлектроника"

Санкт-Петербург

«БХВ-Петербург»

2008

ББК 32.85я73  
Щ94

**Щука А. А.**

Щ94 Электроника. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2008. — 752 с.: ил. — (Учебная литература для вузов)

ISBN 978-5-9775-0160-6

Рассмотрены разделы электроники: вакуумная и плазменная электроника, твердотельная электроника, микроэлектроника, квантовая и оптическая электроника, процессы микро- и нанотехнологий, методы исследования материалов и структур, микросхемотехника. В разделы включены исторические справки об этапах становления и развития направления электроники, контрольные вопросы и задачи с решениями. Во втором издании материал перегруппирован, исправлены неточности и добавлены новые разделы: "Твердотельная электроника" и "Методы исследования материалов и структур".

*Для студентов электронных, радиотехнических  
и радиофизических специальностей вузов, аспирантов и инженеров*

УДК 681.3(075.8)  
ББК 32.85я73

#### Группа подготовки издания:

Главный редактор	<i>Екатерина Кондукова</i>
Зам. главного редактора	<i>Татьяна Лапина</i>
Зав. редакцией	<i>Григорий Добин</i>
Редактор	<i>Екатерина Капальгина</i>
Компьютерная верстка	<i>Ольги Сергиенко</i>
Корректор	<i>Зинаида Дмитриева</i>
Дизайн серии	<i>Инны Тачиной</i>
Оформление обложки	<i>Елены Беляевой</i>
Фотографии	<i>Кирилла Сергеева</i>
Зав. производством	<i>Николай Тверских</i>

#### Рецензенты:

*А. С. Бугаев*, д. ф.-м. н., проф., академик РАН, лауреат Государственной премии, зав. кафедрой вакуумной электроники и нанотехнологий МФТИ,

*Ю. А. Быстров*, д. т. н., проф., заслуженный деятель науки и техники РФ, лауреат Государственной премии РФ, зав. кафедрой электронных приборов и устройств СПбГЭТУ "ЛЭТИ"

Лицензия ИД № 02429 от 24.07.00. Подписано в печать 22.02.08.

Формат 70×100<sup>1/8</sup>. Печать офсетная. Усл. печ. л. 80,83.

Тираж 2000 экз. Заказ № 3103

"БХВ-Петербург", 194354, Санкт-Петербург, ул. Есенина, 55.

Санитарно-эпидемиологическое заключение на продукцию № 77.99.60.953 Д.002108.02.07 от 28.02.2007 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

Отпечатано с готовых диапозитивов

в ГУП "Типография "Наука"

199034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12

ISBN 978-5-9775-0160-4

© Щука А. А., 2008

© Оформление, издательство "БХВ-Петербург", 2008

---

---

# Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
<b>ЧАСТЬ I. ВАКУУМНАЯ И ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА.....</b>	<b>5</b>
Введение.....	7
<b>1. Краткая историческая справка.....</b>	<b>9</b>
<b>2. Физика и техника вакуума.....</b>	<b>15</b>
2.1. Свойства вакуума.....	15
2.2. Методы создания вакуума.....	22
2.3. Методы измерения вакуума.....	26
2.4. Методы течеискания.....	37
Задачи и упражнения.....	40
Контрольные вопросы.....	44
Рекомендуемая литература.....	44
<b>3. Вакуумная электроника.....</b>	<b>45</b>
3.1. Модель прибора вакуумной электроники.....	45
3.2. Электронная эмиссия.....	46
3.2.1. Термоэлектронная эмиссия.....	47
3.2.2. Фотоэлектронная эмиссия.....	49
3.2.3. Вторичная электронная эмиссия.....	51
3.2.4. Кинетическая ионно-электронная эмиссия.....	52
3.2.5. Эмиссия горячих электронов.....	52
3.2.6. Экзоэлектронная эмиссия.....	53
3.2.7. Автоэлектронная эмиссия.....	53
3.2.8. Потенциальная ионно-электронная эмиссия.....	55
3.3. Эмиттеры свободных электронов.....	55
3.3.1. Электронная пушка.....	55
3.4. Управление полями потоками электронов.....	57
3.4.1. Однородное электрическое поле.....	57
3.4.2. Однородное магнитное поле.....	59
3.4.3. Движение электрона в скрещенных полях.....	63
3.5. Устройства управления электронным пучком.....	68
3.5.1. Электростатическая отклоняющая система.....	68
3.5.2. Управление электронной оптикой.....	71
3.5.3. Управление магнитной оптикой.....	75
3.6. Управление скоростью электронов.....	77
3.6.1. Резонаторные методы скоростной модуляции электронов.....	77
3.6.2. Нерезонансные устройства скоростной модуляции.....	79

3.7. Детектирование и преобразование энергии электронного потока .....	80
3.7.1. Наведение тока при движении электронов в вакууме .....	80
3.7.2. Отбор энергии от электронного потока .....	82
3.7.3. Процессы взаимодействия электронов с веществом детектора .....	83
Задачи и упражнения .....	86
Контрольные вопросы .....	96
Рекомендуемая литература .....	97
<b>4. Приборы и устройства вакуумной электроники .....</b>	<b>98</b>
4.1. Классификация приборов .....	98
4.2. Электронные лампы .....	98
4.3. Электровакuumные микролампы .....	105
4.4. СВЧ-приборы .....	106
4.4.1. Электронные лампы СВЧ .....	106
4.4.2. Клинтроны .....	106
4.4.3. Лампы бегущей волны .....	109
4.4.4. Лампы обратной волны .....	110
4.4.5. Магнетроны .....	111
4.5. Электронно-лучевые приборы .....	114
4.5.1. Приборы типа "сигнал—свет" .....	114
4.5.2. Прибор типа "свет—сигнал" .....	116
4.5.3. Приборы типа "сигнал—сигнал" .....	120
4.5.4. Приборы типа "свет—свет" .....	121
4.6. Фотозлектронные приборы .....	122
4.6.1. Вакуумные фотоэлементы .....	122
4.6.2. Фотозлектронные умножители .....	123
Задачи и упражнения .....	124
Контрольные вопросы .....	133
Рекомендуемая литература .....	133
<b>5. Плазменная электроника .....</b>	<b>134</b>
5.1. Основные понятия .....	134
5.2. Электрический разряд в газах .....	134
5.3. Процессы в плазме .....	137
5.4. Излучение плазмы .....	141
5.5. Диагностика плазмы .....	142
Задачи и упражнения .....	142
Контрольные вопросы .....	151
Рекомендуемая литература .....	151
<b>6. Приборы и устройства плазменной электроники .....</b>	<b>152</b>
6.1. Ионные приборы .....	152
6.2. Приборы отображения информации .....	153
6.3. Ионные приборы на углеродных нанотрубках .....	155
Задачи и упражнения .....	156
Контрольные вопросы .....	158
Рекомендуемая литература .....	158
<b>Заключение .....</b>	<b>159</b>

<b>ЧАСТЬ II. ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА .....</b>	<b>161</b>
<b>Введение.....</b>	<b>163</b>
<b>1. Краткая историческая справка.....</b>	<b>164</b>
1.1. Эпоха транзисторизации.....	168
<b>2. Физические основы твердотельной электроники.....</b>	<b>173</b>
2.1. Полупроводники и их структура .....	173
2.2. Носители заряда в полупроводниках .....	175
2.3. Явления переноса носителей .....	181
2.3.1. Барьеры на границах кристалла.....	183
2.3.2. Электронно-дырочные переходы.....	185
2.3.3. Гетеропереходы.....	191
2.3.4. Контакты.....	193
Контрольные вопросы.....	196
Рекомендуемая литература .....	196
<b>3. Полупроводниковые приборы .....</b>	<b>197</b>
3.1. Полупроводниковые диоды .....	197
3.2. Транзисторы.....	203
3.3. Тиристоры .....	207
3.4. Полупроводниковые излучатели .....	208
3.5. Полупроводниковые фотоприемники .....	209
3.6. Полупроводниковые датчики .....	213
Задачи и упражнения.....	217
Контрольные вопросы.....	228
Рекомендуемая литература .....	228
<b>Заключение .....</b>	<b>229</b>
<b>ЧАСТЬ III. МИКРОЭЛЕКТРОНИКА.....</b>	<b>231</b>
<b>Введение.....</b>	<b>233</b>
<b>1. Краткая историческая справка.....</b>	<b>234</b>
1.1. Третья транзисторная революция — рождение микроэлектроники .....	234
1.2. Грядет ли новая транзисторная революция?.....	238
1.3. Линии развития, параллельные транзистору .....	239
1.4. Место микроэлектроники в сфере высоких технологий .....	244
<b>2. Интегральные транзисторные структуры .....</b>	<b>247</b>
2.1. Классификация транзисторных структур.....	247
2.2. Интегральные униполярные транзисторы .....	248
2.2.1. МДП-транзисторы с индуцированным каналом .....	248
2.2.2. МДП-транзисторы со встроеным каналом .....	250
2.2.3. Комплементарные структуры.....	251
2.3. Транзистор с управляющим р—п-переходом .....	252
2.4. Полевой транзистор на гетероструктурах .....	254

2.5. V-МДП-транзисторы.....	257
2.6. Эпитаксиально-планарный биполярный транзистор.....	257
2.6.1 Физические основы работы.....	259
2.6.2. Малосигнальные параметры.....	260
2.7. Многоэмиттерные и многоколлекторные транзисторы.....	264
2.8. Транзисторные структуры интегрально-инжекционной логики.....	265
2.9. Транзистор с барьером Шоттки.....	265
2.10. Перспективные транзисторные структуры.....	266
Задачи и упражнения.....	272
Контрольные вопросы.....	284
Рекомендуемая литература.....	284
<b>3. Элементная база интегральных схем.....</b>	<b>285</b>
3.1. Способы изоляции элементов.....	285
3.2. Интегральные диоды.....	288
3.3. Интегральные резисторы.....	291
3.4. Интегральные конденсаторы.....	293
Задачи и упражнения.....	297
Контрольные вопросы.....	300
Рекомендуемая литература.....	300
<b>4. Классификация интегральных схем.....</b>	<b>301</b>
4.1. Принципы классификации.....	301
4.2. Условные обозначения.....	307
4.3. Основные параметры интегральных схем.....	310
4.4. Применение и эксплуатация интегральных схем.....	314
Рекомендуемая литература.....	315
<b>5. БМК и ПЛИС.....</b>	<b>316</b>
5.1. Классификация базовых матричных кристаллов.....	316
5.2. Программируемые логические интегральные схемы.....	320
5.3. Система на кристалле.....	322
Контрольные вопросы.....	323
Рекомендуемая литература.....	323
<b>6. Интегральные схемы СВЧ-диапазона.....</b>	<b>324</b>
6.1. Общие положения.....	324
6.2. Элементная база электроники СВЧ.....	325
6.3. Интегральные транзисторы СВЧ-диапазона.....	328
6.4. Монолитные арсенид-галлиевые ИС.....	330
Контрольные вопросы.....	332
Рекомендуемая литература.....	332
<b>Заключение.....</b>	<b>333</b>
<b>ЧАСТЬ IV. КВАНТОВАЯ И ОПТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА.....</b>	<b>335</b>
<b>Введение.....</b>	<b>337</b>
<b>1. Краткая историческая справка.....</b>	<b>338</b>

<b>2. Физические основы квантовой электроники .....</b>	<b>346</b>
2.1. Спонтанное и вынужденное излучения .....	346
2.2. Спектральные линии .....	349
2.3. Поглощение и усиление .....	350
Задачи и упражнения .....	352
Контрольные вопросы .....	359
Рекомендуемая литература .....	359
<b>3. Принципы работы лазера.....</b>	<b>360</b>
Задачи и упражнения.....	365
Контрольные вопросы .....	369
Рекомендуемая литература .....	370
<b>4. Типы лазеров .....</b>	<b>371</b>
4.1. Лазеры на конденсированных средах .....	371
4.1.1. Твердотельные лазеры .....	371
4.1.2. Жидкостные лазеры .....	377
4.2. Газовые лазеры .....	379
Задачи и упражнения.....	389
Контрольные вопросы .....	393
Рекомендуемая литература .....	393
<b>5. Управление световыми потоками .....</b>	<b>394</b>
5.1. Устройства управления .....	394
5.2. Оптические волноводы .....	398
5.3. Волоконные световоды .....	403
Контрольные вопросы .....	405
Рекомендуемая литература .....	406
<b>6. Приемники излучения .....</b>	<b>407</b>
6.1. Фотодиоды .....	407
6.2. Фотоприемники с внутренним усилением .....	410
6.3. Гетеродинный прием оптического излучения .....	412
Контрольные вопросы .....	414
Рекомендуемая литература .....	415
<b>7. Введение в интегральную оптику .....</b>	<b>416</b>
7.1. Элементы интегральной оптики .....	416
7.2. Элементная база интегральной оптики.....	417
7.3. Интегрально-оптические схемы .....	420
Контрольные вопросы .....	422
Рекомендуемая литература .....	423
<b>8. Введение в оптоэлектронику .....</b>	<b>424</b>
8.1. Элементная база.....	424
8.2. Оптоэлектронные устройства обработки информации .....	428
Контрольные вопросы .....	429
Рекомендуемая литература .....	429



<b>9. Оптические методы обработки информации .....</b>	<b>430</b>
9.1. Оптические сигналы.....	430
9.2. Голография.....	432
9.2.1. Принципы голографической обработки информации.....	432
9.2.2. Голографическая элементная база.....	435
9.2.3. Голографические запоминающие устройства.....	435
9.3. Интерферометрические методы .....	437
9.4. Когерентные оптические системы аналоговой обработки информации.....	438
9.5. Структуры с пониженной размерностью.....	443
9.5.1. Лазерные наноструктуры.....	445
9.5.2. Фотоприемники на квантовых точках.....	447
Контрольные вопросы.....	448
Рекомендуемая литература .....	449
<b>Заключение .....</b>	<b>450</b>
<b>ЧАСТЬ V. ПРОЦЕССЫ МИКРО- И НАНОТЕХНОЛОГИИ .....</b>	<b>451</b>
<b>Введение.....</b>	<b>453</b>
<b>1. Технологические процессы изготовления ИС.....</b>	<b>454</b>
1.1. Процессы первичной обработки материалов .....	454
1.2. Процессы литографии .....	457
1.2.1. Фотолитография .....	458
1.2.2. Электронлитография .....	462
1.2.3. Рентгенлитография .....	467
1.2.4. Ионная литография .....	469
1.2.5. Лазерная литография .....	471
1.3. Процессы локального изменения свойств полупроводников .....	471
1.3.1. Эпитаксия .....	471
1.3.2. Легирование полупроводников.....	475
1.4. Процессы обработки поверхности .....	484
1.4.1. Окисление кремния.....	484
1.4.2. Травление.....	484
1.4.3. Металлизация поверхности.....	490
1.5. Сборка интегральных схем .....	493
1.6. Типовые технологические маршруты производства ИС.....	495
Задачи и упражнения.....	499
Контрольные вопросы.....	507
Рекомендуемая литература .....	507
<b>2. Процессы нанотехнологий .....</b>	<b>508</b>
2.1. Молекулярно-лучевая эпитаксия.....	508
2.2. Газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений.....	511
2.3. Формирование структур на основе коллоидных растворов.....	515
2.4. Золь-гель технология.....	517
2.5. Методы молекулярного наслаивания и атомно-слоевой эпитаксии.....	518
2.6. Сверхтонкие пленки металлов и диэлектриков.....	520
2.7. Самоорганизация гетероэпитаксиальных структур.....	520
2.8. Ионный синтез квантовых наноструктур .....	522
2.9. Методы зондовой нанотехнологии.....	524

Контрольные вопросы.....	533
Рекомендуемая литература.....	533
<b>3. Организационно-технологические основы производства.....</b>	<b>534</b>
3.1. Базовые субмикронные технологии.....	534
3.2. Контроль качества интегральных схем.....	536
3.3. Физико-технологические и экономические ограничения интеграции ИС.....	547
3.4. Барьеры на пути от микро- к нанoeлектронике.....	550
Контрольные вопросы.....	552
Рекомендуемая литература.....	552
<b>Заключение.....</b>	<b>553</b>
<b>ЧАСТЬ VI. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ И СТРУКТУР ЭЛЕКТРОНИКИ.....</b>	<b>555</b>
<b>Введение.....</b>	<b>557</b>
<b>1. Методы измерения параметров полупроводников.....</b>	<b>558</b>
1.1. Исследование кристаллической структуры.....	558
1.2. Диагностика параметров полупроводников.....	560
1.2.1. Удельное сопротивление.....	560
1.2.2. Диагностика поверхностных состояний.....	563
1.2.3. Определение концентрации примесей.....	565
1.2.4. Кинетические параметры.....	567
Контрольные вопросы.....	569
Рекомендуемая литература.....	569
<b>2. Исследования химического состава поверхности.....</b>	<b>570</b>
2.1. Масс-спектрометрия.....	570
2.2. Оже-электронная спектроскопия.....	575
2.3. Ионная масс-спектрометрия.....	578
2.4. Фотоэлектронная спектроскопия.....	581
2.5. Радиоспектрометрия.....	583
Контрольные вопросы.....	584
Рекомендуемая литература.....	585
<b>3. Исследования физической структуры поверхности.....</b>	<b>586</b>
3.1. Рентгеноструктурный анализ.....	586
3.1.1. Общие положения.....	586
3.1.2. Метод Лауэ.....	587
3.1.3. Метод Дебая — Шеррера.....	588
3.1.4. Прецизионный рентгеноструктурный анализ.....	589
3.2. Анализ поверхности электронным пучком.....	591
3.2.1. Метод дифракции медленных электронов.....	593
3.2.2. Метод дифракции отраженных быстрых электронов.....	594
3.3. Полевая эмиссионная микроскопия.....	595
3.4. Сканирующая зондовая микроскопия.....	598
3.4.1. Сканирующая туннельная микроскопия.....	598
3.4.2. Атомно-силовая микроскопия.....	601

3.4.3. Контактная атомно-силовая микроскопия .....	602
3.4.4. Колебательный метод атомно-силовой микроскопии .....	603
3.4.5. Микроскопия электростатических сил .....	604
3.5. Электронная микроскопия .....	605
3.5.1. Просвечивающая электронная микроскопия .....	605
3.5.2. Растровая электронная микроскопия .....	606
3.6. Эллипсометрия .....	607
Контрольные вопросы .....	613
Рекомендуемая литература .....	613
<b>Заключение .....</b>	<b>614</b>
<b>ЧАСТЬ VII. МИКРОСХЕМОТЕХНИКА .....</b>	<b>615</b>
<b>Введение.....</b>	<b>617</b>
<b>1. Логические элементы интегральных схем.....</b>	<b>619</b>
1.1. Классификация логических элементов .....	619
1.2. Основные характеристики логических элементов .....	622
1.3. Логические ИС на биполярных транзисторах .....	624
1.3.1. Логические элементы с передачей тока или напряжения .....	624
1.3.2. Логические элементы с логикой на входе .....	628
1.3.3. Логические схемы на переключателях тока .....	630
1.4. Логические элементы на МДП-транзисторах .....	632
1.5. Логические элементы на арсенид-галлиевых транзисторах .....	636
1.6. Логические элементы на БикМОП-транзисторах .....	638
1.7. Сравнительный анализ логических элементов .....	639
Задачи и упражнения .....	640
Контрольные вопросы .....	643
Рекомендуемая литература .....	644
<b>2. Запоминающие устройства .....</b>	<b>645</b>
2.1. Классификация запоминающих устройств .....	645
2.2. ЗУ на биполярных транзисторах .....	647
2.3. ЗУ на МДП-транзисторах .....	649
2.4. ЗУ на арсенид-галлиевых структурах .....	653
Задачи и упражнения .....	654
Контрольные вопросы .....	659
Рекомендуемая литература .....	659
<b>3. Триггеры и устройства на их основе.....</b>	<b>660</b>
3.1. Бистабильные ячейки .....	660
3.2. Триггер Шмитта .....	661
3.3. RS-триггер .....	662
3.4. RST-триггер .....	663
3.5. D-триггер .....	663
3.6. T-триггер .....	664
3.7. JK-триггер .....	665
3.8. Счетчики .....	666
3.9. Регистры сдвига .....	667

3.10. Сумматоры .....	668
3.11. Шифраторы и дешифраторы .....	669
3.12. Мультиплексор .....	671
Задачи и упражнения .....	672
Контрольные вопросы .....	674
Рекомендуемая литература .....	674
<b>4. Микропроцессоры и микроконтроллеры .....</b>	<b>675</b>
4.1. Микропроцессоры .....	675
4.2. Микропроцессорные системы .....	680
Задачи и упражнения .....	683
Контрольные вопросы .....	684
Рекомендуемая литература .....	685
<b>5. Аналоговая схемотехника .....</b>	<b>686</b>
5.1. Классификация аналоговых схем .....	686
5.2. Операционный усилитель .....	688
5.3. Аппаратурные включения операционных усилителей .....	691
5.3.1. Линейные включения операционного усилителя .....	691
5.3.2. Нелинейные включения операционного усилителя .....	694
Задачи и упражнения .....	696
Контрольные вопросы .....	697
Рекомендуемая литература .....	697
<b>6. Преобразователи ЦАП — АЦП .....</b>	<b>698</b>
6.1. Цифроаналоговый преобразователь .....	698
6.2. Аналого-цифровой преобразователь .....	698
Задачи и упражнения .....	700
Контрольные вопросы .....	700
Рекомендуемая литература .....	701
<b>Заключение .....</b>	<b>702</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>703</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ .....</b>	<b>704</b>
Вехи развития отечественной электроники .....	704
Российский период .....	704
Советский период .....	708
Новейший российский период .....	726
<b>ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ .....</b>	<b>731</b>

---

---

# ПРЕДИСЛОВИЕ

Подготовка специалистов по направлению "Электроника и микроэлектроника" затруднена, с одной стороны, обилием ранее изданных книг по этому направлению и трудностью выбора современного учебника или учебного пособия. С другой стороны, отсутствует учебник, объединивший с системных позиций вакуумную и плазменную электронику с твердотельной и микроэлектроникой, квантовую и оптическую электронику с функциональной электроникой. Все эти дисциплины взаимно связаны и являют собой физико-технические основы создания элементной базы информационных устройств и систем.

Автор понимает, что книгу по электронике можно писать, писать несколько раз, но написать невозможно. Электроника является динамично развивающейся областью науки и техники.

С точки зрения науки в основу положены свойства носителя информационного сигнала. Первым таким носителем можно считать электрон. Он является наименьшим материальным носителем электрического заряда, обладает собственным механическим и магнитным моментом, обладает большим временем жизни, достаточно легко выводится из твердого тела, может группироваться в потоки. В последние годы используются не только свойства электрона как частицы, но и свойства электрона как волны. Использование свободных электронов как носителей информационного сигнала легло в основу вакуумной электроники и созданию класса электровакуумных приборов. Исследования процессов ионизации газов с помощью электронов привело к становлению плазменной электроники и формированию класса ионных или плазменных приборов.

Становление и развитие физики твердого тела позволило сформулировать условия использования свободных электронов и квазичастиц (например, дырок) в твердом теле для создания твердотельных электронных приборов. На основе твердотельной электроники сформировались полупроводниковая электроника и микроэлектроника.

Исследование процессов вынужденного излучения в коллективе связанных электронов привело к формированию и становлению новой области электроники — квантовой электроники. В ее основе лежат свойства связанных в атоме электронов, их коллективные взаимодействия с веществом и излучением.

Однако не только электроны, ионы, дырки и другие квазичастицы способны переносить информационный сигнал. Существуют так называемые динамические неоднородности, на свойствах которых можно создать класс приборов для обработки и хранения информации. К таким динамическим неоднородностям можно отнести поверхностные акустические волны, магнитно-статические волны, волны зарядовой плотности, ганновские и сегнетоэлектрические домены, флюксоны и другие квазичастицы. Это направление в электронике получило название функциональной электроники.

Свойства электрона как волны используется в наноэлектронике. Все большее внимание привлекает к себе солитон. Он тоже обладает свойствами волны и частицы.

С точки зрения техники все, что связано с электроникой, относится к высоким технологиям. Электроника сегодня — это сумма высоких технологий.

В начале прошлого века начала развиваться вакуумная техника. Именно успехи в вакуумной технологии позволили развиваться технологии микроэлектроники. Появилась квантовая электроника, и успехи лазерной технологии во многом определялись достижениями вакуумной технологии. Сегодня на очереди стоит развитие нанотехнологии.

Разделы второго издания учебника написаны с позиций системного подхода и соответствуют Государственному образовательному стандарту Высшего профессионального образования по направлению подготовки 210100 "Электроника и микроэлектроника".

- Часть I. Вакуумная и плазменная электроника.
- Часть II. Твердотельная электроника.
- Часть III. Микроэлектроника.
- Часть IV. Квантовая и оптическая электроника.
- Часть V. Процессы микро- и нанотехнологии.
- Часть VI. Методы исследования материалов и структур электроники.
- Часть VII. Микросхемотехника.

По замыслу автора учебник должен сформировать у студентов, изучающих электронику, целостное восприятие этого перспективного раздела науки и техники.

Удалось ли это, судить студентам и аспирантам, для которых и предназначена данная книга.

Учебник написан по материалам лекций, прочитанных автором в разные годы в Московском государственном институте радиотехники, электроники и автоматики (Технический университет) и Московском физико-техническом институте (Государственный университет). Автор с благодарностью вспоминает обсуждения отдельных тем и методических подходов с выдающимися лекторами — профессорами Л. Н. Курбатовым, Г. В. Скроцким, Ю. В. Гуляевым, Б. В. Бондаренко, Я. А. Федотовым и др. Их лекции и семинары так или иначе органически вплелись в содержание книги.

Вместе с тем автор обязан замечательным учебникам и учебным пособиям Л. Н. Розанова, А. Г. Алексенко, И. П. Степаненко, Л. А. Коледова, Н. В. Карлова, А. Н. Пихтина и других выдающихся отечественных ученых, методические находки которых были использованы в учебном процессе и процитированы в книге. Упражнения адаптированы из популярных задачников Л. М. Гольденберга, С. М. Левитского, П. Линча, В. А. Терехова, А. В. Успенского и других крупных методистов.

У автора нет сомнений, что в издание могли попасть неточности, опечатки, некорректные формулировки. Все замечания с благодарностью будут приняты по адресу: 119454, Москва, Проспект Вернадского, 78, МИРЭА, кафедра интегральной электроники.