

А.А. ДУРНАКОВ

**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

А. А. Дурнаков

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Учебное пособие

2-е издание, стереотипное

Москва
Издательство «ФЛИНТА»
2022

Екатеринбург
Издательство Уральского университета
2022

УДК 621.382.049.77:53(075.8)

ББК 32.844я73

Д84

Рецензенты:

канд. техн. наук, доц., руководитель департамента дистанционного образования Уральского государственного колледжа

им. И. И. Ползунова *В. В. Кийко*;

начальник отдела «НПО автоматики им. академика

Н. А. Семихатова» *А. С. Наронов*

Научный редактор

проф., канд. техн. наук *А. А. Калмыков*

Дурнаков А. А.

Д84 Физические основы микро- и нанoeлектроники : учеб. пособие / А. А. Дурнаков. – 2-е изд., стер. – Москва : ФЛИНТА ; Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2022. — 248 с.

ISBN 978-5-9765-5060-5 (ФЛИНТА)

ISBN 978-5-7996-3351-6 (Изд-во Урал. ун-та)

Пособие содержит описания физических эффектов и их компонентов, классификацию веществ, модели энергетических зон и ковалентных связей, физическое описание собственного и примесного полупроводника, применение и характеристики однородных полупроводников. Рассмотрено равновесное и неравновесное состояние *p-n* перехода, токи в нем, виды пробоев, туннелирование в сильнолегированных *p-n* переходах, гетеропереходы, вольтамперные характеристики переходов. В конце пособия приводятся практические и домашние задания.

УДК 621.382.049.77:53(075.8)

ББК 32.844я73

ISBN 978-5-9765-5060-5 (ФЛИНТА)

ISBN 978-5-7996-3351-6 (Изд-во Урал. ун-та)

© Уральский федеральный университет, 2022

© Дурнаков А. А., 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. Физический эффект и его компоненты	4
1.1. Определение физического эффекта	4
1.2. Физические эффекты в электронике	6
2. Однородный полупроводник	8
2.1. Собственный полупроводник	8
2.2. Электронный полупроводник	24
2.3. Дырочный полупроводник	33
3. Уровень Ферми.....	40
Задачи к практическому занятию № 1	52
4. Дрейф. Электропроводность.....	54
5. Генерация и рекомбинация в полупроводниках.....	65
6. Диффузионный ток. Законы движения носителей заряда в полупроводниках.....	76
Задачи к практическому занятию № 2.....	83
7. Применение однородных полупроводников	85
7.1. Варисторы.....	86
7.2. Терморезисторы	99
7.3. Фоторезисторы.....	113
8. <i>p-n</i> Переход	129
8.1. Определение и классификация <i>p-n</i> переходов	129
8.2. Технология производства <i>p-n</i> перехода.....	131
8.3. Равновесное состояние <i>p-n</i> перехода.....	143
8.4. Ток в <i>p-n</i> переходе в равновесном состоянии	149

8.5. Контактная разность потенциалов	151
8.6. Энергетическая диаграмма p - n перехода в равновесном состоянии	153
8.7. Неравновесное состояние p - n перехода	156
8.8. Идеальный p - n переход	165
8.9. Реальный p - n переход	177
8.10. Эквивалентные схемы реального p - n перехода	187
8.11. Пробой p - n перехода	189
8.12. Туннелирование в сильнолегированных p - n переходах	200
Задачи к практическому занятию № 3	216
Задачи к практическому занятию № 4	217
9. Гетеропереходы	219
9.1. Общие сведения о гетеропереходах	219
9.2. Энергетическая диаграмма гетероперехода	220
9.3. Прямосмещенный гетеропереход	223
9.4. Получение гетеропереходов	224
9.5. Электрические свойства гетеропереходов	225
9.6. Применение гетеропереходов в оптоэлектронике	227
Библиографический список	231
Приложение. Домашние задания	233