
Интернет-магазин
MAHESIS

<http://shop.rcd.ru>

- физика
 - математика
 - биология
 - нефтегазовые технологии
-

Толмачёв В. В., Скрипник Ф. В.

Физические основы электроники. — Изд. 2-е., испр. и доп. — М.–Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2011. — 496 с.

В пособии на элементарном уровне излагаются основы квантовой механики и статистики, необходимые для понимания квантовой теории полупроводников, лежащей в основе твёрдотельной электроники. Также в пособии подробно рассмотрены основные вопросы физики полупроводниковых приборов, в частности диод с *pn*-переходом и *pnp*-транзистор.

Пособие предназначено студентам младших курсов технических вузов и университетов, изучающим курсы твёрдотельной электроники, а также всем, интересующимся основами твёрдотельной электроники.

ISBN 978-5-93972-889-8

© В. В. Толмачёв, Ф. В. Скрипник, 2011

© Ижевский институт компьютерных исследований, 2011

<http://shop.rcd.ru>

<http://ics.org.ru>

Оглавление

Предисловие к первому изданию	9
Предисловие ко второму изданию	10
Введение	11
ГЛАВА 1. Корпускулярно-волновой дуализм фотонов	14
1.1. Становление корпускулярных и волновых представлений о природе света	14
1.2. Эксперименты по тепловому излучению и по излучению раз- реженных газов	27
1.3. Вывод формулы Планка для равновесного теплового элек- тромагнитного излучения	34
Метод суперпозиции и разделения переменных Фурье . .	34
Моды электромагнитного излучения в кубической полости	39
Распределение мод по частотам	46
Связь $u(\omega)$ с $E(\omega)$	48
Применение теоремы о равномерном распределении энергии	56
Энергия классического или квантового осциллятора . . .	60
Вывод законов Стефана–Больцмана и Вина	65
1.4. Квантовая природа света. Фотоэффект и эффект Комптона . .	68
Фотоэффект	69
Эффект Комптона	74
Дополнение 1 к гл. 1	76
Ранние исследования по физической оптике	76
Исследования теплового излучения	79
Исследования оптического излучения	82
Дополнение 2 к гл. 1	88
История открытия формулы Планка	88
Распределение энергии по степеням свободы	100
Исследования теплоёмкости твёрдых тел	103

ГЛАВА 2. Корпускулярно-волновой дуализм электронов	108
2.1. Дебройлевская длина волны	108
2.2. Корпускулярные свойства электрона	111
Эксперимент Дж. Дж. Томсона с катодно-лучевой трубкой	111
Измерение заряда электрона	119
Эксперимент Кауфмана	121
Спин электрона. Эксперимент Штерна – Герлаха	126
2.3. Волновые свойства электрона	129
Измерение длины волны света и рентгеновских лучей . .	130
Эксперимент Дэвиссона и Джермера	133
Эксперимент Дж. П. Томсона	138
2.4. Атомный электрон	140
Теория Бора атома водорода	140
Дополнение к гл. 2	148
Исследования электрического газового разряда	148
ГЛАВА 3. Физика корпускулярно-волнового дуализма	152
3.1. Квантовая механика	152
3.2. Соотношение неопределённостей	153
3.3. Копенгагенская интерпретация квантовой механики	158
ГЛАВА 4. Модельные одномерные квантово-механические задачи	162
4.1. Задача об одномерном свободном движении частицы	163
4.2. Задача об одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечными стенками	171
Условие Борна – Кармана	175
4.3. Задача об одномерном прямоугольном потенциальном барьере	177
4.4. Задача о двойной одномерной прямоугольной потенциаль- ной яме	183
Дополнение 1 к гл. 4	192
Дельта-функция Дирака	192
Дополнение 2 к гл. 4	194
Операторы физических величин	194
Проблема на собственные значения и собственные функ- ции	196
Физический смысл собственных значений и собствен- ных функций оператора физической величины	198
Соотношение неопределённостей	211

ГЛАВА 5. Распределение Ферми–Дирака	214
5.1. Вывод распределения Ферми–Дирака по Больцману	215
Состояния электрона в кубическом ящике	216
Больцмановский способ описания макроскопических со- стояний	220
Применение рассуждения Больцмана к электронному газу	222
Нахождение значений α и β	226
5.2. Получение распределения Максвелла из распределения Ферми– Дирака	228
Дополнение 1 к гл. 5	231
Метод неопределённых множителей Лагранжа	231
Дополнение 2 к гл. 5	234
Вывод формулы Планка по Больцману	234
Математическое описание неравновесных состояний газа	235
Применение рассуждения Больцмана к фотонному газу	237
Нахождение значения множителя β	242
Дополнение 3 к гл. 5	246
Вывод формулы Больцмана о связи энтропии с вероят- ностью состояния	246
Неравновесные состояния газа	247
Неравновесные состояния, однородные по плотности	248
Отыскание равновесного состояния	252
Распределение Максвелла	255
Неравновесные состояния, однородные по температуре	258
Отыскание равновесного состояния	259
Формула Больцмана	260
ГЛАВА 6. Основы квантовой теории металлов	265
6.1. Модель свободных электронов	265
6.2. Вычисление функции $\mu(T)$ при малых температурах T	270
6.3. Теплоёмкость системы свободных электронов проводимости при малых температурах	271
6.4. Термоэлектронная эмиссия	273
Формула Ричардсона–Дэшмана	273
Теория Шоттки	277
6.5. Контакт двух металлов	279
Дополнение 1 к гл. 6. Вычисления $\mu(T)$	281
Дополнение 2 к гл. 6. Вычисление U/V	286

ГЛАВА 7. Модель Кронига–Пенни	290
А. МОДЕЛЬ КРОНИГА–ПЕННИ БЕЗ ВНЕШНЕГО ПОЛЯ	290
7.1. Решение уравнения Шредингера модели Кронига–Пенни	290
Исходная задача	291
Изменённая задача	292
Оператор трансляции	294
Теорема Блоха	297
7.2. Вывод трансцендентного уравнения модели Кронига–Пенни	300
7.3. Исследование энергетического спектра в пределе бесконечно сильной связи	304
7.4. Исследование энергетического спектра в пределе нулевой связи	306
Исследование трансцендентного уравнения для различных значений константы распространения	307
Исследование трансцендентного уравнения для различных значений проекции волнового вектора	310
Зоны Бриллюэна	313
7.5. Приближённое отыскание энергетического спектра в случае сильной связи	314
Б. МОДЕЛЬ КРОНИГА–ПЕННИ С МНОГИМИ ЭЛЕКТРОНАМИ	318
7.6. Модель Кронига–Пенни с многими электронами	318
В. МОДЕЛЬ КРОНИГА–ПЕННИ ВО ВНЕШНЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ	321
7.7. Модель Кронига–Пенни при наличии внешнего электрического поля	321
Строгий вывод формулы для групповой скорости электрона	324
Движение электрона во внешнем поле	328
Эффективная масса электрона	330
Голые и одетые электроны	334
Движение дырки во внешнем поле	335
Дополнение 1 к гл. 7	341
Оператор Гамильтона в пространстве периодических функций	341
Дополнение 2 к гл. 7	343
Решение уравнения Шредингера в случае слабой связи	343
Построение решений при $V_0 = 0$	344
Построение решений при малом $V_0 \neq 0$	345

ГЛАВА 8. Теория электропроводности полупроводников	353
А. КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ И ДЫРОК В ПОЛУ- ПРОВОДНИКАХ	353
8.1. Одноэлектронные состояния системы свободных электронов	353
Задача об электроне в трёхмерном кубическом ящике	355
8.2. Экспериментальное доказательство существования дырок	358
Эксперимент Хайнеса и Шокли	358
Эффект Холла	360
8.3. Равновесные концентрации электронов и дырок в чистом по- лупроводнике	362
Закон действующих масс	366
Химический потенциал	367
8.4. Равновесные концентрации электронов и дырок в примесных полупроводниках	371
Примесные полупроводники	371
Энергии ионизации и электронного сродства атомов при- меси	371
Концентрация электронов в донорном полупроводнике	375
Концентрации дырок в акцепторном полупроводнике	382
Б. СИСТЕМА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ЛО- КАЛЬНЫХ БАЛАНСОВ	385
8.5. Система уравнений локальных балансов	385
Дрейф носителей электрического тока	385
Диффузия носителей тока	387
Генерация и рекомбинация носителей тока	390
Уравнения локальных балансов электронов и дырок	391
8.6. Примеры решения системы уравнений балансов электронов и дырок	393
В. ТЕОРИЯ PN -ПЕРЕХОДА И PNP -ТРАНЗИСТОРА	397
8.7. Теория pn -перехода	397
Контактная разность потенциалов	397
Качественное объяснение контактной разности потен- циалов	398
Теория Шокли равновесного pn -перехода	400
Вольт-амперная характеристика	405
Основные законы pn -перехода	406
Формула Шокли	407
Качественное объяснение выпрямляющего действия pn - перехода	410

Зависимость границ a и b обеднённого слоя от приложенного напряжения V_a . Электрическая ёмкость pn -перехода	413
8.8. Транзистор с pnp -переходом	416
Дополнение 1 к гл. 8	423
Графическое изображение искривлённых зон pn -перехода	423
Дополнение 2 к гл. 8	426
Контакт полупроводник–металл	426
Теория Шоттки	427
Теория Бардина	433
Контакт металл–диэлектрик–полупроводник	434
Полевой транзистор	438
Дополнение 3 к гл. 8	440
Полупроводниковые приборы	440
Туннельный диод	440
Диод Зинера и лавинный диод	443
Фоторезистор	444
Фотодиод	445
Светодиод и лазерный диод	446
Солнечные батареи	451
Дополнение 4 к гл. 8	452
Фазовое и химическое равновесия	452
Открытые и закрытые термодинамические системы	453
Принципы минимумов потенциалов	462
Использование принципа минимума	464
Дополнение 5 к гл. 8	470
Электрохимическое равновесие	470
Гальванический элемент	470
Условие электрохимического равновесия	471
Химические потенциалы	475
Закон разбавления Оствальда и формула Нернста	478
Рекомендуемая литература	483
Предметный указатель	484
Именной указатель	493