

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-технологическая академия

И. В. МАЛЫШЕВ

Н. В. ПАРШИНА

**ПРИКЛАДНАЯ КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА
В РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ**

Учебное пособие

Ростов-на-Дону – Таганрог
Издательство Южного федерального университета
2021

УДК 630.145:621.37/39(075.8)

ББК 22.314я73

M207

*Печатается по решению кафедры радиотехнической электроники
Института нанотехнологий, электроники и приборостроения
Южного федерального университета
(протокол № 8 от 8 апреля 2021 г.)*

Рецензенты:

кандидат технических наук, ведущий специалист АО «Калугаприбор»

И. М. Пономарёв

доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики

Института нанотехнологий, электроники и приборостроения

А. М. Гаврилов

Малышев, И. В.

M207 Прикладная квантовая механика в радиоэлектронике : учебное пособие / И. В. Малышев, Н. В. Паршина ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2021. – 177 с.

ISBN 978-5-9275-3978-9

В настоящем учебном пособии, состоящем из двух книг, приведён материал, входящий в состав программы курса «Квантовая механика и статистическая физика». В первой части пособия рассматриваются основные положения квантовой механики и теория колебаний различного типа в объёме кристаллических структур диэлектриков, полупроводников и металлов. Рассмотрены также кинетические процессы в различных твердотельных кристаллических структурах, применяемых в полупроводниковой радиоэлектронике.

В учебном пособии также имеются контрольные вопросы для проверки уровня освоения материала и справочные базовые соотношения операторного исчисления.

Пособие предназначено также для курсов, изучаемых в бакалаврских направлениях подготовки 11.00.00 «Электроника, радиотехника и системы связи», но может представлять интерес и для обучающихся на других направлениях.

УДК 630.145:621.37/39(075.8)

ББК 22.314я73

ISBN 978-5-9275-3978-9

© Южный федеральный университет, 2021

© Малышев И. В., Паршина Н. В., 2021

© Оформление. Макет. Издательство

Южного федерального университета, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В КВАНТОВОЙ МЕХАНИКЕ	6
1.1. Основные уравнения квантовой механики – соотношения Гейзенберга – Бора	6
1.2. Применение операторных функций в квантовой механике ...	10
1.3. Структуры твердых тел и их молекулярно-энергетические связи с квантово-механических позиций	26
1.4. Основные свойства кристаллических решеток твердых тел и их пространственные особенности	34
1.5. Квантово-механические особенности кристаллической трансляционной симметрии	40
2. ТЕОРИЯ КОЛЕБАНИЙ ФОНОННОГО ТИПА В ОБЪЕМЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР	46
2.1. Фононные колебания в кристаллических решетках молекулярного и ковалентного видов	46
2.2. Решёточная теплоёмкость кристаллов, вызванная фоннными взаимодействиями	68
2.3. Получение и анализ уравнения состояния в твердотельных структурах	74
2.4. Особенность ионных кристаллов и возникновение фононов в их объемах	78
2.5. Влияние процессов рассеяния в кристаллической решётке на спектральную характеристику колебаний нейтронов	96
3. ВОЛНОВАЯ ТЕОРИЯ ПЛАЗМОНОВ	103
3.1. Электронные кинетические эффекты в структурах металлов и полупроводников и возникновение в них плазменных колебаний	103
3.2. Свойства и особенности длинноволнового диапазона плаз- монных колебаний. Условие приближения хаотических фаз для электронной плотности	108
3.3. Теоретическое и экспериментальное рассмотрение плазмен- ных колебаний электронов (плазмонов) в объёме кристаллической решет-ки как экранирующий эффект кулоновского взаимодействия зарядов	112
4. КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ПОВЕДЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ ...	117

4.1. Основные принципы взаимодействия электронов в объёме кристалла с периодическими полями	117
4.2. Изменчивость эффективной массы электронов в кристалле и методы её вычисления	121
4.3. Расчёты параметров состояний электрона при помощи методов с различными приближениями	125
4.4. Процессы вторичного квантования электронных систем	136
4.5. Классификация твердых тел по их энергетическим зонным структурам	142
4.6. Понятия плотности электронных состояний и изоэнергетических поверхностей	146
4.7. Электронная статистика в объёме твердых тел	150
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	166
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	167
ПРИЛОЖЕНИЕ (справочные данные)	170
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	175