

Содержание

Предисловие	10
Предисловие ко второму изданию	12
Глава 1	
Принципы строения твердых тел.	
Элементы кристаллографии	13
1.1. Классификация конденсированных сред	13
1.1.1. Кристаллическое состояние и его классификация	16
1.1.2. Аморфное состояние	17
1.1.3. Жидкое и газообразное состояния	18
1.2. Кристаллическая решетка	19
1.2.1. Элементарная ячейка. Базис решетки	20
1.2.2. Кристаллографические направления, плоскости и зоны	23
1.2.3. Сингонии кристаллов	25
1.2.4. Решетки Бравэ. Ячейка Вигнера-Зейтца	26
1.3. Симметрия кристаллов	27
1.3.1. Точечные операции симметрии	28
1.3.2. Пространственные группы симметрии	30
1.4. Обратная решетка	32
1.5. Принцип плотной упаковки атомов	34
1.6. Примеры простых кристаллических структур	37
1.7. Полиморфизм	40
1.8. Жидкие кристаллы	43
1.9. Методы определения структуры твердых тел	46
1.9.1. Дифракционные методы	46
1.9.2. Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах	47
1.9.3. Экспериментальные методы определения структуры кристаллов	51
1.10. Квазикристаллы	54
1.10.1. Структура квазикристаллов	55
1.10.2. Свойства квазикристаллов	59
Задачи	62
Глава 2	
Природа и типы межатомных связей	63
2.1. Химическая связь и валентность	63
2.2. Энергия связи	66
2.3. Типы межатомных связей в твердых телах	71
2.3.1. Ионная связь	71
2.3.2. Ковалентная связь	75
2.3.3. Металлическая связь	78
2.3.4. Ван-дер-ваальсова связь. Молекулярные кристаллы	79
2.3.5. Водородная связь	80

2.4.	Структура веществ с ненаправленным взаимодействием	81
2.5.	Представление об атомных орбиталях	87
2.6.	Случай направленного взаимодействия. Структура веществ с ковалентными связями	92
2.7.	Роль обменного взаимодействия в образовании кристаллов	94
	Задачи	96

Глава 3

Дефекты и диффузия в твердых телах

3.1.	Классификация дефектов	98
3.2.	Точечные дефекты	99
3.2.1.	Дефекты по Френкелю	100
3.2.2.	Дефекты по Шоттки	101
3.2.3.	Термодинамика точечных дефектов	102
3.2.4.	Радиационные дефекты	104
3.2.5.	Центры окраски	106
3.3.	Дислокации	107
3.3.1.	Образование дислокаций в кристалле	110
3.3.2.	Движение дислокаций	112
3.3.3.	Дефекты упаковки	116
3.3.4.	Границы зерен	118
3.3.5.	Влияние дислокаций на свойства твердых тел и методы наблюдения дислокаций	119
3.4.	Механизмы диффузии в твердых телах	123
3.4.1.	Диффузия в кристаллах	125
3.4.2.	Законы Фика	131
3.5.	Твердые электролиты	135
	Задачи	137

Глава 4

Механические свойства твердых тел

4.1.	Тензоры напряжений и деформаций	140
4.2.	Закон Гука для анизотропных твердых тел и энергия упруго деформированного тела	147
4.3.	Распространение акустических волн в кристаллах	152
4.3.1.	Поверхностные акустические волны	157
4.4.	Пластические свойства кристаллов	162
4.4.1.	Деформация скольжением и двойникованием	162
4.4.2.	Хрупкое разрушение	165
4.5.	Космический лифт	170
	Задачи	172

Глава 5

Динамика кристаллической решетки

5.1.	Одномерные колебания однородной струны	175
------	--	-----

5.2. Гармоническое приближение	177
5.3. Колебания одномерной монокристаллической цепочки атомов	178
5.3.1. Зоны Бриллюэна	181
5.4. Колебательный спектр двухатомной одномерной цепочки. Акустическая и оптическая ветви колебаний	185
5.4.1. Дисперсионные кривые для двухатомной одномерной цепочки	189
5.5. Колебания атомов трехмерной решетки	191
5.6. Упругие волны смещений атомов. Фононы	193
5.6.1. Фононные спектры в кристаллах	195
5.7. Локальные фононные моды	197
Задачи	198

Глава 6

Тепловые свойства твердых тел	199
6.1. Теплоемкость твердых тел	199
6.1.1. Закон Дюлонга и Пти	200
6.2. Энергия тепловых колебаний решетки	201
6.2.1. Приближение Эйнштейна	205
6.2.2. Приближение Дебая	208
6.3. Электронная теплоемкость и ее зависимость от температуры	213
6.4. Ангстремизм колебаний атомов и тепловое расширение	215
6.5. Теплопроводность твердых тел	221
Задачи	226

Глава 7

Магнитные свойства твердых тел	227
7.1. Классификация магнетиков	227
7.2. Влияние магнитного поля на орбитальное движение электрона. Дипольный магнетизм	230
7.2.1. Дипольный магнетизм атомных остовов	231
7.3. Природа парамагнетизма	233
7.3.1. Парамагнетизм электронов проводимости	236
7.3.2. Электронный парамагнитный резонанс	238
7.4. Ферромагнетизм	240
7.4.1. Молекулярное поле Вейсса	242
7.4.2. Энергия обменного взаимодействия	245
7.4.3. Доменная структура ферромагнетиков	246
7.4.4. Антиферромагнетизм. Ферримагнетизм	252
7.4.5. Постоянные магниты	255
Задачи	258

Глава 8

Диэлектрические свойства твердых тел	260
8.1. Основные характеристики диэлектриков	260
8.2. Упругая поляризация	264

8.2.1. Электронная упругая поляризация	264
8.2.2. Ионная упругая поляризация	266
8.2.3. Дипольная упругая поляризация	268
8.3. Тепловая (релаксационная) поляризация	270
8.3.1. Электронная тепловая поляризация	271
8.3.2. Ионная тепловая поляризация	272
8.3.3. Дипольная тепловая поляризация	275
8.4. Связь между поляризуемостью и диэлектрической проницаемостью ..	277
8.5. Электрострикция, пьезоэффект, пирозэффект	279
8.6. Сегнетоэлектрики	285
8.7. Электреты	289
Задачи	292

Глава 9

Основы зонной теории твердого тела

9.1. Одноэлектронное приближение. Теорема Блоха	294
9.2. Изменение состояния электронов при сближении атомов	298
9.2.1. Энергетические зоны	299
9.3. Приближение почти свободных электронов. Модель Кронига–Пенни ..	302
9.4. Структура энергетических зон	305
9.5. Движение электрона в периодическом поле кристалла под действием внешнего поля. Эффективная масса электрона	310
9.6. Примеси и примесные уровни	313
9.6.1. Водородоподобная модель мелких уровней доноров и акцепторов	315
9.6.2. Зонная структура неупорядоченных твердых тел	316
Задачи	319

Глава 10

Электрические свойства твердых тел

10.1. Плотность квантовых состояний в разрешенных зонах. Классиче- ский 3D-электронный газ	320
10.2. Случай 2D-, 1D- и нульмерного электронного газа	322
10.2.1. Плотность состояний в двумерной подзоне	323
10.2.2. Плотность состояний в одномерном и нульмерном случаях	325
10.3. Функции распределения электронов по энергиям	326
10.3.1. Квантовая статистика Ферми – Дирака	326
10.3.2. Классическая статистика Максвелла – Больцмана	327
10.4. Концентрация носителей заряда для невырожденного и вырожден- ного электронного газа	327
10.4.1. Концентрация электронов и дырок в собственном полупроводнике ..	328
10.4.2. Концентрация электронов и дырок в примесном полупроводнике	329
10.4.3. Концентрация электронов и дырок в разрешенных зонах для случая вырождения	330
10.5. Энергия Ферми. Критерий вырождения электронного газа	331
10.6. Проводимость металлов	334

10.6.1. Типичные свойства металлов	335
10.6.2. Свободные электроны и положительные атомные остатки (ионы)	336
10.6.3. Хаотическое и упорядоченное движение электронов	336
10.7. Классическая теория свободных электронов Друде–Лоренца	337
10.8. Кинетическое уравнение Больцмана	340
10.9. Дифференциальный закон Ома для невырожденного электронного газа.....	342
10.10. Подвижность свободных носителей заряда при различных механиз- мах рассеяния.....	343
10.11. Проводимость в полупроводниках	346
Задачи	347

Глава 11

Оптические свойства твердых тел

11.1. Взаимодействие электромагнитного излучения с твердым телом	348
11.2. Оптические характеристики металлов, диэлектриков и полупровод- ников.....	349
11.3. Генерация и рекомбинация в полупроводниках и диэлектриках	352
11.3.1. Излучательная рекомбинация в прямозонных и непрямозонных полупроводниках.....	355
11.3.2. Безызлучательная рекомбинация с участием глубоких примесей	358
11.3.3. Экситоны Френкеля и Ванье–Мотта	359
11.4. Уравнение непрерывности	364
11.5. Электрон-фононные взаимодействия. Полярон Фрелиха	365
Задачи	366

Глава 12

Сверхпроводимость

12.1. Эффект Мейснера. Сверхпроводники первого и второго рода	368
12.2. Изотопический эффект	372
12.3. Элементы зонной теории сверхпроводимости Бардина–Купера– Шриффера. Куперовские пары.....	374
12.4. Эффекты Джозефсона	379
12.5. Высокотемпературная сверхпроводимость	381
12.6. Применение сверхпроводников	387
Задачи	389

Глава 13

Равновесие фаз и фазовые переходы

13.1. Термодинамические потенциалы	393
13.1.1. Условия фазового равновесия.....	395
13.2. Классификация фазовых переходов.....	400
13.3. Фазовые переходы в твердом состоянии.....	403
13.3.1. Кристаллизация. Теория образования зародышей	411
13.3.2. Роль межфазной границы при фазовых превращениях	415

13.4. Стабильность фаз	418
13.5. Фазовые переходы металл – диэлектрик	419

Глава 14

Поверхностные и контактные явления в твердых телах 424

14.1. Термоэлектронная эмиссия с поверхности твердых тел.....	424
14.1.1. Ток термоэлектронной эмиссии в равновесных условиях	424
14.1.2. Термодинамическая работа выхода в полупроводниках p - и n -ти- пов	426
14.1.3. Твердотельные приборы с электронно-дырочными переходами....	427
14.1.4. Ток термоэлектронной эмиссии при наличии внешнего поля. Твердотельные катоды	436
14.2. Автоэлектронная эмиссия. Туннельные микроскопы.....	440
14.2.1. Туннельная инжекция через треугольный барьер	440
14.2.2. Коэффициент прозрачности для туннелирования через треугольный барьер	441
14.2.3. Учет закона дисперсии $E(k)$ при туннелировании через потен- циальный барьер	443
14.2.4. Ток туннельной инжекции через треугольный барьер.....	444
14.2.5. Ток туннельной инжекции через трапецеидальный барьер	445
14.2.6. Туннельный микроскоп	446
14.3. Область пространственного заряда на поверхности. Твердотельные полевые приборы.....	448
14.3.1. Эффект поля	448
14.3.2. Область пространственного заряда (ОПЗ) в равновесных условиях	450
14.3.3. Заряд в области пространственного заряда	453
14.3.4. Типы и устройство полевых транзисторов	456
14.3.5. Принцип работы МДП-транзистора.....	457
14.3.6. Дискретные МДП-фотоприемники	458
14.3.7. Матрицы фотоприемников с зарядовой связью (ФПЗС)	460
Задачи	463

Глава 15

Аморфные материалы: структура, дефекты, свойства..... 464

15.1. Характеристики структуры аморфных материалов	464
15.2. Дефекты в аморфных материалах	469
15.2.1. Собственные точечные дефекты в аморфных материалах.....	470
15.2.2. Собственные сеточные дефекты в аморфных материалах.....	472
15.2.3. Примесные точечные дефекты в аморфных материалах	475
15.2.4. Собственные объемные плоские и линейные дефекты в аморф- ных материалах	476
15.3. Свойства некоторых аморфных материалов.....	479

Приложение А 483

Работа выхода из металлов (эВ).....	483
Свойства диэлектриков	483

Универсальные физические постоянные.....	483
Полезные соотношения.....	483
Физические параметры важнейших полупроводников	484
Приложение Б	485
Приложение В	487
Нобелевские премии за работы по физике и химии твердого тела	487
Приложение Г	502
Графен	502
Г.1. Атомная структура графена.....	503
Г.2. Электрические свойства графена	505
Г.3. Применение графена	511
Решение задач	513
Список рекомендованной литературы	545
Основные обозначения	552
Предметный указатель	555
Об авторах	559