
Indice

1	Struttura della materia	1
1.1	Stati di aggregazione	1
1.2	Struttura atomistica	2
1.2.1	Retrospectiva storica	2
1.2.2	Verifica sperimentale	4
1.2.3	Solidi e fluidi	9
1.3	Elementi di cristallografia	13
1.3.1	Il reticolo diretto	14
1.3.2	Classificazione cristallografica	17
1.3.3	La base	19
1.3.4	Il reticolo reciproco	19
1.4	Strutture cristalline dei semiconduttori	23
1.4.1	La struttura del diamante	23
1.4.2	La struttura della zincoblenda	24
1.4.3	La struttura della wurtzite	25
1.4.4	Altre strutture	26
1.4.5	La struttura esagonale in due dimensioni	27
1.5	Difetti	27
1.5.1	Difetti puntuali	29
1.5.2	Difetti estesi	33
1.6	Classificazione fenomenologica dei legami interatomici	39
2	Elementi di meccanica quantistica	43
2.1	Struttura dell'atomo	43
2.2	Onde e particelle	46
2.2.1	Gli elettroni: onde materiali	46
2.2.2	La radiazione elettromagnetica: un flusso di pseudo-particelle	49
2.2.3	Dualismo onda-corpuscolo	52
2.3	La meccanica delle onde materiali	53
2.3.1	L'equazione di Schrödinger	53

2.3.2	La funzione d'onda	55
2.4	Casi di interesse paradigmatico	57
2.4.1	Elettrone libero	58
2.4.2	Elettrone confinato in una buca di potenziale	59
2.4.3	Gradino di potenziale	64
2.4.4	Barriera di potenziale	66
2.5	Il gas di elettroni	71
2.6	Lo spin elettronico	73
2.7	Il principio di Pauli	74
2.8	La statistica di Fermi-Dirac	77
2.8.1	Il gas di elettroni a temperatura nulla	78
2.8.2	Il gas di elettroni a temperatura finita	79
3	Proprietà vibrazionali e termiche	85
3.1	L'approssimazione armonica	85
3.2	Dinamica reticolare: nozioni di base	89
3.2.1	La catena atomica monoatomica unidimensionale	89
3.2.2	La catena atomica biatomica unidimensionale	94
3.3	Dinamica reticolare dei semiconduttori	98
3.3.1	Vibrazioni reticolari nel silicio	101
3.3.2	Vibrazioni reticolari nell'arseniuro di gallio	103
3.4	Quantizzazione dei moti vibrazionali	104
3.4.1	Il concetto di fonone	104
3.4.2	Il gas di fononi	106
3.5	Proprietà termiche	107
3.5.1	Calore specifico	107
3.5.2	Conducibilità termica	111
4	Struttura elettronica	119
4.1	Le approssimazioni di base	119
4.2	Il teorema di Bloch	124
4.3	Il modello di Kronig-Penney	127
4.4	Il modello a bande	132
4.4.1	Nomenclatura per il modello a bande	133
4.4.2	Metalli, semiconduttori e isolanti	135
4.5	Il calcolo delle bande	136
4.5.1	Bande elettroniche in una dimensione	137
4.5.2	Bande elettroniche in tre dimensioni	141
4.6	Le bande elettroniche nei semiconduttori	142
4.6.1	Le bande del silicio	142
4.6.2	Le bande dell'arseniuro di gallio	145
4.6.3	Le bande di altri semiconduttori	146
4.7	Alcune conseguenze fisiche della struttura a bande	146
4.7.1	Cinematica degli elettroni	146
4.7.2	Effetti cinematici di un campo elettrico	148

4.7.3	Eccitazione termica: elettroni e lacune	151
4.7.4	La massa efficace	155
4.7.5	L'approssimazione di bande paraboliche	160
4.7.6	Massa densità di stati	162
4.8	Effetti di pressione e temperatura sul gap di energia	163
4.9	La densità di stati	166
4.10	Effetti del drogaggio sulla struttura a bande	168
5	Trasporto di carica	173
5.1	Inquadramento generale	173
5.2	Teoria microscopica per la velocità dei portatori	175
5.2.1	Regime di campo elettrico debole	176
5.2.2	Elettroni e lacune	181
5.2.3	Analisi fenomenologica dello <i>scattering</i>	182
5.2.4	Concentrazione di portatori	188
5.2.5	Conducibilità elettrica	189
5.2.6	Regime di campo elettrico intenso	191
5.2.7	Resistenza differenziale negativa	193
5.2.8	Effetti di gradiente di concentrazione	195
5.3	Vettore densità di corrente totale	198
5.4	Determinazione sperimentale della conducibilità	198
5.5	Statistica dei portatori	200
5.5.1	Semiconduttori all'equilibrio termico	200
5.5.2	Livello di Fermi in semiconduttori intrinseci	202
5.5.3	Livello di Fermi in semiconduttori estrinseci	203
5.5.4	Legge di azione di massa	209
5.5.5	Semiconduttori fuori equilibrio	212
5.6	Equazione di continuità fuori dall'equilibrio termico	216
6	Proprietà ottiche	219
6.1	Il quadro concettuale	219
6.2	Assorbimento	220
6.3	Transizioni inter-banda	224
6.3.1	Transizioni dirette	226
6.3.2	Transizioni indirette	229
6.3.3	Transizioni sopra-soglia	232
6.4	Eccitoni	233
6.5	Emissione	236
6.5.1	Transizioni radiative e non radiative	237
6.5.2	Luminescenza in materiali a gap diretta	238
6.5.3	Luminescenza in materiali a gap indiretta	240
6.5.4	Fosforescenza	240

7	Esercizi	243
7.1	Statistica dei portatori nei semiconduttori intrinseci	244
7.2	Statistica dei portatori nei semiconduttori estrinseci	245
7.3	Calcolo della posizione del livello di Fermi	248
7.4	Effetti di campo elettrico	249
7.5	Effetti di gradiente di concentrazione dei portatori	251
7.6	Effetti combinati di campo elettrico e gradiente di concentrazione dei portatori	253
7.7	Semiconduttori fuori equilibrio	254
	APPENDICI	257
A	Diffrazione di raggi X	259
B	Richiami di termodinamica	263
B.1	Definizioni generali	263
B.2	Funzioni di stato e concetto di equilibrio	263
B.3	Lavoro e calore	264
B.4	Processi termodinamici	265
B.5	Variabili intensive	266
B.6	Potenziali termodinamici	268
C	Equazione delle onde	271
C.1	Onde meccaniche	271
C.2	Onde acustiche	273
C.3	Onde elettromagnetiche	274
D	Struttura formale della meccanica quantistica	277
D.1	Funzione d'onda	277
D.2	Operatori quantistici	278
D.3	Evoluzione temporale	283
D.4	Sistemi di particelle identiche e indistinguibili	286
D.5	Principio di Pauli	288
D.6	Elementi di teoria delle rappresentazioni	289
D.7	Teoria delle perturbazioni	291
E	Dinamica reticolare in tre dimensioni	299
F	Oscillatore armonico quantistico	303
G	Il metodo tight-binding	305
G.1	Formalismo	305
G.2	Una parametrizzazione per i semiconduttori	307
G.3	Struttura a bande di alcuni semiconduttori elementali e composti	308

H	Interazione radiazione-materia	311
H.1	Il quadro concettuale	311
H.2	I coefficienti di Einstein	312
H.3	Analisi delle popolazioni	313
H.4	Inversione di popolazione	314
H.5	Teoria microscopica dei coefficienti di Einstein	314
H.6	Regole di selezione per transizioni di dipolo elettrico.....	317
I	L'atomo di idrogeno	319
I.1	Spettro di emissione e assorbimento	319
I.2	Il modello di Bohr per l'atomo di idrogeno	320
I.3	Estensioni del modello di Bohr	322
J	Proprietà fisiche dei semiconduttori	325
K	Costanti fisiche	327
	Riferimenti bibliografici	329

Risorse online

Sul sito del libro online.universita.zanichelli.it/colombo-fisica troverai test di autovalutazione pubblicati sulla piattaforma ZTE e domande aperte.