

OBSAH

	PŘEDMLUVA	7
1	KRYSTALOVÁ STRUKTURA POLOVODIČŮ	8
1.1	Formy pevných látek	8
1.2	Prostorová mřížka	8
1.2.1	Symetrie krystalů	9
1.3	Typy vazeb v krystalu	11
1.3.1	Iontová vazba	11
1.3.2	Kovalentní vazba	11
1.3.3	Kovová vazba	12
1.3.4	Van der Waalsova vazba	12
1.3.5	Vodíková vazba	12
1.4	Reciproká mřížka	13
1.5	Poruchy krystalové mřížky	14
1.5.1	Bodové poruchy	14
1.5.2	Fonony	15
1.6	Krystalová mřížka důležitých polovodičů	16
2	PÁSOVÝ MODEL POLOVODIČŮ	18
2.1	Elektron v periodickém potenciálu krystalu	18
2.1.1	Adiabatická aproximace	18
2.1.2	Jednoelektronová aproximace	19
2.1.3	Blochova funkce	19
2.2	Hustota stavů	21
2.3	Energetické pásy	22
2.3.1	Symetrie pásové struktury	22
2.3.2	Efektivní hmotnost elektronu	23
2.3.3	Střední rychlost elektronu	23
2.3.4	Zrychlení elektronu	24
2.4	Metody výpočtu pásové struktury	25
2.4.1	Metoda téměř volných elektronů	25
2.4.2	Metoda těsné vazby	25
2.4.3	Metoda kp	25
2.4.4	Kroningův-Penneyho model	26
2.5	Vliv vnějšího působení na pásovou strukturu	26
2.5.1	Vliv teploty	26
2.5.2	Vliv tlaku	27
2.5.3	Vliv magnetického pole	27
2.6	Pásová struktura důležitých polovodičů	28
3	POLOVODIČ V TERMODYNAMICKÉ ROVNOVÁZE	30
3.1	Statistika elektronů a děr v rovnováze	30
3.1.1	Nedegenerovaný polovodič	30
3.1.2	Degenerovaný polovodič	32
3.2	Vlastní polovodič	33
3.3	Příměsový polovodič	34
3.3.1	Poloha příměsových hladin	34
3.3.2	Obsazení příměsových hladin	35
3.3.3	Výpočet polohy Fermiho hladiny	36

4	TRANSPORTNÍ JEVY V POLOVODIČÍCH.	41
4.1	Makrofyzikální úroveň	41
4.1.1	Poissonova rovnice	43
4.1.2	Rovnice kontinuity	44
4.1.3	Driftový proud	46
4.2	Mikrofyzikální úroveň	47
4.2.1	Boltzmannova transportní rovnice	49
4.2.2	Rovnice hydrodynamického modelu	50
4.3	Kvantová úroveň	51
4.3.1	Kvantověmechanické transportní rovnice	51
4.4	Hallův jev	53
5	ELEKTRONY A DÍRY V NEROVNOVÁZE	53
5.1	Generace a rekombinace	54
5.1.1	Fononová rekombinace	56
5.1.2	Povrchová rekombinace	56
5.1.3	Augerova rekombinace	56
5.1.4	Nárazová rekombinace	57
5.1.5	Fotonová rekombinace	57
5.2	Ambipolární transport	58
5.2.1	Difúzní rovnice	60
6	PŘECHOD PN, HETEROPŘECHODY	60
6.1	Přechod PN v rovnováze	61
6.1.1	Aproximace ostré hrany ochuzené oblasti	63
6.2	PN přechod v závěrném směru	63
6.3	Ideální voltampérová charakteristika	67
6.4	Polovodičový heteropřechod	68
6.4.1	Dvourozměrný elektronový plyn	70
6.5.	Kontakt kov - polovodič	70
6.5.1	Schottkyho jev	72
6.5.2	Voltampérová charakteristika	77
7	POLOVODIČOVÉ DIODY	77
7.1	Proud reálnou diodou PN	77
7.1.1	Generace a rekombinace v oblasti prostorového náboje	79
7.1.2	Vliv sériového odporu	80
7.2	Průraz PN přechodu	80
7.2.1	Zenerův průraz	81
7.2.2	Lavinový průraz	82
7.3	Kapacita PN přechodu	82
7.3.1	Bariérová kapacita	83
7.3.2	Difúzní kapacita	83
7.3.3	Náhradní obvod diody PN	83
7.3.4	Reverzace diody	85
7.4	Diody pro VF aplikace	85
7.4.1	Gunnova dioda	87
7.4.2	Readova dioda	87
7.4.3	Dioda s rezonančním tunelováním	89
7.4.4	Dioda se supermřížkou	89

8	BIPOLÁRNÍ TRANZISTOR	91
8.1	Základní princip činnosti	91
8.2	Rozložení minoritních nosičů náboje v aktivním módu	92
8.3	Proudové zesílení	94
8.3.1	Injekční účinnost emitoru	96
8.3.2	Činitel přenosu bází	97
8.3.4	Rekombinační činitel	98
8.3.4	Proudový zesilovací činitel se společným emitorem	98
8.4	Neideální jevy	99
8.4.1	Modulace šířky báze	99
8.4.2	Silná injekce	100
8.4.3	Zužování šířky zakázaného pásu v emitoru	101
8.4.4	Zhušťování proudu	103
8.4.5	Vliv nehomogenní dotace báze	103
8.4.6	Průraz a průnik	103
8.5	Náhradní obvody bipolárního tranzistoru	104
8.5.1	Ebersův-Mollův model	104
8.5.2	Hybridní -model	105
8.6	Frekvenční omezení	106
8.6.1	Časová zpoždění	106
8.6.2	Spínací charakteristiky	107
8.7	Heterostrukturální bipolární tranzistor	108
8.7.1	Tranzistor s horkými elektrony	109
9	TRANZISTOR JFET	111
9.1	Princip činnosti	111
9.1.1	Ideální VA charakteristika	112
9.2	Neideální jevy	115
9.2.1	Modulace délky kanálu	115
9.2.2	Saturace rychlosti	116
9.2.3	Podprahové proudy, proudy hradla	117
9.2.4	Frekvenční omezení	117
9.3	Tranzistor MESFET	117
9.4	Tranzistor HEMT	119
10	STRUKTURA MIS	121
10.1	Energetický pásový diagram struktury MOS	121
10.1.1	Stav akumulace	121
10.1.2	Stav ochuzení	121
10.1.3	Stav inverze	123
10.2	Reálná struktura MOS	123
10.2.1	Rozdíl výstupních prací	123
10.2.2	Napětí rovných pásů	125
10.2.3	Prahové napětí	125
10.3	C-V charakteristiky	126
10.3.1	Ideální C-V charakteristika	126
10.3.2	Reálná C-V charakteristika	127

11	TRANZISTOR MOSFET	128
11.1	Princip činnosti	128
11.1.1	Voltampérové charakteristiky	128
11.1.2	Strmost	132
11.2	Neideální jevy	133
11.2.1	Podprahové proudy	133
11.2.2	Modulace délky kanálu	133
11.2.3	Změny pohyblivosti	134
11.2.4	Saturace rychlosti	134
11.2.5	Vliv předpětí substrátu	135
11.2.6	Frekvenční omezení	136
11.3	Jevy krátkého a úzkého kanálu	136
11.3.1	Emise horkých elektronů do hradlového oxidu	137
11.3.2	Transport v úzké inverzní vrstvě	137
11.3.3	Průraz a průnik	138
11.4	Struktura CCD	138
12	INTERAKCE ZÁŘENÍ S POLOVODIČEM	141
12.1	Mechanismy absorpce a emise fotonů	141
12.1.1	Zákony zachování při mezipásové absorpci a emisi fotonů	142
12.1.2	Opticky sdružená hustota stavů	143
12.2	Rychlosti absorpce a emise	145
12.2.1	Pravděpodobnosti obsazení	145
12.2.2	Pravděpodobnosti přechodů	145
12.2.3	Celkové rychlosti přechodů	146
12.2.4	Spektrální hustota spontánní emise při tepelné rovnováze	147
12.2.5	Koeficient zesílení při kvazirovnováze	148
12.2.6	Absorpční koeficient v rovnováze	148
13	POLOVODIČOVÉ DETEKTORY ZÁŘENÍ	150
13.1	Fotoodpor	150
13.2	Fotodiody	151
13.2.1	Fotodioda PN	151
13.2.2	Fotodioda PIN	152
13.2.3	Lavinová fotodioda	153
13.3	Fototranzistor	153
13.4	Polovodičový fotonásobič	154
14	POLOVODIČOVÉ ZDROJE ZÁŘENÍ	156
14.1	Luminiscenční diody	156
14.1.1	Kvantová účinnost	156
14.1.2	Materiály pro LED	157
14.2	Laserové diody	158
14.2.1	Laserový rezonátor	158
14.2.2	Prahový proud	159
14.2.3	Lasery s kvantovou jámou	160