

OBSAH

PŘEDMLUVA	5
SEZNAM HLAVNÍCH POUŽITÝCH ZNAKŮ A SYMBOLŮ	13
ÚVOD	23
1. PŘEHLED ZÁKLADŮ FYZIKY POLOVODIČŮ	27
1.1. STRUKTURA PEVNÝCH LÁTEK	27
Kritéria polovodivých látek	29
Polovodivé sloučeniny	31
1.2. KVANTOVĚ MECHANICKÁ TEORIE PEVNÝCH LÁTEK	34
Model volných elektronů	35
a) Úplně volné elektrony	35
b) Elektron v poli konstantního potenciálu	36
c) Elektron v poli periodicky proměnného potenciálu	38
Pohyb elektronů	43
Rozdíl mezi kovem, izolantem a polovodičem	44
Díry	46
1.3. PÁSOVÝ MODEL POLOVODIČŮ	47
Krystalová struktura	47
Kulově souměrné energetické plochy	50
Extrémy na hranicích zóny	52
Obecný elipsoid uprostřed Brillouinovy zóny	52
Pásová struktura reálných krystalů	53
Cyklotronová rezonance	55
Vliv vnějších sil na pásovou strukturu	56
a) Vliv hydrostatického tlaku	57
b) Vliv teploty	57
c) Vliv elektrického pole	58
d) Vliv magnetického pole	58
Hustota stavů v dovolených pásích	59
1.4. PORUCHY V MŘÍŽCE KRYSTALU	60
Kmity mřížky	61
Příměsové poruchy	62
Excitony	67
Dislokace	67

1.5.	ELEKTRONY A DÍRY V TERMODYNAMICKÉ ROVNOVÁŽE	69
	Rozdělovací funkce Fermiho-Diraca	69
	Vlastní polovodič	70
	Příměsový polovodič	74
	a) Plná ionizace příměsí	75
	b) Neúplná ionizace příměsí	76
	c) Obecný případ	77
	d) Kompenzovaný polovodič při nízkých teplotách	79
	e) Guldbergův-Waageův zákon	81
2.	TRANSPORTNÍ JEVY V POLOVODIČÍCH	83
2.1.	ROZPTYL NOSIČŮ PROUDU	83
2.2.	OHMŮV ZÁKON	85
	Tenzor vodivosti	87
2.3.	HALLŮV JEV	88
2.4.	BOLTZMANNOVA TRANSPORTNÍ ROVNICE	90
	Výpočet elektrické vodivosti	91
	Závislost relaxační doby na energii	93
	Rozptylový činitel Hallovy konstanty	95
2.5.	ROZPTYLOVÉ MECHANISMY	97
	Mřížkový rozptyl	97
	Rozptyl na ionizovaných příměsích	99
	Teplotní závislost pohyblivosti	100
2.6.	MAGNETOREZISTENČNÍ JEV	101
2.7.	POHYB NOSIČŮ PROUDU V HOMOGENNÍM POLOVODIČI	102
	Pásový model s elektrickým polem	102
	Vedení proudu v polovodiči	103
	Vedení proudu ve vakuu	104
	Vedení proudu v izolantu	105
	Driftové a difúzní proudy	107
	Einsteinův vztah	108
2.8.	NEROVNOVÁŽNÉ STAVY KONCENTRACE NOSIČŮ PROUDU	109
	Návrat k termodynamické rovnováze	110
	Rovnice kontinuity	111
	Ambipolární pohyblivost	112
	Pohyb injektované skupiny minoritních nosičů	113
	Metoda Shockleye a Haynesa	114
	Difúzní délka minoritních nosičů	116
	Injekce majoritních nosičů, Poissonova rovnice	118
	Kinetika rekombinačních dějů	119
	Vliv pastí na rekombinaci	122
	Povrchová rekombinace	125
2.9.	VEDENÍ PROUDU V POLOVODIČÍCH PŘI VELMI NÍZKÝCH TEPLOTÁCH	126
	Elektrická vodivost přeskokovým mechanismem	127
	Elektrická vodivost v příměsovém pásu	129
	Ionizace příměsí elektrickým polem	131
2.10.	VLIV VNĚJŠÍCH POLÍ NA ELEKTRICKOU VODIVOST POLOVODIČŮ	132
	Vliv elektrického pole na pohyblivost nosičů	132
	Vliv elektrického pole na koncentraci volných nosičů proudu	136

3.	FOTOELEKTRICKÉ VLASTNOSTI POLOVODIČŮ	139
3.1.	ABSORPCE	140
	Dovolené přímé přestupy	140
	Nepřímé přestupy	141
	Přestupy mezi výběžky pásů	143
	Excitonová absorpce	144
3.2.	VNITŘNÍ FOTOELEKTRICKÝ JEV	145
	Fotoelektrická vodivost	145
	Demberův jev	147
	Fotomagnetoelektrický jev	147
	Fotomechanický jev	148
3.3.	MECHANISMUS FOTOELEKTRICKÉ VODIVOSTI	149
	Kvantový výtěžek	150
	Vlastní fotoelektrická vodivost	151
	Vliv příměsí na fotoelektrickou vodivost	153
	Ideální detektor infračerveného záření	154
	Fotoelektrická ionizace příměsí	155
	Absorpce volnými elektrony	155
3.4.	VNITŘNÍ FOTOELEKTRICKÝ JEV V NEHOMOGENNÍCH POLOVODIČÍCH	157
3.5.	ELEKTROLUMINISCENCE	158
4.	GALVANOMAGNETICKÉ, TERMOMAGNETICKÉ A TEPELNÉ JEVY V POLOVODIČÍCH	160
4.1.	GALVANOMAGNETICKÉ JEVY	161
	Příčné izotermální galvanomagnetické jevy	161
	Příčné adiabatické galvanomagnetické jevy	162
4.2.	TERMOMAGNETICKÉ JEVY	163
	Příčné izotermální jevy	163
	Příčné adiabatické jevy	163
4.3.	TEPELNÁ VODIVOST	165
4.4.	TERMOELEKTRICKÝ JEV SEEBECKŮV	166
4.5.	PELTIERŮV JEV	168
4.6.	TERMOMAGNETICKÉ JEVY	170
	Ettingshausenův jev	170
	Nernstův jev	171
	Righiův-Leducův jev	171
5.	PŘECHOD PN	173
5.1.	SLABĚ NEHOMOGENNÍ POLOVODIČ	173
5.2.	STRMÝ PŘECHOD PN	175
	Difúzní napětí	176
	Ideální voltampérová charakteristika	177
	Injekční účinnost	180
	Zdánlivé Fermiho hladiny	182
	Rozložení elektrického pole a potenciálu u strmého přechodu	183
	Kapacita strmého přechodu PN	185
5.3.	POZVOLNÝ PŘECHOD	186
5.4.	REÁLNÁ VOLTAMPÉROVÁ CHARAKTERISTIKA	188
	Vliv generace a rekombinace	188

	Vliv velké injekce	190
	Difúzní kapacita	191
5.5.	PRŮRAZ PŘECHODU PN	192
	Tepelný průraz	193
	Zenerův průraz	194
	Lavinový průraz	194
5.6.	SPÍNACÍ VLASTNOSTI PŘECHODU	187
5.7.	PŘECHOD PP^+ A NN^+	198
	Pohyb většinových nosičů do oblasti N^+	199
	Pohyb většinových nosičů do oblasti N	199
	Difúzní proud přechodem NN^+	200
5.8.	HETEROGENNÍ PŘECHODY	200
5.9.	BARIÉRY V POLYKRystalických POLOVODIČÍCH	203
6.	KONTAKT KOV—POLOVODIČ	207
6.1.	IDEÁLNÍ SCHOTTKYHO KONTAKT	207
6.2.	REÁLNÝ SCHOTTKYHO KONTAKT	209
6.3.	VOLTAMPÉROVÁ CHARAKTERISTIKA SCHOTTKYHO KONTAKTU	212
6.4.	TUNELOVÝ JEV NA SCHOTTKYHO KONTAKTU	214
6.5.	REALIZACE OHMICKÝCH KONTAKTŮ	217
6.6.	VSTŘIKOVÁNÍ MENŠINOVÝCH NOSIČŮ	220
7.	POVRCHOVÉ VLASTNOSTI POLOVODIČŮ	
7.1.	POTENCIÁL, NÁBOJ A ELEKTRICKÉ POLE NA POVRCHU POLOVODIČE	224
7.2.	IDEÁLNÍ STRUKTURA MIS	224
7.3.	REÁLNÁ STRUKTURA MIS	226
7.4.	URČENÍ HUSTOTY POVRCHOVÝCH STAVŮ	231
7.5.	STABILIZACE POVRCHU	233
7.6.	VODIVOST TENKÝCH VRSTEV POLOVODIČŮ	235
7.7.	VODIVOST TENKÝCH IZOLAČNÍCH VRSTEV	238
8.	ZÁKLADNÍ TECHNOLOGIE PŘÍPRAVY POLOVODIČOVÝCH MATERIÁLŮ A SOUČÁSTEK	240
8.1.	ZÍSKÁNÍ ČISTÉHO VÝCHOZÍHO MATERIÁLU	244
8.2.	PŘÍPRAVA MONOKRYSTALŮ	246
8.3.	ÚPRAVA POVRCHU	248
8.4.	TVOŘENÍ PŘECHODŮ PN	248
8.5.	VÝROBA POLOVODIČOVÝCH SOUČÁSTEK	251
8.6.	INTEGROVANÉ OVBODY	252
9.	POLOVODIČOVÉ SOUČÁSTKY BEZ AKTIVNÍHO PŘECHODU PN	255
9.1.	TERMISTORY	255
9.2.	FOTOELEKTRICKÉ ODPORY A FOTOMAGNETOELEKTRICKÉ DETEK- TORY	260
	Fotoelektrické odpory	260
	Fotomagnetoelektrické detektory	266
9.3.	HALLOVY SOUČÁSTKY	267
9.4.	MAGNETOREZISTORY	270

9.5.	SOUČÁSTKY SE ZÁPORNÝM DIFERENCIÁLNÍM ODPOREM	271
	Kryosary	272
	Gunnovy diody	273
9.6.	ELEKTROLUMINISČENČNÍ PRVKY A LASERY	277
	Elektroluminescenční prvky	277
	Lasery	278
9.7.	VARISTORY	279
9.8.	TENZOELEKTRICKÉ POLOVODIČOVÉ SOUČÁSTKY	282
10.	POLOVODIČOVÉ SOUČÁSTKY S JEDNÍM PŘECHODEM PN	
10.1.	HROTOVÉ A PLOŠNÉ DIODY	284
	Hrotové diody	284
	Demodulační a směšovací diody pro centimetrové vlny	288
	Diody s přivařeným hrotem	291
	Difúzní diody vysokofrekvenční a pro spínací účely	293
	Výkonové usměrňovací diody	294
	a) Germaniové výkonové usměrňovací diody	295
	b) Křemíkové výkonové usměrňovací diody	295
	c) Výkonové usměrňovací diody z jiných polovodičových materiálů	298
	d) Charakteristické parametry a použití výkonových diod	299
	Polykrystalické polovodičové usměrňovače	301
10.2.	STABILIZAČNÍ DIODY	304
10.3.	TUNELOVÉ A INVERZNÍ DIODY	307
10.4.	VARIKAPY A VARAKTORY	313
10.5.	PRŮLETOVÉ DIODY	318
10.6.	FOTODIODY A SLUNEČNÍ FOTOELEKTRICKÉ ČLÁNKY	324
10.7.	LUMINISČENČNÍ A LASEROVÉ DIODY	330
10.8.	TERMoeLEKTRICKÉ A PELTIEROVY ČLÁNKY	334
	Termoelektrické články a generátory	334
	Peltierovy články	335
10.9.	DVOUBÁZOVÉ DIODY — TRANZISTORY S JEDNÍM PŘECHODEM	337
11.	POLOVODIČOVÉ SOUČÁSTKY SE DVĚMA PŘECHODY PN	343
11.1.	PRINCIP ČINNOSTI BIPOLÁRNÍHO TRANZISTORU	343
11.2.	BIPOLÁRNÍ TRANZISTOR PŘI PROVOZU STEJNOSMĚRNÝM A STŘÍ- DAVÝM PROUDEM	347
	Bipolární tranzistor při provozu stejnosměrným proudem	348
	a) Tranzistor s homogenní bází — bezdriftový tranzistor	349
	b) Tranzistor s nehomogenní bází — driftový tranzistor	352
	Bipolární tranzistor při provozu střídavým proudem	353
	a) Bezdriftový tranzistor	354
	b) Driftový tranzistor	355
	Vliv povrchové rekombinace a vysoké úrovně vstřikování nosičů	356
	Vliv lavinového násobení nosičů v kolektoru	369
11.3.	DRUHY TRANZISTORŮ A JEJICH TECHNOLOGIE	369
	Technologie bezdriftových tranzistorů	360
	Technologie driftových tranzistorů	361
	a) Difundované tranzistory	361
	b) Difúzní slitinové tranzistory	363

	c) Epitaxní a planární tranzistory	365
	Srovnání hlavních technologických druhů tranzistorů	367
	Konstrukční provedení běžných tranzistorů	368
11.4.	BIPOLÁRNÍ TRANZISTOR JAKO PRVEK ELEKTRICKÝCH OBVODŮ	369
	Značení a schematické značky tranzistorů	369
	Základní způsoby zapojení tranzistoru. Napájecí napětí a proudy	370
	Statické charakteristiky tranzistoru	372
	a) Statické charakteristiky tranzistoru v zapojení se společnou bází	374
	b) Statické charakteristiky tranzistoru v zapojení se společným emitorem	376
	Pracovní oblasti tranzistoru a jejich charakteristické parametry. Lavinové tranzistory	379
	Parametry charakterizující tranzistor při malých střídavých signálech	382
	a) Impedanční tvar čtyřpólových rovnic pro tranzistor a soustava parametrů z	384
	b) Admitanční tvar čtyřpólových rovnic pro tranzistor a soustava parametrů y	385
	c) Smíšený (hybridní) tvar čtyřpólových rovnic pro tranzistor a soustava parametrů h	386
	d) Vzájemná souvislost mezi soustavami parametrů z , y a h	387
11.5.	KMITOČTOVÉ VLASTNOSTI TRANZISTORU. VYSOKOFREKVENČNÍ TRANZISTORY	388
	Činitele omezující činnost tranzistoru na vysokých kmitočtech	388
	Vztah mezi mezním kmitočtem tranzistoru v zapojení se společnou bází a se společným emitorem	391
	Veličiny charakterizující kmitočtové vlastnosti tranzistoru	391
	Konstrukce vysokofrekvenčních tranzistorů	394
11.6.	FYZIKÁLNÍ NÁHRADNÍ SCHÉMATA TRANZISTORU	395
11.7.	VLIV VOLBY PRACOVNÍHO BODU A TEPLoty NA PARAMETRY TRANZISTORU. VÝKONOVÉ TRANZISTORY	398
	Stabilizace pracovního bodu tranzistoru	399
	Ztrátový výkon a tepelná nestabilita tranzistoru	400
	Zásady konstrukce výkonových tranzistorů	402
11.8.	IMPULSOVÉ VLASTNOSTI TRANZISTORŮ. SPÍNACÍ TRANZISTORY	404
	Přenos impulsů tranzistorem	404
	Náhradní schéma tranzistoru pro velké signály	406
	Druhy spínacích provozů a zásady konstrukce spínacích tranzistorů	406
11.9.	ŠUM TRANZISTORŮ	408
11.10.	FOTOTRANZISTORY	410
11.11.	SPÍNACÍ TŘÍVRSTVÉ DIODY — DIAKY	412
11.12.	PIEZOTRANZISTORY	412
11.13.	FYZIKÁLNÍ OMEZENÍ BIPOLÁRNÍCH TRANZISTORŮ	413
12.	SOUČÁSTKY S VÍCE PŘECHODY	416
12.1.	ČTYŘVRSTVÉ POLOVODIČOVÉ SOUČÁSTKY	416
	Princíp funkce čtyřvrstevých polovodičových součástek	416
	Konstrukce a technologie čtyřvrstevých polovodičových součástek	422
	Elektrické vlastnosti čtyřvrstevých polovodičových součástek	425
12.2.	PĚTIVRSTVÉ POLOVODIČOVÉ SOUČÁSTKY	428
	Princíp funkce pětivrstevých polovodičových součástek	428
	Elektrické vlastnosti pětivrstevých polovodičových součástek	432
	Konstrukce a technologie pětivrstevých polovodičových součástek	435
12.3.	SPECIÁLNÍ VÍCEVRSTVÉ POLOVODIČOVÉ SOUČÁSTKY	436

13.	TRANZISTORY ŘÍZENÉ ELEKTRICKÝM POLEM S PŘECHO- DOVÝM HRADLEM	438
13.1.	PRINCIP FUNKCE A ZÁKLADNÍ ROVNICE PRO TRANZISTORY JFE	438
13.2.	STATICKE PARAMETRY TRANZISTORU JFE	443
13.3.	DYNAMICKÉ VLASTNOSTI TRANZISTORU JFE	445
13.4.	KONSTRUKCE A TECHNOLOGIE TRANZISTORU JFE	446
13.5.	CHARAKTERISTICKÉ PARAMETRY TRANZISTORU JFE	447
13.6.	SPECIÁLNÍ SOUČÁSTKY VYUŽÍVAJÍCÍ PRINCIPU TRANZISTORU JFE	447
14.	SOUČÁSTKY ZALOŽENÉ NA JEVECH NA ROZHRAŇÍ POLO- VODIČE S JINOU LÁTKOU	449
14.1.	SOUČÁSTKY ZALOŽENÉ NA JEVECH NA ROZHRAŇÍ KOV—POLOVODIČ Schottkyho dioda	449
	Dioda s omezeným prostorovým nábojem	452
14.2.	SOUČÁSTKY SE STRUKTUROU KOV—IZOLANT—POLOVODIČ	452
	Diody MIS	453
	Tranzistory řízené elektrickým polem s izolovaným hradlem	455
	a) Princip činnosti tranzistorů MOS	455
	b) Základní charakteristiky tranzistoru MOS	458
	c) Základní typy tranzistorů MOS	461
	d) Konstrukce a technologie tranzistorů MOS	463
	e) Náhradní schéma tranzistoru MOS při nízkých kmitočtech a jeho základní zapojení	464
	f) Kmitočtové vlastnosti tranzistorů MOS	466
	g) Vliv teploty na vlastnosti tranzistorů MOS	466
	h) Šum tranzistorů MOS	466
	i) Fyzikální omezení tranzistorů MOS	467
	j) Základní parametry tranzistorů MOS	467
	Tenkovrstvé tranzistory řízené elektrickým polem	468
	a) Princip činnosti a konstrukce tranzistorů TFT	468
	b) Základní charakteristiky tranzistorů TFT	468
	c) Reálné charakteristiky tranzistorů TFT a jejich stabilita	470
15.	POLOVODIČOVÉ SOUČÁSTKY V INTEGROVANÝCH OBVODECH	473
15.1.	POLOVODIČOVÉ SOUČÁSTKY V MONOLITICKÝCH INTEGROVANÝCH OBVODECH	473
	Polovodičové odpory v MIO	474
	Kondenzátory pro MIO	475
	Bipolární tranzistory v MIO	476
	Diody v MIO	477
	Vícevrstvé součástky v MIO	478
	Tranzistory řízené elektrickým polem v MIO	478
15.2.	POLOVODIČOVÉ SOUČÁSTKY V HYBRIDNÍCH INTEGROVANÝCH OB- VODECH	479
16.	PŘEDPOKLÁDANÝ VÝVOJ POLOVODIČOVÝCH SOUČÁSTEK V BUDOUCNOSTI	480
	REJSTŘÍK	483