

# Obsah

	Označení veličin .....	10
1.	Úvod .....	14
1.1.	VYMEZENÍ POJMU FYZIKÁLNÍ ELEKTRONIKA ( <i>Eckertová</i> ) .....	14
1.2.	NÁSTIN HISTORIE OBORU ( <i>Malát</i> ) .....	16
2.	Vybrané partie z teorie pevných látek ( <i>Frei</i> ) .....	20
2.1.	TEORIE PEVNÝCH LÁTEK: MIKROSTRUKTURNÍ PŘÍSTUP, SCHRÖ- DINGEROVA ROVNICE PRO PL, CESTY K ZJEDNODUŠENÍ .....	20
2.1.1.	Schrödingerova rovnice pro PL .....	20
2.1.2.	Adiabatická aproximace .....	22
2.1.3.	Využití periodičnosti mřížky. Další možnosti zjednodušení .....	23
2.2.	STRUKTURA A SYMETRIE KRYSTALŮ .....	23
2.2.1.	Geometrická a ideální krystalová mřížka .....	24
2.2.2.	Operace symetrie, grupy symetrie. Příklady užití .....	25
2.2.3.	Některé důležité pojmy a symboly .....	28
2.3.	KMITY KRYSTALOVÉ MŘÍŽKY. FONONY .....	31
2.3.1.	Vlastní kmity jednorozměrného řetězce atomů .....	31
2.3.2.	Kmity trojrozměrné složené mřížky v harmonické aproximaci .....	35
2.3.3.	Kvantování energie kmitů. Fonony a jejich interakce .....	37
2.4.	TEPELNÉ VLASTNOSTI KRYSTALOVÉ MŘÍŽKY .....	39
2.4.1.	Tepelné vlastnosti soustavy oscilátorů .....	39
2.4.2.	Příspěvek mřížky k tepelné kapacitě krystalů. Einsteinovo a Debyeovo přiblížení .....	40
2.4.3.	Tepelné výchylky atomů .....	44
2.4.4.	Anharmonické jevy v dynamice mřížky .....	45
2.5.	MODEL VOLNÝCH ELEKTRONŮ — SOMMERFELDŮV MODEL KOVU .....	46
2.5.1.	Elektronový plyn v kovech. Úspěchy a těžkosti klasické teorie kovů .....	46
2.5.2.	Elektron v potenciálové jámě .....	47
2.5.3.	Soubor neintegrujících elektronů. Kvantová statistika .....	49
2.5.4.	Sommerfeldův model a skutečné kovy .....	51
2.5.5.	Některé závěry ke kvantové teorii elektronů v krystalech .....	53
2.6.	ELEKTRONY V PERIODICKÉ KRYSTALOVÉ MŘÍŽCE. ZÁKLADY PÁSOVÉ TPL .....	55
2.6.1.	Jednoelektronová aproximace .....	55
2.6.2.	Blochův teorém. Energetické pásy .....	56
2.6.3.	Obsazení hladin energie při $T = 0$ . Kovy, izolanty, polovodiče .....	58
2.6.4.	Základní metody výpočtu pásové struktury krystalů .....	59
2.6.5.	Aproximace $kp$ .....	61
2.6.6.	Zobrazování pásového spektra. Hustota stavů .....	62
2.7.	DYNAMIKA ELEKTRONŮ A DĚR VE VNĚJŠÍCH POLÍCH .....	65
2.7.1.	Semiklasická dynamika elektronů v krystalu. Efektivní hmotnost .....	65

2.7.2.	Elektron ve vnějším elektrickém poli. Elektrony a díry .....	68
2.7.3.	Elektron ve vnějším magnetickém poli. Cyklotronová rezonance .....	70
2.7.4.	Porovnání volného a blochovského elektronu .....	72
2.7.5.	Pohyblivost elektronů a děr v polovodičích .....	73
2.8.	<b>VLIV PORUCH KRYSTALOVÉ MŘÍŽKY NA ELEKTRONY V KRYSTALU</b> .....	74
2.8.1.	Poruchy krystalové mřížky a jejich fyzikální význam .....	74
2.8.2.	Příměšové stavy elektronů v polovodičích .....	75
2.8.3.	O významu jiných poruch v krystalech .....	78
2.8.4.	Vliv poruch na pohyblivost elektronů v krystalech .....	78
2.9.	<b>ELEKTRONY A DÍRY V POLOVODIČÍCH V TERMODYNAMICKÉ ROVNOVÁŽE</b> .....	81
2.9.1.	Statistický popis souboru elektronů v polovodičích .....	81
2.9.2.	Vlastní (intrinsický) polovodič .....	83
2.9.3.	Příměšové polovodiče .....	88
2.10.	<b>DIELEKTRICKÉ VLASTNOSTI PL. INTERAKCE ELEKTROMAGNETICKÉHO ZÁŘENÍ S PL</b> .....	93
2.10.1.	Fenomenologický a mikrostrukturní popis dielektrických vlastností PL .....	93
2.10.2.	Mezipásové optické přechody elektronů v krystalech .....	94
2.10.3.	Longitudinální plazmové kmity elektronů v kovech .....	96
2.10.4.	Interakce elektromagnetického záření s PL .....	98
2.11.	<b>NEROVNOVÁŽNÁ KONCENTRACE NOSIČŮ PROUDU V HOMOGENNÍM POLOVODIČI</b> .....	99
2.11.1.	Generace a rekombinace nosičů .....	99
2.11.2.	Doba života majoritních a minoritních nosičů .....	100
2.11.3.	Difúze nosičů. Difúzní délka .....	102
2.11.4.	Einsteinův vztah pro pohyblivost nosičů .....	104
2.11.5.	Zdánlivé chemické potenciály (zdánlivé Fermiovy hladiny, kvazihladiny) .....	104
2.12.	<b>MODIFIKACE PÁSOVÉ TEORIE V PŘÍPADĚ ZÁSADNÍCH ODCHYLEK OD PERIODIČNOSTI POTENCIÁLU</b> .....	106
2.12.1.	Elektrony v látkách krystalických a amorfních .....	106
2.12.2.	Malé částice a tenké vrstvy. Vliv povrchu .....	108
3.	<b>Rozhraní pevná látka — vakuum (Tomková)</b> .....	111
3.1.	<b>POVRCH A JEHO VLASTNOSTI</b> .....	111
3.2.	<b>METODY ZÍSKÁVÁNÍ ČISTÝCH POVRCHŮ</b> .....	111
3.3.	<b>VÝSTUPNÍ PRÁCE</b> .....	114
3.3.1.	Výstupní práce kovů .....	116
3.3.2.	Výstupní práce polovodičů .....	119
3.3.3.	Vliv adsorpce na výstupní práci .....	120
3.3.4.	Kontaktní rozdíl potenciálů a pole skvrn .....	122
3.3.5.	Metody měření výstupní práce .....	123
4.	<b>Rovnováha na rozhraní dvou pevných látek (Eckertová)</b> .....	126
4.1.	<b>KONTAKT DVOU KOVŮ</b> .....	126
4.2.	<b>KONTAKT KOV—POLOVODIČ</b> .....	128
4.3.	<b>PŘECHOD PN</b> .....	132
4.3.1.	Homeopřechody .....	132
4.3.2.	Heteropřechody .....	136
4.4.	<b>ROZHRAŇÍ KOV—DIELEKTRIKUM A POLOVODIČ—DIELEKTRIKUM</b> .....	140

<b>5.</b>	<b>Transportní jevy v objemu pevných látek (<i>Hrach</i>)</b> .....	<b>143</b>
5.1.	<b>ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI LÁTEK</b> .....	<b>143</b>
5.1.1.	Základní pojmy .....	143
5.1.2.	Vodiče — kovy .....	145
5.1.3.	Vodiče — polokovy .....	145
5.1.4.	Nevodiče — polovodiče .....	146
5.1.5.	Nevodiče — dielektrika .....	148
5.1.6.	Amorfni materiály .....	148
5.2.	<b>BOLTZMANNOVA TRANSPORTNÍ ROVNICE</b> .....	<b>150</b>
5.2.1.	Transportní jevy .....	150
5.2.2.	Boltzmannova rovnice .....	151
5.2.3.	Přiblížení relaxační doby .....	152
5.3.	<b>PROUDY V DIELEKTRIKÁCH</b> .....	<b>154</b>
5.3.1.	Vstup nosičů do dielektrika .....	154
5.3.2.	Procesy omezené kontakty .....	155
5.3.3.	Procesy omezené objemem dielektrika .....	155
5.3.4.	Iontová vodivost PL .....	156
5.3.5.	Proudy omezené prostorovým nábojem .....	158
5.3.6.	Přechodové procesy .....	162
5.4.	<b>TRANSPORTNÍ JEZY — VLIV TEPLoty A ELEKTRICKÉHO POLE</b> .....	<b>164</b>
5.4.1.	Teplotní závislost elektrické vodivosti .....	164
5.4.2.	Slabá elektrická pole .....	165
5.4.3.	Silná elektrická pole .....	166
5.4.4.	Transport vlivem elektrického pole — aplikace .....	168
5.5.	<b>SUPRAVODIVOST</b> .....	<b>170</b>
5.5.1.	Experimentální fakta .....	170
5.5.2.	Teoretické představy .....	173
5.5.3.	Tunelové jevy v supravodivosti .....	175
5.5.4.	Aplikace supravodivosti .....	178
5.5.5.	Vysokoteplotní supravodivost .....	180
5.6.	<b>TERMOELEKTRICKÉ, GALVANOMAGNETICKÉ A DALŠÍ TRANSPORTNÍ JEZY</b> .....	<b>181</b>
5.6.1.	Přehled transportních jevů .....	181
5.6.2.	Termoelektrické jevy .....	182
5.6.3.	Galvanomagnetické jevy .....	184
5.6.4.	Termomagnetické jevy .....	186
5.6.5.	Další transportní jevy .....	187
5.7.	Transportní jevy v tenkých vrstvách a malých částicích .....	188
5.7.1.	Vytváření a struktura tenkých vrstev .....	188
5.7.2.	Elektrické vlastnosti spojitých tenkých vrstev .....	189
5.7.3.	Elektrické vlastnosti nespojitých vrstev .....	191
<b>6.</b>	<b>Elektronické jevy na hranici pevná látka — vakuum vyvolané zvýšením teploty (<i>Tomková</i>)</b> .....	<b>193</b>
6.1.	<b>TERMOEMISE ELEKTRONŮ</b> .....	<b>193</b>
6.1.1.	Termoemise kovů .....	194
6.1.2.	Měření výstupní práce .....	197
6.1.3.	Termoemise polovodičů .....	201
6.1.4.	Termokatody .....	204
6.1.5.	Tepelně stimulovaná exoemise .....	207

6.2.	TERMOIONTOVÁ EMISE A POVRCHOVÁ IONIZACE .....	208
6.2.1.	Aplikace tepelné emise částic .....	212
7.	<b>Elektronické procesy na rozhraní vyvolané přítomností elektrického pole</b> ( <i>Eckertová</i> ) .....	215
7.1.	ROZHRANÍ DVOU PL .....	215
7.1.1.	Průchod proudu kontaktem kov-polovodič. Usměrnění .....	215
7.1.2.	Průchod proudu PN-přechodem .....	218
7.1.3.	Polovodičové usměrňovače a detektory .....	224
7.1.4.	Zenerovy a tunelové diody .....	225
7.1.5.	Luminiscenční diody .....	227
7.1.6.	Polovodičové injekční lasery .....	229
7.2.	ROZHRANÍ PL — VAKUUM .....	233
7.2.1.	Ohyb energetických pásů na povrchu PL a jeho ovlivnění vnějším polem .....	233
7.2.2.	Vliv pole na výstupní práci .....	234
7.2.3.	Tunelová emise .....	235
7.2.3.1.	Teorie tunelové emise .....	236
7.2.3.2.	Experimentální metodika a nejdůležitější výsledky .....	239
7.2.3.3.	Aplikace: tunelový mikroskop, tunelová spektroskopie, řádkovací tunelový mikroskop a tunelové katody .....	244
7.2.4.	Ionizace, desorpce a vypařování v silném elektrickém poli .....	247
7.2.4.1.	Teoretický popis .....	247
7.2.4.2.	Iontový projektor .....	250
7.2.4.3.	Využití jevů ionizace, desorpce a vypařování v silném poli .....	252
7.2.5.	EMISE HORKÝCH ELEKTRONŮ .....	253
7.2.5.1.	Změny energetického rozdělení elektronů za přítomnosti elektrického pole ....	254
7.2.5.2.	Emise horkých elektronů vytvářených vstřikováním .....	255
8.	<b>Elektronické procesy v pevných látkách vyvolané dopadem záření</b> ( <i>Hájek</i> ) .....	258
8.1.	OBJEMOVÉ PROCESY — FOTOVODIVOST .....	258
8.1.1.	Základy teorie fotovodivosti .....	259
8.1.2.	Fotoodpory .....	264
8.2.	ROZHRANÍ DVOU PL, VZNIK FOTOELEKTRICKÉHO NAPĚTÍ .....	265
8.2.1.	Fotočlánky a sluneční baterie .....	266
8.3.	ROZHRANÍ PL — VAKUUM. VNĚJŠÍ FOTOEFEKT ( <i>Eckertová</i> ) .....	268
8.3.1.	Základní teoretické představy o fotoemisi kovů .....	269
8.3.2.	Fotoemise polovodičů .....	274
8.3.3.	Aplikace fotoemise: fotokatody a fotoelektronové spektroskopie .....	276
9.	<b>Elektronické procesy v pevných látkách způsobené dopadem částic</b> ( <i>Malát</i> ) .....	283
9.1.	INTERAKCE NABITÝCH ČÁSTIC S PL .....	283
9.1.1.	Odezva PL na dopad cizích nabitých částic .....	283
9.1.2.	Odraz a rozptyl elektronů v homogenní PL .....	285
9.1.3.	Rozptyl a odraz těžkých částic při interakci s PL .....	292
9.2.	ELEKTRON-ELEKTRONOVÁ SEKUNDÁRNÍ EMISE .....	295
9.2.1.	Makroskopický popis jevu, klasifikace emitovaných elektronů .....	295
9.2.1.1.	Mechanismus a teorie sekundární emise .....	298
9.2.1.2.	Uplatnění jevu SE v elektronice .....	302
9.2.2.	Elektronová mikroskopie .....	305
9.2.3.	Využití jevů při interakci elektronů s pevnou látkou pro spektroskopické účely	308

9.3.	EMISE ČÁSTIC ZPŮSOBENÁ DOPADEM IONTŮ NA POVRCH PEVNÉ LÁTKY .....	310
9.3.1.	Iont-elektronová sekundární emise .....	310
9.3.2.	Emise těžkých částic .....	312
9.3.2.1.	Emise neutrálních částic a její využití .....	313
9.3.2.2.	Sekundární iont-iontová emise a její využití .....	315
10.	Elektronické jevy ve složitějších strukturách ( <i>Hájek</i> ) .....	317
10.1.	TRANZISTOROVÝ JEV, BIPOLÁRNÍ TRANZISTORY .....	317
10.2.	TRANZISTORY ŘÍZENÉ ELEKTRICKÝM POLEM — UNIPOLÁRNÍ TRANZISTORY .....	319
10.3.	VÍCEVRSTVÉ STRUKTURY .....	322
10.4.	PRINCIPY INTEGROVANÝCH OBVODŮ .....	325
10.4.1.	Základní postupy planární epitaxní technologie .....	332
	<b>Literatura</b> .....	334
	<b>Dodatek k literatuře</b> .....	338
	<b>Rejstřík</b> .....	340