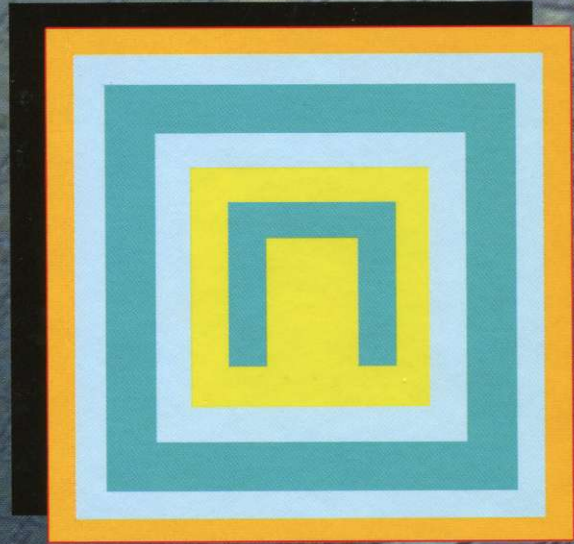
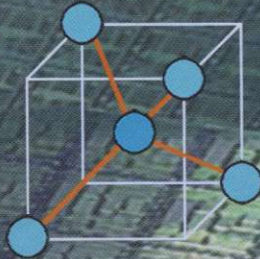
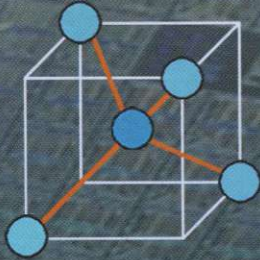
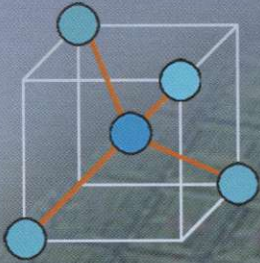


STANISLOVAS ŠTARAS

Puslaidininkinės
ir funkcinės

ELEKTRONIKOS ĮTAISAI



Turinys

Pratarmė.....	3
Pagrindiniai žymenys.....	6
1. KIETŪJŲ KŪNŲ SANDARA IR ENERGIJOS JUOSTOS	9
1.1. Atomų sąveika kietuosiuose kūnuose.....	9
1.2. Kristalinės gardelės.....	11
1.3. Kristalų defektai.....	14
1.4. Atomų elektronų savybės.....	16
1.5. Elektronai kristale.....	17
1.6. Elektrono efektinė masė.....	20
1.7. Laidininkų, puslaidininkų ir izoliatorių juostiniai modeliai.....	22
1.8. Išvados.....	24
1.9. Kontroliniai klausimai ir užduotys.....	25
2. METALŲ ELEKTRONAI IR PUSLAIDININKIŲ KRŪVININKAI .	27
2.1. Kvantinė ir klasikinė statistikos.....	27
2.2. Kietųjų kūnų laisvųjų elektronų būsenų skaičius.....	28
2.3. Būsenos užpildymo tikimybė.....	30
2.4. Metalų laisvųjų elektronų pasiskirstymas.....	31
2.5. Neišsigimusių puslaidininkio elektronų pasiskirstymas.....	34
2.6. Gryųjų puslaidininkių krūvininkai.....	37
2.6.1. Laisvųjų krūvininkų prigimtis.....	37
2.6.2. Grynojo puslaidininkio lygmenų būklė.....	39
2.6.3. Krūvininkų tankis grynajame puslaidininkyje.....	41
2.7. Priemaišiniai puslaidininkiai.....	43
2.7.1. Puslaidininkiai, legiruoti donorinėmis priemaišomis.....	43
2.7.2. Legiruoto donorine priemaiša puslaidininkio Fermio lygmuo ir krūvininkų tankiai.....	44
2.7.3. Puslaidininkiai, legiruoti akceptorinėmis priemaišomis.....	47
2.8. Efektinis priemaišos tankis. Puslaidininkių išsigimimas.....	50
2.9. Nepusiausvirieji krūvininkai.....	52
2.10. Elektronų sistemos pusiausvyra.....	55
2.11. Išvados.....	56
2.12. Kontroliniai klausimai ir užduotys.....	57
3. KIETŪJŲ KŪNŲ ELEKTRINIS LAIDUMAS. KRŪVININKŲ PERNASĀ	61
3.1. Krūvininkų dreifas ir relaksacija.....	61
3.2. Puslaidininkių krūvininkų judrumas.....	64
3.3. Puslaidininkių elektrinis laidumas.....	66
3.4. Stipraus elektrinio lauko sukeliami reiškiniai.....	68
3.4.1. Stipraus lauko įtaka krūvininkų judrumui.....	68
3.4.2. Krūvininkų judrumas sudėtinuosiuose puslaidininkiuose.....	69
3.4.3. Stipriojo lauko įtaka krūvininkų tankiui.....	70
3.5. Fotolaidumas.....	71
3.6. Metalų ir lydinių laidumas.....	72
3.7. Superlaidumas.....	75
3.8. Džozefsono reiškiniai.....	77

3.9. Holo reiškiny...	78
3.10. Krūvininkų difuzija	79
3.11. Puslaidininkiuose tekančios srovės	82
3.12. Išvados	82
3.13. Kontroliniai klausimai ir užduotys	83
4. NEVIENALYČIAI PUSLAIDININKIAI, pn SANDŪROS	86
4.1. Nevienalytis puslaidininkis	86
4.2. pn sandūra	89
4.3. pn sandūros voltamperinė charakteristika	94
4.4. pn sandūra veikiant atvirkštinei įtampai	100
4.4.1. pn sandūros storis	100
4.4.2. pn sandūros barjerinė talpa	103
4.5. pn sandūra tekant tiesioginei srovei	105
4.5.1. Tolydumo lygtis	107
4.5.2. Injektuotųjų elektronų pasiskirstymas	108
4.5.3. Perteklinių krūvininkų tankiai	109
4.5.4. Difuzinė talpa	111
4.6. pn sandūrų pramušimai	112
4.7. Išvados	115
4.8. Kontroliniai klausimai ir užduotys	117
5. ĮVAIRIALYTĖS SANDŪROS. MDP DARINIAI	121
5.1. Metalu-puslaidininkio sandūros	121
5.1.1. Elektronų išlaisvinimo darbas	121
5.1.2. Reiškiniai metalo ir puslaidininkio sandūrose	122
5.1.3. Metalu-puslaidininkio sandūrų savybės	124
5.2. Įvairialytės sandūros	127
5.3. MDP dariniai	129
5.4. Paviršiniai reiškiniai	132
5.5. Išvados	134
5.6. Kontroliniai klausimai ir užduotys	135
6. PUSLAIDININKINIAI DIODAI	137
6.1. Diodų pn sandūrų sudarymo būdai	137
6.2. Lygintu viniai diodai	140
6.3. Puslaidininkiniai stabilitronai	141
6.4. Aukštadažniai diodai	142
6.5. Varikapai	143
6.6. Impulsiniai diodai	144
6.7. Tuneliniai ir atvirkštiniai diodai	145
6.8. Išvados	148
6.9. Kontroliniai klausimai ir užduotys	149
7. DVIPOLIAI TRANZISTORIAI	150
7.1. Sandara ir veikimas	150
7.2. Tranzistoriaus jungimo ir veikos variantai	153
7.3. Dvipolių tranzistorių statinės charakteristikos	156
7.3.1. Molo ir Eberso formulės	156
7.3.2. Teorinės statinės charakteristikos	158
7.3.3. Realios statinės charakteristikos	159

7.4. Tranzistoriaus, kaip tiesinio aktyviojo keturpolio, parametrai	163
7.5. Tranzistorių ekvivalentinės grandinės	168
7.5.1. T pavidalo ekvivalentinės grandinės	168
7.5.2. Π pavidalo ekvivalentinė grandinė	173
7.6. Tranzistorių dažninės savybės	176
7.7. Dvipolių tranzistorių atmainos	180
7.8. Išvados	182
7.9. Kontroliniai klausimai ir užduotys	184
8. TIRISTORIAI	187
8.1. Sandara ir veikimas	187
8.2. Tiristorių atmainos	191
8.3. Išvados	193
8.4. Kontroliniai klausimai	194
9. LAUKO TRANZISTORIAI	195
9.1. Sandūriniai lauko tranzistoriai	195
9.2. MOP tranzistoriai	199
9.3. Lauko tranzistorių parametrai ir ekvivalentinės grandinės	202
9.4. Lauko tranzistorių dažninės savybės	204
9.5. Išvados	207
9.6. Kontroliniai klausimai ir užduotys	208
10. INTEGRINIŲ GRANDYŲ GAMYBOS PROCESAI	210
10.1. Silicio plokštelių gamyba	210
10.2. Epitaksija	212
10.2.1. Epitaksijos paskirtis ir būdai	212
10.2.2. Silicio epitaksijai naudojamos medžiagos	213
10.2.3. Epitaksijos įrenginiai ir technologija	214
10.2.4. Epitaksinio sluoksnio augimas ir parametrai	215
10.3. Šiluminė priemaišų difuzija	216
10.3.1. Priemaišų difuzijos mechanizmas ir greitis	217
10.3.2. Difuzijos procesų teorija	218
10.3.3. Šiluminės priemaišų difuzijos į silicį technologija	221
10.3.4. Difuzinių sluoksnių parametrai	223
10.4. Priemaišinių jonų implantavimas	225
10.5. Dengimas dielektriku	228
10.5.1. Šiluminis silicio oksidavimas	229
10.5.2. Kiti dielektrinių sluoksnių sudarymo būdai	231
10.5.3. Dielektrinių sluoksnių parametrai	232
10.6. Metalizavimas	233
10.7. Litografija	234
10.7.1. Fotolitografijos schema	234
10.7.2. Fotorezistai	236
10.7.3. Svarbiausios fotolitografijos operacijos	237
10.7.4. Fotošablonų gamyba. Projekcinė fotolitografija	240
10.7.5. Kiti litografijos metodai	241
10.8. Išvados	242
10.9. Kontroliniai klausimai ir užduotys	244

11. PUSLAIDININKINIŲ INTEGRINIŲ GRANDYŲ TIPAI IR ELEMENTAI	247
11.1. Puslaidininkinių grandynų elementų izoliavimas.....	248
11.2. Dvipolių integrinių grandynų gamyba ir elementai.....	251
11.2.1. Dvipolių integrinių grandynų gamyba.....	251
11.2.2. Dvipoliai tranzistoriai.....	253
11.2.3. Integriniai diodai.....	256
11.2.4. Integriniai kondensatoriai.....	257
11.2.5. Integriniai rezistoriai.....	258
11.2.6. Laidininkai ir kontaktinės aikštelės.....	259
11.3. MOP integrinių grandynų gamyba ir elementai.....	260
11.3.1. MOP integrinių grandynų gamybos schema ir elementai....	260
11.3.2. Tobulesni MOP integrinių grandynų gamybos būdai.....	263
11.4. Individualus lustų apdorojimas.....	265
11.5. Integracijos laipsnis.....	266
11.6. Išvados.....	268
11.7. Kontroliniai klausimai ir užduotys.....	271
12. MIKROBANGINIAI PUSLAIDININKINIAI ĮTAISAI	273
12.1. Mikrobanginiai diodai.....	274
12.1.1. Gano diodai.....	274
12.1.2. Griūtiniai lėkio diodai.....	277
12.1.3. Injekciniai lėkio diodai.....	280
12.2. Tranzistorių veikimo sparta ir ją ribojantys veiksniai.....	280
12.2.1. Veiksniai, lemiantys dvipolių ir lauko tranzistorių dažninius parametrus.....	280
12.2.2. Tranzistorių dažninių parametrų ir galios sąryšis.....	285
12.2.3. Dvipoliai ir lauko tranzistoriai kaip loginių grandinių elementai.....	286
12.3. Technologinės ir fizikinės tranzistorių veikimo spartos didinimo galimybės.....	288
12.3.1. Mažiausi tranzistorių matmenys.....	288
12.3.2. Didžiausias krūvininkų greitis puslaidininkiuose.....	289
12.4. Mikrobanginiai tranzistoriai ir integriniai grandynai.....	291
12.4.1. Homostruktūriniai tranzistoriai.....	291
12.4.2. Heterostruktūriniai dvipoliai tranzistoriai.....	294
12.4.3. Heterostruktūriniai lauko tranzistoriai.....	296
12.4.4. Kiti tranzistoriai.....	300
12.4.5. Kiti mikrobanginių integrinių grandynų elementai.....	302
12.5. Mikrobanginių puslaidininkinių įtaisų efektyvumas.....	302
12.6. Išvados.....	303
12.7. Kontroliniai klausimai ir užduotys.....	305
13. AKUSTINĖS ELEKTRONIKOS ĮTAISAI	306
13.1. Akustiniai virpesiai ir bangos.....	306
13.2. Tūrinių akustinių bangų įtaisai.....	311
13.2.1. Elektromechaniniai rezonatoriai ir keitikliai.....	311
13.2.2. Elektromechaniniai ir pjezoelektriniai filtrai.....	315
13.2.3. Ultragarsinės vėlinimo linijos.....	318

13.3. Paviršinių akustinių bangų įtaisai.....	320
13.3.1. Paviršinių akustinių bangų keitikliai ir rezonatoriai.....	320
13.3.2. Paviršinių akustinių bangų elektriniai filtrai.....	328
13.3.3. Paviršinių akustinių bangų vėlinimo linijos.....	330
13.4. Išvados.....	333
13.5. Kontroliniai klausimai ir užduotys.....	335
14. OPTINĖS ELEKTRONIKOS ĮTAISAI.....	337
14.1. Šviesolaidžiai.....	338
14.1.1. Skaidulinio šviesolaidžio sandara ir parametrai.....	338
14.1.2. Pakopinio lūžio rodiklio skaidulos.....	339
14.1.3. Gradientinio lūžio rodiklio skaidulos.....	341
14.1.4. Spinduliai ir modos.....	342
14.1.5. Reiškiniai skaidulos medžiagoje.....	343
14.1.6. Vėlinimo trukmės dispersija.....	345
14.1.7. Chromatinė dispersija.....	346
14.1.8. Slopinimas.....	348
14.1.9. Netiesiniai reiškiniai.....	350
14.1.10. Optiniai kabeliai. Skaidulų sujungimai, jungtys, šakotuvai.....	352
14.2. Šviesos šaltiniai.....	355
14.2.1. Bendrosios žinios.....	355
14.2.2. Injekcinė liuminescencija. Vidinis kvantinis našumas.....	356
14.2.3. Dviguboji heterosandūra.....	359
14.2.4. Išorinis kvantinis našumas.....	360
14.2.5. Optinio ryšio šviesos diodai.....	362
14.2.6. Fotonų ir elektronų sąveika.....	363
14.2.7. Šviesos stiprinimas.....	365
14.2.8. Lazerių veikimo principai.....	368
14.2.9. Lazerinių diodų sandara, veikimas ir savybės.....	370
14.2.10. Optinio ryšio sistemų lazeriniai diodai.....	376
14.2.11. Moduliacijos būdai.....	378
14.3. Puslaidininkiniai fotoelektriniai įtaisai.....	381
14.3.1. Fotorezistoriai.....	381
14.3.2. Fotodiodai.....	382
14.3.3. Fotovoltiniai elementai.....	383
14.3.4. Fototranzistoriai ir fototiristoriai.....	384
14.3.5. Optinio ryšio fotodetektoriai.....	384
14.4. Kiti optinės elektronikos įtaisai.....	386
14.4.1. Optiniai retransliatoriai.....	386
14.4.2. Optronai.....	387
14.5. Išvados.....	388
14.6. Kontroliniai klausimai ir užduotys.....	390
15. INFORMACIJOS ATVAIZDAVIMO ĮTAISAI.....	392
15.1. Elektroniniai vamzdžiai.....	393
15.1.1. Elektronų prožektorius.....	393
15.1.2. Fokusavimo principai.....	394
15.1.3. Elektrostatinis elektronų pluošto kreipimas.....	396
15.1.4. Magnetinis elektronų pluošto kreipimas.....	398
15.1.5. Katodinė liuminescencija.....	399

15.1.6. Oscilografų elektroniniai vamzdžiai.....	400
15.1.7. Kineskopai.....	403
15.1.8. Spalvotieji kineskopai.....	405
15.2. Plokštieji indikatoriai ir displėjai.....	406
15.2.1. Puslaidininkiniai indikatoriai.....	406
15.2.2. Vakuuminiai luminescenciniai indikatoriai.....	407
15.2.3. Dujinio išlydžio indikatoriai ir displėjai.....	408
15.2.4. Elektroluminescenciniai indikatoriai ir displėjai.....	411
15.2.5. Skystakristaliai indikatoriai ir displėjai.....	412
15.2.6. Plokštieji elektrovakuuminiai šaltųjų katodų displėjai.....	415
15.2.7. Kiti indikatoriai ir švieslentės.....	416
15.3. Išvados.....	417
15.4. Kontroliniai klausimai ir užduotys.....	419
16. KRŪVIO SĄSAJOS ĮTAISAI.....	421
16.1. Procesai, vykstantys krūvio sąsajos įtaise.....	421
16.2. Trifazis krūvio sąsajos įtaisas.....	423
16.3. Tobulesni krūvio sąsajos įtaisai ir jų taikymas.....	425
16.4. Išvados.....	427
16.5. Kontroliniai klausimai ir užduotys.....	427
17. MAGNETOELEKTRONIKOS ĮTAISAI.....	428
17.1. Bendrosios žinios.....	428
17.2. Cilindriniai magnetiniai domenai.....	429
17.3. Naujų reiškinių ir nanotechnologijų taikymas.....	432
17.4. Išvados.....	434
17.5. Kontroliniai klausimai ir užduotys.....	435
1 priedas. ELEKTRONŲ SAVYBĖS.....	436
P 1.1. Mikrodalelių korpuskulinis ir banginis dvilypumas. De Broilio lygtys.....	436
P1.2. Heizenbergio neapibrėžtumo sąryšiai.....	437
P 1.3. Šrėdingerio lygtis ir jos sprendimas.....	438
P1.4. Laisvosios mikrodalelės savybės.....	440
P1.5. Mikrodalelė ir barjeras. Tunelinis reiškinytis.....	442
P 1.6. Mikrodalelė potencialo duobėje.....	445
P1.7. Elektronas vandeniliškajame atome.....	447
P1.8. Elektronai daugiaelektroniuose atomuose.....	449
2 priedas. PASISKIRSTYMO FUNKCIJOS.....	452
P2.1. Maksvelo ir Bolcmano pasiskirstymas.....	452
P2.2. Fermio ir Dirako pasiskirstymas.....	453
3 priedas. Decibelai.....	455
4 priedas. Puslaidininkų parametrai 300 K temperatūroje.....	457
5 priedas. Fizikinės konstantos.....	458
6 priedas. Matavimo vienetų daugikliai ir priešdėliai.....	459
Literatūra.....	460