

CUPRINS

PREFATĂ.....	3
FORWARD.....	4
CUPRINS.....	5
1. INTRODUCERE.....	11
1.1. Scurt istoric.....	11
1.2. Importanța cercetărilor în domeniul opticii integrate.....	12
2. METODE DE PRODUCERE A FIBRELOR ȘI GHIDURILOR OPTICE DE UNDĂ.....	15
2.1. Producerea fibrelor optice.....	15
2.1.1. Metoda creuzetului.....	15
2.1.2. Metoda de depunere din stare de vapori.....	16
2.1.3. Metodele de depunere internă și externă din stare de vapori.....	17
2.1.4. Metoda de depunere axială de vapori.....	18
2.1.5. Fibre optice amplificatoare.....	19
2.1.6. Fibre optice cu rețele Bragg.....	20
2.1.7. Fibre optice cu cristale fotonice.....	21
2.1.8. Fibre optice din plastic.....	22
2.2. Metode de producere a ghidurilor optice de undă.....	23
2.2.1. Structura ghidurilor optice de undă.....	23
2.2.2. Producerea ghidurilor optice de undă prin difuzie.....	26
2.2.3. Fabricarea ghidurilor optice prin schimb ionic. Principii fizice.....	29
2.2.4. Producerea ghidurilor optice în LiNbO_3 prin schimb protonic.....	33
2.2.5. Fabricarea ghidurilor monomodale îngropate în substrat de Si.....	33
2.2.6. Fabricarea ghidurilor din Si.....	35
2.2.7. Ghiduri de undă în materiale organice.....	37
2.2.8. Fabricarea ghidurilor optice cu rețele Bragg.....	42
2.2.9. Fabricarea cristalelor fotonice.....	46
2.2.10. Realizarea măștilor.....	49
3. PROPAGAREA UNDELOR LUMINOASE GHIDATE.....	51
3.1. Propagarea undelor luminoase prin fibre optice.....	51
3.1.1. Caracteristici generale.....	51
3.1.2. Moduri și raze în fibre optice caracterizate de un indice de refracție de tip treaptă.....	54
3.1.3. Soluții pentru constanta de propagare.....	56
3.2. Propagarea luminii în ghidurile optice de undă.....	59
3.2.1. Ecuațiile Maxwell.....	61
3.2.2. Ecuația Helmholtz.....	62
3.2.3. Expresiile câmpurilor modurilor ghidate.....	63
3.2.4. Ecuația dispersiei unui mod ghidat.....	64
3.2.5. Metoda indicilor efectivi.....	66
3.2.6. Metoda propagării fasciculului.....	68
4. FENOMENE DE ATENUARE, ÎMPRĂȘTIERE ȘI DISPERSIE A UNDELOR LUMINOASE GHIDATE.....	71

4.1. Atenuarea.....	71
4.1.1. Mecanisme de atenuare.....	71
4.1.2. Atenuarea, durata pulsului și banda spectrală.....	74
4.2. Împrăștierea.....	77
4.2.1. Împrăștierea elastică.....	77
4.2.2. Împrăștierea neelastică.....	78
4.3. Dispersia undelor luminoase în fibre optice.....	82
4.3.1. Medii optice dispersive. Dispersia temporală.....	82
4.3.2. Dispersia totală în fibre mono și multimodale.....	84
5. CARACTERIZAREA GHIDURILOR OPTICE DE UNDĂ.....	86
5.1. Măsurarea indicelui de refracție efectiv.....	86
5.1.1. Metoda cuplajului cu prismă.....	86
5.1.2. Metoda cuplajului cu rețea.....	88
5.2. Caracterizarea profilurilor modurilor.....	89
5.3. Determinarea profilului indicelui de refracție.....	90
5.3.1. Metoda WKB.....	91
5.3.2. Metoda WKB inversă.....	92
5.3.3. Metoda reconstrucției profilului indicelui de refracție din măsurători de câmp apropiat.....	93
5.4. Măsurarea pierderilor.....	98
5.4.1. Metoda cuplajului cu prismă.....	99
5.4.2. Metoda tăierii ghidului optic.....	101
5.4.3. Metoda măsurării luminii împrăștiată.....	102
5.4.4. Metoda detecției fototermice.....	103
5.5. Evaluarea coeficienților de atenuare pe baza metodei rezonatorului Fabry-Pérot.....	104
5.5.1. Rezonatori în ghiduri optice de undă.....	104
5.5.2. Matricea de difuzie.....	105
5.5.3. Matricea de difuzie în cazul unei oglinzi parțial transparente.....	108
5.5.4. Cavitatarea Fabry-Pérot.....	110
5.5.5. Evaluarea pierderilor la propagare.....	111
5.6. Măsurarea timpului de viață de fluorescență.....	115
5.7. Măsurarea amplificării.....	116
5.8. Măsurarea spectrului de transmisie.....	117
5.9. Determinarea secțiunilor eficace omogene de emisie și absorbție ale ghidurilor optice de undă de tip $\text{Er}^{3+}:\text{Ti}:\text{LiNbO}_3$ din spectrul de transmisie.....	118
5.9.1. Formalismul matricei densitate.....	118
5.9.2. Evaluarea secțiunilor eficace omogene de emisie și absorbție.....	120
5.10. Caracterizarea ghidurilor optice de undă cu rețea.....	122
5.10.1. Măsurarea perioadei rețelei.....	123
5.10.2. Analiza microscopică cu baleiaj electronic.....	124
5.10.3. Măsurarea eficienței rețelei.....	124
6. CUPLĂRI OPTICE INTEGRATE.....	126
6.1. Ghiduri de undă cuplate.....	126
6.1.1. Cuploare direcționale.....	126

6.1.2. Teoria modurilor cuplate.....	126
6.2. Interferometrul Mach-Zehnder integrat simetric.....	130
6.3. Interferometrul Mach-Zehnder integrat asimetric.....	132
6.4. Dispozitive bazate pe fenomenul de interferență dependent de intensitatea radiației.....	134
6.4.1. Cuplorul neliniar distribuit.....	134
6.4.2. Interferometrul Mach-Zehnder integrat neliniar.....	136
6.4.3. Mixer neliniar de moduri.....	137
7. COMUTATOARE ȘI REZONATOARE OPTICE INTEGRATE.....	139
7.1. Funcționarea comutatoarelor optice în ghiduri polimerice.....	139
7.1.1. Comutatoare în ghiduri polimerice neliniare având ca substrat sticla.....	139
7.1.2. Principiul de funcționare a comutatorului optic bazat pe interferența a două moduri.....	140
7.2. Rezonatoare optice neliniare integrate.....	144
7.2.1. Rețele cu reacție distribuită.....	144
7.2.2. Rezonatoare Fabry-Pérot neliniare integrate.....	146
7.2.3. Filtre optice integrate.....	148
8. CONVERTOARE OPTICE DE FRECVENȚĂ INTEGRATE.....	152
8.1. Procese multifotonice fundamentale.....	152
8.1.1. Caracterizarea generală a proceselor multifotonice fundamentale.....	152
8.2. Dublorul de frecvență. Generalități.....	154
8.2.1. Generarea armonicii a doua în cristalul de KDP.....	155
8.3. Dublorul optic de frecvență integrat.....	157
8.3.1. Fenomene neliniare de ordinul doi în ghiduri optice de undă.....	158
8.3.2. Generarea armonicii a doua în ghiduri optice de undă în configurația de tip Cerenkov.....	159
8.3.3. Generarea armonicii a doua în structuri care prezintă o periodicitate a susceptibilității neliniare de ordinul doi.....	163
8.3.4. Generarea armonicii a doua în filme polimerice subțiri.....	171
8.4. Generarea armonicii a treia în filme polimerice subțiri.....	174
8.5. Generarea armonicii a doua emisă de diodele laser de tip InGaAs cu gropi cuantice.....	175
9. MODULATOARE ELECTROOPTICE INTEGRATE.....	179
9.1. Efectul Pockels.....	179
9.1.1. Elipsoidul indicilor de refracție.....	180
9.1.2. Interpretarea fizică a elipsoidului indicilor de refracție.....	181
9.1.3. Efectul electrooptic în straturi de materiale organice subțiri.....	183
9.2. Structuri moleculare organice caracterizate prin valori ridicate ale hiperpolarizabilității neliniare de ordinul întâi.....	184
9.2.1. Originea microscopică a hiperpolarizabilității neliniare de ordinul întâi a moleculelor organice.....	185
9.2.2. Evoluția statistică a dipolilor moleculari.....	187
9.3. Eficacitatea modulatoarelor electrooptice integrate.....	190
9.3.1. Caracteristicile modulatoarelor electrooptice.....	191

9.3.2. Modulatoare electrooptice integrate.....	193
9.3.3. Comparație între modulatoarele electrooptice macroscopice și cele integrate.....	194
9.4. Modulația electrooptică a luminii prin excitarea rezonantă a modurilor ghidate.....	194
9.4.1. Metoda cuplării luminii în ghidurile optice de undă cu fibra optică.....	194
9.4.2. Metoda cuplării luminii în ghidurile optice de undă cu prisma optică.....	195
9.4.3. Metoda cuplării luminii în ghiduri optice de undă cu rețeaua de difracție.....	195
9.4.4. Modulația în amplitudine a undelor optice ghidate.....	196
9.4.5. Modulația de fază și de frecvență a undelor optice ghidate.....	197
9.5. Analiza teoretică a funcționării modulatoarelor.....	198
9.5.1. Modelarea teoretică a ghidului plan compozit neliniar.....	199
9.5.2. Determinarea câmpului electric creat de electrozii coplanari.....	200
9.5.3. Eficacitatea modulatorului.....	203
9.5.4. Determinarea tensiunii de comutare.....	207
9.6. Rezultate experimentale privind caracterizarea modulatoarelor integrate.....	208
10. LASERE CU SEMICONDUCTORI.....	210
10.1. Funcționarea diodelor laser.....	210
10.1.1. Dioda laser homojonctiune.....	210
10.1.2. Dioda laser cu dublă heterostructură.....	214
10.1.3. Diode laser cu gropi cuantice.....	215
10.1.4. Diode laser cu gropi cuantice multiple.....	220
10.1.5. Lasere cu semiconductoare cu emisie verticală.....	221
10.2. Mecanisme de realizare a inversiei de populație în laserele cu semiconductoare.....	222
10.2.1. Excitarea prin injecție.....	222
10.3. Diode emițătoare de lumină.....	225
10.4. Fabricarea dispozitivelor cu heterojoncțiuni.....	225
10.5. Modularea direct prin curent a laserelor cu semiconductoare.....	227
10.5.1. Lasere cu semiconductoare cu gropi cuantice multimodale și monomodale.....	227
11. LASERE ȘI AMPLIFICATOARE LASER INTEGRATE.....	230
11.1. Generalități asupra ionilor pământurilor rare.....	230
11.1.1. Configurația electronică a ionilor pământurilor rare.....	230
11.1.2. Nivelele energetice ale ionilor pământurilor rare.....	231
11.2. Fibre optice amplificatoare.....	231
11.2.1. Ecuțiile ratelor pentru radiațiile de pompaj și semnal.....	231
11.2.2. Amplificarea emisiei spontane.....	235
11.3. Lasere integrate.....	236
11.3.1. Dispozitive active integrate dopate cu neodim.....	236
11.3.2. Dispozitive active integrate dopate cu Er^{3+}	250
11.3.3. Lasere integrate în regim declanșat prin comutarea pierderilor.....	261
11.3.4. Lasere integrate în regim de cuplare a modurilor.....	271

11.3.5. Lasere integrate acordabile.....	279
11.4. Amplificatoare laser integrate.....	281
11.4.1. Noțiuni de teoria cuantică a coerenței optice.....	281
11.4.2. Descrierea cuantică a zgomotului.....	288
11.4.3. Modelarea teoretică a amplificării în ghidurile optice de undă de tip $\text{Er}^{3+}:\text{Ti}:\text{LiNbO}_3$	293
11.4.4. Simularea amplificării într-un ghid optic integrat de tip $\text{Er}^{3+}:\text{Ti}:\text{LiNbO}_3$	301
11.4.5. Caracterizarea experimentală a amplificatoarelor optice integrate de tip $\text{Er}^{3+}:\text{Ti}:\text{LiNbO}_3$	306
11.5. Statistica fotonilor într-un amplificator optic integrat.....	307
11.5.1. Descrierea teoretică a statisticilor de fotoni.....	307
11.5.2. Simulări asupra statisticilor de fotoni într-un amplificator de tip $\text{Er}^{3+}:\text{Ti}:\text{LiNbO}_3$ cu funcționarea în regim de câștig liniar.....	310
12. APLICAȚII ALE OPTICII INTEGRATE.....	313
12.1. Aplicații în telecomunicațiile optice.....	313
12.1.1. Sistemul de comunicații optice.....	313
12.1.2. Codificarea semnalelor.....	313
12.1.3. Structura sistemului de comunicații optice.....	315
12.1.4. Amplificatoare pentru transmisii optice terestre.....	316
12.1.5. Rețele de transport bazate pe multiplexarea lungimii de undă.....	317
12.1.6. Caracterizarea amplificatoarelor bazate pe multiplexarea lungimii de undă.....	320
12.1.7. Rețele metropolitane.....	322
12.1.8. Rețele transoceanice.....	323
12.1.9. Montaje experimentale utilizate pentru transmisia informației prin fibre optice.....	324
12.2. Senzori cu fibre și ghiduri optice de undă.....	328
12.2.1. Principii funcționale și constructive ale senzorilor cu fibră optică.....	328
12.2.2. Principii funcționale și constructive ale senzorilor fabricați în ghiduri optice de undă.....	336
12.2.3. Tipuri de senzori fabricați în ghiduri optice de undă.....	345
ANEXA 1.....	351
A 1.1. Soluțiile WKB unidimensionale.....	351
A 1.2. Condițiile de valabilitate a aproximației WKB.....	352
A 1.3. Puncte de întoarcere și formule de racordare.....	353
ANEXA 2.....	356
A 2.1. Matricea densitate.....	356
A 2.2. Ecuația de mișcare pentru operatorul densitate.....	357

ANEXA 3	358
A 3.1. Fascicule gaussiene.....	358
A 3.2. Parametrii caracteristici fasciculelor gaussiene.....	358
BIBLIOGRAFIE	360
SIMBOLURI UTILIZATE	372