

DISPOZITIVE, SISTEME ȘI SERVICII PENTRU COMUNICAȚII PRIN FIBRE OPTICE ȘI ATMOSFERĂ

**Prof. univ. dr. hab. Valerian
DOROGAN,**
Universitatea Tehnică
a Moldovei



A absolvit în 1977 Institutul Politehnic din Chișinău, Facultatea de Electrofizică, specialitatea „Dispozitive microelectronice cu semiconductori”. Din 1987 este doctor al Academiei de Științe a Moldovei, în specialitatea „Fizica semiconductoarelor și dielectricilor”, iar din 1999 este doctor habilitat în științe tehnice în specialitatea „Fizica semiconductoarelor și dielectricilor”. Activează la Universitatea Tehnică a Moldovei, catedra de Telecomunicații. Este prorector pentru cercetare științifică.
Domenii științifice de activitate: Tehnologia materialelor și dispozitivelor semiconductoare; Fotoreceptori și emițători cuantici pe bază de semiconductori; Sisteme optoelectronice pentru comunicații optice; Conversia fotovoltaică. Este autorul a circa 180 lucrări științifice, dintre care 20 de brevete de invenție premiate cu 2 medalii de aur, 7 medalii de argint și 2 medalii de bronz la expozițiile internaționale de invenții din Chișinău, Iași, Geneva, Bruxelles.

Tatiana VIERU,
Universitatea Tehnică a Moldovei

Stanislav VIERU,
Universitatea Tehnică a Moldovei

Andrei DOROGAN,
Universitatea Tehnică a Moldovei

REZUMAT. În lucrare sunt prezentate realizările Laboratorului de micro-optoelectronică al Universității Tehnice a Moldovei, în domeniul elaborării și confecționării dispozitivelor și sistemelor micro-optoelectronice, utilizate în comunicații prin fibră optică (FO) și atmosferă. De asemenea, sunt abordate probleme ce țin de sporirea eficienței și optimizarea dispozitivelor, sistemelor optoelectronice, precum și a serviciilor prestate în acest domeniu. Dispozitivele elaborate au fost utilizate pentru confecționarea modulelor de emisie și recepție ale sistemelor optoelectronice cu diverse aplicații: telecomunicații, telemetrie, dirijare cu obiecte de mare viteză, sisteme de pază și automatizarea proceselor tehnologice industriale.

ABSTRACT. This paper presents the Technical University of Moldova Laboratory's of Micro-Optoelectronics realizations in the elaboration and manufacturing of micro-optoelectronic systems and devices domain, used in atmosphere and optic fiber communications. Also, there are touched the problems forwarding the efficiency increasing and the optimization of devices, optoelectronic systems, also the offered services in this domain. The elaborated devices had been used for manufacturing emission and reception modules of the optoelectronic systems with different applications: telecommunications, telemetry, high speed object guiding, guarding systems and industrial technological processes automatization.

1. INTRODUCERE

Orice societate modernă posedă o rețea multifuncțională de comunicații. Un rol deosebit îl au sistemele de telecomunicații prin fibră optică (FO) și prin atmosferă, fără de care o societate informațională nu poate exista.

În lucrare sunt prezentate realizările Laboratorului de micro-optoelectronică al Universității Tehnice a Moldovei în domeniul elaborării și confecționării dispozitivelor și sistemelor micro-optoelectronice, utilizate în comunicații prin FO și atmosferă. Dispozitivele au fost confecționate

utilizând heterostructurile semiconductoare ale compușilor III-V, formate prin diverse metode tehnologice.

2. DIODE LASER

Diodele laser (DL) au fost confecționate în baza heterostructurilor GaAs-AlGaAs și InP-InGaAsP cu lungimea de undă a radiației emise în diapazonul 850-1550 nm și puterea fluxului optic de la 1 mW până la 500 mW. Heterostructurile planare au fost formate prin metoda epitaxiei din fază gazoasă, utilizând compuși metaloorganici. Stratul activ al diodelor laser, izolat electric și optic, cu lungimea rezonatorului optic 500-1000 μm, se formează prin dizolvare și recreștere, folosind epitaxia din fază lichidă la temperaturi joase. Structura unei diode laser cu strat activ

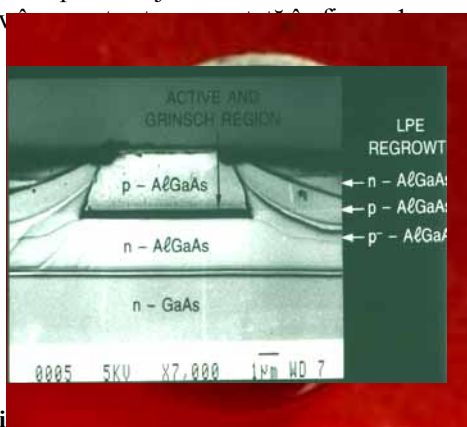


Fig. 1. Structura unei diode laser cu strat activ.

Contactele ohmice pe straturile „p” și „n” se formează prin evaporare termică în vid a metalelor Au/Cr/Zn/Au și, respectiv, Au/Ge/Au. Rezonatorul optic de tip Fabry-Perot este confecționat prin clivarea structurii semiconductoare în vid și depunerea *in-situ* a filmelor subțiri din SiO₂/Si. Coeficientul de reflexie al oglinzilor constituie 5% și, respectiv, 95%. Chip-ul diodei laser se montează pe ambază prin intermediul aliajelor (Sn+In) cu temperatură de topire joasă.

Pentru comunicații prin fibră optică a fost elaborat un modul de cuplare ce permite poziționarea fibrei optice față de stratul activ al diodei laser. Pentru a reduce pierderile optice în modulul de cuplare, la capătul fibrei optice se formează o microlentilă sferică prin corodarea chimică a

învelișului fibrei optice și topirea miezului în arc electric. În figura 2 sunt prezentate fotografia structurii DL cuplate cu FO (a), caracteristicile eficienței cuplării și puterea optică a radiației laser introduse în FO în prezența microlentilelor cu raza lentilei de 8 μm, confecționate prin topire în arc electric (b) și prin combinarea metodelor de corodare chimică și fuziune în arc electric (c). Eficiența majoră a cuplării în al doilea caz se datorează identității coeficientului de refracție a microlentilei și al FO. Pentru lungimea de undă a radiației λ = 1,3 μm, eficiența cuplării diodei laser cu FO monomod constituie, în primul caz, 35%, iar în cazul al doilea, 60%.

Pentru sisteme optoelectronice de comunicații prin atmosferă au fost utilizate diode laser în baza heterostructurilor InGaAs/InGaAsP/GaAs cu lungimea de undă 1,06 μm, puterea optică a radiației emise 500 mW.

Colimarea fluxului optic emis se efectuează cu ajutorul unei lentile cilindrice cu raza de 50 μm, plasată la o distanță de 25 μm de stratul activ al diodei laser, și a unei lentile sferice cu diametrul 10mm și distanța focală 15 mm. Fotografiiile structurii DL cu lentilă cilindrică și a modulului DL cu colimator sunt expuse în figura 3, iar în tabelul 1 sunt prezentați parametrii de bază ai modulului.

Utilizarea microlentilei cilindrice permite diminuarea pierderilor optice până la 20%, asigurând o divergență a fluxului optic de 1-3 mrad.

Tabelul 1

Puterea optică maximă a radiației colimate, mW	500
Lungimea de undă a radiației emise 23°C, nm	1060
Curentul de lucru pentru puterea optică 500 mW, mA	850
Tensiunea de polarizare pentru puterea P ₀ = 50 mW, V	2.1
Curentul maxim, mA	1000
Banda de emisie, nm	<1
Regimurile de lucru	continuu sau pulsant
Dimensiunile maxime, mm	25×60

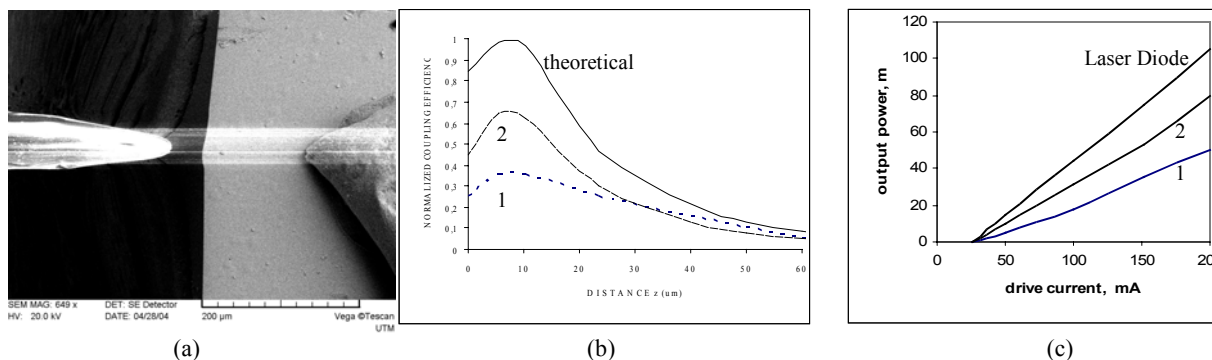


Fig. 2:

a – fotografia structurii DL cuplate cu FO; *b* – caracteristica eficienței cuplării; *c* – caracteristica puterii optice a radiației laser introduse în FO în prezența microlentilelor (*1* – utilizând topirea FO în arc electric; *2* – utilizând metoda corodării învelișului și topirii miezului FO în arc electric).

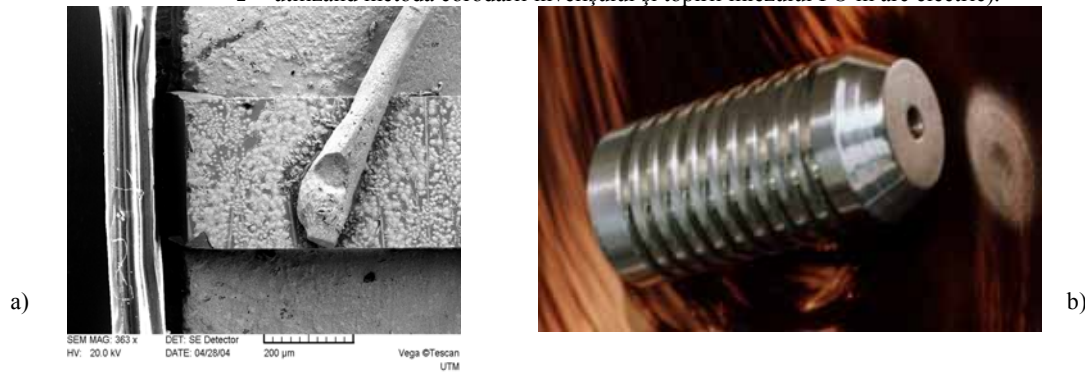


Fig. 3:

a – structura DL cu lentilă cilindrică; *b* – modulul DL cu colimator.

3. FOTODIODE

Pentru recepția semnalelor optice transmise prin FO au fost elaborate noi construcții de fotodiode (FD), care, spre deosebire de analogii clasici, posedă capacități funcționale deosebite. În figura 4 este reprezentată construcția unei FD în baza heterostructurilor InP/InGaAsP. FD posedă fotosensibilitate selectivă pentru două lungimi de undă λ_1 și λ_2 , care poate fi modulată cu un grad de modulare a amplitudinii 100% prin intermediul tensiunilor de polarizare.

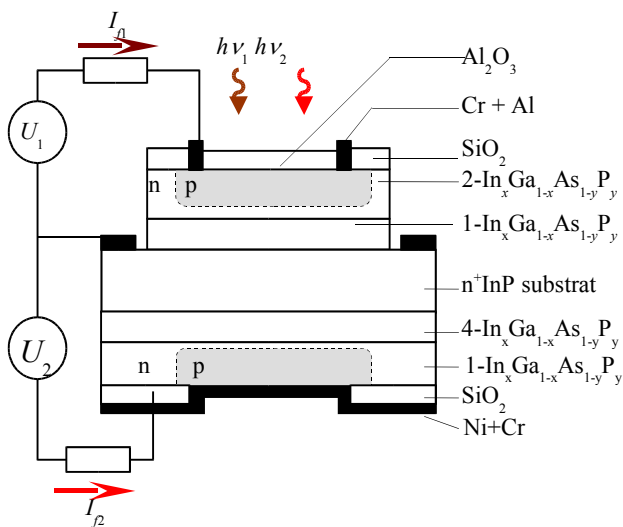


Fig. 4. Construcția FD în baza heterostructurilor InP/InGaAsP

În figura 5 sunt reprezentate diagramele energetice ale fotodiodei în lipsa polarizării (*a*) și la polarizare inversă a ambelor joncțiuni p-n (*b*). Fotosensibilitatea selectivă pentru $\lambda_1 = 1,24/hv_1$ și $\lambda_2 = 1,24/hv_2$ se asigură prin condițiile: $hv_1 = Eg_1$; $hv_2 = Eg_4$; $Eg_4 < Eg_1 < Eg_0 < < Eg_2 < Eg_3$. Modularea fotosensibilității FD pentru semnalele optice cu energia fotonilor hv_1 și hv_2 poate fi realizată datorită prezenței barierelor de potențial în benzile de valență ale straturilor active cu valorile benzilor

energetice interzise Eg_1 și Eg_4 . În lipsa tensiunilor de polarizare, purtătorii de sarcină generați în straturile active nu pot fi separați din cauza prezenței barierelor de potențial. La polarizarea inversă cu o tensiune $U > U_{prag}$ barierele de potențial dispar și fotocurenții capătă valoare maximă, proporțională cu puterea optică recepționată. În așa mod, caracteristica volt-amperică a fotodiodei (fig. 6) capătă o formă deosebită de cea clasică.

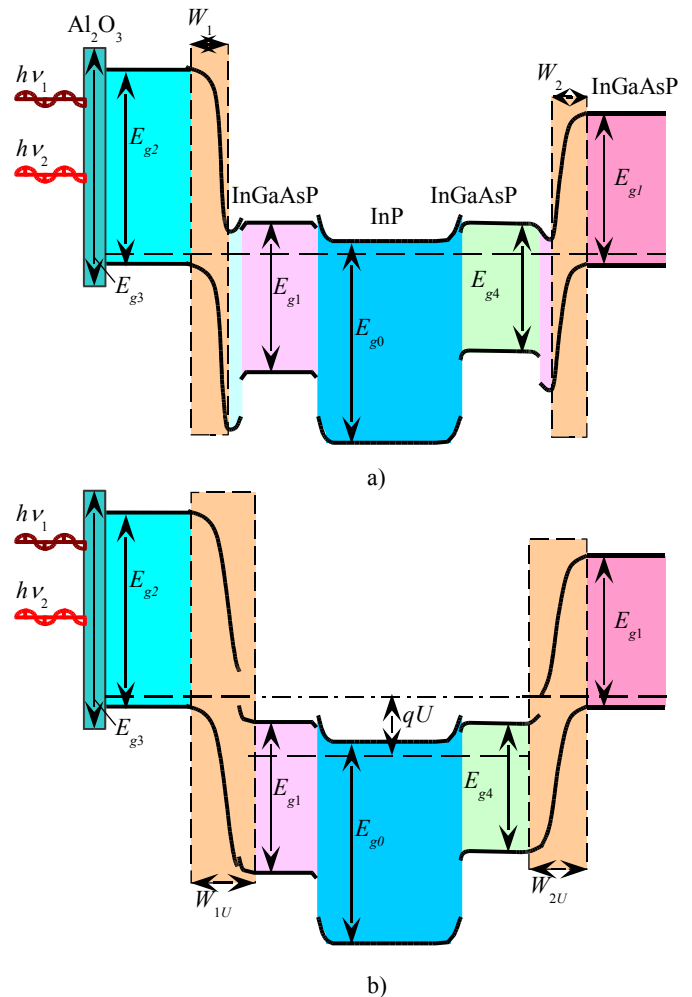


Fig. 5. Diagramele energetice ale fotodiodei în lipsa polarizării (a) și la polarizare inversă (b) a ambelor joncțiuni p-n.

Pentru tensiuni de polarizare $U < U_{\text{prag}}$ fotosensibilitatea este nulă, iar pentru $U > U_{\text{prag}}$ ea capătă valoare maximă. FD respective pot fi utilizate pentru recepția concomitentă și selectivă a două semnale optice cu diverse lungimi de undă, transmise prin FO. În plus, FD au capacitatea de a selecta semnalele optice cu aceeași lungime de undă, dar cu diferite frecvențe de modulare. Semnalul va fi recepționat de FD în cazul când frecvența de modulare a semnalului optic va coincide cu frecvența de modulare a tensiunii de polarizare. FD elaborate permit sporirea de două ori a vitezei de transmitere a informației și selectarea canalelor dintr-un larg pachet de semnale transmise concomitent prin diverse medii. Fotografia modului de cuplare a FO cu FD este prezentată în figura 7.

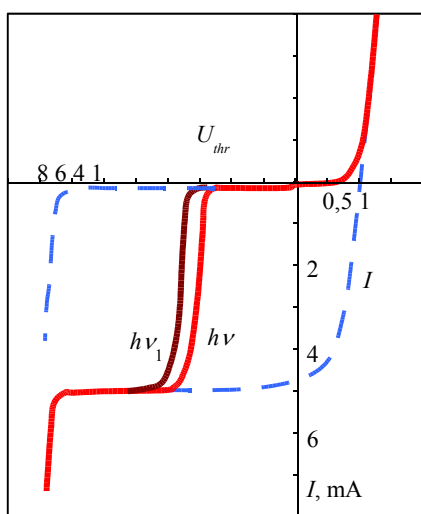


Fig. 6. Caracteristica volt-amperică a fotodiodei.



Fig. 7. Modulul de cuplare al FD cu FO.

4. FOTORECEPTORI CU SENSIBILITATE UNI- ȘI BIDIMENSIONALĂ

Pentru sistemele optoelectronice ce utilizează semnalele optice transmise prin atmosferă au fost confecționate FD p-i-n cu sensibilitate uni- și bidimensională. Fotografia unei FD cu sensibilitate bidimensională (FD-cuadrant) este

prezentată în figura 8. Aici, structura fotosensibilă a FD este divizată în patru sectoare identice, conectate diferențial la două rezistențe de sarcină. Atunci când semnalul optic incident este simetric față de centrul FD-cuadrant, semnalele diferențiale ale sectoarelor opuse sunt egale cu zero. La deplasarea semnalului optic după coordonatele x și y față de centru, semnalele diferențiale devin proporționale cu componentele deplasării. Spre deosebire de analogii existenți pe piața internațională, FD-cuadrant elaborate, posedă o fotosensibilitate selectivă cu semilărgimea spectrului fotosensibilității 80 nm, ce permite excluderea influenței fondului optic (fig. 9), sensibilitate sporită pentru lungimea de undă $\lambda = 1,06 \mu\text{m}$ (fereastră optică în atmosferă) și dimensiuni reduse. Parametrii FD-cuadrant sunt incluși în tabelul 2.

Fig. 8. FD. cu sensibilitate bidimensională.

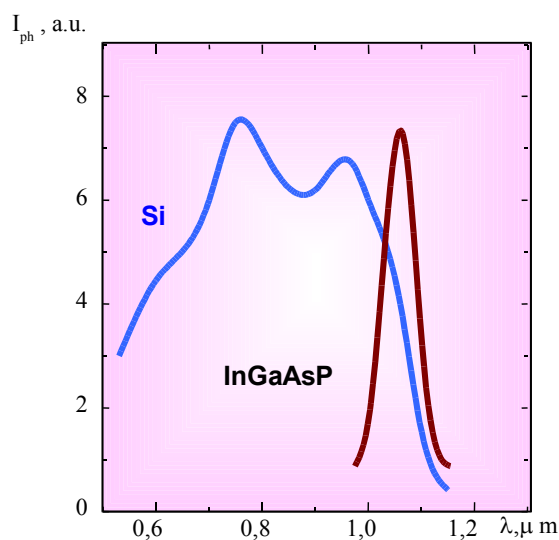


Fig. 9. Sensibilitatea spectrală a FD clasice pe Si și a FD-cuadrant pe InGaAsP.

Pentru automatizarea proceselor tehnologice industriale a fost elaborată o FD cu sensibilitate unidimensională pe baza Si monocristalin (fig. 10). Parametrii de bază sunt: intervalul liniar de măsurări +10...-10 mm; eroarea măsurării $\pm 50 \mu\text{m}$; coeficientul de transfer 0,25 V/mm.

Tabelul 2

Parametri	Valori
Dimensiunile chip-ului, mm × mm	3 × 3
Diametrul fotodiodei quadrant-detector, mm	2,6
Raza sectoarelor fotosensibile (R_{ϕ}), mm	1
Lungimea de undă a radiației emise în mamimul fotosensibilității (λ_{\max}), μm	1,06
Semilărgimea spectrului fotosensibilității ($\Delta\lambda$), nm	< 80
Sensibilitatea absolută ($S_{\lambda,\max}$), A/W	0,57
Eficiența cuantică (η), %	60
Capacitatea proprie a unui sector fotosensibil (C_{ϕ}^1), pF	190
Capacitatea unui sector pentru tensiunea inversă $U_{\text{rev}} = 1.5 \text{ V}$ (C_{ϕ}^2), pF	145
Panta caracteristicii de coordonate (K), $\text{V}\cdot\text{W}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$	$8\cdot 10^3$
Frecvența limită, GHz	> 1
Timpul de răspuns, ns	< 1

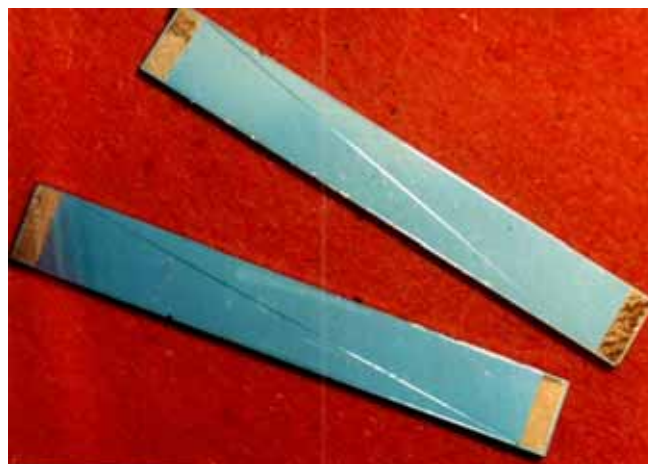


Fig. 10. FD cu sensibilitate unidimensională pe baza Si monocristalin.

5. CONCLUZII

În Laboratorul de micro-optoelectronică al Universității Tehnice a Moldovei au fost elaborate dispozitive optoelectronice originale pentru sisteme de comunicații optice cu diverse aplicații. Dispozitivele posedă caracte-

ristici și parametri de performanță și pot fi optimizate pentru diverse aplicații.

Tehnologia de confecționare a acestor dispozitive poate fi implementată fără dificultăți la orice întreprindere de producere a dispozitivelor micro-optoelectronice pe bază de semiconductori.

NOI APARIȚII ÎN EDITURA AGIR

Adelaida Mateescu, Graziela Niculescu
SISTEME DE TELECOMUNICAȚII

Format 170×240 mm, 160 pagini, 250.000 lei/exemplar

Lucrarea cuprinde o prezentare generală a sistemelor moderne de telecomunicații. Primele șase capitole se referă la principiile și tehnicile de comutație și de semnalizare, incluzând și câteva elemente de inginerie a traficului. Partea a doua (capitolele 7-11) dezvoltă principiile și tehnologiile diferitelor sisteme de transmisii (cu căi multiple, pentru comunicații optice, satelitare și cu mobile). Dezvoltării ultimelor generații de comunicații mobile îi este acordată o atenție specială.

Interesul specialiștilor și nu numai al lor pentru tehnologia rețelilor de comunicații a crescut în ultimii ani. În același timp, dinamica de dezvoltare rapidă a domeniului necesită reactualizări ritmice a cunoștințelor legate de noile tehnologii. În acest context, formarea și perfecționarea prin educație continuă, în cadrul formelor de învățământ clasice, ca și în afara acestora, este de mare actualitate. Lucrarea de față va veni în sprijinul tuturor celor ce sunt interesați de nivelul actual al sistemelor de telecomunicații.