

UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

Cu titlu de manuscris
C.Z.U.: 535.2/.3 (043.2)

DOROGAN ANDREI

**FENOMENE OPTICE ȘI FOTOELECTRICE
ÎN MATERIALE ANIZOTROPE**

134.01 – FIZICA ȘI TEHNOLOGIA MATERIALELOR

Autoreferatul tezei de doctor în științe fizice

CHIȘINĂU, 2019

Teza a fost elaborată în cadrul Laboratorului de Micro-Optoelectronică al Universității Tehnice a Moldovei.

Conducător științific:

Sîrbu Nicolae, doctor habilitat în științe fizico-matematice, profesor universitar, UTM.

Referenți oficiali:

Iovu Mihail, doctor habilitat în științe fizico-matematice, profesor cercetător, Institutul de Fizică Aplicată al AȘM.

Rusu Emil, doctor habilitat în tehnică, conferențiar universitar, Institutul de Inginerie Electronica și Nanotehnologii “D. Ghițu” al AȘM.

Membri ai Consiliului Științific Specializat:

Culiuc Leonid, **președinte,** doctor habilitat în științe fizico-matematice, profesor universitar, academician, Institutul de Fizică Aplicată al AȘM.

Cojocaru Ion, **secretar științific,** doctor în științe fizico-matematice, Institutul de Fizică Aplicată al AȘM.

Țiuleanu Dumitru, doctor habilitat în științe fizico-matematice, profesor universitar, Universitatea Tehnică a Moldovei, membru corespondent al AȘM.

Ursachi Veaceslav, doctor habilitat în științe fizico-matematice, conferențiar cercetător, Institutul de Inginerie Electronica și Nanotehnologii “D. Ghițu” al AȘM.

Abășkin Vladimir, doctor în științe fizico-matematice, Institutul de Fizică Aplicată al AȘM.

Evtodiev Igor, doctor habilitat în științe fizico-matematice, profesor universitar, Universitatea de Stat din Moldova.

Susținerea va avea loc la 26 aprilie 2019, ora 15:00, în Ședința Consiliului Științific Specializat D 134.01-01 din cadrul Institutului de Fizică Aplicată al AȘM pe adresa: str. Academiei 5, MD 2028, Chișinău, Republica Moldova.

Teza de doctor și autoreferatul pot fi consultate la Biblioteca Științifică Centrală “A. Lupan”, str. Academiei 5a, MD-2028, or. Chișinău, Republica Moldova.

Autoreferatul a fost expediat la „26” martie 2019

Secretar științific al Consiliului Științific Specializat,

Cojocaru Ion, dr. în șt. fiz.-mat.

Conducător științific,

Sîrbu Nicolae, dr. hab. în șt. fiz.-mat., prof. univ.

Autor

Dorogan Andrei

(©Dorogan Andrei, 2019)

Repere conceptuale ale cercetării

Actualitatea temei. Pe parcursul dezvoltării optoelectronicii semiconductoare au fost studiate și atrase în tehnologiile de fabricare ale dispozitivelor funcționale materiale noi și structuri cu proprietăți și caracteristici variate. Optoelectronica modernă necesită și materiale cu anizotropie puternică a proprietăților electronice și optice, pe baza cărora pot fi create elemente active: joncțiuni p-n, heterojoncțiuni, structuri Schottky, etc.

Odată cu creșterea fluxului de informații în sistemele de comunicații optice moderne are loc compactarea frecvențelor purtătoare de informație. În cazul separării a două impulsuri adiacente pentru diferite canale de comunicație, cu detectarea lor ulterioară, sunt utilizate dispozitive, care permit reglarea pasului dintre canale. Pasul dorit este stabilit prin controlul modelului de interferență, a proprietăților și parametrilor structurilor ghidurilor de undă izotrope și anizotrope. Un rol esențial în aceste structuri îl au proprietățile birefringente ale cristalelor. În lucrare sunt cercetate diferite dispozitive cu utilizarea structurilor bazate pe tehnologia epitaxială și a monocristalelor anizotrope ZnAs_2 . Este demonstrată posibilitatea separării modelor impulsurilor optice cu scopul multiplexării în sistemele de comunicații prin fibră optică.

Pentru a determina planul oscilației vectorului electric al radiației plan polarizate sunt necesare fotoreceptoare, care asigură schimbarea semnului fotocurentului în cazul rotirii planului de polarizare cu 90° . Astfel de senzori sunt necesari în robotică pentru orientarea unui obiect în spațiu, sau a două obiecte unul față de celălalt, în sistemele de comunicații prin fibră optică pentru determinarea dispersiei modale de polarizare și în alte domenii ale optoelectronicii.

Inversarea semnului fotocurentului la schimbarea planului de polarizare a radiației optice este posibilă, dacă fotodetectorul este creat pe baza unui semiconductor anizotrop unde există două (sau mai multe) regiuni, în care direcțiile câmpurilor electrice sunt opuse. Cea mai simplă structură pe semiconductori este o joncțiune n-p polarizată direct pe baza unui cristal uniaxial, cum ar fi ZnAs_2 . Axa optică a cristalului semiconductor trebuie să se afle în planul iluminării.

Actualitatea și relevanța lucrării este determinată de interesul deosebit al cercetătorilor de a studia proprietățile materialelor anizotrope, atât din punct de vedere fundamental cât și a existenței unei perspective reale de elaborare și aplicare a dispozitivelor bazate pe semiconductori anizotropi. Relevanța cercetării structurilor semiconductoare cu gropi cuantice este determinată de faptul, că aceste structuri stau la baza majorității dispozitivelor optoelectronice moderne.

Descrierea situației în domeniul de cercetare. Domeniul de cercetare se referă la fenomenele optice și fotoelectrice în materialele anizotrope ZnAs_2 și nanostructurile cu gropi cuantice $\text{In}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}/\text{GaAs}$, $\text{In}_{0,68}\text{Al}_{0,19}\text{Ga}_{0,13}\text{As}$, $\text{In}_{0,67}\text{Al}_{0,22}\text{Ga}_{0,11}\text{As}$ în vederea determinării parametrilor optici fundamentali, reieșind din caracterizările spectroscopice cu rezoluție înaltă, în

vederea estimării calității structurilor și elaborării dispozitivelor optoelectronice pentru diverse aplicații.

Scopul lucrării constă studiul experimental al anizotropiei cristalelor semiconductoare cu simetrie redusă, și anume, stabilirea mecanismelor de anizotropie în proprietățile optoelectronice, cercetarea fenomenelor la suprafața cristalelor și interfețele cu metale și alți semiconductori, elucidarea aplicațiilor în practică ale dichroismului optic, activității optice și ale proprietăților fotoelectrice ale acestor semiconductori și a structurilor cu gropi cuantice $\text{In}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}/\text{GaAs}$ și $\text{In}_{0,68}\text{Al}_{0,19}\text{Ga}_{0,13}\text{As}$, $\text{In}_{0,67}\text{Al}_{0,22}\text{Ga}_{0,11}\text{As}$, scop atins prin următoarele obiective:

- Studiul anizotropiei tranzițiilor electronice la marginea de absorbție a cristalelor ZnAs_2 , a interferenței undelor ordinare și extraordinare în cristalele ZnAs_2 și a dispersiei ordinare și extraordinare în cristalele ZnAs_2 , cu calculul constantelor optice ale cristalelor în regiunea transparenței conform relațiilor Kramers-Kronig.
- Cercetarea polaritonilor excitonici în cristalele ZnAs_2 , ortoexcitonilor în cristalele ZnAs_2 , a structurii benzilor energetice ale cristalelor ZnAs_2 în centrul zonei Brillouin și cercetarea tranzițiilor electronice în adâncimea benzii de absorbție ($E > E_g$, 1-10,5eV).
- Cercetarea caracteristicilor spectrale ale fotodetectorilor pe baza cristalelor ZnAs_2 , a interferenței spectrelor fotorăspunsului a structurilor Me-ZnAs_2 .
- Studiul propagării modelor impulsurilor de lumină în ghidurile de undă planare și a separării acestor mode (TE, TM).
- Analiza dispozitivelor indicatoare de semnal zero al radiației polarizate cu construcție de tip „twin”, a spectrelor marginii de absorbție ale cristalelor ZnAs_2 și curburii benzilor energetice la hotarul structurii de tip „twin”.
- Cercetarea experimentală a structurilor cu gropi cuantice $\text{In}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}/\text{GaAs}$, $\text{In}_{0,68}\text{Al}_{0,19}\text{Ga}_{0,13}\text{As}$, $\text{In}_{0,67}\text{Al}_{0,22}\text{Ga}_{0,11}\text{As}$ și determinarea parametrilor optici principali cu scopul caracterizării calității heterostructurilor și a posibilității elaborării dispozitivelor optoelectronice.

Metodologia cercetării științifice se bazează pe analiza spectroscopică, teoria corpurilor solide, teoria cuantică, comparare între modele, teoria circuitelor.

Noutatea și originalitatea științifică constă în rezultatele studiul spectroscopic în intervalul 1,3 – 1,35 μm , care a asigurat caracterizarea detaliată a cristalelor anizotrope ZnAs_2 și determinarea cu precizie înaltă a valorilor parametrilor optici fundamentali. Datele originale ale spectroscopiei cu rezoluție înaltă a heterostructurilor cu gropi cuantice $\text{In}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}/\text{GaAs}$ și $\text{In}_{0,68}\text{Al}_{0,19}\text{Ga}_{0,13}\text{As}$, $\text{In}_{0,67}\text{Al}_{0,22}\text{Ga}_{0,11}\text{As}$, care au permis determinarea parametrilor optici de bază și aprecierea obiectivă a calității structurilor. În baza soluțiilor originale propuse a fost

demonstrată posibilitatea elaborării unor dispozitive optoelectronice sensibile la polarizarea radiației optice, utilizate în sisteme de comunicații optice.

Problema științifică soluționată constă în determinarea și calculul parametrilor optici fundamentali ai polaritonilor excitonici în cristalele birefringente $ZnAs_2$ cu simetria C_{2h}^5 și a tranzițiilor electronice în banda de absorbție fundamentală a materialelor cu anizotropie optică și a heterostructurilor cu gropi cuantice, în vederea elaborării dispozitivelor optoelectronice.

Semnificația teoretică a lucrării o constituie studiul spectroscopic al cristalelor $ZnAs_2$ permite realizarea calculului parametrilor optici fundamentali utilizând relațiile de dispersie, relațiile Kramers-Kronig și metodele de calcul a spectrelor polariton-excitonice.

Utilizând relațiile Kramers-Kronig, au fost calculate dependențele spectrale ale funcțiilor optice n , k , ε_1 , ε_2 , pentru cristalele $ZnAs_2$ în domeniul energiilor (1-10eV). Singularitățile funcțiilor optice n , k , ε_1 , ε_2 detectate posedă o anizotropie semnificativă, care se datorează tranzițiilor directe electronice între extremele benzilor V și C în punctele Γ , X, L și S ale zonei Brillouin.

A fost depistată o diferență a maselor efective M la polarizările S, S și P, P prin efectuarea calculelor contururilor spectrelor optice, conform teoriei relațiilor de dispersie, datorate tranzițiilor hh1-e1 și lh1-e1 în gropile cuantice a structurilor $In_{0,68}Al_{0,19}Ga_{0,13}As$, $In_{0,67}Al_{0,22}Ga_{0,11}As$. Masa translațională M a tranzițiilor hh1-e1 constituie jumătate din masa M corespunzătoare tranzițiilor lh1-e1, ceea ce indică diferența dintre masele efective ale golurilor grele m_{hh} și ale golurilor ușoare m_{lh} din straturile cuantice.

Utilizând calculele, obținute prin metoda Kramers-Kronig, a spectrelor de reflexie polarizate, a fost demonstrată anizotropia dependențelor spectrale a parametrilor optici: indicele de refracție ($n^{s,s}$, $n^{p,p}$, $\Delta n = n^{s,s} - n^{p,p}$), coeficientul de extincție, partea reală și imaginară a constantei dielectrice ($\varepsilon_2^{s,s}$, $\varepsilon_2^{p,p}$, $\Delta\varepsilon_2 = \varepsilon_2^{p,p} - \varepsilon_2^{s,s}$, $\varepsilon_1^{s,s}$, $\varepsilon_1^{p,p}$, $\Delta\varepsilon_1 = \varepsilon_1^{p,p} - \varepsilon_1^{s,s}$), care determină proprietățile optoelectronice de bază ale nanostructurilor.

Valoarea aplicativă. Au fost determinați indicatorii radiației polarizate liniar sub formă de structuri monolitice și discrete n-p și Me- n-p- bazate pe $ZnAs_2$, pentru intervalul de lungimi de undă 1,3-1,35 μ m. Au fost cercetate caracteristicile electrice, spectrale și azimutale ale detectorilor de radiație polarizată liniar.

A fost demonstrată posibilitatea analizei dispersiei modale de polarizare (PMD) pentru canalele de comunicații cu ajutorul fotoreceptorilor sensibili la polarizarea radiației optice cu bandă spectrală de sensibilitate îngustă. Fotodetectorii pe bază de $ZnAs_2$ sunt de perspectivă pentru sistemele de comunicații, deoarece posedă un maxim al fotosensibilității în regiunea 1,3 μ m. Din punct de vedere tehnologic, pe baza acestor materiale se pot obține joncțiuni p-n, diode Schottky și alte elemente active.

Fotoreceptorii propuși, care permit inversarea semnelor fotocurentului, pot fi utilizate pentru controlul frecvenței radiației monocromatice într-un spectru larg. Aceste dispozitive permit detectarea frecvenței purtătoare de informație în sistemele optice de comunicații DWDM, utilizând proprietățile de interferență ale fotorăspunsului.

Studiul birefringenței cristalelor de ZnAs₂ indică faptul, că acest material este promițător pentru crearea dispozitivelor optoelectronice, care funcționează în spectrul IR apropiat. Anizotropia dependențelor spectrale ale indicilor de refracție face posibilă prognozarea elaborării unor filtre bazate pe cristale ZnAs₂, a separatoarelor de mode ale impulsurilor optice în regiunea IR apropiat. Structurile bazate pe ZnAs₂ pot fi tehnologic joncționate cu structurile pe bază de GaAs și In_{0,3}Ga_{0,7}As.

Rezultatele științifice înaintate spre susținere:

1. Minimul benzii energetice interzise a cristalelor ZnAs₂ este format de seria excitonică singlet a simetriei $\Gamma_2^-(z)$ permisă la polarizarea $E \parallel c$ și caracterizată printr-o interacțiune slabă exciton-polariton. Excitonii $\Gamma_2^-(z)$ și ortoexcitonii simetriei $2\Gamma_1^- + \Gamma_2^-$ provin din aceeași pereche de benzi. Masele efective a electronilor constituie $m_c^* = 0.10m_0$ și a golurilor $m_{v1}^* = 0.89m_0$. Masa electronilor m_c^* rămâne neschimbată, iar masa golurilor m_{v1}^* scade de la 1,03 la 0,55 m_0 , în cazul variației temperaturii de la 10K la 230K.

2. Estimările cantitative ale absorbției integrale $A(\text{eV} \cdot \text{cm}^{-1})$ pentru stările $n = 1, 2$ și 3 ale excitonilor $\Gamma_2^-(z)$ au arătat, că absorbția integrală pentru liniile seriei n corespunde dependenței $A_n \approx n^{-3}$, caracteristică pentru funcțiile excitonilor de tip-S. Valoarea despicării benzilor de valență superioare în centrul zonei Brillouin, cauzată de câmpului cristalin ($\Delta_c = 14,6\text{meV}$) este mai mică decât despicarea datorată interacțiunii spin-orbitală ($\Delta_{so} = 19,3\text{meV}$).

3. În structurile cu gropi cuantice In_{0,3}Ga_{0,7}As, spectrele de reflexie sunt formate de către tranzițiile electronice hh , $lh1-e1(1s)$, $hh1$, $lh1-e2(1s)$, $hh2$, $lh2-e2(1s)$ și $hh3$, $lh3-e3(1s)$, în cazul polarizărilor S și P, la unghiuri de incidență de 7° și unghiul Brewster (76°). În heterostraturile In_{0,68}Al_{0,19}Ga_{0,13}As, In_{0,67}Al_{0,22}Ga_{0,11}As pentru polarizările fasciculelor de lumină S-S și P-P masele efective ale golurilor grele m_{hh} și ale celor ușoare m_{lh} sunt diferite.

4. Anizotropia caracteristicilor optice ale monocristalelor ZnAs₂ (0,96 eV la 300K și 1,05 eV la 10K) poate fi utilizată pentru modularea și filtrarea impulsurilor radiației laser în regiunea ferestrelor de transparență ale fibrelor optice (1,3 și 1,55 μm).

Aprobarea rezultatelor cercetărilor. Rezultatele principale au fost prezentate la 30 foruri științifice (congrese, conferințe, saloane ale cercetării și inovării) din care vom menționa:

- Salonului Internațional al Cercetării, Inovării și Invenției PROINVENT-2017, Ediția XV. 22 - 24 martie 2017.
- Expoziția Internațională de Invenții "Inventica 2017", ediția 21, Iași, România.

- Expoziția Europeană de Creativitate și Inovare EUROINVENT-2016, ediția 8, Iași, Romania, 19-21 Mai 2016.
- Conferința Internațională a Nanotehnologiilor și Ingineriei Biomedicale ICNBME-2015, Septembrie 23-26, 2015, Chișinău, Republica Moldova.
- Conferința Internațională „Telecomunicații, Electronică și Informatică” ICTEI-2012. Ediția 4, Chișinău, 17-20 Mai 2012.
- 6th International Conference on Materials Science and Condensed Matter Physics – MSCMP-2012. September 11-14, 2012.
- VI International Warsaw Invention Show – IWIS 2012, 16-19 October 2012. Warsaw University of Technology. Ed. Association of Polish Inventors and Rationalizers.
- XIV Московский международный Салон изобретений и инновационных технологий АРХИМЕД 2011.
- 8th International Scientific and Technical Conference on Quantum Electronics, Minsk, 22-25 November, 2010
- The 33rd ARA Congress “Modernism and Progress in Arts and Sciences”, June 02 - 07, 2009, Sibiu, Romania.
- VIII International Salon of Inventions and New Technologies „New Time”, September 27-29, 2012, Sevastopol, Ukraine.

Publicații la tema tezei. La tema tezei au fost publicate 50 lucrări științifice (dintre care 2 fără coautori) cu un volum total de 0,62 coli de tipar, inclusiv 18 articole publicate în reviste științifice internaționale cu factor de impact. Au fost obținute 21 medalii de aur, argint și bronz, 2 premii speciale, 20 diplome. Au fost depuse la AGEPI și obținute 2 brevete de invenție.

Volumul și structura tezei. Teza este compusă din introducere, patru capitole, concluzii finale, bibliografie (151 titluri) și 7 anexe. Conținutul de bază al tezei este expus pe 139 pagini, inserează 78 figuri și 2 tabele.

Cuvinte-cheie: anizotropie, birefrință, rotație, dicroism, heterostructuri, gropi cuantice, filtre optice, fotoreceptori.

CONȚINUTUL TEZEI

În **Introducere** este prezentată argumentarea și actualitatea temei de cercetare. Este formulat scopul și sarcinile cercetării, sunt prezentate domeniul și obiectivele cercetării, elementele de noutate științifică a rezultatelor obținute, este prezentată semnificația teoretică și valoarea aplicativă a domeniului de studiu.

În **primul capitol**, *Studiul proprietăților optice ale materialelor birefringente și nanostructurilor*, sunt prezentate date cu privire la proprietățile optice în regiunea minimului benzii energetice interzise a cristalelor ZnAs_2 . Au fost studiate metodele de obținere a arseniurilor de zinc. Sunt prezentate schemele instalațiilor și metodele de măsurare a spectrelor de reflexie, transparență, luminescență și a spectrelor Raman pentru materialele birefringente. Sunt prezentate date ce se referă la proprietățile optice ale nanostructurilor $\text{In}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}/\text{GaAs}$, efectul cuantificării dimensionale și metode de obținere a structurilor cu gropi cuantice cu prezentarea posibilităților moderne de investigare microscopică: microscopia optică de câmp, microscopia electronică de transmisie, microscopia sondei de scanare. Sunt, de asemenea, prezentate metodele de calcul și măsurare a spectrelor polariton-excitonice în cristalele.

Materialele CdP_2 și ZnP_2 reprezintă semiconductori cu bandă largă cu valoarea benzii energetice interzise $E_g \approx 2,03\text{eV}$ pentru CdP_2 și $E_g \approx 2,05 - 2,22\text{eV}$ pentru ZnP_2 [2]. Aceste materiale sunt studiate și cercetate datorită unei benzi energetice interzise largi și a unei stabilități chimice și activități optice sporite [3]. Cristalele de ZnAs_2 posedă o anizotropie puternică a proprietăților optice și fac parte din sistemul monoclinic (grupul spațial C_{2h}^5) cu 8 unități în celula elementară cu parametrii rețelei: $a=8,85\text{Å}$, $b=7,21\text{Å}$, $c=7,56\text{Å}$; $\beta=102,3^\circ$ [1].

Parametrii excitonilor pot fi determinați mai precis reieșind din cunoașterea dispersiei funcțiilor optice în regiunea $h\nu \approx E_g$. Analiza conform relațiilor Kramers-Kronig poate fi aplicată la spectrele de reflexie R într-un interval larg, care include și regiunea excitonică [5].

Heterostructurile cu gropi și puncte cuantice bazate pe arseniură de galiu (GaAs) și soluțiile sale solide ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ și $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$) de diferite compoziții $x = 0,1-1$ provoacă cel mai mare interes cercetătorilor. Aceste materiale sunt potrivite pentru utilizare în dispozitive electronice (LED-uri, lasere etc.). Principala aplicație tehnică a HCD de acest tip este prezentă în dezvoltarea dispozitivelor de emisie a radiației optice, în principal lasere pentru sisteme de comunicații prin fibră optică.

Conceptul interacțiunii foton-exciton, formulat de către Pekar [6] și Hopfield [7], permite numeroase demonstrații ale predicției acestui model, ce ține de posibilitatea propagării simultane în cristal a unei sau mai multor unde la aceeași polarizare, într-un interval al frecvențelor definit. Această particularitate este posibilă datorită dependenței energiei excitonului de vectorul de undă (dispersia spațială).

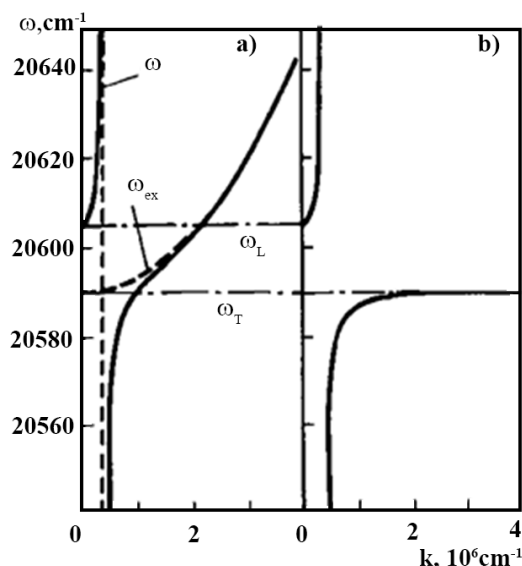


Fig.1 Dependența frecvenței de vectorul de undă k pentru polaritonii excitonici. (a) - Curba de dispersie a fotonilor (ω) și excitonilor (ω_{ex}) în absența interacțiunii (curbele întrerupte) și în cazul interacțiunii (curbele solide). Parametrii corespund stărilor excitonice $n = 1$ în cristalele CdS. (b) Curba de dispersie a polaritonilor excitonici în absența dispersiei spațiale.

Polaritonii excitonici sunt cuasi-particule complexe produse prin mixarea fotonilor cu excitonii dipol-activi. Liniile întrerupte din figura 1, a (ca formă a dependenței energiei de vectorul de undă) reprezintă curbele de dispersie a fotonilor care nu interacționează (linia fotonilor $\omega = ck / \sqrt{\epsilon}$) și excitonilor (cea mai simplă versiune cu bandă parabolică $\omega_{ex} = \omega_T + \hbar^2 k^2 / 2M^*$). Aici, ω este frecvența fotonului, k – vectorul de undă, ϵ_b este constanta dielectrică de fond, care aduce un aport la toate rezonanțele, cu excepția tranziției excitonice considerate, ω_T este frecvența excitonului la valoarea $k=0$, M^* este masa efectivă a excitonului, $\hbar/2\pi$ este constanta lui Planck, iar c este viteza luminii în vid.

În capitolul doi, Anizotropia proprietăților optice ale cristalelor $ZnAs_2$, sunt prezentate date experimentale cu privire la anizotropia tranzițiilor electronice la marginea de absorbție a cristalelor $ZnAs_2$. Sunt cercetate spectrele de reflexie, transparență și de absorbție a cristalelor $ZnAs_2$, dispersia ordinară și extraordinară, anizotropia spectrelor de interferență, măsurate într-un interval de temperaturi 10- 300K și diferite polarizări ale radiației optice. Este prezentat calculul conform relațiilor Kramers-Kronig și determinate constantele optice ale cristalelor $ZnAs_2$ în regiunea transparenței. Sunt cercetați polaritonii excitonici în cristalele $ZnAs_2$, care permit determinarea structurii și a particularităților structurii benzilor energetice în punctul Γ al zonei Brillouin. Sunt prezentate date experimentale ce țin de studiul tranzițiilor electronice în adâncimea benzii de absorbție a cristalelor $ZnAs_2$.

Dependențele spectrale a parametrilor n , k , ϵ_1 și ϵ_2 în regiunea transparenței cristalelor ($k \ll n$) se determină prin măsurarea spectrelor de transparență. Această metodă este, exclusiv,

efectivă în cazul măsurării spectrelor de interferență ale cristalelor subțiri. Materialele sunt opace în regiunea energiilor $E > E_g$ și, pentru determinarea n , k , ε_1 și ε_2 , se utilizează metoda calculului din spectrele de reflexie, utilizând relațiile Kramers – Kronig.

În cazul interferenței, spectrele de absorbție (reflexie) conțin maxime și minime, care pot fi calculate conform următoarelor expresii:

$$\lambda_{\max} = \frac{2nd}{m_1}; m_1 = 2,4,6 \quad \lambda_{\min} = \frac{2nd}{m_2}; m_2 = 1,3,7 \quad n = \frac{1}{2d \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right)} \quad (1)$$

unde: λ_{\max} , λ_{\min} – lungimile de undă ale maximelor și minimelor în spectrele de interferență; n – indicele de refracție; m – ordinul benzii de interferență; d – grosimea cristalului. Interferența spectrelor de transparență și reflexie se observă în cristale cu grosimi mici ($d \leq 25 \mu\text{m}$).

În fig. 2 sunt prezentate spectrele de transparență ale monocristalelor ZnAs_2 cu grosimea $22 \mu\text{m}$ obținute din fază gazoasă, măsurate la temperatura de 300K și la polarizările $E \parallel c$ și $E \perp c$.

Absorbția este mult mai slabă la polarizarea $E \perp c$ decât la polarizarea $E \parallel c$, de aceea, spectrele de interferență pot fi observate până la valoarea de 1,3eV. Amplitudinea oscilațiilor în spectrele de interferență se micșorează odată cu creșterea energiei radiației. Indicele de refracție n este determinat din condiția de interferență:

$$n = \frac{M}{2d(v_1 - v_2)} \quad (2)$$

unde d – este grosimea probei; v_1 și v_2 – frecvențele a două maxime (sau minime) de absorbție. $M=1$ pentru două maxime alăturate.

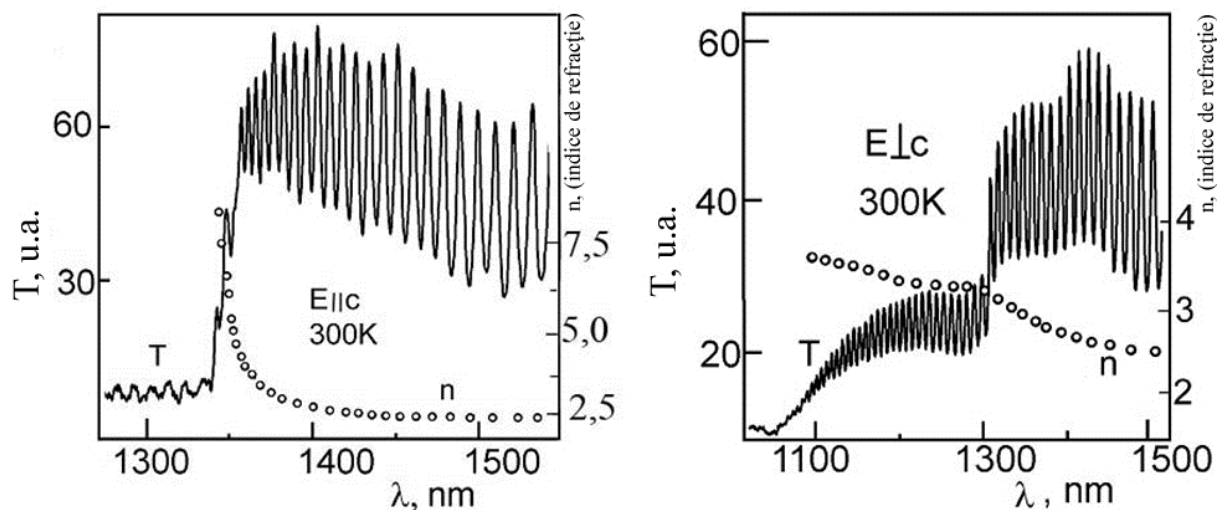


Fig. 2 Spectrele de interferență ale absorbției în cristale subțiri ZnAs_2 (grosimea $22 \mu\text{m}$) la polarizarea $E \parallel c$ și $E \perp c$ și temperatura de 300K și dependența spectrală a indicelui de refracție obținută din calculele interferenței spectrelor de transparență.

Valorile obținute ale indicelui de refracție la polarizarea E||c demonstrează dependența de frecvență a ramurii polaritonice în regiunea „strangulației” spectrului („bottleneck”), explicată în lucrarea [11]. Anizotropia proprietăților optice, dispersia indicelui de refracție al undelor ordinare și extraordinară în ZnAs₂ reprezintă proprietăți caracteristice acestui material. Această anizotropie este observată și pentru cristalele de grosimi subțiri (de valori sub-microne) [8 - 11].

Integralele Kramers-Kronig sunt utilizate pe larg pentru determinarea constantelor optice, în regiunea transparenței cristalelor și în regiunea absorbției proprii a cristalelor. Ele permit determinarea fazei unde de lumină reflectate, pentru fiecare lungime de undă, conform amplitudinii coeficientului de reflexie sau transparență. Amplitudinea este funcție de faza φ a unde reflectate, conform următoarei relații:

$$r = \sqrt{R}e^{-i\varphi} \quad t = \frac{I_t}{I_0} = \frac{(1-R)^2 \left(1 + \frac{k^2}{n^2}\right) \ell^{-Kd}}{(1 - R\ell^{-Kd})^2 + 4R\ell^{-Kd} \sin^2(\alpha + \varphi)} \quad (3)$$

Constantele optice pot fi calculate utilizând coeficientul de reflexie măsurat într-un domeniu mult mai larg de energii, ceea ce permite obținerea unor valori calculate mult mai precise.

Constantele optice n , k , R , φ , ε_1 , ε_2 sunt corelate între ele prin următoarele relații:

$$\begin{cases} r = \frac{N-1}{N+1} = \frac{n+ik-1}{n+ik+1} \\ r = \sqrt{R}e^{-i\varphi} = \sqrt{R}(\cos\varphi - i\sin\varphi) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} n = \frac{1-R}{1-2\sqrt{R}\cos\varphi+R} \\ k = \frac{2\sqrt{R}\sin\varphi}{1-2\sqrt{R}\cos\varphi+R} \end{cases} \quad (4)$$

Faza poate fi determinată din măsurările amplitudinii unde reflectate cu ajutorul integralelor doar în intervalul $(\omega_0 - \omega_\infty)$. Coeficientul de reflexie a semiconductorului este determinat de indicele de refracție și absorbție, în cazul incidenței normale a luminii la interfața vid – semiconductor, conform expresiei:

$$|r|e^{i\theta} = \frac{n+ik-1}{n+ik+1}; \quad R = |r|^2 = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2}; \quad \text{tg}\theta = \frac{2k}{n^2 + k^2 - 1}; \quad (5)$$

Rezolvând acest sistem de ecuații obținem parametrii R și θ (θ este valoarea fazei calculate). În baza lor pot fi determinați parametrii n și k :

$$k = \frac{2\sqrt{R}\sin\theta}{(1-\sqrt{R})^2 + 4\sqrt{R}\sin^2\frac{\theta}{2}}; \quad n = \frac{1-R}{(1-\sqrt{R})^2 + 4\sqrt{R}\sin^2\frac{\theta}{2}}; \quad (6)$$

Partea reală și cea imaginară a conductibilității dielectrice complexe se determină din valorile calculate ale lui n și k : $\varepsilon_1 = n^2 + k^2$; $\varepsilon_2 = 2nk$. Constantele optice sunt calculate din spectrele de transparență și reflexie măsurate la polarizarea E⊥c și sunt prezentate în fig. 3.

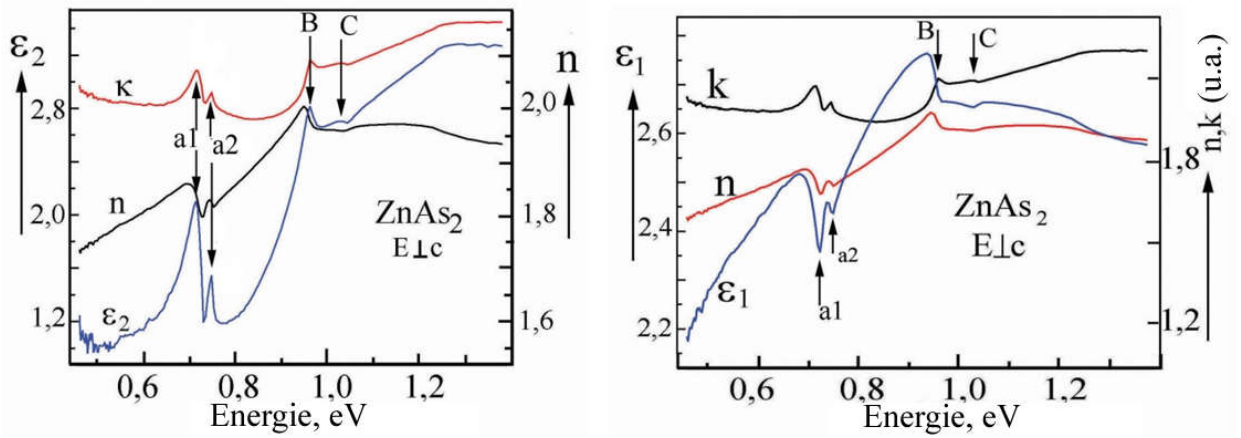


Fig. 3 Funcțiile optice n , k , ϵ_1 și ϵ_2 calculate din spectrele de reflexie ale cristalelor ZnAs_2 , conform relațiilor Kramers-Kronig, la polarizarea $E_{\perp c}$.

Dispersia indicilor de refracție n_o și n_e este determinată de particularitatea structurii benzilor, care determină anizotropia pragului de absorbție intrazonale al cristalului la polarizările $E_{\perp c}$ ($E||c$) și $E||c$ ($E_{\perp c}$). Prezența undelor ordinare și extraordinară în cristal, pentru care există doi indici de refracție n_o și n_e , contribuie la apariția interferenței dintre aceste două unde. Dacă indicii de refracție n_o și n_e se intersectează la o oarecare lungime de undă, atunci are loc schimbul de energie între aceste două unde. Această lungime de undă este numită *lungime de undă izotropă* (sau *punct izotrop*). Indicii de refracție n_o sunt determinați luând în considerație grosimea cristalului și lungimea de undă a maximelor liniilor de interferență înguste.

În fig. 4 sunt prezentate spectrele de interferență a transparenței pentru geometria V-V-H, măsurate pentru proba de ZnAs_2 cu grosimea $d=0,5\mu\text{m}$. Dependența spectrală a indicelui de refracție n_o pentru undele ordinare a fost obținută ținând cont de poziția lungimilor de undă ale maximelor (minimelor) concentrate în benzile largi. Valoarea $\Delta n=n_o-n_e$ a fost calculată ținând cont de lungimile de undă în maximul (minimul) benzilor largi 1, 2, 3, etc.

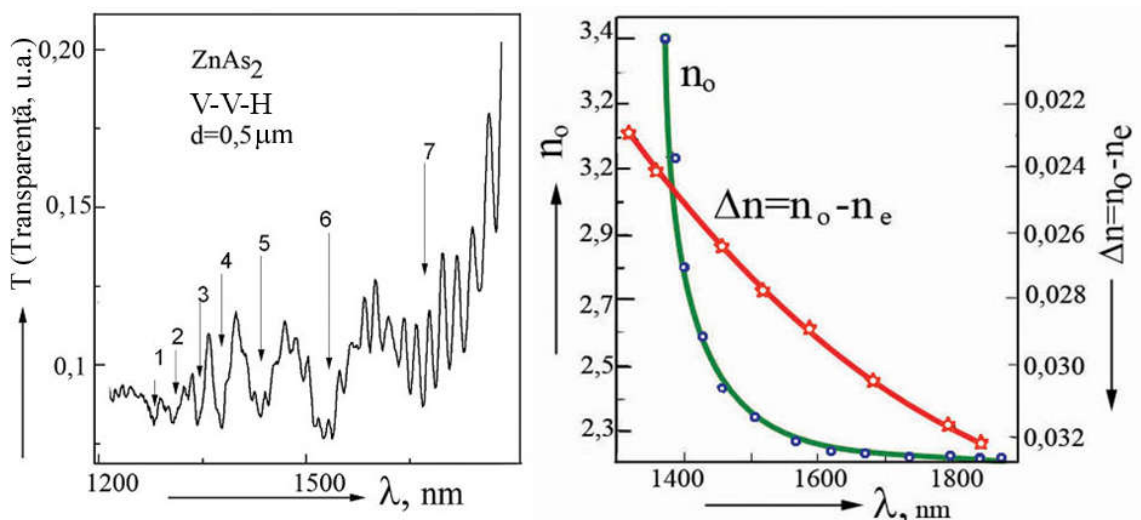


Fig. 4. Spectrele de interferență a transparenței cristalelor ZnAs_2 pentru geometria V-V-H și valorile calculate ale indicelui de refracție n_o și $\Delta n=n_o-n_e$.

Cercetarea experimentală cu rezoluție înaltă a spectrelor para- și ortoexcitonilor în cristalele $ZnAs_2$ a permis determinarea liniilor $n=1$ (1,0405 eV), $n=2$ (1,0498 eV) și $n=3$ (1,0517 eV) la polarizarea $E\parallel c$ și temperatura 10K. Seria excitonilor singlet cu simetria $\Gamma_2^-(z)$ este permisă la această polarizare ($E\parallel c$). Conturul spectrului de reflexie calculat pentru banda $n=1$ conform relațiilor de dispersie, corespunde cu spectrele obținute experimental pentru următorii parametri $E_{WT}=1,039\text{eV}$, $E_{LT}=1,7\text{meV}$, $M=1m_0$, $\epsilon=11$, $\gamma=1,5\text{meV}$ și $L=10\text{Å}$, $E_g=1,053\text{eV}$.

Constanta Rydberg a excitonilor liberi (R) în cristalele $ZnAs_2$, calculată conform poziției energetice a liniilor $n=1$ și 2 , este egală cu $12,4\text{meV}$, iar cea calculată conform liniilor $n=2$ și $n=3$, este egală cu $13,6\text{meV}$ (fig. 5). Pentru $R=13,6\text{meV}$, lățimea benzii energetice interzise constituie $E_g=1.053\text{eV}$. Valoarea diferită a constantei Rydberg, calculată conform liniilor $n=1$ și 2 și $n=2$ și 3 , este condiționată de către ecranarea potențialului Coulomb al stării de bază a excitonului singlet cu simetria $\Gamma_2^-(z)$.

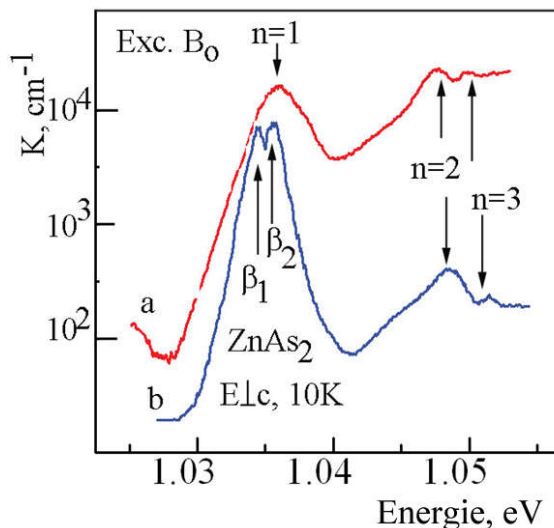


Fig. 5 Spectrele absorbție ale cristalului $ZnAs_2$ obținute din calculele spectrelor de transparență (curbele a pentru grosimile $408\mu\text{m}$ și curba b pentru grosimile $145\mu\text{m}$).

Capitolul trei, Anizotropia caracteristicilor spectrale ale fotodetectorilor pe baza cristalelor $ZnAs_2$, reflectă posibilitatea elaborării fotodetectorilor pe baza $ZnAs_2$ capabili de a inversa semnul fotocurentului, sensibili la polarizarea radiației incidente. Sunt prezentate modele ale structurilor de tip n-p-n, Au(Ni)- $ZnAs_2$, Me- $ZnAs_2$, structuri de tip „twin” sensibile la planul de polarizare a radiației optice, în domeniul lungimilor de undă utilizate în sistemele de comunicații optice moderne.

Inversarea semnului fotocurentului la schimbarea planului de polarizare al radiației polarizate liniar este posibilă în cazul în care fotodetectorul este elaborat pe semiconductor

anizotrop și există două regiuni (sau mai multe) în semiconductorul anizotrop, în care câmpurile electrice au orientare opusă și care posedă curbele fotosensibilității spectrale deplasate una față de alta. Cea mai simplă structură semiconductoră este joncțiunea p-n polarizată direct, pe baza cristalelor uniaxiale, cu stratul de bază de o valoare ohmică sporită.

În figura 6, a este prezentată construcția unui fotodetector pe bază de $ZnAs_2$, compusă din două regiuni 1 și 2 cu straturi de sarcină spațială a și b . O astfel de structură reprezintă o structură de tip „twin”, cu straturi crescute din fază gazoasă și o orientare a axelor cristalografice C bine determinată. Straturile 1 și 2 pot fi de conductibilitate diferită: p-n sau n-p, respectiv. Structurile date sunt sensibile la polarizarea luminii, iar maximul sensibilității este poziționat în regiunea $1,3\mu m$ [12]. Astfel de structuri sunt posibile și în configurații de tip n-n- sau p-p-.

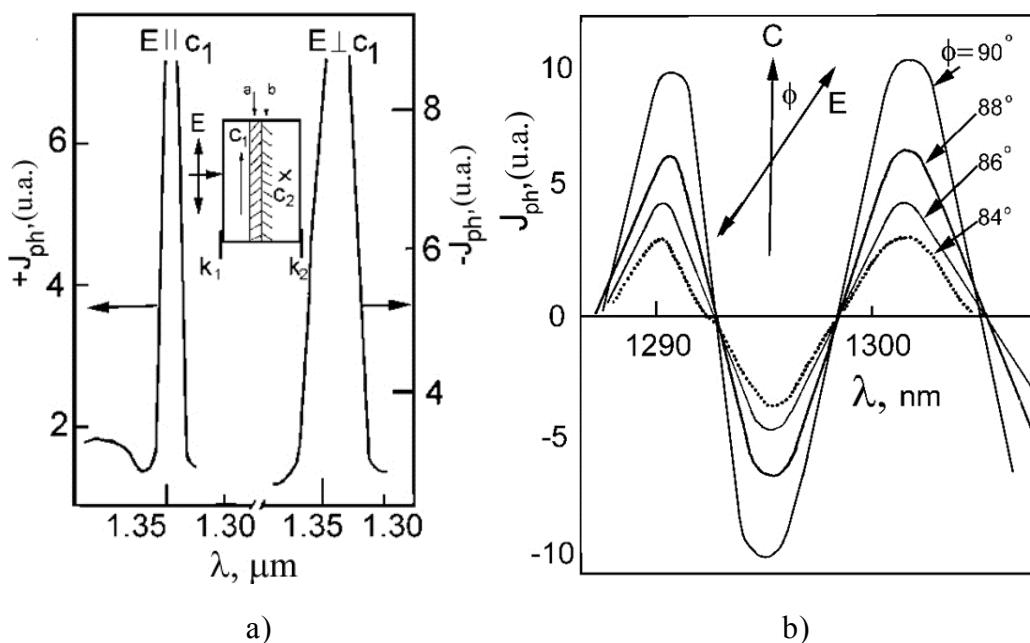


Fig. 6 a) Caracteristica spectrală a fotosensibilității structurii (twin); b) - Schimbarea intensității maximelor spectrelor fotorăspunsului λ -modulat la schimbarea unghiului de polarizare ϕ , cu pasul 2° .

Structurile propuse cu construcție de tip Me- $ZnAs_2$ asigură o dependență azimutală a tensiunii fotogenerate în cazul iradierii cu radiație optică polarizată (fig. 6, b).

În sistemele de comunicații optice moderne există necesitatea realizării operațiilor de interleaving și deinterleaving pentru detectarea semnalelor plasate la frecvențe din vecinătate. Posibilitățile de control a tipului modelor (TE și TM) ale semnalelor purtătoare de informație sunt folosite cu scopul divizării canalelor de comunicație. Acesta poate fi realizat utilizând modelul propus a dispozitivului pe baza ghidurilor de undă și a cristalelor $ZnAs_2$.

În figura 7 este prezentată construcția dispozitivului care utilizează o structură cu ghid de undă limitat la ambele părți de pelicule pe baza monocristalelor de $ZnAs_2$. Peliculele de $ZnAs_2$

de la intrare și ieșire sunt orientate perpendicular. La intrarea în dispozitiv sunt injectate două impulsuri λ_1 și λ_2 , care constituie modele TE și TM. Ambele lungimi de undă trec prin pelicula de la intrare cu planul de polarizare TE, așa cum este prezentat în figură. Dacă axa C a cristalului $ZnAs_2$ ar fi fost perpendiculară, atunci moda TE ar trece prin peliculă. Moda impulsului λ_1 se schimbă din TE în TM, în ghidul de undă superior, datorită câmpului electric aplicat la contactul K_1 . Moda impulsului λ_2 se transformă din TE în TM în ghidul de undă inferior (β). Astfel de operații pot fi efectuate aplicând câmp electric la contactele K_1 și K_2 sau selectând distanța de propagare a impulsurilor prin ghidul de undă. Pelicula de $ZnAs_2$, cu axa cristalografică C orientată vertical, va permite trecerea impulsului cu moda TM prin canalul α , adică λ_1 . Semnalul λ_2 va trece prin canalul β , deoarece reprezintă moda TE.

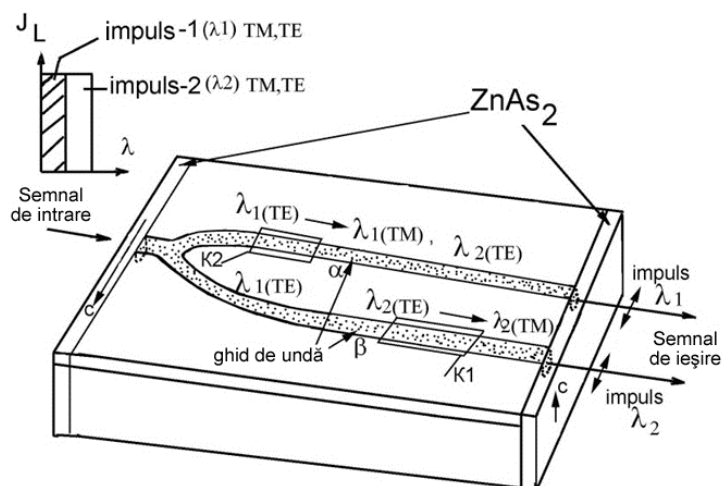


Fig. 7 Modelul dispozitivului optoelectronic cu utilizarea peliculelor de $ZnAs_2$ la intrarea și ieșirea dispozitivului pentru divizarea canalelor de comunicație cu lungimile de undă λ_1 și λ_2 [12].

În **capitolul patru, *Proprietățile optice ale structurilor cu gropi cuantice $In_{0,3}Ga_{0,7}As/GaAs$*** , sunt prezentate date privind cercetarea anizotropiei structurilor cu gropi cuantice, și anume studiul spectrelor de reflexie și absorbție pentru diferite polarizări ale radiației optice incidente într-un interval de temperaturi 10-300K. Este demonstrată anizotropia straturilor cu gropi cuantice și determinate valorile indicelui de refracție și a parametrilor optici fundamentali în regiunea rezonanței excitonice. Este studiată influența temperaturii asupra spectrelor de transparență ale heterostructurilor $In_{0,3}Ga_{0,7}As/GaAs$ și prezentat calculul liniei oscilatorului punctelor cuantice și a stărilor 1s ale excitonilor în gropile cuantice. Sunt cercetate spectrele de transparență și luminescență de recombinare a polaritonilor excitonici în gropile cuantice în vederea determinării calității heterostructurilor.

Heterostructurile cu gropi cuantice $\text{In}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}/\text{GaAs}$ sunt utilizate în calitate de medii pentru fabricarea diferitor dispozitive optoelectronice pentru sistemele de comunicații optice și alte domenii [13 – 15]. Cercetările au arătat, că spectrele de reflexie, transparență ale structurilor cu gropi cuantice poziționate periodic sunt complexe și se formează ca rezultat al prezenței rezonanțelor excitonice în gropile cuantice. Luminescența heterostructurilor pe semiconductori este actuală din punct de vedere al depistării parametrilor straturilor cuantice, care sunt determinați de către procesele electronice în gropile cuantice.

Imperfecțiunea structurii influențează spectrele de reflexie și absorbție, cauzând lărgirea neomogenă a frecvenței de rezonanță a excitonului în heterostructuri. Inomogenitatea poate duce la o dependență de coordonată pentru ω_0 în planul gropii cuantice sau în volumul rețelei, ceea ce poate cauza lărgirea benzilor de absorbție și reflexie. Din punct de vedere experimental, benzile de absorbție și reflexie înguste demonstrează calitatea structurii cu gropi cuantice.

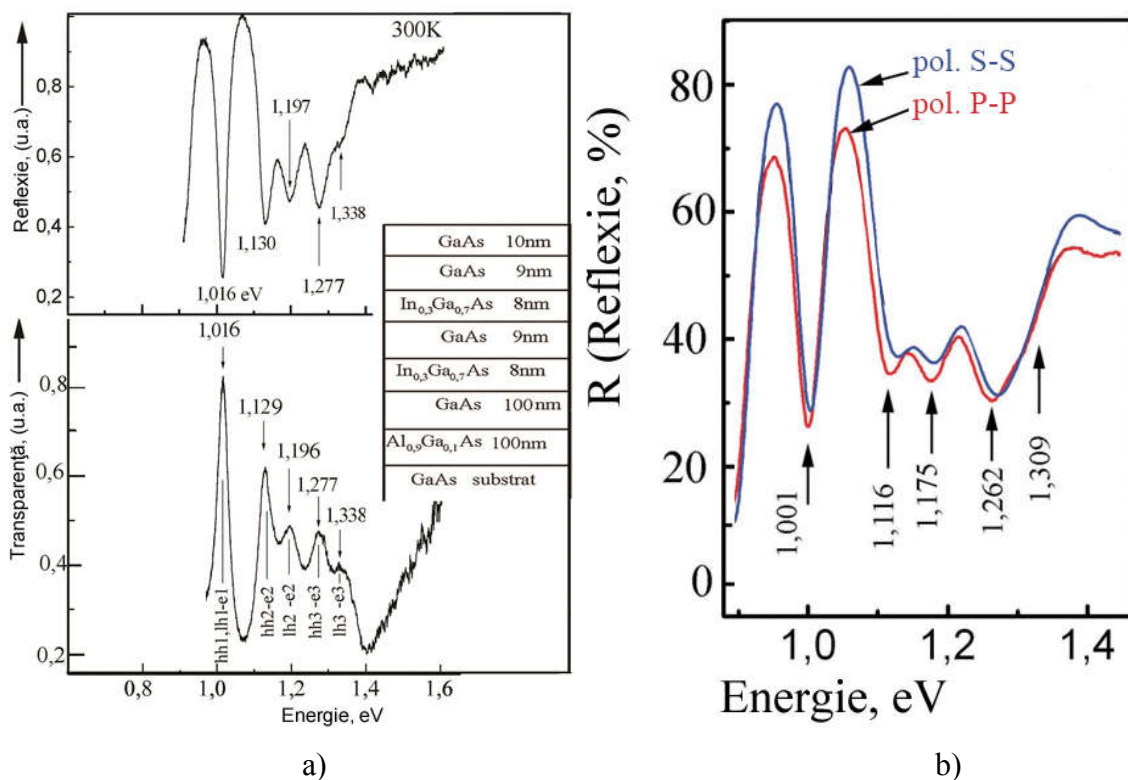


Fig. 8 a) Spectrele de reflexie și transparență ale heterostructurilor $\text{In}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}/\text{GaAs}$ (în fragment este prezentată structura constituită din două straturi de $\text{In}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$ cu grosimea de 8 nm, cu gropile cuantice divizate prin straturi de barieră GaAs cu grosimea 9nm; b) Spectrele de reflexie la diferite polarizări ale undelor luminoase incidentă și reflectată.

Spectrele de reflexie prezentate în figura 8, a au fost măsurate la un unghi al radiației incidente de 7° , iar spectrele de transparență la o incidență normală a luminii pe suprafața heterostructurii $\text{In}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}/\text{GaAs}$ cu gropi cuantice. La polarizarea S-P a undelor luminoase nu au fost depistate

nici un fel de particularități, iar la polarizările S-S și P-P (fig. 8, b) au fost depistate benzi mult mai accentuate la energiile 0,9 și 1,0 eV.

Caracteristicile optice ale gropii cuantice și barierei (indicele de refracție și coeficientul de extincție, partea reală și imaginară a constantei dielectrice), pentru structura studiată de noi, a fost calculată din spectrele de reflexie utilizând relațiile Kramers-Kronig (fig. 9, a). Cea mai mare valoare reală a indicelui de refracție (1,085 eV) a fost calculată la valoarea energiei de rezonanță pentru polarizarea S-S. În figura 9, b, c sunt prezentate dependențele spectrale ale indicelui de refracție n , coeficientului de extincție k , valorilor părții reale ϵ_1 și imaginare ϵ_2 ale constantei dielectrice pentru polarizarea undelor luminoase S-S și P-P, calculate din spectrele de reflexie utilizând relațiile Kramers-Kronig. În cazul polarizării S-S a undelor luminoase, ϵ_2 ajunge la valoarea ≈ 270 pentru energia 1,085 eV. Aceasta demonstrează, că cea mai intensă absorbție este depistată pentru valorile de rezonanță ale tranzițiilor golurilor grele e1-hh1(1s).

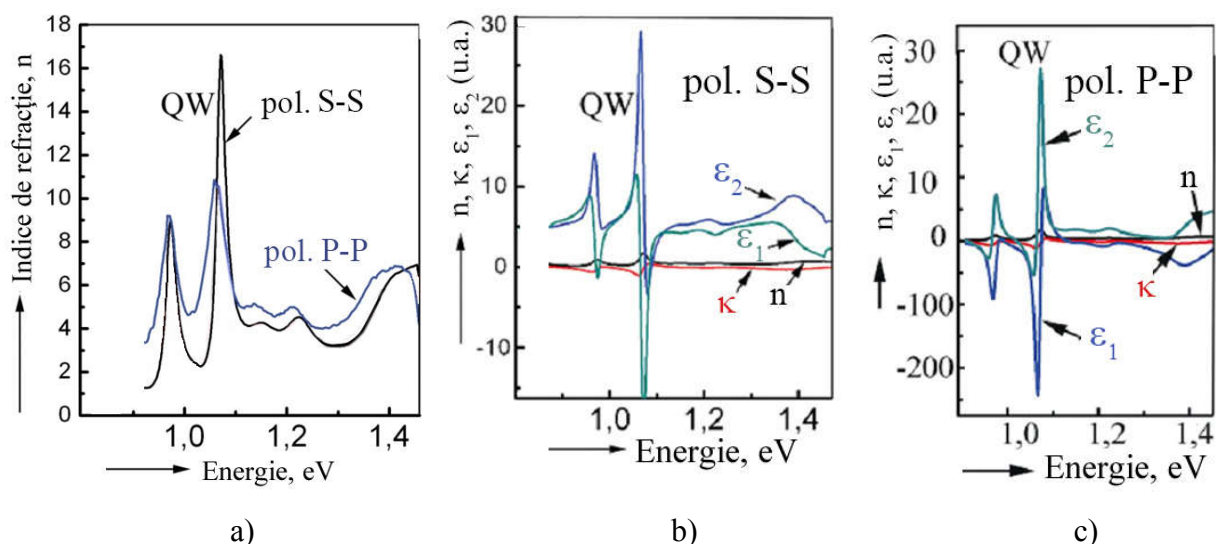


Fig.9 Dependența spectrală a indicelui de refracție n (a), coeficientului de extincție k , părții reale ϵ_1 și imaginare ϵ_2 ale constantei dielectrice pentru polarizarea S-S (b) și P-P (c) a undelor luminoase, calculate din spectrele de reflexie utilizând relațiile Kramers-Kronig.

În spectrele de reflexie și transparență ale heterostructurilor cu gropi cuantice $\text{In}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}/\text{GaAs}$ se depistează un minim mult mai profund (oscilator puternic) la energia 1,0859 eV, condiționat de către tranzițiile hh1-e1(1s). Lărgimea benzii energetice interzise, la temperatura 300K se află la valori mai mari pentru stratul cu gropi cuantice $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ și este egală cu 1,014 eV, pentru $x=0,3$.

Calculul conturului spectrelor de reflexie experimentale au fost efectuate pentru stările 1s ale tranzițiilor hh1-e1 (ca un oscilator aparte). O coincidență a conturilor spectrelor experimentale (fig. 10, a) și calculate a fost obținută pentru următorii parametri: $\omega_0(\text{hh1-e1},1s) -$

1,086eV, $\epsilon_b=10$, ω_{LT} (despicarea longitudinal-transversală a polaritonului în groapa cuantică) este egală cu 75 meV și factorul de atenuare $\Gamma=\Gamma+\Gamma_0=7,6$ meV.

Studiul spectrelor optice în regiunea rezonanței excitonice oferă posibilitatea determinării parametrilor optici fundamentali în gropile cuantice.

Pentru calculul maselor efective ale golurilor este necesar de cunoscut valoarea constantei dielectrice de fond ϵ_b a materialului din care este creată groapa cuantică în regiunea energiei de rezonanță excitonică. Pentru determinarea constantei dielectrice de fond, la temperatura 20K și 300K, au fost efectuate calculele conturului spectrelor de reflexie (fig. 10, b). La temperatura 20K $\Delta\omega_{LT}=69$ meV, $\Gamma=18$ meV și $\epsilon_b=7$, iar pentru oscilatorul cu frecvența de rezonanță $\omega_2=1,086$ eV, $\Delta\omega_{LT}=75$ meV, $\Gamma=7,8$ meV și $\epsilon_b=7$.

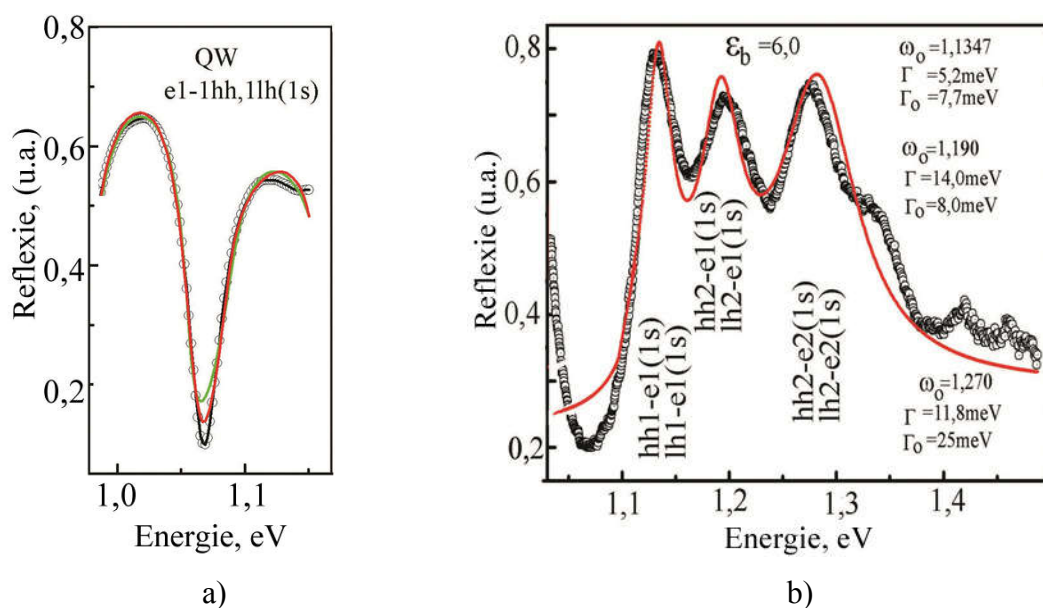


Fig. 10 a) Dependența spectrală conturului spectrelor de reflexie experimentale (exp.) și calculate (cal.) ale structurii cuantice $\text{In}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}/\text{GaAs}$; b) Contururile spectrelor de reflexie la temperatura 300K și 20K măsurate experimental (linie punctată) și calculate după relațiile de dispersie (linia solidă).

Luminescența la temperaturi joase a heterostructurilor cu gropi cuantice oferă informație despre defectele localizate pe rigurozitățile interfețelor și fluctuațiile compoziției și nivele discrete ale gropilor cuantice, care sunt strâns legate de recombinarea iradiantă a excitonilor în gropile cuantice și permite determinarea obiectivă a calității heterostructurilor cu gropi cuantice.

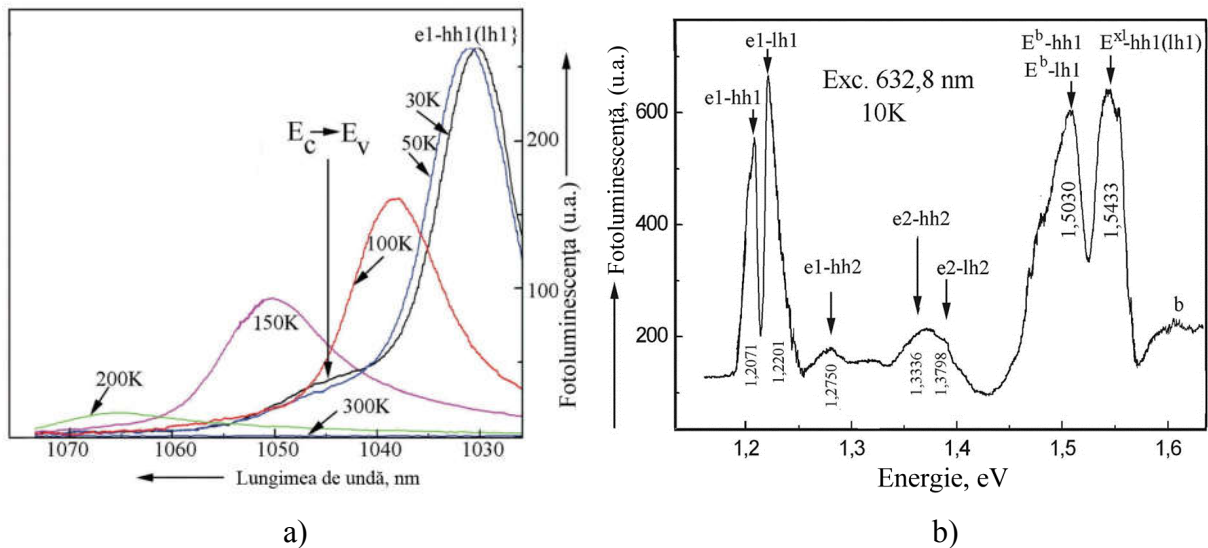


Fig. 11. Spectrele de luminescență ale structurii $\text{In}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}/\text{GaAs}$ cu gropi cuantice în intervalul de temperaturi 30 – 200K (a) și 10K (b). Excitare realizată cu un laser He-Ne cu lungimea de undă a emisiei 632,8 nm.

Condițiile de reflexie a luminii pe diferite secțiuni ale suprafeței probei, fluctuațiile spațiale ale nivelului recombinării neiradiante pe suprafață și în volumul structurii pot influența valorile fotoluminescenței. Acești factori creează oscilații ale nivelului intensității absolute a fotoluminescenței. Maxime ale luminescenței la valorile 1,207 eV și 1,220 eV (fig. 11, b) sunt depistate la temperatura 10K, în regiunea lungimilor de undă lungi, care sunt condiționate de către recombinarea excitonilor în gropile cuantice de pe stările $e1-hh1$ și $e1-lh1$. Valoarea despicării zonelor golurilor ușoare (lh1) și grele (hh1) în groapa cuantică este 13,0 meV, iar valoarea FWHM este egală cu 5 meV. Această valoare și semilărgimea de valoare mică a maximelor fotoluminescenței pentru stările $e1-hh1$ și $e1-lh1$ demonstrează nivelul înalt de calitate a straturilor cu gropi cuantice a heterostructurii studiate.

Concluzii generale și recomandări

Lucrarea realizată conține următoarele contribuții originale:

1. A fost depistat, că în regiunea excitonică a spectrelor de absorbție și reflexie, anizotropia marginii absorbției a semiconductorului ZnAs_2 se manifestă în intervalul lungimilor de undă 1,3 – 1,35 μm , actualmente utilizate în sistemele de comunicații [8, 12].
2. În rezultatul cercetării anizotropiei absorbției și reflexiei în regiunea spectrală a para- și ortoexcitonilor a cristalelor ZnAs_2 a fost demonstrat că seria excitonilor singlet cu simetria $\Gamma_2^-(z)$ este permisă la polarizarea $E||c$, iar la polarizarea $E\perp c$ - seria excitonilor cu simetria $2\Gamma_1^- + \Gamma_2^-$. Spectrele experimentale și datele calculate conform relațiilor de dispersie corelează cu datele teoretice anterioare [10, 11].
3. Valoarea constantei Rydberg a excitonilor liberi (R) în cristalele ZnAs_2 , calculată conform poziției liniilor spectrale $n=1$ și 2, constituie 12,4 meV, iar cea calculată conform liniilor $n=2$

și $n=3$, este egală cu 13,6 meV. Pentru $R=13,6$ meV, lățimea benzii energetice interzise $E_g = 1.054$ eV [10, 11].

4. Din analiza spectrelor de interferență a transparenței precum și a celor de reflexie, măsurate cu rezoluție înaltă în intervalul lungimilor de undă 1200-1900nm, a fost calculată dispersia indicelui de refracție, pentru ramurile superioară și inferioară ale polaritonilor excitonici $\Gamma_2^-(z)$ în cristalele de ZnAs₂ [10, 11].
5. Au fost studiate spectrele de reflexie în cazul radiației polarizate ($E\parallel c$ și $E\perp c$) într-o regiune largă a spectrului (0,5 – 12 eV) și utilizând relațiile Kramers-Kronig au fost determinate dependențele spectrale ale funcțiilor optice ε_1 , ε_2 , n și k , inclusiv și valorile intervalelor energetice interbandă în adâncimea benzii de absorbție [8, 10 - 12].
6. Rezultatele cercetărilor efectuate au arătat, că monocristalele ZnAs₂ la temperatura camerei, posedă o anizotropie puternică a caracteristicilor optice. Această anizotropie și lățimea mică a benzii energetice interzise (0,96 eV la 300K și 1,05 eV la 10K) asigură posibilitatea creării filtrelor și a separatorilor de mode pentru impulsurile optice impulsurilor radiației laser purtătoare de informație [8 - 10], în regiunea ferestrelor de transparență ale fibrelor optice (1,3 și 1,55 μm).
7. În premieră au fost cercetate spectrele de reflexie și transparență ale structurilor cu gropi cuantice In_{0,3}Ga_{0,7}As/GaAs la o rezoluție înaltă [13-15]. În cadrul modelelor oscilatorului singular și multiplu, utilizând relațiile de dispersie au fost determinate forța oscilatorului și factorul de atenuare pentru tranzițiile optice în gropi cuantice. La fel pentru structurile studiate, a fost determinat factorul de atenuare ($\Gamma=7,6$ meV), căruia îi corespunde un timp de viață de emisie a excitonului egal cu 2ps, fiind același pentru structurile studiate, precum și valorile energiilor de legătură a excitonilor hh-e1 ($R=11,5\div 12,4$ meV), lh1-e1 ($R=12,4\div 13,2$), a maselor efective $m_{hh}^*=0,312m_0$ și $m_{lh}^*=0,074m_0$ [13-15].

Direcții de cercetare pentru viitor:

1. dezvoltarea cercetărilor anizotropiei cristalelor ZnAs₂, în special a fenomenului de birefrință cu scopul elaborării dispozitivelor optoelectronice utilizate în sistemele de comunicații optice (domeniul optic 1,3 μm și 1,5 μm);
2. studiul detaliat al spectroscopiei materialelor birefringente la temperaturi joase (mai mici de 10K) pentru determinarea parametrilor și funcțiilor optice cu o precizie mult mai înaltă;
3. cercetarea și studiul aprofundat al fezabilității cristalelor anizotrope ZnAs₂ cu materialele semiconductoare, în vederea elaborării ghidurilor de undă capabile să separe modele TE

și TM pentru operația de multiplexare/demultiplexare densă, utilizată în sistemele de comunicații optice.

4. studiul posibilității creării fotoreceptoarelor cu construcții diverse și gabarite minimizate, sensibile la radiația optică polarizată;
5. cercetarea aprofundată a anizotropiei heterostructurilor InGaAs/GaAs cu gropi cuantice și estimarea parametrilor optici ai heterostructurilor prin evaluarea datelor spectroscopice corespunzătoare gropilor cuantice;

BIBLIOGRAFIE

1. В.Б. Лазарев, В. Я. Шевченко, Я. Х. Гринберг, В. В. Соболев. Полупроводниковые соединения группы $A^{II}B^V$, Москва, 1978, с. 256.
2. V.V. Sobolev, A.I. Kozlov. Proceeding of the International Conference "Excitons-84", v. I, Gustrow, 1984, p. 41.
3. В.В. Соболев, А.И. Козлов, С.Г. Козлова. Оптика и спектроскопия, 77 (5), 1994, с. 787.
4. Л.Д. Кисловский. Оптика и спектроскопия, 7(3), 1989, с.311.
5. В.В. Соболев, В.В. Немошкаленко. Методы вычислительной физики и теории твердого тела. Электронная структура полупроводников. (Киев, 1988), 422 с.
6. S.J. Pekar. Theory of polarons in many-valley crystals. Journal of Experimental Theory of Physics 34 (1958) p. 1176.
7. J.J. Hopfield, D.G. Tomas, Physical Review 132, 1963, p. 563.
8. I.G. Stamov, N. N. Syrбу, A.V. Dorogan. Photodetectors and Birefringence in $ZnP_2-C_{2h}^5$ Crystals. Physica B: Condensed Matter Volume 412, 1 March 2013, pp. 130–137. (IF: 1,386).
9. I.G. Stamov, N.N. Syrбу, A.V. Dorogan. Energetic band structure of Zn_3P_2 crystals. PHYSB 307336, Article Number: 307336, PhysicaB (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.physb.2012.09.029>. (IF: 1,386).
10. A. Dorogan. Ordinary and extraordinary dispersion in $ZnAs_2$ and $CuGaS_2$ crystals. Meridian Ingineresc, Nr. 4, 2011, Editura UTM, ISSN 1683-853X, pp.34-38.
11. N. Syrбу, I. Stamov, A. Dorogan, L. Nemerenco. Excitonic Polaritons in $ZnAs_2$. Japanese Journal of Applied Physics, vol.45, n.11, 2006, 8724-8727.
12. A. Dorogan, I. Stamov, N. Syrбу, V. Trofim, Testing of the birefringences in $ZnAs_2$ crystals and application in interliving operation. Book "Transactions on metrology and analytical methods of research", edited by Ion Geru, Academy of Sciences of Moldova, Chisinau 2010, p.192-211.
13. E. Kapon, A. Mereuta, N. Syrбу, A. Dorogan, N. Draguțan, T. Vieru, N. Ursaki. Exciton luminescence in $In_{0.3}Ga_{0.7}As/GaAs$ quantum well heterostructures. Physica E, Volume 44, Issue 1, p. 202-206.; DOI: 10.1016/j.physe.2011.08.015. (IF: 2,221).
14. N. Syrбу, V. Dorogan, A. Dorogan, T. Vieru, V. Ursaki, V. Zalamai. Optical spectra in the region of excitonic resonances in quantum wells and quantum dots of $In_{0.3}Ga_{0.7}As/GaAs$ heterostructures. Journal „Superlattices and Microstructures” V.52. Issue 4, October 2012. P.738-749. Ed.Elsevier Ltd. – ISBN 978-9975-45-082-9. ISBN 978-9975-45-200-7 (vol.1). (IF: 2,123).
15. A.Dorogan. Proprietățile optice și calitatea structurilor cu gropi cuantice $In_{0.3}Ga_{0.7}As/GaAs$. Meridian Ingineresc, Nr. 1, 2018, Editura UTM, Chișinău, ISSN 1683-853X, pp.51-56.

LISTA LUCRĂRILOR PUBLICATE LA TEMA TEZEI

Articole în Reviste Științifice Internaționale:

1. N.N. Syrbu, I.G. Stamov, V.V. Zalamai, **A. Dorogan**. Excitonic polaritons of zinc diarsenide single crystals. *Physica B Condensed Matter* · November 2016 // DOI: 10.1016/j.physb.2016.11.022. (IF 1,386).
2. N. Syrbu, **A. Dorogan**, V. Dorogan, V. Zalamai, A. Tiron. Birefringence in $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{GaAs}$ quantum layers. *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics* 04/2015; 10(2). DOI: 10.1166/jno.2015.1734. (IF 0,497).
3. N. Syrbu, **A. Dorogan**, V. Dorogan, V. Zalamai. Birefringence in quantum wells of heterostructures $\text{In}_{0.68}\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.13}\text{As}/\text{In}_{0.42}\text{Al}_{0.22}\text{Ga}_{0.24}\text{As}/\text{InP}$. *Superlattices and Microstructures* 82 (2015), pp.143-150. Doi:10.1016/j.spmi.2015.02.026. ISSN-07496036. (IF: 2,123).
4. N.N. Syrbu, V. Zalamai, M. Guc, S. Levchenko, **A. Dorogan**, E.Arushanov. Birefringence of $\text{Cu}_2\text{ZnSiSe}_4$ single crystals. *Journal of Alloys and Compounds* 06/2015; p.635; DOI: 10.1016/j.jallcom.2015.02.100. (IF: 3,133).
5. I. G. Stamov, N. N. Syrbu, **A. V. Dorogan**. Excitons and energetic bands structure of $\text{ZnP}_2\text{-C}_{2\text{h}}^5$ crystals. *American Journal of Materials Science and Application*, Vol. 2, No. 6, December 2014, pp.96-107, ISSN: 2381-6074.
6. Svatopluk Civiš, Zdeněk Zelinger, Václav Nevrlý, **Andrei Dorogan**, Martin Ferus, Vladimir Iakovlev, Alexei Sîrbu, Alexandru Mereuță, Andrei Caliman, Grigore Suruceanu, Eli Kapon. Near-infrared wafer-fused vertical-cavity surface-emitting lasers for HF detection. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 147 (2014) pp. 53–59. (IF: 2,419).
7. I. G. Stamov, N. N. Syrbu, **A.V. Dorogan**. Photodetectors and Birefringence in $\text{ZnP}_2\text{-C}_{2\text{h}}^5$ Crystals. *Physica B: Condensed Matter* Volume 412, 1 March 2013, pp. 130–137. (IF: 1,386).
8. I.G. Stamov, N.N. Syrbu, V.V. Ursaki, **A.V. Dorogan**. Energy band structure and optical constants of ZnAs_2 crystals. *Optics Communications* 285 (2012) 3104-3110; doi:10.1016/j.optcom.2012.02.047. (IF: 1,588).
9. I.G. Stamov, N.N. Syrbu, **A.V. Dorogan**. Energetic band structure of Zn_3P_2 crystals. *PHYSB* 307336, Article Number: 307336, *PhysicaB* (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.physb.2012.09.029>. (IF: 1,386).
10. N. Syrbu, V. Dorogan, **A. Dorogan**, T. Vieru, V. Ursaki, V. Zalamai. Optical spectra in the region of excitonic resonances in quantum wells and quantum dots of $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{GaAs}$ heterostructures. *Journal „Superlattices and Microstructures”* V.52. Issue 4, October 2012.

P.738-749. Ed.Elsevier Ltd. – ISBN 978-9975-45-082-9. ISBN 978-9975-45-200-7 (vol.1). (IF: 2,123).

11. N.N. Syrbu, **A.V. Dorogan**, A. Masnik, V.V. Ursaki. Birefringence of $\text{CuGa}_x\text{Al}_{1-x}\text{Se}_2$ crystals. J. Opt. 13 (2011) 035703 doi: 10.1088/2040-8978/13/3/035703.
12. N. Syrbu, **A. Dorogan**, V. Ursaki, I. Stamov, I. M. Tiginyanu. Birefringence of CuGa_2S_4 crystals. Optics Communications V. 285, (2011), pp. 3552–3557. (IF: 1,588).
13. E. Kapon, A. Mereuță, N. Syrbu, **A. Dorogan**, N. Draguțan, T. Vieru, N. Ursaki. Exciton luminescence in $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{GaAs}$ quantum well heterostructures. Physica E, Volume 44, Issue 1, p. 202-206.; DOI: 10.1016/j.physe.2011.08.015. (IF: 2,221).
14. N.N. Syrbu, **A.V. Dorogan**, V.V. Ursaki, A. Masnik. Wavelength modulated optical reflectivity spectra of $\text{CuAl}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ crystals. Journal of Optics, Volume 12, Issue 7, pp. 075703 (2010).
15. N.N. Syrbu, L.L. Nemerenco, **A.V. Dorogan**, V.E. Tezlevan, E. Arama. Multiple-phonon resonant Raman scattering in $\text{CuGa}_x\text{In}_{1-x}\text{S}_2$ single crystals. Journal of Optic Materials 31 (2009) pp. 970–975.
16. I.G. Stamov, N.N. Syrbu, **A.V. Dorogan**, L.L. Nemerenco. Current sign inverter guided by polarization. Optics Communications V. 281, Issue 9 (2008), pp. 2459–2466. (IF: 1,588).
17. N.N. Syrbu, I.M. Tiginyanu, V.V. Ursaki, **A.V. Dorogan**. Resonance Raman scattering in $\text{CuGa}_x\text{Al}_{1-x}\text{S}_2$ crystals. Journal of Optics A: Pure and Applied Optics Volume 10, Issue 12, pp. 125002 (2008).
18. N.N. Syrbu, I.G. Stamov, **A.V. Dorogan**, L.L. Nemerenco. Polariton excitons in ZnAs_2 . Japanese Journal of Applied Physics; Ref No.: 05R09043; Vol. 45 (2006), No. 11. (IF: 1,384).

Articole în Reviste Științifice Naționale

1. **A.Dorogan**. Proprietățile optice și calitatea structurilor cu gropi cuantice $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{GaAs}$. Meridian Ingineresc, Nr. 1, 2018, Editura UTM, Chișinău, ISSN 1683-853X, pp.51-56.
2. **A.Dorogan**. Ordinary and extraordinary dispersion in ZnAs_2 and CuGaS_2 crystals. Meridian Ingineresc, Nr. 4, 2011, Editura UTM, ISSN 1683-853X, pp.34-38.
3. N.N. Syrbu, B.V. Korzun, V.V. Ursaki, **A.V. Dorogan**, A. Masnik. Exciton spectra and structure of energy bands of CuAlS_2 crystals. Moldavian Journal of the Physical Sciences, Vol. 10, N2, 2011, pp. 143 - 154.
4. N.N. Syrbu, L.L. Nemerenco, **A.V. Dorogan**, V.E. Tezlevan, E. Arama. Testing of resonant Raman scattering in $\text{CuGa}_x\text{In}_{1-x}\text{S}_2$ single crystals ($x=1.0, 0.9$ and 0.8). Book “Transactions

on metrology and analytical methods of research”, edited by Ion Geru, Academy of Sciences of Moldova, Chisinau 2010, p.172-192.

5. **A. Dorogan**, I. Stamov, N. Syrbu, V. Trofim. Testing of the birefringences in ZnAs₂ crystals and application in interliving operation. Book “Transactions on metrology and analytical methods of research”, edited by Ion Geru, Academy of Sciences of Moldova, Chisinau 2010, p.192-211.

Brevete de invenții, Patente, Certificate de Înregistrare

1. V. Dorogan, S. Vieru, A. Caliman, T. Vieru, V. Secieru, E. Munteanu, **A. Dorogan**. Aparat pentru terapie cuantică. Brevet de invenție MD 2737 G2 din 2005.02.16, AGEPI, R.Moldova.
2. V.Dorogan, T.Vieru, S.Vieru, **A. Dorogan**. Fotodiodă selectivă cu sensibilitate modulată. Brevet de invenție MD 2413 G2 din 2004.03.31, AGEPI, R. Moldova.

Articole în culegeri de lucrări la Conferințe Internaționale

1. **A. Dorogan**. Optical anisotropy in optoelectronics. A VI-a Conferință Internațională "Telecomunicații, Electronică și Informatică", CHIȘINĂU, 24-27 Mai, 2018, pp.67-71. ISBN 978-9975-45-540-4.
2. I.G. Stamov, N.N. Syrbu, V.V. Ursaki, **A.V. Dorogan**. Spectroscopy of excitonic polaritons in ZnAs₂ nanocrystals. Catalogul Salonului internațional al cercetării, inovării și inventicii PRO INVENT 2017 - Ediția XV. 22 - 24 martie 2017. Cluj-Napoca România.
3. N.N. Syrbu, V.V. Ursaki, **A.V. Dorogan**, V.V. Dorogan. Excitonic polaritons in ZnAs₂ nanocrystals. Catalog of the 21th International Exhibition of Inventics “Inventica 2017” Iași, România.
4. N.N. Syrbu, **A.V. Dorogan**, I.G. Stamov, V.V. Dorogan. Polarization sensible devices based on birefringent crystals. 3rd International Conference "Health Technology Management", Chisinau, Moldova, October 6-7, 2016.
5. N. Sîrbu, V. Dorogan, **A. Dorogan**, I. Stamov, L. Nemerenco, N. Bejan. Photodiode with sensibility control using the gyration phenomenon.. Proc. Of the 6-th Edition of European Exhibition of Creativity and Innovation EUROINVENT 2014. 22-24 May 2014. Editura Universitatii Alexandru Ioan Cuza din Iasi. P.85. ISBN: 978-606-714-037-8.
6. **A. Dorogan**, V. Dorogan, A. Mereuță, A. Sîrbu, N. Syrbu, T. Vieru, V. Ursaki, V. Zalamai, V. Iakovlev. Optical spectra in the region of excitonic resonances in quantum wells and quantum dots of In_{0.3}Ga_{0.7}As/GaAs heterostructures. Proceeding of the 4-th International Conference „Telecommunications, Electronics and Informatics” ICTEI-2012. Chisinau, 17-20 May 2012. V.1. P.121-126. Editura UTM,2012. – ISBN 978-9975-45-082-9. ISBN 978-9975-45-200-7 (vol.1).

7. **A. Dorogan**, V. Dorogan, A. Mereuță A. Sîrbu, N. Syrбу, T. Vieru, V. Ursaki, V. Zalamai. Quantum wells parameters of $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{GaAs}$ VCSEL lasers. 6th International Conference on Materials Science and Condensed Matter Physics –MSCMP-2012. September 11-14, 2012. Chisinau: Abstracts. Tip. Elan Poligraf. ISBN 978-9975-66-290-1. P.196.
8. **A. Dorogan**, N. Syrбу, V. Dorogan, T. Vieru, E. Kapon, A. Mereuță. Method of determining the quality of nanostructures. Catalog of VI International Warsaw Invention Show – IWIS 2012, 16-19 October 2012. Warsaw University of Technology. Ed. Association of Polish Inventors and Rationalizers. P.64.
9. N. Syrбу, **A. Dorogan**, I. Stamoу. Filters with optic isotropic wavelength. XIII Московский международный Салон изобретений и инновационных технологий (Архимед-2010), Россия, Москва, 30.03 – 02.04.2010.
10. N. Syrбу, **A. Dorogan**, T. Vieru, E. Kapon, A. Mereuță. Interband optical transitions in the region of exciton resonances in $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{GaAs}$ quantum wells. Materials of the 8th International Scientific and Technical Conference on Quantum Electronics, Minsk, 22-25 November, 2010, p.105.
11. N.N. Syrбу, **A.V. Dorogan**, V.V. Dorogan, I. Galbic. Exciton spectra and energetic band structure of CuAlSe_2 crystals. The 33 rd ARA Congress Modernism and Progress in Arts and Sciences, June 02 - 07, 2009 Sibiu, pp. 359-363.
12. **A. Dorogan**, I. Stamoу, N. Sîrbu. Voltage commutator used for protecting optoelectronic devices. The 13-th International Salon of Research, Innovation and Technological Transfer “INVENTICA 2009”, 4-6 iunie, 2009, Iasi, Romania, p. 743.
13. **A. Dorogan**. Selection of the TE and TM modes with birefringent crystals. 4-th International Conference on Materials Science and Condensed Matter Physics (MSCMP), September 23-26, 2008, Chisinau, Moldova. P.189.
14. E. Kapon, A. Mereuță, **A. Dorogan**, N. Draguțan, T. Vieru, N. Syrбу. Exciton luminescence in $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{GaAs}$ quantum well heterostructures. Proceedings of Inter. Conf. on Nanotechnologies and Biomedical Engineering (ICNBME-2011). Chisinau, Moldova, July 7-8, 2011. P.83-85.
15. E. Kapon, A. Mereuță, **A. Dorogan**, N. Draguțan, T. Vieru, N. Syrбу, V. Zalamai. Interband Optical Transitions in the Region of Excitonic Resonance in $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{GaAs}$ Quantum Wells. Proceedings of Inter. Conf. on Nanotechnologies and Biomedical Engineering (ICNBME-2011). Chisinau, Moldova, July 7-8, 2011. P.142-144.

Adnotare

la teza „Fenomene optice și fotoelectrice în materiale anizotrope” prezentată de către Dorogan Andrei pentru conferirea gradului științific de doctor în științe fizice, Chișinău, 2019.

Structura tezei. Teza de doctor cuprinde introducerea, patru capitole, concluzii, bibliografia cu 151 titluri, 7 anexe, 139 pagini text de bază, inclusiv 78 figuri și 2 tabele. Rezultatele obținute au fost publicate în 50 lucrări științifice.

Cuvinte cheie: anizotropie, birefringență, girație, dicroism, heterostructuri, gropi cuantice, filtre optice, fotoreceptori.

Domeniul de studiu constă în studiul anizotropiei și spectroscopiei polaritonilor excitonici ai cristalelor birefringente ZnAs_2 , nanostructurilor $\text{In}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}/\text{GaAs}$ și estimarea constantelor și proprietăților optice de bază.

Scopul lucrării constă în studiul experimental al anizotropiei cristalelor semiconductoare cu simetrie redusă, stabilirea mecanismelor de anizotropie a proprietăților optoelectronice, studiul fenomenelor la suprafața cristalelor și interfețele cu metalele și alți semiconductori, elucidarea aplicațiilor practice ale dicroismului optic și fotoelectric, studiul parametrilor și proprietăților structurilor cu gropi cuantice $\text{In}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}/\text{GaAs}$ cu scopul elaborării dispozitivelor optoelectronice.

Noutatea și originalitatea științifică constă în caracterizarea proprietăților optice a materialelor birefringente și a structurilor cu gropi cuantice și determinarea parametrilor optici fundamentali cu o rezoluție înaltă. Originalitatea soluțiilor propuse constă în determinarea posibilității elaborării dispozitivelor optoelectronice sensibile la polarizarea radiației optice utilizate în sisteme de comunicații optice și nu numai.

Problema științifică soluționată rezidă în determinarea și calculul parametrilor optici fundamentali ai polaritonilor excitonici în cristalele birefringente ZnAs_2 cu simetria C_{2h}^5 și a tranzițiilor electronice în banda de absorbție fundamentală a materialelor cu anizotropie optică și a heterostructurilor cu gropi cuantice, cu scopul elaborării dispozitivelor optoelectronice.

Semnificația teoretică a lucrării o constituie elaborarea metodelor de calcul al spectrelor optice ZnAs_2 bazate pe relațiile de dispersie, determinarea maselor efective a electronilor și golumilor, a parametrilor optici fundamentali utilizând relațiile Kramers-Kronig pentru cristalele ZnAs_2 și heterostructurilor cu gropi cuantice.

Valoarea aplicativă a lucrării constă în demonstrarea posibilității elaborării dispozitivelor electronice sensibile la radiația polarizată liniar pe baza materialelor anizotrope ZnAs_2 și estimarea obiectivă a calității și parametrilor heterostructurilor cu gropi cuantice utilizând metodele spectroscopiei optice.

Annotation
for science degree in physics with title “Optic and photoelectric phenomena in anisotropic materials”, presented by Andrei Dorogan for conferring a PhD Degree in physics sciences, Chişinău, 2019.

Thesis structure. The Ph.D. thesis comprises the introduction, four chapter, conclusions bibliography (151 titles), 7 appendixes, 139 pages of main text, 78 figures and 2 tables. The obtained results are published in 50 scientific articles.

Keywords: anisotropy, birefringence, gyration, dichroism, heterostructures, quantum wells, optic filters, photoreceivers.

Domain of study consists in the study of anisotropy and spectroscopy of excitonic polaritons of birefringent ZnAs_2 crystals, $\text{In}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}/\text{GaAs}$ nanostructures and estimation of basic optic properties and constants.

The scopes of the papers consists in the experimental study of anisotropy of semiconductor crystals with reduced symmetry, establishing the mechanisms of anisotropy of optical properties, study of phenomena at the crystals' surface and at the interfaces of metal and other semiconductors, elucidating the practical applications of optical and photoelectric dichroism, study of parameters and properties of $\text{In}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}/\text{GaAs}$ quantum well structures with the aim of developing optoelectronic devices.

The scientific novelty and originality consists in the characterization of optical properties of birefringent materials and structures with quantum wells and the determination of fundamental optical parameters at high resolution. The originality of the proposed solutions is to determine the possibility of developing optoelectronic devices sensitive to the polarization of optical radiation used in optical communication systems and other domains.

The solved scientific problem lies in the determination and calculation of the fundamental optical parameters of excitonic polaritons in ZnAs_2 birefringent crystals with C_{2h}^5 symmetry and of the electronic transitions in the fundamental absorption band of anisotropic materials and heterostructures with quantum wells for optoelectronic devices development purposes.

The theoretical significance of the paper is the calculation of spectra of ZnAs_2 excitonic polaritons based on the dispersion relations, the determination of the effective masses of electrons and holes, determination of fundamental optical parameters using Kramers-Kronig relations for ZnAs_2 crystals and heterostructures with quantum wells.

The applicative value of the paper is the demonstration of the possibility of developing electronic devices sensitive to linear polarized radiation based on ZnAs_2 anisotropic crystals and the objective estimation of the quality and parameters of heterostructures with quantum wells using optical spectroscopy methods.

Аннотация

диссертации на соискание учёной степени кандидата физических наук с темой „Оптические и фотоэлектрические явления в анизотропных материалах”, автор Дороган Андрей, Кишинэу 2019.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, выводов, библиографии из 151 наименований, 7-и приложений, 139 страниц основного текста, включая 78 рисунков и 2 таблицы. Полученные результаты опубликованы в 50-х работах.

Ключевые слова: анизотропия, двулучепреломление, гирация, дихроизм, гетероструктуры, квантовые ямы, оптические фильтры, фоторецепторы.

Область исследования состоит в изучении анизотропии и спектроскопии экситонных поляритонов двулучепреломляющих кристаллов $ZnAs_2$, наноструктур $In_{0,3}Ga_{0,7}As/GaAs$ и оценки основных оптических свойств и констант.

Целью работы является изучение анизотропии низкосимметричных полупроводниковых кристаллов, изучение явлений на поверхности кристаллов и границ раздела с металлами и полупроводниками, изучение параметров и свойств $In_{0,3}Ga_{0,7}As/GaAs$ структур с квантовыми ямами, с целью разработки оптоэлектронных устройств.

Научная новизна и оригинальность заключается в характеристике оптических свойств двулучепреломляющих материалов и структур с квантовыми ямами и определении основных оптических параметров с высоким разрешением. Оригинальность предлагаемых решений заключается в определении возможности разработки оптоэлектронных устройств, чувствительных к поляризации оптического излучения, используемых в системах оптической связи и в других областях.

Решенная научная задача заключается в определении и вычислении основных оптических параметров экситонных поляритонов в двулучепреломляющих кристаллах $ZnAs_2$ с симметрией C_{2h}^5 и электронных переходах в основной полосе поглощения материалов с оптической анизотропией и гетероструктур с квантовыми ямами, с целью разработки оптоэлектронных устройств.

Теоретическая значимость состоит в расчете спектров экситонных поляритонов $ZnAs_2$ на основе дисперсионных соотношений, определение эффективных масс электронов и дырок, определение фундаментальных оптических параметров с использованием соотношений Крамерса-Кронига для кристаллов $ZnAs_2$ и гетероструктур с квантовыми ямами.

Прикладное значение состоит в демонстрации возможности создания оптоэлектронных устройств, чувствительных к линейному поляризованному излучению, на основе анизотропных материалов $ZnAs_2$, а также в объективной оценки качества и параметров гетероструктур с квантовыми ямами используя методы оптической спектроскопии.

DOROGAN ANDREI

**FENOMENE OPTICE ȘI FOTOELECTRICE
ÎN MATERIALE ANIZOTROPE**

134.01 – FIZICA ȘI TEHNOLOGIA MATERIALELOR

Autoreferatul tezei de doctor în științe fizice

Aprobat spre tipar: 25.03.2019

Hârtie ofset. Tipar RISO

Coli de tipar: 2,0

Formatul hârtiei 60x84 1/16

Tirajul 50 ex

Comandă nr. 40

UTM, 2019, Chișinău, bd. Ștefan cel Mare, 168

Editura „Tehnică UTM”,

MD 2045, mun. Chișinău, str. Studenților 9/9

@U.T.M. 2019