

# FILTRELE OPTICE PENTRU MULTIPLEXOARE ȘI DEMULTIPLEXOARE

Alisa MAȘNIC

Universitatea Tehnică a Moldovei

**Abstract:** Prezentul articol reprezintă cercetarea birefracției și structurii benzilor energetice, a nivelelor excitonice ale materialelor calcopirite  $\text{CuAl}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Se}_2$ , pentru determinarea parametrilor nivelelor excitonice. Materialele studiate sunt perfecte pentru realizarea filtrelor de bandă îngustă folosite în dispozitivele optoelectronice. Aceste filtre sunt deosebit de utile spectroscopiei Raman folosind lasere semiconductoare liniile de emisie a cărora sunt destul de largi.

**Noțiuni-cheie:** Polaritate, spectre de absorbție și reflecție, semiconductori, constantele optice, birefracență.

## 1. Introducere

Proprietățile de birefracență în cristalele  $\text{CuGaSe}_2$  și  $\text{CuAlSe}_2$ , precum și soluțiile lor solide, care aparțin grupelor semiconductoare I-III-VI<sub>2</sub> se cristalizează într-o structură de calcopirită cu grupul spațial  $I^4_{2d}-D^{12}_{2d}$ . Filtrele optice și bateriile solare sunt dezvoltate pe baza acestor materiale [1-4]. Acești compuși posedă o anizotropie puternică a proprietăților optice, atât în domeniul spectral vizibil, cât și în infraroșu.

Caracteristicile spectrale ale indicilor de refracție se intersectează la o anumită lungime de undă  $\lambda_0$ . La această lungime de undă nu există nici o anizotropie [5-7]. Următoarele lungimi de undă izotrope au fost stabilite:  $\lambda_0 = 536$  nm pentru cristalele  $\text{CuAlSe}_2$ ,  $\lambda_0 = 642$  nm pentru cristalele de  $\text{CuGaSe}_2$  [6],  $\lambda_0 = 811$  nm pentru cristalele  $\text{AgGaSe}_2$  și  $\lambda_0 = 810$  nm pentru cristalele de  $\text{CuGaSe}_2$  [6, 7]. Spectrele de transmisie a astfel de cristale, măsurate cu polarizatoare orientate perpendicular și axa optică a cristalului orientată paralel la polarizarea unuia dintre polarizatoare, sunt caracterizate printr-o bandă îngustă de transport localizate la lungimea de undă de la punctul izotrop (IP) (adică sistemul funcționează ca un filtru trece bandă) [9-15]. În contrast, o linie subțire de absorbție se observă în același domeniu spectral cu cel al polarizatorului orientat paralel (filtru de respicție).

## 2. Detalii experimentale

Cristalele de  $\text{CuAl}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  sub formă de placă cu suprafețele de oglindă de dimensiunile  $2.5 \times 1.0$  cm<sup>2</sup> și grosimea de 15-600 micrometri au fost crescute prin metoda transportului din faza de vapori. Suprafețele unor plăci au fost paralele cu axa C. Transmisia optică și spectrele reflexiei au fost măsurate cu un spectrometru dublu SDL-1 (figura 1). Lumina de la o lampă cu halogen a fost concentrată pe un sistem orientat paralel sau pe polarizatoarele barate Glan-Thompson, orientate perpendicular. Un cristal anizotrop a fost plasat între polarizatoare. Probele au fost montate pe stația rece a unui sistem criogenic optic LTS-22 C 330 pentru măsurări la temperatură scăzută.

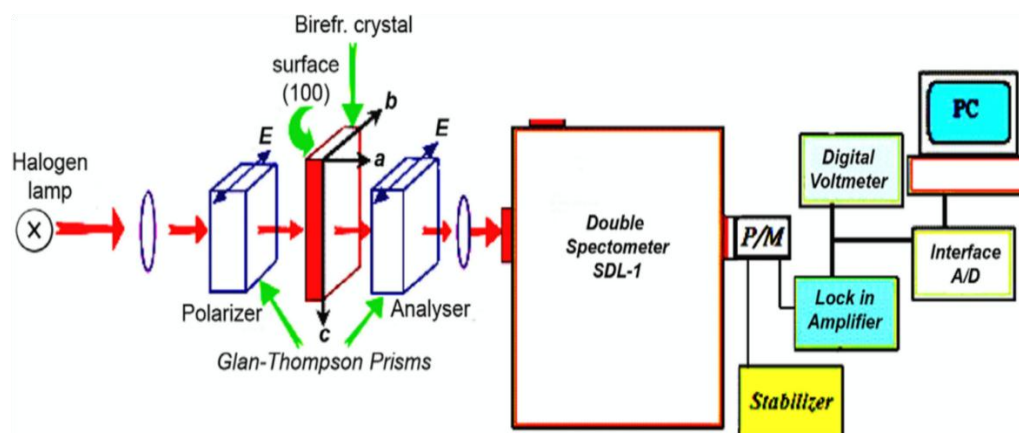


Figura 1: Schema configurației experimentale

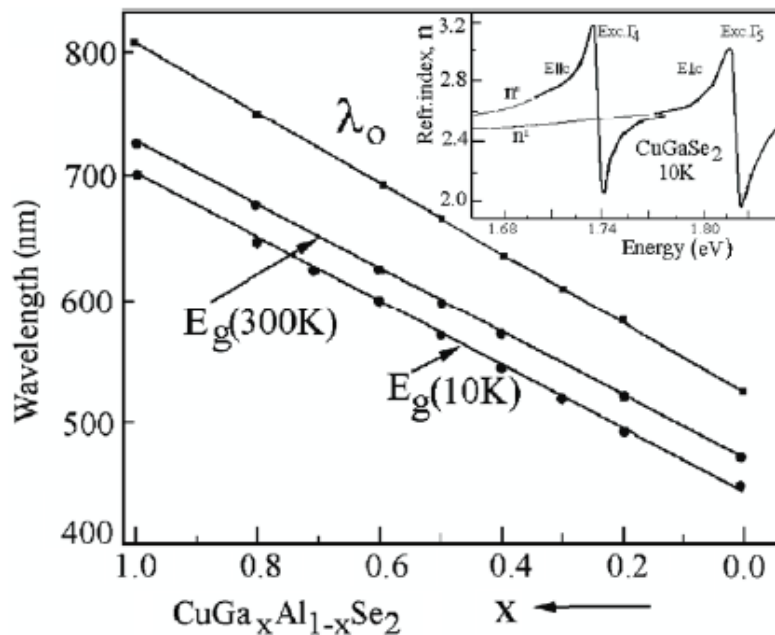
### 3. Rezultatele experimentale și analiza lor

#### 3.1. Birefringența și lungimea de undă izotropă $\lambda_0$ în cristalele de $\text{CuAl}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$

Intersecția curbelor de dispersie a indicilor de refracție ordinare  $n_o$  și extraordinare  $n_e$  este o particularitate a unui cristal uniaxial. Un cristal uniaxial demonstrează comportamentul unui mediu izotrop optic, la  $\lambda = \lambda_0$ . Lungimea de undă  $\lambda_0$  se numește "lungimea de undă izotropă" (sau punctul izotrop IP). Un număr mare de cristale, care posedă o lungime de undă izotropă au fost relevate și studiate până în prezent [5-15]. Materialele cu o structură calcopirită posedă o birefracție mai mare în comparație cu cristale cu structura wurtzit-ului (sulfură naturală de zinc).

Excitonul C a fost observat la 2.023 eV ( $n = 1$ ) și 2.038 eV ( $n = 2$ ), în aceeași polarizare. Masele de deviere (translation mass) egale cu  $1.4m_0$  pentru excitonii A și B, și cu  $1.0m_0$  pentru excitonul C, s-au dedus din calculele contururilor de reflexie [5, 7]. Dependențele spectrale ale indicilor de refracție și a coeficienților de absorbție, precum și parametrii principali ai excitonilor și benzilor de energie, de asemenea, au fost determinate de calcule ale contururilor de reflexie [7]. Masa efectivă a electronului  $M_c^*$ , cu  $M = 1.4m_0$  și  $\mu = 0.13m_0$  va fi egală cu  $0.14m_0$ , iar masa efectivă a golumilor  $M_{v1}^*$ , va fi egală cu  $1.26m_0$ . Luând în considerare faptul că parametrii excitonilor  $\Gamma_5$  diferă nesemnificativ de cele ale excitonilor  $\Gamma_4$ , masa efectivă  $M_{v2}^*$  conform [7], de asemenea, va fi egală cu  $1.26m_0$ , adică practic coincide cu masa  $M_{v1}^*$ . Parametrii a excitonilor și benzilor de energie sunt determinate de abrupția caracteristicii spectrale ale indicilor de refracție ale undelor de lumină ortogonal polarizate. Dependența lungimii de undă de tăiere corespunzătoare benzei interzise a substanței solide  $\text{CuAl}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  de valoarea  $x$  este prezentată în figura 2. Lungimea undei de tăiere la 10K a fost determinată din spectrul de reflexie al excitonului.

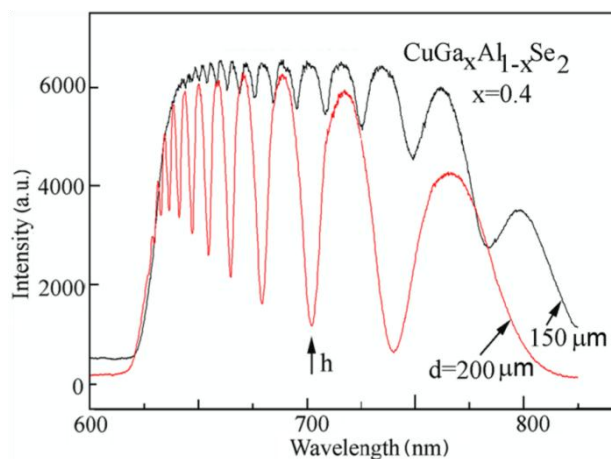
Lungimea de undă izotropă este determinată de spectrele de absorbție și analiza datelor din literatură [8]. Dependența spectrală a indicelui de refracție (chenarul înserat în figura 2) se determină din calculele ale conturului experimental a reflexiei spectrelor. Se poate vedea din chenarul din figura 2 că abrupția caracteristicilor spectrale ale indicilor de refracție pentru undele cu polarizările  $E \parallel c$  și  $E \perp c$  sunt diferite. Indicii de refracție se intersectează la o anumită lungime de undă.



**Figura 2:** Dependența lungimii de undă de tăiere corespunzătoare benzei interzise, și lungimea de undă izotropă a soluțiilor solide  $\text{CuAl}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  de valoarea  $x$ . Chenarul înserat reprezintă dependența spectrală a indicilor de refracție pentru excitonii  $\Gamma_4$  în cristalele  $\text{CuGaSe}_2$ .

#### 4. Filtre combinate pe bază de cristale $\text{CuGa}_x\text{Al}_{1-x}\text{Se}_2$

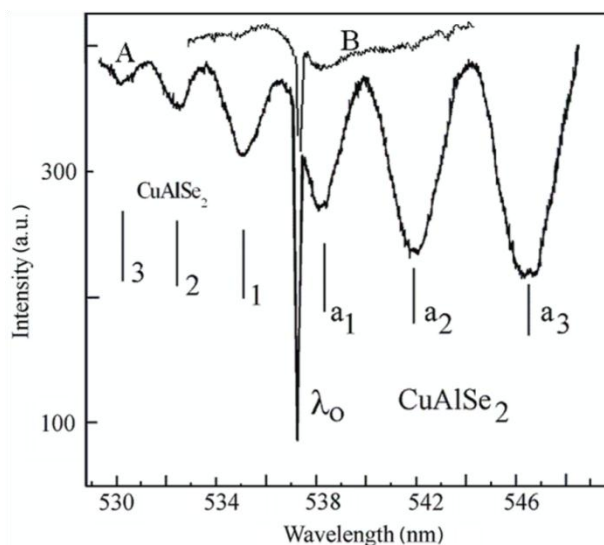
Selectivitatea filtrului depinde de rata schimbării valorii  $[\delta n^2 + \Delta n^2]$  în timp ce trece prin punctul izotrop sau, cu alte cuvinte, de abrupția dispersiei frecvenței  $n(\lambda)$  și curbele  $\delta n(\lambda)$  în vecinătatea  $\lambda_0$ . Prin atribuirea  $\alpha = (d\Delta n/d\lambda)_{\lambda=\lambda_0}$  și  $\beta = (d\delta n/d\lambda)_{\lambda=\lambda_0}$  și luând în considerare faptul că, în cristalele cunoscute  $\alpha = (10 - 10^{-2})\beta$  [5, 6], se poate deduce că aportul în dependența frecvenței a argumentului în (14) vine de la dispersia lui  $\Delta n$ .



**Figura 3.** Spectrul de transmisie a cristalului  $\text{CuGa}_x\text{Al}_{1-x}\text{Se}_2$  cu  $x = 0.4$  și cu grosimile de 150 și 200  $\mu\text{m}$  măsurat cu polarizatoare orientate paralel.

### 5. Concluzii

Pentru o aplicare mai largă a filtrelor de bandă îngustă în spectroscopia Raman și în alte domenii de spectroscopie optică, este necesar de selectat compoziția soluției semiconductorului solid cu lungimea de undă izotropică  $\lambda_0$  în așa mod ca să fie o coincidență între lungimea de undă izotropică și lungimea de undă a liniei de emisie a laserului. Banda de transmisie respectivă ar trebui să fie mai îngustă decât linia laserului. Filtrele cu mai multe benzi înguste în intervalul de lungimi de undă 480-810 nm pot fi fabricate pe bază de soluții solide de  $\text{CuGa}_x\text{Al}_{1-x}\text{Se}_2$ . Analiza caracteristicilor spectrale ca funcție de grosimea cristalului a demonstrat că filtrul cu  $d = \pi/\rho_0$  selectează două linii spectrale. Cu o grosime corespunzătoare se poate obține filtre cu benzi de transmisie multiplă (absorbție).



**Figura 4.** Filtre optice bazate pe cristalele  $\text{CuAlSe}_2$  plasate între polarizatoare orientate paralel (mod de eliminare a benzilor). Grosimea cristalelor este de 15  $\mu\text{m}$  (A) și 270  $\mu\text{m}$  (B).

Lungimile de undă ale acestor linii diferă de la  $\lambda_0$ , dar ele sunt situate pe laturile lungimilor de undă scurte și lungi a lungimii de undă izotropice. Aceste filtre sunt utile pentru filtrarea radiației de la laserele acordabile. Aceste filtre permit să măsurăm spectrul Raman cu numărul de unde apropiat liniei laserului, și de a folosi un singur spectrometru în loc de două sau trei. Aceste filtre sunt deosebit de utile spectroscopia Raman folosind lasere semiconductoare liniile de emisie a cărora sunt destul de largi.

### Referințe

1. Shay J L and Wernick J H 1975 *Ternary Chalcopyrite Semiconductors: Growth, Electronic Properties, and Applications* (Oxford: Pergamon)
2. Birkmire R W and Eser E 1997 *Annu. Rev. Mater. Sci.* **27** 625
3. Boyd G D, Kasper H M, McFee J H and Stores G 1972 *IEEE J. Quantum Electron.* **8** 900
4. Boyd G D, Kasper H M and McFee J H 1971 *IEEE J. Quantum Electron.* **7** 563
5. Horinaka H, Mononobe S and Yamomopto N 1993 *Japan. J. Appl. Phys. Suppl.* **32-3** 109

6. Horinaka H, Okudo T and Yamomopto N 1989 *Japan. J. Appl. Phys.* **28** 1328
7. Yeh P 1980 *Opt. Commun.* **35** 15 Yeh P 1982 *Appl. Opt.* **21** 4054
8. Lotspeich J F, Stephens R R and Henderson D M 1982 *IEEE J. Quantum Electron.* **QE-18** 1253
9. Horinaka H, Tomii K, Sonomura H and Miyauchi T 1985 *Japan. J. Appl. Phys.* **24** 755
10. Horinaka H, Yamamoto N and Hamaguchi H 1992 *Appl. Spectr.* **46** 379
11. Horinaka H, Sonomura H and Miyauchi T 1980 *Japan. J. Appl. Phys. Suppl.* **19-3** 111
12. Susaki M, Yamomoto N and Horinaka H 1994 *Japan. J. Appl. Phys.* **33** 1561
13. Horinaka H, Sonomura H and Miyauchi T 1985 *Japan. J. Appl. Phys.* **24** 463
14. Yamomoto T, Takehara H, Horinaka H and Miyauchi T 1986 *Japan. J. Appl. Phys.* **25** 1397