

CZU: 538.9

TRANSMISIA OPTICĂ ÎN STRATURILE SUBȚIRI DE ZnSe

Mihail Popa (Universitatea de Stat „Alecu Russo”, Republica Moldova)

Gheorghe Ioan Rusu (Universitatea „Al. I. Cuza”, România)

Spectrele de transmisie optică pentru straturile subțiri de ZnSe au fost obținute în domeniul spectral 330-1400nm. Prezența maximelor și minimelor de interferență în spectrele de transmisie sînt datorate reflexiilor multiple de pe suprafața stratului și reprezintă un indiciu că probele sînt uniforme și că suprafețele straturilor sînt plane.

Odată cu creșterea grosimii straturilor, crește și numărul maximelor și minimelor de interferență, iar pentru grosimi $d > 0.77\mu\text{m}$ diferența dintre transmisia maximă și minimă se micșorează.

Introducere

În fizica stării condensate se cercetează fenomenele fizice ce se produc la interacțiunea radiațiilor electromagnetice cu corpurile cristaline. Un interes deosebit prezintă reflexia, refracția, absorbția și transmisia radiațiilor electromagnetice în straturile subțiri policristaline.

Studiul spectrelor de transmisie ale straturilor subțiri poate oferi concluzii importante referitoare la structura, compoziția și proprietățile fizico-chimice ale substanțelor semiconductoare.

Scopul acestei lucrări este de a analiza evoluția spectrelor de transmisie ale straturilor subțiri de ZnSe în funcție de grosimea lor.

Considerații teoretice

Cînd un fascicul de lumină monocromatică trece printr-un strat subțire, intensitatea sa scade atît datorită reflexiei la suprafața stratului, cît și absorbției luminii în strat (fig. 1) [1].

Dacă J_0 reprezintă intensitatea luminii incidente, J_R – intensitatea luminii reflectate, J_T – intensitatea luminii transmise, iar J_A – intensitatea luminii absorbite, atunci, în acord cu legea conservării energiei, există o relație evidentă

$$\frac{J_R}{J_0} + \frac{J_T}{J_0} + \frac{J_A}{J_0} = 1, \quad (1)$$

sau

$$R + T + A = 1, \quad (2)$$

unde R reprezintă coeficientul de reflexie, T este coeficientul de transmisie, iar A – fracțiunea de lumină absorbită.

Pe măsură ce fasciculul de lumină străbate stratul subțire, intensitatea luminoasă scade, după parcurgerea distanței dx, cu valoarea dJ. Această variație (scădere) va fi, evident, proporțională cu grosimea dx, precum și cu intensitatea luminoasă în punctul x, adică [1, 2]:

$$-dJ = aJdx. \quad (3)$$

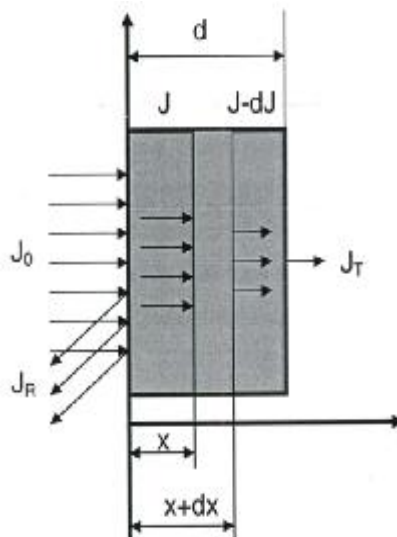


Fig. 1. Variația intensității luminii.

Integrând această relație se obține:

$$\int_{J_0}^J \frac{dJ}{J} = - \int_0^d \alpha dx, \quad (4)$$

de unde

$$J = J_0 e^{-\alpha d} = J_0 e^{-\frac{d}{L_\lambda}}, \quad (5)$$

în care $L_\lambda = \frac{1}{\alpha}$ este lungimea de absorbție, iar d – grosimea stratului.

Dacă se ține seama de reflexia la suprafața stratului, atunci, în loc de J_0 , se va lua $J_0(1 - R)$ și relația (4) se scrie sub forma

$$\int_{J_0(1-R)}^J \frac{dJ}{J} = - \int_0^d \alpha dx, \quad (6)$$

și deci legea de absorbție a luminii devine [1, 2]

$$J(d) = J_0(1 - R) e^{-\alpha d}. \quad (7)$$

Dependența coeficientului de reflexie de frecvența luminii folosite, $R(\nu)$, de lungimea de undă $R(\lambda)$ sau de energia fascicului incident $R(h\nu)$ se numește *spectru de reflexie*. În mod analogic, dependența $\alpha(\nu)$, $\alpha(\lambda)$ sau $\alpha(h\nu)$ reprezintă *spectrul de absorbție*, iar $T(\omega)$, $T(\lambda)$ sau $T(h\nu)$ – *spectrul de transmisie* a luminii în stratul subțire.

Metodica experimentală

Pentru prepararea straturilor subțiri de ZnSe pe suporturi de sticlă s-a folosit metoda evaporării termice în vid în volum limitat [3].

Structura eșantioanelor a fost studiată prin difracție de radiații X, microscopie electronică de baleaj (Scanning Electron Microscopy – SEM) și microscopie de forță atomică (Atomic Force Microscopy – AFM). Cercetările au arătat că straturile sînt policristaline și se cristalizează în formă de blendă de zinc [4].

Grosimea d a straturilor subțiri a avut valori cuprinse între $0.10 \mu\text{m}$ și $1.30 \mu\text{m}$ și a fost măsurată cu microscopul interferențial MII-4 (tip Linnik) [5].

Prin rată de depunere r_d se înțelege raportul dintre grosimea totală a stratului depus și timpul necesar acestei depuneri. Pentru straturile subțiri, preparate de noi, rata de depunere a variat între $1.20 - 1.95 \text{ nm/s}$.

Pentru obținerea spectrelor de transmisie ale straturilor subțiri de ZnSe în domeniul spectral $330 - 1400\text{nm}$, a fost utilizat spectrofotometrul UV-VIS tip Q-II (Carl Zeiss).

Spectrometru Q-II conține o sursă de lumină, care poate fi o lampă specială pentru măsurători în ultraviolet sau o lampă de incandescență pentru măsurători în domeniul vizibil și infraroșu apropiat. Radiația electromagnetică este descompusă de un monocromator care folosește ca element dispersiv o prismă. Ca detector de radiație se folosește un fotomultiplicator pentru domeniul ultraviolet al spectrului sau o celulă fotoelectrică pentru domeniul vizibil. Între fanta de ieșire a monocromatorului și detector este fixat un dispozitiv în care se introduc probele ce trebuie studiate.

Un eșantion este format din două componente principale: suportul transparent din sticlă și stratul subțire de ZnSe (fig.2). În acest caz, coeficientul de transmisie al eșantionului va fi:

$$T_{es} = \frac{J_{T_2}}{J_0} = \frac{J_{T_2}}{J_{T_1}} \cdot \frac{J_{T_1}}{J_0} = T_{sup} \cdot T_{str} \quad (8)$$

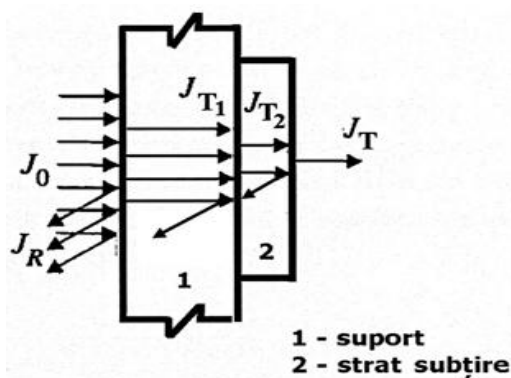


Fig. 2. Transmisia optică într-un eșantion ($T_{es} = T_{sup} \cdot T_{str}$).

De aceea, pentru determinarea experimentală a coeficientului de transmisie s-au parcurs următoarele etape:

- masurarea coeficientului de transmisie a eșantionului (suport + strat) (T_{es}),
- masurarea coeficientului de transmisie a suportului (T_{sup}),
- calcularea coeficientului de transmisie a stratului subțire conform relației

$$T = T_{str} = \frac{T_{es}}{T_{sup}} \cdot 100\% \quad (9)$$

Rezultate experimentale. Analiza

Spectrele de transmisie obținute pentru eșantioanele de ZnSe au fost analizate în funcție de grosimea straturilor.

Grosimea straturilor subțiri reprezintă un parametru important în studiul proprietăților optice și fotoelectrice. Se pot obține straturi cu grosimi prestabilite, fapt care permite prepararea unor eșantioane speciale pentru studiul acestor proprietăți.

În fig. 3 – 9 sînt prezentate spectrele de transmisie pentru straturile subțiri de ZnSe de grosimi diferite.

Transmisia probei A.015 (fig. 3) crește brusc pînă la o valoare maximă și apoi scade lent în domeniul 600 – 900nm, depinzînd de lungimea de undă. În proba A.025 (fig. 4) apar două maxime ale transmisiei, în proba A.045 (fig. 5) – trei, în proba A.060 (fig. 6) – patru, iar în proba A.077 (fig. 7) – cinci. Spectrele de transmisie pentru probe cu grosimi mai mari de 0.80μm (fig. 8 și 9) sînt formate dintr-un ansamblu de maxime și minime, iar diferența dintre transmisia maximă și cea minimă scade odată cu creșterea grosimii straturilor subțiri de ZnSe.

Primul maxim la toate spectrele de transmisie corespunde lungimii de undă de circa 460 nm. Energia acestui maxim este de circa 2.7eV și coincide cu lărgimea benzii interzise a ZnSe. Astfel, putem atribui această energie tranzițiilor bandă de valență – bandă de conducție, la centrul zonei Brillouin.

Prezența celorlalte maxime în spectrele de transmisie, probabil, este determinată de nivelele energetice adînci, localizate în interiorul benzii interzise. În cristalele de ZnSe, defectele native sînt atomii interstițiali de zinc (Zn_i) și vacanțele de seleniu (V_{Se}). Nivelele donore Zn_i sînt situate mai jos de minimul benzii de conducție ($\Delta E_d = 0.90$ eV), iar nivelele acceptoare, V_{Se} , sînt localizate mai sus de marginea superioară a benzii de valență ($\Delta E_a = 0.01$ eV) [6]. Astfel, putem considera că celelalte maxime din spectrele de transmisie pot fi asociate tranzițiilor nivel acceptor – nivel donor, nivel donor – bandă de conducție, bandă de valență – nivel acceptor.

În cazul straturilor cu grosimi mai mari de 0.80 μm, scăderea transmisiei poate fi explicată prin creșterea coeficientului de absorbție în aceste straturi [5].

Prezența în spectrele de transmisie a maximelor și minimelor datorate interferenței fasciculelor rezultate prin reflexiile multiple pe suprafețele stratului este un indiciu că probele sînt uniforme din punct de vedere al grosimii și că suprafețele straturilor sînt plane. De altfel, acest fapt a fost pus în evidență și prin studii de microscopie de forță atomică [5], din care rezultă că rugozitatea suprafeței libere a stratului este mică. O rugozitate mare sau o neuniformitate a grosimii ar fi dus la dispariția interferenței, adică la dispariția minimelor și maximelor de interferență din spectrele de transmisie [7, 8].

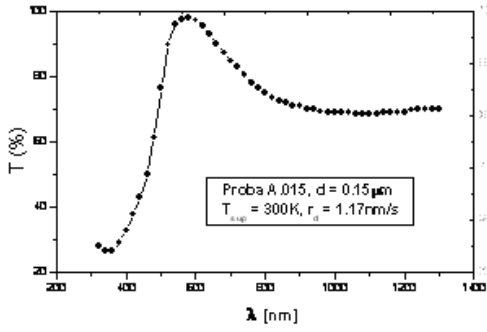


Fig. 3. Dependența $T = f(\lambda)$ pentru proba A.015.

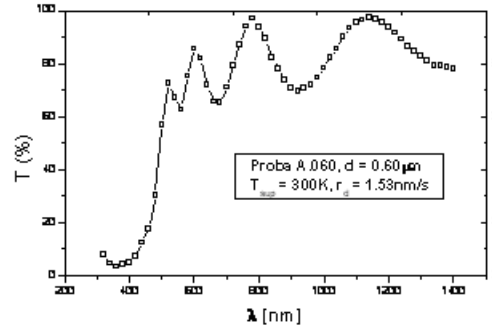


Fig. 6. Dependența $T = f(\lambda)$ pentru proba A.060.

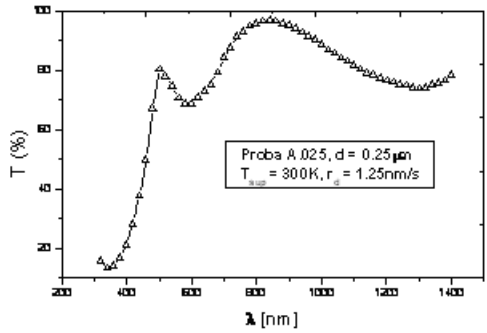


Fig. 4. Dependența $T = f(\lambda)$ pentru proba A.025.

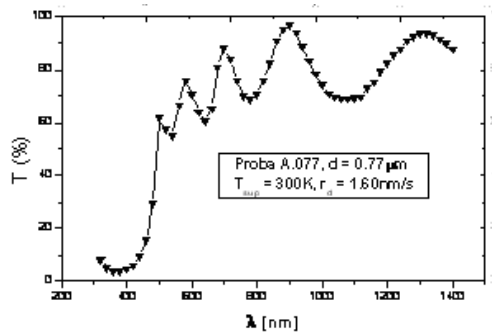


Fig. 7. Dependența $T = f(\lambda)$ pentru proba A.077.

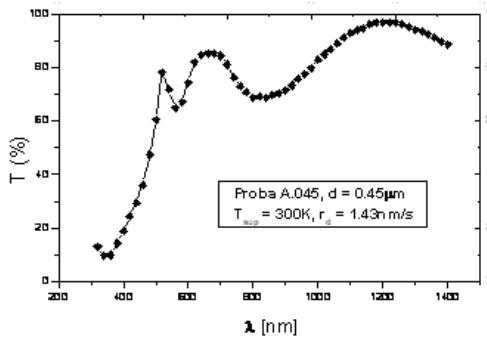


Fig. 5. Dependența $T = f(\lambda)$ pentru proba A.045.

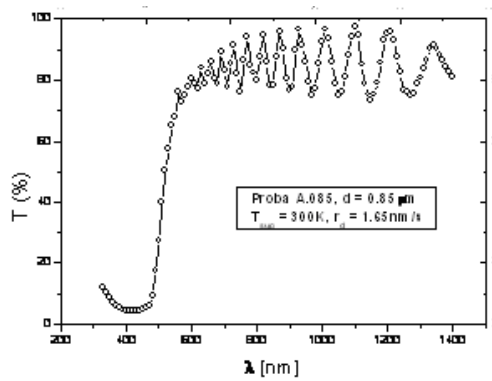


Fig. 8. Dependența $T = f(\lambda)$ pentru proba A.085.

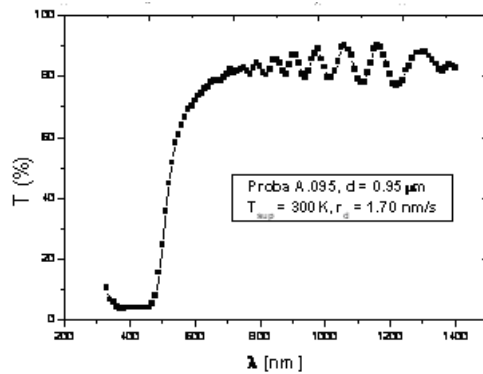


Fig. 9. Dependența $T = f(\lambda)$ pentru proba A.095.

Concluzii

Spectrele de transmisie obținute pot fi utilizate pentru determinarea coeficientului de absorbție, a indicelui de refracție și a altor mărimi caracteristice straturilor subțiri. Acestea pot oferi informații importante, pe baza cărora se pot confecționa diferite dispozitive optice și optoelectronice.

Bibliografie

1. Spînulescu I. *Fizica straturilor subțiri și aplicațiile acestora.*, București, Editura științifică, 1975, 458 p.
2. Bursuc I., Sulițanu N. *Solidul. Fenomene. Teorii. Aplicații.*, București, Editura științifică, 1991, 250p.
3. Popa M., Rusu G. I. *Obținerea straturilor subțiri de ZnSe prin metoda evaporării termice în vid // Fizică și Tehnică: procese, modele, experimente*, 2006, nr.1, p.30-37.
4. Popa M., Rusu G.I. *Influența tratamentului termic asupra morfologiei suprafeței straturilor subțiri policristaline // Fizică și Tehnică: procese, modele, experimente*, 2006, nr.1, p.26-30.
5. Popa M. E. *Contribuții la studiul proprietăților electrice și optice ale unor compuși semiconductori binari în straturi subțiri: Rezumatul tezei de doctorat*, Iași, 2003, 56p.
6. Недеогло Д.Д., Симашкевич А.В. *Электрические и люминисцентные свойства селенида цинка*, Chișinău, Știința, 1984.
7. Swanepoel R. *Determination of the thickness and optical constants of amorphous silicon // J. Phys. E: Sci. Instrum.*, 1983, v. 16, p. 1214-1222.
8. Swanepoel R. *Determination of the surface roughness and optical constants of inhomogeneous amorphous silicon films // J. Phys. E: Sci. Instrum.*, 1984, v. 17, p. 896-903.

OPTICAL TRANSMISSION IN ZnSe THIN FILMS

Mihail Popa („Alecă Russo” State University, Republic of Moldova)

Gheorghe Ioan Rusu („Al. I. Cuza” University, Romania)

Optical transmission spectrums for ZnSe thin films have been obtained in the spectral domain of 330 – 1400nm. The presence of interference maxima and minima in transmission spectrums is determined by the multiple reflections from the film surface and represents one index that the samples are uniform and that films surfaces are plane.

With the growth of the films thickness we observe a growth in the number of interference maxima and minima, and for the thickness of $d > 0.77\mu\text{m}$, the difference between maximal and minimal transmission decreases.

Prezentat la redacție la 11.12.06