

OPTICAL TRANSMISSION IN ZnSe THIN FILMS

Mihail Popa („Alec 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

CZU: 538.9

DETERMINAREA INDICELUI DE REFRAȚIE A STRATURILOR SUBȚIRI DE ZnSe PRIN METODA SWANEPOEL

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

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

Spectrele de transmisie, reflexie și absorbție ale straturilor subțiri de ZnSe au fost cercetate în domeniul spectral de lungimi de undă 300 – 1400 nm. Din spectrele de transmisie, folosind metoda „anvelopei” propusă de Swanepoel, a fost determinat indicele de refracție ale straturilor subțiri policristaline de ZnSe. Acesta scade odată cu creșterea grosimii și crește în urma tratamentului termic. Pentru explicarea dispersiei normale a indicelui de refracție a fost folosit modelul unui singur oscilator.

Introducere

În ultimii ani se studiază intens proprietățile fizice ale compușilor semiconductori sub formă de straturi subțiri, datorită importanței tehnologice de aplicație ale acestora în dispozitivele semiconductoare.

Seleniura de zinc este un material din categoria compușilor $A^{\text{II}}B^{\text{VI}}$ și are structură cubică (de tip blendă de zinc) și bandă interzisă largă de circa 2.7eV la temperatura camerei. Acestea emit perspective de aplicație a ZnSe la fabricarea laserilor cu diode și a diodelor emițătoare de lumină care funcționează în domeniul culorii albastre [1].

Studiul proprietăților optice ale straturilor subțiri semiconductoare permite obținerea de informații importante privind structura de benzi energetice a semiconductoarelor și mecanismul de interacțiune a radiației electromagnetice cu stratul subțire. Scopul acestei lucrări este de a prezenta o metodă nouă de

determinare a indicelui de refracție din spectrele de transmisie ale straturilor subțiri de ZnSe.

Descrierea metodei

Indicele de refracție al straturilor subțiri a fost determinat din spectrele de transmisie optică folosindu-se metoda “anvelopei” propusă de R.Swanepoel [2, 3].

Să considerăm un strat subțire omogen de grosime uniformă d și indice de refracție complex $\tilde{n} = n - ik$, unde n este partea reală a indicelui de refracție, ik – partea imaginară a indicelui de refracție, iar k – coeficientul de extincție. Stratul este depus pe un suport transparent cu indicele de refracție n_s , suportul este considerat neted, fără asperități, avînd grosimea mult mai mare decît grosimea (d) a stratului. Un astfel de sistem este prezentat în fig. 1, plasat în aer cu indicele de refracție $n_0 = 1$.

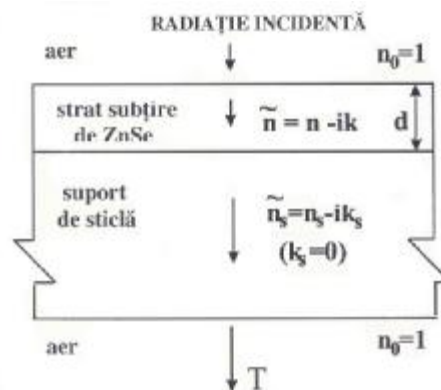


Fig. 1. Sistemul strat – suport.

Spectrele de transmisie prezintă o serie de maxime și minime (fig. 2), ceea ce înseamnă că pentru o analiză riguroasă a acestor spectre trebuie să se țină seama de interferența datorită reflexiilor multiple în interiorul stratului.

În esență metoda Swanepoel constă în determinarea înfășurătorilor minimelor și maximelor din spectrele de transmisie (fig. 2). Astfel, începînd cu $\lambda = 750\text{nm}$ se pot găsi perechi de valori T_M și T_m pentru fiecare lungime de undă.

Pentru sistemul din fig. 2, transmisia optică la incidență normală se poate exprima prin relația [2-4]:

$$T = \frac{Ax}{B - Cx \cos \psi + Dx^2}, \quad (1)$$

unde

$$\begin{aligned} A &= 16n^2 \cdot n_s, B = (n+1)^2(n+n_s^2), C = 2(n^2-1)(n^2-n_s^2), \\ D &= (n-1)^2(n-n_s^2), \psi = 4\pi nd/\lambda, x = \exp(-ad). \end{aligned} \quad (2)$$

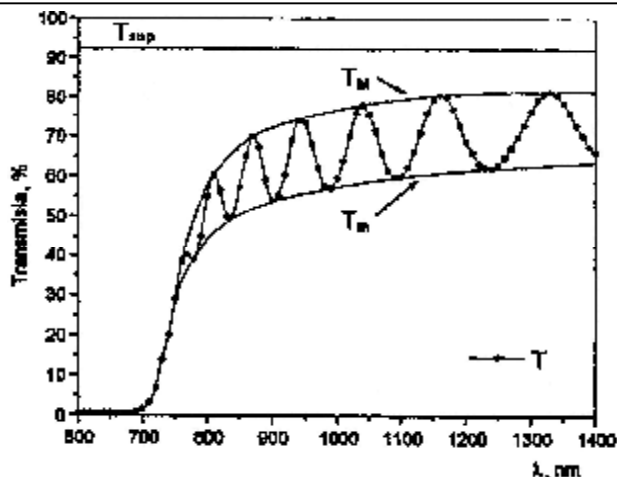


Fig. 2. Maxime și minime de interferență în spectrul de transmisie.

Valorile transmisiei la extremele franjelor de interferență (T_M și T_m) se obțin din condiția de interferență $\cos y = +1$ pentru maxim și $\cos y = -1$ pentru minim sau din condiția [1, 2, 3]:

$$2nd = m\lambda, \quad (3)$$

m fiind un număr întreg pentru maxime și semiîntreg pentru minimele de interferență. În aceste condiții maximele și minimele de interferență se găsesc pe două curbe (numite înfășurători) și T_M și T_m (fig. 2) se calculează după relațiile [2, 3]

$$T_M = \frac{Ax}{B - Cx + Dx^2} \quad (4)$$

și

$$T_m = \frac{Ax}{B + Cx + Dx^2}. \quad (5)$$

Trebuie remarcat faptul că aceste relații sînt valabile numai în domeniul în care absorbția este mică sau medie și coeficientul de extincție k poate fi neglijat. În aceste condiții, transformînd relațiile (4) și (5), obținem

$$\frac{1}{T_m} - \frac{1}{T_M} = \frac{2A}{C}, \quad (6)$$

iar dacă înlocuim expresiile lui A și C din relația (2), atunci:

$$n = [N + (N^2 - n_s^2)^{1/2}]^{1/2}, \quad (7)$$

în care

$$N = 2n_s \cdot \frac{T_M - T_m}{T_M \cdot T_m} + \frac{n_s^2 + 1}{2}. \quad (8)$$

Indicele de refracție calculat din relația (7) poate fi considerat ca o primă aproximație. Dacă se cunoaște grosimea stratului, folosind relația (3), se poate determina ordinul de interferență m . Valorile stabilite vor fi approximate ca valori întregi sau semiîntregi, după cum spectrul de transmisie prezintă la lungimea de undă respectivă un maxim sau minim. Utilizînd aceste valori ale ordinului de

interferenți, cu ajutorul relației (7), se pot calcula noile valori ale indicelui de refracție.

În domeniul absorbției medii și slabe coeficientul de absorbție se determină prin relația [2, 3, 4]:

$$\alpha = -\frac{I}{d} \ln x, \quad (9)$$

în care x este absorbanța și poate fi calculată prin formula [10, 13, 14]:

$$x = \frac{E_M - [E_M^2 - (n^2 - 1)^3 (n^2 - n_s^2)]^{1/2}}{(n - 1)^3 (n - n_s^2)}, \quad (10)$$

unde

$$E_M = \frac{8n^2 n_s^2}{T_M} + (n^2 - 1)(n^2 - n_s^2). \quad (11)$$

Dacă n_1 și n_2 sînt indicii de refracție pentru două maxime (sau minime) adiacente, iar λ_1 și λ_2 – respectivele lungimi de undă, atunci grosimea stratului este determinată de relația [2, 3]:

$$d = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_1 n_2 - \lambda_2 n_1)}. \quad (12)$$

Rezultate experimentale. Analiză

Etapile de calcul al indicelui de refracție pentru straturile subțiri de ZnSe au fost următoarele:

a) calcularea indicelui de refracție a suportului n_s din spectrul de transmisie a acestuia, $T_{sup} = f(I)$ cu ajutorul relației [2, 3]

$$n_s = \frac{I}{T_{sup}} + \left(\frac{I}{T_{sup}^2} - I \right)^{1/2}; \quad (13)$$

b) trasarea înfășurătorilor minimelor și maximelor de interferență în spectrul de transmisie al unui strat subțire $T = f(\lambda)$ și determinarea pentru fiecare lungime de undă a unor perechi de valori T_M și T_m ;

c) calcularea coeficientului N folosind relația (8);

d) calcularea valorilor lui n cu ajutorul formulei (7).

În fig. 3 sînt reprezentate dependențele de lungimea de undă a indicelui de refracție n al straturilor subțiri de ZnSe. Investigațiile au fost efectuate în intervalul lungimilor de undă 620-1000nm. Creșterea grosimii conduce la micșorarea indicelui de refracție, acesta din urmă variind de la 2.93 (pentru proba A.045) pînă la 2.77 (pentru proba A.085).

Valorile indicelui de refracție n pentru straturile subțiri de ZnSe sînt în bună concordanță cu cele obținute pentru cristalele de ZnSe [9].

În fig. 4 este reprezentată dispersia indicelui de refracție pentru proba A.066 înainte și după tratamentul termic al acesteia. Tratamentul termic modifică nesemnificativ dispersia indicelui de refracție, fapt confirmat și pentru spectrele de transmisie ale probelor cu grosimi $d > 0.6 \mu\text{m}$ [7, 8].

Dispersia indicelui de refracție în domeniul de transparență (pentru energii ale fotonilor mai mici decât lărgimea benzii interzise), conform modelului unui singur oscilator [5, 6] poate fi descrisă prin relația:

$$n^2 - 1 = \frac{E_0 E_d}{E_0^2 - (h\nu)^2}, \quad (14)$$

în care E_0 este un parametru a cărui valoare este egală aproximativ cu dublul lărgimii benzii interzise ($E_0 \cong 2E_g$), iar E_d este un parametru de dispersie.

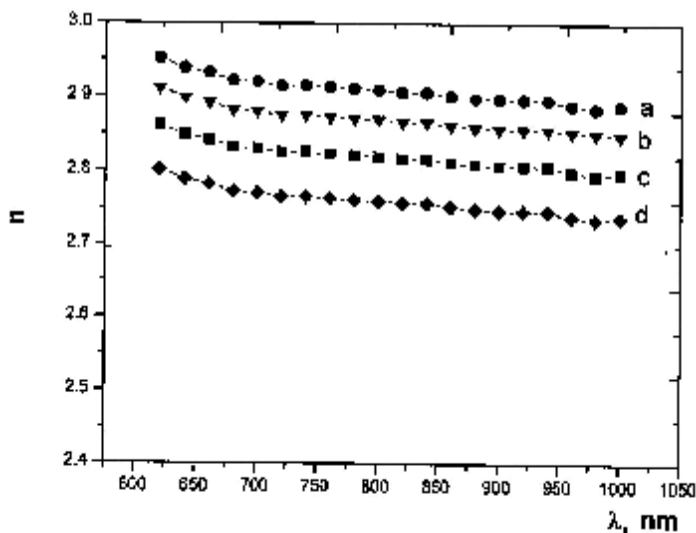


Fig. 3. Indicele de refracție al unor straturi subțiri de ZnSe cu grosimi diferite: a. Proba A.045, $d = 0.45\mu\text{m}$, $T_{\text{sup}} = 300\text{K}$; b. Proba A.060, $d = 0.60\mu\text{m}$, $T_{\text{sup}} = 300\text{K}$; c. Proba A.077, $d = 0.77\mu\text{m}$, $T_{\text{sup}} = 300\text{K}$; d. Proba A.085, $d = 0.85\mu\text{m}$, $T_{\text{sup}} = 300\text{K}$.

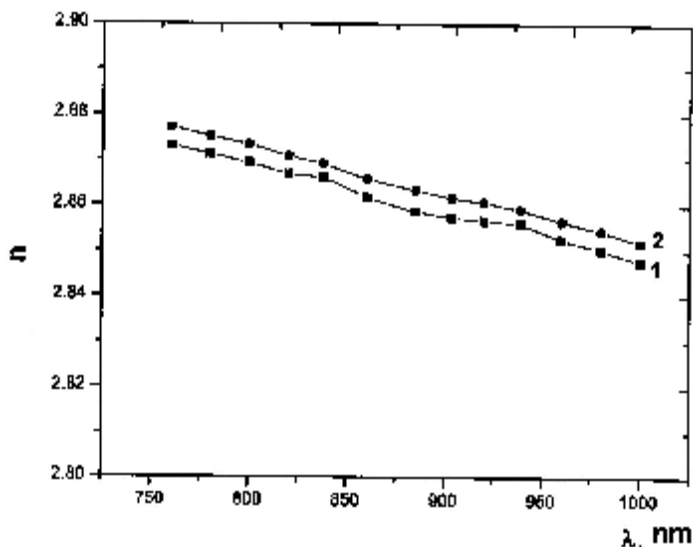


Fig. 4. Influența tratamentului termic asupra indicelui de refracție: Proba A.045 ($d = 0.45\mu\text{m}$, $T_{\text{sup}} = 300\text{K}$): 1 – proba netratată termic, 2 – proba tratată termic (300 – 500K).

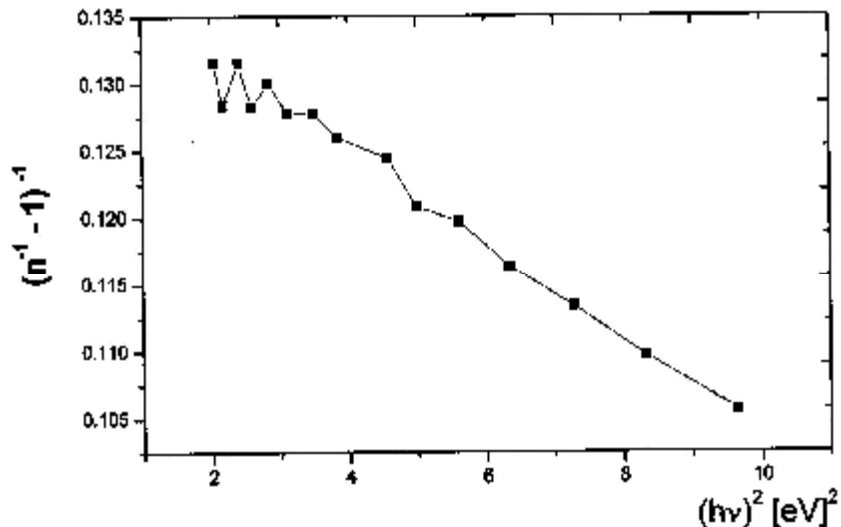


Fig. 5. Dependența $1/(n^2 - 1) = f(hv)^2$ pentru proba A.060.

În fig. 5 este reprezentată dependența $1/(n^2 - 1) = f(hv)^2$ pentru un strat subțire de ZnSe depus pe sticlă. Din panta dependenței liniare se obțin valorile respective ale lui E_d și E_0 . În tabel sînt ilustrate aceste valori și pentru alte straturi subțiri de ZnSe. Valorile lărgimii benzii interzise $E_g = 2.85 - 2.96$ eV obținute prin această metodă sînt în bună concordanță cu cele obținute din spectrele de absorbție $\alpha^2(hv)^2 = f(hv)$ [7, 8].

Parametrii modelului unui singur oscilator

Proba	d, μ m	T_{sup} , K	r_d , nm/s	E_d , eV	E_0 , eV
A.045	0.45	300	1.43	43.47	5.92
A.060	0.60	300	1.50	42.45	5.80
A.077	0.77	300	1.60	41.86	5.71

Concluzii

Metoda „anvelopei” propusă de R.Swanepoel, folosită pentru determinarea indicelui de refracție ale straturilor subțiri, reprezintă o metodă modernă folosită în fizica straturilor subțiri. Rezultatele obținute conform acestei metode sînt în concordanță cu rezultatele obținute pentru probele masive.

Bibliografie

1. Kazmerski L. L. *Polycrystalline and Amorphous Thin Films and Devices*, New York, Academic Press, 1980.
2. Swanepoel R. *Determination of the thickness and optical constants of amorphous silicon* // J. Phys. E: Sci. Instrum., 1983, v. 16, p. 1214-1222.

3. 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.
4. Margues E., Ramires-Malo J., Villares P., Jimenes-Garay R., Ewen P. J., Owen A. E. *Calculation of the thickness and optical constants of amorphous arsenic sulphide films from their transmission spectra* // J. Phys. D: Appl. Phys., 1992, v. 25, p. 535-541.
5. Wemple S. H., DiDomenico M. *Behavior of the Electronic Dielectric Constant in Covalent and Ionic Materials* // Phys. Rev. B, 1971, v. 3, nr. 4, p. 1338-1346.
6. Wemple S. H. *Refractive – Index Behaviour of Amorphous Semiconductors and Glasses* // Phys. Rev. B, 1973, v. 7, nr. 8, p. 3767-3770.
7. Rusu G. I., Popa M. E., Rusu G. G., Salaoru Iulia N. *On the electronic transport properties of polycrystalline ZnSe films* // Applied Surface Science, 2003, v. 218, nr. 1-4, p. 213-231.
8. Popa M. E., Rusu G. I. *On the optical properties of polycrystalline ZnSe thin films* // Physics of Low – Dimensional Structures, 2003, v. 7/8, p. 43-53.
9. Недеогло Д.Д., Симашкевич А.В. *Электрические и люминисцентные свойства селенида цинка*, Chișinău, Știința, 1984.

THE DETERMINATION OF THE INDEX OF REFRACTION OF THIN FILMS BY SWANEPOEL METHOD

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

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

The spectral dependences of transmission, reflection and absorption for ZnSe thin films have been studied in spectral domain of 300 – 1400 nm. Using „tyre’s” method proposed by Swanepoel, from the spectral dependences of transmission, the index of refraction of the thin polycrystalline films of ZnSe was determined. This lowers while thickness grows and rises after thermal treatment. To explain the normal dispersion of the index of refraction the model of a single oscillator was used.

Prezentat la redacție la 11.12.06