

UNELE PROPRIETĂȚI OPTICE ALE STRUCTURILOR InSe CU STRAT SUBȚIRE DE OXID DE BISMUT

Igor EVTODIEV

Catedra Meteorologie, Metrologie și Fizică Experimentală

In this work is investigated the light absorption in the InSe layer of the heterostructure as well as the InSe layer from the interface of the junction Bi_2O_3 -InSe through the absorption, reflection spectrums and photoluminescence at temperatures from 78K to 300K. As a result of the thermic oxidation of a thin layer of Bi from the freshly sliced surface of the InSe crystal in the contact layer are formed two centers of localization of excitons and at the same time of the energy states by which is simulated the impurity luminescence.

Introducere

Monoselenura de indiu (InSe) aparține la clasa semiconductorilor stratificați de tipul $A^{III}B^VI$. Acest material este intens cercetat datorită perspectivei de folosire în calitate de element de bază în dispozitivele fotoelectronice pentru domeniul IR apropiat al spectrului, stabilității caracteristicilor optice la radiații ionizante și, nu în ultimul rând, datorită anizotropiei proprietăților optice într-un domeniu îngust al spectrului [1-3].

Având banda interzisă de 1,2 eV și o densitate mică de stări de suprafață, InSe, ca și GaSe, GaS, sunt materiale cu perspectiva de utilizare în heterojuncțiuni semiconductoare cu fotosensibilitate polarizată selectivă [4,5]. Valoarea relativ mică a coeficientului de absorbție în regiunea marginii benzii intrinseci (10^3cm^{-1}), de rând cu mobilitatea înaltă a purtătorilor de sarcină $\sim 10^3\text{cm}^2/\text{Vs}$, sunt factori importanți ce determină un randament înalt al celulelor de conversie a energiei solare [6-9].

Proprietățile optice ale cristalelor InSe au fost intens cercetate prin diverse metode directe și indirecte, în rezultatul cărora s-au determinat parametrii fundamentali, cum ar fi: lărgimea benzii interzise într-un interval larg de lungimi de undă, banda de fotoconductivitate înaltă și influența atomilor de impurități asupra randamentului procesului de fotogenerare a purtătorilor de neechilibru [10-12], structura și energia de legătură a excitonilor în InSe [13], diagrama nivelurilor de recombinare luminescentă [14,15].

Atât defectele structurale, cât și factorii exteriori (presiunea, temperatura) influențează nemijlocit asupra proceselor excitonice, conducând la localizarea excitonilor, la intensificarea procesului de interacțiune cu fononii, la ecranarea legăturilor excitonice.

În articol sunt prezentate rezultatele cercetărilor absorbției luminii în stratul de InSe al heterostructurii, precum și în stratul de InSe de la interfața joncțiunii Bi_2O_3 -InSe prin intermediul spectrelor de absorbție-reflexie și fotoluminescență la temperaturi din intervalul de la 78 K până la 300 K. În rezultatul oxidării termice a stratului subțire de Bi de pe suprafața proaspăt despicată a cristalului de InSe în stratul de contact se formează centre de localizare a excitonilor și, totodată, stări energetice prin care este stimulată luminescența impuritară.

Prepararea eșantioanelor și metodică experimentului

Monocristalele de n-InSe au fost obținute prin metoda Bridgman-Stockbarger din componente elementare In și Se cu puritatea 99,999% luate în cantități stoechiometrice. Sinteza compusului primar s-a efectuat în fiole de cuarț, a căror suprafață interioară a fost carbonizată. Concentrația purtătorilor de sarcină majoritari la $T = 293\text{ K}$ $n = 3,5 \cdot 10^{14}\text{ cm}^{-3}$. Mobilitatea electronilor la $T = 293\text{ K}$, $\mu_n \approx 2,1 \cdot 10^2\text{ cm}^2/\text{Vs}$. Prin despicare din blocuri monocristaline au fost obținute filme cu grosimi de la 0,3 μm până la 1,5 mm necesare pentru măsurătorii optici.

Pe una din suprafețele proaspăt despicate ale plăcilor de InSe cu grosimea de 0,1÷0,3 mm s-a depus, prin evaporare termică în vid $5 \cdot 10^{-5}\text{ Torr}$, un strat de Bi cu grosimea de 90-120 nm și aria $\sim 10\text{ mm}^2$. Oxidarea stratului metalic s-a petrecut în atmosferă normală prin încălzirea lentă de la temperatura camerei până la $\sim 510\text{ K}$ cu viteza de $\sim 1,5^\circ\text{ s}^{-1}$. Durata procesului de oxidare s-a controlat prin măsurătorile coeficientului de transmisie a radiației laserului He – Ne ($\lambda=1,15\text{ }\mu\text{m}$) prin structura InSe – oxid de Bi. Structura stratului de oxid de Bi a fost cercetată prin difracție de raze X cu difractometrul XRD Shimadzu, folosind radiația CuK_α . Prezența două linii de difracție la unghiurile $2\theta=27^\circ$ și 37° denotă că stratul de oxid de bismut este compus preponderent din faza α - Bi_2O_3 .

Rezistența pe suprafața stratului de Bi_2O_3 în structurile cercetate a fost de 360 - 450 Ω .

Grosimea filmelor InSe și a straturilor de Bi_2O_3 crescute pe suprafața (0001) a filmelor de InSe s-a determinat din măsurători ale numărului N de minime de interferență a radiației laserului He-Ne ($\lambda=1150\text{ nm}$) la rotirea filmului în jurul axei orientate perpendicular pe direcția fascicolului de lumină. Unghiul de rotație ϕ s-a măsurat cu ajutorul goniometrului de tipul GS-5.

Fotoluminescența filmelor monocristaline de InSe și a structurilor Bi_2O_3 - InSe a fost excitată cu radiația laserului He – Ne ($\lambda=632,8\text{ nm}$). Densitatea fascicolului de excitare putea fi variată în limite mari (~ 2 ordine

de mărime) cu ajutorul unui set de filtre neutre. Eșantioanele pentru măsurători la temperaturi de la 78 K până la 300 K au fost montate într-un criostat optic cu vapori de azot. Temperatura a fost controlată cu termocuplu Cu – constant. Fotoluminescența filmelor monocristaline de InSe și a stratului de la interfața $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$ a fost excitată cu radiația laserului He – Ne (632,8 nm, P = 40 mW). Densitatea fascicolului de radiație s-a atenuat cu ajutorul unui set de filtre neutre (filme transparente optic de Pt pe substrat de SiO_2) calibrate la lungimea de undă a laserului. Spectrele de fotoluminescență, transmisie optică și electroreflexie au fost analizate cu ajutorul unui monocromator cu rețea de difracție (600 mm^{-1}) de tipul MDR – 2 (LOMO) cu rezoluția energetică nu mai mare de 0,7 meV. Fascicolul de lumină a fost măsurat cu un fotomultiplicator cu fotocatod din Ag – O – Cs răcit la temperatura -50°C . Diferența relativ mică dintre indicii de refracție a stratului de Bi_2O_3 și InSe limitează posibilitățile metodelor optice de cercetare a stratului de la suprafața de contact. Pentru a amplifica semnalul reflectat de la suprafața de contact s-a folosit metoda electroreflexiei (ER) ($\omega = 1,2 \text{ kHz}$, $U_{\sim} = 5 \text{ V}$).

Pentru măsurători de electroreflexie pe partea exterioară a filmului de InSe a fost depus un strat transparent optic din In_2O_3 .

Rezultatele experimentale și interpretarea lor

Coeficientul de absorbție α filmelor monocristaline de InSe și a structurilor $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$ a fost calculat din măsurători de transmisie t și de reflexie R a luminii din relația (1):

$$t = \frac{(1 - R)^2 \cdot e^{-\alpha d}}{e^{\alpha d} - R^2 \cdot e^{-\alpha d}}, \quad (1)$$

unde d este grosimea eșantionului.

În Figura 1 (a) sunt prezentate spectrele de absorbție a filmelor monocristaline de InSe până la depunerea stratului de Bi_2O_3 la temperatura de 78 K și 293 K (curba 1 și, respectiv, 2) și a structurii $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$ corespunzător la aceleași temperaturi (curba 3 și, respectiv, 4).

După cum se vede din aceste grafice, în regiunea marginii benzii intrinseci coeficientul de absorbție, atât în filmele InSe, cât și în structurile $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$ la temperatura 293 K într-un interval îngust de energii ($\sim 30 \text{ meV}$), crește rapid până la $1180 \div 1200 \text{ cm}^{-1}$, după ce lent se mărește odată cu energia. La temperatura 78 K în regiunea marginii benzii de absorbție intrinseci se evidențiază o bandă de absorbție îngustă cu maxim la 1,328 eV atât pentru filmele de InSe, cât și pentru structurile $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$. Coeficientul de absorbție în maximum benzii de margine este egal cu 2380 cm^{-1} pentru filmele de InSe și cu 1820 cm^{-1} pentru structurile $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$. Totodată, clar se evidențiază o creștere mult mai rapidă a coeficientului de absorbție ($\Delta\alpha/\Delta h\nu$) în filmele InSe față de structurile $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$ atât la temperatura 78 K, cât și la temperatura camerei.

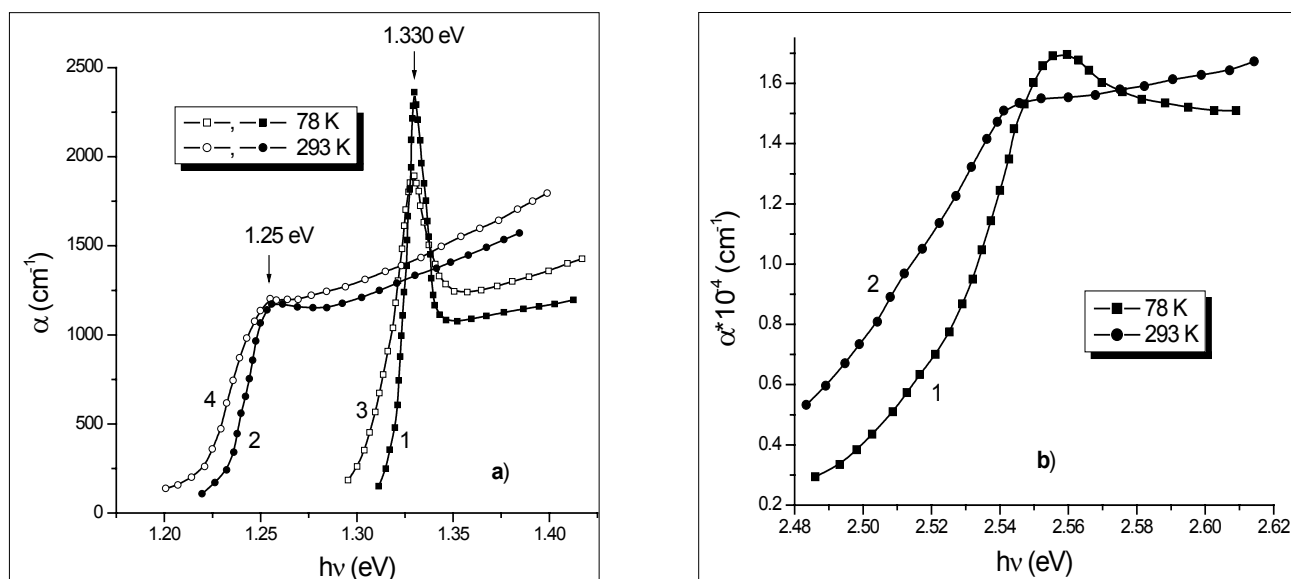


Fig.1.

a) Spectrele de absorbție a filmelor monocristaline de InSe (1, 2) și a structurilor $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$ (3, 4) la temperatura 78 K (1, 3) și 293 K (2, 4);

b) Spectrul de absorbție a structurii $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$ în adâncul benzii de absorbție intrinseci la temperatura 78 K (1) și 293 K (2).

După cum se vede din Figura 1(b), în intervalul de energii $2,50 \div 2,55$ eV în spectrul de absorbție la temperatura 78 K și 293 K se evidențiază un prag repetat de absorbție. Într-un interval îngust de energie (0,5 eV) coeficientul de absorbție la $T = 293$ K se mărește de trei ori: de la 520 cm^{-1} până la 1540 cm^{-1} . Mult mai pronunțată este majorarea coeficientului de absorbție la temperatura de 78 K. La această temperatură coeficientul de absorbție se mărește de la $\sim 2800 \text{ cm}^{-1}$ la energia 2,30 eV până la 17000 cm^{-1} la $h\nu = 2,7$ eV. Ținând seama de mărirea coeficientului de absorbție în maximum acestei benzi, precum și de rata de creștere a coeficientului de absorbție odată cu energia, acest prag poate fi asociat tranzițiilor optice directe bandă – bandă.

După cum se vede din graficele 1 și 2 (Fig.1a)), prezența stratului de Bi_2O_3 pe suprafața filmului monocristalin de InSe conduce la micșorarea coeficientului de absorbție a benzii de absorbție a excitonilor direcți. Micșorarea coeficientului de absorbție fără a influența asupra energiei benzii excitonice poate fi condiționată de prezența unor defecte structurale care ecranează legăturile electron – gol.

Majorarea coeficientului de absorbție atât la $T = 293$ K, cât și la 78 K în regiunea benzii de absorbție fundamentale, poate fi determinată de împrăștierea luminii în stratul de oxid de la suprafața structurii $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$. De obicei, straturile de oxizi obținute prin oxidarea termică a stratului de metal de pe suprafața (0010) a cristalelor stratificate de InSe este monostructurat [16,17], ceea ce și conduce la micșorarea transmitanței optice a structurilor $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$.

Straturile de Bi_2O_3 conduc, totodată, și la mărirea coeficientului de absorbție în regiunea marginii benzii de absorbție excitonice ($T=78$ K). Aceeași tendință a dependenței spectrale a coeficientului de absorbție se păstrează și în regiunea marginii benzii de absorbție intrinseci (Fig.1, curbele 3 și 4) la temperatura 293 K.

Spectrele FL de la suprafața perpendiculară pe axa C a filmelor monocristaline de InSe la $T = 78$ K sunt prezentate în Figura 2. Structura spectrului constă din două benzi: una relativ îngustă, localizată în apropierea nemijlocită a marginii benzii de absorbție intrinseci (Fig.1a)) cu maxim absolut la 1,318 eV și a doua cu conturul larg de formă simetrică al cărei maxim absolut este localizat în intervalul de energii de la 1,09 eV până la 1,12 eV. Maximul benzii largi monoton se deplasează spre energii mici cu ~ 30 meV, odată cu micșorarea densității fascicolului excitant de ~ 270 ori.

Banda FL de margine cu maxim la 1,318 eV este puternic influențată de intensitatea de excitație (L). Mult mai monoton se micșorează intensitatea FL benzii largi cu maxim localizat în regiunea (1,09 ÷ 1,12 eV). Menționăm că intensitatea benzii înguste rapid scade cu temperatura și la temperatura de ~ 120 K această bandă complet se stinge. Intervalul energetic dintre linia excitonilor liberi din spectrul de absorbție (Fig.1a)) și banda îngustă din Figura 2 este de 12 meV.

După cum se vede din montajul la Figura 2, dependența intensității benzilor înguste și largi de FL (L) de intensitatea de excitație P poate fi scrisă sub forma unei funcții de putere:

$$L = P^n, \quad (4)$$

în care factorul de putere n primește valorile 1,35 pentru banda îngustă și 0,7 pentru banda largă.

Stingerea termică într-un interval îngust de temperaturi (de la 78 K la 150 K), dependența supraliniară a intensității fotoluminescenței de intensitatea de excitație sunt două criterii după care această linie poate fi de natură excitonică [18,19].

Așadar, putem considera că banda FL (îngustă) se formează în rezultatul anihilării radiative a excitonilor localizați. Energia de legătură a excitonului la centrele de localizare este egală cu 12 meV.

De asemenea, cu o funcție de putere de tipul (1) se descrie și caracteristica $L(P)$ pentru banda largă (supliment la Fig.2), numai că factorul de putere pentru această bandă este de mărime subunitară ($n \approx 0,7$). Mărirea subunitară a factorului de putere din relația (1) este caracteristică pentru benzile FL de natură impuritară [2].

O structură cu două benzi se păstrează și în spectrul de FL de la interfața joncțiunii $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$ (Fig.3). Banda de FL de margine clar se evidențiază la intensități de excitație relativ înalte. Dacă în spectrul FL a filmelor de InSe pe care în continuare se prepară stratul de Bi_2O_3 banda de margine are un contur apropiat de

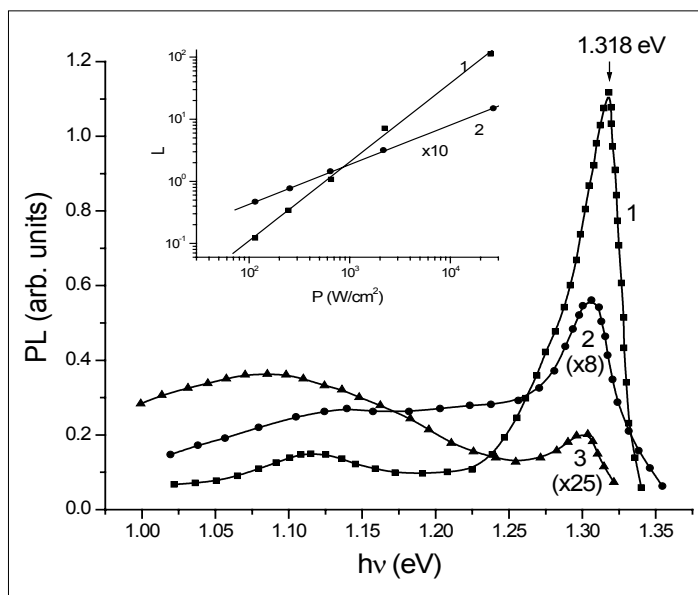


Fig.2 Spectrele de FL a cristalelor de InSe la temperatura 78 K. Densitatea fascicolului de excitație:

1 – $3,2 \cdot 10^4 \text{ W/cm}^2$; 2 – $2,5 \cdot 10^3 \text{ W/cm}^2$; 3 – $1,2 \cdot 10^2 \text{ W/cm}^2$.

În set: Dependența intensității FL (L) în banda 1 și banda 2 de intensitatea de excitație (P):

$$1 - n = 1,35; 2 - n = 0,7.$$

simetrie, această bandă de FL de la stratul de la interfața structurii $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$ are un contur puternic asimetric spre energii mici de la maximum.

În spectrul FL predomină banda largă cu maxim la 1,120 eV.

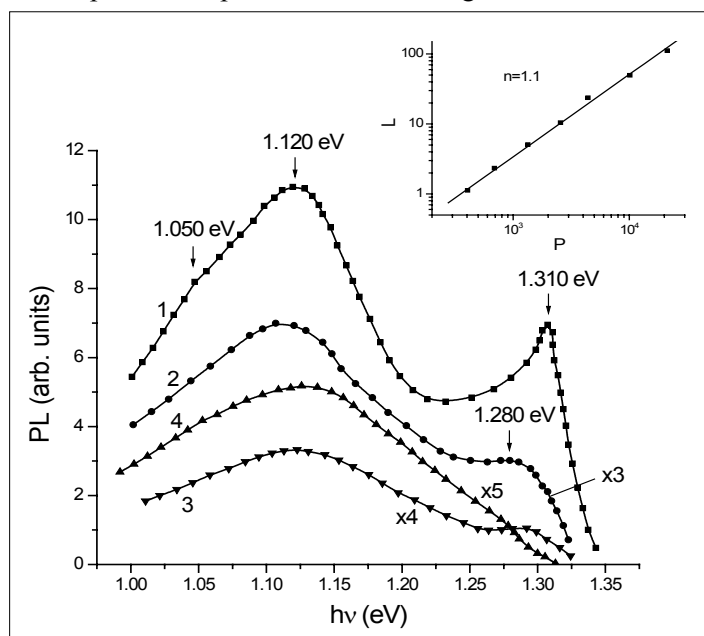


Fig.3. Caracteristica spectrală a FL structurilor $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$ la temperatura 78 K la excitare cu radiația laserului He-Ne ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$, $h\nu = 1,96 \text{ eV}$) cu densitatea:

1 – $2,1 \cdot 10^4 \text{ W/cm}^2$; 2 – $6,0 \cdot 10^3 \text{ W/cm}^2$; 3 – $1,4 \cdot 10^3 \text{ W/cm}^2$;
4 – $5,0 \cdot 10^2 \text{ W/cm}^2$.

În set: Dependența intensității FL (L) de densitatea excitării (P) benzii $h\nu = 1,120 \text{ eV}$.

Maximul benzii suplimentare este localizat la energia de $\sim 1,285 \text{ eV}$.

În [21] se arată că anume defectele de structură conduc la formarea unei benzii suplimentare de FL localizate la energii apropiate de banda excitonică.

Atomii de Se difuzați din nodurile rețelei cristaline formează niveluri energetice donore, pe când Bi poate crea și niveluri impuritate acceptoare. În [22] banda 1,285 eV se interpretează ca recombinare donor-banda de valență.

Stratul de la suprafața de contact a fost investigat prin metoda electroreflexie. Această metodă se aplică cu succes pentru cercetarea stratului de material de la interfața heterojuncțiunilor formate din materiale cu indici de refracție apropiați [23].

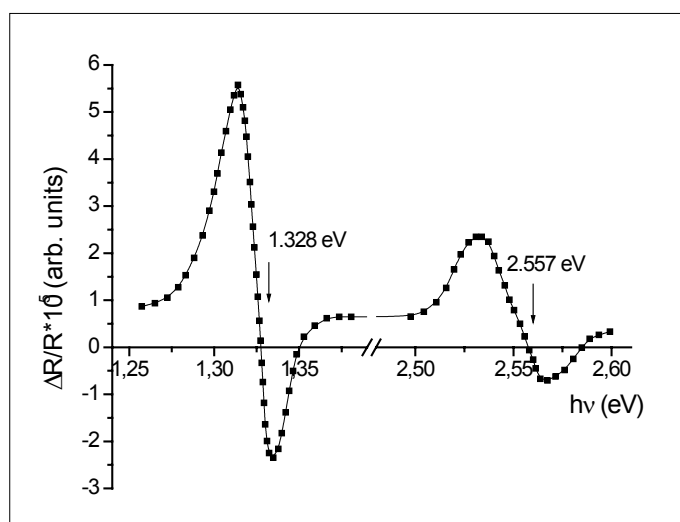


Fig.4. Electroreflexia luminii de la suprafața de contact $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$ la temperatura 78 K (tensiunea aplicată la structură $\sim 5 \text{ V}$ cu frecvența 1,2 kHz).

Spectrele de FL la $T = 78 \text{ K}$ de la interfața joncțiunilor $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$ (Fig.3) are aceeași structură de două benzi dominante: una de margine (banda îngustă) cu maxim la 1,310 eV și alta cu contur simetric larg (banda largă) cu maxim localizat în regiunea 1,120 eV.

După cum se arată în [20], păstrarea conturului simetric la radiația intensității de excitare de ~ 100 ori și dependența liniară a intensității fotoluminescente L de intensitatea de excitare sunt caracteristice pentru benzile impuritate, ale căror procese de excitare și de emisie a luminii au loc într-un centru de luminescență.

Banda de FL de margine (Fig.3) cu maxim la 1,310 eV clar se evidențiază la densități mari de excitare ($P \approx 2,1 \cdot 10^4 \text{ W/cm}^2$). La micșorarea intensității de excitare cu mai puțin de un ordin de mărime rămâne doar o urmă slabă a acestei linii. Ramura spre energii mari ale acestei benzi se întinde până la $\sim 1,34 \text{ eV}$. Noi asociem această bandă cu anihilarea luminescență a excitonilor localizați pe lângă defectele structurale formate la interfața joncțiunii $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$ și în stratul de InSe datorită difuziei reciproce a Bi și a Se.

În apropierea nemijlocită a benzii înguste (Fig.3, curba 1) este alipită o bandă suplimentară. Această bandă se evidențiază mult mai pronunțat la densități de excitare mici.

În Figura 4 este prezentat spectrul de reflexie modulată cu câmp electric alternativ (frecvența 1,2 kHz) la $T = 78 \text{ K}$. Joncțiunea $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$ a fost iluminată prin stratul transparent optic de Bi_2O_3 . Se evidențiază o oscilație bine pronunțată a funcției $\Delta R/R = f(h\nu)$ atât în regiunea benzii de absorbție a excitonilor direcți, cât și la energii de localizare a pragului de absorbție din adâncul benzii intrinseci.

Prezența stratului de Bi_2O_3 pe suprafața filmului de InSe și, de asemenea, presupusa difuzie a atomilor de seleniu și de bismut nu influențează asupra spectrului energetic în stratul de InSe din regiunea de contact. Spectrele de electroreflexie $\Delta R/R = f(h\nu)$ din Figura 4 au forma caracteristică pentru tranzițiile electronice bandă – bandă [1]. Energia $h\nu$ pentru care $\Delta R/R = 0$ corespunde energiei minime dintre banda de valență și banda de conducție. La temperatura 78 K (a se vedea Fig.4, curba 1) această energie este egală cu 1,328 eV și coincide întocmai cu energia excitonilor liberi în starea $n = 1$.

Punctului, în care $\Delta R/R = 0$, în adâncul benzii de absorbție intrinseci a filmului de InSe din componența joncțiunii $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$ îi corespunde 2,557 eV.

În regiunea marginii benzii de absorbție coeficientul de absorbție α atât pentru filmele de InSe, cât și pentru structurile $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$ (Fig.5) exponențial descrește odată cu energia. Panta acestei caracteristici se micșorează nu doar la majorarea temperaturii de la 78 K la 293 K, dar și la trecerea de la filmele de InSe la structurile $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$.

Este demonstrat experimental [24,25] și confirmat teoretic [26] că coeficientul de absorbție se descrie cu o funcție exponențială de energia fotonilor $h\nu$ de tipul

$$\alpha(h\nu) = \alpha_0 \exp\left[\frac{\sigma(T)}{kT}(h\nu - E_0)\right], \quad (2)$$

unde α_0 , E_0 sunt mărimi caracteristice materialului studiat, k – constanta Boltzman, T – temperatura absolută, $\sigma(T)$ – parametru dependent de temperatură, nu doar în cazul interacțiunii excitonilor cu fononii, dar și în cazul împrăștierii acestora la defectele structurale și stoechiometrice [27,28]

Parametrul $\sigma(T)$, care determină marginea benzii de absorbție, se scrie printr-o formulă empirică de temperatura T și de energia fononilor $\hbar\omega_f$ [10]

$$\sigma(T) = \sigma_0 \left(\frac{2kT}{\hbar\omega_f}\right) \tanh\left(\frac{\hbar\omega_f}{2kT}\right), \quad (3)$$

unde parametrul σ_0 caracterizează timpul de interacțiune a excitonilor cu fononii și cu defectele cristaline din material.

Micșorarea parametrului σ în structurile $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$ față de filmele de InSe poate fi explicată prin crearea, în rezultatul oxidării termice a stratului de bismut de pe suprafața filmului InSe, a defectelor structurale (difuzia termică a Se din film și a atomilor de bismut în interiorul filmului de InSe).

Despre stabilitatea termică a defectelor structurale în structurile $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$ în direct denotă și dependența liniară a funcției $\ln(\alpha) = f(h\nu)$ la temperatura 293 K (2).

Concluzii

1. Marginea benzii de absorbție fundamentală, atât a filmelor monocristaline de InSe, cât și a structurii $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$, este determinată de tranziții optice indirecte cu formarea excitonilor tridimensionali la energia 1,331 eV ($T = 78$ K). Încălzirea eșantionului până la 293 K conduce la atenuarea absorbției excitonice. Marginea benzii fundamentale la $T = 293$ K este localizată la 1,253 eV.

2. În rezultatul tratamentului termic al structurii $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$, în atmosfera normală, în filmul de InSe se formează defecte, care, odată cu ecranarea legăturilor excitonice, conduc și la amplificarea procesului de interacțiune cu excitoni.

3. În adâncul benzii de absorbție indirecte se realizează tranziții optice directe, lățimea benzii optice fiind egală cu 2,515 eV ($T = 78$ K) și 2,254 eV ($T = 293$ K).

4. Spectrul de ER (Fig.4) conține două benzi: una în regiunea absorbției excitonilor indirecte în InSe (a) și a doua bandă localizată în intervalul pragului de absorbție prin tranziții optice directe (b). Maximul benzii de absorbție excitonică corespunde energiei la care $\Delta R/R \rightarrow 0$ ($h\nu = 1,305$ eV).

Referințe:

- Mercier A. and Voitchovsky J.P. // J. Phys. Chim. Solids, 36, 1411 (1975).
- Lieth R.M.A. (Ed.), Preparation and Crystal Growth of Materials with Layer Structures, Reidel, Dordrecht, Holland p.235-254 (1977).
- McConny J.V., Murray R.B. // J. Phys. C., 10 1211 (1977).

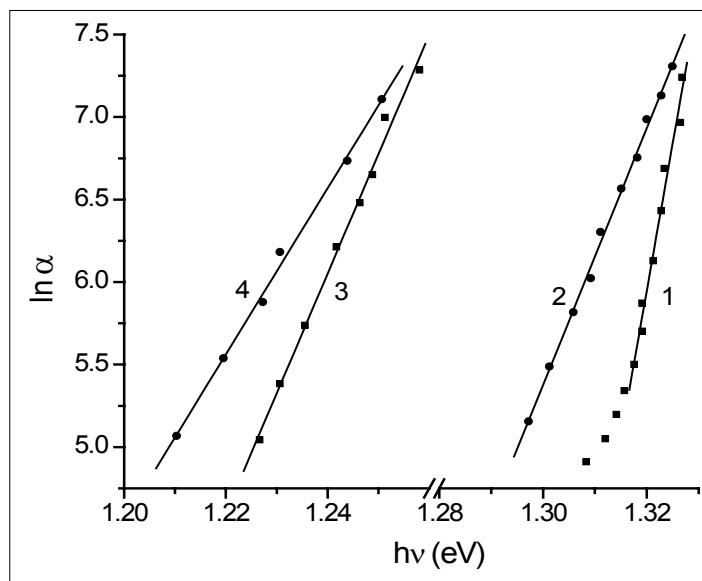


Fig.5. Funcția $\alpha = f(h\nu)$ pentru straturile de InSe (1, 3) și structurile $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{InSe}$ (2, 4) la temperatura 78 K (1, 2) și 293 K (3, 4).

4. Rovalyuk Z.D., Katerynychuk V.M., Sidor O.M. // J. Optoelectr. Adv. Mater., 7(2), 903 (2005).
5. Katerynychuk V.M., Kovelyuk M.Z., Tovarnitsky M.V. // Optoelectr. Adv. Mater., 514, 853 (2003).
6. Segura A., Guesdon J.P., Besson J.M. and Chevy A. // Rev. Phys. Appl., 14, 253 (1978).
7. Segura A., Chevy A., Guesdon J.P. and Besson J.M. // Sol. Energy Mater., 2, 159 (1980).
8. Hosegawa Y. and Abe Y. // Phys. Status. Solidi A70, 615 (1982).
9. Chevy A., Gousskov A. and Besson J.M. // J. Cryst. Growth, 43, 756 (1983).
10. Hosan T., Kumar N., Sharma B.L. and Warrer A.V.R. // Ind. J. Pure Appl. Phys., 16, 575 (1978).
11. Camessel J., Merle P., Mathieu H. and Chevy A. // Phys. Rev., 17, 4718 (1978).
12. Evtodiev I., Petrov M., Stamate M., Caraman M.. A study of the locate state for GaSe and InSe crystals // Condensed Matter. Physics. Timișoara (România), p.32-33 (1999).
13. Caraman M.I., Mushinskii K.M., Mushinskii V.P. // I. Appl. Spectroscopy, 2b (1), 108 (1977).
14. Blossi C. De., Micocci C., Rizzo A. and Tepore A. // Phys. Stat. Solidi A 74, 291 (1982).
15. Gnotenco Iu. P. and Zirko Iu. I. // B 142, 595 (1987).
16. Bahtinov A.P., Kovalyuk Z.D., Sydor O.M., Katerynchiuk V.N., Litvin O.S. // Phys. Stat. Sol. (rus), 49/8, 1497 (2007).
17. Katerynchiuk V.N., Kovalyuk Z.D. // Fiz. Tehn. Semic. (rus) 3814, 417 (2004).
18. Cardona M. Модуляционная спектроскопия.
19. Capozzi V. // Phys. Rev. B. 28 (8), 4620 (1983).
20. Capozzi V. and Minafra A. // J. Phys. C., 14, 4335 (1981).
21. Imai K., Suzuki K., Haga T. and Abbe Y. // J. Appl. Phys., 60 (9), 3374 (1986).
22. Abha and Warrier A.V.R. // J. Appl. Phys., 53 (7), 5169 (1982).
23. Caraman M., Gașin P., Voltive S. // Thin Sol. Films, 480-481, 254-255 (2005).
24. Kurik M.V. // Phys. Stat. Solide, A8, 8 (1971).
25. Cody G.D., Tiedje T., Aboles B., Grolstein Y. // Phys. Rev. Left., 47, 1480 (1981).
26. Screiber M. // Phys. Rev., B34, 2914 (1986).
27. Shioda T., Chichibu S., Irie T., Nakanishi H., Kariya T. // S. Appl., Phys. 80 (2), 1106 (1996).
28. Abay B., Guder H.S., Efeoglu H., Yogurtcu Y.K. // Physica, B. 254, 148 (1998).

Prezentat la 12.11.2008