

CZU 621.315.592.

## EFECTE OPTICE ÎN SEMICONDUCTOARELE SEMIMAGNETICE $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ , $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$

**Andrian Gheorghită**, l.sup.dr.; **Eugen Gheorghită**, prof.dr.hab.;  
**Leonid Guțuleac**, conf.dr.; **Igor Postolachi**, conf.dr.; **Pantelei Untilă**, conf.dr.

(Universitatea de Stat din Tiraspol, Chișinău, Moldova)

**Vladimir Ivanov-Omskii**, prof.dr.hab.

(Institutul Fizico-Tehnic „A. Ioffe” AȘ Rusia, Sankt-Petersburg)

În lucrare se analizează particularitățile influenței temperaturii, a câmpului magnetic și a concentrației componentelor asupra modificării spectrului energetic al purtătorilor de sarcină în semiconductoarele semimagnetice  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  ( $0,08 \leq x \leq 0,2$ ),  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  ( $0 \leq x \leq 0,2$ ;  $0 \leq y \leq 0,23$ ). Eșantioanele studiate în această lucrare au fost obținute prin metoda epitaxiei de fază lichidă în sistem închis din soluții îmbogățite cu telur pe substraturi orientate  $\langle 111 \rangle$  de telurid de cadmiu în regim termodinamic determinat de structura diagramelor de fază a aliajelor  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  și  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  [1]. Concentrația purtătorilor de sarcină în urma procesului de coacere, reieșind din măsurătorile galvanomagnetice, n-a depășit  $(1,2 \div 1,5) \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ .

În lipsa câmpului magnetic exterior, la temperaturile  $(4,2 \div 300) \text{ K}$  spectrele de absorbție a semiconductoarelor semimagnetice  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  și  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  au aceeași formă ca și spectrele de absorbție a materialelor nemagnetice  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  cu parametrii spectrului energetic egali. Se analizează influența temperaturii, a câmpului magnetic și a componenței asupra modificării spectrului energetic al purtătorilor de sarcină.

Studierea comportamentului frontierei de absorbție fundamentale a semimagneticelelor a permis calcularea integralelor interacțiunii de schimb  $N_0\alpha$  și  $N_0\beta$ .

Rezultatele experimentale se explică în cadrul modelelor teoretice Kane, Pidgenon-Brown.

### Introducere

Un interes deosebit se acordă în literatura de specialitate semiconductoarelor semimagnetice  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ,  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  ca materiale de perspectivă pentru confecționarea, pe baza lor, a receptoarelor de radiații infraroșii în diapazonul spectral  $(3 \div 5)$  și  $(8 \div 12) \mu\text{m}$  [2,3,4]. Actualmente, pentru confecționarea receptoarelor de radiații infraroșii din acest diapazon, se folosesc, în principiu, aliajele  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  [4]. În baza acestor aliaje, se construiesc receptoare cu caracteristici performante. Deși există succesele în tehnologia materialelor cunoscute în acest domeniu, totuși există o serie de probleme legate de stabilitatea materialelor  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ , determinată de migrația necontrolată a defectelor rețelei cristaline și a ionilor de mercur în volumul și în stratul de suprafață. Nivelul înalt de modernizare a tehnologiei de obținere a acestor materiale nu permite compensarea acestor neajunsuri. În această situație, destul de actuală devine problema materialelor noi, multifuncționale, cu aceleași caracteristici energetice ca și  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ , dar care ar poseda cu o stabilitate a caracteristicilor electronice mai înaltă. Anumite rezultate, în această ordine de idei, sunt determinate de

introducerea în aliajul ternar  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  a unei componente suplimentare sau înlocuirea cadmiului cu un alt element, de exemplu, manganul, fierul sau zincul.

Rezultatele indicate în literatura de specialitate [4,6] confirmă că introducerea sau înlocuirea cadmiului cu mangan și obținerea semiconductoarelor semimagnetice ternare  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  și cuaternare  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  contribuie la obținerea materialelor cu o stabilitate mai ridicată, la îmbunătățirea proprietăților mecanice și se manifestă pozitiv asupra stabilității caracteristicilor fizice a receptoarelor de radiație infraroșie. Perspectiva materialelor semimagnetice ternare  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  și cuaternare  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  creează o serie de probleme de cercetări suplimentare atât tehnologice, cât și a proprietăților fizice ale acestor materiale. Una dintre aceste probleme, de exemplu, este cercetarea spectrului energetic al purtătorilor de sarcină și modificarea acestuia sub influența concentrației cadmiului și a manganului, sub influența temperaturii și a câmpului magnetic, standartizarea experimentală a funcției  $e_g = e_g(x, y)_T$  ( $e_g$  - lărgimea benzii energetice interzise) etc.

În această lucrare se pun în evidență rezultatele experimentale ale influenței temperaturii, câmpului magnetic și concentrației cadmiului și manganului asupra modificării spectrului energetic al purtătorilor de sarcină în  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ,  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  obținute în baza ridicării spectrelor de absorbție la diferite temperaturi în câmpul magnetic exterior și în lipsa câmpului magnetic.

Rezultatele experimentale au fost obținute pentru intervalul de temperaturi  $4,2 \div 300 \text{ K}$  și diapazonul de câmpuri magnetice de până la  $6T$ . S-au studiat peliculele epitaxiale  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  ( $0,018 \leq x \leq 0,23$ ),  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  ( $0 \leq x \leq 0,2$ ;  $0 \leq y \leq 0,23$ ).

## 2. Tehnologia obținerii peliculelor epitaxiale $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ , $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ și metodică experimentului

Eșantioanele studiate în această lucrare au fost obținute prin metoda epitaxiei de fază lichidă în sistem închis din soluții îmbogățite cu telur, pe substraturi orientate  $\langle 111 \rangle$  de telurid de cadmiu în regim termodinamic determinat de structura diagramelor de fază a aliajelor  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  și  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  [1]. Temperatura substratului de telurid de cadmiu în procesul de obținere a peliculelor a variat în intervalul de temperaturi ( $873 \div 933$ )K iar presiunea suplimentară a vaporilor de mercur în sistemul închis n-a depășit  $0,1 \text{ atm}$ . Regimul tehnologic de obținere a peliculelor  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ,  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ , cu conținutul nominalizat, a fost ales în conformitate cu diagrama de stare a aliajului respectiv. Procesul tehnologic a permis obținerea peliculelor omogene după conținut de conductivitate electrică de tipul  $-p$ . Următoarea etapă a procesului tehnologic a fost coacerea peliculelor în vapori de mercur timp de  $4 \div 8$  ore la  $T=573\text{K}$ . Concentrația golurilor peliculelor după procesul de coacere n-a depășit  $(1,2 \div 1,5) \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ . Densitatea dislocațiilor peliculelor studiate în această lucrare n-a fost mai mare de

$(4\div 6)\cdot 10^4 \text{ cm}^{-2}$ . S-a verificat și stabilitatea caracteristicilor fizice ale peliculelor  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ,  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  în timp, în raport cu peliculele  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ . După 6 luni de păstrare a peliculelor în atmosferă, rezultatele experimentale obținute confirmă o stabilitate cu 20% mai mare decât stabilitatea respectivă a caracteristicilor fizice ale peliculelor  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  cu aceeași lărgime a benzii energetice interzise.

Peliculele  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ,  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  au fost supuse și cercetărilor röntghenostructurale în scopul determinării repartiției omogene a componentelor aliajului pe dimensiunile geometrice (grosime, suprafață) ale peliculelor. Aceste studii experimentale au permis să evidențiem o omogenitate suficientă a peliculelor pe o grosime de  $20\div 60 \mu\text{m}$  pentru aliajul  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  și  $20\div 30 \mu\text{m}$  pentru aliajul  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ .

Efectele optice s-au studiat cu ajutorul unei instalații montate în baza spectrometrului SPM-2. Pentru studierea efectelor de transparență în diapazonul spectral respectiv peliculele au fost eliberate mecanic, de substrat și instalate liber într-un modul confecționat din aluminiu cu o ferestruică respectivă. Cunoscându-se din experiment transparența optică și grosimea peliculei, s-a determinat coeficientul de absorbție, conform concepției expuse în [7] și dependența acestui coeficient de energia fotonilor incidenți, adică s-a obținut spectrul experimental  $a = a(hw)$  și modificarea lui sub influența temperaturii și a câmpului magnetic. Spectrele de absorbție teoretice s-au calculat, utilizându-se modelul energetic al semiconductorilor cu lărgimea îngustă a benzii energetice interzise [8,9].

### 3. Rezultatele experimentale și discuția lor

#### 3.1. Influența temperaturii asupra modificării spectrelor de absorbție

În fig. 1 sunt prezentate spectrele de absorbție ale peliculei epitaxiale  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  ( $x = 0,16$ ;  $y = 0,02$ ) ridicate la temperaturile  $4,2\text{K}$  (curba 1);  $55\text{K}$  (curba 2);  $80\text{K}$  (curba 3) în lipsa câmpului magnetic. Din aceste rezultate, se observă că spectrele primite reprezintă niște segmente din spectrele de absorbție respective; frontiera absorbției are aceeași formă la acele temperaturi, la care s-au realizat experimentele; forma abruptă a structurii spectrului de absorbție confirmă calitatea superioară a peliculelor  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  studiate și un nivel tehnico-științific satisfăcător al procesului tehnologic de obținere a peliculelor; la micșorarea temperaturii, forma spectrului de absorbție, înregistrat experimental, nu se schimbă, dar se deplasează neobișnuit, spre deosebire de semiconductoarele din grupa  $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ , în diapazonul spectral al energiilor mici. Forma spectrului de absorbție (exemplul din fig. 1) ne permite să conchidem că structura spectrelor de absorbție este determinată de tranzițiile optice directe de tipul „banda energetică de valență a golurilor grele – banda energetică de conducție”, după cum se demonstrează și în lucrarea [14]. În baza concepțiilor descrise în [7], din spectrele de absorbție înregistrate, s-a determinat lărgimea benzii energetice interzise  $e_g = e_g(x, y)_T$ ;

$e_g = e_g(T)_{x,y}$ ;  $e_g = e_g(B)_{x,y,T}$ ;  $\left(\frac{de_g}{dT}\right)_x = f(x)$ ;  $\left(\frac{de_g}{dT}\right)_y = f(y)$ ;  $\left(\frac{de_g}{dB}\right)_T = f(x)$ . În

mod analogic, s-au ridicat și analizat spectrele de absorbție pentru peliculele de  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  cu diferite concentrații a manganului, pentru care, folosindu-se aceleași concepții fizice, s-au determinat funcțiile de mai sus.

În fig. 1, liniile continue reprezintă spectrele de absorbție teoretice, calculate în cadrul modelelor teoretice Pidjenon-Brown și Kane [7,8], care descriu suficient spectrul energetic al purtătorilor de sarcină în materiale cu lărgimea îngustă a benzii energetice interzise pentru regiunea frontierei absorbției fundamentale și cu concepția tranzițiilor optice directe.

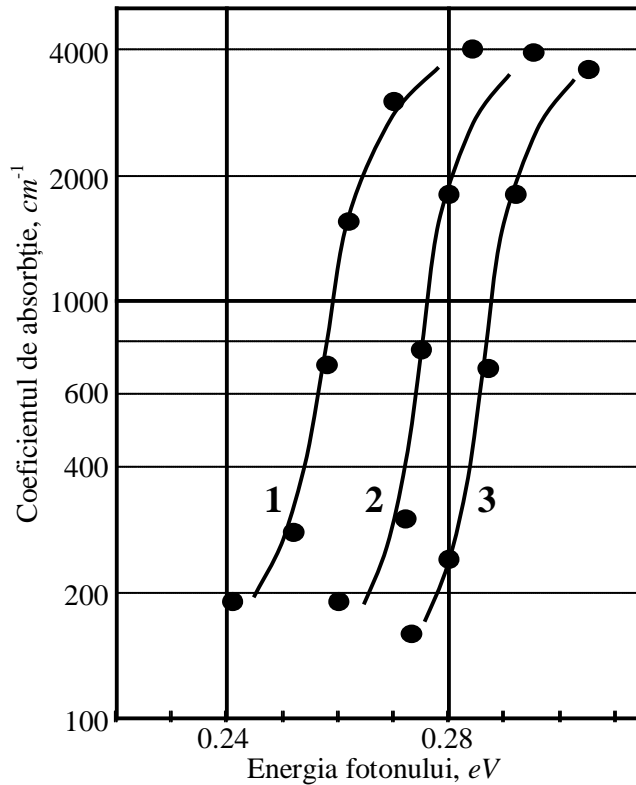


Fig.1. Spectrele de absorbție ale peliculelor epitaxiale  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  ( $x=0,16$ ;  $y=0,02$ ) înregistrate în lipsa câmpului magnetic la temperaturile:

1) 4.2 K; 2) 55 K; 3) 80 K.

Puncte – experiment; linii continue – spectre de absorbție calculate teoretic

Concordanța dintre spectrele de absorbție experimentale cu cele teoretice s-a obținut folosindu-se în calcule următoarele caracteristici: masa efectivă a electronilor  $(m_e^*/m_0) = 2,4 \cdot 10^{-2}$  și masa efectivă a golurilor grele  $m_{hh}^* = 0,43m_0$ ;

energia dispiciării spin-orbită  $\Delta = 1\text{eV}$ ; constanta dielectrică  $\epsilon_0 = 16$ ; elementul matricial de interacțiune  $P = 8,3 \cdot 10^{-8} \text{eV} \cdot \text{cm}$ . Folosindu-se spectrele de absorbție fundamentale în cadrul concepției tranzițiilor optice directe „banda de valență a golurilor grele – banda de conducție”, s-a determinat lărgimea benzii energetice interzise în funcție de componența aliajului și de temperatură. Rezultatele obținute sunt incluse în figurile 2, 3 și 4. În fig. 2 sunt reprezentate dependențele lărgimii benzii interzise de concentrația manganului pentru diferite pelicule  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  la  $T = 300\text{K}$ , obținute din spectrele experimentale de absorbție și spectrele de iradiere.

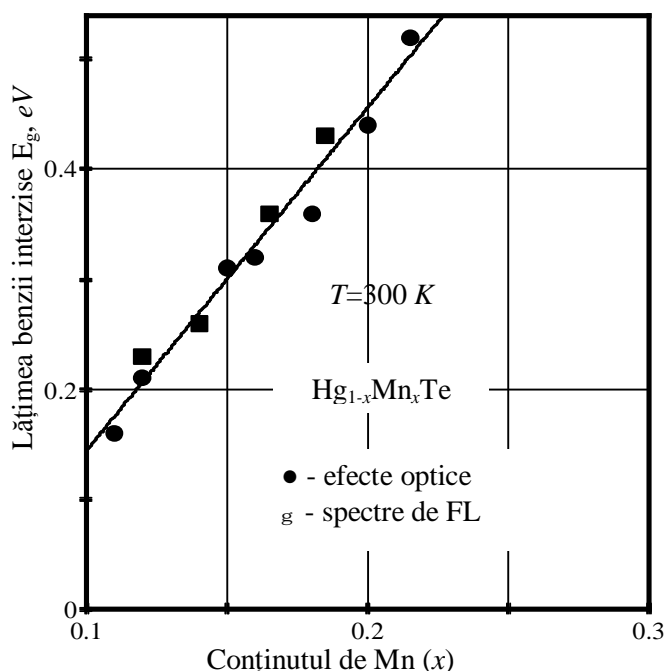


Fig.2. Dependența lărgimii benzii energetice interzise de conținutul manganului  $E_g = E_g(x)$  pentru sistemul ternar  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  determinată din structura spectrelor de absorbție (●) și spectrelor de iradiere FL (■) pentru temperatura de  $300\text{K}$

Datele experimentale pentru funcția  $e_g = e_g(x)_T$  confirmă o dependență neliniară care, cu un anumit grad de exactitate în cadrul metodei pătratelor mici, poate fi aproximată ca o dependență liniară confirmată prin linia continuă din această figură. Paralel cu efectele de absorbție pentru determinarea lărgimii benzii energetice interzise s-au utilizat spectrele de iradiere. Spectrele de iradiere (spectrele FL), după structura lor au forma unei fâșii largi, analizându-le după metodă cunoscută de separare a spectrelor Aliantz-Fogh. Presupunând că aportul esențial în această tranziție aparține tranziției de tipul „bandă energetică de conducție – banda energetică de valență”, după maximul fâșiei dispersate, am determinat lărgimea benzii energetice interzise. Rezultatele experimentale pentru

funcția  $e_g = e_g(x)$ , obținute din analiza structurii spectrelor de absorbție și a spectrelor de fotoluminescență, sunt prezentate pentru sistemul ternar  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  la  $T=300\text{K}$  în fig. 2. Rezultatele experimentale obținute în urma acestor investigații cu pelicule de aceeași componență corelează suficient între ele.

Investigații de același fel s-au realizat și pentru peliculele cuaternare  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  cu diferite concentrații de cadmiu și mangan la diferite temperaturi. Spectrele de absorbție pentru peliculele cuaternare la temperatura dată, în lipsa câmpului magnetic, au aceeași formă ca și spectrele de absorbție ridicate pentru pelicule ternare prezentate în fig. 2. Folosindu-se aceeași procedură, s-a determinat pentru aceste materiale lărgimea benzii energetice interzise și modificările acestui parametru în funcție de temperatura, concentrația componentelor și prezența câmpului magnetic de o anumită geometrie.

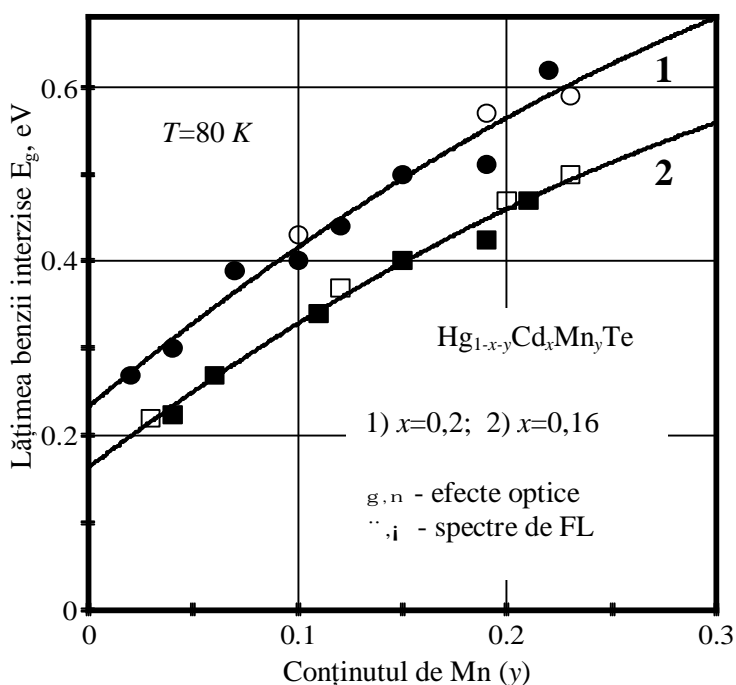


Fig. 3. Dependenta  $E_g = E_g(y)_{x,T}$  pentru pelicule epitaxiale  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  1)  $x=0,2$ ; 2)  $x=0,16$  determinată din spectrele de absorbție ( $\bullet, \circ$ ) și spectrele de iradiere ( $\blacksquare, \square$ ). Liniile continue sunt calculate cu formula (1)

Dependenta lărgimii benzii energetice interzise de parametrii aliajului este prezentată în fig. 3 pentru două pelicule cu concentrația cadmiului  $x = 0,2$  (curba 1) și  $x = 0,16$  (curba 2) în funcție de concentrația manganului. Rezultatele sunt obținute din spectrele de absorbție și spectrele de fotoluminescență ridicate la temperatura  $80\text{K}$ . După aceeași metodă, au fost obținute rezultatele reprezentate în fig. 4, pentru  $y = 0,12$  în funcție de concentrația cadmiului ridicate din aceleași experimente.

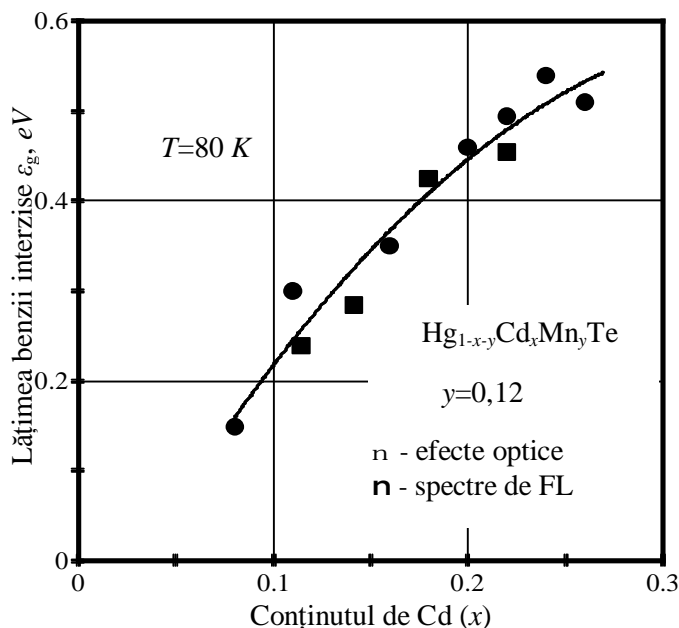


Fig. 4. Dependența  $e_g = e_g(x, y)_T$  pentru peliculele epitaxiale  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_y\text{Mn}_y\text{Te}$  ( $y=0,12$ ) determinată din spectrele de absorbție ( $n$ ) și spectrele de iradiere ( $n$ ). Linia continuă este calculată prin formula (1)

Cele prezentate în fig. 2, 3 și 4 ne permit să conchidem: cu mărirea concentrației manganului în  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ , frontiera absorbției fundamentale se deplasează în diapazonul spectral al energiilor mari. În cazul peliculelor cuaternare  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_y\text{Mn}_y\text{Te}$  constatăm următoarele: pentru o peliculă cu același conținut de cadmiu (fig. 3), odată cu mărirea concentrației manganului în aliaj, frontiera absorbției fundamentale (lărgimea benzii energetice interzise) se deplasează la fel în diapazonul energiilor mari; pentru aceeași concentrație a manganului, la mărirea concentrației cadmiului în aliaj, frontiera absorbției fundamentale se deplasează, de asemenea, în diapazonul spectral al energiilor mari. Aceste rezultate ne permit să constatăm pentru sistemul  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_y\text{Mn}_y\text{Te}$  că, variind în anumite intervale de concentrații conținutul cadmiului și manganului, putem obține materiale cu aceeași lărgime a benzii energetice interzise, dar cu concentrații diferite de mangan. Aceasta este o concluzie destul de importantă pentru studiarea experimentală a interacțiunii de schimb, determinată de specificul manganului ca și component al aliajului respectiv.

Comparând spectrele de absorbție ridicate la temperatura dată pentru peliculele  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  și  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_y\text{Mn}_y\text{Te}$ , discutate mai sus, cu cele prezentate în lucrările [9,10] pentru pelicule de  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ , menționăm: materialele semimagnetice  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ,  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_y\text{Mn}_y\text{Te}$  cît și materialele nemagnetice  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ , cu aceeași lărgime a benzii energetice interzise la aceeași temperatură,

în lipsa câmpului magnetic exterior, au aceeași formă. La această concluzie se ajunge comparându-se rezultatele lucrării date cu cele prezentate în [14, 17].

Liniile continue din fig. 3, 4 reprezintă calcule teoretice ale funcției  $e_g = e_g(x, y)_T$ . Este evident faptul că, pentru valorile componentelor aliajului  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ , este necesară obținerea unei funcții ce ar reflecta dependența structurii și a componentei aliajului și energia tranzițiilor optice directe. În cadrul modelului unui cristal virtual, expus în lucrarea [12], pentru calcularea funcției  $e_g = e_g(x, y)_T$ , s-a folosit următoarea expresie analitică:

$$e_g(x, y)_T = \frac{(1-x-y)(xe_{12}(z) + ye_{13}(l) + xy e_{23}(s))}{(1-x-y)(x+y) + xy}, \quad (1)$$

unde  $e_{12} = e_g(\text{Hg}_{1-z}\text{Cd}_z\text{Te})$ ;  $e_{23} = e_g(\text{Mn}_s\text{Cd}_{1-s}\text{Te})$ ;  $e_{13} = e_l(\text{Mn}_l\text{Cd}_{1-l}\text{Te})$ ;

$$z = \frac{(2x+y)}{2}; \quad s = \frac{1-x+y}{2}; \quad l = \frac{(2y+x)}{2}.$$

Formele analitice ale funcțiilor  $e_{12}$ ;  $e_{13}$ ;  $e_{23}$  utilizate sunt asemenea celor cunoscute în lucrările [12, 13, 14, 15]. Analizându-se rezultatele obținute din experimentele optice și de iradiere, menționăm o corelare satisfăcătoare a curbelor experimentale cu cele teoretice în diapazonul de concentrații studiat.

Având spectrele absorbției fundamentale, s-a calculat  $\left(\frac{de_g}{dT}\right)_x = f(x)$  pentru  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  și  $\left(\frac{de_g}{dT}\right)_{x,y} = f(x, y)$  pentru  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ .

Deplasarea frontierei absorbției fundamentale în funcție de temperatură în  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  și  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  se poate explica în baza cunoscutei concepții de explicare a formei funcției  $e_g = e_g(T)_x$  pentru  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ , descrisă în lucrarea [14]. Valorile numerice ale coeficientului termic al benzii energetice interzise pentru materialele semimagnetice studiate sunt aproximativ de două ori mai mari decât cele cunoscute pentru  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  cu aceeași lărgime a benzii energetice interzise. Una dintre cauzele obținerii acestor valori poate fi structura cristalografică diferită pentru combinațiile  $\text{HgTe}$ ,  $\text{CdTe}$  și  $\text{MnTe}$ .

### 3.2. Influența câmpului magnetic exterior asupra modificării spectrului energetic al purtătorilor de sarcină în $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ și $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$

Rezultatele obținute confirmă că, în lipsa câmpului magnetic exterior, spectrele de absorbție fundamentală a semimagneticilor  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  și  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$ , materialele cu lărgimea îngustă a benzii energetice interzise, la temperaturi joase, au aceeași formă ca și materialele nemagnetice  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ . În scopul studierii restructurării spectrului energetic al purtătorilor de sarcină în



câmpul magnetic, s-au ridicat spectrele de absorbție ale materialelor semimagnetice  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  și  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  în câmpul magnetic exterior cu inducția de  $6T$  la temperatura de  $4,2K$ .

Forma segmentului spectrului absorbției fundamentale pentru  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  și  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  (lărgimea îngustă a benzii energetice interzise) în câmpul magnetic exterior este aceeași ca și în lipsa câmpului magnetic la  $4,2K$ , numai că este deplasată în diapazonul spectral al energiilor mici.

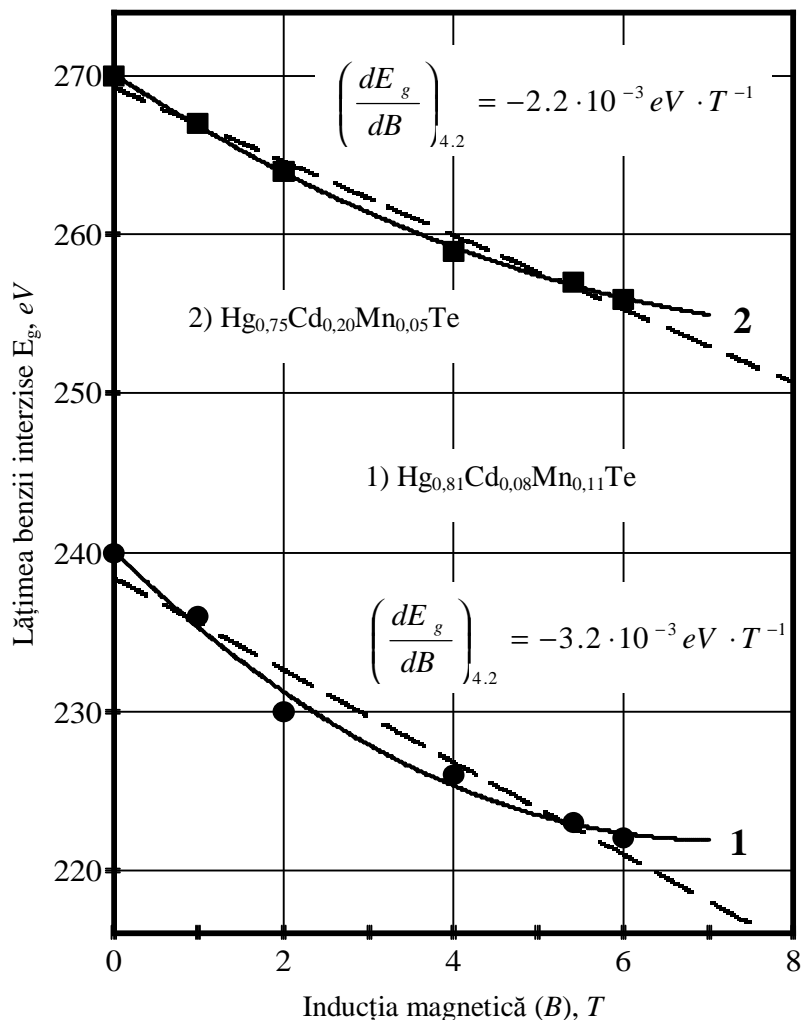


Fig.5. Dependența  $E_g = E_g(B)_{x,y,T}$  pentru pelicule epitaxiale  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  la  $T=4,2 K$

Folosindu-se aceeași procedură experimentală, s-a determinat lărgimea benzii energetice interzise în câmpul magnetic și modul în care se modifică acest parametru în câmpul magnetic  $e_g = e_g(B)$ .

Pentru două pelicule din  $Hg_{0,81}Cd_{0,08}Mn_{0,11}Te$  și  $Hg_{0,75}Cd_{0,2}Mn_{0,05}Te$  la temperatura de  $4,2K$  din spectrele  $a = a(B)_{hw}$ , s-a determinat forma experimentală a funcției  $e_g = e_g(B)$ . Rezultatele sunt prezentate în fig. 5. Din spectrele de absorbție fundamentală, în lipsa câmpului magnetic, avem  $e_g(0) = 240meV$  pentru aliajul  $Hg_{0,81}Cd_{0,08}Mn_{0,11}Te$  și  $e_g(0) = 270meV$  pentru aliajul  $Hg_{0,75}Cd_{0,2}Mn_{0,05}Te$ . Spectrele de absorbție, pentru peliculele enunțate la  $T = 4,2K$ , în diferite câmpuri magnetice, au fost folosite pentru calcularea experimentală a lărgimii benzii energetice interzise. Datele obținute sunt prezentate prin puncte în fig. 5. Extrapolând această dependență experimentală pentru  $B \rightarrow 0$ , primim  $e_g$  pentru  $B = 0$ . Rezultatele obținute din această extrapolare corelează cu cele primite din forma spectrelor de absorbție ridicate în lipsa câmpului. Folosindu-se rezultatele experimentale, s-a calculat  $\left(\frac{de_g}{dB}\right)_T$  pentru aceste pelicule. Am obținut următoarele valori:

$$\text{pentru peliculele } Hg_{0,81}Cd_{0,08}Mn_{0,11}Te \quad \left(\frac{de_g}{dB}\right)_T = 3,2 \cdot 10^{-3} eV \cdot T^{-1},$$

$$\text{pentru pelicula } Hg_{0,75}Cd_{0,2}Mn_{0,05}Te \quad \left(\frac{de_g}{dB}\right)_T = 2,2 \cdot 10^{-3} eV \cdot T^{-1}.$$

Diagrama nivelelor Landau, calculată în cadrul modelului teoretic Pidgenon-Brown [9], ținându-se cont de interacțiunea de schimb specifică materialelor semimagnetice, este reprezentată în fig. 6. Diagrama prezentată în această figură confirmă deplasarea anomală la frontiera absorbției fundamentale în câmpul magnetic pentru  $Hg_{1-x}Mn_xTe$  și  $Hg_{1-x-y}Cd_xMn_yTe$ . Folosind concepția acestei diagrame energetice (spre deosebire de materialele nemagnetice, nivelul energetic  $e_B(-1)$  în câmpul magnetic se deplasează pe diagrama energetică în sus), s-a calculat deplasarea frontierei absorbției fundamentale în câmpul magnetic. Linia continuă în fig. 5 reprezintă deplasarea teoretică a frontierei absorbției fundamentale (nivelul coeficientului de absorbție  $\sim 500cm^{-1}$ ) în câmpul magnetic la temperatura  $4,2K$ . Menționăm corelarea satisfăcătoare a datelor experimentale cu cele teoretice. Parametrii variaționali pentru obținerea corelației datelor experimentale cu cele teoretice sunt integralele de schimb pentru banda energetică de conducție ( $N^\circ\alpha$ ) și pentru banda energetică de valență ( $N^\circ\beta$ ). Coincidență satisfăcătoare s-a obținut pentru  $|N_0\alpha| = 0,42eV$ ;  $|N_0\beta| = 0,8eV$ . Aceste valori corelează cu cele cunoscute din analiza experimentelor privitor la spectroscopia purtătorilor de sarcină în câmpul magnetic pentru aceste pelicule [18].

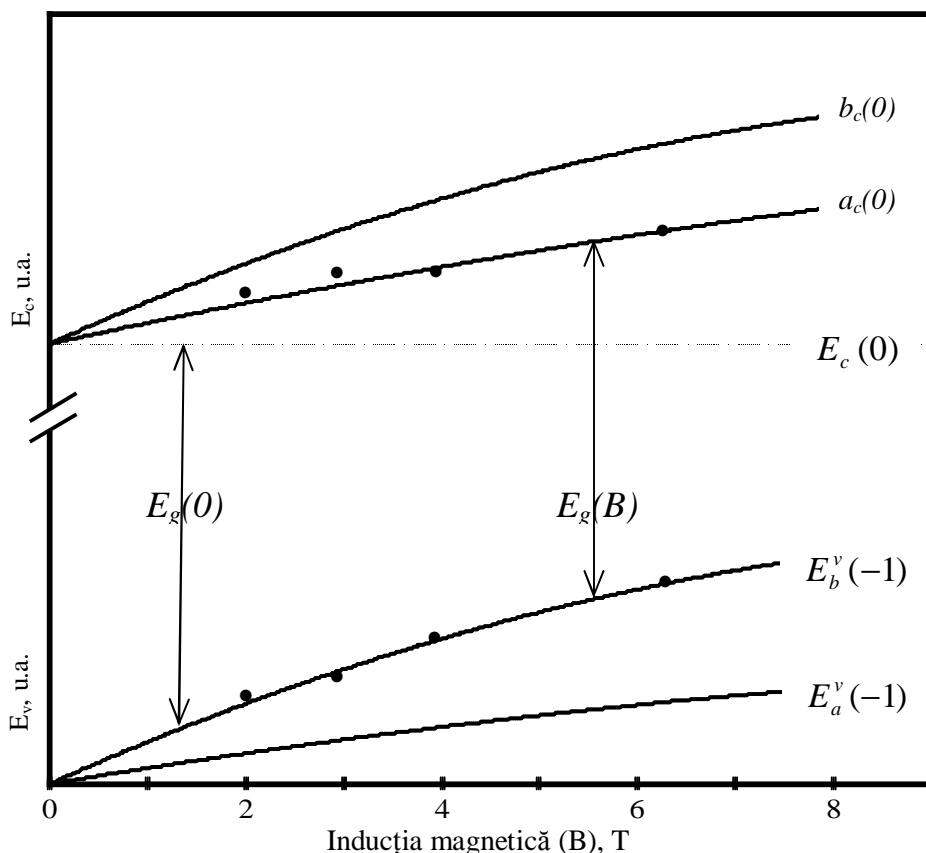


Fig.6. Diagrama energetică a nivelelor Landau calculată conform [8].

(● – date experimentale)

La fel, din deplasarea frontierei de absorbție fundamentale în câmpul magnetic, s-au determinat masele efective ale electronilor și golurilor. Valorile corelează cu cele folosite în calculele spectrelor de absorbție în lipsa câmpului magnetic. Pentru parametrii reduși ai lui Landinger, s-a folosit  $\tilde{g}_1 = 3,3$ ;  $\tilde{g}_2 = 0,3$ ;  $\tilde{k} = 0$  [18].

#### 4. Concluzii

Rezultatele experimentale obținute în această lucrare permit formularea următoarelor concluzii:

1. Forma segmentelor spectrelor de absorbție, studiate pentru diferite temperaturi și conținuturi, pentru  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  și  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  este identificată ca tranziții optice „banda energetică de valență a golurilor grele – banda energetică de conducție”;
2. În lipsa câmpului magnetic, micșorarea temperaturii contribuie la deplasarea frontierei absorbției fundamentale a materialelor semimagnetice  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$

și  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  (materiale cu banda energetică interzisă îngustă) în diapazonul spectral al energiilor mici. În mod experimental, s-a calculat coeficientul termic al benzii energetice interzise  $\frac{de_g}{dT} = f(x)$ ;  $\frac{de_g}{dT} = f(x, y)$ ;

3. Din datele experimentale pentru  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  și  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  s-au determinat formele de influență a temperaturii și a compoziției asupra funcțiilor  $e_g = e_g(x)$ ;  $e_g = e_g(x, y)$ ;  $e_g = e_g(T)_x$ ;  $e_g = e_g(T)_y$ . Folosindu-se concepțiile modelelor energetice Kane și Pidgenon-Brown s-au calculat spectrele teoretice ale absorbției fundamentale. S-a demonstrat că, în lipsa câmpului magnetic exterior, spectrele absorbției fundamentale au aceeași formă ca și spectrele absorbției fundamentale pentru materialele nemagnetice cu banda energetică îngustă, spre exemplu  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ;
4. În câmpul magnetic exterior la temperaturi joase (4,2K), frontiera absorbției fundamentale se deplasează anomal în diapazonul spectral al energiilor mici.

Din datele experimentale s-a calculat  $\left(\frac{de_g}{dB}\right)_T = f(x, y)$ . Folosindu-se această

dependență, s-au determinat masele efective ale purtătorilor de sarcină și integralele de schimb pentru banda de conducție ( $N_o\alpha$ ) și pentru banda energetică de valență ( $N_o\beta$ ).

### Bibliografie

1. Untilă, P. I.// Epitaxia de fază lichidă a semiconductoarelor semimagnetice  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  și studierea proprietăților lor. Disertația de doctor în științe fizico-matematice, Leningrad, 1988, 136 p.
2. Furdyna, I.K.// I. Vac. Science Tehnol., 1982, v. 21, Nr. 1, 220 p.
3. Фурдына, И.К. Полумангнитные полупроводники. М. Наука, 1987. 500 p.
4. Георгицэ, Е.И., Иванов-Омский, В.И., Постолаки, И.Т., Унтила, П. Г.// Изв. Вузов СССР. Физика, 1990, т. 33, №4, с. 114-116.
5. Rogalski, A.// Infrared Phys. 1991, v. 31, Nr. 2, p. 117-166.
6. Wal, A., Caprile, C., Franciosi, A., Debska, U. // J. Vac. Science Tehnol., 1986, v. A3, Nr. 14, p. 818-882.
7. Уханов, Ю.И. Оптические свойства полупроводников. М. Наука, 1984, 300 p.
8. Kane, T.O.// J. Phys. Sem. Sol., 1957, v. 1, Nr.4 p. 249-261
9. Pidjenov, C.R., Brown, R.N.//Phys. Rev., 1966, v. 146, p. 575.
10. Венгер, Е.Ф., Гасан-Заде, С. Г., Стриха, М.В., Шепельский, Г.А. // ФТП, 2007, т. 41, В. 3, с. 276-281.
11. Ляпилин, И.И., Цидильковский, И.М.// УФН, 1985, т. 146, с. 35-80.
12. Williams, C. K., Glisson, T. H., Hanses, I.R., Littejohn//J. Electron. Mater., 1978, v. 7, p. 639.

13. Finkman, E., Schacham, S.E.// J. Appl. Phys., 1984, v. 56, Nr. 10, p. 2896-2900.
14. Gheorghită, E., Guțuleac, L., Postolachi, I., Korolevski, B. //Meridian Ingineresc, 2008, p. 60.
15. Becla, P., Wolff, R., Aggarwal, A.// J. Vac. Science Technol, 1985, A3, p. 116.
16. Girit, W., Furdyna, I., Semiconductors and Semimetals, v. 25 (Edited by R. Willardson and Beer), Academic, Boston, 1988.
17. Несмелова, И.М., Кошелева, В. И., Барышев, Н. С., Черкасов, А.П.//ФТП, 1977, т. 11, В. 11, с. 2173-2175.
18. Георгицэ, Е. И., Иванов-Омский, В.И., Мовилэ, В. Ф., Цыпишка, Д.И.// Письма в ЖТФ, 1991, т. 17, № 14, с. 69-73.

CZU 621.315.592.

## OPTICAL EFFECTS IN SEMIMAGNETIC SEMICONDUCTORS $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ , $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$

**Andrian Gheorghita**, Senior lecturer, PhD; **Eugen Gheorghita**, Professor, Doctor Habilitat; **Leonid Gutuleac**, Associate Professor, PhD; **Igor Postolachi**, Associate Professor, PhD; **Pantelei Untila**, Associate Professor, PhD  
(State University of Tiraspol, Chisinau, Moldova)  
**Vladimir Ivanov-Omskii**, Professor, Doctor Habilitat  
(Physico-Technical Institute “A. Ioffe”, AS Russia, Sankt-Petersburg)

This paper analyzes the particularities of the influence of temperature, magnetic field, the concentration of components on the modification of the energetic spectrum of charge carriers in  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  ( $0,08 \leq x \leq 0,2$ ),  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  ( $0 \leq x \leq 0,2$ ;  $0 \leq y \leq 0,23$ ) semimagnetic semiconductors. The samples studied in this work were obtained by the method of liquid phase epitaxy in closed system from solutions enriched with Tellurium on oriented substrata  $\langle 111 \rangle$  of Cadmium Telluride in a thermodynamic regime determined by the structure of phase diagrams of  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  and  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  alloys. [1] The concentration of charge carriers after the process of determined baking according to galvanometric measuring has not surpassed  $(1,2 \div 1,5) \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ .

On the basis of the experimental study of optical effects it is mentioned that in the absence of the external magnetic field at temperatures ( $4,2 \div 300$ )K the absorption spectra of  $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  and  $\text{Hg}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mn}_y\text{Te}$  semimagnetic semiconductors have the same form as the absorption spectra of  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  non-magnetic materials with equal parameters of energy spectrum. The influence of temperature, magnetic field and composition on the modification of the energy spectrum of charge carriers is analyzed.

The study of the frontier behaviour of the fundamental absorption in the external magnetic field allowed the calculation of integrals of change interaction for the conduction energy band  $N_0\alpha$  and the valence energy band  $N_0\beta$ .

The experimental results are explained by Kane, Pidgenon-Brown theoretical models.

Prezentat la redacție la 07.07.08