

STABILITATEA IRADIAȚIONALĂ A COMPUȘILOR SEMICONDUCTORI DE TIPUL $A^{II}B_2^{III}C_4^{VI}$

E. Gheorghiuță, A. Maciuga, R. Radu, V. Pîntea, I. Stratan, E. Aramă.

Universitatea Tehnică a Moldovei

INTRODUCERE

Materialele cu proprietăți de semiconductori sunt sensibile și își modifică destul de esențial proprietățile fizice sub acțiunea radiațiilor exterioare și la bombardarea lor cu particule elementare de energii mari. Sub acțiunea radiațiilor exterioare, s-au sub acțiunea diferitor particule elementare de energii mari în cristale, de obicei în urma ionizării, apar centre suplimentare de împrăștiere a purtătorilor de sarcină.

Studiul experimental și teoretic al acestor procese este actual din punctul de vedere a stabilității caracteristicilor dispozitivelor microelectronice și preîntâmpinării proceselor de degradare a aparatelor confecționate pe baza diferitor materiale cu proprietăți de semiconductori. Din aceste considerente este destul de important, efectuarea cercetărilor ce țin de influența fasciculelor de electroni cu energii până la 100 keV asupra proprietăților fizice a semiconductoarelor.

Tioindatul de zinc, a fost crescut prin metoda reacțiilor chimice de transport, într-un cuptor cu trei secții de temperaturi, folosind iodul ca agent de transport.

Monocristalele crescute prezentau plăci cu fețe perfecte după densitatea defectelor și erau de o calitate înaltă pentru cercetarea proprietăților fizice. În dependență de elementul de dopare, concentrația impurității se afla în intervalul $(1,2 \cdot 10^{19} \div 2 \cdot 10^{20}) \text{ cm}^{-3}$. Tehnologia de creștere a tioindatului de zinc este descrisă detaliat în [1–2].

1. REZULTATELE EXPERIMENTALE

În lucrarea dată sunt discutate rezultatele experimentale a studierii modificării proprietăților fotoelectrice și de iradiere sub influența fasciculului de electroni accelerați în combinațiile ternare de tipul $A^{II}B_2^{III}C_4^{VI}$ pe exemplul compusului ternar tipic $ZnIn_2S_4$. Rezultatele incluse sunt obținute în urma unor cercetări în complex: spectrele de absorbție optică, de fotoconductibilitate și

fotoluminescență pentru probele ne iradiate și iradiate cu diferite doze de electroni la anumite energii. Metodica acestor măsurări este descrisă în lucrarea [3].

Pe fig.1 sunt prezentate spectrele fotoconductibilității compușilor $ZnIn_2S_4$: probă inițială (curba 1) și iradiată cu două doze diferite de electroni accelerați $D \approx 10^{16} \text{ cm}^{-2}$, $D \approx 10^{19} \text{ cm}^{-2}$ cu energia 50 keV , (curbele 2 și 3).

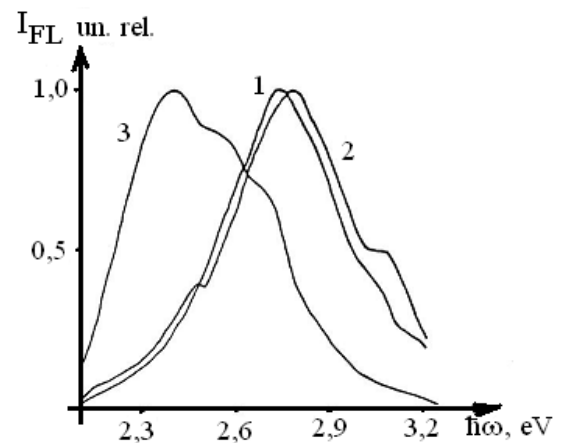


Figura 1.

Fotoconductibilitatea a fost înregistrată în regim staționar. Din comparația curbilor respective se observă, că după iradierea cu doze $D \approx 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ maximumul spectrului se deplasează în zona de energii mari (curba 2). Pe ambele aripi ale spectrului se observă particularități clare, în formă de platou, la energii de $2,5$ și $3,05 \text{ eV}$. Trebuie menționat, că la această doză de iradiere are loc creșterea intensității semnalului fotoconductibilității în maximumul $3,05 \text{ eV}$ ce corespunde absorbției fundamentale.

La creșterea de mai departe a dozei de iradiere, până la 10^{19} cm^{-2} spectrul fotoconductibilității $ZnIn_2S_4$, suportă schimbări radicale (curba 3). Valoarea maximă a sensibilității este deplasată în zona energiilor mai joase și se fixează la $2,4 \text{ eV}$. Pe aripa lungimilor de unde scurte a spectrului, se observă maxime la energii de

2,55 eV și 2,70 eV, cedând după intensitate spectrului inițial (curba 1). Luând în considerație că poziția maximumului fotoconductibilității, în aceleași condiții, depinde de grosimea probelor, au fost înregistrate spectrele FC pentru plăci de grosimi mai mari a tioindatului de zinc $d = 0,4 \text{ mm}$ după iradierea ei la aceleași doze. Paralel, la aceeași probă, pentru fiecare doză, au fost înregistrate și spectrele transparenței optice $T(\lambda)$. Pentru comoditate, sunt expuse toate curbele pe o singură figură 2 (a și b).

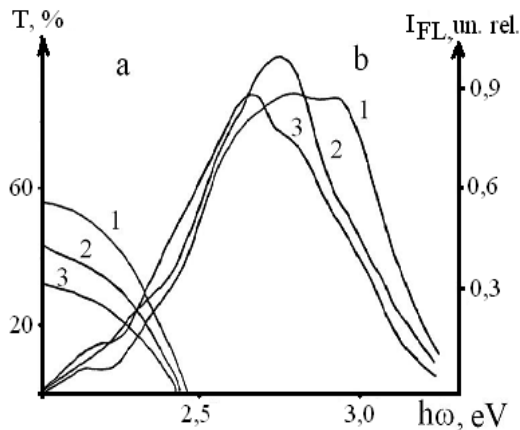


Figura 2. Spectrele transparenței optice – a, FC – b, monocristalelor $ZnIn_2S_4$, 1- proba inițială, 2- dozat cu $3 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-2}$, 3 – cu $7 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-2}$.

Spectrele fotoconductibilității probei inițiale (curba 1) sunt destul de largi, conțin maxime la energiile de 2,8 și 2,95 eV și de asemenea maximumul la 2,15 eV în regiunea spectrului cu lungimi de undă lungi, specifice monocristalelor $ZnIn_2S_4$.

Transparența optică practic este constantă până la 2,0 eV, și descrește până la zero, în intervalul 2,0 ÷ 2,5 eV, ce corespunde marginii cozii de absorbție a tioindatului de zinc (curba 1a). Se observă că la mărirea dozei de iradiere de la $3 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ (curbele 3 a și b) maximumul spectrului fotoconductibilității se deplasează spre regiunea undelor lungi ale spectrului, ce corespunde energiei 2,65 eV. Corespunzător, la creșterea dozei de iradiere se micșorează transparența optică de la 0,6 până la 0,3. Deoarece la doze mari 10^{19} cm^{-2} rezistența la întuneric a probelor de $ZnIn_2S_4$ ireversibil scade până la $10^2 \Omega \cdot \text{cm}$, corespunzător se micșorează și fotosensibilitatea. Ca urmare pentru $ZnIn_2S_4$, iradiate cu așa doze mari au fost înregistrate spectrele transparenței optice. S-a depistat, că pentru proba iradiată spectrul de

transparență optică este deplasat în regiunea energiilor mici cu 0,05 eV. Fotoluminescența monocristalelor inițiale și a celor iradiate a fost excitată cu ajutorul lămpii cu mercur de tipul HBO-500 și înregistrată la 80 K.

În fig.3 sunt prezentate spectrele fotoluminescenței monocristalelor $ZnIn_2S_4$ pentru proba inițială (curba 1) și proba iradiată, la $7 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ cu electroni de energia 50 keV (curba 2).

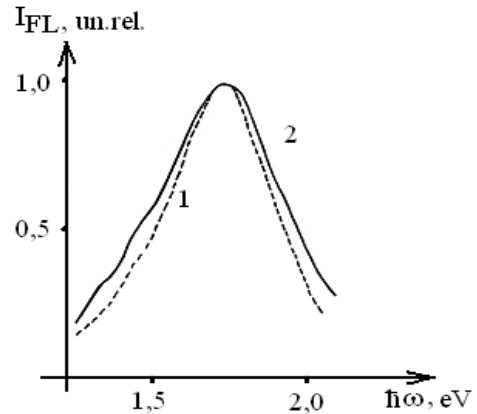


Figura 3.

Se observă că poziția maximumului spectrului fotoluminescenței, pentru probele inițiale corespunde energiei 1,74 eV specifică pentru $ZnIn_2S_4$. În spectrul probei dozate, o deplasare esențială a maximumului nu se observă. Se poate menționa o careva diferență în semilățimea benzilor probelor iradiate și inițiale, 0,5 eV și 0,4 eV corespunzător, și o reducere esențială a intensității în maximumuri.

Prezintă interes că mărirea sensibilității benzii, are loc pe contul deplasării aripilor, atât cu energii mici, cât și cu energii mari a spectrului fotoluminescenței. Pe aripa energiilor mici, pentru probele iradiate apare un pic vădit la energii de 1,5 eV.

2. ANALIZA REZULTATELOR

Analizând rezultatele investigațiilor complexe ale proprietăților monocristalelor $ZnIn_2S_4$, iradiate la diferite doze ale electronilor accelerați cu energii de 50 keV, se poate constata, că la doze $D \geq 10^{19} \text{ cm}^{-2}$ au loc schimbări ireversibile ale proprietăților electrice, fotoelectrice și optice ale probelor semiconductorului.

Înainte de a interveni asupra investigațiilor de mai departe, a fost apreciată doza de prag de iradiere a tioindatului de zinc. Sa demonstrat, că la cercetările catodoluminescenței în regim de

impulsuri, la densitatea curentului de $j \approx 10^5 \frac{A}{cm^{-2}}$ și durata de $\Delta\tau = 10 \mu s$, doza de iradiere în perioada unui impuls este de ordinul $10^{10} cm^{-2}$. La așa doze este evident, că influența bombardării, asupra proprietăților materialului este exclusă.

Investigații analogice, sau efectuat și asupra cristalelor $CdGa_2S_4$ care au demonstrat, că la doza de $D \approx 10^{19} cm^{-2}$, schimbări esențiale ale proprietăților optice și fotoelectrice nu au loc.

Comparând cu datele bibliografice se poate de remarcat, că schimbări esențiale ale proprietăților semiconductorilor elementari sau binari [4] la iradierea lor cu electroni de energii de până la $100 keV$ au loc începând la doze de $(10^{14} \div 10^{16}) cm^{-2}$. Aceasta și permite de accentuat asupra stabilității înalte a proprietăților optice și fotoelectrice la iradierea compușilor semiconductori $CdGa_2S_4$ și $ZnIn_2S_4$.

Analizînd rezultatele investigațiilor, asupra fenomenului de apariție a defectelor în $ZnIn_2S_4$, iradiat cu fascicule de electroni cu energii până la zona de prag, se constată că la doza de pînă la $10^{16} cm^{-2}$ are loc o ascendență a proprietăților optice și fotoelectrice, fapt care este demonstrat și de rezultatele cercetărilor spectrului de absorbție optică a probelor de $ZnIn_2S_4$, expuse iradierii cu un flux de γ -cuante, cu doza de $2 \cdot 10^{16} cm^{-2}$ (fig. 4).

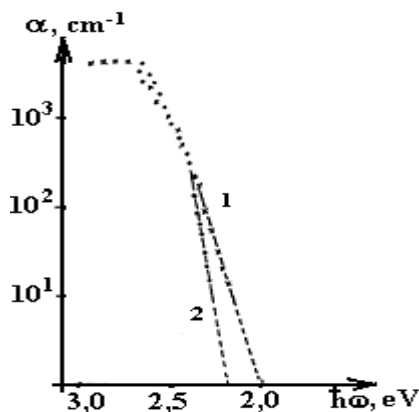


Figura 4. Absorbția optică $ZnIn_2S_4$, iradiate cu doze de γ -cuanți- $2 \cdot 10^{16} cm^{-2}$: 1-inițial; 2-iradiat.

Efectuând calculile, reeșă că înclinația muchiei de absorbție fundamentală în urma iradierii cu γ -uante variază de la $\Delta_1 = 170 meV$ până la $\Delta_2 = 85 meV$, ceea ce corespunde ascendenței creșterii transparenței optice în intervalul lungimilor de undă $517 \div 602 nm$. Deoarece aripa absorbției optice în regiunea undelor lungi se explică prin

influența microcâmpurilor cauzate de defecte de tipul incluziuni și vacansii în rețeaua cristalină, se poate afirma că acest fenomen este rezultatul dispariției neomogenităților în condițiile difuziei iradiaționale în procesul de iradiere cu γ -cuante. Aceasta corelează cu datele primite la iradierea probelor cu electroni de energii medii.

Autorii [5] au depistat același fenomen, pe care l-au numit – efectul dozelor mici. El constă în aceea, că la iradierea compușilor semiconductori cu benzi de energii interzise mari - $E_g \approx 3 eV$, cu doze $D \approx 10^{14} cm^{-2}$, are loc micșorarea absorbției optice în regiunea ultrafioletă. Creșterea absorbției se observă la doze $D > 10^{15} cm^{-2}$. În ce privește natura structurii clare a spectrului FC al $ZnIn_2S_4$ la doza $D = 10^{16} cm^{-2}$, ia poate fi lămurită prin îmbunătățirea stării suprafeții probei la etapa inițială de iradiere, care la rîndul ei influențează la recombinarea purtătorilor de sarcină liberi la suprafața probei.

Așa dar, se poate menționa că mecanismul de formare a defectelor din zona de prag în $ZnIn_2S_4$ se demarează la doze mai mari de $10^{16} cm^{-2}$.

Bibliografie

1. Jitari V.F., Arama E.D., Maciuga A.I. i dr. Vlianie specifiki i crystallicescoi structury $ZnIn_2S_4$ na opticescoe pogloscenie. Voronej, 1989, s.8.
2. Jitari V.F., Arama E.D., Radaușan S.I., Andrievskaia N.I. Polucenie, structura i liuminiscencia $ZnIn_2S_4$. Materialy VIII Vsesoiuznoi Conf. Po rostu crystallov. Harikov, 1992, t.1, str.275.
3. Maciuga A., Radu R., Pîntea V., Stratan I., Nistiriuc I. Luminescent properties triple semiconductors under the action of X rays. ICMCS-2005. September 15-17, Vol.1, p.204-207, Chișinău.
4. Vavilov V.S., Kiv A.E., Niazov O.P. Mehanizmy obrazovania i migracii defectov v poluprovodnicah. Nauka, Moskva, 1981, str.40.
5. Mihailov M.M. Izmenenie energii activacii poverhnostei provodimosti polikristallicescoi okisi cinca pri oblucenii electronami. Izvestia VUZ.ov. Fizica, 1984, v.7, str.94-97.