

DISPOZITIVE FOTOELECTRONICE PE BAZĂ DE GaSe STRATIFICAT

Igor EVTODIEV

Catedra Meteorologie, Metrologie și Fizică Experimentală

In this work photosensors based on GaSe specially undoped and doped with Cu (0.05% at. – 0.50%at.) are characterized at normal temperature using the electric photoconductivity spectrums. Photoresistors based on monocrytalline GaSe films are photosensible in the energy interval from 1.8eV to 5.2eV. Polarization sensibility of the GaSe, GaSe:Cu (0.5%at) photoresistors was specially investigated at every circularly polarized wave length. Are raised the curves of relaxation of the photocurrent through the GaSe and GaSe with 0.1%at of Cu samples with light impulses with a duration of $\sim 1.2 \cdot 10^{-6}$ s. In the absence of X radiation characteristics I-U for roentgen resistors of GaSe<Cu> are virtually linear. At the growth of the X radiation dose (radiation: CuK_{α} : $\lambda = 1.514 \text{ \AA}$, $I = 1.6 \text{ mA}$, $U = 45 \text{ kV}$) in the GaSe<Cu (0.05%at.)>, characteristics I-U are sublinear which indicates the growth of the concentration of the defects in GaSe crystals together with the growth of the radiation dose. In this work is demonstrated the possibility of elaboration of the roentgen resistors and spectral and polarization based on layered GaSe photoresistors.

Introducere

Anizotropia puternică a absorbției luminii în ansamblu cu fotosensibilitatea înaltă a semiconductorilor stratificați de InSe și GaSe sunt doi factori necesari pentru receptorii de radiații cu sensibilitate polarizațională.

Aceste cristale posedă structură stratificată, determinată de diferite tipuri de legături chimice de-a lungul straturilor (legături covalente) și dintre straturi (legături polarizaționale). Lipsa legăturilor nesaturate practic omite posibilitatea formării stărilor de suprafață.

Proprietățile optice și, îndeosebi, electrice și fotoelectrice ale monoseleniurii de galiu se schimbă esențial sub influența radiațiilor ionizante. De aceea, pentru elaborarea materialelor pe baza cărora se produc dispozitive electronice funcționale în regim de acțiune se caută materiale cu proprietăți fizice stabile la radiații X și particule cu energie înaltă [1]. Intens sunt cercetate proprietățile electrice ale materialelor semiconductoră tradiționale, cum sunt Ge, Si, ale materialelor de tipul $A^{III}B^{IV}$, $A^{II}B^{VI}$ cu legături covalente între atomii rețelelor cubice. După cum s-a arătat în [2-5], stabilitate înaltă a proprietăților fotoelectrice și luminescente sub influența fasciculului de neutroni și a radiațiilor γ și X [4] posedă materialele stratificate de tipul $A^{III}B^{VI}$. În aceste materiale, după cum s-a menționat *supra*, se manifestă clar două tipuri de legături dintre atomi – covalente în interiorul împachetării stratificate și polarizaționale în împachetările megieșe. Atomii de impurități, așa ca Cu, Sn, Br, de obicei se localizează în spațiul dintre planele calcogenului Hal-Me-Me-Hal-i-Hal-Me-Me-Hal, formând astfel legături de valență între atomii de calcogen. Prin aceste legături se mărește esențial densitatea volumică a defectelor proprii, care este mult superioară concentrației defectelor create de radiațiile ionizante. Acest specific al dopării materialelor stratificate conduce la stabilitate înaltă a proprietăților electrofizice ale acestora.

În [6] se studiază fotopleocroismul structurilor din GaSe cu strat de oxid pe suprafața paralelă la axa cristalografică C_6 . Aceste proprietăți clar se manifestă pentru fasciculele de lumină orientate de-a lungul suprafețelor împachetărilor stratificate.

Metodica experimentului

Pentru confecționarea probelor de GaSe special nedopate și dopate cu cupru sunt necesare monocristale cu suprafețe naturale orientate paralel cu axa de simetrie C_6 . Astfel de cristale au fost crescute prin metoda Bridgman folosind fiole din cuarț cu vârf ascuțit. De obicei, în aceste cristale la vârful ascuțit se generează mulți germeni de cristalizare cu direcții diferite de creștere. La desplicarea acestor cristale pot fi blocuri monocristaline cu orientarea respectivă a plăcilor și cu suprafețe naturale paralele (sau sub unghiuri diferite) față de axa C. În unele cazuri se pot alege blocuri monocristaline cu suprafața respectivă, care este orientată aproape de unghiul Brewster al acestor cristale, egal cu $\sim 68 \div 70^\circ$ (în domeniul vizibil al spectrului).

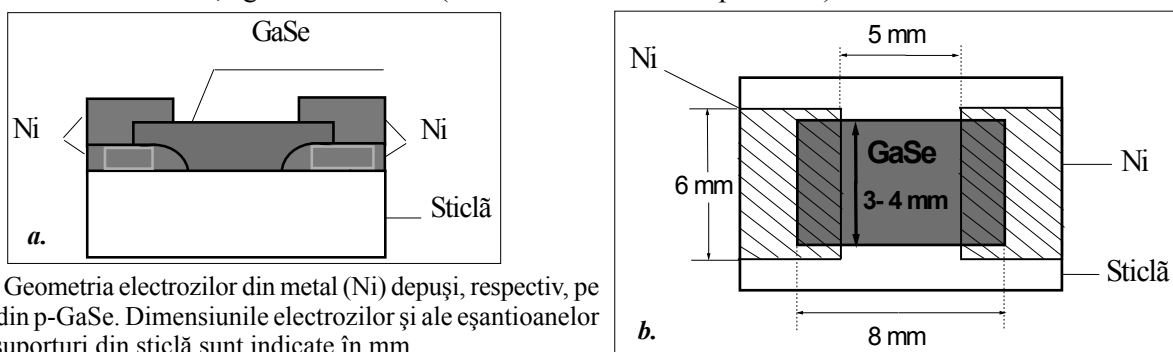


Fig.1. Geometria electrozilor din metal (Ni) depuși, respectiv, pe mostrele din p-GaSe. Dimensiunile electrozilor și ale eșantioanelor lipite pe suporturi din sticlă sunt indicate în mm.

Prin evaporare termică în vid pe suprafețele (0001) ale cristalelor de GaSe și GaSe:Cu s-au depus electrozi din Ni.

Straturile din metal (Ni) îndeplinesc funcția de electrozi la care se aplică câmpul electric exterior (Fig.1).

Geometria măsurătorilor este prezentată în montajele de pe figurile 4 și 5. La ieșire din monocromator lumina este parțial polarizată, gradul de polarizare a luminii cu vectorul câmpului electric paralel cu fanta monocromatorului și perpendicular pe fantă este de $\sim 0,6$ (monocromatorul MDR-2 cu rețea de 600 mm^{-1}). La măsurarea caracteristicilor spectrale ale densității fotocurentului la polarizarea $\vec{E} \parallel \vec{C}$ și $\vec{E} \perp \vec{C}$ s-a luat în considerație, odată cu distribuția spectrală a intensității fasciculului de lumină, și gradul de polarizare a luminii (curbele 1 și 2, Fig.4 și 5). Sensibilitatea polarizațională a fotorezistorilor de GaSe, GaSe:Cu (0,5% at.) a fost înregistrată pe puncte la fiecare lungime de undă după următoarea metodă. Lumina monocromatică și parțial polarizată ieșită din monocromator se polarizează liniar cu prisma Glan-Tomson; în continuare, cu ajutorul compensatorului Babine, se transformă în circular polarizată. Lumina cu lungimea de undă λ circular polarizată se trece prin prisma Glan-Tomson ce se rotește în jurul axei și se îndreaptă spre fotorezistorul din GaSe sau GaSe:Cu. Semnalul fotoelectric de pe rezistorul de sarcină modulată cu frecvența de 2Ω (Ω -frecvența circulară de rotație a prismei Glan) se amplifică cu ajutorul voltmetrului V6-4, se detectează și se indică pe scala detectorului de fază K3-2.

Pentru confecționarea rezistorilor sensibili la radiația X s-au folosit monocristale de GaSe cu compoziție stoichiometrică dopate cu 0,05% at. de Cu. Conductibilitatea electrică a cristalelor de GaSe a fost de $\sim 3 \cdot 10^{-7} \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$.

În calitate de sursă de radiație X s-a folosit instalația de tipul URS-0,02 cu tub electronic BSM1 cu anticatod din Cu cu fascicul focalizat la distanță mică ($\sim 5 \text{ cm}$). Tensiunea de accelerare a fasciculului de electroni a fost de 40 kV. Rentghenorezistorul din GaSe<Cu> a fost alimentat de la o sursă de curent continuu de tipul B5-50. Tensiunea de alimentare a fost de 20 V. Intensitatea curentului în circuit a fost înregistrată cu ajutorul electrometrului de tipul U5-6. Rezistența de sarcină fiind egală cu $1 \text{ G}\Omega$ în lipsa radiației X (Fig.6, curba 1).

Rezultate experimentale

Fotorezistor pe bază de GaSe

În Figura 2 sunt prezentate caracteristicile spectrale ale fotorezistorilor la temperatura normală pe bază de GaSe special nedopat (curba 1) și dopat cu Cu (curbele 2, 3).

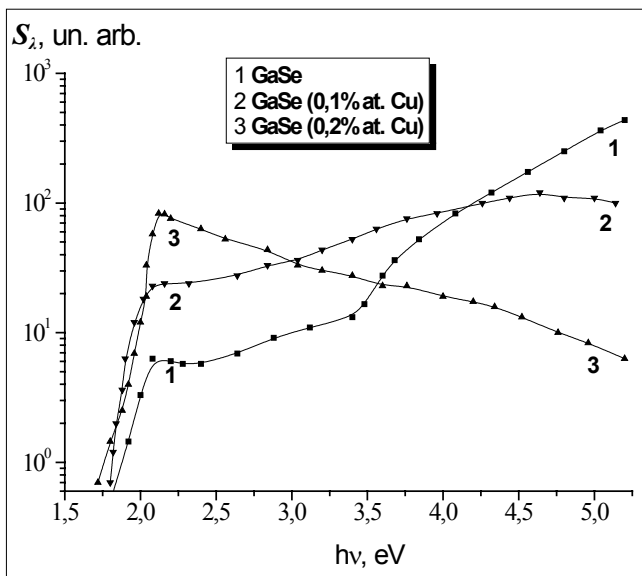


Fig.2. Caracteristicile spectrale ale fotorezistorilor pe bază de GaSe special nedopat (1) și dopat cu Cu (2, 3). $T = 293 \text{ K}$.

Fotorezistorii pe bază de filme monocristaline de GaSe sunt fotosensibili în intervalul de energii de la 1,8 eV până la 5,2 eV. Marginea caracteristicii spectrale a fotosensibilității la energii mici este determinată de marginea benzii de absorbție bandă-bandă, pe când lipsa datelor experimentale la energii mari ($h\nu \geq 5,2 \text{ eV}$) este determinată de caracteristicile tehnice ale instalațiilor de cercetare, întrucât în acest interval de energii undele electromagnetice sunt puternic absorbite de atomii de oxigen și azot din atmosferă.

Caracteristica spectrală a fotorezistorului de GaSe dopat cu 0,1% at. de Cu acoperă același interval de energii ca și fotorezistorul de GaSe. În domeniul vizibil și UV apropiat fotosensibilitatea se mărește de peste patru ori ($2,1 < h\nu < 3,4 \text{ eV}$). Micșorarea fotocurentului raportat la numărul de fotoni față de rezistorul de GaSe în regiunea $h\nu > 4 \text{ eV}$ indică la o mărire pronunțată a stărilor de suprafață. Mult mai pronunțat se manifestă stările de suprafață în eșantioanele de GaSe cu 0,2% at. de Cu (Fig.2, curba 3). Fotocurentul raportat la numărul de fotoni incidenți este în descreștere lentă la mărirea energiei fotonilor de la 2,2 eV. Fotosensibilitatea fotorezistorului de GaSe 0,2% at. Cu în regiunea marginii benzii de absorbție este de peste 10 ori mai ridicată decât a eșantionului de GaSe nedopat.

În Figura 3 sunt prezentate curbele de relaxare ale fotocurentului prin eșantioanele fotorezistorilor de GaSe și GaSe cu 0,1% at. de Cu la iluminare cu impulsuri de lumină albă cu durată de $\sim 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ s}$, generate de lampa ISS 100-3.

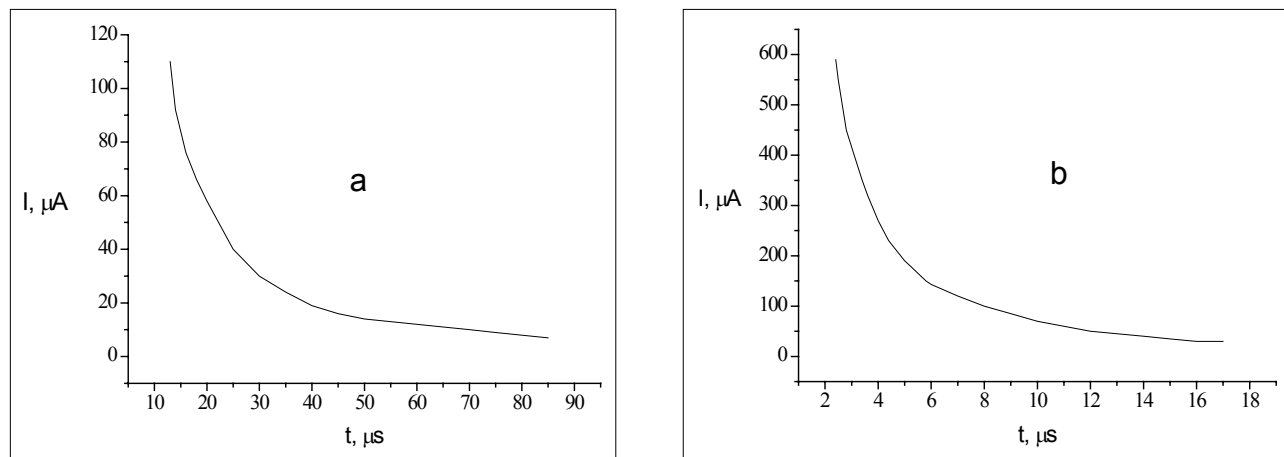


Fig.3. Curba de relaxare a fotocurentului prin fotorezistorul de GaSe (a) și de GaSe < Cu 0,1% at. > (b) la T = 293 K. Durata impulsului de lumină albă este de $\sim 1,2 \cdot 10^{-6}$.

Caracteristica $I(t)$ se descrie bine cu două exponențe de tipul $I = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$ (1), unde I_0 este intensitatea fotocurentului în momentul întreruperii iluminării ($t = 0$), iar τ este timpul de viață al purtătorilor de sarcină de neechilibru. Prezentând curbele de relaxație în coordonatele $\ln I = f(t)$ după panta segmentelor liniare, se determină timpurile de viață ale purtătorilor de sarcină de neechilibru (electronii). Timpurile de viață mediate pe trei fotorezistori sunt introduse în Tabel. Timpul de viață τ_1 , caracteristic pentru relaxarea rapidă a fotocurentului, se micșorează de ~ 5 ori în fotorezistorul de GaSe 0,1% at. Cu. Pe când timpul de viață τ_2 , caracteristic pentru relaxația cu timp mare, practic nu depinde de gradul de dopare a cristalele de GaSe cu Cu .

Caracteristicile fotocurent-iluminare pentru fotorezistorii de GaSe și GaSe (Cu) supuși cercetării sunt liniare pentru iluminări mai mici de 800 Lx.

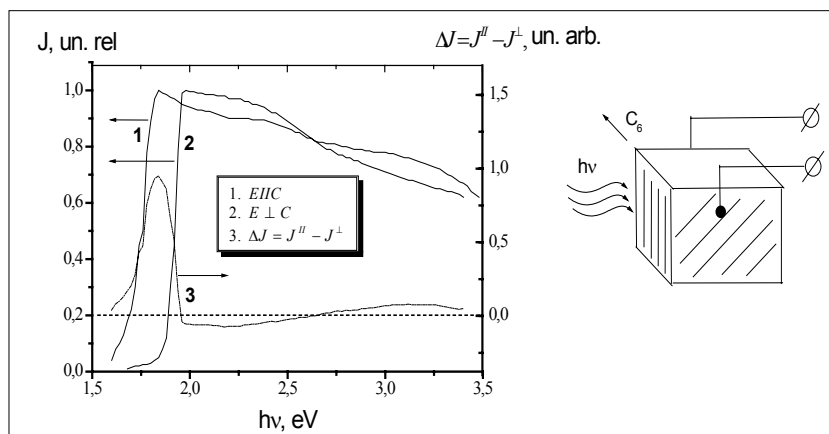
Tabel

Caracteristicile mediate ale dispozitivelor de laborator testate

Tipul fotorezistorului	$\Delta\lambda, nm$	λ_{max}, nm	U, V	$R_{intuneric}, k\Omega$	τ, s
GaSe	230÷630	≥ 230	10	450	$2,0 \cdot 10^{-5}, 5,0 \cdot 10^{-4}$
GaSe 0,1 % Cu	230÷630	~ 250		420	$1,5 \cdot 10^{-5}$
GaSe 0,2 % Cu	230÷630	590		310	$1,3 \cdot 10^{-5}, 9,2 \cdot 10^{-5}$

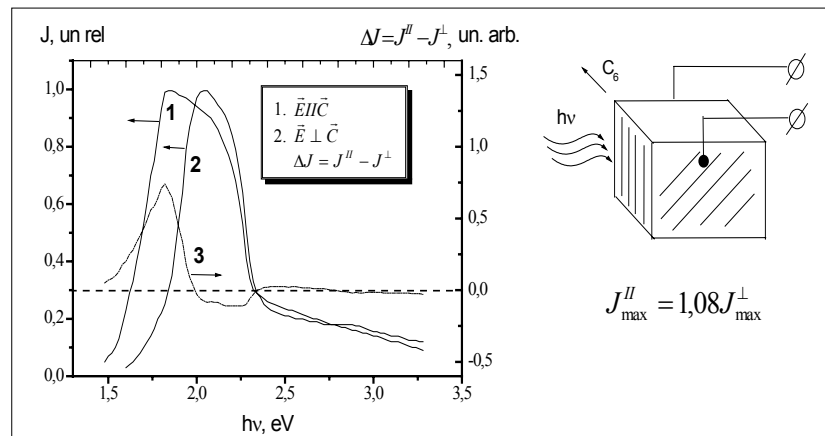
În Figura 4 sunt reprezentate caracteristicile spectrale ale fotocurentului în polarizare $\vec{E} \parallel \vec{C}$ și $\vec{E} \perp \vec{C}$ pentru fotorezistorii din p-GaSe. Marginea benzii de fotosensibilitate în polarizarea $\vec{E} \parallel \vec{C}$ este deplasată față de $\vec{E} \perp \vec{C}$ spre energii mici cu $\sim 0,18$ meV și bine corelează cu spectrul de absorbție în polarizațiile respective. Curba de fotosensibilitate polarizațională este localizată în intervalul spectral corespunzător deplasării marginii benzii de fotosensibilitate în geometria $k \parallel C$ (k – vectorul de undă a radiației incidente).

Fig.4. Caracteristica spectrală a densității fotocurentului în monoseleniura de galiu raportată la numărul de fotoni la polarizarea $\vec{E} \parallel \vec{C}$ (curba 1) și $\vec{E} \perp \vec{C}$ (curba 2) și diferența fotocurenților $J^{\parallel} - J^{\perp}$ în funcție de energia fotonilor (curba 3).



La doparea cristalele de GaSe cu Cu, densitatea fotocurentului normalată la numărul de fotoni incidenti cu energia din apropierea marginii benzii de absorbție fundamentală se mărește de $\sim 2,5$ ori în ambele polarizații

ale luminii incidente ($\vec{E} \parallel \vec{C}$ și $\vec{E} \perp \vec{C}$). Totodată, are loc o alungire a benzilor densității fotocurentului spre energii mici. De asemenea, are loc o micșorare rapidă a fotocurentului la energii $h\nu > 2,2eV$. Micșorarea fotocurentului odată cu majorarea energiei fotonilor este determinată în mare măsură de densitatea stărilor de suprafață, ce este în creștere față de cristalele nedopate.



În Figura 6 sunt prezentate caracteristicile I-U și la iradierea probelor de GaSe<Cu> cu radiația $CuK\alpha$ ($\lambda=1,514\text{\AA}$, intensitatea curentului în tub $\sim 0,16\text{ mA}$, tensiunea de accelerare a electronilor $\sim 40\text{ kV}$) (curba 2).

În lipsa radiației X, caracteristicile I-U pentru rentghenorezistorii de GaSe<Cu> (curba 1) practic sunt liniare. Creșterea supraliniară a intensității curentului în funcție de tensiunea de alimentare a probei indică la amplificarea purtătorilor de sarcină generați de radiațiile ionizante în probă.

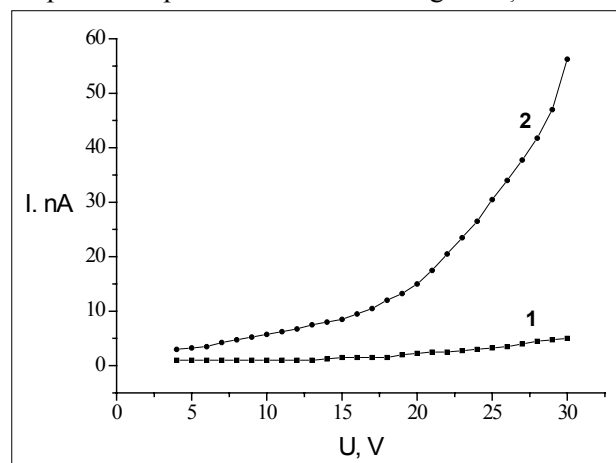
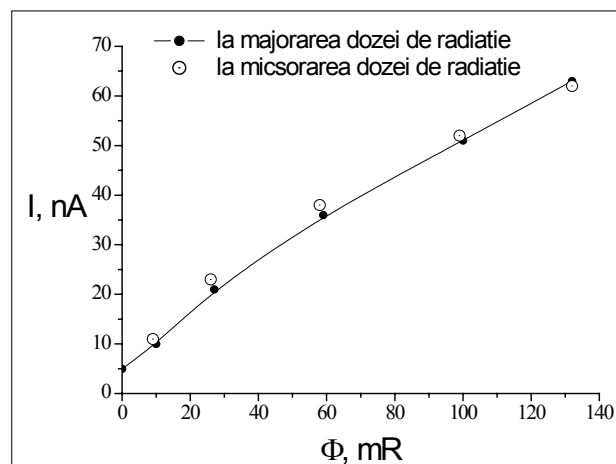


Fig.6. Caracteristicile I-U pentru rentghenorezistorii de GaSe < Cu 0,05% at. (curba 1 - în lipsa radiației X și curba 2 - la iradierea probelor cu radiația $CuK\alpha$ ($\lambda = 1,514\text{ \AA}$, intensitatea curentului în tub $I = 0,16\text{ mA}$, tensiunea de accelerare a electronilor $U = 40\text{ kV}$)). Rezistența de sarcină - $1\text{ G}\Omega$ în lipsa radiației X (curba 1). $T = 293\text{ K}$.

În Figura 7 este prezentată dependența intensității curentului în funcție de doza radiației X în probele de GaSe<Cu> (0,05% at.). După cum observăm, caracteristicile I-U sunt subliniare, ceea ce indică la mărirea concentrației defectelor în cristalele de GaSe odată cu majorarea dozei de radiație.



Concluzii

√ Banda de fotosensibilitate polarizațională pentru fotorezistorii pe GaSe este localizată în regiunea marginii benzii de absorbție fundamentale a acestor materiale.

√ Lățimea benzii de fotosensibilitate polarizațională la $\frac{1}{2}J_{\max}$ este de ordinul de $\sim 0,2$ eV. Așadar, compușii puternic anizotropi mecanic și optic de tipul GaSe nedopat și dopat cu Cu servesc ca bază pentru confecționarea fotoreceptorilor cu sensibilitate polarizațională cu bandă spectrală îngustă.

√ Întrucât anizotropia caracteristicilor optice (n , k) se păstrează și în șirul de soluții solide, pe baza acestor materiale pot fi fabricați fotoreceptori polarizaționali selectivi pentru regiunea vizibilă și IR apropiată a spectrului.

√ Timpul de viață τ_1 , caracteristic pentru relaxarea rapidă a fotocurentului, se micșorează de ~ 5 ori în fotorezistorul de GaSe 0,1% at. Cu. Pe când timpul de viață τ_2 , caracteristic pentru relaxația cu timp mare, practic nu depinde de gradul de dopare a cristalelor de GaSe cu Cu.

√ Caracteristicile fotocurent-iluminare pentru fotorezistorii de GaSe și GaSe (Cu) supuși cercetării sunt liniare pentru iluminări mai mici de 800 Lx.

√ Întrucât caracteristicile I-U sunt subliniare, aceasta indică la mărirea concentrației defectelor în cristalele de GaSe odată cu majorarea dozei de radiație X.

Referințe:

1. Вавилов В.С. Действие излучений на полупроводники. - Москва: Изд-во физ-мат. лит., 1963, с.115-141.
2. Kovolyuk Z.D., Katerinchuk V.N., Politanskaya O.A., Sydor O.N., Homiak V.V. // JTF Lett. (rus), 31/9 (2005), 1.
3. Kovolyuk Z.D., Litovchenko P.G., Politanskaya O.A., Sydor O.N., Katerinchuk V.N., Lystovetskyi Litovchenko O.P., Dubovoi V.K., Polivtsev L.A. // FTS (rus), 41/5 (2007), 570.
4. Manfredotti, Murri R. and Vasnelli L. // Nucl. Instrum. Method, 115 (1974), 349.
5. Castellano A. // Appl. Phys. Lett., 48/4 (1986), 299.
6. Manasson V.A., Kovalyuk Z.D., Drapak S.I., Katerinchuk V.N. Polarisation sensitive photodiode for the 632,8 nm spectral region // Electron. Lett. - 1990. - Vol.26. - No10. - P.664.

Prezentat la 30.04.2009