

**MATERIALE INTELIGENTE PE BAZĂ DE SEMICONDUCTORI****Igor POSTOLACHI**, dr., conf. univ., UPSC<https://orcid.org/0000-0002-1752-5386>**Leonid GUȚULEAC**, dr., conf. univ., UPSC<https://orcid.org/0009-0008-2727-3996>

**Rezumat.** În lucrare este descrisă perspectiva utilizării semiconductorilor de tipul *GaSb* și *GaSb* dopat cu *Fe* în calitate de element fotosensibil pentru detectoarele infraroșii de radiație în domeniul 1-2,5  $\mu\text{m}$ . Filmele fotosensibile de *p-GaSb* și *p-GaSb(Fe)* au fost obținute prin metoda descărcărilor electrice de plasmă și prin metoda ablației laser.

**Cuvinte cheie:** detectoare de radiație infraroșie, antimoniu de galiu, ablație laser.

**Abstract.** The paper describes the prospect of using GaSb and GaSb semiconductors doped with Fe as a photosensitive element for infrared radiation detectors in the range of 1-2.5  $\mu\text{m}$ . The photosensitive films of *p-GaSb* and *p-GaSb (Fe)* were obtained by the plasma electric discharge method and the laser ablation method.

**Keywords:** infrared radiation detectors, gallium antimony, laser ablation.

**Introducere**

Conceptul de material inteligent derivă de la formele inteligente ale sistemelor (materialelor) naturale, adică organismele vii. Ca urmare, materialele inteligente sunt concepute ca materiale care îndeplinesc funcțiile naturale de detecție ("sensing"), comanda ("actuation"), control și inteligență. Detectoarele de radiație electromagnetică infraroșie sunt proiectate pentru a înregistra radiația infraroșie (radiație cu o lungime de undă mai mare decât cea a luminii vizibile). Originile acestor detectori se află în secolul al XIX-lea, deși dezvoltarea și diversitatea lor au explodat în secolul al XX-lea. William Herschel a folosit un termometru pentru a detecta căldură radiantă. Macedonio Melloni a inventat termo-crom pentru a afișa diferențe spațiale în iradiere, cum ar fi modele de culoare pe suprafețe sensibile la temperatură. În 1882, William Abney a constatat că pelicula fotografică este foto-sensibilă la lungimi de undă mai mari decât lungimea de undă a luminii roșie.

Majoritatea detectorilor infraroșii convertesc radiațiile infraroșii într-un semnal electric prin diverse efecte fizice. Thomas J. Seebeck în 1821a descris un nou efect termoelectric, și apoi a demonstrat primul termocuplu, compus din de două metale sudate. În 1829, Leopoldo Nobili a construit primul termocuplu prin conectarea termocuplurilor la o serie, iar în scurt timp a fost adaptat de Melloni pentru a măsura căldura radiantă, pentru a detecta radiațiile infraroșii și pentru a nu schimba temperatura. În 1880, Samuel P. Langley a anunțat despre un nou detector de căldură - un bolometru, un dispozitiv care funcționează pe baza variației rezistenței electrice la încălzire și poate fi utilizat pentru

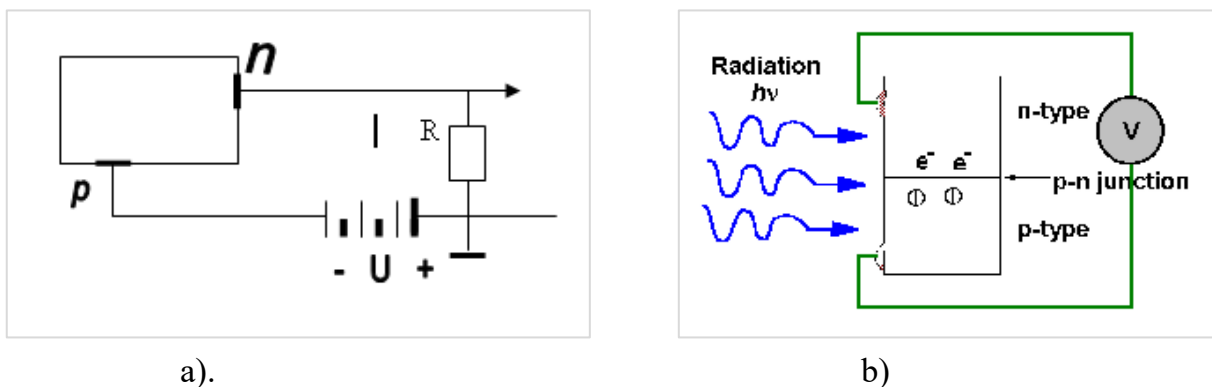
detectarea surselor slabe de căldură radiantă. Astfel de detectori au fost rapid adoptați de fizicieni pentru a studia radiațiile optice.

La începutul secolului XX se dezvoltă intens metodele spectroscopice de cercetare. Metodele de studiere a regiunii infraroșii a spectrului, în cea mai mare parte, s-au dezvoltat ca un analog al metodelor din diapazonul vizibil, bazându-se implicit pe detectoarele electrice. În secolul al XX-lea începe dezvoltarea intensă a detectoarelor cuantice în diapazonul infraroșu. Detectorii cuantici s-au dovedit a fi mult mai sensibili decât detectoarele de căldură în regiunea spectrului infraroșu. La fel ca și detectori de căldură, detectorii cuantici se bazează pe o serie de principii. Detectorii cuantici reprezintă un semiconductor cu lățimea energetică a benzii interzise egașă cu energia fotonilor din diapazonul infraroșu, de exp.: cum ar fi seleniu și compuși ai semiconductorilor, sulfură de plumb sau selenidul de plumb). În plus, detectoarele cuantice pot genera curent electric direct în rezultatul iluminării în infraroșu. Exemple de astfel de detectoare fotoelectrice includ compușii semiconductorilor cum ar fi antimoniul de indiu sau arseniul de galiu.

Cercetările proprietăților fizice ale detectoarelor infraroșii au atras în curând sponsori militari. Interesele militare se concentrează în primul rând pe generarea și detectarea radiațiilor invizibile pentru semnalizare. În timpul primului război mondial, B. Theodore a descoperit că sulfura de sodiu ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) și sulfura de telur ( $\text{Te}_2\text{S}$ ) posedă fotoconductivitate. Armata americană a adaptat acești detectori fiabili pentru a fi utilizați ca senzori pentru semnalizarea în diapazonul infraroșu. Instalația era constituită dintr-un reflector ca sursă de radiație, care le va deschide alternativ pentru a trimite mesaje (prin analogie, semnale de fum sau la începutul telegrafului optic) și detectorul focalizat pe oglinda receptoare. Cu acest sistem, mesajele au fost trimise cu succes pentru mai multe mile. În anii 1930, în timpul celui de-al doilea război mondial, cercetările britanice vizau detectarea aeronavelor care utilizează radiații infraroșii, ca alternativă la radar, programe de dezvoltare pe scară largă în Germania și America au dat naștere unor dezvoltări în infraroșu bazate pe prototipuri și dispozitive de producție limitate. Edgar Kucher a dezvoltat detectorul fotoconductiv sulfurat ( $\text{PbS}$ ) în Germania în 1932. Aceasta a devenit baza unui program militar major în următorul deceniu, un studiu al fundamentelor fizicii și materialelor detectorului, precum și metodele de producere și utilizare a detecției în infraroșu. Armata germană a reușit să desfășoare doar o producție limitată de senzori și dispozitive infraroșii în timpul celui de-al doilea război mondial, de exemplu, utilizând radiația reflectată de o țintă. În Statele Unite, dezvoltarea reușită în timpul celui de-al doilea război mondial a inclus bombe infraroșii auto-ghidate, care au fost folosite ca senzor bolometric, iar fosforii de căldură pentru vizibilitatea nocturnă utilizați pentru a detecta ținte radiații infraroșii. În anii de după cel de-al doilea război mondial, tehnologia detectoarelor germane sa răspândit rapid printre firmele britanice și americane. Unele dintre aceste informații au fost recunoscute ca având un potențial militar semnificativ și, prin urmare, sunt clasificate.

Detectoarele cu infraroșu sunt de mare interes pentru căutarea de jetoane noi și de rachete. Utilizarea militară potențială a contribuit la un studiu intensiv de sensibilitate postbelică a detectorilor infraroșii. Deși, în mare parte, un produs al finanțării militare, aceste detectoare au devenit treptat disponibile și pentru cadrele academice care utilizau tehnica spectroscopică.

Pentru înregistrarea radiațiilor se utilizează semiconductori, în care regiunea cu conductivitate electronică a joncțiunii ocupă o parte din volumului detectorului IR. Lateral se aplică 2 electrozii pe suprafața semiconductorului, la care se conectează sursa de alimentare. Pentru regiunea cu conductivitate determinată de goluri se aplică o tensiune negativă și potențial pozitiv la regiunea de tip n. aceste două regiuni sunt conectate la rezistența de sarcină R (fig.1).



**Figura1. Schema principală a detectorului de radiație infraroșie (a) și a detectorului de radiație infraroșie pe bază de semiconductori cu joncțiune p-n (b)**

Cu această includere în circuitul electric prin detectorul curge doar curent de întuneric ( $I_0$ ). Curentul de întuneric depinde de valoarea lățimii benzii interzise ( $E_g$ ) și de temperatură. Cu cât este mai mică lățimea benzii interzise cu atât mai puternic crește curentul  $I_0$  la mărirea temperaturii  $T$ . De exemplu: pentru Ge ( $E_g=1,12\text{eV}$ ); pentru Si ( $E_g=0,67\text{eV}$ ); pentru GaSb ( $0,81\text{eV}$ ). La temperatura camerei curentul la întuneric pentru Si și pentru GaSb este cu mult mai mare în comparație cu curentul prin detectoarele de Ge.

Fotonul de radiație IR, care intră în detectorul semiconductor, excită în mod predominant atomi semiconductorului. Conform teoriei de benzi energetice, în procesul de ionizare, un electron este transferat din banda de valență (zona complet umplută cu electroni) în banda de conducție, rezultând astfel formarea unei perechi de electron-gol. Apariția sarcinilor electrice în exces va mări curentul electric.

Detectoarele pe bază de semiconductori s-au stabilit de mult timp ca elemente de înregistrare a radiației electromagnetice, care ne permit să creăm subsisteme de coordonate și calorimetrice ale instalațiilor de cercetare, care posedă o sensibilitate ridicată, viteză mare de înregistrare, o rezoluție spațială și energetică ridicată. În ultimul timp o atenție deosebită, se atrage la rezistența detectoarelor pe bază de semiconductori la radiații

radioactive, ceea ce se datorează atât timpului lung de funcționare a instalațiilor militare de detectare, în special cele care funcționează în spațiul cosmic.

Pentru ultimii 50 de ani liderul în detectoarele pentru regiunea infraroșie a spectrului a fost compusul semiconductor  $Hg_{1-x}Cd_xTe$ . Cercetările în domeniu au demonstrat că aceste materiale nu sunt stabile la radiații cosmice. Cercetările în domeniu au atătat că un material de alternativă ar fi GaSb, AlSb, GaAs, InAs.

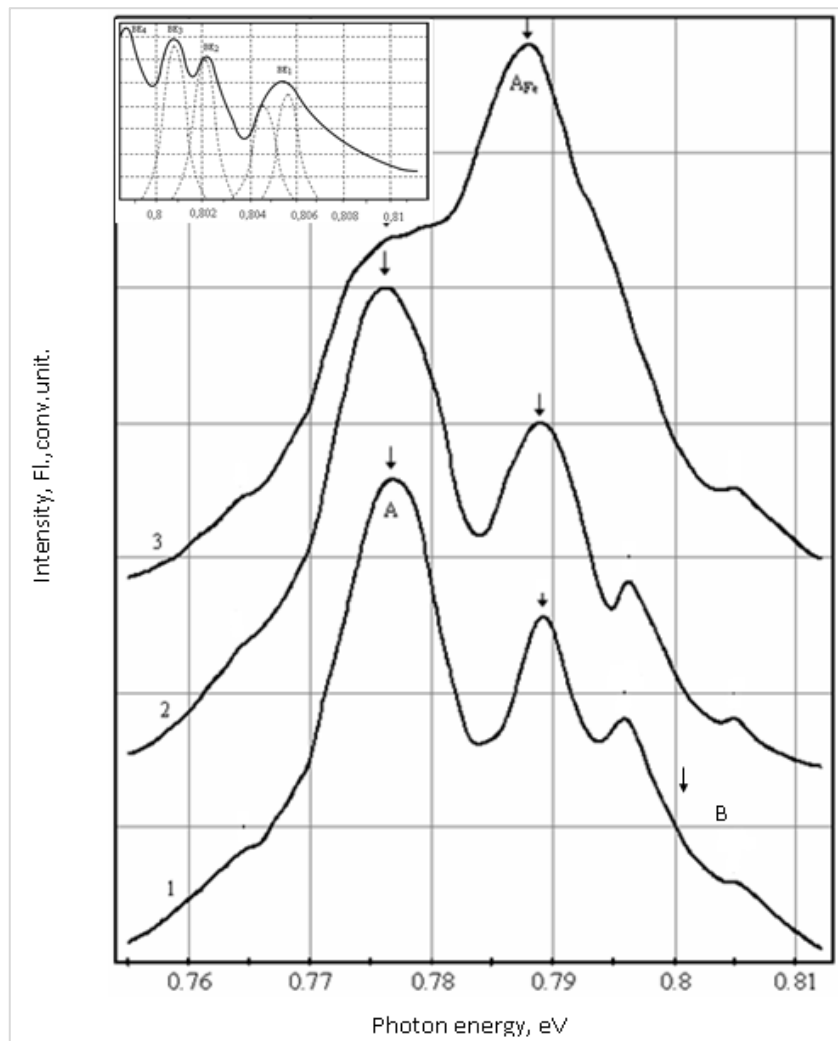
Antimonidului de galiu format la combinația chimică  $A^{III}B^V$  posedă proprietăți de semiconductor ( $E_g=0,7eV$ ) și se folosește la confecționarea diferitor dispozitive optoelectronice. Interesul științific și aplicativ față de antimoniul galiu ( $E_g = 0,7eV$ ) este determinat de următoarele: este singurul material din familia mare de semiconductori  $A^{III}B^V$  în structura benzilor energetice; lărgimea benzii energetice interzise este aproximativ egală cu valoarea energiei de spin-orbitale; constanta rețelei cristaline este corelativă (în cadrul legii Vegard) cu perioadele de rețea cristalină ale unui număr mare de aliaje ale combinațiilor  $A^{III}B^V$ . Acest material poate fi utilizat ca substrat în diverse tehnologii de structuri microelectronice; poate fi prezentată cu succes în procesele tehnologice ca material pasiv și activ în cadrul heterostructurilor; pe baza acestor heterostructuri pot fi proiectate sisteme optoelectronice pentru diapazonul spectral ( $0,8 \div 4,1\mu m$ ) [1-6].

Noi am dezvoltat tehnologia de obținere a filmelor subțiri de GaSb dopat cu Te, Fe și Mn prin metoda descărcărilor electrice de plasmă și prin metoda ablație laser. Probele de GaSb dopate cu telur aveau tipul n- de conductivitate. Concentrația electronilor în probele obținute variază în diapazonul ( $2,5 \cdot 10^{17} - 1,2 \cdot 10^{18}$ )  $cm^{-3}$ . Fotoluminescența a fost excitată cu ajutorul radiației laser cu lungimile de undă  $0,63\mu m$  și  $1,15\mu m$ .

Prin metoda descărcărilor electrice au fost obținute filme subțiri de GaSb dopate cu Fe la diferite concentrații (Tabelul 1.)

1.  $GaSb\langle Fe \rangle$ , 0,000 % Fe,  $N_A - N_D = 2,0 \cdot 10^{17} cm^{-3}$
2.  $GaSb\langle Fe \rangle$ , 0,010 % Fe,  $N_A - N_D = 2,8 \cdot 10^{17} cm^{-3}$
3.  $GaSb\langle Fe \rangle$ , 1,000 % Fe,  $N_A - N_D = 1,8 \cdot 10^{18} cm^{-3}$

În figura 2. sunt prezentate spectrele de fotoluminescență pentru  $GaSb\langle Fe \rangle$ . Din figura 2. se vede că prezența atomilor de fier modifică esențial structura spectrelor, apare o linie ( $A_{Fe}$ ), care devine dominant la concentrații mai mari de 1%.



**Figura 2. Spectrele de iradiere ale antimonidului de galiu dopat cu Fe în diferite concentrații la temperatura 2K**

### Bibliografie

1. ANDREEV, V.M.; KARLINA, C.V.; KAZANTSEV, A.B.; KHVOSTIKOV, V.P.; RUMYANTSEV, V.D.; SOROKINA, S.V.; SHVARTS M.Z. In: *Proc. IEEE 1<sup>st</sup> World Conf. on Photovoltaic Energy Conversion*. Hawaii, 1994. p. 1721.
2. DUTTA, P.S.; BHAT, H.L.; KUMAR, V. In: *J. Appl. Phys.*, 1997. 81, 5821.
3. STOLLWERK, G.; SULIMA, O.V.; BETT, A.W. *IEEE Trans. Electron. Dev.*, 47 2000.
4. WANG, C.A.; SHIAU, D.A.; LIN, A.; CRYST, J. *Growth*, 2004. 261, 385.
5. KHVOSTIKOV, V.P.; RASTEGAEVA, M.G.; KHVOSTIKOVA, et al., 2006, 40, p. 1275-1279.
6. GHEORGHİȚĂ, E.; GUȚULEAC, L.; MELINTE, V.; ZLOTEA, O.; POSTOLACHI, I. Scattering mechanisms of charge carriers in gallium antimonide doped with iron. In: *Moldavian Journal of the Physical Sciences*. 2008, nr. 3(7), pp. 375-381. ISSN 1810-648X.)