

# CERCETAREA EXPERIMENTALĂ A FENOMENELOR GALVANOMAGNETICE ÎN ALIAJELE *GaSb* + *Fe*

**Boris COROLEVSCHI**, conf. univ., dr.

**Leonid GUȚULEAC**, conf. univ., dr.

**Igor POSTOLACHI**, conf. univ., dr.

**Pantelei UNTILĂ**, conf. univ., dr.

Universitatea de Stat din Tiraspol

**Rezumat.** Au fost obținute aliaje de *GaSb* cu *Fe* în diferite proporții. Au fost cercetate experimental fenomenele galvanomagnetice în aceste materiale în intervalul de temperaturi  $77 \div 300$  K. Sunt prezentate dependențele de temperatură pentru coeficientul Hall, conductivitatea electrică, concentrația și mobilitatea purtătorilor.

**Cuvinte-cheie:** semiconductoare, grupul  $A^{III}B^V$ , antimoniul de galiu, efectul Hall, conductivitate electrică, concentrația și mobilitatea purtătorilor.

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF GALVANOMAGNETIC PHENOMENA IN *GaSb* + *Fe* ALLOYS

**Abstract.** *GaSb* alloys doped with *Fe* in various proportions are obtained. Galvanomagnetic phenomena occurring in these materials at  $77 \div 300$  K are investigated experimentally. The temperature dependencies for the Hall coefficient, electrical conductivity, carrier mobility and concentration are presented.

**Keywords:** semiconductors,  $A^{III}B^V$  group, gallium antimonide, Hall effect, electrical conductivity, carrier concentration and mobility.

### Introducere

Semiconductorii reprezintă o clasă destul de numeroasă de materiale, care au o importanță deosebită pentru microelectronica modernă și nu numai. Interesul practic față de aceste materialele rămâne sporit. Un șir întreg de dispozitive electronice, care se folosesc în diferite segmente din tehnica comunicațiilor funcționează în baza semiconductorilor [1].

Se poate menționa faptul, că proprietățile fizice ale materialelor semiconductoare au fost cercetate mult mai amplu decât cele ale dielectricilor și conductorilor. Această situație este determinată în mare măsură de faptul, că în materialele semiconductoare se poate observa o mulțime de efecte, care nu se produc în dielectrice și conductori. Anume acest fapt determină importanța practică a semiconductorilor. Principalul motiv de a studia semiconductorii este folosirea lor la producerea dispozitivelor semiconductoare și schemelor integrale. Siliciul se folosește pe larg la confecționarea celulelor solare și a fotodiodelor, însă nu poate servi în calitate de sursă efectivă de lumină. În acest scop în afara concurenței sunt semiconductorii din grupul  $A^{III}B^V$ , printre care se poate menționa *GaSb* [2].

Antimoniul de galiu este un compus cu structură directă a benzilor energetice, cu o lățime a benzii interzise de  $0,726$  eV la temperatura de  $300$  K. Se produce prin

intermediul topirii amestecului de *Ga* și *Sb* cu un exces de 5 % în containere din cuarț. După aceasta lingoul obținut se omogenizează prin metoda topirii zonale. Se folosește la producerea fotodiodelor destinate pentru domeniul infraroșu și a diodelor cu efect tunel. Pentru modificarea proprietăților *GaSb* materialul se poate dopa cu diferite elemente compatibile [2]. În afară de aceasta, doparea ar putea purifica acest compus, care conține cantități sporite de defecte proprii ale rețelei. Prezintă interes doparea cu *Fe* [3], care ar putea conduce, în particular, la apariția unor proprietăți magnetice.

Fenomenele galvanomagnetice permit de a obține informație utilă despre proprietățile principale ale materialelor semiconductoare cercetate. Se pot determina tipul conductivității electrice, conductivitatea electrică specifică, concentrația și mobilitatea purtătorilor de curent majoritari. De obicei aceste proprietăți se studiază la diferite temperaturi. Este interesant de a studia evoluția lor la modificarea temperaturii.

### **Metode și materiale aplicate**

La pregătirea acestei lucrări au fost cercetate experimental proprietățile fizice ale aliajelor *GaSb* + *Fe* cu conținutul fierului de 5 %, 10 % și 15 % *atomice*.

Compușii menționați mai sus au fost obținuți prin sinteza aliajelor în containere de cuarț la temperatura de 1100 °C. Apoi materialele obținute au fost prelucrate termic la temperatura de 680 °C. În fine a fost folosită metoda topirii zonale, care a permis de a obține omogenitate de-a lungul lingourilor.

Din lingourile masive au fost tăiate eșantioane în formă de paralelipede dreptunghice cu dimensiuni caracteristice  $8 \times 2 \times 4$  mm. Eșantioanele au fost șlefuite cu praf de diamant în câteva etape. Apoi ele au fost prelucrate chimic. Eșantioanele, care urmau să fie cercetate experimental, au fost notate convențional  $F - 5$ ,  $F - 10$  și  $F - 15$  (în conformitate cu conținutul fierului).

Pentru cercetarea conductivității electrice și a efectului Hall s-a folosit metoda celor patru sonde cu folosirea curentului electric continuu. Pe fețele laterale ale eșantioanelor au fost sudate câte două perechi de sonde potențiale din cupru. Măsurările s-au efectuat într-un câmp magnetic exterior cu inducția egală cu 1 T. Eșantionul era fixat într-un susținător masiv cu ajutorul a două blocuri de cupru. Aceste blocuri au servit și în calitate de contacte pentru curentul electric, care s-a lansat prin eșantion.

Susținătorul cu eșantionul fixat pe el s-a introdus în vasul Dewar, care conținea azot lichid. Azotul lichid în fierbere asigură temperatura de 77 K. După vaporizarea azotului temperatura din criostat crește lent până la cea a camerei. Măsurările s-au efectuat în intervalul de temperaturi  $77 \div 300$  K. Controlul temperaturii s-a efectuat cu ajutorul termocuplului din cupru-constantan, care era situat în blocul susținătorului.

Efectul Hall și conductivitatea electrică s-au cercetat în mod complex. La început pentru măsurarea conductivității electrice prin eșantion s-a lansat curent electric continuu

și s-au măsurat intensitatea acestui curent și tensiunea aplicată. S-au aplicat tensiuni de circa  $50\text{ mV}$ . Apoi pentru măsurarea coeficientului Hall s-a inclus câmpul magnetic și s-a mai măsurat tensiunea Hall. Măsurările s-au efectuat la diferite valori ale temperaturii din intervalul menționat. Măsurările au fost repetate multiplu pentru a exclude erorile eventuale.

### Rezultate obținute și discuții

În lucrarea curentă sunt prezentate și puse în discuție rezultatele experimentale obținute la cercetarea fenomenelor galvanomagnetice în eșantioanele aliajelor  $GaSb + Fe$  cu conținutul fierului de 5 %, 10 % și 15 % (respectiv  $F - 5$ ,  $F - 10$  și  $F - 15$ ) în intervalul de temperaturi  $77 \div 300\text{ K}$ .

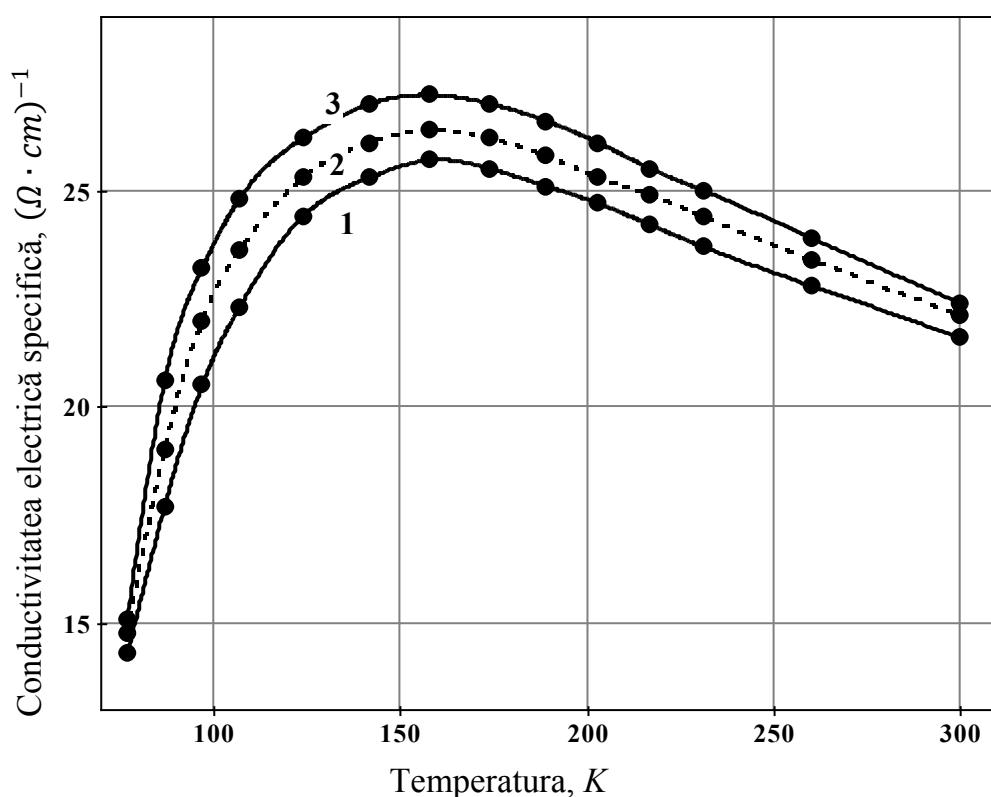


Figura 1. Dependența conductivității electrice specifice de temperatură pentru aliajele  $GaSb + Fe$  (aici și în continuare: 1) F-5; 2) F-10; 3) F-15).

S-a stabilit, că toate aliajele obținute posedau proprietăți de semiconductori, conductivitate electrică de tip  $p$  (prin intermediul golurilor) și o concentrație relativ mare a defectelor acceptoare ( $10^{17}\text{ cm}^{-3}$  la temperatura camerei). Aceste concentrații sunt caracteristice antimoniului de galiu.

În figura 1 sunt prezentate rezultatele cercetării conductivității electrice. Graficele din această figură reflectă modificarea conductivității specifice ( $\sigma$ ) pentru cele trei eșantioane la modificarea temperaturii. În fiecare grafic pot fi distinse două regiuni.

Prima din ele demonstrează o creștere bruscă a conductivității electrice la creșterea temperaturii. Regiunea aceasta începe la temperaturi mici și continuă până la circa  $160\text{ K}$ , când conductivitatea electrică atinge o valoare maximală. Se cunoaște, că conductivitatea electrică este determinată de produsul dintre concentrația și mobilitatea purtătorilor. La creșterea temperaturii concentrația crește, iar în acest interval de temperaturi crește și mobilitatea. Anume aceste două creșteri în comun determină caracterul brusc al măririi conductivității electrice cu temperatura în prima regiune a fiecărui grafic.

În cea de-a doua regiune se observă o scădere lentă a conductivității electrice la creșterea temperaturii. Regiunea aceasta începe la temperatura de circa  $160\text{ K}$  și continuă până la temperatura camerei ( $300\text{ K}$ ) (la temperaturi mai mari nu s-au făcut măsurări, însă se poate prezice o descreștere în continuare a conductivității electrice). La temperaturi mai mari de circa  $100\text{ K}$  mobilitatea începe să scadă, deoarece la astfel de temperaturi ea este determinată în mare parte de împrăștierea purtătorilor pe oscilațiile acustice ale rețelei (creșterea temperaturii conduce la intensificarea acestor oscilații și mișcarea ordonată a purtătorilor este împiedicată mai mult). Această tendință de micșorare a mobilității întrece tendința de creștere a concentrației și din acest motiv conductivitatea electrică scade.

Dacă comparăm rezultatele obținute pentru cele trei eșantioane, atunci observăm, că creșterea cantității de fier la dopare conduce la creșterea conductivității electrice, precum era de așteptat. Însă această creștere este foarte mică. Spre exemplu, la temperatura azotului lichid valorile conductivității electrice specifice pentru  $F - 5$ ,  $F - 10$  și  $F - 15$  sunt respectiv  $14,3$ ,  $14,8$  și  $15,1$   $(\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ . Iar la temperatura camerei aceste mărimi au valorile de  $21,6$ ,  $22,1$  și  $22,4$   $(\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$  respectiv. Într-adevăr, raportul acestor valori este destul de mic în comparație cu raportul cantităților de fier folosite.

În figura 2 sunt prezentate rezultatele cercetării efectului Hall. Acest efect se observă în câmpuri magnetice și constă în apariția unei diferențe de potențial transversale în eșantionul parcurs de curent electric continuu (câmpul magnetic exterior este perpendicular pe direcția curentului). El permite de a stabili semnul sarcinii purtătorilor majoritari și de a face concluzie despre concentrația lor. Acest fenomen este descris cantitativ de tensiunea Hall, care poate fi măsurată. Apoi se calculează coeficientul Hall ( $R_H$ ), care depinde de natura și starea materialului cercetat.

Cele trei dependențe din figura 2 descriu variația coeficientului Hall pentru cele trei eșantioane la variația temperaturii. În toate aceste grafice se produce o micșorare a acestui coeficient odată cu creșterea temperaturii. O așa scădere este obișnuită pentru materialele semiconductoare și este determinată de creșterea numărului de purtători liberi pe contul ionizării impurităților și al creșterii energiei oscilațiilor termice ale rețelei.

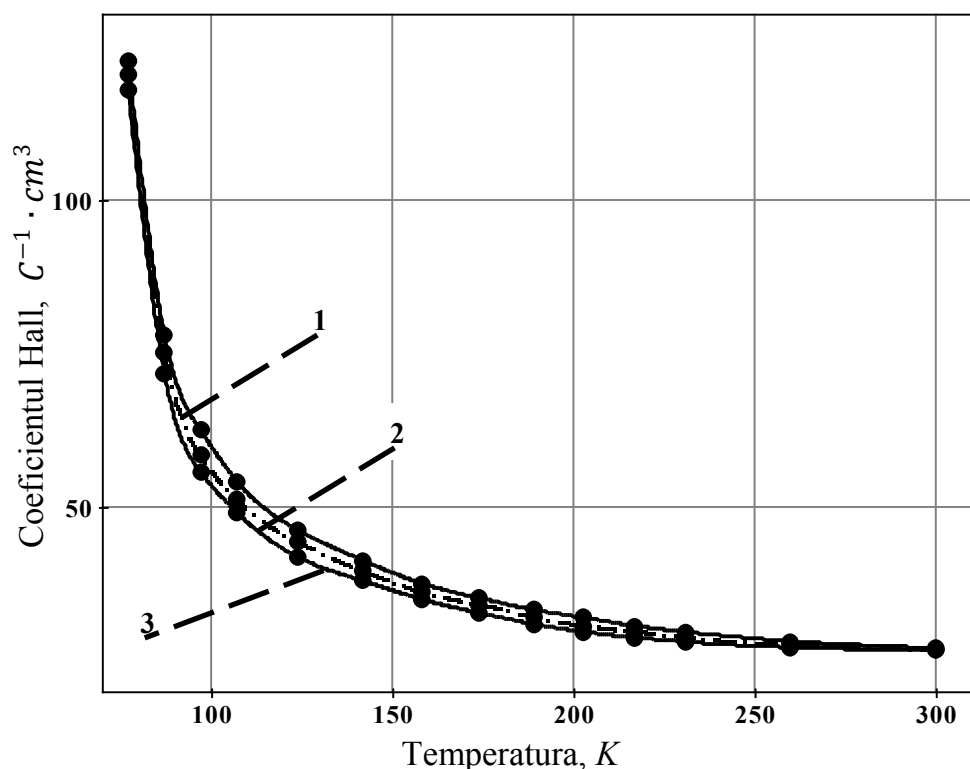


Figura 2. Dependența coeficientului Hall de temperatură pentru aliajele  $GaSb + Fe$ .

La temperaturi mici (până la 100 K) se observă o scădere bruscă a coeficientului Hall, iar la temperaturi mai mari (peste 150 K) scăderea este mult mai lentă. Așa dependențe sunt specifice pentru aceste intervale de temperaturi. La temperaturi mici se manifestă impuritățile, care se ionizează destul de intens, iar la temperaturi mari impuritățile sunt deja epuizate și timpul scăderii coeficientului Hall se micșorează, deoarece ionizarea atomilor de bază ai rețelei este mult mai lentă. Se poate presupune, că temperatura de epuizare a impurităților are valoare din intervalul  $100 \div 120 K$ .

Comparând rezultatele obținute pentru cele trei eșantioane se poate observa, că cele trei grafice sunt situate foarte aproape unul de altul. Deci, creșterea cantității de fier la dopare conduce la o micșorare nesemnificativă a coeficientului Hall.

Cunoașterea coeficientului Hall permite de a calcula concentrația purtătorilor majoritari:

$$p = \frac{1}{e \cdot R_H},$$

unde  $e$  este sarcina elementară.

În figura 3 sunt prezentate rezultatele calculelor concentrației golurilor pentru diferite temperaturi. Cele trei linii din această diagramă descriu variația concentrației pentru cele trei eșantioane la variația temperaturii. În toate aceste grafice se manifestă o creștere a concentrației odată cu creșterea temperaturii.

Din nou se observă, că creșterea cantității de fier folosit la doparea eșantioanelor examinate modifică foarte puțin concentrația. Ea crește foarte slab la creșterea concentrației fierului. Spre exemplu, la temperatura azotului lichid valorile concentrației pentru  $F - 5$ ,  $F - 10$  și  $F - 15$  sunt respectiv  $5,1$ ,  $5,2$  și  $5,3 \cdot 10^{16} \cdot \text{cm}^{-3}$ . Iar la temperatura camerei aceste mărimi au valorile de  $23,0$ ,  $23,2$  și  $23,3 \cdot 10^{16} \cdot \text{cm}^{-3}$  respectiv.

Având la dispoziție rezultatele măsurărilor conductivității electrice specifice și ale coeficientului Hall, s-au calculat mobilitățile golurilor pentru diferite temperaturi:

$$\mu = \sigma \cdot R_H.$$

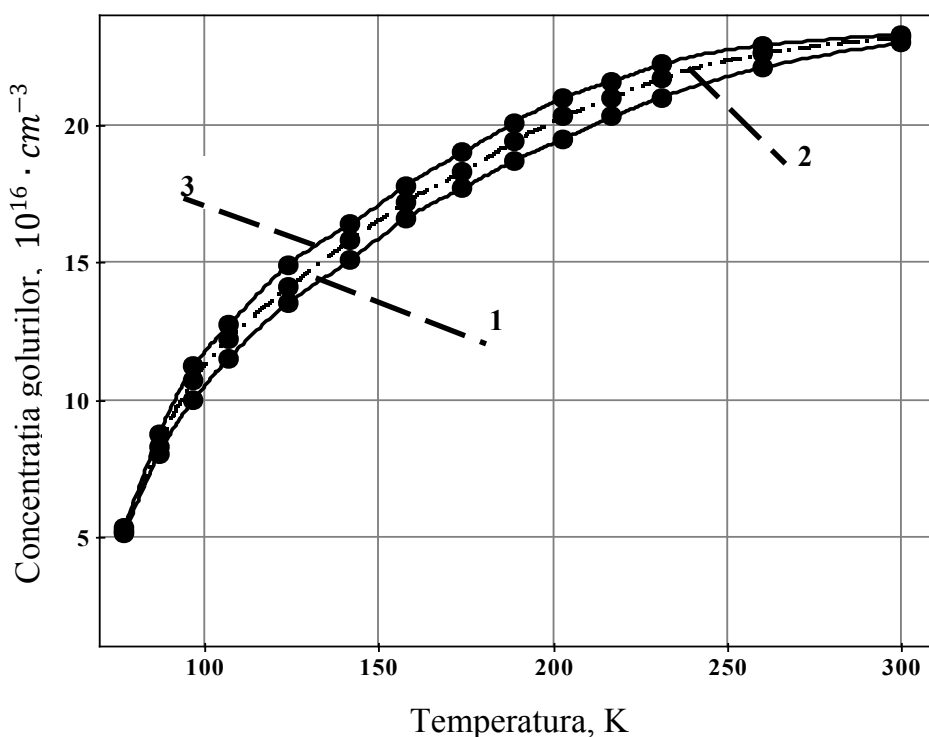


Figura 3. Dependența concentrației golurilor de temperatură în aliajele  $GaSb + Fe$ .

În figura 4 sunt prezentate dependențele mobilităților de temperatură pentru cele trei eșantioane. Toate aceste dependențe prezintă o scădere a mobilității la creșterea temperaturii. Astfel de dependențe sunt caracteristice pentru  $GaSb$  în intervalul de temperaturi cercetat. Mobilitatea este determinată în aceste condiții, în fond, de împrăștierea golurilor de către fononii acustici ai rețelei. În conformitate cu teoria acestui mecanism de împrăștiere, descreșterea mobilității cu temperatura se produce după legea:

$$\mu \sim T^{-3/2}.$$

După cum se poate observa din această figură, cele trei grafice aproape că se suprapun. Deci, mobilitățile golurilor în cele trei eșantioane sunt practic aceleași. Mărirea cantității de fier folosit la dopare nu modifică esențial mobilitatea.

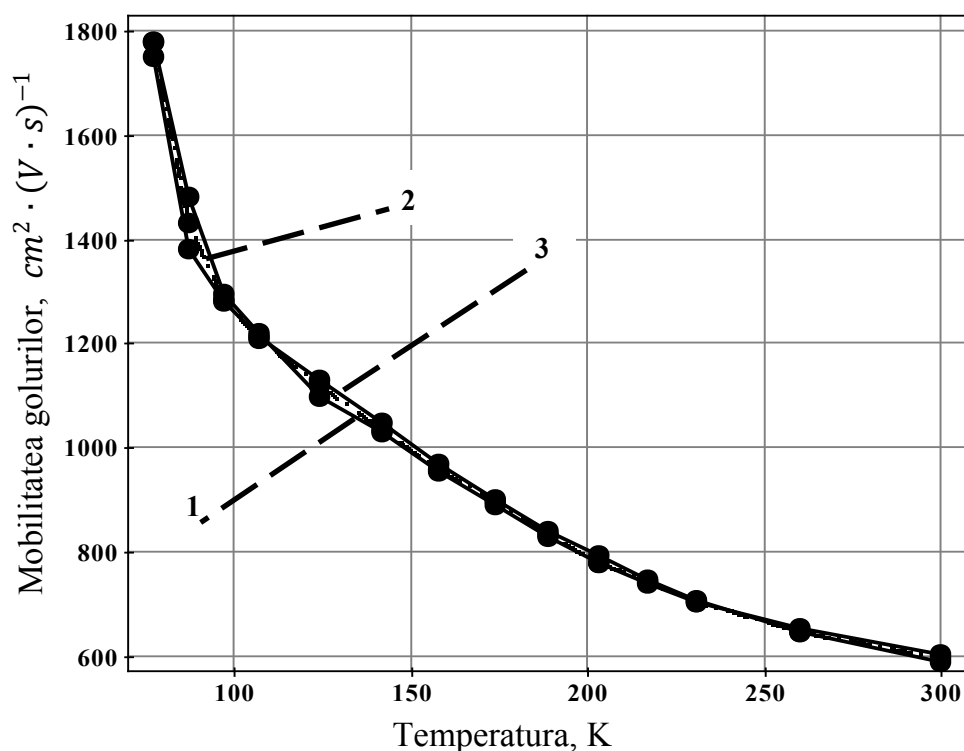


Figura 4. Dependența mobilității golurilor de temperatură în aliajele  $GaSb + Fe$ .

## Concluzii

Rezultatele obținute la cercetarea fenomenelor galvanomagnetice în antimoniul de galiu dopat cu fier în concentrații relativ mari (5 ÷ 15 % *atomice*) au permis de a stabili, că modificarea cantității de fier folosit la dopare nu a condus la o schimbare esențială a proprietăților acestui material. Conductivitatea electrică specifică a materialului, concentrația și mobilitatea golurilor nu au variat semnificativ la variația cantității de dopant. Se poate presupune, că nu tot fierul folosit a reușit să se instaleze în rețea. O parte din dopant nu a fost acceptată la formarea rețelei cristaline. Cu alte cuvinte, pentru fier există o limită de solubilitate în  $GaSb$ . Cantitățile mici de fier se dizolvă în totalmente și atomii se includ în rețea, iar cantitățile mari – numai parțial. Pentru verificarea acestei ipoteze trebuie de cercetat și eșantioane cu alte concentrații de dopare.

## Bibliografie

1. Gașin P., Gaugaș P., Focșa A. Fizica dispozitivelor semiconductoare. Chișinău: Tipografia Centrală, 1998.
2. Маделунг О. Физика полупроводниковых соединений элементов III и V групп. Москва: Мир, 1967.
3. Gheorghîță E. ș.a. Proprietățile fizice ale antimonidului de galiu dopat cu fier. În: „Fizică și tehnică: Procese, modele, experimente”. Bălți: Universitatea de Stat „Alecu Russo”, 2007, nr.1, p. 5-10.