

## PARTICULARITĂȚILE EFECTELOR DE TRANSPORT ÎN ANTIMONIDUL DE GALIU DOPAT CU NICHEL

Eugen Gheorghită, Boris Korolevski, Igor Postolachi, Leonid Guțuleac, Pantelei Untilă  
Universitatea de Stat din Tiraspol  
[e.gheorghita@mail.ru](mailto:e.gheorghita@mail.ru)

**Abstract:** *In present paper it is analyzed the changes of the galvanomagnetic effects of gallium antimonide under the influence of the nickel. It shows anisotropy of the transport effects in relation to the orientation of inclusions formed by doping.*

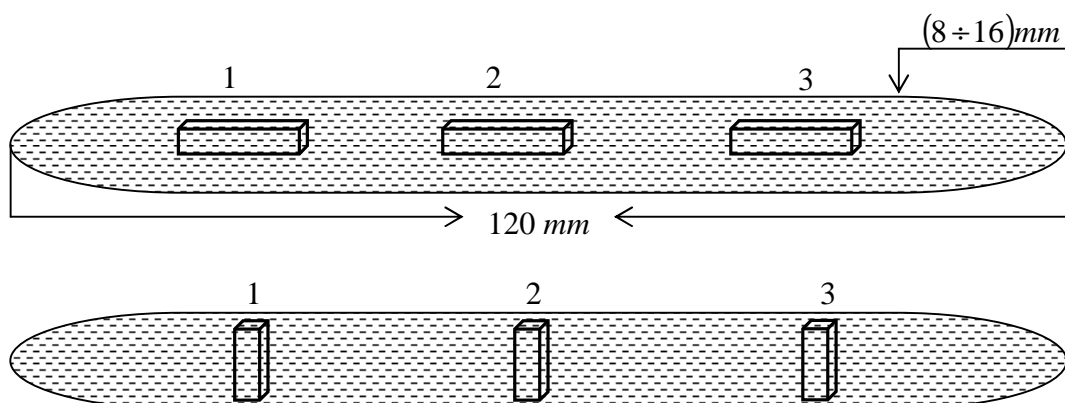
**Cuvinte-cheie:** *matricea, dopant, clustere, orientarea clusterilor*

### I. Introducere

Problema comportării elementelor din grupa de tranziție în antimonidul de galiu este de perspectivă și totodată și destul de serios discutabilă, avînd un caracter cum teoretic, așa și aplicativ. [1]

### II. Partea de bază

În lucrarea dată se analizează particularitățile efectelor de transport în antimonidul de galiu dopat cu nichel în diferite concentrații. Eșantioanele studiate au fost obținute prin metoda topirii zonale modificată. Concentrația nichelului în antimonidul de galiu în experimentul tehnologic a variat în diapazonul (0,01÷3) procente atomare. Studiul proprietăților mecanice, utilizând metodele obișnuite, ne confirmă următoarele: antimonidul de galiu dopat cu nichel în concentrații mici de pînă la 0,01% atomare se obține în formă omogenă fără careva incluziuni. în lingoul monocristalin de antimonid de galiu dopat cu nichel în concentrații mai mari ca 0,1% se evidențiază niște incluziuni aciculare cu un diametru de dimensiuni nanostructurale orientate de-a lungul deplasării zonei topite, de o structură chimică ce diferă de structura matricei.



**Fig. 1.** Diagrama confecționării probelor de antimonid de galiu dopat cu nichel în concentrații mai mari de 0,1% procente atomare.

- de-a lungul incluziunilor aciculare sedimentate în procesul tehnologic;
- perpendicular incluziunilor aciculare sedimentate în procesul tehnologic.

Cu majorarea concentrației dopantului respectiv crește și densitatea acestor incluziuni, numite de noi clustere. Diagrama eșantioanelor utilizate pentru studierea efectelor de transport în intervalul de temperaturi (80÷300)K, este prezentată în figura 1. Toate probele studiate au avut tipul de conductivitate –p.

Rezultatele măsurătorilor efectelor de transport pentru probele din regiunea 2, concentrațiile  $(N_A - N_D)cm^{-3}$  pentru două temperaturi sunt introduse în tabelul 1.

Tabelul 1

300K			80K		
Nr. probei	Concentrația Ni în soluție, %	$(N_A - N_D)cm^{-3}$	Nr. probei	Concentrația Ni în soluție, %	$(N_A - N_D)cm^{-3}$
1	0,1	$1,56 \cdot 10^{17}$	1	0,1	$6,25 \cdot 10^{16}$
2	0,15	$1,64 \cdot 10^{17}$	2	0,15	$7,8 \cdot 10^{16}$
3	0,20	$1,78 \cdot 10^{17}$	3	0,20	$8,3 \cdot 10^{16}$
4	0,3	$1,95 \cdot 10^{17}$	4	0,3	$8,9 \cdot 10^{16}$
5	0,5	$2,1 \cdot 10^{17}$	5	0,5	$9,2 \cdot 10^{16}$
6	1	$2,2 \cdot 10^{17}$	6	1	$9,6 \cdot 10^{16}$
7	2	$3,2 \cdot 10^{17}$	7	2	$1,3 \cdot 10^{17}$

Din rezultatele experimentale prezentate în tabelul 1 evidențiem următoarele: majorarea concentrației dopantului de la 0,1% procente atomare pînă la 2% procente atomare exercită o micșorare respectivă a constantei Hall și o majorare a concentrației  $(N_A - N_D)$  de la  $1,56 \cdot 10^{17} cm^{-3}$  pînă la  $3,2 \cdot 10^{17} cm^{-3}$ .

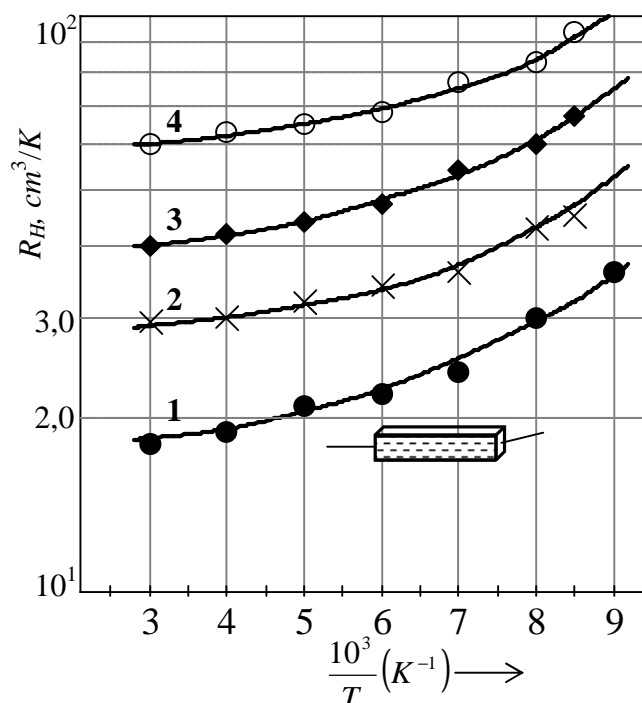


Fig. 2. Dependența constantei Hall de temperatura și concentrația nichelului.

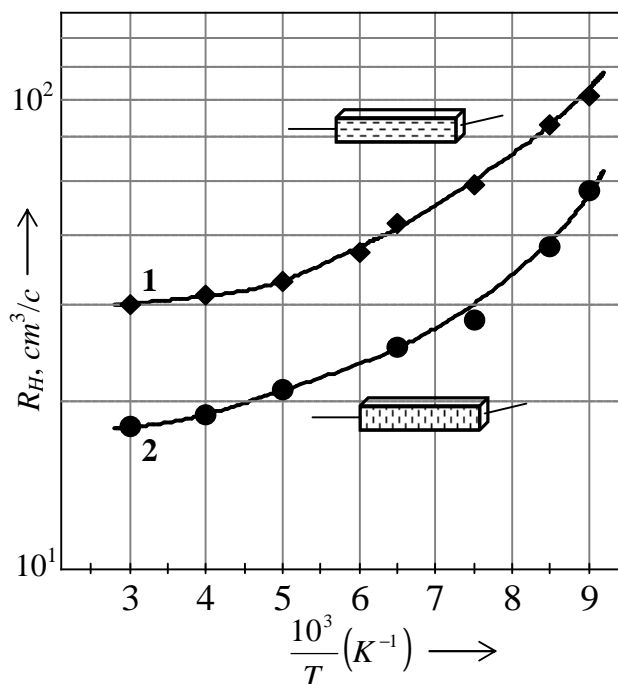
1 – 2,0% Ni;                      3 – 1,0% Ni;  
2 – 0,5% Ni;                      4 – 0,01% Ni.

Aceste rezultate evidențiază faptul că solubilitatea nichelului în antimonidul de galiu nu este eficientă. Privitor la parametrii probelor din lingoul înregistrat în figura 1 cu cifrele (1,2,3) avem următoarele rezultate: spre exemplu, dacă la proba 2 cu concentrația nichelului 0,15% procente atomare avem la temperatura 300K  $1,64 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , la probele 1 avem  $1,5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ , iar pentru proba cu numărul 3 avem  $(N_A - N_D) = 1,72 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ . În acest experiment avem o distribuție a concentrației  $1,5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  până la  $1,72 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  ce alcătuiește ~14% este o repartiție aproximativ uniformă. Rezultatele experimentale prezentate mai sus ne confirmă că pentru concentrații mici ale dopantului, spre exemplu  $\leq 0,15\%$  proprietățile monocristalelor dopate puțin se deosebesc de monocristalele de antimonid de galiu nedopate. În concentrații mai mari ca 0,5% procente atomare dopantul, în cazul dat nichelul, interacționează fie că cu atomul de galiu sau cu atomul de stibiu formînd niște combinații intermediare de altă structură cristalină. Ca rezultat se formează o abatere de la stehiometria respectivă, ce contribuie la majorarea concentrației defectelor în materialul de bază. Această concluzie este confirmată experimental.

În figura 2 sunt prezentate dependențele constantei Hall de temperatură și de concentrația nichelului. Rezultatele experimentale prezentate în această figură confirmă concluziile formulate mai sus.

În figura 3 sunt prezentate spectrele constantei Hall pentru proba Nr. 6 (conținut de nichel 1% atomar).

Pentru proba 6 în figura 3 sunt prezentate rezultatele experimentale de studiere a constantei Hall pentru o probă cu conținut al dopantului de 1% procent atomar înregistrate pentru două situații: acicularele orientate paralel cîmpului magnetic și perpendicular curentului ce circulă prin probă (curba 1) și curba 2 incluziunile sunt perpendiculare cum curentului ce circulă prin probă, așa și cîmpului magnetic. Datele experimentale prezentate în această figură ne înregistrează o anomalie sau o anizotropie a efectelor galvanomagnetice. Asimetria constantei Hall în cazul probei date alcătuiește ~40%. La fel experimental este înregistrat faptul că valoarea asimetriei crește cu mărirea concentrației dopantului. Evident că creșterea anomaliei constantei Hall în principiu este determinată de creșterea respectivă a densității incluziunilor orientate fie într-un caz sau în alt caz.



**Fig. 3.** Spectrul constantei Hall pentru antimonidul de galiu dopat cu nichel pentru diferite orientări a incluziunilor (orientarea este indicată în figură). *GaSb* (Nr.6)

În general, prezența asimetriei, ce depinde de orientarea incluziunilor nanometrice, poate fi explicată, dacă admitem o șuntare a curentului electric ce circulă prin probă de aceste incluziuni intermetalice. Din punct de vedere teoretic în lucrarea [2] este demonstrat, că constanta Hall pentru probele cu incluziunile aciculare orientate perpendicular cîmpului magnetic este determinată de relația

$$R_x = \frac{kR_1s_1 - R_2s_2^2/s_1^1}{ks_1 + s_2}, \quad (1)$$

unde  $R_1$  și  $R_2$  corespunzător este constanta Hall pentru matricea de bază, adică pentru GaSb și constanta Hall pentru materialul incluziunilor;  $s_1$  și  $s_2$  - conductivitățile electrice ale antimonidului de galiu și materialului incluziunilor;  $k$  este o constantă ce reprezintă raportul suprafeței secțiunii matricii de bază GaSb și suprafața sumară a incluziunilor (perpendiculară lungimii incluziunilor). Din relația (1) rezultă: valoarea constantei Hall ( $R_x$ ) depinde nu numai de proprietățile fizice ale matricii și materialului incluziunilor ( $R_1, R_2, s_1, s_2$ ), dar esențial depinde și de densitatea incluziunilor exprimată prin valoarea constantei  $k$ . Evident că această constantă, în principiu, depinde de concentrația dopantului care contribuie la mărirea densității incluziunilor orientate. Parametrii incluziunilor intermetalice  $R_1$  și  $s_2$  la temperaturile 80K și 300 K practic sunt aceleași.

În așa caz, sumar dependența constantei Hall de temperatură este determinată de  $R_1$  și  $s_1$  ( $R_1 > R_x$ ). La fel, în această lucrare este specificat pentru probele în care incluziunile sunt orientate paralel cîmpului magnetic, efectul de șuntare a tensiunii Hall lipsește. În acest caz  $R_x \approx R_1$  corespunde unui material dopat puternic ce nu conține incluziuni. Cele prezentate mai sus justifică rezultatele experimentale realizate pentru antimonidul de galiu dopat cu nichel.

S-au analizat și spectrele mobilităților și modificările lor în raport de temperatură și de concentrația dopantului. Se evidențiază următoarele particularități: cu majorarea concentrației nichelului în matricea de bază experimental se înregistrează o micșorare respectivă a mobilităților golurilor; deosebiri esențiale în raport cu rezultatele noastre discutate pentru antimonidul de galiu dopat cu fier nu s-au înregistrat[3]; în intervalul de temperaturi studiat ( $80 \div 300$ )K împrăștierea purtătorilor de sarcină, de obicei, are loc pe centrele impuritate, pe fononi acustici și optici, fiecare din care este cunoscut că depinde de temperatură.[3] Deci, la general, pentru mecanismele de împrăștiere integral este cunoscută relația

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} + \frac{1}{m_3},$$

unde  $m_1, m_2, m_3$  mobilitățile determinate de împrăștierea purtătorilor pe ionii impuritari; fononi acustici și fononi optice. Aceste trei mecanisme nu ne permit să obținem o corelare a datelor teoretice cu cele experimentale. În așa caz, procedând ca în cazul antimonidului de galiu dopat cu fier și mangan, introducem un nou mecanism de împrăștiere numit împrăștierea pe clustere, deci:

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} + \frac{1}{m_3} + \frac{1}{m_4}$$

Aceste patru mecanisme de împrăștiere ne permit să obținem o corelație suficientă dintre teorie și experiment. Ajustarea mecanismului  $m_4$  a permis determinarea dimensiunilor clusterilor răspunzătoare de această împrăștiere, sunt de ordinul  $\sim 100\text{\AA}$ .

### III. Concluzii

Rezultatele acestui compartiment permit evidențierea următoarelor considerente: Doparea antimonidului de galiu cu nichel contribuie la o repartizare a dopantului pe dimensiunile lingoului ce depinde de concentrația Ni, coeficientul efectiv de repartizare depinde esențial de concentrația dopantului. La concentrații mici (0,01%) atomul de Ni intră în structura GaSb, ocupînd probabil locul galiului. La așa concentrații, numărul de atomi de nichel, probabil nu este suficient pentru modificarea esențială a proprietăților fizice a matricii ce conține o concentrație mare ( $\sim 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ) a acceptorilor proprii; pentru concentrația nichelului mai mică de 0,1% efectele de transport practic nu se deosebesc de efectele respective ale antimonidului de galiu nedopat. Pentru concentrații a dopantului mai mari de 0,1% constanta Hall, mobilitatea purtătorilor de sarcină se micșorează; se evidențiază un nou mecanism de împrăștiere a purtătorilor de sarcină, numit clustere; se majorează concentrația defectelor proprii excitate de abaterile stehiometrice; se analizează anizotropia constantei Hall și se explică diferite posibilități a asimetriei înregistrate.

#### Referințe:

1. Masterov V. F., Samorukov B.E., Sobolevskii B.K.//FTP, 1978, t. 2, c. 201;
2. Ilimencov G.V., Nasledov D.N.//FTT, 1969, t. 11, c. 3282;
3. L. Guțuleac, I. Postolachi, O. Zlotea, V. Melinte//Chișinău, International conference „Physics of low-dimensional structures” in honour of the 80-th anniversary of Prof. Evghenii Pocatilov”, pag. 22, 2007