

## RELAXAREA SPIN ELECTRONICĂ ÎN ANTIMONIDUL DE GALIU

Alexei Mihălache  
Universitatea de Stat din Tiraspol, Moldova  
[mihalache.alexei@gmail.com](mailto:mihalache.alexei@gmail.com)

**Abstract.** *The present paper deals with the results of the studies of electron spin dynamics in the specimens of the p type conductivity of gallium antimonide doped with iron within the concentration of 0.001÷3 (atomic percent) and the temperature range of 2÷77 K.*

**Cuvinte-cheie:** *antimonid de galiu, spectru fotoluminescent, spinul electronilor.*

### I. Introducere

În ultimii ani considerabil a sporit interesul către cercetarea dinamicii spinurilor purtătorilor de sarcină în diferite materiale semiconductoare și în structurile semiconductoare. Aceasta este legat, în primul rând, de ideea creării calculatorului cuantic.

Relaxarea spinurilor electronilor de conductibilitate – este un instrument puternic de diagnosticare a proceselor modificării spectrului energetic al purtătorilor de sarcină în diferiți compuși a semiconductorilor. Este cunoscut, că metoda experimentală cea mai sensibilă de cercetare a dinamicii spinurilor electronilor – este metoda orientării optice a purtătorilor de sarcină fotoexcitați. În spectrul dinamicii spinurilor, obținut prin metoda orientării optice apar mecanisme noi relaxarea spinului, care nu se manifestă în condiții obișnuite și alte metode radiospectroscopice. Importanța experimentelor prin orientarea optică constă în aceea, că în aceste experimente ca lege, se studiază orientarea purtătorilor de sarcină nefundamentali de obicei electronii, cu toate acestea, pentru îndestularea intensității liminiscente suficientă, se utilizează materiale cu concentrație mare a purtătorilor principali de sarcină – goliurile. Analiza parametrilor de bază a spectrului energetic al antimonidului de galiu demonstrează, că acest material, este cel mai potrivit pentru cercetarea spectrelor dinamicii spinurilor prin metoda orientării optice ale purtătorilor de sarcină fotoexcitați.

### II. Rezultate experimentale și discuția lor

Antimonidul de galiu nedopat a fost obținut prin metoda modificată a topirii zonale. Probele antimonidului de galiu dopate cu fier au fost obținute deasemenea prin metoda modificată a topirii zonale în atmosfera spectrală cu argon curat. Tehnologia elaborată combină două procese tehnologice: purificarea zonală și creșterea zonală a monocristalului. Concentrația fierului introdus s-a modificat până la 3 % atomare.

Excitarea luminescentă sa realizat cu ajutorul luminei circular polarizate cu energia cuantei egală cu lărgimea benzii energetice interzise. Lumina circular polarizată excită în zona de conductibilitate electronii predominanți cu o singură direcție a spinului. Dacă viteza de recombinare ale electronilor nu depinde de spinul lor, evident în zona de conductibilitate va avea loc acumularea purtătorilor orientați după spin. Aceasta poate avea loc deja la intensitatea excitării la care concentrația excesivă a purtătorilor neprincipali (electronilor în antimonidul de galiu de tip-p) încă este mică în comparație cu echilibrul lor și ca rezultat la iradiere recombinarea va fi polarizată.

Caracteristicile structurilor spectrelor fotoluminiscente la T=2 K cei corespunde antimonidului de galiu nedopat cu concentrația  $N_A - N_D = 4 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$  măsurat la 77 K evidențiază un șir de benzi emițătoare: banda A cu  $(hw)_{\max} = 777 \pm 0,2 \text{ meV}$ ; pentru celelalte benzi BE<sub>1</sub>, BE<sub>2</sub>, BE<sub>3</sub>, BE<sub>4</sub> maximile iradierii sunt  $(hw)_{1\max} = (805,2 \pm 0,2) \text{ meV}$ ;  $(hw_2)_{\max} = (802,3 \pm 0,2) \text{ meV}$ ;

$(hw)_{3\max} = (801 \pm 0,2) \text{ meV}$ ;  $(hw)_{4\max} = (796 \pm 0,2) \text{ meV}$  pentru probele ușor dopate cu fier are jumătate din banda de emisie  $(2,5 \pm 0,2) \text{ meV}$  și pentru antimonidul de galiu puternic dopat (concentrația fierului administrat în matricea de bază  $\sim 2\%$ ) și concentrația  $N_A - N_D \sim 5 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  are jumătate din banda de emisie asociate cu recombinarea pe nivelurile acceptorii ale fierului  $(8,5 \pm 0,2) \text{ meV}$ . Un interes deosebit în analiza structurilor benzilor de iradiere  $BE_1, BE_2, BE_3, BE_4$  este restructurarea acestor benzi cu creșterea concentrației fierului în matricea de bază. În probele dopate din familia stărilor excitonice menționate mai sus rămâne doar  $BE_1$  fără modificarea poziției energetice cu creșterea conținutului de fier, dar cu modificarea formei și jumătatea lățimii acestei benzi de iradiere, și  $BE_4$  de asemenea fără modificarea poziției energetice dar cu modificarea intensității, dar în proba dopată puternic.

Spectrul cei corespunde antimonidului de galiu dopat cu fier în concentrație de 0,005 % ce corespunde aproscimativ  $N_{FE} \approx 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ . Analiza structurii acestui spectru practic cu nimic nu se deosebește de spectrul inițial al antimonidului de galiu, conține aceleași benzi de iradiere cu aceleași poziții energetice doar că are o mărire neesențială a semibenzii de iradiere în B. Aceste trăsături în spectrul de iradiere inițial al antimonidului de galiu nedopat și puțin dopat cu fier, după părerea noastră, este condiționată corespunzător tranziției donor-acceptor la nivelul acceptorului propriu (banda A) și legate pe acceptori excitonilor neutri. Majorarea conținutului de fier în probe cu structura excitonică se micșorează după intensitate și la concentrația fierului administrat  $\sim 0,01\%$  atomare dispare și apare o bandă nouă de iradiere  $A_{Fe}$ , situată alături de banda de iradiere a undei scurte -A. Maximum energetic al benzii  $A_{Fe}$  corespunde  $(hw)_{A_{Fe}\max} \approx (787 \pm 0,2) \text{ meV}$ . Analiza acestor benzi ne permite de a face concluzia că intensitatea lor relativă se modifică aproscimativ proporțional conținutului de fier în starea activă electrică și la conținutul fierului  $\sim 1\%$  intensitatea liniilor familiei  $A_{Fe}$  sînt mai mari față de intensitatea benzii de iradiere A. La conținutul fierului administrat  $\sim 3\%$  atomare, concentrația  $N_A - N_D \sim 5 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  în spectrul de iradiere se înregistrează numai o bandă largă asimetrică: cu panta mare din partea diapazonului energiei joase și curbă lină din partea diapazonului spectrului energetic înalt. Bineînțeles că banda de iradiere  $A_{Fe}$ , așa cum și banda de iradiere A este condiționată de tranziția donor-acceptor, administrat la doparea fierului. Din spectrele de iradiere aduse se poate de apreciat energiile stărilor corespunzătoare: avînd în considerație energia de activare a stărilor donore naturale  $\sim 2 \text{ meV}$  și  $E_g(2K) = 814 \text{ meV}$ , pentru energiile de activare a acceptorilor proprii naturali obținem  $E_i = (34 \pm 0,5) \text{ meV}$ . Maximum benzii de iradiere -  $A_{Fe}$  este deplasat față de maximum benzii de iradiere - A în direcția energiilor mari cu  $(\pm 0,5 \text{ meV})$ . Deplasarea dată determină diferența dintre energie de ionizare introduse de nivelurile acceptoare și nivelul acceptorului propriu, care au fost obținute de către noi mai sus cu valoarea  $E_i = (34 \pm 0,2) \text{ meV}$ .

### III. Concluzii

Rezultatele experimentale arată că întradevăr antimonidul de galiu este un material puternic defectat. Gradul de polarizare a benzilor de iradiere depind de concentrația de fier introdusă în matricea de bază. Cu creșterea concentrației atomilor de fier în matrice corespunzător gradului de polarizare radiativă crește aproscimativ proporțional și gradul de polarizare recombinare radiativă în dependență de concentrația fierului. Liniile excitonice  $BE_1, BE_2, BE_3$  și  $BE_4$ , cu creșterea temperaturii pînă la 20 K nesemnificativ se deplasează în direcția energiilor mari și la temperatura de 20 K dispare. Benzile spectrale identificate ca recombinarea cu implicarea acceptorilor (acceptori naturali, acceptori legate cu introducerea fierului) sunt deplasate în regiunea energiilor joase. Aceste caracteristici spectrale sunt valabile pînă la temperatura 220 K.