

Relaxarea de spin în monocristalele de antimonid de galiu dopate cu fier

Eugen GHEORGHITĂ, Felicia ERMALAI, Valeriu CANȚER
 Universitatea de Stat Tiraspol
 Republica Moldova, Chişinău 2069, str. Iablocikin 5
 e.gheorghita@mail.ru

Abstract — In A^{III}B^V chemical combinations family, gallium antimonide is a material with unusual physical properties. Behavior of the transition elements like Iron, Chromium, Manganese, Nickel in various A^{III}B^V combinations is a current problem both from theoretical and applicative point of view. The transition metals impurities behavior is ambiguous and controvertible.

In present paper are analyzed spinic relaxation mechanisms in gallium antimonide doped with iron in different concentrations. The spinic relaxation speed has been determined from Hanle contour structure registered at T=2K temperature. In GaSb it is distinguished an additional spinic relaxation mechanism about ferromagnetic cluster formative process released by iron in GaSb matrix.

Index Terms — clusters, depolarization contour, spinic relaxation time.

I. INTRODUCERE

Antimonidul de galiu face parte din familia combinațiilor chimice din grupa A^{III}B^V cu proprietăți de semiconductori neobișnuiți în comparație cu alte combinații din această grupă. Dopanții din grupa elementelor de tranziție, cum ar fi fierul, manganul, nichelul, etc. în diferite combinații din grupa A^{III}B^V se comportă în mod diferit și încă nu este stabilit un mecanism unic ce ar explica comportarea acestor impurități.

II. REZULTATELE EXPERIMENTALE

Problema studierii comportării dopanților din grupa de tranziție și grupa pământuri rare are cum un caracter teoretic așa și un caracter aplicativ în special în materialele cu o concentrație mare a defectelor structurale, cum în cazul dat este antimonidul de galiu. Orientarea optică a purtătorilor de sarcină permite studierea experimentală a proceselor de relaxare spinică cu timpul de relaxare spinică destul de mic ($10^{-10} \div 10^{-12}$ s).

În literatura de specialitate se discută patru concepții teoretice cu ajutorul cărora se analizează procesul de relaxare spinică a purtătorilor de sarcină în diferite structuri cuantice.

Electronul poate suferi modificarea spinului în urma interacțiunii cu defectul structural al materiei structurii. Acest mecanism este cunoscut sub numele de mecanismul Elliot-Yafet [1], [2].

Electronul își poate modifica spinul nu în rezultatul ciocnirii, dar în intervalul de timp dintre două ciocniri consecutive. Acest mecanism a fost calculat de Diaconov și Pereli [3] se manifestă în materiale cu proprietăți de semiconductori fără un centru de simetrie în care interacțiunea spin-orbită despică spectrul energetic în așa fel încât stările proprii ale sistemului nu corelează cu proiecțiile spinului pe axa dată.

Următorul mecanism are concepția modificării spinului

în urma interacțiunii de schimb dintre electron și gol. Acest mecanism este cunoscut sub numele de mecanismul lui Bir-Aronov-Pikus [4].

Modificarea spinului are loc în urma interacțiunii electronului liber cu electronul localizat pe un centru paramagnetic [5], [6].

În lucrarea dată în baza înregistrării conturului Hanle pentru antimonidul de galiu dopat cu fier în diferite concentrații și pentru un diapazon larg de temperaturi se explică datele experimentale folosind mecanismele teoretice de relaxare spinică descrise mai sus.

Monocristalele studiate de antimonid de galiu dopat cu fier în concentrații (0,001÷3)% atomare s-au obținut prin metoda topirii zonale modificată. Fierul ca dopant în concentrațiile nominalizate s-a introdus nemijlocit în procesul de creștere a monocristalelor. Experimental s-au studiat spectrele de iradiere excitate cu lumină polarizată circular cu energia excitantului din apropierea benzii energetice interzise. Excitațiile cu lumină polarizată circular contribuie la orientarea spinului electronilor de neechilibru. Timpul de viață a purtătorilor de sarcină de neechilibru și timpul de relaxare spinică s-au calculat după valoarea gradului de polarizare a iradierii și dependenței lui de câmpul magnetic perpendicular.

TABELUL I. TIMPUL DE RELAXARE SPINICĂ ÎN ANTIMONIDUL DE GALIU DOPAT CU FIER

Nr.	Conținut de Fe, % at.	$N_A - N_D$, cm^{-3}	$\tau_{s,exp} \cdot S$	$\tau_{s,teor} \cdot S$
1.	0	$1,4 \cdot 10^{17}$	$3,47 \cdot 10^{-9}$	$4,2 \cdot 10^{-9}$
2.	0	$1,6 \cdot 10^{17}$	$3,60 \cdot 10^{-9}$	$3,8 \cdot 10^{-9}$
3.	0,001	$1,7 \cdot 10^{17}$	$2,52 \cdot 10^{-9}$	$6,2 \cdot 10^{-9}$
4.	0,005	$1,9 \cdot 10^{17}$	$2,27 \cdot 10^{-9}$	$3,8 \cdot 10^{-9}$
5.	0,01	$2,8 \cdot 10^{17}$	$1,99 \cdot 10^{-9}$	$4,7 \cdot 10^{-9}$
6.	0,10	$1,1 \cdot 10^{18}$	$1,77 \cdot 10^{-9}$	$4,0 \cdot 10^{-9}$
7.	1,0	$1,8 \cdot 10^{18}$	$1,51 \cdot 10^{-9}$	$2,1 \cdot 10^{-9}$
8.	2,0	$2,1 \cdot 10^{18}$	$1,47 \cdot 10^{-9}$	$1,98 \cdot 10^{-10}$
9.	3,0	$2,3 \cdot 10^{18}$	$1,60 \cdot 10^{-9}$	$1,88 \cdot 10^{-10}$
10.	3,0	$2,3 \cdot 10^{19}$	$1,80 \cdot 10^{-9}$	$4,8 \cdot 10^{-11}$
11.	3,0	$1,8 \cdot 10^{19}$	$1,82 \cdot 10^{-9}$	$5,5 \cdot 10^{-11}$

În tabelul de mai sus sunt prezentate rezultatele experimentale pentru timpul de relaxare spinică în antimonidul de galiu dopat cu fier în raport de concentrațiile fierului determinate la temperatura de 2K.

Din datele experimentale evidențiem că timpul de relaxare spinică în antimonidul de galiu nedopat cu concentrația $(N_A - N_D) \approx 1,4 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ alcătuiește $3,47 \cdot 10^{-9} \text{ s}$, pe când în antimonidul de galiu dopat cu fier cu $(N_A - N_D) \approx 2,8 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ timpul de relaxare spinică experimental alcătuiește $1,82 \cdot 10^{-11} \text{ s}$.

Deci raportul dintre timpul de relaxare spinică a antimonidului de galiu nedopat către timpul de relaxare spinică a antimonidului de galiu dopat cu fier în concentrații

de 3% alcătuiește $\frac{\tau_{s,o}}{\tau_{s,d}} = \frac{3,47 \cdot 10^{-9}}{1,82 \cdot 10^{-11}} = 190$, deci viteza

relaxării spinice în antimonidul de galiu dopat crește de 190 ori mai mare în probele dopate față de cele nedopate, precum concentrația a variat

$\frac{(N_A - N_D)_d}{(N_A - N_D)_o} = \frac{2,8 \cdot 10^{19}}{1,4 \cdot 10^{17}} = 200$ ori. Concentrația s-a mărit

de 200 ori, pe când timpul de relaxare spinică s-a micșorat de 190 ori. Calculele teoretice s-au realizat pentru primele trei mecanisme enunțate mai sus.

După cum se vede din rezultatele indicate în tabelă, dacă pentru concentrații mici de fier o corelare suficientă se poate evidenția, pentru concentrații mari de fier datele experimentale nu corespund cu cele teoretice obținute în cadrul mecanismului Bir-Aronov-Pikus. Spre exemplu pentru eșantionul în care am introdus 3% fier cu

$$(N_A - N_D) \approx 1,8 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3} \text{ raportul } \frac{(\tau_s)_{\text{exp}}}{(\tau_s)_{\text{teor}}} = \frac{1,82 \cdot 10^{-9}}{5,5 \cdot 10^{-11}} = 33.$$

III. CONCLUZII

Rezonabile sunt cu datele experimentale numai calculele realizate în cadrul mecanismului Bir-Aronov-Pikus, datele teoretice obținute în cadrul celorlalte două mecanisme nu corelează nicidecum cu rezultatele experimentale.

Aceste rezultate vorbesc în favoarea unui mecanism suplimentar de relaxare spinică specifică fierului ce formează clustere în matricea antimonidului de galiu.

REFERINȚE

- [1] Elliot R.I, Phys. Rev, 1954, 96, p.266.
- [2] Yafet Y, Sol. St. Phys, 1963, p.141.
- [3] Дьяконов М.И, Перель В.И, ЖЭТФ, 1971, 60, с.1954.
- [4] Бир Г.Л, Аронов А.Г, Пакус Г.Е, ЖЭТФ, 1975, 69, с.1382.
- [5] Аронов А.Г, Пакус Г.Е, Титков А.Н, ЖЭТФ, 1983, 84, с.1170.
- [6] Глазов М.М, Ивченко Е.Л, ЖЭТФ, 2004, 126, с.1465.