

Supraconductibilitate și feromagnetism în bicristale și tricristale ale aliajelor Bi-Sb

F. M. Muntyanu¹, V. Chistol²

¹Institutul de Inginerie Electronică și Tehnologii Industriale, Academia de Științe din Moldova, MD – 2028, Chişinău, Moldova

²Universitatea Tehnică a Moldovei, MD – 2004, Chişinău, Moldova

Abstract – Au fost studiate proprietățile bicristalelor și tricristalelor aliajelor Bi_{1-x} - Sb_x (x ≤ 0.2) în intervalul de temperaturi (1.8 - 100) K și câmpuri magnetice de până la 70 kOe. S-a stabilit că la temperaturi joase bicristalele și tricristalele acestor aliaje manifestă un comportament specific supraconductibilității și feromagnetismului, în timp ce eşantioanele monocristaline posedă diamagnetism anomal și nu sunt supraconductoare. Temperatura la care se începe tranziția supraconductoare la unele eşantioane ajunge până la 36 K și depășește considerabil valorile obținute la alte nanoobiecte semimetalice.

Cuvinte cheie – bicristal, tricristal, supraconductibilitate, proprietăți magnetice.

I. Introducere

Studiile recente ale bicristalelor de Bi au depistat [1, 2] două faze supraconductoare cu temperaturile critice $T_{c2} \sim 8.4$ K și $T_{c1} \sim 4.3$ K. Unele din aceste bicristale cu interfață de înclinație aveau temperatura critică a tranziției supraconductoare ~ 21 K [3]. Aceste două faze manifestă un comportament specific supraconductibilității dure de speța II și sunt localizate în partea centrală și straturile adiacente ale interfeței cristaline (IC) a bicristalelor [1]. Temperatura de tranziție a interfeței cristaline a bismutului este cu mult mai mare decât cea a altor nanoobiecte de Bi [4, 5, 6]. Faptul acesta este surprinzător, deoarece Bi monocristalin romboedral nu este supraconductor.

Un interes deosebit îl prezintă obiectele cu tensiuni mecanice mai complicate, precum ar fi, de exemplu, tricristalele, în care se întâlnesc trei cristale cu diferite orientări în spațiu și în care sunt prezente un număr foarte mare de defecte și dislocații.

În lucrarea dată sunt expuse rezultatele măsurărilor proprietăților magnetice ale bi- și tricristalelor aliajelor de Bi_{1-x} - Sb_x (x ≤ 0.2) cu scopul de a studia conexiile dintre supraconductibilitate și stările similare celor feromagnetice, depistate la temperaturi joase.

Proprietățile magnetice ale bi- și tricristalelor aliajelor de Bi_{1-x} - Sb_x (x ≤ 0.2) au

fost studiate în diapazonul temperaturilor (1.8 - 100) K și în câmpuri magnetice de până la 70 kOe, utilizând „Quantum Design SQUID magnetometer” și „Physical Property Measurement System”.

II. Rezultate și discuții

Proprietățile magnetice ale monocristalelor aliajelor Bi_{1-x} - Sb_x (x ≤ 0.2) au fost investigate detaliat atât teoretic [7], cât și experimental [8]. Pentru a defini suprafața Fermi a acestor aliaje au fost utilizate cu mare succes oscilațiile susceptibilității magnetice (efectul de Haas-van Alphen)

La temperaturi joase, partea monotonă a susceptibilității conține o componentă diamagnetică esențială, de un ordin mai mare decât valorile caracteristice metalelor, redată prin formula Pauli-Landau și care este cauzată de electronii din banda populată și o altă componentă determinată de purtătorii de sarcină liberi, care, de fapt, este paramagnetică în câmpuri magnetice joase și diamagnetică în câmpuri puternice.

În fig.1 sunt prezentate exemple ale dependenței de temperatură a momentului magnetic M(T) pentru bi- și tricristale ale aliajelor Bi_{1-x} - Sb_x (x ≤ 0.2).

Din figură se vede că, la temperaturi joase (T < 30 K) în bi- și tricristale se observă două tipuri de dependențe M(T): diamagnetică și

paramagnetică. Estimarea densității purtătorilor de sarcină N_{para} prin efectul Hall și oscilațiile Shubnikov-de Haas denotă că N_{para} în interfața paramagnetică a bicristalului este aproximativ de

1,5-2 ori mai mare decât N_{dia} în interfața diamagnetică. De aceea putem afirma că cauza principală a intensificării paramagnetismului este creșterea concentrației purtătorilor de sarcină.

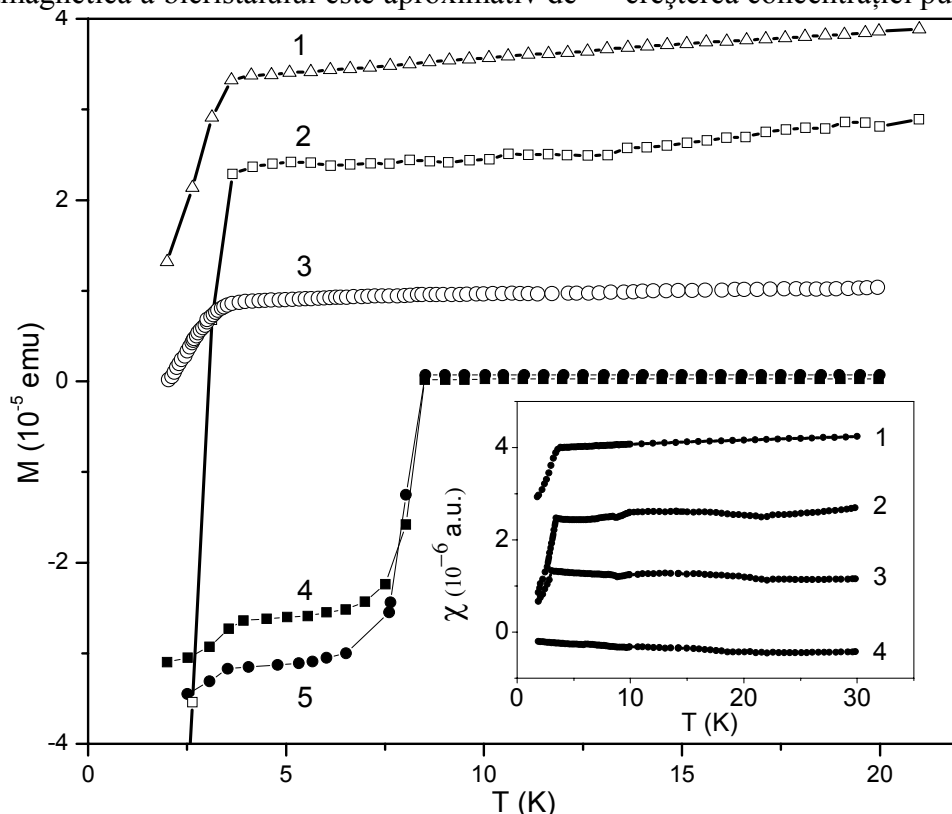


Fig. 1. Dependența de temperatură a momentului magnetic pentru bicristale (*bi*-) și tricristale (*tri*-) ale aliajelor $Bi_{1-x} - Sb_x$ ($x \leq 0.2$). 1. $Bi_{0,91}Sb_{0,09}Te$ *tri*- ,50 Oe; 2. $Bi_{0,93}Sb_7Sn$ *bi*-, $\Theta=75^\circ$, 50 Oe; 3. $Bi_{0,93}Sb_{0,07}Sn$ *tri*- ,50 Oe ; 4. $Bi_{0,93}Sb_7Sn$ *bi*-, $\Theta = 4,6^\circ$, 50 Oe , Scala pentru $M(T)$ 1:100 ; 5. $Bi_{0,94}Sb_{0,06}Te$ *bi*- , $\Theta = 9^\circ$, 50 Oe , Scala pentru $M(T)$ 1:100 ; Insertul (a) : Dependența de temperatură a susceptibilității pentru $Bi_{0,93}Sb_{0,07}Sn$ *tri*- la diferite câmpuri magnetice, 1. 0,175 Oe; 2. 100 Oe, Scala pentru $\chi(T)$ 100:1; 3. 1 kOe, Scala pentru $\chi(T)$ 1000:1 ; 4. 5 kOe, Scala pentru $\chi(T)$ 5000:1.

Prezența tranzițiilor supraconductoare (una sau două) în dependențele $M(T)$ pentru $T < 10$ K este surprinzătoare, deoarece monocristalele de Bi și Bi-Sb nu sunt supraconductoare. În tricristale și în unele bicristale $M(T)$ are valori pozitive și la temperaturi joase paramagnetismul brusc se micșorează. În anumite cazuri, în dependența $M(T)$ are loc trecerea de la caracteristici pozitive la cele negative. În câmpuri magnetice $H > 5$ kOe diminuarea bruscă a paramagnetismului dispăre și eșantioanele devin diamagnetice. Un astfel de comportament al dependenței $M(T)$ indică prezența supraconductibilității în unul din straturile IC pe fondul unui paramagnetism considerabil.

Pentru o identificare mai detaliată a anomaliilor magnetizării, se pot utiliza

măsurările în condițiile „zero-field-cooled” (ZFC) și „field-cooled” (FC).

În fig.2 sunt reprezentate dependențele de temperatură ale momentului magnetic ZFC și FC la *bi*- și tricristalele de $Bi_{1-x} - Sb_x$. După cum se vede din figură, curbele ZFC și FC ale momentului magnetic în câmpuri magnetice slabe ($H = 50$ Oe), aplicate perpendicular planului IC ($H \perp IC$), se ramifică la toate eșantioanele studiate la temperatura $T_b \sim 36$ K.

În eșantioanele diamagnetice, mai jos de T_b , în special pentru $T < 9$ K, la ZFC și la FC, se observă creșterea semnalului diamagnetic specific efectului Meissner și se produce expulzia fluxului magnetic (Fig.2 (a)). Nu se observă anomalii esențiale la curbele ZFC și FC în câmp magnetic ($H = 50$ Oe) paralel planului

IC ($H \parallel IC$) pentru $T > 9$ K (Fig.2 (a) insert). Deoarece blocurile monocristaline sunt nesupraconductoare, particularitățile respective

pot fi asociate cu interfața cristalină și demonstrează o anizotropie puternică a stării supraconductoare.

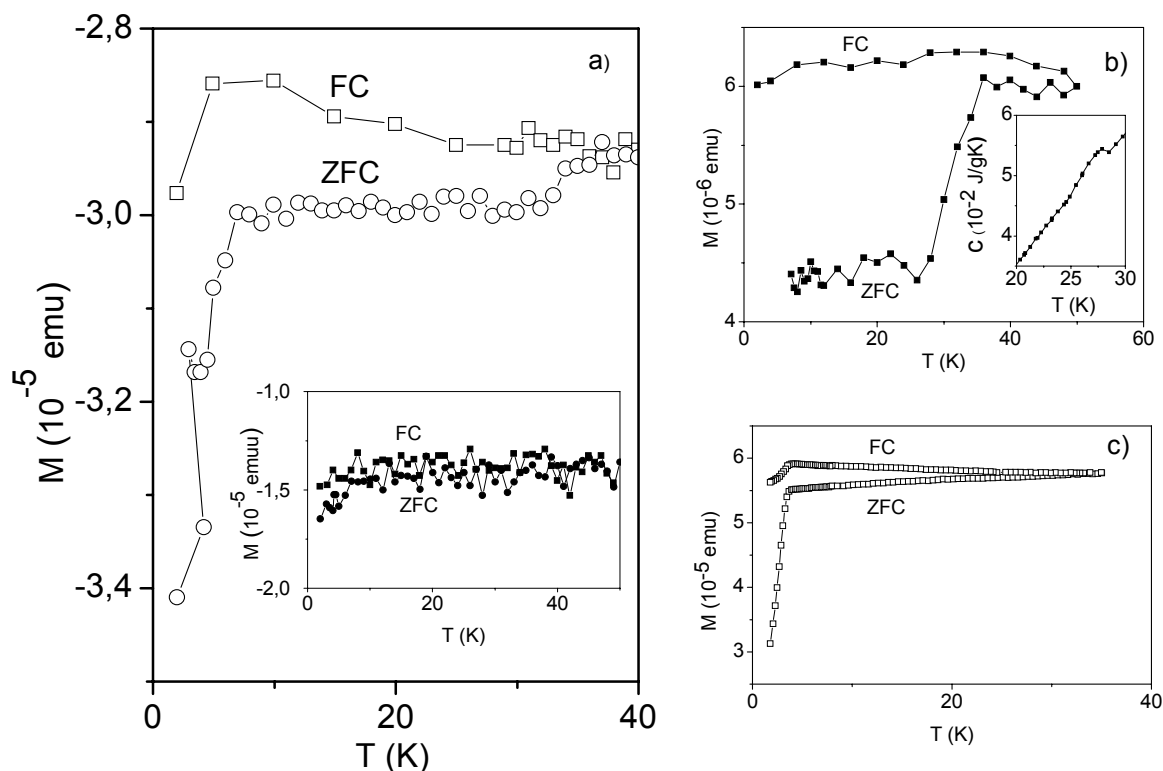


Fig. 2. ZFC și FC dependențele de temperatură ale momentului magnetic pentru aliajele bi- și tricristalelor de $Bi_{1-x} - Sb_x$ ($x \leq 0.2$). a). $Bi_{0.94}Sb_{0.06}Te$ bi-, $\Theta=9^\circ$, 50 Oe, ($H \perp IC$). Insert: ($H \parallel IC$); b). $Bi_{0.85}Sb_{0.15} bi-$, $\Theta_1=15^\circ$, $\Theta_2=3^\circ$, 50 Oe, ($H \perp IC$). Insert: Dependența de Temperatură a căldurii specifice pentru $Bi_{0.85}Sb_{0.15} bi-$, $\Theta_1=15^\circ$, $\Theta_2=3^\circ$; c). $Bi_{0.94}Sb_{0.06}Te$ tri-, 50 Oe, ($H \perp IC$);

De obicei, punctul de ramificare a curbelor ZFC și FC ale supraconductorilor determină temperatura critică T_c . Astfel, în bicristalele studiate temperatura la care se începe tranziția supraconductoare atinge valoarea 36 K (Fig. 2), fiind cea mai mare valoare pentru semimetalele din grupa VB și aliajele lor.

În Fig. 2 (b,c) sunt prezentate exemple specifice de curbe ZFC și FC ale bi- și tricristalelor paramagnetice în câmpuri magnetice joase $H \perp IC$. Se observă două tipuri de dependențe. La una din ele, din cauza că momentul magnetic ZFC scade brusc, diferența dintre curbele ZFC și FC crește semnificativ într-un diapazon îngust de temperaturi (35–28 K), apoi trece în saturație.

În același diapazon de temperaturi căldura specifică are un salt bine pronunțat (Fig.2 (b), insert), indicând o tranziție de fază de speța a doua, care poate fi cauzată sau de

supraconductibilitate, sau de ordonarea magnetică. Al doilea tip de dependență proprie bi- și tricristalelor cu IC de torsiune cu un conținut mare a defectelor este caracterizată de o creștere continuă a diferenței dintre ZFC și FC, care se amplifică brusc pentru $T < 5$ K din cauza expulzării câmpului magnetic. Un posibil motiv al apariției acestor particularități poate fi prezența supraconductibilității în unul din straturile IC și a unui comportament similar feromagnetismului în alt strat.

La bi- și tricristalele aliajelor de $Bi_{1-x} - Sb_x$ ($x \leq 0.2$) a fost măsurată dependența momentului magnetic de inducția câmpului magnetic pentru unele temperaturi din intervalul (2–100 K).

În bicristalele cu dependența diamagnetică $M(T)$ a fost obținută bucla de histerzis a magnetizării specifică supraconductorilor de speța II cu câmpul critic superior $H_{c1} \sim (100-130)$ Oe. La temperaturi mai mari de 9K bucla de

histerezis se schimbă considerabil și devine asemănătoare celei a materialelor feromagnetice (Fig. 3(b)). La bi- și tricristalele cu dependența paramagnetică $M(T)$ se observă o bucla de histerezis asemănătoare feromagneticilor (Fig.3

(c, d)). Acest fapt este surprinzător, deoarece în eşantioanele studiate n-au fost introduse impurități magnetice, responsabile de comportamentul feromagnetic.

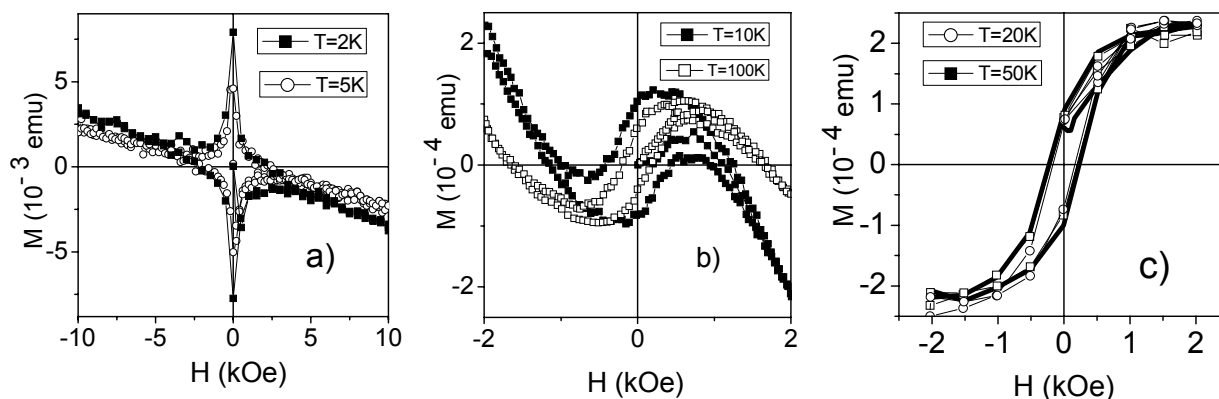


Fig. 3. Bucla de histerezis a magnetizării pentru bi- și tricristalele aliajelor de $\text{Bi}_{1-x} - \text{Sb}_x$ ($x \leq 0.2$). a,b). $\text{Bi}_{0.93} \text{Sb}_{0.07} \text{Sn}$ bi-, $\Theta = 4,6^\circ$; c). $\text{Bi}_{0.93} \text{Sb}_{0.07} \text{Sn}$ tri-; d). $\text{Bi}_{0.85} \text{Sb}_{0.15}$ bi-, $\Theta_1 = 12^\circ$, $\Theta_2 = 5,6^\circ$;

În concluzie se poate afirma, că am demonstrat manifestarea proprietăților supraconductoare și similare celor feromagnetice că IC la bi- și tricristale de Bi-Sb, deși eşantioanele monocristaline sunt diamagnetice în câmpuri magnetice atât longitudinale, cât și transversale. Suprafața Fermi care caracterizează componentele interfeței și blocurile monocristaline [2] nu denotă careva devieri esențiale în structura cristalină A7 a IC a bi- și tricristalelor. Deci, particularitățile proprietăților magnetice ale aliajelor $\text{Bi}_{1-x} - \text{Sb}_x$ ($x \leq 0.2$) descrise în lucrarea dată nu sunt cauzate de restructurarea IC. În același timp, schimbările topologice și creșterea considerabilă a volumului suprafeței isoenergetice a purtătorilor de sarcină în IC, determină originea comună a instabilităților, care pot favoriza (împreună cu modificarea spectrului fononilor) cuplare independentă a spinelor și supraconductibilitatea, sau conduc la consolidarea conexiilor magnetice și, în consecință, la feromagnetism.

Referințe

- [1] F.M. Muntyanu, A. Gilewski, K. Nenkov, J. Warchulska, and A. Zaleski, *Phys.Rev.B* **73** 132507 (2006).
- [2] F.M. Muntyanu, A. Gilewski, K. Nenkov, A. Zaleski, and V.Chistol, *Phys.Rev.B* **76** 014532 (2007).
- [3] F.M. Muntyanu, A. Gilewski, K. Nenkov, A. Zaleski, and V.Chistol, *Solid State Comm.* **147** 183 (2008).
- [4] Zuxin Ye, Hong Zhang, Haidong Liu, Wenhao Wu, and Zhiping Luo, *Nanotechnology* **19**, 085709 (2008).
- [5] B. Weitzel and H. Micklitz, *Phys. Rev. Lett.* **66** 385 (1991).
- [6] N. Marcovic, C. Christiansen, and A.M.Goldman, *Phys.Rev.Lett.* **81** 5217 (1998).
- [7] J.M.McClure and D.Shoenberg, *J. Low Temp. Phys.* **22** 233 (1976)
- [8] L.Wehrli, *Phys. Kond. Mater.* **8** 87 (1968).