

Raport stiintific

privind implementarea proiectului in perioada ianuarie – decembrie 2012

Etapa Unica 2012

CONTRACTOR	UNITATEA CONTRACTANTA
Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Microtehnologie IMT-Bucuresti	Unitatea Executiva pentru Finantarea Invatamantului Superior, a Cercetarii, Dezvoltarii si Inovarii UEFISCDI

Cod proiect: PN-II-ID-PCE-2011-3-1065

Contract de finantare nr. 179/07.10.2011

Titlul proiectului: Experimental investigation on the order parameter symmetry of the superconducting $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{CuO}_2$ thin films using SQUIDS

Director proiect

03.12.2012

Dr. Victor Leca

Bucuresti

1. Introducere

În această etapă au fost realizate studii asupra microstructurii și proprietăților electrice ale joncțiunilor tip bicristal pe baza de $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{CuO}_2$ ($x=0.15$) în scopul determinării simetriei parametrului de ordine a materialului supraconductor. Filmele au fost fabricate prin metoda ablatiei laser folosindu-se un laser cu excimeri pe baza de KrF ($\lambda=248$ nm, $\tau=10$ ns). Ca suport au fost utilizate monocristale de SrTiO_3 (001), DyScO_3 (110) sau KTaO_3 (001), în timp ce pentru fabricarea joncțiunilor s-au utilizat bicristale simetrice de SrTiO_3 (001), cu unghiul α (unghiul făcut de monocristalele constitutive ale bicristalului) de 24° ($12^\circ/12^\circ$), 30° ($15^\circ/15^\circ$), 36.8° ($18.4^\circ/18.4^\circ$) și 45° ($22.5^\circ/22.5^\circ$), precum și pe bicristale asimetrice cu unghiul α de 45° ($0/45^\circ$). Toate filmele au fost caracterizate prin difracție de raze X (XRD) și microscopie de forță atomică (AFM). Parte din filme au fost caracterizate prin metoda Rutherford Backscattering Spectroscopy (RBS), pentru determinarea cantitativă a compoziției, precum și prin intermediul microscopiei de transmisie de electroni de înaltă rezoluție (HRTEM), pentru studii asupra microstructurii și calității interfetelor (substrat-film). Proprietățile electrice au fost măsurate într-un criostat cu He lichid, în domeniul de temperaturi 4.2-300 K. În acest raport sunt prezentate rezultatele obținute pe filmele crescute numai pe suport de SrTiO_3 (001), monocristalin sau bicristal simetric de 30° .

2. Rezultate experimentale

2.1. Fabricarea și caracterizarea microstructurală a filmelor și joncțiunilor

Filmele de $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{CuO}_2$ (SLCO) au fost crescute pe substraturi de SrTiO_3 (001) (monocristale sau bicristale) la temperaturi de $550\text{-}575^\circ\text{C}$ și presiunea de 0,20-0,40 mbar O_2 . Frecvența laserului în timpul depunerii a fost de 2 Hz, distanța tinta-substrat $d_{ts}=60$ mm, la o densitate a energiei laserului pe tinta de $f=1.75\text{-}2$ J/cm². BaTiO_3 (BTO) a fost utilizat ca strat tampon în scopul obținerii unor valori ale parametrilor de rețea ab ai filmului SLCO de 3.96-3.98 Å, condiție esențială pentru obținerea supraconductibilității în aceste filme. Stratul de BTO a fost depus la temperaturi de $700\text{-}800^\circ\text{C}$, o presiune a gazului de 0,10 mbar O_2 , o valoare d_{ts} de 65 mm și o densitate a energiei laserului pe tinta de 1.75 J/cm². Filmul de BTO a fost tratat termic post-depozitie la 950°C timp de 15 minute la 0,10 mbar O_2 și 30 minute la 10^{-7} mbar, în scopul relaxării și îmbunătățirea morfologiei acestuia. Valorile parametrilor de rețea obținute au fost de $a \sim 3,965$ Å, $c \sim 3,405$ Å, pentru SLCO, și $a \sim 3,990$ Å, $c \sim 4,030$ Å, pentru BTO, respectiv. Filmele au fost caracterizate prin intermediul XRD și AFM în scopul determinării compoziției și morfologiei. Ulterior, proprietățile electrice (variația rezistenței electrice cu temperatura) ale filmele de SLCO au fost măsurate într-un criostat cu He lichid în domeniul de temperaturi 4.2-300 K, în scopul determinării valorii temperaturii critice, T_c .

Pentru fabricarea joncțiunilor tip bicristal filmele de SLCO au fost depuse pe bicristale, în condițiile prezentate mai sus. Definiția joncțiunilor a fost realizată prin litografie optică prin

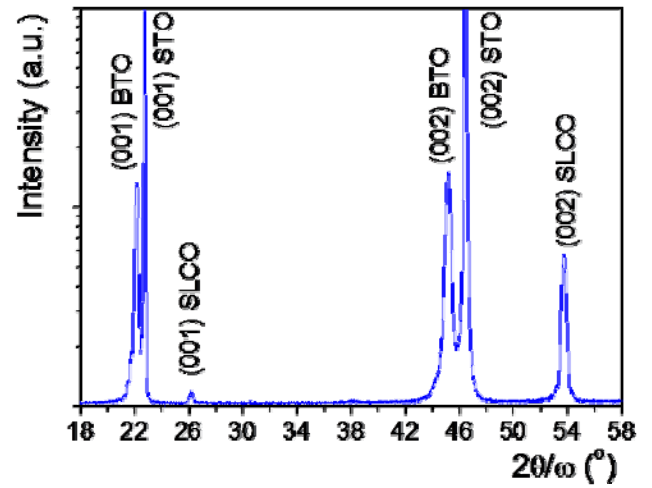
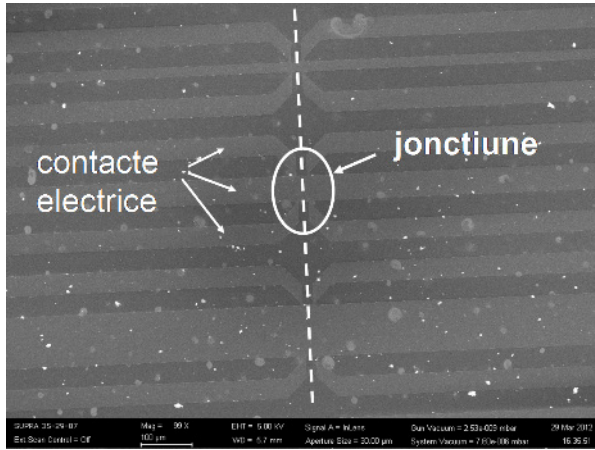


Fig. 1. Imagine SEM a trei structuri tip jonctiune Josephson fabricate din $Sr_{0.85}La_{0.15}CuO_2$ pe un bicristal simetric de $SrTiO_3$ (001) cu $\alpha=24^\circ$.

Fig. 2. Spectrul de difractie (scan 2theta/omega) pentru un film de $Sr_{0.85}La_{0.15}CuO_2$ crescut pe bicristal simetric de $SrTiO_3$ (001) cu $\alpha=24^\circ$.

intermediul unei masti metalice si corodare cu ioni de Ar. Au fost astfel obtinute jonctiuni cu dimensiunea laterala intre 10 μm si 750 μm . In Fig. 1 este prezentata a imagine obtinuta la microscopul electronic de baleiaj (SEM) a trei jonctiuni Josepson tip bicristal. Dimensiunile jonctiunilor din Fig. 1 sunt de 20, 50 si 100 μm , acestea fiind plasate de-a lungul liniei punctate. Datele XRD (Fig. 2) indica obtinerea unor filme epitaxiale (cu axa c orientata perpendicular pe suprafata substratului), monocristaline, atat pentru stratul tampon de BTO, cat si pentru SLCO.

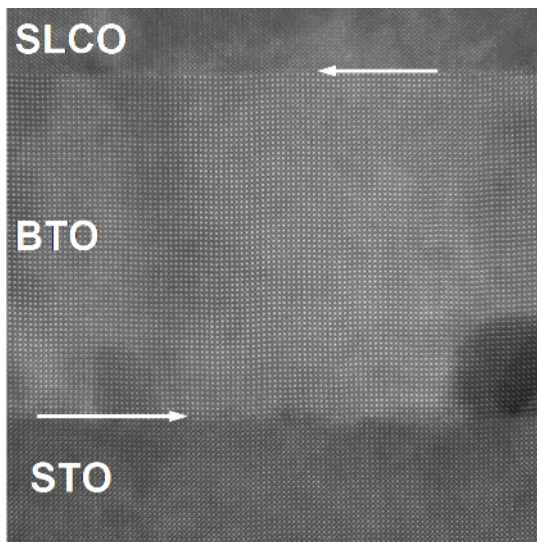


Fig. 3. Imagine HRTEM al unui film de $Sr_{0.85}La_{0.15}CuO_2$ crescut pe monocristal de $SrTiO_3$ (001), cu strat tampon de $BaTiO_3$.

Pentru a confirma caracterul monocristalin al filmelor au fost realizate studii microstructurale prin intermediul microscopului electron prin transmisie de electroni (HRTEM) la Institutul de Tehnologie din Karlsruhe (Germania). In Fig. 3 este prezentata o imagine HRTEM a unui film de $Sr_{0.85}La_{0.15}CuO_2$ crescut pe monocristal de $SrTiO_3$ (001), cu strat tampon de $BaTiO_3$, ce confirma caracterul monocristalin al filmelor. Studiile TEM au aratat prezenta unor defecte structurale la interfetele substrat-BTO si BTO-SLCO, in concentratie mai redusa la interfata BTO-SLCO (datorita unui nivel de stres redus la aceasta interfata comparativ cu interfata STO-BTO) si, de asemenea, difuzia Sr (din substrat) in stratul tampon, cel mai probabil in timpul tratamentului termic postdepozitie. Datele TEM confirma caracterul monocristalin al filmelor.

2.2. Caracterizarea electrica a jonctiunilor.

In figurile 4-7 sunt prezentate rezultatele masuratorilor electrice obtinute pentru o jonctiune Josephson tip bicristal din $\text{Sr}_{0.85}\text{La}_{0.15}\text{CuO}_2$ cu dimensiunea laterala de $50\mu\text{m}$. Filmul a fost depus pe un bicristal simetric din SrTiO_3 (001), cu $\alpha=30^\circ$. Temperatura critica a filmului, cf. Fig. 4, a fost de $T_{C,0} \sim 13.5$ K. Din datele prezentate in Fig. 5 rezulta, pentru aceasta jonctiune, un curent critic $I_C \sim 7.1$ μA .

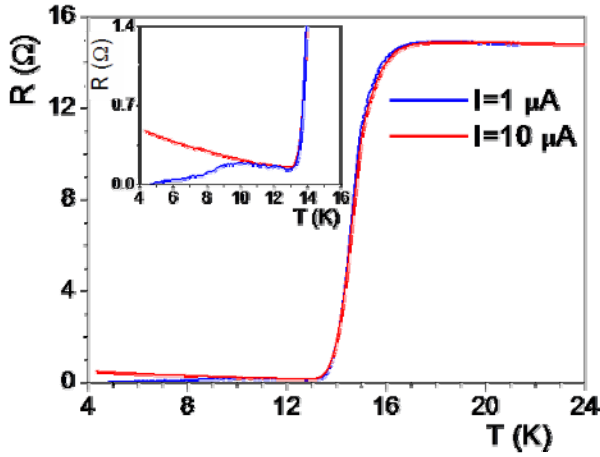


Fig. 4. Evolutia rezistentei electrice cu temperatura pentru o jonctiune Josephson $\text{Sr}_{0.85}\text{La}_{0.15}\text{CuO}_2$ cu dimensiunea de $50\mu\text{m}$ obtinuta pe un bicristal simetric din SrTiO_3 (001), cu $\alpha=30^\circ$.

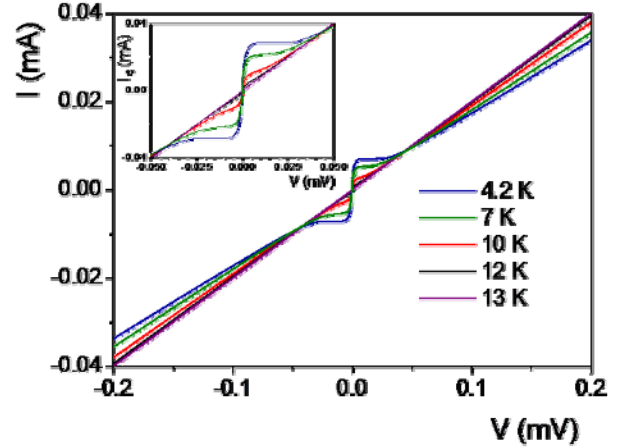


Fig. 5. Evolutia curentului critic, I , cu temperatura pentru o jonctiune Josephson $\text{Sr}_{0.85}\text{La}_{0.15}\text{CuO}_2$ cu dimensiunea de $50\mu\text{m}$ obtinuta pe un bicristal simetric din SrTiO_3 (001), cu $\alpha=30^\circ$.

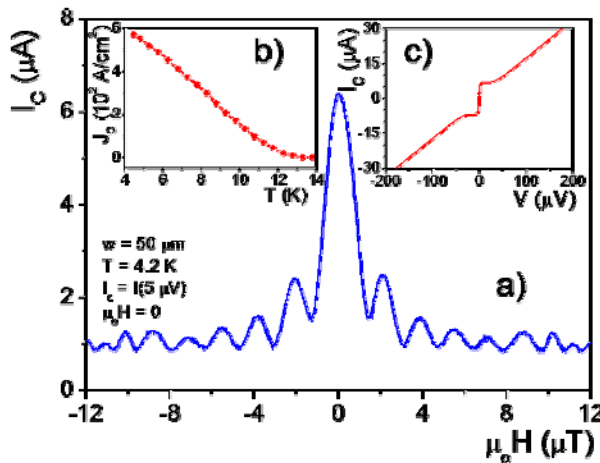


Fig. 6. a) Evolutia curentului critic, I_C , functie de campul magnetic aplicat jonctiunii (perpendicular pe suprafata jonctiunii/paralel cu axa c a filmului); b) evolutia curentului critic, I_C , cu temperatura; c) caracteristica curent-tensiune ($I-V$), la 4.2 K. Toate datele sunt pentru o jonctiune $\text{Sr}_{0.85}\text{La}_{0.15}\text{CuO}_2$ cu dimensiunea de $50\mu\text{m}$ obtinuta pe un bicristal simetric din SrTiO_3 (001), cu $\alpha=30^\circ$.

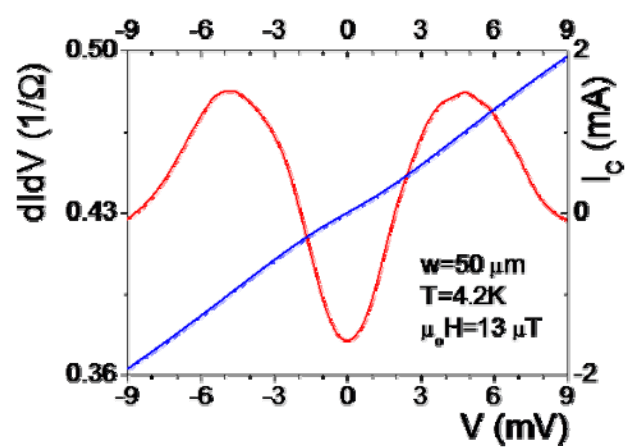


Fig. 7. Caracteristica curent-tensiune ($I-V$) si derivata dI/dV pentru o jonctiune $\text{Sr}_{0.85}\text{La}_{0.15}\text{CuO}_2$ cu dimensiunea de $50\mu\text{m}$ obtinuta pe un bicristal simetric din SrTiO_3 (001), cu $\alpha=30^\circ$. Nu se observa prezenta "zero bias conductance peak" caracteristic supraconductorilor cu o simetrie a parametrului de ordine continand noduri (de ex., d -wave).

Pentru grosimea filmului de 25 nm, valoarea densitatii de curent critic rezultata este de $J_c \sim 575 \text{ A/cm}^2$, valoare surprinzator de mare pentru acest material care face parte din clasa supraconductorilor cu temperatura critica ridicata de tip n. Valorile mari ale J_c pot fi explicate prin imbunatatirea caracteristicilor barierei bicristalului prin utilizarea stratului tampon, care determina o “uniformizare” a dimensiunilor barierei. Aceasta observatie este confirmata in Fig. 6a de evolutia curentului critic in functie de campul magnetic aplicat, care indica o structura Fraunhofer simetrica si, deci, o distributie uniforma a curentului critic de-a lungul jonctiunii. In Fig. 6b este prezentata evolutia curentului critic I_c cu temperatura, maximul valorii I_c obtinandu-se la 4.2 K, iar in Fig. 6c este prezentata caracteristica curent-tensiune, indicand tunelarea perechilor Cooper prin jonctiune. Derivata dI/dV , prezentata in Fig. 7, nu prezinta “zero bias conductance peak” (ZBCP), ceea ce ar sugera un parametru de ordine fara noduri; forma in V a derivatei nu este insa caracteristica materialelor cu simetrie s-wave iar rezultatele recente sugereaza o simetrie d-wave pentru $\text{Sr}_{0.85}\text{La}_{0.15}\text{CuO}_2$ [1]. Absenta ZBCP ar indica a bariera rugoasa la nivel atomic, chiar daca aceasta este “uniforma” din punct de vedere a grosimii.

3. Concluzii

Filme subtiri si jonctiuni Josephson tip bicristal pe baza de $\text{Sr}_{0.85}\text{La}_{0.15}\text{CuO}_2$ au fost fabricate prin ablatie laser folosind drept suport monocristale si bicristale simetrice de SrTiO_3 (001). Datele XRD si HRTEM indica obtinerea unor filme monocristaline, epitaxiale, orientate cu axa c perpendicular pe suprafata substratului. Masuratorile electrice efectuate pe jonctiunile studiate indica existenta fenomenului de tunelare a perechilor Cooper, valorile densitatii de curent critic obtinute fiind de aprox. 575 A/cm^2 , superioare materialelor supraconductoare similare (supraconductorii cu temperatura critica ridicata cu conductie de tip n si structura T' din clasa $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$). Spectrele de conductanta (dI/dV) au o forma in V in zona subgap-ului ($< 5 \text{ mV}$), sugerand o simetrie a parametrului de ordine tip d-wave. Totusi, ZBCP nu a fost observat, posibil datorita rugozitatii la nivelul barierei.

Bibliografie

1. J. Tomaschko, S. Scharinger, V. Leca, J. Nagel, M. Kemmler, T. Selistrovski, S. Diebold, J. Jochum, R. Kleiner, and D. Koelle, *Phase-sensitive evidence for $d_{x^2-y^2}$ -pairing symmetry in the parent-structure high- T_c cuprate superconductor $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{CuO}_2$* , Physical Review **B** 86, 094509 (2012)

Director proiect,

Victor Leca
