

Raport stiintific

privind implementarea proiectului in perioada ianuarie-decembrie 2014

Etapa Unica 2014

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

04.12.2014

Dr. Victor Leca

Bucuresti

1. Introducere

În această etapă au fost realizate următoarele studii: 1. dezvoltare tehnologie de fabricare a jonctiunilor tip rampa pe baza de $\text{Sr}_{0.85}\text{La}_{0.15}\text{CuO}_2$ (SLCO), obiectiv care a implicat următoarele activități: fabricare jonctiuni tip rampa în configurația SLCO/Au/Nb, măsuratori electrice, structurale și de morfologie (studii HRTEM, AFM, XRD) asupra jonctiunilor tip rampa. 2. fabricare senzori supraconductori tip SQUID (Superconducting QUantum Interference Device) pe baza de jonctiuni tip bicristal, din filme subțiri de SLCO, obiectiv care a implicat următoarele activități: fabricare prin litografie optică și caracterizare din punct de vedere electric a SQUID-urilor pe baza de jonctiuni tip bicristal de SLCO. Parte din rezultatele obținute în cadrul acestui proiect au fost prezentate la două conferințe internaționale (International Conference on Superconductivity and Magnetism-ICSM 2014, Antalya, Turcia, și Electroceramics XIV conference, București).

2. Rezultate experimentale

2.1. Jonctiuni tip rampa pe baza de SLCO/Au/Nb: fabricare și caracterizare microstructurală și electrică

Conform imaginii prezentate în Fig. 1, jonctiunile Josephson tip rampa sunt constituite din doi electrozi dintr-un material supraconductor, separați de o barieră nesupraconductoare, cu grosime de câțiva nm. În acest tip de jonctiune transportul curentului electric între electrozi se face prin tunelare, în planul ab , prin barieră, filmele fiind crescute epitaxial, cu axa c perpendiculară pe suprafața substratului. În prima etapă de fabricare se depune un strat dublu format din materialul supraconductor și un material izolator (care va forma bariera în direcția axei c între cei doi electrozi supraconductori); în acest caz bariera este

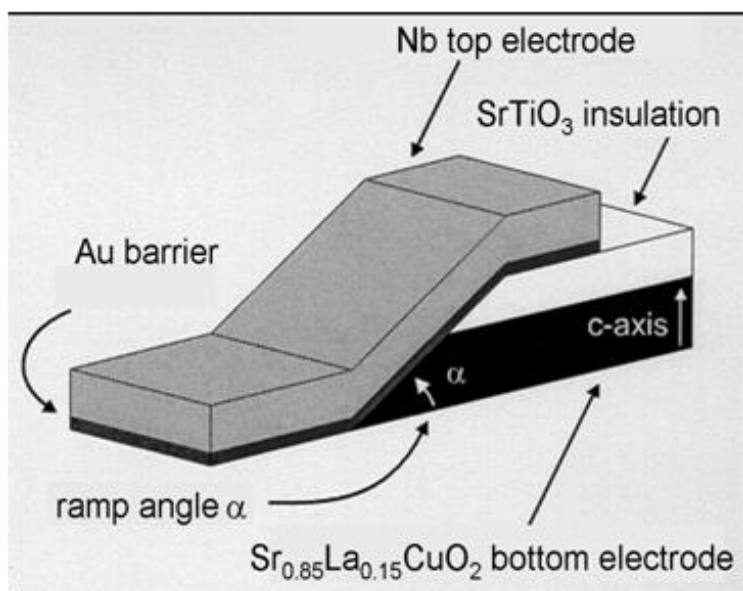


Fig 1. Reprezentare schematică a jonctiunilor Josephson tip rampa.

formată dintr-un strat de SrTiO_3 . În etapa următoare se realizează rampa, prin litografie optică și corodare fizică cu ioni de Ar, după care se depune electrodul superior. Înainte de creșterea electrodului superior interfața dintre rampă și electrodul superior se recrystalizează printr-un tratament termic scurt, în presiune scăzută de oxigen (10^{-4} mbar), urmat de depunerea unui strat subțire de SLCO (de 10-12 nm). Scopul acestei etape este de a crește transparența interfeței dintre electrozi, pe suprafața rampei, pentru curentul electric de tunelare (o rezistență electrică cât mai mică a interfeței).

Specific, pentru realizarea jonctiunilor, filmele subtiri de $\text{Sr}_{0.85}\text{La}_{0.15}\text{CuO}_2$ (SLCO) au fost crescute prin metoda ablatiei laser, folosindu-se un laser cu excimeri pe baza de KrF ($\lambda=248$ nm, $\tau=10$ ns), pe suport de monocristale de KTaO_3 (001). Cresterea filmelor de SLCO s-a realizat la temperaturi de 550°C , o presiune de lucru de 0,40 mbar O_2 si la o frecventa a laserului de 2 Hz. Tinta a fost pozitionata la o distanta tinta-substrat $d_{ts}=60$ mm, iar densitatea de energie a laserului pe tinta a fost $f = 2 \text{ J/cm}^2$. Stratul izolator de SrTiO_3 (STO) a fost depus folosindu-se aceleasi conditii de depunere ca cele pentru SLCO. Dupa realizarea rampei, filmele de SLCO/STO au fost incalzite pana la temperatura de depunere a SLCO, la o presiune de 10^{-4} mbar pentru recrystalizarea rampei, dupa care s-a depus un strat subtire de SLCO, cu scopul de reconstructie structurala a suprafetei rampei, in zona SLCO. In etapa urmatoare probele au fost transferate, in-situ, in camerele de depunere metale, Au si Nb. Acestea au fost crescute prin DC sputtering si au avut grosimi de 10-12 nm, pentru Au, si de 50-125 nm pentru Nb. Dimensiunea laterala a jonctiunilor (intre 10 μm si 1 mm) a fost obtinuta prin litografie optica in etapa finala de fabricare. Fiecare jonctiune a fost apoi analizata din punct de vedere structural (prin difractie de raze X, pentru determinarea structurii) si electric (prin metoda in 4 puncte, in domeniul de temperaturi 4.2-300 K); cateva dintre jonctiuni au fost selectate pentru studii de microstructura si a proprietatilor interfetelor (in special dintre SLCO si Au) prin microscopie electronica prin transmisie de electroni (HRTEM), pentru determinare corelatiei dintre structura si proprietatile electrice a jonctiunilor. Structura filmelor a fost determinata prin difractie de raze X (XRD), cu un difractometru Rigaku, iar microstructura prin intermediul microscopiei de transmisie de electroni de inalta rezolutie (HRTEM), cu un microscop Titan (la Institutul de Tehnologie din Karlsruhe, Germania). Masuratorile electrice au fost realizate intr-un criostat cu He lichid, in domeniul de temperaturi 4.2-300 K, in conditii de ecranare electrica si magnetica (pentru jonctiuni), in cadrul Universitatii din Tübingen, Institutul de Fizica, Departamentul de Fizica Experimentala II, Tübingen (Germania).

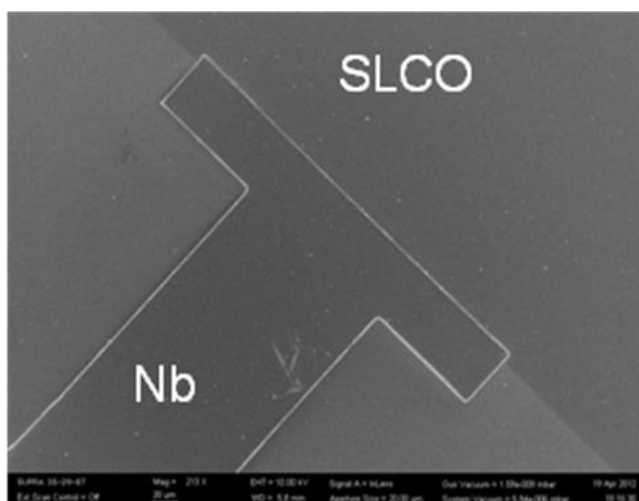


Fig 2. Imagine SEM (top-view) a unei jonctiuni Josephson tip rampa de 100 μm latime.

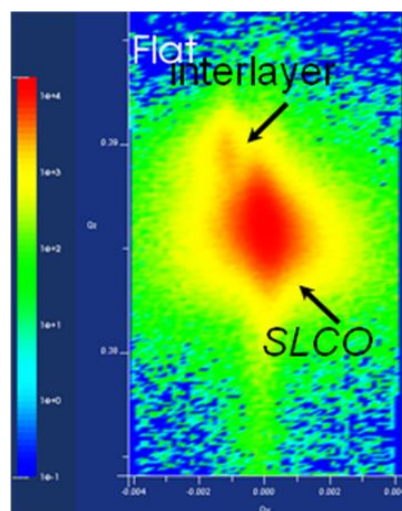


Fig 3. Spectru rsm obtinut prin difractie de raze X (planul 101), indicand parametrii de retea diferiti pentru stratul de interfata (interlayer) si cei doi electrozi de SLCO.

In Fig. 2 este prezentata o imagine SEM a unei jonctiuni Josepson tip rampa, fabricata conform metodei descrise in text. Jonstiunea este constituita din electrozi de SLCO cu grosimea de 25 nm fiecare, un strat de SrTiO_3 de 50 nm, un strat SLCO de interfata (interlayer) de 10 nm, un strat de Au de 12 nm si un strat de Nd de 100 nm. Dimensiunea laterala a jonctiunii este de 100 μm . In Fig. 3 este prezentat spectrul rsm (reciprocal space map) obtinut prin difractie de raze X (DRX) a planelor (101), in care se observa separarea parametrilor de retea pentru interlayer si pentru cei doi electrozi SLCO, ceea ce indica o reducere neuniforma a stratului de interfata si a celor doi electrozi in timpul tratamentului termic in vid, post-depositie (tratament termic necesar pentru reducerea filmelor, pentru obtinerea supraconductibilitatii).

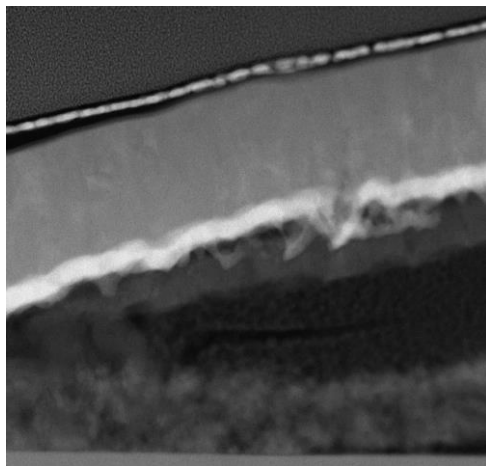


Fig 4. Imagine HRTEM (cross-section) a unei jonctiuni Josepson tip rampa.

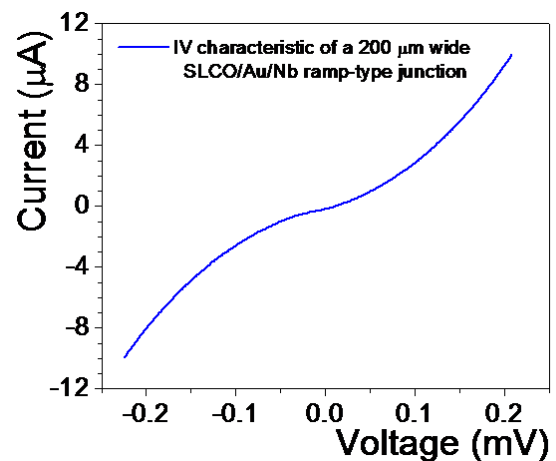


Fig 5. Caracteristica I-V pentru o jonctiune Josepson tip rampa cu dimensiunea de 200 μm .

In Fig. 4 este prezentata o imagine HRTEM (cross-section) obtinuta de-a lungul rampei unei jonctiuni SLCO/Au/Nb, in care se observa prezenta de defecte in stratul de Au (discontinuitate), precum si o interfata de calitate redusa intre stratul SLCO interlayer si Au. De asemenea, electrodul inferior de SLCO prezinta microfisura, cel mai probabil datorita stresului exercitat de diferenta intre parametrii de retea dintre electrodul SLCO, stratul de interfata (interlayer) de SLCO si filmele metalice (Au si Nb). Interfata dintre Au si Nb este “curata”, datorita faptului ca este realizata in-situ. Datele DRX si HRTEM explica lipsa fenomenului de tunelare a perechilor Cooper, in planul ab, intre electrozii supraconductori, asa cum se poate observa din Fig. 5 din caracteristica IV a jonctiunii. De asemenea, imaginea HRTEM confirma caracterul monocristalin si epitaxia filmelor.

In concluzie, procesul de fabricare al jonctiunilor Josepson tip rampa pe baza de SLCO/Au/Nb trebuie sa rezolve problema transparentei interfetei oxid-metal (care trebuie imbunatatita), care determina rezistivitatea electrica a barierei dintre electrozi, in planul ab, precum si reducerea neuniforma a electrozilor si a stratului de interfata (interlayer), rezultand in proprietati nesupraconductoare ale stratului de interfata si, in consecinta, in cresterea grosimii barierei dintre

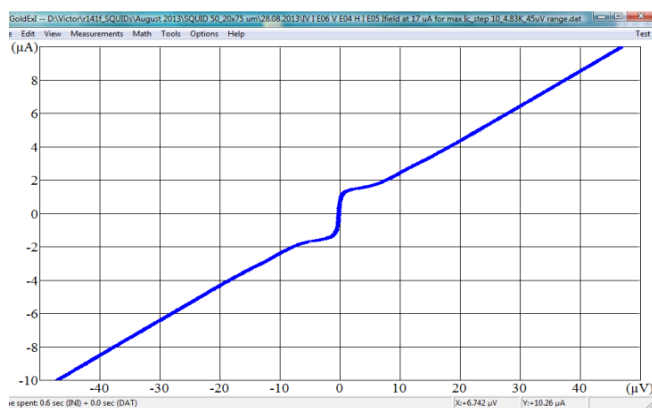


Fig 6. Caracteristica IV masurata la 4.8 K pentru un current aplicat bobinei $I_{coil} = 17 \mu A$ si $I_c = 1.5 \mu A$, pentru un SQUID pe baza de jonctiuni tip bicristale de SLCO.

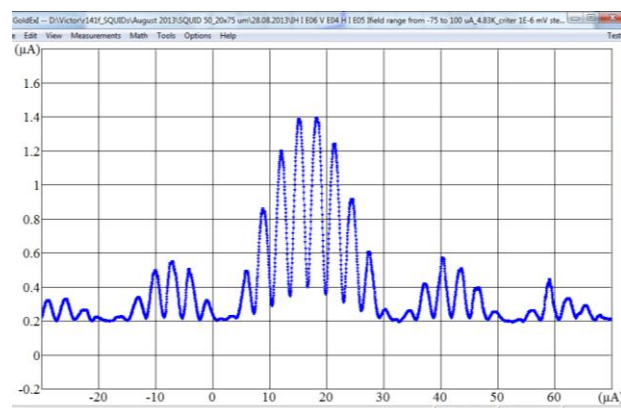


Fig 7. Caracteristica IB masurata la 4.85 K si $V_c = 1 \mu V$ pentru SQUID-ul din Fig. 6.

electrozi, reducand curentul de tunelare. Ambele efecte au ca rezultat lipsa fenomenului de tunelare a perechilor Cooper observat in aceste jonctiuni.

2.2. Fabricarea si caracterizarea SQUID-urilor SLCO pe baza de jonctiuni tip bicristal.

SQUID-uri din materialul supraconductor SLCO au fost fabricate pe bicristale de $SrTiO_3$ folosind litografie optica si corodare fizica cu ioni de Ar. Parametrii de depunere pentru filmele de SLCO, precum si caracteristicile jonctiunilor au fost descrise in raportul anual pe 2013. In Figurile 6 si 7 sunt prezentate masuratori electrice realizate pe un SQUID constituit din doua jonctiuni Josephson simetrice, cu latimea (fiecare) de $50 \mu m$, separate de un spatiu cu dimensiunea de $20 \times 75 \mu m^2$. In fig 6 este prezentata caracteristica curent-tensiune (I-V) pentru aceste SQUID-uri, din care se observa un curent critic de $I_c = 1.5 \mu A$. Caracteristica curent-camp magnetic aplicat (I-B) este prezentata in Fig 7, unde se observa un minim al I_c pentru B minim; ofsetul in valoarea campului magnetic se datoreaza prezentei fenomenului de flux trap. Caracteristica IB indica un parametru de ordine predominant d-wave (simetrie $d_{x^2-y^2}$) pentru materialele din clasa $Sr_{1-x}La_xCuO_2$, cel putin pentru $x=0.15$.

3. Concluzii

Jonctiuni Josephson tip rampa cu configuratia $Sr_{0.85}La_{0.15}CuO_2/Au/Nb$ au fost fabricate prin ablatie laser, litografie optica si corodare fizica cu ioni de Ar folosind drept suport monocristale de $KTaO_3$ (001), in timp ce SQUID-urile pe baza de bicristale SLCO au fost fabricate pe suport de $SrTiO_3$ tip bicristal. Datele experimentale (XRD, SEM, TEM, masuratori electrice) obtinute pe jonctiuni si pe SQUID-uri au confirmat calitatea filmelor, in timp ce masuratorile electrice efectuate pe jonctiunile studiate indica lipsa fenomenului de tunelare a perechilor Cooper datorita lipsei de transparenta a interfetei dintre oxidul de interfata si Au, in timp ce masuratorile electrice si magnetice realizate pe SQUID-uri indica faptul ca aceste materiale supraconductoare de tip n au o simetrie a parametrului de ordine de tip d-wave, similar cu supraconductorii oxidici de tip p.

Director proiect,

Victor Leca