

# Magnetinių sūkurių koherentinio judėjimo deguonimi nuskurdintu YBCO dariniu tyrimai

## Investigation of the coherent vortex motion in the oxygen-depleted YBCO device

Artūras Jukna<sup>1</sup> ir Roman Sobolewski<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Vilnius Tech, Fotoelektros technologijų laboratorija, Saulėtekio al. 11, Vilnius LT-10223, Lietuva

<sup>2</sup>Elektros ir kompiuterių inžinerijos fakultetas, Ročesterio universitetas, Ročesteris NY-14627, JAV

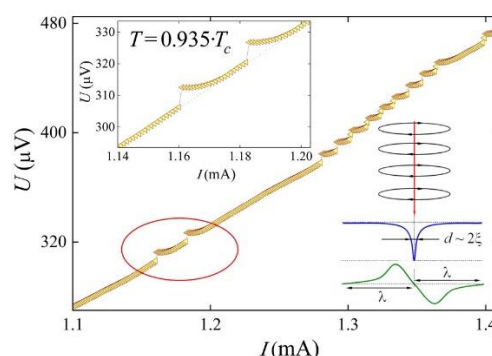
[arturas.jukna@vilniustech.lt](mailto:arturas.jukna@vilniustech.lt)

II-osios rūšies superlaidininkuose superlaidusis virsmas lydimas mišriosios medžiagos fazės. Joje gali koegzistuoti superlaidi ir nesuperlaidi (t.y. normali) medžiagos fazės, nors medžiagos temperatūra  $T$  žemesnė nei kritinė superlaidininko temperatūra  $T_c$  ir ja teka elektros srovė, kurios stipris viršija superlaidininko kritinę elektros srovę  $I_c$ . Elektros srovė mišrią medžiagos būseną realizuoja Abrikosov'o magnetiniais sūkuriiais, kurių kiekvienas „pagauna“ po magnetinio srauto kvantą  $\Phi_0 = 2.07 \times 10^{-15}$  Wb. Srovės elektrinio ir magnetinio laukų bendru poveikiu sukurtai Lorentz'o jėgai  $F_L$  viršijus piningo jėgą  $F_p$  superlaidininke, magnetiniai sūkuriiai „atkimba“ nuo piningo centrų (medžiagos kristalinės struktūros defektų) ir juda „silpnojo“ superlaidumo sritimis (t.y. žemiausios  $T_c$ ,  $H_c$  bei  $I_c$ ), sąlygodami elektros srovės energijos disipaciją eksperimentiškai stebimą superlaidininko voltamperinėse charakteristikose (VACh). Žinomos kelios magnetinių sūkurių judėjimo fazės, tai *termiškai aktyvuotų pavienių sūkurių judėjimas* (angl. Thermally Activated Flux Flow), *sūkurių grupių atsitiktiniai šuoliai* (Flux Creep), ir *stipriai tarpusavyje sąveikaujančių sūkurių judėjimas* (Flux Flow). Magnetiniams sūkuriams tarpusavyje stipriai sąveikaujant jų judėjimas virsta *koherentiniu*, formuojančiu superlaidininko laiptuotą VACh [1]. Laiptelių skaičių ir formą lemia sūkurių kanale skaičius ir jų judėjimo greičio augimas, didinant  $F_L$  atžvilgiu  $F_p$ .

Šiame darbe 0,3  $\mu\text{m}$  storio  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  medžiagos  $50 \times 100 \mu\text{m}^2$  dydžio dariniuose, turinčiuose vieną arba du magnetinių sūkurių kanalus, temperatūrų intervale nuo  $0,94 \cdot T_c$  iki  $0,98 \cdot T_c$  stebėtos laiptuotos VACh (1 pav.). Čia  $T_c \sim 91,4$  K. Stebimų laiptelių forma aiškinama elektros srovės magnetiniu lauku sukurtų Abrikosov'o magnetinių sūkurių judėjimu išilgai sūkurių kanalo, orientuoto statmenai elektros srovei. Superlaidieji kanalai darinyje suformuoti azoto dujų aplinkoje 0,3 – 0,6 W galios lazerio spinduliu, sufokusuotu į 5  $\mu\text{m}$  skersmens dėmę ir skenuojamu darinio paviršiumi 50  $\mu\text{m/s}$  greičiu. Lazerio spinduliu įkaitinta medžiaga praranda dalį deguonies ( $\delta \sim 0,2$ ), o kanalo atsiradimas lemia darinio elektrinės varžos padidėjimą beveik 2 k., esant  $T > T_c$  bei sumažėjimą superlaidininko kritinės srovės ir temperatūros, esant  $T < T_c$  (čia  $T_c$  – lazeriu nmodifikuotos medžiagos superlaidžiojo virsmo temperatūra).

Gauti tyrimų rezultatai rodo, jog sūkurių kanalus turintys dariniai turi du superlaidžiuosius virsmus, o esant  $T < T_c$ , žematemperatūris virsmas užmaskuotas elektros srovės nuotoliais, kurių priežastis – Abrikosov'o

magnetinių sūkurių judėjimas. Rezultatų paaiškinimui darėme prielaidą, jog kanalo srityje atsiradusios deguonies vakansijos ne tik sukuria  $F_p$  prilygstančią sraiginių dislokacijų (charakteringi defektai) kuriamai jėgai, bet ir suvienodina ją per visą sūkurių kanalo ilgį, taip jame sudarant palankias sąlygas sūkurių judėjimui.



**1 pav.** Voltamperinė charakteristika 0,3  $\mu\text{m}$  storio, 50  $\mu\text{m}$  pločio ir 100  $\mu\text{m}$  ilgio  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$  darinio, su 5  $\mu\text{m}$  pločio sūkurių kanalu, esant  $T = 0,935 T_c$  ( $T_c \sim 91,4$  K). Viršutinėje įklajoje padidinta charakteristikos dalis, žemutinėje – Abrikosov'o magnetinio sūkurių, kurio šerdies (normalios fazės medžiaga) skersmuo prilygsta dvigubam superlaidininko koherentiškumo ilgiui  $\xi$ , o išorinis skersmuo – dvigubam magnetinio lauko prasiskverbimo į superlaidininką gyliui  $\lambda$ .

Elektrinės įtampos laiptelio „staigioji“ dalis (1 pav. įklajo) sietina su papildomos sūkurių poros (t.y. sūkurių-antisūkurių) atsiradimu darinio kanale, o „lėtoji“ (t.y. beveik horizontalioji) dalis – atspindi judančių sūkurių grupės greičio augimą, stiprinant dariniu tekančią elektros srovę. Atsitiktinis laiptelių atsiradimas ir išnykimas (1 pav.) verčia manyti, jog deguonimi nuskurdintose sluoksnio srityse piningo jėga kinta dėl deguonies koncentracijos lokalių gradientų, nukreiptų iš juo praturtintų darinio sričių į nuskurdintas sritis (deguonies difuzijos), bei elektros srovės sukurto elektrinio lauko, nenukreipto statmenai kanalui (deguonies dreifo). Deguonies vakansijų atsiradimas  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$  kristalinės gardelės Cu-O grandinėlose (kristalo  $b$ -ašies kryptimi) gali lemti laisvųjų krūvininkų koncentracijos kitimą kristalo  $\text{CuO}_2$  plokštumose, atsakingose už superlaidžiąsias medžiagos savybes [2] ir, tuo pačiu, už piningo jėgos  $F_p$  atstojamąją.

*Reikšminiai žodžiai:* II-os rūšies superlaidininkas, mišrioji būsena, Abrikosov'o magnetinis sūkurių, piningo jėga.

### Literatūra

- [1] A. Jukna, L. Steponavičienė, V. Plaušaitienė, A. Abrutis, A. Maneikis, K. Šliužienė, V. Lisauskas, R. Sobolewski, *Appl Phys. B* **113**, 327 (2013).
- [2] M. Muroi, R. Street. *Physica C* **246**, 357 (1995).