

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA SZILÁRDTESTFIZIKAI
ÉS OPTIKAI KUTATÓINTÉZET

Némethné Pethes Ildikó

*Disszipáció $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$
magashőmérsékletű szupravezetőben*

Doktori értekezés téziszfüzet

Témavezető: Dr. Kriza György

2003.

Bevezetés

A magashőmérsékletű szupravezető anyagok 1986-os felfedezése új fejezetet nyitott a szupravezetők fizikájában. Azóta sok tekintetben sikerült viselkedésüket megérteni, de mind a mai napig jelentős kutatási területet jelentenek mind alkalmazási, mind alapkutatói szempontból. Ez nem meglepő, hiszen egy olyan anyagcsaládról van szó, amely szupravezetővé válik már a cseppfolyós nitrogén hőmérséklete fölött. Éppen ezért igen fontos megérteni, hogy milyen mechanizmusok hozzák létre, befolyásolják a disszipációt ezekben az anyagokban.

A magashőmérsékletű szupravezetők közös jellemzője a réteges szerkezet, a szupravezetés egyrészt az ab síkkal párhuzamos réz-oxid szupravezető síkokban, másrészt a gyengén csatolt síkok közötti Josephson-csatolás révén valósul meg. A síkok közötti gyenge csatolás miatt a vezetőképesség nagyon anizotróp, mind a normál, mind a szupravezető fázisban. Többek között ez a felelős a mágneses tér alkalmazásával keletkező vortexek viselkedését jellemző fázisdiagram gazdagságáért.

A szupravezetőkben fellépő disszipációt a vortexek mozgása és a rendparaméter fázisának a síkok közötti fluktuációi okozzák. Ezért igen fontos megismerni a vortexek viselkedését a mágneses tér – hőmérséklet fázisdiagram különböző tartományaiban.

Célkitűzések, alkalmazott mérési módszerek

Munkám során $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ erősen anizotróp másodfajú magashőmérsékletű szupravezető egykristályokat vizsgáltam, az

erre a célra kifejlesztett rövid impulzusidejű, nagyáramú mérés-technikával. Ez a mérés technika tette lehetővé, hogy elhanyagolható fűtés mellett nagy áramokig lehessen vizsgálni a rendszer válaszát. Méréseimet a Magyar Tudományos Akadémia Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézetében, és Franciaországban (CEA, Saclay) végeztem. Lehetőségem nyílt széles mágneses tér (maximum 18 T) és hőmérséklettartományban (4,5-90 K) tanulmányozni a vortexrendszer viselkedését.

Az első mérések alapján számos alapvető kérdés várt tisztázásra. A transzport mérések eredményeinek megértéséhez alapvető feladat a minta belsejében megvalósuló áram- és potenciáloszlás meghatározása. A néhány mikron vastag egykristályok vizsgálata során a korábban homogénnek tekintett áramsűrűségeloszlás a nagy anizotrópia miatt megkérdőjelezhetőnek bizonyult. Ennek tisztázása a technikai alkalmazások számára is alapvetően fontos, a disszipációmentesen hordozható maximális áramsűrűségek eléréséhez. Az árameloszlás vizsgálata céljára speciális kontaktuselrendezésű mintákat alkalmaztam.

A klasszikus szupravezetők esetében már alaposan megvizsgált terület a disszipáció mechanizmusa. A Bardeen–Stephen-törvényt gyakorta alkalmazzák a magashőmérsékletű szupravezetők viselkedésének leírásához is. Ugyanakkor ennek érvényességét – például az általam vizsgált anyagon alacsony hőmérsékleteken – nem vizsgálták kellőképpen, éppen a mérés technikai nehézségei miatt. Az általam alkalmazott technika azonban lehetővé tette a még feltáratlan területeken is a disszipáció alapos vizsgálatát.

Szintén az első eredmények vetették fel a kérdést, a különbö-

zöképpen előkészített mintákban kialakuló vortexfázisok stabilitásáról. Míg korábban kétség sem merült fel a mágneses tér alkalmazása mellett lehűtött mintában kialakuló vortexfázis stabil állapotával szemben, addig ezek a mérések ezzel ellentétes eredményeket sejtettek. Méréseim során alaposan megvizsgáltam mind a tér nélkül hűtött, mind a tér alkalmazása mellett hűtött mintákban kialakuló vortexrendszer stabilitását.

A mérések során az áram-feszültség karakterisztikákat vizsgáltam. A karakterisztikák alapján több jellemző paramétert határozhatunk meg. Ezek egyike a vortexmozgás megindulására jellemző küszöbáram. A nagyáramú vizsgálatok során megfigyeltem, hogy az áram növelésével a differenciális ellenállás telítődik. A telítődő differenciális ellenálláshoz tartozó lineárisra váló áram-feszültség karakterisztika zérus feszültségre való extrapolálása a pinning miatt nem az origón megy keresztül, hanem eltolódik, az erre jellemző mennyiség a többletáram.

Új tudományos eredmények

Munkám során a következő eredmények születtek:

1. Megmutattam, hogy a szilárd fázisban korábban már megfigyelt T_p fázisvonal alatti hőmérsékleteken a térben hűtött (FC) illetve a tér nélkül hűtött (ZFC) minták küszöbárama mellett azok többletárama is jelentősen eltér egymástól, a küszöbáramhoz ha-

sonlóan az FC minták többletárama sokkal nagyobb. A T_p fázisvonalnál a különbségek megszűnnek és magasabb hőmérsékleteken a különbözőképpen előkezelt minták teljesen azonos viselkedésűekké válnak. Megállapítottam, hogy T_p hőmérséklet alatt az FC állapot a várakozásokkal ellentétben nem stabil. A fázisvonal alatti hőmérsékleteken tetszőleges előjelű, néhány század tesla nagyságú mágneses perturbációt alkalmazva az FC mintára, annak viselkedése megváltozik, és a ZFC állapothoz nagyon közelelvé válik. Ez a jelenség mind a kisáramú – küszöbáram – mind a nagyáramú – többletáram – viselkedésben egyformán megfigyelhető.

2. FC és ZFC mintákon hosszúidejű ($t \approx 10^6$ s) relaxációs méréseket végezve megmutattam, hogy hosszú időskálákon a ZFC állapot tekinthető stabilnak, FC metastabil. Az FC állapot küszöbáramának értéke ilyen időskálákon a ZFC állapot küszöbáramához tart, míg a ZFC állapot küszöbárama csak rövid időskálán (10^3 s) változik, és a változás mértéke összehasonlíthatatlanul kisebb, mint az FC állapot küszöbáramának változása. Ez arra utal, hogy nem a Bean-profil a változás hajtóereje. Ugyanakkor a relaxációs folyamatban igen kicsi (2 mT) mágneses tér perturbáció katalizátor szerepét tölti be. Megmutattam, hogy az áramimpulzusok irányának és gyakoriságának nincs szerepe a relaxációban.

3. Nagyáramú mérések segítségével megmutattam, hogy a folyadék fázis is összetett, a T_m olvadási vonal és a T_c normál fázis határvonala között található még egy vonal, T^* . $T_m < T < T^*$

hőmérséklettartományban a rendszer válasza nem lineáris, ún. rögzített folyadék állapot valósul meg. $T^* < T$ hőmérsékleteken klasszikus folyadék viselkedést tapasztaltam, lineáris válasszal. T^* értékét a mágneses tér függvényében két nagyságrenden keresztül meghatároztam.

4. Az adott geometriájú mintákon az ab és a c irányú mérések esetén egyaránt megmutattam, hogy nem válik az egész minta egyszerre rezisztívvé, s az ellenállással bíró tartomány az áram növelésével az áramkontaktusok felől a minta belseje felé terjed. Megmutattam, hogy az ab és a c konfiguráció esetén mért $I - V$ karakterisztikák lényegileg azonosak, és csak az alkalmazott áram értékétől valamint az adott konfigurációban használt legkisebb áram-potenciál kontaktustávolságtól függenek. Megmutattam, hogy a rezisztív és nem rezisztív tartományt elválasztó front mentén az ab és c irányú disszipáció egyszerre jelenik meg.

5. Megmutattam, hogy az ellenállással bíró és ellenállásmentes tartományokat elválasztó front nem lehet sem párhuzamos, sem merőleges az ab síkra, azzal Θ ($\neq 0$) szöget zár be. Ennek alapján háromszög alakú rezisztív tartományt feltételező modellel értelmeztem a 4-es pont eredményeit. Egy speciális mintával a minta felső lapján és adott mélységben maratott lépcsőn elhelyezett potenciálkontaktusokon mért küszöbáramok arányának segítségével meghatároztam Θ szöget. Megbecsültem az anizotrópiafaktor értékét a szupravezető állapotban, megállapítottam, hogy lényegesen nagyobb, mint a normál állapotban, s ezért az

effektív behatolási mélység lényegesen kisebb, mint a London behatolási mélység. Az így megbecsült anizotrópia faktorra és a mért küszöbáramok segítségével megbecsültem az ab illetve c irányú kritikus áramsűrűségeket, melyek jól egyeznek a mágneses hiszterézis görbékből kapott illetve meza struktúrákon mért kritikus áramsűrűségekkel.

6. Megmutattam, hogy alacsony hőmérsékleteken, $5 \text{ K} < T < T_m$, a nagy áramú disszipáció mágnesestér-függése nem követi a Bardeen-Stephen törvényt és értéke két nagyságrenddel nagyobb, mint amit az jósol. Eredményeimet a vortexek közötti, ξ koherenciahossznál nagyobb karakterisztikus hosszra fellépő kölcsönhatással értelmeztem.

Az eredmények alkalmazása

Az általam végzett vizsgálatok az alapkutatások közé tartoznak. Segítségül szolgálhatnak a magas hőmérsékletű szupravezetők viselkedésének jobb megértéséhez, a kísérleti eredmények értelmezéséhez. A disszipáció jobb megértése, a mintákban kialakuló áram- és potenciáeloszlás meghatározása a technikai alkalmazások szempontjából is hasznos lehet.

Az értekezéshez kapcsolódó előadások:

1. International Workshop on Electronic Crystals, La Colle sur Loup, Franciaország, 1999. (előadás)
2. International Workshop on Microscopic Structure and Dynamics in Unconventional Superconductors and Superfluids, Drezda, Németország, 2000. (poszter)
3. International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals, Bad Gastein, Ausztria, 2000. (poszter)
4. Workshop on Vortex Dynamics and Dissipation in High-Tc superconductors, Budapest, 2001. (előadás)
5. Condensed Matter and Materials Physics Conference of the Institute of Physics, Brighton, Nagy-Britannia, 2002. (előadás)

Az értekezéshez kapcsolódó publikációim:

B. Sas, L. F. Kiss, I. Pethes, S. Mészáros, K. Vad, B. Keszei, F. I. B. Williams, F. Portier and I. Puha :
Metastability line in BSCCO phase diagram
J. Phys. IV France **9**, Pr10/73-75 (1999)

I. Pethes, B. Sas, G. Kriza, F. Portier, F. I. B. Williams, K. Vad, S. Mészáros:
High-current differential resistance in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ single crystals
Synth. Met. **120**, 1013-1014 (2001)

F. Portier, G. Kriza, B. Sas, L. F. Kiss, I. Pethes, K. Vad, B. Keszei, F. I. B. Williams:
Slow relaxation of low-temperature vortex phases in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$
Phys. Rev. B **66**, 140511(R) (2002)

I. Pethes, A. Pomar, B. Sas, G. Kriza, K. Vad, Á. Pallinger, F. Portier, F. I. B. Williams:
Potential and current distribution in strongly anisotropic $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$
single crystals at current breakdown
kézirat, publikálásra elküldve *Phys. Rev. B*-nek

I. Pethes, B. Sas, G. Kriza, F. Portier, F. I. B. Williams, K. Vad:
Evidence for fast vortices from flux flow resistance in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$
kézirat, publikálásra elküldve *Phys. Rev. Lett.*-nek