

رسانایی الکتریکی اضافی ناشی از افت و خیزهای حرارتی در ابررساناهای $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$

قربانی، شعبان رضا؛ رحمتی ترکی، مریم

گروه فیزیک، دانشگاه تربیت معلم سبزواری، سبزواری

چکیده

ترکیب ابررسانای $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ به روش استاندارد واکنش حالت جامد با آلایشی در بازه $0.00 \leq x \leq 0.75$ ساخته شد. رسانایی الکتریکی اضافی ناشی از افت و خیزهای حرارتی با استفاده از مدل آسلامازوف-لارکین [AL] و تقریب ناحیه میدان میانگین (MFR) محاسبه گردید. داده‌های تجربی به نمودار $Ln(\Delta\sigma/\sigma) - Ln\varepsilon$ برازش گردید. از روی نتایج به دست آمده، میدان بحرانی بالایی B_{c2} و چگالی جریان بحرانی J_c محاسبه گردید. نتایج نشان داد که B_{c2} و J_c با افزایش غلظت آلایش افزایش می‌یابد که نشان دهنده افزایش مراکز میخکوبی و در نتیجه نیروی میخکوبی خطوط شار مغناطیسی است.

Excess conductivity of thermal fluctuations in $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ superconductors

Ghorbani, Sh R ; Rahmati Tarki, M

Department of physics, Tarbiat Moallem University of Sabzevar, Sabzevar

Abstract

The $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (with $0.00 \leq x \leq 0.75$) superconductor was made by the standard solid-state reaction. The excess conductivity from thermal fluctuations were calculated by Aslamazov-Larkin [AL] model and mean field region approximation (MFR). Experimental data were fitted to the $Ln(\Delta\sigma/\sigma) - Ln\varepsilon$ diagram. The upper critical field and the critical current density were obtained. The results show that B_{c2} and J_c were increased by increasing doping concentration that shows the increasing pinning centers and flux pinning force.

PACS NO. 74

مقدمه

حالت خطی با انحراف ناشی از شبه گاف در ابررساناهای آلایشده در ناحیه‌ی با آلایش کم (under doped) متفاوت است چون این انحراف در دماهای بالاتر از T_c مشاهده می‌شود [۱-۲]. مطالعه رسانایی الکتریکی اضافی ابزاری مناسب برای مطالعه خواص و رفتار ذاتی ابررساناها می‌باشد.

رسانایی الکتریکی اضافی ناشی از افت و خیزهای ابررسانایی از رابطه زیر به دست می‌آید [۳]:

$$\Delta\sigma = 1/\rho - 1/\rho_n \quad (1)$$

تغییرات مقاومت الکتریکی بر حسب دما برای ابررساناهای دمای بالا با آلایش بهینه (optimal doped) در بازه دمایی $T_c < T < 300$ به صورت خطی است. اما با نزدیک شدن به دمای T_c انحراف از حالت خطی به سمت پایین مشاهده می‌شود. این کاهش مقاومت باعث ایجاد رسانایی الکتریکی اضافی می‌شود که ناشی از وجود جفت‌الکترون‌هایی است که به دلیل نوسانات ترمودینامیکی در این ناحیه به وجود آمده‌اند. البته این انحراف از

آزمایش

ترکیب بلور $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7-8}$ باستوکیومیتری $0.75 \leq x \leq 0.9$ به روش استاندارد واکنش حالت جامد از پودرهای اولیه $Y_2O_3, BaCO_3, CaCO_3, Th_2O_3, CuO$ درجه خلوص بالا ساخته شده اند. پودر مواد اولیه در ابتدا با ترازوی دیجیتالی (با دقت $1/10000$) توزین و سپس با دقت با هم مخلوط شدند. نمونه ها به صورت قرص طی سه مرحله به ترتیب در دماهای $900^\circ C, 920^\circ C, 920^\circ C$ در هوا پخت شدند. در طی این مراحل قرص ها آسیاب می شدند. به منظور بهینه کردن مقدار اکسیژن، نمونه ها در دمای $660^\circ C$ به مدت ۷۲ ساعت در داخل اتمسفر اکسیژن بازپخت شده و سپس با آهنگ $12^\circ C/hr$ تا دمای اتاق سرد شده است.

به منظور بررسی ساختار نمونه ها و اطمینان از تشکیل ساختار مورد نظر طیف XRD نمونه ها اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که تمام نمونه ها به جز نمونه $x=0.75$ که در آن چند پیک ناشی از وجود ناخالصی در ترکیب است، بقیه نمونه ها تک فاز و دارای ساختار راست گوشه ۱۲۳ هستند که در توافق با نتایج حاصل از XRD [۷] و پراش پرتو نوترونی (NRD) نمونه های $RE=Y$ یا $RE_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7-8}$ [۸] است. از طرف دیگر نتایج حاصل از پراش NRD به روش ریتولد [۹،۸] و تحلیل تغییرات دمای بحران ابرسانایی [۹،۸] نشان دادند که حد حلالیت حالت جامد Th کمتر از ۱۰٪ است.

مقاومت الکتریکی به روش ۴ میله ای استاندارد اندازه گیری نواری باریک روی نمونه ها استفاده شد. جهت بهبود شد. برای اتصال الکتریکی از چسب نقره به صورت مقاومت الکتریکی اتصال، نمونه ها در اتمسفر اکسیژن برای مدت ۳۰ دقیقه در دمای $300^\circ C$ باز پخت و سپس سریعاً تا دمای اتاق سرد گردید. در آخر به وسیله چسب نقره سیم نازک مسی به نقطه اتصال وصل شد. با این روش مقاومت الکتریکی $1-2 \Omega$ ، که مقدار مناسبی برای اندازه گیری مقاومت الکتریکی است، در محل اتصال به دست آمد [۱۰].

که در آن ρ مقاومت ویژه الکتریکی اندازه گیری شده است و ρ_n مقاومت ویژه حالت عادی در صورت عدم انحراف از حالت خطی می باشد.

به طور کلی برای ابرساناهای آلیبده به صورت بهینه مقاومت الکتریکی در حالت عادی به صورت $\rho(T)=a+bT$ است که در آن a و b ضرایب ثابتی اند که از برازش معادله ی فوق به داده های تجربی در ناحیه خطی به دست می آیند.

رسانایی الکتریکی اضافی بر اساس مدل [AL] در ناحیه میدان میانگین، که افت و خیزها در آنجا کوچکند، از رابطه ی

$$\Delta\sigma/\sigma_{room}=A\varepsilon^\lambda \quad (2)$$

به دست می آید [۴]. در این رابطه ε دمای کاهش یافته است که به صورت $\varepsilon=(T-T_{mf})/T_{mf}$ تعریف می شود. T_{mf} دمای بحرانی ناحیه میدان میانگین است که می توان آن را از روی قله منحنی dp/dT بر حسب T تعیین کرد. λ پارامتری است که به ترابرد الکتریکی در راستاهای مختلف بستگی دارد. وقتی ترابرد در ۳ بعد انجام گیرد مقدار آن برابر با -0.5 و در ۲ بعد برابر با -1 و برای ترابرد یک بعدی -1.5 می باشد [۵].

A ضریبی مستقل از دماست که برای سه ناحیه ی ۳ بعدی، ۲ بعدی و ۱ بعدی به صورت زیر داده شده است [۶]:

$$A(3D)=e^2/32\xi(0)\sigma_{room} \quad (3)$$

$$A(2D)=e^2/16d\sigma_{room} \quad (4)$$

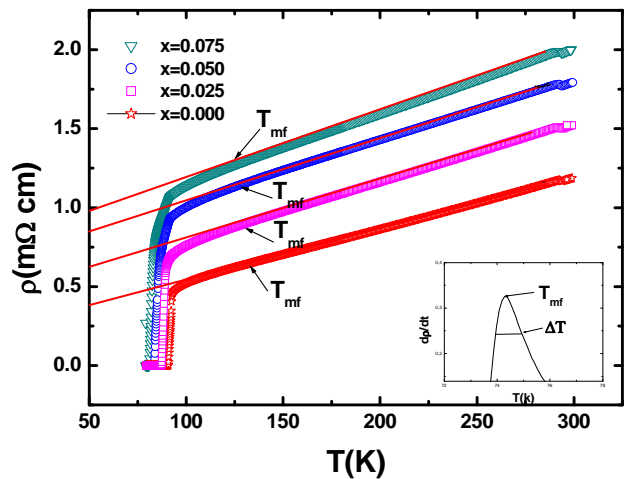
$$A(1D)=e^2\xi(0)/32s\sigma_{room} \quad (5)$$

$\xi(0)$ طول همدوسی در دمای صفر، d ضخامت مؤثر لایه در سیستم دو بعدی و s مساحت سطح مقطع سیم در سیستم یک بعدی و σ_{290} رسانایی الکتریکی در دمای $290^\circ K$ است.

در این مقاله با استفاده از رسانایی الکتریکی اضافی و به کارگیری مدل [AL] میدان مغناطیسی بحرانی بالایی (B_{c2}) و چگالی جریان بحرانی (J_c) به صورت تابعی از آلیش در ابرسانای $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7-8}$ مورد بررسی قرار گرفته است.

نتایج و تحلیل داده ها

در شکل ۱ تغییرات دمایی مقاومت الکتریکی ابرسانی Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa₂Cu₃O_{7-δ} برای x=۰/۰۰، ۰/۰۲۵ و ۰/۰۷۵ نشان داده شده است. همان طوری که مشاهده می شود، مقاومت الکتریکی از دمای اتاق تا دمای T_{FL} که در شکل ۱ با فلش نشان داده شده است، به صورت خطی کاهش می یابد. در دمای T_{FL} نزدیک به دمای بحرانی انحراف از حالت خطی دیده می شود.



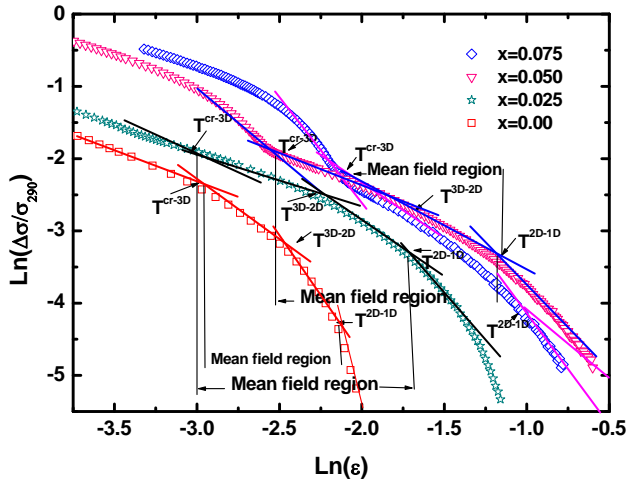
شکل ۱: منحنی تغییرات مقاومت الکتریکی به صورت تابعی از دما برای ابرسناهای Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa₂Cu₃O_{7-δ} با ۰/۰۰ ≤ x ≤ ۰/۰۷۵.

برای تحلیل داده ها با استفاده از رابطه (۱) رسانایی الکتریکی اضافی محاسبه شد. جهت تعیین طول همدوسی نمودار Ln(Δσ/σ₂₉₀)=Lnε برای آلایش های مختلف، مطابق شکل ۲، رسم شده است. نمودار دارای چهار ناحیه ی مشخص ۱، ۲ و ۳ و بعدی و ناحیه ی بحرانی است. همچنین ناحیه ی میدان میانگین نیز در شکل نشان داده شده است. وجود ناحیه یک بعدی نشان می دهد که زنجیره های CuO نیز در رسانایی سهمیم هستند. با برازش معادله (۲) به داده های تجربی در ناحیه ی ۳ بعدی مقدار ضریب A تعیین و سپس بر اساس رابطه (۳) طول همدوسی تعیین گردید.

میدان بحرانی بالایی، B_{c2}، از روی طول همدوسی بر اساس رابطه زیر محاسبه شد [۱۱]:

$$B_{c2} = \Phi_0 / 2\pi \xi(0)^2 \quad (6)$$

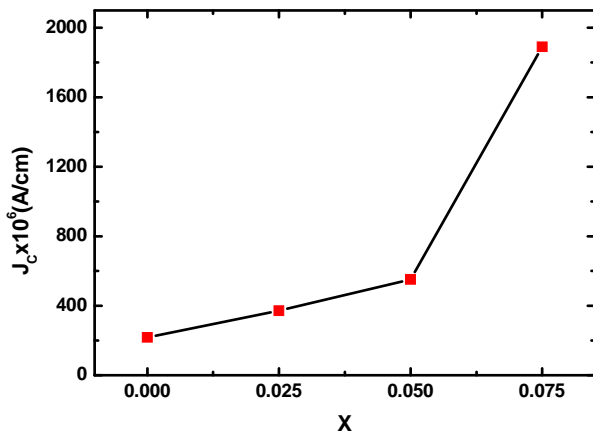
که در آن Φ₀ کوانتوم شار مغناطیسی است که برابر با h/2e می باشد.



شکل ۲: تغییرات رسانایی الکتریکی اضافی نرمالیزه شده Δσ/σ₂₉₀ نسبت به دمای کاهش یافته ε در نمودار Ln-Ln برای آلایش داده شده.

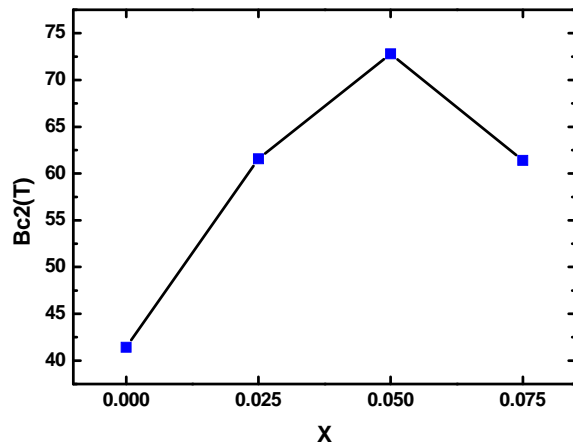
نتایج به دست آمده برای B_{c2} به صورت تابعی از چگالی آلایش در شکل ۳ رسم شده است. اگرچه مقدار B_{c2} برای ابرسناهای Y₁₂₃ بزرگتر از ۱۰۰T می باشد که تقریباً دو برابر مقدار به دست آمده در اینجا است اما روند تغییرات B_{c2} به صورت تابعی از چگالی آلایش بسیار مهمتر از بزرگی آن است. همانطور که از شکل ۳ دیده می شود، با افزایش مقدار آلایش، B_{c2} افزایش می یابد. با زیاد شدن مقدار ناخالصی طول مسیر آزاد میانگین الکترون ها در شبکه کوتاهتر می گردد. چون طول همدوسی ارتباط تنگاتنگی با مسیر آزاد میانگین دارد لذا طول همدوسی کاهش می یابد که با نتایج به دست آمده کاملاً سازگار است.

با توجه به شکل مقدار B_{c2} در آلایش ۰/۷۵ از روند افزایشی پیروی نکرده و کاهش یافته است زیرا حد حلالیت حالت جامد CaTh کمتر از ۰/۷۵ است [۱۰ و ۱۲].



شکل ۴: چگالی جریان بحرانی بر حسب مقدار آرایش.

چگالی جریان بحرانی یکی از مهمترین پارامترهایی است که برای کاربردی نمودن ابرساناها، از اهمیت ویژه ای برخوردار است.



شکل ۳: میدان مغناطیسی بحرانی بالایی بر حسب مقدار آرایش.

مراجع

- Johan Axnas " Superconducting fluctuation in magnetoconductivity of $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_7$ and other high temperature superconductors" (Phd thesis) , TRITA_FYS-5252 , Royal Institute of Technology Department of Physics, Stockholm 2000.
- T Timusk , B Statt , Rep . Prog . Phys. 62 (1999) 61 .
- S V Sharma , G Sinha T K Nath , S Chakraborty , A K Majumdir , Physica C 242 (1995) 351.
- S A Saleh , S A Ahmed , E M M Elsheikh , J Supercond Nov Magn , 21(2008) 187.
- S H Han , J Axnas , B R Zhao , O Rapp , Physica C 408-410 (2004) 679.
- A I Abou-Aly , R Awad , I H Ibrahim , W Abdeen , Solid State Commun . 149 (2009) 281.
- M Anderson , Z. Hegedus , M. Nygren , and O Rapp , Physica C 160 (1989) 65 & Physica C 185-189 (1991) 915.
- M Anderson , O Rapp and R Tellgren , Solid State Commun . 81 (1992) 425.
- P. Lundqvist , O. Rapp , R. Tellgren , I Bryntse , Phys. Rev. B 65 (1997) 2824.
۱۰. ش. ر. قربانی- ابراهیم رستم آبادی . سیزدهمین کنفرانس ماده چگال - زنجان - خرداد (۱۳۸۶).
11. A Petrovie , Y Fasano , R Lortz , M Dcrous , M Potel , R Cheriell , Physica C 460-462 (2007) 702
۱۲. ش. ر. قربانی . مجله فیزیک ایران . جلد ۷ . شماره ۴ (۱۳۸۶) صفحه ۱۹۰
۱۳. ش. ر. قربانی . " ابرساناها ی دمای بالا " . انتشارات دانش نگار (۱۳۸۵) .

چگالی جریان بحرانی از روی رابطه زیر تعیین گردید:

$$J_c = 2\Phi_0 / \sqrt{6} \pi \lambda(0)^2 \xi(0) \quad (7)$$

که در آن $\lambda(0)$ عمق نفوذ در دمای صفر است و برای ابرساناها ی Y_{123} در حدود 150 nm می باشد [۱۱]. در شکل ۴ نتایج به دست آمده برای J_c به صورت تابعی از چگالی آرایش رسم شده است. نتایج نشان می دهد که با افزایش ناخالصی چگالی جریان بحرانی نیز افزایش می یابد. علت این امر افزایش مراکز میخکوبی و در نتیجه جلوگیری از حرکت گردشاره ها می باشد [۱۳].

نتیجه گیری

با استفاده از داده های تجربی طول همدوسی محاسبه شد. از روی آن میدان مغناطیسی بحرانی و چگالی جریان بحرانی به دست آمد. افزایش ناخالصی منجر به کاهش طول همدوسی و افزایش میدان مغناطیسی بحرانی بالایی و نیز افزایش چگالی جریان بحرانی شد.