

تعیین پارامترهای ابررسانایی از روی رسانایی اضافی ناشی از افت‌وخیزهای حرارتی در ابررسانایی Nd(CaPr)-123

رحمتی ترکی، مریم؛ قربانی، شعبان رضا

گروه فیزیک، دانشگاه تربیت معلم سبزوار، سبزوار

چکیده

ترکیب ابررسانای بس بلور Nd(CaPr)-123 به روش استاندارد واکنش حالت جامد ساخته شد. مقاومت الکتریکی این ترکیب با روش چهار میله‌ای استاندارد اندازه‌گیری شد و سپس رسانایی اضافی تعیین گردید. رسانایی الکتریکی اضافی ناشی از افت‌وخیزها با استفاده از مدل آسلامازو-لارکین [AL] و تقریب ناحیه میدان میانگین (MFR) و استفاده از روابط تصحیح شده لاورنس-دنیاخ تحلیل گردید. از روی نتایج به دست آمده، میدان بحرانی بالایی B_{c2} در دو جهت c و ab ، ضریب ناهمسانگردی و چگالی جریان بحرانی J_c محاسبه گردید. نتایج نشان داد که J_c ، $B_{c2,ab}$ ، $B_{c2,c}$ با افزایش غلظت آلایش، افزایش می‌یابد. این روند افزایشی نشان می‌دهد که با افزایش غلظت آلایش، مراکز میخکوبی افزایش می‌یابد که باعث افزایش نیروی میخکوبی خطوط شار می‌شود.

Determination of superconductivity parameters from excess conductivity due to the thermal fluctuations in Nd(CaPr)-123 superconductor

Rahmati Tarki, M; Ghorbani, S. R

Department of Physics, Sabzevar Tarbiat Moallem University, Sabzevar

Abstract

The polycrystalline Nd(CaPr)-123 superconductor was made by standard solid-state reaction. The resistance of samples were made by standard four-probe configuration and then the excess conductivity was obtained. The excess conductivity from thermal fluctuations were analysed by Aslamazov-Larkin [AL] model, mean field region approximation (MFR) and Lawrence-Doniach modified expressions. The upper critical field in ab and c direction, anisotropy and the critical current density were obtained. The results shown that $B_{c2,ab}$, $B_{c2,c}$, J_c were increased by increasing doping concentration that shows the increasing pinning centers and flux pinning force.

PACS No. 74

دلیل نوسانات ترمودینامیکی در نزدیکی دمای بحرانی T_c ، باعث ایجاد افت‌وخیزهای ابررسانایی در این ناحیه و در نتیجه انحراف به سمت پایین منحنی مقاومت الکتریکی بر حسب دما از حالت خطی می‌شود. شکل‌گیری زوج کوپرها و کاهش مقاومت باعث ایجاد رسانایی الکتریکی اضافی در نزدیکی دمای بحرانی می‌شود. دو منشا اصلی برای این رسانایی اضافی وجود دارد: یکی مربوط به افت‌وخیزهایی است که منجر به ایجاد زوج کوپرها در بالای دمای T_c می‌شود و دیگری مربوط به تأثیری است که افت‌و-

مقدمه

خواص الکتریکی ابررساناهای کوپرات دمای بالا اغلب به ساختار لایه‌ای آن‌ها نسبت داده می‌شود. ساختار لایه‌ای باعث ایجاد ناهمسانگردی در خواص فیزیکی ابررساناهای دمای بالا می‌شود. در این ابررساناها، صفحات رسانش CuO_2 عامل رسانایی الکتریکی می‌باشند. این صفحات رسانشی توسط مخازن حامل بار از یکدیگر جدا شده‌اند.

در ابررساناهای دمای بالا تشکیل و شکسته شدن زوج کوپرها به

لاورنس- دنیاخ^۱ [۲] مدلی اصلاح شده ارائه دادند که روابط آن برای دو و سه بعد به ترتیب عبارت است از:

$$\Delta\sigma_{2D} = 1/4 \{ (e^2/16hd)\epsilon^{-1} [1 + (1 + (8\xi_c^4(0)/d^2\xi_{ab}^2(0))\epsilon^{-1})] \} \quad (5)$$

$$\Delta\sigma_{3D} = (e^2/32h\xi_p(0)) \epsilon^{-1/2} \quad (6)$$

$\xi_p(0)$ طول همدموسی موثر می باشد و عبارت است از:

$$1/\xi_p(0) = 1/4 [1/\xi_c(0) + (1/\xi_c^2(0) + 8/\xi_{ab}^2(0))^{1/2}] \quad (7)$$

با توجه به روابط (۶) و (۷)، دمای گذار برای نمونه های پلی کریستال با ناهمسانگردی بالا عبارت است از [۲-۱]:

$$T_0 = T_c \{ 1 + \xi_p^2(0)/d^2 [1 + (1 + (\xi_p^2(0)/16\xi_{ab}^2(0)))] \} \quad (8)$$

در این مقاله با استفاده از روابط رسانایی الکتریکی اضافی تصحیح شده، میدان مغناطیسی بحرانی بالایی B_{c2} ، ضریب ناهمسانگردی و چگالی جریان J_c به صورت تابعی از آرایش برای ابررسانای $Nd_{1-2x}Ca_xPr_xBa_2Cu_3O_{7-8}$ با $0.10 \leq x \leq 0.10$ تعیین گردید.

آزمایش

ترکیب بس بلور $Nd_{1-2x}Ca_xPr_xBa_2Cu_3O_{7-8}$ با $0.10 \leq x \leq 0.10$ به روش استاندارد واکنش حالت جامد ساخته شدند. برای ساخت از پودرهای اولیه $BaCO_3$ ، $CaCO_3$ ، Pr_2O_3 ، CuO و Nd_2O_3 با درجه خلوص بالا، با ترازوی دیجیتالی (با دقت $0.0001g$) 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 $670^\circ C$ 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 الگوهای اشعه X نشان داد که تمام نمونه ها دارای ساختار اورتورومبیک هستند [۵].

مقاومت الکتریکی به روش ۴ میله ای استاندارد اندازه گیری شد. برای اتصال الکتریکی از چسب نقره به صورت نواری باریک روی نمونه ها استفاده شد. جهت بهبود مقاومت الکتریکی اتصال، نمونه ها در اتمسفر اکسیژن برای مدت ۳۰ دقیقه در دمای $300^\circ C$

خیزهای ابررسانایی روی رسانایی الکترون های حالت عادی دارد [۲-۱].

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

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

که در آن ρ مقاومت ویژه الکتریکی اندازه گیری شده و ρ_n مقاومت ویژه حالت عادی در صورت عدم انحراف از حالت خطی می باشد. برای ابررساناهای آلانیده 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 فوق به داده های تجربی بدست می آید. رسانایی الکتریکی اضافی برای ابررساناهای دمای بالا با ناهمسانگردی پایین با استفاده از تقریب میکروسکوپی در ناحیه میدان میانگین و نیز استفاده از مدل [AL] محاسبه می شود. طبق این تقریب، رسانایی اضافی در دو و سه بعد به ترتیب با روابط زیر داده می شوند:

$$\Delta\sigma_{2D} = [e^2/16hd]\epsilon^{-1} \quad (2)$$

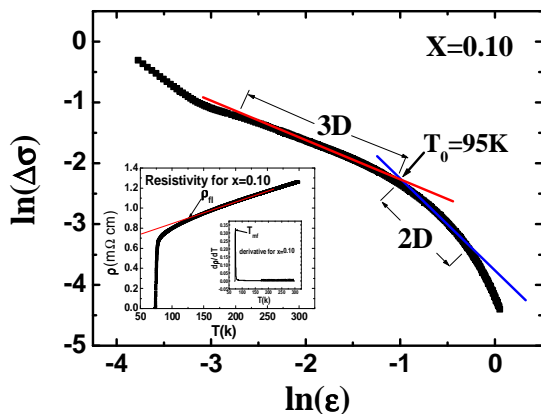
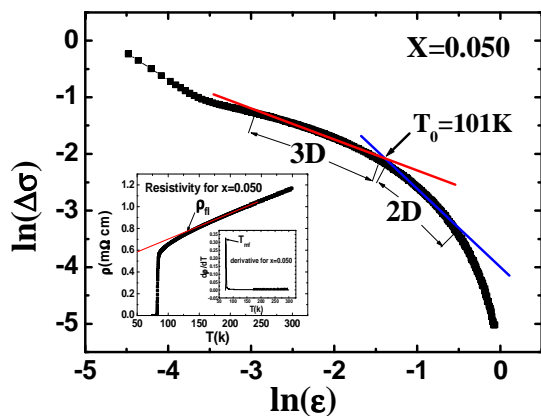
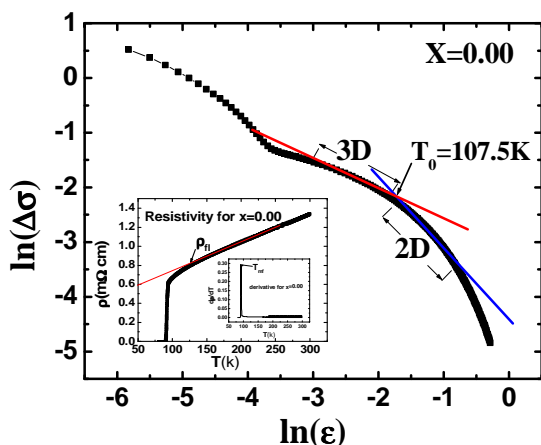
$$\Delta\sigma_{3D} = [e^2/32h\xi(0)]\epsilon^{-1/2} \quad (3)$$

که $\xi(0)$ طول همدموسی در راستای محور c در دمای $0 K$ و d فاصله بین لایه ای می باشد. ϵ دمای کاهش یافته است که به صورت $\epsilon = (T - T_{mf}) / T_{mf}$ 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 [۴].

گذار از ناحیه دو بعدی به سه بعدی در دماهایی بالاتر از دمای بحرانی اتفاق می افتد. این دمای ویژه را دمای گذار T_0 می نامند. در زیر این دما سیستم افت و خیزهای سه بعدی و در بالای این دما، افت و خیزهای دو بعدی دارد. دمای T_0 طبق مدل LD برابر است با [۱]:

$$T_0 = T_c [1 + (2\xi_c(0)/d^2)] \quad (4)$$

روابط و تحلیل هایی که برای رسانایی الکتریکی اضافی بر اساس مدل AL گفته شد برای نمونه های تک بلور معتبر است ولی اعتبار آن برای بس بلورها محدود است. برای نمونه های بس بلور،



شکل ۱: نمودار $\ln(\Delta\sigma)$ بر حسب $\ln\epsilon$ برای سه آلیش $x=0.00, 0.050, 0.10$ در ترکیب $\text{Nd}_{1-2x}\text{Ca}_x\text{Pr}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$.

در ترکیب $\text{Y}_{1-2x}\text{Ca}_x\text{Th}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ از روند افزایشی پیروی نکرده و پایین آمده است، زیرا حد حلالیت حالت جامد CaTh کمتر از 0.075 می باشد [۸].

بازپخت و سپس سریعاً تا دمای اتاق سرد گردید. در آخر به وسیله چسب نقره سیم نازک مسی به نقطه اتصال وصل شده و با این روش مقاومت الکتریکی $2-1 \Omega$ که مقدار مناسبی برای اندازه گیری مقاومت الکتریکی است، در محل اتصال به دست آمد [۶].

نتایج و تحلیل داده ها

برای تحلیل داده ها با استفاده از رابطه (۱)، رسانایی الکتریکی اضافی برای ترکیب بس بلور محاسبه شد. جهت تعیین طول همدوسی موثر و ضخامت موثر لایه، نمودار $\ln(\Delta\sigma)-\ln\epsilon$ مطابق شکل ۱ برای آلیش های مختلف رسم شده است. دمای گذار از ناحیه دو بعدی به سه بعدی، T_0 ، در نمونه ها نشان داده شده است. همان طور که در شکل دیده می شود با افزایش مقدار آلیش دمای گذار کاهش یافته است. شکل های الحاقی، نمودار تغییرات مقاومت بر حسب دما و همچنین دمای T_{mf} را برای هر نمونه نشان می دهد. با برازش داده های تجربی به معادلات (۵) و (۶) در ناحیه دو بعدی و سه بعدی، طول همدوسی موثر و نیز ضخامت موثر لایه تعیین گردید. سپس با استفاده از معادلات (۷) و (۸) طول همدوسی در راستاهای c و ab محاسبه گردید.

میدان بحرانی بالایی، B_{c2} ، از روی طول همدوسی در جهات c و ab بر اساس روابط زیر محاسبه شد [۷]:

$$B_{c2,c} = \Phi_0 / 2\pi\xi_{ab}^2(0) \quad (9)$$

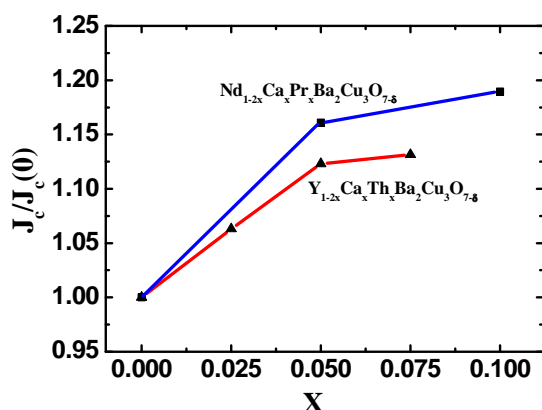
$$B_{c2,ab} = \Phi_0 / 2\pi\xi_{ab}(0)\xi_c(0) \quad (10)$$

که Φ_0 کوانتوم شار مغناطیسی است و برابر با $h/2e$ می باشد. نتایج به دست آمده برای B_{c2} به صورت تابعی از آلیش در دو جهت ab و c در شکل ۲ رسم شده است. همان طور که در شکل دیده می شود، میدان بحرانی بالایی روند افزایشی دارد. با افزایش غلظت آلیش طول مسیر آزاد میانگین الکترون ها در شبکه کوتاه تر می گردد و در نتیجه طول همدوسی نیز کوتاه شده و طبق روابط (۹) و (۱۰) میدان بحرانی افزایش می یابد.

جهت مقایسه نتایج مربوط به ابررسانای $\text{Y}_{1-2x}\text{Ca}_x\text{Th}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ با $x=0.00, 0.025, 0.050, 0.075$ نیز به شکل ۲ اضافه شده است.

همان طور که در شکل ۲ مشاهده می شود، نتایج مربوط به $x=0.075$

آمده برای J_c به صورت تابعی از چگالی آرایش رسم شده است. همان طور که در شکل دیده می شود با افزایش مقدار آرایش چگالی جریان بحرانی افزایش می یابد. زیرا با افزایش مقدار آرایش، تعداد مراکز میخکوبی که عاملی در جلوگیری از حرکت گردشاره ها است بیشتر شده و در نتیجه موجب افزایش نیروی میخکوبی شده است. بالاتر بودن مقدار چگالی جریان بحرانی در ترکیب Nd-123 نسبت به Y-123 نشان دهنده قوی تر بودن مراکز میخکوبی در ترکیب اول می باشد.



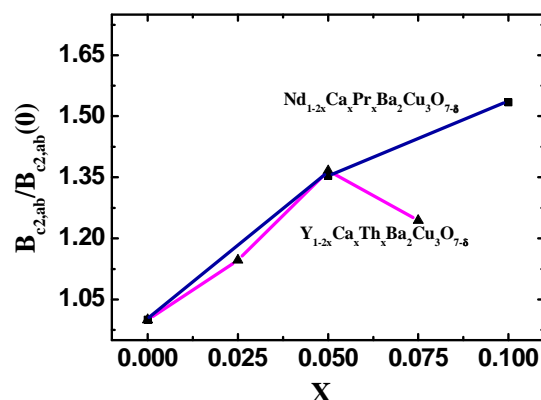
شکل ۳: چگالی جریان بحرانی بر حسب مقدار آرایش. (نمودار مربوط به ترکیب $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ از مرجع ۵ جهت مقایسه آورده شده است.)

نتیجه گیری

با افزایش آرایش طول هموسی در دو جهت ab و c کاهش یافته و دمای گذار نیز پایین آمده است. اما میدان بحرانی بالایی و چگالی جریان بحرانی افزایش یافته است. مقدار ناهمسانگردی در حدود ۱-۲ به دست آمد.

مرجع ها

- [1] Najmal Hassanand Navazish A. Khan, Applied physics 104,103902 (2008).
- [2] Navazish A. Khan, Asifa Mumtaz, Physica B, 405 (2010) 2772.
- [3] A. L. Abou-Ali, Awad, I. H. Ibrahim, W. Abdeen, Solid state communications 149 (2009) 281.
- [4] S. A. Saleh, S. A. Ahmed, E. M. Elsheikh, J supercond Nov Magn 21 (2008)187.
- [5] ش. ر. قربانی، م. رحمتی ترکی، کنفرانس فیزیک ایران- همدان- شهریور (۱۳۸۹).
- [6] ش. ر. قربانی- ابراهیم رستم آبادی. سیزدهمین کنفرانس ماده چگال- زنجان- خرداد(۱۳۸۶).
- [7] ش. ر. قربانی، "ابرسیاتهای دمای بالا" انتشارات دانش نگار (۱۳۸۵).
- [8] ش. ر. قربانی، مجله فیزیک ایران- جلد ۷- شماره ۴ (۱۳۸۶) صفحه ۱۹۰.



شکل ۲: میدان مغناطیسی بحرانی بالایی در جهت ab و c بر حسب مقدار آرایش. (نمودارهای مربوط به ترکیب $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ از مرجع ۵ جهت مقایسه آورده شده است.)

ضریب ناهمسانگردی میدان بحرانی بالایی، γ ، از روی رابطه زیر تعیین گردید:

$$\gamma = B_{c2,ab}/B_{c2,c} \quad (11)$$

مقدار ناهمسانگردی به دست آمده برای سه آرایش ۰/۰۰، ۰/۰۵ و ۰/۱۰ در حدود ۲-۱/۲ می باشد که تقریباً در توافق با نتایج به دست آمده برای تک بلورهاست [۷].

چگالی جریان بحرانی یکی از مهم ترین خواص فیزیکی ابررساناهای دمای بالاست و در کاربردی نمودن ابررساناها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. چگالی جریان بحرانی در نمونه ها از رابطه زیر محاسبه گردید [۷]:

$$J_c = 2\Phi_0 / \sqrt{6\pi\lambda^2(0)\xi_c(0)} \quad (12)$$

که در آن $\lambda(0)$ عمق نفوذ در دمای صفر است و برای ابررساناهای Y-123 در حدود ۱۵۰ nm می باشد [۷]. در شکل ۳ نتایج به دست