

## افت و خیزهای ابررسانایی در کوپرات Nd-۱۲۳

قربانی، شعبان رضا؛ همائی، مریم

گروه فیزیک، دانشگاه تربیت معلم سبزوار، سبزوار

### چکیده

ترکیبات بس‌بلور  $Nd_{1-x}Ca_xBa_{2-x}La_xCu_3O_{7-\delta}$  (در بازه  $0 \leq x \leq 0.15$ ) به روش استاندارد حالت جامد ساخته شده‌اند. مقاومت الکتریکی به صورت تابعی از دما اندازه‌گیری شده و تاثیر آلایندگی خنثای  $Ca-La$  بر روی مقاومت، دمای بحرانی و دمای افت و خیز این ترکیبات به صورت تابعی از دما و تراکم آلایش بررسی شده‌است. رسانندگی اضافی ناشی از افت و خیزها در دماهای نزدیک به دمای بحرانی  $T_c$  با استفاده از نظریه  $AL$  محاسبه شده‌است. سه ناحیه متفاوت در رسانندگی اضافی ناشی از افت و خیزها مشاهده شد؛ دمای گذار  $T_{1D-2D}$  مربوط به گذار از افت و خیزهای یک بعدی به دو بعدی و  $T_{2D-3D}$  مربوط به گذار از افت و خیزهای دو بعدی به سه بعدی. پارامترهای رسانندگی هر یک از نواحی محاسبه شده‌است که با مقادیر گزارش شده توسط دیگران توافق خوبی دارد. برخی از پارامترهای ابررسانایی نیز از قبیل طول هم‌دوسی در امتداد محور  $c$  در دمای صفر،  $\xi(0)$ ، ضخامت لایه‌ای موثر سیستم دو بعدی،  $d$  و مساحت سطح مقطع عرضی موثر برای سیستم یک بعدی،  $s$  نیز محاسبه گردید. نتایج نشان داد که این پارامترها با افزایش غلظت آلایش کاهش می‌یابند و همچنین زنجیره‌های  $CuO_x$  نیز در رسانندگی سهمیم هستند.

## Conductivity fluctuations and superconducting parameters of Nd-123 cuprate

Ghorbani, S. R.; Homaei, M.

Department of Physics, Sabzevar Tarbiat Moallem University, Sabzevar

### Abstract

Polycrystalline samples of  $Nd_{1-x}Ca_xBa_{2-x}La_xCu_3O_{7-\delta}$  (with  $0.0 \leq x \leq 0.15$ ) were prepared by the standard solid state method. Resistivity,  $\rho$  measurements were made on these samples. The co-doping effect was studied on resistivity as a function of temperature and doping concentration  $x$ . The fluctuation conductivity was analyzed using the Aslamazov and Larkin model (AL) near the superconducting transition temperature  $T_c$ . With decreasing temperature two crossover temperatures could be identified; i.e.  $T_{1D-2D}$  from one to two dimensional fluctuations and  $T_{2D-3D}$  from two to three dimensional fluctuations. Superconductivity parameters such as zero temperature coherence length, the effective layer thickness of the two dimensional system, the effective cross-sectional area for one dimensional systems were calculated. The results show that these parameters increased with increasing doping concentration. It was also found that  $CuO_x$  chains were contributed in conducting.

PACS No. 74

تقریباً دوبرابر دمای بحرانی یعنی دمای افت و خیز،  $T_f$ ، تشکیل جفت‌های کوپر در اثر افت و خیزهای گرمایی آغاز می‌شود و در دماهای نزدیک به دمای بحرانی تعداد آن‌ها نسبت به تعداد الکترون‌های معمولی افزایش شدیدی می‌یابد [۵]. در نتیجه مقاومت الکتریکی کاهش می‌یابد و رسانندگی اضافی  $\Delta\sigma$  القاء می‌شود.

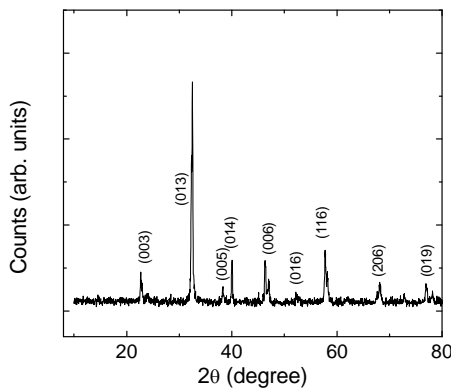
### مقدمه

افت و خیزهای ابررسانایی تاثیرات متعددی بر روی خواص ابررساناها از قبیل پذیرفتاری مغناطیسی [۱ و ۲]، گرمای ویژه [۳]، رسانندگی گرمایی و الکتریکی [۴] و دیگر خواص آن‌ها دارند. با کاهش دما از دماهای اتاق به سمت دمای بحرانی، در دماهای

ساعت در دمای  $300^{\circ}\text{C}$  بازپخت و سپس سریعاً تا دمای اتاق سرد گردید. در نهایت توسط چسب نقره سیم نازک مسی به نقطه اتصال وصل شد. با این روش مقاومت الکتریکی  $1-2\ \Omega$  در محل اتصال به دست آمد که مقدار مناسبی جهت اندازه گیری مقاومت الکتریکی است.

### نتایج و تحلیل داده‌ها

الگوی پراش به روش پودر اشعه X برای نمونه  $\text{Nd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_{2-x}\text{La}_x\text{Cu}_2\text{O}_{7-\delta}$  در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج XRD نشان می‌دهد که نمونه تک فاز و دارای ساختار  $123$  راست گوشه است که در توافق با نتایج حاصل از برازش داده های پراش ناشی از پرتو نوترونی (NRD) به روش ریتولد است [۱۵].



شکل ۱: الگوی پراش با اشعه X برای نمونه  $\text{NdBa}_7\text{Cu}_7\text{O}_{v-8}$ .

شکل ۲ نتایج اندازه گیری مقاومت الکتریکی ترکیبات بس بلور  $\text{Nd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_{2-x}\text{La}_x\text{Cu}_2\text{O}_{7-\delta}$  را به صورت تابعی از دما و تراکم آلایش نشان می‌دهد. چنانچه در شکل مشاهده می‌شود با کاهش دما، رفتار مقاومت الکتریکی هر یک از نمونه‌ها از دمای  $300\text{K}$  تا دماهای نزدیک به دمای بحرانی یعنی دمای  $T_F$  (دمای شروع افت و خیزها) به صورت خطی کاهش می‌یابد و پس از آن با کاهش بیشتر دما در ناحیه دماهای بین  $T_F$  و  $T_C$  انحراف بیشتری در مقاومت ویژه الکتریکی مشاهده می‌شود که در توافق با نتایج به دست آمده برای سایر ترکیبات  $123\text{-RE}$  است. هم‌چنین با افزایش غلظت آلایش، مقاومت الکتریکی نمونه‌ها افزایش می‌یابد که نشان

مطالعه رسانندگی اضافی ناشی از افت و خیزهای ابررسانایی نمونه مورد آزمایش، در فهم خواص ذاتی ابررساناهای دمای بالا بسیار مهم است. مطالعات مختلفی در این مورد انجام گرفته و مدل‌های مختلفی برای بررسی رسانندگی اضافی ارائه شده است که از آن میان می‌توان به مدل‌های  $^1\text{AL}$ ،  $^2\text{LD}$  و  $^3\text{VL}$  اشاره کرد [۱۴-۶]. با استفاده از این مدل‌ها پارامترهای فیزیکی مختلفی را می‌توان به دست آورد.

در این مقاله تاثیر آلایندگی خنثای  $\text{Ca-La}$  بر مقاومت الکتریکی ترکیبات  $123\text{-Nd}$  و نیز تاثیرات افت و خیزهای ابررسانایی بر رسانندگی این ترکیبات بررسی شده است. رسانندگی اضافی ناشی از افت و خیزهای ابررسانایی با استفاده از مدل  $\text{AL}$  تحلیل گردید. سه ناحیه سه بعدی، دو بعدی و یک بعدی مشاهده شد. پارامترهای ابررسانایی و رسانندگی به همراه دماهای گذار از یک ناحیه به ناحیه دیگر نیز محاسبه گردید.

### اندازه گیری

در ابتدا نمونه‌های  $\text{Nd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_{2-x}\text{La}_x\text{Cu}_2\text{O}_{7-\delta}$  با  $0/15 \leq x \leq 0/0$  به روش فرایند پودر حالت جامد تهیه شدند. برای ساخت این نمونه‌ها از مواد اولیه  $\text{CuO}$ ،  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ،  $\text{BaCO}_3$ ،  $\text{CaCO}_3$  و  $\text{La}_2\text{O}_3$  با خلوص بالا استفاده شده است. پودر مواد اولیه ابتدا با ترازوی دیجیتالی (با دقت  $1/10000$ ) وزن و سپس با دقت با هم مخلوط شدند. نمونه‌ها به صورت قرص سه بار به ترتیب در دماهای  $920$ ،  $900$ ،  $920^{\circ}\text{C}$  پخت شدند و سپس با آهنگ  $12^{\circ}\text{C/hr}$  تا دمای اتاق سرد شدند.

پراش به روش پودر اشعه X برای نمونه‌ها انجام گرفت. نتایج XRD نشان داد که تمام نمونه‌ها تک‌فاز و دارای ساختار راست گوشه هستند. اندازه گیری مقاومت الکتریکی با استفاده از ترکیب  $4$  پایه‌ای استاندارد انجام گرفت. برای اتصال الکتریکی از چسب نقره به صورت نوار باریک روی نمونه‌ها استفاده شد. به منظور بهبود مقاومت الکتریکی اتصال، نمونه‌ها در اتمسفر اکسیژن به مدت نیم-

$\Delta\sigma$  از رابطه  $\Delta\sigma = 1/\rho(T) - 1/\rho_n(T)$  محاسبه می‌شود که در آن  $\rho(T)$  مقاومت ویژه الکتریکی اندازه‌گیری شده در دمای  $T$  و  $\rho_n(T)$  مقاومت ویژه الکتریکی حالت عادی، بدون در نظر گرفتن افت و خیزهای ابررسانایی است، که از برازش داده‌های مقاومت در ناحیه  $300 > T > T_f$  به معادله خط و برون‌یابی داده‌ها تعیین می‌شود.

در مدل  $AL$  عبارت زیر برای رسانندگی اضافی ناشی از افت و خیزهای ابررسانایی در منطقه میدان میانگین (MFR) به دست آمده است [۱۶]:

$$\frac{\Delta\sigma}{\sigma_{r..}} = A\varepsilon^{-\lambda} \quad (۱)$$

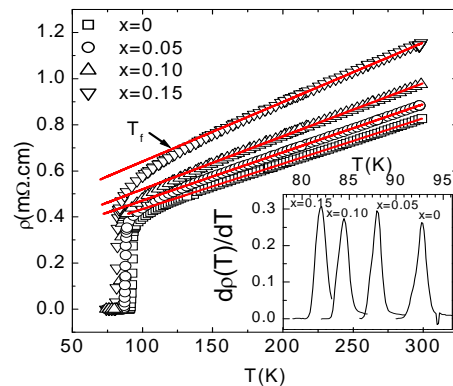
که  $\varepsilon$  دمای کاهش یافته و برابر با  $\varepsilon = (T - T_{mf})/T_{mf}$  و  $\lambda$  پارامتر رسانندگی است. به منظور تحلیل رسانندگی اضافی نرمالیزه شده، نمودار  $\ln(\Delta\sigma/\sigma_{r..})$  به صورت تابعی از  $\ln(\varepsilon)$  در شکل ۴ رسم گردیده است. سه ناحیه دمایی برای  $\Delta\sigma$  در شکل ۴ قابل مشاهده است. با برازش داده‌های هر ناحیه به معادله خط، شیب هر ناحیه،  $\lambda$  و نیز مقدار ضریب  $A$  محاسبه و در جدول ۱ به همراه دماهای گذار  $T_{1D-2D}$  و  $T_{2D-3D}$  آورده شده‌است. مقادیر به دست آمده برای پارامتر رسانندگی حاکی از وجود سه ناحیه سه بعدی، دو بعدی و یک بعدی است. وجود ناحیه یک بعدی نشان می‌دهد که زنجیره‌های  $CuO_x$  نیز در رسانندگی سهمیم هستند که در اثر ایجاد نوارهای باریک رسانایی در کوپرات‌هاست [۱۷].

مقدار دامنه مستقل از دما،  $A$ ، برای هر یک از سه ناحیه به صورت زیر به سایر پارامترها مرتبط است [۲ و ۱۸]:

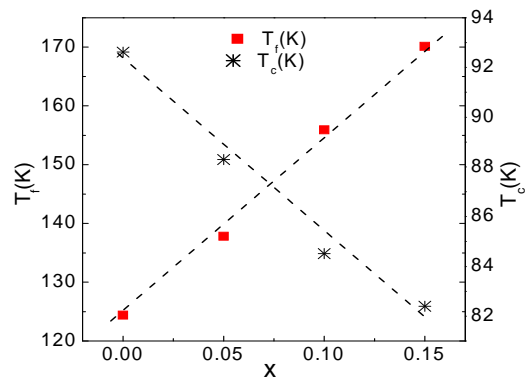
$$A = \begin{cases} \frac{e^2}{32\hbar\zeta(0)\sigma_{room}} & \text{For (3D) fluctuation} \\ \frac{e^2}{16\hbar d\sigma_{room}} & \text{For (2D) fluctuation} \\ \frac{e^2\zeta(0)}{32\hbar s\sigma_{room}} & \text{For (1D) fluctuation} \end{cases} \quad (۲)$$

که  $\zeta(0)$  طول همدوسی در امتداد محور  $c$  در دمای صفر،  $d$  ضخامت موثر لایه‌ای سیستم دوبعدی و  $s$  مساحت سطح مقطع عرضی سیم برای سیستم یک بعدی است. لذا با استفاده از مقادیر به دست آمده برای  $A$  برای نواحی سه، دو و یک بعدی و معادله ۲ مقادیر  $\zeta(0)$ ،  $d$  و  $s$  محاسبه و در جدول ۱ آورده شده است.

دهنده کاهش خاصیت فلزی است. شکل کوچک داخل شکل ۲ مشتق دمایی مقاومت الکتریکی نمونه‌ها،  $dp/dT$  را نشان می‌دهد. در این شکل یک قله در دمای بحرانی میدان میانگین  $T_{mf}$  مشاهده می‌شود که مقادیر  $T_{mf}$  در جدول ۱ گزارش شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش غلظت آلایش  $T_{mf}$  کاهش می‌یابد. دمای افت و خیزها،  $T_f$ ، از روی انحراف از حالت خطی تغییرات مقاومت بر حسب دما و دمای بحرانی از روی افت ۵۰٪ مقاومت الکتریکی نسبت به حالت عادی تعیین شدند. شکل ۳ تغییرات  $T_c$  و  $T_f$  را بر حسب غلظت آلایش نشان می‌دهد. چنانچه در شکل مشاهده می‌شود با افزایش غلظت آلایش  $T_c$  به طور تقریباً خطی کاهش در حالی که  $T_f$  افزایش می‌یابد. دلیل فرونشانی  $T_c$  ناشی از جایگزیده شدن حامل‌های بار است [۱۵].



شکل ۲: تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی به صورت تابعی از دما برای نمونه  $Nd_{1-x}Ca_xBa_{1-x}La_xCuO_{y-\delta}$ . خطوط برازش شده به صورت خط توپر نشان داده شده است. شکل کوچک داخل مشتق دمایی مقاومت ویژه الکتریکی را نشان می‌دهد.

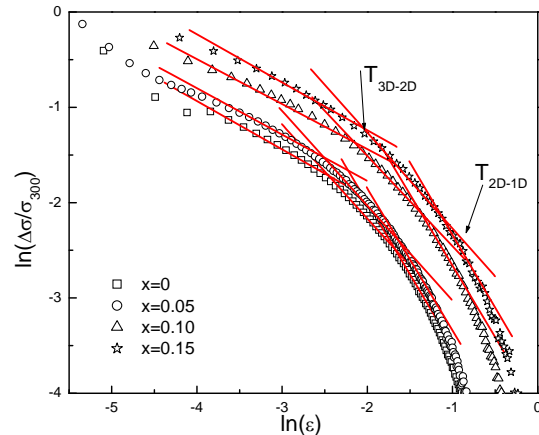


شکل ۳: وابستگی دمای افت و خیزی،  $T_f$  و دمای بحرانی،  $T_c$  به غلظت آلایش. خط‌چین‌ها فقط راهنمایی دید است.

جدول ۱: دماهای گذار و پارامترهای رسانندگی در نواحی سه، دو و یک بعدی برای نمونه‌های  $Nd_{1-x}Ca_xBa_{2-x}La_xCu_3O_{7.6}$ 

x	$T_{D-2D}(K)$	$T_{1D-2D}(K)$	$T_m(K)$	$\lambda_{3D}$	$\lambda_{2D}$	$\lambda_{1D}$	$\sigma_{300} \cdot (m\Omega \cdot cm)^{-1}$	$\zeta(0)(\text{\AA})$	d(nm)	$s \times 10^{-18}$
۰/۰۰	۱۱۱/۵۹	۱۱۵/۷۹	۹۲/۸۰	۰/۵۱	۰/۹۹	۱/۵۰	۱/۲۰	۱۲/۰۲	۸/۵۳	۱۰/۰۴
۰/۰۵	۹۴/۷۸	۱۰۷/۴۱	۸۸/۰۴	۰/۴۸	۰/۹۹	۱/۴۹	۱/۱۲	۱۱/۷۱	۷/۵۹	۹/۵۹
۰/۱۰	۹۴/۲۳	۱۰۶/۲۲	۸۴/۴۷	۰/۴۸	۰/۹۵	۱/۵۰	۱/۰۲	۸/۸۴	۵/۱۸	۴/۳۹
۰/۱۵	۹۱/۷۹	۱۱۲/۶۴	۸۲/۰۴	۰/۵۰	۱/۰۰	۱/۵۰	۰/۸۶	۸/۱۵	۴/۳۲	۳/۲۲

- [۱] S. E. Inderhees, M. B. Salamon, J. P. Rice, D. M. Ginsberg, *Phys. Rev. Rev. Lett.* **66** (1991) 232.
- [۲] A. K. Pradhan, S. B. Roy, P. Chaddha, C. Chen and B.M. Wanklyn, *Phys. Rev. B* **50** (1994) 7180.
- [۳] W. C. Lee, R. A. Klemm and D. C. Johnston, *Phys. Rev. Lett.* **63** (1989) 1012.
- [۴] J. P. Rice, J. Giapintzakis, D. M. Ginsberg and L. M. Mochel, *Phys. Rev. B* **44** (1991) 10158.
- [۵] D. K. Aswal, A. Singh, S. Sen, M. Kaur, C. S. Viswandham, G. L. Goswami, S. K. Gupta, *Jurnal of physics and chemistry of solids*, **00** (2002) 00
- [۶] A. V. Pop, G. H. Ilona, D. Ciurchea, V. Pop, L. A. Konopko, I. I. Geru, M. Todica and V. Ioncu, *Int. J. Mod. Phys. B* **9** (1995) 695.
- [۷] S. V. Sharma, G. Sinha, T. K. Nath, S. Chakraborty and A. K. Majumdar, *Physica C* **351** (1995) 242.
- [۸] S. H. Han and Ö. Rapp, *Solid State Commun.* **94** (1995) 661.
- [۹] S.A. Saleh, S.A. Ahmed, and E. M. .M. Elsheikh, *J. Supercond. Nov. Magn.* **21** (2008) 187.
- [۱۰] N. Mori, *Physica C* **154** (2006) 445.
- [۱۱] H. J. Kim, K. H. Kim, W. N. Kang, H. S. Lee, K. H. P. Kim, E. M. Choi, H. J. Kim, H. J. Kilm, S. I. Lee and M. O. Mun, *Physica C* **72** (2004) 408.
- [۱۲] D. Darminto, I. M. Sutjahja, A. A. Nugroho, A. Rusydi, A. A. Menovsky and M. O. Tjia, *Physica C* **286** (2002) 369
- [۱۳] S. M. Khalil, *J. Low Temp. Phys.* **31** (2006) 143.
- [۱۴] F. Vidal, J. A. Veira, J. Maza, J. J. Ponte, F. G. Alvarado, E. Moran, J. Amador, C. Cascales, A. Castro, M. T. Casais and I. Rasines, *Physica C* **807** (1988) 807.
- [۱۵] S. R. Ghorbani, M. Andersson, O. Rapp, *Phys. Rev. B* **69** (2004) 014503.
- [۱۵] قربانی، شعبان رضا؛ همایی، مریم؛ تاثیر آلاینده خنثای Ca-La بر روی خواص تراپدی و ابررسانایی ترکیب  $Nd_{1-x}Ca_xBa_{2-x}La_xCu_3O_{7.6}$ ؛ مجله پژوهش فیزیک ایران، شماره ۴، زمستان ۱۳۸۷، صفحه ۱۹۱ تا ۱۹۸.
- [۱۶] L. G. Aslamazov and A. I. Larkin, *Sov. Phys. Solid State* **10** (1968) 875.
- [۱۷] S. H. Han, J. Axnäs, B. R. Zhao and Ö. Rapp, *Physica C* **408-410** (2004) 679.
- [۱۸] F. Sharifi, A. V. Herzog and R. C. Dynes, *Phys. Rev. Lett.* **71** (1993) 428.
- [۱۹] T. Sato, H. Nakane, N. Mori and S. Yoshizawa, *IEEE Trans. Appl. Superconductivity*. **13** (2003) 3129.



شکل ۴: نمودار تغییرات لگاریتمی رسانندگی اضافی نرمالیزه شده بر حسب دمای کاهش یافته

ملاحظه می‌شود که این مقادیر با افزایش غلظت آلایش کاهش می‌یابند. کاهش در مقادیر  $\zeta(0)$  و  $d$  به کاهش پراکندگی در جهت عمود بر جریان نسبت داده می‌شود [۱۹].

## نتیجه گیری

رسانندگی اضافی برای ترکیبات  $Nd_{1-x}Ca_xBa_{2-x}La_xCu_3O_{7.6}$  با استفاده از مدل AL بررسی شد. رسم نمودار لگاریتمی رسانندگی اضافی نرمالیزه شده بر حسب دمای کاهش یافته و برازش خطی داده‌های تجربی، نشان‌دهنده وجود سه ناحیه افت و خیزی متناظر با نواحی سه بعدی، دو بعدی و یک بعدی می‌باشد. ظهور افت و خیزهای یک بعدی در ابررسانایی  $Nd_{1-x}Ca_xBa_{2-x}La_xCu_3O_{7.6}$  وجود نوارهای باریک هدایت کننده بار<sup>۴</sup> در این کوپرات را پیشنهاد می‌کند.

## مرجع ها