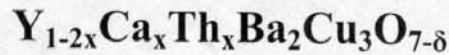


## مقاومت الکتریکی حالت عادی ابررساناهای



### بر اساس مدل جفت پلارونی

قربانی، شعبان‌رضا؛ رستم‌آبادی، ابراهیم

گروه فیزیک دانشگاه تربیت معلم سبزوار، سبزوار

### چکیده:

ترکیبات بس‌بلور ابررسانای  $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  به روش استاندارد حالت جامد ساخته شده‌اند. مقاومت الکتریکی به صورت تابعی از دما و تراکم آلاینش در بازه  $0.075 \leq x \leq 0.100$  اندازه‌گیری شده است. برای تحلیل داده‌های تجربی از مدل پدیده‌شناختی جفت پلارونی استفاده شد. مدل جفت پلارونی داده‌های تجربی مقاومت الکتریکی را تا نزدیکی دمای بحرانی بخوبی توصیف و پیشنهاد می‌کند جایگزیدگی حاملها دلیل اصلی از بین رفتن ابررسانایی در این ترکیبات است.

### مقدمه

علی‌رغم فعالیتهای زیادی که در سالهای اخیر در زمینه ابررساناهای دمای بالا صورت گرفته است، اما هنوز نظریه کاملی برای توصیف مکانیزم ابررسانایی در ابررساناهای دمای بالا وجود ندارد و همچنان به عنوان یک چالش در فیزیک ماده چگال باقیمانده است. مقاومت الکتریکی عموماً آسانترین و سر راست‌ترین روش برای بدست آوردن اطلاعات مفیدی درباره کیفیت نمونه، خواص حالت عادی، دمای شبه گاف،  $T^*$ ، و دمای بحرانی حالت ابررسانایی است. مات پیشنهاد کرد در صورتی که حاملها به صورت جفت پلارونهای اسپینی یک شبکه دو بعدی در نظر گرفته شوند [۱]، وابستگی خطی مقاومت الکتریکی بر حسب دما در گستره دمایی از مرتبه  $1000\text{ K}$  خواهد بود [۲]. این مدل با در نظر گرفتن جایگزیدگی حاملها توسط بی‌نظمی‌ها مقاومت الکتریکی ترکیبات YBCO را توصیف می‌کند [۳].

در طی چند سال اخیر نتایج تجربی زیادی در چارچوب مدل جفت پلارونی توضیح داده شده است؛ بعضی از نتایج عبارت‌اند از: مقاومت الکتریکی [۴ - ۶]، اثر رامان [۷]، طیف‌سنجی تونل‌زنی [۸]، اثر ایزوتوپی [۹]، میدان بحرانی بالایی و گرمای ویژه غیرعادی [۱۰]. همچنین این مدل وابستگی غیر خطی مقاومت الکتریکی صفحات  $CuO_2$  در ناحیه پایین‌تر از دمای شبه‌گاف،  $T^*$ ، را توصیف می‌کند.

در این مقاله مقاومت الکتریکی حالت عادی بس‌بلور  $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  به صورت تابعی از دما و آلاینش در بازه  $0.075 \leq x \leq 0.100$  اندازه‌گیری و از مدل جفت پلارونی [۱۱، ۱۲] برای تحلیل داده‌ها استفاده شده است. مدل داده‌های تجربی مقاومت الکتریکی را بخوبی توصیف و جایگزیدگی حاملها توسط بی‌نظمی را به عنوان عامل اصلی از بین رفتن ابررسانایی پیشنهاد می‌کند؛ که با توصیف داده‌های تجربی توان‌گرماالکتريسيته این بس‌بلور توسط مدل نوار باریک در توافق خوبی است [۱۳].

## آزمایش

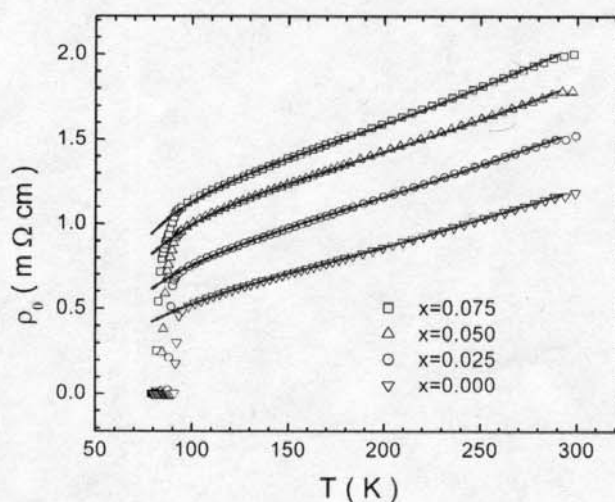
نمونه‌های  $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7-8}$  با آلایشی در بازه  $0.075 \geq x \geq 0.000$  به روش پودر حالت جامد ساخته شده است. جهت ساخت از مواد اولیه  $Y_2O_3$ ،  $BaCO_3$ ،  $CaCO_3$ ،  $Th_2O_3$  و  $CuO$  با درجه خلوص بالا استفاده شده است. پودر مواد اولیه ابتدا با ترازوی دیجیتالی (با دقت  $1/10000$  گرم) وزن و سپس با دقت با هم مخلوط شدند. نمونه‌ها به صورت قرص سه بار به ترتیب در دماهای  $900^\circ C$ ،  $920^\circ C$  پخت شدند. در بین مراحل پخت قرصها آسیاب می‌شدند. برای بهینه کردن مقدار اکسیژن، نمونه‌ها در حضور اکسیژن به مدت ۳ روز در دمای  $460^\circ C$  باز پخت شده و سپس با آهنگ  $12^\circ C/hr$  تا دمای اتاق سرد شده است.

اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی با استفاده از ترکیب ۴ پایه‌ای استاندارد انجام گردید. 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 ساعت در دمای  $300^\circ C$  باز پخت 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 اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی است.

نتایج پراش به روش پودر اشعه‌ی X نمونه‌ها نشان داد که تمام نمونه‌ها به جز نمونه  $x=0.075$  که در آن چند پیک ناخالصی مشاهده شده، تک فاز و دارای ساختار ۱۲۳ راست‌گوشه هستند که با نتایج حاصل از XRD و NRD [۱۴] نمونه‌های مشابه توافق خوبی دارد.

## نتایج و تحلیل داده‌ها

نتایج اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی بس‌بلور  $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7-8}$  به صورت تابعی از دما و تراکم آلایش در شکل ۱ نشان داده شده است. داده‌های تجربی نشان می‌دهند که با افزایش تراکم آلایش مقاومت ویژه الکتریکی بس‌بلور افزایش می‌یابد که نشان دهنده کاهش خاصیت فلزی نمونه‌ها با افزایش تراکم  $CaTh$  است. مقاومت الکتریکی نمونه‌ها در بازه دمایی  $T_C$  تا  $300K$  تابعیت خطی نسبت به دما دارند، بجز در تراکم  $x=0.075$  که به علت فاز ناخالصی یک گذار دو پله‌ای در نزدیکی دمای بحرانی دارد [۱۳].



شکل ۱: داده‌های اندازه‌گیری شده‌ی مقاومت الکتریکی به صورت تابعی از دما و تراکم آلایش. خطوط توپر برازش داده‌ها بر اساس مدل جفت پلارونی (رابطه ۱) است.

### مدل جفت پلارونی

مدل جفت پلارونی توجه ویژه‌ای به برهمکنش قوی الکترون-فونون در ابررساناهای دمای بالا دارد. مات و الکساندروف بر اساس جفت پلارونها مدل ساده‌ای را برای کوپراتها ارائه دادند [۱۵]. این مدل اساس نحوه تشکیل زوجهای کوپر را رد می‌کند به گونه‌ای که نوع حاملهای حالت عادی و ابررسانایی در ابررسانش جریان تغییر نمی‌کنند [۱۶]. این مدل پراکندگی‌های موثر بوزون-بوزون و بوزون-فونون نوری را پیشنهاد می‌کند. بر اساس این مدل مقاومت الکتریکی ویژه در صفحات  $\text{CuO}_2$  به صورت زیر بدست آمده است [۱۲]:

$$\rho = \rho_0 \frac{(T/T_i)^2 + \exp(-\omega/T)}{[1 + A(T/T_c)y^{1/2} \exp(-T^*/T)]} \quad (1)$$

که در آن

$$\begin{aligned} \rho_0 &= \frac{bm_b}{2e^2(x-n_L)} & T_i &= (b/a)^{1/2} \\ A &= (m_b/m_p)^{5/2} & \tau^{-1} &= aT^2 + b \exp(-\omega/T) \\ y &= 1 - \exp(-T_0/T) & T_0 &= \pi(x-n_L)/m_b \approx T_c \end{aligned}$$

و  $m_b$  و  $m_p$  بترتیب جرم جفت پلارون و پلارون،  $T^*$  دمای شبه گاف،  $\omega$  انرژی فونون نوری،  $a$  و  $b$  به ترتیب ضرایب پراکندگی حاملها توسط بوزونها و فونونهای نوری و  $n_L$  تراکم حاملهای جایگزیده شده توسط بی‌نظمی در سلول واحد هستند.

داده‌های تجربی مقاومت الکتریکی به مدل جفت پلارونی رابطه (۱) برازیده شدند که در شکل (۱) با خطوط توپر نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود مدل بخوبی داده های تجربی را تا نزدیکی دمای بحرانی توصیف می‌کند. پارامترهای بدست آمده از برازش در جدول (۱) آورده شده است. در برازش داده‌های مقاومت الکتریکی به مدل جفت پلارونی دمای شبه‌گاف را برابر دمای افت و خیزهای ابررسانایی قرار داده‌ایم ( $T^* = 115$ ).

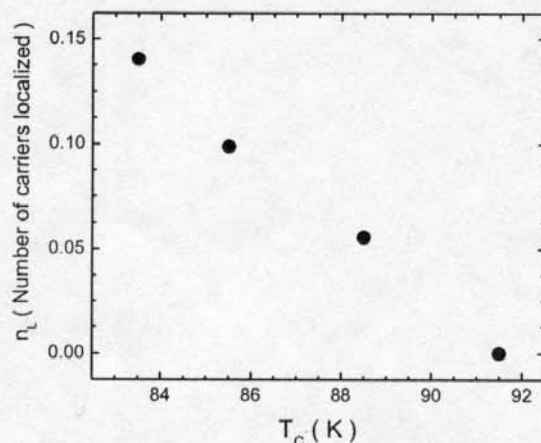
جدول ۱: پارامترهای بدست آمده از برازش داده‌های تجربی به مدل جفت پلارونی

$x$	$\rho_0$	$T_i$	$\omega$	$A$
۰٫۰۰	۵٫۱۴۹۴	۲۰۲٫۹۴۹۴۴	۲۲۳٫۰۳۸۷۷	۹٫۰۷۹۹۹
۰٫۰۲۵	۷٫۷۸۴۵۲	۲۴۱٫۵۹۹۵۳	۱۹۷٫۱۰۶۳۸	۸٫۰۱۹۵۷
۰٫۰۵۰	۱۶٫۲۶۵۰۲	۲۸۵٫۹۴۱۹۶	۲۰۲٫۱۳۳۹۷	۱۱٫۲۲۳۶۳
۰٫۰۷۵	۲۴٫۸۸۱۰۱	۲۸۰٫۱۴۸۳۷	۲۰۸٫۲۸۷۳۸	۱۵٫۸۳۲۲۳

مدل افزایش مقاومت الکتریکی ناشی از افزایش تراکم آلایش را با پارامتر  $\rho_0$  بخوبی نشان می‌دهد. پارامتر  $T_i$  که نشان دهنده نسبت پراکندگی ناشی فونونهای نوری به جفت پلارونها است، نیز با افزایش تراکم آلایش تا  $x=0.050$  افزایش یافته اما در  $x=0.075$  کاهش می‌یابد. کاهش پارامتر  $T_i$  در تراکم آلایش  $x=0.075$  ناشی از افزایش آهنگ تحرک جفت پلارونها و همچنین افزایش انرژی فونونها است. تغییرات نسبت جرم موثر جفت پلارونها به جرم پلارونها،  $A$ ، نیز تفاوت بین آلایش  $x=0.075$  و بقیه آلایش‌های (به جز  $x=0.075$ ) را نشان می‌دهد که در آن آهنگ افزایش جرم جفت پلارونها نسبت به جرم پلارونها در  $x=0.075$  افزایش یافته است.



ترکیبات  $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7.8}$  از لحاظ الکتریکی خنثی هستند. چون اضافه کردن حفره توسط Ca با اضافه کردن الکترون توسط Th جبران می‌شود. با استفاده از پارامترهای برازش تراکم حاملهای جایگزیده محاسبه شده است؛ (شکل ۳). همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش تراکم آلایش تراکم حاملهای جایگزیده افزایش یافته است. اما در  $x=0.075$  آهنگ افزایش تراکم حاملهای جایگزیده اندکی کاهش می‌یابد، که با تحرک بیشتر جفت‌پلارونها و همچنین برازش مدل نوار باریک به داده‌های توان‌گرماالکتریسته [۱۳] توافق خوبی دارد. شکل ۳ نشان می‌دهد که با افزایش حاملهای جایگزیده دمای بحرانی نمونه‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین مدل جفت‌پلارونی جایگزیدگی حاملها را به عنوان عامل اصلی از بین رفتن ابررسانایی در این ترکیبات معرفی می‌کند.



شکل ۳: تراکم حاملهای جایگزیده در سلول واحد بر حسب دمای بحرانی

## مراجع

1. N. F. Mott, *Philos. Mg. Lett.* **52** (1990) 273.
2. A. S. Alexandrov, *Physica C* **182** (1991) 327.
3. A. S. Alexandrov and N. F. Mott, *Supecond. Sci. Technol.* **6** (1993) 215.
4. A. S. Alexandrov, A. M. Bratkovsky and N. F. Mott, *Phys. Rev. Lett.* **72** (1994) 1734..
5. X. H. Chen et al., *Phys. Rev.* **B 58** (1998) 14 219.
6. A. S. Alexandrov, V. V. Kabanov and N. F. Mott, *Phys. Rev. Lett.* **77** (1996) 4796.
7. S. Sugi, *Physica C* **76** (1991) 187-189.
8. A. S. Alexandrov, *Physica C* **305** (1998) 46.
9. A. S. Alexandrov, *Phys. Rev.* **B 46** (1992) 14 932.
10. V. N. Zavaritsky et al., *Europhys. Lett.* **60** (2002) 127.
11. A. S. Alexandrov and P. E. Kornilovitch, *Phys. Lett.* **82** (1999) 807.
12. A. S. Alexandrov, V. N. Zavaritsky and S. Dzhumanov, *Phys. Rev.* **B 69** (2004) 052505.
13. ش. ر. قربانی، مجله پژوهشی فیزیک ایران، جلد ۵، شماره ۴، زمستان ۱۳۸۴، صفحه ۲۵۰-۲۵۴.
14. M. Andersson, Ö. Rapp and R. Tellgren, *Solid State Commun* **81** (1992) 425.
15. A. S. Alexandrov and N. F. Mott, *J. Supecond.* **7** (1994) 599.
16. A. S. Alexandrov, *Phys. Rev.* **B 53** (1996) 2863.