مجلهٔ پژوهش فیزیک ایران، جلد ۷، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۸۶

مقاومت الکتریکی حالت عادی ابررساناهای Y(Nd)-۱۲۳ با آلایشهای CaTh و La بر اساس مدل جفت‌پلارونی

شعبان‌رضا قربانی و ابراهیم رستم‌آبادی

گروه فیزیک، دانشگاه تربیت معلم سبزوار، سبزوار

(دریافت مقاله: ۸۶/۵/۲ ؛ دریافت نسخهٔ نهایی: ۸۶/۸/۲۳)

چکیده

ترکیبات بس‌بلور ابررسانای $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ و $NdBa_{2-x}La_xCu_3O_{7-\delta}$ به روش استاندارد حالت جامد ساخته شده‌اند. خواص ترابردی و ابررسانایی آنها با اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی به صورت تابعی از دما و غلظت آلایش CaTh در بازه $0.00 \leq x \leq 0.075$ و غلظت آلایش La در بازه $0.00 \leq x \leq 0.30$ مطالعه شده است. برای تحلیل داده‌های تجربی از مدل پدیده شناختی جفت‌پلارونی استفاده شد. مدل جفت‌پلارونی داده‌های تجربی مقاومت الکتریکی را تا نزدیکی دمای بحرانی به خوبی توصیف می‌کند. نتایج به دست آمده پیشنهاد می‌کند جایگزیدگی حاملها علت اصلی در از بین رفتن ابررسانایی در ابررساناهای کوپرات آلاییده با آلایش خنثی از لحاظ الکتریکی و یکی از عوامل اصلی در ابرسانای آلاییده شدهٔ پایهٔ Nd با La، علاوه بر پرکردن حفره‌ها، است.

واژه‌های کلیدی: ابررسانایی، آلایش، مدل جفت پلارونی

۱. مقدمه

علی‌رغم فعالیتهای زیادی که در طی سالهای اخیر در زمینه ابررساناهای دمای بالا صورت گرفته است، اما هنوز نظریهٔ کاملی برای توصیف سازوکار 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 به دست آوردن اطلاعات مفیدی دربارهٔ کیفیت نمونه، خواص حالت عادی، دمای شبه‌گاف، T^* (دمایی که در آن یک گاف در چگالی حالتهای الکترونی باز می‌شود)، و دمای بحرانی حالت ابررسانایی است.

کاهش چگالی حاملهای بار (حفره‌ها) توسط جایگزیده شدن یکی از دلایل کاهش خاصیت ابررسانایی در بس بلورهای RE-۱۲۳ (عناصر خاکی نادر=RE) آلاییده شده خنثی از لحاظ الکتریکی است [۱]. اما چون مقاومت الکتریکی این ابررساناها از دمای اتاق تا دمای افت و خیزهای ابررسانایی (اندکی بالاتر از دمای بحرانی ابررسانایی) به صورت خطی با دما تغییر می‌کند اثری از شبه گاف مشاهده نمی‌شود. از طرف دیگر علت کاهش خاصیت ابررسانایی در ابررساناهای $YBa_{2-x}La_xCu_3O_{7-\delta}$ پرشدن حفره‌ها توسط الکترون اضافه شده به وسیله آلایش La عنوان شده است [۲ و ۳]. لذا افزایش آلایش La باعث کاهش بیشتر چگالی حاملهای بار و رفتن به ناحیهٔ کمتر آلاییده شده از حد بهینه (underdoped) و بازشدن شبه گاف می‌گردد. سؤال این است که آیا تنها پرشدن حفره‌ها توسط الکترونها عامل از بین رفتن ابررسانایی در بس بلور $YBa_{2-x}La_xCu_3O_{7-\delta}$ است؟

مدلهای زیادی تا به حال برای توضیح حالت ابررسانایی

Archive of SID

www.SID.ir

بیان گردیده‌اند. مدل جفت پلارونی یکی از این مدلها است. مات پیشنهاد کرد در صورتی که حاملها به صورت جفت پلارونهای اسپینی در یک شبکه دو بعدی در نظر گرفته شوند [۴]، وابستگی خطی مقاومت الکتریکی ابررساناهای کوپرات آلاییده شده به طور بهینه (optimally doped) بر حسب دما در گستره دمایی اندکی بالاتر از دمای بحرانی تا دماهایی از مرتبهٔ ۱۰۰۰ K خواهد بود [۵]. این مدل با در نظر گرفتن جایگزیدگی حاملها توسط بی‌نظمیها مقاومت الکتریک ترکیبات RE-۱۲۳ را توصیف می‌کند [۶]. یکی از ویژگیهای برجسته مدل جفت پلارونی توصیف وابستگی غیر خطی مقاومت الکتریکی صفحات CuO_2 ابررساناهای آلاییده شده با آلایش کمتر از حد بهینه در دماهای پایین‌تر از دمای شبه‌گاف و تعیین چگالی حاملهای بار جایگزیده شده از روی پارامترهای مدل است. در طی چند سال اخیر نتایج تجربی زیادی در خارجوب مدل جفت‌پلارونی توضیح داده شده است؛ بعضی از نتایج عبارتند از: مقاومت الکتریکی [۷ – ۹]، اثر رامان [۱۰]، طیف تونل‌زنی [۱۱]، اثر ایزوتوپی [۱۲]، میدان بحرانی بالایی و گرمای ویژه غیر عادی [۱۳].

نکته شروع این مقاله این سؤال است که آیا این مدل می‌تواند در درک نحوه کاهش چگالی حاملهای بار ابررساناهای آلاییده شده توسط آلاینده‌های خنثی از لحاظ الکتریکی مفید باشد و انحراف از وابستگی خطی مقاومت الکتریکی در دمای شبه گاف و در نتیجه از بین رفتن ابررسانایی را توضیح دهد. لذا در این مقاله مقاومت الکتریکی حالت عادی بس‌بلورهای $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ و $NdBa_{2-x}La_xCu_3O_{7-\delta}$ به صورت تابعی از دما و آلایش اندازه‌گیری و از مدل جفت‌پلارونی [۱۴ و ۱۵] برای تحلیل داده‌ها استفاده شده و از روی پارامترهای برازشی به دست آمده چگالی حاملهای جایگزیده شده محاسبه می‌شود. این مدل داده‌های تجربی مقاومت الکتریکی در حالت عادی را در یک گسترهٔ بزرگ دمایی از دماهای نزدیک به دمای بحرانی تا دماهای خیلی بزرگتر از دمای اتاق (حدود ۱۰۰۰ K) به خوبی توصیف می‌کند.

۲. آزمایش

نمونه‌های $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ و $NdBa_{2-x}La_xCu_3O_{7-\delta}$ به ترتیب با آلایشهایی در بازهٔ $0/075 \geq x \geq 0/00$ و $0/30 \geq x \geq 0/00$ به روش پودر حالت جامد ساخته شده‌اند. جهت ساخت نمونه‌ها پودر مواد اولیه Nd_2O_3، $BaCO_3$ ، $CaCO_3$، Th_4O_7، La_2O_3، CuO با درجه خلوص بیش از ۹۹/۰۰٪ ابتدا با ترازوی دیجیتالی (با دقت ۱/۱۰۰۰۰ گرم) وزن و سپس با دقت با هم مخلوط شدند. نمونه‌ها به صورت قرص سه بار به ترتیب در دماهای ۹۰۰، ۹۲۰، ۹۲۰ °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 ۴۶۰ °C باز پخت شده و سپس با آهنگ ۱۲ °C/hr تا دمای اتاق سرد شدند.

اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی با استفاده از ترکیب ۴ سوزنی 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 ۳۰۰°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 ۲–۱ Ω حاصل شد که مقدار مناسبی جهت اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی است.

نتایج پراش پرتو ایکس پودر اشعهٔ X برای سری $NdBa_{2-x}La_xCu_3O_{7-\delta}$ [۱۶] و پراش به روش پودر نوترون [۱۷] نشان داد که تمام نمونه‌ها، به استثنای نمونهٔ $x=0/075$ (حد حلالیت آلایش CaTh در کوپراتها) در آلایش CaTh که در آن چند پیک ناخالصی مشاهده شده، تک فاز و دارای ساختار ۱۲۳ راست گوشه هستند.

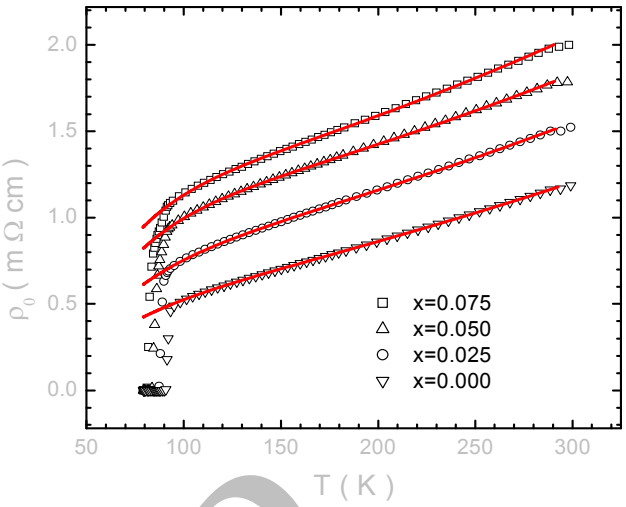
۳. نتایج و تحلیل داده‌ها

۳. ۱. ترکیب $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$:

نتایج اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی بس‌بلور $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ به صورت تابعی از دما و غلظت

Archive of SID

www.SID.ir

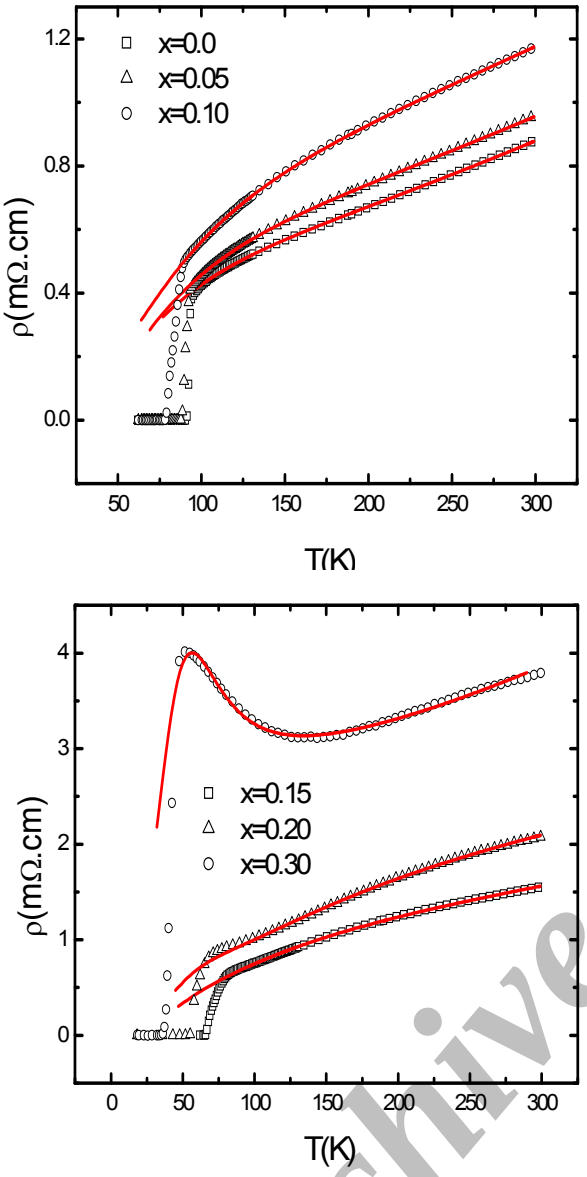


شکل ۱. داده‌های اندازه‌گیری شده مقاومت الکتریکی $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ به صورت تابعی از دما و غلظت آلایش. خطوط توپر برازش داده‌ها بر اساس مدل جفت‌پلارونی (رابطه ۱) است.

آلایش در شکل ۱ نشان داده شده است. داده‌های تجربی نشان می‌دهند که با افزایش غلظت آلایش مقاومت ویژه الکتریکی بس‌بلور افزایش می‌یابد که نشان دهنده کاهش خاصیت فلزی نمونه‌ها با افزایش غلظت CaTh است. مقاومت الکتریکی نمونه‌ها در بازهٔ دمایی T_c تا ۳۰۰K وابستگی خطی نسبت به دما دارند، به جز در غلظت x= ۰٫۰۷۵ که به علت فاز ناخالصی یک گذار دو پله‌ای در نزدیکی دمای بحرانی مشاهده می‌شود که با نتایج حاصل از پراش نوترون [۱۷] در توافق است.

۳. ۲. ترکیب $NdBa_{2-x}La_xCu_3O_{7-\delta}$

مقاومت الکتریکی بس‌بلور $NdBa_{2-x}La_xCu_3O_{7-\delta}$ به صورت تابعی از دما و غلظت آلایش در بازه ۰٫۰<x<۰٫۳۰ در شکل ۲ نشان داده شده است. با افزایش غلظت آلایش مقاومت الکتریکی افزایش می‌یابد که نشان دهندهٔ کاهش خاصیت فلزی نمونه‌ها است. با کاهش دما رفتار مقاومت الکتریکی نمونه‌ها از دمای ۳۰۰ K تا دمای T^* به صورت خطی کاهش می‌یابد. در دمای شبه‌گاف انحرافی از حالت خطی همراه با کاهش مقاومت مشاهده می‌شود. مقاومت الکتریکی نمونه‌های $x \leq$ ۰/۲۰ در بازهٔ دمایی T^* تا T_c کاهش می‌یابد در حالی که برای نمونهٔ با غلظت x= ۰٫۳ مقاومت



شکل ۲. مقاومت الکتریکی بس‌بلور $NdBa_{2-x}La_xCu_3O_{7-\delta}$ به صورت تابعی از دما و آلایش. خطوط توپر برازش داده‌های تجربی مقاوت الکتریکی به مدل جفت‌پلارونی رابطه (۱).

الکتریکی با کاهش دما افزایش یافته و خاصیت نیمرسانایی از خود نشان می‌دهد چون dρ/dT<۰ است.

۴. مدل جفت‌پلارونی

مدل جفت‌پلارونی توجه ویژه‌ای به برهم‌کنش قوی الکترون- فونون در ابررساناهای دمای بالا دارد. مات و الکساندروف بر اساس جفت پلارونها مدل ساده‌ای را

Archive of SID

www.SID.ir

برای کوپراتها ارائه دادند [۱۸]. در این مدل جفت پلارونها در اثر برهم‌کنش پلارونها (حفره‌ها) با فونونهای اپتیکی تشکیل می‌شوند و نوع حاملها در حالتهای عادی و ابررسانایی تغییر نمی‌کند. حالت ابررسانایی بر اثر چگالش بوز- انیشتین جفت‌پلارونهای باردار، با بار الکتریکی ۲e، رخ می‌دهد [۱۹] و پراکندگیهای مؤثر بوزون- بوزون و بوزون- فونون نوری عامل کاهش رسانایی در حالت عادی هستند. بر اساس این مدل مقاومت ویژه الکتریکی در صفحات CuO_2 به صورت زیر است [۱۵]:

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

که در آن

$$\rho_0 = \frac{bm_b}{\pi e^2 (x - n_L)}, \qquad T_l = (b/a)^{1/2},$$

$$A = (m_b/m_p)^{1/2}, \qquad \tau^{-1} = aT^2 + b\exp(-\omega/T),$$

$$y = 1 - \exp(-T_0/T), \qquad T_0 = \pi(x - n_L)/m_b \approx T_C,$$

و m_b و m_p به ترتیب جرم جفت‌پلارون و پلارون، T^* دمای شبه‌گاف، ω انرژی فونون نوری است. a ضریب پراکندگی غیرکشسان حاملهای بار توسط حاملهای جایگزیده شده (بوزونها) و b ضریب پراکندگی توسط فونونهای نوری است. این پراکندگیها باعث کاهش زمان واهلش و در نتیجه افزایش مقاومت الکتریکی می‌شوند. n_L تراکم حاملهای جایگزیده شده توسط بی‌نظمی در سلول واحد هستند.

۴. ۱. تحلیل داده‌های تجربی بر اساس مدل جفت پلارونی

ترکیب $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$

داده‌های تجربی مقاومت الکتریکی به مدل جفت پلارونی رابطهٔ (۱) برازیده شدند که در شکل ۱ با خطوط توپر نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود مدل به خوبی داده‌های تجربی را تا نزدیکی دمای بحرانی توصیف می‌کند. پارامترهای به دست آمده از برازش در جدول ۱ آورده شده‌اند. در برازش داده‌های مقاومت الکتریکی به مدل جفت پلارونی دمای شبه‌گاف برابر دمای افت و خیزهای ابررسانایی انتخاب شده است (T^*= ۱۱۰)، چون در دماهای نزدیک به دمای بحرانی نمی‌توان دو دمای فوق را به درستی از هم تشخیص داد.

پارامتر T_l، که نشان دهنده نسبت پراکندگی ناشی از فونونهای نوری به جفت پلارونها است، نیز با افزایش غلظت آلایش تا x=۰/۰۵۰ افزایش یافته اما در x=۰/۰۷۵ کاهش اندکی می‌یابد. کاهش پارامتر T_l، به عبارت دیگر تغییر سهم آهنگ پراکندگی ناشی از منابع مختلف، در غلظت آلایش x=۰/۰۷۵ ممکن است ناشی از وجود فاز ناخالصی باشد چون در طیف پراش نوترون مربوط به نمونهٔ فوق چند پیک ناخالصی مشاهده شده است [۱۷] که نشان دهندهٔ حد حلالیت حالت جامد آلایندهٔ CaTh است. تغییرات نسبت جرم مؤثر جفت‌پلارونها به جرم پلارونها، A، نیز تفاوت بین آلایش x=۰/۰۷۵ و بقیه آلایشها (به جز x=۰/۰) را نشان می‌دهد که در آن آهنگ افزایش جرم جفت‌پلارونها نسبت به جرم پلارونها در x=۰/۰۷۵ افزایش یافته است.

ترکیبات $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ از لحاظ الکتریکی خنثی هستند. چون اضافه کردن حفره توسط Ca با اضافه کردن الکترون توسط Th جبران می‌شود. لذا این سؤال مطرح می‌شود که چرا مقاومت الکتریکی افزایش می‌یابد؟ حضور بی‌نظمی‌های ناشی از آلایش در داخل یک شبکه دوره‌ای سبب تغییر ارتفاع سد پتانسیل به طور تصادفی می‌شود. این تغییرات باعث ایجاد حالتهای جایگزیده در انتهای نوار هدایت در زیر لبه‌ی تحرک[۱]، که حالتهای جایگزیده را از حالتهای گسترده جدا می‌کند، می‌شود [۲۰]. با افزایش چگالی آلایش سطح فرمی به طرف حالتهای جایگزیده در نوار هدایت جابه‌جا می‌شود که متناقل با افزایش مقاومت الکتریکی است. حتی در صورت افزایش بیشتر آلایش، سرانجام سطح فرمی به داخل قسمتهای جایگزیده وارد شده و تمام حاملهای بار جایگزیده می‌گردند لذا هدایت الکتریکی سریعاً کاهش می‌یابد.

طبق نتایج جدول ۱، پارامتر ρ_0 با افزایش آلایش افزایش می‌یابد که نشان دهندهٔ افزایش مقاومت ویژه الکتریکی است. از طرفی چون این پارامتر متناسب با عکس تراکم حاملهای

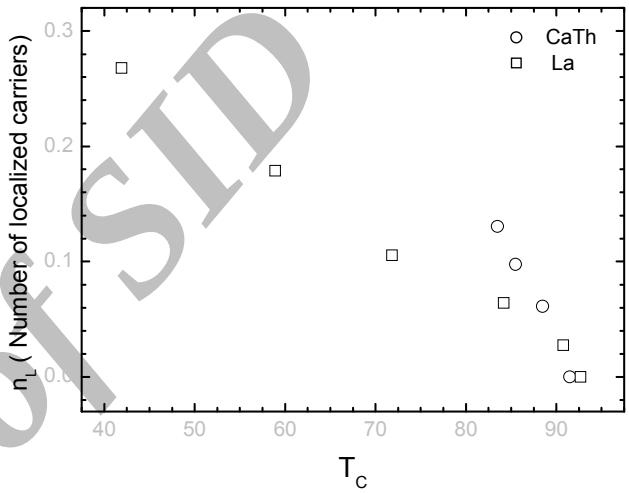
۱. Mobility edges

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. پارامترهای به دست آمده از برازش داده‌های تجربی به مدل جفت‌پلارونی برای $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$.

x	ρ_0	T_l	ω	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



شکل ۳. غلظت حاملهای جایگزیده در سلول واحد در ترکیبات $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ و $NdBa_{2-x}La_xCu_3O_{7-\delta}$ بر حسب دمای بحرانی.

جایگزیده n_L است لذا می‌توان با استفاده از پارامترهای برازشی تراکم حاملهای جایگزیده شده را محاسبه کرد. شکل ۳ تراکم حاملهای جایگزیده را بر حسب دمای بحرانی ابررسانایی T_c نشان می‌دهد. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود با افزایش غلظت آلایش، T_c کاهش و چگالی حاملهای جایگزیده افزایش می‌یابد که در توافق با مدل جایگزیده شدن حاملهای بار توسط بی نظمیها است. بنابراین بر اساس مدل جفت‌پلارونی جایگزیده شدن حاملها علت کاهش خاصیت فلزی و از بین رفتن ابررسانایی در ترکیبات $Y_{1-2x}Ca_xTh_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ است که با نتایج حاصل از برازش مدل نوار باریک به داده‌های توان گرما الکتریسیته [۲۱] توافق خوبی دارد.

۴. ۲. ترکیب $NdBa_{2-x}La_xCu_3O_{7-\delta}$

داده‌های تجربی مقاومت الکتریکی به مدل جفت‌پلارونی رابطهٔ (۱) برازیده شدند که در شکل ۲ با خطوط توپر نشان داده شده است. مدل به خوبی داده‌های تجربی را تا نزدیکی دمای بحرانی توصیف می‌کند. پارامترهای به دست آمده از برازش در جدول ۲ آورده شده‌اند. همان طوری که در جدول ۲ دیده می‌شود با افزایش آلایش پارامتر ρ_0 افزایش می‌یابد که بیانگر افزایش مقاومت الکتریکی است. با افزایش مقاومت الکتریکی، رسانندگی و در نتیجه خاصیت فلزی نمونه‌ها کاهش می یابد. پارامترهای T_l و ω نیز با افزایش آلایش تا x=۰٫۲ افزایش می‌یابد در حالی که برای x>۰٫۳ کاهش می‌یابد. پارامتر T_l نشان دهنده نسبت پراکندگی‌ها توسط فونونها و جفت‌پلارونها است. در x>۰٫۲ پراکندگی فونونها نسبت به پراکندگی بوزونها مؤثرتر است بنابراین باعث کاهش T_l می‌شود. پارامتر A نسبت جرم جفت‌پلارونها به پلارونها را نشان می‌دهد. تغییرات نسبت جرمها به غلظت آلایش به صورت خطی است به جز در x = ۰٫۳ که از حالت خطی منحرف می‌شود.

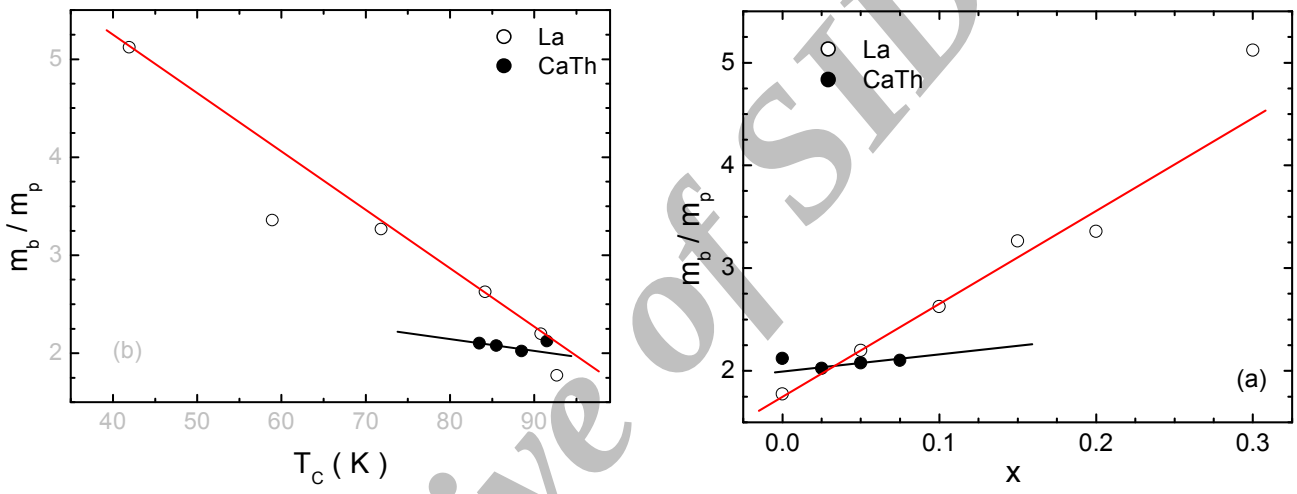
در ترکیبات $NdBa_{2-x}La_xCu_3O_{7-\delta}$ با جانشانی آلایش La^{3+} به جای Ba^{2+} یک الکترون اضافی به صفحات CuO_2 افزوده می‌گردد که باعث خنثی شدن حفره‌ها خواهد شد. با استفاده از پارامترهای برازشی تراکم حاملهای جایگزیده محاسبه شده است که نتایج حاصل از آن در شکل ۳ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود با افزایش غلظت آلایش تراکم حاملهای جایگزیده افزایش می‌یابد. اما در

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. پارامترهای به دست آمده از برازش مدل جفت‌پلارونی رابطهٔ ۱ برای $NdBa_{2-x}La_xCu_3O_{7-\delta}$.

x	ρ_0	T_l	ω	A	T^*
۰٫۰	۲٫۹۷۰۴۷	۲۸۹٫۷۶۳۷	۱۷۰٫۳۶۲۱۷	۴٫۱۹۴۲	۱۱۰٫۶۲۹
۰٫۰۵	۷٫۰۴۳۶۵	۳۴۱٫۸۶۳۷	۲۳۵٫۹۷۵۶۸	۷٫۱۶۸۰۴	۱۲۳٫۲۲
۰٫۱	۱۹٫۴۸۰۰۱	۴۱۳٫۴۲۵۹۳	۳۰۶٫۹۲۵۴۶	۱۱٫۱۶۲۲۳	۱۵۲٫۲۹۰
۰٫۱۵	۵۷٫۳۸۷۹۶	۶۴۳٫۹۰۹۷	۴۴۱٫۹۴۹۰۸	۱۹٫۲۵۵۱۲	۲۱۲٫۷۸
۰٫۲	۱۱۵٫۱۲۸۵۱	۶۵۶٫۵۳۲۸۷	۵۰۱٫۲۹۰۰۸	۲۰٫۶۴۳۸۳	۲۲۹٫۶۹
۰٫۳	۲۶۰٫۶۴۳۳۷	۲۷۸٫۹۶۶۸۴	۳۸۳٫۱۵۰۳۶	۵۹٫۳۱۶۷۴	۲۴۱٫۴۴



شکل ۴. (a) تغییرات نسبت جرم جفت‌پلارونها به جرم پلارونها بر حسب غلظت آلایش x، (b) تغییرات نسبت جرم جفت‌پلارونها به جرم پلارونها بر حسب دمای بحرانی.

$x=0.3$ آهنگ افزایش تراکم حاملهای جایگزیده اندکی کاهش می‌یابد، که با تحرک بیشتر جفت‌پلارونها توافق خوبی دارد. از روی شکل ۳ مشاهده می‌شود که با افزایش حاملهای جایگزیده دمای بحرانی نمونه‌ها کاهش می‌یابد. نتایج فوق نشان می‌دهند که آهنگ افزایش جایگزیدگی توسط La کمتر از CaTh است. دلیل آن است که La، علاوه بر جایگزیدگی، تعدادی حفره نیز به شبکه اضافه می‌کند چون ظرفیت آن ۳ + است در حالی که ظرفیت Ba برابر ۲ + است. بنابراین علاوه بر پرکردن حفره‌ها توسط الکترونهای اضافه شده به وسیله La جایگزیدگی حاملها نیز عامل دیگری جهت از بین رفتن ابررسانایی در این ترکیبات است.

از روی پارامترهای به دست آمده در جداول ۱ و ۲ نسبت جرم جفت پلارون به پلارون برای غلظتهای آلایش متفاوت در هر دو ترکیب محاسبه شد. نتایج به دست آمده در شکل ۴ نشان داده شده‌اند. مشاهده می‌شود که نسبت جرم جفت‌پلارونها با افزایش غلظت آلایش خنثای CaTh تقریباً ثابت است درحالی که با افزایش غلظت La شدیدا افزایش می‌یابد.

لذا مدل پیشنهاد می‌کند که آلایشهای خنثی، که تأثیر کمتری بر روی چگالی حاملهای صفحات CuO_2 دارند، تغییرات نسبت جرمهای کمتری هم نسبت به آلایشهای غیر خنثی دارند (شکل ۴). تغییر دمای بحرانی برای ترکیبات با آلایش غیر خنثی نیز نسبت به آلایشهای خنثی با تغییر غلظت آلایش بیشتر است.

Archive of SID

www.SID.ir

با توجه به نمودار فاز (دما- چگالی حاملهای بار در صفحات CuO_2) ابررساناهای RE- ۱۲۳ با $\delta \approx 0$ اندکی در ناحیهٔ بیشتر آلاییده از حد بهینه (overdoped) قرار دارند. بنابراین دمای بحرانی این نمونه‌ها کمتر ازدمای بحرانی نمونه‌های آلاییده شده به صورت بهینه (optimally doped)، آلایشی که به ازای آن دمای بحرانی بیشینه است، می‌باشد [۳]. در حالی که بیشینه دمای بحرانی به دست آمده برای آلایش La برابر ۹۴٫۲ K است [۲]. لذا برای برآورد مقدار آلایش بهینه La، با توجه به دمای بحرانی [۲۲] و برازش خطی به نمودار نسبت جرمها بر حسب دمای بحرانی، مقدار بهینهٔ ۱٫۸۷۴ برای نسبت جرم جفت پلارونها به پلارونها به دست آمد. با قرار دادن مقدار بهینهٔ نسبت جرمها و برازش خطی، غلظت آلایش بهینهٔ تقریباً برابر $x_{opt} \approx 0.02$ برای آلایش La تعیین شد که توافق بسیار خوبی با نتایج به دست آمده برای $YBa_{2-x}La_xCu_3O_{7-\delta}$ دارد [۳].

مراجع

1. B Lundqvist, J Lundqvist and Ö Rapp, *Phys. Rev*. B **57** (1998) 14[illegible]
2. J J Neumeier and H A Zimmerman, *Phys. Rev*. B **47** (1993) 8[illegible]
3. J L Tallon and N E Flower, *Physica* C **204** (1993) 23[illegible]
4. N [illegible], *Philos. Mg. Lett*. **52** (1990) 273.
5. A S Alexandrov. *Physica* C **182** (1991) 327.
6. A S Alexandrov and N F Mott, Supecond. *Sci. Technol*. **6** (1993) 215.
7. A S Alexandrov, A M Bratkovsky and N F Mott, *Phys. Rev. Lett*. **72** (1994) 1734.
8. X H Chen et al., *Phys. Rev*. B **58** (1998) 14 219.
9. A S Alexandrov, V V Kabanov and N F Mott, *Phys. Rev. Lett*. **77** (1996) 4796.
10. S Sugi, *Physica* C **76** (1991) 187-189.
11. A S Alexandrov, *Physica* C **305** (1998) 46.
12. A S Alexandrov, *Phys. Rev*. B **46** (1992) 14 932.
13. V N Zavaritsky et al., *Europhys. Lett*. **60** (2002) 127.
14. A S Alexandrov and P E Kornilovitch, *Phys. Lett*. **82** (1999) 807.
15. A S Alexandrov, V N Zavaritsky and S Dzhumanov, *Phys. Rev*. B **69** (2004) 052505.

۱۶. شعبان رضا قربانی، ابراهیم رستم آبادی، *هشتمین کنفرانس ماده چگال انجمن فیزیک ایران*، مشهد، بهمن (۱۳۸۵).

17. M Andersson, Ö Rapp and R Tellgren, *Solid State Commun* **81** (1992) 425.
18. A S Alexandrov and N F Mott, *J. Supecond*. **7** (1994) 599.
19. A S Alexandrov, *Phys. Rev*. B **53** (1996) 2863.
20. P W Anderson, *Phys. Rev*. **109** (1958) 1492.

۲۱. ش. ر. قربانی، *مجلهٔ پژوهش فیزیک ایران*، ۵، شماره ۴، ۲۵۰-۲۵۴ (۱۳۸۴).

۲۲. ش. ر. قربانی، *مجلهٔ پژوهش فیزیک ایران*، ۶، شماره ۳، ۱۴۵-۱۵۱ (۱۳۸۶).

Archive of SID

www.SID.ir