

بررسی عوامل موثر بر خواص بین دانه‌ای در سیستم ابررسانایی BSCCO

شمس الدینی، محسن؛ سلامتی، هادی؛ شاکری پور، حمیده؛ فخاری اسفریزی، محمد

ایران، اصفهان ۸۴۱۵۶-۸۳۱۱۱، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده فیزیک

چکیده

در این پروژ، نمونه‌ها به روش سل - ژل ساخته شده و اثر دمای تکلیس و نوع مواد اولیه‌ی به کار رفته در ساخت نمونه‌ها به منظور بررسی عوامل موثر بر اتصالات بین دانه‌ای، مورد بررسی قرار گرفته است.

Factors affecting the intergranular properties of BSCCO superconducting system using ac susceptibility study

Shamsodini, Mohsen; Salamati Hadi; Shakeripoor Hamideh; Fakhari, mohammad

Department of Physics, Isfahan university of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran

Abstract

In this paper, a study of the intergranular properties of BSCCO superconductor systems has been done. The samples were prepared by sol-gel method with different type of materials and the effect of calcination temperature have been investigated.

PACS No. 74, 75

مهمترین محدودیت استفاده کاربردی از ابررساناهای سرامیکی، اتصال ضعیف بین دانه‌ای و قابلیت میخکوبی شار ضعیف می‌باشد که منجر به چگالی جریان بحرانی کم در نمونه‌های حجمی می‌گردد [۱، ۳]. یکی از عوامل کاهش چگالی جریان بحرانی، وجود فازهای ثانویه‌ی نامطلوب از جمله فاز $\text{Bi}-2201$ در محصول نهایی بوده، همچنین دمای تکلیس یکی از پارامترهای مهم در تعیین نوع فازهای موجود در محصول نهایی می‌باشد [۴]. در این مقاله اثر دمای تکلیس و نوع مواد اولیه به کار رفته در ساخت سیستم ابررسانایی $\text{Bi}_{1.66}\text{Pb}_{0.34}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ مورد بررسی قرار گرفته و تاثیر این عوامل بر خواص مرزدانه‌ای ارزیابی شده است.

ساخت و آزمایشات

برای تهیه نمونه‌ها با ترکیب اسمی $\text{Bi}_{1.66}\text{Pb}_{0.34}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ ، به روش Sol - Gel، از دو گروه مواد اولیه‌ی (اکسیدها، کربنات

مقدمه

سیستم ابررسانایی BSCCO اساساً شامل ۳ فاز با فرمول عمومی $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4}$ می‌باشد که در آن $n=1$ و 2 و 3 بوده و دمای گذار به حالت ابررسانایی در آن به ترتیب ۱۱۰ و ۹۵ و ۱۰ می‌باشد. علی‌رغم تلاش‌های زیادی که برای به دست آوردن ماده‌ی تک فاز $\text{Bi}-2223$ صورت گرفته، آماده‌سازی سیستم BSCCO به صورت نرمال منجر به همزیستی دو فاز $\text{Bi}-2223$ و $\text{Bi}-2212$ می‌شود [۱]. روش Sol - Gel روشی امیدوارکننده برای ساخت مواد سرامیکی می‌باشد و اخیراً تلاش‌های زیادی برای آماده سازی مواد ابررسانا به منظور بهره برداری از مزایای این روش صورت گرفته است [۲].

در بحث کاربرد ابررسانای BSCCO، چگالی جریان بحرانی بالا، نقش موثرتری را نسبت به سایر فاکتورها ایفا می‌کند، با این حال

و قله‌ی در دمای پایین‌تر مربوط به اتلاف بین دانه‌ای می‌باشد [۵-۸].

با افزایش میدان اعمالی، پهنای منحنی موهومی افزایش می‌یابد که دلیل آن نفوذ شار مغناطیسی در قسمت بیشتری از ماده است. قله‌ی مربوط به اتلاف درون دانه‌ای به میزان ضعیف‌تری مشاهده می‌شود که نمایانگر پایین‌تر بودن اتلاف انرژی آن نسبت به قسمت بین دانه‌ای می‌باشد. دمایی که در آن بیشترین اتلاف اتفاق می‌افتد، دمای T_p نامیده می‌شود. این اتلاف مربوط به مرزدانه‌ها می‌باشد. مشاهده می‌کنیم که در هر یک از نمونه‌ها با افزایش میدان، قله‌ی مربوط به دمای T_p به سمت دماهای پایین انتقال پیدا می‌کند و میزان این انتقال برای نمونه‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. این جابه‌جایی معرف میزان نیروی میخکوبی شار در مرزدانه‌هاست و هرچه این جابه‌جایی کمتر باشد نیروی میخکوبی شار در مرزدانه‌ها بزرگتر خواهد بود. برای مقایسه میزان جابه‌جایی قله‌ی T_p با افزایش میدان و در نتیجه مقایسه‌ی نیروی میخکوبی شار بین دانه‌ای در نمونه‌های مختلف، نمودار T_p بر حسب میدان اعمال شده H_{ac} رسم و در شکل ۳ نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که برای نمونه‌ی SGN790، تغییرات دمای T_p با اعمال میدان بالاتر، کمتر بوده است که نمایانگر نیروی میخکوبی بالاتر در نمونه‌ی مذکور می‌باشد و تأکیدی بر بهتر بودن اتصالات بین دانه‌ای برای نمونه‌ی SGN790 می‌باشد.

برای به دست آوردن دمای گذار درون دانه‌ای T_C و بین دانه‌ای T_{Cj} ، نمودار مشتق دمایی x' بر حسب دما، در میدان $200 A/m$ ، برای همه‌ی نمونه‌ها رسم و در شکل ۴ نشان داده شده است. این نمودارها دارای قله‌ای در دمای گذار درون دانه‌ای T_C و یک قله (در دمای پایین‌تر) در دمای گذار بین دانه‌ای T_{Cj} می‌باشند. مقدار T_C و T_{Cj} برای نمونه‌ها تعیین و در جدول ۱ آورده شده است.

میزان انرژی جفت شدگی جوزفسون براساس رابطه‌ی ۱ و داده

های جدول ۱ برای نمونه‌ها محاسبه شده است. [۹]

$$E_{coupling} = \frac{\hbar}{4\pi e} I_0, \quad I_0 = 1.57 \times 10^{-8} \times \frac{TC2}{Tc - Tcj} \quad (1)$$

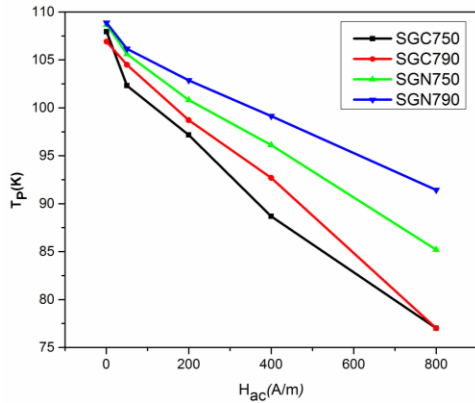
که در آن، ماکزیمم جریان قابل عبور از اتصالات برابر است با I_0 . طبق داده‌های جدول، مشاهده می‌شود که انرژی جفت شدگی

ها (و) نیترا ت ها (استفاده شد. برای تهیه‌ی محلول مواد ، مواد اولیه در محلول اسید نیتریک و آب با استفاده از همزن مغناطیسی در دمای $50^\circ C$ حل شدند. سپس به محلول پایه که شامل $EDTA(N_2H_{10}O_{16})$ ، اتیلن‌گلیکول ، آب و آمونیاک و اوره می - باشد اضافه شد. سپس محلول مواد قطره قطره به محلول پایه اضافه شد و در صورت رسوب برای حل شدن بهتر ، آمونیاک به آن اضافه می‌شد. محلول آبی رنگ بدست آمده پس از گرمادهی به مدت ۲ روز به پودر تبدیل شده و پودرهای سیاه رنگ را به مدت ۱۵ دقیقه آسیاب و در دو دمای متفاوت 750 و 790 به صورت جداگانه سه مرتبه تکلیس شدند. نمونه‌های بدست آمده با نماد های $SGN 790$ ، $SGC 790$ ، $SGC 750$ و $SGN 750$ نام گذاری شدند که $SGC 790$ و $SGC 750$ به ترتیب نمونه‌های ساخته شده با استفاده از اکسیدها و کربنات‌ها در دمای تکلیس 750 و 790 می‌باشند و $SGN 790$ و $SGN 750$ به ترتیب نمونه‌های ساخته شده با استفاده از نیترا ت ها در دمای تکلیس 750 و 790 می‌باشند. در نهایت نمونه‌ها در دمای $835^\circ C$ به مدت 170 ساعت کلوخه‌سازی شدند.

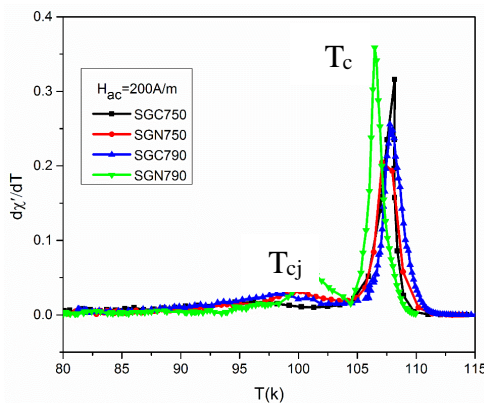
نتایج و بحث

الف: پذیرفتاری مغناطیسی

شکل ۱ و ۲، منحنی تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی ac با دما را برای نمونه‌های مختلف نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در قسمت حقیقی پذیرفتاری AC ، با کاهش دما، دو گذار دیده می‌شود که در ابتدا دانه‌های ابررسانا دیامغناطیس می‌شوند که این گذار را گذار درون دانه‌ای می‌گویند. با دیامغناطیس شدن دانه‌های ابررسانا، کاهش تیزی در قسمت حقیقی پذیرفتاری مغناطیسی ظاهر می‌شود که دمای مربوط به این افت را، دمای شروع گذار $(T_{c\text{onset}})$ می‌نامند. در دمای پایین‌تر، گذار آهسته‌ی ثانویه‌ای ظاهر می‌شود که بازتابی از ساختار دانه‌ای نمونه و اتصالات ضعیف بین دانه‌ای می‌باشد و در واقع شروع این گذار، شروع دیامغناطیس شدن مرزدانه‌هاست. قسمت موهومی پذیرفتاری مربوط به اتلاف انرژی می‌باشد که قله‌ی در دما بالاتر مربوط به اتلاف درون دانه‌ای



شکل ۳: نمودار T_P بر حسب میدان اعمال شده H_{ac} برای نمونه‌ها



شکل ۴: نمودار مشتق دمایی χ' بر حسب دما برای همه‌ی نمونه‌ها، در میدان $H_{ac} = 200 \text{ A/m}$ و فرکانس ۳۰۰ هرتز

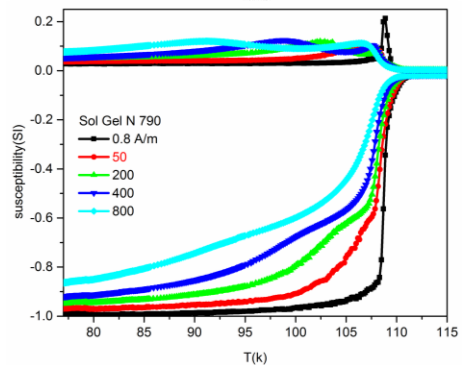
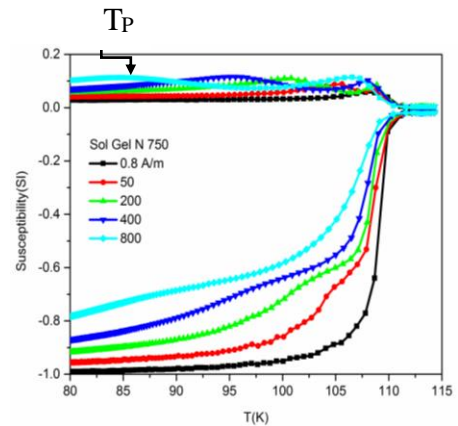
جدول ۱: دمای گذار بین دانه‌ای و درون دانه‌ای نمونه‌ها در میدان $H_{ac} = 200 \text{ A/m}$ و فرکانس ۳۰۰ هرتز

	T_c	T_{c_j}	$T_c - T_{c_j}$	E_{coupling}
SGC 750	۱۰۸/۱۷	۹۷/۱۷	۱۱	۰/۰۳
SGC 790	۱۰۷/۷۶	۹۸/۷۲	۹/۰۴	۰/۰۴
SGN 750	۱۰۷/۱۲	۱۰۰/۱۶	۶/۹۶	۰/۰۵
SGN 790	۱۰۶/۴۷	۱۰۱/۴۹	۴/۹۸	۰/۰۷

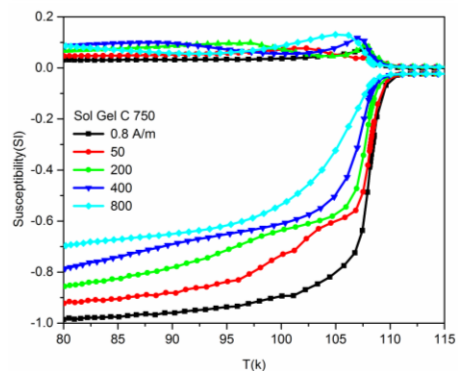
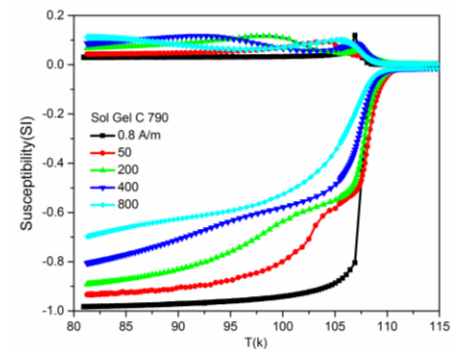
ب: مقاومت الکتریکی

مقاومت الکتریکی DC نمونه‌ها به روش چهارمیله‌ای اندازه‌گیری شد. این اندازه‌گیری‌ها در جریان ۱mA انجام گرفت. در شکل ۵، تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی نمونه‌ها با دما نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که مقاومت در دماهای بالاتر از دمای گذار T_c ، رفتار کاملاً فلزی دارد. کاهش پهنای گذار یکی از نشانه‌های بهتر شدن خواص ابررسانایی در نمونه‌ها می‌باشد، که نشان‌دهنده‌ی کاهش ناخالصی‌ها و همچنین قوی شدن ارتباطات بین-

جوزفسون برای نمونه‌ی SGN790 از بقیه‌ی نمونه‌ها بهتر بوده که دلیلی بر قوی‌تر بودن اتصالات بین دانه‌ای در این نمونه می‌باشد.



شکل ۱: منحنی تغییرات دمایی پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های SGN750 و SGN790 در میدان‌های مختلف و فرکانس ۳۳۳ هرتز



شکل ۲: منحنی تغییرات دمایی پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های SGC750 و SGC790 در میدان‌های مختلف و فرکانس ۳۳۳ هرتز

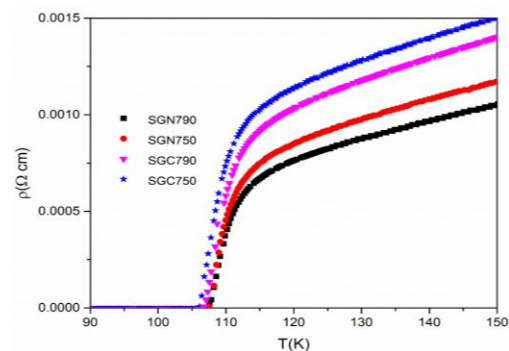
نتیجه گیری

نمونه‌ی SGN790 نسبت به نمونه‌های دیگر، دارای خواص بین دانه‌ای بهتری بوده و پهنای گذار در این نمونه از بقیه نمونه‌ها کمتر می‌باشد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که هر دو عامل دمای تکلیس و نوع مواد اولیه‌ی به کار رفته در ساخت نمونه‌ها بر خواص بین دانه‌ای و در نتیجه بر چگالی جریان بحرانی موثر می‌باشد. و اینکه استفاده از ماده اولیه‌ی نیترات‌ها به جای کربنات‌ها در ساخت ابررسانای BSCCO به روش سل ژل مناسب‌تر است. و استفاده از دمای تکلیس ۷۹۰ به جای ۷۵۰ باعث بهبود خواص ابررسانایی می‌شود.

مرجع‌ها

- [۱] A. Zelati, A. Amirabadizadeh, A. Kompany, H. Salamati, and J. Sonier, "Effect of Eu2O3 nanoparticles addition on structural and superconducting properties of BSCCO," *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, vol. 27, pp. 1369-1379, 2014.
- [۲] A. Tampieri, G. Celotti, S. Lesca, G. Bezzi, T. La Torretta, and G. Magnani, "Bi (Pb)-Sr-Ca-Cu-O (2223) superconductor prepared by improved sol-gel technique," *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 20, pp. 119-126, 2000.
- [۳] A. Zelati, A. Amirabadizadeh, A. Kompany, H. Salamati, and J. Sonier, "Critical Current Density and Intergranular Coupling Study of the Dysprosium Oxide Nanoparticle Added Bi1.6Pb0.4Sr2Ca2Cu3O_y Superconductor," *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, vol. 27, pp. 2-۱۸۵, ۲۰۱۴, ۲۱۹۳.
- [۴] E. Guilmeau, B. Andrzejewski, and G. Desgardin, "The effect of Bi2201 phase on the intergranular critical field and current density in Bi2223 superconductors," *Physica C: Superconductivity*, vol. 377, pp. 304-312, 2002.
- [۵] A. Aftabi and M. Mozaffari, "Intergranular Coupling, Critical Current Density, and Phase Formation Enhancement of Polycrystalline Bi1.6Pb0.4Sr2Ca2Cu3O_{10-y} Superconductors by α -Al₂O₃ Nanoparticle Addition," *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, pp. 1-7, ۲۰۱۵.
- [۶] P. Kameli, H. Salamati, and I. Abdolhosseini, "AC susceptibility study of Bi1.66Pb0.34Sr2Ca2-xMgxCu3O_y (x=0, 0.2 and 0.4) superconductor systems," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 458, pp. 61-65, 2008.
- [۷] P. Kameli, H. Salamati, and M. Eslami, "The effect of sintering temperature on the intergranular properties of Bi2223 superconductors," *Solid state communications*, vol. 137, pp. 30-35, 2006.
- [۸] H. Salamati and P. Kameli, "The effect of Bi-2212 phase on the weak link behavior of Bi-2223 superconductors," *Physica C: Superconductivity*, vol. 403, pp. 60-66, 2004.
- [۹] S. Halim, S. Mohamed, H. Azhan, and S. Khawaldeh, "Effect of Ba and Zn doping in Bi2Pb0.6Sr2Ca2Cu3O₈ superconductors using ac susceptibility measurements," *Journal of materials science*, vol. 34, pp. 2813-2819, 1999.

دانه‌ای در این نمونه‌هاست. کاهش مقاومت حالت بهنجار همراه با کاهش پهنای گذار، حاکی از این می‌باشد که ارتباطات بین دانه‌ای متأثر از انتخاب نوع مواد اولیه‌ی به کار رفته و دمای تکلیس انتخاب شده می‌باشد. استفاده از نیترات‌ها به جای کربنات‌ها باعث بهتر شدن جفت‌شدگی بین دانه‌ها و در نتیجه پراکندگی کمتر حاملین بار در مرزدانه‌ها و کاهش مقاومت نمونه در حالت بهنجار شده است. نتیجه‌ی کلی این می‌باشد که برای ساخت نمونه‌ها بهتر است از مواد اولیه‌ی نیترات‌ها و دمای تکلیس ۷۹۰ استفاده شود.



شکل ۵: تغییرات مقاومت ویژه نمونه‌ها با دما

پ: چگالی جریان بحرانی

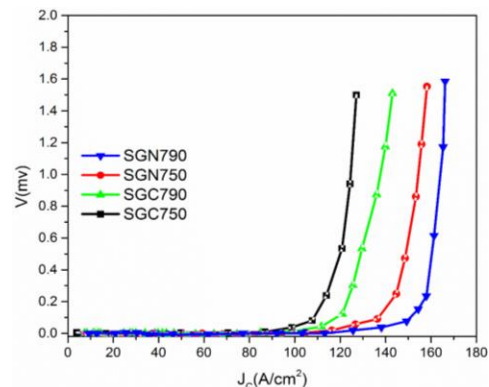
در شکل ۶ مشاهده می‌کنیم که چگالی جریان بحرانی برای نمونه‌های مختلف به صورت زیر می‌باشد:

$$J_c(\text{SGN790}) > J_c(\text{SGN750}) > J_c(\text{SGC790}) > J_c(\text{SGC750})$$

و طبق نتایج ذکر شده در جدول ۱ داریم

$$E_c(\text{SGN790}) > E_c(\text{SGN750}) > E_c(\text{SGC790}) > E_c(\text{SGC750})$$

پس همان‌طور که انتظار داشتیم چگالی جریان بحرانی برای نمونه‌هایی که انرژی جفت‌شدگی بالاتری دارند، بالاتر است.



شکل ۶- منحنی V-Jc نمونه‌های ساخته شده