یادداشت پژوهشی

مجلهٔ پژوهش فیزیک ایران، جلد ۶، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۸۵

مجلهٔ پژوهش فیزیک ایران

# مطالعهٔ وابستگی چگالی جریان بحرانی به سطح مقطع نمونه در ابررساناهای سرامیکی $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ و $Bi_{1/6}Pb_{0/4}Sr_2Ca_2Cu_3O_y$

**مرتضی زرگر شوشتری* و نسرین قزکوب**

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران (اهواز)

*پست الکترونیکی: m_zargar@scu.ac.ir

(دریافت مقاله: ۸۵/۲/۲ ؛ دریافت نسخهٔ نهایی: ۸۵/۷/۲۵)

**چکیده**

در این مقاله، تأثیر سطح مقطع نمونه بر روی چگالی جریان بحرانی ($J_c$) ابررساناهای سرامیکی $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (YBCO) و $Bi_{1/6}Pb_{0/4}Sr_2Ca_2Cu_3O_y$ (BPSCCO) مورد بررسی قرار گرفته است. از نمونه YBCO، ۵ میله مکعب مستطیلی با سطح مقطع عبوری ۶/۲۵، ۷/۶۷، ۹/۲۵، ۱۱/۷۶و ۱۴/۶۷ میلی‌متر مربع و از نمونه BPSCCO هم ۵ میله مکعب مستطیلی با سطح مقطع عبوری جریان ۶/۴، ۹/۰۱، ۱۱/۸۸، ۱۳/۸۶ و ۱۴/۹۸ میلی‌متر مربع با شرایط یکسان تهیه شد. پس از مرحله ساخت نمونه‌ها، اثر مایسنر، آزمایشهای دمای بحرانی ($T_c$)، چگالی جریان بحرانی ($J_c$)، XRD و SEM روی نمونه‌ها انجام شد. مطالعات بلور نگاشتی نمونه‌ها نشان داد که فاز غالب در YBCO و BPSCCO به ترتیب ۱۲۳ و ۲۲۲۳ است. بررسی نتایج $J_c$ نشان داد که در هر دو ابررسانا، با افزایش سطح مقطع، چگالی جریان بحرانی $J_c$ کاهش یافته است و نوع افت به صورت توانی با رابطهٔ $J_C = \alpha A^{-\beta}$ داده می‌شود. هر چند نمونهٔ BPSCCO تک فاز نیست، ولی نتایج نشان می‌دهند که در هر سطح مقطع مشخص، $J_c$ مربوط به نمونه BPSCCO کمتر از نمونه YBCO است.

**واژه‌های کلیدی:** ابررسانایی، چگالی جریان بحرانی، $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ و $Bi_{1/6}Pb_{0/4}Sr_2Ca_2Cu_3O_y$

## ۱. مقدمه

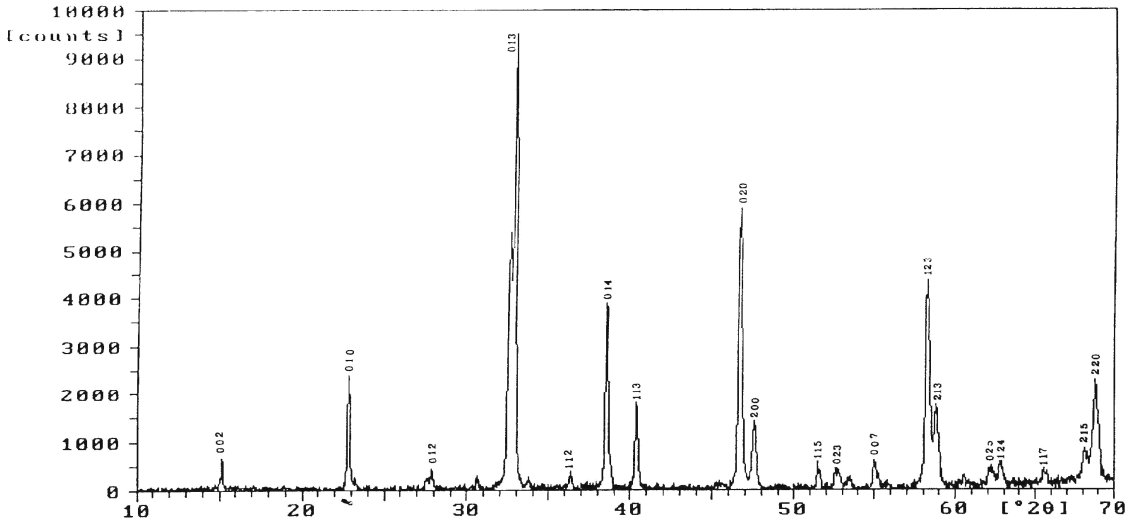
از زمان کشف ابررساناهای دمای بالا [۱] تحقیقات متعددی به منظور بررسی پارامترهای این نوع ابررساناها صورت گرفته است. یکی از پارامترهای مهم ابررساناها خصوصاً در بحث کاربردیشان، چگالی جریان بحرانی است که خود به عوامل متعددی نظیر شدت میدان مغناطیسی اعمال شده به نمونه، دما، ضخامت، عرض، محیط و سطح مقطع نمونه مورد آزمایش وابسته است [۲– ۵]. محققان بسیاری در بررسی این وابستگیها و فرموله کردن آنها، مدلهایی را ارائه داده‌اند [۶–۱۲]. هدف این مقاله بررسی نوع وابستگی چگالی جریان بحرانی به سطح مقطع نمونه در دو ابررسانای سرامیکی YBCO و BPSCCO و ارائه رابطه‌ای برای این وابستگی است.

## ۲. ساخت نمونه‌ها

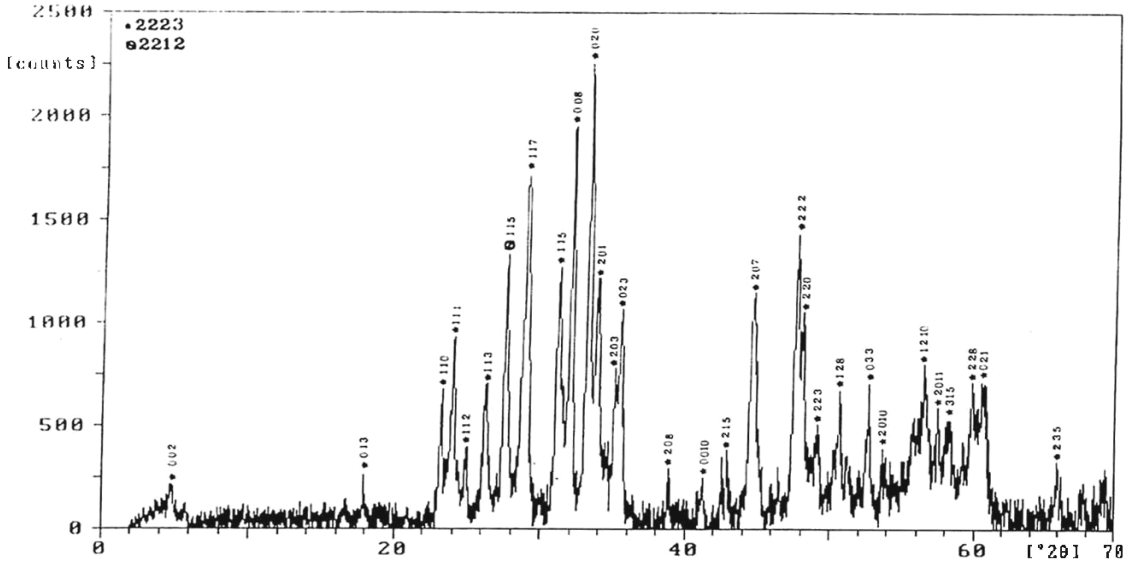
نمونه‌های $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ و $Bi_{1/6}Pb_{0/4}Sr_2Ca_2Cu_3O_y$ با استفاده از روش استاندارد واکنش حالت جامدی ساخته شدند. برای تهیه نمونه‌های YBCO مقادیر استوکیومتری از مواد اولیه $Y_2O_3$، $BaCO_3$ و CuO با خلوص ۹۹/۹۹٪ با دقت $10^{-4}$ g وزن، سپس مخلوط و آسیاب شدند. مخلوط ساییده شده در ۹۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در مجاورت هوا تکلیس شد. برای اطمینان از کامل شدن واکنش، مرحله تکلیس بار دیگر در دمای ۹۴۰ درجه سانتی‌گراد تکرار شد. بعد

Archive of SID

www.SID.ir




**شکل ۱.** طیف پراش اشعه X نمونه YBCO.




**شکل ۲.** طیف پراش اشعه X نمونه BPSCCO.

از انجام مراحل تکلیس و ساییدن مجدد، پودر حاصل را به شکل یک قرص به شعاع ۱۰ mm و ضخامت ۳/۲۵ mm تحت فشار $۳/۱ \times ۱۰^{۶}$ پاسکال و ۵ میله مکعب مستطیلی با سطح مقطع عبوری جریان ۶/۲۵ ، ۷/۶۷ ، ۹/۲۵ ، ۱۱/۷۶و ۱۴/۶۷ میلی‌متر مربع تحت فشار $۳/۲ \times ۱۰^{۶}$ پاسکال در آورده و در دمای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد بیش از ۲۴ ساعت در مجاورت گاز اکسیژن کلوخه سازی انجام شد. برای تهیه نمونه‌های BPSCCO مقادیر استوکیومتری از مواد اولیه $Bi_۲O_۳$، CuO، $CaCo_۳$، $SrCo_۳$ و PbO با خلوص ۹۹/۹۹٪ با دقت $۱۰^{-۴}$ g وزن و سپس مخلوط و آسیاب شدند. مخلوط ساییده شده در ۸۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ ساعت در مجاورت هوا تکلیس شد. بعد از انجام مرحله تکلیس و ساییدن مجدد، پودر را به شکل یک قرص به شعاع ۱۰mm و ضخامت ۲/۹ mm تحت فشار $۳/۱ \times ۱۰^{۶}$ پاسکال و ۵ میله مکعب مستطیل با سطح مقطع عبوری جریان ۶/۴، ۹/۰۱، ۱۱/۸۸، ۱۳/۸۶ و ۱۴/۹۸ میلی‌متر مربع تحت فشار $۳/۲ \times ۱۰^{۶}$ پاسکال درآورده و در دمای ۸۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت کلوخه سازی انجام شد.

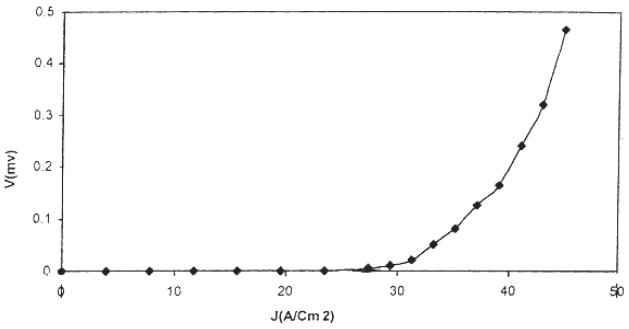
www.SID.ir

## ۳. اندازه‌گیریها

برای بررسی خواص ابررسانایی و ویژگیهای آن، آزمایش مشاهده اثر مایسنر، بررسیهای بلورنگاشتی پودری (XRD)، اندازه‌گیری چگالی جریان بحرانی، اندازه‌گیری دمای بحرانی، مقاومت ویژه الکتریکی و آزمایش SEM انجام شد. برای مشاهده اثر مایسنر از نمونه‌های قرصی شکل استفاده شد. دو نمونه YBCO و BPSCCO، اثر مایسنر را با تعلیق آهنربا بر روی خود به خوبی نشان دادند. برای بررسی ساختار بلوری از روش XRD و دستگاه پراش پرتو X مدل PW ۱۸۴۰ ساخت شرکت فیلیپس با آند مس و طول موج ۱٫۵۴۲۰Å استفاده شد. برای اندازه‌گیری چگالی جریان بحرانی ($J_C$) از روش چهار میله با جریان مستقیم استفاده شد. هنگام اتصال سیمها به نمونه‌ها، دقت لازم صورت گرفت (توسط چسب نقره و حرارت دادن آن) حداقل مقاومت اتصال را داشته باشیم. همچنین برای اندازه‌گیری دمای بحرانی از روش چهار میله با جریان مستقیم ۱۴۰ mA استفاده شد. اندازه‌گیری دما با استفاده از ترموکوپل نوع T (مس – کنستانتان) و با استفاده از جدول استاندارد صورت گرفت.

## ۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج اندازه‌گیری XRD نشان می‌دهند که نمونهٔ YBCO دارای ساختار اورتورومبیک با فاز ۱۲۳ است و اثری از فازهای ناخالص و مواد اولیه مشاهده نشد. نمونهٔ BPSCCO هم دارای ساختار اورتورومبیک بوده و دو فاز ۲۲۱۲ و ۲۲۲۳ در آن مشاهده شد. مقایسه ارتفاع قله‌های متناظر مربوط به فاز ۲۲۲۳ و ۲۲۱۲ نشان داد که فاز غالب ۲۲۲۳ است، همچنین اثری از مواد اولیه در نمونه ساخته شده، مشاهده نشد. شکلهای ۱ و ۲ الگوهای پراش دو نمونه را نشان می‌دهند. اندازه‌گیری چگالی جریان بحرانی در دمای نیتروژن مایع و در غیاب میدان مغناطیسی خارجی روی نمونه‌ها با سطح مقطع متفاوت انجام شد. شکل ۳ منحنی V-J را برای یکی از نمونه‌ها با سطح مقطع ۸ میلی‌متر مربع نشان می‌دهد. نتایج اندازه‌گیریهای چگالی جریان بحرانی نشان می‌دهند که در هر دو ابررسانا با افزایش




**شکل ۳.** منحنی V-J نمونه YBCO با سطح مقطع ۸ میلی‌مترمربع.

سطح مقطع (A) چگالی جریان بحرانی ($J_C$) افت نموده است. علت کاهش $J_C$ را ممکن است چنین بیان کرد که با افزایش A تعداد اتصالهای ضعیف در نمونه و در نتیجه اتلاف انرژی افزایش می‌یابد. افزایش اتلاف انرژی، باعث بالا رفتن دمای نمونه می‌شود که این امر موجب کاهش جریان بحرانی و در نتیجه کاهش $J_C$ می‌گردد. البته به نظر می‌رسد که اتصالهای اهمی حاصل از سیمهایی که به دور نمونه پیچیده شده‌اند در بالا رفتن دمای نمونه سهم دارند. با پردازش داده‌های چگالی جریان بحرانی، مشاهده شده که نوع افت $J_C$ به صورت توانی و به شکل $J_C = \alpha A^{-\beta}$ می‌باشد، که با نتایج تجربی گزارش شده [۵ و ۱۲] و نظریه تقریب خود میدانی [۱۳] توافق دارد. به دلیل ناهمسانگردی بیشتر ترکیب BPSCCO از YBCO و علاوه بر آن وجود فاز ۲۲۱۲ با دمای گذار ۸۵ کلوین در نمونه BPSCCO و نظر به اینکه اندازه‌گیری چگالی جریان بحرانی در دمای ۷۷ کلوین انجام شده است، نتایج $J_C$ نشان می‌دهند که در هر سطح مقطع مشخص، $J_C$ مربوط به نمونه BPSCCO کمتر از نمونه YBCO می‌باشد. خلاصه نتایج اندازه‌گیریهای $J_C$ و مقاومت نمونه‌ها و اتصالها در دمای اتاق ($R(\Omega)$) در جداول ۱ و ۲ آورده شده است، که در آن A سطح مقطع نمونه و $J_{CO}$ و $J_C$ به ترتیب چگالی جریان بحرانی در آستانه حالت مخلوط و عادی می‌باشند. مقادیر $\alpha$ و $\beta$ به دست آمده از مدل توانی برای ابررسانای YBCO به ترتیب ۲۸۸ و ۰/۸۹۰۴ بوده و برای ابررسانای BPSCCO به ترتیب ۸۲/۱۰۱ و ۰/۴۹۲۳ می‌باشد.

Archive of SID

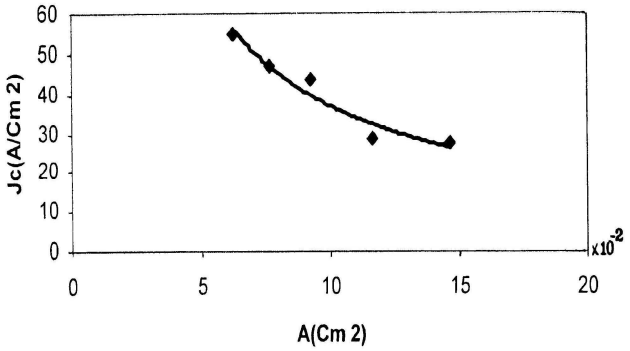
www.SID.ir

**جدول ۱.** نتایج اندازه‌گیری چگالی جریان بحرانی نمونه‌های YBCO.

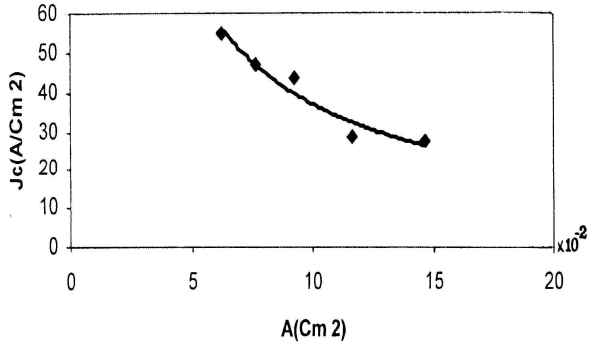
| $A(cm^{۲})\times۱۰^{۲}$ | $J_{CO}(\frac{A}{cm^{۲}})$ | $J_C(\frac{A}{cm^{۲}})$ | R(Ω) |
|---|---|---|---|
| ۶/۲۵ | ۵۰/۲۸ | ۵۴/۸۶ | ۴/۹ |
| ۷/۶۷ | ۴۴/۲۲ | ۴۷/۳۱ | ۴/۱ |
| ۹/۲۵ | ۳۹/۷۴ | ۴۳/۸۳ | ۳/۷ |
| ۱۱/۶۷ | ۲۰/۰۶ | ۲۸/۶۴ | ۴/۷ |
| ۱۴/۶۷ | ۲۴/۹۹ | ۲۷/۴۶ | ۳/۶ |

**جدول ۲.** نتایج اندازه‌گیری چگالی جریان بحرانی نمونه‌های BPSCCO.

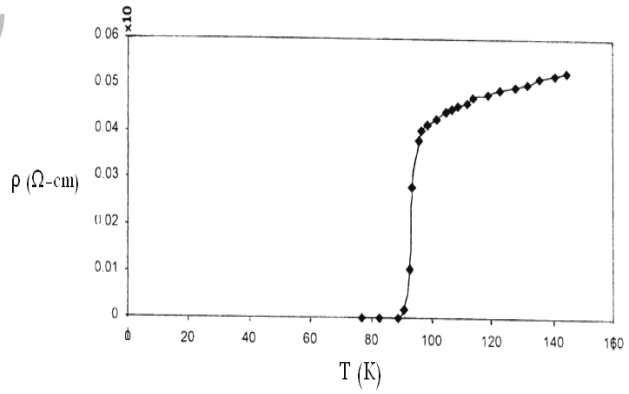
| $A(cm^{۲})\times۱۰^{۲}$ | $J_{CO}(\frac{A}{cm^{۲}})$ | $J_C(\frac{A}{cm^{۲}})$ | R(Ω) |
|---|---|---|---|
| ۶/۴ | ۲۶/۹۵ | ۳۴/۱۸ | ۶ |
| ۹/۰۱ | ۲۲/۷۰ | ۲۷/۷۴ | ۴/۴ |
| ۱۱/۸۸ | ۱۶/۳۱ | ۲۰/۷۸ | ۵ |
| ۱۳/۸۶ | ۲۱/۱۱ | ۲۴/۱۸ | ۲/۷ |
| ۱۴/۹۸ | ۱۸/۵۴ | ۲۲/۷۵ | ۲/۷ |



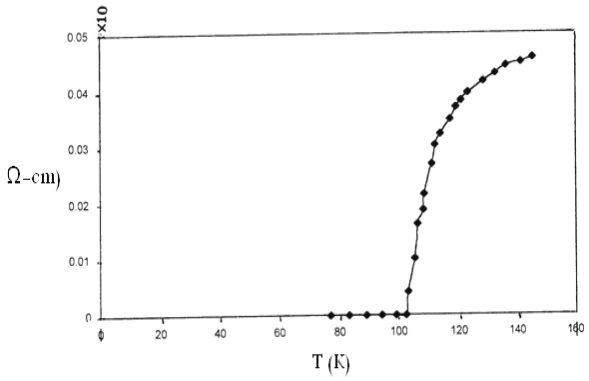

**شکل ۴.** منحنی $J_C - A$ نمونه YBCO.




**شکل ۵.** منحنی $J_C$ -A نمونه BPSCCO.



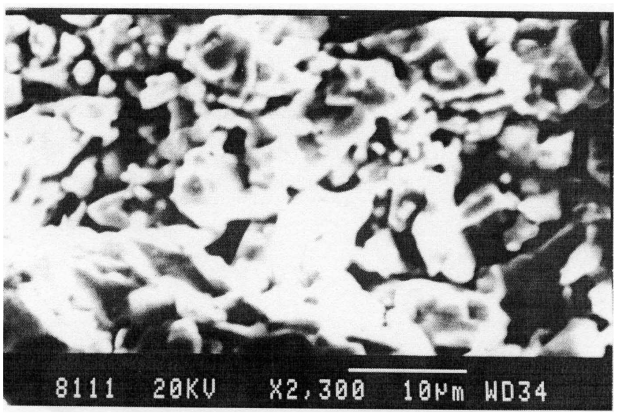

**شکل ۶.** منحنی تغییرات مقاومت ویژه بر حسب دما برای نمونه YBCO.



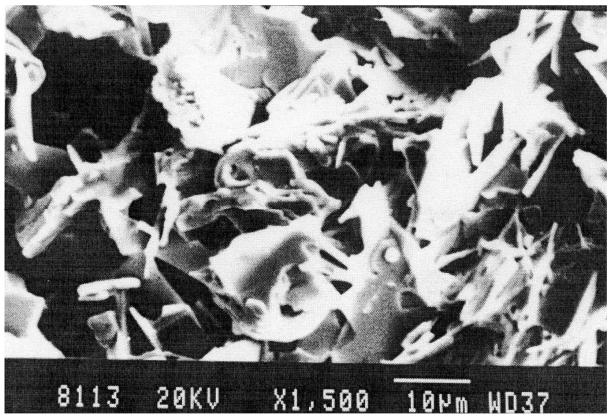

**شکل ۷.** منحنی تغییرات مقاومت ویژه بر حسب دما برای نمونه BPSCCO.

همچنین منحنیهای $J_C$-A برای دو نوع ابررسانا در شکلهای ۴ و ۵ آورده شده است. از دیگر پارامترهای مهم ابررسانایی، دمای بحرانی یا دمای گذار فاز ابررسانایی است. شکلهای ۶ و ۷ منحنیهای $\rho - T$ نمونه‌های YBCO و BPSCCO را نشان می‌دهند. رفتار حالت هنجار نمونه‌ها با توجه به منحنیها، رفتار فلز گونه است. همچنین دمای بحرانی نمونه BPSCCO بیشتر از YBCO می‌باشد. نتایج اندازه‌گیریهای دمای بحرانی آستانه ابررسانایی $T_{c(on)}$ و ابررسانایی در حالت مقاومت صفر $T_{c(off)}$ برای ابررسانای YBCO به ترتیب برابر ۹۷ و ۸۹ درجه کلوین و این مقادیر

www.SID.ir




**شکل ۸**. عکس SEM نمونه YBCO.




**شکل ۹**. عکس SEM نمونه BPSCCO.

برای ابررسانای BPSCCO به‌ترتیب برابر ۱۲۳ و ۱۰۲ درجه کلوین می‌باشد. برای بررسی ریز ساختار می‌توان از میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM بهره گرفت. عکسهای SEM گرفته شده از دو نمونه BPSCCO و YBCO در شکلهای ۸ و ۹ آورده شده است. بررسی عکسها نشان می‌دهد که در هر دو نمونه دانه‌ها از رشد خوبی برخوردار هستند. نتایج XRD نیز مؤید این مطلب است، زیرا هر چه دانه‌های ابررسانای سرامیکی از رشد خوبی برخوردار باشند، قله‌های موجود در الگوی پراش اشعه X نمونه تیزتر می‌شود. همچنین میزان همگنی ترکیب YBCO بیشتر از BPSCCO است.

## مراجع


1. J G Bednors and K A Muller, *Z. phys*. B **64** (1986) 189.
2. L Chen and Zhang, *J. Appl. Phys*. **66** (1989) 1886.
3. H Kliem, A Weyers and J Lutzner, *J. Appl. Phys*, **63** (1990) 1534.
4. C W Cheng, A C Rose–Innes, N Mcn. Alford and T W Button, *Supercond. Sci .Technol*. **8** (1990) 90.
5. S Tahara, S M Anlage, J Halbritter, Eom Chang – Beom, d K Fork, H T Geballe and M R Beasley, *Phys. Rev*. B **41** (1990) 11203.
6. C P Bean, *Phys .Rev. Lett*. **6** (1961) 579.
7. P W Anderson, *Phys. Rev. Lett*. **9** (1962) 309.
8. Y B Kim, C F Hempstead and A R Strand, *Phys. Rev. Lett.* 9 (1962) 306.
9. G Ravi Kumar and P Chaddah, *Phys. Rev*. B. **39** (1989) 4704.
10. H Derschand, G Blatter, *Phys. Rev*. B **38** (1988) 11391.
11. H Kliem, S Schatteburg and W Bauhofer, *Supercond. Sci. Technol*. **9** (1996) 849.
12. D N Mattheus and K H Muller, *J. Appl. Phys*. **72** (1992) 2964.
13. A Killic, *Supercond. Sci. Technol*. **8** (1995) 497.


Archive of SID

www.SID.ir