

## ابررسانای پایه بیسموت

سید ابراهیم موسوی قهفرخی و مرتضی زرگر شوشتری

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران، اهواز

### چکیده

در این مقاله ابررسانای سیستم Bi-Sr-Ca-Cu-O (BSCCO) به روش واکنش حالت جامد ساخته شد. تأثیر آرایش موادی از قبیل سرب، کادمیم، آنتیموان، مس و زمان پخت بر دما و چگالی جریان بحرانی مورد بررسی قرار گرفت. ریزساختار و ریخت‌شناسی نمونه‌ها توسط SEM، XRD و EDX مطالعه گردید. نتایج نشان دادند که در صد فاز Bi-۲۲۲۳، دما و چگالی جریان بحرانی در ابررسانای پایه بیسموت به دمای پخت، زمان پخت، نوع و مقدار آرایش بستگی دارد.

واژه‌های کلیدی: ابررسانای پایه بیسموت، آرایش سرب و کادمیم و آنتیموان و مس، شرایط پخت، دمای گذار، چگالی جریان

### ۱. مقدمه

ابررسانای پایه بیسموت با فرمول عمومی  $Bi_2Sr_2Ca_{n-1}Cu_nO_y$  دارای سه فاز اصلی به ازای  $n = 1$  یا  $n = 2$  یا  $n = 3$  با دمای بحرانی  $T_c \approx 23\text{ K}$  یا  $T_c \approx 83\text{ K}$  یا  $T_c \approx 110\text{ K}$  می‌باشد [۱]. از میان این سه فاز، فاز دوم با دمای بحرانی  $T_c \approx 83\text{ K}$  به حساب می‌آید و به دلیل این که می‌توان تک بلور آن را تهیه نمود بیشتر مورد توجه محققان قرار گرفته است [۲]. از زمان کشف ابررسانایی در سیستم Bi-Sr-Ca-Cu-O (BSCCO)، تلاش‌های زیادی برای به دست آوردن یک سیستم تک فاز ۲۲۲۳ Bi- در این خانواده صورت گرفته است. جهت دستیابی به این فاز روش‌های مختلفی از قبیل افزایش مس و کلسیم [۳ و ۴]، آرایش این سیستم به مواد مختلف [۵ و ۶]، زمان کلوخه‌سازی [۷] پیشنهاد گردیده است. هر چند ابررساناهای با دمای گذار

بالا به صورت اصولی نسبت به ابررساناهای با دمای گذار پائین دارای چگالی جریان بحرانی بیشتری می‌باشند، ولی ابررساناهای سرامیکی به علت طبیعت دانه‌ای و پیوندهای ضعیف بین دانه‌ای، معمولاً از چگالی جریان بحرانی کمی برخوردار هستند. برای هر چه بهتر شدن پیوندهای بین دانه‌ای، یکی از روشها، آلایدن آنها به مواد دیگر است. در این مقاله با آرایش موادی از قبیل سرب، کادمیم، آنتیموان و مس [۸-۱۰]، نمونه‌هایی از آن ساخته و با روش چهار میله‌ای و پذیرفتاری مغناطیسی، چگالی جریان بحرانی و دمای بحرانی نمونه‌ها محاسبه گردید.

### ۲. آزمایش

برای ساخت نمونه‌های ابررسانای پایه بیسموت مقادیر معینی از پودرهای اولیه  $PbO$ ،  $CuO$ ،  $CaCO_3$ ،  $SrCO_3$ ،  $CdO$ ،  $Bi_2O_3$  و  $Sb_2O_3$  با درجه خلوص بالا و استوکیومتری مناسب وزن شدند. پس از مخلوط کردن، پودرها به مدت یک ساعت آسیاب

شدند. سپس نمونه‌ها درون بوتله‌هایی از جنس آلومینا ریخته و آنها درون کوره الکتریکی قرار گرفتند. برای پیشگیری از تشکیل فازهای اضافی در طول فرایند با استفاده از روش واکنش حالت جامد، عمل تکلیس که شامل یک گرمادهی در دمای ۸۲۰ درجه سانتیگراد می‌باشد، به مدت ۱۵ ساعت انجام گرفت. پودرهای تکلیس شده به مدت یک ساعت آسیاب شدند و سپس قرصها و میله‌هایی تهیه و درون کوره قرار گرفتند، آنگاه مرحله کلوخه‌سازی انجام شد. پس از پایان مرحله کلوخ سازی، بر روی نمونه‌ها آزمایش اثر مایسنر در دمای ازت مایع صورت گرفت. اکثر نمونه‌ها این اثر را به خوبی نمایش دادند. با استفاده از روش استاندارد چهارمیله‌ای و دستگاه پذیرفتارسنج

نتایج حاصل از آلیس  $Cd$  برابرسنای  $Bi_{1/64-z}Pb_{0/36}Cd_zSr_2Ca_2Cu_3O_y$  با  $0/06$  و  $0/04$  و  $0/02$ ،  $z=0/0$  نشان می‌دهد که بیشترین درصد فاز  $Bi-2223$  دما و چگالی جریان بحرانی در دمای پخت  $845^\circ C$  با مقدار  $z=0/04$  در زمان پخت  $270$  ساعت می‌باشد. همچنین با افزایش مقدار کادمیم تا  $0/04$ ، چگالی جریان بحرانی افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد که علت این افزایش بهتر شدن پیوند بین دانه‌ها می‌باشد. وقتی مقدار کادمیم بیش از  $0/04$  می‌شود، فازهای ثانویه از قبیل  $Bi-2212$  و  $Bi-2201$  در نمونه زیاد می‌شوند. این فازها نقش پیوندهای ضعیف را بازی کرده و باعث کاهش چگالی جریان بحرانی می‌شوند. در جدولهای ۱ و ۲ فازهای  $Bi-21/8112$  و  $Bi-21/8612$  به ترتیب معادل  $Bi_{1/6}Pb_{0/4}Sr_{1/81}CaCu_2O_{8/716}$  و  $Bi_{1/6}Pb_{0/4}Sr_{1/86}CaCu_2O_{8/39}$  می‌باشند.

شکل ۴ الگوهای پراش ابررسنای  $Bi_{1/64-x}Pb_{0/35}Sb_xSr_2Ca_2Cu_3O_y$  با  $0/07$  و  $0/05$  و  $0/03$ ،  $x=0/0$  را نشان می‌دهد. با استفاده از الگوهای پراش، درصد فازهای موجود در هر نمونه برآورد گردید. نتایج حاصل از آلیس  $Sb$  نشان می‌دهد که بیشترین درصد فاز  $Bi-2223$  دما و چگالی جریان بحرانی در دمای پخت  $845^\circ C$  با مقدار  $x=0/05$  و زمان پخت  $270$  ساعت می‌باشد. نتایج حاصل از اندازه‌گیریهای فازها، دما و چگالی جریان بحرانی در جدول ۲ نشان داده شده است.

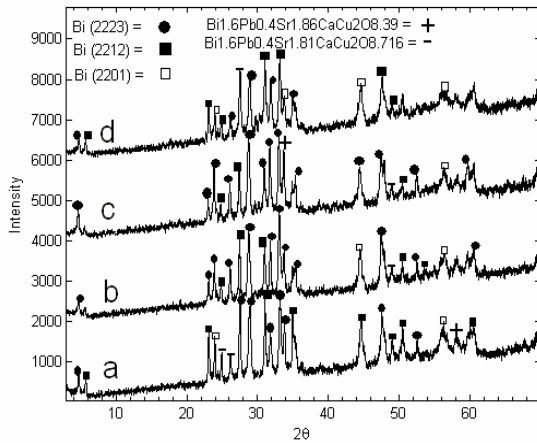
از جدول ۲ به خوبی مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار آنتیموان تا  $x=0/05$  درصد فاز  $Bi-2223$  به  $78/52$  می‌رسد. برای مقادیر آنتیموان  $x > 0/05$  درصد فاز  $Bi-2223$  از  $78/52$  به  $32/50$  کاهش یافته و در نتیجه فازهای ثانویه در نمونه افزایش می‌یابد.

نتایج حاصل از آلیس  $Cu$  برابرسنای  $Bi_{1/6}Pb_{0/4}Sr_2Ca_2Cu_{2+x}O_y$  با مقادیر  $2/2$  و  $2/1$  و  $1/8$  و  $1/0$ ،

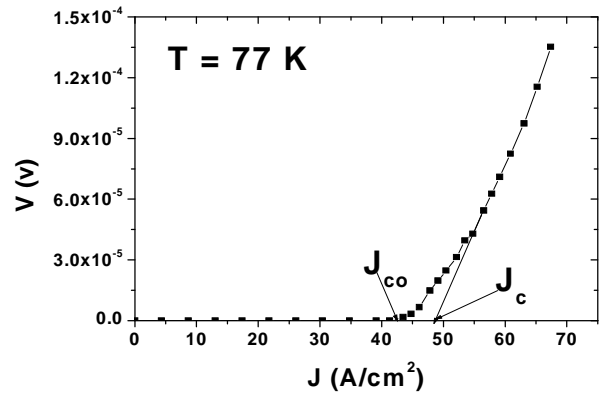
شکل ۱ نشان داده شده است. در شکل ۱،  $J_c$  چگالی جریان بحرانی آستانه حالت عادی و  $J_{co}$  آستانه حالت مخلوط می‌باشد. برای محاسبه مقاومت ویژه از رابطه  $r = a \frac{V}{I}$  که در آن  $V$  و  $I$  به ترتیب جریان، ولتاژ و مقاومت ویژه هستند، استفاده شده است. در این رابطه  $\alpha$  ضریب ثابتی است که با توجه به آرایش چهار میله‌ای مشخص می‌شود. مطابق شکل ۲ با ترسیم مقاومت ویژه بر حسب دما، دمای بحرانی هر نمونه اندازه‌گیری گردید [۸]. از نمونه‌های ساخته شده، الگوهای پراش توسط دیفراکتومتر مدل  $PW1840$  ساخت شرکت فیلیپس و همچنین تصاویر  $SEM$  و  $EDX$  توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل  $1455VP$  ساخت شرکت  $LEO$  تهیه گردید.

### ۳. نتایج و بحث

شکل ۳ الگوهای پراش ابررسنای  $Bi_{1/64-z}Pb_{0/36}Cd_zSr_2Ca_2Cu_3O_y$  با  $0/06$  و  $0/04$  و  $0/02$ ،



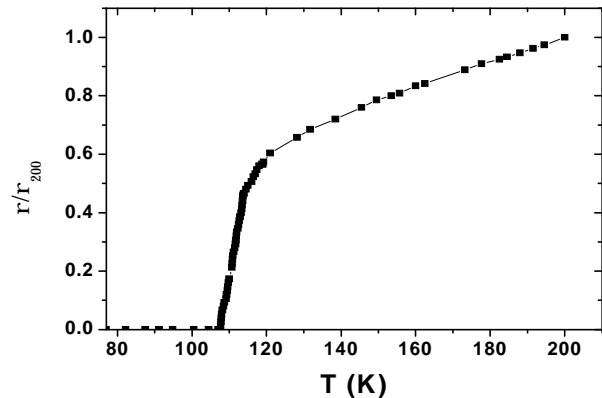
شکل ۴. الگوی‌های پراش نمونه‌ها با مقدار آنتیموان a) (۰/۰)، b) (۰/۰۳)، c) (۰/۰۵) و d) (۰/۰۷) با زمان پخت ۲۷۰ ساعت.



شکل ۱. نمودار  $V-I$  برای نمونه آلیش داده شده با کادمیم  $x = ۰/۰۴$  با زمان پخت ۲۷۰ ساعت.

جدول ۱. چگالی جریان بحرانی، دمای بحرانی و فازهای موجود در نمونه‌های آلیش داده شده با کادمیم در ابررسانای  $Bi_{1/64-z}Pb_{0/36}Cd_zSr_2Ca_2Cu_3O_y$  با زمان پخت ۲۷۰ ساعت.

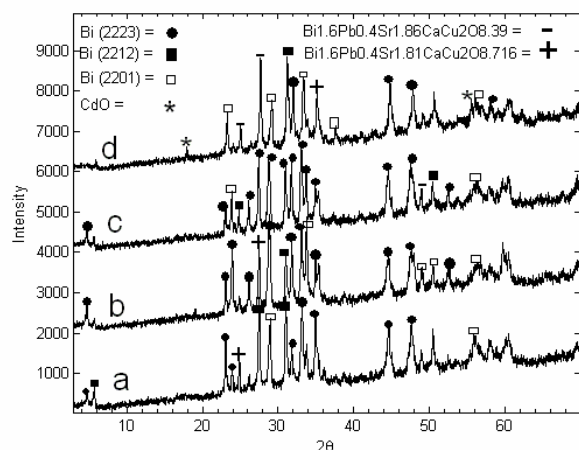
| مقدار کادمیم | ۰/۰   | ۰/۰۲  | ۰/۰۴  | ۰/۰۶  |
|--------------|-------|-------|-------|-------|
| ۲۲۲۳ Bi-     | ۴۸/۳۷ | ۶۳/۳۷ | ۷۷/۵۰ | ۲۵/۴۸ |
| ۲۲۱۲ Bi-     | ۳۱/۵۷ | ۷/۱۹  | ۳/۲۷  | ۱۱/۳۶ |
| ۲۲۰۱ Bi-     | ۱۴/۸۶ | ۲۳/۰۷ | ۱۵/۱۸ | ۳۱/۲۹ |
| ۲۱/۸۶۱۲ Bi-  | -     | ۶/۳۷  | ۴/۰۵  | ۱۵/۴۱ |
| ۲۱/۸۱۱۲ Bi-  | ۵/۲   | -     | -     | ۷/۱۸  |
| CdO          | -     | -     | -     | ۹/۲۸  |
| $J(A/cm^2)$  | ۲۴/۲۶ | ۳۹/۵۱ | ۴۸/۴۰ | ۱۰۵   |
| $T_c(K)$     | ۱۰۱/۳ | ۱۰۲/۶ | ۱۰۷/۶ | ۸۴/۳  |



شکل ۲. نمودار  $\rho-T$  برای نمونه آلیش داده شد با آنتیموان  $x = ۰/۰۵$  با زمان پخت ۲۷۰ ساعت.

جدول ۲. چگالی جریان بحرانی، دمای بحرانی و فازهای موجود در نمونه‌های ابررسانای  $Bi_{1/65-z}Pb_{0/35}Sb_xSr_2Ca_2Cu_3O_y$  آلیش داده شده با آنتیموان با زمان پخت ۲۷۰ ساعت.

| مقدار آنتیموان | ۰/۰   | ۰/۰۳  | ۰/۰۵  | ۰/۰۷  |
|----------------|-------|-------|-------|-------|
| Bi-۲۲۲۳        | ۴۷/۲۴ | ۷۱/۲۷ | ۷۸/۵۲ | ۳۲/۵۰ |
| Bi-۲۲۱۲        | ۳۷/۸۱ | ۲۱/۶۴ | ۱۲/۲۴ | ۶۴/۴۱ |
| Bi-۲۲۰۱        | ۷/۵۶  | ۵/۴۵  | ۱/۷۲  | ۱۷/۱۱ |
| Bi-۲۱/۸۶۱۲     | ۰/۹۶  | -     | ۶/۴۴  | -     |
| Bi-۲۱/۸۱۱۲     | ۶/۴۱  | ۱/۶۳  | ۱/۰۸  | ۸/۷۴  |
| $J(A/cm^2)$    | ۴۰/۲۱ | ۶۲/۸۷ | ۷۴/۸۸ | ۱۶/۷۵ |
| $T_c(K)$       | ۱۰۲/۴ | ۱۰۴/۶ | ۱۰۷/۳ | ۹۹/۳  |



شکل ۳. الگوهای پراش نمونه‌ها با مقدار کادمیم a) (۰/۰)، b) (۰/۰۲)، c) (۰/۰۴) و d) (۰/۰۶) با زمان پخت ۲۷۰ ساعت.

چگالی جریان بحرانی آنها در جدول ۴ با زمانهای پخت ۴۸ و ۷۲ ساعت نشان داده شده است.

مطالعه اثر زمان پخت روی پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌ها نشان داد که با افزایش زمان پخت برای نمونه‌های  $x = 1$  و  $x = 1/9$  موجب افزایش فاز  $Bi - 2223$  و در مورد نمونه  $x = 2$  تأثیر چندانی نداشته ولی برای نمونه‌های  $x = 2/1$  و  $x = 2/2$  باعث کاهش این فاز می‌شود. از جدول ۴ مشاهده می‌شود که  $J_{co}$  برای نمونه  $x = 2$  با زمان پخت ۷۲ ساعت بیشینه است. این موضوع بیانگر آن است که با افزایش مقدار مس از  $x = 1$  تا  $x = 2$  پیوند بین دانه‌ها بهتر می‌شود. وارد کردن بیش از حد مس از  $x = 2$  تا  $x = 2/2$  نمونه را به حالت فلزی می‌برد و باعث کاهش چگالی جریان بحرانی می‌شود.

با استفاده از روش چهار میله‌ای و پذیرفتاری مغناطیسی، چگالی جریان و دمای بحرانی نمونه‌های آلایش شده با  $Pb$ ،  $Cd$  و  $Sb$  در ابررسانای پایه بیسموت مطالعه گردید. با محاسبه درصد فازهای موجود در نمونه‌ها مشخص گردید که از مهمترین عوامل محدود کننده چگالی جریان بحرانی در ترکیب فاز  $Bi - 2223$ ، حضور فازهای ثانویه از قبیل  $Bi - 2212$  و  $Bi - 2201$  در مرز دانه‌ها می‌باشد. این فازها نقش پیوندگاه‌های ضعیف را بازی می‌کنند و با افزایش درصد آنها در نمونه، چگالی جریان بحرانی کاهش می‌یابد. نتایج اندازه‌گیریها نشان می‌دهند که زمان پخت تا حدود ۲۷۰ ساعت، درصد فاز  $Bi - 2223$ ، دمای بحرانی و چگالی جریان بحرانی را در نمونه‌ها بهبود می‌بخشد. در بررسیهای انجام شده مشخص گردید که آلایش توسط  $Pb$  می‌تواند باعث پایداری فاز  $Bi - 2223$  شود، ولی مقادیر کم  $Sb$  و  $Cd$  می‌تواند درصد فاز  $Bi - 2223$  را افزایش دهند.

**جدول ۳.** دمای بحرانی نمونه‌های ابررسانای  $Bi_{1/6}Pb_{0.4}Sr_2Ca_2Cu_{2+x}O_y$  برحسب کلویین با استفاده از اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی در میدانهای مغناطیسی مختلف با زمانهای پخت ۴۸ و ۷۲ ساعت.

| مقدار x | با ۵A/m<br>زمان پخت<br>ساعت ۴۸ | با ۵A/m<br>زمان پخت<br>ساعت ۷۲ | با ۵۰A/m<br>زمان پخت<br>ساعت ۴۸ | با ۵۰A/m<br>زمان پخت<br>ساعت ۷۲ |
|---------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| ۱       | ۱۰۷/۵۱                         | ۱۰۷/۷۸                         | ۱۰۹/۷۵                          | ۱۰۸/۳                           |
| ۱/۹     | -                              | ۱۰۶/۵                          | ۱۰۷/۹۸                          | ۱۰۷/۱۴                          |
| ۲       | ۱۰۷/۶۲                         | ۱۰۶/۳۲                         | ۱۰۷/۹۴                          | ۱۰۷/۴۶                          |
| ۲/۱     | -                              | -                              | ۱۰۸/۲۴                          | ۱۰۷                             |
| ۲/۲     | ۱۰۸                            | ۱۰۶/۴                          | ۱۰۸/۳۱                          | ۱۰۸                             |

**جدول ۴.** چگالی جریان بحرانی نمونه‌های ابررسانای  $Bi_{1/6}Pb_{0.4}Sr_2Ca_2Cu_{2+x}O_y$

|     | زمان پخت<br>ساعت ۴۸              | زمان پخت<br>ساعت ۴۸           | زمان پخت<br>ساعت ۷۲              | زمان پخت<br>ساعت ۷۲           |
|-----|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| x   | $J_{co}$<br>(A/cm <sup>2</sup> ) | $J_c$<br>(A/cm <sup>2</sup> ) | $J_{co}$<br>(A/cm <sup>2</sup> ) | $J_c$<br>(A/cm <sup>2</sup> ) |
| ۱   | ۲۵                               | ۱                             | ۱/۲۵                             | ۲/۵                           |
| ۱/۹ | ۵/۵                              | ۹/۵                           | ۱۸                               | ۲۳                            |
| ۲   | ۱۹                               | ۲۳                            | ۲۰/۵                             | ۲۲/۵                          |
| ۲/۱ | ۱۴/۵                             | ۱۸                            | ۱۶/۳                             | ۲۲                            |
| ۲/۲ | ۱۴/۱۷                            | ۱۸                            | ۱۲                               | ۱۵/۳                          |

نشان داد که تمام نمونه‌ها به جزء نمونه  $x = 1$  اثر مایسنر را به خوبی از خود نشان می‌دهند. با افزایش زمان پخت (۷۲ ساعت) اثر مایسنر بهتر می‌شود. دمای بحرانی نمونه‌های آلایش داده شده با  $Cu$  در میدانهای مغناطیسی مختلف در جدول ۳ و

## مراجع

- فرید، منصور، کنفرانس فیزیک ایران، یاسوج، شهریورماه ۱۳۸۶ (۳۳۵).
8. M Zargar Shoushtari, et al., *Physica B* **321** (2002) 305.
9. M Zargar Shoushtari, et al., *Phys. Stat. Sol. (c)* **3** (2006) 2994.
10. M Ishizuka, et al., *Physica C* **433** (2006) 173.

1. G Jasiolek, et al., *Supercond. Sci. Technol.*, **3** (1990) 194.
2. J M Tarascon, *Phys. Rev. B* **37** (1988) 9382.
3. A Sumiyama, et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **27** (1988) L542.
4. A Zahida, et al., *Supercond. Sci. Technol.* **9** (1996) 197.
5. J C Grivel, et al., *Supercond. Sci. Technol.* **8** (1995) 42.
6. B Zhao, et al., *Physica C* **361** (2001) 238.
۷. موسوی قهفرخی، سید ابراهیم؛ زرگر شوشتری، مرتضی؛