

## تأثیر نانوپودر آلومینا بر تشکیل فاز و ویژگیهای ابررسانایی $\text{Bi}_{1/6}\text{Pb}_{0/4}\text{Sr}_{1/9}\text{Ca}_{2/1}\text{Cu}_3\text{O}_{10-y}$

### علی آفتابی<sup>۱</sup>، مرتضی مظفری<sup>۱</sup> و پرویز کاملی<sup>۲</sup>

۱. گروه فیزیک، دانشگاه اصفهان، اصفهان

۲. دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

#### چکیده

در این پژوهش فاز ابررسانای  $\text{Bi}_{1/6}\text{Pb}_{0/4}\text{Sr}_{1/9}\text{Ca}_{2/1}\text{Cu}_3\text{O}_{10-y}$  به روش واکنش حالت جامد تهیه و تأثیر افزودن درصدهای گوناگون نانوپودر آلومینا (تا یک درصد وزنی) بر تشکیل فاز و ویژگیهای ابررسانایی آن بررسی شد. نتایج حاصل از الگوهای پراش پرتو ایکس نشان داد که افزودن ۲٪ درصد وزنی نانو پودر آلومینا به فاز ابررسانا، تشکیل فاز  $\text{Bi-2223}$  را به گونه چشمگیری بهبود میبخشد. چگالی جریان بحرانی و دمای گذار نمونه‌ها به روش چهار میله‌ای اندازه‌گیری شد، نتایج نشان داد که با افزودن نانو پودر آلومینا چگالی جریان بحرانی افزایش می‌یابد و از مقدار  $36 \text{ A/cm}^2$  برای نمونه فاقد آلومینا به مقدار  $107 \text{ A/cm}^2$  در نمونه شامل ۵٪ درصد وزنی نانوپودر آلومینا می‌رسد. از سوی دیگر نتایج نشان می‌دهند که افزودن نانوپودر آلومینا تأثیر به‌سزایی بر دمای گذار نمونه‌ها نداشته و برای همگی آنها حدود  $108 \text{ K}$  است.

واژه‌های کلیدی: ابررسانای پایه بیسموت، آرایش نانو پودر آلومینا، فاز  $\text{Bi-2223}$ ، چگالی جریان بحرانی، دمای گذار

#### ۱. مقدمه

صورت آرایه‌ای از دانه‌های ابررسانا که به گونه ضعیفی با پیوندگاه جوزفسون با هم جفت شده‌اند توصیف کرد. این ارتباط ضعیف بین دانه‌های مقدار چگالی جریان بحرانی،  $J_c$  این مواد را محدود می‌کند [۲]. محدودیت اصلی سیستم ابررسانای  $\text{Bi-2223}$  اتصالهای ضعیف بین دانه‌ای و میخکوبی شار پایین است [۲]. یکی از راههای افزایش میخکوبی شار ایجاد نقایص بلورین در مرتبه طول همدوسی است [۳]. از دیگر روشهای افزایش میخکوبی شار افزایش ناخالصیهای نانومتری به مواد ابررسانا است. مشخص شده است که افزایش نانوذراتی مانند  $\text{MgO}$ ،  $\text{ZrO}_2$  و  $\text{SiC}$  تأثیر به‌سزایی بر خواص ابررسانایی (دمای گذار، چگالی جریان بحرانی، میخکوبی شار و...) فاز  $\text{Bi-2223}$  دارند [۳]. در این پژوهش تأثیر افزودن درصدهای گوناگون (از صفر تا یک درصد وزنی) نانوپودر فاز آلنای اکسید آلومینیوم بر تشکیل فاز و ویژگیهای ابررسانایی فاز  $\text{Bi-2223}$  مورد بررسی قرار گرفته است.

در میان مواد ابررسانای دمای بالا، سیستم  $\text{Bi-Sr-Ca-Cu-O}$  به دلایل گوناگون به ویژه دمای بحرانی نسبتاً بالا، چگالی جریان بحرانی بالا و توان بالای انتقال انرژی الکتریکی در دمای نیتروژن مایع، مناسبترین نامزد برای کاربردهای عملی است [۱]. در میان فازهای گوناگون این سیستم، فاز  $\text{Bi-2223}$  به دلیل دمای گذار بالا و همچنین توانایی آن برای ساخت قطعات ابررسانایی هم از نظر بنیادی و هم از نظر تکنولوژیکی قابل توجه است [۱]. به دلیل برهمکنش بسیار پیچیده و شکل‌گیری فازهای گوناگون طی تشکیل فاز  $\text{Bi-2223}$ ، تهیه این فاز با خلوص بالا کار بسیار مشکلی است و این فاز همواره با فازهای دیگر و ناخالصیها همراه است. در نتیجه امکان دستیابی به یک محصول کاملاً تک فاز از این سیستم تا کنون فراهم نشده است [۱]. در حالت کلی ابررساناهای بس بلوری را می‌توان به

## ۲. روش تجربی

ابرسانا پس از پایان مرحله تفجوشی، بر روی نمونه‌ها آزمایش اثر مایسنر در دمای ازت مایع صورت گرفت. تمامی نمونه‌ها اثر مایسنر را به خوبی نشان دادند. برای شناسایی فازهای موجود در نمونه‌ها از یک دستگاه پراش سنج پرتو ایکس ساخت شرکت BRUCKER مدل ۸ ADVANCED با لامپ مسی استفاده شد. چگالی جریان بحرانی و دمای گذار نمونه‌ها نیز به روش استاندارد چهار میله‌ای اندازه‌گیری شد. برای اتصال سیمها به نمونه چسب رسانای نقره به کار رفت. همچنین برای مطالعه ریز ساختار نمونه‌ها از آنها تصاویر SEM تهیه شد.

## ۳. نتایج

الگوهای پراش پرتو ایکس نمونه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود نمونه‌ها شامل فازهای Bi-۲۲۲۳ و Bi-۲۲۱۲ به عنوان فازهای اصلی و فازهای Bi-۲۲۰۱ و Ca<sub>2</sub>PbO<sub>4</sub> به عنوان فازهای فرعی‌اند.

برای محاسبه درصد فازهای موجود در نمونه‌ها از روابط زیر بهره‌برداری شد [۵]:

$$\text{Bi-2223(\%)} = \frac{\sum I(\text{Bi2223})}{\sum I(\text{Bi2223}) + \sum I(\text{Bi2212}) + \sum I(\text{Bi2201}) + \sum I(\text{Ca}_2\text{PbO}_4)} \times 100$$

$$\text{Bi-2212(\%)} = \frac{\sum I(\text{Bi2212})}{\sum I(\text{Bi2223}) + \sum I(\text{Bi2212}) + \sum I(\text{Bi2201}) + \sum I(\text{Ca}_2\text{PbO}_4)} \times 100$$

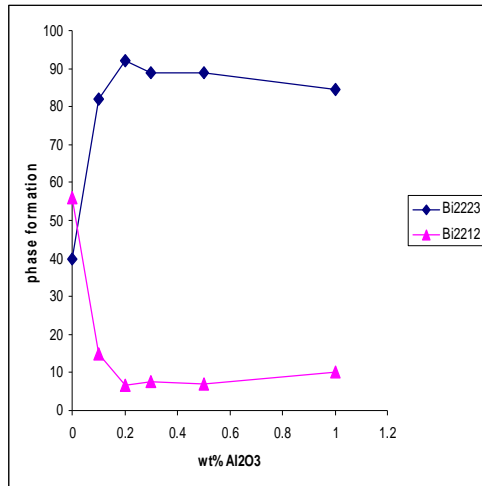
که در این روابط I شدت قله‌های مربوط به فاز مورد نظر است. در شکل ۲ درصد نسبی فازهای موجود در نمونه‌ها بر حسب درصد آرایش نانوپودر آلومینا نشان داده شده است. همان‌گونه که از این شکل دیده می‌شود میزان تشکیل فاز Bi-۲۲۲۳ در نمونه شامل ۰/۱ درصد آلومینا نسبت به نمونه بدون آلومینا به شدت افزایش یافته است. همچنین دیده می‌شود که با افزایش درصد آرایش Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> تا ۰/۲ درصد میزان تشکیل فاز Bi-۲۲۲۳ باز هم افزایش می‌یابد. اما به ازای درصدهای بالاتر آرایش نانو پودر آلومینا میزان شکل‌گیری فاز Bi-۲۲۲۳ به گونه بسیار جزئی کاهش می‌یابد.

همچنین با توجه به شکل ۲ دیده می‌شود که با افزایش درصد

در این پژوهش ابررسانای Bi<sub>1/6</sub>Pb<sub>0/4</sub>Sr<sub>1/9</sub>Ca<sub>2/7</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>10-y</sub> به روش واکنش حالت جامد تهیه شد. در این روش دما، زمان گرمادهی و مراحل گرمادهی از عاملهای بسیار مهم در تشکیل فاز است. همواره تهیه نمونه کاملاً تک فاز Bi-۲۲۲۳، به علت وجود رقابت میان فازهای Bi-۲۲۲۳ و Bi-۲۲۱۲ مشکل است. یکی از روشهای افزایش درصد فاز Bi-۲۲۲۳ در نمونه جانشین کردن سرب به جای بیسموت در ترکیب است که در این پژوهش نیز به کار گرفته شد.

برای تهیه نمونه‌ها پودرهای Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>، CaCO<sub>3</sub>، Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>، SrCO<sub>3</sub> و CuO با خلوص بالا به عنوان مواد به کار رفت. این پودرها با نسبتهای استوکیومتری به مدت یک ساعت در یک هاون چینی با هم آمیخته شد تا پودری کاملاً همگن به دست آید. این پودر در یک بوتله آلومینایی و در یک کوره الکتریکی برشته شد. برشتن در دمای ۸۲۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۲۴ ساعت انجام گرفت. پس از پایان این مدت ترکیب حاصل تا دمای اتاق همراه کوره سرد و سپس به مدت نیم ساعت در هاون چینی بار دیگر آسیاب گردید. عملیات برشتن دو بار دیگر به همان ترتیب انجام شد. پس از پایان مرحله برشتن درصدهای گوناگونی (صفر تا یک درصد وزنی) از فاز آلفای نانو پودر آلومینا (a-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)، تهیه شده به روش سل-ژل [۴] با میانگین اندازه بلورکهای ۲۳ nm، به پودر برشته شده افزوده شد و برای همگن شدن به مدت ۲ ساعت در اتانول و در مخزن عقیق با گلوله‌هایی از همین جنس در یک آسیاب سیاره‌ای آسیاب کاری شدند. نمونه‌های دارای صفر، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۵ و ۱ درصد وزنی آلومینا به ترتیب با A، B0/1Al، B0/2Al، B0/3Al، B0/5Al و B1Al برچسب گذاری شدند. در مرحله بعد تمام نمونه‌ها با فشار ۷ تن بر سانتیمتر مربع در قالبی مستطیل شکل به ابعاد ۱۵×۴ میلیمتر مربع و ارتفاع تقریبی ۳ میلیمتر پرس شدند.

تفجوشی بر روی نمونه‌ها در دمای ۸۱۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۲۰ ساعت انجام گرفت. برای اطمینان از تشکیل فاز

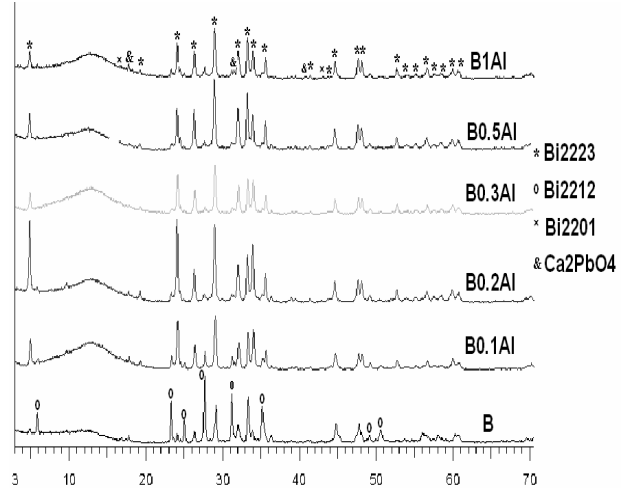


شکل ۲. درصد تشکیل فازهای Bi-۲۲۲۳ و Bi-۲۲۱۲ برحسب درصد افزودنی نانوالومینا.

گذار به حالت ابررسانایی رانشان می‌دهند و مقاومت آنها به صفر می‌رسد. بنابر این می‌توان نتیجه گرفت که افزایش درصدهای کم (از صفر تا ۱ درصد) نانوپودر اکسید آلومینیوم تأثیر به‌سزایی بر دمای گذار فاز Bi-۲۲۲۳ ندارد.

شکل ۴ نمودار تغییرات چگالی جریان بحرانی در دمای ۷۷K بر حسب درصد افزودنی  $\text{Al}_2\text{O}_3$  را نشان می‌دهد. همان گونه که از این شکل پیداست با افزایش درصد آلیش  $\text{Al}_2\text{O}_3$  تا ۵٪ درصد وزنی میزان چگالی جریان بحرانی افزایش می‌یابد. مقدار  $J_c$  از حدود  $36 \text{ A/cm}^2$  در نمونه بی افزودنی به حدود  $107 \text{ A/cm}^2$  در نمونه شامل ۵٪ درصد آلومینا می‌رسد. مقدار چگالی جریان بحرانی در نمونه شامل ۱ درصد آلومینا نسبت به نمونه شامل ۵٪ درصد آلومینا کاهش یافته است.

نانو ذرات آلومینا با قرار گرفتن در بین دانه‌های ابررسانا می‌توانند سبب جفت‌شدگی بهتر بین دانه‌ها شوند و از سوی دیگر این ذرات باعث می‌شوند که نقاط میخکوبی شار افزایش یافته و در نتیجه چگالی جریان بحرانی افزایش یابد. بنابراین می‌توان افزایش چگالی جریان بحرانی را به تشکیل بیشتر فاز Bi-۲۲۲۳ جفت‌شدگی بهتر دانه‌های ابررسانا و افزایش میخکوبی شار نسبت داد. کاهش  $J_c$  نمونه شامل ۱ درصد

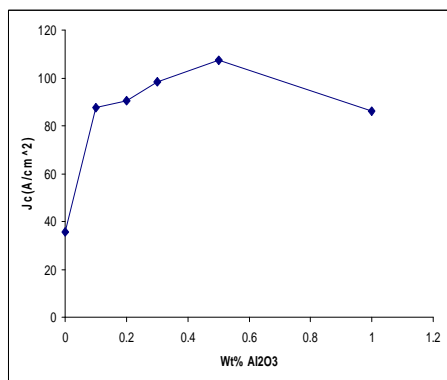


شکل ۱. الگوهای پراش پرتو ایکس نمونه‌های مختلف پس از عملیات کلوخه‌سازی در دمای ۸۱۰ درجه سانتیگراد.

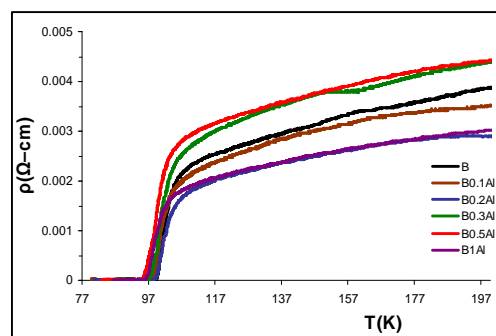
آلیش میزان تشکیل فاز Bi-۲۲۱۲ در ابتدا کاهش می‌یابد تا در نمونه‌ی شامل ۲٪ درصد آلومینا به کمینه مقدار خود می‌رسد و سپس با افزایش درصد آلیش میزان این فاز به گونه‌ی جزئی افزایش می‌یابد.

نتایج کارهای دیگران بر روی ابررساناهای پایه‌ی Bi نشان می‌دهد که افزایش آلومینا به ابررسانای پایه Bi دمای ذوب ابررسانا را کاهش می‌دهد [۳]. بنابراین می‌توان چنین استدلال کرد که با افزایش درصد ناچیزی نانوالومینا، دمای ذوب ابررسانا کاهش یافته که در نتیجه دمای بهینه تفجوشی برای ابررسانا کاهش می‌یابد و این امر سبب تفجوشی بهتر نمونه‌ها شده است. از سوی دیگر افزایش درصدهای بالاتر آلومینا (بیشتر از ۲٪ درصد) سبب می‌شود که فرایند پخش درون ابررسانا کاهش یافته و بدین ترتیب با افزایش آلومینا میزان تشکیل فاز Bi-۲۲۲۳ کاهش یابد.

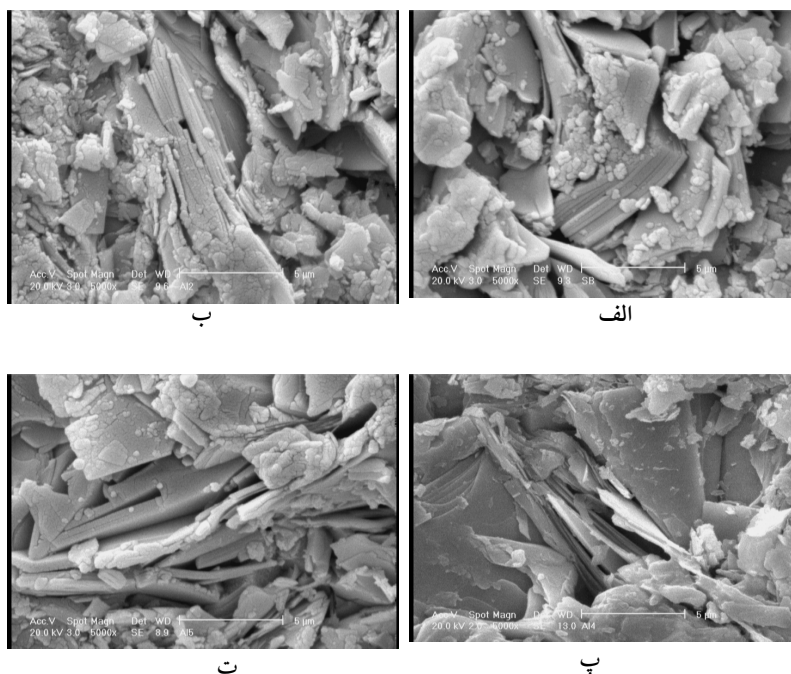
نمودار تغییرات مقاومت ویژه با دما برای نمونه‌های گوناگون در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که از این شکل پیداست تمام نمونه‌ها در دماهای بالا یک رفتار فلزی دارند. یعنی با کاهش دما مقاومت ویژه آنها به گونه خطی کاهش پیدا می‌کند. در دمای پیرامون ۱۰۸ K تمامی نمونه‌ها یک



شکل ۴. تغییرات چگالی جریان بحرانی با افزایش درصد آلایش آلومینا در دمای ۷۷ کلوین.



شکل ۳. منحنی تغییرات مقاومت ویژه برحسب دما برای نمونه‌های گوناگون



شکل ۵. تصاویر SEM نمونه‌های (الف) B، (ب) B0/2Al، (پ) B0/5Al، (ت) B1Al.

می‌شود که با افزایش درصد آلایش آلومینا تخلخلها در نمونه‌ها کاهش می‌یابد و دانه‌های ابررسانا می‌توانند تماس بیشتری با هم داشته باشند.

#### ۴. نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که افزودن ۰/۲ درصد نانوپودر آلومینا به فاز ابررسانای Bi-۲۲۲۳ سبب می‌شود که

آلومینا را می‌توان به آگلومر شدن ذرات Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> که باعث تضعیف اتصالاتی بین دانه‌های ابررسانا می‌شوند نسبت داد. این پدیده پیشتر نیز توسط پژوهشگران دیگر گزارش شده است [۶ و ۳].

عکسهای میکروسکوپ الکترونی (SEM) نمونه‌های شامل صفر، ۰/۲، ۰/۵ و ۱ درصد وزنی آلومینا به ترتیب در شکل ۵ الف تا ت نشان داده شده است. با مقایسه این شکلها دیده

افزایش درصدهای کم (از صفر تا ۱ درصد) نانو پودر آلومینا تأثیر به سزایی بر چگالی جریان بحرانی فاز Bi-۲۲۲۳ ندارد.

تشکیل این فاز به میزان چشمگیری افزایش یابد. مشخص شد که میزان چگالی جریان بحرانی در نمونه شامل ۰/۵ درصد آلومینا به بیشینه مقدار خود می‌رسد. همچنین نتایج نشان داد که

## مراجع

- سیزدهمین گردهمایی فیزیک ماده چگال، مرکز تحصیلات تکمیلی زنجان (۱۳۸۶) ۲۴.
5. H Salamati, P Kameli, *Physica C* **403** (2004) 60-66.
6. E Guilmeau, B Andrzejewski, J G Noudem, *Physica C* **387** (2003) 382-390.

1. I H Gul, F Amin, A Z Abbasi, M Anis-Ur-Rehman, A Maqsood, *Physica C* **449** (2006) 139.
2. P Kameli, H Salamati, I Abdolhosseini, *Jornal of Alloys and Compounds* (2007).
3. M Annabi, A Mchirgui, F Ben Azzouz, M Zouaoui, M Ben Salem, *Physica C* **405** (2004) 25-33.
۴. علی آفتابی، مرتضی مظفری، جمشید عمیقیان، مقاله نامه