

## اثر نانو ذرات نقره به عنوان مراکز میخکوبی شار در ابررسانای $YBa_2Cu_3O_{7-d}$

منصور فرید، محمدرضا بتوندی و مرتضی زرگر شوشتری

گروه فیزیک، دانشگاه شهید چمران، اهواز

### چکیده

هدف از این تحقیق بررسی نقش نانو ذرات نقره به عنوان مراکز میخکوبی شار به منظور افزایش چگالی جریان بحرانی ابررسانای  $YBa_2Cu_3O_{7-d}$  بوده است. به همین منظور نمونه‌های ابررسانا با یک و دو درصد وزنی نقره و با اندازه‌های ۳۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر آلوده شدند. نانو ذرات نقره به روش احیای شیمیایی تهیه و حین پخت نمونه‌ها که به روش حالت جامد ساخته شدند به آنها اضافه شده‌اند. نمونه‌ها توسط آزمایشهای SEM، EDX و XRD مورد مطالعه قرار گرفتند.  $J_c$  نمونه‌ها به روش استاندارد چهار میله اندازه‌گیری شد. نتایج نشان دادند که با افزایش اندازه ذرت تا ۷۰۰ نانومتر  $J_c$  افزایش می‌یابد و سپس با بزرگ شدن اندازه ذرات  $J_c$  کاهش می‌یابد. میزان افزایش  $J_c$  در نمونه‌های با دو درصد وزنی نقره بیشتر بود.

واژه‌های کلیدی: نانو ذرات نقره، مراکز میخکوبی شار، ابررسانای YBCO، جریان بحرانی

### ۱. مقدمه

بتوانند به عنوان مراکز میخکوبی عمل نمایند. اول اینکه حضور آنها ناپستی مانع تشکیل فاز ابررسانایی شود. همچنین امکان جانشین شدن آنها به جای عناصر تشکیل دهنده ابررسانا کم باشد و امکان پخش یکنواخت آنها در ترکیب وجود داشته باشد. آرایش ابررساناها با نانو ذراتی از قبیل  $ZrO_2$ ،  $BaZrO_3$  و  $CeO_2$  [۱ و ۳] با موفقیت صورت گرفته و نتایج خوبی خصوصاً در افزایش  $J_c$  بدنبال داشته است. اگر چه آرایش ابررساناها با نقره به عنوان مواد پرکننده بین دانه‌ای به صورت روزمره انجام می‌شود، در کار حاضر، سعی شده تا اثر نانو ذرات نقره به عنوان مراکز میخکوبی شار مورد مطالعه قرار گیرد. به همین منظور نانو ذرات نقره با یک و دو درصد وزنی و با اندازه‌های مختلف از طریق احیای شیمیایی تهیه و حین ساخت ابررساناها در آنها وارد گردیدند.

نمونه‌ها توسط آزمایشهای XRD، SEM و EDX مورد

در بیشتر کاربردهای ابررساناها، چگالی جریان بالایی مورد نیاز است در حالی که ابررساناهای دمای بالا به علت داشتن میکرو ساختار متخلخل، اغلب دارای چگالی جریان بحرانی پایینی هستند. یکی از روشهای اصلی در افزایش چگالی جریان بحرانی، پر کردن خلل و فرجها با موادی همچون نقره به منظور کاهش ارتباطات ضعیف بوده است. روش دوم وارد کردن ناخالصیهای غیر ابررسانا به درون دانه‌های ابررسانایی است که نقش مراکز میخکوبی شار را به عهده خواهند داشت.

در سالهای اخیر با رشد نانو تکنولوژی، آرایش ابررساناها با مواد در اندازه‌های نانومتری مثل انواع نانو ذرات [۱ و ۳] و یا نانولوله‌های کربنی [۴] به طور وسیعی انجام شده و حوزه جدیدی را در تحقیقات ابررسانایی باز کرده است.

نانو ذرات استفاده شده باید شرایط خاصی داشته باشند تا

می‌شدند و سپس با آهنگ ۱۵۰ درجه در ساعت تا دمای اتاق سرد می‌شدند. به این ترتیب دو سری نمونه تهیه شدند. در سری اول نمونه‌ها با ۱٪ وزنی از نانو ذرات نقره آلائیده شدند و شامل ۶ نمونه بودند که اندازه متوسط نانوذرات در آنها به ترتیب ۳۰، ۲۰۰، ۷۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ نانومتر بود. نمونه‌های سری دوم همانند سری اول تهیه شدند با این تفاوت که نانوذرات به میزان ۲٪ وزنی در نمونه‌ها حضور داشتند.

### ۳. نتایج

پس از ساخت نمونه‌های ابررسانا، آزمایش اثر مایسنر در مورد آنها انجام شد و تمامی نمونه‌ها این اثر را نشان دادند. همچنین مطالعات EDX اثر نقره را در نمونه‌ها نشان می‌داد. در شکل ۳ طیف EDX یک نمونه ارا نه شده است. وجود پیکهای نقره بیانگر حضور نقره در ترکیب می‌باشد. همچنین شکل ۴ طیف XRD نمونه YBCO خالص را نشان می‌دهد.

پس از آرایش نمونه‌ها، ملاحظه شد که پیک واقع در  $2\theta = 38/27$  درجه رشد می‌کند. قابل ذکر است که پیک اصلی نقره نیز دقیقاً در همین زاویه واقع شده است. شکل ۵ قله  $38/27$  درجه را برای نمونه خالص و نمونه‌های با ۱٪ و ۲٪ وزنی نقره را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که با افزایش میزان نقره، شدت این پیک نیز افزایش می‌یابد. همچنین شکل (۶ بالا) منحنی  $V$  بر حسب  $J_e$  را برای نمونه‌ها مختلف با ۱٪ وزنی نقره و شکل (۶ پایین) با ۲٪ وزنی نقره را نشان می‌دهند.  $J_e$  نمونه‌ها، از طریق برونیابی قسمت خطی این منحنیها محاسبه شده‌اند. شکل ۷،  $J_e$  نمونه‌ها را بر حسب اندازه ذرات نقره نشان می‌دهد.

ملاحظه می‌گردد که هم برای نمونه‌های با ۱٪ وزنی نقره و هم با ۲٪ وزنی، با افزایش اندازه ذرات نقره،  $J_e$  نیز افزایش یافته و به یک بیشینه در  $700 \text{ nm}$  رسیده است. با افزایش بیشتر اندازه ذرات نقره،  $J_e$  نیز کاهش یافته است. همچنین قابل ملاحظه است که  $J_e$  نمونه‌های با ۱٪ وزنی نقره و تا اندازه  $200 \text{ nm}$  از  $J_e$  نمونه‌های با ۲٪ وزنی نقره بیشتر است. با افزایش اندازه ذرات نقره تا  $700 \text{ nm}$ ، رشد  $J_e$  در نمونه‌های با ۲٪

مطالعه قرار گرفتند. چگالی جریان بحرانی نمونه‌ها به روش استاندارد چهار میله و در دمای ازت مایع اندازه‌گیری شدند.

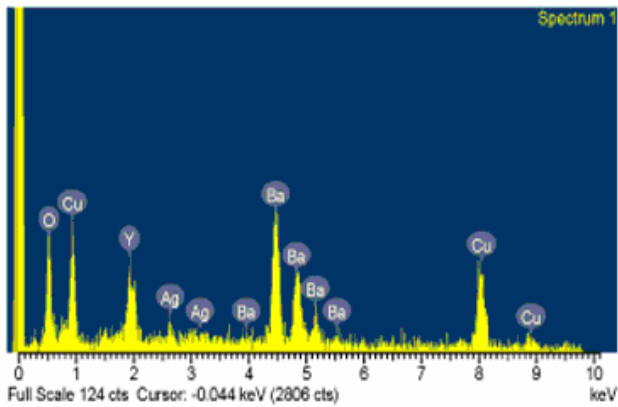
### ۲. آزمایش

فرآیندهای متنوعی برای تولید نانوذرات نقره مورد استفاده واقع شده است. در این کار نانوذرات نقره به روش احیای شیمیایی و از طریق حل  $\text{AgNO}_3$  در اتانول تهیه شدند. در این روش اتانول هم به عنوان حلال و هم به عنوان احیاگر عمل می‌کند. پس از حل  $\text{AgNO}_3$  در الکل، ذرات نقره به صورت  $\text{Ag}^0$  احیا می‌شوند. آزمایشهای SEM بیانگر آن بود که پس از حل کامل نیترات نقره در الکل، اندازه متوسط ذرات نقره حدود ۳۰ نانومتر می‌باشد. شکل ۱ تصویر SEM نانوذرات نقره تهیه شده و شکل ۲ در صد فراوانی آنها را بر حسب اندازه ذرات نشان می‌دهند.

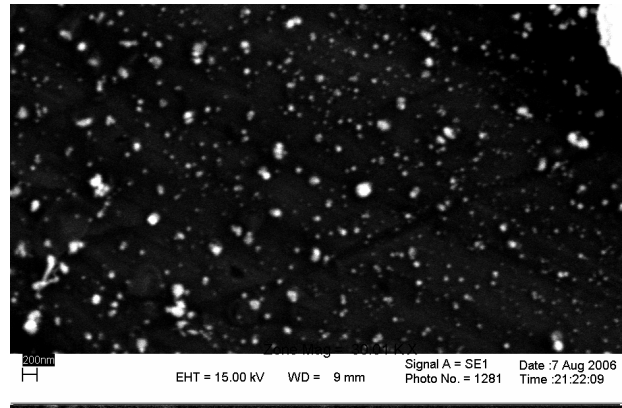
با گذشت زمان و بدون وارد کردن پایدارساز، ذرات نقره شروع به مجتمع شدن و بزرگ شدن می‌کنند. نتایج SEM نشان دادند که ذرات رشدی در حدود ۱۲۵ نانومتر در ساعت دارند. بدین صورت می‌توانستیم با رها کردن محلول به مدت زمانهای مختلف، اندازه ذرات نقره را به دلخواه تعیین کنیم. نانوذرات به صورت محلول کلئیدی در الکل نگهداری می‌شدند تا مواد ابررسانا به آنها اضافه گردند.

برای ساخت ابررساناهای حاوی نانوذرات، همزمان با تهیه نانوذرات، نسبتهای استوکیومتری مواد اولیه یعنی  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ،  $\text{BaO}_2$  و  $\text{CuO}$  را با دقت یک دهم میلی‌گرم وزن کرده و پس از مخلوط کردن، به محلول کلئیدی حاوی نانوذرات نقره اضافه می‌شدند. محلول حاصل روی یک همزن مغناطیسی قرار داده می‌شد و در حالی که به شدت بهم زده می‌شدند حرارت دهی می‌شدند و طی زمان کوتاهی الکل تبخیر می‌گردید و پودر خاکستری رنگی بدست می‌آمد. این پودرها پس از آسیاب به صورت قرص یا میله پرس می‌شدند و سپس تحت عملیات حرارتی قرار می‌گرفتند.

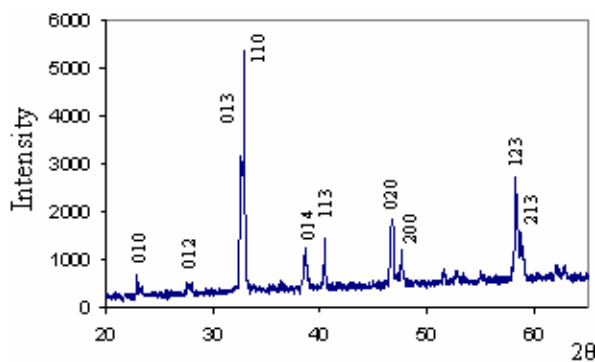
در عملیات حرارتی قرصها با آهنگ ۳۰۰ درجه در ساعت تا  $940^\circ \text{C}$  گرم می‌شدند و در این دما ۱۰ ساعت نگهداری



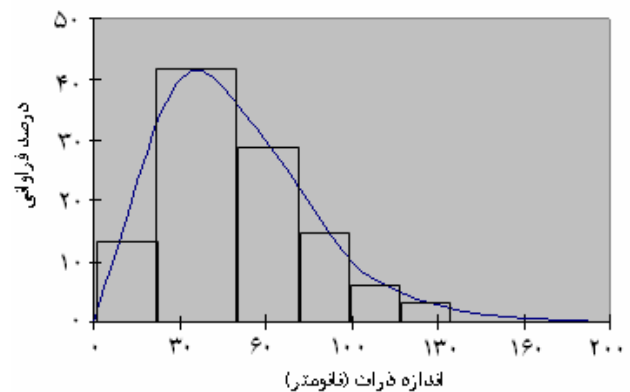
شکل ۳. طیف EDX نمونه ابرسانای YBCO با حضور Ag.



شکل ۱. تصویر SEM نانوذرات نقره تهیه شده - مقیاس ۲۰۰ نانومتر.

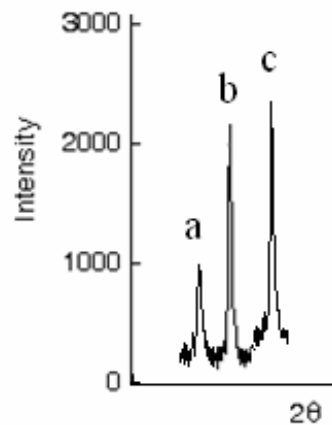


شکل ۴. الگوی پراش پودری نمونه YBCO بدون نقره.

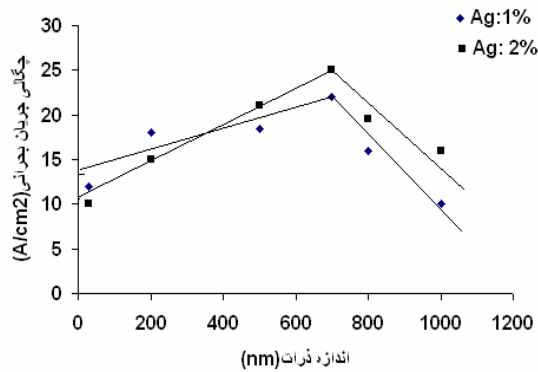


اندازه ذرات (نانومتر)

شکل ۲. توزیع اندازه ذرات شکل ۱.



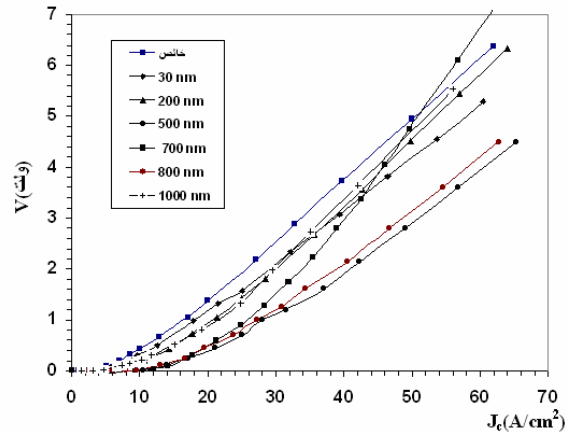
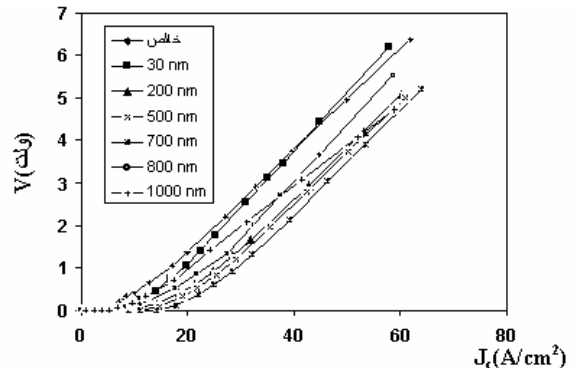
شکل ۵. شدت نسبی پیک واقع در زاویه  $2\theta = 38/27$ . (a) نمونه خالص، (b) نمونه با ۱٪ وزنی نقره و اندازه ذرات ۷۰۰ nm و (c) نمونه با ۲٪ وزنی نقره و اندازه ذرات ۷۰۰ nm که در مقیاس یکسان ترسیم شده‌اند.



شکل ۷. نمودار چگالی جریان بحرانی برحسب اندازه ذرات برای نمونه‌های یک و دو درصد نقره.

#### ۴. خلاصه

در این تحقیق ضمن تهیه نانو ذرات نقره روشی برای کنترل اندازه ذرات ارائه شد. همچنین ذرات نقره با درصدهای وزنی متفاوت و اندازه ذرات متفاوت در ابررسانای  $YBa_2Cu_3O_{7-d}$  آلاینده شدند. نتایج آزمایشها نشان دادند که با افزایش اندازه نانو ذرات تا  $700\text{ nm}$ ،  $J_c$  افزایش می‌یابد و با افزایش بیشتر ذرات، کاهش در  $J_c$  مشاهده می‌شود. همچنین افزایش تراکم نانو ذرات افزایش بیشتر جریان بحرانی را نشان می‌دهد. بیشینه  $J_c$  در نمونه‌های با دو درصد وزنی و اندازه ذرات  $700\text{ nm}$  به میزان  $25\text{ A/cm}^2$  مشاهده شد.



شکل ۶. منحنیهای ولتاژ بر حسب  $J_c$  برای نمونه‌های با ۱٪ وزنی نقره (بالا) و ۲٪ وزنی نقره (پایین).

وزنی نقره بیشتر است. ماکزیمم  $J_c$  در نمونه‌های با ۲٪ وزنی و اندازه ذرات  $700\text{ nm}$  به میزان  $25\text{ A/cm}^2$  رسیده است. اعتقاد ما بر این است که بسته به نوع نانوذره می‌توان یک حالت بهینه شامل اندازه و تراکم نانو ذرات یافت که در آن حالت  $J_c$  به یک بیشینه برسد. کار بر روی درصدهای وزنی دیگر نقره ادامه دارد.

#### مراجع

1. N M Strickland, N J Long, E F Talantsev, P Hoefakker, J Xia, M W Rupich, T Kodenkandath, W Zhang b, X Li, Y Huang, *Physica C*, **468** (2008) 183–189.
2. Z Y Jia, H Tang, Z Q Yang, Y T Xing, Y Z Wang, G
3. W Qiao, *Physica C* **337**(2000)130–132.
3. X M Cui, G Q Liu, J Wang, Z C Huang, Y T Zhao, B W Tao, Y R Li, *Physica C* **466** (2007) 1–4.
4. S Soltanian, J Horvat, X L Wang, P Munroe, S X Dou, *Physica C* **390** (2003) 185–190.