

## تأثیر آرایش نقره بر خواص ساختاری، الکتریکی و مغناطیسی سیم ابررسانای Bi-۲۲۲۳/Ag

داود سهرابی، هادی سلامتی و پرویز کاملی

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی اصفهان  
پست الکترونیکی: [Kameli@cc.iut.ac.ir](mailto:Kameli@cc.iut.ac.ir)

### چکیده

در این تحقیق ما به ساخت سیم ابررسانا بر پایه ابررسانای Bi-۲۲۲۳ به روش PIT می‌پردازیم. نمونه‌ها با روش حالت جامد ساخته شدند. پس از مرحله تکلیس، نمونه‌های با درصد‌های وزنی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵٪ نقره، ساخته شده و در دمای ۸۳۰ درجه سانتی‌گراد کلوخه‌سازی شدند. پس از انجام آزمایش‌های لازم بر روی نمونه‌های حجمی و پودر کردن آنها، پودرها را داخل تیوب نقره ریخته و سیم ابررسانای بر پایه Bi-۲۲۲۳ ساختیم. نتایج حاصل نشان می‌دهند که با افزایش درصد نقره پودرهای اولیه در سیم‌های ابررسانا، چگالی جریان بحرانی بیشتر می‌شود و دمای گذار سیم‌ها نیز مقداری بهبود پیدا می‌کند.

واژه‌های کلیدی: نقص دوقلوبی، انتقال فاز

### ۱. مقدمه

سیم‌های ابررسانا اغلب از ترکیبات بیسموت استفاده می‌شود. چگالی جریان بحرانی، شدیداً به درجه سمت گیری محور c در این بلورها، بستگی دارد. اعمال فشار غیر محوری باعث افزایش صف‌آرایی دانه‌ها و چگالی حجمی و در نتیجه افزایش چگالی جریان بحرانی می‌شود [۱]. برای افزایش انعطاف‌پذیری بیشتر سیم‌های ابررسانا از روش‌هایی مثل پوشش فلزی روبان‌های پیچیده در ژل ناشی از ذوب مواد اولیه، استفاده می‌کنند. در همه این روش‌ها شکل‌دهی پس از انجام مرحله مخلوط پودرهای اولیه و تکلیس انجام می‌شود. در مورد استفاده از پوشش فلزی برای این سیم‌ها، پوشش نقره مهم‌ترین کاربردها را به خود اختصاص داده است. یکی از موفق‌ترین روش‌های ساخت سیم‌های ابررسانای Bi-۲۲۲۳، استفاده از پوشش نقره است. به علت عدم واکنش‌پذیری نقره با ترکیب Bi و اکسیژن، نقره بستر مناسبی برای ساخت این سیم‌ها است. از طرفی پوشش نقره

یکی از کاربردهای مهم ابررسانایی، استفاده از آنها به صورت سیم یا نوار است. در این مورد باید از روش‌هایی که چگالی جریان بحرانی را افزایش می‌دهند، مثل روش‌های ذوب و پودر داخل تیوب استفاده شود. روش‌های ذوب ارتباط ضعیف مرزانه‌ها را تقریباً از بین می‌برد، اما قادر به ایجاد مراکز میخکوبی مؤثر برای شار نیست و از طرفی با این روش‌ها نمی‌توان سیم‌هایی با طول زیاد تولید کرد. برای ایجاد مراکز میخکوبی، حضور نقص‌هایی در حدود طول همدوسی ابررسانا ( $30 \text{ \AA}$ ) مؤثر است. در میان ترکیبات ابررسانای دمای بالا، ترکیبات نمونه‌های اکسیدی YBCO و TBCCO به خاطر شکنندگی زیاد و رفتار پیوند ضعیف مرزانه‌ها که ناشی از سمت‌گیری تصادفی دانه‌هاست، نسبت به ترکیبات بر پایه بیسموت چگالی جریان بحرانی کمی دارند. بنابراین در ساخت

و میدان  $400 \text{ A/m}$  نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود دمای گذار نمونه‌ها در حدود  $107^\circ\text{C}$  درجه کلون است که با نتایج دیگران مطابقت دارد. علاوه بر آن ملاحظه می‌شود که با افزایش درصد نقره تا  $15\%$  خواص بین‌دانه‌ای بهبود پیدا می‌کند اما در آلیشهای بالاتر تضعیف می‌شود.

مقادیر کم نقره (کمتر از  $15\%$  وزنی) به تشکیل فاز  $\text{Bi-}2223$  در حین کلوخه‌سازی کمک می‌کند و همچنین باعث بهبود اتصالات بین‌دانه‌ای می‌شود. نقره با قرار گرفتن در بین دانه‌های صفحه‌ای شکل، مانع چرخیدن دانه‌ها می‌شود و باعث می‌شود که دانه‌ها آرایش منظمتری پیدا کنند، اما از آنجا که نقره یک فاز ابررسانا نیست، اضافه کردن بیشتر آن، اتصالات بین‌دانه‌ای را در حالت ابررسانایی، تضعیف می‌کند.

برای مشاهده ریز ساختار سطح نمونه‌ها، از آنها عکسهای SEM گرفته می‌شود. از مغزه هر سیم  $2$  عکس SEM گرفته شد. یکی از عکسها از مرکز مغزه و دیگری از کنار مغزه، جایی که در مجاورت پوشش نقره است، گرفته شد. در شکل ۲ این تصاویر را برای نمونه  $\text{Wag} 25$  می‌بینیم.

همان‌طور که از تصاویر SEM دیده می‌شود، در مرز مغزه و پوشش نقره، دانه‌ها بزرگتر و یکنواختتر هستند. سمت‌گیری بهتر دانه‌ها در مرز پوشش نقره و مغزه چند دلیل دارد. تشکیل فاز  $\text{Bi-}2223$  در فرایند کلوخه‌سازی، ترجیحاً بر پایه نقره صورت می‌گیرد، زیرا نقره سرعت تشکیل فاز را بیشتر می‌کند [۲]. همچنین به علت اصطکاک که بین پوشش نقره و مغزه وجود دارد، هر گونه تغییر در پوشش، به مغزه منتقل می‌شود و دانه‌ها در جهت پوشش، تغییر جهت می‌دهند و بر روی دانه‌های مجاور هم اثر می‌گذارند و آنها نیز می‌چرخند. دلیل دیگر این است که تنش ناشی از عملیات تغییر شکل، باعث خرد شدن دانه‌ها می‌شود و این خرد شدگی در مرز مغزه و پوشش، به علت تنش بالاتر، بیشتر است و در نتیجه در حین کلوخه‌سازی، پودرها با هم تماس بهتری خواهند داشت و منجر به تشکیل دانه‌های بزرگتر می‌شوند. از روی تصاویر SEM، دیده می‌شود که همسویی و اندازه دانه‌ها نسبت به نمونه‌های حجمی کمتر شده است. علت کاهش همسویی را می‌توان به

باعث انعطاف‌پذیری بیشتر سیمها می‌شود. در این روش ابتدا مخلوطی از پودرهای نمکهای معدنی تکلیس شده داخل لوله نقره ریخته شده، سپس با غلتک به صورت سیم یا نوار درمی‌آید و در نهایت عملیات گرمادهی تفجوشی روی آن انجام می‌شود.

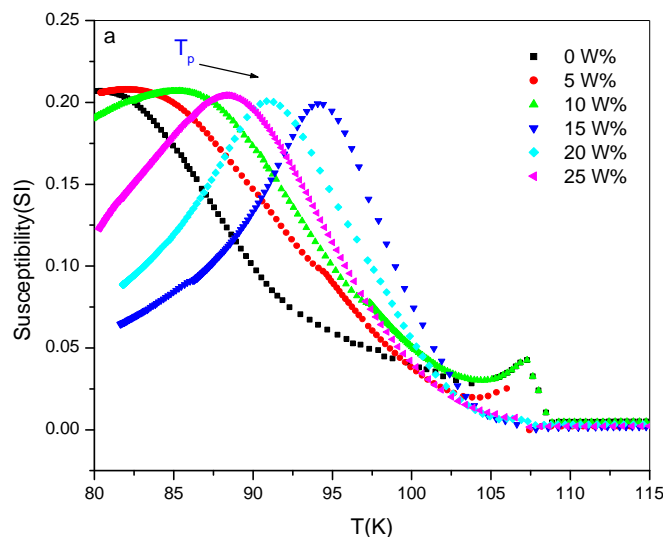
## ۲. شرح آزمایش

ابتدا نمونه‌های حجمی ابررسانای بر پایه  $\text{Bi-}2223$  را با روش واکنش حالت جامد تهیه کردیم. پس از مرحله تکلیس، نمونه‌های با درصدهای وزنی  $0, 5, 10, 15, 20$  و  $25\%$  نقره، ساخته شده و در دمای  $845^\circ\text{C}$  درجه سانتی‌گراد کلوخه‌سازی شدند. پس از انجام آزمایش‌های لازم بر روی نمونه‌های حجمی و اطمینان از تشکیل فاز ابررسانای  $\text{Bi-}2223$ ، با پودر کردن آنها، پودرها را داخل تیوبهای نقره ریختیم و سیمها را به روش PIT ساختیم.

نمونه‌ها، داخل لوله نقره‌ای به طول  $10 \text{ cm}$  و قطر داخلی  $3 \text{ mm}$  و قطر خارجی  $7 \text{ mm}$  که قسمت انتهایی آنها مسدود شده بود، ریخته شدند. به منظور فشرده شدن پودر داخل لوله‌ها، پس از ریختن مقدار کمی پودر، با کمک میله‌ای بر پودر فشار وارد می‌کنیم تا چگالترا شود و به این ترتیب لوله‌های نقره پر شده و در نهایت با بستن طرف دیگرشان، تحت عمل نورد قرار گرفتند. پس از نورد سیمها آنها را در دمای  $830^\circ\text{C}$  درجه سانتی‌گراد کلوخه‌سازی کردیم و سپس مجدداً سیمها را نورد کردیم. بعد از آن با یک عملیات کلوخه‌سازی دیگر، عملیات ساخت سیمها را به پایان رساندیم. سیمهای حاصل را با WB (بدون نقره)،  $\text{Wag} 5$  ( $5\%$  نقره)،  $\text{Wag} 10$  ( $10\%$  نقره)،  $\text{Wag} 15$  ( $15\%$  نقره)،  $\text{Wag} 20$  ( $20\%$  نقره) و  $\text{Wag} 25$  ( $25\%$  نقره) برچسب می‌زنیم.

## ۳. نتایج و بحث

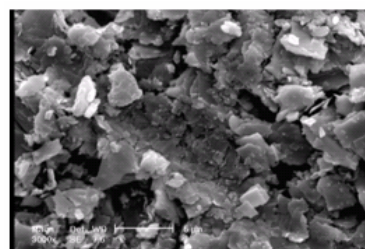
برای اطمینان از خواص ابررسانایی پودرهای اولیه، اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی AC نمونه‌های حجمی انجام شد. شکل ۱ نتایج حاصل از اندازه‌گیری قسمت موهومی پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های حجمی را در فرکانس  $333 \text{ Hz}$



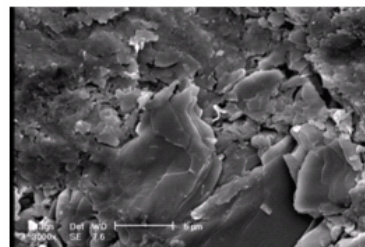
شکل ۱. تغییرات بخش موهومی پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های حجمی در فرکانس ۳۳۳ Hz و میدان ۴۰۰ A/m.

همان طور که از شکل ۳ دیده می‌شود، مولفه موهومی پذیرفتاری، فقط دارای بیشینه مربوط به درون دانه‌ها است و بیشینه مربوط به بین‌دانه‌ها دیده نمی‌شود، زیرا ممکن است به علت تنشی که در حین نورد بر سیم اعمال می‌شود، چگالی مغزه کم شود و مغزه از حالت حجمی متراکم اولیه خارج شود. در ضمن به علت تنش ناشی از نورد، همسویی دانه‌ها نیز کم می‌شود که این امر منجر به کاهش دمای گذار سیمها نسبت به نمونه‌های حجمی می‌شود. رفتار نمونه ۲۵ WAg با رفتار سایر نمونه‌ها، متفاوت است. این نمونه، دارای دمای گذار بالاتری نسبت به سایر نمونه‌ها است.

از دیگر آزمایشات صورت گرفته روی سیمها، اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی آنها بود. به منظور اندازه‌گیری مقاومت سیمها از روش چهار میله‌ای استفاده شد. در این روش با اعمال جریان ثابت به دو سر نمونه، افت ولتاژ ناشی از عبور جریان، توسط اتصالات درونی اندازه‌گیری می‌شود. برای اندازه‌گیری مقاومت سیمها، اتصالات دقیقاً روی مغزه قرار گرفتند و پوشش نقره، با لاک کاملاً عایق‌بندی شد. شکل ۴ نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقاومت سیمها با جریان ۳۰ mA را نشان می‌دهد.



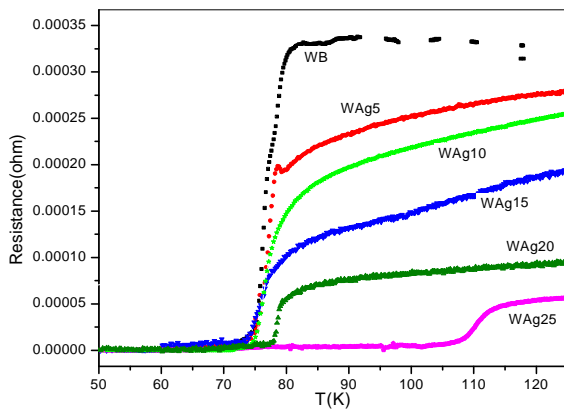
الف



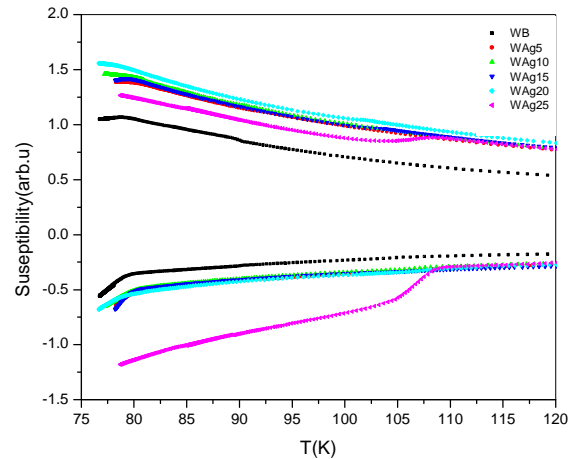
ب

شکل ۲. تصویر SEM (الف) مرکز مغزه (ب) مرز مغزه با پوشش نقره (نمونه ۲۵ WAg).

تشهای وارد شده بر سیمها، در حین نورد، نسبت داد. برای بررسی بیشتر خصوصیات ساختاری سیمها، پذیرفتاری مغناطیسی AC سیمها را اندازه‌گیری کردیم. در شکل ۳ تغییرات مولفه‌های حقیقی و موهومی پذیرفتاری مغناطیسی AC سیمها بر حسب دما را در فرکانس ۳۳۳ Hz و میدان ۵۰ A/m می‌بینیم.



شکل ۴. تغییرات دمایی مقاومت الکتریکی سیمها.



شکل ۳. تغییرات دمایی پذیرفتاری سیمها در میدان  $50 \text{ A/m}$  و فرکانس  $333 \text{ Hz}$ .

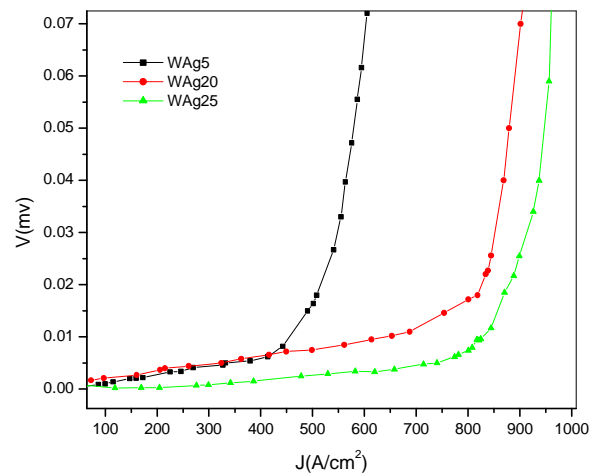
نقره، دمای کلوخه‌سازی یا دمای ذوب نمونه‌ها کمتر می‌شود [۳]. دمای کلوخه‌سازی انتخابی ما برای سیمها حدود دمای کلوخه‌سازی نمونه WAg25 بود. به نظر می‌رسد دمای کلوخه‌سازی انتخابی برای سیمها، برای سیمهای با درصدهای وزنی نقره کمتر، مقداری کم است و این دمای کلوخه‌سازی قادر نیست تنشهای وارد شده بر سیمها را از روی آنها بردارد، اما برای سیمهای WAg20 و WAg25 تا حدی این تنشها برداشته می‌شود و می‌بینیم که دمای گذار این دو نمونه از بقیه نمونه‌ها نسبتاً بیشتر است.

چگالی جریان بحرانی سیمها را نیز از روش چهار میل‌های اندازه‌گیری کردیم. در شکل ۵ منحنی تغییرات  $V$  بر حسب  $J$  برای سیمهای WAg25، WAg20 و WAg25 آورده شده است. با افزایش میزان نقره در سیمها چگالی جریان بحرانی افزایش می‌یابد.

#### ۴. نتیجه‌گیری

الف) با افزایش درصد نقره در نمونه‌های حجمی تا ۱۵٪ خواص بین‌دانه‌ای و چگالی جریان بحرانی افزایش می‌یابد.

ب) از مرکز مغزه و مرز مغزه با پوشش نقره تصاویر SEM گرفته شد. از روی این تصاویر دیده می‌شود که در مرز مغزه و



شکل ۵. چگالی جریان بحرانی سیمهای WAg5، WAg20 و WAg25.

مشاهده می‌شود که مقاومت در دماهای بالای دمای گذار  $T_c$  رفتار کاملاً فلزی دارد و گذار به حالت ابرسانایی با مقاومت صفر در همه نمونه‌ها مشاهده می‌شود. از آنجا که نقره در مرزدانه‌ها و خلل و فرج‌ها قرار می‌گیرد و در حالت بهنجار، دارای مقاومت کمتری نسبت به سرامیک BSCCO است، مقاومت حالت بهنجار سیمها، با افزایش میزان نقره کاهش می‌یابد. با افزایش درصد نقره در سیمها تا ۱۵٪ وزنی، دمای گذار تقریباً تغییری نمی‌کند و با بیشتر شدن درصد نقره، دمای گذار مقداری افزایش می‌یابد. در حالت کلی با افزایش درصد

پوشش نقره، دانه‌ها بزرگتر و یکنواختتر هستند. (ج) اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی AC سیمها نشان می‌دهد که نمونه WAg۲۵، دارای دمای گذار نسبتاً بالایی است. (د) اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی سیمها نشان می‌دهد که با افزایش درصد نقره، مقاومت حالت بهنجار کاهش می‌یابد و دمای گذار نمونه‌ها با افزایش درصد نقره، تا حدودی بهبود پیدا می‌کند. (ه) اندازه‌گیری چگالی جریان بحرانی سیمها نشان می‌دهد که با افزایش درصد نقره، چگالی جریان بحرانی زیاد می‌شود.

## مراجع

1. R Hayashi, K Shibotai, Y Fukumoto, R Ogawa, Y Kawate, "Effect of uneasily stress on to the electromagnetic properties of Bi-(pb)-Sr-Ca-Cu-O superconductor", *superconductivity proceeding of 2nd international symposium on superconductivity*, Japan, Springeres, Verlay Tokyo, 363- 366 (1986).
2. A Sobha, R P Aloysius, P Guruswamy, K G K Warriar, U Syamaprasad, *Physica C* **307** (1998) 277–283.
3. T Matsushitat, A Suzukit, T Kishidat, M OkudaS and H NaitoS, *Supercand Sci.Technol.***7** (1994) 222-226.