

## تابش نوترون بر ابرسانای پایه بیسموت (۲۲۲۳)Bi آلائیده با درصدهای وزنی مختلف نقره

حامد نجف‌پور<sup>۱</sup>، حسن صدقی<sup>۱</sup> و رسول خدابخش<sup>۲</sup>

۱. آزمایشگاه تحقیقاتی ابرسانایی و خواص مغناطیسی مواد (Sc.R.C)، گروه فیزیک دانشگاه ارومیه، کیلومتر ۱۱ جاده سرو، ارومیه  
۲. آزمایشگاه تحقیقاتی هسته‌ای پیشرفته گروه فیزیک، دانشگاه ارومیه، ارومیه

### چکیده

نمونه‌های ابرسانای پایه بیسموت آلائیده شده با نقره، تحت تابش نوترون قرار گرفتند، نشان داده شد که از شدت الگوی پراش اشعه ایکس نمونه‌ها کاسته شده و دمای گذار نمونه‌ها ۷ تا ۱۰ درجه کلین کم می‌شود. همچنین تابش نوترون‌ها باعث کاهش حدود ۵۰٪ از مقاومت بهنجار نمونه‌ها گردید، بنابراین بهره‌گیری از تابش نوترون از روش‌های بهبود برخی از خواص ابرساناها می‌تواند باشد.

واژه‌های کلیدی: تابش نوترون، ابرسانای پایه بیسموت، آلیش نقره، دمای گذار، مقاومت بهنجار

### ۱. مقدمه

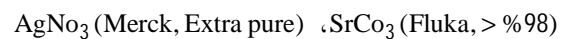
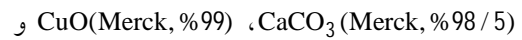
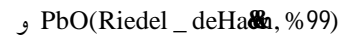
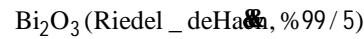
مثال؛ ابرسانایی که توسط سیستم سرمایه‌ی نیتروژن سرد می‌شود، تحت اثر تابش، دچار افت در دمای گذار گشته و دمای گذار آن به زیر دمای سرمایه نیتروژن مایع سیستم برود، در این حین ماده از فاز ابرسانا به بهنجار انتقال می‌یابد. از طرفی چون چگالی جریانی که از آن عبور می‌کند مخصوص حالت ابرسانایی است، در حالت فاز بهنجار به علت ظهور مقاومت اهمی باعث ذوب سیم‌های ابرسانا می‌شود، این اتفاق باعث تخریب دستگاهها و در مواردی، فاجعه آفرین می‌شود. نتایج این پژوهش می‌تواند به عنوان یک کار تحقیقاتی اولیه و راهنما در ساخت و محاسبات ابرساناهایی که تحت تابشهای هسته‌ای قرار دارند مورد استفاده قرار گیرد، به طوری که قرار گرفتن ابرسانا تحت تابشهای هسته‌ای مانند تابش نوترونی ممکن است مشخصه‌های بلوری، الکتریکی، مغناطیسی و حتی مکانیکی آنرا تحت تأثیر قرار می‌دهد [۳].

امروزه ابرساناهای با پایه بیسموت به علت دارا بودن دمای گذار و چگالی جریان بالا در پروژه‌های تحقیقاتی مورد توجه قرار گرفته‌اند. از طرفی موضوع اکثر کارهای تحقیقاتی تجربی بر مبنای بهبود کیفیت ابرساناها استوار است. روشهای متنوعی برای بهبود بخشیدن به این مشخصه‌ها شناخته شده و مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۱ و ۲]. در این پژوهش به منظور کاهش مقدار مقاومت بهنجار و بهبود نسبی خواص مکانیکی و همچنین افزایش مراکز میخکوب‌شدگی، ابرسانای پایه بیسموت فاز ۲۲۲۳ به طور همزمان در معرض بمباران نوترونی و همچنین آلائیدهای، توسط نقره قرار گرفته است [۳]. در سیم‌پیچهایی از جنس ابرسانا که همواره در معرض تابش نوترون هستند باید این فاکتور را در نظر داشت که ممکن است تابش، برخی از فاکتورهای مربوط به ابرسانا را مورد تهدید قرار دهد، مثلاً باعث کاهش دمای گذار شود [۴]. به عنوان

## ۲. روش تجربی

### ۲.۱. روش ساخت ابرسانا

برای تولید کلوخه‌ای ابرسانای پایه بیسموت با فرمول ساختاری  $(\text{Bi}_{2-x}\text{Pb}_x)\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ ، از روش اندرکنش حالت جامد و همچنین عمل آلیش نقره، از مواد اولیه



استفاده شد. در عین حال در آلیش اولیه سرب به میزان ۰/۳۴ برای رسیدن هر چه بیشتر به فاز ۲۲۲۳ استفاده گردید. از طرفی به علت بالا بودن شعاع اتمی سرب نسبت به بیسموت و جایگزینی معنی باری سرب با بیسموت، می‌توان انتظار افزایش فشار داخلی بر ساختار بلور ابرسانا را داشت [۵ و ۶]. ساخت سه مرحله‌ای نمونه‌ها با عمل آسیاب کردن میانی در مدت ۹۶ ساعت و فشار تک محوری ۳۵۰۰ bar صورت پذیرفت. نمونه‌های تولید شده با استفاده از این روش به‌طور محسوس دارای مقدار مقاومت فاز بهنجار بسیار پایینی هستند. در طی مراحل ساخت، نمونه‌ها با درصد‌های وزنی ۵٪، ۱۰٪ و ۲۰٪ با نقره آلییده شدند [۷].

### ۲.۲. تابش‌دهی نمونه‌های ابرسانا

برای تابش‌دهی نمونه‌های ابرسانایی از نوترون‌هایی با متوسط انرژی ۴/۵ Mev استفاده گردید. برای تولید این نوترون‌ها از سازکار  $[\alpha]$  و  $[n]$  و از چشمه کوپل شده Am-Be با نیمه عمر ۴۳۲ سال با اکتیویته ۵ کوری بهره جستیم. نمونه‌های ابرسانایی به مدت یک ماه در خلاء تحت بمباران نوترونی قرار گرفتند [۳ و ۸]. نتایج حاصل از وضعیت ساختار بلور در مرحله آلیش و بمباران نوترونی، توسط تطابق الگوی پراش اشعه ایکس و همچنین بررسی خواص الکتریکی و منحنی نمودارهای R-T، توسط سامانه کنترل دمای OXFORD-ITC۵۰۲ با سیستم یخچال هلیوم سیکل بسته به صورت اتصال چهار سیمی انجام پذیرفت.

## ۳. بحث و نتایج

مزیت عمل آلیش نقره با استفاده از نیترات نقره به جای پودر نقره، این است که در مرحله ساخت نمونه‌ها نیترات نقره در دمای ۲۱۲ درجه سانتی‌گراد ذوب شده و نفوذ بیشتری در فضای بین دانه‌ای دارد [۷، ۹ و ۱۰]. این عمل باعث کاهش مقاومت نرمال نمونه‌ها می‌گردد که در نمودارهای p-T به وضوح مشخص است [۱۱]. با توجه به تخریب تک فازی در نمونه‌های با درصد آلیش ۲۰٪ در نمودار p-T (شکل ۱و۲) و XRD (شکل ۳)، ادامه افزایش آلیش به علت دوفازی شدن نمونه‌ها صورت نگرفت، به‌طوری که با توجه به تحلیل طیف XRD نمونه‌ها و محاسبه میزان نسبی دو فاز ۲۲۱۲ و ۲۲۲۳ با توجه به رابطه نسبت کسرها، درصد فراوانی نسبی فاز ۲۲۲۳ به ۲۲۱۲، ۵۷٪ محاسبه شد [۱۲]. در مرحله اصلی، یعنی بمباران نوترونی نمونه‌ها با کاهش قابل ملاحظه‌ای در مقدار مقاومت بهنجار روبه رو هستیم این کاهش معنی‌دار بسیار مهم به نظر می‌رسد. همچنین همسو با افزایش میزان درصد آلیش نقره، از مقدار دمای گذار کاسته می‌شود.

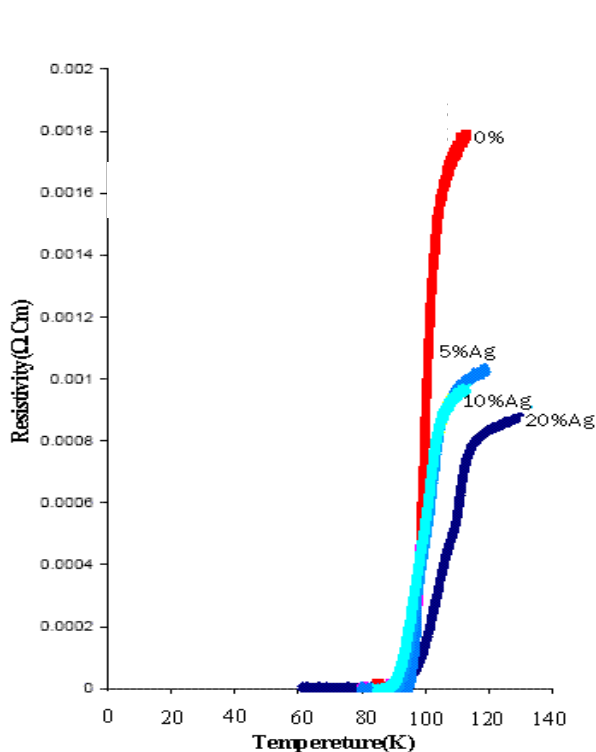
در جدول ۱و۲ دمای گذار و همچنین مقاومت فاز بهنجار نمونه‌ها با درصد‌های وزنی آلییده شده با نقره در دو حالت بدون تابش نوترون و تحت تابش نوترونی آورده شده‌اند. همچنین با توجه و بررسی طیف‌های XRD در نمونه‌های تحت بمباران نوترونی، با کاهش قابل توجهی از میزان شدت طیف حاصل از پراش اشعه ایکس در نقاط پیک‌های مخصوص فاز ۲۲۲۳ رو به رو هستیم، به‌طوری که در حالت کلی از شدت قله‌های ۲۲۲۳ کاسته می‌شود.

## ۴. نتیجه‌گیری

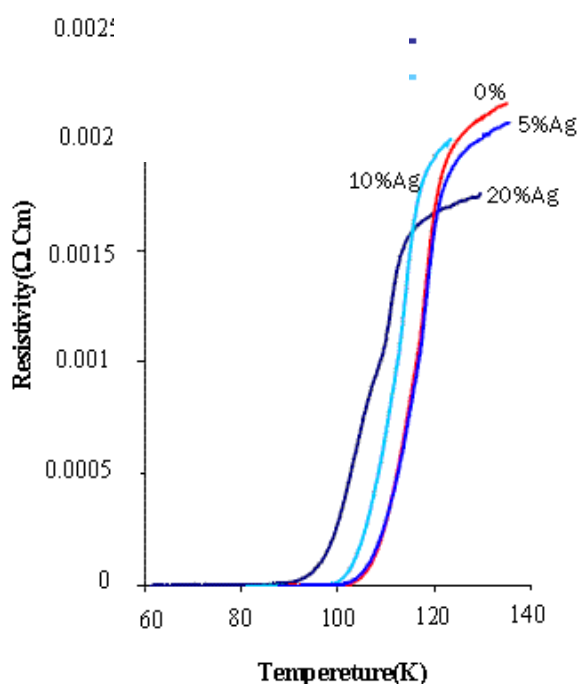
بزرگی مقاومت بهنجار و تغییرات مشاهده شده در مقدار آن در کار حاضر مشخصاً به رفتار میان‌دانه‌ای و مرزدانه‌ای نمونه ابرسانا برمی‌گردد. از یک طرف این مرزدانه‌ها به صورت عایق عمل می‌کنند و از طرفی بسیار ناپایدارند و با آلیش نقره به

$$R = 1 - \frac{\sum I(2223)}{\sum I(2223) + \sum I(2212)}$$

۱ - رابطه نسبی کسرها



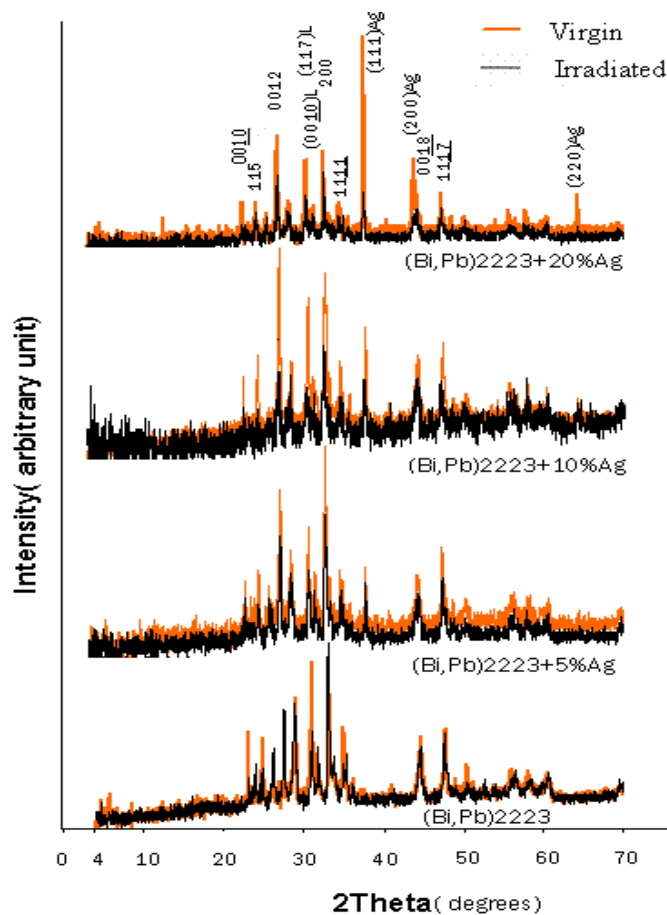
شکل ۲. نمودار  $\rho-T$  برای نمونه‌های آلاییده با نقره تحت تابش نوترونی.



شکل ۱. نمودار  $\rho-T$  برای نمونه‌های آلاییده با نقره بدون تابش نوترونی.

اینکه کمترین اثر تخریبی در ساختار بلوری نمونه ابررسانایی به وجود آید [۷]. در توضیح کاهش شدت در پرتوهای پراشیده اشعه ایکس می‌توان به ساختار صفحات براگ و سازگار اندرکنشی نوترون، با این صفحات اشاره نمود، تحت تأثیر بمباران نوترونی، انتقال فازی قابل توجهی صورت نگرفت ولی باعث کاهش میزان شدت پیک‌ها شد. می‌توان علت این کاهش را چنین توجه داد که بمباران نوترونی باعث عیوب نقطه‌ای، خطی و حتی صفحه‌ای در ساختار بلور ابررسانا می‌شود. این عیوب از تعداد صفحات براگ در یک محدوده معین می‌کاهد، کم شدن تعداد صفحات براگ باعث می‌شود دیگر از پرتوهای ایکسی که قبلاً تداخل و باعث تقویت پیک می‌شدند، کاسته شود. همچنین چون تخریب ساختار نوترونی بصورت اختلاط شبه فلزی صورت می‌گیرد [۱۳]. این اختلاط باعث ایجاد صفحات جدید براگ جلوگیری می‌کند و با کاهش شدت قله‌های اصلی فاز ۲۲۲۳ شاهد ایجاد قله‌های جدید حاصل از

عنوان یک رسانای بسیار خوب و قرار گرفتن در این مرزخانه‌ها کاهش مقدار مقاومت قابل پیش‌بینی می‌باشد. به طوری که این عمل خاصیت و ماهیت عایق بودن الکتریکی مرزخانه‌ها را مشخص می‌کند. همچنین به علت ناپایدار بودن این مرزخانه‌ها، بمباران نوترونی و اندرکنش و مکانیسم برخوردی نوترون با این نقاط باعث تخریب بین مرزهای ناپایدار می‌شود. به‌طور متوسط کاهش ۵۰٪ میزان مقاومت شیمیایی نمونه‌ها نشان از یک ماهیت میان دانه‌هاست. دمای گذار نمونه‌ها با افزایش نقره کاسته می‌شوند، این کاهش در همان نمونه‌های قبلی آلاییده شده و تحت تابش نوترونی به میزان ۷ تا ۱۰ درجه کلوین دیده می‌شود. با تحلیل الگوی پراش اشعه ایکس و مشاهده نشدن شیفت قابل توجه در مکان پیک‌های XRD نمونه‌های تحت تابش نسبت به نمونه‌های بدون تابش و همچنین اعمال رابطه (۱)، نسبت ۷۴٪ فراوانی فاز ۲۲۲۳ به ۲۲۲۳ را نشان می‌دهد. متناسب‌ترین مقدار نقره در نمونه‌ها ۱۰٪ استخراج شد. برای



شکل ۳. الگوی پراش X برای درصدهای مختلف آلیاژ با نقره و همچنین مقایسه طیف نمونه‌های تحت تابش (Irradiated) و بدون تابش نوترونی (virgin). فاز ۲۲۱۲ با اندیسیها و فاز ۲۲۲۳ بدون اندیسی گذاری، نشان داده شده است.

جدول ۲. دمای گذار و مقاومت فاز نرمال با توجه به میزان آلیاژ نقره در نمونه‌ها ابرسانایی تحت تابش نوترون.

نمونه	۲۲۲۳	۲۲۲۳+ %۵Ag	۲۲۲۳+ %۱۰Ag	۲۲۲۳+ %۲۰Ag
دمای گذار (کلوین)	۹۶/۷	۹۲/۵	۹۰/۱	۸۷/۲
مقاومت فاز نرمال (اهم - سانتی متر)	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۰۹۲	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۷

جدول ۱. دمای گذار و مقاومت فاز نرمال با توجه به میزان آلیاژ نقره در نمونه‌ها ابرسانایی بدون تابش نوترون.

نمونه	۲۲۲۳	۲۲۲۳+ %۵Ag	۲۲۲۳+ %۱۰Ag	۲۲۲۳+ %۲۰Ag
دمای گذار (کلوین)	۱۰۵/۱	۱۰۴/۳	۱۰۰/۷	۹۴/۲
مقاومت فاز نرمال (اهم - سانتی متر)	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۱۶

مراکز میخکوب شدگی جدید، انتظار چگالی جریان بحرانی بیشتری از نمونه را می‌توان داشت [۱۴ و ۱۵].

### سپاسگزاری

از همکاری آزمایشگاه تحقیقاتی طیف‌سنجی XRD دانشگاه ارومیه کمال تشکر و امتنان را داریم.

صفحات جدید نخواهیم بود. به طور کلی می‌توان گفت مقایسه این کار با کارهای صورت پذیرفته در رابطه با آلیاژ نقره و همچنین تابش‌دهی ابرساناها، نمونه‌های تهیه شده دارای مقاومت فاز نرمال کمتری می‌باشد و در عین حال زمان پخت کمتری را داراست، از طرفی به علت استحکام بخشی به مرز بین دانه‌ها و اتصالات ضعیف جزفسون در مرز دانه‌ها، و تولید

## مراجع

- کنفرانس ماده چگال انجمن فیزیک ایران؛ دانشگاه علم و صنعت (۱۳۸۳) ۲۴۰.
9. Alexander Polaseka, Peter Majewskib; *Materials Research*, **7**, No. 3 (2004) 393-408.
  10. S Ochiai, H Rokkaku, K Morishita, J K Shin, *Supercond. Sci. Technol*, **20** (2007) 202-210.
  11. J Koshy, K S Kumar;. *Journal of Materials Science Letters* **13** (1994) 554-556.
  12. Muhammad J Iqbal Rashid Mehmood; *Materials Science Engineering B* **135** (2006) 166-171.
  13. Yu Shirokov, N P Yudin; "*Nuclear Physics*" **2**, P224.
  ۱۴. اسماعیل عبدالحسینی، هادی سلامتی، پرویز کاملی. مجله پژوهش فیزیک ایران، ۶، شماره سوم (۱۳۸۵) ۱۶۹.
  ۱۵. حسین احمدوند، هادی سلامتی، پرویز کاملی. مقاله‌نامه کنفرانس ماده چگال انجمن فیزیک ایران، دانشگاه علم و صنعت (۱۳۸۳) ۳۸.
  1. Dean E Peterson, STC; *Proceedings of the 7<sup>th</sup> international symposium on Superconductivity (ISS'94)*.
  2. H Salamati, P Kameli, I Abdolhosseini, and H Ahmadvand; *Applied superconductivity conference, Inc., (ASC06) Seattle, Washington, Aug. 27* (2006)
  ۳. سید حمیدرضا شجاعی، صدقی، خدابخش؛ مقاله‌نامه هفتمین کنفرانس ماده چگال انجمن فیزیک ایران؛ دانشگاه علم و صنعت (۱۳۸۳) ۲۴۶.
  4. Koh-ichi Ueda, Takao Kohara; *Physica C* **388-389** (2003) 369-370.
  5. M M Ibrahim, S M Khalil, *Journal of physics and chemistry of solids* **61** (2002) 1553-1560.
  6. W Buckel, *Superconductivity, Fundamental and Applications*, VCH Publisher.
  ۷. حامد نجف‌پور، حسن صدقی، مقاله‌نامه کنفرانس فیزیک ایران، یاسوج (۱۳۸۶) ۱۲۹۸.
  ۸. اصغر اسمعیلی، صدقی، خدابخش؛ مقاله‌نامه هفتمین