

تاثیر اضافه کردن نانوذرات اکسید نقره و سیلیکون کاربید بر خواص ابررسانایی دمای بالای



الخیگانی، علی حسن^۱؛ عربی، هادی^{۱،۲}؛ قربانی، شعبان رضا^{۱،۲}؛ کمیلی، مجتبی^۱

^۱ آزمایشگاه تحقیقاتی انرژی های تجدیدپذیر مغناطیس و نانوتکنولوژی، گروه فیزیک دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

^۲ مرکز پژوهشی ذخیره سازی هیدروژن و باتری های لیتیوم یون، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

در این پژوهش تاثیر اضافه کردن دو نانوذره اکسید نقره و سیلیکون کاربید بر ساختار و خواص ابررسانایی ابررسانای دمای بالای $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ مطالعه شد. نانوذرات اکسید نقره به روش هم‌رسوبی معکوس در محیط $NaOH$ و آمونیاک تهیه شد. نتایج حاصل از طیف نگاری پراش پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی اثر میدان (FESEM) نشان دهنده ذراتی تک فاز و با ابعاد حدودی ۲۰۰ نانومتر است. ابررسانای $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ به روش استاندارد حالت جامد تهیه شد. نانوذرات اکسید نقره در یک نمونه با درصد وزنی ۱ و در نمونه دیگر نانوذره اکسید نقره با همان درصد وزنی و سیلیکون کاربید SiC با درصد وزنی ۰/۵ به ابررسانا اضافه شد. نتایج حاصل از طیف نگاری اشعه ایکس نشان داد هیچ پیکی متناظر با Ag_2O یا SiC و یا دیگر ترکیبات آن مشاهده نمی شود. علاوه بر آن داده های به دست آمده از تغییرات مقاومت بر حسب دما نشان دهنده افزایش دمای بحرانی ابررسانا به ازای اضافه شدن اکسید نقره و کاهش آن همزمان با اضافه شدن نانوذرات سیلیکون کاربید است.

کلمات کلیدی: ابررسانای YBCO، نانوذرات Ag_2O ، نانوذرات SiC

The effect of adding silver oxide and silicon carbide on the properties of $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ high temperature superconductor

Alkhaykane, Ali Hasan¹; Arabi, Hadi^{1,2}; Ghorbani, ShabanReza^{1,2}; Komeili, Mojtaba¹

¹ Renewable energy magnetic and nanotechnology research laboratory (REMNL), Department of Physics, faculty of science, Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad

² Research center for hydrogen storage and lithium ion batteries, Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad

Abstract

In this study, the effect of adding silver oxide and silicon carbide nanoparticles on the structure and superconducting properties of $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ high temperature superconductor were studied. Silver oxide nanoparticles were synthesized by reverse co-precipitation method using $NaOH$ and ammonia solution. The results of X-ray diffraction spectroscopy and FESEM indicate a single-phase structure with dimensions of approximately 200 nanometers. $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ superconductor was synthesized by standard solid-state method. In one sample silver oxide nanoparticles with 1 wt% and in the other sample silver oxide with the same weight (1 wt%) with silicon carbide nanoparticles with 0.5 wt% were added to the superconductor. The results of X-ray spectroscopy revealed that no peaks corresponding to the Ag_2O or SiC or other compounds were detected both in the samples. In addition, data from the measurements of the resistivity in term of temperature change indicated the increase of superconducting critical temperature for the addition of silver oxide and the decrease of superconducting critical temperature for the addition of silicon carbide and silver nanoparticle simultaneous.

Keywords: YBCO superconductor, Ag_2O nanoparticle, SiC nanoparticle

PACS No.574

مقدمه

ابررسانایی، موتورها و کابل های ابررسانا، افزایش خواص مغناطیسی و به طور خاص افزایش چگالی جریان بحرانی است. علاوه بر آن بهبود خواص مکانیکی سرامیک های ابررسانا در این

یکی از مهم ترین ملزومات به کارگیری سرامیک های ابررساناهای دمای بالا در کاربردهای مهندسی همانند تعلیق

الف) تولید نانوذرات اکسید نقره

برای تولید نانوذرات اکسید نقره از نیترات نقره ۶ آبه با خلوص ۹۹/۹۹ استفاده شد. محلول ۰/۲ مولار آن در ۴۵ میلی لیتر آب یونزدایی شده حل شد. همزمان و به صورت جداگانه محلول ۰/۳ مولار هیدروکسید سدیم و محلول ۰/۱ مولار آمونیاک ۲۵٪ در ۲۰۰ میلی لیتر آب یونزدایی شده حل شد. دو محلول اخیر را درون حمام روغن با دمای ۵۰ درجه سانتیگراد مخلوط کرده و محلول نیترات نقره را قطره قطره به آرامی و در حضور همزن مغناطیسی و محیط تاریک بدان اضافه کردیم. با ورود قطرات نیترات نقره رنگ محلول به زرد خردلی تغییر کرد. این فرایند تا اتمام کامل نیترات نقره ادامه پیدا کرد. پس از آن برای کامل شدن فرایند رسوب، حرارت دهی همزمان با همزن مغناطیسی به مدت ۲ ساعت ادامه پیدا کرد. پس از اتمام فرایند، رسوب قهوه ای پررنگی در انتهای بشر تشکیل شد. این رسوب به کمک سانتریفیوژ (سه مرحله با آب یون زدایی شده و یک مرحله با اتانول و سرعت ۷۰۰۰ دور بر دقیقه) شستشو داده شد. رسوب به دست آمده در آون خلا در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد و به مدت ۱۲ ساعت خشک شد. نانوذرات سیلیکون کاربید با ابعاد زیر ۱۰۰ نانومتر از شرکت ایرانی نانوآویژه و با خلوص بالا تهیه و در این پژوهش به کار گرفته شد.

ب) تولید ابررسانای $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

ابررسانای $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ به روش استاندارد حالت جامد از پیش ماده های Y_2O_3 ، BaCO_3 و CuO با خلوص بالا و به نسبت ۱:۲:۳ در بال میل زیرکونیا و در حضور مقدار اندکی اتانول به مدت ۶ ساعت و با سرعت ۳۰۰ دور بر دقیقه آسیا شد. مخلوط به دست آمده در دمای ۹۲۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۱۶ ساعت کلسینه شد. برای به دست آوردن ابررسانایی با کیفیت بالاتر عملیات کلسینه کردن سه مرتبه تکرار شد و در هر مرحله پودر به دست آمده به دقت آسیاکاری گردید.

ج) ساخت ابررسانای آلائیده شده

پودر به دست آمده در سه نمونه با مشخصات: نمونه خالص، نمونه با ۱ درصد وزنی نانوذره اکسید نقره و نمونه با ۱ درصد وزنی اکسید نقره به همراه ۰/۵ درصد وزنی نانوذره سیلیکون کاربید به دقت توزین و در هاون عقیق هر کدام به مدت ۳ ساعت

زمینه از اهمیتی بالا برخوردار است. افزایش چگالی جریان بحرانی در این گونه مواد با ایجاد نقاط میخکوبی شار امکان پذیر است. این نقاط یا به صورت طبیعی (مثل انواع نقص های شبکه ای) و یا به صورت مصنوعی (اضافه کردن و توزیع مناسب فازهای غیر ابررسانا در ماتریس ابررسانا) ایجاد می شود. در حال حاضر یکی از بهترین روش های ایجاد نقاط میخکوبی شار به صورت مصنوعی وارد کردن مواد نانو در قالب فازهای غیر ابررسانا به ماتریس ابررسانا است. [۱]

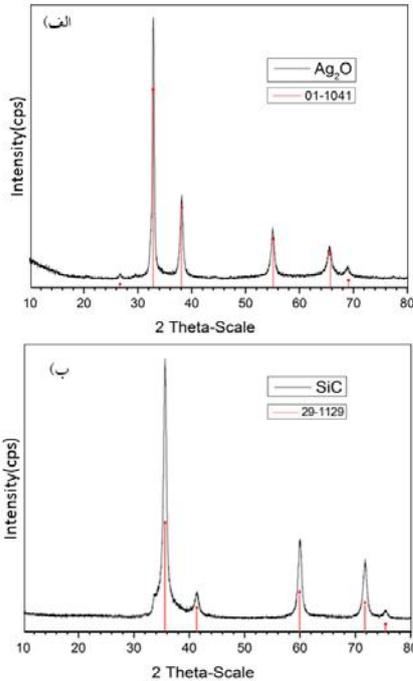
استفاده از نانومواد در ماتریس ابررسانا برخی پارامترهای ابررسانا مثل دمای بحرانی را دستخوش تغییرات می کند [۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵] نانوذرات مختلفی به ابررسانا اضافه شده اند که از آن جمله می توان به SnO_2 ، ZnO ، ZrO_2 ، NiO ، Y_2O_3 و Al_2O_3 اشاره کرد. [۳] در این میان سیلیکون کاربید تاثیر بسیار خوبی در افزایش چگالی جریان بحرانی ابررسانای MgB_2 داشته است. [۴] علاوه بر آن اضافه کردن این نانوذره به ابررسانای دمای بالای پایه بیسموت چگالی جریان بحرانی را تا دو برابر افزایش داده است [۵].

به منظور افزایش خاصیت مکانیکی سرامیک های ابررسانا، معمولاً Au یا Ag یا Ag_2O اضافه می کنند. نقره تا درصد معینی فضای بین دانه ای را در سرامیک های ابررسانا پر می کند و به این ترتیب به افزایش خواص مکانیکی سیستم منجر می شود. از طرفی دیگر با افزایش درصد آلایش، این نانوذرات در فضای بین دانه ای نیز نفوذ کرده که نتیجه آن افزایش چگالی جریان بحرانی است. [۶] استفاده از نقره در ابررسانا علاوه بر مزایای گفته شده به افزایش ماندگاری ابررسانا نیز منجر خواهد شد. نمونه های ابررسانایی که در حین فرایند ساخت، بدان نقره اضافه شده چگالی جریان بحرانی و خواص مغناطیسی خود را چند سال پس از ساخت همچنان حفظ کرده اند. [۷]

در این پژوهش نانوذرات اکسید نقره به روش همرسوبی معکوس در آزمایشگاه سنتز و نانوذرات سیلیکون کاربید با خلوص بالا تهیه شد. سپس اثر اضافه کردن آن بر خواص ابررسانایی ابررسانای دمای بالای $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ مطالعه گردید.

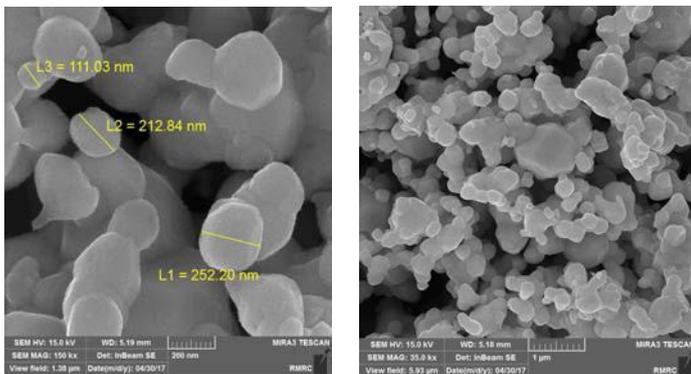
کار آزمایشگاهی

برای تولید ذراتی کوچکتر بهینه شود. این شرایط می‌تواند سرعت هم زدن محلول سود و آمونیاک، نحوه ریختن محلول نیترات نقره روی محلول، دمای نمونه حین ساخت و سرعت سانتریفیوژ باشد.



شکل ۱: طیف پراش اشعه ایکس از نمونه نانوذرات Ag_2O و SiC

از نمونه ابررسانای پس از کلسینه شدن و پس از آرایش با نانوذرات نیز طیف پراش اشعه ایکس گرفته شد. تغییرات محسوسی در الگوی پراش، همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، مشاهده نشد. ظاهراً ارتفاع پیک‌های نانومواد آرایش شده کمتر از ۵٪ بالاترین پیک ابررسانا است و لذا در نویزهای الگوی پراش قرار گرفته و اثری از آن دیده نمی‌شود. ابعاد بلورک‌ها در نمونه آلائیده به نقره کاهش یافت که می‌توان آن را به قرارگیری نقره در فضای بین دانه‌ای نسبت داد [۸] قرارگیری این نانوذرات از رشد بیشتر بلورک جلوگیری کرده است (جدول ۱)



آسیا و مخلوط شد. پودر به دست آمده به شکل قرص‌هایی با قطر ۱/۲ سانتی‌متر و ضخامت ۲ میلی‌متر تهیه شد و عملیات بازیخت آن‌ها در دمای ۹۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت انجام شد. نمونه برای جبران اکسیژن از دست رفته در دمای ۴۶۰ درجه سانتی‌گراد و با فشار ۲۱۰ میلی‌بار تحت فلوی گاز اکسیژن به مدت ۱۰ ساعت انیل شد. از قرص‌های به دست آمده آنالیز اشعه ایکس و اندازه‌گیری مقاومت بر حسب دما گرفته شد.

آنالیز اشعه ایکس با دستگاه Bruker مدل D8 و با گام ۰/۰۲، تصاویر FESEM با میکروسکوپ مدل MIRA3TESCAN-XMU پژوهشگاه رازی و اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی بر حسب دما با تجهیزات الکترونیکی کیستلی و کرایوستات ساخت شرکت ایرانی زمهرسازان پیش‌تاز انجام شده است.

بحث و نتایج

شکل ۱ الف)، نتایج طیف پراش اشعه ایکس نانوذرات اکسید نقره سنتز شده است. از مقایسه این طیف با کارت استاندارد به شماره (۰۱-۱۰۴۱) مشخص شد ذرات سنتز شده اکسید نقره تک فاز با ساختار مکعبی و گروه فضایی $Pm3m$ است. اندازه‌گیری ابعاد بلورک‌ها و کرنش سیستم با استفاده از روش ویلیامسون-هال، مقادیر حدوداً ۴۹/۹ نانومتر و ۰/۰۰۵۶ را نشان داد. از نمونه سیلیکون کاربید نیز آنالیز اشعه ایکس گرفته شد که نتایج آن در شکل ۱ ب) نشان داده شده است. بر طبق این اندازه‌گیری نانوذرات سیلیکون کاربید در فاز مکعبی با گروه فضایی $F-43m$ قرار دارند. آثار اندکی از وجود فاز هگزاگونال SiC با گروه فضایی $P63mc$ در شانه پیک اصلی و پهن‌شدگی آن در حوالی زاویه ۳۲ درجه مشاهده می‌شود. ابعاد بلورک‌ها در این نمونه حدود ۱۰ نانومتر تخمین زده شد.

شکل ۲ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی اثر میدان FESEM از نمونه Ag_2O است. همان‌طور که از این آنالیز مشاهده می‌شود نانوذرات با توزیعی گسترده از ۵۰ نانومتر تا مقادیر بالای ۲۵۰ نانومتر توزیع شده‌اند اما به صورت تقریبی در محدوده ۲۰۰ نانومتر قرار گرفته‌اند. با توجه به ابعاد به دست آمده از رابطه ویلیامسون-هال برای ابعاد بلورک‌ها، هر ذره از چندین بلورک تشکیل شده که نشان می‌دهد شرایط آزمایشگاهی می‌تواند

در کاهش دمای بحرانی ابررسانا ندارد. لذا کاهش مشاهده شده در دمای بحرانی به ازای افزودن سیلیکون کاربید، به نقش مخرب حضور Si در نمونه ابررسانا نسبت داده می‌شود.

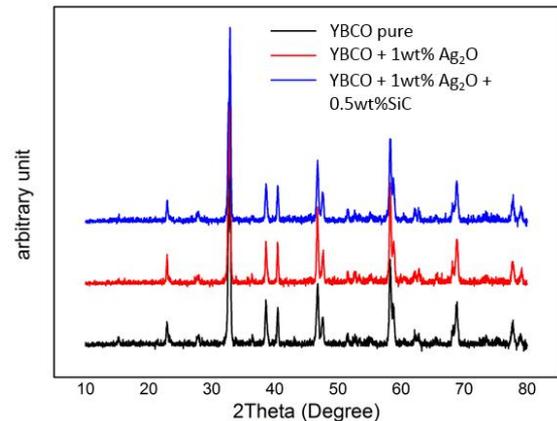
نتیجه گیری

در این پژوهش نانوذرات اکسید نقره با کیفیت بالا و روش ساده هم‌رسوبی معکوس تهیه شد. در ادامه نمونه ابررسانای خالص و نمونه آلاینده به نانوذرات اکسید نقره و سیلیکون کاربید به ابررسانای YBCO به روش حالت جامد تهیه شد. الگوهای پراش اشعه ایکس برای تمامی نمونه‌ها، فاز اورتورومبیک ابررسانا را نمایش داد. مقدار آلاینش در این نمونه‌ها کم بود و لذا پیک اضافی مشاهده نشد. حضور نانوذرات Ag_2O به کاهش ابعاد بلورک‌ها منجر شد. اضافه شدن نانوذرات اکسید نقره به ابررسانا باعث افزایش دمای بحرانی ابررسانا و اضافه شدن همزمان آن با سیلیکون کاربید باعث کاهش دمای بحرانی ابررسانا شده است. افزایش دمای بحرانی در نمونه آلاینده به نانوذرات نقره را می‌توان به قرارگیری آن در مرزهای بین دانه‌ای نسبت داد.

مرجع‌ها

- [1] Gernot Krabbes, Gunter Fuchs, Wolf-Rudiger Candlers, Hardo May, Ryszard Palka; "High Temperature Superconductor Bulk Materials: Fundamentals, Processing, Properties Control, Application Aspects"; 1th edition, Wiley-VCH, (2006)
- [2] Mansoor Farbod, Mohammad Reza Batvandi; "Doping effect of Ag nanoparticles on critical current of YBa₂Cu₃O_{7-d} bulk superconductor"; *Physica C* **471** (2011) 112–117
- [3] A. Mellekh et al.; "Nano-Al₂O₃ particle addition effects on YBa₂Cu₃O_y superconducting properties"; *Solid State Communications* **140** (2006) 318–323
- [4] K.J. Song et al.; "The effect of SiC nanoparticle addition on the flux pinning properties of MgB₂"; *Physica C* **470** (2010) 470–474
- [5] Z.Q. Yang et al.; "Flux-pinning enhancement in Ag-sheathed Bi-2223 tapes by nanometer-SiC addition"; *Physica C* **325** (1999). 136–142
- [6] M. Tepe et al.; "Investigation of the variation in weak-link profile of YBa₂Cu_{3-x}Ag_xO_{7-d} superconductors by Ag doping concentration"; *Solid State Communications* **131** (2004) 319–323
- [7] Qing-rong Feng et al.; "Effect of time aging on the properties of Ag-doped YBaCuO superconductors"; *Supamd. Sci. Techml.* **6** (1993) 715-720.
- [8] Sedigheh Dadras, Zahra Gharehghazloo; "Effect of Au nano-particles doping on polycrystalline YBCO high Temperature superconductor"; *Physica B* **492** (2016) 45–49
- [9] N Ruffer, et al. "Preparation, structure, microstructure and transport critical current density of polycrystalline C/YBa₂Cu₃O_{7-x}"; *Cryogenics* **33** (1) (1993) 124-128

شکل ۲: تصاویر FESEM از نمونه Ag_2O ، با بزرگنمایی‌های مختلف

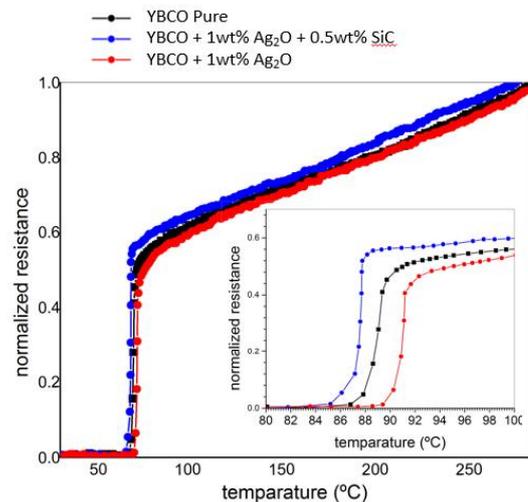


شکل ۳: الگوی پراش اشعه ایکس برای نمونه‌های ابررسانای خالص و آلاینده شده به نانوذرات اکسید نقره و سیلیکون کاربید

جدول ۱: ابعاد بلورک‌ها و دمای بحرانی برای سه نمونه ابررسانا

	نمونه خالص	آلاینده به Ag_2O	SiC و Ag_2O
ابعاد بلورک‌ها nm	۴۸	۳۹	۴۵
دمای بحرانی	۹۰/۱	۹۲	۸۸/۲

آنالیز مقاومت برحسب دما نیز نشان دهنده افزایش دمای بحرانی ابررسانا به ازای ۱ درصد وزنی افزودن اکسید نقره و کاهش آن به ازای اضافه کردن همزمان اکسید نقره و ۰/۵ درصد وزنی سیلیکون کاربید است.



شکل ۴: نتایج آنالیز 4-probe نمونه‌های آلاینده به نانوذرات

افزودن نانوذرات اکسید نقره فضای بین دانه‌ها را پر کرده و تخلخل قرص ابررسانا را کاهش می‌دهد، بنابراین اتصال بین دانه‌ها بهتر شده و دمای بحرانی اندکی افزایش می‌یابد [۸ و ۶]. پژوهش‌های انجام شده [۹] نشان می‌دهند که کربن نقش مخربی