



بررسی ابررسانای CdO - Bi₂₂₂₃ آلائیده با نانوذرات

سیدابراهیم موسوی قهفرخی^{*}، مرتضی زرگرشوشتی، ناهید حسینزاده

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز

(دریافت مقاله: ۹۲/۶/۱۶، نسخه نهایی: ۹۲/۱۰/۲۰)

چکیده: در این مقاله، نانوذرات CdO به روش شیمیایی و با استفاده از سولفات‌کادمیوم هشت آبه به وسیله‌ی آب اکسیژن ساخته شد و پس از آن آلایش نانوذرات اکسیدکادمیوم با مقادیر ۰/۱ و ۰/۰۴، ۰/۰۳، ۰/۰۲، ۰/۰۱، ۰/۰۰۱ = x در ترکیب ابررسانای Bi_{1.64}Pb_{0.36}Sr₂Ca_{2-x}Cd_xCu₃O_y به روش حالت جامد صورت گرفته است. خواص ساختاری، ریزساختاری، ریخت‌شناسی و دمای واکنش نمونه‌ها به وسیله SEM، XRD و TGA-DTA مورد بررسی قرار گرفت. چگالی جریان بحرانی و دمای بحرانی به روش چهار میله‌ای اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری چگالی جریان بحرانی نشان می‌دهند که چگالی جریان بحرانی با افزایش نانوذرات اکسیدکادمیوم افزایش می‌یابد، بهطوری که بیشترین چگالی جریان بحرانی با نمونه‌ی با مقادیر ۰/۰۱ = x با زمان پخت ۲۷۰ ساعت وابسته است. بررسی تغییرات دمای گذار در نمونه‌های آلایش داده با نانوذرات اکسید کادمیوم نشان می‌دهد که هرچند با جانشینی کادمیوم به جای کلسیم، دمای بحرانی نسبت به نمونه‌ی خالص افزایش می‌یابد، اما تغییرات قابل ملاحظه‌ای در دمای گذار نمونه‌های آلایش داده شده، مشاهده نمی‌شود. چگالی جریان و دمای بحرانی تمام نمونه‌ها با افزایش زمان پخت افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: Bi_{1.64}Pb_{0.36}Sr₂Ca_{2-x}Cd_xCu₃O_y نانوذرات اکسیدکادمیوم؛ ابررسانایی؛ چگالی جریان بحرانی؛ دمای بحرانی.

است، این خانواده همچنان مورد توجه پژوهندگان است [۵-۳]. ترکیب ابررسانای اکسیدی مس در بیسموتدارها، ابتدا در سیستم O - Cu - M - Bi که در آن M یک فلز قلایی خاکی نظریer Sr یا Ba است در سال ۱۹۸۷ توسط گروه میشل کشف شد [۶]. دمای گذار این ترکیب در حدود ۲۰ K گزارش شده است. پس از گذشت زمان اندکی، با توجه به این که فشار مکانیکی داخلی بلور می‌تواند در افزایش T_C مؤثر باشد، با اضافه کردن Ca به این سیستم توسط یک گروه ژاپنی در سال ۱۹۸۸ برای اولین بار ترکیبی از سیستم ابررسانای Bi-Sr-Ca-Cu-O را با دمای بحرانی ۸۵ K به دست آوردهند [۷، ۸]. نزدیک به دو دهه پس از کشف ابررسانایی بر پایه‌ی Bi، کارهای زیادی برای بهبود خواص ابررسانایی این دسته از مواد ابررساناهای انجام شد. روش‌های گوناگونی برای ساخت این نوع ابررساناهای

مقدمه

پدیده‌ی ابررسانایی از شاخه‌های علم فیزیک است که پس از کشف آن، پژوهش برای رسیدن به شناخت کامل سازوکار ابررسانایی و رساندن دمای گذار ابررسانایی به دمای اتفاق از مهم‌ترین اهداف دانشمندانند. در سال ۱۹۸۶ بدنورز و مولر متوجه‌ی ابررسانایی در ترکیب La_{2-x}Ba_xCuO₄ شدند [۱]. اندکی بعد ترکیب (YBCO)YBa₂Cu₃O_{7-δ} یا دمای گذار K = ۹۲ T_C کشف شد [۲]. از زمان کشف ابررسانای با دمای بالا در خانواده بیسموت‌ها در سال ۱۹۸۸، پژوهش‌های گستردۀای برای بهبود خواص ابررسانایی آن انجام شده است. در سال‌های بعد، ترکیبات دیگری از خانواده‌ی ایتریم کشف شدند و چون این ابررساناهای، دمای گذار بالاتری نسبت به ازت مایع دارند و کار با ازت مایع راحت‌تر و کم‌هزینه‌تر از کار با هلیوم مایع

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۶۶۱۷۵۵۷۰، نمبر: ۰۳۳۳۱۰۴۰، پست الکترونیکی: musavi_ebrahim@yahoo.co.uk

نانوذرات CdO_2 را در دماهای متفاوت (200°C , 250°C و 300°C) با زمان‌های متفاوت (30 و 60 دقیقه) گرماده شد. با گرما دادن، CdO_2 اکسیژن اضافه حذف و نانوذرات اکسید کادمیوم (CdO) تهیه شدند. لذا با توجه به این که اندازهٔ نانوذرات در 30 دقیقه و در دمای پخت 250°C دارای کمترین اندازه یعنی در حدود 16 nm بود، بنابراین در این مقاله از این نوع نانوذرات اکسید کادمیوم استفاده شد. برای تهیهٔ ترکیب $\text{Bi}_{1.64}\text{Pb}_{0.36}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Cd}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ از مواد اولیه شامل اکسید بیسموت (Bi_2O_3)، اکسید سرب (PbO ، CaCO_3 ، اکسید مس (CuO) با درجهٔ خلوص حدود 99.99% و نانوذرات اکسید کادمیوم (CdO ، تهیه شده به روش شیمیایی با اندازهٔ حدود 16 nm) استفاده شد. پودرهای اولیه، با ترازویی با دقت 10^{-4} gr وزن شدند. پس از توزین مواد اولیه، آنها را در یک هاون چینی ریخته، با اسپاتول به خوبی مخلوط کردند، سپس با اضافه کردن مقدار کمی اتانول به مدت یک ساعت به آسیاب آنها پرداخته شد. پس از آسیاب کردن، برای جلوگیری از تشکیل فازهای اضافی در طول فرایند و خروج گاز CO_2 ، عمل تکلیس در دمای 820°C به مدت 15 ساعت انجام گرفت. در این مرحله، پودرهای تکلیس شده، دوباره به مدت 1 ساعت آسیاب شدند؛ و سپس پودرهای یکنواخت حاصل از آسیاب درون قالب‌های مکعب مستطیل شکلی ریخته شدند و به مدت 5 دقیقه در فشار 540 مگا پاسکال پرس شدند و به شکل میله‌هایی به ابعاد $20 \times 5/4 \times 2/7\text{ mm}$ درآمدند. پرس کردن پودرها علاوه بر این که بررسی‌هایی نظیر خواص الکتریکی، مغناطیسی و به دست اوردن تصاویر میکروسکوپی را آسان می‌کند، باعث تشکیل بهتر ترکیب مورد نظر هنگام ذوب جزئی، به علت نزدیک شدن مولکول‌ها و تشکیل دانه‌ها می‌شود. پس از پرس و شکل‌دهی، نمونه‌ها درون کوره برای عمل کلوخه سازی قرار گرفتند. انتخاب دمای پخت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و معمولاً دمای پخت کمتر از دمای ذوب کامل مواد اولیه انتخاب می‌شود. برای تهیهٔ ابرسانای $\text{Bi}_{1.64}\text{Pb}_{0.36}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Cd}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ با مقادیر $x = 0.01$ ، 0.02 ، 0.03 ، 0.04 و 0.05 ، آزمونه میله‌ای آمده شد و در دمای 845°C با زمان‌های متفاوتی (90 ، 180 و 270 ساعت) برای پخت به طور جداگانه، درون کوره قرار گرفتند. دمای بحرانی و چگالی جریان بحرانی از روش چهار میله‌ای استفاده شد. نخست به وسیله منبع تغذیه، جریان

پایه‌ی Bi انجام شده که به عنوان مثال می‌توان روش حالت جامد [۹]، روش سل-زل [۱۰] و روش پودر-داخل لوله [۱۱] را نام برد. هرچند عواملی مختلفی به طور گسترده برای بهبود خواص ابرسانایی وجود دارد، ولی یکی از این عوامل اثر جانشینی عناصر در این ساختار است [۱۲-۱۴]. بررسی‌ها نشان داد که یکی از عناصر مهم جانشینی در این ساختار عنصر Pb است. زیرا جایگزینی Pb در جایگاه Bi باعث افزایش شکل-گیری و پایداری بیشتر فاز $\text{Bi}-2223$ می‌شود، لذا در سال ۱۹۸۸ سان شاینو تاکانو با وارد کردن سرب در ابرسانای پایه‌ی Bi ، توانستند تشکیل فاز Bi_{Te} بالای سیستم Bi را تسريع بخشد [۱۵]. چون ابرساناهای دمای بالا، سرامیکی هستند به علت داشتن سرشت بین‌دانه‌ای و پیوندگاهاتی ضعیف بین‌دانه‌ای از چگالی جریان بحرانی کمی برخوردار است. یکی از روش‌ها برای بهبود پیوندگاهاتی بین‌دانه‌ای، آلانیدن این مواد به مواد دیگر است [۱۶-۱۸]. به علت نزدیک بودن شعاع یونی و ظرفیت کادمیوم به کلسیم، تضمیم گرفته شد تا تأثیر جانشینی یون کادمیوم به جای کلسیم در ابرسانای پایه بیسموت مورد بررسی قرار گیرد. از آن‌جا که تاکنون کارهای انجام شده روی اثر جانشینی توده‌ی اکسید کادمیوم بر ابرسانای پایه بیسموت گزارش شده است [۱۹-۲۱]، لذا در این مقاله پس از تهیهٔ نانوذرات اکسید کادمیوم، اثر این نانوذرات با مقادیر مختلف بر ابرسانای پایه بیسموت مورد بررسی قرار گرفت. با روش استاندارد چهار میله‌ای، چگالی جریان بحرانی و دمای بحرانی و نیز ریزساختار به وسیلهٔ دستگاه XRD با PW1840 ساخت شرکت فیلیپس با آند مسی و نیز تصاویر SEM برای بررسی ریزساختار ابرسانای $\text{Bi}_{1.64}\text{Pb}_{0.36}\text{Sr}_{2-x}\text{Cd}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ به وسیله SEM مدل S-۴۱۶۰ ساخت شرکت هیتاچی، تصاویری از سطح نمونه‌ها تهیه شدند.

شرح آزمایش و اندازه‌گیری‌ها

در این پژوهش مقداری سولفات کادمیوم هشت آبه ($3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) با 40 میلی لیتر آب اکسیژنه (H_2O_2) درون بشر ریخته شد. برای همگنی بهتر مخلوط از یک همزن مغناطیسی استفاده شد. به محلول آن قدر آمونیاک اضافه کردیم تا $\text{PH} = 8$ شده و سپس محلول از صافی عبور داده شد و رسوب زرد روشن به جا مانده را با آب یون‌زاده شده شستشو داده شد. رسوب زرد رنگ به دست آمده، نانوذرات CdO_2 بود که در دمای 80°C در معرض هوا خشک شد. سپس به

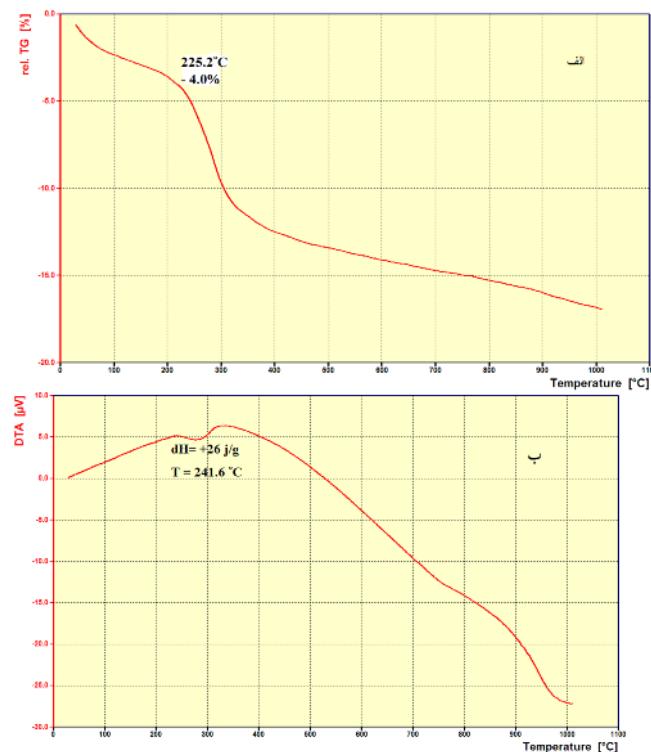
شدید دیده می‌شود که شروع ذوب نانوذرات CdO آغاز می‌شود، ولی این افت با یک شیب ملایم تا دمای 900°C ادامه دارد. این ذوب‌شدگی را می‌توان در منحنی DTA با ظهور یک قله‌ی گرم‌گیر در گستره‌ی دمایی 200°C تا 300°C مشاهده کرد. از روی این منحنی می‌توان تشخیص داد که شروع دمای ذوب نانوذرات اکسید کادمیوم تقریباً حدود 241°C است. این نتیجه نشان می‌دهد که شروع دمای ذوب نانوذرات اکسید کادمیوم نسبت به حالت تودهی آن ($1000^{\circ}\text{C} - 900^{\circ}\text{C}$)، افت شدیدی داشته است.

شکل (۲ الف و ب) به ترتیب الگوی پراش و تصویر SEM نانوذرات CdO_2 را نشان می‌دهد. قله‌های الگوی پراش نشان می‌دهد که CdO_2 دارای ساختار مکعبی با ثابت شبکه‌ی $\text{\AA} = 5.304$ است که با کارت استاندارد JCPD به شماره‌ی ۳۹-۱۲۲۱ همخوانی دارد. همچنین از این تصویر مشاهده می‌شود که نانوذرات CdO_2 به صورت انباشتی است که به دلیل ابعاد بسیار کوچک و انرژی سطحی بالای آن هاست و میانگین اندازه‌ی ذرات CdO_2 تقریباً برابر با 100 nm است.

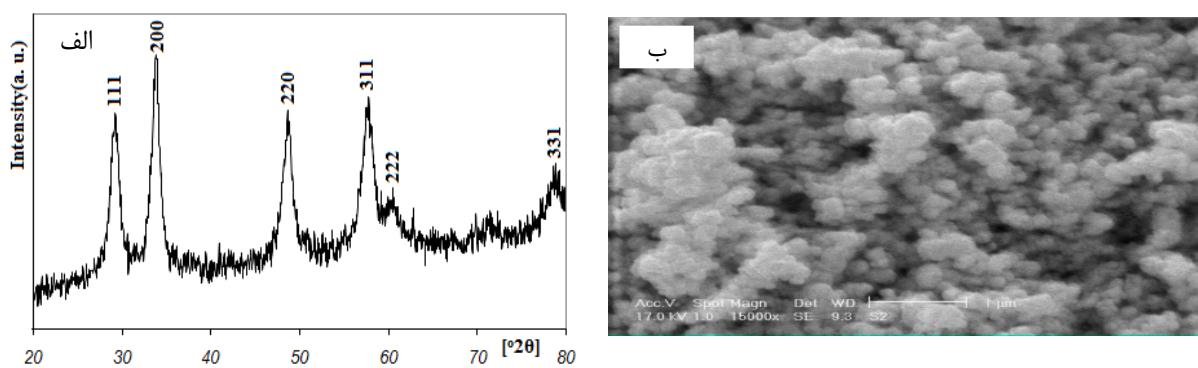
مستقیم از دو اتصال انتهایی به نمونه اعمال شده و ولتاژ از دو اتصال وسطی اندازه‌گیری شد. با تغییر جریان، منحنی‌های V-I برای هر کدام از نمونه‌ها رسم و با داشتن سطح مقطع آن‌ها، چگالی جریان بحرانی برای هر نمونه بدست آمد. از نمونه‌های ساخته شده، آنالیز گرمایی همزمان TGA-DTA، الگوهای پراش و تصاویر SEM تهیه شدند.

بحث و بررسی

آنالیز TGA تنها روش شناسایی نیست، بلکه روشی است که اطلاعاتی از تغییرات جرمی یک نمونه را نشان می‌دهد [۲۲]. منحنی‌های DTA، رویدادهای گرم‌گیری و گرم‌زایی را نشان می‌دهند. از این‌رو، برای پذیرش شرایط بازپخت مناسب (زمان و دما) و تعیین دمای ذوب شدگی پودرهای اولیه، منحنی‌های TG-DTA با گرما دادن مواد اولیه با آهنگ 10°C در فشار جو ترسیم شدند. شکل ۱ الف و ب به ترتیب منحنی TGA و DTA نانوذرات CdO DTA را نشان می‌دهد. در شکل ۱ الف نشان داده شده است که کاهش جرم به صورت پله‌ای را نشان می‌دهد، مرحله‌ی اول کاهش جرم را می‌توان به کاهش اکسیژن نسبت داد. مرحله‌ی دوم در دمای 200°C تا 300°C یک افت



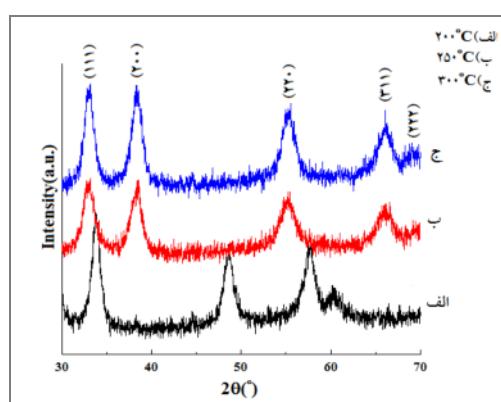
شکل ۱ منحنی‌های آنالیز گرمایی نانوذرات CdO، الف، ب(DTA، TGA)

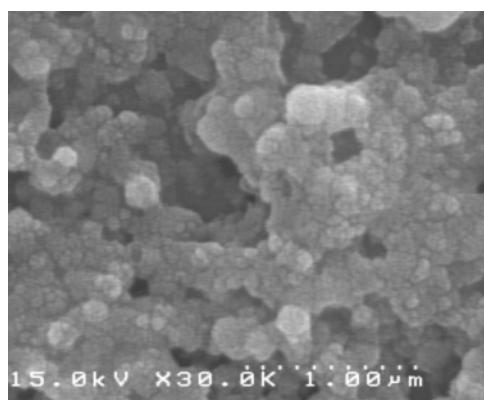
شکل ۲ (الف) الگوی پراش و (ب) تصویر SEM نانوذرات CdO_2

در شکل‌های ۵ تا ۷ منحنی‌های DTA و TGA بعضی از نمونه‌های ابرسانایی تهیه شده را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها برهمنکنی‌های اصلی بین دمای ۷۰۰ $^{\circ}\text{C}$ تا ۹۰۰ $^{\circ}\text{C}$ رخ می‌دهند. اولین قله‌ای که در منحنی همه نمونه‌ها قابل مشاهده است، یک قله گرمایش است، که به فرآیند بلوری شدن وابسته است، و با افزایش مقدار CdO ، شدت این قله بیشتر شده است، افزایش Bi-۲۲۱۲ شدت این قله گرمایزاً احتمالاً بعلت تشکیل فازهای Bi-۲۲۰۱ و Bi-۲۲۰۳ طی فرآیند است، که این نتیجه با نتایج الگوی DTA پراش هم خوانی دارد. دو قله‌ی گرمایگیر در منحنی نمونه‌ها مشاهده می‌شوند که اولین قله‌ی گرمایگیر مربوط به دمای پخت نمونه است. از این‌رو، این قله به ذوب‌شدگی جزئی پودرها وابسته است. بعلاوه، این قله نشان می‌دهد که دمای پخت نمونه‌ها فقط کمی پایین‌تر از دمای ذوب‌شدگی جزئی قرار می‌گیرد. دومین قله‌ی گرمایگیر را می‌توان به تجزیه‌ی فاز Bi-۲۲۱۲ و حضور فاز مایع نسبت داد، که شدت‌ش برابر نمونه $\text{Bi-}2212 = 0.03$ نسبت به نمونه‌های دیگر بیشتر است که نشان می‌دهد که دمای پخت نمونه با افزایش مقدار نانوذرات اکسید کادمیوم کاهش می‌یابد. این نتیجه با نتایج تجربی طی تهیه نمونه‌ها هم خوانی دارد.

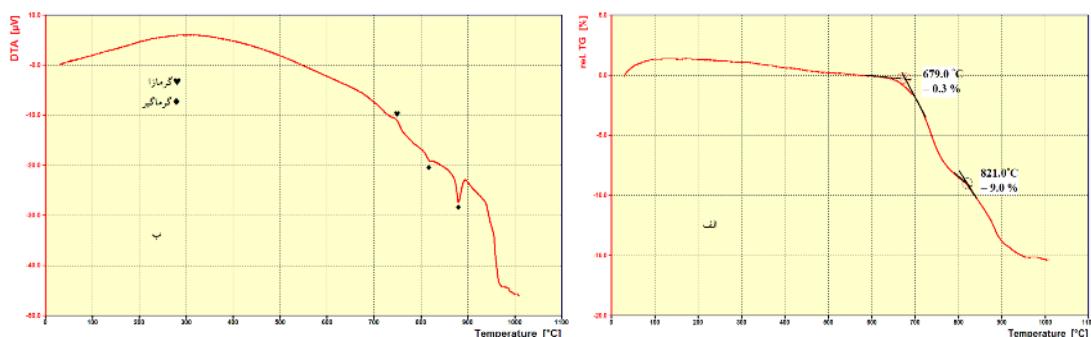
شکل ۳ الگوی پراش نانوذرات CdO تهیه شده در نیم ساعت در دماهای پخت، (الف) ۲۰۰ $^{\circ}\text{C}$ ، (ب) ۲۵۰ $^{\circ}\text{C}$ و (ج) ۳۰۰ $^{\circ}\text{C}$ را نشان می‌دهد. از الگوی پراش شکل ۳ مشاهده می‌شود که در دمای ۲۰۰ $^{\circ}\text{C}$ و زمان ۳۰ دقیقه، هنوز ساختار CdO به‌طور کامل تشکیل نشده و با هیچ کارت استانداردی همخوانی کامل ندارد. اما چنانکه شکل ۳ نشان می‌دهد، ساختار CdO در دماهای ۲۵۰ و ۳۰۰ $^{\circ}\text{C}$ ، بدون هیچ گونه ناخالصی تشکیل شده و با کارت استاندارد JCPDS به شماره (۰۵-۰۶۴۰) همخوانی دارند. از روی الگوی پراش نمونه‌ها و با استفاده از معادله‌ی دبای‌شرر، اندازه‌های نانو بلورک‌ها محاسبه شدند. اندازه نانو بلورک‌ها نشان می‌دهد که نمونه‌ی تهیه شده در دمای ۲۵۰ $^{\circ}\text{C}$ ، کوچکترین اندازه نانو بلورک‌ها را دارد (3 nm). دماهای بالاتر باعث رشد بیشتر ذرات و افزایش اندازه‌ی آن‌ها می‌شود. به‌طوری که اندازه‌ی نانو بلورک‌ها در دمای ۳۰۰ $^{\circ}\text{C}$ (5 nm) بزرگ‌تر شده است.

شکل ۴، تصویر SEM نانوذرات ساخته شده را نشان می‌دهد. میانگین اندازه‌ی ذرات با استفاده از نرم افزار measurement اندازه‌گیری و اندازه‌ی نانوذرات اکسید کادمیوم در حدود 16 nm است.

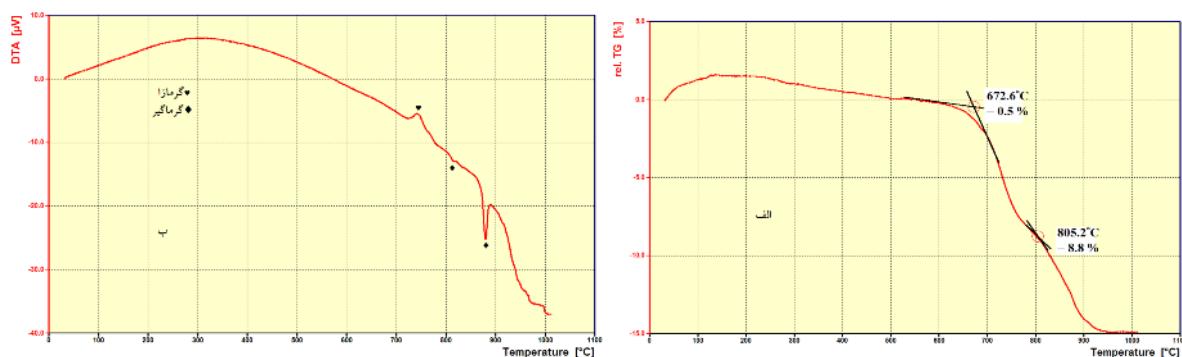
شکل ۳ الگوی پراش نانوذرات CdO تهیه شده در نیم ساعت پخت، (الف) ۲۰۰ $^{\circ}\text{C}$ ، (ب) ۲۵۰ $^{\circ}\text{C}$ و (ج) ۳۰۰ $^{\circ}\text{C}$.



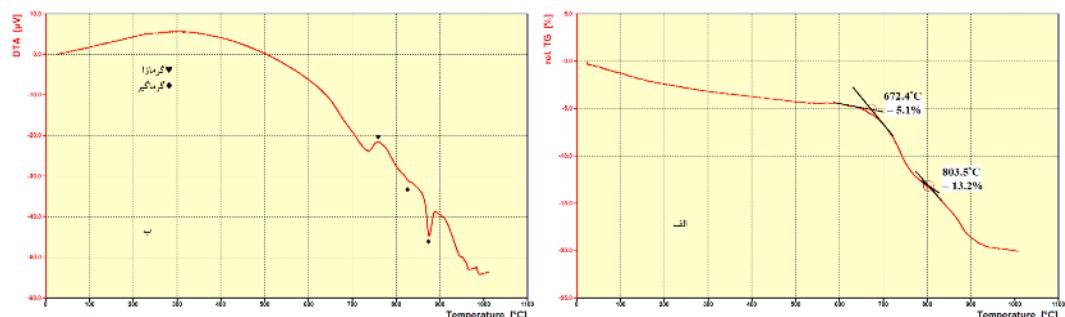
شکل ۴ تصویر SEM نانوذرات اکسید کادمیوم با دمای پخت 250°C .



شکل ۵ منحنی های الف DTA و ب TGA، نمونه خالص.



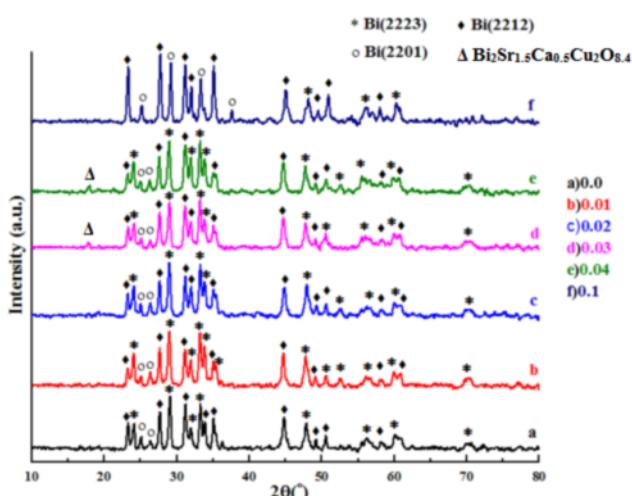
شکل ۶ منحنی های الف DTA و ب TGA، نمونه 3×0.03 .



شکل ۷ منحنی های الف DTA و ب TGA، نمونه 1×0.1 .

۰/۰۱ = x با زمان پخت ۲۷۰ ساعت بین نمونه‌ها بیشترین درصد فاز ابررسانایی با دمای گذار بالا یعنی Bi-۲۲۲۳ را دارد. ثابت شبکه نمونه‌های تهیه شده با زمان ۲۷۰ ساعت پخت با استفاده از شاخص‌های میلر محاسبه شد و نتایج آن در جدول ۴ درج شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش نانوذرات اکسید کادمیوم، ثابت شبکه ۰ تغییر قابل ملاحظه‌ای نکرده است. این نشان دهنده‌ی این موضوع است که کادمیوم با شعاع اتمی نزدیک به شعاع اتمی کلسیم جانشین کلسیم شده است؛ زیرا کادمیوم فاز جداگانه‌ای تشکیل نداده است.

شکل ۸، الگوی پراش نمونه‌های تولید شده با زمان پخت ۲۷۰ ساعت را نشان می‌دهد. در این شکل با استفاده از الگوهای تغییرات فازی با افزایش نانوذرات اکسید کادمیوم قابل بررسی است. با استفاده از الگوی پراش XRD نوع و درصد فازهای موجود در نمونه‌ها با زمان‌های پخت ۱۸۰، ۹۰ و ۲۷۰ ساعت تعیین و نتایج به ترتیب در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ آورده شده‌اند. بنابر جدول‌های یاد شده، جانشینی مقدار کمی از نانوذرات اکسید کادمیوم به جای کلسیم در ابررسانایی پایه بیسیوت باعث افزایش درصد فاز Bi-۲۲۲۳ در نمونه می‌شود که نمونه-



شکل ۸ الگوی پراش نمونه‌های تهیه شده با زمان پخت ۲۷۰ ساعت.

جدول ۱ درصد فازهای موجود در نمونه‌های با زمان پخت ۹۰ ساعت.

x	بدون آلایش	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱
Bi-۲۲۲۳	۳۳,۴۲	۵۰,۲۰	۴۷,۷۴	۴۲,۳۰	۵۶,۸۹	۵۸,۳
Bi-۲۲۱۲	۶۱,۶۳	۴۲,۷۸	۴۶,۰۲	۵۱,۷۰	۳۶,۱۵	۶۲,۹۴
Bi-۲۲۰۱	۴,۹۵	۷,۰۲	۶,۲۴	۶,۰۰	۶,۹۶	۳۱,۲۳

جدول ۲ درصد فازهای موجود در نمونه‌های با زمان پخت ۱۸۰ ساعت.

x	بدون آلایش	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱
Bi-۲۲۲۳	۳۹,۲۹	۵۲,۶۴	۵۷,۹۰	۴۷,۸۱	۵۶,۱۷	۷,۷۹
Bi-۲۲۱۲	۵۴,۵۰	۳۹,۲۵	۳۶,۲۱	۴۵,۰۶	۳۵,۹۸	۶۹,۹۸
Bi-۲۲۰۱	۶,۲۱	۸,۱۱	۵,۸۹	۷,۱۳	۷,۸۵	۲۲,۲۳

جدول ۳ درصد فازهای موجود در نمونه‌های با زمان پخت ۲۷۰ ساعت.

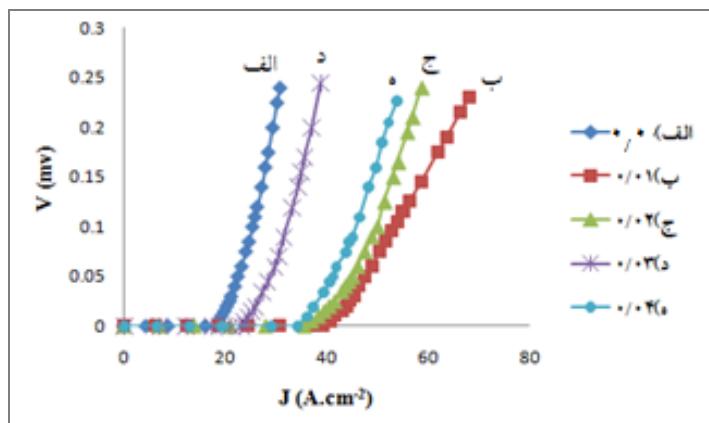
x	بدون آلایش	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱
Bi-۲۲۲۳	۴۰,۲۱	۶۳,۵۱	۵۳,۲۴	۴۸,۰۳	۵۶,۱۸	۸,۰۲
Bi-۲۲۱۲	۵۴,۶۷	۳۳,۴۸	۴۰,۴۴	۴۳,۸۳	۳۳,۱۰	۶۲,۵۲
Bi-۲۲۰۱	۵,۱۲	۴,۰۱	۶,۳۲	۶,۰۱	۶,۱۹	۲۹,۴۵
Bi ₂ Sr _{1.5} Ca _{0.5} Cu ₂ O _{8.4}	-	-	-	۳,۲۳	۴,۵۳	-

جدول ۴ ثابت‌های شبکه فاز Bi-۲۲۲۳ نمونه‌های تهیه شده با زمان پخت ۲۷۰ ساعت.

x	بدون آلاش	$0,01$	$0,02$	$0,03$	$0,04$	$0,1$
a	۵,۳۸	۵,۳۹	۵,۳۹	۵,۳۸	۵,۳۸	-
b	۵,۱۷	۵,۲۳	۵,۲۲	۵,۲۲	۵,۱۹	-
c	۳۷,۲۸	۳۷,۲۲	۳۷,۲۲	۳۷,۲۲	۳۷,۳۴	-

را نشان نداد و افت شدیدی در چگالی جریان بحرانی آن مشاهده شد. با افزایش مقدار ناچیزی از نانوذرات اکسید کادمیوم به نمونه خالص، چنانکه نتایج الگوی پراش نشان می‌دهند، درصد تشکیل فاز Bi-۲۲۲۳ بیشتر شده و چون این فاز دمای گذار بالایی دارد، بنابراین می‌تواند باعث بالا رفتن چگالی جریان بحرانی نمونه‌ها شود. با افزایش مقادیر نانوذرات اکسید کادمیوم $x \geq 0,02$ چگالی جریان بحرانی کاهش می‌یابد. این کاهش در چگالی جریان بحرانی می‌تواند بهعلت پیدایش فازهای ثانویه باشد که این فازها قادرند مرزدانه‌ها را به شکل پیوندهای ضعیفی درآورند و جفت شدگی بین دانه‌ای را کاهش دهند.

شکل ۹ نمودار چگالی جریان بحرانی نمونه‌ها با درصدهای متفاوت نانوذرات اکسید کادمیوم در زمان پخت ۲۷۰ ساعت را نشان می‌دهد. نتایج اندازه‌گیری چگالی جریان بحرانی و مقاومت ویژه در دمای اتاق نمونه‌ها، در جدول‌های ۶، ۷ و ۸ نشان می‌دهند که با جانشینی مقادیر ناچیزی از کادمیوم به جای Ca و با طولانی کردن فرآیند کلوخه‌سازی، چگالی جریان بحرانی نمونه‌ها نسبت به حالت خالص افزایش می‌یابد، که نمونه‌های با مقادیر $0,02$ و $0,01$ می‌باشند. اما با ساخت، بیشترین مقدار چگالی جریان بحرانی را دارند. اما با افزایش بیشتر مقدار نانوذرات اکسید کادمیوم، چگالی جریان بحرانی کاهش می‌یابد. به‌طوری که نمونه‌ی $x = 0,1$ اثر مایسner

شکل ۹ نمودار $J-V$ نمونه‌های تهیه شده با زمان پخت ۲۷۰ ساعت.

جدول ۵ مقادیر چگالی جریان بحرانی و مقاومت در دمای اتاق برای نمونه‌های تهیه شده با زمان پخت ۹۰ ساعت.

x	$0,0$	$0,01$	$0,02$	$0,03$	$0,04$	$0,1$
$Jc0(A.cm^{-2})$	۸,۸	۲۴,۴	۱۵,۵	۵,۵	۲۹,۰	-
$Jc(A.cm^{-2})$	۱۳,۸	۲۶,۵	۱۶,۷	۹,۵	۳۶,۹	-
$\rho(\Omega.cm)$	۰,۰۹	۰,۵۲	۰,۴۹	۰,۵۴	۲,۳۲	-

جدول ۶ مقادیر چگالی جریان بحرانی و مقاومت در دمای اتاق برای نمونه‌های تهیه شده با زمان پخت ۱۸۰ ساعت.

x	$0,0$	$0,01$	$0,02$	$0,03$	$0,04$	$0,1$
$Jc0(A.cm^{-2})$	۱۴,۰	۲۹,۲	۳۱,۰	۱۵,۷	۲۰,۴	-
$Jc(A.cm^{-2})$	۲۲,۹	۳۶,۵	۳۵,۹	۲۱,۰	۲۷,۵	-
$\rho(\Omega.cm)$	۰,۳۵	۰,۵۳	۰,۵۰	۰,۰۱	۰,۰۴۸	-

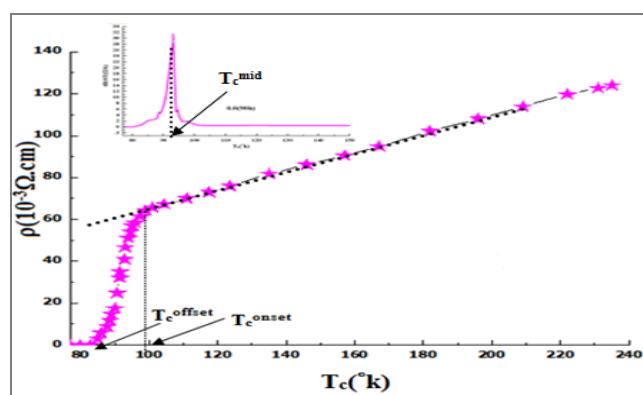
جدول ۷ مقادیر چگالی جریان بحرانی و مقاومت در دمای اتاق برای نمونه‌های تهیه شده با زمان پخت ۲۷۰ ساعت.

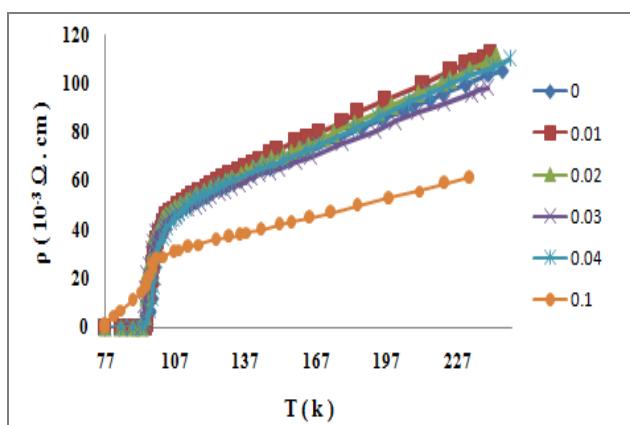
x	۰/۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱
$Jc0(A.cm^{-2})$	۱۸۰	۳۹۰	۳۵۰	۲۳۰	۲۴۰	-
$Jc(A.Cm^{-2})$	۲۵۰	۴۲۶	۴۱۹	۳۱۵	۳۹۶	-
$\rho(\Omega.cm)$	۰/۱۵	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۰۶۷	۰/۰۴۳	-

خلاص، احتمالاً به خاطر بالا بودن الکترونگاتیویته‌ی کادمیوم (۱۶۹) نسبت به کلسیم (۱) در سلول واحد و جذب اکسیژن بیشتر هم در مکان‌های بین دانه‌ای و هم درون دانه‌ای است، به طوری که تعداد غرفه‌ها روی صفحه‌ی CuO_2 به مقدار بهینه نزدیک‌تر و در نتیجه خصوصیات ابرسانایی دانه‌ها بهتر شده است (۲۲، ۲۱). همچنین افزایش دمای بحرانی می‌تواند به علت شکل‌گیری بیشتر فاز $Bi-2223$ و کاهش فازهای ناخالصی با دمای گذار پایین‌تر و در نتیجه جفت‌شدنی مناسب‌تر دانه‌ها باشد. پهنه‌ی گذار ($T_c(k)=T_c^{onset}-T_c^{offset}$) نمونه‌ها با افزایش مقدار نانوذرات اکسید کادمیوم بیشتر شده که این نشان از حضور فازهای ناخالصی در مرز دانه‌هاست که در ابتدا باعث بهبود ارتباط بین دانه‌ها می‌شود، اما با بالا رفتن مقدار نانوذرات اکسید کادمیوم، افزایش بیشتری در پهنه‌ی گذار مشاهده می‌شود که نشان از افزایش فازهایی با دمای گذار پایین‌تر و تضعیف ارتباط بین دانه‌ای است. بینش بیشتر با طرح مشتق منحنی‌های مقاومت ویژه نمونه‌ها به دست می‌آید. دمای گذار میانی نمونه‌ها که بیان کننده‌ی بیشینه‌ی مشتق منحنی‌های (T) ρ هست که برای زمان‌های پخت ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ برای تمام نمونه‌ها تقریباً یکسان است. این نتیجه با نتایج کارهای قبل که Mg جانشین Ca [۲۳] و Ba [۲۴] جانشین شده بود، قابل مقایسه است.

شکل ۱۰، نمودار ρ بر حسب T برای نمونه بدون آلایش با زمان پخت ۲۷۰ ساعت را نشان می‌دهد. در این شکل، منحنی مقاومت ویژه ρ بر حسب T شامل دو مرحله است. مرحله اول یک افت نسبتاً تیز در مقاومت (نشان دهنده گذار درون دانه‌ای) و مرحله‌ی دوم افت نسبتاً آرام (با جفت شدگی کامل دانه‌ها و ابرسانایی کامل همراه است)، را نشان می‌دهد که به ترتیب T_c^{onset} و T_c^{mid} مشخص می‌شود. با توجه به شکل ۹ دمای گذار میانی (T_c^{mid}) را می‌توان از بیشینه‌ی مشتق منحنی (T) ρ بر حسب T تعیین کرد.

شکل ۱۱، نمودار $\rho-T$ نمونه‌های تهیه شد با x های متفاوت و زمان پخت ۲۷۰ ساعت را نشان می‌دهد. نتایج اندازه‌گیری دمای بحرانی نمونه‌های دیگر، در جدول‌های ۸، ۹ و ۱۰ نشان داده شده‌اند. جز نمونه‌ی $x=0/1$ همه‌ی نمونه‌ها یک گذار به-حال است ابرسانایی را به مقاومت صفر بالای دمای K ۷۷ نشان می‌دهند. با افزایش مقدار نانوذرات اکسید کادمیوم، دمای بحرانی نسبت به حالت خالص به میزان کمی افزایش یافته است، که در مجموع نمونه‌ی $x=0/3$ با زمان پخت ۲۷۰ ساعت بیشترین دمای بحرانی را نشان می‌دهد. اما این تغییرات دمای بحرانی یک سیر صعودی دارد، اما این تغییرات با افزایش مقدار نانوذرات اکسید کادمیوم نوسان کمی دارد. افزایش جزئی دمای بحرانی نمونه‌ها نسبت به حالت

شکل ۱۰ نمودار $\rho-T$ نمونه‌ی بدون آلایش با زمان پخت ۲۷۰ ساعت.



شکل ۱۱ نمودار ρ -T برای نمونه‌های تهیه شده با زمان‌های مختلف و زمان پخت ۲۷۰ ساعت.

جدول ۸ مقادیر دمای بحرانی نمونه‌های تهیه شده با زمان پخت ۹۰ ساعت.

x	۰/۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱
$T_{conset}(K)$	۸۳	۸۷	۸۶	۸۷	۸۷	۸۷
$T_{coffset}(K)$	۱۰۰	۱۰۶	۱۱۳	۱۰۴	۱۰۶	۸۷
$T_{cmid}(K)$	۹۲	۹۳/۵	۹۶/۵	۹۲/۵	۹۳/۵	۸۷
$\Delta T_c(K)$	۱۷	۱۹	۲۷	۱۷	۱۹	۸۷

جدول ۹ مقادیر دمای بحرانی نمونه‌های تهیه شده با زمان پخت ۱۸۰ ساعت.

x	۰/۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱
$T_{conset}(K)$	۹۳/۹۹	۹۳/۹۹	۹۳	۹۳/۹۹	۹۳/۹۹	۸۷
$T_{coffset}(K)$	۱۱۰	۱۱۸/۹	۱۲۲/۶	۱۳۰	۱۲۴	۸۷
$T_{cmid}(K)$	۹۹	۱۰۳	۱۰۳/۴	۱۰۸/۹	۱۰۶	۸۷
$\Delta T_c(K)$	۱۶/۰۱	۲۴/۹۱	۲۹/۶	۲۶/۰۱	۳۰/۰۱	۸۷

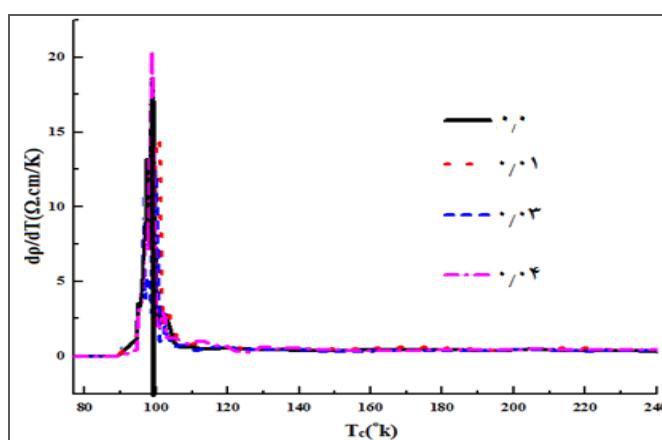
جدول ۱۰ مقادیر دمای بحرانی نمونه‌های تهیه شده با زمان پخت ۲۷۰ ساعت.

x	۰/۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱
$T_{conset}(K)$	۹۴/۵	۹۴/۵	۹۳	۹۳	۹۳	۸۷
$T_{coffset}(K)$	۱۲۹	۱۳۲/۵	۱۳۴/۶	۱۳۹	۱۲۷/۷	۸۷
$T_{cmid}(K)$	۹۹	۱۱۰/۶	۱۱۰	۱۱۳	۱۰۷	۸۷
$\Delta T_c(K)$	۳۴/۵	۳۹	۴۱/۶	۴۶	۳۴/۷	۸۷

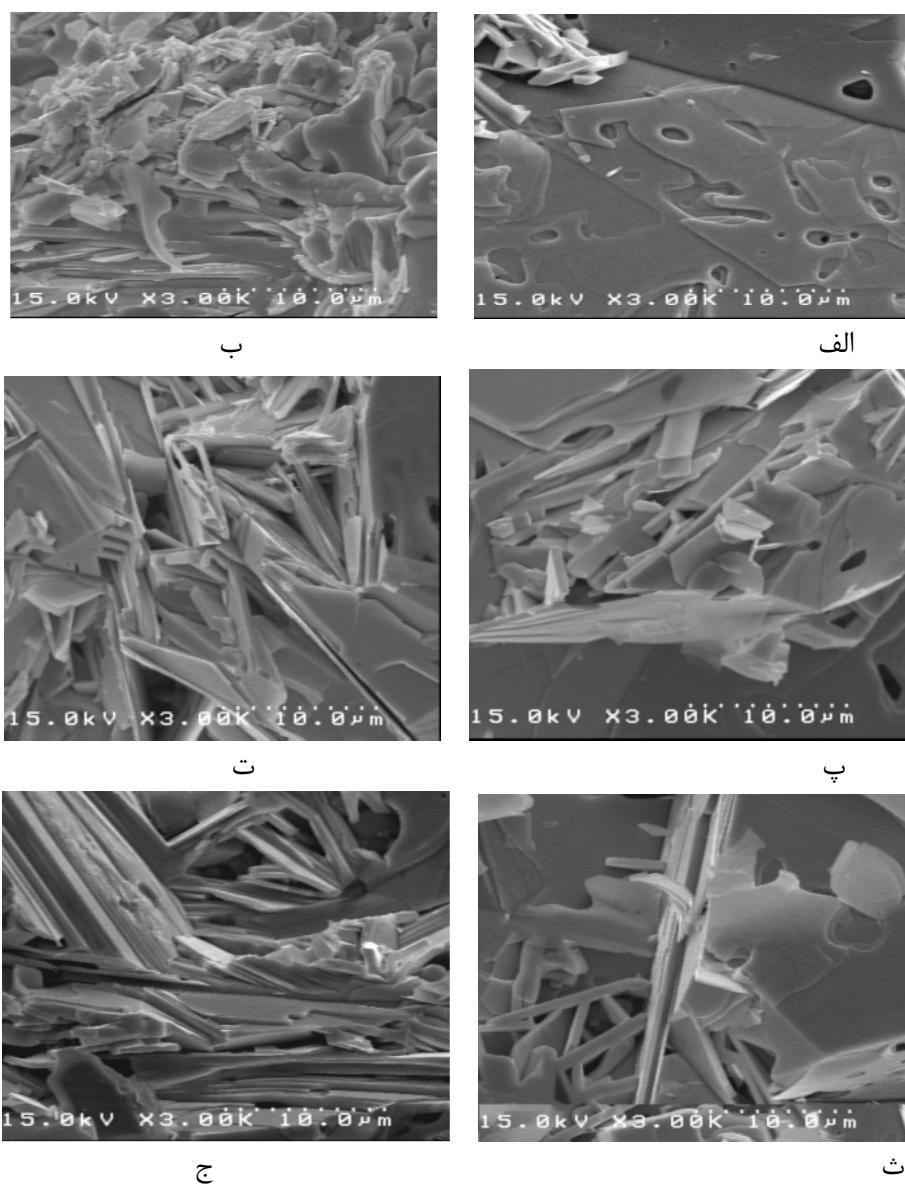
بلورک‌ها و دانه‌ها، چگونگی قرارگیری بلورک‌ها و دانه‌ها، تعیین ترکیب مواد، بررسی ماهیت پراکندگی مقایص در مواد، تهیه شکل‌های برجسته و به دست آوردن اطلاعات بلورنگاری دارد. بنابر شکل ۱۲، مقدار $x = ۰/۰۱$ از کادمیوم باعث شد که دانه‌ها به شکل صفحه درآمده و چگالی جریان بحرانی افزایش یابد. مقادیر بالاتر از $x = ۰/۰۱$ درصد منجر به تشکیل تخلخل‌ها در نمونه می‌شوند. البته در نمونه $x = ۰/۰۴$ نیز این تخلخل کمتر می‌شود و باز در نمونه $x = ۰/۱$ درصد از کادمیوم این تخلخل‌ها بیشتر مشخص شده و باعث تخریب شارش جریان می‌شود و در نتیجه منجر به کاهش چگالی جریان بحرانی می‌شود.

شکل ۱۲، نمودار $d\rho/dT$ بر حسب T برای نمونه‌های آلایش داده شده با زمان پخت ۲۷۰ ساعت را نشان می‌دهد با توجه به این شکل دمای گذار میانی (T_c^{mid}) را می‌توان از بیشینه‌ی مشتق منحنی (ρ) بر حسب T تعیین نمود.

شکل ۱۳، تصاویر SEM نمونه‌های تهیه شده با زمان پخت ۲۷۰ ساعت، (الف) خالص، (ب) $x = ۰/۰۱$ ، (پ) $x = ۰/۰۲$ ، (ت) $x = ۰/۰۴$ و (ج) $x = ۰/۱$ درصد کادمیوم را نشان می‌دهد. این تصاویر برای بررسی ساختارهای سطحی یا نزدیک به سطح مورد استفاده قرار می‌گیرند. میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی کاربردهای مختلفی از جمله: تهیه‌ی تصاویر توپوگرافی از سطح نمونه، بررسی شکل بلورک‌ها، دانه‌ها و سلول‌ها، اندازه‌ی



شکل ۱۲ نمودار $d\rho/dT$ برای نمونه‌های تهیه شد با زمان پخت ۲۷۰ ساعت.



شکل ۱۳ تصاویر SEM نمونه‌های تهیه شده با زمان ۲۷۰ ساعت، (الف) خالص، (ب) ۰.۰۱، (پ) ۰.۰۲، (ت) ۰.۰۳، (ج) ۰.۰۴، (ث) ۰.۰۵ درصد کادمیوم.

که کلسیم نقش مهمی را در خواص ابرساناهای حاوی بیسموت دارد.

مراجع

- [1] Muller K. A., Bednorz J. G., "Possible high T_c superconductivity in the Ba-La-Cu-O system", Z. Phys. B, 64, 189 (1986).
- [2] Wu M. K., Ashbarn J. R., Tormg C. J., Hor P. H., Meng P. L., Gao L., Hung Z. J., Wang Y. O., Chu C. W., "Superconductivity at 93 K in a new mixed- phase Y-Ba-Cu-O compound system at ambient pressure", Phys. Rev. Lett., 58 908 (1986).
- [3] Scholtz J. J., et al, "Pressure Dependence of T_c and H_{c2} of CaLaBaCu₃O₇ up to 50 Gpa", Physica C, 198 (1992) 231-236.
- [4] Tavana A., Akhavan M., "How T_c can go above 100 K in the YBCO family", Eur. Phys. J. B (2009).
- [5] Aliabadi A., Akhavan Y., Akhavan M., "A New Y-Based HTSC with T_c above 100 K", Physica C 469,(2009) 2012-2014.
- [6] Michel C., Herrieu M., Borel M. M., Grandin A., Deslandes F., Provost J., Baveau B., "Superconductivity in the Bi-Sr-Cu-O system", Z. Phys. B 68, 421 (1987).
- [7]] Sastry P. V. P. S. S., Gopalakrishnan I. K., Sequeira A., Rajagopal H., Gangadharan K., Phatak G. M., Iyer R. M., "On the preparation and structure of the 81 K single phase superconductor in the Bi-Ca-Sr-Cu-O", Physica C 156, 230 (1988).
- [8] Sotelo A., Szillat H., Majewski P., Aldinger F., "Rapid synthesis of the Bi-2212 phase by a polymer matrix method", Supercond. Sci. Technol. 10, 717 (1997).
- [9] Yurchenko I. A., Alekseev A. F., Yurchenko D. O., Badica P., Gridasova T. Ya., Morozov V. V., Nemirovsky A. V., Peklun V. F., "Intensification of synthesis and examination of technological parameters influence on the properties and structure of Bi-(Pb)-Sr-Ca-Cu-O ceramics", Physica C 348, 111 (2003).
- [10] Tanaka K., Nozue A., Kamiya K., "Preparation of (Bi, Pb)-Sr-Ca-Cu-O superconductor by the sol-gel method", J. Mater. Sci. 25, 3552 (1990).

نتایج به دست آمده از این مقاله با نتایج کارهای گذشته سازگارند [۲۶، ۲۵]، با این تفاوت که کارهای قبلی از توده‌ی اکسید کادمیوم استفاده شده ولی در این مقاله از نانوذرات اکسید کادمیوم، خواص ابرسانایی بهبود یافت. چون نانوذرات اکسید کادمیوم قدرت بیشتر برای پخش شدن در نمونه را نسبت به حالت توده دارد، لذا درصد پایین‌تری از نانوذرات باعث بهبود خواص ابرسانایی می‌شود.

برداشت

آنالیز گرمایی نشان داد که نانوذرات اکسید کادمیوم در حدود ۳۰۰°C تا ۲۰۰°C تجزیه می‌شوند. منحنی‌های TG-DTA نشان می‌دهند که دمای پخت پایین (۸۲۵°C) برای تهیه ابرسانایی پایه‌ی بیسموت، موجب کاهش دمای بحرانی می‌شود؛ در صورتی که دمای بالاتر (۸۴۵°C) موجب افزایش فاز ابرسانایی شده است. درصد حجمی فاز Bi-2223 در نمونه با مقدار $x = 0.01$ نانوذرات اکسید کادمیوم در مقایسه با نمونه‌های دیگر بیشتر است. با افزایش درصد حجمی فاز Bi-2223 درصد حجمی فازهای ناخواسته دیگر مانند Bi-2212 و Bi-2201 در نمونه کاهش می‌یابد. فازهای Bi-2212 و Bi-2201 در مرز دانه‌ها مانند پیوندگاه‌های ضعیف عمل می‌کنند، لذا باعث کاهش چگالی جریان بحرانی می‌شوند. بیشترین چگالی جریان بحرانی به نمونه‌ی با مقدار $x = 0.01$ نانوذرات اکسید کادمیوم با زمان پخت ۲۷۰ ساعت داشته است، در صورتی که برای نمونه‌های با درصد بیشتر از $x = 0.01$ نانوذرات اکسید کادمیوم، چگالی جریان بحرانی کاهش می‌یابد. هم‌چنین چگالی جریان بحرانی نمونه‌ها با افزایش زمان پخت نیز افزایش می‌یابد. با جانشینی کادمیوم به جای کلسیم، دمای بحرانی نسبت به نمونه‌ی خالص افزایش می‌یابد. اما تغییرات قابل ملاحظه‌ای ندارد. علت این افزایش به خاطر آن است که درصد حجمی فاز Bi-2223 با دمای گذار بالا نسبت به فازهای Bi-2201 و Bi-2212 افزایش یافته است و دمای بحرانی تمام نمونه‌ها با افزایش زمان پخت افزایش می‌یابد. هر چه مقدار کادمیوم افزایش و کلیسم کاهش یابد، خواص ابرسانایی نمونه‌ها افت می‌یابند. این افت خواص، نشان دهنده آن است

- [19] Sasakura H., Tagaya K., Akagi Y., Oka T., Tsukui S., Adachi M., Oshima R., "Effect of Cd Substitution for Bi on Superconductivity of the Bi-2201 Phase in the Bi La Ca Cu O System", Journal of Superconductivity: Incorporating Novel Magnetism, 14, 581 (2001).
- [20] Zargar Shoushtari M., Mousavi Ghahfarokhi S. E., Farbod M., "The effect of Cd doping on Bi-based superconductor", Journal of Applied Sciences 8 (14): 2613-2618 (2008).
- [21] Hamadneh I., Agil A., Yahya A.K., Halim S.A., "Superconducting properties of bulk $Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr_2Ca_{2-x}Cd_xCu_3O_{10}$ system prepared via conventional solid state and coprecipitation methods", Physica C 463 207 (2007).
- [22] Gabbott P., "Principles and Applications of Thermal Analysis", by Blackwell Publishing Ltd (2008).
- [23] Kameli P., Salamati H., Abdolhosseini I., Sohrabi D., "Thermally activated flux creep in the $Bi_{1.66}Pb_{0.34}Sr_2Ca_{2-x}Mg_xCu_3O_y$ superconductors" Physica C. 468, 137–141 (2008).
- [۲۴] سلامتی ه، مرشدلو ت، کاملی پ، باقی م، احمدلو ح، عبدالحسینی ا، سهرابی د، "اثر جانشینی Ba در جایگاه Sr در برازش آبی دمای بالا Bi-۲۲۲۳، مجله پژوهش فیزیک ایران، ابررسانایی دمایی تابستان ۱۳۸۹، جلد ۱۰، صفحه ۱۳۸۹
- [25] Mousavi Ghahfarokhi S. E., Zargar Shoushtari M., "Structural and physical properties of Cd-doped $Bi_{1.64}Pb_{0.36}Sr_2Ca_{2-x}Cd_xCu_3O_y$ superconductor", Physica B. 405, 4643–4649 (2010).
- [26] Hamadneh I., Agil A., Yahya A. K., Halim S. A., "Superconducting properties of bulk $Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr_2Ca_{2-x}Cd_xCu_3O_{10}$ system prepared via conventional solid state and coprecipitation methods", Physica C. 463–465, 207–210 (2007)
- [11] Thangaraj K., Iyer A. N., Zhang L., Salama K., "Heat treatment study on Bi-2212/Ag tapes fabricated using a powder-in-tube technique", Supercond. Sci. Technol. 13, 1035 (2000).
- [12] Ghattas A., Annabi M., Zouaoui M., Ben Azzouz F., Ben Salem M., "Flux pinning by Al-based nano particles embedded in polycrystalline (Bi,Pb)-2223 superconductors", Physica C 468, 31 (2008).
- [13] Giannini E., Gladyshevskii R., Clayton N., Musolino N., Garnier V., Piriou A., Flükiger R., "Growth, structure and physical properties of single crystals of pure and Pb-doped Bi-based high T_c superconductors", Current Applied Physics 8, 115 (2008).
- [14] Xie P., Qub T.-M., Song P., Gu C., Huang K.-T., Han Z., Zeng P., "Fabrication and characterization of Ni-clad Bi-2223/Ag superconducting tapes", Physica C 471, 1103 (2011).
- [15] Shi F., Rong T. S., Zhou S. Z., Wu X. F., Du J., Shi Z. H., Cui C. G., Jin R. Y., Zhang J. L., Ran Q. Z., Shi N. C., "Preparation process crystal structure and physical properties of the 110 K single phase Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O superconductor", Phys. Rev. B 41, 6541 (1990).
- [16] Zargar Shoushtari M., Kashian M. R., Yazdani H., "Study on the properties of $Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr_2Ca_2Cu_{2+x}O_y$ superconductors", Physica B 321, 305 (2002).
- [۱۷] زرگر شوشتاری م، موسوی قهفرخی س. ا، کلانتر هرمزی در، "ساخت و بررسی نانوذرات Au بر چگالی جریان بحرانی و ریز ساختار ابررسانایی $Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr_2Ca_2Cu_3O_y$ ، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، سال بیستم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۱، از صفحه ۱۸۷ تا ۱۹۶.
- [۱۸] موسوی قهفرخی س. ا، زرگر شوشتاری م، "ساخت و بررسی تأثیر نانوذرات Sb_2O_3 بر ابررسانایی $Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr_2Ca_2Cu_3O_y$ ، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، سال هجدهم، شماره ۲ تابستان ۱۳۸۹، از صفحه ۲۸۷ تا ۳۰۰.