

بررسی ابررسانای $Bi - 2223$ آلاییده با نانوذرات CdO

سیدابراهیم موسوی قهفرخی*، مرتضی زرگرشوشتری، ناهید حسین زاده

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 سولفات کادمیوم هشت آبه به وسیله‌ی آب اکسیژنه ساخته شد و پس از آن آلایش نانوذرات اکسیدکادمیوم با مقادیر ۰/۱ و ۰/۰۴، ۰/۰۳، ۰/۰۲، ۰/۰۱، ۰/۰، $x =$ در ترکیب ابررسانای $Bi_{1.64}Pb_{0.36}Sr_2Ca_{2-x}Cd_xCu_3O_y$ به روش حالت جامد صورت گرفته است. خواص ساختاری، ریزساختار، ریخت‌شناسی و دمای واکنش نمونه‌ها به وسیله XRD، SEM 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، به‌طوری‌که بیشترین چگالی جریان بحرانی به نمونه‌ی با مقدار $x = 0.01$ با زمان پخت ۲۷۰ ساعت وابسته است. بررسی تغییرات دمای گذار در نمونه‌های آلایش داده شده 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: $Bi_{1.64}Pb_{0.36}Sr_2Ca_{2-x}Cd_xCu_3O_y$ نانوذرات اکسیدکادمیوم؛ ابررسانایی؛ چگالی جریان بحرانی؛ دمای بحرانی.

مقدمه

است، این خانواده هم‌چنان مورد توجه پژوهندگان است [۳-۵]. ترکیب ابررسانای اکسیدی مس در بیسموت‌دارها؛ ابتدا در سیستم $Bi - M - Cu - O$ که در آن M یک فلز قلیایی خاکی نظیر Sr یا Ba است در سال ۱۹۸۷ توسط گروه میشل کشف شد [۶]. دمای گذار این ترکیب در حدود 20 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 85 K به دست آوردند [۷، ۸]. به دو دهه پس از کشف ابررسانایی بر پایه‌ی Bi، کارهای زیادی برای بهبود خواص ابررسانایی این دسته از مواد ابررساناها انجام شد. روش‌های گوناگونی برای ساخت این نوع ابررساناهای

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 اتاق از مهم‌ترین اهداف دانشمندانند. در سال ۱۹۸۶ بدنورز و مولر متوجه‌ی ابررسانایی در ترکیب $La_{2-x}Ba_xCuO_4$ شدند [۱]. اندکی بعد ترکیب $(YBCO)YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ یا Y_{123} با دمای گذار $T_c = 92\text{ K}$ کشف شد [۲]. از زمان کشف ابررسانای با دمای بالا در خانواده بیسموت‌ها در سال ۱۹۸۸، پژوهش‌های گسترده‌ای برای بهبود خواص ابررسانایی آن انجام شده است. در سال‌های بعد، ترکیبات دیگری از خانواده‌ی ایتريم کشف شدند و چون این ابررساناها، 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، نمابر: ۰۶۱۱)۳۳۳۱۰۴۰، پست الکترونیکی: musavi_ebrahim@yahoo.co.uk

پایه Bi انجام شده که به عنوان مثال می توان روش حالت جامد [۹]، روش سل-ژل [۱۰] و روش پودر-داخل لوله [۱۱] را نام برد. هرچند عواملی مختلفی به طور گسترده برای بهبود خواص ابررسانایی وجود دارد، ولی یکی از این عوامل اثر جانشینی عناصر در این ساختار است [۱۲-۱۴]. بررسی ها 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 $Bi_{2-2x}Pb_x$ می شود، لذا در سال ۱۹۸۸ سان شاینو تاکنون با وارد کردن سرب در ابررسانای پایه Bi، توانستند تشکیل فاز T_c بالای سیستم Bi را تسریع بخشند [۱۵]. چون ابررساناهای دمای بالا، سرامیکی هستند به علت داشتن سرشت بین دانه ای و پیوندگهای ضعیف بین دانه ای از چگالی جریان بحرانی کمی برخوردار است. یکی از روش ها برای بهبود پیوندگهای بین دانه ای، آلاییدن این مواد به مواد دیگر است [۱۶-۱۸]. به علت نزدیک بودن شعاع یونی و ظرفیت کادمیوم به کلسیم، تصمیم گرفته شد تا تأثیر جانشینی یون کادمیوم به جای کلسیم در ابررسانای پایه بیسموت مورد بررسی قرار گیرد. از آن جا که تاکنون کارهای انجام شده روی اثر جانشینی توده ای اکسید کادمیوم بر ابررسانای پایه بیسموت گزارش شده است [۱۹-۲۱]، لذا در این مقاله پس از تهیه ی نانوذرات اکسید کادمیوم، اثر این نانوذرات با مقادیر مختلف بر ابررسانای پایه بیسموت مورد بررسی قرار گرفت. با روش استاندارد چهار میله ای، چگالی جریان بحرانی و دمای بحرانی و نیز ریزساختار به وسیله ی دستگاه XRD با PW1840 ساخت شرکت فیلیپس با آند مسی و نیز تصاویر SEM برای بررسی ریزساختار ابررسانای $Bi_{1.64}Pb_{0.36}Sr_2Ca_{2-x}Cd_xCu_3O_y$ به وسیله SEM مدل S-۴۱۶۰ ساخت شرکت هیتاچی، تصاویری از سطح نمونه ها تهیه شدند.

شرح آزمایش و اندازه گیری ها

در این پژوهش مقداری سولفات کادمیوم هشت آبه $(3CdSO_4 \cdot 8H_2O)$ با ۴۰ 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 $PH = 8$ شده و سپس محلول از صافی عبور داده شد و رسوب زرد روشن به جا مانده را با آب یون زدائی شده شستشو داده شد. رسوب زرد رنگ به دست آمده، نانوذرات CdO_2 بود که در دمای $80^\circ C$ در معرض هوا خشک شد. سپس به

نانوذرات CdO_2 را در دماهای متفاوت $(250, 300, 350^\circ C)$ با زمان های متفاوت $(30 و 60 دقیقه)$ گرما داده شد. با گرما دادن، CdO_2 اکسیژن اضافه حذف و نانوذرات اکسید کادمیوم (CdO) تهیه شدند. لذا با توجه به این که اندازه ی نانوذرات در $30^\circ C$ دقیقه و در دمای پخت $250^\circ C$ دارای کمترین اندازه یعنی در حدود $16 nm$ بود، بنابراین در این مقاله از این نوع نانوذرات اکسید کادمیوم استفاده شد. برای تهیه ی ترکیب $Bi_{1.64}Pb_{0.36}Sr_2Ca_{2-x}Cd_xCu_3O_y$ از مواد اولیه شامل اکسید بیسموت (Bi_2O_3) ، اکسید سرب (PbO) ، کربنات استرانسیم $(SrCO_3)$ ، کربنات کلسیم $(CaCO_3)$ ، اکسید مس (CuO) با درجه ی خلوص حدود 99.99% و نانوذرات اکسید کادمیوم (CdO) ، تهیه شده به روش شیمیایی با اندازه حدود $16 nm$ ، استفاده شد. پودرهای اولیه، با ترازویی با دقت $10^{-4} gr$ وزن شدند. پس از توزین مواد اولیه، آن ها را در یک هاون چینی ریخته، با اسپاتول به خوبی مخلوط کرده، سپس با اضافه کردن مقدار کمی اتانول به مدت یک ساعت به آسیاب آن ها پرداخته شد. پس از آسیاب کردن، برای جلوگیری از تشکیل فازهای اضافی در طول فرایند و خروج گاز CO_2 ، عمل تکلیس در دمای $820^\circ C$ به مدت ۱۵ ساعت انجام گرفت. در این مرحله، پودرهای تکلیس شده، دوباره به مدت ۱ ساعت آسیاب شدند؛ و سپس پودرهای یکنواخت حاصل از آسیاب درون قالب های مکعب مستطیل شکلی ریخته شدند و به مدت ۵ دقیقه در فشار 540 مگا پاسکال پرس شدند و به شکل میله هایی به ابعاد $2.7 \times 4 \times 20 mm$ درآمدند. پرس کردن پودرها علاوه بر این-که بررسی هایی نظیر خواص الکتریکی، مغناطیسی و به دست آوردن تصاویر میکروسکوپی را آسان می کند، باعث تشکیل بهتر ترکیب مورد نظر هنگام ذوب جزئی، به علت نزدیک شدن مولکول ها و تشکیل دانه ها می شود. پس از پرس و شکل دهی، نمونه ها درون کوره برای عمل کلوخه سازی قرار گرفتند. انتخاب دمای پخت از اهمیت ویژه ای برخوردار است و معمولاً دمای پخت کمتر از دمای ذوب کامل مواد اولیه انتخاب می شود. برای تهیه ی ابررسانای $Bi_{1.64}Pb_{0.36}Sr_2Ca_{2-x}Cd_xCu_3O_y$ با مقادیر $x = 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ از هر نمونه میله ای آماده شد و در دمای $845^\circ C$ با زمان های متفاوتی $(90, 180 و 270 ساعت)$ برای پخت به طور جداگانه، درون کوره قرار گرفتند. دمای بحرانی و چگالی جریان بحرانی از روش چهار میله ای استفاده شد. نخست به وسیله منبع تغذیه، جریان

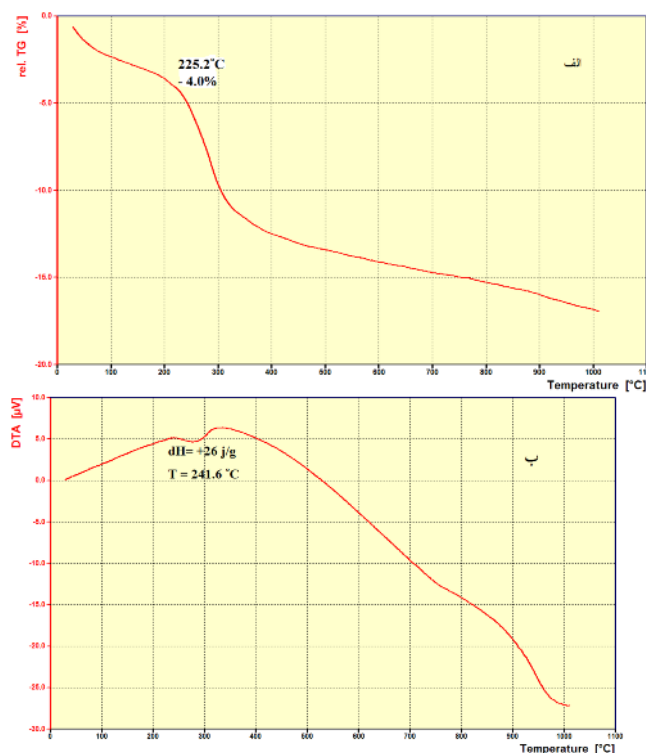
شدید دیده می‌شود که شروع ذوب نانوذرات CdO آغاز می‌شود، ولی این افت با یک شیب ملایم تا دمای 900°C ادامه دارد. این ذوب‌شدگی را می‌توان در منحنی DTA با ظهور یک قله‌ی گرماگیر در گستره‌ی دمایی 200°C تا 300°C مشاهده کرد. از روی این منحنی می‌توان تشخیص داد که شروع دمای ذوب نانوذرات اکسید کادمیوم تقریباً حدود 241°C است. این نتیجه نشان می‌دهد که شروع دمای ذوب نانوذرات اکسید کادمیوم نسبت به حالت توده‌ی آن ($900 - 1000^\circ\text{C}$)، 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 $\text{\AA}$ $a = 5/304$ 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 آن‌هاست و میانگین اندازه‌ی ذرات CdO_2 تقریباً برابر با 100 nm است.

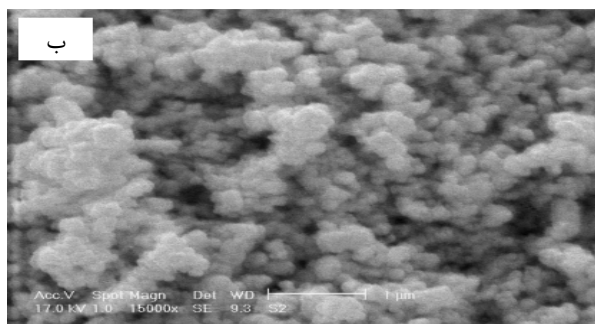
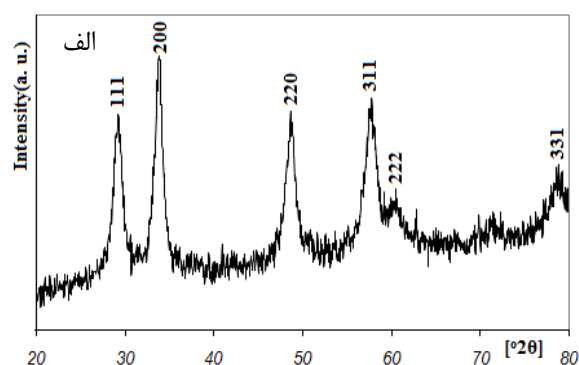
مستقیم از دو اتصال انتهایی به نمونه اعمال شده و ولتاژ از دو اتصال وسطی اندازه‌گیری شد. با تغییر جریان، منحنی‌های $V-I$ برای هر کدام از نمونه‌ها رسم و با داشتن سطح مقطع آن‌ها، چگالی جریان بحرانی برای هر نمونه به دست آمد. از نمونه‌های ساخته شده، آنالیز گرمایی هم‌زمان TGA-DTA، الگوهای پراش و تصاویر SEM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

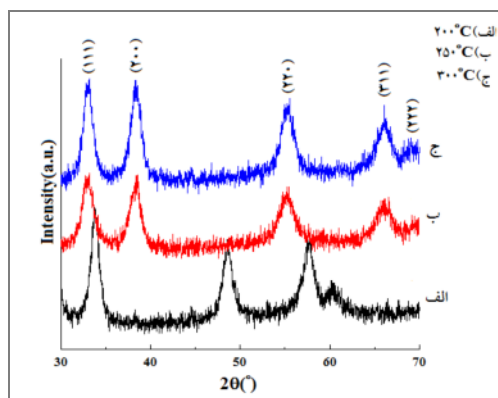


شکل ۲ الف) الگوی پراش و ب) تصویر SEM نانوذرات CdO_2

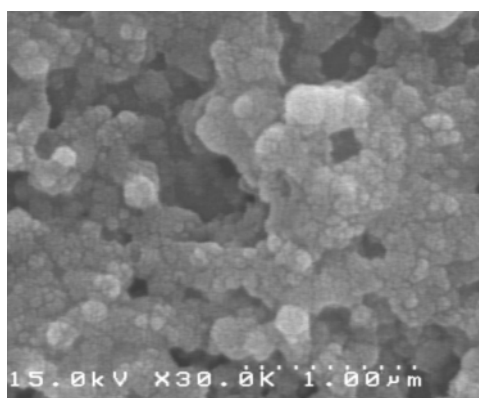
در شکل‌های ۵ تا ۷ منحنی‌های TGA و DTA بعضی از نمونه‌های ابرسانای تهیه شده را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها برهم‌کنش‌های اصلی بین دمای 700°C تا 900°C رخ می‌دهند. اولین قله‌ای که در منحنی همه نمونه‌ها قابل مشاهده است، یک قله گرمازاست، که به فرآیند بلوری شدن وابسته است، و با افزایش مقدار CdO ، شدت این قله بیشتر شده است، افزایش شدت این قله گرمازا احتمالاً به علت تشکیل فازهای Bi-2212 و Bi-2201 طی فرآیند است، که این نتیجه با نتایج الگوی پراش همخوانی دارد. دو قله‌ی گرماگیر در منحنی DTA نمونه‌ها مشاهده می‌شوند که اولین قله‌ی گرماگیر مربوط به دمای پخت نمونه است. از این رو، این قله به ذوب‌شدگی جزئی پودرها وابسته است. به علاوه، این قله نشان می‌دهد که دمای پخت نمونه‌ها فقط کمی پایین‌تر از دمای ذوب‌شدگی جزئی قرار می‌گیرد. دومین قله‌ی گرماگیر را می‌توان به تجزیه‌ی فاز Bi-2212 و حضور فاز مایع نسبت داد، که شدتش برای نمونه $X = 0.3$ 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 تهیه‌ی نمونه‌ها همخوانی دارد.

شکل ۳ الگوی پراش نانوذرات CdO تهیه شده در نیم ساعت در دماهای پخت، الف) 200°C ، ب) 250°C و ج) 300°C را نشان می‌دهد. از الگوی پراش شکل ۳ مشاهده می‌شود که در دمای 200°C و زمان ۳۰ دقیقه، هنوز ساختار CdO به‌طور کامل تشکیل نشده و با هیچ کارت استاندارد همخوانی کامل ندارد. اما چنانکه شکل ۳ نشان می‌دهد، ساختار CdO در دماهای 250°C و 300°C بدون هیچ‌گونه ناخالصی تشکیل شده و با کارت استاندارد JCPDS به شماره (۰۵-۰۶۴۰) همخوانی دارند. از روی الگوی پراش نمونه‌ها و با استفاده از معادله‌ی دبی‌شرر، اندازه‌های نانو بلورک‌ها محاسبه شدند. اندازه نانو بلورک‌ها نشان می‌دهد که نمونه‌ی تهیه شده در دمای 250°C کوچکترین اندازه نانو بلورک‌ها را دارد (۳ nm). دماهای بالاتر باعث رشد بیشتر ذرات و افزایش اندازه‌ی آن‌ها می‌شود. به طوری که اندازه‌ی نانو بلورک‌ها در دمای 300°C (۵ nm) بزرگ‌تر شده است.

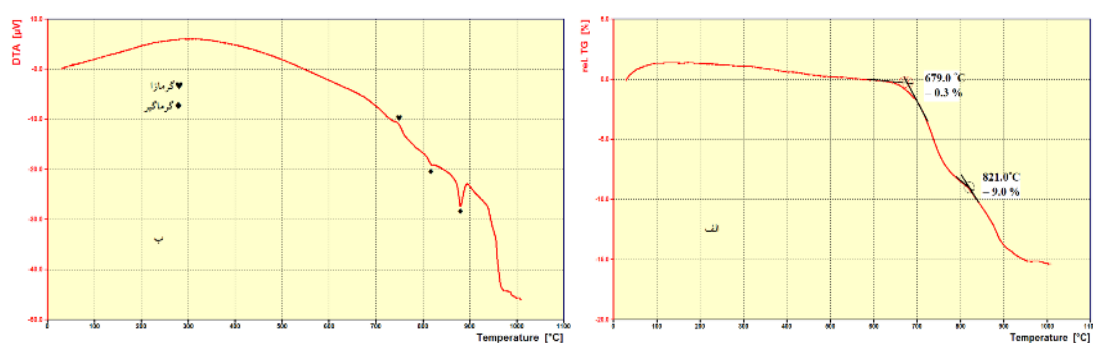
شکل ۴، تصویر SEM نانوذرات ساخته شده را نشان می‌دهد. میانگین اندازه‌ی ذرات با استفاده از نرم افزار measurement اندازه‌گیری و اندازه‌ی نانوذرات اکسید کادمیوم در حدود ۱۶ nm است.



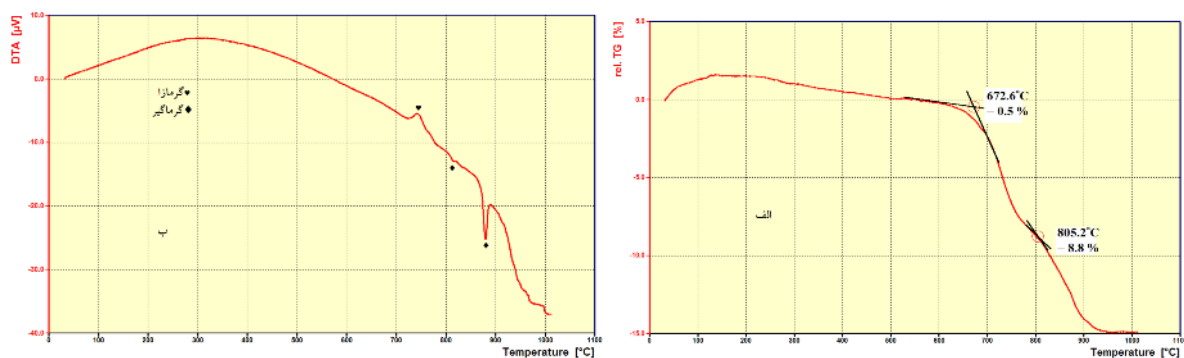
شکل ۳ الگوی پراش نانوذرات CdO تهیه شده در نیم ساعت پخت، الف) 200°C ، ب) 250°C و ج) 300°C .



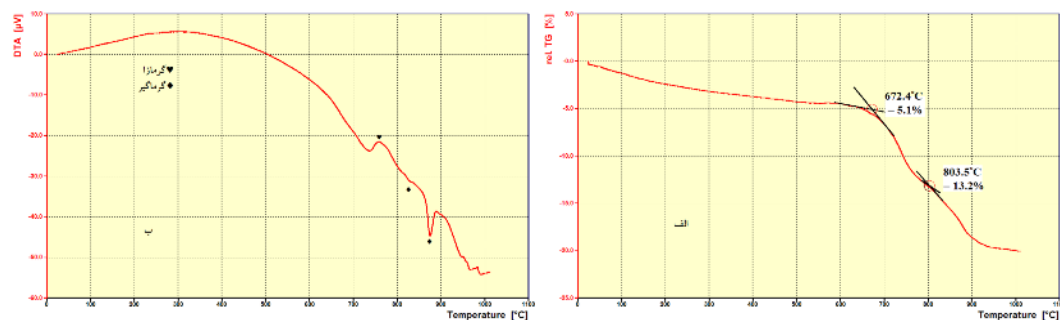
شکل ۴ تصویر SEM نانوذرات اکسید کادمیوم با دمای پخت 250°C .



شکل ۵ منحنی‌های الف TGA و ب DTA، نمونه خالص.



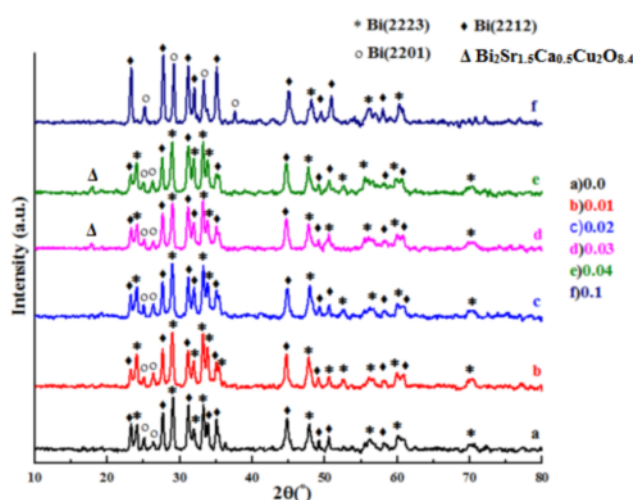
شکل ۶ منحنی‌های الف TGA و ب DTA، نمونه $x = 0.3$.



شکل ۷ منحنی‌های الف TGA و ب DTA، نمونه $x = 0.1$.

ی $x = 0.1$ با زمان پخت ۲۷۰ ساعت بین نمونه‌ها بیشترین درصد فاز ابرسانایی 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 c 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 الگوها، 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 ۹۰، ۱۸۰ 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 ابرسانایی پایه بیسموت 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 آلیش	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱
Bi-۲۲۲۳	۳۳/۴۲	۵۰/۲۰	۴۷/۷۴	۴۲/۳۰	۵۶/۸۹	۵/۸۳
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 آلیش	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.

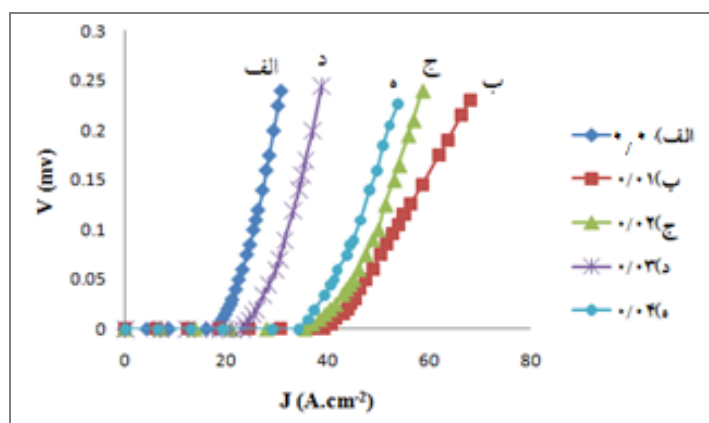
x	بدون آلیش	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱
Bi-۲۲۲۳	۴۰/۲۱	۶۳/۵۱	۵۳/۲۴	۴۸/۰۳	۵۶/۱۸	۸/۰۲
Bi-۲۲۱۲	۵۴/۶۷	۳۳/۴۸	۴۰/۴۴	۴۳/۸۳	۳۳/۱۰	۶۲/۵۳
Bi-۲۲۰۱	۵/۱۲	۴/۰۱	۶/۳۲	۶/۰۱	۶/۱۹	۲۹/۴۵
Bi2Sr1.5Ca0.5Cu2O8.4	-	-	-	۳/۲۳	۴/۵۳	-

جدول ۴ ثابت‌های شبکه فاز $\text{Bi}-2223$ نمونه‌های تهیه شده با زمان پخت ۲۷۰ ساعت.

x	بدون آلیش	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱
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	۳۷,۳۲	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 نمونه‌ی خالص، چنانکه نتایج الگوی پراش نشان می‌دهند، درصد تشکیل فاز $\text{Bi}-2223$ بیشتر شده و چون این فاز دمای گذار بالایی دارد، بنابراین می‌تواند باعث بالا رفتن چگالی جریان بحرانی نمونه‌ها شود. با افزایش بیشتر مقادیر نانوذرات اکسید کادمیوم $x \geq 0.02$ چگالی جریان بحرانی کاهش می‌یابد. این کاهش در چگالی جریان بحرانی می‌تواند به علت پیدایش فازهای ثانویه باشد که این فازها قادرند مرزانه‌ها 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 ۵، ۶ و ۷ 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 $x = 0.01$ و $x = 0.02$ و زمان پخت ۲۷۰ ساعت، 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 مایسنر

شکل ۹ نمودار V - J نمونه‌های تهیه شد 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	۰/۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱
$J_{c0}(A.cm-2)$	۸,۸	۲۴,۴	۱۵,۵	۵,۵	۲۹,۰	-
$J_c(A.cm-2)$	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	۰/۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱
$J_{c0}(A.cm-2)$	۱۴,۰	۲۹,۲	۳۱,۰	۱۵,۷	۲۰,۴	-
$J_c(A.cm-2)$	۲۲,۹	۳۶,۵	۳۵,۹	۲۱,۰	۲۷,۵	-
$\rho(\Omega.cm)$	۰/۳۵	۰/۵۳	۰/۵۰	۰/۰۱	۰/۰۴۸	-

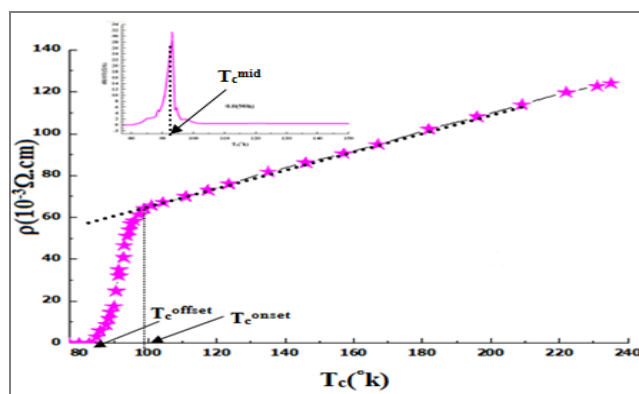
جدول ۷ مقادیر چگالی جریان بحرانی و مقاومت در دمای اتاق برای نمونه‌های تهیه شده با زمان پخت ۲۷۰ ساعت.

x	۰/۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱
$Jc0(A.cm-2)$	۱۸,۰	۳۹,۰	۳۵,۰	۲۳,۰	۳۴,۰	-
$Jc(A.cm-2)$	۲۵,۰	۴۲,۶	۴۱,۹	۳۱,۵	۳۹,۶	-
$\rho(\Omega.cm)$	۰/۱۵	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۰۶۷	۰/۰۴۳	-

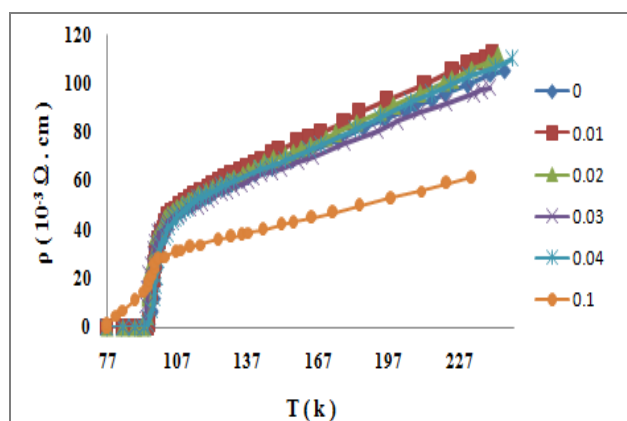
شکل ۱۰، نمودار ρ و dp/dT بر حسب T برای نمونه بدون آلایش با زمان پخت ۲۷۰ ساعت را نشان می‌دهد. در این شکل، منحنی مقاومت ویژه ρ بر حسب T شامل دو مرحله است. مرحله اول یک افت نسبتاً تیز در مقاومت (نشان دهنده گذار درون دانه‌ای) و مرحله دوم افت نسبتاً آرام (با جفت شدگی کامل دانه‌ها و ابرسانایی کامل همراه است)، را نشان می‌دهد که به ترتیب T_c^{onset} و T_c^{offset} مشخص می‌شود. با توجه به شکل ۹ دمای گذار میانی (T_c^{mid}) را می‌توان از بیشینه‌ی مشتق منحنی $\rho(T)$ 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-حالت ابرسانایی را به مقاومت صفر بالای دمای ۷۷ K 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. با توجه به شکل ۱۰، 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

خالص، احتمالاً به‌خاطر بالا بودن الکترون‌گاتیویته‌ی کادمیوم (۱/۶۹) نسبت به کلسیم (۱) در سلول واحد و جذب اکسیژن بیشتر هم در مکان‌های بین دانه‌ای و هم درون دانه‌ای است، به‌طوری که تعداد حفره‌ها روی صفحه‌ی CuO_2 به مقدار بهینه نزدیک‌تر و در نتیجه خصوصیات ابرسانایی دانه‌ها بهتر شده است [۲۲،۲۱]. هم‌چنین افزایش دمای بحرانی می‌تواند به‌علت شکل‌گیری بیشتر فاز $Bi-2223$ و کاهش فازهای ناخالصی با دمای گذار پایین‌تر و در نتیجه جفت‌شدگی مناسب‌تر دانه‌ها - باشد. پهنای گذار $(\Delta T_c(k) = T_c^{onset} - T_c^{offset})$ 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 پهنای 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 به‌دست می‌آید. دمای گذار میانی نمونه‌ها که بیان‌کننده‌ی بیشینه‌ی مشتق منحنی-های $\rho(T)$ 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 جانشین Sr [۲۴] شده بود، قابل مقایسه است.



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



شکل ۱۱ نمودار $\rho-T$ برای نمونه‌های تهیه شده با x های متفاوت و زمان پخت ۲۷۰ ساعت.

جدول ۸ مقادیر دمایی 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	<<۷۷
$T_{coffset}(K)$	۱۰۰	۱۰۶	۱۱۳	۱۰۴	۱۰۶	<<۷۷
$T_{cmid}(K)$	۹۲	۹۳/۵	۹۶/۵	۹۲/۵	۹۳/۵	<<۷۷
$\Delta T_c(K)$	۱۷	۱۹	۲۷	۱۷	۱۹	<<۷۷

جدول ۹ مقادیر دمایی 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	<<۷۷
$T_{coffset}(K)$	۱۱۰	۱۱۸/۹	۱۲۲/۶	۱۳۰	۱۲۴	<<۷۷
$T_{cmid}(K)$	۹۹	۱۰۳	۱۰۳/۴	۱۰۸/۹	۱۰۶	<<۷۷
$\Delta T_c(K)$	۱۶/۰۱	۲۴/۹۱	۲۹/۶	۳۶/۰۱	۳۰/۰۱	<<۷۷

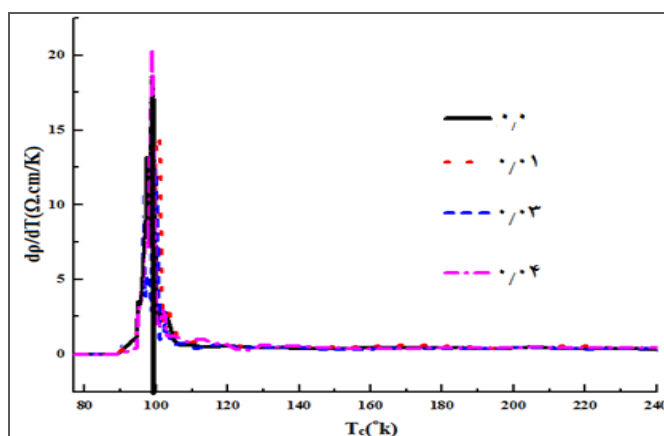
جدول ۱۰ مقادیر دمایی بحرانی نمونه‌های تهیه شده با زمان پخت ۲۷۰ ساعت.

x	۰/۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱
$T_{conset}(K)$	۹۴/۵	۹۴/۵	۹۳	۹۳	۹۳	<<۷۷
$T_{coffset}(K)$	۱۲۹	۱۳۳/۵	۱۳۴/۶	۱۳۹	۱۲۷/۷	<<۷۷
$T_{cmid}(K)$	۹۹	۱۱۰/۶	۱۱۰	۱۱۳	۱۰۷	<<۷۷
$\Delta T_c(K)$	۳۴/۵	۳۹	۴۱/۶	۴۶	۳۴/۷	<<۷۷

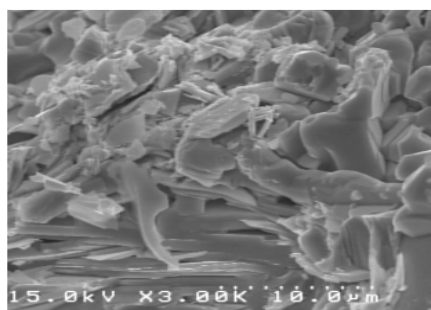
بلورک‌ها و دانه‌ها، چگونگی قرارگیری بلورک‌ها و دانه‌ها، تعیین ترکیب مواد، بررسی ماهیت پراکندگی نقایص در مواد، تهیه شکل‌های برجسته و به‌دست آوردن اطلاعات بلورنگاری دارد. بنابر شکل ۱۲، مقدار $x = 0.01$ از کادمیوم باعث شد که دانه‌ها به شکل صفحه درآمده و چگالی جریان بحرانی افزایش یابد. مقادیر بالاتر از $x = 0.01$ درصد منجر به تشکیل تخلخل‌ها در نمونه می‌شدند. البته در نمونه‌ی $x = 0.04$ نیز این تخلخل کمتر می‌شود و باز در نمونه‌ی $x = 0.1$ 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 dp/dT بر حسب T برای نمونه‌های آرایش داده شده با زمان پخت ۲۷۰ ساعت را نشان می‌دهد با توجه به این شکل دمایی گذار میانی (T_c^{mid}) را می‌توان از بیشینه‌ی مشتق منحنی $\rho(T)$ بر حسب T تعیین نمود.

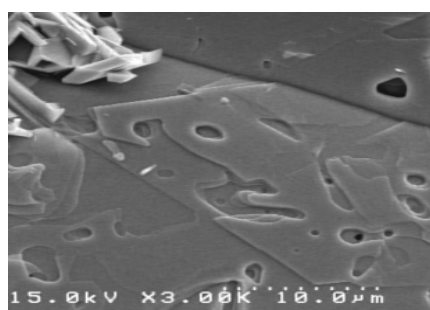
شکل ۱۳، تصاویر SEM نمونه‌های تهیه شده با زمان پخت ۲۷۰ ساعت، (الف) خالص، (ب) $x = 0.01$ ، (پ) $x = 0.02$ ، (ت) $x = 0.03$ ، (ث) $x = 0.04$ و (ج) $x = 0.1$ درصد کادمیوم را نشان می‌دهد. این تصاویر برای بررسی ساختارهای سطحی یا نزدیک به سطح مورد استفاده قرار می‌گیرند. میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی کاربردهای مختلفی از جمله: تهیه‌ی تصاویر توپوگرافی از سطح نمونه، بررسی شکل بلورک‌ها، دانه‌ها و سلول‌ها، اندازه‌ی



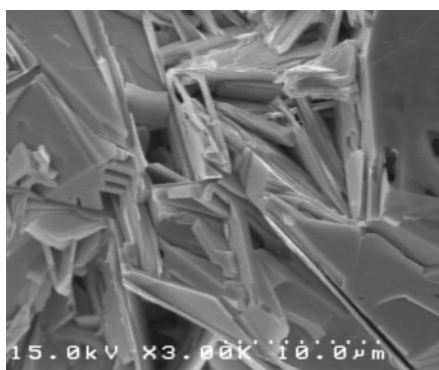
شکل ۱۲ نمودار dp/dT برای نمونه‌های تهیه شده با زمان پخت ۲۷۰ ساعت.



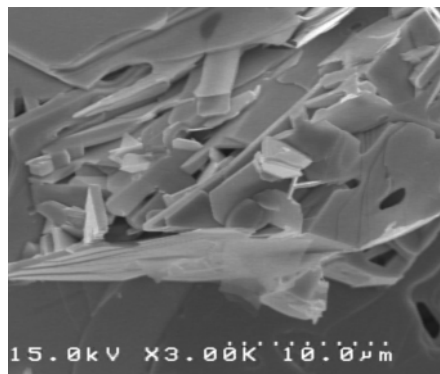
الف



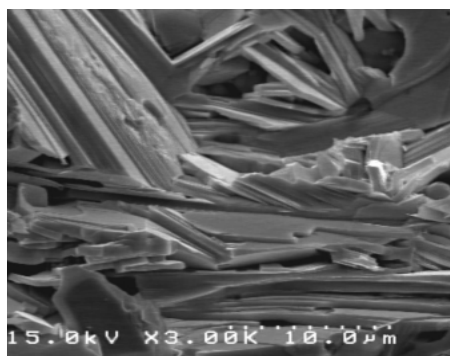
ب



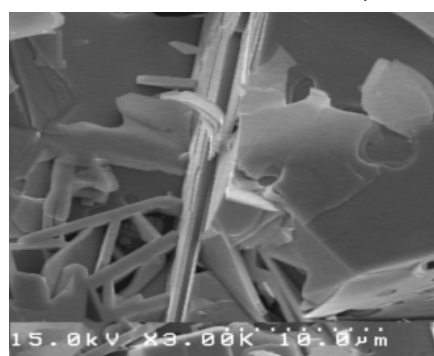
پ



ت



ث



ج

شکل ۱۳ تصاویر SEM نمونه‌های تهیه شده با زمان ۲۷۰ ساعت، (الف) خالص، (ب) ۰/۰۱، (پ) ۰/۰۲، (ت) ۰/۰۳، (ث) ۰/۰۴، (ج) ۰/۱ درصد کادمیوم.

که کلسیم نقش مهمی را در خواص ابرسناهای 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., Torng 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 $CaLaBaCu_3O_7$ 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. مانند کارهای قبل با افزایش مقادیر جزئی از کادمیوم، خواص ابرسانی بهیچ‌جا نرسید. 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 ابرسانی می‌شود.

برداشت

آنالیز گرمایی نشان داد که نانوذرات اکسید کادمیوم در حدود دماهای ۲۰۰ تا ۳۰۰ °C تجزیه می‌شوند. منحنی‌های TG-DTA نشان می‌دهند که دمای پخت پایین (۸۲۵ °C) برای تهیه‌ی ابرسانی پایه‌ی بیسموت، موجب کاهش دمای بحرانی می‌شود؛ در صورتی که دمای بالاتر (۸۴۵ °C) موجب افزایش فاز ابرسانی شده است. درصد حجمی فاز Bi-۲۲۲۳ در نمونه با مقدار $x = 0.1$ نانوذرات اکسید کادمیوم در مقایسه با نمونه‌های دیگر بیشتر است. با افزایش درصد حجمی فاز Bi-۲۲۲۳، درصد حجمی فازهای ناخواسته دیگر مانند Bi-۲۲۱۲ و Bi-۲۲۰۱ در نمونه کاهش می‌یابد. فازهای Bi-۲۲۱۲ و Bi-۲۲۰۱ در مرز دانه‌ها مانند پیوندگاه‌های ضعیف عمل می‌کنند، لذا باعث کاهش چگالی جریان بحرانی می‌شوند. بیشترین چگالی جریان بحرانی به نمونه‌ی با مقدار $x = 0.1$ نانوذرات اکسید کادمیوم با زمان پخت ۲۷۰ ساعت داشته است، در صورتی که برای نمونه‌های با درصد بیشتر از $x = 0.1$ 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-۲۲۲۳ با دمای گذار بالا نسبت به فازهای Bi-۲۲۱۲ و Bi-۲۲۰۱، افزایش یافته است و دمای بحرانی تمام نمونه‌ها با افزایش زمان پخت افزایش می‌یابد. هر چه مقدار کادمیوم افزایش و کلسیم کاهش یابد، خواص ابرسانی 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 ج.، عبدالحسینی ا.، سهرابی د.، "اثر جانشینی Ba در جایگاه Sr در ابررسانای دمای بالا Bi-۲۲۲۳، مجله پژوهش فیزیک ایران، جلد ۱۰، تابستان 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., Flu"iger R., "Growth, structure and physical properties of single crystals of pure and Pb-doped Bi-based high Tc 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 شوستری م.، موسوی قهفرخی س.ا.، کلانتر هرمزی ر.، "ساخت و بررسی نانوذرات Au بر چگالی جریان بحرانی و ریز ساختار ابررسانای $Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr_2Ca_2Cu_3O_y$ ، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، سال بیستم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۱، از صفحه ۱۸۷ تا ۱۹۶.
- [۱۸] موسوی قهفرخی س.ا.، زرگر شوستری م.، "ساخت و بررسی تأثیر نانوذرات Sb_2O_3 بر ابررسانای Bi-۲۲۲۳، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، سال هجدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۸۹، از صفحه ۲۸۷ تا ۳۰۰.