

ساخت نانو بلورک های $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ به روش مکانوشیمیایی و بررسی دمای گذار

ترکیبات $xMnO_2 + (1-x)YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ($x = 0, 0.005, 0.01, 0.015, 0.02$)

سمیه یزدانیان*، ناصر تجبر، محمد بهدانی

مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک، آزمایشگاه تحقیقاتی حالت جامد

(دریافت مقاله: ۸۹/۲/۲۳، نسخه نهایی: ۸۹/۵/۲۳)

چکیده: در این پژوهش نانو بلورک های ابررسانای $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ($0 < \delta < 1$)، به روش مکانوشیمیایی ساخته شدند. این ترکیب با استفاده از پودرهای $BaCO_3$ ، Y_2O_3 ، CuO پس از ۵ ساعت آسیاکاری در دستگاه آسیای SPEX 8000 با نسبت وزنی ده به یک گلوله به پودر و گلوله های فولادی به قطر ۱۱ mm و سپس گرمادهی به مدت ۴ ساعت در دمای $850^\circ C$ شکل گرفت. به منظور تشکیل کاملتر فاز ابررسانا، مرحله ی تفجوشی همراه با اکسیژن دهی روی نمونه ها انجام شد. سپس سرامیک های $xMnO_2 + (1-x)YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ($x = 0, 0.005, 0.01$) ساخته شدند، و دمای گذار آنها به روش چارسوزنی اندازه گیری شد. دمای گذار ابررسانایی نمونه های نهایی با $x = 0, 0.005, 0.01$ برابر با ۸۳ K به دست آمد و برای نمونه های با $x > 0.015$ خاصیت ابررسانایی از بین می رود.

واژه های کلیدی: ابررسانایی؛ $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ؛ MnO_2 ؛ مکانوشیمیایی؛ دمای گذار.

مقدمه

فعال سازی مکانیکی نخستین بار در سال ۱۹۶۰ توسط بنجامین (Benjamin) برای ساخت سرامیک های سخت به کار رفت [۱]. در سال های اخیر از فعال سازی مکانیکی یا مکانوشیمیایی (فعال سازی مکانیکی همراه با گرمادهی) برای ساخت نانو پودرهای سرامیک از جمله ZnO ، Fe_2O_3 ، $ZnNb_2O_6$ ، $FeNbO_4$ ، فریت ها و فرو الکتریک ها استفاده می شود [۲]. فعال سازی مکانیکی یعنی به کارگیری آسیاهای گلوله ای پر انرژی برای تهیه آلیاژهای آمورف، فازهای نانو بلور، آلیاژ عناصر مخلوط نشدنی و ترکیب محلول های جامد آتر اشباع [۳].

ویژگی اصلی این روش استفاده از انرژی مکانیکی به جای انرژی گرمایی است، زیرا در واکنش های حالت جامد به انرژی گرمایی بالایی برای شکل گیری ترکیب، مورد نیاز است. از دیگر ویژگی های این روش می توان به بهای پایین، واکنش پذیری در

دماهای پایین، استفاده از گستره ی گسترده ای از اکسیدها، به عنوان مواد اولیه و تولید پودرهایی با اندازه ی نانو اشاره کرد [۲]. در این فرایند، پودر و گلوله ها در محفظه ی آسیا قرار داده می شوند و سپس برخوردهای مکرر گلوله- پودر- گلوله و گلوله- پودر- ظرف، هنگام آسیاکاری باعث شکستن و جوش خوردن مکرر ذرات پودر می شود [۴، ۵]. از مهمترین متغیرهایی که روی نوع و محصول نهایی اثر دارند، می توان به نوع آسیا، جنس و اندازه ی گلوله های آسیا، نسبت وزنی گلوله ها به پودر، میزان انباشت محفظه، اتمسفر درون آسیا و دما اشاره کرد [۵]. تغییرات ریز ساختاری فعال سازی مکانیکی، به میزان زیادی به خواص مواد آسیا شده و نوع آسیا بستگی دارد [۵]. با این وجود اطلاعات کمی از طراحی و بازده تجهیزات سایشی وجود دارد و بیشتر اطلاعات در مورد عملکرد این سیستم ها با آزمون و خطا، به دست می آید [۱].

انتخاب شد. برای ارزیابی تغییرات ایجاد شده در ساختار داخلی ذرات پودر در بازه‌های زمانی متفاوت از پودر درون آسیا، طیف پراش پرتو X گرفته شد. نقش‌های پراش در دمای اتاق با پراش‌سنج پرتو X با قدرت تفکیک 0.1° درجه و تابش $\text{Mo-K}\alpha$ ($\lambda = 0.7093 \text{ \AA}$) به دست آمد. زمان کل آسیاکاری تا از بین رفتن قله‌های پراش وابسته به اکسیدهای اولیه ۵ ساعت بود. پودر به دست آمده برای تکلیس، به مدت ۴ ساعت در دمای 850°C گرمادهی شد. نقش پراش پرتو X در این مرحله نشان دهنده شکل‌گیری فاز ابررساناست.

برای تشکیل کاملتر فاز ابررسانا و نیز بررسی اثر مایسنر، پودر به دست آمده را به قرص تبدیل کرده و مرحله تفجوشی را روی نمونه انجام دادیم. بدین منظور پودر با اعمال فشار 100 bar به قرص تبدیل شد. برای تفجوشی قرص را در کوره-ی افقی در دمای 930°C درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت گرمادهی کردیم. سپس دمای کوره را به 500°C درجه کاهش داده و در این دما اکسیژن با فشار 0.5 اتمسفر از روی نمونه به مدت ۷ ساعت عبور داده شد تا جبران کمبود اکسیژن نمونه فراهم شود. پس از گذشت زمان لازم، کوره را خاموش کرده، ولی اکسیژن‌دهی تا رسیدن دما به دمای اتاق ادامه یافت. ویژگی ابررسانایی نمونه، با مشاهده اثر مایسنر تأیید شد و اندازه‌ی بلورک‌های YBCO را از روی نیم پهنای قله‌های پراش پرتو X با استفاده از فرمول شرر محاسبه کردیم. شکل ظاهری و اندازه‌ی ذرات ترکیب نهایی به طور مستقیم با تصویرگیری میکروسکوپ الکترونی عبوری نیز بررسی شد.

برای بررسی دمای گذار سرامیک‌های $(1-x)\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ با $x \text{ MnO}_2$ ($x = 0, 0.005, 0.01, 0.015, 0.02$)، پودرهای YBCO و MnO_2 را با هم مخلوط می‌کنیم [۱۱]، به عنوان مثال برای نمونه‌ای به وزن ۱ گرم و $x = 0.005$ ، لازم است 0.005 گرم MnO_2 و 0.995 گرم YBCO را با هم مخلوط می‌کنیم. پس از حدود ۳۰ دقیقه آسیاکاری و اطمینان از همگنی نمونه‌ها، پودرهای حاصل تحت فشار 100 bar به صورت قرص تبدیل شدند. سپس همانند نمونه YBCO ساخته شده، مرحله تفجوشی را روی این نمونه‌ها انجام دادیم.

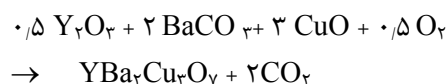
ویژگی ابررسانایی نمونه‌های نهایی با مشاهده اثر مایسنر تأیید شد و با استفاده از نرم افزار celref ثابت‌های شبکه را برای این نمونه‌ها محاسبه کردیم، سپس وابستگی دمایی مقاومت الکتریکی نمونه‌ها را به روش چارسوزنی و با به‌کارگیری از چشمه‌ی جریان ثابت 144 mA اندازه‌گیری کردیم.

ترکیب $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ با ساختار پرووسکیت جزء ابررساناهای با دمای بالایی است، که در سال ۱۹۸۷ کشف شد [۶]. این ترکیب به دلیل داشتن دمای بحرانی بالا در کاربردهای رسانش جریان‌های الکتریکی بالا بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در عین حال آماده سازی ترکیب یاد شده در صنعت تولید مواد دشوار است و خواص فیزیکی نمونه‌های تولید شده به روش ساخت بستگی دارد. این ترکیب به صورت نمونه-های کپه‌ای [۷] و یا لایه‌ی نازک [۸] ساخته شده است. نمونه-های کپه‌ای معمولاً با استفاده از روش‌های حالت جامد [۹] و محلول شیمیایی [۱۰] تهیه می‌شوند. ولی این روش‌ها نیاز به دماهای بالا و فرایندهای زمانی طولانی دارند. در این پژوهش سعی شده است تا برای کاهش زمان و دمای تشکیل ترکیب، ساخت ترکیب $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ را به روش فعال‌سازی بررسی کنیم.

اکسیدهای CuO و BaCO_3 ، Y_2O_3 به عنوان مواد اولیه به مدت ۵ ساعت آسیا شدند، برهم کنش این مواد منجر به تشکیل فاز آمورف شد، که پس از گرمادهی به مدت ۴ ساعت تک فاز $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ شکل گرفت. برای اندازه‌گیری دمای گذار، فرایند تفجوشی روی نمونه انجام شد. تفجوشی یعنی انباشتن و بهم چسباندن پودرهای فلزات یا خاکی‌های معدنی، در دماهای پایین‌تر از نقطه ذوب. در این ابررسانا، تفجوشی شامل قرص‌سازی و گرمادهی است که باعث کاهش تخلخل و افزایش چگالی جرمی می‌شود و بدین ترتیب چگالی جریان بحرانی و قدرت رسانایی الکتریکی افزایش می‌یابد. سپس نمونه‌های سرامیکی $x\text{MnO}_2 + (1-x)\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($x = 0, 0.005, 0.01, 0.015, 0.02$) ساخته شدند و دمای گذار آنها اندازه‌گیری شد.

شرح کار

پودرهای کربنات باریم BaCO_3 ، اکسید ایتريوم Y_2O_3 و اکسید مس CuO به عنوان مواد اولیه مورد استفاده قرار گرفتند و بر اساس واکنش شیمیایی زیر مخلوط شدند:



فرآیند فعال‌سازی با 10 g مخلوط مواد اولیه همراه با گلوله‌های فولادی به قطر حدود 11 mm که درون استوانه‌ی آسیا قرار داده شدند آغاز شد. فرآیند در فشار اتمسفر و در دمای اتاق انجام گرفت. برای آسیاکاری از دستگاه آسیای ارتعاشی پرانرژی SPEX 8000 استفاده و نسبت وزنی گلوله به پودر ده به یک

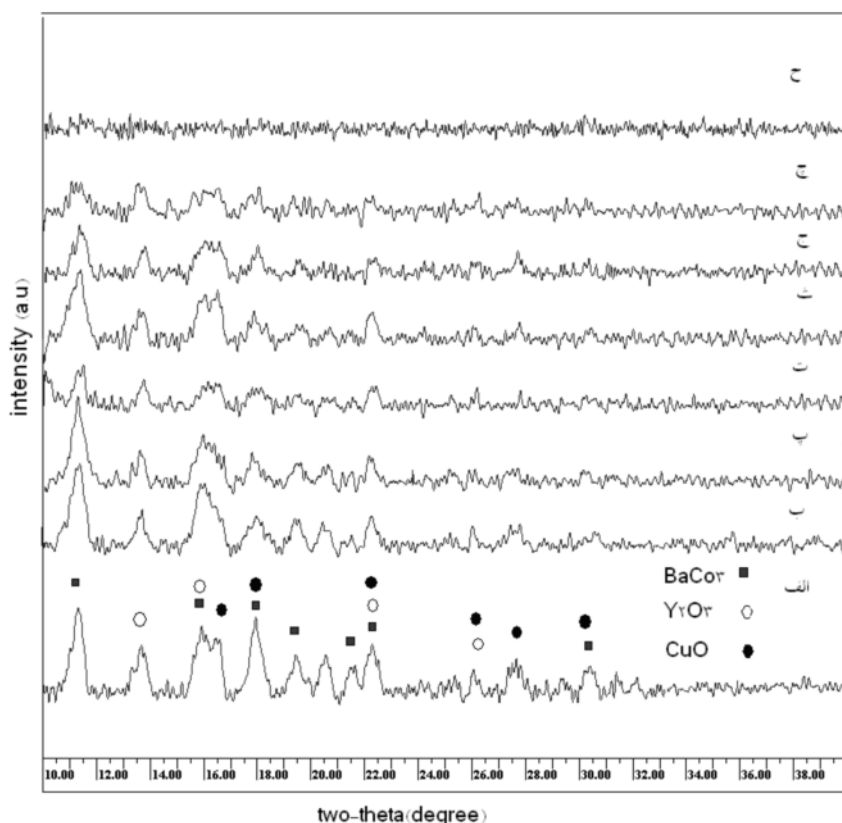
بحث و بررسی

ویژگی‌های ساختاری

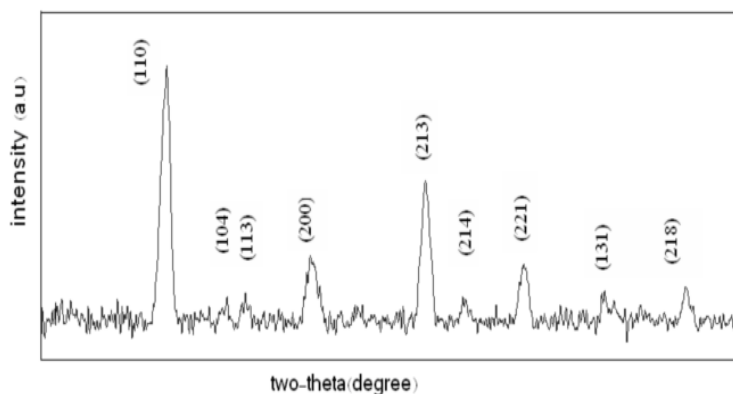
طرح‌های پراش برای زمان‌های آسیاکاری مختلف، در بازه ۵-۰ ساعت در شکل ۱ آورده شده‌اند. چنان که انتظار می‌رود، طرح پراش مخلوط پودر اولیه (شکل ۱- الف)، دارای قله‌های تیز، بنابر اکسیدهای اولیه است. شدت این قله‌ها به تدریج با افزایش زمان آسیاکاری، کاهش می‌یابد. در طرح پراش نمونه‌ی ۵ ساعت آسیا شده (شکل ۱- ح) هیچ قله‌ای از اکسیدهای

اولیه دیده نمی‌شود.

طیف پودر آسیا شده پس از گرمادهی به مدت ۴ ساعت در شکل ۲ نشان داده شده است. طیف پراش نشان می‌دهد که فاز ابرسانی Y-123 تشکیل شده است. این ترکیب دارای ساختار بلوری راستگوشی (اورتورومبیک) با گروه فضایی Pmmm است. این داده‌ها همخوانی خوبی با گزارش‌های دیگر دارند [۱۲].



شکل ۱ طیف پراش پرتو X از (الف) مخلوط پودرهای اولیه (ب) پس از ۰/۵ ساعت (پ) پس از ۱ ساعت (ت) پس از ۲ ساعت (ث) پس از ۲/۵ ساعت (ج) پس از ۳ ساعت (چ) پس از ۴ ساعت (ح) پس از ۵ ساعت آسیاکاری.



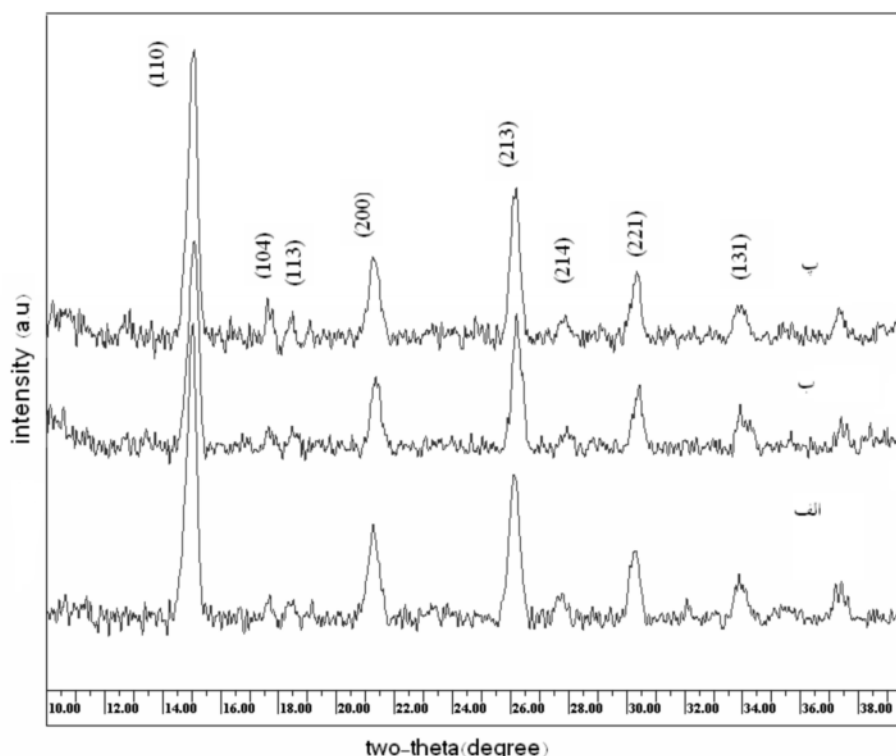
شکل ۲ طیف پراش پرتو X پس از گرمادهی به مدت ۴ ساعت.

اندازه‌ی بلورک‌ها از روی طیف پراش پرتو X ترکیب YBCO و با استفاده از فرمول شرر محاسبه شد. بنابر فرمول زیر:

$$D = \frac{k\lambda}{W \cos \theta}$$

D اندازه‌ی بلورک‌ها و k ثابتی است که به ریخت‌شناسی بلورک وابسته است و از ۰/۸۹ تا ۱/۳۹ رادیان تغییر می‌کند. در اینجا $k = ۱$ انتخاب شد که مستقل از ریخت‌شناسی خاص است. λ طول موج تابشی، θ زاویه‌ی قله براگ و W پهنا در نیم ارتفاع است. بنابر فرمول بالا اندازه‌ی بلورک‌ها پس از تفجوشی ۲۰ nm محاسبه شد.

نقش پراش پرتو X نمونه‌های $(1-x)\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta} + x\text{MnO}_2$ با $x = ۰/۰۰۵, ۰/۰۱, ۰/۰۱۵$ پس از مرحله‌ی تفجوشی در شکل ۳ نشان داده شده است. طرح پراش نشان می‌دهد که فاز ابرسانی Y-۱۲۳ به صورت کامل تشکیل شده است، ولی با افزایش مقدار MnO_2 ساختار و گروه فضایی آن تغییر نمی‌کند و پارامترهای شبکه بدون تغییر باقی می‌مانند. این نشان می‌دهد که Mn در ساختار شبکه وارد نمی‌شود و به صورت ناخالصی در مرز دانه‌ها جای می‌گیرد. ثابت‌های شبکه برای نمونه خالص YBCO با نرم افزار celref محاسبه و در جدول ۱ آورده شده‌اند.



شکل ۳ طیف پراش پرتو X نمونه‌های $(1-x)\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta} + x\text{MnO}_2$ به ازای (الف) $x = ۰/۰۰۵$ (ب) $x = ۰/۰۱$ (پ) $x = ۰/۰۱۵$ پس از تفجوشی.

جدول ۱ محاسبه‌ی پارامترهای شبکه نمونه $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ به وسیله‌ی نرم افزار celref.

x	•
$a (\text{\AA})$	۳,۸۰۶۱
$b (\text{\AA})$	۳,۸۲۲۵
$c (\text{\AA})$	۱۱,۵۷۸۷
$V (\text{\AA}^3)$	۱۶۸,۴۵۶

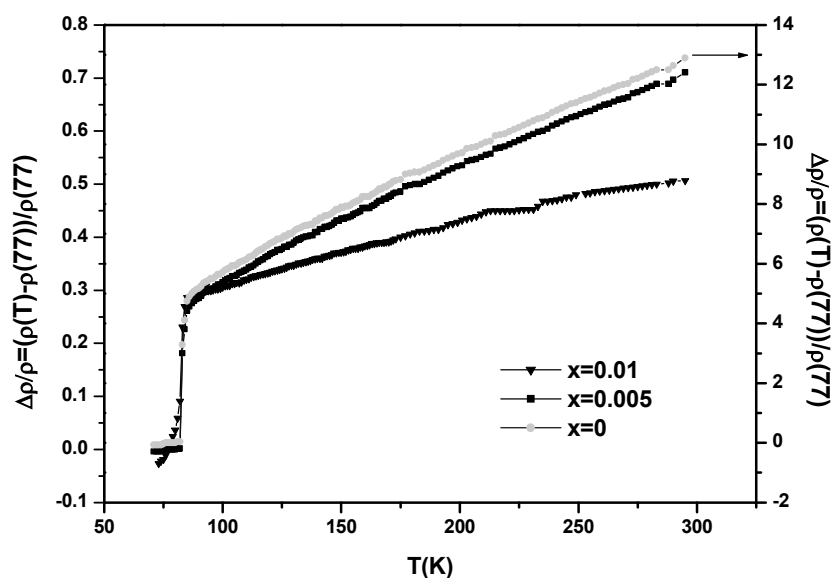
اندازه‌گیری‌های الکتریکی

اندازه‌گیری مقاومت ویژه به روش استاندارد چهار سوزنی انجام گرفت. نمودار تغییرات ضریب خطی مقاومت ویژه بر حسب دما برای نمونه‌های $x\text{MnO}_2 + (1-x)\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ با $(x = 0, 0.005, 0.01)$ در شکل ۴ نشان داده شده است. دیده می‌شود شیب نمودارها پس از دمای گذار تفاوت دارند که نشان دهنده اختلاف در مقاومت نمونه‌هاست و از میزان رسانایی نمونه‌ها پس از دمای گذار کاسته شده است [۱۳].

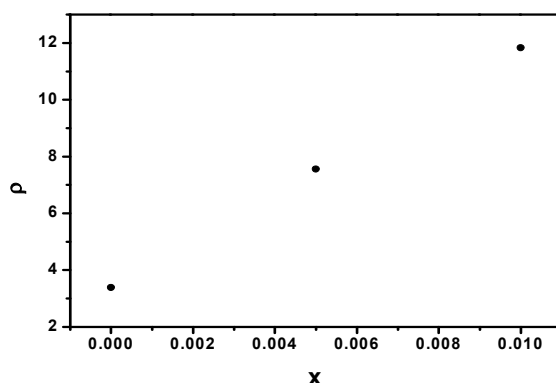
شکل ۵ نمودار تغییرات مقاومت ویژه‌ی نمونه‌های $x\text{MnO}_2 + (1-x)\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ به ازای مقادیر مختلف x در دمای اتاق را نشان می‌دهد. دیده می‌شود که با افزایش مقدار MnO_2 مقاومت نمونه‌ها افزایش یافته، زیرا افزایش مقدار باعث افزایش پراکندگی حامل‌های بار می‌شود.

در نمونه با $x = 0.015$ اثر مایسنر دیده نشد که می‌توان به این نتیجه رسید که افزایش ناخالصی فرومغناطیس MnO_2

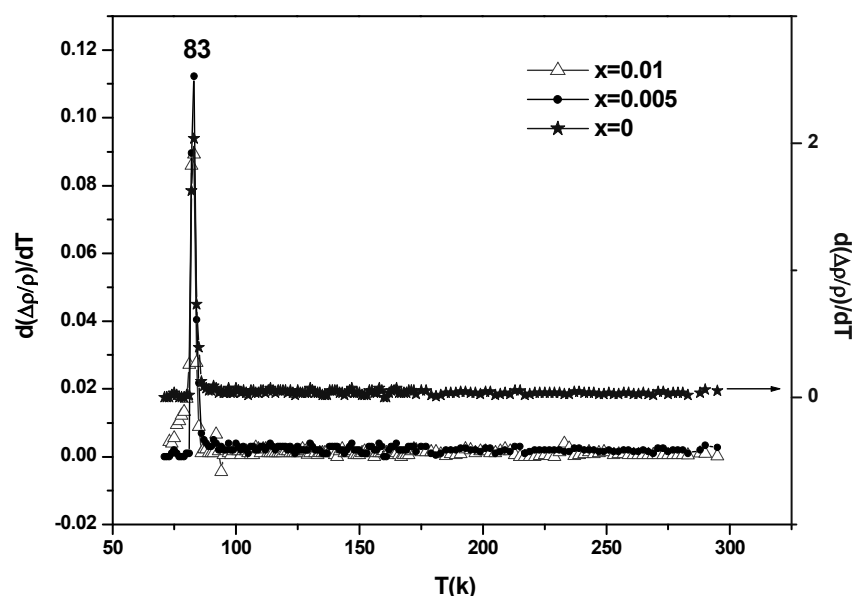
عبور شار مغناطیسی را از نمونه تسهیل می‌کند و طول همدوسی زوج الکترون‌های ابررسانشی کاهش می‌یابد. شکل ۶ نیز منحنی تغییرات ضریب دمایی مقاومت ویژه برای همان نمونه‌ها را نشان می‌دهد. مقادیر دمای گذار اندازه‌گیری شده در جدول ۲ آورده شده‌اند. چنان‌که دیده می‌شود، دمای گذار اندازه‌گیری شده برای همه نمونه‌ها 83K است، این دمای گذار کمتر از دمای گذار اندازه‌گیری شده برای نمونه‌هایی است که به روش واکنش حالت جامد ($T_c > 93\text{K}$) ساخته شده‌اند. می‌دانیم در ابررساناهای با دمای بالا، دمای گذار به‌شدت به مقدار اکسیژن بستگی دارد. ساخت نانو پودر YBCO به روش فعال‌سازی مکانیکی، منجر به تهی‌جای اکسیژن در شبکه‌ی نمونه می‌شود، در نتیجه دمای گذار کاهش می‌یابد (زیرا فرایند فعال‌سازی در محفظه‌ای کاملاً مسدود انجام می‌گیرد و تبادل اکسیژن در این محفظه بسیار محدود است).



شکل ۴ تغییرات مقاومت بر حسب دما برای نمونه‌های $x\text{MnO}_2 + (1-x)\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ به ازای مقادیر مختلف x .



شکل ۵ نمودار تغییرات مقاومت ویژه‌ی نمونه‌های $x\text{MnO}_2 + (1-x)\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ به ازای مقادیر مختلف x در دمای اتاق.



شکل ۶ منحنی تغییرات ضریب دمایی مقاومت ویژه‌ی نمونه‌های $x\text{MnO}_x + (1-x)\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ به ازای مقادیر مختلف x .

جدول ۲ دمای گذار ابرسانی $x\text{MnO}_x + (1-x)\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ به روش مکانوشیمیایی به ازای مقادیر مختلف x .

مکانوشیمیایی	روش ساخت
MnO_x با T_c (K) ناخالصی	ناخالصی
۸۳	۰
۸۳	۰/۰۰۵
۸۳	۰/۰۱
از دست رفتن ویژگی ابرسانی	۰/۰۱۵
از دست رفتن ویژگی ابرسانی	۰/۰۲

بررسی تصویر TEM

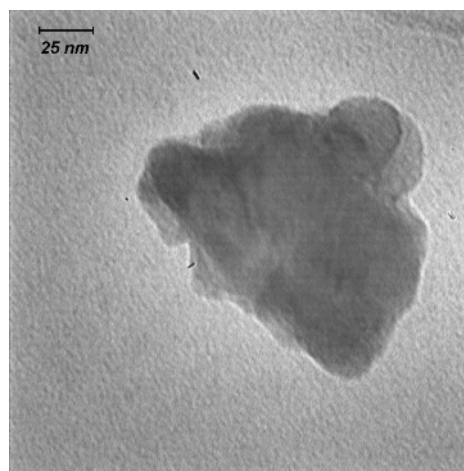
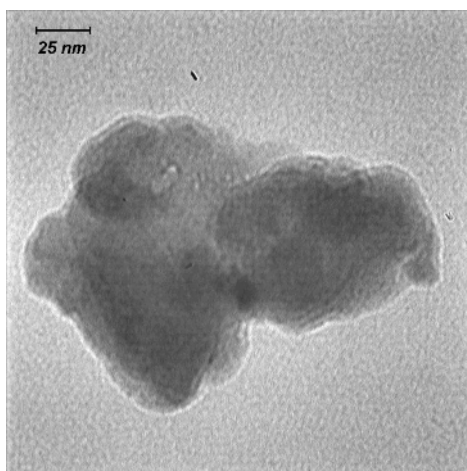
قرص YBCO بدست آمده از مرحله‌ی تفجوشی را به مدت ۱۵ دقیقه با آسیای دستی آسیا کرده و از پودر حاصل با استفاده از TEM تصویر برداری شد، که اندازه‌ی دانه‌های پودر YBCO بین ۲۰ nm تا ۳۵ nm به دست آمد.

چنان‌که گفته شد تصویر نشان داده شده در شکل ۷ از دانه‌های پودری پس از مرحله‌ی تفجوشی گرفته شده است. بنابراین دانه‌ها به هم چسبیده‌اند و به صورت جدا از هم دیده نمی‌شوند، ولی در تصویر می‌توان دانه‌ها را با اختلاف رنگ و با دقت بیشتری از یکدیگر تشخیص داد. این تصویر با گزارش‌های دیگر سازگار است [۱۴].

مقایسه‌ی نتایج حاصل از روش مکانوشیمیایی با روش سل - ژل جدول ۳ پارامترهای موثر در ساخت ابرسانی YBCO را به روش‌های سل - ژل [۱۰] و مکانوشیمیایی نشان می‌دهد. دیده می‌شود که زمان تکلیس از ۲۴ ساعت در روش سل - ژل به ۴ ساعت در روش مکانوشیمیایی کاهش یافته است. در مرحله‌ی تفجوشی و مدت نگهداری نمونه در دمای بالا، از ۷۲ ساعت در روش سل - ژل به ۴ ساعت در روش مکانوشیمیایی کاهش یافته است. بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که با بهینه‌سازی پارامترهای درگیر، تولید ابرسانی YBCO به روش مکانوشیمیایی به زمان بسیار کمتری نیاز دارد.

جدول ۳ مقایسه‌ی پارامترهای موثر در ساخت ابرسانی YBCO به روش‌های مختلف.

مکانوشیمیایی	سل - ژل [۱۰]	روش ساخت	
		مراحل شکل‌گیری	
۴	۲۴	زمان (h)	گرمادهی اولیه (تکلیس)
۸۵۰	۸۵۰	دما ($^{\circ}\text{C}$)	
۹۳۰	۹۵۰	دما ($^{\circ}\text{C}$)	نگهداری در دمای بالا
۴	۷۲	زمان (h)	
۰/۵atom	۱atom	فشار اکسیژن	تفجوشی
۷	۹	زمان (h)	



شکل ۷ دو تصویر TEM از نانو ذرات YBCO پس از تفجوشی در دمای 930°C ، در اثر تفجوشی نانو ذرات پودر به هم چسبیده‌اند ولی هنوز ابعاد نانویی خود را حفظ کرده‌اند.

برداشت

ولی در دماهای بالاتر از دمای گذار رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهند. نمونه‌ها با $x > 0.15$ ابرسانا نیستند.

مراجع

- [1] Gavrilov D., Vinogradov O., Shaw W. J. D., "Simulation of grinding in a shaker ball mill", Journal of Powder technology 101 (1999) 63-72.
- [2] Chen G., Niu D., Liu X., "Preparation of SrAl_2O_4 from an oxide mixture via a high-energy

در این تحقیق ابرسانی $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ به روش مکانوشیمیایی ساخته شد و دمای گذار نمونه‌های $(0.15 < x < 0.1)$ اندازه‌گیری شد. ویژگی ابرسانی نمونه‌ها با آزمایش مایسنر تایید شد و دمای گذار هر سه نمونه‌ی اول 83 K به دست آمد،

"The effect of susceptor inclination angle on the quality of superconducting YBCO thin films prepared by a photo-assisted MOCVD system", Journal of Physica C 468 (2008) 1053–1059.

[9] Choy J. H., Choe W. Y., Choi Q. W., "Preparation of 90k superconductor $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ via oxide precursors $BaCuO_2$ and $Y_2Cu_2O_5$ ", Journal of Mat. Res. Bull. 24 (1989) 867-874.

[۱۰] افرا ابراهیمی مقدم، "پایان نامه کارشناسی ارشد"، گروه فیزیک دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۷.

[11] Regnier S., Marfaing J., "Detailed analysis of the zero critical temperature improvement in Mn- $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ composites from electrical and structural studies", Journal of Materials Science And Engineering B 34 (1995) 116-123.

[12] LePage Y., McKinnon W. R., Tarascon J. M., Greene L. H., Hull G. W., Hwang D., "Room-temperature structure of the 90-K bulk superconductor $YBa_2Cu_3O_{8-x}$ ", Journal of Physical Review B 35 (1987) 7245-7248.

[13] Regnier S., Alfred-Duplan C., Vacquier G., Marfaing J., "Effect of Mn inclusion in superconducting YBCO-Based composites", Journal of Applied Superconductivity 4 (1996) 41-51.

[14] Pan H. Y., Xu X. L., Guo J. D., "TEM characterization of nanoscale YBCO particles", Journal of Materials Letters 57 (2003) 3869-3873.

ball milling", Journal of Alloys and Compounds 399 (2005) 280–283.

[3] Schilling P. J., Palshin V., Tittsworth R. C., He J. H., Ma E., "Overlapping solid solubility in mechanically alloyed Fe-Ni and Fe-Cu", Journal of Physical Review B 68 (2003) 224204.

[4] Fogagnolo J. B., Velasco F., Robert M. H., Torralba J. M., "Effect of mechanical alloying on the morphology, microstructure and properties of aluminium matrix composite powders", Journal of Materials Science and Engineering A 342 (2003) 131-143.

[5] Suryanarayana C., "Mechanical alloying and milling", Journal of Progress in Materials Science 46 (2001) 1-184.

[6] Le Page Y., Siegrist T., Sunshine S. A., Schneemeyer L. F., Murphy D. W., Zahurak S. M., Waszczak V., McKinnon W. R., Tarascon J. M., Hull G. W., Greene L. H., "Structural properties of $Ba_2RCu_3O_7$ high- T_c superconductors", Journal of Physical Review B 36 (1987) 3617-3621.

[7] Jang G. E., Oh W. S., Kim C. J., Han Y. H., Jung S. Y., Sung T. H., "The effect of impregnation by resin and CNT compound on the mechanical and magnetic properties of YBCO superconductor", Journal of Physica C 468 (2008) 411–414.

[8] Fang X., Li G., Li S., Zhao L., Li W., Zhang B., Du G., Chou P., Li H., Zuo R., He L., Chen C,