

اثر مخلوط سه تایی از عناصر خاکی کمیاب بر خواص ابررسانایی $RE Ba_2Cu_3O_x$

هادی سلامتی و مهین اشراقی

آزمایشگاه ابررسانایی، دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۸۲/۲/۲۰ ؛ دریافت نسخه نهایی: ۸۳/۸/۱۳)

چکیده

ترکیب $(Y_{123}GdSm)$ با فرمول اسمی $(Y_{123}GdSm)/_{33}Ba_2Cu_3O_x$ همچنین $Y_{123}GdEu$ و $Y_{123}GdEu$ با فرمول اسمی $(Y_{123}GdEu)/_{33}Ba_2Cu_3O_x$ که دارای شرایط اکسیژن دهی متفاوت هستند ساخته شده‌اند. خواص مختلف ساختاری، ریخت‌شناسی، تراپردی و مغناطیسی که شامل اندازه‌گیری‌های پذیرفتاری ac مقاومت الکتریکی ac ، چگالی جریان بحرانی J_c و آنالیزهای EDX , XRD , SEM می‌باشند به عمل آمده است. نتایج حاصل از چگالی جریان بحرانی نشان می‌دهد که مقدار J_c در نمونه $(Y_{123}GdSm)$ و $Y_{123}GdEu$ نسبت به (Y_{123}) افزایش پیدا کرده است به طوری که مقدار آن در $Y_{123}GdEu$ نسبت به نمونه (Y_{123}) حدود ۲ برابر شده است که علت آن احتمالاً حضور یونهای Eu و Sm در روی صفحه‌های BaO می‌باشد که به عنوان یک ناخالصی عمل می‌کند و منجر به تولید میخکوبی محلی شده و نهایتاً جریان بحرانی را افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: ابررسانایی، چگالی جریان بحرانی، جایگزینی

۱. مقدمه

ابررساناهای گرم، غلبه کرد. روشهای متعددی برای اصلاح مکانیکی این سیستم به کار رفته است. یکی از این روشها افزودن و جایگزینی یونهای متعدد است که در واقع این یونها در بین دانه‌های این مواد سرامیکی قرار می‌گیرد. مطالعات زیادی در این موارد انجام شده است که برای نمونه می‌توان به مقاله نویسنده و همکاران در مرجع [۱] مراجعه کرد. در این مقاله نشان داده شده است که افزودن نقره به سیستم (Y_{123}) تا حدود ۲۰ درصد، تأثیر زیادی در کاهش دمای گذار این سیستم ندارد و با قرار گرفتن در بین دانه‌های ابررسانایی، خواص مکانیکی و تراپردی آنها را بهبود می‌دهد. روش دیگری که کاربرد فراوان دارد جایگزینی یون ایتريوم با عناصری مانند گادولینیوم (Gd)، یورپیم (Eu)، نیودیوم (Nd)، سوماریوم (Sm) و ... و عملیات حرارتی متفاوت در مرحله کلوخه‌سازی

جایگزینی عناصری از خاکیهای نادر سه ظرفیتی به جای عنصر ایتريوم در ترکیب ابررسانای $YBa_2Cu_3O_x$ به منظور بررسی خواص ابررسانایی، مکانیکی، مغناطیسی و کاری است که از چندین سال قبل آغاز شده و هم اکنون نیز ادامه دارد. آنچه به طور کلی می‌توان گفت این است که جایگزینی این دسته از عناصر، به جز عنصر پروسودنیوم (Pr)، به جای ایتريوم تغییر خاصی در خواص ابررسانایی این سیستم که از این به بعد به نام سیستم (Y_{123}) نامیده می‌شود، نمی‌دهد. به طوری که در گزارشات متعدد به آن اشاره شده است، برای استفاده از مواد ابررسانای گرم سرامیکی در صنعت باید به مشکلات مکانیکی (تردی بیش از حد) و پایین بودن چگالی جریان بحرانی آنها، در مقایسه با ابررساناهای متعارف فلزی و حتی لایه‌های نازک

همین‌طور نمونه گذار ابررسانایی تیزی خواهد داشت. در واقع نمونه $(NES)_{23}$ یک نمونه تک فاز نیست و با اضافه کردن (Y) تک‌فاز خواهد شد.

ترکیبات دیگری از قبیل $(Nd_{.33}Eu_{.33}Gd_{.33})Ba_7Cu_3O_x$ ، $(Sm_{.33}Nd_{.33}Gd_{.33})Ba_7Cu_3O_x$ و $(Sm_{.33}Eu_{.33}Gd_{.33})Ba_7Cu_3O_x$ ساخته شده که همگی دارای J_C بالاتری نسبت به ترکیب (Y_{123}) هستند [۶]. با این وجود این یک معماست که چرا $(Nd_{.33}Eu_{.33}Sm_{.33})Ba_7Cu_3O_x$ خواص $J_C(B)$ پایینی را از خود نشان می‌دهد. از این‌که ترکیبات $(Nd_{.5}Sm_{.5})_{23}$ ، $(Nd_{.5}Eu_{.5})_{23}$ ، $(Sm_{.5}Eu_{.5})_{23}$ و $(Nd_{.5}Sm_{.5})_{23}$ همگی دارای J_C و T_C نسبتاً بالایی هستند، به نظر می‌رسد که بتوان دلیل آن را در Gd خلاصه کرد و بتوان گفت که نبود Gd یا Y خواص ابررسانایی را در ترکیب سه تایی $(NES)_{23}$ تا حدودی تضعیف کرده است. اضافه کردن Gd یا Y ، به ترکیب $(NES)_{23}$ باعث افزایش J_C می‌شود [۷ و ۸].

با توجه به نزدیکی شعاعهای یونی (Y) و (Gd) اضافه کردن (Y) هم به ترکیب $(NES)_{23}$ می‌تواند خواص ابررسانایی را افزایش دهد [۴]. نشان داده شده که اضافه کردن (Gd) به میزان ۲۵٪ به ترکیب $(NES)_{23}$ بهترین تأثیر را در T_C خواهد داشت [۹].

در ساخت نمونه‌های $(Nd_{.33}Eu_{.33}Gd_{.33})Ba_7Cu_3O_x$ اثراتی از فاز ثانوی $(NEG)_{211}$ مشاهده شده است که اضافه کردن پلاتین (Pt) به آن منجر به کاهش اندازه فاز ثانوی، $(NEG)_{211}$ و نهایتاً موجب افزایش J_C در مقایسه با نمونه‌های خالص $Y-123$ و $Nd-123$ شده است. در واقع با این کار چشمه‌های ممکن برای میخکوبی شار توسط ذرات $(NEG)_{211}$ بهبود می‌یابد [۱۰ و ۱۱ و ۱۲ و ۱۳].

ترکیب سه‌تایی $(Sm_{.33}Eu_{.33}Gd_{.33})Ba_7Cu_3O_x$ نیز ساخته شده است. در این نمونه نیز فاز دوم $(SEG)_{211}$ مشاهده شده که نمونه با اضافه کردن ترکیبات $Sm-123$ ، $Eu-123$ و $Gd-123$ به سمت تک فاز بودن میل می‌کند [۱۴]. در مقالاتی دیگر ترکیبات چهارتایی با نسبت استوکیومتری $(Y_{.25}Sm_{.25}Eu_{.25}Gd_{.25})Ba_7Cu_3O_x$

آنها است [۲]. همان‌طور که از ساختار بلوری این نوع ابررساناها مشخص است عوامل هدایت الکتریکی در حالت ابررسانایی (ابرالکترون‌ها یا ابرحفره‌ها) در مواد ابررسانای محتوی مس در صفحات CuO_2 می‌باشد. جایگزینی عناصر Gd, Sm, Eu, Nd و ... به جای Y در ترکیبهای (Y_{123}) و ترکیبی از عناصر فوق امکان اصلاح ساختاری این صفحه‌ها را فراهم می‌آورد و احتمال افزایش هدایت الکتریکی و در نتیجه امکان تحمل انتقال جریانهای بیشتر را در این نوع ترکیبها بیشتر می‌کند.

باید متذکر شد که تنها عامل افزایش هدایت الکتریکی در حالت ابررسانایی (یا افزایش چگالی جریان بحرانی) اصلاح ساختاری یا جایگزینی یونهای با شعاعهای متفاوت به‌جای ایتريوم و یا ترکیبی از عناصر جدول فوق‌الذکر نیست. عوامل دیگری از قبیل برهمکنش ممان مغناطیسی یونهای جایگزین شده، روش پخت، وجود ناخالصیها و چندین عامل دیگر ممکن است منجر به افزایش یا کاهش چگالی جریان بحرانی در ابررساناها شود. این عوامل که به عنوان مختلف در ساختار یک جسم ابررسانا مؤثر است و ممکن است اثری را که به‌نام میخکوبی شار معروف است، ایجاد کند.

مطالعات سالهای اخیر نشان می‌دهد که ترکیبهایی از نوع سیستم $(RE : Nd, Sm, Eu, Gd), RE Ba_7Cu_3O_x$ دارای دمای گذار مناسب و جریان بحرانی نسبتاً بالا هستند [۳]. نمونه‌های تهیه شده به روش رشد ذوب جزئی با کنترل دقیق اکسیژن $(OCMG)$ که در واقع استفاده از روش ذوب جزئی با کنترل دقیق اکسیژن موجود در محیط است، به علت وجود فازهای ناخالصی با درصد بسیار کم که موجب میخکوبی شار می‌شود، در میدانهای نسبتاً بالا قابلیت عبور جریانهای بسیار زیادی را دارند. یکی از این ترکیبات سه‌تایی $(Nd_{.33}Eu_{.33}Sm_{.33})Ba_7Cu_3O_x$ است، این ترکیب دارای خصوصیات میخکوبی ضعیف شار در یک گذار ابررسانایی است [۴ و ۵]. با این حال وقتی ایتريوم (Y) به این ترکیب اضافه می‌شود، J_C نمونه افزایش می‌یابد و

ریخت شناسی نمونه‌های فوق توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی ساخت شرکت فیلیپس مدل $XL30$ و بررسی کیفی ساختار شیمیائی آن توسط دستگاه EDX انجام شده است. پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های به دست آمده توسط دستگاه اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی ساخت شرکت $Lake Shore$ مدل ۷۰۰۰ انجام شد و مقاومت ویژه نمونه نیز توسط دستگاه اندازه‌گیری مقاومت، توسط یخچال مدار بسته ساخت شرکت $Leybold$ اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری مقاومت و کنترل دمای سیستم به وسیله یک کامپیوتر شخصی مجهز به یک $Interface$ و یک برنامه کامپیوتری و توسط یک سنسور مقاومتی $Pt-100$ و دستگاه کنترل دمای قابل برنامه‌ریزی با دقتی معادل $\pm 0.1 K$ انجام شده است.

چگالی جریان بحرانی همه نمونه‌ها به روش ۴ میله در دمای ازت مایع انجام شد.

۳. نتایج و بحث

پذیرفتاری مغناطیسی ac $\chi = \chi' - i\chi''$ دارای دو مولفه می‌باشد. مولفه حقیقی، χ' ، افت نسبتاً تیزی را درست زیر دمای بحرانی T_c نشان می‌دهد و در قسمت موهومی χ'' قله‌ای (T_p) در ناحیه گذار به ابررسانایی شکل می‌گیرد. اما در مورد ابررساناهای گرم چند بلوری گذار پذیرفتاری مغناطیسی شامل دو مرحله است: مرحله اول گذار درون دانه‌ای است که افت نسبتاً تیز در قسمت حقیقی χ' پذیرفتاری مغناطیسی همراه است و مرحله دوم گذار بین دانه‌ای است که با کاهش بیشتر دما در قسمت حقیقی پذیرفتاری مغناطیسی افت آرامی ملاحظه می‌شود. دلیل آن وجود اختلاف زیاد در میدان بحرانی پایینی بین دانه‌ای و خود دانه‌ها است. میدان بحرانی پایینی بین دانه‌ای خیلی کوچکتر از دانه‌ها است و بنابراین شار مغناطیسی ابتدا به قسمت بین دانه‌ها نفوذ می‌کند، در واقع قسمت حقیقی معرف اثر مایسنر است. پذیرفتاری مغناطیسی برای هر سه نمونه اندازه‌گیری شد.

شکل ۱ معرف رفتار پذیرفتاری مغناطیسی نمونه $(Y_{.33}Gd_{.33}Eu_{.33})Ba_2Cu_2O_x$ است. به طوری که نتایج

ساخته شده است که این ترکیب نیز J_c بالایی را از خود نشان می‌دهد [۱۵].

در این پروژة ترکیب‌های سه تایی $(Y, Gd, Sm)_{23}$ $(Y, Gd, Eu)_{23}$ با فرمول اسمی و $(Y_{.33}Gd_{.33}Eu_{.33})Ba_2Cu_2O_x$ و $(Y_{.33}Gd_{.33}Sm_{.33})Ba_2Cu_2O_x$ انتخاب شده‌اند و خواص مختلف ساختاری، ریخت شناسی، تراپردی و مغناطیسی آنها مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. به طوری که در روش آزمایش آمده است، در ساخت این نوع ترکیبها سعی شده که شرایط پخت برای کلیه نمونه‌ها یکسان باشد و تأثیر حضور عناصر با خواص مختلف ساختاری و مغناطیسی مورد مطالعه قرار گیرد.

۲. آزمایش

برای ساخت نمونه‌های مورد نیاز از روش معمول حالت جامد استفاده شده است. در این روش دو سری اسمی از ترکیبهای $(Y_{.33}Gd_{.33}Eu_{.33})Ba_2Cu_2O_x$ و $(Y_{.33}Gd_{.33}Sm_{.33})Ba_2Cu_2O_x$ ساخته شده‌اند. مواد اولیه Eu_2O_3 ، Sm_2O_3 ، $BaCO_3$ ، CuO ، Y_2O_3 و Gd_2O_3 ، با درصد خلوص بهتر از ۹۹/۹۹ درصد و استوکیومتری مناسب با یکدیگر مخلوط و برای مدت یک ساعت آسیاب شدند. محصول به دست آمده در کروزه‌های آلومینا ریخته شده و در کوره‌های مکعبی برای مدت ۲۴ ساعت در دمای ۹۲۰ درجه سانتیگراد تکلیس شده‌اند. عمل آسیاب و تکلیس برای دو بار متوالی تکرار شد. محصول به دست آمده در این مرحله آسیاب شده و در قالبهای مخصوص تحت فشاری معادل ۱۰ تن به صورت قرصهایی به قطر حدود ۱۰ میلی‌متر و ضخامت ۲ تا ۳ میلی‌متر در آمده‌اند. قرصها در روی قطعه‌ای از آلومینا که توسط ورقه‌ای از طلا پوشیده شده قرار گرفتند و در کوره‌های لوله‌ای که شاری از اکسیژن از آنها می‌گذرد برای مدت ۲۴ ساعت در دمای ۹۶۰ درجه سانتیگراد کلوخه‌سازی شده‌اند.

بررسی ساختاری نمونه‌های به دست آمده توسط دستگاه پراش پرتوی ایکس (XRD) ساخت کارخانه فیلیپس (مدل $XPRT$) انجام شده است.

بنابر این افزایش خیلی زیاد حاملین بار دمای گذار این نمونه را کاهش داده، هر چند مشاهده خواهیم کرد که ناخالصی از بین رفته و الگوی ساختاری بهتر شده است.

با استفاده از نتایج نمودار حاصل از پراش پرتوی ایکس برای نمونه $(Y_{.33}Gd_{.33}Sm_{.33})Ba_2Cu_3O_x$ مقدار پارامترهای شبکه مقادیر $b = 3/880.3 \text{ \AA}$ ، $c = 11/4944 \text{ \AA}$ و $a = 3/8688 \text{ \AA}$ به دست آمد.

مقدار پارامترهای شبکه برای نمونه $Y Gd Eu_2$ نیز محاسبه شد و مقادیر آن $b = 3/8845 \text{ \AA}$ ، $c = 11/6317 \text{ \AA}$ و $a = 3/8178 \text{ \AA}$ ، به دست آمد. البته نتایج نمودار حاصل از پراش پرتوی ایکس برای نمونه $YGdEu_1$ نیز به دست آمد. گرچه طرح حاصل از این نمونه نیز شباهت زیادی به پراش نمونه (Y_{123}) با اکسیژن ۷ داشت، اما تعدادی قله ناشناخته در طرح موجود است که معرف وجود فازهای ناخالصی Y_2O_3 در این نمونه است.

نتایج حاصل از محاسبات و اندازه‌گیریهای این آزمایش بیانگر این مطلب است که پارامتر c در شبکه نمونه‌های (Y_{123}) و (Y_{123}) قدری کوچکتر شده که احتمالاً یونهای Sm (با شعاع یونی $1/079 \text{ \AA}$) Eu (با شعاع یونی $1/066 \text{ \AA}$) با یون Ba جایگزین شده‌اند و با توجه به کوچک بودن شعاع یونی یونهای جایگزیده نسبت به یون Ba نهایتاً پارامتر شبکه c در این ترکیبات کاهش پیدا می‌کند. نتیجه این محاسبات با محاسبات مرجع [۲] و [۱۵] در توافق است.

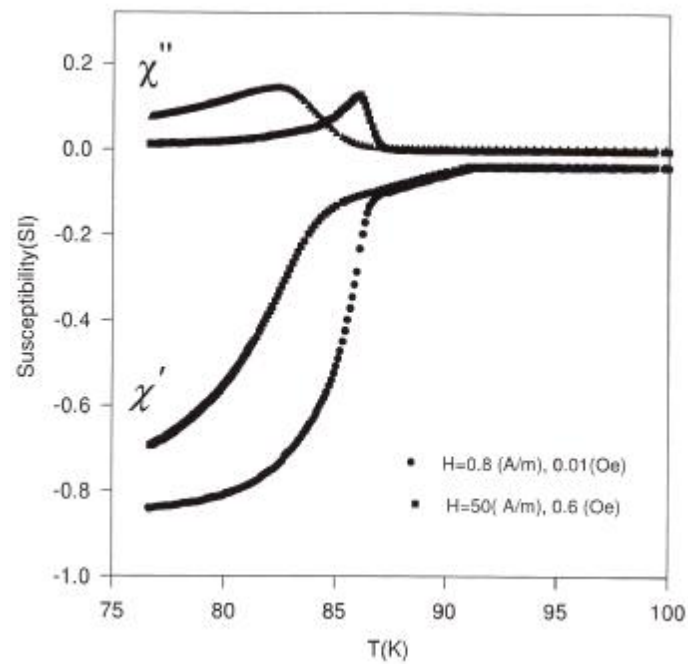
از نمونه‌های ساخته شده توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی SEM گرفته شد. تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطح نمونه $(Y_{.33}Gd_{.33}Sm_{.33})Ba_2Cu_3O_x$ توده‌هایی از فاز ابررسانا با دانه‌هایی به ابعاد $10-30 \mu m$ را نشان می‌دهد. نمودار EDX این نمونه مؤید درصد عناصر اسمی موجود در این نمونه به صورت کیفی است.

شکل ۳ تصویری از سطح نمونه $YGdEu_2$ را نشان می‌دهد. به طوری که در این تصویر مشاهده می‌شود، توده‌های

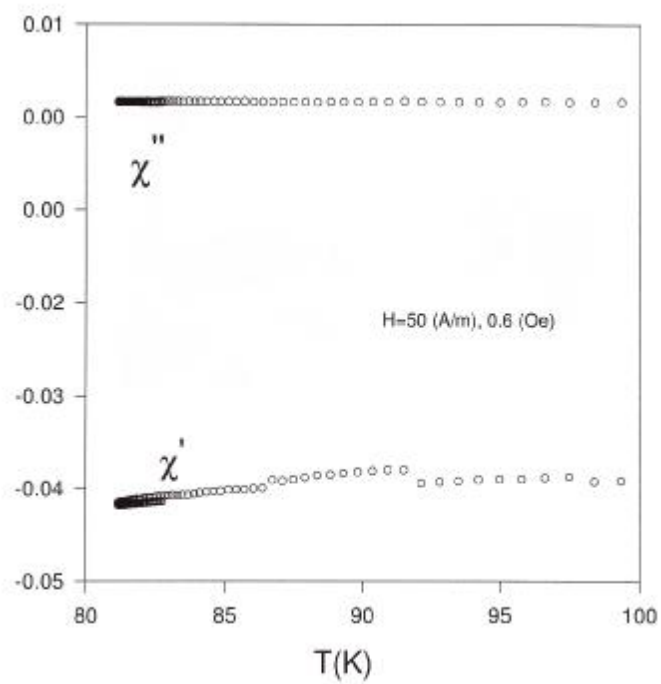
حاصل از اعمال میدان مغناطیسی نسبتاً پایین (حدوداً $50-100 \text{ A/m}$) نشان می‌دهد آستانه دمای گذار حدود ۹۰ درجه کلوین است، اما دمای گذار نمونه حتی در میدانهای نسبتاً پایین به حدود ۸۶ درجه کلوین نزول پیدا می‌کند. احتمال وجود فاز ناخالصی و یا کمبود اکسیژن در این نمونه موجود است که بعداً در مورد آن به طور مفصل صحبت خواهد شد. پذیرفتاری مغناطیسی برای نمونه $(Y_{.33}Gd_{.33}Sm_{.33})Ba_2Cu_3O_x$ آستانه دمای گذار این نمونه حدود ۹۱ درجه کلوین می‌باشد و نتایج حاصل از اعمال میدانهای مغناطیسی نسبتاً بالا (500 A/m) تأثیر چندانی در رابطه با دمای گذار نمونه ندارد.

به منظور بررسی و مطالعه بیشتر نمونه صورت $YGdEu_1$ معرفی می‌شود، این نمونه تحت عملیات حرارتی قرار گرفته و در حضور اکسیژن دو باره کلوخه سازی روی آن انجام شده است. نمونه فوق را که دوبار عملیات حرارتی روی آن انجام شده به نام $Y Gd Eu_2$ معرفی می‌کنیم. شکل ۲ نشانگر رفتار پذیرفتاری مغناطیسی این نمونه در میدان 50 A/m است. به طوری که ملاحظه می‌شود این نمونه هیچ گذاری را تا دمای ۷۷ درجه ی کلوین از خود نشان نمی‌دهد.

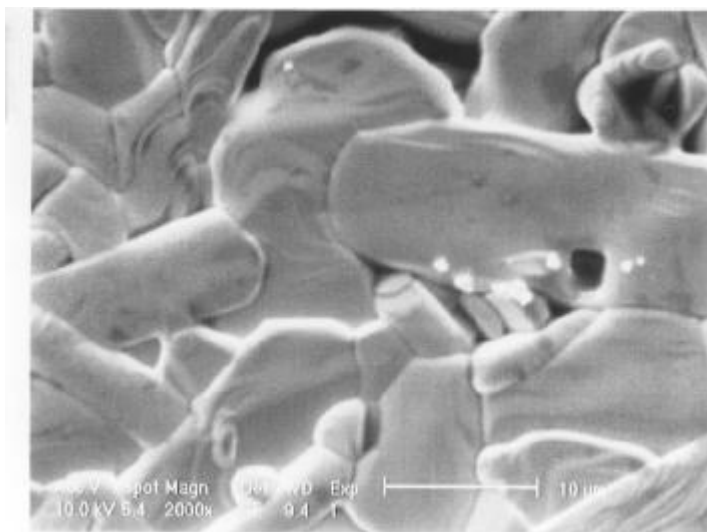
در مرحله بعدی مقاومت الکتریکی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. مقاومت نمونه $(Y_{.33}Gd_{.33}Sm_{.33})Ba_2Cu_3O_x$ دارای آستانه گذاری برابر ۹۱ درجه کلوین می‌باشد. مقاومت نمونه $YGdEu_1$ دارای آستانه گذار حدود ۹۰ درجه کلوین است. مقاومت نمونه $Y Gd Eu_2$ نیز اندازه‌گیری شد و مقدار متوسط دمای گذار آن حدود ۶۵ درجه کلوین تخمین زده شد و مقاومت این نمونه زیر دمای ۵۰ درجه کلوین صفر می‌باشد. مشاهده می‌شود که دمای گذار نمونه $Y Gd Eu_2$ نسبت به نمونه $YGdEu_1$ به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا کرده است. احتمالاً افزایش بیش از مقدار بهینه اکسیژن در این نمونه، تعداد حاملین بار را زیاد کرده است. با توجه به این که دمای گذار بر حسب تعداد حاملین بار به طور سهموی تغییر می‌کند [۱۶]،



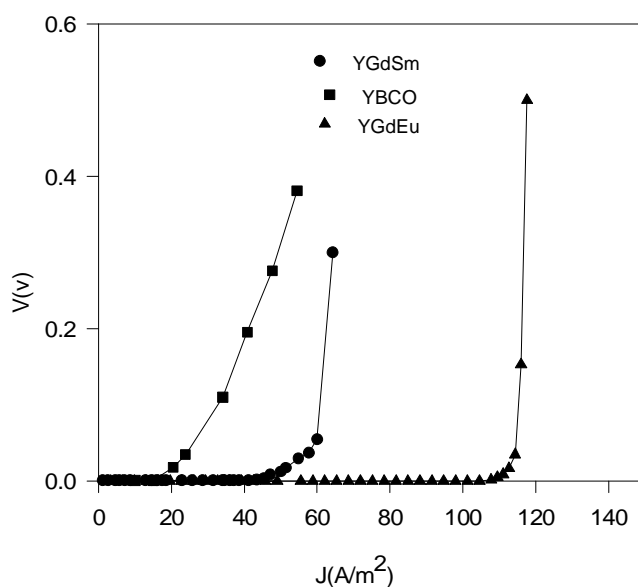
شکل ۱. پذیرفتاری مغناطیسی بر حسب دما برای نمونه $YGdEu$.



شکل ۲. پذیرفتاری مغناطیسی بر حسب دما برای نمونه $YGdEu$.



شکل ۳. تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه $YGdEu_2$.



شکل ۴. چگالی جریان بحرانی بر حسب دما برای نمونه $Y-123$ و $YGdEu_1$ و $YGdSm_{123}$.

ازت مایع (۷۷درجه کلوین) نشان می‌دهد. به طوری که از نتایج حاصل می‌توان استنتاج کرد، چگالی جریان بحرانی نمونه‌های $(YGdSm)$ و $(YGdEu_1)$ نسبت به نمونه خالص $Y-123$ افزایش پیدا کرده است. با توجه به دمای ازت مایع $(YGdEu_2)$ قادر به اندازه‌گیری چگالی جریان بحرانی نمونه نبودیم.

مکعب مستطیلی (که معرف وجود فاز $Y123$) در این شکل به طور کامل قابل مشاهده است. نتایج حاصل از مطالعه EDX این نمونه، نشان می‌دهد که نسبت اسمی عناصر موجود در نمونه به طور کامل حفظ شده است.

شکل ۴ نتایج اندازه‌گیری چگالی جریان بحرانی برای نمونه‌های 123 $(YGdSm)$ و $(Y123)$ و $(YGdEu_1)$ را در دمای

۴. نتیجه گیری

$(Y_{23}GdSm)$ ، به مقدار قابل توجه بوده و دارای ممان مغناطیسی است، این خود یک عامل باز دارنده بوده و بنابراین افزایش چگالی جریان بحرانی به اندازه ترکیب سه تایی $Y_{23}GdEu$ نخواهد بود.

احتمالاً افزایش بیش از اندازه اکسیژن از مقدار بهینه در نمونه $Y_{23}GdEu$ نسبت به نمونه $Y_{23}GdEu$ که مجدداً در اکسیژن باز پخت شده، تعداد حاملین بار را زیاد کرده است. با توجه به این که دمای گذار بر حسب تعداد حاملین بار به طور سهموی تغییر می کند، هر چند ناخالصی از بین رفته و الگوی ساختاری بهتر افزایش خیلی زیاد حاملین بار دمای گذار این نمونه را کاهش داده است.

آنالیزهای SEM ، XRD نشان از تشکیل فاز ابرسانایی در نمونه ها و همچنین وجود بعضی فازهای ناخالصی می دهد. آنالیز EDX نشان داد که نسبت اسمی عناصر موجود در نمونه به طور کامل حفظ شده است.

تشکر و قدردانی

از معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان به خاطر حمایت از این کار، تشکر و قدردانی می شود.

با انجام آزمایشهای اندازه گیری پذیرفتاری مغناطیسی و مقاومت الکتریکی، توانستیم گذار ابرسانایی را در کلیه نمونه های ساخته شده مشاهده کنیم. اندازه گیری چگالی جریان بحرانی ترکیب سه تایی $Y_{23}GdEu$ و $(Y_{23}GdSm)$ افزایش مقدار J_c را نسبت به نمونه $(Y_{23}GdSm)$ نشان می دهد. نتایج حاصل از اندازه گیری چگالی جریان بحرانی نمونه های $Y_{23}GdEu$ و $Y_{23}GdSm$ و ارزیابی ساختاری $Y_{23}GdEu$ نشان می دهد که احتمالاً جایگزینی یونهای Eu^{+3} و Sm^{+3} در این ترکیبات سه تایی با یون Ba^{+2} تعداد حاملین بار را در زنجیره های $Cu-O$ کاهش داده و به همین دلیل دمای گذار نمونه ها اندکی کاهش پیدا کرده است، اما با توجه به اصلاح ساختاری که در این سیستمها انجام شده است، حضور احتمالی یونهای Sm و Eu در روی صفحه های $Ba O$ به عنوان یک ناخالصی به تولید میخکوبی محلی منجر شده و باعث افزایش جریان بحرانی شده است. این نتیجه گیری با نتایج حاصل از مطالعات انجام شده توسط یوون زو [۱۵] در توافق است. جایگزینی یونهای مغناطیسی (اگر به مقدار بسیار ناچیز باشد) می تواند منجر به افزایش چگالی جریان بحرانی شود اما اگر این جایگزینی قابل ملاحظه باشد، این خود یک عامل کاهش چگالی جریان بحرانی است. در این جا Sm همانند Eu به عنوان یک ناخالصی عمل می کند و چگالی جریان بحرانی افزایش می یابد، اما چون یون جایگزیده Sm ، در ترکیب سه تایی

مراجع

1. H Salamati, A A Babaei and M Safa, *Supercon. Scien and Technol.* **14** (2001) 816.
2. M Muralidhar, et al., *Supercond. Scien. Technol.* **10** (1997) 663.
3. D N Matthews, J W Cochrane and G J Russell, *Physica C* **249** (1995) 255.
4. A Das, M Muralidhar, M R Koblishka and M Murakami, *Physica C* **338** (2000) 284-290.
5. M R Koblishka, et al., *Phys. Rev. B* **58** (1998) 2883.
6. M Muralidhar, et al., *Supercond, Sci, Technol.* **10** (1997) 663.
7. H P W Esinger, *Physica C* **203**, 121 (1992).
8. M Muralidhar, *Supercond. Sci, Technol.* **10** (1997) 1.
9. M Muralidhar and M Murakami, *Applied Superconductivity.* **5** (1997) 127-131.
10. M Muralidhar, M R Koblishka and M Murakami, *Physica C* **313** (1999) 232-240.
11. N Ogawa, I Hirabayashi and S Tanaka. *Physica C* **177** (1991) 10.
12. T Izumi, Y Nakamura. T H Sung and Y Shiohara, *J. Mater. Res.* **7** (1992) 807.
13. C Varanasi and P J McGinn, *Physica C* **207** (1993) 79.
14. Goto, Inagaki, Watanabe, *Physica C* **330** (2000) 51-57.
15. Youwen X and M J Kramer, *Physica C* **333** (2000) 195.
16. Giuseppe G.N Angilella, R. Pucci and F. Siringo, *Phys. Rev. B* **54** (1996) 15471.

