

## ساخت، آنالیز و مشخصه یابی لایه‌های نازک ابررسانای $Y_3Ba_5Cu_8O_{18+\delta}$

آقاباقری<sup>۱</sup>، سمیه<sup>۱</sup>؛ محمدی‌زاده، محمدرضا<sup>۱</sup>؛ کاملی، پرویز<sup>۲</sup>؛ سلامتی، هادی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>آزمایشگاه پژوهشی ابررسانایی، دانشکده فیزیک دانشگاه تهران، انتهای خیابان کارگر شمالی، تهران

<sup>۲</sup>آزمایشگاه پژوهشی ابررسانایی و مغناطیس، دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی اصفهان

### چکیده

لایه‌های نازک  $YBa_2Cu_3O_7$  (Y123) و  $Y_3Ba_5Cu_8O_{18}$  (Y358) به روش لایه‌گذاری با لیزر پالسی لایه‌نشانی شده‌اند. پراش اشعه‌ی  $X$ ، نشان می‌دهد که هر دو لایه در راستای محور  $c$  رشد کرده‌اند. آنالیز مقاومت بر حسب دما نشان می‌دهد که پهنای گذار ابررسانایی برای لایه Y358 و Y123 به ترتیب حدود ۰/۶ و ۱/۶ کلوین است. آنالیز وابستگی دمایی پذیرفتاری مغناطیسی متناوب لایه‌ها نزدیک به دمای گذار، با استفاده از مدل حالت بحرانی بین، نشان می‌دهد که چگالی جریان بحرانی بین دانه‌ای در لایه‌های Y358 بیش از دو برابر چگالی جریان بحرانی بین دانه‌ای در لایه‌های Y123 است. بنابراین نیروی میخکوبی شار در لایه‌های Y358 قوی‌تر است. اتصالات ضعیف در هر دو نمونه مستقل از استوکیومتری، از نوع ابررسانا-هنجار-ابررسانا است.

## Preparation, analysis and characterization of $Y_3Ba_5Cu_8O_{18}$ superconducting Thin films

Aghabagheri, Somayah<sup>1</sup>; Mohammadizadeh, MohammadReza<sup>1</sup>; Kameli, Parviz<sup>2</sup>; Salamati, Hadi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Superconductivity Research Lab. (SRL), Department of Physics, University of Tehran

<sup>2</sup> Superconductivity and Magnetic Research Lab., Department of Physics, Isfahan University of Technology

### Abstract

$YBa_2Cu_3O_7$  (Y123) and  $Y_3Ba_5Cu_8O_{18}$  (Y358) thin films were deposited by pulsed laser deposition method. XRD analysis shows both films grow in  $c$  axis oriented. Resistivity versus temperature analysis shows superconducting transition width for Y358 and Y123 films are about 0.6 K and 1.6 K, respectively. Analysis of the temperature dependence of the AC susceptibility near the transition temperature, employing Bean critical state model, indicates that intergranular critical current density for Y358 films is more than twice of intergranular critical current density of Y123 films. Thus flux pinning is stronger in Y358 films. Weak links in the both samples are of superconductor-normal-superconductor (SNS) type irrespective of the stoichiometry.

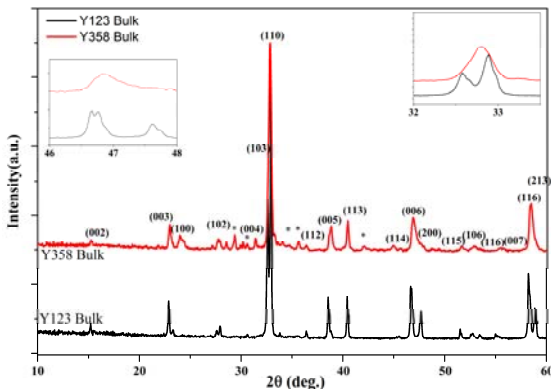
PACS No.(74.25)

است. در ابتدا کپه Y358 به روش حالت جامد ساخته می‌شود و سپس از این نمونه‌ها به عنوان ماده هدف در تهیه لایه نازک Y358 به روش رسوب لیزر پالسی استفاده می‌شود و مشخصات لایه Y358 با لایه Y123 تهیه شده به روش لیزر پالسی با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

**جزئیات تجربی:** برای تهیه ماده هدف Y123 و Y358 به روش حالت جامد، پودرهای  $Y_2O_3$ ،  $CuO$  و  $BaCO_3$  با خلوص بالا، با استوکیومتری ۱:۲:۳ برای ماده هدف Y123 و با استوکیومتری ۳:۵:۸ برای ماده هدف Y358 مخلوط می‌شوند. پودر Y123 در دمای ۹۲۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت تکلیس می‌شود و پودر Y358 در دمای ۸۴۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۱۲ ساعت تکلیس می‌شود (فرآیند ساینیدن پودرها و تکلیس سه مرتبه تکرار

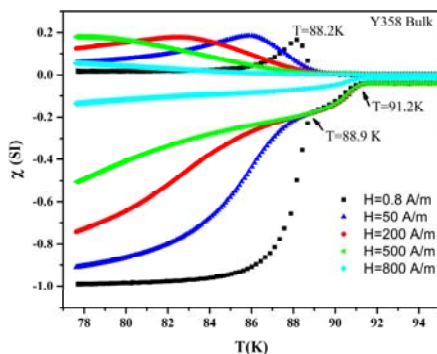
**مقدمه:** در سال‌های اخیر گزارش شده است که یک فاز جدید از ترکیب YBCO با استوکیومتری Y358 وجود دارد [۱]. دمای گذار ابررسانایی که توسط مراجع مختلف برای این ترکیب گزارش شده است متفاوت است. بالاترین دمای گذار اولیه ۱۰۲ کلوین بوده است که توسط گروه اخوان [۱] و آکوران [۲] گزارش شده است. اما تعداد زیادی از مقالات هم برای این ترکیب دمای گذار مشابه Y123 [۳-۵] گزارش کرده‌اند. تفاوت دیگری که در مقالات بین این دو فاز دیده می‌شود مراکز میخکوبی شار بهتر فاز Y358 نسبت به فاز Y123 است [۹]. بنابراین این دو عامل انگیزه‌ای شده است تا به سراغ ساخت کپه Y358 برویم. از آنجا که تاکنون گزارشی از ساخت لایه نازک این ترکیب موجود نبوده است، پس از ساخت کپه Y358، هدف تهیه لایه نازک این فاز جدید بوده

ترکیب Y358 به نظر می‌رسد کمبود اکسیژن داشته است و ساختار اورتورومبیک به طور کامل در آن تشکیل نشده است.

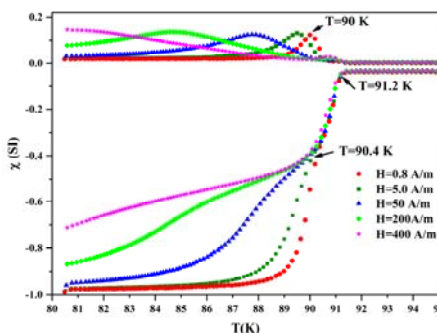


شکل ۱: طرح پراش اشعه ایکس دو ترکیب Y123 (منحنی پایینی) و Y358 (منحنی بالایی). شکل‌های داخلی محدوده زاویه ۳۳ درجه و ۴۷ درجه را در ابعاد بزرگتر نشان می‌دهند.

شکل (۴) و (۵) به ترتیب منحنی پذیرفتاری مغناطیسی کپه Y358 و Y123 را در میدان‌های مغناطیسی مختلف و در فرکانس ۳۳۳ هرتز نشان می‌دهد.



شکل ۴: منحنی پذیرفتاری مغناطیسی ترکیب Y358 در میدان‌های مغناطیسی مختلف و در فرکانس ۳۳۳ هرتز

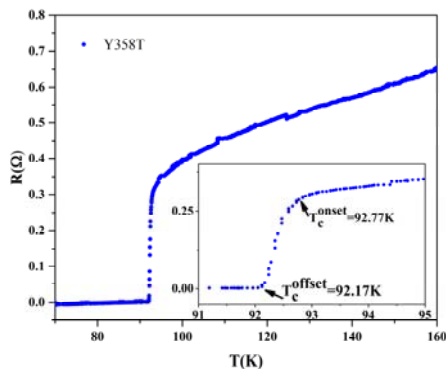


شکل ۵: منحنی پذیرفتاری مغناطیسی ترکیب Y123 در میدان‌های مغناطیسی مختلف و در فرکانس ۳۳۳ هرتز

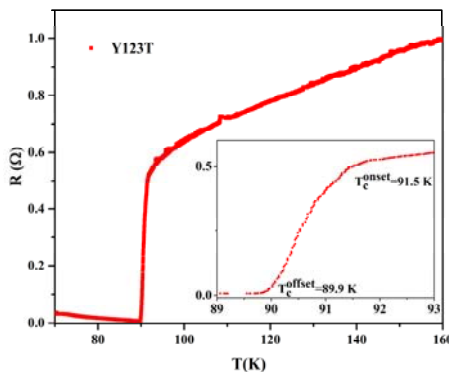
می‌شود). پودرها تحت فشار به قرص‌هایی با اندازه ۲۵ میلی‌متر تبدیل می‌شوند و سپس فرآیند کلوخه سازی برای هر دو قرص در دمای ۹۳۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت در حضور اکسیژن انجام می‌شود. نمونه‌ها تا دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد در حضور اکسیژن سرد می‌شوند و در این دما به مدت ۱۰ ساعت باقی می‌مانند. برای تهیه لایه نازک Y123 و Y358، از یک لیزر پالسی همراه با محفظه خلا (Neocera) استفاده شده است. زیرلایه، تک بلور  $\text{LaAlO}_3$  است. زیرلایه با چسب نقره بر روی گرمکن نصب می‌شود و گرمکن روبروی ماده هدف و در فاصله ۶ سانتیمتری آن قرار می‌گیرد. برای لایه نشانی از انرژی لیزر ۱۸۰ میلی ژول بر پالس، فرکانس ۵ هرتز، فشار اکسیژن زمینه ۴۰۰ میلی‌تور و دمای زیرلایه ۷۶۰ درجه سانتیگراد استفاده شده است. پس از لایه نشانی، لایه‌ها در حضور اکسیژن با فشار ۷۶۰ تور تا دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد، در مدت زمان ۳۰ دقیقه سرد می‌شوند و در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۶۰ دقیقه بازپخت می‌شوند و در نهایت تا دمای اتاق در حضور اکسیژن سرد می‌شوند. آنالیز ساختاری نمونه‌ها به وسیله پراش اشعه X و در محدوده زاویه ۱۰ تا ۶۰ درجه و با دستگاه Philips  $\text{CuK}\alpha$  انجام می‌شود. اندازه‌گیری مقاومت بر حسب دمای نمونه‌های کپه و لایه نازک با استفاده از یک یخچال مدار بسته هلیوم و به روش چهارمیله‌ای اندازه‌گیری می‌شود. نفوذپذیری مغناطیسی با استفاده از (lake shore AC susceptometer model 7000) انجام می‌شود. ضخامت سنجی با روش پروفیلومتری (VEECO DekTak3) انجام می‌شود.

**نتایج و بحث:** شکل (۱) طرح پراش اشعه ایکس دو نمونه کپه Y123 و Y358 را نشان می‌دهد. بیشتر قله‌های Y123 و Y358 مشابه هستند. تنها تفاوت در قله‌های کوچکی در طیف پراش مربوط به نمونه Y358 دیده می‌شود که با \* مشخص شده‌اند و مربوط به فازهای ناخالصی است [۱]. قله اصلی در زاویه حدود ۳۳ درجه قرار دارد که این قله برای Y123 دوقله‌ای و برای فاز Y358 تک قله‌ای است. قله حدود زاویه ۴۷ درجه هم در ترکیب Y123 دو قله‌ای است و در ترکیب Y358 تک قله‌ای است. در نتیجه در ترکیب Y123 ساختار اورتومبیک تشکیل شده است اما

پهنای گذار نمونه تنها ۰/۶ کلین است. این نتیجه بسیار خوشایندی است که بتوان لایه ابررسانا با پهنای گذار کمتر از یک کلین تهیه کرد زیرا در کاربردهای ابررسانایی پهنای گذار کوچک هم ارز حساسیت بالا بوده و بسیار مطلوب است. شکل (۸) منحنی مقاومت بر حسب دمای نمونه Y123T را نشان می‌دهد. در نمونه Y123T، دمای گذار اولیه ۹۱/۵ کلین و دمای گذار نهایی ۸۹/۹ کلین را نشان می‌دهد. در نتیجه پهنای گذار برای نمونه Y123T، حدود ۱/۶ کلین است.



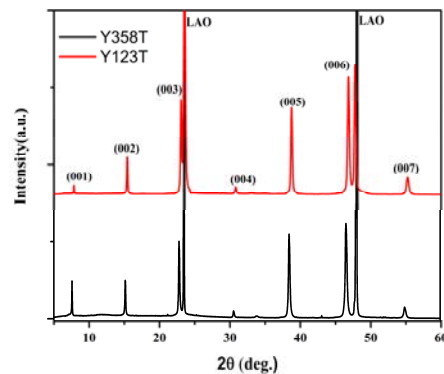
شکل ۷: منحنی مقاومت بر حسب دمای نمونه Y358T. شکل داخلی محدوده گذار را در ابعاد بزرگتر نشان می‌دهد.



شکل ۸: منحنی مقاومت بر حسب دمای نمونه Y123T. شکل داخلی محدوده گذار را در ابعاد بزرگتر نشان می‌دهد.

شکل (۹) و (۱۰) به ترتیب منحنی پذیرفتاری مغناطیسی را برای لایه Y123T و Y358T در فرکانس ۳۳۳ هرتز و در میدان‌های مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل‌ها دیده می‌شود با افزایش میدان مغناطیسی از ۰/۸ آمپر بر متر تا ۸۰۰ آمپر بر متر، جابجایی  $T_p$  برای نمونه Y358T برابر با ۳ کلین است و برای نمونه Y123T مقدار جابجایی برابر با ۴/۸ کلین است. بنابراین نیروی میخکوبی شار در نمونه Y358T بیشتر از میخکوبی شار در Y123T(1) است. در لایه Y358T به ازای میدان مغناطیسی ۸۰۰

همان‌طور که در شکل دیده می‌شود گذار نمونه Y358 دو پله‌ای است. دمای گذار اولیه دو نمونه یکسان است و برابر با ۹۱/۲ کلین است دمای گذار نمونه Y358 برابر با دمای گذاری است که معمولاً برای ترکیب Y123 گزارش می‌شود. بنابراین علی‌رغم تغییر در استوکیومتری نمونه دمای گذار تغییری نکرده است. اما پهنای گذار Y358، ۴ درجه کلین بیشتر است که این می‌تواند به دلیل دو فازی بودن نمونه و ناکافی بودن اکسیژن باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش میدان مغناطیسی قله مربوط به بخش موهومی به سمت دماهای پایین‌تر منتقل می‌شود که میزان انتقال برای نمونه Y358 اندکی بیشتر است. هم‌چنین اثر میدان بر روی قسمت بین دانه‌ای در مولفه حقیقی برای نمونه Y358 بیشتر است. با استفاده از ماده هدف Y123، لایه نازک Y123T و با شرایط لایه‌نشانی مشابه و با استفاده از ماده هدف Y358، لایه Y358T ساخته شده است تا دو لایه با هم مقایسه شوند. شکل (۶) طرح پراش اشعه ایکس دو نمونه Y123T و Y358T را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود هر دو نمونه رشد جهت‌مند در راستای محور  $c$  دارند و هیچ‌گونه فاز ناخالصی و یا رشد در جهت محور  $a$  وجود ندارد. ضخامت نمونه‌های Y123T و Y358T با ایجاد پله تیز بر روی نمونه با روش فوتولیتوگرافی مرطوب و با استفاده از روش پروفیلومتری اندازه‌گیری شده است که ضخامت دو نمونه حدود  $10 \pm 980$  نانومتر است. رفتار مقاومت بر حسب دمای نمونه Y358T در شکل (۷) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود دمای گذار اولیه ۹۲/۷۷ کلین و دمای گذار نهایی ۹۲/۱۷ کلین را نشان می‌دهد.



شکل ۶: طرح پراش اشعه ایکس دو نمونه Y123T (منحنی بالایی) و Y358T (منحنی پایینی)

برازش داده‌های تجربی با این رابطه به دست می‌آیند در جدول (۱) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که چگالی جریان بحرانی بین دانه‌های لایه ابررسانای Y358T بیش از دو برابر چگالی جریان بحرانی بین دانه‌های لایه ابررسانای Y123T است. در هر دو نمونه مقدار  $n$  تقریباً برابر با ۲ است. بنابراین نواحی مرزهای بین دانه‌های به صورت ابررسانا-هنجار-ابررسانا رفتار می‌کند.

جدول (۱): مقادیر  $J_c(0)$  و  $n$  به دست آمده از برازش داده‌های تجربی

نمونه	$J_c(0) \times 10^6 \text{ (A/cm}^2\text{)}$	$n$
Y358T	۲۵/۹	۲/۰۲
Y123T	۱۱/۸	۲/۰۹

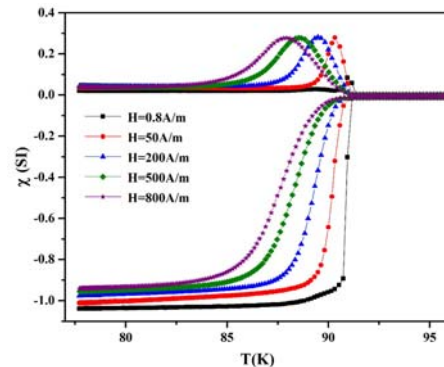
**نتیجه‌گیری:** با مقایسه نتایج آنالیزهای مختلف برای دو نمونه لایه نازک Y123 و Y358 دیده می‌شود که لایه Y358 پهنای گذار ۰/۶ کلومین را نشان می‌دهد. قدرت میخکوبی شار در لایه Y358 قوی‌تر است و چگالی جریان بحرانی بین دانه‌های در لایه Y358 حداقل دو برابر چگالی جریان بحرانی بین دانه‌های در لایه Y123 است. پهنای گذار کم لایه Y358 و چگالی جریان بحرانی بالاتر آن می‌تواند نتیجه بسیار مطلوبی در کاربردهای ابررسانایی باشد.

**سپاسگزاری:** بخشی از هزینه‌های این طرح از محل اعتبارات معاونت پژوهشی دانشگاه تهران تأمین شده است.

## مرجع‌ها

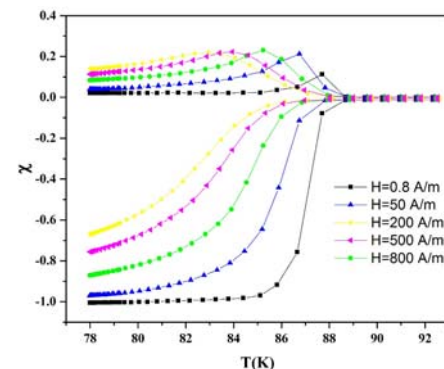
- [۱] A. Aliabadi, Y. Akhavan Farshchi, and M. Akhavan, "A new Y-based HTSC with  $T_c$  above 100 K," *Phys. C Supercond. its Appl.*, vol. 469, no. 22, pp. 2012–2014, 2009
- [۲] N. Akduran, "Superconducting Fluctuations in Polycrystalline Y3Ba5Cu8O18," *J. Low Temp. Phys.*, vol. 168, no. 5–6, pp. 323–333, 2012.
- [۳] M. a. Aksan, O. Kizilaslan, E. N. Aksan, and M. E. Yakinci, "Thermoelectric power and thermal conductivity study of the Y3Ba5Cu8Ox system," *Phys. B Condens. Matter*, vol. 407, no. 14, pp. 2820–2824, 2012.
- [۴] P. Udamsamuthirun, T. Kruaehong, T. Nilkamjon, and S. Ratreng, "The new superconductors of YBaCuO materials," *J. Supercond. Nov. Magn.*, vol. 23, no. 7, pp. 1377–1380, 2010.
- [۵] A. Ekicibil, S. Kılıç, A. O. Ayas, A. Cos, T. Firat, and K. Kıymac, "Exploration of the Superconducting Properties of Y3Ba5Cu8O18 with and without Ca Doping by Magnetic Measurements," *Solid State Sci.*, vol. 13, pp. 1954–1959, 2011.
- [۶] S. Kutuk, S. Bolat, C. Terzioglu, and S. P. Altintas, "An investigation of magnetoresistivity properties of an Y3Ba5Cu8Oy bulk superconductor," *J. Alloys Compd.*, vol. 650, pp. 159–164, 2015.
- [۷] H. Salamati and P. Kameli, "AC susceptibility study of YBCO thin film and BSCCO bulk superconductors," *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 278, no. 1–2, pp. 237–243, 2004.
- [۸] S. aghabagheri, M. R. Mohammadzadeh, H. Salamati and P. Kameli "Effect of Oxygen Pressure on the Surface Roughness and Intergranular Behavior of YBCO Thin Films," *J. Supercond. Nov. Magn.*, vol. 29, no. 6, pp. 1483–1489, 2016.

آمپر بر متر نمونه تا دمای ۸۴ کلومین خاصیت دیامغناطیس کامل را نشان می‌دهد و شار مغناطیسی را دفع می‌کند. این نتیجه برای کاربردهای ابررسانای حائز اهمیت است.



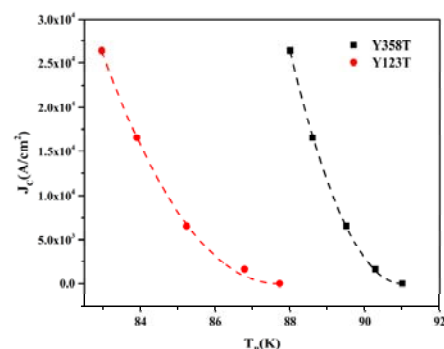
شکل ۸: منحنی پذیرفتاری مغناطیسی برای نمونه Y358T در فرکانس ۳۳۳

هرتز و در میدان‌های مختلف



شکل ۹: منحنی پذیرفتاری مغناطیسی برای نمونه Y123T در فرکانس ۳۳۳

هرتز و در میدان‌های مختلف



شکل ۱۰: چگالی جریان بحرانی بین دانه‌های دو نمونه Y358T و Y123T بر

حسب دمای  $T_p$

شکل (۱۰) چگالی جریان بحرانی بین دانه‌های به دست آمده از مدل بین [۷ و ۸] را برای دو نمونه Y358T و Y123T بر حسب دمای  $T_p$  نشان می‌دهد. وابستگی دمایی چگالی جریان بحرانی از رابطه

$J_c(T) = J_c(0) \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n$  پیروی می‌کند. مقادیر  $J_c(0)$  و  $n$  از