

تأثیر آلیش عنصر Ni بر خواص ابررسانای $Y_{1-x}Ni_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ هادی سیجانی^۱، بهناز^۱؛ شاکری پور، حمیده^۲؛ سلامتی، هادی^۳^۱دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان ۸۴۱۵۶-۸۳۱۱۱

چکیده

تأثیر جایگزینی عنصر مغناطیسی Ni^{2+} در جایگاه عنصر غیرمغناطیسی Y^{3+} در سیستم ابررسانای $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ مورد مطالعه قرار گرفت. نمونه جایگزینی شده با ترکیب اسمی $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ با مقادیر آلیش $0 \leq x \leq 0.01$ به روش استاندارد واکنش حالت جامد ساخته شدند. آنالیز پذیرفتاری مغناطیسی AC بر روی آن‌ها انجام شد. با ترسیم نمودار پذیرفتاری به شکل تابعی از دما و بررسی افت و خیزهای آن، یک روند افزایشی در دمای بحرانی تا حد غلظت بهینه $x=0.004$ ، دیده شده و سپس دمای گذار، با آلیش بیشتر کاهش می‌یابد.

Effect of Ni Substitution on $Y_{1-x}Ni_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ SuperconductorHadisichani, Behnaz¹; Shakeripour, Hamideh²; Salamati, Hadi³¹Department of Physics, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran

Abstract

Effect of Ni^{2+} substitution for Y^{3+} site in $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ superconductor is studied. The samples were synthesized by the standard solid state reaction with the nominal composition of $Y_{1-x}Ni_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ where $0 \leq x \leq 0.01$. The samples were analyzed by AC magnetic susceptibility measurements. The temperature dependence of the AC susceptibility of the samples reveals that the critical transition temperature is increased up to $x=0.004$ of Ni content and then it starts to decrease by further doping.

PACS No. 74, 75

مقدمه

ترکیب‌های ابررسانا است. با توجه به ساختار و جایگاه Y در ترکیب [۳]، جایگزینی کامل یا جزئی عناصر نادر زمین که دارای ممان مغناطیسی هستند، در جایگاه Y، در ترکیب $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ، تفاوت زیادی در دمای گذار ایجاد نمی‌کند [۴]. در حالی که حضور آلاینده‌های مغناطیسی در ابررساناهای متعارف، به عنوان عامل شکست جفت، دمای گذار را شدیداً کاهش می‌دهد [۵]. هم‌زیستی مغناطیسی و ابررسانایی از آن روی عجیب است که شکافتگی تبادلی مغناطیسی به راحتی قادر است زوج‌شدگی از نوع تک‌تایی اسپینی را از بین ببرد [۶]. این مشاهدات نشان می‌دهد که جایگاه‌هایی که توسط عناصر مغناطیسی اشغال شده‌اند، برای درک اثر ممان مغناطیسی بر خواص ابررسانا از اهمیت زیادی برخوردار هستند. نکته قابل توجه این است که در تحقیقات اخیر انجام شده بر روی آلیش یون مغناطیسی آهن و کبالت در جایگاه ایتریوم،

ابررساناهای کوپراتی نقش مهمی در پیشرفت علم ابررسانایی دما-بالا در ۳۰ سال گذشته، چه در زمینه تحقیقات بنیادین و چه در زمینه کاربردها و فن‌آوری بازی کرده است. شروع این نسل از ابررساناها با مشاهده ابررسانایی در دمای ۳۵K توسط بدنورز و مولر در سال ۱۹۸۶ بود [۱]. به دنبال آن، ابررسانایی در دمای حدود ۹۰K در ترکیب $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ در سال ۱۹۸۷ مشاهده شد [۲]. با کشف ابررسانایی در دمای ۹۰K تلاش‌های فراوانی برای مطالعه ابررسانایی، به منظور فهم مکانیزم جفت‌شدگی در این دسته از ترکیبات به وجود آمد. از این رو تعداد زیادی روش‌های علمی به قصد بررسی خواص ابررسانا به کار برده شده است. یکی از راه‌های بررسی سازوکار این گروه از مواد، آلیش عناصر مختلف در

هاون دستی از جنس آلومینا، پودرها به‌خوبی تحت سایش قرار گرفتند و سپس عمل تکلیس انجام شد. عملیات حرارتی تکلیس در دمای 850°C در هوای آزاد به مدت ۲۴ ساعت و سپس سردشدن تدریجی تا دمای اتاق می‌باشد. بعد از دو مرحله تکلیس، پودر، به مدت یک ساعت آسیاب شده و سپس پودر تحت فشار 40 bar در داخل قالب، به قرصی به‌صورت مکعب‌مستطیل در ابعاد $10 \times 3 \times 1\text{ mm}^3$ درآمدند. سپس قرص‌ها بر روی ورقه‌ای از طلا و در اتمسفر اکسیژن با نرخ تقریبی $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ تا دمای 950°C حرارت دیده و به مدت ۲۴ ساعت در این دما باقی ماندند. در نهایت به آرامی با نرخ دمایی حدود $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ تا دمای اتاق سرد شدند [۹، ۱۲]. برای مطالعه خواص ابررسانایی نمونه‌ها، از آزمون پذیرفتاری مغناطیسی AC استفاده شد. اندازگیری پذیرفتاری مغناطیسی بر روی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی AC شرکت Lakeshore مدل ۷۰۰۰ از دمای اتاق تا دمای 77 K و در میدان مغناطیسی متناوب به بزرگی 0.8 A/m و با بسامد 333 Hz انجام گرفت. برای کنترل دما از سیستم کنترل‌کننده حرارتی DRC91C استفاده می‌شود. اصول کار سیستم براساس تغییر گشتاور مغناطیسی نمونه در یک میدان مغناطیسی متناوب است که توسط یک سیم‌پیچ تأمین می‌شود. تغییرات گشتاور مغناطیسی براساس تغییرات ولتاژ در یک سیم‌پیچ ثانویه آشکار می‌شود. در سیستم ACS میدان مغناطیسی با اعمال جریان AC به یک سیم‌پیچ (سولنوئید) ایجاد می‌شود و تغییرات شار از طریق اندازه‌گیری ولتاژ القا شده در سیم‌پیچ ثانویه، آشکار می‌گردد. این ولتاژ مستقیماً به پذیرفتاری مغناطیسی وابسته است.

نتایج و بحث

پاسخ مغناطیسی ابررساناهای دما-بالا در میدان مغناطیسی متناوب شامل یک جمله هم‌فاز و یک جمله غیرهم‌فاز با میدان مغناطیسی خارجی است. این دو جمله به ترتیب جملات حقیقی (X') و موهومی (X'') پذیرفتاری مغناطیسی نامیده می‌شود. قسمت حقیقی پذیرفتاری، رفتار دیامغناطیس ذاتی و اتصالات مرزدهانه‌ای را نشان می‌دهد. مؤلفه موهومی پذیرفتاری نشان دهنده میزان اتلاف انرژی می‌باشد [۱۳].

دمای گذار ابررسانایی تا حد بهینه‌ای از آرایش، روند افزایشی داشته است و سپس با افزایش بیشتر ناخالصی، دمای گذار روند کاهشی را نشان می‌دهد [۷، ۸]. این مشاهدات حاکی از آن است که ناخالصی مغناطیسی نه تنها باعث تخریب ابررسانایی، بلکه در حد بهینه، باعث بهبود آن شده است.

از طرفی دیده شده است، چگالی حاملین بار از طریق افزایش استوکیومتری اکسیژن و همچنین با جاینشانی کاتیون‌هایی با ظرفیت پایین‌تر، افزایش می‌یابد [۹]. افزایش استوکیومتری اکسیژن، به دلیل ناپایداری در ساختار نمی‌تواند ظرفیت مس را بیشتر از حد بهینه افزایش دهد. در چنین وضعیتی تنها راه‌حل، جاینشانی کاتیون با ظرفیت کمتر است [۱۰]. به طوری که با جاینشانی یون Ca^{2+} در جایگاه Y^{3+} ، با شعاع یونی یکسان و ظرفیت کمتر، به ازای هر صفحه CuO_2 ، $1/2$ حفره به تعداد حاملین بار افزوده می‌شود. در این جاینشانی به دلیل کوچک‌تر بودن عدد هم‌آرایی Ca نسبت به Y، تعداد اکسیژن موجود در ترکیب کاهش می‌یابد. این کاهش در اکسیژن، به‌ازای هر صفحه CuO_2 ، ۱ حفره را کاهش می‌دهد. در نهایت به دلیل کاهش در تعداد حاملین بار، دمای گذار کاهش می‌یابد [۱۱].

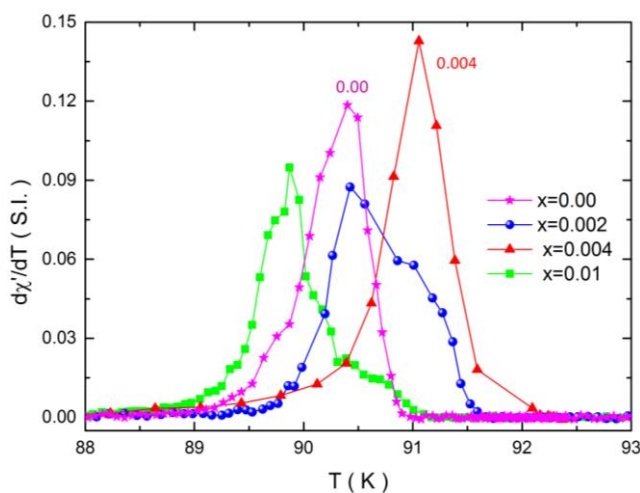
در این تحقیق، با هدف بررسی تأثیر یون مغناطیسی بر روی خواص ابررسانایی ترکیب $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ، جاینشانی یون دو ظرفیتی مغناطیسی Ni^{2+} در جایگاه یون سه ظرفیتی غیرمغناطیسی Y^{3+} بررسی شد. برای بررسی موضوع، از آزمون پذیرفتاری مغناطیسی AC بهره گرفته شد. اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی AC، نشان می‌دهد دمای گذار تا حد بهینه‌ای از آرایش، افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد. این مشاهدات، در توافق با افزایش دمای گذار مشاهده شده با آرایش عنصر مغناطیسی آهن و کبالت در ترکیب مشابه می‌باشد [۷، ۸].

ساخت و آزمایشات

برای تهیه نمونه‌ها از روش واکنش حالت جامد استفاده شد. پودر پیش‌مواد Y_2O_3 ($\geq 99\%$)، NiO ($> 99.999\%$)، (99.98%) و BaCO_3 ($> 96\%$) طبق مقادیر استوکیومتری مناسب و با دقت 0.1 mg ، توزین شدند. با حضور ایزوپروپانول و با استفاده از

جدول ۱، مقادیر T_c و پهنای گذار، ΔT_c به‌ازای غلظت‌های مختلف آلیش Ni در ترکیب $Y_{1-x}Ni_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ برای $0 \leq x \leq 0.1$ ، به‌دست آمده از اندازه‌گیری‌های پذیرفتاری مغناطیسی در میدان مغناطیسی $0.8A/m$ و فرکانس $333Hz$.

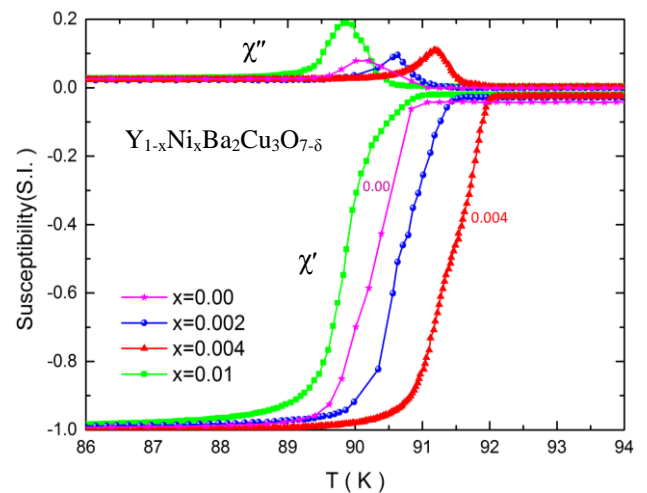
ΔT_c (K)	T_c (K)±Error	x (غلظت آلیش)
۱٫۳۲	۹۱٫۰۷±۰٫۲۴	۰٫۰۰
۲٫۰۴	۹۱٫۶۷±۰٫۰۸	۰٫۰۰۲
۱٫۹۱	۹۲٫۱۲±۰٫۰۴	۰٫۰۰۴
۲٫۴۵	۹۱٫۱۷±۰٫۰۷	۰٫۰۱



شکل ۲: نمودار مشتق دمایی χ' بر حسب دما به‌ازای غلظت‌های مختلف آلیش Ni در ترکیب $Y_{1-x}Ni_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ برای $0 \leq x \leq 0.1$ ، در میدان مغناطیسی $0.8A/m$ و فرکانس $333Hz$.

همان‌طور که از شکل ۱ و ۲ دیده می‌شود، در نمونه‌های $Y_{1-x}Ni_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ تا ۴٪ آلیش، دمای گذار افزایش یافته و سپس با افزایش بیشتر نیکل، دمای گذار کاهش می‌یابد. روند افزایشی در دمای گذار با افزایش ناخالصی مغناطیسی نیکل، با نظریه ابریکاسوف-گورکوف مغایرت دارد، که شکست جفت الکترون‌ها را عامل کاهش دمای گذار پیش‌بینی می‌کند [۱۴]. این روند افزایشی در دمای گذار، با مشاهدات اخیر در ترکیب مشابه با آلیش‌های آهن و کبالت، همخوانی دارد. پیش‌بینی شده است، این افزایش دما ناشی از افزایش حاملین بار است. همچنین برهم‌کنش ضعیف اسپینی بین اوربیتال‌های s-d به‌عنوان یکی دیگر از عوامل افزایش دمای گذار ترکیب پیشنهاد شده است [۷، ۸]. روند کاهشی

در شکل ۱، تغییرات مؤلفه‌های حقیقی و موهومی پذیرفتاری مغناطیسی AC نمونه‌ها بر حسب دما در میدان مغناطیسی $0.8A/m$ و فرکانس $333Hz$ نشان داده شده است.



شکل ۱: نمودار پذیرفتاری مغناطیسی بر حسب دما به‌ازای غلظت‌های مختلف آلیش Ni در ترکیب $Y_{1-x}Ni_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ برای $0 \leq x \leq 0.1$ در میدان مغناطیسی $0.8A/m$ و فرکانس $333Hz$. همان‌طور که دیده می‌شود با افزایش آلیش تا مقدار $x=0.004$ ، دمای گذار افزایش می‌یابد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، مؤلفه حقیقی پذیرفتاری، افت سریعی از حالت بهنجار به حالت ابرسانی دارد. دمای مربوط به این افت را T_c^{onset} می‌نامند. هر چه این گذار تیزتر باشد نشان دهنده اتصال قوی بین دانه‌ها و کم بودن میزان ناخالصی است. برای مشخص کردن مقدار دقیق دمای گذار، مشتق دمایی χ' ، $\frac{d\chi'}{dT}$ ، بر حسب دما رسم و در شکل ۲ نشان داده شده است. از روی مکان دنباله‌ها (مکان جدا شدن از خط افقی سمت چپ و راست) که در این نمودار وجود دارد مقادیر T_c و پهنای گذار، ΔT_c ، به همراه خطای آن، که ناشی از تکرارپذیری ساخت نمونه‌ها و روش استخراج T_c از نمودار است، تعیین و در جدول ۱ آورده شده است. پهنای کم گذار همه نمونه‌ها حاکی از آن است که فاز ناخالصی که باعث پهن شدن نمودار در دمای گذار می‌شود، مقدار ناچیزی است.

[۱۱] E. Nazarova, A. Zaleski, et al.; "Effects of substituting calcium for yttrium on the superconducting properties of $YBa_2Cu_3O_z$ bulk samples"; *Physica C: Superconductivity* 403, No. 4 (2004) 283-289.

[۱۲] شاکری‌پور، حمیده؛ اخوان، محمد؛ «آلایش Pr و Ca در ابررساناهای دمای بالا با پایه Gd»؛ مجله پژوهش فیزیک ایران، جلد ۳، شماره ۱، زمستان ۱۳۸۰، صفحه ۳۹ تا ۵۰.

[۱۳] N. Liyanawaduge, S. K. Singh, et al.; "Superconducting and Magnetic Properties of Zn-doped $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ "; *Journal of superconductivity and novel magnetism* 24 (2011) 1599-1605.

[۱۴] A. A. Abrikosov and L. Gor'kov; "Contribution to the theory of superconducting alloys with paramagnetic impurities"; *Zhur. Eksptl. i Teoret. Fiz.* 39, No. (1960).

[۱۵] B. Ullmann, R. Wördenweber, et al.; "Aspects of substitution of magnetic ions Fe, Ni and Gd in YBCO-HTSC"; *Physica C: Superconductivity* 170, No. 1 (1990) 71-79.

دمای گذار با اضافه کردن بیشتر یون نیکل، با نظریه‌های شکست جفت الکترون‌ها ناشی از حضور اسپین عنصر ناخالصی، مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

با مطالعه ترکیب ابررسانای $Y_{1-x}Ni_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ به وسیله اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی AC، دیده می‌شود که در حد آلایش‌های بهینه‌ای از Ni، دمای گذار ابررسانایی بالا می‌رود. این افزایش، در مغایرت با مبانی شکست جفت الکترون‌ها به دلیل حضور ناخالصی مغناطیسی می‌باشد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از همکاری بی‌دریغ آقای خالد رحمانی سپاسگزاریم. از آزمایشگاه مرکزی دانشگاه صنعتی اصفهان نیز برای همکاری در استفاده از دستگاه توزین تشکر می‌شود.

[۱] J. G. Bednorz and K. A. Müller; "Possible high T_c superconductivity in the Ba-La-Cu-O system"; *Ten Years of Superconductivity: 1980-1990* (1986) 267-271.

[۲] M.-K. Wu, J. R. Ashburn, C. W. Chu, et al.; "Superconductivity at 93 K in a new mixed-phase Y-Ba-Cu-O compound system at ambient pressure"; *Physical Review Letters* 58 (1987) 908.

[۳] A.K.Saxena; "High-temperature superconductors"; 1st, Springer (2010) 41-46.

[۴] P. Hor, R. Meng, et al.; "Superconductivity above 90 K in the square-planar compound system $A Ba_2Cu_3O_{6+x}$ with $A = Y, La, Nd, Sm, Eu, Gd, Ho, Er$ and Lu "; *Physical Review Letters* 58 (1987) 1891.

[۵] C. T. Wolowiec, B. D. White, et al.; "Conventional Magnetic Superconductors"; *Physica C: Superconductivity and its Applications* 514 (2015) 113-129.

[۶] جیمز. ف. انت؛ «ابررسانایی، ابرشارگی و چگاله‌ها» مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان؛ صفحه ۲۷۱.

[۷] حسینی، سیدسجاد؛ حمیده، شاکری‌پور؛ «بررسی تأثیر آلایش عنصر مغناطیسی Fe بر خواص مغناطیسی ابررسانایی $Y_{1-x}Fe_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ »؛ کنفرانس ابررسانایی و کاربردهای آن، ارومیه ۱۳۹۵، صفحه ۱ تا ۸۶.

[۸] قطب، سیده سارا؛ شاکری‌پور، حمیده؛ «بررسی تأثیر آلایش عنصر مغناطیسی Co بر خواص مغناطیسی ابررسانایی $Y_{1-x}Co_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ »؛ کنفرانس ابررسانایی و کاربردهای آن، ارومیه ۱۳۹۵، صفحه ۱ تا ۸۶.

[۹] اخوان، محمد؛ یمنی، زهراسادات؛ «پیشرفت‌های ابررسانایی دمای بالا» انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف؛ صفحه ۱۷۶، ۷۳ - ۸۹.

[۱۰] V. Awana and A. Narlikar; "Role of calcium in suppressing the superconductivity of $Y_{1-x}Ca_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ "; *Physical Review B* 49, No. 9 (1994) 63-53.