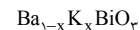


hkhosro56@yahoo.com :

۰/۶>x>۰



فونونی مورد توجه فراوانی قرار گرفته است زیرا اثر مشابهی در دیگر ترکیبات ابررسانایی مانند MgB_2 [۳] و $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{BiO}_3$ (BKBO) [۴] که نقش برهم‌کنش الکترون-فونون در ایجاد حالت ابررسانایی آنها مشخص است، مشاهده شده است. این تشابه می‌تواند به تفسیر این اثر در ابررساناهای اکسید مسی کمک کند.

سیستم BBO که یک ترکیب عایق است با آلیاژ پتاسیم به حالت ابررسانایی با دمای گذار بهینه 32 K گذار می‌کند. این ترکیب دارای برهم‌کنش قوی الکترون-فونون در حالت‌های مختلف عایق و ابررسانایی است. مطالعه نوارهای فونونی با

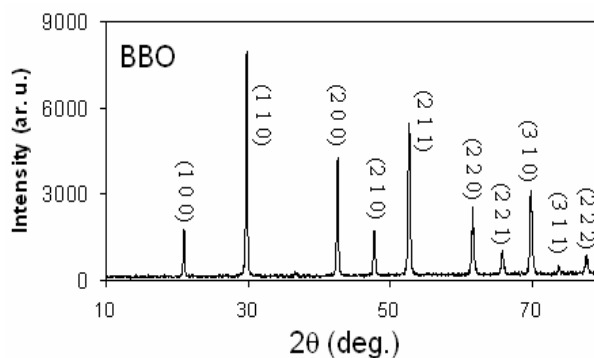
یکی از مسائل جالب ابررسانایی دمای بالا در ترکیبات اکسید مسی نقش برهم‌کنش الکترون-فونون در ایجاد حالت ابررسانایی در این ترکیبات است. شواهد آزمایشی اخیر از قبیل وجود زانو در نوارهای الکترونی [۱]، نرم شدگی ناهنجار مدهای فونونی مربوط به اکسیژن در صفحات اکسید مسی [۲]، و اثر ناهنجار ایزوتوپ نشان‌دهنده وجود برهم‌کنش قوی الکترون-فونون در این ترکیبات است. اگرچه به دلیل ساختار الکترونی و نمودار حالت پیچیده این ترکیبات هنوز نقش این برهم‌کنش به درستی مشخص نشده است. نرم شدگی ناهنجار

ساختار بلوری و مقدار پتاسیم ترکیب انجام شد.

آزمایش پراکندگی ناکشسان پرتو ایکس در خط پرتو BL35XU در مرکز شتابدهنده اسپیرینگ-۸ انجام شد [۵]. تک بلورهای مکعبی شکل با اندازه ۳ mm در هر بعد در راستای بلوری (۱,۰,۰) جهت‌یابی شده‌اند. برای اندازه‌گیری بیشترین شدت، تکانه پراکندگی فونون (۳+q,۰,۰) انتخاب شد. به منظور بهینه کردن قدرت تفکیک پذیری در انرژی، صفحات مختلف (۸و۸)Si، (۹,۹,۹)Si و (۱۱,۱۱,۱۱)Si (به ترتیب معادل ۴, ۶, ۳ و ۱,۵ meV) در تکفام‌کننده‌ها و تحلیلگرها (monochromator & analyzer) استفاده شد. برای بررسی اثر دما در کاهش پهنای قله‌ها این آزمایش برای نمونه BBO در دمای اتاق و ۱۰ K انجام شد.

در هر سری از رشد، نمونه‌هایی با ابعاد متفاوت ۱/۵-۰/۱ mm رشد داده شده‌اند. نمونه‌های با ابعاد ۳ mm دارای بیشترین کیفیت بوده و در آزمایش‌های دیگر استفاده شده‌اند. نتایج آزمایش‌های تفرق پرتو ایکس پودری نشان می‌دهد که نمونه‌های رشد داده شده با روش فوق دارای ترکیب شیمیایی BKBO است و ترکیب‌های ناخواسته تشکیل نشده است. شکل ۱ یک نمونه نوعی از نتایج این آزمایش را نشان می‌دهد. تقارن بلوری و کوچک بودن پهنای قله‌های آزمایش لاوه نیز نشان می‌دهد که تک بلورها دارای کیفیت کافی برای آزمایش‌های حساس پراکندگی ناکشسان پرتو ایکس هستند. مقدار پتاسیم در هر نمونه از مقایسه ثابت شبکه بلوری تعیین شده توسط این آنالیزها با داده‌های استاندارد [۶] تعیین شده است. دقت این آزمایش ۳ Å ± ۰/۰۰۳ در مقدار ثابت شبکه و معادل ۲ ± ۰/۰۲ در مقدار x می‌باشد. به دلیل کوچک بودن اندازه نمونه‌ها اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی و مغناطیس‌سنجی اسکوئید تنها برای تعدادی از نمونه‌ها قابل انجام بوده است. برای تعیین ابرسانا یا عایق بودن دیگر نمونه‌ها از نمودار حالت آنها و با توجه به مقدار x تعیین شده‌اند [۶].

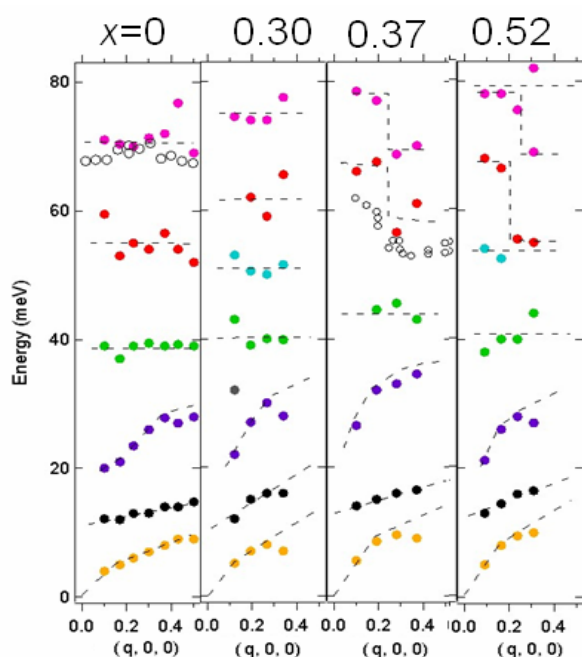
شکل ۲ یک نمودار نوعی از نتایج اندازه‌گیری پراکندگی



شکل ۱. تفرق پرتو ایکس پودری برای سیستم BBO. اعداد اندیس‌های میلر مربوط به قله متناظر را نشان می‌دهد.

روش پراکندگی ناکشسان نوترون یک نرم شدگی قوی در نمونه ابرسانای BKBO (x=۰/۴) را نشان می‌دهد، در حالی‌که در نمونه عایق اثری از آن دیده نمی‌شود. به دلیل فقدان نمونه‌های تک بلور با کیفیت بالا و بزرگ برای مقادیر میانی x، امکان تعیین نوارهای فونونی و بررسی دقیق این نرم شدگی با این روش امکان پذیر نیست. در این مطالعه روش پراکندگی ناکشسان پرتو ایکس برای اولین بار برای بررسی نوارهای فونونی و نحوه نرم شدگی آنها در سیستم BKBO با افزایش مقدار پتاسیم و به خصوص در نزدیکی گذار عایق-ابرسانا استفاده شده است.

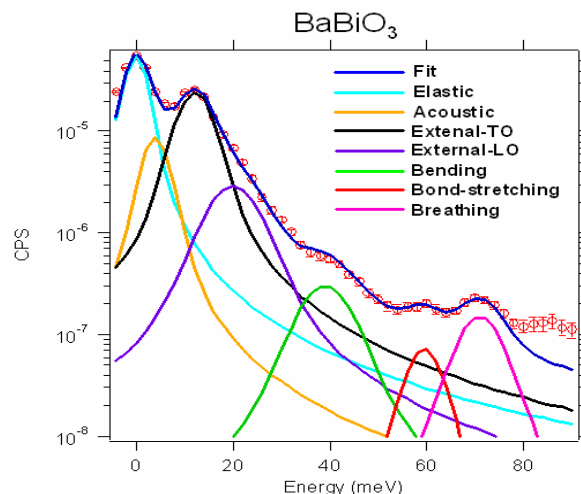
تک بلور سیستم BBO با روش جریان شاره (Flux flow) از پودرهای BaCO₃ و Bi₂O₃ (خلوص ۹۹/۹٪) و تک بلورهای با مقادیر x>۰ با روش الکتروشیمیایی از پودرهای Bi₂O₃ و Ba(OH)₂·۸H₂O (خلوص ۹۹/۹٪) رشد داده شدند. مخلوط پودرها در دمای ۲۹۰ °C در اتمسفر N₂ ذوب شده و توسط یک همزن مغناطیسی در فرآیند رشد یکنواخت شدند. اختلاف پتانسیل الکتریکی مستقیم و ثابت ۶۰۰ meV به دو الکترون وارد شده در مخلوط پودرها و به مدت دو هفته اعمال شد. با تغییر نسبت وزنی پودرهای اولیه تک‌بلورهای با مقادیر مختلفی از x رشد داده شد. سپس آزمایش‌های تفرق پرتو ایکس پودری و لاوه برای تعیین میزان کیفیت بلورها،



شکل ۳. نوارهای فونونی ترکیب BKBO در راستای $(1, 0, 0)$ به ازای مقادیر متفاوتی از x در دمای اتاق. دایره‌های تو پر داده‌های به‌دست آمده از برازش طیف‌های پراکندگی ناکشسان پرتو ایکس در مقایسه با داده‌های پراکندگی ناکشسان نوترون (تو خالی) [۴] را نشان می‌دهد. خطوط برای راهنمایی چشم ترسیم شده‌اند.

مطالعه‌های قبلی پراکندگی ناکشسان نوترون برای نمونه‌های مشابه است.

مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار پتاسیم در ترکیب نوارهای با انرژی کمتر از 80 meV تغییر چندانی نمی‌کنند. در حالی که برای دو نوار فونونی با انرژی بالا دو تغییر مهم مشاهده می‌شود: افزایش انرژی نوارها در مقادیر کوچک q با افزایش مقدار x و کاهش ناگهانی و سریع انرژی نوارها در مقادیر میانی q و تنها برای نمونه‌های ابرسانا. این نوارها با افزایش مقدار q در نمونه‌های عایق تقریباً ثابت می‌مانند. این تغییر ناگهانی انرژی در مقادیر میانی q ، بزرگ و کاملاً ناهنجار است. نظریه‌های معمول برهم‌کنش الکترون-فونون قادر به توضیح این اثر نیستند. نکته جالب دیگر این نرم شدگی فونونی، ناپیوستگی آن در گذار عایق-ابرسانا است به طوری که این نرم شدگی تنها برای نمونه‌های ابرسانا اتفاق می‌افتد. این مطلب نشان از وجود یک برهم‌کنش الکترون-فونون قوی در



شکل ۲. نمودار پراکندگی ناکشسان پرتو ایکس تک بلور BBO در $q=0$. نقاط داده‌های تجربی، خطوط زیر منحنی برازش داده‌های تجربی با تابع شبه وایگت برای هر قله، و خط روی داده‌ها نتیجه کلی برازش را نشان می‌دهد.

ناکشسان پرتو ایکس ترکیب BBO در دمای اتاق و $q=0$ را نشان می‌دهد. آزمایش‌ها نشان می‌دهند که کاهش دما تأثیر قابل ملاحظه‌ای در طیف‌ها ندارد. خطوط نتایج برازش داده‌های تجربی با تعدادی تابع شبه وایگت (pseudo-voigt)، یک ترکیب خطی توابع گاوسی و لورنتز) را نشان می‌دهد. قله موجود در انرژی صفر پراکندگی کشسان و قله‌های دیگر مدهای آکوستیکی و اپتیکی فونون‌ها را نشان می‌دهد. مکان قله‌ها انرژی مدهای فونونی را نشان می‌دهد. مدهای فونونی از مقایسه انرژی آنها با نتایج محاسباتی تعیین شده‌اند. شدت داده‌های به دست آمده در انرژی‌های بالاتر از 80 meV در حد زمینه طیف بوده و از برازش حذف شده‌اند.

شکل ۳ پراکندگی نوارهای فونونی سیستم BKBO را به ازای مقادیر متفاوت x و q در دمای اتاق و در راستای $(1, 0, 0)$ نشان می‌دهد. دو نمونه $x=0$ و $x=0.30$ در ناحیه عایق نمودار حالت و دو نمونه $x=0.37$ و $x=0.52$ در ناحیه ترکیبات ابرسانا قرار می‌گیرند [۶]. ۶ نوار فونونی در این سیستم مشاهده می‌شود که ۵ نوار آنها مربوط به ترکیب ایده‌آل BKBO و نوار حدود 40 meV به ناجابه‌جایی‌های موجود در نمونه‌ها نسبت داده می‌شود. این نتایج در همخوانی با نتایج

ترکیباتی است که در مقادیر پایین تر از دمای گذارشان به حالت ابرسانایی گذار می‌کنند.

این نرم شدگی ناهنجار در مطالعه پراکندگی ناکشسان نوترون برای نمونه ابرسانا دیده شده بود [۴]، اما نحوه بستگی آن به مقدار پتاسیم تعیین نشده بود. به علاوه نرم شدگی مشابهی در دیگر ترکیبات ابرسانایی مانند ابرساناهای دمای بالای اکسید مسی [۲] و MgB_2 [۳] مشاهده شده است که وجود یک پدیده مشترک در ترکیبات مختلف ابرسانایی را نشان می‌دهد. اگرچه در ترکیبات ابرسانایی اکسید مسی به دلیل وجود برهم‌کنش‌های قوی الکترونی و حالت مغناطیسی ترکیب پایه آنها ارتباط این نرم شدگی به برهم‌کنش مستقیم الکترون-فونون و یا نقش الکترون-فونون در ایجاد حالت ابرسانایی مشکل است، اما از مشابهت وجود این پدیده در ترکیبات BKBO و MgB_2 می‌توان به اهمیت ارتباط پدیده نرم شدگی فونونی با ابرسانایی آگاه شد.

آزمایش پراکندگی ناکشسان پرتو ایکس برای تک بلورهای عایق و ابرسانای سیستم BKBO انجام شد. در نوارهای فونونی با انرژی بالا یک افزایش انرژی در تکانه‌های کوچک و یک کاهش بزرگ و ناهنجار در مقایسه میانی q و تنها برای نمونه‌های ابرسانا مشاهده می‌شود. این اثر ناهنجار به برهم‌کنش قوی الکترون-فونون نسبت داده شده که حالت ابرسانایی را ایجاد می‌کند. از مشابهت این رفتار در ترکیبات مختلف ابرسانایی پیشنهاد شده است که نرم شدگی مشابه در ترکیبات ابرساناهای اکسید مسی نیز به دلیل برهم‌کنش قوی الکترون-فونون و نشاندهنده نقش این برهم‌کنش در ایجاد حالت ابرسانایی در این ترکیبات است.

این مطالعه با پشتیبانی انجمن ارتقای علمی ژاپن (JSPS) انجام شده است.

4. M Braden, W Reichardt, W Schmidbauer, A S Ivanov and A Yu Rumiantsev, *J. Superconductivity* **8** (1995) 595.
5. A Q R Baron, Y Tanaka, S Goto, K Takeshita, T Matsushita and T Ishikawa, *J. Phys. Chem. Soli.* **61** (2000) 461.
6. S Pei, J D Jorgensen, B Dabrowski, D G Hinks, D R Richards, A W Mitchell, J M Newsam, S K Sinha, D Vaknin and A J Jacobson, *Phys. Rev. B* **41** (1990) 4126.

1. A Lanzara, P V Bogdanov, X J Zhou, S A Kellar, D L Feng, E D Lu, T Yoshida, H Eisaki, A Fujimori, K Kishio, J-I Shimoyama, T Nodak, S Uchida, Z Hussain and Z-X Shen, *Nature*, **412** (2001) 510.
2. D Reznik, L Pintschovious, M Ito, S Iikubo, M Sato, H Goka, M Fujita, K Yamada, G D Gu and J M Tranquada, *Nature*, **440** (2006) 1170.
3. A Q R Baron, H Uchiyama, Y Tanaka, S Tsutsui, D Ishikawa, S Lee, R Haid, K P Bohnen, S Tajima and T Ishikawa, *Phys. Rev. Lett.* **92** (2004) 197004.