

Investigation of special thermodynamic properties of Bi-2212 as a function of temperature and oxygen pressure using XRD

M. Babaeipour^{*}, M. Hesarkhani, M. Tavakoli

Department of Physics, University of Bu Ali Sina, Hamedan

(Received: 6/4/2009, in revised form: 18/7/2009)

Abstract: In this article, the thermodynamic properties of Bi2212, as a function of oxygen pressure and temperature variations, have been studied. The results showed that variation of lattice parameters are directly a function of temperature and conversely function of oxygen content. The experiments were set up at room temperature to 820 °C and different oxygen pressure from 5, 10, 50, 100 and 500 mb. It was found that the crystal structure of the Bi-2212 is stable from room temperature up to 815 and oxygen pressure of 10 mb but at 820 °C, it committed decomposition and its crystal structure completely ruined. It was found that as a result of decomposition of some of the elements of the compound does interact with quartz and put it in a fragile position.

Keywords: BSCCO, Bi-2212, oxygen content, lattice parameters, stoichiometry

^{*}Corresponding author, Telefax.: +98 (0811) 8280440, E-mail: babaei@basu.ac.ir



بررسی خواص ویژه ترمودینامیکی Bi-۲۲۱۲ به صورت تابعی از ظرفیت اکسیژن و دما با استفاده از XRD

منوچهر بابایی پور*، مصطفی حصارخانی، محمد حسین توکلی

گروه فیزیک دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(دریافت مقاله: ۸۸/۱/۱۸، نسخه نهایی: ۸۸/۴/۲۸)

چکیده: در این کار پژوهشی خواص ترمودینامیکی Bi-۲۲۱۲ به صورت تابعی از تغییرات دما و فشار اکسیژن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که روند تغییرات پارامترهای شبکه با دما نسبت مستقیم و با ظرفیت اکسیژن نمونه نسبت عکس دارد. این بررسی‌ها از دمای اتاق تا ۸۲۰ درجه سانتی‌گراد و در فشارهای ۵، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی بار اکسیژن انجام شد. معلوم شد که نمونه تا دمای ۸۱۵ درجه سانتی‌گراد و فشارتعدادی ۱۰ میلی بار کاملاً پایدار است و در دمای ۸۲۰ درجه سانتی‌گراد و فشار اکسیژن ۱۰ میلی بار ساختار بلوری خود را از دست می‌دهد و شبکه بلوری ویران می‌شود. در عین حال واکنش برخی از عناصر تشکیل دهنده نمونه با کوارتز باعث تشکیل سیلیکات بیسموت می‌شود و لوله آزمایش کوارتز شکننده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: Bi-۲۲۱۲، BSCCO، ظرفیت اکسیژن، پارامترهای شبکه، عنصر سنجی.

مقدمه

به دلیل ویژگی‌های خاص فاز Bi-۲۲۱۲، از جمله وابستگی بسیاری از خواص آن به ظرفیت اکسیژن این ترکیب همواره مورد توجه بوده است. بررسی‌های که تاکنون در مورد تغییرات ساختار Bi-۲۲۱۲ در دماها و ظرفیت‌های مختلف اکسیژن صورت گرفت، اطلاعات مشخصی در مورد مرزهای همزمان دمایی و ظرفیت اکسیژن که این ترکیب در آن از نظر ساختاری پایدار است، ارائه نشده است. یکی از هدف‌های این بررسی رسیدن به یک مرز تقریبی دما برای این پایداری است، ولی بعضی از خواص دیگر آن از جمله چگونگی تغییرات احتمالی پارامترهای شبکه با دما و نیز ظرفیت اکسیژن مورد بررسی قرار گرفته است.

در سال ۱۹۸۸ BSCCO که ترکیبی است از بیسموت، استرانسوم، مس، کلسیم و اکسیژن با دمای گذار در حدود ۹۰ درجه کلونین، توسط مائدا کشف شد. این ماده از ترکیب پودرهای Bi_2O_3 ، SrCO_3 ، CaCO_3 و CuO نسبتاً خالص و بر حسب بعضی گزارش‌ها با ترکیب درصد ۲:۱:۱:۱ تشکیل می‌شود [۱].

فرمول کلی این ترکیب به صورت $\text{Ba}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_N\text{Cu}_{N+1}\text{O}_{2N+6+x}$ است که در آن اگر $N = 0$ باشد فاز ۲۲۰۱ با دمای ابررسانایی ۲۰ درجه کلونین و در حالت $N=1$ فاز ۲۲۱۲ (فاز مورد بررسی در این مقاله) با دمای بحرانی در حدود ۹۰ درجه کلونین و در حالت $N = 2$ فاز ۲۲۲۳ تشکیل می‌شود [۲].

* نویسنده مسئول، تلفن- نمابر: ۸۲۸۰۴۴۰ (۰۸۱۱) ۹۸+، پست الکترونیکی: babaei@basu.ac.ir

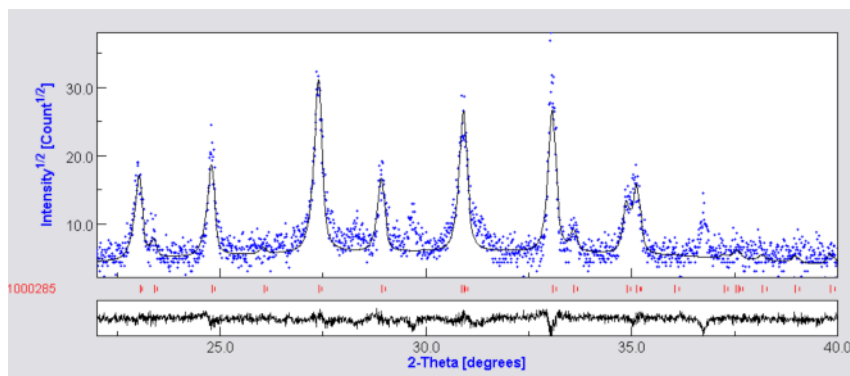
بررسی‌ها

نمونه مورد بررسی Bi-2212 ، یک نمونه تک فاز بود که از شرکت PI-KEM انگلستان خریداری شد. نخست در دمای اتاق (۲۰ درجه سانتی‌گراد) با دستگاه X-Ray موجود در آزمایشگاه فیزیک دانشگاه بوعلی‌سینا نقش پراش پودری از آن تهیه و با نرم افزار MAUD که بر اساس روش ریتولد [۳] کار می‌کند برازش شد (شکل ۱). آنگاه تقریباً ۵ گرم از نمونه در درون یک لوله آزمایش از جنس کوارتز قرار گرفت و سپس در محفظه اصلی دستگاه والیومتری که قبلاً در گروه فیزیک دانشگاه بوعلی‌سینا ساخته شده بود منتقل شد [۴]. این دستگاه به گونه ای طراحی شده است که امکان تغییر همزمان دما و فشار گاز درون محفظه را که نمونه در آن قرار دارد ممکن می‌سازد.

آزمایش‌ها به طور کلی در سه مرحله انجام شد. در مرحله اول نمونه در دماهای ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰، ۶۵۰، ۷۰۰، ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و بر حسب شرایط آزمایش فشار درون محفظه را تغییر دادیم. در اولین سری آزمایش‌ها نخست دمای نمونه از دمای اطاق به ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد افزایش داده شد و چنانکه انتظار میرفت فشار درون محفظه افزایش یافت که نشانگر خروج اکسیژن از نمونه بود. سپس با خروج اکسیژن اضافی فشار نمونه را در ۵ میلی بار به تعادل رساندیم. این کار چندین بار تکرار شد تا سرانجام پس از ۳ ساعت نمونه در این فشار (۵ میلی بار) به تعادل رسید (هیچ‌گونه تغییری در فشار درون محفظه رخ نداد). سپس نمونه به سرعت از دستگاه خارج و در شرایط محیط سرد شد. پس از سرد شدن در دمای اطاق و فشار هوا الگوی پراش آن با دستگاه XRD گرفته شد و نمونه دوباره به درون دستگاه بر گردانده شد. برای رساندن نمونه به شرایط پیش از خروج از دستگاه، دما را دوباره به ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد رساندیم و با تزریق اکسیژن، فشار درون

محفظه در ۵ میلی بار دوباره به تعادل رسانده شد تا حد امکان به ترکیب عنصری قبلی برگردد (این کار نیز چندین ساعت به طول انجامید). در همین دما به منظور بررسی این که آیا روند جذب اکسیژن نیز برای نمونه رخ می‌دهد یا نه، فشار درون محفظه به ترتیب در فشارهای ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی بار اکسیژن قرار گرفت و برای هر فشار منحنی‌های جذب اکسیژن بر حسب زمان بررسی شدند (نتایج نشان‌دهنده جذب مقدار کمی اکسیژن به وسیله نمونه بود که این روند جذب در دماهای بالاتر بیشتر بود). لازم به یادآوری است که در این دما و پس از پایان آزمایش در فشار ۵۰۰ میلی بار، نمونه دوباره از دستگاه خارج شد و پس از سرد کردن سریع، الگوی پراش آن تهیه شد. این کار امکان مقایسه الگوی پراش را در یک دما و دو حالت با ظرفیت‌های متفاوت اکسیژن را فراهم می‌کرد، و در عین حال چگونگی تأثیر ظرفیت اکسیژن بر ساختار بلوری را نیز ممکن می‌سازد (دمای ۴۰۰ درجه و فشارهای ۵ و ۵۰۰ میلی بار). پس از تهیه الگوی پراش، نمونه دوباره به درون دستگاه برگردانده و با افزایش دما به ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد دقیقاً همانند دمای ۴۰۰ درجه آزمایش تکرار شد. این روش برای دماهای یاد شده تا دمای ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد تکرار شد.

در مرحله دوم آزمایش‌ها در دماهای ۷۸۰، ۸۰۰ و ۸۱۰ درجه سانتی‌گراد و تنها در فشار تعادلی ۵ میلی بار انجام شد. مرحله نهایی آزمایش‌ها در دماهای ۸۱۵ و ۸۲۰ درجه سانتی‌گراد و در فشار ۱۰ میلی بار اکسیژن انجام شد (به منظور جلوگیری از تخریب احتمالی نمونه. فشار تعادلی کمی افزایش یافت). لازم به یادآوری است که در شروع هر آزمایش فشار دستگاه والیومتر با استفاده از یک پمپ خلأ به 5×10^{-2} میلی بار رسانیده می‌شد.

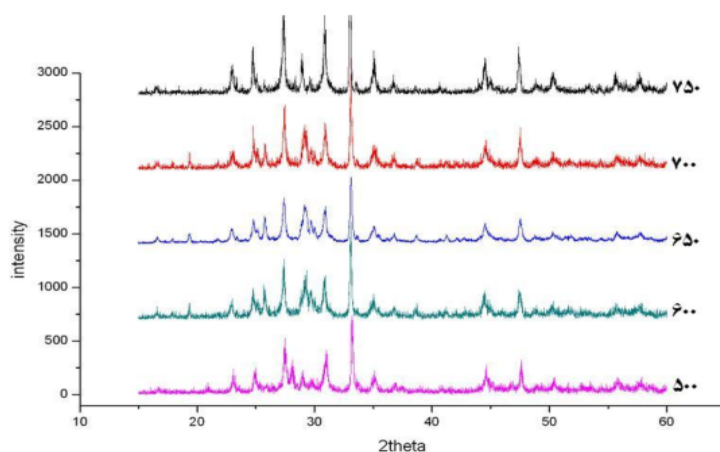


شکل ۱ الگوی پراش پرتو X و الگوی برازش شده Bi-2212 توسط نرم افزار MAUD در دمای اتاق.

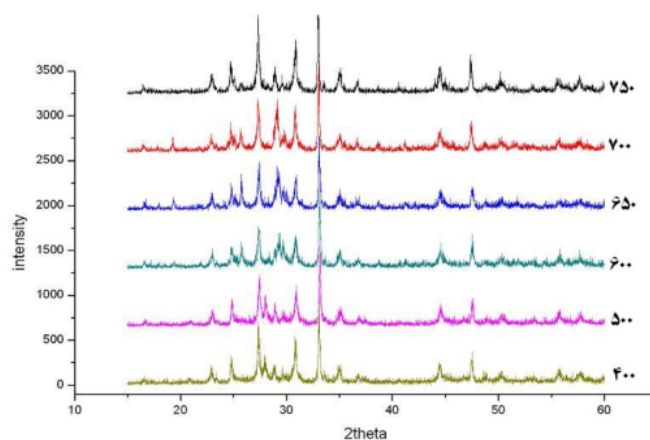
بحث و بررسی

الگوهای حاصل از پراش پرتو ایکس در دماهای مختلف با نرم افزار MAUD (Material Analysis Using Diffraction)، که بر مبنای روش محاسباتی ریتولد عمل می کند، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. نمونه ای از نتیجه این بررسی ها در

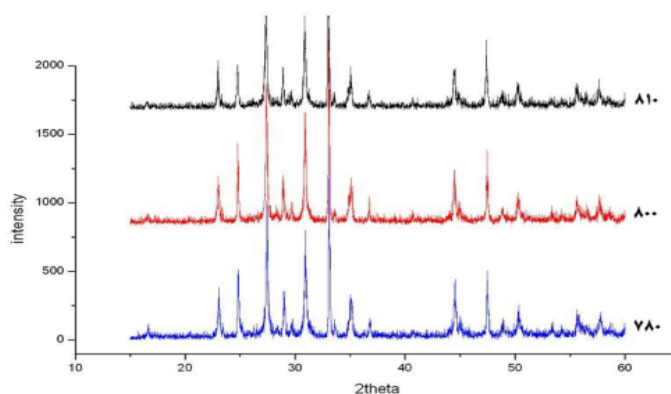
شکل ۱ و الگوی پراش هر سه مرحله در شکل های ۲ تا ۵ نشان داده شده اند. لازم به یادآوری است نتایج همه بررسی های قله های موجود در الگوی پراش را شاخص گذاری کرده و همه آنها با قله های مربوط به ترکیب Bi-2212 کاملاً سازگارند و شناسایی شدند (۵).



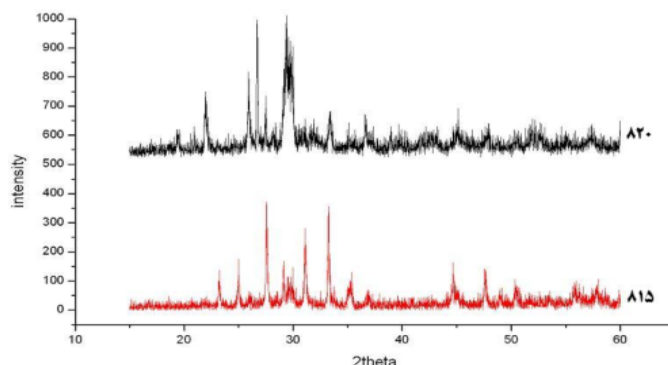
شکل ۲ الگوهای پراش پرتو X از نمونه Bi-2212 در دمای اتاق پس از گرمادهی در دماهای ۵۰۰ تا ۷۵۰ درجه سانتی گراد در فشار ۵ میلی بار.



شکل ۳ الگوهای پراش پرتو X از نمونه Bi-2212 در دمای اتاق پس از گرمادهی در دماهای ۴۰۰ تا ۷۵۰ درجه سانتی گراد در فشار ۵۰۰ میلی بار.



شکل ۴ الگوهای پراش پرتو X از نمونه Bi-2212 در دمای اتاق پس از گرمادهی در دماهای ۷۸۰، ۸۰۰ و ۸۱۰ درجه سانتی گراد در فشار ۵ میلی بار.



شکل ۵ الگوهای پراش پرتو X از نمونه Bi-2212 در دمای اتاق پس از گرمادهی در دماهای ۸۱۵ و ۸۲۰ درجه و فشار ۱۰ میلی بار.

باعث انبساط و در نتیجه افزایش پارامترهای شبکه می‌شود. لازم به یادآوری است که چنانکه از مقایسه ستون‌های دوم و سوم جدول‌های ۱ و ۲ پیداست، پارامترهای شبکه در دمای ثابت کاهش می‌یابند که این نیز با بررسی‌های قبلی سازگار است [۵]. باید گفت که نقش عمده‌ای را که دما در این بررسی‌ها به عهده دارد امکان تغییر در ظرفیت اکسیژن است و از آنجا که بیشتر اکسیژن‌های جذب و دفع شده از این ترکیب آن‌هایی هستند که در صفحات BiO قرار دارند و از طرفی این صفحات نیز در ساختار بلوری تشکیل دهنده پارامترهای a و b وجود دارند لذا تغییرات این دو پارامتر نسبت به دما و فشار اکسیژن محسوس‌تر است. از آنجا که در این دماها، جذب (دفع) اکسیژن نسبت به دماهای بالاتر کمتر است، تغییرات مربوط به پارامترهای a و b باید مشهودتر باشد. البته لازم به یادآوری است که این تغییرات در ساختار میانگین شبکه رخ می‌دهد در حالی که ساختار بلوری واقعی بسیار پیچیده است و جذب و دفع اکسیژن علاوه بر تغییرات یادشده، باعث ایجاد ساختار مدوله شده و نیز تغییرات در پارامترهای ابر شبکه نیز می‌شود که باید جداگانه مورد بررسی قرار گیرد.

لازم به یادآوری است که چون در این ترکیب به علت وجود اکسیژن‌های اضافی در صفحه BiO یک ساختار مدوله شده دیده می‌شود در الگوی پراش آن قله‌هایی با عنوان قله‌های اقماری نیز دیده می‌شوند که در برازش ریتولد به چشم نمی‌خورند. نمونه‌ای از این قله‌ها در حدود زوایای ۳۰ و ۳۵ درجه دیده می‌شوند (شکل ۱). از آنجا که موضوع این مقاله بررسی ساختار مدوله شده نیست لذا در مورد این قله‌های اضافی در بررسی‌های آینده بحث خواهد شد.

با استفاده از نتایج به دست آمده از برازش ریتولد چگونگی تغییرات پارامترهای شبکه Bi-2212 به صورت تابعی از دما مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به آزمایش‌هایی که در سه مرحله انجام گرفته بود این تغییرات نیز برای هر سه مرحله به صورت جداگانه آرایه می‌شوند.

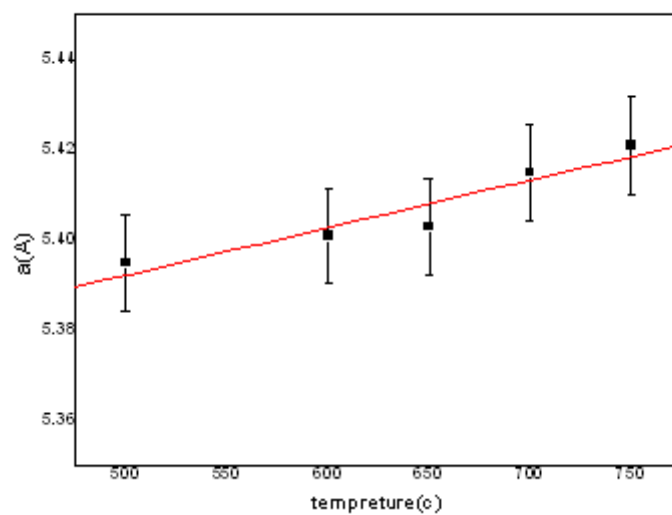
نتایج مرحله اول برای فشارهای اکسیژن ۵ و ۵۰۰ میلی بار و در دماهای مختلف (۷۵۰-۴۰۰ درجه سانتی‌گراد) در جدول‌های ۱ و ۲ و نیز شکل‌های ۶ و ۷ دیده می‌شوند. نکته‌ای که در جدول‌های ۱ و ۲ و نیز شکل‌های ۶ و ۷ قابل توجه است وجود روند افزایشی در پارامترهای شبکه a و b به صورت تابعی از دماست با یک دید اجمالی می‌توان گفت دما

جدول ۱ اطلاعات مرحله اول آزمایش در فشار ۵ میلی بار.

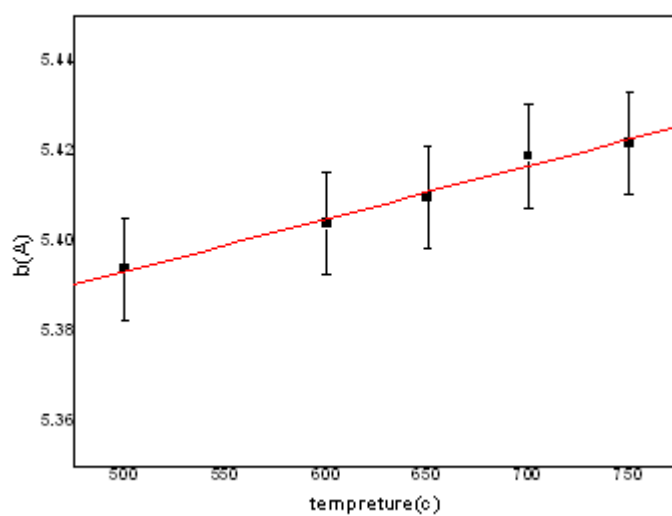
دما (°C)	a(Å)	b(Å)	c(Å)
۵۰۰	۵,۳۹۵	۵,۳۹۵	۳,۰۸۴۳
۶۰۰	۵,۴۰۱	۵,۴۰۴	۳,۰۹۰۷
۶۵۰	۵,۴۰۳	۵,۴۱	۳,۰۸۷
۷۰۰	۵,۴۱۶	۵,۴۲۰	۳,۰۸۴۱
۷۵۰	۵,۴۲۱	۵,۴۲۲	۳,۰۸۸۱

جدول ۲ اطلاعات مرحله اول آزمایش در فشار ۵۰۰ میلی بار.

دما (°C)	a(Å)	b(Å)	c(Å)
۵۰۰	۵,۳۸۸	۵,۳۸۹	۳۰,۷۸۳
۶۰۰	۵,۴۰۸	۵,۴۱۵	۳۰,۹۲۲
۶۵۰	۵,۴۰۰	۵,۴۰۹	۳۰,۸۲۳
۷۰۰	۵,۴۰۴	۵,۴۰۸	۳۰,۷۱۶
۷۵۰	۵,۴۱۸	۵,۴۲	۳۰,۸۵۰



شکل ۶ نمودار تغییرات پارامتر a با دما در فشار ۵ میلی بار (مرحله اول).



شکل ۷ نمودار تغییرات پارامتر b با دما در فشار ۵ میلی بار (مرحله اول).

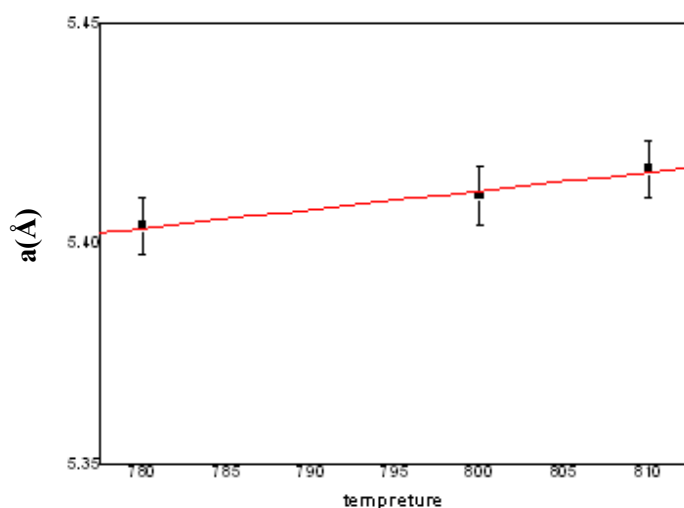
نتایج مرحله دوم

که در دماهای بالا چنانکه شدت دفع اکسیژن بیشتر است در عین حال افزایش فشار اکسیژن نیز امکان جذب بیشتر اکسیژن را فراهم می‌آورد. لذا جذب (دفع) اکسیژن در جایگاه‌هایی در راستای محور c نیز محتمل‌تر است، لذا با ایجاد نیروهای دافعه بین آن‌ها (اکسیژن‌های اضافی) افزایش (کاهش) پارامتر c محسوس‌تر می‌شود.

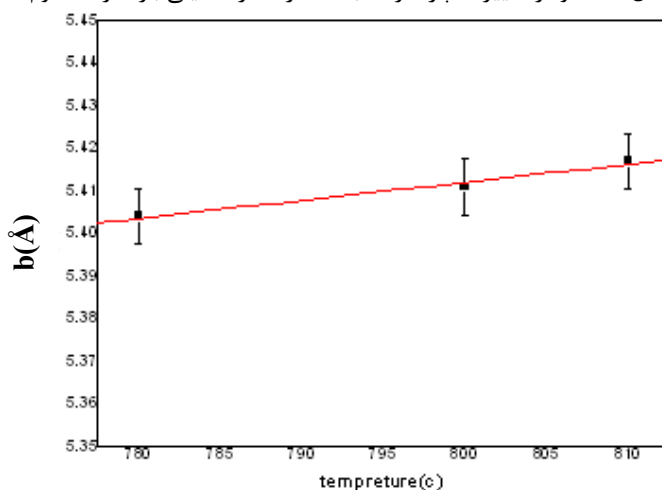
چنانکه گفته شد مرحله دوم بررسی‌های نمونه در دماهای ۷۸۰ تا ۸۱۰ درجه سانتی‌گراد و در فشار ۵ میلی بار قرار گرفت. نتایج حاصل از تحلیل ریتولد این مرحله در جدول ۳ آمده‌اند. در جدول نشان می‌دهد که علاوه بر وجود نظم در افزایش پارامترهای a و b پارامتر c نیز از این روند افزایشی به خوبی پیروی می‌کند (شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰). دلیل آن شاید این باشد

جدول ۳ اطلاعات مرحله دوم آزمایش در فشار ۵ میلی بار.

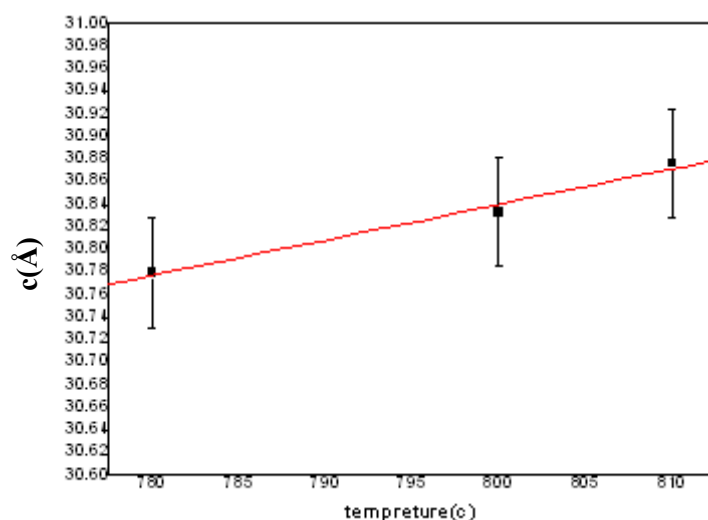
دما (°C)	c(Å)	b(Å)	a(Å)
۷۸۰	۵,۴۰۴	۵,۴۰۴	۳۰,۷۷۹
۸۰۰	۵,۴۱۱	۵,۴۱۱	۳۰,۸۳۳
۸۱۰	۵,۴۱۷	۵,۴۱۷	۳۰,۸۷۶



شکل ۸ نمودار تغییرات پارامتر a با دما در فشار ۵ میلی بار (مرحله دوم).



شکل ۹ نمودار تغییرات پارامتر b با دما در فشار ۵ میلی بار (مرحله دوم).



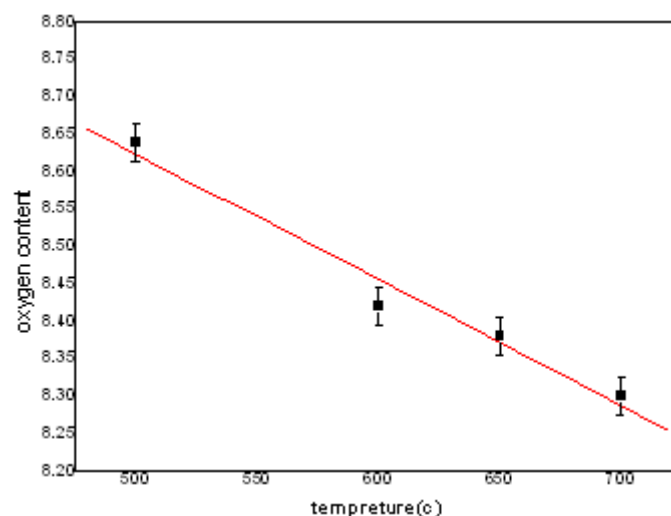
شکل ۱۰ نمودار تغییرات پارامتر C با دما در فشار ۵ میلی بار (مرحله دوم).

نتایج مرحله سوم

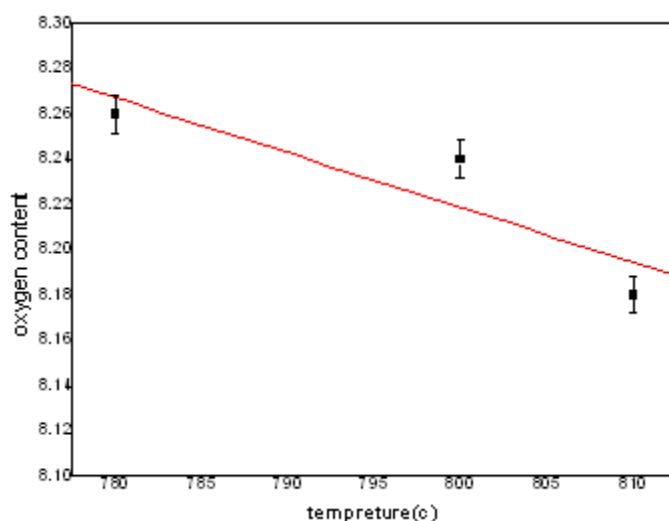
در مرحله نهایی، بررسی‌ها در فشار ۱۰ میلی بار و دماهای ۸۱۵ و ۸۲۰ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. در دمای ۸۱۵ درجه چنانکه شکل ۵ نشان می‌دهد ساختار بلوری Bi-۲۲۱۲ همچنان حفظ شده است. اما بنابر این شکل، در دمای ۸۲۰ درجه سانتی‌گراد و فشار اکسیژن ۱۰ میلی بار نمونه کاملاً تغییر ساختار داده است. که در این مورد در ادامه توضیحات کامل‌تری ارائه می‌شود. در هر صورت نتایج این مرحله از آزمایش نشان می‌دهد که ساختار بلوری تا دمای ۸۱۵ درجه سانتی‌گراد و در فشار ۱۰ میلی بار همچنان پایدار است، لذا می‌توان گفت بر حسب اطلاعات به دست آمده هر چه اکسیژن بیشتری از نمونه خارج شود این امکان که ساختار بلوری از بین

برود بیشتر می‌شود. نتایج این آزمایش مرز دمایی ۸۱۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۰ میلی بار را برای پایداری ساختار نشان می‌دهد.

علاوه بر نتایج بالا، با استفاده از اطلاعات به دست آمده یکی دیگر از پارامترهای اساسی را که می‌توان با استفاده از روش ریتولد مورد بررسی قرار داد تغییرات ظرفیت اکسیژن ترکیب است. نمودارهای مربوط به تغییرات ظرفیت اکسیژن نمونه با دما با استفاده از نتایج برازش ریتولد برای مراحل اول و دوم در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ آمده‌اند. چنانکه از شکل‌ها پیداست ظرفیت اکسیژن با دما کاهش می‌یابد که با نتایج کارهای قبلی سازگار است [۵].



شکل ۱۱ تغییرات ظرفیت اکسیژن با دما در مرحله اول.



شکل ۱۲ تغییرات ظرفیت اکسیژن با دما در مرحله دوم.

لایه Si مورد بررسی قرار گرفت [۹] و معلوم شد که در این برهم کنش اکسید بیسموت در تبدیل شدن به سیلیکات بیسموت تغییر ساختاری از منوکلینیک به مکعبی می‌دهد که این خود سبب تخلخل در سیلیکات ایجاد شده می‌شود.

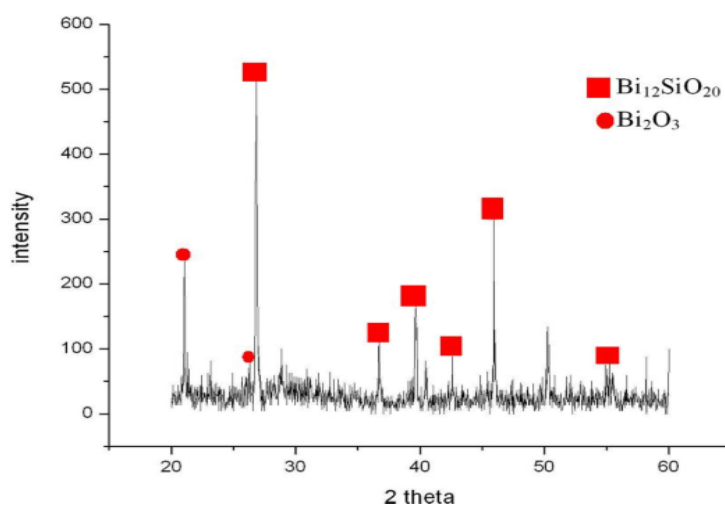
مشاهدات در مورد لوله آزمایش کوارتز نشان از رسوخ ماده در آن داشت و تشکیل ته نشستی به رنگ سبز مایل به خاکستری فرضیه برهم کنش میان SiO_2 و Bi_2O_3 را تقویت می‌کرد، زیرا در حالت آبگون، Bi_2O_3 به صورت آزاد در کنار SiO_2 قرار می‌گیرد و بنابر نتایج [۷] تشکیل لایه نازکی از سیلیکات بیسموت و سست شدن ساختار کوارتز توجیح پذیر بود.

پس از خروج ماده حاصل از آزمایش در دمای ۸۲۰ درجه و فشار ۱۰ میلی بار طیف پراش پرتو ایکس از نمونه تهیه شد که در شکل ۱۳ آمده است. مقایسه طیف پراش پرتو ایکس حاصل از آزمایش‌ها در دمای ۸۲۰ درجه سانتی‌گراد و طیف‌های پراش پرتو ایکس $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (سیلنیت) نشان می‌دهد که لایه سبز مایل به خاکستری همان $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ است. قله با $2\theta = 26.7^\circ$ که بزرگترین قله در شکل ۱۳ است قله معرف سیلیکات بیسموت است. در کنار الگوی پراش پرتو ایکس از نمونه یاد شده، طیف جذب اتمی نیز تهیه شد و استفاده از لامپ بیسموت وجود بیسموت را در این ماده سبز مایل به خاکستری اثبات می‌کند.

برهم کنش میان Bi-2212 و کوارتز و ناپایداری ساختار بلوری در پایان مرحله سوم هنگام خروج نمونه از کوره مشاهده شد که نمونه تقریباً به حالت آبگون در آمده است و چنانکه الگوی پراش آن نیز نشان می‌داد ساختار بلوری از بین رفته بود. گزارش‌های قبلی نشان می‌دهند که دمای ذوب این ترکیب در فشار استاندارد ۸۹۰ درجه سانتی‌گراد است [۶] لذا به نظر می‌رسد فشار درون محفظه نه تنها باعث ویرانی ساختار بلوری شده است بلکه دمای ذوب را نیز تغییر داده است که در واقع قابل پیش‌بینی بود.

یکی دیگر از نتایجی که در دمای ۸۲۰ درجه مشاهده شد برهم کنش میان ماده آبگون با لوله آزمایش کوارتزی بود که نمونه در آن قرار داشت، به نحوی که لوله کوارتز با اندک ضربه ای خرد می‌شد.

در توضیح آن می‌توان گفت که در حالت آبگون پیوندهای میان اتم‌ها در ساختار Bi-۲۲۱۲ شکسته می‌شود و اتم‌های بیسموت آزاد می‌شوند، ولی به علت اکسایش سریع در محیط به Bi_2O_3 تبدیل می‌شوند. بررسی‌های انجام شده روی برهم کنش میان Bi_2O_3 و زیر لایه SiO_2 نشان می‌داد [۷] که در دمای بالای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد برهم کنش این مواد موجب تشکیل سیلیکات بیسموت Bi_2SiO_5 می‌شود، و در دمای ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد $\text{Bi}_4\text{Si}_3\text{O}_{12}$ تشکیل می‌شد [۷]. در آزمایشی مشابه تغییرات فاز اکسید بیسموت [۸] و برهم کنش آن با زیر



شکل ۱۳ الگوی پراش پرتو ایکس نمونه پس از گرمادهی تا دمای 820°C و مقایسه آن با الگوهای پراش Bi_2O_3 و $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$.

برداشت

استفاده از پودر Bi_2O_3 و SiO_2 است. بنابراین تولید سیلیکات بیسموت از طریق برهم‌کنش میان $\text{Bi}-2212$ و کوارتز هم از جنبه اقتصادی و هم جنبه کیفی معقول به نظر نمی‌رسد؛ زیرا تهیه $\text{Bi}-2212$ مستلزم صرف هزینه زیادی است. همچنین، چنانکه اشاره شد، تشکیل تک فاز $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ در این روش کاری بس دشوار است و مستلزم چندین بار گرمادهی است.

مراجع

- [1] S.Horiuchi K., Shoda X.J., Wu H., Nozaki M., "Tsutsumi Physica C", 168 (1990) 205-214
- [2] Bock J., Elschner S., Preisler E., "Advance in Superconductivity", 1991
- [3] Rietveld H.M., "Acta Cryst.", 22(1967)
- [۴] منوچهر بابایی پور، بابک ژاله، وهب محقق، دوازدهمین گردهمایی ماده چگال زنجان ۱۳۸۵.
- [5] M. Babaei pour, D.K. Ross, "Physica C", 425 (2005) 130-134.
- [6] M. Babaeipour, "Supercond. Sci. Technol.", 18 (2005) 1464-1467
- [7] O. Rico-Fuentes, E. Sánchez-Aguilera, C. Velasquez, R. Ortega-Alvarado, J.C. Alonso, "A. Ortiz Thin Solid Films", Volume 478, Issues 1-2 (2005) 96-102.
- [8] S. W. Kang, S. W. Rhee, "Thin Solid Films", Volume 468, Issues 1-2 (2004) 79-83
- [9] J. W. Medernach, R. L. Snyder, J. Am. Ceram. Soc. 61 (1987), p. 4

نتایج تحلیل‌های انجام شده بیانگر تغییرات ساختاری منظمی در فاز $\text{Bi}-2212$ است. چنانکه جدول‌ها و نمودارها نشان می‌دهند همخوانی نسبتاً خوبی بین تئوری و آزمایش وجود دارد. افزایش نسبتاً منظم پارامترهای a و b در مرحله اول با دما از نمودارهای مربوطه مشخص است. همچنین روند کاهش (افزایش) ظرفیت اکسیژن نسبت به دما و فشار اکسیژن نشان از خالی یا پر شدن بعضی از جایگاه‌های اکسیژن در ماده مورد آزمایش دارد البته این تغییر در دماهای بالاتر کاملاً محسوس‌تر است. اتفاقی که در دمای 820°C درجه رخ داد ذوب شدن $\text{Bi}-2212$ در فشار ۱۰ میلی بار بود که موجب شد تا نمونه پایداری ساختاری خود را از دست داده و ذوب شود و نشان می‌دهد که این ترکیب تا دمای 815°C درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۰ میلی بار پایدار است.

نتایج حاصل از تحلیل‌ها نشان از برهم‌کنش اکسید بیسموت با کوارتز و تشکیل سیلیکات بیسموت داشت. با مشاهده برهم‌کنش میان $\text{Bi}-2212$ و کوارتز مهم‌ترین نتیجه‌ای که حاصل می‌شود توصیه استفاده نکردن از لوله کوارتز در آزمایش‌های مشابه است.

محصول تولید شده در این برهم‌کنش از نظر خواص ایتیکی، جایگاه ویژه‌ای دارد، ولی روش مستقیم تولید آن