

گواهی ارائه مقاله

مهمتر و قدر دانی از ارائه مقاله به صورت سخنرانی با عنوان

تأثیر ضخامت نمونه بر روی خواص ترموالکترونیک ترکیب

Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> با روش تق جوشی پلاسمای جرقه‌ای

و  
در دسترس کنفرانس بین المللی مهندسی مواد و متالورژی

دو دانه امین جلیلی علی شمسک انجمن مهندسی متالورژی و مواد ایران و انجمن علمی ریخته‌گری ایران  
این گواهی به نویسندگان مقاله:

نقیسه بلقن آبادی، سید عبدالکریم سجادی، ابوالفضل باباخانی

اطلاعی گردد. موفقیت روز افزون شما را در پیشرفت علم و فناوری، از خداوند متعال خواستاریم.

محمد علی احمد آبادی  
رئیس انجمن متالورژی و مواد ایران

محمد علی سجادی  
رئیس انجمن

جلال خدایی  
رئیس انجمن علمی ریخته‌گری ایران



## تأثیر ضخامت نمونه بر روی خواص ترموالکتریک ترکیب $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ با روش تف‌جوشی پلاسمای جرقه‌ای

نقیسه بلقن آبادی<sup>۱\*</sup>، سید عبدالکریم سجادی<sup>۲</sup>، ابوالفضل باباخانی<sup>۳</sup>

### چکیده

امروزه بحران افزایش دمای محیط و اتلاف حرارتی ناشی از آن و فرآیندهای صنعتی و همچنین آگروز خودروها سبب علاقه-مندی روزافزون پژوهش‌گران به مواد با خواص ترموالکتریکی شده است. در این پژوهش، از پودرهای بیسموت و تلوریوم در ابعاد میکرومتری استفاده شد. پودرهای بیسموت (۴۷/۸ درصد وزنی) و تلوریوم (۵۲/۲ درصد وزنی) به همراه گلوله‌های فولادی با نسبت گلوله به پودر ۱:۱۵ در یک آسیای گلوله‌ای ماهواره‌ای با گاز محافظ آرگون به مدت زمان‌های ۳، ۴ و ۶ ساعت آسیاکاری شدند. سپس آلیاژ با ترکیب بیسموت تلورید توسط تف‌جوشی پلاسمای جرقه‌ای در دمای  $400^\circ\text{C}$  در فشار ۵۰ MPa به مدت زمان ۵ دقیقه ساخته شد. سپس نمونه‌هایی با ضخامت‌های ۱، ۱/۵، ۲، ۳ و ۴ میلی‌متر تهیه شد. در نهایت خواص ترموالکتریک شامل ضریب سیبک، هدایت الکتریکی و همچنین عامل توان نمونه‌ها در دمای محیط اندازه‌گیری شدند. به منظور بررسی فازها در نمونه‌های نهایی، بررسی‌های میکروسکوپی با میکروسکوپ نوری و الکترونی SEM و آنالیز XRD صورت گرفت. نتایج حاصل از بررسی خواص ترموالکتریکی نشان داد که با افزایش ضخامت، خواص ترموالکتریک ترکیب  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  بهبود یافت. بگونه‌ای که با کاهش ضخامت نمونه، ضریب سیبک افزایش و هدایت الکتریکی نیز افزایش یافت؛ و در نهایت شاهد افزایش عامل توان خواهیم بود. [۱-۳]

کلمات کلیدی: ضخامت، خواص ترموالکتریک، تلورید بیسموت، سنتز احتراقی، ضریب سیبک

### ۱. مقدمه

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد. [Nbolghanabadi72@gmail.com](mailto:Nbolghanabadi72@gmail.com)

۲. استاد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۳. استاد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد.



امروزه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر هم‌چون گرمای اتلافی ناشی از فرآیندهای صنعتی و هم‌چنین گرمای خورشید از اهمیت به‌سزایی در صنعت برخوردار است. دلیل این امر افزایش روزافزون دمای کره‌ی زمین و هم‌چنین اتمام انرژی‌های تجدیدناپذیر در نسل‌های پیش‌رو است. مواد ترموالکتریک، مبدل‌های انرژی حالت جامد همراه با ترکیبی از خواص حرارتی الکتریکی و نیمه‌رسانایی هستند که منجر به تبدیل انرژی حرارتی اتلافی به الکتریسیته می‌گردند، که طبق تعاریف می‌توانند جایگزین مناسبی باشند.

ترموالکتریک<sup>۱</sup> نامی اختصاری است که دربرگرفته از دو بخش ترمو و الکتریک می‌باشد، به عبارت دیگر به دسته‌ای از مواد پیشرفته همراه با ترکیبی از خواص حرارتی الکتریکی و نیمه‌رسانایی هستند که منجر به تبدیل انرژی حرارتی اتلافی به الکتریسیته می‌گردند. تعاریف پایه و اصلی مواد ترموالکتریک در سه دهه از سال ۱۸۲۱ تا ۱۸۵۱ به صورت ماکروسکوپی مطرح شد. پس از آن از سال ۱۹۳۰ به مفاهیم میکروسکوپی آن تا ترکیبات امروزه توسعه یافت [۳، ۴].

یک مبنای مهم برای تئوری مواد ترموالکتریک توسط آلتنکیچ<sup>۲</sup> ارائه شد، او نشان داد که مواد ترموالکتریک خوب باید دارای ضرایب سیبک بالا با رسانش گرمایی پایین باشند تا بتوانند گرما را در پیوند نگه دارند و هم‌چنین باید مقاومت الکتریکی پایین یا به عبارتی رسانایی الکتریکی بالا داشته باشد که گرمای ژول را مینیمم کند. این خواص مطلوب به منظور تعیین و قیاس راندمان ترکیبات ترموالکتریک، ضریب شایستگی که با Z نشان داده می‌شود، توسط آیوفه<sup>۳</sup> مطرح شد. طبق رابطه:

$$Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{\lambda} \quad (1-1)$$

<sup>1</sup> Thermoelectric

<sup>2</sup> Altenkirch

<sup>3</sup> Ioffe





$\alpha$  ضریب سیبیک،  $\sigma$  رسانندگی الکتریکی و  $\lambda$  رسانندگی گرمایی است و  $Z$  یکای عکس دما  $(\frac{1}{T})$  دارد.

بنابراین طبق تعاریف بالا کمیت  $Z$  با دما تغییر می‌کند که می‌توان از کمیت بدون بعد  $ZT$  استفاده کرد:

$$ZT = \frac{\alpha^2 \sigma}{\lambda} T \quad (1-2)$$

$T$  دمای عملی یا دمای میانگین  $T_c$  و  $T_h$ ، دماهای ناحیه گرم و سرد، است. در رابطه‌ی بالا کمیت‌های  $\sigma$  و

$\alpha$  تنها به خواص الکترونیکی مواد بستگی دارند که کمیت عامل توان<sup>۱</sup> با تعریف  $PF = \alpha^2 \sigma$  را به وجود

می‌آورند [۵، ۶].

امروزه اتلاف حرارتی در محدوده‌ی دمایی محیط سبب اهمیت استفاده از ترکیباتی در این محدوده‌ی دمایی

می‌باشد. بیسموت تلوراید یکی از پرکاربردترین ترکیبات ترموالکتریکی در محدوده‌ی دمایی ۳۰۰-۱۰۰ کلوین

می‌باشد. مواد مبتنی بر  $Bi_2Te_3$  به عنوان مواد ترموالکتریک به طور جامع مورد مطالعه قرار گرفته است [۷]. بلک

و همکارانش به طور تجربی گاف انرژی ۰.۱۵ eV برای تک بلور  $Bi_2Te_3$  در دمای ۳۰۰ کلوین به دست آورده است

[۸] که قابل مقایسه با مقدار تئوری ۰.۱۱ eV است [۲]. یکی از روش‌های متداول به منظور بهبود خواص

ترموالکتریک، افزودن آلاینده به ترکیب اصلی ماده است. لی<sup>۲</sup> و همکارانش با استفاده از عنصر سلنیوم (Se) در

ترکیب بیسموت تلوراید به صورت  $Bi_2Te_{3-x}Se_x$  ( $x=0.3-0.9$ )، دریافتند که با افزایش میزان سلنیوم ضریب

شایستگی ترکیب افزایش می‌یابد؛ به گونه‌ای که بالاترین میزان ضریب شایستگی برابر با ۰.۷ برای ترکیب

$Bi_2Te_{2.1}Se_{0.9}$  به دست آمد [۹].

<sup>1</sup> Power factor

<sup>2</sup> D. Li



در راستای پژوهش‌های انجام شده بر روی ترکیبات بیسموت تلوراید، در این پژوهش به بررسی اثر ضخامت نمونه بر روی خواص ترموالکتریک ترکیب  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  که با روش تفجوشی پلاسمای جرقه‌ای سنتز شده است، پرداخته شد.

## ۲. مواد و روش تحقیق

برای ساخت نمونه‌های بیسموت تلوراید، ابتدا فرآیند آلیاژسازی مکانیکی با استفاده از پودرهای بیسموت و تلوریوم با نسبت استوکیومتری تعیین شده در مدت زمان‌های ۳، ۴ و ۶ ساعت درون محفظه‌های فولادی با سرعت ۳۰۰ دور بر دقیقه تحت اتمسفر آرگون انجام داده شد. پس از انتخاب ترکیب پودری مناسب، عملیات تفجوشی پلاسمای جرقه‌ای در دمای ۴۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت زمان ۵ دقیقه و فشار ۵۰ مگاپاسکال صورت گرفت. نمونه‌ها با قطر ۱۵ میلی‌متر و ضخامت‌های ۱، ۱/۵، ۲، ۳ و ۴ میلی‌متر انتخاب شدند. نرخ گرمایش در دقایق ابتدایی عملیات تفجوشی آهسته بوده تا به محیط و قالب اجازه داده شود که به میزان کافی گرم شوند و پس از آن نرخ گرمادهی با شیب ثابت افزایش یافت تا دما به میزان دمایی که مورد نظر تحقیق بود، برسد. در نهایت پس از سرد شدن نمونه‌ها درون دستگاه SPS نمونه‌ها، از داخل قالب خارج شدند.

برای بررسی استحاله‌هایی که در طی تفجوشی اتفاق می‌افتد، آنالیز DTA انجام گرفت. به‌گونه‌ای که در این دستگاه ابتدا آنالیز حرارتی برای بوته‌ی آلومینا اندازه‌گیری می‌شود، سپس پودر بیسموت تلوراید درون بوته قرار گرفته و آنالیز حرارتی صورت گرفت. در نهایت نمودار اختلاف دمای دو حالت ذکر شده بر حسب محدوده‌ی دمایی تعریف شده اندازه‌گیری و رسم شد. بدین سبب محدوده‌ی دمایی از دمای محیط تا  $650^\circ\text{C}$  با نرخ گرمایش  $10 \text{ k/min}$  انتخاب شد.



برای اندازه‌گیری ضریب سیبک نمونه، از روش استاندارد اندازه‌گیری ضریب سیبک استفاده شد، به طوری که مطابق شکل (۲-۱)، یک طرف نمونه در پیوند سرد و طرف دیگر در پیوند گرم قرار داده و دمای پیوند گرم به طور آهسته بالا برده شد، طبق رابطه‌ی (۲-۱)، شیب نمودار اختلاف پتانسیل بر حسب اختلاف دما ضریب سیبک می‌باشد [۱-۳].

$$\Delta V = \alpha \cdot \Delta T \quad (2-1)$$

به منظور محاسبه رسانندگی الکتریکی، نمونه به شکل قرص با شعاع  $r$  و ضخامت  $d$  در نظر گرفته شد. مقاومت نمونه از روش دو اتصالی توسط دستگاه اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی 4-probe، با دقت اندازه‌گیری ۰٫۱ اهم اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از رابطه‌ی (۲-۲) مقاومت سطحی نمونه‌ها محاسبه شدند.

$$R_s = \frac{\pi}{\ln(2)} \cdot R \quad (2-2)$$

پس از آن جهت محاسبه‌ی مقاومت ویژه‌ی الکتریکی از رابطه‌ی (۲-۳) استفاده شد.

$$\rho = R_s t \quad (2-3)$$

در نهایت طبق رابطه‌ی (۲-۴) رسانندگی الکتریکی نمونه‌ها محاسبه گردید.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2-4)$$

در این پژوهش، برای سهولت در مطالعه‌ی نتایج، نمونه‌های تفجوشی شده در دمای ۳۵۰، ۴۰۰ و ۴۵۰ به ترتیب S350، S400 و S450 نام‌گذاری شدند.

به منظور محاسبه‌ی رسانندگی الکتریکی در دماهای مختلف، رسانندگی الکتریکی طبق رابطه‌ی (۲-۵)

نوشته می‌شود [۱۰، ۱۱].

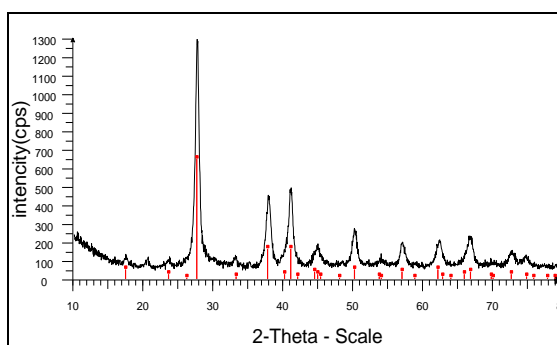
$$\sigma = A e^{-E_g / 2 K_B T} \quad (2-5)$$

ثابت بولتزمن ( $K_B$ ) برابر است با:  $8/617 \times 10^{-5}$  (ev/k)

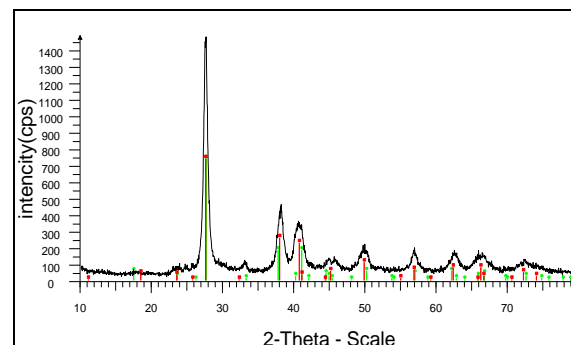
### ۳. نتایج و بحث

در ابتدا الگوی پراش سه ترکیب پودری حاصل از آلیاژسازی مکانیکی که در زمان‌های مختلف انجام شد، در

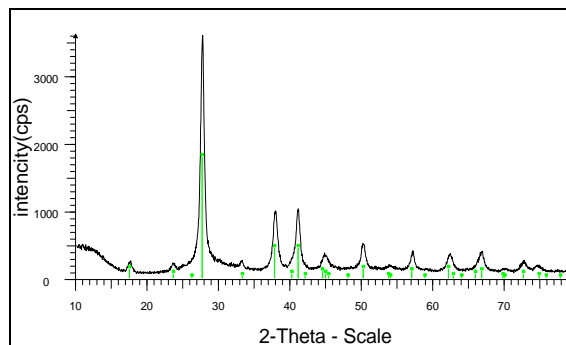
شکل (۳-۱) آورده شده است.



(ب)



(الف)



(ج)

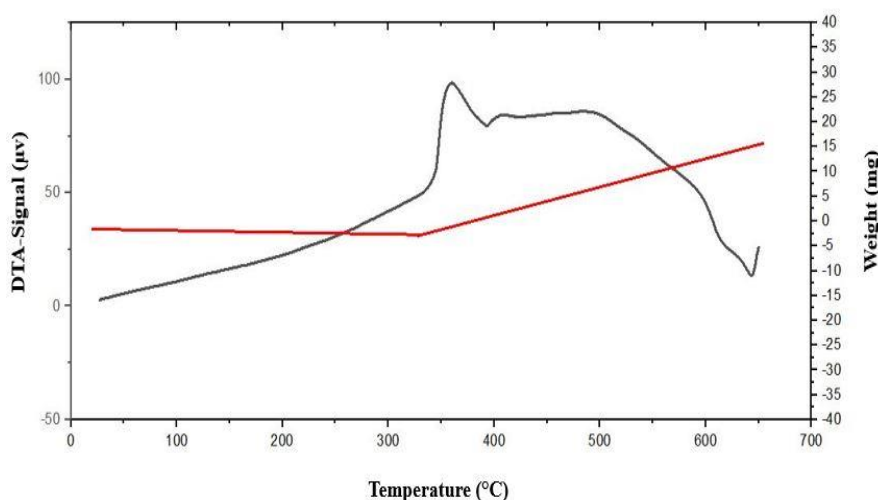
شکل (۳-۱): طیف پراش پرتو X پودر  $Bi_2Te_3$  پس از فرآیند آلیاژسازی مکانیکی در مدت زمان الف) ۳،

ب) ۴ و ج) ۶ ساعت.



در مدت زمان‌های ۴ و ۶ ساعت، دارای الگوهای XRD یکسان هستند. همان‌طور که در شکل مشخص است، پیک‌های موجود نشانگر وجود فاز  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  با ساختار رومبوهدرال و پارامترهای شبکه‌ی  $a = b = 4.38\text{\AA}$  و  $c = 30.48\text{\AA}$  که نمایانگر ترکیب مورد مطالعه در این پژوهش و همچنین منطبق بر پیک‌های  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  در مقالات می‌باشد [۱۲، ۱۳]. اما با توجه به تصاویر مربوط به آنالیز XRD، در مدت زمان ۳ ساعت پیک‌های موجود مربوط به دو فاز  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  و  $\text{BiTe}$  می‌باشد که به دلیل کافی نبودن مدت زمان آسیاکاری، فرآیند جوش سرد میان پودرها و همچنین برخورد مناسب پودرها و گلوله‌های فولادی به خوبی صورت نپذیرفت که سبب تشکیل ذرات فازی  $\text{BiTe}$  شد [۱۴].

نمودار آنالیز حرارتی افتراقی نمونه‌ی  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ، بدون اتمسفر محافظ در شکل (۲-۳) آورده شده است.



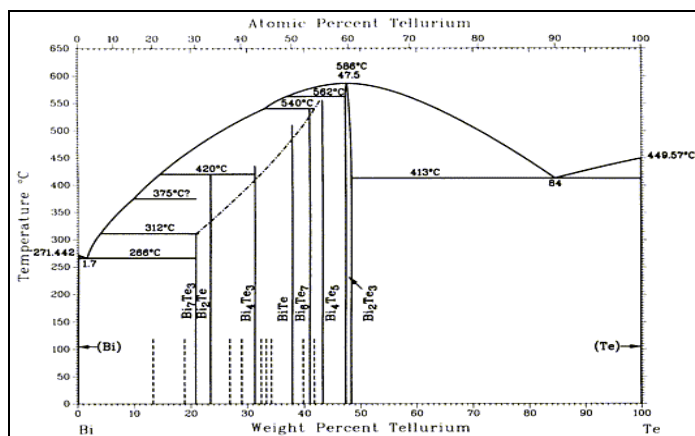
شکل ۲-۳: نمودار نتایج آنالیز DTA نمونه‌ی بیسموت تلوراید بدون اتمسفر محافظ.

مطابق با شکل (۲-۳)، یک پیک دمایی در محدوده‌ی دمای ۳۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد مشاهده می‌شود که نمایان‌گر یک واکنش گرمازا می‌باشد. با در نظر گرفتن ترکیب شیمیایی نمونه‌ی آنالیز شده و همچنین اطلاعات دیاگرام فازی  $\text{Bi-Te}$  که در شکل (۳-۳) آورده شده است، تا محدوده‌ی دمای ذوب که  $588^\circ\text{C}$  است، هیچ‌گونه استحاله‌ای رخ نمی‌دهد؛ بنابراین پیک نمودار معرف هیچ استحاله‌ای با عناصر اولیه‌ی بیسموت و تلوریوم





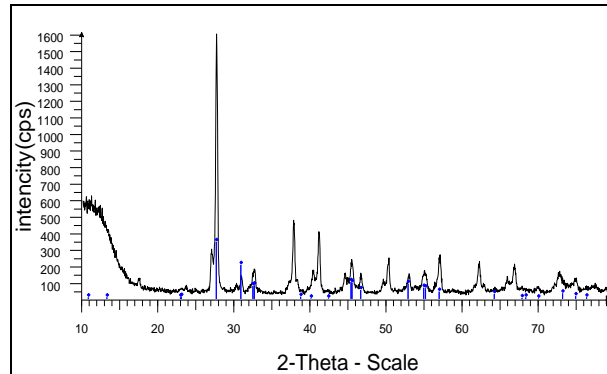
نمی‌باشد. از طرفی با استناد به مقالات و آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش که به طور کامل در محیط محافظ صورت گرفته است، عناصر بیسموت و تلوریوم حین گرمادهی در اتمسفر هوا، مستعد ایجاد ترکیب اکسیدی هستند.



شکل ۳-۳: دیاگرام فازی دوتایی Bi-Te.

به منظور اطمینان از توضیحات مطرح شده از نتایج آنالیز DTA، آنالیز XRD از پودر آزمایش شده گرفته شد که در شکل (۳-۳) آورده شده است. پیک‌های نشان داده شده در شکل مربوط به فاز اکسیدی  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  می‌باشد. پس از آنالیز همان‌طور که نمودار نشان می‌دهد، با بررسی نتایج تغییرات وزنی، در ابتدای آنالیز کاهش ناچیز وزنی را داریم که می‌تواند ناشی از حذف رطوبت مواد اولیه باشد، اما با شروع فرآیند اکسیدی افزایش وزن نیز آغاز می‌شود و تا پایان تست، حدود ۱۵ میلی‌گرم افزایش می‌یابد [۷، ۱۳]. در ادامه پیک گرماگیر در دمای  $630^\circ\text{C}$  دمای ذوب ترکیب  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  می‌باشد.

با توجه به دیاگرام فازی Bi-Te دمای ذوب ترکیب  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$   $588^\circ\text{C}$  است؛ اما به دلیل حضور فاز اکسیدی دمای ذوب تغییر یافته است.

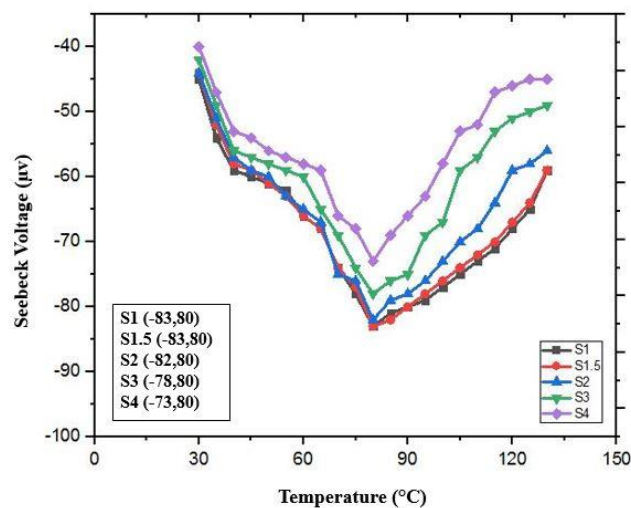


شکل (۳-۳): طیف پراش پرتو X ترکیب پودری  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  پس از انجام آنالیز DTA.

جهت محاسبات خواص ترموالکتریکی، در ادامه با ایجاد اختلاف دما در دو سر نمونه، ولتاژ تولیدی

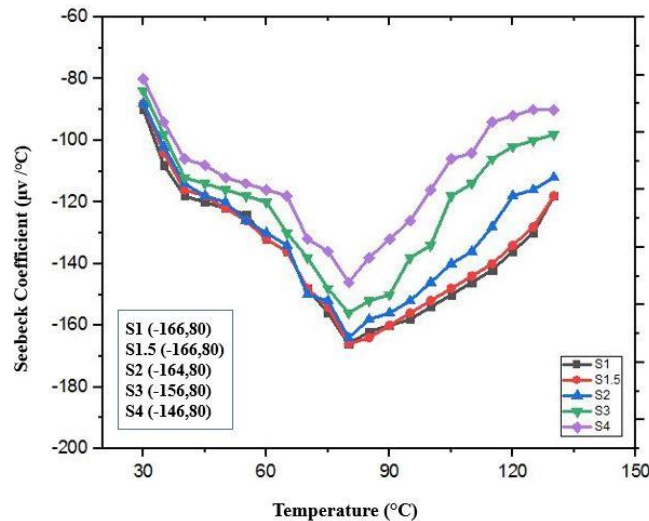
اندازه‌گیری شد. نمودار اختلاف پتانسیل ایجاد شده بر حسب دمای میانگین دو سر نمونه در شکل (۳-۴) رسم

شده و از روی آن نمودار ضریب سبیک بر حسب دمای میانگین در شکل (۳-۵) رسم شد.

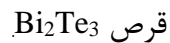




شکل ۳-۴: تاثیر ضخامت نمونه بر نمودار ولتاژ سیبک بر حسب دمای میانگین سطح گرم و سرد قرص



شکل ۳-۵: تاثیر ضخامت نمونه بر نمودار تغییرات ضریب سیبک بر حسب دمای میانگین سطح گرم و سرد



با توجه به نتایج به دست آمده از شکل (۳-۵)، تاثیر ضخامت بر روی ضریب سیبک را شاهد هستیم. با توجه به نتایج به دست آمده و ایجاد ولتاژ منفی، می‌توان ادعا کرد که ترکیب ترموالکتریک مورد مطالعه از نوع n می‌باشد و همچنین حامل‌های بار الکترون‌ها می‌باشند. با بررسی نمودار تغییرات ضریب سیبک بر حسب تغییرات دما، با افزایش دما، قدر مطلق ضریب سیبک افزایش می‌یابد [۱۵، ۱۶]. مقدار قدر مطلق بیشینه‌ی ضریب سیبک برای نمونه‌های S1، S1.5، S2، S3 و S4 در محدوده‌ی دمایی ۸۰ °C به ترتیب ۱۶۶، ۱۶۶، ۱۶۴، ۱۵۶ و ۱۴۶ به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده، شاهد افزایش ضریب سیبک در اثر کاهش ضخامت هستیم. ضریب سیبک تنها ناشی از حرکت حامل‌های بار است؛ بنابراین با کاهش ضخامت نمونه، میزان نواسانات شبکه کاهش یافته در نتیجه پراکندگی حامل‌های بار کمتر خواهد بود [۱۷].



در ادامه مقاومت ویژه الکتریکی، رسانش الکتریکی در دمای محیط در جدول (۳-۱) و تغییرات ناشی از

آن در شکل (۳-۶) آورده شده است.

جدول ۳-۱: نتایج اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی و رسانش الکتریکی در نمونه‌های مورد مطالعه قرص  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ .

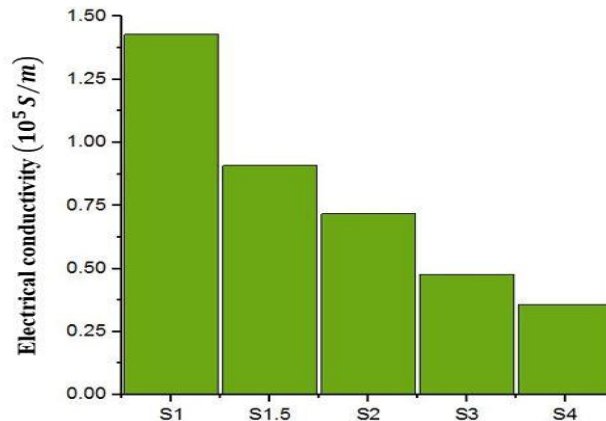
رسانش الکتریکی $\times 10^5$ (S/m)	مقاومت ویژه الکتریکی $\times 10^{-5}$ ( $\Omega \cdot m$ )	نام نمونه
۱/۴۲۸۶	۰/۷	S1
۰/۹۰۹۱	۱/۱	S1.5
۰/۷۱۶۵	۱/۴	S2
۰/۴۷۷۶	۲/۱	S3
۰/۳۵۸۲	۲/۷	S4

طبق نتایج به دست آمده از جدول (۳-۱) و همچنین نمودار تغییرات رسانش الکتریکی در شکل (۳-۶)، در

بررسی و قیاس نمونه‌ها تحت تاثیر ضخامت، شایان ذکر است که مقاومت ویژه الکتریکی به طور مستقیم با

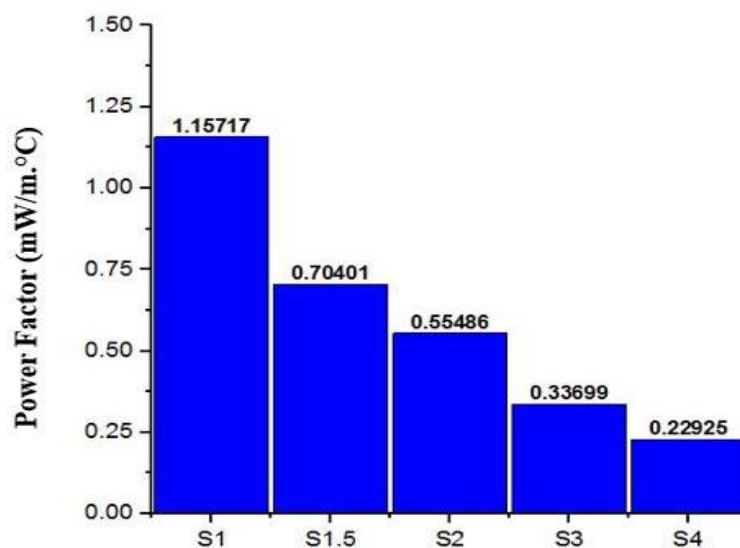
ضخامت نمونه رابطه دارد، بنابراین با کاهش ضخامت، مقاومت ویژه الکتریکی کاهش می‌یابد و در نتیجه

رسانش الکتریکی افزایش خواهد یافت.



شکل ۳-۶: نمودار تغییرات رسانش الکتریکی قرص  $Bi_2Te_3$  در ضخامت‌های متفاوت.

همان‌طور که اشاره شد، عامل توان معرف رفتار الکترونی ماده‌ی ترموالکتریک است. عامل توان ترکیب ترموالکتریک  $Bi_2Te_3$  برای نمونه‌های آزمایشی در دمای محیط محاسبه و تغییرات آن در شکل (۳-۷) آورده شد. این امر مسلم است که با افزایش ضریب سبک و رسانش الکتریکی تحت تاثیر کاهش ضخامت، عامل توان نیز افزایش خواهد یافت.



شکل ۳-۷: نمودار تغییرات عامل توان قرص  $Bi_2Te_3$  در شرایط مختلف.





## ۴. نتیجه‌گیری

۱. زمان تشکیل نمونه‌ی پودری ترکیب  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  به روش آلیاژسازی مکانیکی در مدت زمان ۴ ساعت می‌باشد. اما در مدت زمان ۳ ساعت فاز ناخواسته‌ی  $\text{BiTe}$  تشکیل می‌شود.
۲. طبق نتایج حاصل از آنالیز DTA نمونه‌ی پودری ترکیب  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  در بازه‌ی دمایی محیط تا  $^\circ\text{C}$  ۶۵۰، حضور واکنش گرمازا در دمای  $^\circ\text{C}$  ۳۸۰ به دلیل تشکیل اکسید  $\text{Bi}_2\text{TeO}_5$  و همچنین در اثر تشکیل فاز اکسیدی افزایش وزن ۱۵ میلی گرمی مشاهده می‌شود. در نهایت دمای ذوب ترکیب به دلیل حضور اکسید، به  $^\circ\text{C}$  ۶۳۰ تغییر یافته است.
۳. با افزایش ضخامت نمونه‌های S2، S3 و S4، قدر مطلق بیشینه‌ی ضریب سیبک به ترتیب ۱۴۶، ۱۵۶، و  $^\circ\text{C}/\mu\text{V}$  ۱۶۴ محاسبه شده است. افزایش این نسبت نشان‌دهنده‌ی رابطه‌ی مستقیم ضخامت و ضریب سیبک می‌باشد. به‌گونه‌ای که با کاهش ضخامت، میزان ارتعاشات شبکه و پراکندگی حامل‌های بار کاهش یافته که تاثیر مثبتی بر روی ضریب سیبک دارد.
۴. همان‌طور که اشاره شد، با افزایش دما چگالی حامل‌های بار و همچنین سرعت حرکت آن‌ها افزایش می‌یابد که باعث افزایش ضریب سیبک می‌شود؛ اما در اثر افزایش دما، میزان ارتعاشات شبکه و تاثیر برخورد فونون و حامل‌های بار، ضریب سیبک کاهش یافته است. بنابراین قدر مطلق بیشینه‌ی ضریب سیبک برای تمام نمونه‌های با ضخامت‌های مختلف، در محدوده‌ی دمایی  $^\circ\text{C}$  ۸۰ به دست آمده است.



۵. رسانش الکتریکی نمونه‌های S1, S1.5, S2, S3, S4 و به ترتیب  $1.0 \times 10^{-5}$ ،  $1.4286 \times 10^{-5}$ ،  $1.7165 \times 10^{-5}$ ،  $1.9091 \times 10^{-5}$  و  $4.3584 \times 10^{-5}$  S/m محاسبه شد. این افزایش

رسانندگی را می‌توان حاکی از رابطه‌ی مستقیم رسانندگی الکتریکی و ضخامت نمونه دانست.

۶. عامل توان برای نمونه‌های S1, S1.5, S2, S3, S4 و به ترتیب مقادیر  $1.15717$ ،  $1.70401$ ،  $2.2925$  و  $3.3699$  mW/m<sup>2</sup> محاسبه شد.

۰/۵۵۴۸۶، ۰/۳۳۶۹۹ و ۰/۲۲۹۲۵ mW/m<sup>2</sup> محاسبه شد.

### منابع:

- 1- Katz HE, Poehler TO: "Innovative thermoelectric materials: polymer, nanostructure and composite thermoelectrics": World Scientific; 2016.
- 2- Pang M-y: "Pulsed laser deposition of telluride thin films for photonics applications". The Hong Kong Polytechnic University; 2009.
- 3- Rowe DM: "Thermoelectrics handbook: macro to nano": CRC press; 200
- 4- Nolas GS, Sharp J, Goldsmid J: "Thermoelectrics: basic principles and new materials developments", vol. 45: Springer Science & Business Media; 2013.
- 5- Snyder GJ, Toberer ES: "Complex thermoelectric materials". In: *Materials For Sustainable Energy: A Collection of Peer-Reviewed Research and Review Articles from Nature Publishing Group*. World Scientific; 2011: 101-110.
- 6- Zheng J-c: "Recent advances on thermoelectric materials". *Frontiers of Physics in China* 2008, 3(3):269-279.
- 7- Brostow W, Datashvili T, Lobland HEH, Hilbig T, Su L, Vinado C, White J: "Bismuth telluride-based thermoelectric materials: Coatings as protection against thermal cycling effects". *Journal of Materials Research* 2012, 27(22):2930-2936.
- 8- Mishra S, Satpathy S, Jepsen O: "Electronic structure and thermoelectric properties of bismuth telluride and bismuth selenide". *Journal of Physics: Condensed Matter* 1997, 9(2):461.
- 9- Li D, Qin X, Zhang J, Song C, Liu Y, Wang L, Xin H, Wang Z: "Thermoelectric anisotropy of n-type Bi<sub>2</sub>Te<sub>3-x</sub>Se<sub>x</sub> prepared by spark plasma sintering". *RSC Advances* 2015, 5(54):43717-43722.
- 10- Kittel C, McEuen P, McEuen P: "Introduction to solid state physics", vol. 8: Wiley New York; 1996.
- 11- Meyers H, Myers H: "Introductory solid state physics": CRC press; 1997.
- 12- Calvert L: "National Research Council of Canada". *Ottawa Canada, ICDD Grant-in-Aid* 1981.
- 13-Zakeri M, Allahkarami M, Kavei G, Khanmohammadian A, Rahimipour M: "Synthesis of nanocrystalline Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> via mechanical alloying". *journal of materials processing technology* 2009, 209(1):96-101.
- 14- Chen X, Li F, Dong Y, Liang B, Wang L, Chen L, Jiang W: "Fabrication of Micro/Nano-Structured Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> Bulk Materials with Low Thermal Conductivity by Spark Plasma Sintering". *Journal of the American Ceramic Society* 2012, 95(7):2096-2099.

# 7<sup>Th</sup>

INTERNATIONAL CONFERENCE  
on MATERIALS ENGINEERING  
and METALLURGY

TEHRAN - IRAN  
OCTOBER 9-10, 2018

## iMat 2018



تهران - ایران  
۱۸ و ۱۷ مهرماه ۱۳۹۷

## هفتمین کنفرانس بین المللی مهندسی مواد و متالورژی

و دوازدهمین کنفرانس مشترک

انجمن مهندسی متالورژی و مواد ایران و انجمن علمی ریخته‌گری ایران

15- Chen L, Jiang J, Shi X: "Thermoelectric performance of textured Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-based sintered materials prepared by spark plasma sintering". *MRS Online Proceedings Library Archive* 2003, 793.

16- Williams HR, Ambrosi RM, Chen K, Friedman U, Ning H, Reece M, Robbins M, Simpson K, Stephenson K: "Spark plasma sintered bismuth telluride-based thermoelectric materials incorporating dispersed boron carbide". *Journal of Alloys and Compounds* 2015, 626:368-374.

17- Fan Xa, Rong Z, Yang F, Cai X, Han X, Li G: "Effect of process parameters of microwave activated hot pressing on the microstructure and thermoelectric properties of Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-based alloys". *Journal of Alloys and Compounds* -287-630, 2015.