

## THERMOELECTRIC CHARACTERIZATION OF N-TYPE (Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>)Se<sub>3</sub> SEMICONDUCTORS IN A TEMPERATURE RANGE 11-373 K

Raşit AHISKA, Eyüp GÜLER,  
Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Teknikokullar, 06500 Ankara, Türkiye

Selim ACAR\*, Mehmet KASAP  
Gazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Teknikokullar, 06500 Ankara, Türkiye.  
e-mail:sacar@gazi.edu.tr

### ABSTRACT

The two n-type (Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>)Se<sub>3</sub> semiconductor samples were grown from Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> and Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> components using traveling heater and pulverized methods. Thermoelectric properties such as electrical conductivity and Seebeck coefficient have been measured in a temperature range 11-373 K using Harman technique. At the room temperature, the Z parameter has been calculated as  $4.1 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  and  $2.4 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  for the samples grown by the traveling heater methods, respectively.

**Key Words:** Traveling heater and heat pressing methods, Harman technique, thermoelectric properties

## N-TİPİ (Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>)Se<sub>3</sub> YARIİLETKEN KRİSTALLERİN 11-373 K SICAKLIK ARALIĞINDA TERMOELEKTRİK KARAKTERİZASYONU

### ÖZET

İki adet n-tipi (Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>)Se<sub>3</sub> yarıiletkeni Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> ve Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> bileşimlerinden, bölge eritme ve presleme yöntemi ile büyütüldü. Bu yarıiletken numunelerin termoelektrik özellikleri; elektriksel iletkenlik ve Seebeck kat sayısı 11-373 K sıcaklık aralığında Harman tekniği kullanılarak ölçüldü. Oda sıcaklığında, Z parametresi bölge eritme yöntemi ile büyütülen numune için  $4,1 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  presleme yöntemi ile büyütülen yarıiletken numune için  $2,4 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  olarak hesaplandı.

**Anahtar Kelimeler:** Bölge eritme ve presleme yöntemi, Harman tekniği, Termoelektrik özellikler.

### 1. GİRİŞ

Isı enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürme ya da bunun tersi olan elektrik enerjisini en yüksek verimle soğutma sistemlerinde kullanmak son yılların önemli bir araştırma ve uygulama konusu olmuştur (1-5). Bu özelliklere sahip materyaller termoelektrik materyaller olarak adlandırılırlar. En iyi termoelektrik materyaller Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> bazlı yarıiletkenlerdir (5-7). Bu yarıiletkenler; soğutma sistemleri ve jeneratörlerden uzay teknolojilerine varıncaya kadar yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan ve en ilgi çekici özelliklere sahip olan yarıiletken materyal (Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>)Se<sub>3</sub> bileşiği ve sentezleridir. Daha yüksek verime sahip termoelektrik materyaller üretmek için çalışmalar yapılmaktadır. Bir materyalin termoelektrik uygulamalar için uygun materyal olabileceğini Z parametresi belirler. Termoelektrik materyali karakterize eden Z parametresi; ölçülebilir nicelikler olan elektriksel iletkenliğe ( $\sigma$ ), Seebeck kat sayısına ( $\alpha$ ) ve ısı iletkenliğe ( $\lambda$ ) bağlıdır. Z parametresi

### 1. INTRODUCTION

Recently, the transfer of the thermal energy to electrical energy or, oppositely to this, to use of electrical energy in cooling systems are of importance in the research and application concept (1-5). The material, which has these properties, is called as thermoelectric material. The Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> semiconductor materials are widely used thermoelectric materials (5-7). These materials find a wide spread application from cooling systems, power generators to space industry. The compound and synthesis of (Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>)Se<sub>3</sub> semiconductor have attractive properties and are most used in the energy transfer technology. Nowadays, the study of to produce the best quality of thermoelectric materials are carried out by scientist. The quality of thermoelectric material is described by the Z parameter. The Z parameter, which characterizes the thermoelectric material, is dependent on the measured quantities such as electrical conductivity ( $\sigma$ ), Seebeck coefficient ( $\alpha$ ) and thermal conductivity ( $\lambda$ ) and is given as

$$Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{\lambda} \quad [1]$$

bağıntısı ile hesaplanır. Yukarıda verilen bağıntıdan termoelektrik olarak yüksek verime sahip bir termoelektrik numunenin yüksek Seebeck kat sayısı ve özdirence düşük ısı iletkenliğe sahip olması gerektiği görülmektedir.

Bu çalışmada iki farklı yöntemle termoelektrik materyal üretilmesi ve termoelektrik analizleri yaparak hem iki büyütmeye yönteminin kıyaslanması hem de üretilen bu numunelerin termoelektrik uygulamalarda kullanılabilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada özellikleri incelenen numuneler bölge eritme (Traveling heater method) ve presleme yöntemi (Pulverized and intermixed elements sintering method) ile büyütülmüştür (8-11). Bölge eritme tekniğinde; n-tipi yarıiletken numune;  $\text{Bi}_2\text{Te}_3+\text{Bi}_2\text{Se}_3$  toz halinde iki ayrı bileşimden bölge eritme sisteminde, 8 mm kuartz tüp içinde,  $1,3 \times 10^{-6}$  atm basınç'ta ve  $706^\circ\text{C}$  sıcaklıkta büyütülmüştür. Bu sistemde, düşey konumda duran kuartz tüpü çevreleyen ısıtıcı sabit bir hızla düşey eksende hareket etmektedir. Presleme yönteminde ise benzer bileşimler 7 mm kenar uzunluğuna sahip kare prizma kaptaki  $400^\circ\text{C}$  sıcaklıkta ancak  $7 \times 10^5$  Pa basınçta aynı sistemde preslenerek büyütülmüştür.

Sıcaklığa bağlı iletkenlik ölçümlerinde Harman tekniği kullanılmıştır (12). Harman tekniğinde iletkenlik aşağıdaki ifade ile verilir.

$$\sigma = \frac{V_s I}{V_x R_s A} \quad [2]$$

Burada  $R_s$  ve  $V_s$  sırasıyla seri direnç ve direnç üzerinde düşen potansiyel farkı,  $V_x$  numune üzerinde düşen potansiyel farkı,  $I$  yarıiletken numunenin uzunluğu ve  $A$  kesit alanıdır.

Seebeck katsayısının ölçümleri için ısıtıcı sistem kullanılarak numunenin bir yüzeyi ısıtılmıştır. Bu yolla numunenin alt ve üst uçları arasında bir sıcaklık farkı ( $\Delta t$ ) meydana getirilmiştir. Aynı zamanda bu uçlar arasında oluşan termoemk (E), yüksek empedanslı Keithley 614 elektrometre ile ölçülmüştür. Seebeck kat sayısı aşağıda verilen bağıntıyla hesaplanır.

$$\alpha = \frac{E}{\Delta t} \quad [3]$$

Bir yarıiletkenin ısı iletimi serbest yük taşıyıcılarından ( $\lambda_e$ ) ve fononlardan ( $\lambda_p$ ) gelen katkıların toplamıdır ( $\lambda = \lambda_p + \lambda_e$ ). Katkılı yarıiletkenlerde ısı iletimine, iletkenliğe bağlı ve  $\lambda_e$ 'nin ısı iletkenliğe katkısının oldukça önemli olmasına karşın fononların katkısı sabittir. Bu çalışmada termoelektrik özellikleri incelenen numuneler için  $\sigma \leq 2,5 \cdot 10^3 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$  olduğundan

$$\lambda = 9,8 \cdot 10^{-3} + \frac{2k^2}{e^2} \sigma T \quad [4]$$

bağıntısı kullanıldı (5).

$$Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{\lambda} \quad [1]$$

As it can be seen from Eq. 1, the best thermoelectric material must have a high Seebeck coefficient and low electrical and thermal conductivity.

In this work, the studied thermoelectric materials have been grown by two different methods, the thermoelectric properties of the thermoelectric materials grown by two different techniques have been discussed, and their appropriateness to the related industry is described.

## 2. MATERIALS AND METHODS

In this paper, the studied materials were grown by both traveling heater (or it is also called the melting zone) and Pulverized and intermixed elements sintering methods (8-11). In the traveling method, n-type semiconductor samples were grown from the powder of  $\text{Bi}_2\text{Te}_3+\text{Bi}_2\text{Se}_3$  components, at the pressure of  $1,3 \times 10^{-6}$  Atm and  $706^\circ\text{C}$  in a 8 mm high quartz tube. In this growth system, the heater that surrounds the quartz tube moves in the vertical position. In the pulverized method, using same components n-type semiconductor material were grown in a square-prism shaped ampoule under the pressure of  $7 \times 10^5$  Pa at the temperature of  $400^\circ\text{C}$ .

The temperature dependent conductivity measurement were carried out using Harman technique (12). In this technique the conductivity is given as

$$\sigma = \frac{V_s I}{V_x R_s A} \quad [2]$$

In Eq. 2.  $R_s$  and  $V_s$  serial resistance and serial resistance potential, respectively,  $V_x$  potential difference at the sample,  $I$  the length of sample and  $A$  is the cross-section of the sample.

At the Seebeck measurement, one side of the sample were heated to obtain a temperature difference ( $\Delta t$ ) between two sides of the sample. The thermoelectric power (E) were measured using a high impedance Keithley 614 electrometer. The Seebeck coefficient is defined below

$$\alpha = \frac{E}{\Delta t} \quad [3]$$

In a semiconductor the thermal conductivity is a sum of the contributions from free charge carriers ( $\lambda_e$ ) and phonons ( $\lambda_p$ ), ( $\lambda = \lambda_p + \lambda_e$ ). In doped semiconductors, the thermal conductivity is strongly dependent on the electrical conductivity and ( $\lambda_e$ ). However, the contribution from phonons to the thermal conductivity is a constant. Since for the studied sample  $\sigma \leq 2,5 \cdot 10^3 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ , the below equation for the thermal conductivity is used (5);

$$\lambda = 9,8 \cdot 10^{-3} + \frac{2k^2}{e^2} \sigma T \quad [4]$$

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Her iki numune için oda sıcaklığındaki elektriksel iletkenlik, ısı iletkenlik, Seebeck kat sayısı ve Z parametreleri Çizelge 1’de verilmiştir. Z parametresinin bölge eritme yöntemi ile büyütülen numune için  $4,1 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  presleme yöntemi ile büyütülen yariletken numune için  $2,4 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  olduğu Çizelge 1’de açıkça görülmektedir. Benzer çalışmalarda Z parametresinin değeri  $2,1 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  ile  $4,5 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  arasında değişmektedir (5). Termoelektrik materyaller için Z parametresi kadar önemli olan diğer bir parametrede Seebeck kat sayısıdır. Seebeck kat sayısı bölge eritme yöntemi ve presleme yöntemi ile büyütülen numuneler için sırasıyla  $178 \mu\text{V/K}$  ve  $283 \mu\text{V/K}$  dür. Benzer çalışmalarda bu değerler ise  $150\text{-}320 \mu\text{V/K}$  aralığında değişmektedir (7,13). Bu değerler, bizim çalışmamızda büyütülen ve termoelektrik özellikleri incelenen yariletkenlerin termoelektrik uygulamalar için oldukça cazip materyaller olduklarını göstermektedir.

**Table 1.** Thermoelectric parameters of (Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>)Se<sub>3</sub> semiconductor at 300 K  
**Çizelge 1.** (Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>)Se<sub>3</sub> yariletkenlerinin 300 K’deki termoelektrik parametreleri

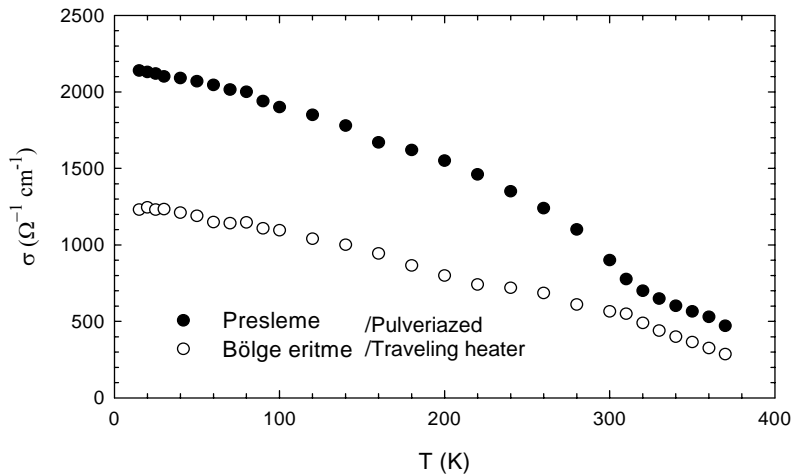
Sample/ numune	$\sigma (\Omega^{-1}\text{cm}^{-1})$	$\alpha (\mu\text{V/K})$	$\lambda (10^{-3} \text{ Wcm/K})$	$Z (10^{-3} \text{ K}^{-1})$
Trav. Heater M./ Bölge eritme	565	283	11	4.1
Pulverized M./ presleme	900	178	11.7	2.4

Ölçülen parametrelerin 11-373 K arasında sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 1-3’te verilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi bölge eritme yöntemi ve presleme ile üretilen numunelerin elektriksel ve ısı iletkenlikleri ve Seebeck katsayıları sıcaklıkla hemen benzer davranış sergilemektedirler. Ancak bölge eritme yöntemi ile elde edilen kristalin Seebeck kat sayısı daha büyükken elektriksel ve ısı iletkenlikleri daha düşüktür. Şekil 4’te gösterildiği gibi, bölge eritme yöntemi ile elde edilen numunenin Z parametresi presleme ile üretilene göre  $\sigma$ ,  $\alpha$  ve  $\lambda$  parametrelerine bağlı olarak daha yüksektir.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

For both samples at the room temperature the measured thermal and electrical conductivity, Seebeck coefficient and the obtained Z parameter values are given in Table 1. It is clearly seen that Z parameter obtained from traveling heater method ( $4.1 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ) is higher than obtained the pulverized method ( $2.4 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ). In similar works (5) the value of Z parameter changes from  $2.1 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  to  $4.5 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ . Similarly Seebeck coefficient obtained from traveling heater and pulverized methods is  $178 \mu\text{V/K}$  and  $283 \mu\text{V/K}$ , respectively. In the literature (7,13), Seebeck coefficient changes from  $150 \mu\text{V/K}$  to  $320 \mu\text{V/K}$ . The obtained values of Z parameter and Seebeck coefficient indicate that the produced thermoelectric semiconductors in this work are desirable materials for thermoelectric applications.

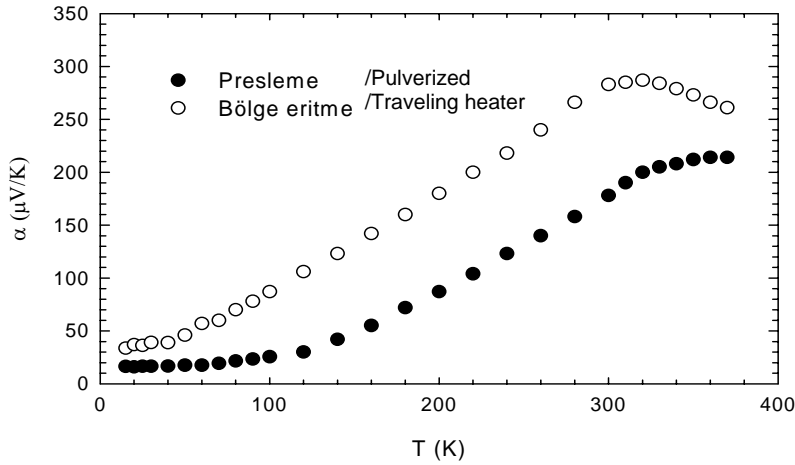
Temperature dependent electrical conductivity, Seebeck coefficient and thermal conductivity for both samples are given Fig. 1-3. It can be seen from Fig. 1-3 that electrical conductivity, Seebeck coefficient and thermal conductivity for both samples grown by two different techniques exhibit a similar behavior with temperature. However, the Seebeck coefficient for the sample obtained traveling heater method is higher than that of obtained from the pulverized method while thermal and electrical conductivities are low. In contrast to this, as it can be seen from Fig. 4 the Z parameter obtained from the pulverized method is higher than that of traveling heater method since it depends on  $\sigma$ ,  $\alpha$  and  $\lambda$ .



**Figure 1.** The variation of conductivity with temperature  
**Şekil 1.** İletkenliğin sıcaklığa bağlı değişimi

Yarı metaller grubunu oluşturan  $(\text{Bi}_2\text{Te}_3)\text{Se}_3$  gibi yarıiletkenlerde serbest yük taşıyıcılarının sabit kalmasından dolayı Şekil 1'den görüldüğü gibi iki numunenin iletkenliği sıcaklığa bağlı olarak azalmaktadır. Ayrıca metallere farklı olarak elektriksel iletkenliğin sıcaklıkla tam lineer değişmemesinin nedeni elektronların etkin kütlelerinin sıcaklıkla değişmesidir (7). Şekil 1'den görüldüğü gibi bölge eritme yöntemi ile elde edilen numunede lineerlik presleme ile üretilene göre daha iyidir. Bölge eritme ile büyütülen numunede oda sıcaklığının altında ve üstünde iki lineer bölge, presleme ile büyütülen numuneye göre daha belirgindir. Oda sıcaklığının altında elektronların fononlar tarafından sürüklenmesi baskın iken yüksek sıcaklıklarda fonon elektron saçılması baskındır. Bu nedenle oda sıcaklığının üzerinde iletkenlik daha hızlı bir şekilde azalmaktadır.

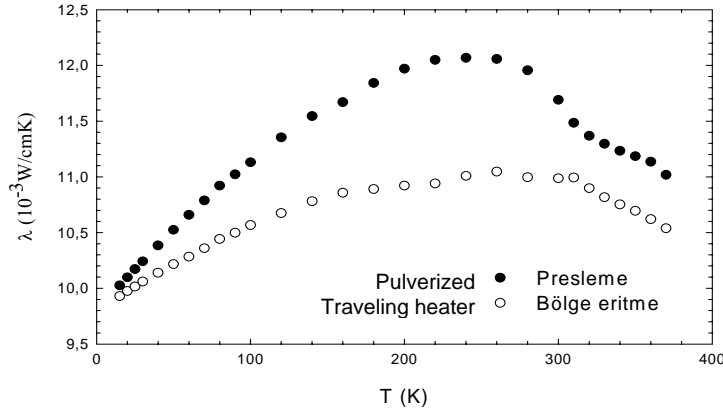
As it can be seen from Fig. 1, the electrical conductivity of both samples decreases with increasing temperature since  $(\text{Bi}_2\text{Te}_3)\text{Se}_3$  semiconductor is consist of the elements of semimetal group. In addition to this, the electrical conductivity does not exhibit a full linearity with the temperature because of the temperature dependence of the effective mass of electron (7). As it can be seen from Fig. 1, the linearity for the sample obtained traveling heater method is better than that of the pulverized method. Below the room temperature, the electrons are drifted by phonons while phonon-electron scattering is dominant at high temperatures. Therefore, the conductivity quickly increases above the room temperature.



**Figure 2.** The variation of Seebeck coefficient with temperature  
**Şekil 2.** Seebeck kat sayısının sıcaklığa bağlı değişimi

Şekil 2'de verilen Seebeck kat sayısının sıcaklığa göre değişimi Ioffe teorisi ile uyum içerisindedir (5). Bu teoriye göre yarı metallerde elektron yoğunluğunun değişen sıcaklıkla sabit kalmasına karşın,  $\alpha$ 'nın hem sıcaklığa, hem de aynı zamanda sıcaklıkla değişen elektronun etkin kütlelerine ve elektron saçılma mekanizmalarına bağlıdır. Bu iki neden düşük ve yüksek sıcaklıklarda kendini daha çok göstermektedir. Ara sıcaklıklarda ise ele alınan numunelerde olduğu gibi ve teoriye de uygun bir şekilde  $\alpha$  sıcaklıkla doğru orantılı olarak değişmektedir. Şekil 2'de görüldüğü gibi bölge eritme yöntemi ile elde edilen numune için  $\alpha$ 'nın değeri presleme yöntemi ile üretilen numuneye göre bütün sıcaklıklarda daha yüksektir.

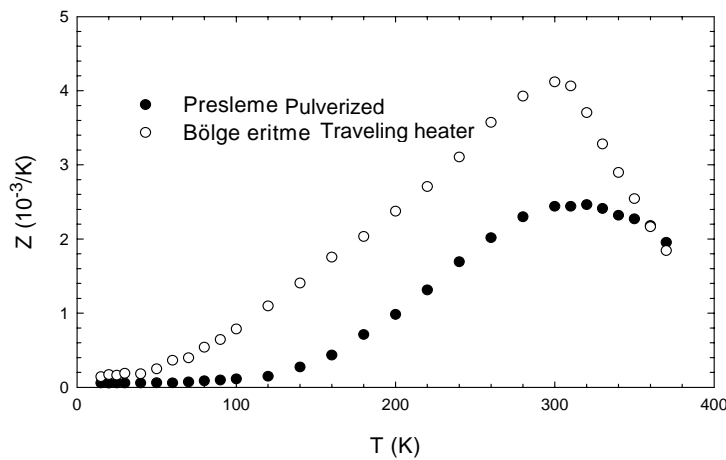
The variation of the Seebeck coefficient, given in Fig. 2, is in agreement with Ioffe theory (5). According to this theory, Seebeck coefficient ( $\alpha$ ) dependent on temperature, the electron scattering mechanism and the effective mass of electron, which also changes with temperature, while the electron density in semimetal does not change with temperature. These two statements are sensible in both low and high temperature. At intermediate temperatures Seebeck coefficient does not exhibit a linear behavior with temperature. At all temperatures the values of Seebeck coefficient obtained traveling heater method is higher than that of the pulverized method (see Fig. 2).



**Figure 3.** The variation of thermal conductivity with temperature  
**Şekil 3.** Isıl iletkenliğin sıcaklığa bağlı değişimi

Katılarda ısıl iletkenliği açıklayan tam bir teorik model olmamasına rağmen ancak nitel olarak ısıl iletkenlik düşük sıcaklıklarda artan sıcaklıkla artarken, yüksek sıcaklıklarda artan sıcaklıkla azalmaktadır (5). Yarıiletkenlerde ısıl iletkenlik, maddenin ısıl özelliklerine bağlı olmakla beraber yarıiletkenin bant yapısına, optik özelliklerine, kristal örgünün kusurlarına ve atomik bağ şekillerine de bağlıdır. Yüksek sıcaklıklarda, özellikle Debye sıcaklığının üstündeki sıcaklıklarda, elektronların fononlar üzerinden saçılmasından ve fononların ısı transferinde katkılarının artmasından dolayı artan sıcaklığa göre ısıl iletkenlikte bir azalma olacaktır (5). Kristal örgü kusurları arttıkça ısıl iletkenlik artmaktadır. Bölge eritme yöntemi ile elde edilen numunede presleme yöntemi ile elde edilen numuneye göre daha az örgü kusuru olduğundan bu kristalde ısıl iletkenliği diğerine göre daha düşüktür.

Although there is no a theoretical model which explains thermal conductivity in solids, at low temperature the thermal conductivity increases as temperature as the temperature increases, at high temperature decreases with temperature (5). Thermal conductivity in a semiconductor depends on the thermal properties of the material as well as it depends on the band structure, optic properties, crystal defects and atomics bonds. At high temperature, particularly above the Debye temperature, the electron scattering by phonons and the contribution to the heat transfer from phonons increases (5). Therefore, the thermal conductivity must decrease as the temperature increases. On the other hand, the thermal conductivity also increases with the increasing defect density in semiconductors. The thermal conductivity for the sample grown by traveling heater method is lower than that of the pulverized method since the defect density in the sample grown by traveling heater method is lower than that of other method.



**Figure 4.** The variation of Z parameter with temperature.  
**Şekil 4.** Z parametresinin sıcaklığa bağlı değişimi

Eş.1'den de anlaşıldığı gibi Z parametresi, ( $\sigma$ ), ( $\alpha$ ) ve ( $\lambda$ ) değerlerine bağlı olarak sıcaklığa göre değişim gösterecektir.  $(\text{Bi}_2\text{Te}_3)\text{Se}_3$  gibi bileşikleri için yapılan teorik araştırmalara göre orta sıcaklıklarda Z parametresinin sıcaklığa göre önce arttığı daha sonra bir maksimumdan geçerek azaldığı bilinmektedir (5,7).

Şekil 4'ten açıkça görüldüğü gibi Z parametresi göz önüne alınan sıcaklık aralığında iki numune için de deneysel sonuçlar Ioffe teorisi ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre tüm sıcaklık aralıkları için eritme yöntemi ile elde edilen kristalin Z parametresi presleme yöntemi ile elde edilen numuneye göre daha yüksek olmuştur. Her iki numunenin de Z parametreleri oda sıcaklığı civarında maksimum değere sahiptir. Bu nedenle termoelektrik modüller içeren jeneratör ve soğutma sistemleri oda sıcaklığı civarında maksimum verimde çalışabilirler. Z parametresi sıcaklığa bağlı olarak bir değişim sergilemektedir. Termoelektrik modüller kullanılarak üretilen jeneratör ve soğutma sistemlerinde Z parametresindeki bu değişim göz önünde tutulmalıdır.

Bölge eritme yöntemi ile büyütülen numunenin Seebeck kat sayısının daha yüksek ısı iletkenliğinin ise daha düşük olması bu numunenin Z parametresinin daha yüksek olmasını sağlamıştır. Bu nedenle termoelektrik modüllerin üretiminde bölge eritme ile üretilen numunelerin kullanılması uygundur.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada aynı alaşımlardan iki farklı yöntemle iki yarıiletken numune büyütülerek termoelektrik özellikleri araştırıldı. Büyütülen ve özellikleri incelenen her iki numune içinde elde edilen değerler dikkate alındığında benzer çalışmalarda elde edilen değerlerle uyum içerisinde olduğu gözlenmektedir.

Bölge eritme yöntemi ile elde edilen numunenin termoelektrik gücü ve numunenin kalitesini belirleyen Z parametresinin presleme yöntemi ile büyütülen numuneye göre önemli ölçüde daha yüksek olduğu elektriksel ve ısı iletkenliğinin ise daha düşük olduğu gözlenmiştir.

Z parametresinin tanımı gereği; yüksek Z parametresi için Seebeck kat sayısının ve elektriksel iletkenliğin büyük, ısı iletkenliğinin ise küçük olması gerekir. Bölge eritme ve presleme yöntemi ile elde edilen numunelerin ilgili parametreleri kıyaslandığında bölge eritme yönteminin presleme yöntemine göre daha yüksek Seebeck katsayısı ve düşük ısı iletkenlik sağlamasından dolayı bu yöntem presleme yöntemine göre daha avantajlıdır. Dezavantajı ise bu yöntemin presleme yöntemine göre elektriksel iletkenliğinin daha düşük olmasıdır. Ancak bölge eritme yöntemi ile yüksek iletkenlikli numuneler üretilmesi için çalışmalar yapılması Z parametresinin verimini daha da arttıracaktır.

As it can be understood from the Eq. 1, the temperature dependent of the Z parameter is governed by the temperature dependents of  $\sigma$ ,  $\lambda$  and  $\alpha$ . According to theoretical studies on  $(\text{Bi}_2\text{Te}_3)\text{Se}_3$  compounds (5,7), at the intermediate temperature it is known that the thermal conductivity firstly increases, then decreases by making a maximum as the temperature increases.

As it can be seen from Fig. 4, the obtained Z parameters for both samples are in an agreement with the obtained ones from Ioffe theory at the studied temperature range. It is found that Z parameter for the sample grown by traveling heater method is higher than that of the pulverized method. The Z parameter of both samples has a maximum at near room temperature. The generators and cooling systems, which include thermoelectric modules, can work with a maximum gain at room temperature. Therefore, the temperature dependence of Z parameter (see Fig. 4) must be considered in developing of the generators and the cooling systems including thermoelectric modules.

A high Seebeck coefficient and a low thermal conductivity result in a high Z parameter in the sample grown by traveling heater method. Therefore, it is also more convenient to use of the samples grown by traveling heater method in the development of thermoelectric modules.

#### 4. CONCLUSION

In this work, two thermoelectric semiconductor samples were grown by two different methods using same alloy and their thermoelectric properties were investigated in a temperature range of 11-373K. The obtained thermoelectric properties of the studied samples have been shown that a similar temperature dependence with the literature.

Thermoelectric power and Z parameter, which describes the thermoelectric quality of semiconductor, of the sample grown by traveling heater method is higher than that of grown by the pulverized method while it has lower electric and thermal conductivity.

According to definition the Z parameter, a high Z parameter requires a high Seebeck coefficient and electrical conductivity and low thermal conductivity. When the related parameters of the sample obtained from the traveling heater method are compared with those of obtained from the pulverized technique, the traveling heater method has some advantages upon the pulverized method since traveling heater method produces a higher Seebeck coefficient and a lower thermal conductivity than the pulverized method. It is a disadvantage to exhibit a lower electrical conduction of the sample grown by this technique with respect to the pulverized method. However, the studies on the production of the thermoelectric semiconductor, which has a high electrical conductivity, using the traveling heater method will increase the fruitful of the Z parameter.

#### KAYNAKLAR/ REFERENCES

1. <http://www.melcor.com> homepage of Melcor, USA (2004)
2. Bowley A. E, Inst A., Cowles L E J., Williams G J., Goldsmid H J, Inst F, Measurement of the figure of merit of a thermoelectric material *Journal of Scientific Instruments*, 38: 433-435 (2002)
3. Waclawek W. and Zabkowska M., "Apparatus for the measurement of thermoelectrical properties", *Journal of Physics E: Scientific Instruments*, 14: 618-620 (1981)
4. Burke, E.J., Buist, R. J., "Thermoelectric Coolers As Power Generators", *18<sup>th</sup> Intersociety Energy Conversion Engineering Conference*, Florida. (1983)
5. Ioffe A.F. "Poluprovodnikovie Termoelementi", edited by P.V.Gultaiev, *Pres. Akademia Nauk SSSR* , Moscow (1960)
6. Buist R. J., "in Handbook of Thermoelectrics CRC", edited by D.M. Rowe, *Pres. Inc New York*, (1995 )
7. Lahalle - Gravier C., "Thermoelectric Characterization of  $Bi_2T_{2,55}Se_{0,45}$  Solid Solutions", *J. Phys. Chem. Solids*, 59(1): 13-20, (1997)
8. Lendir B., "Effect of Antimony Content of the Thermoelectric Figure of Merit of  $Bi_{1-x}Sb_x$  Allays", *J. Phys. Chem. Solids*, 59(1): 129-134 (1997)
9. Buist R. J., "in 11<sup>th</sup> International Conference on Thermoelectric" October 7-8, *Arlington TX USA*, 57-61 (1992)
10. Min G., Rowe D.M., "in Proc. 5th European Workshop on Thermoelectrics", *Pardubice*, Czechia, September 20-21, 81-87 (1999)
11. Toshitaka O., Takenobu K., "in Handbook of Thermoelectrics CRC", edited by D.M. Rowe, *Pres. Inc New York*, (1995 )
12. Harman T. C., "Special Techniques for Measurement of Thermoelectric Properties", *J.Appl. Phys.*13: 440 (1962)
13. Caillat T., "Preparation and Thermoelectric Properties of Some Arsenopirite Phases Based on  $RuSd_{2-x} Te_{2x}$  and  $RuSb_{2-2x} Se_{2x}$  Solid Solutions", *J. Phys. Chem. Solids*, 59(1): 61-67 (1997)

Received/ Geliş Tarihi: 09.01.2004 Accepted/Kabul Tarihi: 13.12.2004