

P-Tipi Bi_2Te_3 Yarıiletkenlerin 291-373K Sıcaklık Aralığındaki Termoelektrik Karakterizasyonu

Raşit AHISKA¹ , Günay ÖMER² , Ayfer AYDOĞAN^{1*} 

¹Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Yenimahalle, Ankara, Türkiye

²Ankara Medipol Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Radyoterapi Programı, Ankara, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 22/10/2023
Düzeltilme: 10/12/2023
Kabul: 16/01/2024

Anahtar Kelimeler

P-tipi (Bi_2Te_3) Sb_2
yarıiletkeninin elde
edilmesi
P-Tipi (Bi_2Te_3) Sb_2
termoelektrik
karakterizasyonu
Eritilmiş ve preslenmiş
P-tipi (Bi_2Te_3) Sb_2
numunelerin Z
parametresinin
karşılaştırılması

Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Bölge eritme ve pressleme yöntemi kullanılarak iki farklı P-tipi Bi_2Te_3 yarıiletkenleri elde edildi. Bu yarıiletken numunelerin termoelektrik özellikleri; Seebeck katsayısı, elektriksel iletkenlik, ısı iletkenliği ve Z parametreleri 291-393K sıcaklarında 10K aralıklarla Harman tekniği kullanılarak ölçümler yapıldı. Bunun için özel geliştirilen α - σ ölçüm aleti kullanıldı. Oda sıcaklığında Z parametresi bölge eritme yöntemi ile elde edilen numune için $4 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$, pressleme yöntemi ile elde edilen numune için $3,3 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$ olarak ölçüldü. / Two different P-type Bi_2Te_3 semiconductor samples; Seebeck coefficient, electrical conductivity, thermal conductivity and Z parameters were measured at temperatures of 291-393K at 10K intervals using the Harman technique. A specially developed α - σ measuring instrument was used for this purpose. At room temperature, the Z parameter was measured as $4 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$ for the sample obtained by zone melting method and $3.3 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$ for the sample obtained by pressing method.



Şekil A: Bölge eritme ve pressleme yöntemi ile elde edilen numunelerin α - σ ölçüm aleti ile parametreler tespit edildi / **Figure A:** The parameters of the samples obtained by zone melting and pressing method were determined with α - σ measuring instrument.

Article Info

Research article
Received: 22/10/2023
Revision: 10/12/2023
Accepted: 16/01/2024

Keywords

Obtaining P-Type
(Bi_2Te_3) Sb_2 semiconductor
Thermoelectric
characterisation of P-Type
(Bi_2Te_3) Sb_2
Comparison of the Z
parameter of melted and
pressed P-type (Bi_2Te_3) Sb_2
samples

Highlights (Önemli noktalar)

- P-tipi (Bi_2Te_3) Sb_2 numunelerinin Z parametrelerinin karşılaştırılması / Comparison of Z parameters of P-type (Bi_2Te_3) Sb_2 samples
- Düşük maliyetli ve yüksek kaliteli numune elde edilmesi / Low cost and high quality samples
- Bölge eritme yöntemi ile elde edilen yarıiletkenlerin pressleme yöntemine göre daha avantajlı olması / It has been determined that semiconductors obtained by zone melting method are more advantageous than pressing method.

Amaç (Aim): Bölge eritme ve pressleme yöntemi ile elde edilen Bi_2Te_3 yarıiletkeninin parametreleri ayrı ayrı ölçülerek Z parametresi yüksek olan numunenin tespiti sağlanmıştır. / The parameters of Bi_2Te_3 semiconductor obtained by zone melting and pressing method were measured separately and the sample with high Z parameter was determined.

Özgünlük (Originality): Geliştirilen α - σ ölçüm sistemi gerekirse her türlü yarıiletkenin hem yüksek hem de düşük sıcaklıklardaki parametrelerinin ölçülmesinde kullanılabileceği görülmüştür. / The developed measurement system can be used to measure the parameters of all kinds of semiconductors at both high and low temperatures if necessary.

Bulgular (Results): Oda sıcaklığında, Z parametresi iki numune için sırasıyla $4 \times 10^{-3} \text{K}^{-1} / 3,3 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$ olarak ölçüldü. Buna ek olarak ısı iletkenliği, termoemk ve elektrik iletkenliği ölçüldü ve alınan sonuçların literatürle karşılaştırıldığında verilen birbirine yakın olduğu tespit edildi. / At room temperature, the Z parameter was measured as $4 \times 10^{-3} \text{K}^{-1} / 3.3 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$ for the two samples, respectively. In addition, thermal conductivity, thermoemcs and electrical conductivity were measured and the results were found to be close to each other when compared with the literature.

Sonuç (Conclusion): İki farklı yöntem ile elde edilen numunelerin parametreleri karşılaştırıldığında bölge eritme yönteminin pressleme yöntemine göre daha yüksek Seebeck katsayısı ve düşük ısı iletkenlik sağlamasından dolayı bu yöntem pressleme yöntemine göre daha avantajlıdır. / When the parameters of the samples obtained by two different methods are compared, this method is more advantageous than the pressing method because the zone melting method provides higher Seebeck coefficient and lower thermal conductivity than the pressing method.



P-Tipi Bi_2Te_3 Yarıiletkenlerin 291-373K Sıcaklık Aralığındaki Termoelektrik Karakterizasyonu

Raşit AHISKA¹ , Günay ÖMER² , Ayfer AYDOĞAN^{1*}

¹Gazi University, Faculty of Science, Department of Physics, Yenimahalle, Ankara, Turkey

²Ankara Medipo University, Vocational Scholl of Health Services, Radiotherapy Program, Ankara, Turkey

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 22/10/2023
Düzeltilme: 10/12/2023
Kabul: 16/01/2024

Anahtar Kelimeler

P-tipi (Bi_2Te_3) Sb_2
yarıiletkeninin elde edilmesi
P-Tipi (Bi_2Te_3) Sb_2
termoelektrik karakterizasyonu
Eritilmiş ve preslenmiş
P-tipi (Bi_2Te_3) Sb_2
numunelerin Z parametresinin karşılaştırılması

Öz

Bölge eritme ve pressleme yöntemi kullanılarak iki farklı P-tipi Bi_2Te_3 yarıiletkenleri elde edildi. Bu yarıiletken numunelerin termoelektrik özellikleri; Seebeck katsayısı, elektriksel iletkenlik, ısı iletkenliği ve Z parametreleri 291-393K sıcaklarında 10^0K aralıklarla Harman tekniği kullanılarak ölçümler yapıldı. Bunun için özel geliştirilen α - σ ölçüm aleti kullanıldı. Oda sıcaklığında Z parametresi bölge eritme yöntemi ile elde edilen numune için $4 \times 10^{-3}\text{K}^{-1}$, pressleme yöntemi ile elde edilen numune için $3,3 \times 10^{-3}\text{K}^{-1}$ olarak ölçüldü. Buna ek olarak ısı iletkenliği, termoemk ve elektrik iletkenliği ölçüldü ve alınan sonuçların literatürle karşılaştırıldığında verilen birbirine yakın olduğu tespit edildi.

Thermoelectric Characterization of P-type Bi_2Te_3 Semiconductors in the Temperature Range of 291-373K

Article Info

Research article
Received: 22/10/2023
Revision: 10/12/2023
Accepted: 16/01/2024

Keywords

Obtaining P-Type
(Bi_2Te_3) Sb_2 semiconductor
Thermoelectric
characterisation of P-Type
(Bi_2Te_3) Sb_2
Comparison of the Z
parameter of melted and
pressed P-type (Bi_2Te_3) Sb_2
samples

Abstract

Two different P-type Bi_2Te_3 semiconductors were obtained using zone melting and pressing method. The thermoelectric properties of these semiconductor samples; Seebeck coefficient, electrical conductivity, thermal conductivity and Z parameters were measured at temperatures of 291-393K at 10^0K intervals using the Harman technique. A specially developed α - σ measuring instrument was used for this purpose. At room temperature, the Z parameter was measured as $4 \times 10^{-3}\text{K}^{-1}$ for the sample obtained by zone melting method and $3.3 \times 10^{-3}\text{K}^{-1}$ for the sample obtained by pressing method. In addition, thermal conductivity, thermoemulsion and electrical conductivity were measured and it was determined that the results obtained were close to each other when compared with the literature.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bölge eritme ve pressleme yöntemi kullanılarak iki farklı P-tipi Bi_2Te_3 yarıiletkenleri elde edildi. Bu yarıiletken numunelerin termoelektrik özellikleri; Seebeck katsayısı, elektriksel iletkenlik, ısı iletkenliği ve Z parametreleri 291-393K

sıcaklarında 100K aralıklarla Harman tekniği kullanılarak ölçümler yapıldı. Bunun için özel geliştirilen α - σ ölçüm aleti kullanıldı. Oda sıcaklığında Z parametresi bölge eritme yöntemi ile elde edilen numune için $4 \times 10^{-3}\text{K}^{-1}$, pressleme yöntemi ile elde edilen numune için $3,3 \times 10^{-3}\text{K}^{-1}$ olarak ölçüldü. Buna ek olarak ısı iletkenliği,

termoemk ve elektrik iletkenliği ölçüldü ve alınan sonuçların literatürle karşılaştırıldığında verilen birbirine yakın olduğu tespit edildi.

2. MATERYALLER VE METODLAR (MATERIALS AND METHODS)

Bu çalışmada, bölge eritme (Travelling Heater Method, THM) ve pressleme yöntemi ile elde edilmiş P-tipi 2 farklı yarıiletken kullanılmıştır. Her yarıiletken numune, ayrı ayrı incelenmiş ve elde edilen parametrelerin gereken analizleri yapılmıştır. Bütün numunelerin elektrik iletkenliği (σ) ve termoemksi (α), oda sıcaklığından (18°C) 100°C'lik ortam sıcaklığına kadar, her 10°C'de bir, 10 kere ölçülmüş ve ortalama değerleri alınmıştır. Böylelikle P tipi eritilmiş (Er) ve P tipi presslenmiş (Pr) yarıiletkenlerinin ortalama σ ve α değerlerinin sıcaklığa göre değişimi tespit edilmiştir. Bu değerleri kullanarak ısı iletkenliği (χ) ve $Z(\frac{z=\frac{\alpha^2\sigma}{\chi}}$) parametrelerinin sıcaklıkla değişimi bulunmuştur. Ayrıca $\sigma = \sigma(T)$ (Burada $T = 273^\circ\text{C} + t^\circ\text{C}$ Kelvin cinsinden sıcaklığı ifade etmektedir.) fonksiyonunun eğimini hesaplayarak her bir yarıiletken için yasak bölge değeri E_g (eV) ayrı ayrı bulunmuştur.

Bölge eritme (THM) yöntemi ile elde edilmiş P tipi yarıiletkenler için "%74 Bi_2Te_3 + %26 Sb_2Te_3 " bileşimi kullanılmıştır. Kuvartz tüplerin iç çapına

göre üretilen malzemelerin kesitleri değişebilmektedir. Deneyde çapı 8mm olan yarıiletkenler kullanılmıştır. Bunlardan N tipi yarıiletkenlerin erime sıcaklığı 706°C iken P tipinin 711°C 'dir. Presleme yöntemi toz metalurji tekniğine dayanır. Etrafı ısıtıcıyla sarılmış düz kare prizma şeklindeki kalıbın içine toz haline getirilmiş "%80 Bi_2Te_3 + %20 Bi_2Se_3 " den oluşan bir karışım konulur. Kalıp 400°C'e kadar ısıtılır ve pres vasıtasıyla $7\text{atm}=7.105\text{Pa}$ lık basınç uygulanır. Kalıbın boyutlarına uygun elde edilen yarıiletkenlerin kalınlıkları değişir. Deneyde kesiti kare şeklinde ve kenarı 7mm (alanı 49mm^2) olan P tipi presslenmiş yarıiletkenler için "%74 Bi_2Te_3 + %26 Sb_2Te_3 'den" oluşan toz karışımı kullanılmıştır [10-12].

Çalışmada kullanılan yarıiletkenlerin elde edilmiş yöntemine göre şekilleri değişmektedir. Bölge eritme yöntemi ile elde edilen numunelerin yüksekliği 2cm ve çapı 8mm olan silindir şeklinde iken, presslenmiş numunelerin yüksekliği 2cm tabanı 7mm x 7mm olan kareden oluşan düz kare prizma şeklindedir. Yarıiletkenleri tiplerine göre gruplara ayırmak için TES Ltd şirketinde geçştirilen özel N-P tipi belirleme akıllı sistem kullanıldı [1-3]. Bu cihazın genel görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. N-P tip belirleme cihazı ve Numuneler (N-P type device and Samples)

Çalışmada 2 adet numunenin iletkenlik-sıcaklık ve termoemk-sıcaklık değişimini araştırmak için T.C. Harman yöntemi uygulanmıştır. Bunun için $\alpha - \sigma$ ölçüm aleti (sistemi) tasarlanmış ve yapılmıştır. Bütün deney düzeneği 1 adet $\alpha - \sigma$ ölçüm aleti, 1 adet ayarlama ünitesi, 3 adet dijital multimetreden oluşmaktadır. $\alpha - \sigma$ ölçüm aleti aşığıdaki resimde

gösterilmiştir. $\alpha - \sigma$ ölçüm aleti, üzerinde 2 adet çelik destek monte edilmiş sabit bir taban, destekler üzerinde hareket edebilen ısıtıcı ve aralığı 1cm olan iki elektrotlu hareketli sistemden oluşmaktadır. Destekler arasında çapı 4 cm olan delikli bir örs bulunmaktadır. Aynı çapa sahip ısıtıcı, ince bir boru üzerine sarılmış telden yapılmıştır. Örs ve ısıtıcının

deliklerinden geçerek yarıiletken numunelerin alt ve üst yüzeyleri ile temas edebilecek şekilde bakır(Cu) ve konstandan (%60 Cu + %40 Ni) yapılmış termokupulların uçları vidalı üst kapaklarla sabitleştirilmiştir. Örs üzerinde bulunan yarıiletken numuneyi sabit tutmak ve üzerindeki potansiyel farkını ölçebilmek için ebonitten üstü ile bir yanı açık delikli kapak şeklinde bir tutucu yapılmıştır. Tutucu, örs üzerine takıldıktan sonra içine numune konulur ve ısıtıcı yavaşça hareket ettirilerek yarıiletkenin üzerine tam temas sağlayacak şekilde indirilir. Maksimum temas sağlamak için ısıtıcıyı oluşturan çelik parçanın alt kısmı daire şeklinde

oyulmuştur. Yarıiletken üzerindeki voltajı ölçmek için iğne şeklinde yapılmış yaylı ve hareketli elektrotlar kullanılmıştır. Yarıiletken alete yerleştirildikten sonra elektrotlar tam temas edecek şekilde yaklaştırılarak yandaki vidayla sabitleştirilmiştir.



Şekil 2. $\alpha - \sigma$ Ölçüm aleti ve iklimlendirme dolabı ($\alpha - \sigma$ Measuring instrument and air conditioning cabinet)

Isıtıcının giriş kabloları, termokupulların ve elektrotların çıkış uçları tabanın alt kısmında giriş - çıkış jakı üzerine lehimlenmiştir. Aynı tip jak ayarlama ünitesi üzerine de monte edilmiştir. Bunları birbirine bağlamak için çoklu kablo kullanılmıştır. Ayarlama ünitesi tek sistemle yarıiletkenlerin α ve σ 'sının ölçümünü sağlar. Ünitenin üzerindeki " $\alpha - \sigma$ " anahtarı " σ "; "Emk-V" anahtarı "V-(voltaj)" konumunda iken yarıiletkenin σ 'sı ölçülür. Yarıiletkenin α 'sını ölçmek için "Emk - V" anahtarı "E", " $\alpha - \sigma$ " ise " α " konumuna getirilmelidir. Ünitenin üzerindeki "Rs" çıkışına $0,01 \Omega$ 'luk standart direnç, "A" çıkışına ampermetre, "mV" çıkışına ise bir DC voltmetre bağlanmaktadır. Yarıiletkenin üzerinden geçen akım şiddetini (maksimum $I = 1A$ geçmelidir), yarıiletkenin uçları arasında sıcaklık farkını sabit tutmak ve ısıtıcıya uygulanan voltajı ayarlamak için tüm sistemin beslemesi bir varyak ile sağlanmaktadır. Parametrelerin ortam sıcaklığına göre araştırılması için $\alpha - \sigma$ ölçüm aleti yarıiletken numune ile beraber sıcaklığı kontrol edilebilen bir iklimlendirme cihazın içine konulmaktadır. Cihazın sıcaklığı ayarlandıktan sonra sabitleşmesi için beklenmiş ve daha sonra ölçümler yapılmıştır. Deneyde SFL Advanced High

Temperature & Environmental Systems iklimlendirme kullanılmıştır. Ölçümler oda sıcaklığından($18^{\circ}C$) başlamak üzere $100^{\circ}C$ 'ye kadar her defasında $10^{\circ}C$ artırılarak yapılmıştır. Yarıiletkenlerden geçen AC akım şiddetini, standart direnç üzerindeki V_s , numunenin üzerindeki V_x voltajları ve yarıiletkenin meydana getirdiği termoemk veya termokupulların oluşturduğu voltajı ölçmek için 3 adet Fluke 45 Dual Display multimetre kullanılmıştır. $\alpha - \sigma$ ölçüm aleti ve iklimlendirme cihazı Şekil 2'de gösterilmiştir.

Modern yarıiletkenler teorisine göre ister özden isterse P tipi yarıiletkenlerin tüm fiziksel özellikleri yarıiletkenlerdeki yük konsantrasyonuna (n) bağlıdır. Yarıiletkenlerde n değeri sıcaklığa, bant yapısına ve taşıyıcıların kristal örgü ile etkileşme (fononlar üzerinde saçılma) mekanizmasına göre değişmektedir. Bir yarıiletkenin α , σ ve \mathcal{X} 'sı, n'ye göre değiştiği için bunların arasında da bir bağlantı mevcuttur. P tipi yarıiletkenlerde, yüksek sıcaklıklarda (oda ve daha yüksek sıcaklıklarda) iletkenlik katsayısı (σ) sıcaklığa göre,

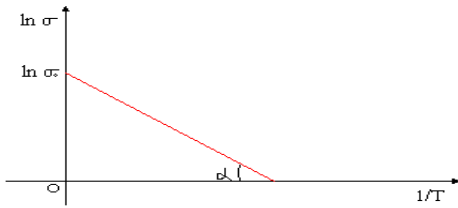
$$\sigma = \sigma_o e^{\frac{-E_g}{2kT}} \quad (1)$$

Şeklinde değişmektedir. Burada σ_o sıcaklığa bağlı olmayan bir sabittir ve $T \rightarrow \infty$; yani tüm yük taşıyıcılar iletimde iken, σ 'yı ifade eder. σ_o 'ın yaklaşık değeri 105 tir.

Bu eşitliğin iki tarafının doğal logaritmasını alırsak

$$\ln \sigma = \ln \sigma_o - \frac{Eg}{2kT} \quad (2)$$

denklemini elde ederiz. Burada "k = 10^{-4} eV / K" Boltzman sabiti, T Kelvin cinsinden sıcaklıktır. Buradaki $\ln \sigma$ 'nın $1/T$ 'ye göre bir lineer fonksiyon olduğu açıktır. ($\ln \sigma \sim 1/T$)(bkz. Şekil 3)



Şekil 3. $\ln \sigma = f\left(\frac{1}{T}\right)$ fonksiyonunun grafiği (Graph of function $\ln \sigma = f\left(\frac{1}{T}\right)$)

Bu fonksiyonun grafiği bir doğrudur ve eğimi (tan α) $\frac{Eg}{2k}$ dir. Yani Eğim = $\frac{Eg}{2k}$ (3) ifadesi yazılabilir. Demek ki bir yarıiletkenin $\ln \sigma = f\left(\frac{1}{T}\right)$ fonksiyonu ve eğimi elde edilirse o zaman

$$Eg = 2kEğim \quad (4)$$

formülünden Eg yasak bölgenin değeri hesaplanabilir. Makalede bu yöntemle eritilmiş ve presslenmiş P tipi yarıiletkenlerinin Eg 'leri hesaplanmıştır.

Bir yarıiletkende ısı iletimi (χ), yük taşıyıcıların (χ_y) ve fononların (χ_f) katkısıyla meydana gelmektedir. P tipi yarıiletkenlerde, orta ve yüksek sıcaklıklarda elektronların veya deliklerin ısı iletimindeki katkısı sıcaklığa göre değişmez. Yani $\chi_y \neq f(T)$ ve χ 'e veya χ_p sabittir. İncelediğimiz termoelektrik yarıiletkenler için $\chi_y = 9,8.10^{-3}$ W/cmK dir. Teorik araştırmalara

göre N veya P tipi yarıiletkenlerde $\sigma = 2,5.10^{-3} \Omega^{-1}cm^{-1}$ değeri için

$$\chi = 9,8.10^{-3} + \frac{2k^2}{e^2} \cdot \sigma T \quad (5)$$

$\sigma > 3,5.10^{-3} \Omega^{-1}cm^{-1}$ için ise

$$\chi = 9,8.10^{-3} + \frac{3k^2}{e^2} \cdot \sigma T \quad (6)$$

formülleri kullanılabilir. Burada $e = -1,6.10^{-19}$ C elektron yüküdür. Burada, kullanılan tüm yarıiletkenlerde $\sigma < 2500 \Omega^{-1}cm^{-1}$ olduğuna göre ısı iletkenliğini hesaplamak için

$$\chi = 9,8.10^{-3} + \frac{2k^2}{e^2} \cdot \sigma T \quad \text{veya}$$

$$\chi = 9,8.10^{-3} + 0,7.10^{-8} \sigma T \quad (7)$$

formülü kullanılmıştır.

Direkt ölçülen α , σ ve hesaplanan χ değerlerini kullanarak yarıiletkenlerin kalitesini karakterize eden Z parametresi hesaplanmıştır;

$$Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{\chi} \quad (8)$$

Her bir yarıiletken numune için α , σ , χ ve Z parametrelerinin (18°C - 100°C) yani 291K – 373K sıcaklık aralıklarındaki değişimi grafiklere aktarılmıştır. Ayrıca $\sigma = \sigma\left(\frac{1}{T}\right)$ fonksiyonundan yarıiletkenlerin Eg parametresi de tespit edilmiştir. Böylece geliştirilen α - σ ölçüm sistemi ile iki farklı yöntemle elde edilmiş P tipi termoelektrik yarıiletkenlerin 5 parametresi (α , σ , χ , Z ve Eg) incelenmiş ve literatürdeki teorik ve deneysel sonuçlarla kıyaslanmıştır.

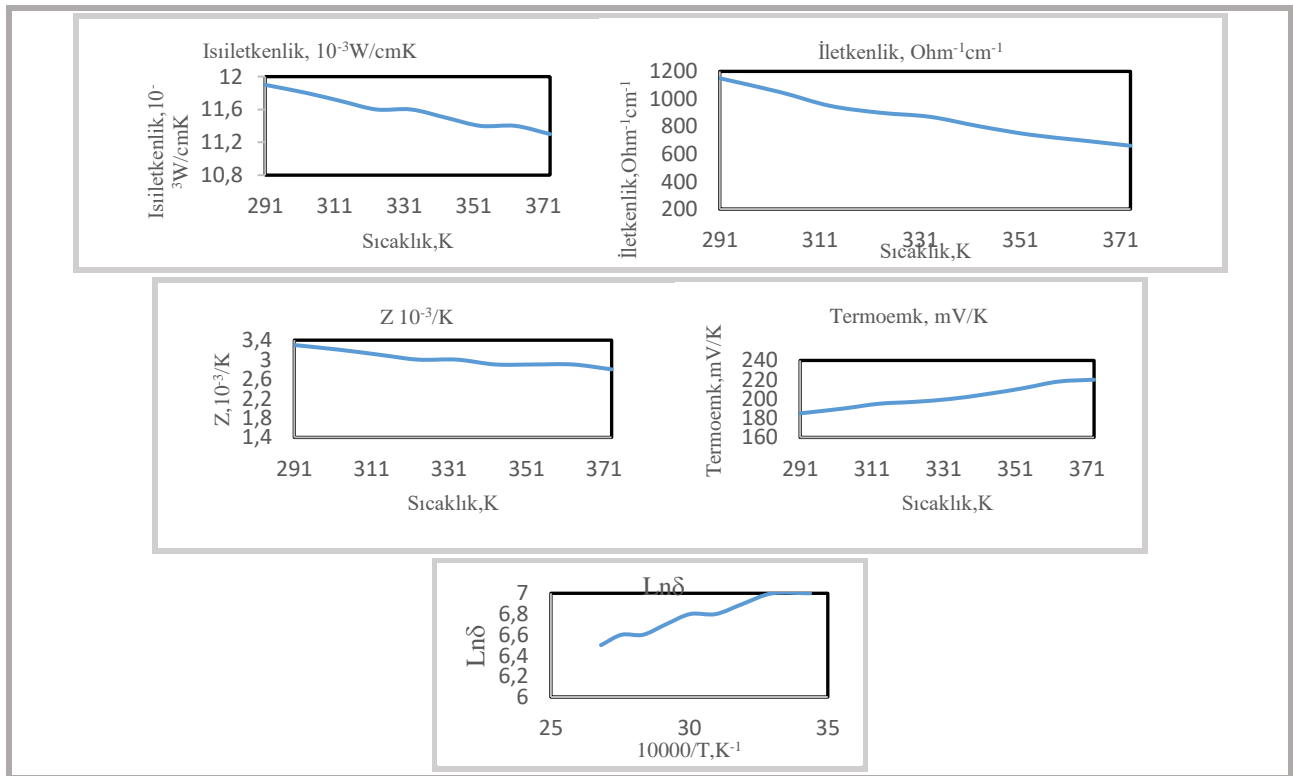
3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Çalışmada eritilmiş, silindirik şekilde, yarıçapı $r=4\text{mm}$ (kesitalanı $\Rightarrow A = \pi.r^2 = 3,14.0,4^2 = 5.10^{-3}\text{cm}^2$), uzunluğu 3cm olan 1 adet P tipi yarıiletken kullanılmıştır. Aynı boyuttaki preslenmiş yarıiletkenler, düz kare prizma şeklinde olup kesit alanları $A = a^2 = 0,7\text{cm} \times 0,7\text{cm} = 0,49\text{cm}^2$ dir. Yarıiletkenlerin üzerindeki gerilim düşümü (V_x) α - σ ölçüm aletinin elektrotları arasındaki sabit uzaklıkta iki noktadan alınmıştır

olduğuna göre bütün numuneler için $l = 1\text{cm}$ olarak kabul edilmiştir. 2 gruba ayrılan numunelerin farklı sıcaklıklarda, her biri için ayrı ayrı 10 kere ölçümler alınarak ortalama değerleri hesaplanmıştır. Böylelikle hem ölçümde meydana gelebilecek hatalar önlenmiş hem de ölçümlerin kontrolü yapılmıştır. α ve σ 'nın ortalama ve bu değerlere göre hesaplanan χ ve Z değerlerinin sıcaklığa göre değişiminin tablo ve grafikleri de her numune için Şekil 4 - 5'de ayrı ayrı verilmiştir. Ayrıca tablolarda E_g 'nin değeri de hesaplanarak gösterilmiştir

Tablo 1. P Tipi Preslenmiş (P Type Pressed)

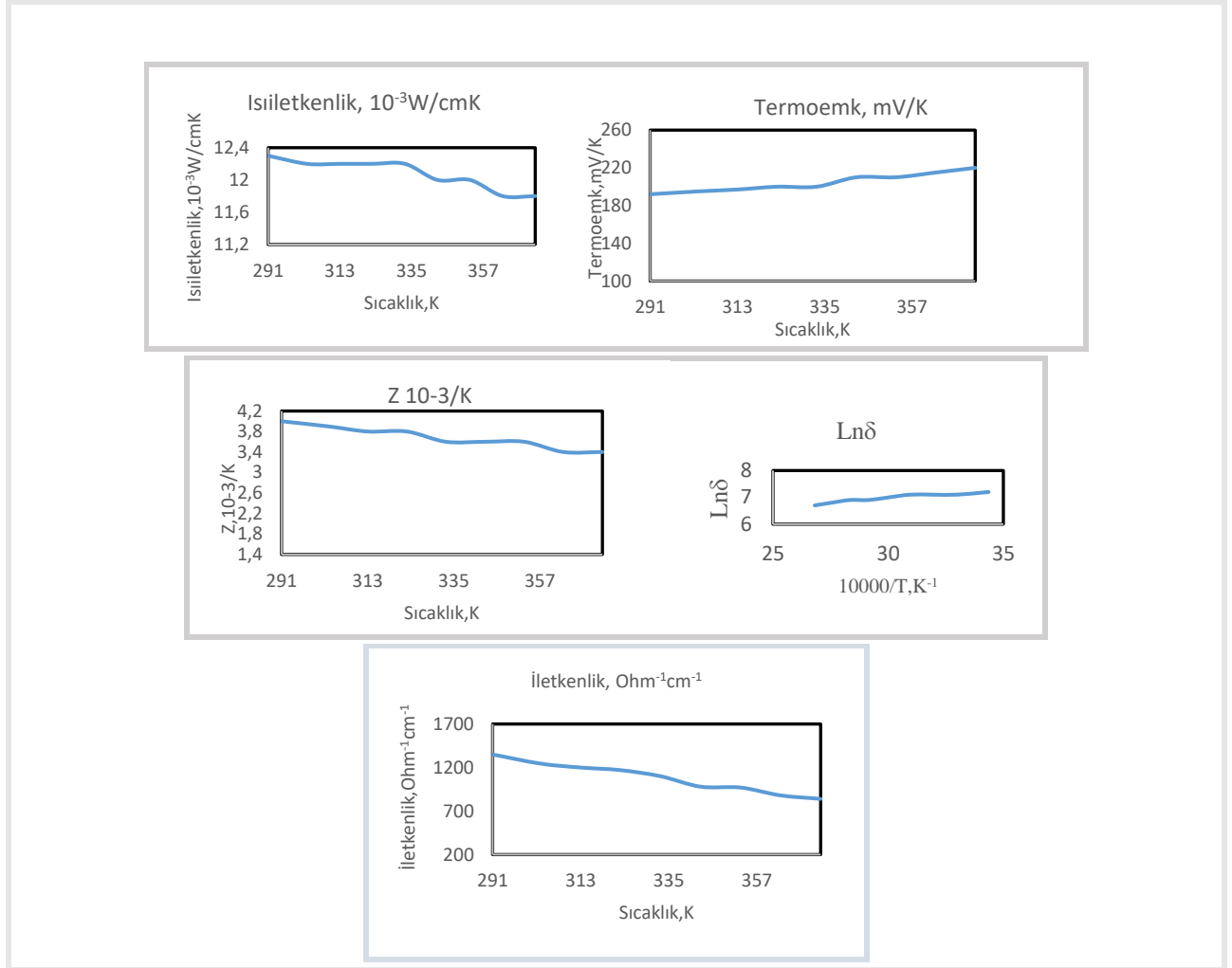
Sıcaklık, K	10000/T, 1/K	İletkenlik, $\text{Ohm}^{-1}\text{cm}^{-1}$	Termoemk, $\Delta V/\text{K}$	Isiletkenlik, $10^{-3}\text{W}/\text{cmK}$	Z $10^{-3}/\text{K}$	$\text{Ln}\sigma$	Eğim,	E_g , eV
291	34,36	1150	185	11,9	3,3	7,0	0,07	0,13
303	33,00	1050	190	11,8	3,2	7,0		
313	31,95	950	195	11,7	3,1	6,9		
323	30,96	900	197	11,6	3,0	6,8		
333	30,03	870	200	11,6	3,0	6,8		
343	29,15	800	205	11,5	2,9	6,7		
353	28,33	740	211	11,4	2,9	6,6		
363	27,55	700	218	11,4	2,9	6,6		
373	26,81	660	220	11,3	2,8	6,5		



Şekil 4. P-tipi Preslenmiş Yarıiletkenin Özellikleri (Properties of P-type Pressed Semiconductor)

Tablo 2. P-Tipi Eritilmiş (P-type melted)

Sıcaklık, K	10000/T, 1/K	İletkenlik, Ohm-1cm-1	Termoemk, $\Delta V/K$	İsiletkenlik, 10-3W/cmK	Z 10-3/K	$Ln\sigma$	Eğim, eV	Eg, eV
291	34,36	1350	192	12,3	4,0	7,2	0,07	0,11
303	33,00	1245	195	12,2	3,9	7,1		
313	31,95	1200	197	12,2	3,8	7,1		
323	30,96	1170	200	12,2	3,8	7,1		
333	30,03	1100	200	12,2	3,6	7,0		
343	29,15	980	210	12,0	3,6	6,9		
353	28,33	970	210	12,0	3,6	6,9		
363	27,55	880	215	11,8	3,4	6,8		
373	26,81	840	220	11,8	3,4	6,7		



Şekil 5. P-tipi eritilmiş yarıiletkenin özellikleri (Properties of P-type melted semiconductor)

Şekil 6 ve Şekil 7 'te bütün numuneler için α , σ , χ ve Z parametrelerinin sıcaklığa göre değişimi tek tablo ve grafik şeklinde ayrı ayrı verilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre 2 grupta α , σ , χ ve Z parametrelerinin sıcaklığa göre davranışları ister teorik açıdan isterse literatürde A.F. Ioffe, T.Caillat, C.Lahalle – Gravier Ve B. Lendir [14-16] gibi bilim adamlarının benzer termoelektrik maddeler için elde ettikleri deneysel

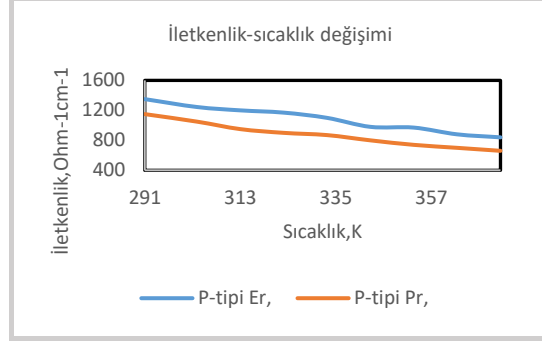
sonuçlarla aynıdır. Ayrıca çalışmada hesaplanan Eg değerleri P tipi için literatüre göre bu aralık 0,10eV - 0,12eV iken elde edilen sonuçlar 0,11eV - 0,13eV olmuştur. Böylelikle elde edilen sonuçlar %10 bağıl hatayla dünya bilim adamlarının bulduğu sonuçlarla aynı olduğu gösterilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar ister teorik isterse deneysel açıdan çalışmanın ne kadar başarılı olduğunun kanıtıdır. Grupları ayrı ayrı ele aldığımızda eritilmiş kristallerin, başta Z olmak üzere tüm parametreleri 18°C -100°C sıcaklık

aralığında presslenmiş yarıiletkenlere göre daha yüksektir. Buna göre termoelektrik modullerin üretiminde bölge eritme yöntemi (THM) ile elde edilmiş yarıiletkenlerin kullanılmasının daha uygun olacağı görülmüştür. Bu modullerden yapılan

soğutucu veya jeneratörlerin farklı iklim ve sıcaklıklarda çalışması öngörüldüğü için eritilmiş yarıiletkenlerin kullanılması daha hesaplı olacaktır.

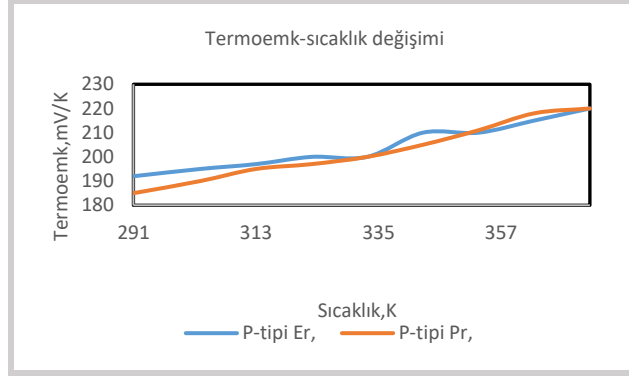
Tablo 3. İletkenlik-sıcaklık değişimi (Conductivity-temperature variation)

Sıcaklık, K	P-tipi Er, mV/K	P-tipi Pr, mV/K
291	192	185
303	195	190
313	197	195
323	200	197
333	200	200
343	210	205
353	210	211
363	215	218
373	220	220



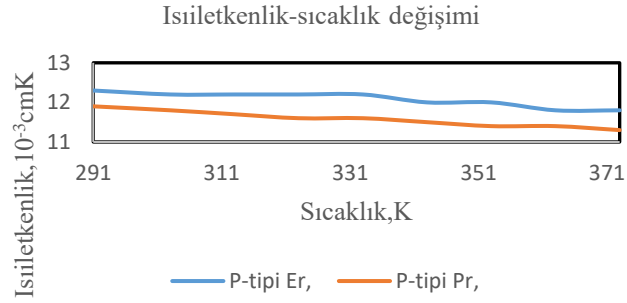
Tablo 4. Termoemk - sıcaklık değişimi (Thermoemk - temperature variation)

Sıcaklık, K	P-tipi Er, mV/K	P-tipi Pr, mV/K
291	192	185
303	195	190
313	197	195
323	200	197
333	200	200
343	210	205
353	210	211
363	215	218
373	220	220



Tablo 5. Isı iletkenlik-sıcaklık değişimi (Thermal conductivity-temperature variation)

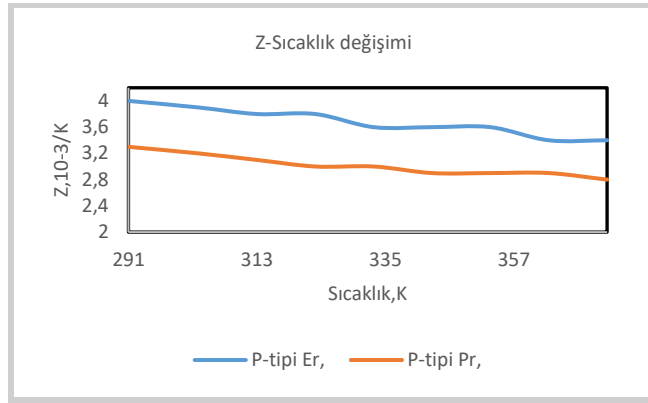
Sıcaklık, K	P-tipi Er, 10^{-3}cmK	P-tipi Pr, 10^{-3}cmK
291	12,3	11,9
303	12,2	11,8
313	12,2	11,7
323	12,2	11,6
333	12,2	11,6
343	12,0	11,5
353	12,0	11,4
363	11,8	11,4
373	11,8	11,3



Şekil 6. Farklı yarıiletkenlerin değişim özellikler (Change properties of different semiconductors)

Tablo 6. Z - sıcaklık değişimi (Z - temperature variation)

Sıcaklık, K	P-tipi Er, 10^{-3}K^{-1}	P-tipi Pr, 10^{-3}K^{-1}
291	4	3,3
303	3,9	3,2
313	3,8	3,1
323	3,8	3
333	3,6	3
343	3,6	2,9
353	3,6	2,9
363	3,4	2,9
373	3,4	2,8



Şekil 7. Farklı yarıiletkenlerin değişim özellikleri (Exchange properties of different semiconductor)

Ölçülen parametrelerin 291-393 K arasında sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4-7'de verilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi bölge eritme yöntemi ve pressleme ile üretilen numunelerin elektriksel ve ısı iletkenlikleri ve Seebeck katsayıları sıcaklıkla hemen hemen benzer davranış sergilemektedirler. Ancak bölge eritme yöntemi ile elde edilen kristalin Seebeck kat sayısı daha büyükken elektriksel ve ısı iletkenlikleri daha düşüktür. Şekil 7'de gösterildiği gibi, bölge eritme yöntemi ile elde edilen numunenin Z parametresi pressleme ile üretilene göre σ , α ve \mathcal{Z} parametrelerine bağlı olarak daha yüksektir [1-5].

Yarı metaller grubunu oluşturan yarıiletkenlerde serbest yük taşıyıcılarının sabit kalmasından dolayı iki numunenin iletkenliği sıcaklığa bağlı olarak azalmaktadır. Ayrıca metallere farklı olarak elektriksel iletkenliğin sıcaklıkla tam lineer değişmemesinin nedeni elektronların etkin kütlelerinin sıcaklıkla değişmesidir [8]. Tablo 3'ten görüldüğü gibi bölge eritme yöntemi ile elde edilen numunede lineerlik pressleme ile üretilene göre daha iyidir. Bölge eritme ile büyütülen numunede oda sıcaklığının altında ve üstünde iki lineer bölge, pressleme 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 [1-5].

Tablo 4'te verilen Seebeck kat sayısının sıcaklığa göre değişimi Ioffe teorisi ile uyum içerisinde [16]. Bu teoriye göre yarı metallerde elektron yoğunluğunun değişen sıcaklıkla sabit kalmasına karşın, α 'nın hem sıcaklığa, hem de aynı zamanda sıcaklıkla değişen elektronun etkin külesine 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 α sıcaklıkla doğru orantılı olarak değişmektedir. Tablo 4'te görüldüğu gibi bölge eritme yöntemi ile elde edilen numune için α 'nın değeri pressleme yöntemi ile üretilen numuneye göre bütün sıcaklıklarda daha yüksektir [1-5].

Katılarda ısı iletkenliği açıklayan tam bir teorik model olmamasına rağmen ancak nitel olarak ısı iletkenlik düşük sıcaklıklarda artan sıcaklıkla artarken, yüksek sıcaklıklarda artan sıcaklıkla azalmaktadır [16]. Yarıiletkenlerde ısı iletkenlik, maddenin ısı 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 ısı iletkenlikte bir azalma olacaktır [16]. Kristal örgü kusurları artıkça ısı iletkenlik artmaktadır. Bölge eritme yöntemi ile elde edilen numunede presleme yöntemi ile elde edilen numuneye göre daha az örgü kusuru olduğundan bu kristalde ısı iletkenliği diğerine göre daha Düşüktür [1-8].

Eş.8'den de anlaşıldığı gibi Z parametresi, (σ), (α) ve (χ) değerlerine bağlı olarak sıcaklığa göre değişim gösterecektir. (Bi_2Te_3) Sb_2 gibi bileşikleri için yapılan teorik araştırmalara göre orta sıcaklıklarda Z parametresinin sıcaklığa göre önce arttığı daha sonra bir maksimumdan geçerek azaldığı bilinmektedir [1-8]. Tablo 6'dan açıkça görüldüğu 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 pressleme 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 [1-8].

4. SİMGELER (SYMBOLS)

α : Termoemk

σ : Elektrik iletkenliği

χ : Isı iletkenliği

Z : Z parametresi

ΔT : Sıcaklık farkı

$^{\circ}\text{C}$: Santigrat derece

$^{\circ}\text{K}$: Kelvin

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Elde edilen sonuçları yarıiletkenlerin tipine göre değerlendirildiğinde P tipi eritilmiş yarıiletkenlerin P tipi presslenmiş yarıiletkenlere göre σ 'sı daha küçük α ve Z değerleri ise daha büyük olduğu saptanmıştır. Yarıiletkenin termoelektrik kalitesini karakterize eden Z'nin 18°C - 100°C sıcaklık aralığında P tipi eritilmiş yarıiletkenlerde %40 ile %20 civarında azaldığını, P presslenmiş yarıiletkenlerde ise %15 azaldığı tespit edilmiştir. Z parametresinin tanımı gereği; yüksek Z parametresi için Seebeck kat sayısının ve elektriksel iletkenliğin büyük, ısı iletkenliğin ise küçük olması gerekir. Bölge eritme ve pressleme 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 pressleme yöntemine göre daha avantajlıdır. Dezavantajı ise bu yöntemin pressleme yöntemine göre elektriksel iletkenliğinin daha düşük olmasıdır. Ancak bölge eritme yöntemi ile yüksek iletkenlikli numuneler üretilmesi için çalışmalar yapılması Z parametresinin verimini daha da artıracaktır. Makalede gerçekleştirilen çalışmanın hem teorik hem de deneysel sonuçları katıhâl fiziği ve özellikle

yarıiletkenlerin termoelektrik özelliklerinin araştırılması açısından büyük önem taşımaktadır. Geliştirilen $\alpha - \sigma$ ölçüm sistemi gerekirse her türlü yarıiletkenin hem yüksek hem de düşük sıcaklıklardaki parametrelerinin ölçülmesinde kullanılabileceği görülmüştür. Yarıiletken teknolojisinin Türkiye'deki durumu göz önünde bulundurulduğunda, bu çalışma Türkiye'deki, sadece yarıiletken fiziğine katkıda bulunması bir kenara; bu konuyla ilgili bir dönüm noktası olacağı açıkça görülmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma Gazi Üniversitesi BAP projesi kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: FYL/2022-8239

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The author of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Ayfer AYDOĞAN: Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

She conducted the experiments, analyzed the results and performed the writing process.

Günay ÖMER: Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş, düzenleme ve denetleme yapmıştır.

She conducted experiments, analyzed the results, regulated and supervised

Raşit AHISKA: Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş, düzenleme ve denetleme yapmıştır.

He conducted experiments, analyzed the results, regulated and supervised

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Ahıska R and et. 'Thermoelectric Characterization Of N-Type (Bi₂Te₃)Se₃ Semiconductors In A Temperature Range 11-373 K', G.U. Journal of Science 18(3):481-487 (2005)
- [2] Ahıska R and et.' Synthesis and Analyses of Thermoelectric Lead Telluride' Journal of Materials Science and Engineering B 3 (1) (2013) 32-39
- [3] Ahıska R and et.'Phase Content and Thermoelectric Properties of Optimized Thermoelectric Structures Based on the Ag-Pb-Sb-Te System' Journal Of Electronic Materials, Vol. 45, No. 3, 2016,1576-1586
- [4] Ahıska R and et.' Investigation of the Possibilities for Increasing the Thermoelectric Figure of Merit of Nanostructured Materials Based on Bi₂Te₃-Sb₂Te₃ Solid Solutions' Physics of the Solid State, 2012, Vol. 54, No. 11, pp. 2165–2172
- [5] 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)
- [6] Waclawek W. and Zabkowska M., "Apparatus for the measurement of thermoelectrical properties", Journal of Physics E: Scientific Instruments, 14: 618-620 (1981)
- [7] Buist R. J., "in Handbook of Thermoelectrics CRC", edited by D.M. Rowe, Pres. Inc New York, (2005)
- [8] Lahalle - Gravier C., "Thermoelectric Characterization of Bi₂T₂,55Se_{0,45} Solid Solutions", J. Phys. Chem. Solids, 59(1): 13-20, (1997)
- [9] Lendir B., "Effect of Antimony Content of the Thermoelectric Figure of Merit of Bi_{1-x}Sb_x Alloys", J. Phys. Chem. Solids, 59(1): 129-134 (1997)
- [10] Buist R. J., "in 11th International Conference on Thermoelectric" October 7-8, Arlington TX USA, 57-61 (1992)
- [11] Ahıska R and et. 'Microcontroller-based test system for determining the P-N type and Seebeck coefficient of the thermoelectric semiconductors' Measurement 139 (2019) 361–369
- [12] Min G., Rowe D.M., "in Proc. 5th European Workshop on Thermoelectrics", Pardubice, Czechia, September 20-21,81-87 (1999)
- [13] Toshitaka O., Takenobu K, "in Handbook of Thermoelectrics CRC", edited by D.M. Rowe, Pres. Inc New York,(1995
- [14] 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)
- [15] Harman T. C., "Special Techniques for Measurement of Thermoelectric Properties", J.Appl. Phys.13: 440 (1962)
- [16] Ioffe A.F. "Poluprovodnikovie Termoelementi", edited by P.V.Gultaiev, Pres. Akademia Nauk SSSR , Moscow, (1960)
- [17] Ömer G. "Earth Air Thermoelectric Generators",G.U. Journal of Science Part C: 804-812 (2023)