



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

## TISe ince filminin dalgalı iletkenliği

### *Alternative conductivity of TISe thin film*

Yazar(lar) (Author(s)): Kemal ULUTAS

ORCID: 0000-0003-1073-4908

**Bu makaleye řu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article):** Ulutas K., "TISe İnce Filminin Dalgalı İletkenliği", *Politeknik Dergisi*, 21(3): 753-757, (2018).

**Eriřim linki (To link to this article):** <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.417769

# TlSe İnce Filminin Dalgalı İletkenliği

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Kemal ULUTAS**

<sup>1</sup> Istanbul University, Science Faculty, Physics Department, Vezneciler, Türkiye  
(Geliş/Received : 20.03.2018 ; Kabul/Accepted : 08.04.2018)

## ÖZ

TlSe kristallerinin ısı buharlaştırılması ile 900 Å kalınlığında hazırlanmış TlSe ince filminin kapasitans (C) ve dielektrik kayıp faktörü (tan δ) omik özellik gösteren Al elektrotlar kullanılarak ölçülmüştür. Hazırlanan TlSe ince filmlerin dielektrik sabiti (ε'), dielektrik modülün gerçek (M') ve sanal kısımları (M'') ile dalgalı iletkenliği (σ<sub>ac</sub>), 100 Hz-10<sup>6</sup> Hz frekans ve 213-393 K sıcaklık aralığında hesaplanmıştır. Cole-Cole eşitliği kullanılarak yapıdaki rahatlama zamanları belirlenmiştir. TlSe ince filmlerinin dielektrik parametrelerinin artan frekansla azaldığı ve artan sıcaklıkla arttığı bulunmuştur. Bu davranış yapıda birden fazla kutuplanma mekanizmasının varlığıyla açıklanabilir. AC iletkenliğin, ω<sup>s</sup> ilişkisini (s < 1 olmak üzere) sağladığı belirlendi. Yapıda iki farklı iletkenlik mekanizması belirlenmiştir. Bunlar, düşük frekanslarda küçük polaron tünellemesi ve yüksek frekanslarda klasik hoptama mekanizmalarıdır

**Anahtar Kelimeler:** TlSe, ince film, ac iletkenlik, dielektrik sabiti, dielektrik modül.

## Alternative Conductivity of TlSe Thin Film

### ABSTRACT

Capacitance (C) and dielectric loss factor (tan δ) of TlSe thin film with thickness of 900 Å, measured via thermal evaporation of TlSe crystals, have been measured using ohmic Al electrodes. Dielectric constant (ε'), dielectric loss (ε''), real part and imaginary part of dielectric modulus and ac conductivity of the TlSe thin films have been calculated in the frequency range 100 Hz-10<sup>6</sup> Hz and within the temperature interval 213-393 K. Relaxation times in structure were derived by using Cole-Cole relation. The dielectric parameters of TlSe thin film are found to decrease with increasing frequency and increase with increasing temperature. This behavior can be explained as the multicomponent polarization in the structure. The ac conductivity obeys the ω<sup>s</sup> law with s (<1). Two different conductivity mechanisms were determined in the structure. These are small polaron tunnels of the mechanism at low frequencies and classic hopping mechanism at high frequencies.

**Keywords:** TlSe, thin film, ac conductivity, dielectric constant, dielectric modulus

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Talyum Selenür (Thalium Selenide - TlSe) cisim merkezli tetragonal yapıya ( body centered-tetragonal - bct) sahip III-VI grubu bir bileşik olup, yapısı iyonik-kovalent bağlı atomları içeren zincirlerle tarif edilir [1-3]. TlSe kristalinin yasak band aralığı oda sıcaklığında 0,69-1,10 eV olarak belirlenmiştir[2, 3]. Ayrıca oda sıcaklığında Hall hareketliliği [110] ve [001] yönlerinde  $\mu_x = 42,66 \text{ m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$  ve  $\mu_y = 112,2 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$  dir[4- 6]. İnce film halinde TlSe'nin amorf bir yapıda olduğu belirlenmiştir [4]. TlSe, γ -ışın dedektörleri ve basınca hassas dedektörlerde, yakın ve uzak kızılötesi sensör olarak optoelektronik aletlerde kullanılmaktadır [1- 7].

Literatürde geçmişten günümüze TlSe kristalinin yapısal, elektrik, optik, manyetik, elektrodinamik, yapısal özellikleri araştırılmıştır [8-12]. Ancak, ince film halindeki TlSe'nin özellikleri üzerine çalışmalar nadirdir [4, 13]. Bu çalışmada literatürde bulunmayan ince film halindeki TlSe'nin 100 Hz-10<sup>6</sup> Hz

frekans ve 213-393 K sıcaklık aralığında dielektrik sabiti, dielektrik kaybı, dielektrik modülün gerçek ve sanal kısımları ile dalgalı iletkenliği belirlenmiş olup, yapıdaki mümkün iletkenlik mekanizmaları bulunmuştur.

### 2.DENEYSEL KISIM (EXPERIMENTAL PART)

TlSe örneği, çok yüksek saflıktaki (99,999%) Tl ve Se kullanılarak Stockbarger-Bridgman tekniği ile büyütüldü [14]. Dielektrik özellikleri incelenecek TlSe filmleri kapasitör formunda hazırlandı. Bunun için öncelikle spiral şeklinde pota kullanılarak, termal buharlaştırma tekniği ile 10<sup>-5</sup> Torr'luk bir vakum altında mikroskop camları üzerine alt elektrod olarak Al kaplandı. Daha sonra, TlSe ince filmi molibdenyum pota kullanılarak ısı buharlaştırma tekniği kullanılarak 10<sup>-5</sup> Torr'luk bir vakum altında daha önceden oluşturulan alüminyum(Al) elektrod üzerine buharlaştırıldı. Son olarak örneğin üzerine tekrar aynı şartlarda Al kaplanarak Al/TlSe/Al paralel plakalı kapasitörler elde edildi. Her aşama için gerekli uygun maskeler kullanıldı. Alt ve üst Al elektrodun kalınlığı 2000 Å, TlSe ince filmin kalınlığı

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : hku@istanbul.edu.tr

900 Å'dur. Film kalınlığı geometrik yöntemle belirlenmiştir. Tekrarlanabilir ölçümler için uygun kalınlık belirlenmiştir. Al elektrod üzerine indiyum ile Bakır teller sabitlenerek elektriksel olarak omik kontaklar sağlandı. Kapasitif örneklerin yüzey ölçümleri hareketli yüzey mikroskobu kullanılarak 6mmx 16 mm olarak belirlendi. Alpha-A High Resolution Dielectric, Conductivity and Impedance Analyzer (Novocontrol Technologies) cihazı kullanılarak, hazırlanan TlSe kapasitörlerin kapasite ve kayıp faktörü değerleri 100 Hz-10<sup>6</sup> Hz frekans ve 20 K'lık artışlarla 213-393K sıcaklık aralığında ölçüldü.

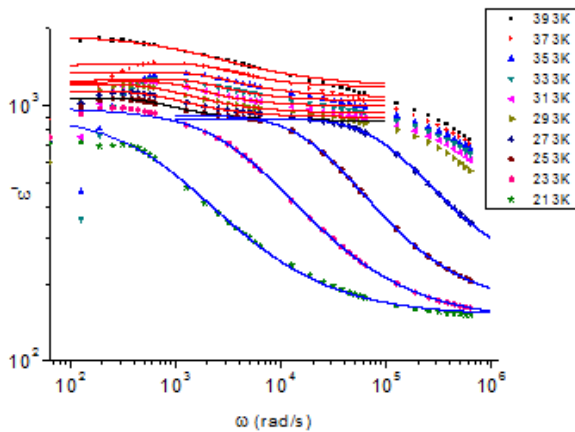
### 3.BULGULAR (RESULTS)

#### 3.1. Dielektrik sabitinin ( $\epsilon'$ ) frekansa ve sıcaklığa bağlılığı (Frequency and temperature dependence of dielectric constant ( $\epsilon'$ ))

Dielektrik spektroskopisi cihazı tarafından yapılan ölçüm sonucunda elde edilen frekansa ve sıcaklığa bağlı kapasite (C) değerlerinden;

$$\epsilon' = \frac{C d}{\epsilon_0 A} \quad (1)$$

eşitliği kullanılarak dielektrik sabit değerleri türetilmiştir. Burada d ince filmin kalınlığı,  $\epsilon_0$  boşluğun permitivitesi ( $8,85 \times 10^{-12}$  F/m), A ince film örneğin yüzey alanını temsil etmektedir [15]. TlSe ince filmlerinin frekansa ve sıcaklığa bağlı dielektrik sabiti incelendiğinde 100 rad/s ile 10<sup>6</sup> rad/s frekans aralığında ve incelenen sıcaklık aralığının tamamında bir polarizasyon mekanizması varlığı Şekil 1 de gözlenmektedir. Bu bölge düşük frekans bölgesi olarak adlandırılabilir (kırmızı eğim çizgileri). Düşük frekans bölgesinin davranışının sıcaklık azaldıkça daha düşük frekanslara doğru kaydığı da gözlenmektedir.



Şekil 1. Logaritmik eksenlerde dielektrik sabitin frekansa ve sıcaklığa bağlılığı

Düşük frekans bölgesinde dielektrik sabiti değerleri 393 – 213 K sıcaklıkları arasında 1200 – 870 arasında değişmektedir. Daha önceki çalışmamızda da belirtildiği üzere TlSe iyonik ve kovalent bağlı atomlardan oluşan bir zincir yapısındadır [13]. Bu özelliğinden

faydalanılarak düşük frekans kutuplanma bölgesi zincir yapının dipolar kutuplanmaya atfedilebilir [13]. İkinci bir kutuplanma mekanizması ise 213 – 273 K sıcaklık aralığında ve 100 Hz - 1 MHz frekans aralığında gözlenmektedir. Bu mekanizma yüksek frekans bölgesi olarak adlandırılabilir (mavi eğim çizgileri). Bu bölgede gözlenen dielektrik sabit değerleri 213 -273 K sıcaklıkları arasında 150 – 200 arasında değişmektedir. Yüksek frekans bölgesinde gözlenen dielektrik sabitleri ile düşük frekans bölgesindeki dielektrik sabitleri arasındaki oran, yüksek frekans bölgesindeki kutuplanmanın zincir yapının yan kollarının kutuplanmalarına bağlı olduğu göz önüne alınabilir [13]. Dielektrik sabitin frekansa bağlı davranışı Cole-Cole eşitliği [15-18] kullanılarak eğimi alındığında;

$$\epsilon^*(\omega) = \epsilon' - i\epsilon'' = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + (i\omega\tau)^{1-\alpha}} \quad (2)$$

Düşük frekans bölgesinde gözlenen rahatlama zamanı 10<sup>-4</sup> s mertebesinde iken yüksek frekans bölgesinde 10<sup>-5</sup> s mertebesinde olduğu görülmüştür. Cole-Cole eşitliğinde  $\epsilon^*$  kompleks dielektrik fonksiyon,  $\epsilon'$  dielektrik fonksiyonun gerçek bileşeni yani dielektrik sabiti,  $\epsilon''$  dielektrik fonksiyonun sanal bileşeni yani dielektrik kayıp,  $\epsilon_\infty$  dielektrik sabitin çok yüksek frekanslardaki değeri,  $\epsilon_s$  dielektrik sabitin çok düşük frekanslardaki değeri,  $\omega$  açısal frekans,  $\tau$  rahatlama zamanı ve  $\alpha$  rahatlama zamanının frekans aralığına dağılımına ait bir katsayıdır ve 0 ile 1 arasında değişmektedir.

#### 3.2. Elektrik modülün ( $M''$ ) frekansa ve sıcaklığa bağlılığı (Frequency and temperature dependence of electric modulus ( $M''$ ))

Dielektrik rahatlamının belirlenmesinde kullanılan parametrelerden biri de elektrik modül (M) dür. Modül yapının ya da yapıyı oluşturan varlıkların uygulanan bir dış etkiye tepkilerinin bir ölçüsüdür. Elektrik modül de yapısal anlamdaki modül kavramlarına benzer bir şekilde elektriksel anlamda yapının tepkisinin bir ölçüdür. Bu tepki rahatlama olarak tanımlanabilir. Elektrik modül;

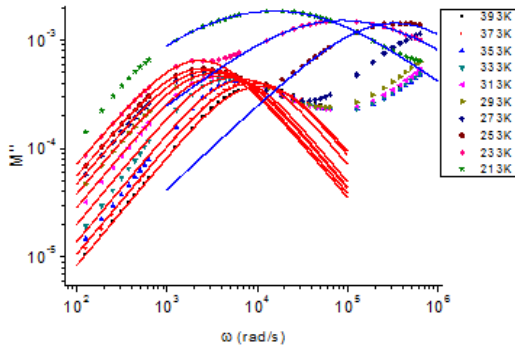
$$M^* = \frac{1}{\epsilon^*} \quad (3)$$

Eşitliğinden yola çıkılarak;

$$M^* = M' + iM'' = \frac{\epsilon'}{(\epsilon'^2 + \epsilon''^2)} + i \frac{\epsilon''}{(\epsilon'^2 + \epsilon''^2)} \quad (4)$$

şeklinde gösterilir [15, 19]. Burada  $M^*$  modül fonksiyonu,  $M'$  elektrik modülün gerçek bileşeni,  $M''$  elektrik modülün sanal bileşenidir. Dielektrik ölçüm sonuçlarında elektrot kutuplanması olarak adlandırılan ve diğer ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimde tespitini zorlaştıran bir kutuplanma mekanizması vardır. Bu mekanizmanın etkilerinin elimine edilebilmesi için elektrik modül sonuçları kullanılır. Dielektriksel kayıpların gözlenebilmesi için elektrik modülün sanal bileşeni  $M''$  nün frekansa ve sıcaklığa bağlı davranışı Şekil 2 de gösterilmiştir. Frekansa ve sıcaklığa bağlı elektrik modül davranışında dielektrik sabitin

davranışında gözlenen iki kutuplanma bölgesi gözlenmektedir.



Şekil 2. Logaritmik eksenlerde elektrik modülünün sanal kısmının ( $M''$ ) frekansa ve sıcaklığa bağlılığı

### 3.3 Dalgali iletkenliğin ( $\sigma_{ac}$ ) frekansa ve sıcaklığa bağlılığı (Frequency and temperature dependence of ac conductivity ( $\sigma_{ac}$ ))

Dielektrik malzeme üzerine bir dış elektrik alan uygulanması yapıya enerji göndermek olarak da tanımlanabilir. Eğer uygulanan elektrik alan değişken ise, uygulanan enerjinin bir kısmı yapıdaki yüklü varlıkların kutuplanmasına, bir kısmı da yüklü varlıklar kutuplanırken uğrayacakları enerji kaybına harcanır. Kaybedilen enerji bir tür elektriksel akım olarak tasvir edilecek olursa bu akıma karşılık iletkenlik göz önüne alınabilir. Yapıda gözlenen enerji kaybını tanımlayan bu iletkenlik ifadesi dalgali iletkenlik ( $\sigma_{ac}$ ) olarak adlandırılır. İletkenlik ifadesine ait davranışı gösteren Şekil 3 te  $\sigma_{dc}$  ifadesi iletkenliğin frekanstan bağımsız davranışı ile  $\sigma_{ac}$  ifadesi frekansa bağlı davranış ile temsil edilmektedir [15, 16, 20-22]. Dalgali iletkenlik;

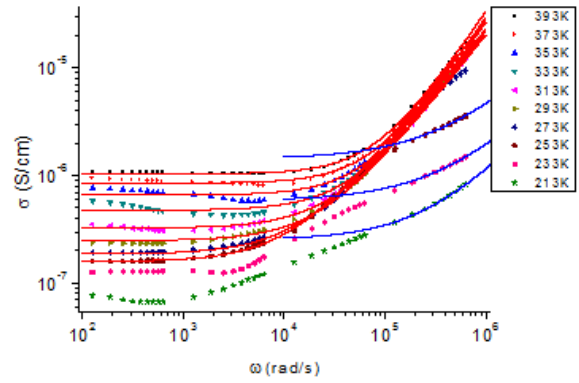
$$\sigma = \sigma_{dc} + \sigma_{ac} \quad (5)$$

ifadesinde olduğu gibi toplam iletkenlik ifadesinin bileşenlerinden biridir. Dalgali iletkenlik ifadesi ise tanımdan da anlaşılacağı üzere dielektrik kayba ait bilgileri içererek;

$$\sigma_{ac} = A\omega^s \quad (6)$$

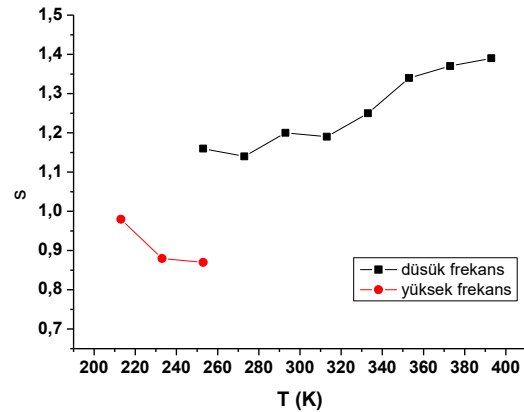
şeklinde gösterilebilir. Burada A bir katsayı ve s iletkenlik mekanizmasının türünü belirlemede kullanılan üstel bir faktördür.

Şekil 3 te de daha önce incelenen dielektrik sabit ve elektrik modül davranışlarında olduğu gibi iki farklı mekanizmanın varlığı gözlenmektedir.



Şekil 3. Logaritmik eksenlerde dalgali iletkenliğin frekansa ve sıcaklığa bağlılığı

Düşük frekans bölgesinde gözlenen iletkenlik davranışı sıcaklığa bağlı olarak  $10^{-6} - 10^{-7}$  S/cm mertebeleri arasında  $\sigma_{dc}$  değerlerine sahiptir. Yüksek frekans bölgesinde gözlenen iletkenlik davranışı da 213 - 253 K arasında  $10^{-7} - 10^{-5}$  S/cm mertebeleri arasında değişen  $\sigma_{dc}$  değerlerine sahiptir.



Şekil 4. Üstel "s" değerlerinin sıcaklığa bağlılığı

$\sigma_{ac}$  iletkenliğinin frekansa bağlı davranışı incelendiğinde, sıfırdan büyük "s" değerlerinin olduğu yani frekansa bağlı davranış gözlenmektedir. "s" değerlerinin sıcaklığa bağlılığı Şekil 4 te görülmektedir. Düşük frekans bölgesinden hesaplanan ve 1,15 - 1,39 arasında sıcaklıkla artan değerlere sahip "s" değerlerinin sıcaklığa bağlılığı bu bölgede küçük polaron tünellemesi şeklinde bir iletkenlik mekanizması olabileceğini gösterirken [23], yüksek frekans bölgesinden hesaplanan ve 0,97 - 0,87 arasında değişen değerlere sahip "s" değerlerinin sıcaklığa bağlılığı yüksek frekans bölgesinde gözlenen iletkenliği yapı içerisinde kusurlar arasında yerel yük taşıyıcıların hoptaması yoluyla sağlandığını işaret etmektedir [19].

#### 4.SONUÇ (CONCLUSION)

900 Å kalınlığında TlSe ince filmleri ısı buharlaştırma yöntemi ile hazırlandı. Filmlerin frekansa ve sıcaklığa bağlılığı incelendiğinde özellikle yüksek sıcaklıklarda gözlenen ve düşük frekanslarda belirgin olan bir düşük frekans bölgesi kutuplanması ve özellikle düşük sıcaklıklarda gözlenen ve yüksek frekanslarda belirgin olan bir yüksek frekans kutuplanması gözlenmiştir. Bu iki kutuplanma mekanizmalarının gözlendikleri frekans bölgeleri ve TlSe'nin zincir tipi yapısı göz önüne alındığında dipolar türde kutuplanma mekanizmaları oldukları, farklı bölgelerde gözlenmelerinin nedeni olarak düşük frekanslarda gözlenen mekanizmanın büyük zincir yapının kutuplanması yüksek frekanslarda gözlenen mekanizmanın ana zincirin yan kolların kutuplanması olduğu düşünülmektedir. İletkenlik davranışının frekansa ve sıcaklığa bağlılığı incelendiğinde yapıdaki gözlenen iki kutuplanma mekanizmasına karşılık gelen iletkenlik mekanizmalarından düşük frekanslarda gözlenen mekanizmanın zincir yapısındaki dielektrik cevaplarında da gözlenen küçük polaron tünellemesi olduğu, yüksek frekanslarda ise klasik hoplama modeline uygun bir davranışın varlığı tespit edilmiştir. TlSe ince filminin dielektrik özelliklerinin yapısal özelliklerine de atıflarda bulunularak incelendiği bu çalışma ile literatüre katkı sağlanmış olacaktır.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

2008-3569 numaralı projeye vermiş oldukları destekten dolayı İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] J.A.Ketelaar, W.H.t'Hart, M.Moerel and D.Polder, "The crystal structure of TlSe thallos and hallosic selenide". *Z.Kristallogr A*, 101: 396-404, (1939).
- [2] G.Orudzhev, V. Jafarova, S. Schorr, K.Mimura, K.Wakita, Y. Shim, F.Hashimzade, "Phonon Spectra of Chain TlSe and TlInSe<sub>2</sub>: Density Functional Theory Based Study". *Japanese Journal of Applied Physics*, 47(10): 8193-8199, (2008).
- [3] N.Mamedov, K.Wakita, G. Orudzhev, Y.Shim, K.Mimura, S.Schorr, N.Yamamoto, "Debye temperatures and Grueneisen parameters of chain TlSe and TlInSe<sub>2</sub>". *In Physica status solidi. C, Conferences and critical reviews*, 6: 997-1000, (2009).
- [4] D.I. Ismailov, E.S.Alekperov, F.I. Aliev, "Preparation of single-crystal TlSe films". *Inorganic materials*, 8(1): 1-2 (2002).
- [5] I.E. Barchij, E.Y.Peresh, N.J. Haborets, V.V.Tzigika "The TlSe-TlBr-TlI quasi-ternary system". *Journal of alloys and compounds*, 358(1): 93-97, (2003).
- [6] F.M. Seyidov, E.M.Kerimova, N.Z. Gasanov "Phase diagram of the TlSe-SmSe system and transport properties of TlSmX<sub>2</sub> (X= S, Se, Te)crystals" *Inorganic Materials*, 46(12): 1299-1303, (2010).
- [7] F.M. Seyidov, E.M.Kerimova, N.Z. Gasanov "Phase diagram of the TlSe-SmSe system and transport properties of TlSmX<sub>2</sub> (X= S, Se, Te) crystals". *Inorganic Materials*, 46(12): 1299-1303, (2010).
- [8] Ş. Ellialtıoğlu, E. Mete, R. Shaltaf, K. Allakhverdiev, F. Gashimzade, M. Nizametdinova and G. Orudzhev, "Electronic structure of the chainlike compound TlSe" *Phys. Rev. B*, 70: 195118-1 – 195118-6, (2004).
- [9] G.D.Guseinov, G.B.Abdullayev, S.M.Bidzinova, F.M.Seidov, M.Z.Ismailov, A.M.Pashayev, "On new analogs of TlSe-type semiconductor compounds" *Phys. Lett. A*, 33: 421-422, (1970).
- [10] M. Isik, N.M. Gasanly, "Dielectric functions and interband critical points of anisotropic chain structured TlSe single crystals". *Journal of Applied Physics*, 112: 083526-1 – 083526-4, (2012).
- [11] M.J. Mangalam, K.N.Rao, N.Ranganajan, M.I.A. Siddiqi and C.V.Suryanarayana, "Studies on thin polycrystalline layers of thallium selenide" *Japanese Journal of Applied Physics*, 8: 1258-1261, (1969)
- [12] R.Sardarly, A.Sardarli, F.Salmaov, N.Aliyeva, S.Gahramanova, M.Yusifov," Phase Transition in TlS,TlSe and TlInS<sub>2</sub> crystals caused by nanoscale Defects". *Proceeding of the International Conference of Theoretical and Applied Nanoscience and Nanotechnology*, Toronto, Canada- Agust 23-25 (2017) Doi:10.11159/tan17.116.
- [13] A.Ozel, D. Deger, S.Celik, S.Yakut, B. Karabak, S Akyüz, K.Ulutas, K, "Dielectric and Raman spectroscopy of TlSe thin films". *Physica B: Condensed Matter*, 527: 72-77 (2017)
- [14] S. Karthik, A. Claude, I. Manimaran and A. oiyamozhi, "Crystal Growth of Napthalene (C<sub>10</sub> H<sub>8</sub>) crystals using bridgeman-stockbarger technique" *Archives of Physics Research*, 3(4): 309-314, (2012).
- [15] B.Bariş, "Ac conductivity and dielectric spectroscopy studies on tin oxide thin films formed by spray deposition technique". *Physica B: Condensed Matter*, 438: 53-59, (2014).
- [16] T. S.Velayutham, B.K.Ng, W.C.Gan, W.A. Majid, R.Hashim, N.I. Zahid, J. Chairapa, J. "Phase sensitive molecular dynamics of self-assembly glycolipid thin films: A dielectric spectroscopy investigation". *The Journal of chemical physics*, 141(8): 613-622, (2014)
- [17] A.Kumar, N.M. Murari, R.S. Katiyar, "Investigation of dielectric and electrical behavior in Pb (Fe<sub>0.66</sub>W<sub>0.33</sub>)<sub>0.50</sub> Ti<sub>0.50</sub>O<sub>3</sub> thin films by impedance spectroscopy". *Journal of Alloys and ompounds*, 469(1-2): 433-440, (2009).
- [18] A.G.Monteduro, Z. Ameer, M. Martino, A.P. Caricato, V.Tasco, I.C. Lekshmi, G. Maruccio, "Dielectric investigation of high-k yttrium copper titanate thin films". *Journal of Materials Chemistry C*, 4(5): 1080 1087, (2016).
- [19] N.Tuğluoğlu, S. Karadeniz, B.Bariş, "Electrical modulus and dielectric spectroscopy behavior of spin coated perylene-monoimide semiconductor films" *Materials Science in Semiconductor Processing*, 27: 891-898 (2014).
- [20] T.Larbi, B. Ouni, A. Boukhachem, K. Boubaker, M. Amlouk, "Investigation of structural, optical, electrical and dielectric properties of catalytic sprayed hausmannite thin film". *Materials Research Bulletin*, 60 457-466, (2014).

- [21] G.Yellaiah, T. Shekharam, K. Hadasa, M. Nagabhushanam, "Low temperature DC conductivity, impedance spectroscopy and dielectric properties of Na doped Cd<sub>0.8</sub>Zn<sub>0.2</sub>S semiconductor compounds". *Journal of Alloys and Compounds*, 609: 192-200, (2014).
- [22] Mokni, A. Kahouli, F. Jomni, J.L. Garden, E. Andre, A. Sylvestre, "Dielectric Investigation of Parylene D Thin Films: Relaxation and Conduction Mechanisms". *The Journal of Physical Chemistry A*, 119(35): 9210-9217, (2015).
- [23] A.Ghosh, "Transport properties of vanadium germanate glassy semiconductors". *Physical Review B*, 42(9): 5665-5676, (1990).