



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TALYUM ANTİMON DİSÜLFİD ( $TlSbS_2$ )  
İNCE FİLMLERİNİN  
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ**

**Murat PARTO**

**Fizik Bölümü Anabilim Dalı**

**Genel Fizik Programı**

**Danışman**

**Doç. Dr. Deniz DEĞER ULUTAŞ**

**Aralık, 2010**

**İSTANBUL**

Bu çalışma 14/01/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından FİZİK Anabilim Dalı Genel Fizik programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Doç. Dr. Deniz DEĞER ULUTAŞ (Tez Danışmanı)

İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi



Prof. Dr. Nurten ÖNCAN

İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi



Doç. Dr. Nevin KALKAN

İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi



Doç. Dr. Hüseyin DELİGÖZ

İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi



Yard. Doç. Dr. Saffettin YILDIRIM

İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 6481 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

## ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, güvenini ve desteğini bana her zaman hissettiren çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Deniz DEĞER ULUTAŞ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim sırasında gösterdikleri her türlü destek ve yardımlarından dolayı çok değerli hocalarım Prof. Dr. Emine RIZAOĞLU, Yard. Doç. Dr. Saffettin YILDIRIM, Yard. Doç. Dr. Kemal ULUTAŞ ve Doç. Dr. Nevin KALKAN'a teşekkür ederim.

Bu çalışmada incelenen  $TlSbS_2$  kristalinin temini konusundaki yardımından dolayı Doç. Dr. Mehmet Özer'e teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca benden yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Araş. Gör. Şahin YAKUT'a teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak, Lisans ve Yüksek Lisans eğitimim boyunca karşılaştığım zorlukları aşmamda maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen eşim Özge BOZKURT PARTO'ya ve değerli aileme teşekkürlerin en büyüğünü sunarım.

**Aralık, 2010**

**Murat PARTO**

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ.....	vii
SEMBOL LİSTESİ.....	viii
ÖZET .....	ix
SUMMARY .....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL KISIMLAR.....	4
2.1. KONDANSATÖRLER .....	4
2.1.1. Sabit Elektrik Alanda Kondansatör .....	4
2.1.2. Dielektrik Maddenin Mikroskopik Boyutta İncelenmesi.....	7
2.1.3. Değişken Elektrik Alanda Kondansatör .....	12
2.2. POLARİZASYON MEKANİZMALARI .....	15
2.2.1. Elektronik Polarizasyon .....	15
2.2.2. İyonik Polarizasyon .....	16
2.2.3. Dipolar Polarizasyon.....	17
2.2.4. Yüzeyler arası Polarizasyon.....	17
2.3. CLAUSIUS - MOSOTTİ DENKLEMİ.....	18
2.4. DIELEKTRİK PERMİTİVİTENİN FREKANS BAĞLILIĞI (DEBYE DENKLEMLERİ).....	20

<b>3. MALZEME VE YÖNTEM .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1. TAŞIYICI SEÇİMİ VE TEMİZLİĞİ .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2. FLAMAN SEÇİMİ VE HAZIRLIĞI .....</b>	<b>22</b>
<b>3.3. ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI .....</b>	<b>23</b>
<b>3.3.1. Alt Elektrodun Hazırlanması .....</b>	<b>24</b>
<b>3.3.2. Malzemenin Hazırlanması .....</b>	<b>24</b>
<b>3.3.3. Üst Elektrodun Hazırlanması .....</b>	<b>24</b>
<b>3.4. HAZIRLANAN ÖRNEKLERİN FİLM KALINLIĞININ BELİRLENMESİ .....</b>	<b>25</b>
<b>3.4.1. İnterferans Yöntemi.....</b>	<b>25</b>
<b>3.5. ÖLÇÜM AŞAMASI.....</b>	<b>27</b>
<b>4. BULGULAR.....</b>	<b>29</b>
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....</b>	<b>50</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>54</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>57</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	: Boşluk kondansatörünün paralel plakaları arasında oluşan elektrik alan çizgileri.....	3
Şekil 2.2	: Boşluk ve dielektrikli kondansatörünün yüklenmesini gösteren devre....	4
Şekil 2.3-a	: Dış elektrik alanın olmadığı durumda dielektrikteki dipollerin rastgele dağılımı.....	7
Şekil 2.3-b.c	: Dış elektrik alan uygulandığında, dielektrik maddenin yapısında rastgele dağılmış bulunan dipollerin uygulanan alan doğrultusunda yönelimi.....	7
Şekil 2.4-a	: Bir dipolün dış elektrik alan etkisinde üzerine etki eden kuvvet çifti.....	7
Şekil 2.4-b	: Elektrik alan içindeki dipole etki eden tork.....	7
Şekil 2.5-a	: Kondansatörün plakaları arasında boşluk varken yüklerin dağılımı.....	9
Şekil 2.5-b	: Kondansatör plakaları arasında dielektrik madde varken yüklerin dağılımı.....	9
Şekil 2.6	: Dielektrikli kondansatörde gözlenen elektrik alanlar (Üç Alan Vektörü).....	10
Şekil 2.7	: Değişken elektrik alan uygulanan kondansatörün plakaları arasındaki dielektrik maddede ortaya çıkan yüklemeye ve kayıp akımlarının fazör diyagramıyla gösterimi.....	11
Şekil 2.8	: Elektronik polarizasyon.....	15
Şekil 2.9	: İyonik polarizasyon.....	15
Şekil 2.10	: Dipolar polarizasyon.....	16
Şekil 2.11	: Yüzeyler arası polarizasyon.....	16
Şekil 2.12	: Dielektrik meydana gelen yerel alan.....	17
Şekil 2.13	: Debye Rölaksasyonu.....	21
Şekil 3.1	: Elektrot kaplamada kullanılan spiral flaman.....	22

<b>Şekil 3.2</b>	: Malzeme kaplamada kullanılan pota.....	22
<b>Şekil 3.3</b>	: Alt elektrot kaplamada kullanılan maske.....	24
<b>Şekil 3.4</b>	: Üst elektrot kaplamada kullanılan maske.....	24
<b>Şekil 3.5</b>	: Spektrometrede görülen eşit mertebe renk saçakları.....	25
<b>Şekil 3.6</b>	: Ölçüm sisteminin blok şeması.....	28
<b>Şekil 4.1</b>	: Kalınlığı $250 \text{ \AA}$ olan örneğin Kapasite-Frekans davranışı.....	29
<b>Şekil 4.2</b>	: Kalınlığı $1600 \text{ \AA}$ olan örneğin Kapasite-Frekans davranışı.....	30
<b>Şekil 4.3</b>	: Kalınlığı $2500 \text{ \AA}$ olan örneğin Kapasite-Frekans davranışı.....	30
<b>Şekil 4.4</b>	: Kalınlığı $3850 \text{ \AA}$ olan örneğin Kapasite-Frekans davranışı.....	31
<b>Şekil 4.5</b>	: Kalınlığı $6000 \text{ \AA}$ olan örneğin Kapasite-Frekans davranışı.....	31
<b>Şekil 4.6</b>	: Kalınlığı $350 \text{ \AA}$ olan örneğin Dielektrik Sabiti-Frekans davranışı.....	32
<b>Şekil 4.7</b>	: Kalınlığı $2100 \text{ \AA}$ olan örneğin Dielektrik Sabiti-Frekans davranışı.....	33
<b>Şekil 4.8</b>	: Kalınlığı $3300 \text{ \AA}$ olan örneğin Dielektrik Sabiti-Frekans davranışı.....	33
<b>Şekil 4.9</b>	: Kalınlığı $4600 \text{ \AA}$ olan örneğin Dielektrik Sabiti-Frekans davranışı.....	34
<b>Şekil 4.10</b>	: Kalınlığı $6000 \text{ \AA}$ olan örneğin Dielektrik Sabiti-Frekans davranışı.....	34
<b>Şekil 4.11</b>	: Kalınlığı $500 \text{ \AA}$ olan örneğin Dielektrik Kayıp-Frekans davranışı.....	35
<b>Şekil 4.12</b>	: Kalınlığı $1000 \text{ \AA}$ olan örneğin Dielektrik Kayıp-Frekans davranışı.....	36
<b>Şekil 4.13</b>	: Kalınlığı $2500 \text{ \AA}$ olan örneğin Dielektrik Kayıp-Frekans davranışı.....	36
<b>Şekil 4.14</b>	: Kalınlığı $3850 \text{ \AA}$ olan örneğin Dielektrik Kayıp-Frekans davranışı.....	37
<b>Şekil 4.15</b>	: Kalınlığı $5700 \text{ \AA}$ olan örneğin Dielektrik Kayıp-Frekans davranışı.....	37



<b>Şekil 4.16</b>	: Kalınlığı $750 \text{ \AA}$ olan örneğin Kapasite-Sıcaklık davranışı.....	38
<b>Şekil 4.17</b>	: Kalınlığı $2200 \text{ \AA}$ olan örneğin Kapasite-Sıcaklık davranışı.....	39
<b>Şekil 4.18</b>	: Kalınlığı $4100 \text{ \AA}$ olan örneğin Kapasite-Sıcaklık davranışı.....	39
<b>Şekil 4.19</b>	: Kalınlığı $750 \text{ \AA}$ olan örneğin Dielektrik Sabiti-Sıcaklık davranışı.....	40
<b>Şekil 4.20</b>	: Kalınlığı $2200 \text{ \AA}$ olan örneğin Dielektrik Sabiti-Sıcaklık davranışı.....	41
<b>Şekil 4.21</b>	: Kalınlığı $4100 \text{ \AA}$ olan örneğin Dielektrik Sabiti-Sıcaklık davranışı.....	41
<b>Şekil 4.22</b>	: Kalınlığı $750 \text{ \AA}$ olan örneğin Dielektrik Kayıp-Sıcaklık davranışı.....	42
<b>Şekil 4.23</b>	: Kalınlığı $2200 \text{ \AA}$ olan örneğin Dielektrik Kayıp-Sıcaklık davranışı.....	43
<b>Şekil 4.24</b>	: Kalınlığı $4100 \text{ \AA}$ olan örneğin Dielektrik Kayıp-Sıcaklık davranışı.....	43
<b>Şekil 4.25</b>	: $f=250 \text{ Hz}$ sabit frekansında örneğin Kapasite-Kalınlık davranışı.....	44
<b>Şekil 4.26</b>	: $f=500 \text{ Hz}$ sabit frekansında örneğin Kapasite-Kalınlık davranışı.....	45
<b>Şekil 4.27</b>	: $f=750 \text{ Hz}$ sabit frekansında örneğin Kapasite-Kalınlık davranışı.....	45
<b>Şekil 4.28</b>	: $T=293 \text{ }^{\circ}\text{K}$ sabit sıcaklığında örneğin Kapasite-Kalınlık davranışı.....	46
<b>Şekil 4.29</b>	: $T=333 \text{ }^{\circ}\text{K}$ sabit sıcaklığında örneğin Kapasite-Kalınlık davranışı.....	47
<b>Şekil 4.30</b>	: $T=353 \text{ }^{\circ}\text{K}$ sabit sıcaklığında örneğin Kapasite-Kalınlık davranışı.....	47
<b>Şekil 4.31</b>	: Kalınlığı $250 \text{ \AA}$ olan örneğin AC İletkenlik-Frekans davranışı.....	48
<b>Şekil 4.32</b>	: Kalınlığı $1800 \text{ \AA}$ olan örneğin AC İletkenlik-Frekans davranışı.....	49

## TABLO LİSTESİ

**Tablo 2.1** : Oda sıcaklığında bazı maddelerin dielektrik sabiti ve dielektrik şiddeti...6

## SEMBOL LİSTESİ

$\epsilon_0$	: Boşluğun elektrik permitivitesi
$\epsilon$	: Dielektrik maddenin elektrik permitivitesi
$\kappa$	: Dielektriğin dielektrik sabiti (rölatif permitivite)
$G$	: Kondüktans
$\tan \delta$	: Dielektriğe ait kayıp faktörü (disipasyon)
$\omega$	: Açısal frekans
$\epsilon^*$	: Kompleks permitivite
$\epsilon'$	: Kompleks permitivitenin gerçek kısmı
$\epsilon''$	: Kompleks permitivitenin sanal kısmı
$\kappa^*$	: Kompleks dielektrik sabiti
$\kappa'$	: Kompleks dielektrik sabitinin gerçek kısmı
$\kappa''$	: Kompleks dielektrik sabitinin sanal kısmı
$j$	: Akım yoğunluğu
$\sigma_{ac}$	: Değişken alan iletkenliği
$p$	: Elektrik dipol momenti
$\vec{P}$	: Polarizasyon vektörü
$\vec{D}$	: Elektrik deplasman vektörü
$\vec{E}$	: Elektrik alan vektörü
$\omega_0$	: Rezonans frekansı
$\alpha$	: Polarizlenebilme katsayısı
$\tau$	: Rölaksasyon zamanı
$E'$	: Yerel elektrik alan
$\lambda$	: Dalga boyu
$I_R$	: Kayıp akımı
$I_C$	: Yükleme akımı
$\kappa_s$	: Düşük frekanslarda permitivite
$\kappa_\infty$	: Yüksek frekanslarda permitivite
$I_0$	: Yükleme akımının maksimum değeri
$C_0$	: Plakalar arasında boşluk bulunan kondansatöre ait kapasite
$V_0$	: Uygulanan potansiyelin maksimum değeri

## ÖZET

### TALYUM ANTİMON DİSÜLFİD (TlSbS<sub>2</sub>) İNCE FİLMLERİNİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ

Teknolojinin hızla geliştiği günümüzde, elektronik sanayinde yarı iletken malzemelerin kullanımını bu alanın gelişmesinde son derece önemli rol oynamıştır. Bu nedenle çalışmamızda TlSbS<sub>2</sub> yarıiletken malzemesinin dielektriksel özellikleri incelendi.

Bu amaca uygun olarak örneklerimiz Al/TlSbS<sub>2</sub>/Al formunda hazırlandı. Hazırlanan örneklerin 25 Hz - 1 kHz frekans, 250 Å - 6000 Å kalınlık ve 293<sup>0</sup>K - 373<sup>0</sup>K sıcaklık aralığı bölgesinde kapasite, kayıp ve değişken alan iletkenliği davranışı belirlendi. Elde edilen sonuçlara göre, alçak frekanslarda yapıda uzun röleksasyon zamanlı bir polarizasyon mekanizmasının hakim olduğu; frekans artışıyla birlikte yapıda farklı polarizasyon mekanizmalarının da etkin olabileceği görüldü.

Dielektrik iletkenliğin davranışının  $\sigma(\omega) = \omega^n$  bağıntısına uyduğu görüldü. “n” katsayısının 0,6 ile 0,8 arasında değer aldığı ve sıcaklığa bağlı olduğu belirlendi. Buna göre yapıdaki polarizasyon mekanizmasının sıcaklığa bağlı olduğu sonucuna varıldı.

## SUMMARY

### ELECTRICAL PROPERTIES OF THALLIUM ANTIMONY DISULFIDE (TlSbS<sub>2</sub>) THIN FILMS

Nowadays when technology improves rapidly, semiconductor materials play important role in electronic industry. Because of the importance of these materials, the dielectrical properties of these materials were investigated.

By the way of this purpose of investigation, we prepared samples as Al/TlSbS<sub>2</sub>/Al form. Prepared samples were investigated within 25 Hz – 1 kHz frequency range, within 250 Å - 6000 Å thickness range and within 293 °K – 373 °K temperature range to determine capacitive behaviour, electric dissipation and alternative field conductivity of these materials. According to obtained results, it is thought within low frequency region a polarization mechanism that occurs in long relaxation time range. As frequency increases, other polarization mechanisms may be effective in structure.

It was observed that the relation between alternative conductivity and applied frequency obeys  $\sigma(\omega) = \omega^n$  equation. It was determined that n coefficient values are between 0,6 - 0,8 and these values are depend on temperature. It was concluded that polarization mechanism in structure depended on temperature.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesine bağlı olarak, neredeyse hergün günlük hayatımızda yaşantımızı kolaylaştıran yeni bir teknolojik ürünle karşılaşmaktayız. Bu teknolojinin hızla geliştiği sektörlerden bir tanesi de termoelektrik cihazların üretildiği sektördür.

İkili ve üçlü bileşiklerin bir çoğu termoelektrik sanayinde termoelektrik soğutma cihazları, termo-çift yapımı gibi işlemlerde sıkça kullanılmaktadırlar. Örneğin ;  $Sb_2Te_3$ ,  $Bi_2Te_3$ ,  $TlSbS_2$ ,  $TlBiS_2$ ,  $TlSbSe_2$  ve  $TlBiSe_2$  gibi ikili veya üçlü bileşikler kızılötesi dedektörlerin soğutulması, mikro-elektronik çiplerin ısınmasının engellenmesi gibi termoelektrik işlemlerde tercih edilmektedir. Bu kullanım alanlarına ek olarak, veri saklama aygıtlarında (RAM) [1-3], optik radyo istasyonları kılavuzunda [4], ince film transistörlerinde, güneş pillerinde yansıtma tabakası olarak kullanmak gibi amaçlar da eklenebilir [5].

Bir dielektrik cisim değişken bir elektrik alanda bulunduğu yük taşıyıcılarının cinsine ve davranışına bağlı olarak çeşitli polarizasyon mekanizmaları meydana gelir [6-7]. Buna göre, değişken elektrik alan iletkenliği çalışmaları taşıyıcı davranışının zamana bağlılığını inceleme imkanı vermektedir [8-11]. Yapısı amorf olan yarıiletkenlerin iletkenlik mekanizmaları hakkında fikir sahibi olmak için en çok kullanılan yöntem değişken alan iletkenliği ölçümleridir. Değişken alan iletkenliğinin, yapıda bulunan enerji tuzakları içerisindeki yerel durumlar tarafından etkilendiği üzerinde durulmaktadır. Bu sebepten dolayı AC iletkenlik ölçümleri yerel durumlar hakkında bilgi sahibi olmak için kullanılan yöntemlerden biridir.

A. M. Farid ve grubu [12]  $Sb_2Te_3$  ince filmlerinin sıcaklığa, frekansa ve film kalınlığına bağlı olarak dielektrik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada ayrıca tavlamanın bu davranışlar üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Dielektrik sabiti ve dielektrik kaybının frekans ve sıcaklığa bağlı, film kalınlığından bağımsız olduğunu bulmuşlar. Tavlamanın dielektrik özellikleri arttırıcı etkisi olmuş ve yapıyı polikristal hale getirmiştir. A. E. Bekheet ve N. A. Hegab [13],  $Ge_{20}Se_{75}In_5$  ince filminin değişken alan iletkenliği ve

dielektrik özellikleri hakkında çalışma yapmıştır. A.M. Farid ve grubu [14]  $Ge_xSb_{40-x}Se_{60}$  amorf ince filmlerin AC iletkenliği ve dielektrik özellikleri hakkında çalışma yapmıştır. Ge katkısının bu davranışlara etkisini incelemek amaçlanmıştır. Ge katkısı arttıkça değişken alan iletkenliği az miktarda azalmıştır. Bunun nedeni olarak Ge katkısının arttırılmasının yapıdaki yerel durumların yoğunluğunu azalttığı sonucuna varmıştır. Yapıdaki iletkenlik mekanizmasının Correlated Barrier Hopping (CBH) modeli olduğu sonucuna ulaşmıştır. R. Sathyamoorthy ve grubu [15] termal buharlaştırma yöntemiyle elde edilmiş p tipi  $(Sb_2Te_3)_{70}(Bi_2Te_3)_{30}$  ince filmlerinin değişken alan iletkenliğini ve dielektrik özelliklerini incelemiştir. Kapasite ve dielektrik sabiti; frekans artarken azalmış, sıcaklık artarken ise artmıştır. Yapıdaki iletkenlik mekanizmasının CBH modeli ile uyumlu olduğunu bulmuştur. H. E. Atyia [16] buharlaştırma sıcaklığının  $InSbSe_3$  ince filmlerinin elektrik ve dielektrik özelliklerine etkisini incelemiştir.  $InSbSe_3$  malzemesiyle bu tez çalışmasında kullandığımız malzeme III-IV-VI grubu elementlerinin birleşmesiyle oluşmuştur. H. E. Atyia'nın çalışmasında buharlaştırma sıcaklığının film yapısına nasıl etki ettiğine bakmıştır. Biriktirme sıcaklığının 473 K'den küçük olduğunda film yapısının amorf, 473 K'den büyük olduğunda ise yapının polikristal olduğu sonucuna varmıştır. D. Değer ve grubu [17] tarafından yapılan çalışmada ise  $TlSbSe_2$  ince filmlerinin frekans ve sıcaklık parametrelerine bağlı olarak kapasitif davranışı açıklanmıştır. Kapasitans; frekans artarken azalmıştır, sıcaklık artarken ise artmıştır.

Farklı kullanım amaçlarına uygun olmasına rağmen, ince film halinde Talyum Antimon Disülfid yarıiletken bileşiğinin değişken elektrik alan altındaki davranışları konusunda literatürde oldukça az veri vardır. Sözkonusu bileşiklerin kristal yapısının rhombohedral olduğu belirlenmiştir ancak  $TlSbS_2$  ise triklinik yapıdadır [18]. Veronica Estrella ve grubu [19] tarafından  $TlSbS_2$  ve  $TlBiS_2$  ince filmlerinin yapısal özellikleri çalışılmış ve optik yasak bant aralıkları talyum disülfid için 1.85 eV, bizmut disülfid için ise 0.15 eV bulunmuştur. Talyum antimon disülfid'in bant yapısının direk, talyum bizmut disülfid'in ise indirek bant yapılı olduğu sonucuna varılmıştır. Başka bir çalışmada [20] ise  $TlSbS_2$  ince filmlerinin optik ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. Bahsi geçen çalışmada yapının direk bant aralıklı ve yasak bant aralığının 1.92 eV olduğu

belirlenmiştir. Sh. M. Ismailov ve grubunun [21] yaptığı çalışmada ise  $TlSbS_2$ ,  $TlSbSe_2$  ve  $TlSbTe_2$ 'nin ısı iletkenliklerine sıcaklık ve basıncın etkisi araştırılmıştır.

İnce filmlerde film kalınlığı filmin özelliklerini etkileyen önemli bir parametredir [22-23]. Bu nedenle ince film çalışmalarında film kalınlığına bağlı inceleme yapmak önemlidir. A. Ashour ve grubu [24] tarafından yapılan  $ZnTe$  ince filmlerinin film kalınlığına bağlı olarak yapısal ve elektriksel özellikleri belirlenmiştir. Film kalınlığı arttıkça elektriksel direncin ve kapasitenin azaldığı sonucuna varmıştır. Alçak gerilim değerlerinde ohmik iletim mekanizmasının olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışmada  $TlSbS_2$  kristalinin termal olarak buharlaştırılmasıyla 250 - 6000 Å kalınlık bölgesinde filmler elde edildi. Örneklerimiz  $Al/TlSbS_2/Al$  formundadır. Elde edilen kapasitif örneklerin 273 - 373 K sıcaklık ve 25 - 1000 Hz frekans bölgesindeki kapasite ve kayıp davranışları belirlendi. Böylece yapıdaki mümkün polarizasyon mekanizmaları ve bu mekanizmaların sıcaklığa ve frekansa bağlı davranışları yorumlandı. Ayrıca, film kalınlığının yapının dielektriksel özellikleri üzerine etkisi incelendi.

Bu çalışmada kullanılan  $TlSbS_2$  kristali Bridgman-Stockbarger [25] yöntemiyle M. Özer tarafından büyütülmüştür.



## 2. GENEL KISIMLAR

### 2.1. KONDANSATÖRLER

#### 2.1.1. Sabit Elektrik Alanda Kondansatör

İki iletken elektrot arasında boşluk veya dielektrik bir madde olması durumunda oluşturulan yapılara kondansatör denir. İletken levhalara  $\Delta V$  potansiyel farkının uygulanmasıyla, iletkenler Q kadar eşit ve zıt miktarlarda yüklenirler. Kondansatörün karakteristiğini veren büyüklük

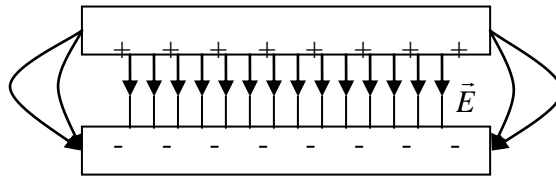
$$C = \frac{Q}{\Delta V} \quad (2.1)$$

olarak tanımlanan kapasitansdır. Sırasıyla Q ve V'nin birimleri Coulomb ve Volt seçilirse sığanın birimi Farad olur.

Kondansatörün geometrisine bağlı olarak farklı şekillerde kapasitans yazılabilir. Elektrotlar A yüzey alanına sahip düzlem plakalar halinde olduğunda ve plakalar arasında d kalınlığında boşluk bulunduğunda, kapasite

$$C_0 = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2.2)$$

değerine sahiptir.  $\epsilon_0$  boşluğun permitivitesi olarak adlandırılır ve değeri  $8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ 'dir.



Şekil 2.1: Boşluk kondansatörünün paralel plakaları arasında oluşan elektrik alan çizgileri

Kondansatör plakalarına potansiyel farkı uygulandığında, plakalar arasındaki elektrik alanın düzgün olarak oluşturulması için plakalar arasındaki  $d$  mesafesi plakaların yüzeyinin büyüklüğüne göre oldukça küçük seçilmelidir.

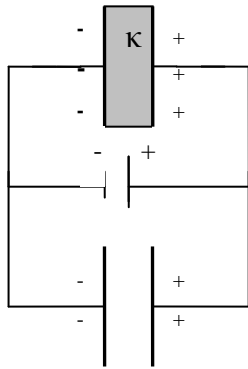
Kondansatörün plakaları arasına bir dielektrik madde yerleştirildiğinde kondansatörün kapasitesi,  $\epsilon$  plakalar arasındaki dielektrik maddenin permittivitesi olmak üzere,

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad (2.3)$$

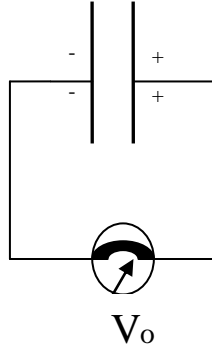
şekindedir. Plakaları arasında boşluk bulunan bir kondansatörün kapasitesi,

$$C_0 = \frac{Q}{\Delta V_0} \quad (2.4)$$

şeklinde gösterilirse, dielektrik maddenin plakalar arasına yerleştirilmesiyle kondansatörün kapasitesinde bir değişim meydana gelecektir.



Şekil 2.2-a



Şekil 2.2-b

Bu değişim

$$\Delta V = \frac{\Delta V_0}{\kappa} \quad (2.5)$$

oranında potansiyel farkında bir azalmadır. Bunun sonucunda kondansatör daha fazla yüklenebilecektir.  $\kappa$  sabiti 1'den büyük bir değer olduğundan,  $\Delta V < \Delta V_0$  olacaktır.

Bundan dolayı kapasite değeri olan  $C_0$

$$C = \kappa \frac{Q}{\Delta V_0} = \kappa C_0 \quad (2.6)$$

şeklinde bir artış gösterir.  $\kappa = \epsilon / \epsilon_0$  olmak üzere  $\kappa$ 'ya dielektrik sabiti veya rölatif permitivite denir. Buna göre dielektrikli kondansatörün kapasitesi,

$$C = \kappa \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad (2.7)$$

şeklinde gösterilebilir.

Kondansatörün daha fazla yüklenebilmesi 2 şekilde gösterilebilir. Bunlardan birincisi plakaları arasında boşluk ve dielektrik malzeme bulunan iki özdeş kondansatör aynı bataryaya bağlanırsa, plakalar arasında dielektrik malzeme bulunan kondansatörün daha fazla yüklendiği görülmesi (Şekil 2.2-a). İkincisi ise, söz konusu iki kondansatör eşit sayıda yükü yüklenebilirse plakalar arasındaki potansiyel farkını bir voltmetre ile ölçtüğümüzde içerisinde dielektrik malzeme bulunan kondansatör daha düşük potansiyel değeri gösterir (Şekil 2.2-b). Bu olayı ilk farkedenden 1837 yılında Michael Faraday'dır. Bu olayların daha detaylı olarak mikroskopik düzeyde açıklanması bir sonraki konu başlığında yapılacaktır.

(2.7) numaralı formül gereğince  $d$  plakalar arasındaki mesafe küçüldükçe kondansatörün sığası çok büyük değerler alabilir. Pratikte  $d$ 'nin alacağı en düşük değer, plakalar arasındaki dielektrik ortama doğru olabilecek elektrik boşalması nedeniyle sınırlıdır. Bir kondansatörde plakalar arasında oluşturulabilecek maksimum elektrik alan şiddeti ya da yük boşalması olmayacak şekilde kondansatöre uygulanacak maksimum potansiyel farkı dielektrik sabiti  $\kappa$ 'ya bağlıdır. Eğer burda maksimum değer aşılsa, dielektrik madde özelliğini kaybederek iletken özellik (Breakdown Effect) göstermeye başlar.

Oda sıcaklığında bazı maddelerin dielektrik sabiti ve dielektrik şiddeti tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1: Oda sıcaklığında bazı maddelerin dielektrik sabiti ve dielektrik şiddeti

Malzeme	Dielektrik Sabiti	Dielektrik Dayanıklılık (kV/mm)
Boşluk	1.00000	$\infty$
Hava	1.00054	0.8
Kağıt	3.5	14
Su	78	---
Porselen	6.5	4
Teflon	2.1	60

### 2.1.2. Dielektrik Maddenin Mikroskopik Boyutta İncelenmesi

Aralarında  $d$  mesafesi bulunan eşit ve zıt büyüklükteki  $(+q)$  ve  $(-q)$  yüklerinin meydana getirdiği yapı elektrik dipol olarak adlandırılır. Elektrik dipoller, elektrik dipol momentleriyle temsil edilirler.  $q$  yüküne sahip yüklerden meydana gelen bir elektrik dipolün dipol momentinin büyüklüğü,  $d$  yükler arasındaki mesafe olmak üzere,

$$p = qd \quad (2.8)$$

şeklinde gösterilir.

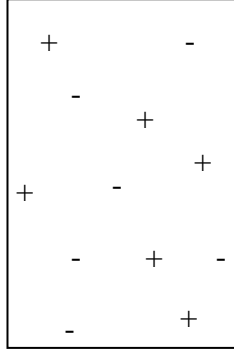
Kondansatör plakaları arasında dielektrik madde olduğunda, plakalar arasındaki potansiyel farkının (2.5) ilişkisi ile verilen azalmasına bağlı olarak  $\bar{E}$  elektrik alanının da,

$$\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\kappa} \quad (2.9)$$

oranında azalması beklenir.

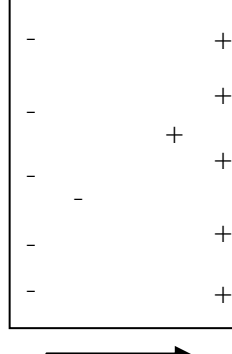
Bu durumu sürekli dipol momentlerine sahip bir dielektrik maddeyi göz önüne alarak açıklayalım. Plakalar arasında elektrik alan yokken dipoller, şekil 2.3-a'da gösterildiği gibi, rastgele dağılmıştır.

Kondansatörün plakalarına bir  $V_0$  potansiyel farkı uygulandığında, plakalar arasındaki dielektrikteki dipollerin üzerine bir tork etkir. Bu tork, dipolleri uygulanan elektrik alan doğrultusunda şekil 2.3-b'deki gibi yönelmeye zorlar.



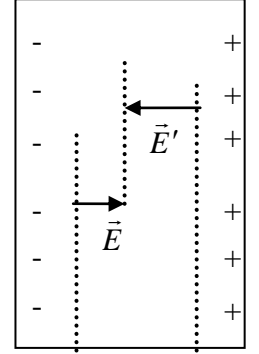
$$\vec{E}_0 = 0$$

Şekil 2.3-a



$$\vec{E}_0 \neq 0$$

Şekil 2.3-b



$$\vec{E}_0$$

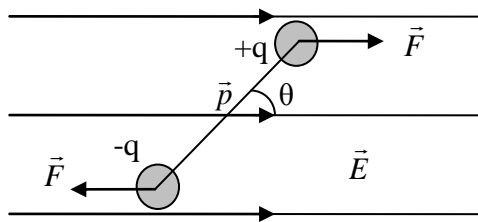
Şekil 2.3-c

Şekil 2.3-a: Dış elektrik alanın olmadığı durumda dielektrikteki dipollerin rastgele dağılımı

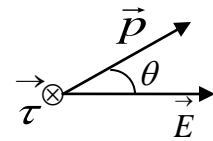
Şekil 2.3-b.c: Dış elektrik alan uygulandığında, dielektrik maddenin yapısında rastgele dağılmış bulunan dipollerin uygulanan alan doğrultusunda yönelimi

Dipollerin yönelme miktarı, elektrik alanın büyüklüğüne ve sıcaklık parametrelerine bağlıdır.

Eğer plakalar arasındaki dielektrik madde sürekli dipol momentlerine sahip değilse, uygulanan dış elektrik alan ile dielektrikte bir indüklenme meydana gelir. Bu indüklenme dielektrik maddeyi oluşturan polar olmayan moleküllerin çakışık durumda bulunan (+) ve (-) yük merkezlerinin birbirlerinden küçük bir mesafe kadar ayrılmalarına sebep olur. Benzer şekilde indüklenme ile oluşan dipoller, uygulanan dış elektrik alandan kaynaklanan torkun etkisinde şekil 2.4-a'da gösterildiği gibi, bir dönme hareketi gerçekleştirirler. Yük çifti üzerine etki eden net kuvvet sıfır olmasına rağmen, kuvvet çifti, sistemi dönme hareketine zorlar. Bunun sebebi sistem üzerine şekil 2.4-b'de görüldüğü gibi bir tork'un etki etmesidir.



Şekil 2.4-a



Şekil 2.4-b

Şekil 2.4-a'daki gösterilen +q ve -q yüklerinin birbiriyle rigid bir yapı oluşturacak şekilde aralarında d mesafesi olduğunu varsayarak düzgün bir elektrik alan içine yerleştirirsek sisteme bir tork etki edeceğini söylemiştik. Bu ilişkiyi matematiksel olarak gösterelim;

$p$  : Dipol moment,  $\vec{E}$  : Uygulanan elektrik alan,

$d$  : +q ve -q yük merkezleri arasındaki mesafe olmak üzere;

$p = qd$  ,  $\vec{F} = q\vec{E}$  bağıntıları yardımıyla,

$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$  bağıntısı kullanılarak sistem üzerindeki torku hesaplarız.

$$|\vec{\tau}| = \tau = |\vec{r}| |\vec{F}| \sin \theta$$

$$\tau = Fx \sin \theta + F(d - x) \sin \theta$$

$$\tau = Fd \sin \theta \quad (2.10)$$

(2.10) bağıntısında  $d=p/q$  ,  $F=qE$  eşitlikleri yazılırsa

$$\tau = pE \sin \theta$$

$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E} \quad (2.11)$$

Sisteme etki eden torkun yönü şekil 2.4-b'de gösterildiği üzere sayfa düzleminde içeri doğrudur.

Plakalar arasında dielektrik madde konulduğunda elektrik alanında meydana gelen azalma Gauss Yasası yardımıyla açıklanabilir.

**Plakalar arasında boşluk varken** : Paralel plakalı bir kondansatörün plakaları arasında şekil 2.5-a'daki gibi bir Gauss yüzeyi seçilirse elektrik alan

$$\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \epsilon_0 E_0 A = Q$$

$$E_0 = \frac{Q}{\epsilon_0 A} \quad (2.12)$$

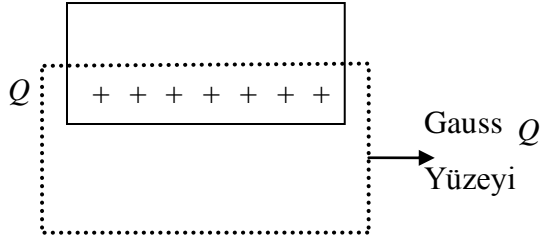
şeklindedir.

**Kondansatör plakaları arasında dielektrik madde varken** : Paralel plakalı bir kondansatörün plakaları arasında şekil 2.5-b'deki gibi bir Gauss yüzeyi seçilirse elektrik alan

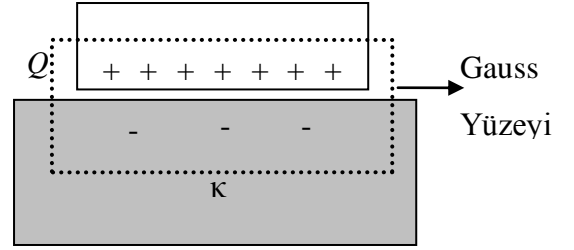
$$\varepsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \varepsilon_0 EA = Q - Q'$$

$$E = \frac{Q}{\varepsilon_0 A} - \frac{Q'}{\varepsilon_0 A} \quad (2.13)$$

şeklindedir. Buradaki  $Q'$ , plakalar arasındaki dielektrik maddenin yüzeylerinde indüklenme ile oluşan yükleri temsil eder. Belirlenen Gauss yüzeyi üzerindeki net yük  $Q - Q'$  şeklinde gösterilir.



Şekil 2.5-a



Şekil 2.5-b

(2.9) bağıntısıyla verilen elektrik alanın büyüklüğünü yük cinsinden yazarsak,

$$E = \frac{Q}{\kappa \varepsilon_0 A} \quad (2.14)$$

buluruz. Plakalar arasında dielektrik maddenin olması durumunda toplam elektrik alan azalır. Azalmanın nedeni indüklenme sonucu dielektrik maddenin yüzeyinde biriken yüklerin ters yönde oluşturduğu elektrik alanıdır. Bu elektrik alanı  $\vec{E}'$  ile gösterirsek, büyüklüğü;

$$E' = \frac{Q'}{\varepsilon_0 A} \quad (2.15)$$

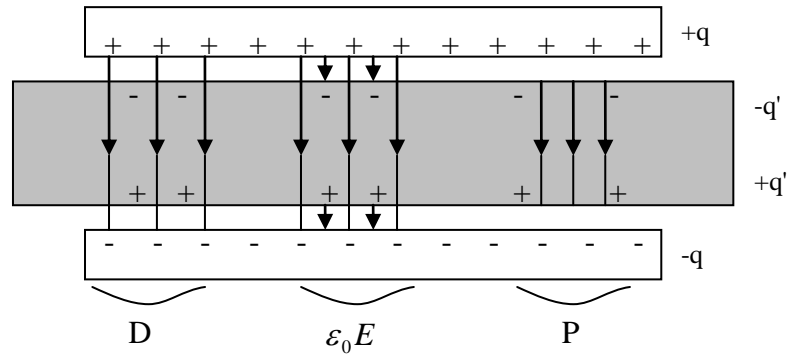
şeklindedir.

(2.13) bağıntısı kullanılarak;

$$\frac{Q}{\kappa \varepsilon_0 A} = \frac{Q}{\varepsilon_0 A} - \frac{Q'}{\varepsilon_0 A}$$

$$Q' = Q \left( 1 - \frac{1}{\kappa} \right) \quad (2.16)$$

olarak elde edilir. Dielektriğin yüzeyindeki indüklenmiş yük miktarı plaka yüzeyindeki yük miktarından her zaman küçüktür. ( $Q' < Q$ )



Şekil 2.6: Dielektrikli kondansatörde gözlenen elektrik alanlar (Üç Alan Vektörü)

Dielektrikte oluşan elektrik alan ve elektrik polarizasyon vektörünün birer vektör olmalarından dolayı elektrik deplasman da bir vektördür. Buna göre bu üç vektörün aralarında,  $\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$  ilişkisi vardır.

Bir dış elektrik alan içinde yer alan dielektrik maddenin polarize olacağını biliyoruz. Birim hacimdeki toplam dipol momentini maddenin polarizasyon vektörü olarak tanımlanır. Plakalar arasındaki toplam elektrik alan

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad (2.17)$$

şeklinde tanımlanan  $\vec{D}$  elektrik deplasman vektörü ile gösterilir. (2.16) formülündeki ilk terim deplasman alanına, ikinci terim plakalar arasına uygulanan alana ve son terim de polarizasyon nedeniyle oluşan alana karşılık gelir [30].

$\vec{D}$  yalnızca serbest yüklerle bağlantılı,

$\vec{P}$  yalnızca polarlanmış yüklerle bağlantılı,

$\vec{E}$  ise serbest ve polarlanmış tüm yüklerle bağlantılıdır.



### 2.1.3. Değişken Elektrik Alanda Kondansatör

Plakaları arasında boşluk bulunan kondansatörün plakaları arasına  $\omega$  açısal frekanslı bir potansiyel farkı uygulanırsa,

$$V = V_0 e^{i\omega t} \quad (2.18)$$

kondansatör,

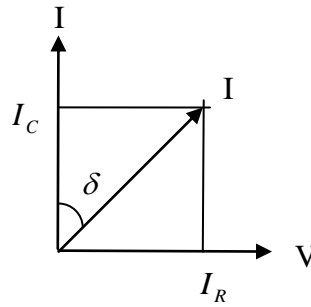
$$Q = C_0 V = C_0 V_0 e^{i\omega t} \quad (2.19)$$

yükü ile yüklenir. Bu yüklenmeye neden olan yükleme akımı;

$$I_c = \frac{dQ}{dt} = i\omega C_0 V = I_0 e^{i\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)} \quad (2.20)$$

şeklindedir. Yükleme akımı ile uygulanan voltaj arasında  $90^\circ$  faz farkı vardır. Yani akım uygulanan voltajdan  $90^\circ$  ileridedir.

Eğer plakalar arasında bir dielektrik madde varsa, akım ile uygulanan voltaj arasındaki faz farkı  $90^\circ$ 'den farklı olacaktır. Yani faz farkı  $90$  değil  $90-\delta$  kadar olur. Bu durum şekildeki fazör diyagramıyla gösterilir.



Şekil 2.7: Değişken elektrik alan uygulanan kondansatörün plakaları arasındaki dielektrik maddede ortaya çıkan yükleme ve kayıp akımlarının fazör diyagramıyla gösterimi

Buna göre akımın uygulanan potansiyel farkıyla aynı fazda olan bir bileşeni olmalıdır. Bu bileşene kayıp akımı denir ve  $I_R$  ile gösterilir. Kondüktans  $G = 1/R$  olmak üzere,

$$I_R = GV \quad (2.21)$$

ile gösterilir.

Kondansatördeki toplam akım,

$$I = I_c + I_R = (i\omega C + G)V \quad (2.22)$$

şeklindedir.

Dielektrikteki enerji kaybından dolayı, yükleme akımı ile toplam akım arasında faz farkı meydana gelir. Kayıp faktörü yükleme akımı ile toplam akım arasındaki faz açısının tanjantı alınarak hesaplanır:

$$\tan \delta = \frac{I_R}{|I_c|} = \frac{1}{\omega RC} \quad (2.23)$$

Toplam akım bu ifadeden faydalanılarak,

$$I = (i\omega\varepsilon' + \omega\varepsilon'') \frac{C_0}{\varepsilon_0} V = i\omega C_0 \frac{\varepsilon' - i\varepsilon''}{\varepsilon_0} V \quad (2.24)$$

şeklinde ifade edilebilir.

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - i\varepsilon'' \quad (2.25)$$

kısaltması kullanılır. Bu durumda  $\kappa^*$

$$\kappa^* \equiv \frac{\varepsilon^*}{\varepsilon_0} \quad (2.26)$$

şeklinde tanımlanır ve  $\kappa^* = \kappa' - i\kappa''$  şeklinde yazılır. Öte yandan (2.23) ve fazör diyagramı dikkate alınarak,

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} = \frac{\kappa''}{\kappa'} \quad (2.27)$$

bulunur. Buradan, kayıp faktörünün dielektrik sabitinin gerçek ve sanal kısımlarının oranı olduğu görülür.

(2.24) ifadesini akım yoğunluğu olarak düzenlenirse dielektrikte gözlenen akımlar, akım yoğunluğu ile ifade edilebilir. Değişken alan etkisi altında dielektrikte gözlenen kompleks akım yoğunluğu;

$$\vec{J} = (i\omega\varepsilon' + \omega\varepsilon'')\vec{E} = \varepsilon^* \frac{d\vec{E}}{dt} \quad (2.28)$$

elde edilir.

(2.28) numaralı akım yoğunluğu denkleminin ilk terimi ( $i\omega\varepsilon'\vec{E}$ ), akımın uygulanan voltajla zıt fazda olan bileşenidir ve bu değer kondansatörün yükleme akımına ait iletkenliktir. İkinci terim ( $\omega\varepsilon''\vec{E}$ ) dielektrikte meydana gelen enerji kaybıyla ilişkilidir.

$$\left|\vec{E}\right| = V/d \quad , \quad \text{Re}(J) = I/A \quad \text{ve} \quad |\vec{j}| = \sigma|\vec{E}| \quad (2.29)$$

olmak üzere, bu iletkenliğe ait akım yoğunluğu;

$$\frac{I}{A} = \omega\varepsilon'' \frac{V}{d} \quad (2.30)$$

şeklinde gösterilebilir. Öte yandan  $I = GV$  olması nedeniyle

$$G = \omega\varepsilon'' \frac{A}{d} \quad (2.31)$$

elde edilir.

$G = \sigma \frac{A}{d}$  eşitliği gereğince de

$$\sigma_{AC} = \omega\varepsilon'' \quad (2.32)$$

elde edilir. Buna dielektrik ortamın değişken alan iletkenliği denir [7].

## 2.2. POLARİZASYON MEKANİZMALARI

Dielektrik malzemeler, elektrik alanla polarize olarak etkileşir. Polarizasyon vektörü kondansatörün plakalarının yüzeylerindeki nütürleşmiş yüklerle ilgilidir [7]. Elemanter partikülün ortalama dipol momentini

$$\vec{p} = \alpha \vec{E}' \quad (2.33)$$

şeklinde ilişkilendirilebilir. Burada  $\alpha$  polarizlenebilme katsayısı ve  $\vec{E}'$  yerel elektrik alanıdır. Polarizasyonun uygulanan elektrik alan ve dielektrik sabiti ile ilgisi

$$\begin{aligned} \vec{P} &= (\kappa - 1) \epsilon_0 \vec{E} \\ &= N \alpha \vec{E}' \end{aligned} \quad (2.34)$$

eşitliği ile gösterilir.

Bu denklemden makroskopik boyuttaki parametre olan dielektrik sabiti ( $\kappa$ ) ile mikroskopik boyuttaki parametreler ( $N, \alpha, \vec{E}'$ ) arasında ilişkilendirilmiştir.

### 2.2.1. Elektronik Polarizasyon

Pozitif yüklü çekirdeğin etrafında bulunan negatif yüklü elektron bulutunun elektrik alan etkisi ile yer değiştirmesi sonucunda oluşur. Bir dış elektrik alan dielektriğe etkilediğinde elektron bulutunun kütle merkezi çekirdeğe oranla az miktarda yer değiştirmeye uğrar. Böylece dipol momentleri meydana gelmiş olur. Bu durum maddenin elektronik polarizasyonu olarak adlandırılır.

Elektrik alan uygulandığında meydana gelen dipol momentini  $\vec{p}_i$ 'nin molekül üzerine yerel olarak etki eden  $\vec{E}'$  alanıyla oluşacağından, meydana gelen polarizasyon,

$$\vec{p}_i = \alpha_m \vec{E}' \quad (2.35)$$

ifadesi ile gösterilebilir.

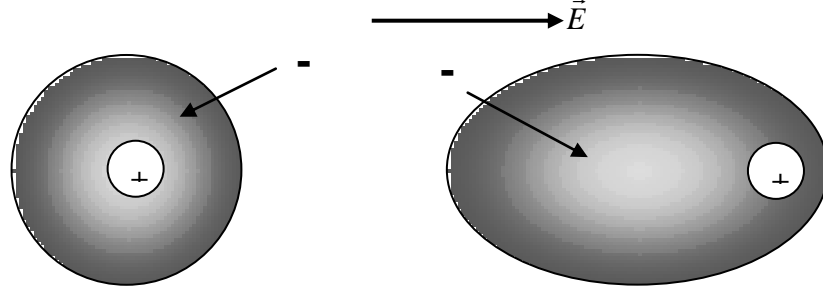
Burada  $\alpha_m$  molekülün polarizlenebilirlik katsayısıdır. İki ara terimin birleşiminden meydana gelir:

$$\alpha_m = \alpha_e + \alpha_a \quad (2.36)$$

$\alpha_e$  elektron bulutunun elektrik alan etkisi altında bozulma, yer değiştirme kabiliyetini; diğer bir deyişle polarizlenebilirliğini temsil eder.  $\alpha_a$  çekirdeğin polarizlenebilirliğidir. Atomik polarizlenebilme katsayısı olarak belirtilebilir. Elektrik alanın etkisi altında çekirdeğin hareket etme kabiliyetini temsil eder.

Bu polarizasyon türü, atomun elektronik yapısı sıcaklıktan etkilenmediğinden sıcaklığa bağlı değildir. Yani  $\alpha_m$  polarizlenebilirlik katsayısı sıcaklığa bağlı değildir.

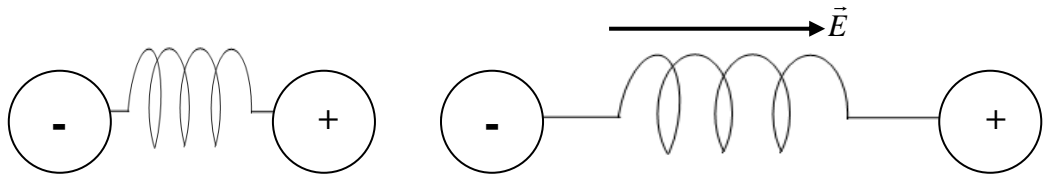
Bütün atomlar bu tip polarizasyona kısa zaman aralıklarında uğrarlar. Rölaksasyon zamanı yapının uygulanan elektrik alandaki değişimlere cevap verebilme süresidir. Kısa rölaksasyon zamanları yüksek frekanslarda gözlenen bir olaydır.



Şekil 2.8: Elektronik polarizasyon

### 2.2.2 İyonik Polarizasyon

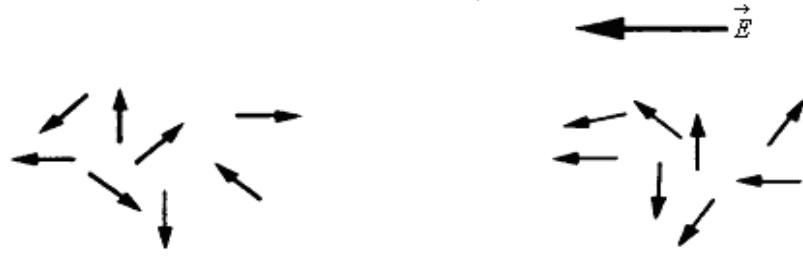
Elektronik polarizasyonun bir benzeri olarak iyonların elektrik alanın gerektirdiği şekilde hareket etmeleri sonucunda dipollerin oluşması da iyonik polarizasyon olarak adlandırılır. İyonik polarizasyon katsayısı  $\alpha_i$  ile temsil edilir. Elektronik polarizasyon mekanizmasına oranla daha uzun rölaksasyon zamanı gerekir. Dolayısıyla daha düşük frekanslarda gözlenir.



Şekil 2.9: İyonik polarizasyon

### 2.2.3. Dipolar Polarizasyon

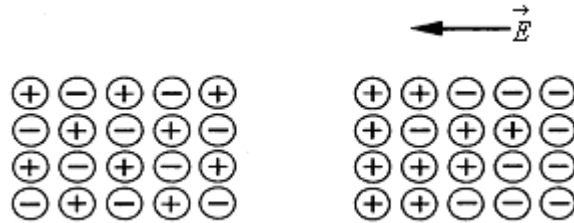
Bazı moleküller (örneğin Su) asimetrik yapısı gereğince kendiliğinden dipol momentine sahiptir. Bu tür moleküllere bir dış elektrik alan uygulandığında yapıda bulunan dipol momentlerinin üzerine tork uygulanır ve bunun sonucunda moleküllerin uygulanan elektrik alanın gerektirdiği yönde yönelmeleri gerçekleşir. Bu şekilde meydana gelen polarizasyon dipolar polarizasyon olarak adlandırılır ve  $\alpha_d$  ile temsil edilir.



Şekil 2.10: Dipolar polarizasyon

### 2.2.4. Yüzeyler arası Polarizasyon

Elektronik, iyonik ve dipolar polarizasyon mekanizmaları bağlı yük taşıyıcılarının yer değiştirmesi ya da dönmesinden kaynaklanırken, yüzeyler arası polarizasyon hareket edebilen yük taşıyıcılardan kaynaklanır. Yüzeyler arası polarizasyon, dielektrik maddeyi oluşturan örgü ve tabaka yüzeyleri arasındaki kırık veya çatlaklara yüzey yüklerinin birikmesi sonucunda meydana gelir. Yüzeyler arası polarizasyon  $\alpha_s$  polarizlenebilme katsayısı ile temsil edilir. Dielektrikler iyi iletkenler olmadıklarından yük taşıyıcıları yavaş hareket ederler. Dolayısıyla polarizasyonun meydana gelmesi de yavaş bir süreçtir.



Şekil 2.11: Yüzeyler arası polarizasyon

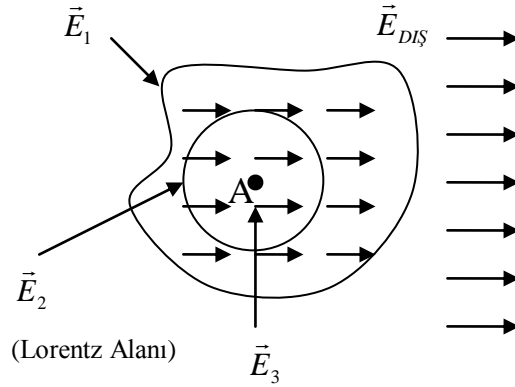
Bir dielektrik maddede, bu 4 farklı polarizasyon mekanizması çeşitlerinin de görünmesi mümkündür. Bu durumda dielektriğe ait toplam polarizlenebilme katsayısı

$$\alpha = \alpha_e + \alpha_i + \alpha_d + \alpha_s \quad (2.37)$$

### 2.3. CLAUSIUS - MOSOTTİ DENKLEMİ

Polarizasyonun değeri, üzerine etki eden yerel alanın büyüklüğüne bağlıdır. Yerel alan, molekül üzerine etki eden elektrik alan büyüklüğüdür. Polar olmayan moleküllerden oluşan bir dielektrik maddede dış elektrik alanın etkisinde dipollerin oluşumunun bir modelini inceleyelim [7].

Yoğun fazdaki katılarda ve sıvılarda, bir A referans molekülüne etkileyen dış elektrik alan, çevrede bulunan diğer moleküllerin polarizasyona uğraması dolayısıyla bozulur. Bu etkiyi hesaba katmak için şekil 2.12'deki model göz önüne alınabilir.



Şekil 2.12: Dielektrikte meydana gelen yerel alan

Madde içinde göz önüne alınan A referans molekülünün etrafının sanal bir küreyle çevrelendiğini varsayalım. Kürenin yarıçapı referans molekülünün küre dışında kalan molekülleri teker teker algılayamayacağı şekilde olsun. Küre içindeki moleküller küre dışındaki polarizasyonun değişmediği kabul edilerek bir an için yok varsayılırsa, A molekülü üzerine etkileyen elektrik alanı iki alandan kaynaklanır:

$\vec{E}_1$ : Elektrot plakalarının yüzeyindeki serbest yüklerden kaynaklanan elektrik alan,

$\vec{E}_2$ : Sanal kürenin sınırlarını belirleyen, dipol zincirlerinin serbest uçlarından kaynaklanan elektrik alan (Lorentz Yerel Alanı)

Aslında sanal küre içerisinde A molekülü civarında başka moleküller de vardır. Bu moleküller A molekülüne oldukça yakın konumda bulunurlar ve bundan dolayı her birinin konumları ve şekilleri de göz önüne alınmalıdır. Bu moleküllerin oluşturduğu bir  $\vec{E}_3$  alanı vardır. Bu alan da hesaba katıldığında

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 \quad (2.38)$$

olur.

Serbest yüklerden kaynaklanan elektrik alan katkısı uygulanan elektrik alana eşit kabul edildiğinden,  $\vec{E}_1 = \vec{E}$  dir.  $\vec{E}_2$  yi hesaplamak için sanal kürenin yüzeyindeki yük yoğunluğunun polarizasyon vektörü cinsinden

$$\vec{P} \cdot d\vec{A} \quad (2.39)$$

olarak verildiğini biliyoruz.

Buna göre

$$d\vec{E}_2 = \frac{P \cos \theta}{\epsilon_0 4\pi r^2} d\vec{A} \quad (2.40)$$

olur.

İntegre edildiğinde, simetriden dolayı yatay bileşenler birbirlerini yok ederler ve geriye yalnızca düşey bileşenler kalır. Bu bileşenin kolayca hesaplanan değeri

$$\vec{E}_2 = \frac{1}{3} \frac{\vec{P}}{\epsilon_0} = \frac{\vec{E}}{3} (\kappa - 1) \quad (2.41)$$

olur.

Sanal küre içerisindeki moleküllerin her birinin hareketlerinden kaynaklanan alanı bilmek için moleküllerin geometrik dağılımı ve polarizlenebilirlikleri hakkında bilgi sahibi olunması gerekir. Bu bilgiler elde edilebilir olsa da, matematiksel bir yaklaşımla moleküllerin katkısını belirlemek zordur. 1850'de Mosotti  $\vec{E}_3 = 0$  kabulünü (simetriklik) yaptı. Bu kabul neticesinde  $\vec{E}'$  alanı,



$$\vec{E}' = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = \vec{E} + \frac{\vec{P}}{3\epsilon_0} = \frac{\vec{E}}{3}(\kappa + 2) \quad (2.42)$$

şeklinde makroskopik parametreler cinsinden ifade edilmiş olur.

Dielektrik polarizasyona ait mikroskopik büyüklerle makroskopik büyüklükler arasında ilişki kuran Mosotti ifadesi,

$$\frac{N\alpha_i}{3\epsilon_0} = \frac{\kappa - 1}{\kappa + 2} \quad (2.43)$$

elde edilir.

Böylece polarizasyonun temelini oluşturan dipole ait polarizlenme katsayısı  $\alpha_i$  ile dielektrik sabiti  $\kappa$  arasındaki ilişki kurulmuş olur.

#### 2.4. DIELEKTRİK SABİTİNİN FREKANS BAĞLILIĞI (DEBYE DENKLEMLERİ)

Polarizasyonun frekansa bağıllığı, elektrik alanın zamanla şiddetini değiştirmesi olarak tanımlanabilir. Dielektrikler frekans değişimine, yine frekans değişimine bağlı bir dielektrik fonksiyonu ile cevap verirler ve dolayısıyla polarizasyon da bu fonksiyona bağlı olarak değişir [7].

Değişken elektrik alana maruz kalan dipolün hareket denklemi;

$$m_0 \frac{d^2 \bar{x}}{dt^2} + m_0 \gamma \frac{d\bar{x}}{dt} + m_0 \omega_0^2 \bar{x} = q_e \bar{E} \quad (2.44)$$

şeklinde tanımlanabilir.

Uygulanan değişken elektrik alanın fonksiyonu

$$\vec{E}(t) = \vec{E}_0 e^{-i\omega t} \quad (2.45)$$

şeklinde olduğu zaman (2.44) denkleminin çözümü;

$$\bar{x}(t) = \frac{q_e \bar{E}_0 e^{-i\omega t}}{m_0 (\omega_0^2 - \omega^2 - i\gamma\omega)} \quad (2.46)$$

Polarizasyon  $\bar{P} = Nq_e \bar{x}(t)$  olarak alınırsa;

$$\bar{P} = \frac{Nq_e^2}{m_0} \frac{1}{(\omega_0^2 - \omega^2 - i\gamma\omega)} \bar{E} \quad (2.47)$$

(2.17) denkleminde polarizasyon terimi yerine yerleştirilirse;

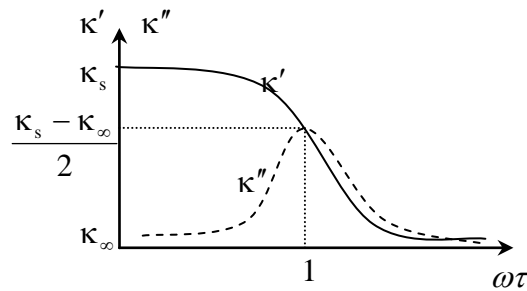
$$\kappa(\omega) = 1 + \chi + \frac{Nq_e^2}{\epsilon_0 m_0} \frac{1}{(\omega_0^2 - \omega^2 - i\gamma\omega)} \quad (2.48)$$

Dielektrik sabitinin gerçek ve sanal kısımları birbirinden ayrıldığında Debye denklemleri olarak bilinen;

$$\kappa' = 1 + \chi + \frac{Nq_e^2}{\epsilon_0 m_0} \frac{\omega_0^2 - \omega^2}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\gamma\omega)^2} \quad (2.49)$$

$$\kappa'' = \frac{Nq_e^2}{\epsilon_0 m_0} \frac{\gamma\omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\gamma\omega)^2} \quad (2.50)$$

(2.49) ve (2.50) denklemleri dielektriğin yapısında bulunan dipollerin uygulanan değişken elektrik alana verecekleri cevapların frekansa bağlılığını inceler. Değişken elektrik alanın uygulanması söz konusu olduğunda yapıda bir kayıp mekanizmasının da olacağı konusunda bilgi verir. Bu kayıp mekanizmasına bağlı olarak dielektrik iletkenlik ya da alternatif iletkenlik olarak adlandırılan iletkenlik mekanizmasında kullanışlı olan dielektriğin sanal kısmı ele alınmış olur [32].



Şekil 2.13: Debye Rölaksasyonu

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

#### 3.1. TAŞIYICI SEÇİMİ VE TEMİZLİĞİ

Taşıyıcı olarak 76 x 26 x 1 (uzunluk x genişlik x kalınlık) mm'lik ölçülere sahip cam taşıyıcılar (mikroskop lamaları) kullanıldı. İnce film örneklerin hazırlanması sırasında kullanılan taşıyıcıların yüzey temizliği deneysel olan çalışmanın önemli bir aşamasıdır. Filmin yüzeye iyi tutunabilmesini ve sıcaklığa karşı dayanıklılığını filmin yüzey temizliği önemli oranda etkiler. İyi bir filmin kaplanabilmesi için taşıyıcı yüzeyinin toz ve yağ gibi kirliliklerden iyi bir şekilde arındırılması gerekir.

Cam taşıyıcıları temizlemeyi 2 aşamada açıklayabiliriz. Bu aşamalardan ilki mekanik temizlik aşaması yani taşıyıcı olarak kullanılacak camların deterjan ve pamuk yardımıyla elle temasta bulunmadan yüzeylerinin ovalama şeklinde temizlenmesidir. Ovalama işleminden sonra cam taşıyıcı deterjandan arınana kadar bol su ve saf su ile durulandı. Bu aşamadan sonra ikinci aşama olan kimyasal temizlik aşamasına geçildi. İkinci aşamada organik çözücü olarak bilinen kimyasallar kullanıldı. Bunlar içinde özellikle yüksek saflıkta (%99) olan Aseton ( $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ ) ve Metil alkol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) tercih edildi. Deterjandan arınan taşıyıcılar sırasıyla aseton, saf su, metil alkol ile dolu beherler içerisinde her biri 10 dakika ultrasonik temizleyicide temizleme işlemine maruz bırakıldı. Ultrasonik temizleyicideki temizlik işlemi sonrasında camlar  $100^\circ\text{C}$ 'deki etüvde kurutularak kaplama için hazır hale getirildi ve desikatörde muhafaza edildi.

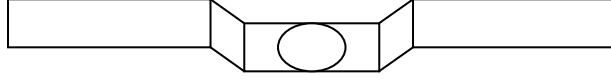
#### 3.2. FLAMAN SEÇİMİ VE HAZIRLIĞI

Flaman seçiminde dikkat edilecek birkaç tane husus vardır. Bunlardan ilki flaman olarak kullanacağımız metalin erime sıcaklığının, buharlaştıracağımız malzemenin erime sıcaklığından daha yüksek olması gerekliliğidir. İkincisi ise buharlaştıracağımız malzemeye göre flamanın tipine karar vermektir. Buna göre alt ve üst elektrot olarak belirlediğimiz alüminyum için spiral tarzda şekil 3.1'deki gibi bir flaman kullanılmıştır. Karakteristiklerini incelediğimiz malzememize ( $\text{TlSbS}_2$ ) en uygun flaman tipi şekil

3.2'deki gibi pota tipi bir flamandır. Alüminyum elektrotları kaplamak için spiral şeklindeki flaman 0,75 mm kalınlıklı %99 saflıkta tungsten (Wolfram-W) kullanılmıştır. Malzemeyi kaplamada kullandığımız flaman ise 0,1 mm kalınlıklı molibden (Mo) potadır.



Şekil 3.1: Elektrot kaplamada kullanılan spiral flaman



Şekil 3.2: Malzeme kaplamada kullanılan pota

### 3.3. ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI

Bu çalışmada Stockbarger-Bridgman metodu ile elde edilmiş olan  $TlSbS_2$  kristalleri kullanıldı [25]. Yöntemde büyütülmek istenen kristalin oranlarına uygun olarak hazırlanan karışım kuvars tüplere konarak vakum altında kapatılır. Hazırlanan bu kuvars tüpler, sıcaklık gradyentine sahip etüv içinde bekletilir. Etüvün sıcaklığı saatte bir derece azaltılır. Böylece elde edilen tabakalı kristaller, tabakalarına dikkat edilerek uygun şekilde ayrıldı. Böylece bulk halinde elde edilen  $TlSbS_2$  malzemesi aseton banyosu yaptırılarak buharlaştırmaya hazır hale getirildi.

Film kaplama işlemleri Edwards Model 6E vakum sistemi içerisinde termal buharlaştırma yöntemi kullanılarak yapıldı. Örneğimiz Alüminyum - Talyum Antimon Disülfid - Alüminyum (metal-izolatör-metal) formasyonunda elde edildi.

### 3.3.1. Alt Elektrodun Hazırlanması

Önce buharlaştırmada kullanacağımız %99,9 saflıktaki alüminyum tel birer santimetrelik parçalar halinde kesildi ve aseton banyosu yaptırıldı. Elde edilen Al parçalar 'V' şekline getirilerek 6 tanesi tungsten flamanın sarmallarına asılarak buharlaştırılmaya hazır hale getirildi.

Alüminyum alt elektrot kaplamak için cam taşıyıcılar üzerine boyutları şekil 3.3'deki gibi olan bir maske kullanıldı.  $10^{-5}$  Torr vakum altında termal buharlaştırma ile kaplanan alüminyum elektrotun kalınlığı  $3000 \text{ \AA}$  mertebelerindedir. Kaplama işlemi sırasında flamandan geçen akım değeri yaklaşık 12A'dır.

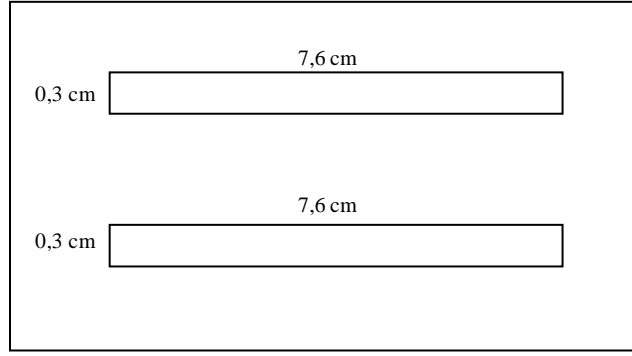
### 3.3.2. Malzemenin Hazırlanması

İncelemek istediğimiz malzeme olan Talyum Antimon Disülfid ( $\text{TlSbS}_2$ ) pota tipi flaman kullanılarak  $10^{-5}$  Torr vakumda uygun şekilde önceden kaplanan alt elektrodun üstüne kaplandı. Kaplama işlemi sırasında flamandan geçen akım değeri yaklaşık 18A'dır.

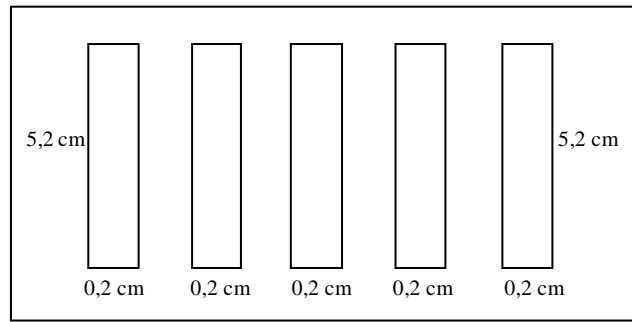
### 3.3.3. Üst Elektrodun Hazırlanması

Örnek hazırlama işleminin son aşaması olarak alt elektrot üstüne kaplanmış olan malzemenin üstüne Al elektrotlar kaplanarak,  $\text{Al/TlSbS}_2/\text{Al}$  halinde kapasitif örnekler elde edildi. Böylece şekil 3.4'de kullandığımız maske nedeniyle aynı şartlarda hazırlanmış 5 tane kondansatör elde edildi. Üst elektrodun kaplanması alt elektrotla aynı şartlarda yapıldı ve flamandan geçen akım değeri yaklaşık 12 A'dır.

Örneklerimizin yüzey ölçüleri hareketli mikroskop kullanılarak alındı ve ortalama  $2,1 \times 2,9$  mm boyutlarında olduğu bulundu.



Şekil 3.3: Alt elektrot kaplamada kullanılan maske



Şekil 3.4: Üst elektrot kaplamada kullanılan maske

### 3.4. HAZIRLANAN ÖRNEKLERİN FİLM KALINLIĞININ BELİRLENMESİ

#### 3.4.1. İnterferans Yöntemi

Bu yöntem Alüminyum kaplanmış iki yüzeyin arasında kalan ortamda meydana gelen girişim franjlarına dayanır. Girişim franjları kullanılan ışığa göre başlıca iki sınıfa ayrılabilir:

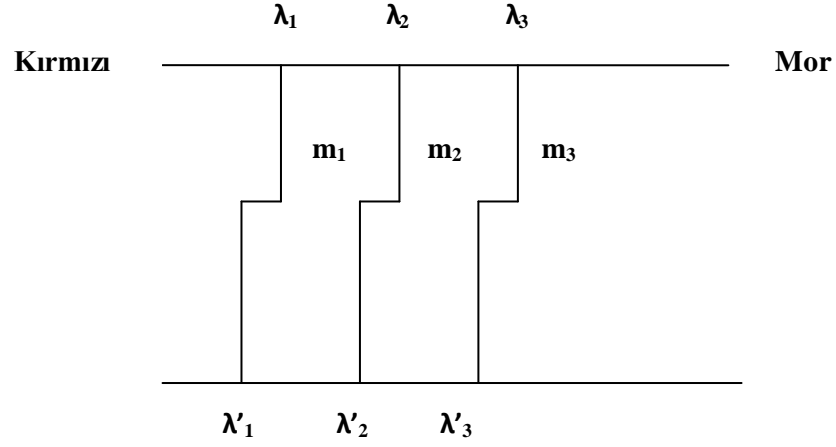
- Eşit Kromatik Mertebe Franjları
- Eşit Kalınlık Franjları

Çalışmamızda kullanılan ışık beyaz ışık kaynağı olduğu için eşit kromatik mertebe franjları kullanıldı.

*Eşit Kromatik Mertebe franjları kullanılarak kalınlık hesabı;*

Böyle bir sistem beyaz bir ışıkla aydınlatılırsa ve bir spektrometre kullanılarak gözlem yapılırsa spektrumun görünür bölgesi içinde kırmızıdan mora doğru aydınlık zemin üzerinde siyah franjlar aşağıdaki şekil 3.5’de görüldüğü gibi oluşur. Filmin  $d$  kalınlığının meydana getirdiği setten dolayı  $m_1$  mertebesindeki  $\lambda_1$  dalga boyunda yer

alan franj  $\Delta\lambda_1$  kadar kayar ve şekildeki gibi basamak şeklinde bir spektrum oluşturur.  $m_1$  mertebesi için hava kamasının optik yolu (hava için  $n = 1$  alınarak);



Şekil 3.5: Spektrometrede görülen eşit mertebe renk saçakları

$$2d_2 = m_1 \lambda'_1 \Rightarrow d_2 = \frac{m_1 \lambda'_1}{2}$$

$d$  kalınlığındaki filmten dolayı aynı mertebedeki ikinci hava kamasına ait optik yol;

$$2d_1 = m_1 \lambda_1 \Rightarrow d_1 = \frac{m_1 \lambda_1}{2}$$

olur. Film kalınlığı  $d_f$

$$d_f = d_2 - d_1 = \frac{m_1(\lambda'_1 - \lambda_1)}{2} = \frac{m_1}{2} \Delta\lambda_1 \quad (3.1)$$

olur. Bu bağıttan  $d$  kalınlığını bulabilmek için kalınlığın ölçüldüğü mertebeyi ölçülebilecek büyüklükler cinsinden yazmak gerekir. Buna göre, mertebesi  $m_1 + 1$  olan optik yol;

$$2d_1 = (m_1 + 1)\lambda_2$$

yazılabilir ve

$$2d_1 = (m_1 + 1)\lambda_2 = m_1 \lambda_1$$

olur. Buradan,

$$m_1 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2}$$

bulunur. Bu değer (3.1) eşitliğinde yerine yazılırsa, film kalınlığı

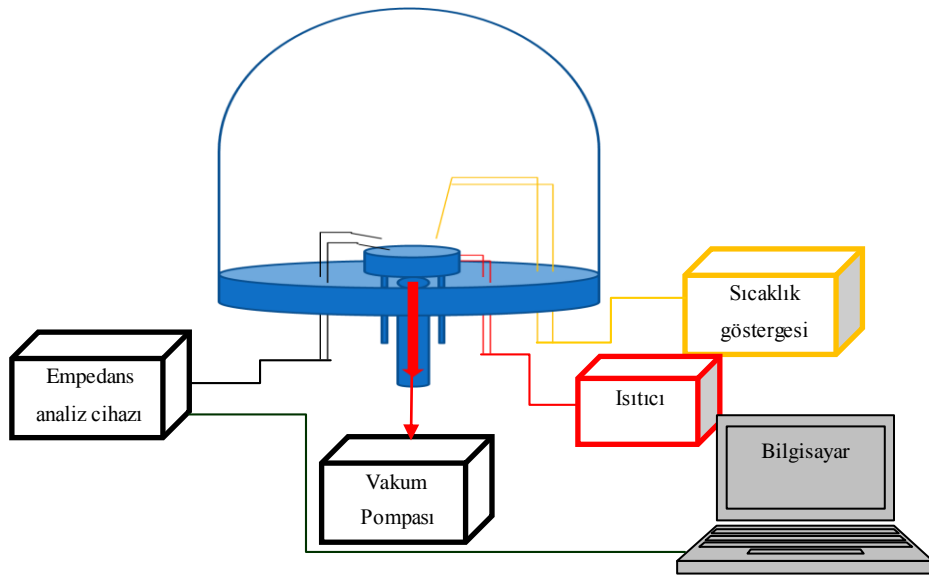
$$d_f = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \frac{\Delta\lambda_1}{2}$$

olarak elde edilir [31].

### 3.5. ÖLÇÜM AŞAMASI

Hazırlanan örnekler 100 °C’de yaklaşık bir saat tutularak tavlandı. Tavlanan örnekler daha sonra oda sıcaklığına soğutuldu. Bu işlemi takiben iletkenlik ölçüm işlemleri oda sıcaklığından itibaren 20 °C’lik artışlarla 100 °C’ye kadar ısıtılan Alüminyum-Talyum Antimon Disülfid-Alüminyum şeklindeki ince film örnekleri üzerinde vakum ortamında yapıldı. Sıcaklık değerleri Pt100 sıcaklık ölçüm cihazı ile belirlendi.

Hazırlanan örnekler şekil 3.6’da blok şeması verilen düzeneğe yerleştirildi ve BNC kablolar yardımıyla ölçüm işlemi yapıldı. Ölçüm 10<sup>-2</sup> Torr vakum altında gerçekteştirildi.



şekil 3.6: Ölçüm sisteminin blok şeması



Ölüm işlemleri için bilgisayar destekli empedans analiz cihazı kullanıldı. Hewlett Packard-4192A LF empedans analiz cihazı ile 5 Hz - 1 KHz frekans aralığında belirlenen sıcaklık değerlerinde örneğin kapasite ve kayıp değerleri ölçüldü. Frekansa bağlı kapasite, kayıp değerleri ve bu değerler kullanılarak hesaplanan dielektrik sabitleri ve alternatif iletkenliğe ait grafikler Origin Lab grafik programı kullanılarak çizildi.

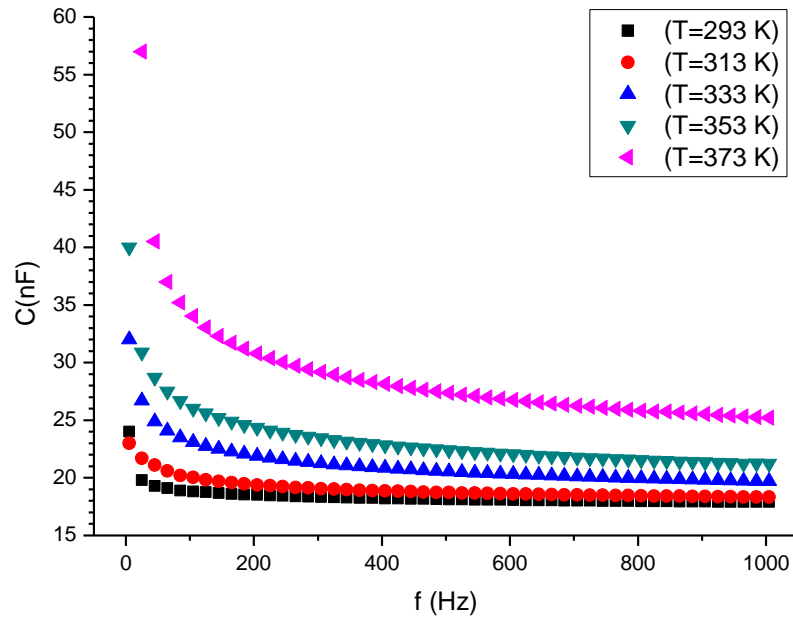
## 4. BULGULAR

250 - 6000 Å<sup>0</sup> kalınlık, 293 - 373 K sıcaklık ve 5Hz - 1KHz frekans bölgesinde  $Al/TlSbS_2/Al$  formasyonunda hazırlanmış kapasitif örneklerin dielektrik özellikleri ve değişken alan iletkenliği davranışları belirlenmiştir.

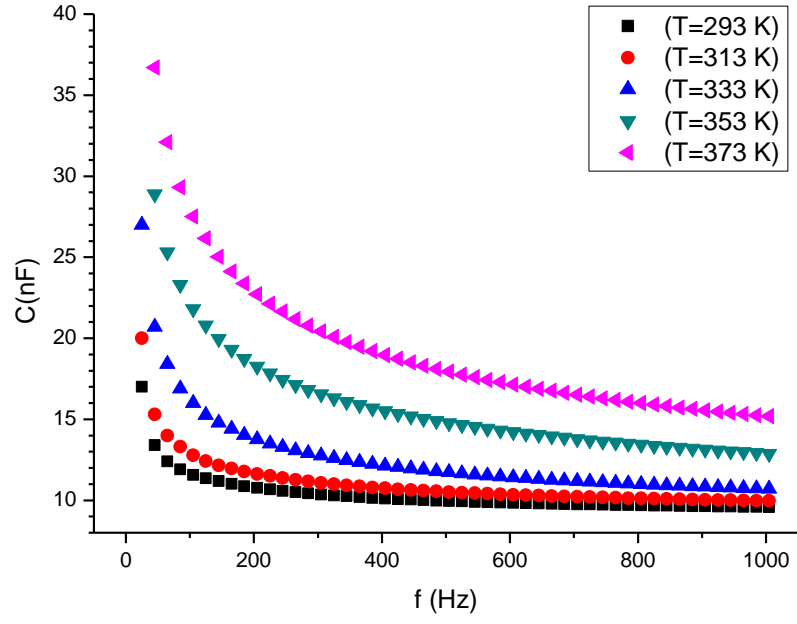
### 4.1. KAPASİTENİN FREKANS BAĞLI DAVRANIŞI

- İncelenen 5 farklı sıcaklık değerleri için alçak frekanslara gidildikçe kapasitenin arttığı, yüksek frekanslara gidildikçe ise eksponansiyel olarak azaldığı gözlenmiştir. (Şekil 4.1 – 4.5)

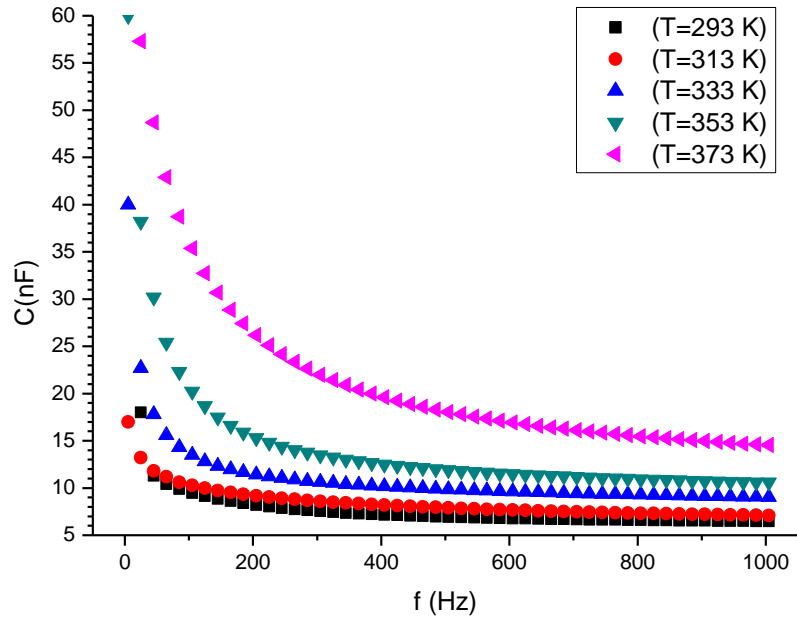
Benzer davranış 250 - 6000 Å<sup>0</sup> kalınlık aralığında farklı kalınlık değerlerinde de görülmüştür. Bu nedenden dolayı, sadece 5 farklı kalınlık değerindeki kapasitif davranış grafikleri verilmiştir.



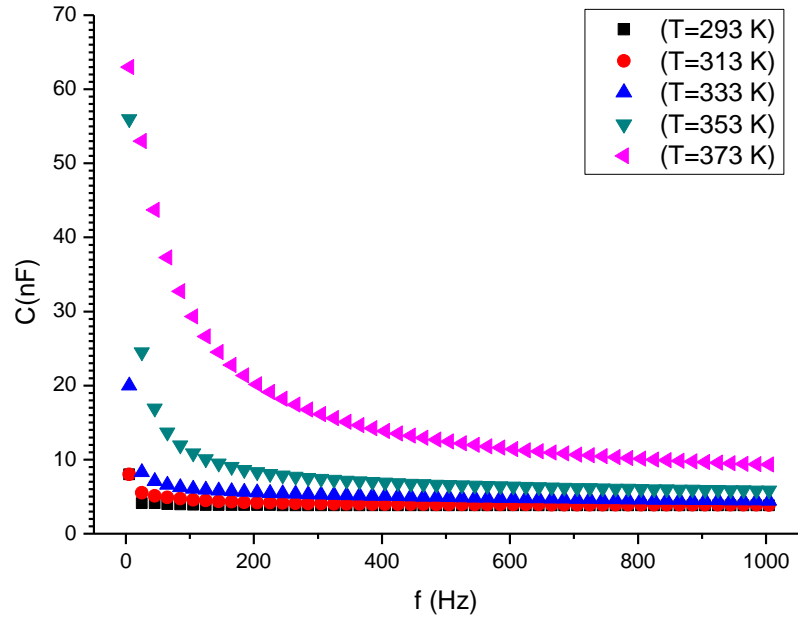
Şekil 4.1: Kalınlığı 250 Å<sup>0</sup> olan örneğin Kapasite-Frekans davranışı



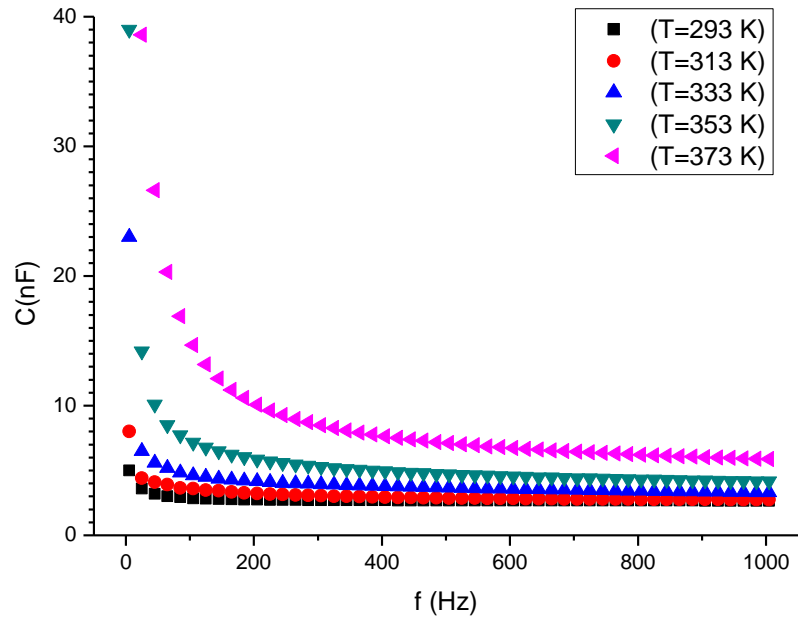
Şekil 4.2: Kalınlığı 1600 Å olan örneğin Kapasite-Frekans davranışı



Şekil 4.3: Kalınlığı 2500 Å olan örneğin Kapasite-Frekans davranışı



Şekil 4.4: Kalınlığı 3850 Å olan örneğin Kapasite-Frekans davranışı



Şekil 4.5: Kalınlığı 6000 Å olan örneğin Kapasite-Frekans davranışı

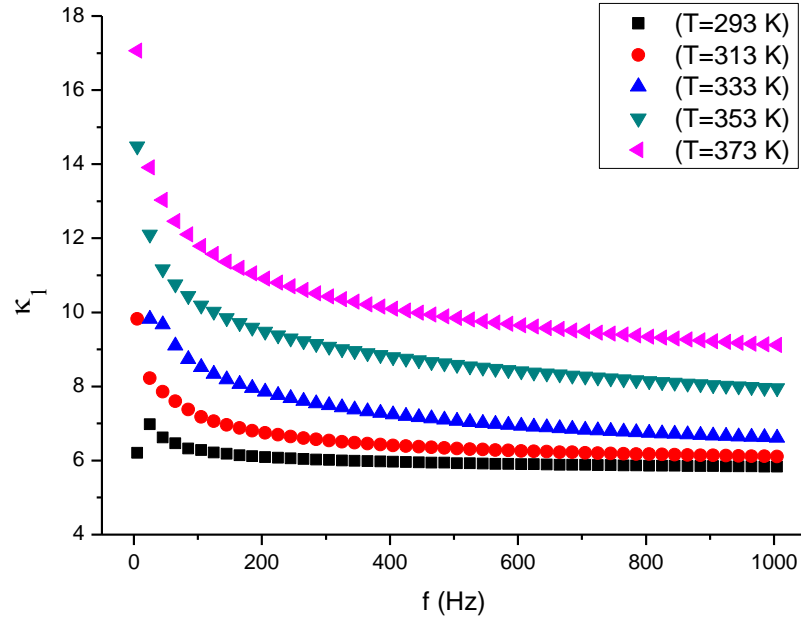
## 4.2. DİELEKTRİK SABİTİNİN FREKANS BAĞLI DAVRANIŞI

- Alçak frekanslardan yüksek frekanslara gidildikçe incelenen sıcaklık değerleri için dielektrik sabitinin eksponansiyel olarak azaldığı görülmüştür. (Şekil 4.6 – 4.10)

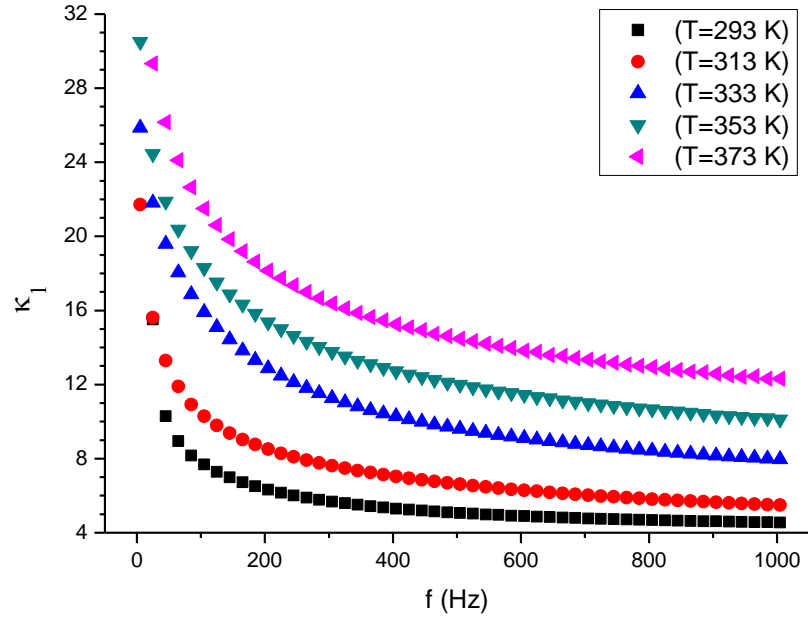
Kapasite-Frekans grafiklerinden yararlanarak ve daha önce de (2.3)'de belirttiğimiz denklem yardımıyla her bir örnek için dielektrik sabiti değerleri bulunmuştur. Burada A kapasitörün yüzey alanı, d ise film kalınlığı parametreleridir.

$$C = \kappa \frac{\epsilon_0 A}{d} \Rightarrow \kappa = \frac{Cd}{\epsilon_0 A}$$

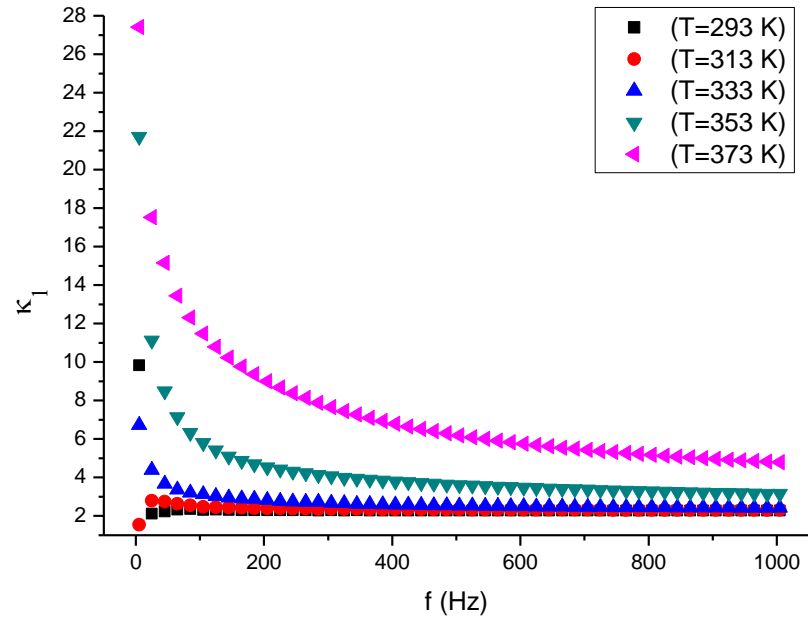
Dielektrik sabitinde gözlenen bu davranış incelenen tüm kalınlık değerlerinde gözlenmiştir.



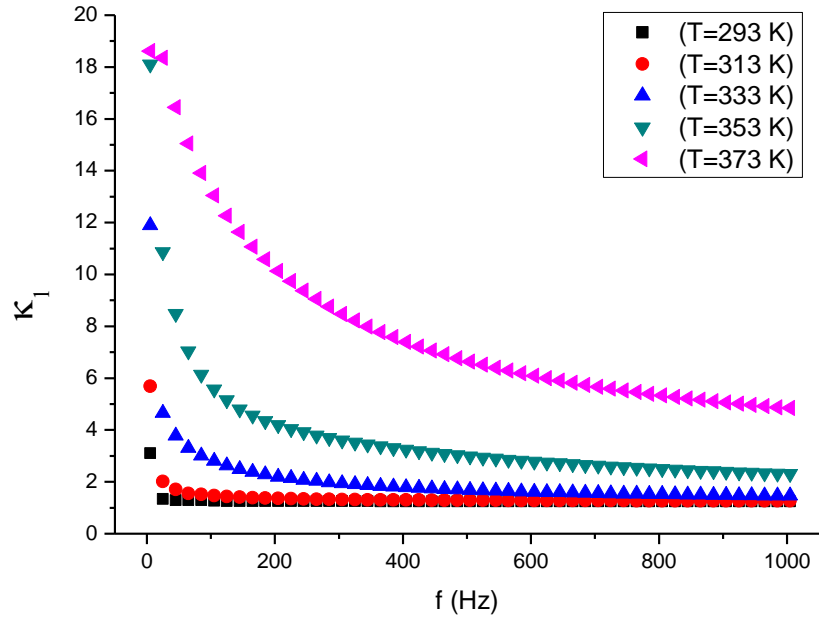
Şekil 4.6: Kalınlığı 350 Å olan örneğin Dielektrik Sabiti-Frekans davranışı



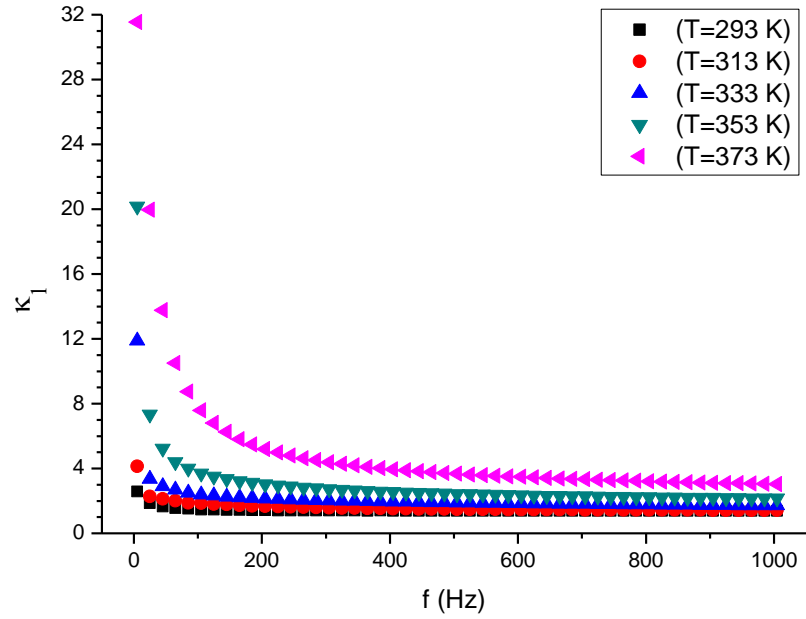
Şekil 4.7: Kalınlığı 2100 Å olan örneğin Dielektrik Sabiti-Frekans davranışı



Şekil 4.8: Kalınlığı 3300 Å olan örneğin Dielektrik Sabiti-Frekans davranışı



Şekil 4.9: Kalınlığı 4600 Å olan örneğin Dielektrik Sabiti-Frekans davranışı

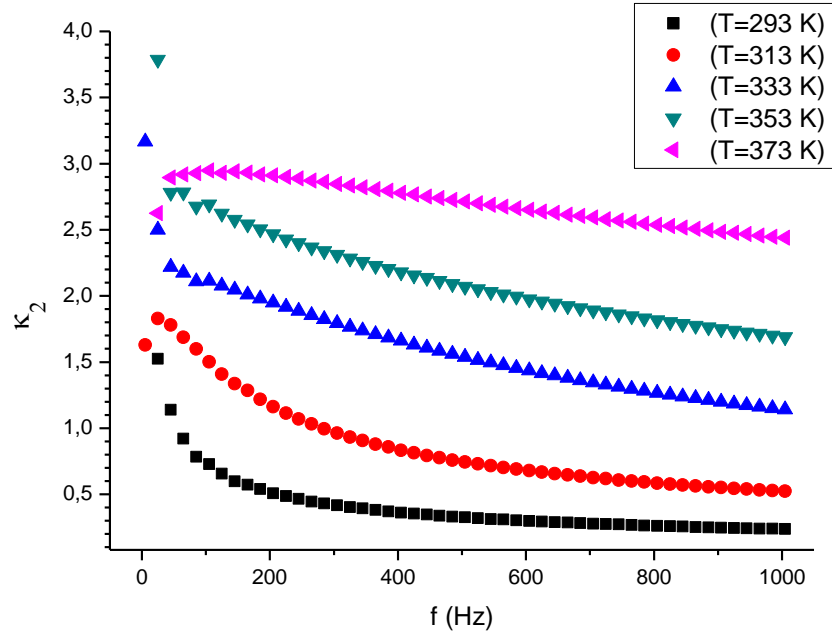


Şekil 4.10: Kalınlığı 6000 Å olan örneğin Dielektrik Sabiti-Frekans davranışı

### 4.3. DİELEKTRİK KAYBININ FREKANS BAĞLI DAVRANIŞI

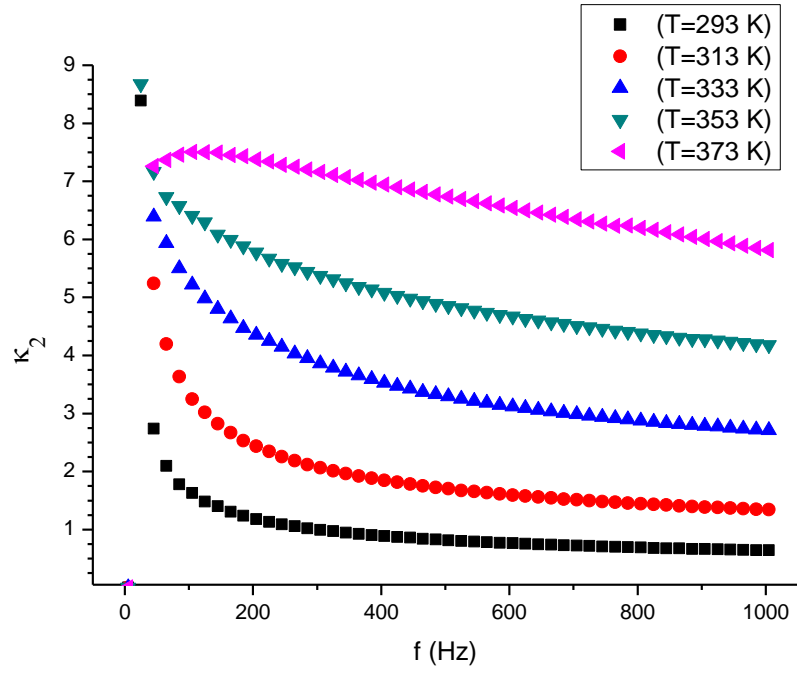
- Dielektrik kaybının frekans artışıyla birlikte azaldığı gözlenmiştir. (Şekil 4.11 – 4.15)

Benzer davranış incelenen tüm kalınlık değerlerinde gözlenmiştir.

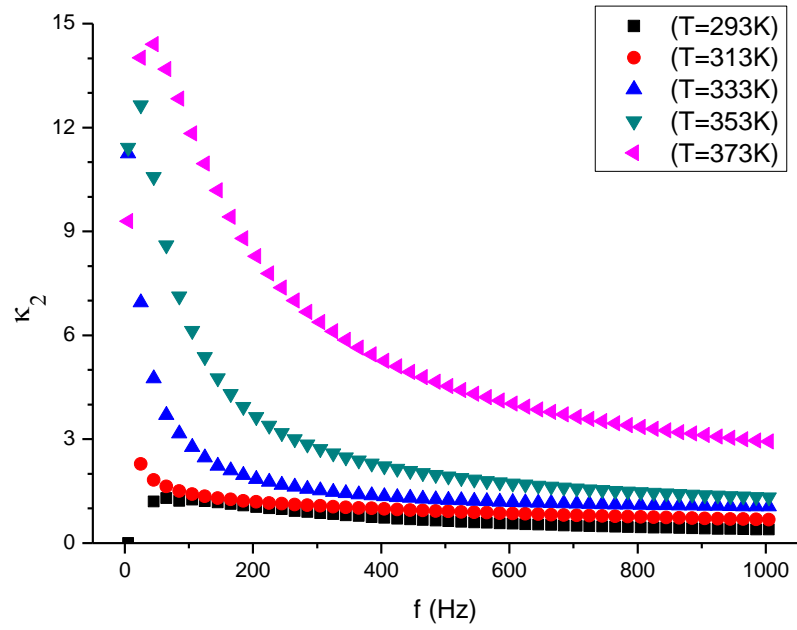


Şekil 4.11: Kalınlığı 500 Å olan örneğin Dielektrik Kayıp-Frekans davranışı

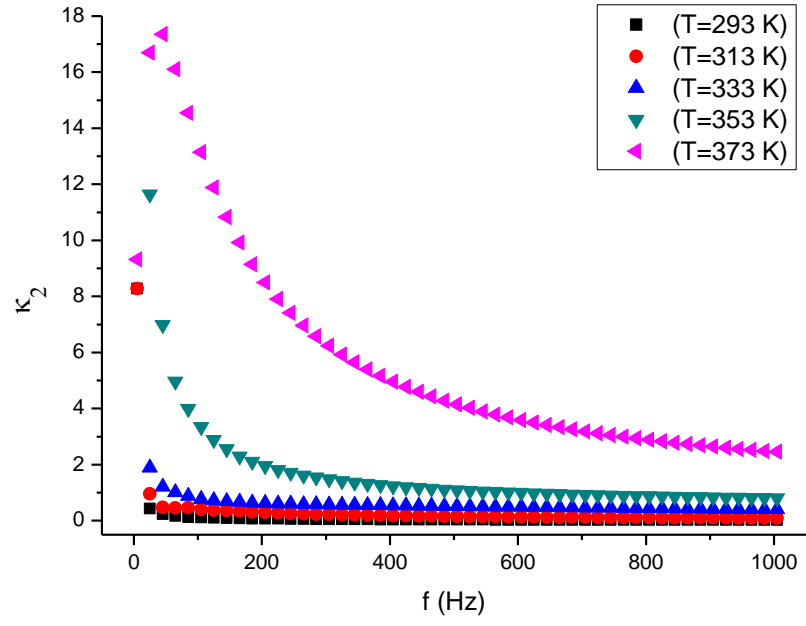




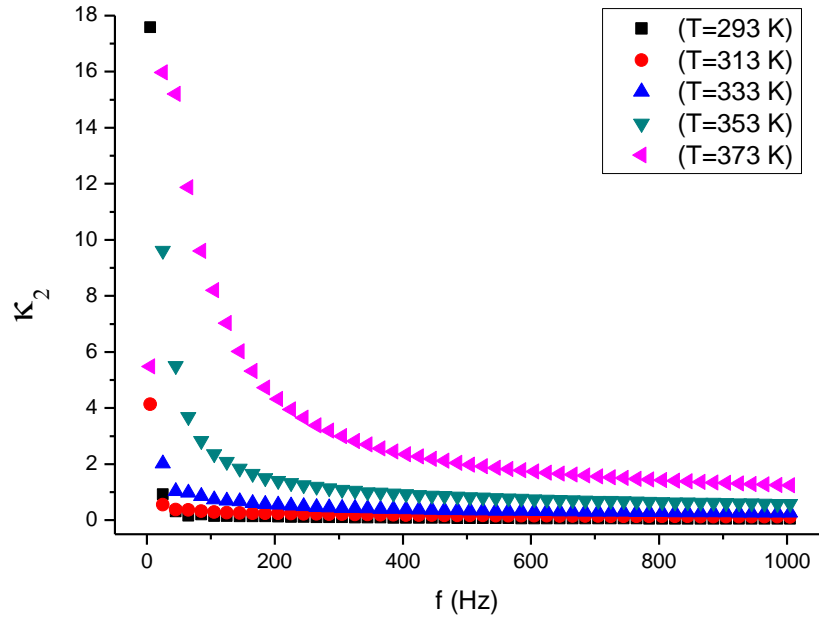
Şekil 4.12: Kalınlığı 1000 Å olan örneğin Dielektrik Kayıp-Frekans davranışı



Şekil 4.13: Kalınlığı 2500 Å olan örneğin Dielektrik Kayıp-Frekans davranışı



Şekil 4.14: Kalınlığı 3850 Å olan örneğin Dielektrik Kayıp-Frekans davranışı

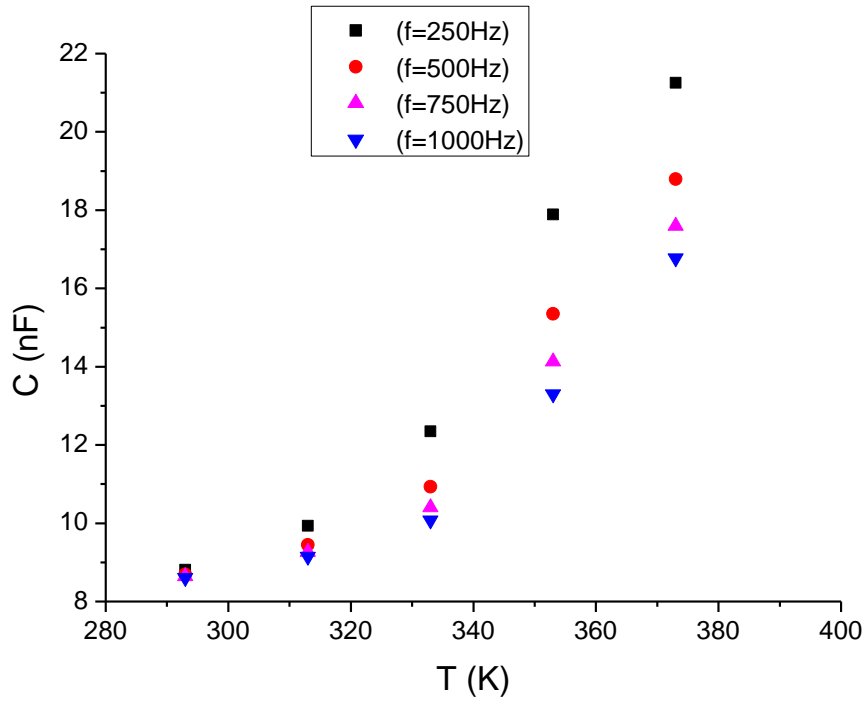


Şekil 4.15: Kalınlığı 5700 Å olan örneğin Dielektrik Kayıp-Frekans davranışı

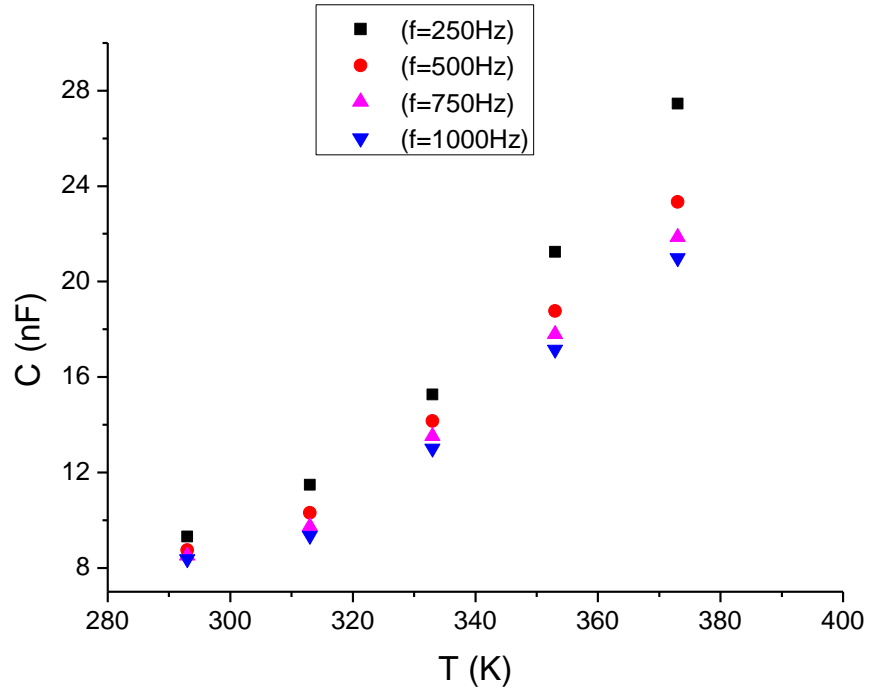
#### 4.4. KAPASİTENİN SICAKLIĞA BAĞLI DAVRANIŞI

- İncelenen 4 farklı frekans değerleri için, oda sıcaklığından itibaren sıcaklık artışıyla birlikte kapasitenin arttığı görülmüştür. (Şekil 4.16 – 4.18)

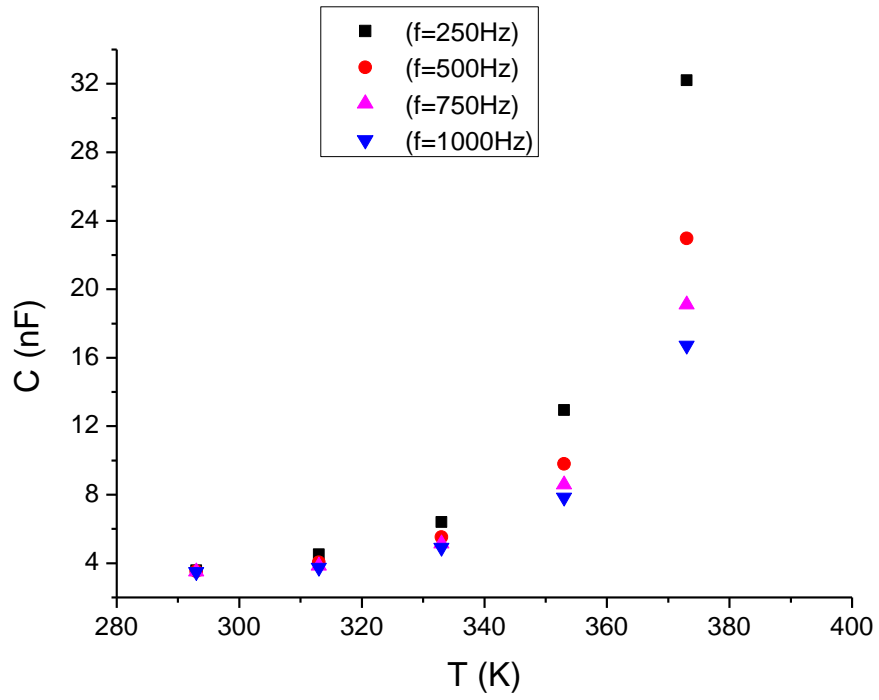
Gözlenen bu davranış  $250 - 6000 \text{ \AA}$  kalınlık aralığında farklı kalınlık değerlerinde de benzer şekilde görülmüştür. Bu sebeple, sadece 3 farklı kalınlık değerindeki kapasitif davranış grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.16: Kalınlığı  $750 \text{ \AA}$  olan örneğin Kapasite-Sıcaklık davranışı



Şekil 4.17: Kalınlığı 2200 Å olan örneğin Kapasite-Sıcaklık davranışı

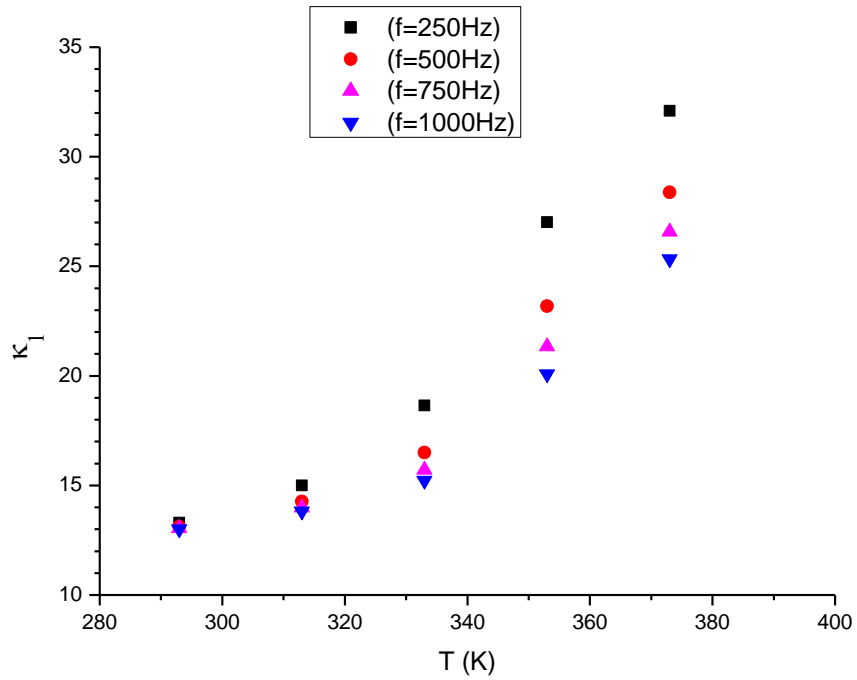


Şekil 4.18: Kalınlığı 4100 Å olan örneğin Kapasite-Sıcaklık davranışı

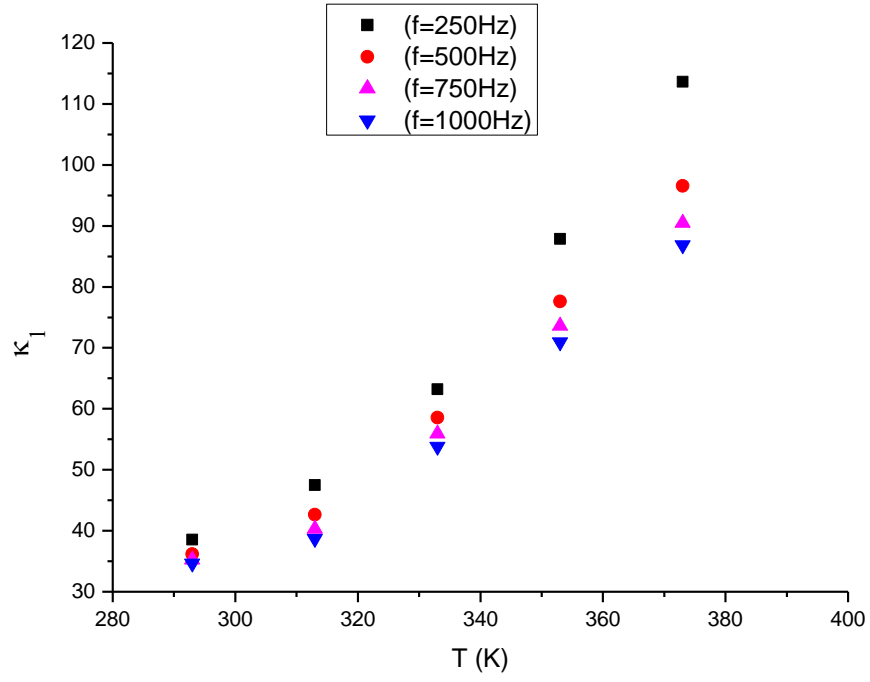
#### 4.5. DİELEKTRİK SABİTİNİN SICAKLIĞA BAĞLI DAVRANIŞI

- Düşük sıcaklıklardan yüksek sıcaklıklara gidildikçe incelenen frekans değerleri için dielektrik sabitinin arttığı gözlenmiştir. (Şekil 4.19 – 4.21)

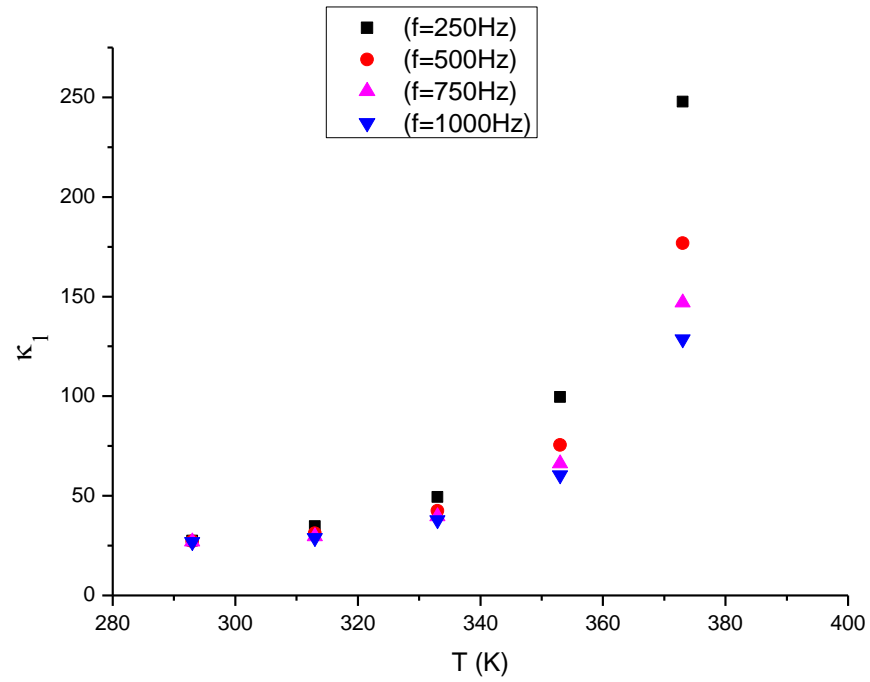
Dielektrik sabitinin sıcaklığa bağlı olarak gösterdiği bu davranış incelenen tüm kalınlık değerlerinde de benzer sonuç vermektedir. Bu nedenle 3 farklı kalınlık değerinin grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.19: Kalınlığı 750 Å<sup>0</sup> olan örneğin Dielektrik Sabiti-Sıcaklık davranışı



Şekil 4.20: Kalınlığı 2200 Å olan örneğin Dielektrik Sabiti-Sıcaklık davranışı

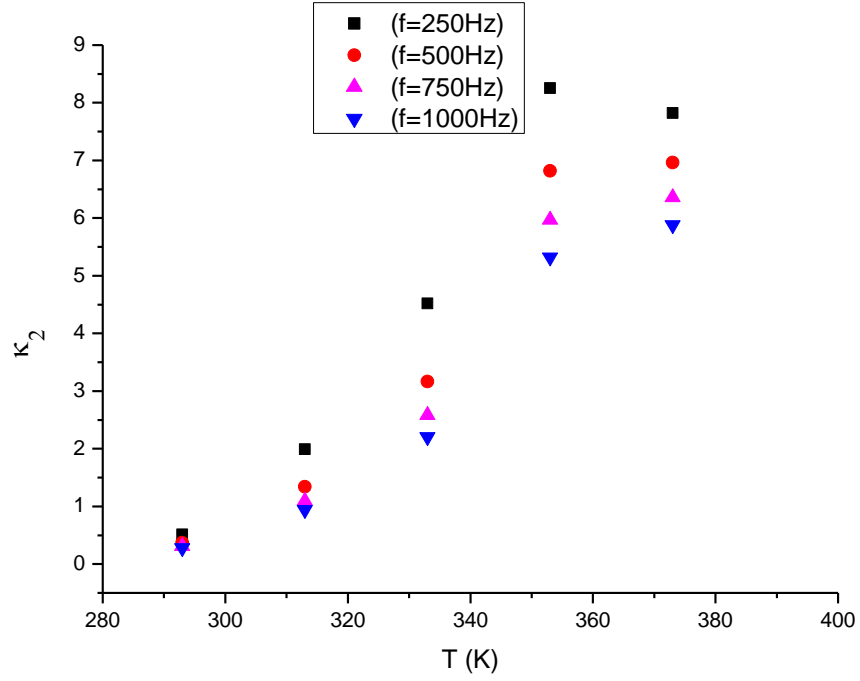


Şekil 4.21: Kalınlığı 4100 Å olan örneğin Dielektrik Sabiti-Sıcaklık davranışı

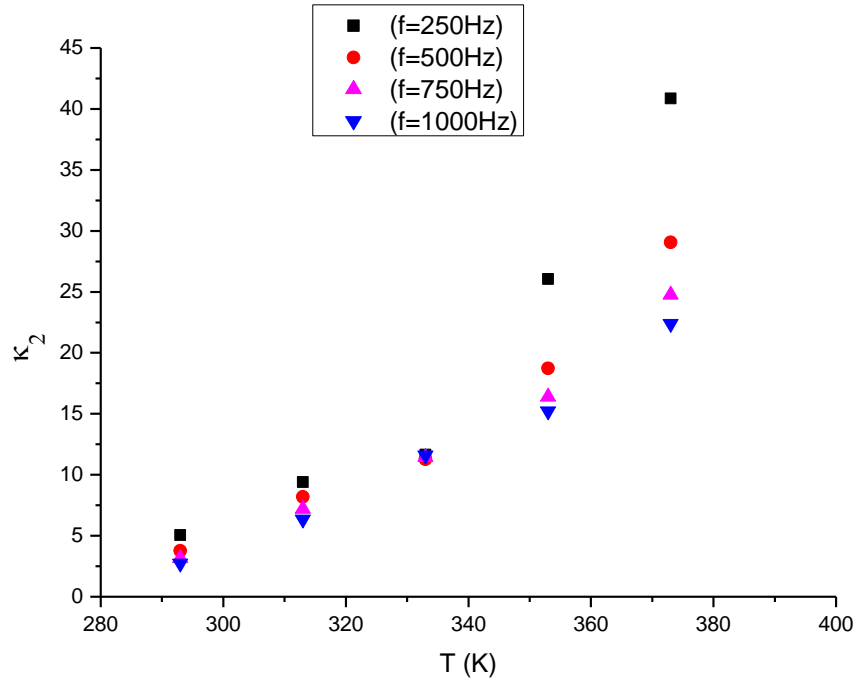
#### 4.6. DİELEKTRİK KAYBININ SICAKLIĞA BAĞLI DAVRANIŞI

- Sıcaklık artışıyla birlikte dielektrik kaybının arttığı görülmüştür. (Şekil 4.22 – 4.24)

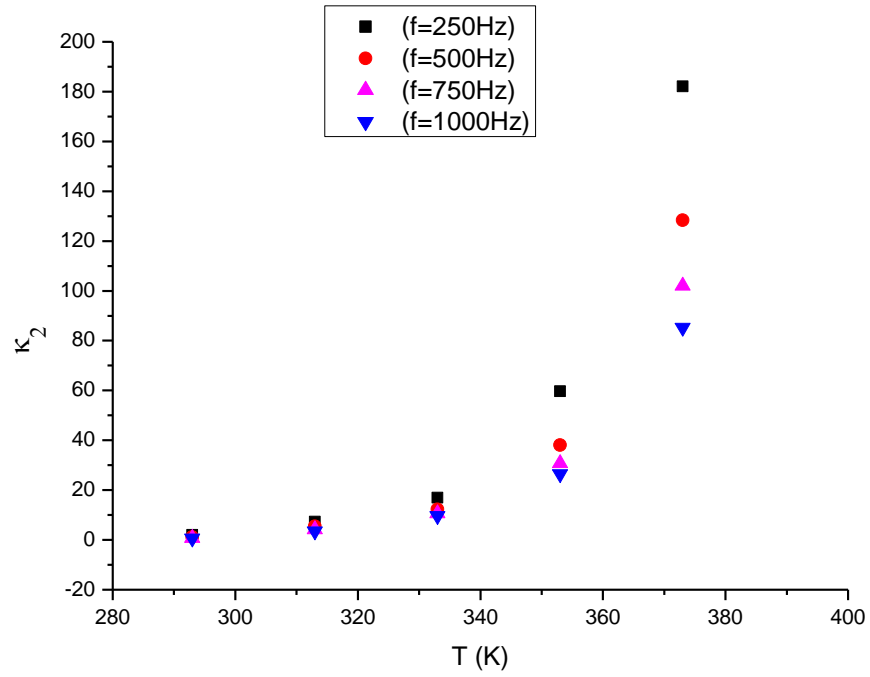
Bu davranış incelenen tüm kalınlık değerlerinde de benzer olarak gözlenmiştir.



Şekil 4.22: Kalınlığı 750 Å olan örneğin Dielektrik Kayıp-Sıcaklık davranışı



Şekil 4.23: Kalınlığı 2200 Å olan örneğin Dielektrik Kayıp-Sıcaklık davranışı



Şekil 4.24: Kalınlığı 4100 Å olan örneğin Dielektrik Kayıp-Sıcaklık davranışı



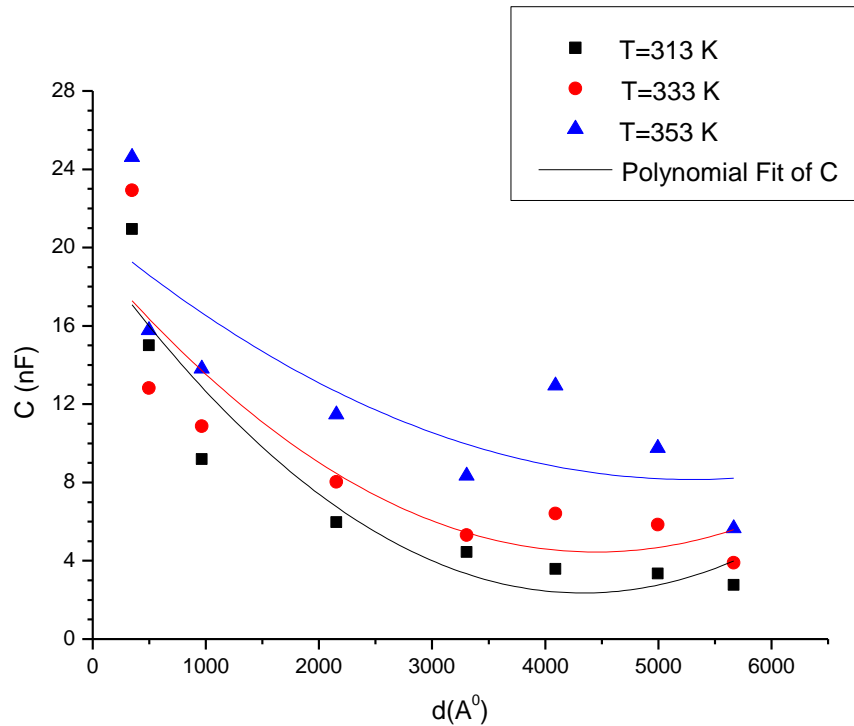
## 4.7. KAPASİTENİN FİLM KALINLIĞINA BAĞLI DAVRANIŞI

### 4.7.1. Sabit Frekansta Kapasitenin Film Kalınlığına Bağlı Davranışı

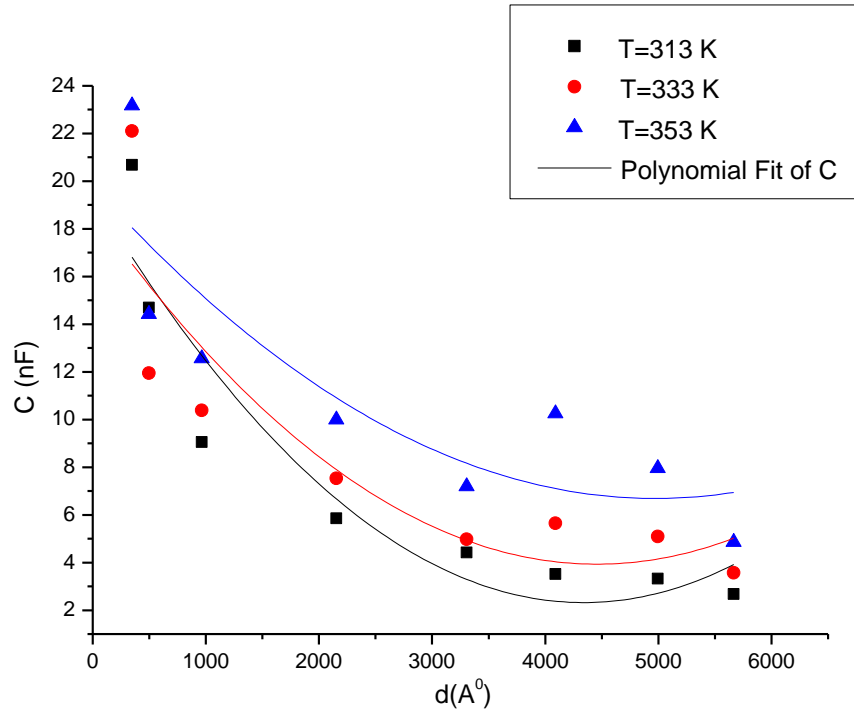
- İncelenen 3 farklı sıcaklık değerleri için düşük kalınlıklardan ( $300 - 1000 \text{ \AA}$ ) yüksek kalınlıklara ( $4250 - 5750 \text{ \AA}$ ) gidildikçe kapasitenin eksponansiyel olarak azaldığı gözlenmiştir. (Şekil 4.25 – 4.27)

Benzer davranış 25 - 1000 Hz frekans aralığında farklı frekans değerlerinde de görülmüştür. Bu nedenden dolayı, sadece 3 farklı frekans değerindeki kapasitif davranış grafikleri verilmiştir.

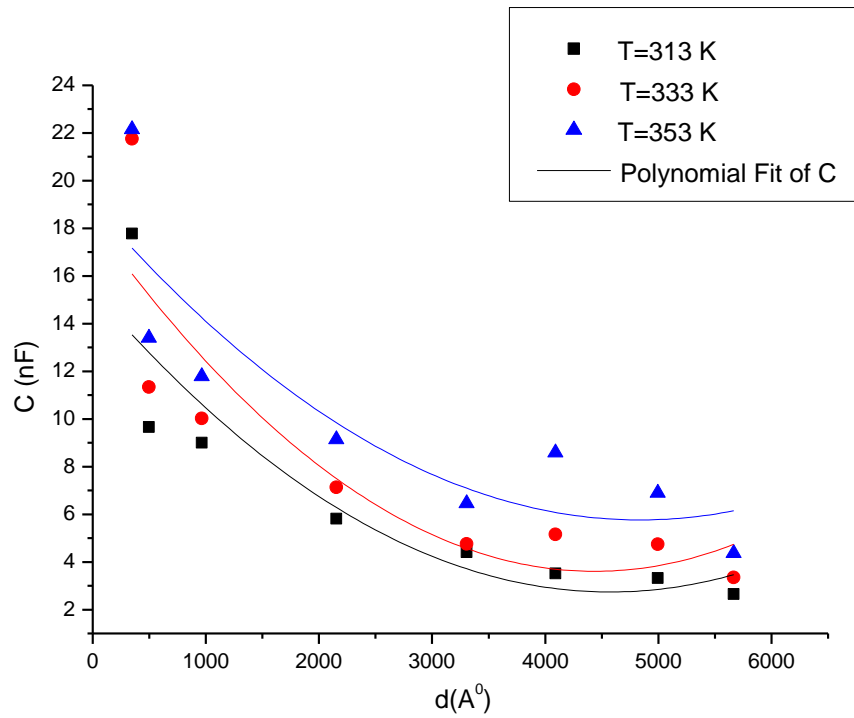
Bahsi geçen bu davranış  $T = 293 - 373 \text{ K}$  sıcaklık aralığında incelenen 5 farklı sıcaklık değeri için de gözlenmiştir. Bu sebeple 3 farklı sıcaklık değerindeki davranış grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 4.25:  $f = 250 \text{ Hz}$  sabit frekansında örneğin Kapasite-Kalınlık davranışı



Şekil 4.26:  $f = 500$  Hz sabit frekansında örneğin Kapasite-Kalınlık davranışı



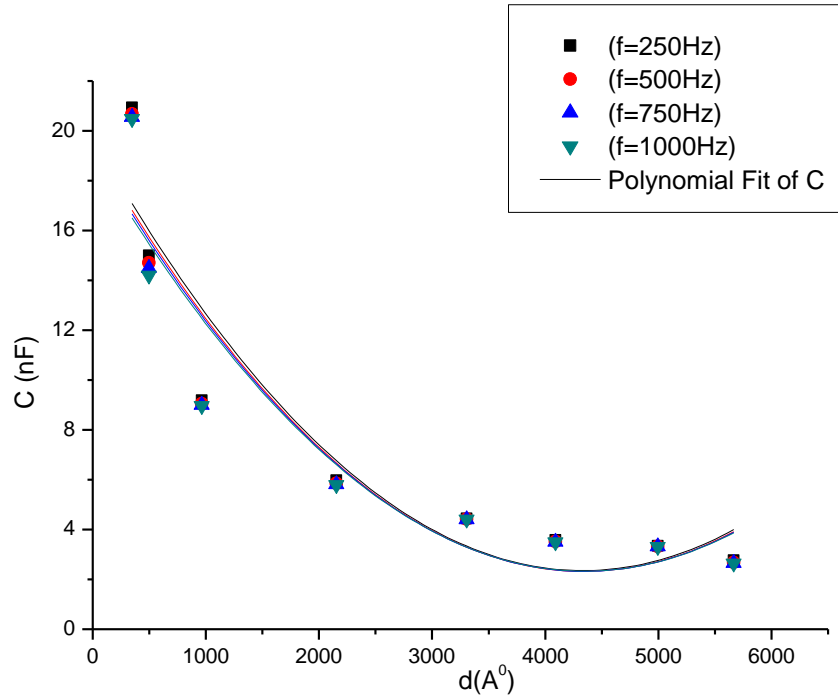
Şekil 4.27:  $f = 750$  Hz sabit frekansında örneğin Kapasite-Kalınlık davranışı

#### 4.7.2. Sabit Sıcaklıkta Kapasitenin Film Kalınlığına Bağlı Davranışı

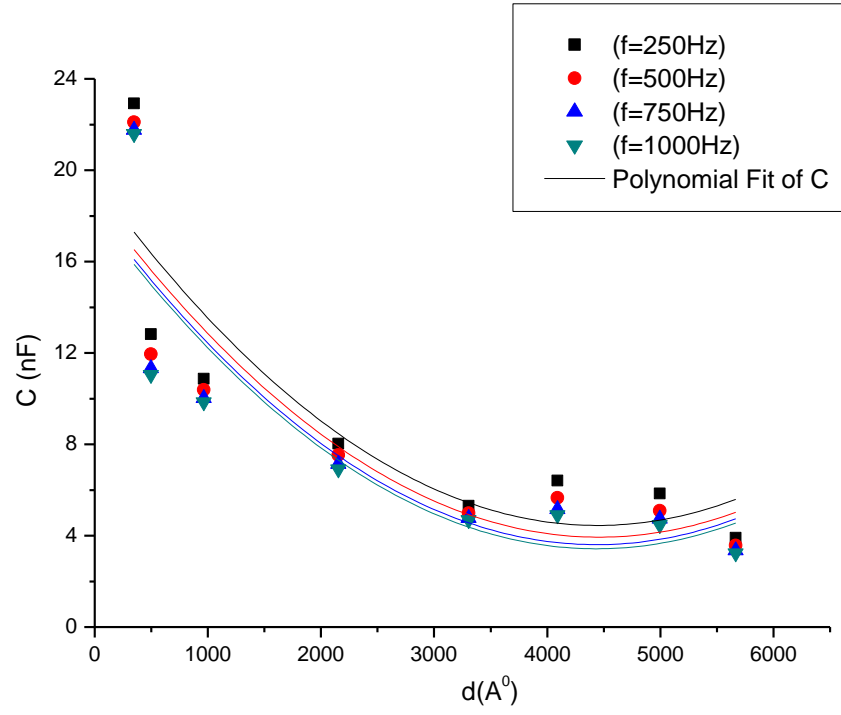
- İncelenen 4 farklı frekans değerleri için düşük kalınlıklardan ( $300 - 1000 \text{ \AA}$ ) yüksek kalınlıklara ( $4250 - 5750 \text{ \AA}$ ) gidildikçe kapasitenin eksponansiyel olarak azaldığı görülmüştür (Şekil 4.28 – 4.30). Özellikle oda sıcaklığından ( $T = 293 \text{ K}$ ) daha yüksek sıcaklıklara gidildikçe kapasitenin kalınlığa bağlı davranışına sıcaklığın etkisi açıkça görülmektedir.

Benzer davranış  $25 - 1000 \text{ Hz}$  frekans aralığında farklı frekans değerlerinde de görülmüştür. Bu nedenden dolayı, sadece 4 farklı frekans değerindeki kapasitif davranış grafikleri gösterilmiştir.

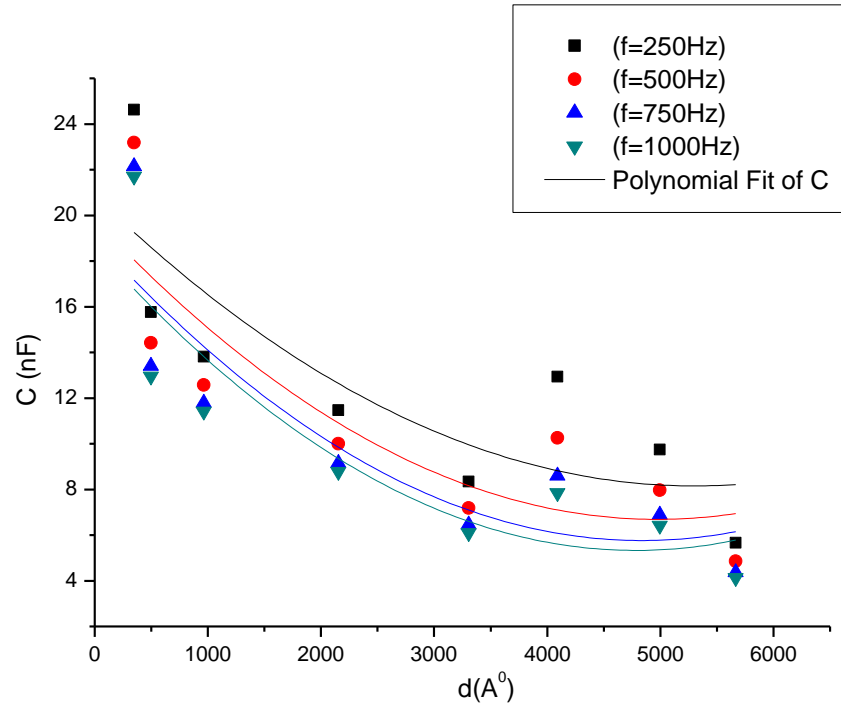
Bahsi geçen bu davranış  $T = 293 - 373 \text{ K}$  sıcaklık aralığında incelenen 5 farklı sıcaklık değeri için de gözlenmiştir. Bu sebeple 3 farklı sıcaklık değerindeki davranış grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.28:  $T = 293 \text{ K}$  sabit sıcaklığında örneğin Kapasite-Kalınlık davranışı



Şekil 4.29: T = 333 K sabit sıcaklığında örneğin Kapasite-Kalınlık davranışı

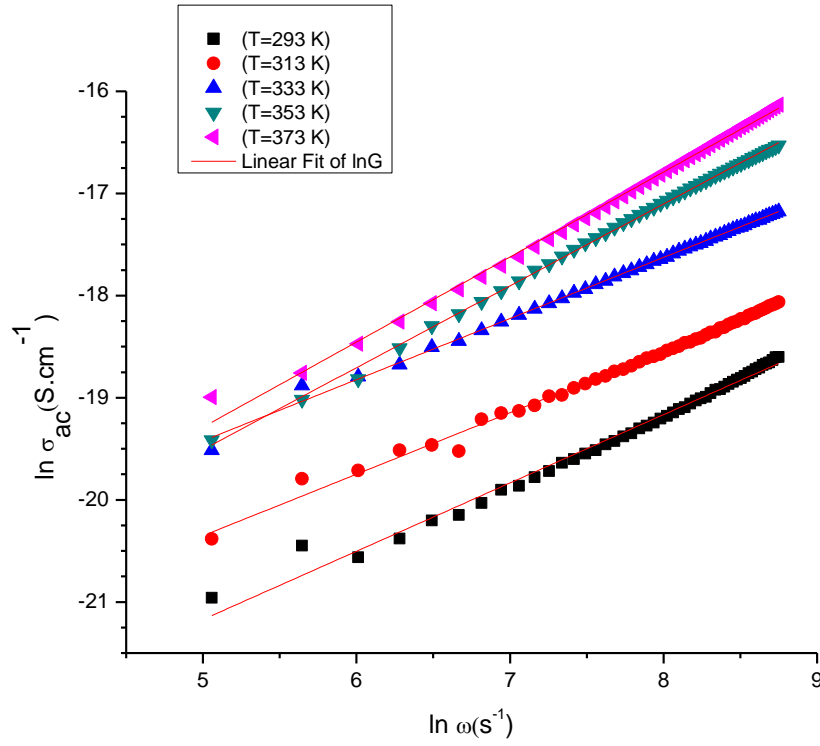


Şekil 4.30: T = 353 K sabit sıcaklığında örneğin Kapasite-Kalınlık davranışı

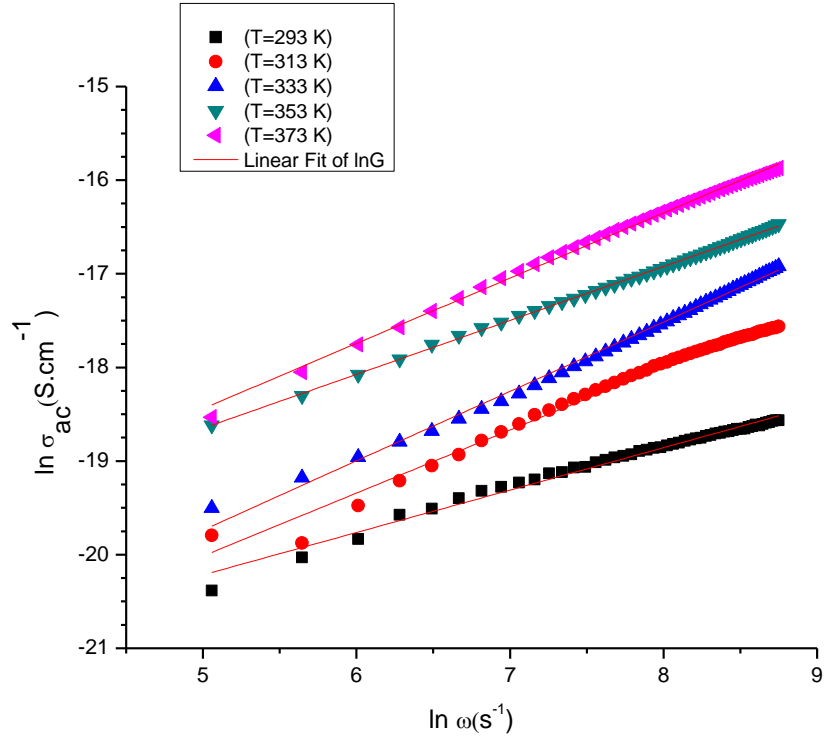
#### 4.8. DEĞİŞKEN ALAN İLETKENLİĞİNİN FREKANS BAĞLI DAVRANIŞI

- İncelenen 5 farklı sıcaklık değerleri için artan frekansla ve artan sıcaklıkla birlikte değişken alan iletkenliği artmıştır. (Şekil 4.31 – 4.32)

Benzer davranış  $250 - 6000 \text{ \AA}$  kalınlık aralığında farklı kalınlık değerlerinde de görülmüştür. Bu nedenden dolayı, sadece 2 farklı kalınlık değerindeki iletkenlik davranışı grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.31: Kalınlığı  $250 \text{ \AA}$  olan örneğin AC İletkenlik-Frekans davranışı



Şekil 4.32: Kalınlığı 1800 Å olan örneğin AC İletkenlik-Frekans davranışı

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, literatürde hakkında oldukça az araştırma bulunan  $TlSbS_2$  yarıiletken malzemesinin değişken alan iletkenliği ve dielektrik özellikleri incelendi.

Kapasite-frekans (C - f) davranışı incelenirse, alçak frekanslara (25 Hz - 200 Hz) gidildikçe kapasitenin arttığı, yüksek frekanslara (250 Hz - 1 KHz) gidildikçe ise eksponansiyel olarak azaldığı görüldü. Alçak frekanslarda kapasitansta gözlenen bu artış, yapıda uzun rölaksasyon zamanlı bir polarizasyon mekanizmasının varlığını gösterir. Yapıda hakim olduğunu düşündüğümüz uzun rölaksasyon zamanlı polarizasyon mekanizmasının frekans artışına cevap verememesi yüksek frekanslara gidildikçe kapasitenin azalan davranış göstermesine neden olur. K. Rajasekar ve grubu [15], termal buharlaştırma yöntemi ile hazırlanmış p-tipi  $(Sb_2Te_3)_{70}(Bi_2Te_3)_{30}$  ince filmlerinin frekansa bağlı kapasite davranışını incelemişler ve frekans artışıyla birlikte kapasitenin azaldığını bulmuşlardır. D. Değer ve grubu [17],  $TlSbSe_2$  ince filmlerini termal buharlaştırma yöntemiyle hazırlayıp frekansa bağlı kapasitif davranışını incelemişler ve alçak frekanslara gidildikçe kapasitenin arttığını, yüksek frekanslara gidildikçe ise azaldığını bulmuşlardır. Alçak frekanslarda kapasitenin artışını yapıda dipolar polarizasyon mekanizmasının hakim olduğunu söyleyerek açıklamışlardır. Frekans artışıyla birlikte bu mekanizmanın etkisinin azalacağını dile getirmişlerdir. Frekansa bağlı kapasitansın davranışı literatürde aşağıdaki bağıntıyla belirlenir [26].

$$C = C_g + \left[ s\tau / (\omega^2\tau^2 + 1) \right] \quad (5.1)$$

Burada  $C_g$  geometrik kapasite,  $s$  kondüktans,  $\tau$  rölaksasyon zamanı,  $\omega$  açısal frekansı gösterir. Bu bağıntıdan çıkan sonuç,  $\omega = 0$  ise kapasitans maksimum değer ve  $\omega = \infty$  ise kapasitans minimum değer alır.

Dielektrik sabiti-frekans ( $\kappa_1 - f$ ) davranışına bakılırsa, kapasite-frekans grafiğindeki benzer davranışın görüldüğü yani alçak frekanslardan yüksek frekanslara gidildikçe dielektrik sabitinin azaldığı görülmektedir. (2.43)'de verilen Clausius-Mosotti denkleminde göre dielektrik sabitinin, polarizlenebilme katsayısı ile lineer bağlı olduğu görülmektedir. Yani frekans artışıyla birlikte yapıdaki polarlanmanın azalması dielektrik sabitinin azalmasına neden olmuştur [15-16, 27-29]. A. M. Farid ve grubu [12], termal buharlaştırma yöntemiyle elde edilmiş olan  $Sb_2Te_3$  ince filmlerinin dielektrik sabitinin frekans artışıyla birlikte azaldığını gözlemişlerdir. A. E. Bekheet ve N. A. Hegab [13], aynı yöntemle hazırlanmış  $Ge_{20}Se_{75}In_5$  ince filmlerinin dielektrik sabitinin frekans artışıyla benzer davranış gösterdiğini bulmuşlardır. H. E. Atyia [16] aynı yöntemle hazırlanmış  $InSbSe_3$  ince filmlerinin dielektrik sabitinin davranışının frekans artışıyla benzer olduğu sonucuna varmıştır.  $InSbSe_3$  malzemesiyle bu tez çalışmasında kullandığımız malzeme olan  $TlSbS_2$ , III-V-VI grubu elementlerinin birleşmesiyle oluşmuştur.

Dielektrik kayıp-frekans ( $\kappa_2 - f$ ) davranışı incelenirse, frekans artışıyla birlikte dielektrik kaybının azaldığı görülmektedir. Alçak frekanslarda yapıda indüklenen dipollerin aralarında etkileşmeleri fazlayken, frekans artışıyla birlikte yapıdaki dipollerin birbirleriyle ve yapıyla etkileşmeleri daha az olacaktır. Bu ise kaybın azalmasına neden olacaktır [12-14, 28]. N. A. Hegab ve grubu [27], termal buharlaştırma yöntemiyle hazırlanmış amorf yapılı  $Se_{80}Te_{20-x}Ge_x$  ince filmlerinin dielektriksel özelliklerini incelemişler. Frekansa bağlı dielektriksel kayıp, frekans artışıyla birlikte azaldığını bulmuşlardır. D. Değer ve K. Ulutaş [29], aynı yöntemle hazırlanmış Se ince filmlerinin frekansa bağlı dielektrik kaybı davranışını benzer şekilde bulmuşlardır. Alçak frekanslarda yapıda yüzeyler arası polarizasyon mekanizmasının baskın olduğunu, frekans artışıyla birlikte diğer polarizasyon mekanizmalarının etkileri dolayısıyla dielektrik kaybının azaldığını önermişlerdir.

Kapasite-sıcaklık ( $C - T$ ) davranışına bakılırsa, oda sıcaklığından (293 K) yüksek sıcaklığa gidildikçe kapasitansın arttığı görülmektedir. Bu artış yapıdaki dipollerin sıcaklık artışıyla birlikte daha kolay polarlanabildiğini gösterir. Yapının polarlanabilirliğinin artması ise kapasitörde biriken yük miktarını arttıracığı için



kapasitansı arttıracaktır. K. Rajasekar ve grubu [15], termal buharlaştırma yöntemi ile hazırlanmış p-tipi  $(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{70}(\text{Bi}_2\text{Te}_3)_{30}$  ince filmlerinin sıcaklığa bağlı kapasite davranışını incelemişler ve sıcaklık artışıyla birlikte kapasitenin arttığını bulmuşlardır. D. Değer ve grubu [17],  $\text{TlSbSe}_2$  ince filmlerini termal buharlaştırma yöntemiyle hazırlayıp sıcaklığa bağlı kapasitif davranışını incelemişler ve sıcaklık artışıyla birlikte kapasitenin arttığını görmüşlerdir.

Dielektrik sabiti - sıcaklık ( $\kappa_1 - T$ ) davranışı incelenirse, sıcaklık artışıyla birlikte dielektrik sabitinin arttığı görülmektedir. [16, 27, 29]. A. E. Bekheet ve N. A. Hegab [13], termal buharlaştırma yöntemiyle hazırlanmış  $\text{Ge}_{20}\text{Se}_{75}\text{In}_5$  ince filmlerinin dielektrik sabitinin sıcaklık değişimine bağlı davranışını incelemişler ve sıcaklık artışıyla birlikte dielektrik sabitinin arttığını bulmuşlardır. H. E. Atyia [16] aynı yöntemle hazırlanmış  $\text{InSbSe}_3$  ince filmlerinin dielektrik sabitinin davranışının sıcaklık artışıyla birlikte benzer olduğu sonucuna varmıştır.

Dielektrik kayıp-sıcaklık ( $\kappa_2 - T$ ) davranışına bakılırsa, oda sıcaklığından yüksek sıcaklıklara gidildikçe kaybın arttığı açıkça görülmektedir. Sıcaklığın artması, yapıdaki taşıyıcıların ya da kısaca dipollerin hareketliliklerini arttırarak, polarizasyona katkı sağlamalarının yanında birbirleriyle ve yapıyla etkileşmelerini de arttırabilir. Etkileşmelerin artması sonucunda ise kaybın artması beklenir [13]. N. A. Hegab ve grubu [27], termal buharlaştırma yöntemiyle hazırlanmış amorf yapılı  $\text{Se}_{80}\text{Te}_{20-x}\text{Ge}_x$  ince filmlerinin dielektriksel özelliklerini incelemişler. Sıcaklığa bağlı dielektriksel kaybın, sıcaklık artışıyla birlikte arttığı sonucunu bulmuşlardır.

Kapasitenin sabit frekans ve sabit sıcaklıklardaki kalınlığa ( $C - d$ ) bağlı davranışı incelenirse, kalınlık arttıkça kapasitansın azaldığı görülmektedir. Bu davranış sabit frekansta sıcaklığa bağlı olarak gözlenirken; sabit sıcaklıkta frekansa bağlılık ise oda sıcaklığında belirgin bir değişim göstermeyip, sıcaklık artışıyla kapasitenin artışı açıkça görülmektedir. Bu ise kapasite-film kalınlığı davranışının sıcaklığa bağlı olduğunu göstermektedir. A. Ashour ve grubu [24] tarafından termal buharlaştırma yöntemiyle hazırlanan  $\text{ZnTe}$  ince filmlerinin film kalınlığına bağlı olarak kapasitif davranışı belirlenmiş ve film kalınlığı arttıkça kapasitenin azaldığını bulunmuştur. Weaver [33]

film kalınlığı azaldıkça yapı geriliminin arttığını ve gerilimin artmasına bağılı olarak yapının daha boşluklu hale geldiğini göstermiştir. Genin [34] ince film yapısının granüler bir yapı olduğunu göstermiştir. R. Höhler ve grubu [35], bir granülden diğere geçiş olasılığının taşıyıcının kütlesi ile ters orantılı olduğunu bulmuşlardır. Buna göre; incelediğimiz dielektrik malzemenin polarizlenebilmesinin azalmasına neden olarak, TlSbS<sub>2</sub> ince film yapısının granüler bir yapı olduğu ve taşıyıcının geçiş olasılığının azaldığı göz önüne alınabilir. Yapının polarlanmasının azalması sonucunda kapasitans azalacaktır.

(2.32) denkleminde elde edilen değişken alan iletkenliğinin artan frekansa ve sıcaklığa bağılı olarak lineer bir artış gösterdiği görülmüştür. Dielektrik iletkenliğinin frekansla değişimini gösteren  $\ln \sigma(\omega) - \ln \omega$  grafiklerinde dielektrik iletkenliğinin frekansla  $\sigma(\omega) \approx \omega^n$  şeklinde bağılı olduğu görülmektedir. Bahsi geçen grafiklerin eğimi alınıp incelendiğinde ise n katsayısının 0,6 ile 0,8 arasında değerler aldığı görüldü [12-14, 27-29]. Bulunan n katsayılarının sıcaklık artışıyla birlikte değiştiği gözlenmiştir. “n” katsayısının sıcaklığa bağılı olması polarizasyon mekanizmalarının termal aktivasyonlu olduğunu göstermektedir [36]. D. Emin ve grubu [37] Boronkarbit örneklerinde, A. Ghosh [38] Tellirium cuprate örneklerinde, Gupta ve Mansing [39] ZnO örneklerinde “n” katsayısının sıcaklıkla değiştiğini bulmuşlardır.

## KAYNAKLAR

- [1] McKinley KA, Sandler NP. *Thin Solid Films* 1996;290:440
- [2] Shirinki H, Nakata M. *IEEE Trans Electron Devices* 1991;38(3):455
- [3] Zhang J-Y, Boyd IW, Mooney MB, Hurley PK, Beechinor JT, Kelly PV, Crean GM, Senateur J-P, Jimenez C, Paillous M., *Appl. Phys. A: Mater. Sci. Process* 2000;70:647
- [4] Zhang JY, Boyd IW. *App Surf Sci* 2000;168:234
- [5] Rubio J, Denis JM, Albella J, Martinez- Duart M. *Thin Film Solids* 1982;90:405
- [6] Von Hippel, A. R. , 1954, *Dielectrics and Waves*, New York, 54-11020
- [7] Frohlich, H. , (1958), *Theory of dielectric 2*, Clarendon press. Oxford
- [8] K. Wacker, P. Buck, *Mater. Res. Bull.* 15 (8) (1980) 1105
- [9] I.N. Grinchesken, N.S. Popovich, A.V. Zaikouskii, G.A. Medzhidov, *Inorg. Mater. C/C of Izvestiia* 31 (1995) 167
- [10] N.N. Syrbu, V.T. Krasovsky, I.N. Grinchesken, *Cryst. Res. Technol.* 28 (1993) 371
- [11] M. Salk, K. Wacker, J. Fischer, V. Krmer, *Thermochim. Acta* 160 (1) (1990) 87
- [12] A. M. Farid, H. E. Atyia, N. A. Hegab, 2005, “*AC conductivity and dielectric properties of Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> thin films*”, *Vacuum* 80 (2005) 284-294
- [13] A. E. Bekheet, N.A. Hegab, 2008, “*Ac conductivity and dielectric properties of Ge<sub>20</sub>Se<sub>75</sub>In<sub>5</sub> films*”, *Vacuum* 83 (2009) 391-396
- [14] H. E. Atyia, A.M. Farid, N. A. Hegab, 2008, “*Ac conductivity and dielectric properties of amorphous Ge<sub>x</sub>Sb<sub>40-x</sub>Se<sub>60</sub> thin films*”, *Physica B* 403 (2008) 3980-3984
- [15] K. Rajasekar, A. Subbarayan, R. Sathyamoorthy, 2006, “*AC and dielectric properties of thermally evaporated p-type (Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>)<sub>70</sub>(Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>)<sub>30</sub> thin films*”, *Solar Energy Materials&Solar Cells* 90 (2006) 2515-2522
- [16] H. E. Atyia, 2006, “*Deposition temperature effect on the electric and dielectric properties of InSbSe<sub>3</sub> thin films*”, *Vacuum* 81 (2007) 590-598

- [17] D. Değer, K. Ulutaş, S. Yıldırım, N. Kalkan, 2009, “*Relaxation spectrum of the TlSbSe<sub>2</sub> thin films*”, *Physica B* (2009) 08.311
- [18] Khang Hoang, S. D. Mahanti, “*Atomic and electronic structures of thallium-based III-V-VI<sub>2</sub> ternary chalcogenides: Ab initio calculations*” *Phys. Rev. B* 77, 205107 (2008)
- [19] Veronica Estrella, M. T. S. Nair, P. K. Nair, 2002, “*Thallium antimony sulfide and thallium bismuth thin films produced by heating chemically deposited multi-layers*”, *Semiconductor Sci. and Tech.* 17 (2002) 1198-1204
- [20] Veronica Estrella, Rogelio Mejia, M. T. S. Nair, P. K. Nair, 2001, “*Optical and electrical properties of thallium sulphide and Tl<sub>x</sub>M<sub>y</sub>S<sub>z</sub> (M=Cu, Bi, Sb) thin films*”, *Modern physics letter B* 15 (2001) 737-740
- [21] Sh. M. Ismailov, N. L. Kramynina and N. V. Lugueva, 2009, “*The effect of temperature and pressure on the heat conductivity of TlSbC<sub>2</sub> (C=S, Se, Te)*”, *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics* 73 (2009) 1230-1232
- [22] Y. W. Li, Y. D. Shen, Z. G. Hu, F. Y. Yue, J. H. Chu, 2009, “*Effect of thickness on the dielectric property and nonlinear current-voltage behavior of CaCu<sub>3</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>12</sub> thin films*”, *Physics Letter A* 373 (2009) 2389-2392
- [23] C. B. Parker, J. P. Maria and A. I. Kingon, 2002, “*Temperature and thickness dependent permittivity of (Ba, Sr) TiO<sub>3</sub> thin films*”, *Applied Physics Letters* Volume 81, Number 2
- [24] A. A. İbrahim, N. Z. El-Sayed, M. A. Kaid, A. Ashour, 2004, “*Structural and electrical properties of evaporated ZnTe thin films*”, *Vacuum* 75 (2004) 189-194
- [25] B. Gürbulak, C. Coşkun, S. Doğan, A. Ateş, Y. K. Yoğurtçu, 1998, “*The Growth of p-Type A<sup>III</sup>B<sup>III</sup>C<sup>VI</sup> Single Crystals*”, *Turk J Phy* 24 (2000) 29-37
- [26] B. Tareev, *Physics of Dielectric*, MIR Publications, Moscow, 1979
- [27] N. A. Hegab, M. A. Afifi, H. E. Atyia, A. S. Farid, 2008, “*Ac conductivity and dielectric properties of amorphous Se<sub>80</sub>Te<sub>20-x</sub>Ge<sub>x</sub> chalcogenide glass film compositions*”, *Journal of Alloys and Compounds* 477 (2009) 925-930
- [28] İ. M. Afandiyeva, İ. Dökme, Ş. Altındal, M. M. Bülbül, A. Tataroğlu, 2007, “*Frequency and voltage effects on the dielectric properties and electrical conductivity of Al-TiW-Pd<sub>2</sub>Si/n-Si structures*”, *Microelectronic Engineering* 85 (2008) 247-252
- [29] D. Değer, K. Ulutaş, 2003, “*Conduction and dielectric polarization in Se thin films*”, *Vacuum* 72 (2004) 307-312
- [30] Halliday, D., 2001, *Fundamentals of Physics*, New York, 0-471-33235-6

- [31] Ulutaş, H. K., 1990, “Bizmut İnce Filmlerin Elektrik Özellikleri”, Y.Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi
- [32] Moliton, A., 2007, *Basic Electromagnetism and Materials*, Université de Limoges, Limoges, France, 0-387-30284-0
- [33] Weaver, C., (1965), “Structure and Properties of Dielectric Films”, 15, 4, 171-176
- [34] Genin, F. Y., (1995), “*Effect of Stress on Grain Boundary Motion in Thin Films*”, J. Appl. Phys., 77, 10, 5130-5137
- [35] Höhler, R., Münzel, J., Kasper, G. and Hunklinger, S., (1991), “*Dielectric Long-time Relaxation of Amorphous Materials at Low Temperatures*”, Phys. Rev. B., 43, 11, 9220-9227
- [36] Değer, Deniz, 1998, “*Yarıiletkenler ve Yarıizolatör Katı Maddelerin İnce Film Halindeki Elektronik Davranışlarının İncelenmesi*”, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi
- [37] Samara, G. A., Tardy, H. L., Venturini, E. L., Aselage, T. L. and Emin, D., (1993), “*AC Hopping Conductivities Dielectric Constants and Reflectivities of Boron Carbides*”, Phys. Rev. B, 48, 3, 1468-1477
- [38] Ghosh, A., (1993), “*Complex AC Conductivity of Tellurium cuprate Glassy Semiconductors*”, Phys. Rev. B, 47, 23, 15537-15542
- [39] Gupta, V. and Mansingh, A., (1994), “*Hopping Conduction in Insulating rf-sputtered Zinc.oxide Films*”, Phys. Rev. B, 49, 3, 1989-1995

## **ÖZGEÇMİŞ**

Murat PARTO 13 Eylül 1985 İstanbul'da doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamlayan Parto, lisans eğitimini İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü'nde başlamış ve 2007 yılında mezun olmuştur. Parto, aynı yıl İstanbul Üniversitesi, Genel Fizik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Murat Parto, aynı zamanda İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Matematik Bölümünden de 2008 yılında lisans düzeyinde mezun olmuştur (Çift Anadal Programı). Özge BOZKURT PARTO ile evlidir.