

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

128697

## POLİSTİRENİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ

Gülşen AKIN

F.B.E Fizik Anabilim Dalında  
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Y.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Emel ÇINGİ

Yani Skarlatos

Durul ÖREN

Emel ÇINGİ

Yani Skarlatos

İSTANBUL, 2002

128697

# İÇİNDEKİLER

|                                                          | Sayfa |
|----------------------------------------------------------|-------|
| SİMGE LİSTESİ.....                                       | iv    |
| KISALTMA LİSTESİ.....                                    | vi    |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                       | vii   |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                     | viii  |
| ÖNSÖZ.....                                               | ix    |
| ÖZET.....                                                | x     |
| ABSTRACT.....                                            | xi    |
| 1. GİRİŞ.....                                            | 1     |
| 2. TEORİK BİLGİLER.....                                  | 2     |
| 2.1 Polimerlerin Özellikleri.....                        | 2     |
| 2.2 Polistiren.....                                      | 4     |
| 2.2.1 Polistirenin tarihi.....                           | 4     |
| 2.2.2 Polistirenin sentezlenmesi.....                    | 4     |
| 2.2.3 Polistirenin fiziksel ve kimyasal özellikleri..... | 5     |
| 2.3 Camı Geçiş Sıcaklığı, $T_c$ .....                    | 6     |
| 2.4 Polimerlerin Elektriksel Özellikleri.....            | 7     |
| 2.4.1 Elektriksel bozulma.....                           | 7     |
| 2.4.2 Alternatif-akım karakteristiği.....                | 7     |
| 2.4.3 Direnç ve iletkenlik.....                          | 8     |
| 2.4.4 Polimerlerde elektriksel iletkenlik.....           | 8     |
| 2.5 Yük İletim Mekanizmaları.....                        | 11    |
| 2.5.1 Schottky mekanizması.....                          | 12    |
| 2.5.2 Poole-Frenkel mekanizması.....                     | 18    |
| 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLAR.....                  | 20    |
| 3.1 Genel Bilgi.....                                     | 20    |
| 3.2 Akım-Zaman ölçümü.....                               | 21    |
| 3.2.1 Akım-zaman ölçüm düzeneği.....                     | 21    |
| 3.2.2 Akım-zaman karakteristiği.....                     | 21    |
| 3.2.3 DeneySEL sonuçlar ve tartışma.....                 | 22    |
| 3.3 Akım-Gerilim Ölçümü.....                             | 23    |
| 3.3.1 Akım-gerilim ölçüm düzeneği.....                   | 23    |
| 3.3.2 Akım-gerilim karakteristikleri.....                | 23    |
| 3.3.3 DeneySEL sonuçlar ve tartışma.....                 | 24    |
| 3.4 Akım-Sıcaklık Ölçümü.....                            | 24    |
| 3.4.1 Akım-sıcaklık ölçüm düzeneği.....                  | 24    |
| 3.4.2 Akım-sıcaklık karakteristikleri.....               | 25    |
| 3.4.3 DeneySEL sonuçlar ve tartışma.....                 | 26    |
| 3.5 Kapasitans-Sıcaklık Ölçümü.....                      | 27    |

|       |                                                 |    |
|-------|-------------------------------------------------|----|
| 3.5.1 | Kapasitans sıcaklık ölçüm düzeneği.....         | 27 |
| 3.5.2 | Dielektrik sabiti sıcaklık karakteristiği ..... | 28 |
| 3.5.3 | Deneysel sonuçlar ve tartışma .....             | 28 |
| 3.6   | $\beta$ & Sıcaklık Değişimi .....               | 29 |
| 3.6.1 | $\beta$ & sıcaklık karakteristiği.....          | 29 |
| 3.6.2 | Deneysel sonuçlar ve tartışma .....             | 32 |
| 4.    | SONUÇLAR.....                                   | 33 |
| 5.    | KAYNAKLAR.....                                  | 35 |
|       | ÖZGEÇMİŞ .....                                  | 37 |



## SİMGE LİSTESİ

|               |                                                             |
|---------------|-------------------------------------------------------------|
| $A^*$         | Dushman-Richardson sabiti                                   |
| $C$           | Yalıtkanın kapasitansı                                      |
| $d$           | Yalıtkanın kalınlığı                                        |
| $E_a$         | Aktivasyon enerjisi                                         |
| $e$           | Elektrik yükü                                               |
| $E$           | Elektrik alan                                               |
| $\epsilon$    | Enerji                                                      |
| $\epsilon_F$  | Fermi enerjisi                                              |
| $F$           | Klasik, çekici, sanal kuvvet                                |
| $J$           | Akım yoğunluğu                                              |
| $K$           | Kelvin                                                      |
| $k$           | Boltzman sabiti                                             |
| $M_w$         | Moleküler ağırlık                                           |
| $n$           | Elektron yoğunluğu                                          |
| $P$           | Elektron momentumu                                          |
| $\Phi_e$      | Elektrik alandan kaynaklanan potansiyel enerji              |
| $\Phi_E$      | Metalden yalıtkana doğru olan iş fonksiyonunun etkin değeri |
| $\phi, \Phi$  | Engel yüksekliği                                            |
| $\phi_m$      | Maksimum potansiyel                                         |
| $\Phi_m$      | Metalden vakuma doğru olan iş fonksiyonu                    |
| $\Phi_t$      | Toplam potansiyel enerji                                    |
| $R$           | Merkezden uzaklık                                           |
| $r$           | Yansıma katsayısı                                           |
| $S$           | Elektrotlar arasında çalışılan alan                         |
| $t$           | Zaman                                                       |
| $T$           | Sıcaklık                                                    |
| $T_c$         | Camsı geçiş sıcaklığı                                       |
| $V$           | Gerilim                                                     |
| $x$           | Alan emisyonunda merkezden uzaklık                          |
| $\beta_{sch}$ | Schottky katsayısı                                          |
| $\beta_{PF}$  | Poole-Frenkel katsayısı                                     |
| $\epsilon$    | Yalıtkanın dielektrik sabiti                                |

|                 |                                    |
|-----------------|------------------------------------|
| $\varepsilon^*$ | Dielektrik sabitinin gerçel değeri |
| $\kappa$        | Yalıtkanın iş fonksiyonu           |
| $\rho$          | Yoğunluk                           |
| $\sigma$        | İletkenlik                         |
| $\Delta$        | İki durum arasındaki farklılık     |



**KISALTMA LİSTESİ**

|     |                      |
|-----|----------------------|
| MIM | Metal-yalıtkan-metal |
| PS  | Polistiren           |



## ŞEKİL LİSTESİ

|            |                                                                                                                                   |    |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1  | Düzenli ve düzensiz yapılı malzemelerde geçiş.....                                                                                | 3  |
| Şekil 2.2  | (a)İzoataktik ve (b)ataktik polistiren gösterimleri.....                                                                          | 4  |
| Şekil 2.3  | Malzemelerin iletkenlikleri.....                                                                                                  | 9  |
| Şekil 2.4  | Metal-Yalıtkan bağlantısında yüzey durumlarını gösteren enerji şekli.....                                                         | 11 |
| Şekil 2.5  | Metalin negatif potansiyelinden yalıtkanın iletkenlik bandına Schottky geçiş olasılığı.....                                       | 12 |
| Şekil 2.6  | Sanal kuvvet potansiyel engeli.....                                                                                               | 13 |
| Şekil 2.7  | Sanal kuvvet potansiyel engeline uygulanan elektrik alanın etkisi.....                                                            | 14 |
| Şekil 2.8  | Dış kuvvetin etkisiyle iletkenlik bandına ısı ile uyarılmış olan tuzaklanmış elektronlar için potansiyel engelinin alçalması..... | 18 |
| Şekil 3.1  | Alüminyum-polistiren-alüminyum örneğinin (a) üstten görüntüsü ve (b) yandan görüntüsü.....                                        | 20 |
| Şekil 3.2  | Akım-zaman,akım-gerilim ve akım-sıcaklık ölçümü için kullanılan deney düzeneği.....                                               | 21 |
| Şekil 3.3  | Belirtilen gerilim değerlerinde Al-PS-Al için akımın zamana bağlı grafiği.....                                                    | 22 |
| Şekil 3.4  | 293K'de 140V'da 2µm kalınlığında Ag-PS-Ag örneğinde elektriksel akımın zamana bağlı grafiği.....                                  | 23 |
| Şekil 3.5  | Al-PS-Al numunesinin 27°C' deki I-V karakteristiği.....                                                                           | 24 |
| Şekil 3.6  | Al-PS-Al numunesinin 120°C' deki I-V karakteristiği.....                                                                          | 24 |
| Şekil 3.7  | 27°C' den 140°C' ye kadar alınan I-V ölçümlerinden yararlanılarak çizdirilen $\ln I \& 1000/T$ grafiği.....                       | 26 |
| Şekil 3.8  | 27°C' den 140°C' ye kadar alınan akım-sıcaklık ölçüm karakteristiği.....                                                          | 26 |
| Şekil 3.9  | 2µm kalınlığında Au-PS-Au yapısı için iletkenlik&1000/T grafiği.....                                                              | 27 |
| Şekil 3.10 | Kapasitans-sıcaklık ölçümünün deneysel düzeneği.....                                                                              | 28 |
| Şekil 3.11 | Al-PS-Al numunesinin $\epsilon^*$ nin sıcaklığa bağlılığını gösteren grafik.....                                                  | 29 |
| Şekil 3.12 | 2µm kalınlığında Ag-PS-Ag yapısı için $\epsilon^*$ nin sıcaklığa bağlı grafiği.....                                               | 29 |
| Şekil 3.13 | 27°C' de $\log J \& E^{1/2}$ grafiği.....                                                                                         | 31 |
| Şekil 3.14 | 120°C' de $\log J \& E^{1/2}$ grafiği.....                                                                                        | 31 |
| Şekil 3.15 | Ag-PS-Ag yapısı için $\log J \& E^{1/2}$ grafiği.....                                                                             | 31 |
| Şekil 3.16 | Schottky ve Poole-Frenkel modellerine göre hesaplanan deneysel ve teorik $\beta$ değerlerinin sıcaklığa bağlılığı.....            | 32 |
| Şekil 3.17 | $\beta'$ nin sıcaklığa bağlılığı.....                                                                                             | 33 |

**ÇİZELGE LİSTESİ**

|             |                                                                                                                                                                                      |    |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1 | Polistirenin fiziksel özellikleri.....                                                                                                                                               | 5  |
| Çizelge 3.1 | Farklı grafiklerdeki $T_c$ , $\Delta E_{a1}$ ve $\Delta E_{a2}$ değerleri.....                                                                                                       | 28 |
| Çizelge 3.2 | Ölçülen $\beta_{deney}$ ve Schottky ve Poole-Frenkel modellerine göre hesaplanan $\beta_{sch}$ ve $\beta_{PF}$ teorik katsayılarının dielektrik sabiti $\epsilon^*$ a bağlılığı..... | 32 |
| Çizelge 3.3 | $\beta_{deney}$ , $\beta_{sch}$ ve $\beta_{PF}$ nin sıcaklığa ve $\epsilon^*$ a bağlılığı.....                                                                                       | 33 |





## ÖNSÖZ

Tezin her aşamasında bütün sorularımı cevaplayan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, katı hal laboratuvarındaki bütün ihtiyaçlarımızı karşılayan sayın Prof.Dr. Yani SKARLATOS' a ve sayın Gülen AKTAŞ' a çok teşekkür ediyorum. Sayın hocalarımla çalışabildiğim için kendimi çok şanslı hissediyorum.

Filmlerin hazırlanmasında emeği geçen, konuyla ilgili bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen sayın Doç.Dr. Turgut NUGAY' a teşekkür ederim.

Tezimin son aşamasında bana her türlü desteği sağlayan sayın Prof.Dr. Durul ÖREN, Prof.Dr. Emel ÇINGİ ve Prof.Dr. Şaval Mamedov' a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuarda her zaman yanımda olan, her konuda bana destek olan ve anlayışlı davranan sevgili arkadaşlarım Bükem Tanören BİLEN ve Özgül Kurtuluş ERDAMAR' a, kilometrelerce uzakta olmalarına rağmen tez hakkında düşüncelerini benimle paylaşan ve makaleleri bulmamı sağlayan sevgili arkadaşlarım Canan KARAALİOĞLU, Gökhan ŞAHİN ve Özlem ÇELİK' e çok teşekkür ediyorum.

Her zaman bana destek olan ve her zorluğun üstesinden gelebileceğime inanan ilk öğretmenlerim sevgili annem Hatice AKIN ve babam Tevfik AKIN' a ve kardeşlerim Caner AKIN ve Şener AKIN' a teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak, bana her zaman,her konuda destek ve yardımcı olan ve bundan sonraki hayatı benimle paylaşacak olan sevgili nişanlım Serdar EVİNGÜR' e en içten dileklerimle teşekkür ederim.

## ÖZET

Bu tezde, Al-PS-Al numunesi, polistiren (PS) ile sandviç yapısında hazırlanmıştır ve polistirenin elektriksel özelliği incelenmiştir.

Akım-zaman ölçümleri yapılmıştır. 360s.' den sonra akım sabitlenmiştir. Bütün akım-gerilim ölçümleri bu süreden sonra alınmıştır. Bu ölçümler  $-20V$  ile  $+20V$  gerilim aralığında ve  $293K$ - $413K$  sıcaklık aralığında yapılmıştır. Elektrik akımının sıcaklığa bağlılığı  $293K$ - $413K$  sıcaklık aralığında ölçülmüştür.  $313K$ - $363K$  sıcaklık aralığında PS' nin kapasitansı ölçülmüştür.  $313K$ - $363K$  sıcaklık aralığındaki kapasitans değerleri kullanılarak dielektrik sabitinin gerçel değeri  $\epsilon^*$  hesaplanmıştır.  $293$  ve  $413K$  aralığındaki  $\log J$  &  $E^{1/2}$  grafiklerinin eğiminden  $\beta_{deney}$  değerleri hesaplanmıştır. Schottky ve Poole-Frenkel katsayıları  $\beta_{sch}$  ve  $\beta_{PF}$  hesaplanmıştır.

I-V karakteristikleri, I-T karakteristikleri ile karşılaştırılmıştır.  $\beta_{deney}$ ;  $\beta_{sch}$  ve  $\beta_{PF}$  ile karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda, Al-PS-Al numunesinin iletkenlik mekanizması belirlenmiştir. Bu mekanizma; yalıtıkta bulunan tuzaklanmış elektronların, uygulanan elektrik ve termik enerji vasıtasıyla iletkenlik bandına uyarılması olarak tanımlanan Schottky iletkenlik mekanizmasıdır

**Anahtar Kelimeler:**Polistiren, elektriksel özellikler, sıcaklığa bağlılık, Schottky mekanizma, Poole-Frenkel mekanizma.

## ABSTRACT

In this thesis, Al-PS-Al specimen was prepared as sandwiched structure with polystyrene(PS) and the electrical properties of Al-PS-Al were examined.

The measurements of current-time was made. The stationary state was reached after about 360s. All present current-voltage measurements were started after this time. They were made in the voltage interval from  $-20\text{V}$  to  $+20\text{V}$  and in the temperature range of  $293\text{K}$ - $413\text{K}$ . The temperature dependence of the electrical current was measured in the temperature range of  $293\text{K}$ - $413\text{K}$ . The capacitance of PS was measured in the temperature range of  $313\text{K}$ - $363\text{K}$ . The real part of dielectric constant  $\epsilon^*$  was calculated by using capacitance values at different temperatures.  $\beta_{\text{exp}}$  values were determined from a  $\log J$  &  $E^{1/2}$  plot of the I-V characteristics between  $293$  and  $413\text{K}$ . The Schottky and Poole-Frenkel coefficients  $\beta_{\text{sch}}$  and  $\beta_{\text{PF}}$  were calculated.

The I-V characteristics were compared with I-T characteristics.  $\beta_{\text{exp}}$  was compared with  $\beta_{\text{sch}}$  and  $\beta_{\text{PF}}$ . As a result, the conductivity mechanism of Al-PS-Al was determined. This mechanism is Schottky conductivity mechanism, which describes the electron transfer by a mechanism of field enhanced thermal excitation of trapped electrons into the conduction band of the solid.

**Keywords:** Polystyrene, electrical properties, temperatures dependence, Schottky mechanism, Poole-Frenkel mechanism.

## 1. GİRİŞ

Polimerlerin elektriksel uygulamalara en önemli katkısı yalıtkanlıklarıdır. Çok yüksek elektrik alanlarına dayanıklılıkları sayesinde yüksek gerilim uygulamalarında yalıtkan olarak kullanılırlar. Fakat son zamanlarda yapılan çalışmalarda bazı polimerlerin yüksek elektriksel iletkenliğe sahip oldukları anlaşılmıştır. Bu malzemeler, ışığa duyarlı malzemeler ile kullanılıncı elektrofotograf endüstrisinde gelişmeler kaydedilmiştir. Bu gelişmelere ek olarak; güneş enerjisinden yararlanmak için ışığa duyarlı malzemelerin gelişimine önem verilmiştir. Bu çalışmalarda, düzensiz yapıya sahip malzemeler olan polimerler de kullanılmıştır. Böylelikle, ışığa duyarlı malzemeler ile polimerik malzemelerin birlikte kullanılması durumunda polimerlerden daha fazla yararlanılabileceği düşünülmüştür. Geçtiğimiz yirmibeş yıl içerisinde, polimerlerin elektriksel özelliği ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır. Elektronik cihazlarda gerilim uygulamaları, elektrofotograf endüstrisindeki uygulamalar, devre anahtarları, fotovoltaiik ve yalıtkan malzemelerin incelenmesi sonucu polimerlerin elektriksel özelliği ile ilgili çalışmalar önem kazanmıştır. Polimerlerde elektriksel yük iletimi 1998 ve 1999 yılında Efimenko tarafından araştırılmıştır. Bu araştırmalarda polimerlerin yük iletim mekanizması Schottky ve Poole-Frenkel ile açıklanmıştır (Seanor,1982).

Bu tezde, metal-yalıtkan-metal (MIM) sandviç şeklinde hazırlanan polistirenin elektriksel özelliği incelenmiştir.

İkinci bölümde, polimerlerin bağ yapısı, polistirenin sentezlenmesi, polistirenin fiziksel ve kimyasal özellikleri, polimerlerde camsı durumdan elastik duruma geçiş, polimerlerde elektriksel bozulma, alternatif akım ölçümleri, polimerlerin elektriksel iletkenliği ve yük iletim mekanizmaları tartışılmıştır.

Üçüncü bölümde; akım-zaman, akım-gerilim, akım-sıcaklık ölçümlerinin deney düzenekleri, bu deneylerde kullanılan cihazlar ve yapılan ölçümlerin sonuçları açıklanmıştır.

Dördüncü bölüm, tezin son bölümüdür. Yapılan çalışmanın kısa bir tartışmasını ve sonucunu içermektedir.

## 2. TEORİK BİLGİLER

### 2.1 Polimerlerin Özellikleri

Polimer malzemeler, bölgesel yapılarında değişiklerin yapılabilmesi ve sentezlenebilmesi nedeniyle tektir. Bu malzemeler, amorf, kristal veya kristal ve amorf yapıda bulunabilirler.

Polimer zincirleri arasındaki etkileşim zayıftır. Polimer zincirleri farklı şekillerde yer alabilir ve mekanik olarak zincirlerin şekilleri değiştirilebilir. Yalnız, polimer zincirleri ile kimyasal birimler tek bir uzaysal düzene sahip değildir. Polimerler, bir çok malzeme gibi bir tek molekül ağırlığına da sahip değildirler. Dağılım fonksiyonu yerine ortalama molekül ağırlığı ile tanımlanırlar.

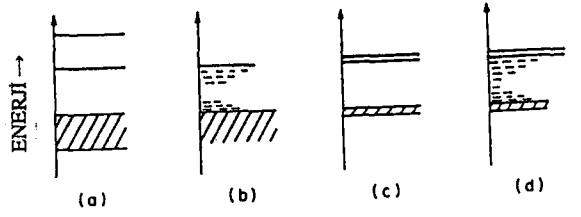
Düzenli yapıya sahip, kovalent ve iyonik bağ yapısına sahip organik olmayan malzemelere karşın polimerler, zayıf bağlara ve düzensiz yapıya sahip malzemelerdir. Düzenli, güçlü bağlara sahip malzemelerden (silisyum ve elmastaki karbon); zayıf, düzensiz yapıya sahip malzemelere ve zayıf bağlara sahip uzun zincirli polimerlere kadar olan bütün malzemelerin elektriksel özellikleri araştırılabilir.

Kovalent bağa ve hareketli atomlara sahip silisyumun bant yapısı, izinli elektron enerji seviyesi ile tanımlanır. Enerji seviyeleri geniştir, çünkü atomlar arası etkileşimler güçlüdür ve atomlar düzenli bir aralığa sahiptirler (Şekil 2.1(a)).

Moleküler kristallerde, örneğin antrasinde, moleküller arası etkileşimler güçlüdür. Gerçekte orbitallerin karışık bir durumda olduğu ve bağların oluşumu düşünüldüğünde yeni bir bant yapısı tanımlanmıştır. Bu bant yapısında moleküller arası uzaklıklar büyük ve kristalin enerji bantları birbirine yakındır (Şekil 2.1(c)).

Düzensiz yapıdaki kovalent bağlı malzemelerin iletkenlik bandında, izinli enerji seviyeleri vardır ve yük taşınımı izinli enerji seviyelerinde oluşmaktadır (Şekil 2.1(b)) (Mott,1979).

Son olarak (Şekil 2.1(d))'de, düzensiz yapıdaki moleküler malzemeler veya polimerler bir bant yapısına sahip olmayabilirler. Birçok izinli dipol seviyelerinin düzensizce birleşmesiyle moleküler seviyeler ve moleküler iyon seviyeleri oluşabilir. Böylelikle birçok geçiş özellikleri düzensiz moleküler malzemeler için tektir. Polimerler için bazı özelliklerin tanımlanması, moleküler iyon seviyelerinin ve farklı polarizasyon bölgelerinin varlığı nedeniyle zordur.



Şekil 2.1 Düzenli ve düzensiz yapılı malzemelerde geçiş (a) kovalent, düzenli, (b) kovalent, düzensiz (c) molekülleri düzenli ve (d) molekülleri düzensiz (Seanor,1982).

Serbest yükler, moleküler iyon olarak kalabilir, polar bölgede kalabilir veya enerji seviyelerinin ortasındaki bölgenin polarizasyonu nedeniyle bu bölgede de kalabilirler.

Polimerlerin yapısı üç bölümden oluşmaktadır (Seanor,1976). Birinci bölüm, temel kimyasal bileşimin olduğu bölümdür. Polimerlerin değişmeyen ve tekrar olmayan kısmı olan monomerler, polimerlerin hareketlerine karar verir. Polimer yapısının ikinci bölümü, monomer birimlerinden başlayarak dev polimer moleküllerinin oluşmasına yol açan tepkimelerin tümü polimerleşme olarak adlandırılır. Polimer yapısının üçüncü ve son bölümü, büyük boyutlu, uzun polimer zincirleri çok sayıda aynı atom veya gruplardan oluşan tekrarlanan birimlerden meydana gelir. Makromoleküllerin içinde bulunan böyle tekrarlanan gruplara elementel birimler veya monomerik birimler denir. Örneğin, polistiren için tekrarlanan birim  $[-CH_2-CH-(C_6H_5)-]_n$ ' dir.

Bütün bu bilgilere ek olarak sayısal bilgi de verilebiliriz.  $10^6$  moleküler ağırlıklı bir polimer  $1cm^3$ 'de  $12 \cdot 10^{18}$  sonlu gruba sahiptir.  $10^{-17} \Omega^{-1}cm^{-1}$  iletkenlikli ve  $10^{-5}cm^2/V.s$  mobiliteye sahip bir polimer yalnızca  $1cm^3$ ' de  $10^8$  serbest hareket eden yüklere sahip olur (Seanor,1982).

## 2.2 Polistiren

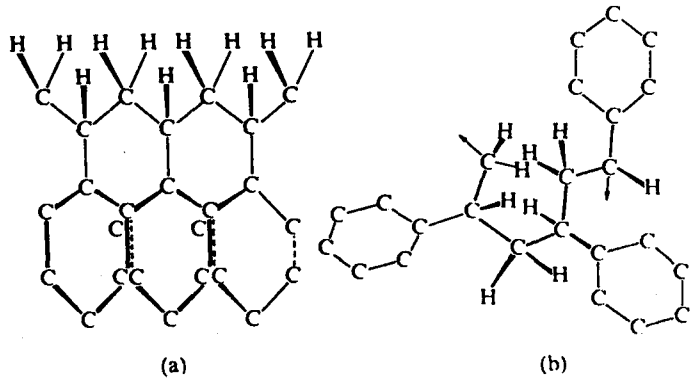
### 2.2.1 Polistirenin tarihi

Stirenin ilk polimerizasyon araştırmaları Ostrominski (1911-1925) tarafından yapılmıştır ve bu çalışmalara Staudinger (1925-1935) tarafından devam edilmiştir. Polistirenin ilk buyk çaplı etimi 1935 yılında Dow kimya şirketi tarafından yapılmıştır. İkinci dünya savaşı boyunca Almanya ve Amerika'da büyük oranda üretimler yapılmıştır (Pethrick,1984). Polistirenin, çok düşük dielektrik kayıp özelliğine sahip olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle, savaş zamanında, polistirenden radar kablolar yapılmıştır (Apridge, 1975).

### 2.2.2 Polistirenin sentezlenmesi

Monomer stiren, benzene % 70 oranında etilenin eklenmesi ile sentezlenir ve bunu izleyen aşamada sıvı hale getirilir. Polistirenin genellikle sürekli ktle polimerizasyon yoluyla ve küçük parçalar halinde yapılması uygundur. Emülsiyon polimerizasyon sayesinde tekrar ayrılabilir parçalar elde edilir. Polimerizasyon işleminde pentane (petrolde bulunan uçucu bir gaz) köpüğe dönüşür. Stiren diğer polimerlerle birleştirilirse, stirenin mekanik ve sıcaklık özellikleri geliştirilebilir.

Polistirenin, solüsyondaki polimerizasyonu sonucu çok şeffaf polistiren elde edilir, fakat genellikle molekül ktle dağılımı enjeksiyon kalıbına dökmeye uygun değildir. Solüsyondaki polimerizasyon yaklaşık molekül ağırlık dağılımına sahip elektrik ve sıcaklığı geçirmeyen polimer ile sonuçlanır. Polimerlerde en yüksek molekül ağırlığı, 200000 ile 300000 arasında değişmektedir. Polimer simetrik değilse ve zincir dizilişinde düzensizse bu polimer ataktik polimerdir. Fakat, polimerin molekül grupları düzenli bir diziliş gösteriyorsa bu polimer izoataktik polimerdir. Polistiren, kısmen kristal olan izoataktik polimerlerin dışında amorf polimerdir.



şekil 2.2 (a) İzoataktik ve (b) ataktik polistirenin gösterimleri (Apridge,1975).

### 2.2.3 Polistirenin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Polistirenin kristali; şeffaf, parlak ve kolay kırılabilir yapıya sahiptir. Dayanıklılığı, zamana ve sıcaklığa bağlıdır. Polistirenin sıcaklığa bağlılığı 60°C ve 90°C arasında ayırt edici özellik göstermektedir. Bu polimer neme ve tuzlu solüsyonların, alkali sıvıların ve oksitlenmeyen asitlerin, esterlerin (asitlerin alkollere etkisiyle elde edilen organik bileşik), ketonların ve eterlerin direncine duyarlıdır. Petrol, uçucu bitkisel yağlar ve aromalar polistirene karşı etkilidirler. Polistirenin kırılabilirlik özelliği, polistirenin çevresel direncini ve dayanım gücünü azaltmaktadır (Apridge,1975).

Polistiren, amorf yapıya sahiptir. İzotaktik formu stereospesifik polimerizasyon yöntemle hazırlanır. Bu polimer elektrostattır, kolaylıkla yanma özelliğine sahiptir, ışık altında kolaylıkla kırılabilir ve rengi sarıya doğru değişir. Çok sayıdaki malzeme ısısal kararlılıkta üretilir. Buna rağmen, polistirenin ısısal kararlılığı zayıftır (TMMOB,2001). Tablo 2.1’de polistirenin tipik özelliklerinin özeti yer almaktadır (Pethrick,1984).

Çizelge 2.1 Polistirenin fiziksel özellikleri (Pethrick,1984).

| Fiziksel nitelik      | Birimi                        | Polistirenin sınıflandırılması |                               |                     |
|-----------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------|
|                       |                               | Kalıplanmış                    | Yüksek derecede sıkıştırılmış | Kendi kendine sönen |
| Yoğunluk              | gr/cm <sup>3</sup>            | 1.04 – 1.09                    | 1.04 – 1.10                   | 1.08                |
| Buharlaşma sıcaklığı  | ° C                           | 80 – 90                        | 90 – 100                      | 90 – 100            |
| Camsı geçiş sıcaklığı | ° C                           | 95 max                         | 95 max                        | 85                  |
| Suyu emme yüzdesi     | %                             | 0.03 – 0.1                     | 0.05 – 0.6                    | 0.25                |
| Isı iletkenliği       | (10 <sup>-4</sup> J/ s cm° C) | 2.4 – 3.3                      | 1.0 – 3.0                     | 2.4 – 3.3           |
| Isı sığası            | (J /° Cg)                     | 0.32                           | 0.32 – 0.35                   | 0.35                |
| Sertlik               | Shore (D) or Rockwell(R)      | M70 – 80                       | M40 – 70                      | M70                 |
| Gerilme direnci       | kg /cm <sup>2</sup>           | 350 – 640                      | 150 – 490                     | 490 – 560           |
| ε *                   | -                             | 2.4 – 2.7                      | 2.4 – 3.8                     | 2.7 – 3.2           |
| Dağılma faktörü       | (10 <sup>6</sup> Hz)          | 0.0001 – 0.0004                | 0.0004 – 0.002                | 0.0001 – 0.0008     |



### 2.3 Camsı Geçiş Sıcaklığı, $T_c$

Camsı durumdan elastik duruma geçiş polimerlerin en önemli özelliklerindendir. Bu bölge, polimerlerin fiziksel özelliklerinde önemli değişikliklerin meydana geldiği bölgedir, örneğin sertlik ve esneklik vb. Bu değişiklikler tersinir olaylardır. Buna karşın polimerlerin camsı durumdan elastik duruma geçişi polimerlerin yapısına değil, polimerlerin molekül hareketlerine bağlıdır. Elastik duruma benzer veya erime durumundaki polimerlerin zincirleri düzenli bir şekilde hızlı hareket ederler. Birleşik hareket yapan zincirdeki moleküller enerji engellerinin üstesinden gelebilmek için yeterli ısı enerjisine sahip değillerse zincirdeki moleküllerin hareketleri yavaşlar. Bu sıcaklık camsı geçiş sıcaklığı olarak bilinmektedir.  $T_c$  sıcaklığının altındaki değerlerde polimerler camsı özellikte olurlar.

Camsı durumdan elastik duruma geçiş polimerlerin yapısına bağlı olmamasına rağmen, camsı geçiş sıcaklığı sentetik polimerler için 170K ile 500K arasındadır. Camsı geçiş sıcaklığı, her polimer için önemli karakteristik özelliktir. Bu özellik, gerilim uygulamalarında gözlemlenmiştir.

Camsı geçiş sıcaklığı; ısı enerjisinin polimer zincirindeki moleküllerinin ne kadarını harekete geçirdiğine bağlıdır. Polimer zincirindeki moleküllerin dönmesini etkileyen faktörler vardır. Bu faktörler  $T_c$  değerini etkilemektedir. Bu faktörler şunlardır: Polimer zincirinin esnekliği, molekülün yapısı, mol kütlesi, dallanma ve dolanma (branching ve crosslinking).

Yaşlanma etkileri olan oksitlenme ve ultraviyole ışığın etkisiyle; polimerin camsı geçiş sıcaklığı zamanla değişebilir. Sıcaklık arttıkça, molekül ağırlığının da arttığı gözlemlenebilir. Örneğin, polistirenin  $T_c$  değeri, 40°C'de  $M_n=3000$  molekül ağırlığından 100°C' de  $M_n=300000$  molekül ağırlığına arttığı gözlemlenmiştir (Malcolm, 1999).

## 2.4 Polimerlerin Elektriksel Özellikleri

### 2.4.1 Elektriksel bozulma

Malzemede fiziksel çatlama veya kırılma ve akımın aşırı akmasının dışında; denge durumunda, uygulanan gerilim malzemede korunamadığı müddetçe elektriksel bozulma meydana gelir. Malzemenin bozulmasında uygulanan gerilimin stresi “gerilim bozulması” olarak bilinmektedir. Bozulmadaki gerilimin gradienti, dielektrik güç veya elektriksel güç olarak bilinir ve birimi kV/mm’dir.

Malzemenin bulunduğu koşullar ve malzemenin karakteristikleri çeşitli bozulma yöntemlerini belirler. Bunlar; özden bozulma, ısı bozulma, yapısal bozulma, yükün boşalmasına bağlı bozulma ve elektrokimyasal bozulmadır. Malzemenin bazı koşullar altında kullanımı, malzemenin özelliklerini tayin etmek için gereklidir. Çünkü, bu koşullar plastiğin gerilim performansını etkileyebilir. Bu faktörler şunlardır: malzemenin geometrisi ve kalınlığı, zaman, elektriksel yükün boşalması, dallanma, sıcaklık, frekans, nemlilik, ve termal yaşlanma.

### 2.4.2 Alternatif-akım karakteristiği

Plastiklerin a-c karakteristiklerini tespit etmek, d-c direnci ve elektriksel bozulmayı tespit etmekten daha zor olabilir. Fakat, bu ölçümlerden önemli teorik ve pratik bilgiler elde edilebilir. Polimer yalıtkan malzemelerde; alternatif gerilimin etkisi düşünülürse, malzemedeki yük taşıyıcılarının göçü ile iletkenlik gerçekleştirilebilir. Bir yalıtkan malzemenin hareketli yükleri olabilir veya elektriksel alanın etkisiyle sınırlı büyüklükteki ve çeşitli özellikteki yerlerinden ayrılmış hareketli yüklerinin sayısı artırılabilir. Böylelikle iletkenliğe katkıda bulunulabilir. Bu durumda, sıcaklık ve uygulanan gerilimin frekansına bağlı olarak enerji tüketilir.

Dielektrik sabiti sıcaklık ve frekansa bağlı olarak polar ve polar olmayan polimerlerde çok farklıdır. Polar polimerlerde örneğin polistiren ve plastik duruma getirilmiş PVC vb. dielektrik sabiti, artan sıcaklık ile azalır. Bu değişiklik frekansta da benzer şekildedir.

Polar polimerlerin a-c karakteristikleri sıcaklıktan oldukça güçlü bir şekilde etkilenir. Yüksek sıcaklıklarda, moleküllerin ısı alışverişi; elektrik alanda dipollerin bir düzen oluşturmalarını engeller. Düşük sıcaklıklarda, moleküllerin ısı alışverişi çok az bir etkiye sahiptir (Kroschwitz,1988).

### 2.4.3 Direnç ve iletkenlik

Elektriksel dayanımı etkileyen faktörlere direnç ölçümleri ile karar verilir. Ayrıca direnç ölçümleri, polimer malzemelerin temel karakteristiklerinin araştırılmasında yararlıdır.

Yalıtkanlık direnci; iletkenlerin geometrisi dikkate alınmaksızın veya elektrotlar arasında, malzemenin ölçülen d-c direnci olarak tanımlanır. Yalıtkanlık direnci, yüzey ve hacim direncinin birleşimidir.

Bir yalıtıkana gerilim uygulandığında, akım akışı üç şekilde meydana gelebilir. 1) küçük numunelerde birkaç saniye devam eden kapasitans yükleme akımı, 2) uzun sürede yavaşça yok olan fakat birkaç saat için pratikte önemli olan soğurma akımı, 3) teoride önemli olan, pratikte ise az önemli olan elektron akımı veya zamanla düzenli olarak sabit olan iyon akımı. Gerilimin etkisi ortadan kaldırılırsa, kapasitans yükleme akımı düşer buna karşın soğurma akımı uzun süre etkin kalabilir. Elektriksel olarak zayıf veya nemli plastiklerde, düzenli, büyük ve sabit iyonik akım akışı görülür fakat düzenli küçük soğurma akımı görülemeyecek kadar ufak bir değerdedir.

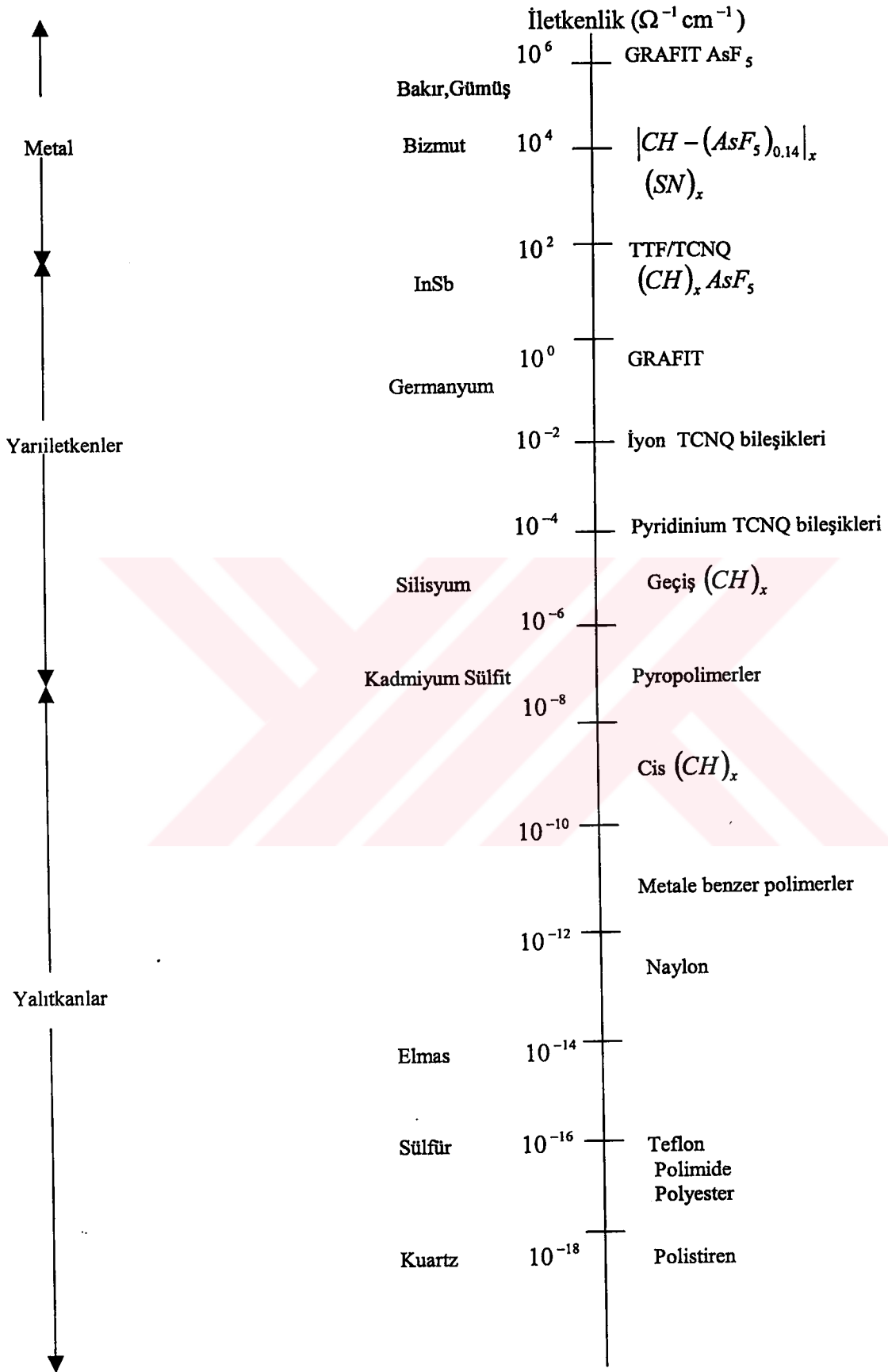
Direnç ölçümlerinde, diğer önemli faktörler gerilim, sıcaklık, ısısal yaşlanma ve nemdir.

### 2.4.4 Polimerlerde elektriksel iletkenlik

Elektriksel iletkenlik ölçümleri; basit ölçümler olan akımın zamana, sıcaklığa, basınca, ve gerilime bağlı ölçümlerini içermektedir. Elektriksel iletkenlik, fiziksel olarak polimerlerde de gerçekleşebilmektedir. Elektriksel iletkenlik, sıcaklıkla eksponensiyel olarak değişmektedir. Elektriksel iletkenlik, zamanın ve elektriksel alanın fonksiyonudur.

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right) = f(\text{ zaman, elektrik alan}) \quad (2.1)$$

burada;  $\sigma$ , iletkenlik;  $\sigma_0$ , iletkenlikteki ilk durum;  $E_a$ , aktivasyon enerjisi; k, Boltzman sabiti ve T, sıcaklıktır. Aktivasyon enerjisindeki değişikliğe camsı geçiş sıcaklığı ile karar verilebilir. Bu durumda, katkı maddesi olmadan oluşan yük taşıyıcılarının meydana gelmesini göstermek için katı hal fiziğinde tanımlanan klasik yarı iletkenler teorisinden yararlanılabilir.



Şekil 2.3 Malzemelerin iletkenlikleri (Seanor, 1982).

Bu açıklama şunun içindir: yük taşıyıcıları ve oluşum mekanizması polimerler için özendir. Birçok ayrıntılı çalışmalar, bu açıklamanın çok detaylı soruları için yol gösterici olmuştur. Bu çalışmalar sonunda doğrusal olmayan akım-gerilim karakteristikleri gözlenmiştir, elektrotların etkileri ve bazen de zamanla tersinir olmayan değişiklikler görülmüştür (Seanor,1982).

Kristalin polimerlerde önemli düzen vardır ve bant teorisi düzenli maddelerde geçerli olduğu için kristalin polimerlerde de uygulanabilir. Fakat, deneyler sonucunda amorf polimerlerde bant teorisinin geçerli olmadığı görülmüştür. Klasik bant teorisinde geçerli olan iletkenliğin sıçrayış mekanizması amorf polimerlerde gözlemlenememiştir. Bundan dolayı, bu tür polimerlerde, hem örgü bozukluklarının hem de katkıların yasak bant içersinde safsızlık seviyeleri oluşturduğu düşünülmektedir. Bu durumda klasik bant teorisi Mott ve Davis' in teorisi ile uygunluk göstermektedir. Sonuç olarak, amorf polimerlerde safsızlık seviyeleri birleşerek daha dar bir bant oluşturabilir ve geçişler bu seviyelerden olabilir (Mamedov,2001).

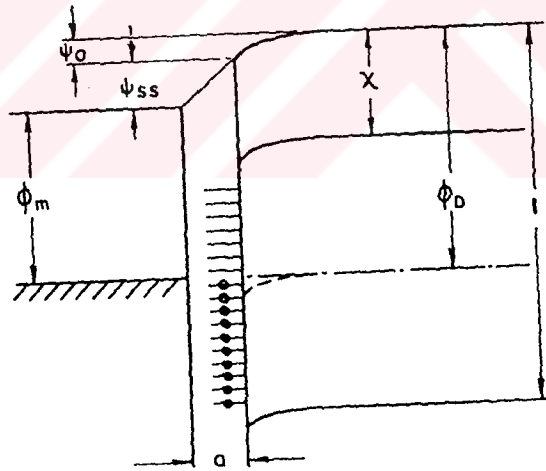
## 2.5 Yük İletim Mekanizmaları

Elektronların; metalin Fermi seviyesinden yalıtkandaki iletkenlik bandına termoiyonik olarak 1 eV'luk potansiyel engelini geçmeleri oldukça yavaş bir olaydır. Richardson'ın akım denklemi, (2.2) denklemi gibidir.

$$J = A T^2 \exp \left[ -\frac{(\Phi - \kappa)}{kT} \right] \quad (2.2)$$

Burada; J, akım yoğunluğu; A, Richardson sabiti; T, sıcaklık;  $\Phi$ , metalin iş fonksiyonu;  $\kappa$ , yalıtkanın iş fonksiyonu; ve k, Boltzman sabitidir. Bu denklem  $\Phi - \kappa = 1\text{eV}$  değeri için, yaklaşık  $10^{-7} \text{ A.cm}^{-2}$  değerinde bir akım yoğunluğu ve böylelikle  $10^{-3} \text{ A}$  akım için  $10^4 \text{ s}$  gerekli olacaktır. Bu süre, düşük engel yüksekliği için bir problem oluşturmaz.

Yalıtkanların bant aralığında uygun enerji seviyeleri için doğrudan geçişler meydana gelmelidir. Alan etkili yarıiletken cihazların gelişimi nedeniyle, metal-yalıtkan yapılarının elektriksel durumları önem kazanmıştır (Şekil 2.4).

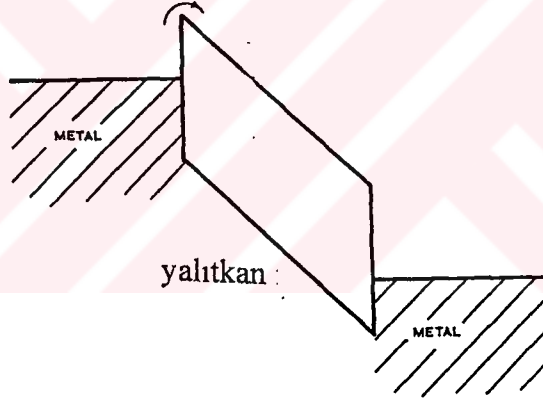


Şekil 2.4 Metal-yalıtkan bağlantısında yüzey durumlarını gösteren enerji şekli. Burada  $\Phi_m$ , metalin iş fonksiyonu,  $\Phi_D$ ,  $\chi$  ve l yalıtkanın iş fonksiyonu, elektron çekme ve iyonizasyon enerjisidir. İçi dolu daireler, dolu yüzey durumlarını; içi boş daireler, kalınlık a'yı geçerek yüzeyde  $\Psi_0$ , potansiyel farkına sebep olan enerji seviyelerini göstermektedir (Seanor, 1982).

Metal-yalıtkan-metal sandviç yapısına; gerilim uygulandığında geçen akımın davranışı hem kural dışı polarizasyon etkisiyle veya enjeksiyon akımı akışı ile açıklanabilir (Wintle,1975). Fakat, (Sze,1981; Schottky,1938; Frenkel,1938)'deki açıklamalara göre organik olmayan dielektriklerde yüklerin taşınımı için temel iletkenlik mekanizmaları olan Schottky ve Pool-Frenkel tanımlanmıştır. Schottky mekanizmasında, yalıtkanda bulunan tuzaklanmış elektronların, uygulanan elektrik ve termik enerji vasıtasıyla iletkenlik bandına uyarılması mümkündür (Ghafor,2000). Poole-Frenkel yaklaşımında ise, uygun olan enerji seviyeleri arasında doğrudan geçişler ile iletkenlik gerçekleşmektedir (Seanor,1982; Campos,vd.,1996).

### 2.5.1 Schottky mekanizması

Bu tip mekanizmada, negatif potansiyelde metalden elektron emisyonu, termoiyonik emisyon ile benzerdir. Fakat, termoiyonik emisyonda, uygulanan alan nedeniyle engel yüksekliği düşmemektedir.



Şekil 2.5 Metalin negatif potansiyelinden yalıtkanın iletkenlik bandına Schottky geçiş olasılığı (Lamb, 1967).

Schottky emisyonunun temel özellikleri hesaplanabilir. Yüklenmemiş metalin yüzeyinden  $x$  kadar uzaklıkta bir elektron düşünelim. Burada  $x$ , atomlar arası uzaklıktan çok çok büyüktür. Fakat  $x$ , yüzeyin boyutundan çok çok küçüktür. Elektrondaki kuvvet, klasik çekici sanal kuvvet olan  $F'$ 'dir.

$$F = - \frac{e^2}{4\epsilon x^2} \quad (2.3)$$

Burada;  $e$ , elektronun yükü ve  $\epsilon$ , yalıtkanın dielektrik sabitidir.

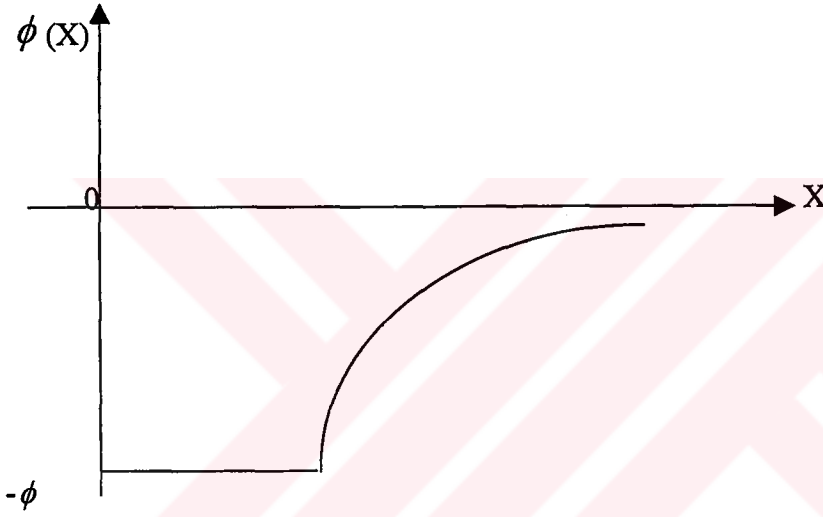
Potansiyel enerji bu kuvvet ile bağlantı kurularak yazılabilir.

$$\phi = - \frac{e^2}{4\epsilon X^2} \quad (2.4)$$

Gerçek potansiyel Şekil 2.6'da gösterildiği gibi düşünülebilir.

İkinci koşul, metalin içine uygulanan potansiyelin  $X'$  e göre türevi  $\frac{d\phi}{dX}$  sürekli olmalıdır.

(2.5) denklemi bu koşulu sağlamamaktadır. Buna karşın, bunu izleyen basit yaklaşımda süreksizlik ihmal edilecektir.



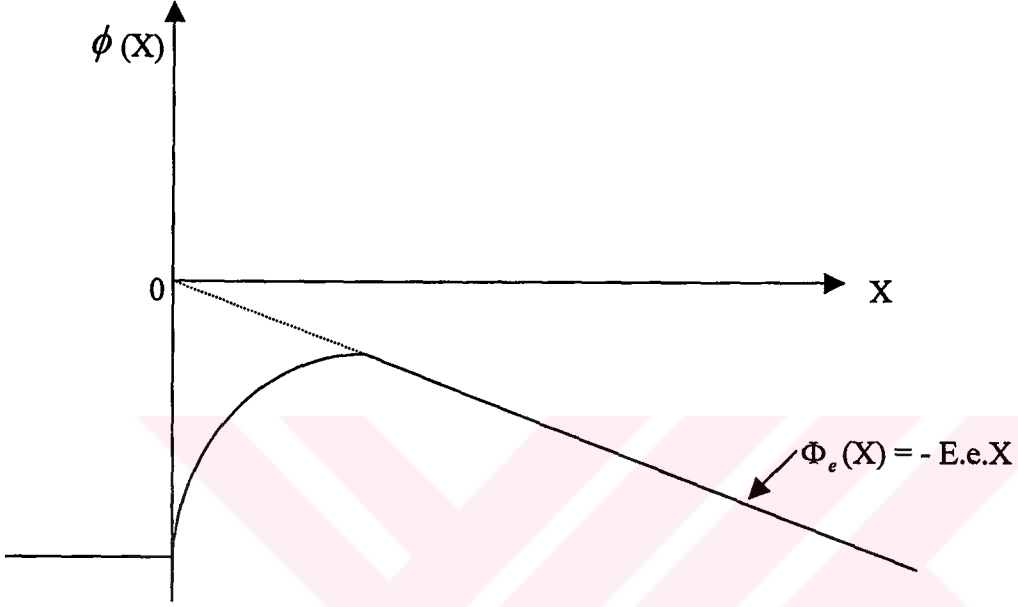
Şekil 2.6 Sanal kuvvet potansiyel engeli (Seitz, 1940).

$$\phi(X) = \left\{ \begin{array}{ll} - \frac{e^2}{4\epsilon X + \frac{e^2}{\phi}} & X \geq 0 \\ -\phi & X \leq 0 \end{array} \right. \quad (2.5)$$



Metal, negatif olarak yüklenirse; uygulanan elektrik alan  $E$ , potansiyel enerjinin  $\Phi_e$  'nin eklenmesi ile hesaplanmalıdır. Böylelikle elektronun toplam potansiyel enerjisi  $\Phi_t$ , Şekil 2.7'deki ve denklem (2.7)'deki gibi olur.

$$\Phi_e = - E.e.X \quad (2.6)$$



Şekil 2.7 Sanal kuvvet potansiyel engelinde uygulanan elektrik alanın etkisi (Seitz,1940).

$$\Phi_t = \left\{ \begin{array}{ll} - \frac{e^2}{4\epsilon X + \frac{e^2}{\phi}} - E.e.X & X \geq 0 \\ - \phi & X \leq 0 \end{array} \right\} \quad (2.7)$$

denklemindeki gibi yazılabilir.

$$\phi_m \cong - \frac{E^{\frac{1}{2}} \cdot e^{\frac{3}{2}}}{2\epsilon^{\frac{1}{2}}} \quad (2.8)$$

Böylelikle metal-yalıtkan yapısında iş fonksiyonunun etkin değeri (2.9)' daki gibi yazılabilir.

$$\Phi_E = \phi - \frac{E^{\frac{1}{2}} \cdot e^{\frac{1}{2}}}{2\epsilon^{\frac{1}{2}}} \quad (2.9)$$

Şimdi ise enerjisi (2.10)' daki denklemde verilen bir elektron düşünelim.

$$\epsilon = \frac{1}{2m} (P_x^2 + P_y^2 + P_z^2) \quad (2.10)$$

burada;  $P_x, P_y, P_z$ ; x, y, z eksenindeki elektronun momentumları; m, elektronun kütlesidir.

Böylelikle,  $\epsilon = f(x)$  şeklinde düşünebiliriz. Çünkü,  $P_y, P_z$  değerleri, elektron x ekseninde hareket ederken değişmeyen değerlerdir.

Elektronun engeli aşabilmesi için elektronun x eksenindeki enerjisi  $\epsilon_x$ , engelin yüksekliğinden çok büyük olmalıdır. Böylelikle elektronun toplam enerjisi  $\epsilon$ , engelin yüksekliği ile  $\frac{1}{2m} (P_y^2 + P_z^2)$ ' nin toplamından çok büyük olmalıdır.

$$\epsilon_x \geq \phi - \frac{E^{\frac{1}{2}} \cdot e^{\frac{3}{2}}}{2\epsilon^{\frac{1}{2}}} = \epsilon_F + \Phi_E \quad (2.11)$$

Burada;  $\epsilon_F$ , elektronun dağılımının Fermi seviyesindeki enerjisidir.

$$\epsilon \geq \epsilon_F + \Phi_E + \frac{1}{2m} (P_y^2 + P_z^2) \quad (2.12)$$

Şimdi (2.12)' deki denklemdeki enerjiye sahip olan elektronların sayısı hesaplanmalıdır. d  $P_x$  d  $P_y$  d  $P_z$  momentum uzayındaki hacim elementinde mümkün olan seviyelerin sayısı (2.13)' deki denklem gibidir.

$$(2 d P_x d P_y d P_z) / h^3 \quad (2.13)$$

Böylelikle  $p_x \rightarrow p_x + dp_x$ ,  $p_y \rightarrow p_y + dp_y$ ,  $p_z \rightarrow p_z + dp_z$  momentum aralığında bulunan elektronların sayısı (2.14) denklemindeki gibidir.

$$n(p_x, p_y, p_z) dp_x dp_y dp_z = \frac{2}{h^3} \frac{dp_x dp_y dp_z}{\exp[(\epsilon - \epsilon_F)/kT] + 1} \quad (2.14)$$

Burada; n, elektronun yoğunluğudur. Böylelikle,

$$n(p_x) dp_x = \frac{2}{h^3} dp_x \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dp_y dp_z}{\exp[(\epsilon - \epsilon_F)/kT] + 1} \quad (2.15)$$

yazılabilir. Buna karşın (2.12) denklemindeki enerji  $\epsilon - \epsilon_F \geq \Phi_E + \frac{1}{2m}(p_y^2 + p_z^2)$  dir. (2.15)

denkleminin paydasındaki terim  $\Phi_E + \frac{1}{2m}(p_y^2 + p_z^2) \geq kT$  ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilir. Bundan dolayı

$$n(p_x) dp_x = \frac{4\pi mkT}{h^3} \exp[(\epsilon_F - \epsilon_x)/kT] dp_x \quad (2.16)$$

yazılabilir. Burada; m, elektronun kütlesi; k, Boltzman sabiti; T, sıcaklık; h, Planck sabiti;  $\epsilon_F$ , Fermi enerjisi;  $\epsilon_x$ , x eksenindeki elektronun enerjisidir.

$\epsilon_x > \epsilon_F + \Phi_E$  enerjisi ile elektronları engelden geçemezlerse, emisyon akım yoğunluğu; yeterli enerjiye sahip engelden ayrılan elektronların sayısı ile engelden geçme olasılığının çarpımı olarak tanımlanır. Engelden yansıma terimi  $r(p_x)$  ise, engelden geçme olasılığı  $1-r(p_x)$  dir. Saniyede, birim alanda engelden ayrılan elektronların sayısı  $\nu_x n_x(p_x) dp_x$  dir.

Burada;  $\nu_x$ , x eksenindeki elektronların hızlarıdır. Böylelikle emisyon akım yoğunluğu (2.17) ve (2.18)' deki denklemleri ile ifade edilebilir.

$$J = \frac{e}{m} \int_{\epsilon_{x0}=\epsilon_F+\Phi_E}^{+\infty} n(p_x) p_x [1-r(p_x)] dp_x \quad (2.17)$$

$$J = \frac{e}{m} (1-r) \int_{p_{x0}}^{+\infty} n(p_x) p_x dp_x \quad (2.18)$$

Burada; r, yansıma katsayısının ortalama uygun değeridir ve  $p_{x0}$ ,  $\epsilon_x = \epsilon_{x0} = \epsilon_F + \Phi_E$  enerji terimine bağlı olan momentum değeridir.

(2.16) denklemi kullanılırsa ve sonra (2.18) denkleminin integrali alınırsa,(2.19) denklemi elde edilir.

$$J = \frac{4\pi mk^2 T^2}{h^3} e(1-r) \exp\left[-\frac{\Phi_E}{kT}\right] \quad (2.19)$$

(2.9) denklemindeki  $\phi_e$  değeri (2.19)' daki denklemde yerine konulursa,

$$J = A^* (1-r) T^2 \exp\left[-\frac{\phi}{kT}\right] \exp\left[\left(\frac{E^{\frac{1}{2}} e^{\frac{3}{2}}}{2kT \varepsilon^{\frac{1}{2}}}\right)\right] \quad (2.20)$$

elde edilir (Lamb,1967). Burada;  $A^* = \frac{4\pi emk^2}{h^3} = 120 \text{ amp/cm}^2 / \text{deg}$  Dushman Richardson

sabitidir.  $J_0 = A^* (1-r) T^2 \exp\left[-\frac{\phi}{kT}\right]$  olarak kabul edilirse  $\phi$ , engel yüksekliği; k, Boltzman sabiti ve T, sıcaklıktır.Schottky katsayısı,

$$\beta = \beta_{sch} = \frac{e}{kT} \left[ \frac{e}{4\pi \varepsilon \varepsilon^*} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.21)$$

şeklinde yazılabilir.Burada; e, elektronun yükü;  $\varepsilon^*$  ve  $\varepsilon$ , malzemenin ve boşluğun dielektrik sabitleridir.Sonuç olarak, akım yoğunluğunu (2.22)' deki denklemde olduğu gibi yazabiliriz (Efimenko vd.,1999).

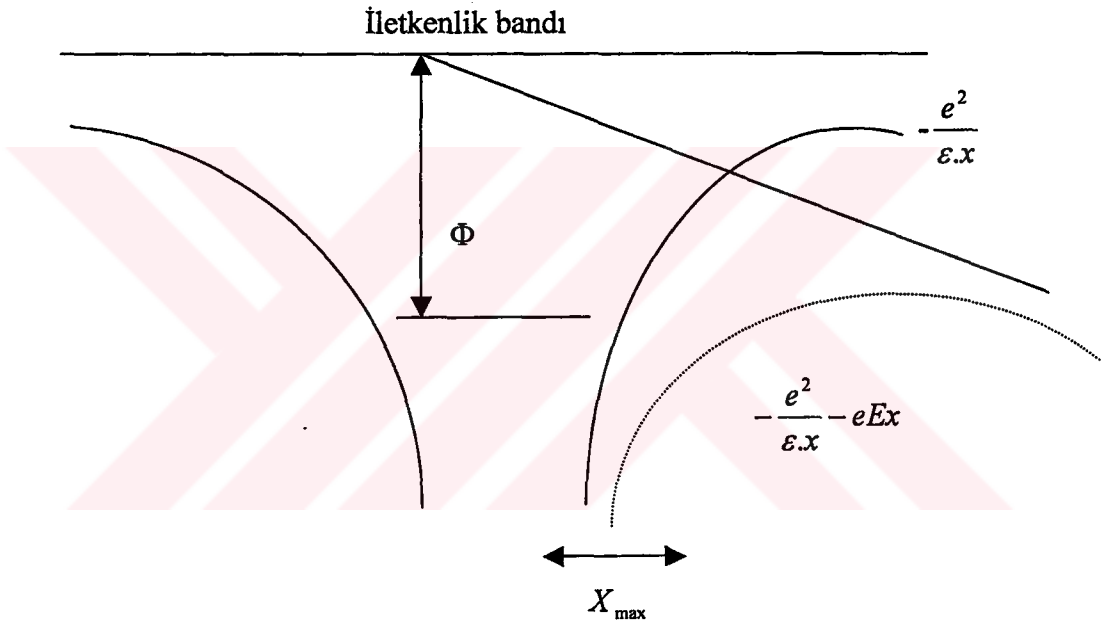
$$J = J_0 \exp[\beta E^{1/2}] \quad (2.22)$$

Burada; J, akım yoğunluğu; E, elektrik alan,  $\beta = \beta_{sch}$  Schottky katsayısıdır.

### 2.5.2 Poole-Frenkel mekanizması

Poole-Frenkel mekanizması, uygun olan enerji seviyeleri arasındaki doğrudan geçişler olarak tanımlanır.

Tuzak merkezinde bir elektron düşünelim. Böyle bir merkezdeki, elektronun potansiyeli genellikle Coulomb yaklaşımı olan  $-\frac{e}{\epsilon.R}$  ile belirtilir. Burada R, merkezden uzaklık ve  $\epsilon$ , dielektrik sabitidir. Numuneye elektrik alan uygulanırsa, alan yönündeki Coulomb potansiyeli  $-e.E.x$  terimi ile düşer. Burada x, alan yönünde merkezden uzaklıktır. İletkenlik bandı içindeki tuzaklanmış elektronun ısı etkisiyle sonuçlanan potansiyel engeli Şekil 2.8’ de gösterilmektedir.



Şekil 2.8 Dış kuvvetin etkisiyle iletkenlik bandına ısı ile uyarılmış olan tuzaklanmış elektronlar için potansiyel engelinin alçalması (Lamb,1967).

İlk pertürbe olmamış Coulomb potansiyeli koyu çizgi ile gösterilmiştir. Potansiyeldeki düşüşün nedeni, yalıtıkandaki iletkenlik bandı içinde tuzaklanmanın dışında ısıdan etkilenen elektronların olma olasılığının artmasıdır.

Potansiyel enerji fonksiyonu,  $X_{\max}$  durumunda iken

$$X_{\max} = \left[ \frac{e}{\epsilon E} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.23)$$

ve maksimum potansiyele sahipken (2.24) denklemi ile ifade edilir.

$$\Phi_m = -2 \left[ \frac{e^3 E}{\varepsilon} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.24)$$

Alanın olmadığı bir durumda, elektron iletkenlik bandına geçmek için engel yüksekliği  $\Phi$  'nin üstesinden gelebilmelidir. Alan nedeniyle, enerji engeli  $\Phi - |\Phi_m|$  ' dir ve iletkenlik (2.25) denklemindeki gibidir.

$$\sigma = A \exp \left[ - \frac{(\Phi - \Phi_m)}{2kT} \right]$$

$$\sigma = A \exp \left[ - \frac{(\Phi)}{2kT} \right] \exp \left[ \frac{e^{\frac{3}{2}} E^{\frac{1}{2}}}{\varepsilon^{\frac{1}{2}} kT} \right]$$

$$\sigma = \sigma_0 \exp \left[ \frac{e^{\frac{3}{2}} E^{\frac{1}{2}}}{\varepsilon^{\frac{1}{2}} kT} \right] \quad (2.25)$$

(2.25) denkleminde de görüldüğü gibi engelin düşüşü Schottky emisyonunda tanımlanandan iki kat fazladır.

Poole-Frenkel mekanizmasında  $\beta$  , (2.26) denklemindeki gibi tanımlanır.

$$\beta = \beta_{PF} = 2\beta_{sch} = \frac{e}{kT} \left[ \frac{e}{\pi \varepsilon \varepsilon^*} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.26)$$

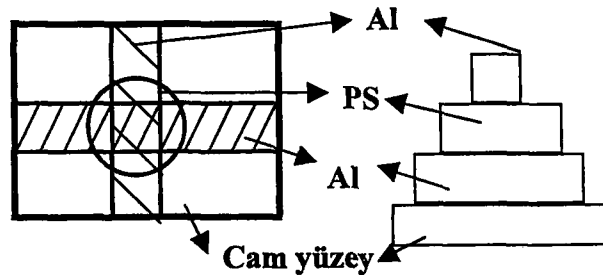
### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI

#### 3.1 Genel Bilgi

Bu çalışmada, izole edilmiş cam yüzey üzerinde MIM (Metal-yalıtkan-metal) sandviç yapısı Alüminyum ve polistiren ile oluşturulmuştur. Polistiren  $[-CH_2-CH-(C_6H_5)-]_n$  yapısına,  $M_w=155000$  molekül ağırlığına , ve  $\rho=1,05g.cm^{-3}$  yoğunluğuna sahip bir polimerdir. Filmin alüminyum elektrotları, Edward'ın buharlaştırma ünitesi E306 A kullanılarak vakumda buharlaştırma tekniği ile hazırlanmıştır.

Buharlaştırma işleminden önce cam yüzeylerin kimyasal deterjan,aseton ve metanol kullanılarak ultrasonik titreşimli aletle temizlenmesi sağlanmıştır. Bu cam yüzeyler, vakum sisteminin içine alüminyum kaynağından yaklaşık 10cm. uzaklıkta duracak şekilde yerleştirilmiştir. Buharlaştırılacak malzeme olan alüminyum, wolfram ısıtıcı içine yerleştirilmiştir. Alüminyum, dirençli ısıtma ile buharlaştırılmıştır. Filmlerin buharlaştırma işlemi boyunca buharlaştırma ünitesinin basıncı yaklaşık  $10^{-6}$  mbar olarak tutulmuştur (Bilen,2001).

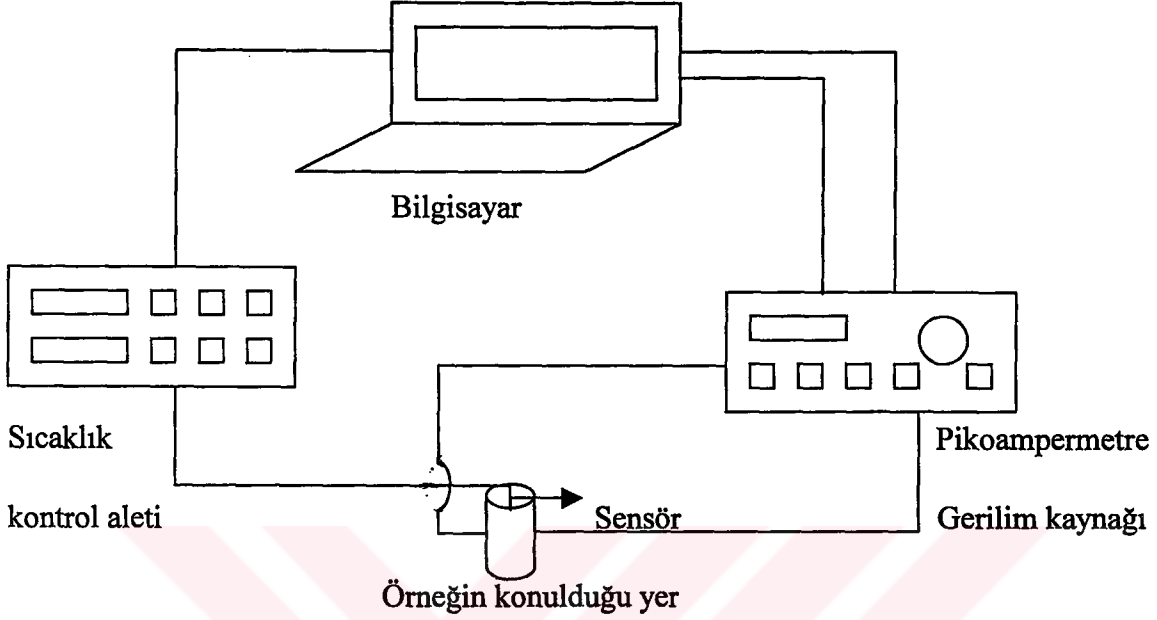
Hazırlanan Al elektrot üzerine, polistiren (PS) yüzeyi şu şekilde oluşturulmuştur: % 94 toluen ile küçük parçacıklar halinde bulunan % 6 polistirenin, bir beher içerisinde sentrifüj aleti ile 24 saat karıştırılması sağlanmıştır. Al elektrot üzerine elde edilen solüsyondan damlatılmıştır. Numune, toluenin uçması için yaklaşık iki saat bekletilmiştir. Numunenin yüzeyi kuruduktan sonra numune tekrardan Al elektrot kaplanmak üzere vakum sistemine yerleştirilmiştir. Her iki bağlantı da  $16 mm^2$  ' lik alanda ve aynı metal olan alüminyumdan yapılmıştır. Numunenin kalınlığı bütün ölçümler sonucunda mikrometre ile ölçülmüştür ve  $2\mu m(\pm\%5)$  olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.1 Alüminyum-polistiren-alüminyum örneğinin  
(a) üstten görüntüsü ve (b) yandan görüntüsü.

### 3.2 Akım-Zaman ölçümü

#### 3.2.1 Akım-zaman ölçüm düzeneği



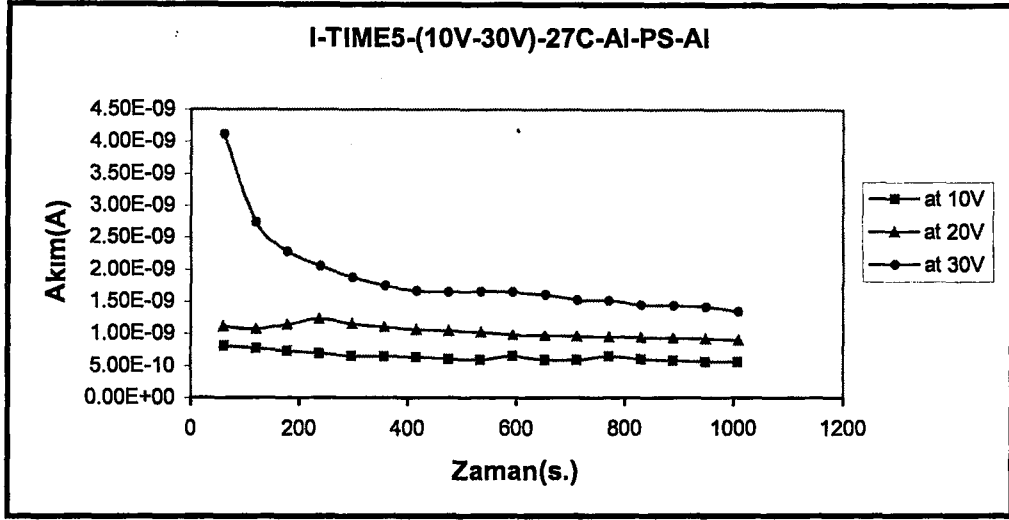
Şekil 3.2 Akım-zaman, akım-gerilim, akım-sıcaklık ölçümü için kullanılan deney düzeneği.

Akım-zaman ölçümü; programlanabilir pikoampermetre ve gerilim kaynağı olan Keithley Model 487 ve Lake Shore Model 300 sıcaklık kontrol aleti kullanılarak yapılmıştır. Pikoampermetre ve sıcaklık kontrol aletleri Şekil 3.2’ de görüldüğü gibi otomatik olarak ölçüm alabilen bilgisayardaki bir karta bağlıdır (Şahin,2001).

#### 3.2.2 Akım-zaman karakteristiği

Al-PS-Al numunesinde akımın zamana bağlılığı Şekil 3.3’ deki gibidir. Bilindiği üzere, bir numuneye gerilim uygulanırsa numuneden geçen akım belirli bir zaman sonra sabit değer kazanır. Şekil 3.2’ deki devre ile ayarlanan belirli  $\Delta t$  aralıklarıyla, bir gerilim değeri uygulanarak numuneden geçen akım değeri bilgisayar tarafından kaydedilmiştir. Akım sabitlenene kadar her bir gerilimde akım değerleri alınmaya devam edilmiştir. 10V, 20V ve 30V için alınan değerler Şekil 3.3’ de gösterilmiştir (Hacınlıyan vd., 2001).

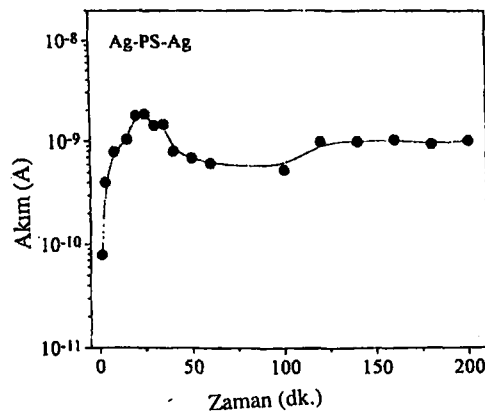




Şekil 3.3 Belirtilen gerilim değerlerinde Al-PS-Al için akımın zamana bağlı grafiği.

### 3.2.3 Deneysel sonuçlar ve tartışma

Şekil 3.3 Al-PS-Al numunesinin 10V, 20V ve 30V gerilim değerlerinde akımın zamanla değişimini göstermektedir. Şekil 3.3' den de görüldüğü gibi 30V' daki numune en kapasitif olanıdır ve akım yaklaşık 360s. sonra sabitlenmektedir. Şekil 3.4' de ise 293K' de 140V' da  $2\mu\text{m}$  kalınlığında Ag-PS-Ag örneğinde elektriksel akımın zamana bağlı grafiği gösterilmektedir. Efimenko vd. tarafından rapor edilen Şekil 3.4' deki , Ag-PS-Ag numunesinde, akım yaklaşık 2 saatte sabitlenmektedir. Bu sonuç, Şekil 3.3 ile aynı değildir. Bunun sebebi; Şekil 3.4' deki çalışmada uygulanan sabit gerilim değerinin 140V olması, elektrot olarak Gümüş (Ag) kullanılmış olması ve vakum ortamındaki basıncın  $10^{-3}$  Pa olması olabilir (Efimenko vd., 1999).



Şekil 3.4 293K' de 140V' da  $2\mu\text{m}$  kalınlığında Ag-PS-Ag örneğinde elektriksel akımın zamana bağlı grafiği (Efimenko vd., 1999).

Sonuç olarak,  $27^{\circ}\text{C}$  ( $300\text{K}$ )' de  $10\text{V}$  ile  $30\text{V}$  arasında her  $60\text{s.}$ ' de bir PS filminden akım değerleri okunmuştur. Şekil 3.4' den de görüldüğü gibi güçlü düzensiz değişim  $360\text{s.}$ ' de doyuma ulaşmaktadır. Bu değer, akımın sabitlendiği zaman olarak düşünülmüştür. Bundan dolayı, akım-gerilim ölçümleri bu değer gözönünde tutularak alınmıştır.

### 3.3 Akım-Gerilim Ölçümü

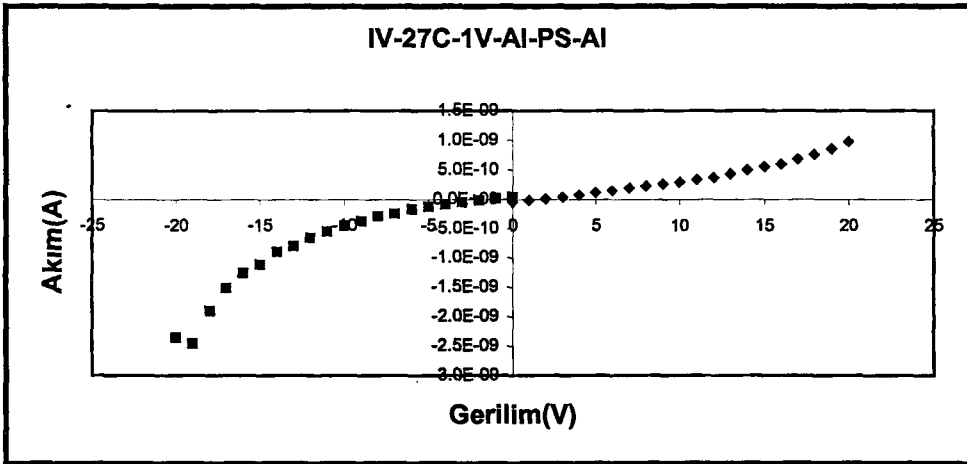
#### 3.3.1 Akım-gerilim ölçüm düzeneği

Şekil 3.3' deki akım-zaman ölçümü için kullanılan düzenek akım-gerilim ölçümü için de kullanılmıştır. Keithley 487 Pikoampermetre aleti,  $10\text{ fA}$  ile  $2\text{ mA}$  arasındaki akım değerlerini okuyabilmektedir ve  $-500\text{V}$  ile  $+500\text{V}$  arasında DC gerilim kaynağı olarak kullanılabilir. Bilgisayardaki program sayesinde I-V ölçümü otomatik olarak alınabilmektedir. Bu programda,  $V_{\text{enaz}}$  ve  $V_{\text{enfazla}}$  değerleri belirlenmekte ve sabit zaman, sabit gerilim aralıklarıyla I-V ölçümü alınabilmektedir.

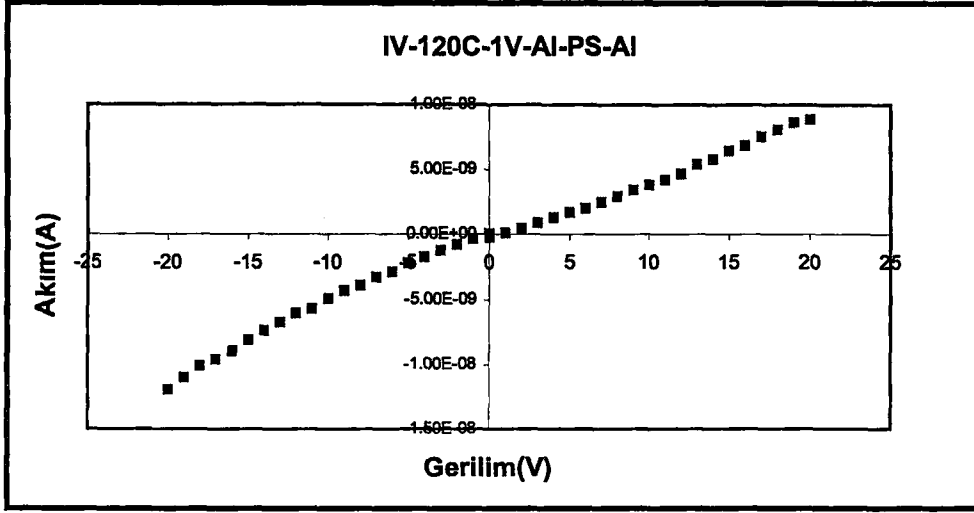
#### 3.3.2 Akım-gerilim karakteristikleri

Şekil 3.5' de  $27^{\circ}\text{C}$  ( $300\text{K}$ )' deki I-V ölçümü görülmektedir. Şekil 3.6' da  $120^{\circ}\text{C}$  ( $393\text{K}$ )' deki I-V ölçümü görülmektedir.

Bu ölçümler; akımın sabitlendiği zaman olan  $360\text{s.}$ ' den sonra,  $-20\text{V}$  ile  $+20\text{V}$  aralığında  $1\text{V}$  aralıklarla,  $27^{\circ}\text{C}$  ile  $140^{\circ}\text{C}$  sıcaklık aralığında alınmıştır.



Şekil 3.5 Al-PS-Al numunesinin  $27^{\circ}\text{C}$ ' deki I-V karakteristiği.



Şekil 3.6 Al-PS-Al numunesinin 120° C' deki I-V karakteristiği.

### 3.3.3 Deneysel sonuçlar ve tartışma

Bölüm 2.4.4' de de anlatıldığı gibi 27° C' den 80° C' ye kadar doğrusal olmayan ve bazen de zamanla tersinir olmayan I-V karakteristikleri elde edilmiştir. Fakat 90° C' den 140° C' ye kadar olan I-V karakteristiklerinde sıcaklık artıka Al-PS-Al örneğinin ohmik olmaya başladığı gözlemlenmiştir.

## 3.4 Akım-Sıcaklık Ölçümü

### 3.4.1 Akım-sıcaklık ölçüm düzeneği

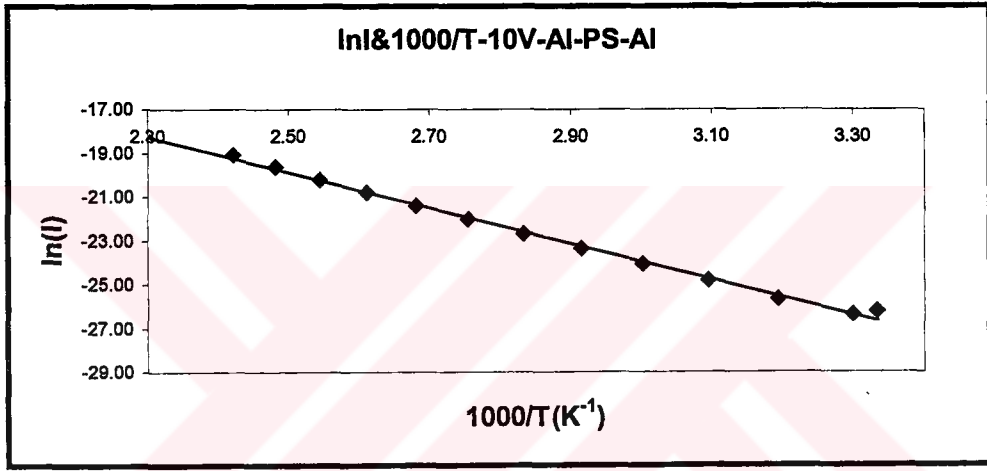
Akım-sıcaklık ölçümü, Şekil 3.2' de verilen düzenek kullanılarak karanlıkta alınmıştır. Pikoampermetrede, gerilim sabit bir değerde tutulmuştur ve belli bir sıcaklık değeri için akım ölçülmüştür. Sıcaklık, malzemenin hemen yanında bulunan sensör yardımıyla kontrol edilmiştir. Bu sensör, Lake Shore Model 300 kontrol aletine bağlıdır.

Sıcaklıklar bilgisayar tarafından kontrol edilebilmektedir. Önceden belirlenen sıcaklık değerine ulaşıncı, bilgisayar bu sıcaklığı kaydetmektedir. Birbiri ardına okunan en büyük değerlikli akım değerlerinin ortalaması hızlı bir şekilde bilgisayar tarafından alınmaktadır.

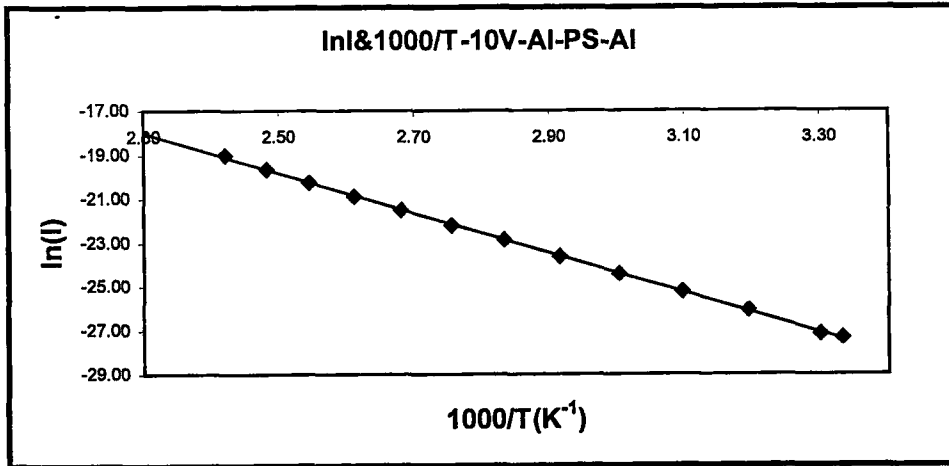
Çevreden kaynaklanan gürültü ani akım değişikliklerine sebep olduğundan akım değerlerinin ortalaması alınmaktadır. Önceden belirlenen sıcaklık değeri ve bu sıcaklık değerine karşılık gelen ortalaması alınmış akım değeri bilgisayar tarafından kaydedilmektedir. Aynı işlem süreci farklı sıcaklıklar için uygulanmaktadır. En düşük sıcaklık değerine, filmde geçen okunabilen en düşük akım değeri ile karar verilmektedir.

### 3.4.2 Akım-sıcaklık karakteristikleri

Şekil 3.7' de  $27^{\circ}\text{C}$ ' den  $140^{\circ}\text{C}$ ' ye kadar alınan I-V ölçümlerinin 10V' daki akım değerleri yer almaktadır. Şekil 3.8' de ise  $27^{\circ}\text{C}$ ' den  $140^{\circ}\text{C}$ ' ye kadar alınan 10V' daki akım-sıcaklık ölçüm sonuçları yer almaktadır.



Şekil 3.7  $27^{\circ}\text{C}$ ' den  $140^{\circ}\text{C}$ ' ye kadar alınan I-V ölçümlerinden yararlanılarak çizdirilen  $\ln I$  &  $1000/T$  grafiği.



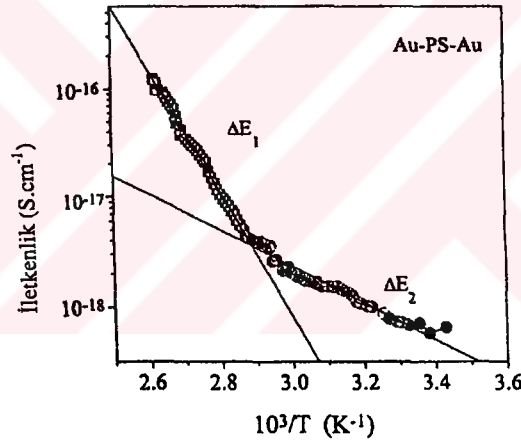
Şekil 3.8  $27^{\circ}\text{C}$ ' den  $140^{\circ}\text{C}$ ' ye kadar alınan akım-sıcaklık ölçüm karakteristiği.

### 3.4.3 Deneysel sonuçlar ve tartışma

Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’ de görüldüğü gibi sabit gerilimde  $\ln(I)$  &  $1000/T$  değişimi görülmektedir. Bu değişim “ Arrhenius” değişimi olarak bilinmektedir. İletkenliğe katkıda bulunacak yük taşıyıcılarının aktivasyon enerjilerinin sıcaklıkla değişimine karar vermek için “ Arrhenius” değişimi kullanılır. Al-PS-Al numunesinin aktivasyon enerjisi (3.1) denklemi kullanılarak hesaplanır.

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right) \quad (3.1)$$

Burada;  $\sigma_0$ , iletkenliğin ilk değeri;  $E_a$ , enerji aralığının yarısı olan aktivasyon enerjisi;  $k$ , Boltzman sabiti;  $T$ , sıcaklıktır. Burada Fermi seviyesi, bant aralığının ortasında kabul edilmiştir. (3.1) denklemi kullanılarak Şekil 3.7’ deki ve Şekil 3.8’ deki aktivasyon enerjileri hesaplanırsa  $E_a=0.77\text{eV}$  ve  $E_a=0.72\text{eV}$  bulunur.



Şekil 3.9  $2\mu\text{m}$  kalınlığındaki Au-PS-Au yapısı için iletkenlik &  $1000/T$  grafiği (Efimenko vd., 1999).

Şekil 3.9’ dan görülen  $2\mu\text{m}$  kalınlığındaki Au-PS-Au yapısı için aktivasyon enerjileri  $\Delta E_{a1}=1.83\text{eV}$  ve  $\Delta E_{a2}=0.54\text{eV}$  olarak verilmiştir. Bu grafikte, yüksek sıcaklık ve yüksek gerilimde görülmesi beklenen Poole-Frenkel iletkenlik mekanizması görülmüştür (Efimenko vd., 1999).

Çizelge 3.1’ den de görüldüğü gibi I-V ölçümlerinden elde edilen Şekil 3.7 ve I-T ölçümlerinden elde edilen Şekil 3.8’ de Schottky iletkenlik mekanizması gözlemlenmiştir. Fakat Poole-Frenkel mekanizması görülmemiştir. Çünkü, Al-PS-Al numunesine uygulanan gerilim sıcaklıkla etkin hale gelen elektronları arttırmak için yeterli olmamıştır. Bu nedenle Şekil 3.9’ da gözlemlenen camsı geçiş sıcaklığı gözlemlenememiştir (Ghafor, 2000).

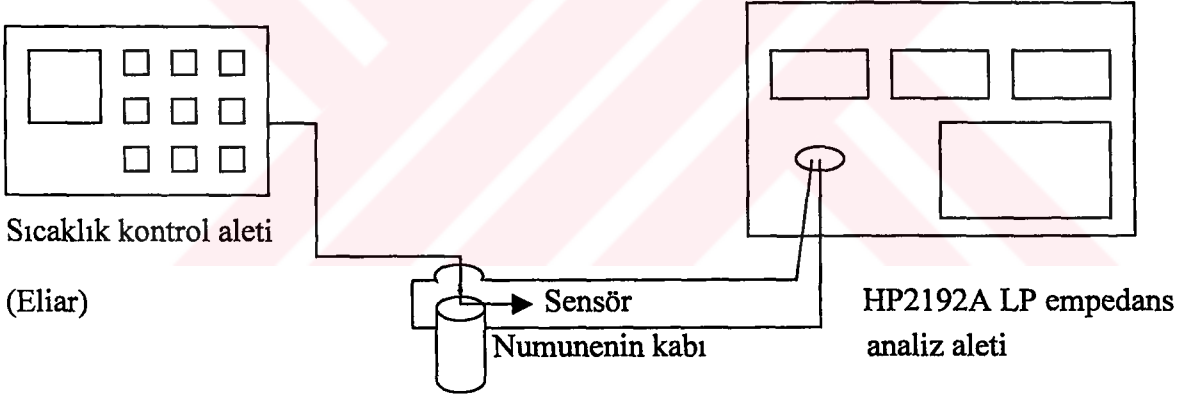
Çizelge3.1 Farklı grafiklerdeki  $T_c$ ,  $\Delta E_{a1}$  ve  $\Delta E_{a2}$  değerleri.

| ŞEKİL     | $T_c$                   | $\Delta E_{a1}$ | $\Delta E_{a2}$ |
|-----------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| Şekil 3.7 | -                       | 0.77eV          | -               |
| Şekil 3.8 | -                       | 0.72eV          | -               |
| Şekil 3.9 | $\sim 70^\circ\text{C}$ | 1.83eV          | 0.54eV          |

### 3.5 Kapasitans-Sıcaklık Ölçümü

#### 3.5.1 Kapasitans sıcaklık ölçüm düzeneği

Şekil 3.10' dan da görüldüğü gibi HP 2192A LP empedans analiz aleti 1kHz' de ve Eliar sıcaklık kontrol aleti kullanılarak kapasitans-sıcaklık ölçümü alınmıştır.



Şekil 3.10 Kapasitans-sıcaklık ölçümünün deneysel düzeneği.

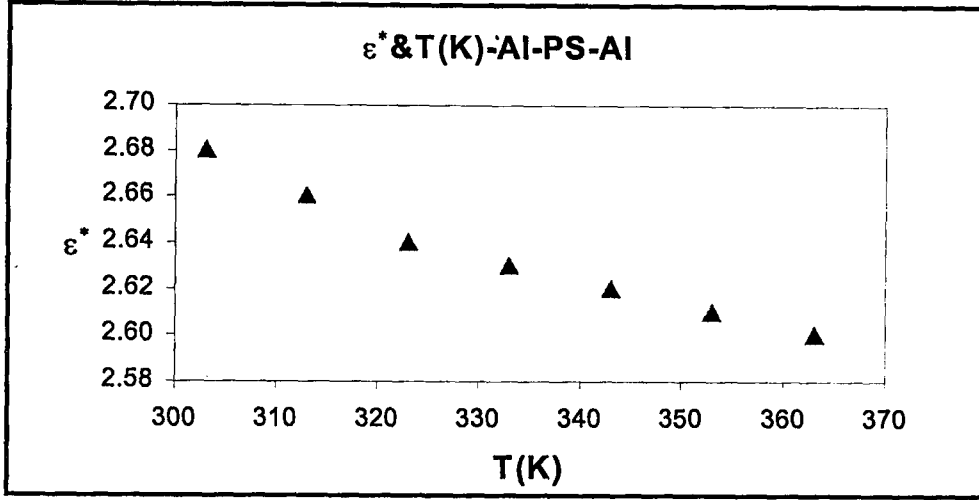
Polistirenin kapasitans ölçümü, 313K-363K sıcaklık aralığında alınmıştır. Al-PS-Al numunesinin elektriksel kapasitans değeri kullanılarak  $\epsilon^*$  dielektrik sabitinin gerçel değeri (3.2) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\epsilon^* = \frac{Cd}{S\epsilon_0} \quad (3.2)$$

Burada; C, numunenin ölçülen kapasitans değeri; d, PS yüzeyinin kalınlığı,  $2\mu\text{m}$ ; S, elektrotlar arasında çalışılan alan,  $16\text{mm}^2$ ;  $\epsilon_0$ , boşluğun dielektrik sabiti,  $8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$ ' dir.

### 3.5.2 Dielektrik sabiti sıcaklık karakteristiği

Şekil 3.11' de görüldüğü gibi Al-PS-Al numunesinin  $\epsilon^*$ ' nin sıcaklığa bağlılığı görülmektedir

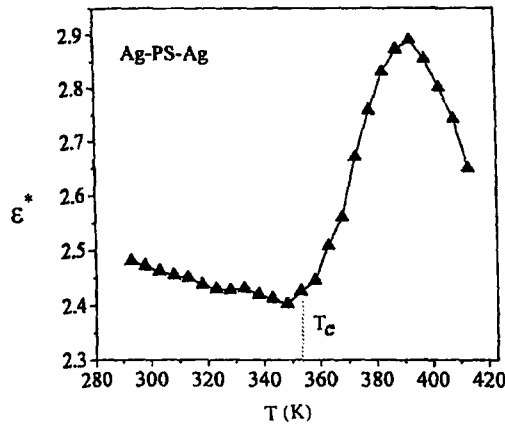


Şekil 3.11 Al-PS-Al numunesinin  $\epsilon^*$ ' nin sıcaklığa bağlılığını gösteren grafik.

### 3.5.3 Deneysel sonuçlar ve tartışma

313K-363K aralığında Şekil 3.11' den de görüleceği gibi sıcaklık arttıkça dielektrik sabitinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Şekil 3.12' de makalede yer alan  $\epsilon^*$  & sıcaklık grafiği görülmektedir. 355K'e kadar dielektrik sabitinin sıcaklıkla azaldığı fakat 360K'den sonra (bu sıcaklık  $T_c$  olarak belirtilmiştir)  $\epsilon^*$ ' nin sıcaklığa bağlı olarak arttığı görülmüştür ve  $\epsilon^*$  değeri 390K' de maksimum değerine ulaşmıştır.



Şekil 3.12 2 $\mu$ m kalınlığındaki Ag-PS-Ag yapısı için  $\epsilon^*$ ' nin sıcaklığa bağlı grafiği (Efimenko vd.,1999).

Bizim çalışmamızda, 363K' e kadar sıcaklık artııkça  $\epsilon^*$  ' nin azaldığı görölmüştür. (3.2) denklemini kullanarak 303K'de  $\epsilon^* \approx 2.68$  olarak hesaplanmıştır. Bu değeri (Wiley,1999)' da  $\epsilon^* = 2.5$  olarak verilmiştir.

### 3.6 $\beta$ & Sıcaklık Değişimi

#### 3.6.1 $\beta$ & sıcaklık karakteristiği

Bölüm 2.5' de anlatıldığı gibi organik dielektriklerde yük iletim mekanizması iki şekilde meydana gelmekteydi. Birincisi, Schottky iletkenlik mekanizması, ikincisi Pool-Frenkel iletkenlik mekanizmasıydı. Bu mekanizmalar

$$J = J_0 \exp[\beta \epsilon^{1/2}]$$

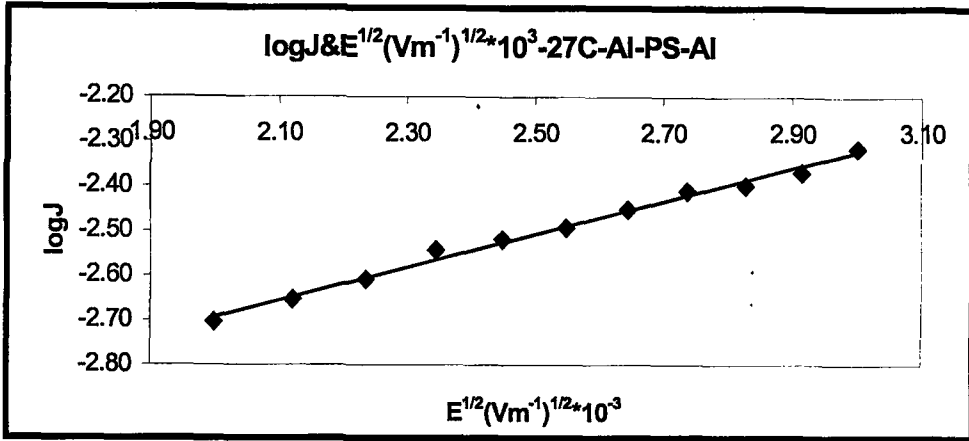
$$\beta = \beta_{sch} = \frac{e}{kT} \left[ \frac{e}{4\pi\epsilon\epsilon^*} \right]^{1/2}$$

$$\beta = \beta_{PF} = 2\beta_{sch} = \frac{e}{kT} \left[ \frac{e}{\pi\epsilon\epsilon^*} \right]^{1/2}$$

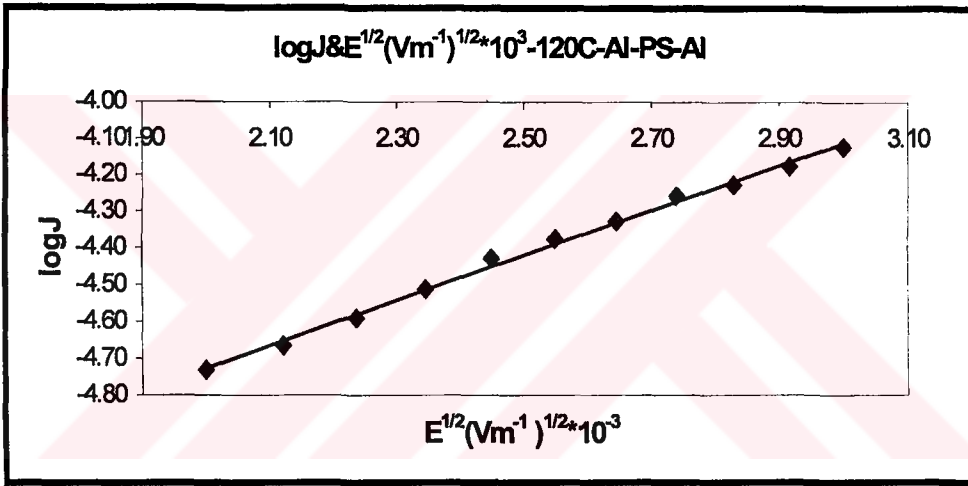
denklemleriyle açıklanmaktaydı.

Şekil 3.11' de yer alan dielektrik ve sıcaklık değerlerinden yararlanılarak  $\beta_{PF}$  ve  $\beta_{sch}$  değerleri hesaplanmıştır.  $\beta_{deney}$  değerleri;  $\log J$  &  $E^{1/2}$  grafiklerinin eğimlerinden ve akım yoğunluğu formülünden hesaplanmıştır. Şekil 3.13' de 27°C' nin ve Şekil 3.14' de 120°C' nin  $\log J$  &  $E^{1/2}$  grafikleri yer almaktadır. Şekil 3.15' de, makalede yer alan Ag-PS-Ag' nin  $\log J$  &  $E^{1/2}$  grafiği yer almaktadır (Efimenko, vd., 1999).

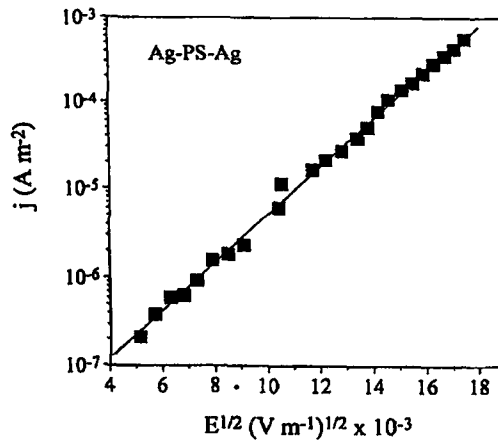




Şekil 3.13 27°C' de  $\log J$  &  $E^{1/2}$  grafiği.

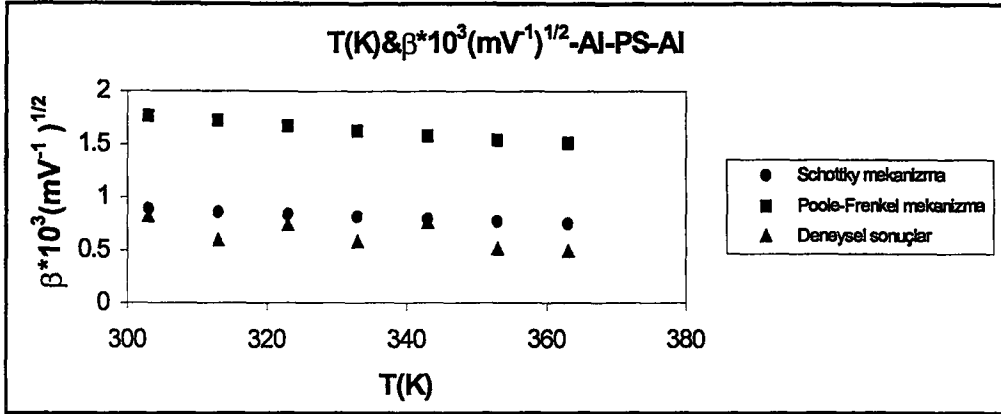


Şekil 3.14 120°C' de  $\log J$  &  $E^{1/2}$  grafiği.



Şekil 3.15 Ag-PS-Ag yapısı için  $\log J$  &  $E^{1/2}$  grafiği (Efimenko vd., 1999).

Elde edilen sonuçlar Şekil 3.16 ve Çizelge 3.2’ de özetlenmiştir.

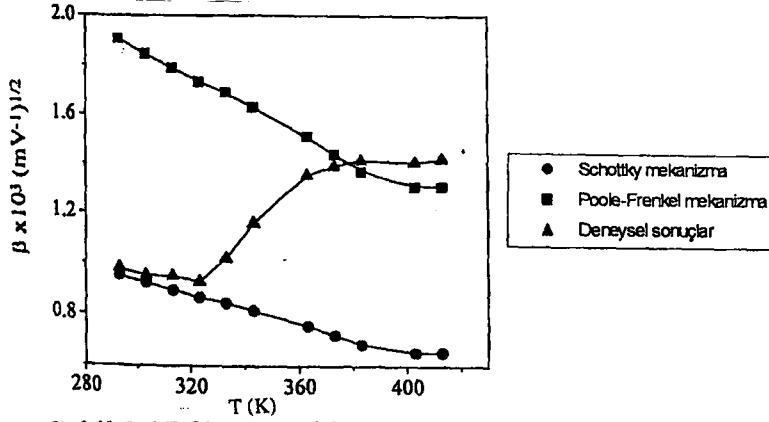


Şekil 3.16 Schottky ve Poole-Frenkel modellerine göre hesaplanan deneysel ve teorik  $\beta$  değerlerinin sıcaklığa bağıllığı.

Çizelge 3.2  $\beta_{deney}$  ve Schottky ve Poole-Frenkel modellerine göre hesaplanan  $\beta_{sch}$  ve  $\beta_{PF}$  teorik katsayılarının  $\epsilon^*$ ’ a bağıllığı.

| T(K) | $\beta_{deney} * 10^3 (mV^{-1})^{1/2}$ | $\beta_{sch} * 10^3 (mV^{-1})^{1/2}$ | $\beta_{PF} * 10^3 (mV^{-1})^{1/2}$ | $\epsilon^*$ |
|------|----------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------|
| 303  | 0.820                                  | 0.887                                | 1.77                                | 2.68         |
| 313  | 0.590                                  | 0.862                                | 1.72                                | 2.66         |
| 323  | 0.740                                  | 0.838                                | 1.67                                | 2.64         |
| 333  | 0.580                                  | 0.815                                | 1.63                                | 2.63         |
| 343  | 0.760                                  | 0.792                                | 1.58                                | 2.62         |
| 353  | 0.510                                  | 0.773                                | 1.54                                | 2.60         |
| 363  | 0.490                                  | 0.754                                | 1.51                                | 2.58         |

### 3.6.2 Deneyisel sonuçlar ve tartışma



Şekil 3.17  $\beta$ 'nın sıcaklığa bağlılığı (Efimenko vd., 1999).

Şekil 3.16' dan da görüldüğü gibi 303K-363K aralığında  $\beta_{\text{deney}}$  değerlerinin  $\beta_{\text{sch}}$  değerlerine yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. 303K-363K aralığında polistirenin iletkenlik durumunda serbest yük taşıyıcılarının enjeksiyon durumunda olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 3.3  $\beta_{\text{deney}}$ ,  $\beta_{\text{sch}}$ , ve  $\beta_{\text{PF}}$ ' in sıcaklığa ve  $\epsilon^*$  ' a bağlılığı  
(Efimenko vd., 1999).

| T(K) | $\beta_{\text{deney}} \cdot 10^3 (\text{mV}^{-1})^{1/2}$ | $\beta_{\text{sch}} \cdot 10^3 (\text{mV}^{-1})^{1/2}$ | $\beta_{\text{PF}} \cdot 10^3 (\text{mV}^{-1})^{1/2}$ | $\epsilon^*$ |
|------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------|
| 293  | 0.98                                                     | 0.95                                                   | 1.91                                                  | 2.48         |
| 313  | 0.95                                                     | 0.90                                                   | 1.80                                                  | 2.45         |
| 333  | 1.02                                                     | 0.85                                                   | 1.70                                                  | 2.43         |
| 353  | 1.34                                                     | 0.80                                                   | 1.60                                                  | 2.425        |
| 343  | 1.39                                                     | 0.72                                                   | 1.44                                                  | 2.67         |
| 393  | 1.49                                                     | 0.66                                                   | 1.32                                                  | 2.89         |
| 363  | 1.42                                                     | 0.65                                                   | 1.31                                                  | 2.65         |

Fakat 363K'den sonra Poole-Frenkel iletkenlik mekanizmasında görülmesi beklenen ve Şekil 3.17' de ve Çizelge 3.3' den de görüldüğü gibi; camı geçiş sıcaklığında polistirenin iç yapısında değişikliğin meydana gelmesi ve camı geçiş sıcaklığından sonra polimer moleküllerinin temel yapı taşlarının (segmentlerinin) serbest hareket etmeye başlaması gözlenememiştir. Şekil 3.17' de görülen 320K-360K arasındaki değişiklik Schottky ve Poole-Frenkel iletkenlik mekanizmaları ile açıklanamamıştır (Efimenko vd., 1999).

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, MIM (Metal-yalıtkan-metal) sandviç yapısından yararlanılarak PS (Polistiren) elektiksel özellikleri incelenmiştir. Elektriksel ölçümlerin sonucunda da Al-PS-Al numunesinin iletkenlik mekanizması belirlenmiştir.

Akım-zaman ölçümü sonucunda; Al-PS-Al numunesinde, gerilim arttıkça akımın da arttığı gözlemlenmiştir. Polistirenin 30V' da; 10V ve 20V' daki ölçümlere göre daha kapasitif olduğu görülmüştür. Al-PS-Al filminde akım; 360s.' den sonra sabit değere ulaşmıştır. Akım şu şekilde sabitlenmektedir: Polimerlerde, kapasitör gibi davranan elektron tuzakları vardır. Polimere gerilim uygulandığında, polimerin zayıf kimyasal bağları kopar ve bunun sonucu yeni tuzaklar oluşur. Elektrotlar arasındaki DC gerilim tuzakları elektronlarla doldurulur, böylelikle polimer sabit değere ulaşmış olur (Mott vd., 1979; Şahin, 2001).

Akım-gerilim ölçümleri sonucunda; 27° C ve 80° C arasındaki I-V ölçümleri doğrusal olmayan ve bazen de zamanla tersinir olmayan I-V karakterisitikleri gözlemlenmiştir. Çünkü bu sıcaklıklarda polimer zincirindeki moleküllerin birleşik hareketleriyle enerji engellerinin üstesinden gelebilmeleri mümkün değildir. Bu moleküller yeterli ısı enerjisine sahip olduklarında, zincirdeki moleküller hızlanacak ve enerji engellerinin üstesinden gelebileceklerdir. Bu durum; 90° C' den sonraki I-V ölçümlerinde görülebilmektedir (Efimenko vd., 1999).

Akım-sıcaklık ölçümleri; 10V' ta 27° C ile 140° C sıcaklık aralığında, sıcaklıklar değiştirildikçe akım değerleri ölçülmüştür.  $\ln I \& 1000/T$  grafiği çizdirilmiştir. İletkenlik denkleminde yararlanılarak Al-PS-Al numunesinin aktivasyon enerjisinin  $\Delta E_{a1}=0.77$  eV olduğu hesaplanmıştır. Aynı şekilde, 27° C ve 140° C sıcaklık aralığında alınan I-V ölçümlerinin 10V' daki akım değerlerinden yararlanılarak  $\ln I \& 1000/T$  grafiği çizdirilmiştir. Aktivasyon enerjisinin  $\Delta E_{a1}=0.72$  eV olduğu hesaplanmıştır. Bu grafikler sonucunda, camsı geçiş sıcaklığı gözlemlenememiştir.

Kapasitans-sıcaklık ölçümü sonucunda 313K-363K sıcaklık aralığında alınan kapasitans değerlerinden,  $\epsilon^*$  dielektrik sabitinin gerçel değeri hesaplanmıştır. Sıcaklık arttıkça  $\epsilon^*$  değerlerinin azaldığı görülmüştür. 303K' de  $\epsilon^*=2.68$  olarak hesaplanmıştır.

$\log J \& E^{1/2}$  grafiklerinin eğimlerinden ve akım yoğunluğu formülünden yararlanılarak 27° C ve 140° C aralığında  $\beta_{deney}$  değerleri hesaplanmıştır. 313K-363K aralığındaki  $\epsilon^*$  değerlerinden

yararlanılarak  $\beta_{sch}$  ve  $\beta_{PF}$  değerleri hesaplanmıştır.  $\beta_{deney}$  değerlerinin  $\beta_{sch}$  değerlerine yakın olduğu grlmştr. 303K-363K aralığında polistirenin iletkenlik durumunda serbest yük taşıyıcılarının enjeksiyon durumunda olduğu düşünülmektedir. 363K'den sonra polistirenin iç yapısında değişiklik meydana gelmemiştir ve polimer segmentlerinin serbest hareket etmeye başlaması gözlemlenememiştir.

Sonuç olarak; uygun olan enerji seviyeleri arasında doğrudan geçiş prensibine dayalı Pool-Frenkel mekanizması, Al-PS-Al numunesinde gözlemlenememiştir. Fakat, Al-PS-Al numunesinde; yalıtıkta bulunan tuzaklanmış elektronların, uygulanan elektrik ve termik enerji vasıtasıyla iletkenlik bandına uyarılması olarak tanımlanan Schottky iletkenlik mekanizması grlmştr.



## 5. KAYNAKLAR

Apridge, R.G.C., (1975), Mechanics of Polymers, Clarendon Press, Oxford

Akkaya, A., (1993), "A Study of Stacbler – Wronski Effect in Hydrogenated Amorphous Silicon Films", Ms. Thesis, Boğaziçi Üniversitesi: 27

Bilen, B.,(2001), "Conductivity Mechanism of Metallic Glasses ",Ms. Thesis, Boğaziçi Üniversitesi: 35-48

Campos, M., Cavalcante, E.M. ve Kalinowski,J., (1996),“ Poole – Frenkel Effect in Amorphous PPS ”, Journal of Polymer Science : Part B Polymer Physics, 34: 623 – 629

Efimenko, K., Rybka, V., Svarcik, V. ve Hnatowicz V., (1998), "Electrical properties of Au-polystyrene-Au submicron structures", Journal of Applied Physics A, 67: 503-505

Efimenko, K., Rybka, V., Svarcik, V. ve Hnatowicz V., (1999), "Mechanism of conductivity in metal – polymer – metal structures", Journal of Applied Physics A, 68: 479-482

Frenkel, J., (1938), “ One Pre-Breakdown Phenomena in Insulators and Electronic Semiconductors ”, Journal of Physics Review ,54: 467

Ghafor, A.W.A.S, (2000), “ Schottky Effect Mechanism in PPDS films”, Journal of Polymer Science : Part B Polymer Physics, 38: 2507 – 2514

Hacınliyan, A., Skarlatos, Y., Şahin, G. ve Akın, G., (2001), "Signals of Chaotic Behaviour in PMMA", Conference on Applied Nonlinear Dynamics from Semiconductors to Information Technologies, Thessaloniki, Greece

Kroschwitz, J.I., (1988), Electrical and Electronic Properties of Polymers : A State of the Art Compendium, John Wiley and Sons Publication

Kurtuluş, Ö., (2001), "Transport Properties in Amorphous Chalcogenide Glasses" Ms. Thesis, Boğaziçi Üniversitesi: 32-33

Lamb, D.R., (1967), "Electrical Conduction Mechanisms in Thin Insulating Films ", Methuen and Co. Ltd., London

Malcolm, P.S., (1999), Polymer Chemistry An Introduction, Oxford University Press, Newyork

Mamedov, Ş., (2001), Polimer Fiziği I Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Mott, N.F., ve Davis, E.A.,(1979), Electronic Process in Non – Crystalline Materials, Oxford Univ. Press (Clarendon), London and New York

Petrick, R., (1984), Polymer Yearbook, Harwood Academic Publishers

Schottky, W.,(1938), “ Halbleitertheorie der Sperrschicht ”Naturwissenschaften, 26: 843

Seitz, F.,(1940), Modern Theory of Solids, Mc.Graw – Hill, New York

Seanor, D.A.,Patsis, A.V., (1976), Photoconductivity in Polymers, Technomic Press, Westport

Seanor, A.D, (1982), Electrical Properties of Polymers, Academic Press, New York

Sze, S.M., (1981), Physics of Semiconductor Devices, Wiley, New York

Şahin, G.,(2001), “Time Series Analysis of Current in PMMA”, Ms. Thesis, Boğaziçi University:38-41,50

Tager, A., (1972), Physical Chemistry of Polymers, Mır Publishers

TMMOB, (2000), Plastikler Dünyası, Makina mühendisleri Odası

Wintle, H. J., (1975), Solid State Electron, 18: 1039-1042



**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 31.01.1976

Doğum yeri İstanbul

Lise 1990-1992 Pendik Lisesi

Lisans 1992-1996 Yıldız Üniversitesi Fen Ed.Fak.  
Fizik Bölümü

Hazırlık 1996-1998 Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Programı için İngilizce Hazırlık

Yüksek Lisans 1998-2000 Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Yüksek Lisans Programı

Yüksek Lisans 2001- 2002 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Yüksek Lisans Programı

**Çalıştığı kurum**

1998-

Boğaziçi Üniversitesi Fizik Bölümü Arş.Gör.