

**T.C.  
DİCLE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAZI ORGANOMETALİK BİLEŞİKLERİN OPTİKSEL  
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDE ISI ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Erman AKGÜNDÜZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**DIYARBAKIR  
Şubat 2015**

**T.C.  
DİCLE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAZI ORGANOMETALİK BİLEŞİKLERİN OPTİKSEL  
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDE ISI ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Erman AKGÜNDÜZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN: Prof. Dr. Kemal AKKILIÇ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**DIYARBAKIR  
Şubat 2015**

T.C  
DİCLE UNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ  
DİYARBAKIR

Erman AKGÜNDÜZ tarafından yapılan “Bazı Organometalik Bileşiklerin Optiksel Özellikleri Üzerinde Isı Etkisinin İncelenmesi” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Fizik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesini

| <u>Ünvanı</u> | <u>Adı Soyadı</u>       |
|---------------|-------------------------|
| Başkan        | : Prof.Dr.Kemal AKKILIÇ |
| Üye           | : Doç.Dr.Ömer ÇELİK     |
| Üye           | : Doç.Dr.İlhan UZUN     |



Tez Savunma Sınavı Tarihi: 25/02/2015

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../20

Doç.Dr.Mehmet YILDIRIM

ENSTİTÜ MÜDÜRÜ

( MÜHÜR )



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez yönetiminde yardımlarını ve desteğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Kemal AKKILIÇ'a, materyal desteğinden dolayı Eczacılık Fakültesi Dekanı Prof. Dr. Hamdi TEMEL'e, Kimya bölümü doktora öğrencisi Metin ATLAN'a, deneyimlerini benle paylaşan Doç. Dr. Yusuf Selim OCAK, Arş. Gör. Ahmet TOMBAK ve değerli arkadaşlarım Öğr. Gör. Muhammed Ümit KOÇYİĞİT ve Seyfettin AYHAN'a, maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen canım aileme teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

|                                                            | Sayfa |
|------------------------------------------------------------|-------|
| TEŞEKKÜR .....                                             | I     |
| İÇİNDEKİLER .....                                          | II    |
| ÖZET .....                                                 | IV    |
| ABSTRACT .....                                             | V     |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....                                      | VI    |
| GRAFİK LİSTESİ .....                                       | VII   |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                        | VIII  |
| KISALTMA VE SİMGELER .....                                 | X     |
| 1. GİRİŞ .....                                             | 1     |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....                                 | 2     |
| 3. MATERYAL VE METOD .....                                 | 9     |
| 3.1. Katılarda Band Yapısı .....                           | 9     |
| 3.2. Yarıiletkenler .....                                  | 10    |
| 3.2.1. Taşıyıcı Konsantrasyonu ve Has Yarıiletkenler ..... | 12    |
| 3.2.2. Katkılı Yarıiletkenler .....                        | 18    |
| 3.2.2.1. n-tipi Yarıiletkenler .....                       | 18    |
| 3.2.2.2. p-tipi Yarıiletkenler .....                       | 20    |
| 3.3. Işık Madde Etkileşimi .....                           | 23    |
| 3.4. Işığın Yarıiletkenden Geçişi .....                    | 24    |
| 3.5. Yarıiletkenlerin Optiksel Özellikleri .....           | 25    |
| 3.5.1. Temel Absorpsiyon Olayı .....                       | 25    |
| 3.5.2. Direkt Bant Geçişi .....                            | 26    |
| 3.5.3. İndirekt Band Geçişi .....                          | 28    |
| 3.6. Optiksel Sabitler .....                               | 30    |
| 3.6.1. Absorpsiyon Sabiti .....                            | 30    |
| 3.6.2. Kırılma İndeksi .....                               | 32    |
| 3.6.3. Yansıma Katsayısı .....                             | 34    |
| 3.6.4. Geçirgenlik Katsayısı .....                         | 35    |
| 3.7. Kompleks Yarıiletkenler .....                         | 36    |
| 3.7.1. Geçiş Metallerinin Genel Özellikleri .....          | 36    |
| 3.7.2. Kompleks Bileşiklerin Genel Yapısı .....            | 37    |

|           |                                                                    |           |
|-----------|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.8.      | Metal Komplekslerin İnce Film Haline Getirilmesi .....             | 39        |
| 3.8.1.    | İnce Film Nedir? .....                                             | 39        |
| 3.8.2.    | Sol Jel Kaplama Yöntemleri .....                                   | 39        |
| 3.8.2.1.  | Daldırarak Kaplama .....                                           | 39        |
| 3.8.2.2.  | Püskürterek Kaplamanın .....                                       | 40        |
| 3.8.2.3.  | Döndürerek Kaplama .....                                           | 40        |
| 3.8.2.4.  | Spin Kaplama (Spin Coating) .....                                  | 41        |
| 3.8.3.    | Kaplama Yapılacak Altlıkların Temizliği .....                      | 44        |
| 3.8.4.    | Metal Komplekslerin Elde Edilmesi .....                            | 44        |
| 3.8.5.    | Metal Komplekslerin Yapısı .....                                   | 45        |
| 3.8.6.    | Numunenin İnce Film Haline Getirilmesi .....                       | 46        |
| 3.8.7.    | Numunelerin Belirli Sıcaklıklarda Tavlınması .....                 | 46        |
| 3.8.8.    | Numunelerin UV Ölçümleri .....                                     | 47        |
| 3.8.9.    | Numunelerin Yasak Enerji Band Aralıklarının Belirlenmesi .....     | 48        |
| 3.8.10.   | Numunelerin Kırılma İndekslerinin Dalga boyuna Bağlı Değişimi..... | 49        |
| 3.8.11.   | Numunenin Yarıiletkenlik Tipinin Bulunması .....                   | 50        |
| <b>4.</b> | <b>BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>                                  | <b>51</b> |
| 4.1.      | Araştırma Bulguları .....                                          | 51        |
| 4.2.      | Tartışma .....                                                     | 58        |
| <b>5.</b> | <b>SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>                                     | <b>61</b> |
| <b>6.</b> | <b>KAYNAKLAR .....</b>                                             | <b>63</b> |
|           | <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                              | <b>69</b> |

## ÖZET

### BAZI ORGANOMETALİK BİLEŞİKLERİN OPTİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDE ISI ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erman AKGÜNDÜZ

DİCLE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANABİLİM DALI

2015

Yarıiletkenler, günümüz teknolojisinin temelini oluşturur. Yarıiletkenlerin optiksel özelliklerini incelemek için ince film haline getirmek gerekir. Bu çalışmada yeni sentezlenen ve karakterize edilen N,N'-Bis (salisiliden)-1.4-diaminobütan LH<sub>2</sub> ligandının Cu (II) ile kompleksi CuL ve bütas ligandının Mn (II) ile kompleksi MnL değişik sıcaklıklarda tavlanarak optiksel özellikleri araştırıldı. Numuneler sol jel yöntemi ile ince film haline getirildi. Numuneler sırasıyla 20, 40, 60, 80 ve 100°C derecede 30 dakika tavlandı. LH<sub>2</sub> numunesi için bant aralığı (3.3-3.7 eV), CuL numunesi için (2.1-2.5 eV) aralığında, MnL numunesi için (2.6-2.8 eV) aralığında elde edilmiştir. UV-VİS cihazı kullanılarak soğurma ve geçirgenlik oranları elde edilmiştir. Elipsometre cihazı kullanılarak ince film haline getirilen komplekslerin n (kırılma indeksi) dalga boyuna (300-900 nm) bağlı değişim değerleri ölçüldü.

ANAHTAR KELİMELELER: Metal kompleks, Yasak enerji bant aralığı, Yarıiletken, Elipsometre, Sol jel

## ABSTRACT

### EXAMINATION OF THE INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE OPTICAL PROPERTIES OF SOME ORGANOMETALLIC COMPOUNDS

MSc THESIS

Erman AKGÜNDÜZ

DEPARTMENT OF PHYSICS  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
UNIVERSITY OF DİCLE

2015

Semiconductors are the basis of modern technology. To investigate the optical properties of semiconductors must make the thin film. In this study, the newly synthesized and characterized by the  $\text{LH}_2$  N, N'-Bis (salicylidene)- 1.4- diaminobutane ligand complexes and Mn complex with Cu was investigated annealed optical properties at different temperatures. The samples were formed into thin films by sol-gel method. Samples were calcined respectively at 20, 40, 60, 80 and 100°C for 30 minutes. Band range for  $\text{LH}_2$  sample (3.3-3.7 eV) for CuL sample (2.1- 2.5 eV) in the range to MnL sample (2.6- 2.8 eV) was obtained in the range. Absorption and transmission rates were obtained using a UV-VIS device. Dependent changes which thin-film devices brought into the complex refractive index of the wavelength (300-900 nm) were measured with ellipsometer using.

KEY WORDS: Metal complexes, energy gap, semiconductor, ellipsometer, sol gel

## ÇİZELGE LİSTESİ

| <b><u>Çizelge No</u></b> |                                                 | <b><u>Sayfa</u></b> |
|--------------------------|-------------------------------------------------|---------------------|
| <b>Çizelge 3.1.</b>      | Sol Jel yönteminin üstünlük ve sınırlılıkları   | 41                  |
| <b>Çizelge 4.1.</b>      | Sıcaklığa karşı $E_g$ (eV) değerleri            | 56                  |
| <b>Çizelge 4.2.</b>      | Sıcaklığa karşı $n$ (kırılma indeksi) değerleri | 58                  |

## GRAFİK LİSTESİ

| <b><u>Grafik No</u></b> |                                                                            | <b><u>Sayfa</u></b> |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| <b>Grafik 4.1.</b>      | CuL metal kompleksin soğurma dalga boyu                                    | 51                  |
| <b>Grafik 4.2.</b>      | CuL metal kompleksin geçirgenlik dalga boyu                                | 52                  |
| <b>Grafik 4.3.</b>      | MnL metal kompleksin soğurma dalga boyu                                    | 52                  |
| <b>Grafik 4.4.</b>      | MnL metal kompleksin geçirgenlik dalga boyu                                | 53                  |
| <b>Grafik 4.5.</b>      | LH <sub>2</sub> ligandına ait soğurma dalga boyu                           | 83                  |
| <b>Grafik 4.6.</b>      | LH <sub>2</sub> ligandına ait geçirgenlik dalga boyu                       | 54                  |
| <b>Grafik 4.7.</b>      | CuL metal kompleksin $(\alpha h\nu)^{1/2}$ (h $\nu$ ) bağılı grafiği       | 54                  |
| <b>Grafik 4.8.</b>      | MnL metal kompleksin $(\alpha h\nu)^2$ (h $\nu$ ) bağılı grafiği           | 55                  |
| <b>Grafik 4.9.</b>      | LH <sub>2</sub> Ligandının $(\alpha h\nu)^{1/2}$ (h $\nu$ ) bağılı grafiği | 55                  |
| <b>Grafik 4.10.</b>     | CuL ince filmine ait kırılma indisi dalga boyu                             | 56                  |
| <b>Grafik 4.11.</b>     | LH <sub>2</sub> ince filmine ait kırılma indisi dalga boyu                 | 57                  |
| <b>Grafik 4.12.</b>     | MnL ince filmine ait kırılma indisi dalga boyu                             | 57                  |

## ŞEKİL LİSTESİ

| <u>Sekil No</u>                                                                                                                                                                                                | <u>Sayfa</u> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 3.1. İletken, yarıiletken ve yalıtkanın enerji bant yapısı                                                                                                                                               | 9            |
| Şekil 3.2. Bir yarıiletkenin enerji-bant diyagramı                                                                                                                                                             | 10           |
| Şekil 3.3. Saf bir yarıiletkenin (a) mutlak sıcaklıkta ( $0^0\text{K}$ ) ve (b) oda sıcaklığında ( $300^0\text{K}$ ) iletim ve valans bantları ve ısı olarak uyarılmış elektron ve holler şeklinde verilmiştir | 11           |
| Şekil 3.4. Fermi-Dirac dağılım fonksiyonu                                                                                                                                                                      | 12           |
| Şekil 3.5. Bir yarıiletkende $m_c^* = m_h^*$ durumunda a) iletim ve valans bantları ve b) dağılım fonksiyonu ile elektron ve hollerin durum yoğunluğu                                                          | 14           |
| Şekil 3.6. Has yarıiletkenlerde ( $m_e^* = m_h^*$ ) Fermi enerji seviyesi ( $T=0^0\text{ K}$ )                                                                                                                 | 17           |
| Şekil 3.7. Silisyum atomuna arsenik katkılanması                                                                                                                                                               | 19           |
| Şekil 3.8. n-tipi bir yarıiletkenin a) $T= 0^0\text{K}$ ve b) $T>0^0\text{K}$ sıcaklıkta enerji bant diyagramı                                                                                                 | 20           |
| Şekil 3.9. Si kristaline B atomu katkılanması                                                                                                                                                                  | 21           |
| Şekil 3.10. p-tipi bir yarıiletkenin (a) $T= 0^0\text{ K}$ ve (b) $T>0^0\text{ K}$ bant diyagramı                                                                                                              | 21           |
| Şekil 3.11. (a) n-tipi ve (b) p-tipi katkılı yarıiletkenlerde Fermi enerji seviyeler                                                                                                                           | 23           |
| Şekil 3.12. Bir yarıiletken üzerine gelen tek renkli ışınım                                                                                                                                                    | 25           |
| Şekil 3.13. Yarıiletkende temel absorpsiyon spektrumu                                                                                                                                                          | 26           |
| Şekil 3.14. Direkt bant geçici                                                                                                                                                                                 | 27           |
| Şekil 3.15. (a) Bir yarıiletkende indirekt vadiler arası indirekt bant geçişi (b) Direkt bantlarda bir $E_{ilk}$ ilk enerji seviyesinden iletim bandına mümkün indirekt bandı geçişlerinden dördü              | 29           |
| Şekil 3.16. İnce bir filmde çok yansımali ışık geçirimi                                                                                                                                                        | 35           |
| Şekil 3.17. Kristal alan teorisinde basit bir koordinasyon bileşiğinde metal- ligand etkileşimi                                                                                                                | 37           |
| Şekil 3.18. Moleküler orbital teorisinde basit bir koordinasyon bileşiğinde metal-ligand etkileşimi                                                                                                            | 38           |
| Şekil 3.19. Daldırarak kaplama yönteminin şematik gösterimi                                                                                                                                                    | 40           |

| <b><u>Şekil No</u></b> |                                                                              | <b><u>Sayfa</u></b> |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| <b>Şekil 3.20</b>      | Solüsyonun spin – coater üzerine damlatılması                                | 42                  |
| <b>Şekil 3.21</b>      | Spin kaplamada çözeltinin düşük hızlarda döndürülmesi                        | 42                  |
| <b>Şekil 3.22</b>      | Spin kaplamada çözeltinin yüksek hızlarda döndürülmesi                       | 43                  |
| <b>Şekil 3.23</b>      | Spin kaplamada çözeltinin düşük hızlarda döndürülerek jelleşmenin sağlanması | 43                  |
| <b>Şekil 3.24</b>      | Tavlama işleminin gerçekleştirildiği fırın                                   | 47                  |
| <b>Şekil 3.25</b>      | UV-VİS ölçümlerinin yapıldığı Pelkin Elmer lamda-25 fotospektrometre         | 47                  |
| <b>Şekil 3.26.</b>     | Yasak enerji aralığının belirlenmesi                                         | 48                  |
| <b>Şekil 3.27.</b>     | Spektroskopik Elipsometre                                                    | 50                  |

## KISALTMA VE SİMGELER

|              |                                                               |
|--------------|---------------------------------------------------------------|
| $E_g$        | : Yasak enerji bant aralığı                                   |
| $E_F$        | : Fermi enerji seviyesi                                       |
| $k_B$        | : Boltzman sabiti                                             |
| $f(E)$       | : Elektronun E enerji seviyesinde bulunma olasılığı           |
| $g_c(E)$     | : İletim bandındaki elektronların durum yoğunluğu             |
| $n$          | : İletim bandındaki elektronların yoğunluğu                   |
| $E_{c1}$     | : İletim bandının alt enerji değeri                           |
| $E_{c2}$     | : İletim bandının üst enerji değeri                           |
| $E_{v1}$     | : Valans bandının üst enerji değeri                           |
| $E_{v2}$     | : Valans bandının alt enerji değeri                           |
| $m_e^*$      | : İletim bandındaki elektronların etkin kütlesi               |
| $h$          | : Planck sabiti                                               |
| $N_c$        | : İletim bandındaki elektronların etkin durum yoğunluğu       |
| $p$          | : Valans bandındaki hol yoğunluğu                             |
| $g_v(E)$     | : Valans bandındaki hol durum yoğunluğu                       |
| $N_v$        | : Valans bandındaki hollerin etkin durum yoğunluğu            |
| $m_h^*$      | : Holün etkin kütlesi                                         |
| $n_i(T)$     | : Saf yarı iletken için özgün taşıyıcı yoğunluğu              |
| $E_d$        | : Donör enerji seviyesi                                       |
| $\epsilon_r$ | : Yarı iletkenin bağıl dielektrik sabiti                      |
| $E_H$        | : Hidrojen atomunun birinci iyonlaşma enerjisi                |
| $E_a$        | : Akseptör enerji seviyesi                                    |
| $N_D$        | : Donör yoğunluğu                                             |
| $N_A$        | : Akseptör yoğunluğu                                          |
| $E_{Fi}$     | : Saf yarıiletkenin fermi enerji seviyesi                     |
| $n_n$        | : n – tipi yarıiletkenin iletim bandındaki elektron yoğunluğu |
| $P_n$        | : n-tipi yarıiletkenin iletim bandındaki hol yoğunluğu        |
| $n_p$        | : p-tipi yarıiletkenin iletim bandındaki elektron yoğunluğu   |
| $p_p$        | : p-tipi yarıiletkenin valans bandındaki hol yoğunluğu        |
| $\nu$        | : Gelen ışığın frekansı                                       |
| $\lambda_g$  | : Gelen fotonun dalga boyu                                    |

|            |                              |
|------------|------------------------------|
| $c$        | : Işıık hızı                 |
| $\vec{k}$  | : Dalga vektörü              |
| $\alpha$   | : Absorpsiyon katsayısı      |
| $n$        | : Kırılma indeksi            |
| $A$        | : Absorpsiyon oranı          |
| $I_0$      | : Gelen ışıının şiddeti      |
| $I$        | : Geçen ışıının şiddeti      |
| $\Delta X$ | : Materyalin kalınlığı       |
| $R$        | : Yansıma katsayısı          |
| $\sigma$   | : Elektriksel iletkenlik     |
| $E$        | : Elektrik Alanı             |
| $H$        | : Magnetik Alanı             |
| $\nabla$   | : Gradyan işlemcisi          |
| $\mu$      | : Magnetik geçirgenlik       |
| $k$        | : Sönüm katsayısı            |
| $g$        | : Yerçekim ivmesi            |
| $\eta$     | : Denge durumdaki viskozite  |
| $U$        | : Geri çekme hızı            |
| $\rho$     | : Yoğunluk                   |
| $h_0$      | : Filmin başlangıç kalınlığı |
| $w$        | : Açısal hızı                |
| $t$        | : Zaman                      |
| $\lambda$  | : Dalga boyu                 |
| $v$        | : Işıının ortamdaki hızı     |
| $E_f$      | : Fononun enerjisi           |
| $h$        | : Filmin kalınlığı           |



## 1.GİRİŞ

Yarıiletkenler, geçtiğimiz yüzyılın başından günümüze kadar geçen süreçte önemi giderek artan ve üzerinde hala teorik ve deneysel çalışmaların yapıldığı teknoloji açısından da yeri ve önemi tartışılmaz materyallerdir.

Yarıiletkenlerin fiziksel, elektriksel ve optiksel özelliklerini araştırmak oldukça önemlidir. Filmi yapılan malzemenin nanoparçacık boyutlarda bir araya gelmesiyle uygulanacak bir takım parametre farklılıklarıyla oluşacak değişimler bilim dünyası tarafından önemle takip edilmektedir.

Elektronik devre teknolojisinin temelini oluşturan yarıiletkenlerin optik özelliklerini incelemek için ince film haline getirmek önemli bir hale gelmiştir. Teknoloji imkanlarının artmasıyla kimyasal buhar kaplama, elektrikle kaplama, elektronik demet buharlaşması, sol-jel yöntemi, spin kaplama yöntemi ve termal buharlaştırma yöntemi gibi ince film kaplama teknikleri gelişmiştir.

Elektronik devre teknolojisinin gelişmesiyle beraber ince filmlerin kullanım alanları da ciddi anlamda artış sağlamıştır. Özellikle de temiz enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulan günümüzde yarıiletken filmler ışığa karşı hassas olduğundan güneş pili yapımında optoelektronik devre yapımında yaygın olarak kullanılır. Ayrıca kobalt, nikel, bakır, mangan gibi geçiş metalleri ile yapılan devre elemanları da nem ve gaz sensörü olarak kullanılmaya başlanmıştır (Natsume, Y. ve Sakata, H.; 2002).

Yeni devre üretme teknolojisi, yapı tabanı olarak genellikle silisyum kristalini kullanmakta ancak ilerleyen teknoloji farklı nitelikteki devre elemanlarına ihtiyaç duymaktadır. Silisyum kristalinde yük taşıyıcı hızlarının düşük olması ve bant yapısının doğrudan geçişlere uygun olmaması nedeniyle yeni tür yarıiletkenler elde edilmeye çalışılmaktadır. Çok yaygın olarak bilinen Si ve Ge dışında yarıiletken malzemeleri organik ve inorganik bileşiklerin kullanılmasıyla da elde etmek mümkündür (Martinez ve diğ. 1997; Farges, 1994). Yapılan bu yeni çalışmalarda yeni tür geçiş metal komplekslerin iletkenlik özellikleri araştırılmış ve sonuçta bunların yarıiletkenlik özellikleri gösterdikleri tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan çalışmalarda sentezlenen numunelerin kristal yapıları, elektronik iletkenlikleri, termal iletkenlikleri ve optik özellikleri araştırılmıştır.

Organik yarıiletkenler, kolay elde edilebilir ve çok çeşitli yollardan üretilebilir

olmalarından dolayı yarıiletken teknolojisinde önemli bir çalışma sahasına sahiptir (Akkılıç ve ark. 2008).

Organik yarıiletkenlerin önemli bir kullanım ve araştırma alanlarından biri de organik inorganik yapılardır (Kılıçoğlu ve Ocak 2011).

Yarıiletkenlerin optiksel özellikleri incelemek için temel absorpsiyon olayı, doğrudan ya da dolaylı geçişler, yasak enerji aralığını belirleme, absorpsiyon, geçirgenlik, yansıma oranları veya kırılma indeksi gibi parametreleri göz önüne almak gerekir. Yarıiletkenlerin, ısıtılarak sıcaklığı değiştirildiğinde yukarıda belirtilen parametrelerinde buna bağlı olarak değiştiği bu çalışmada gözlemlendi.

Bu tez çalışmasında Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Kimya bölümünde Prof. Dr. Hamdi TEMEL ve ekibi tarafından yeni sentezlenmiş ve karakterize edilmiş N,N'-Bis (salicylidene) -1,4-diaminobutane (LH<sub>2</sub>)'nin Cu (II) ile kompleksi (CuL), (LH<sub>2</sub>) ligandının Mn (II) ile kompleksi (MnL)'nin optik özellikleri araştırıldı. Numuneler sol - jel yöntemi ile homojen olmasına dikkat edilecek şekilde ince film haline getirildi.

Numuneler 20, 40, 60, 80 ve 100°C tavlansarak UV-VİS cihazıyla soğurma ve geçirgenlik oranları, buradan elde edilen veriler yardımıyla çizilen grafiklerin eğiminden yasak enerji aralıkları ve elipsometre kullanılarak kırılma indeksinin dalga boyuna bağlı değişimi belirlendi.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Aydoğdu ve ark. (2000) yaptıkları bir çalışmada bazı inorganik komplekslerin Optik, termal, iletkenlik, elektriksel ve yapısal özellikleri araştırdılar. L-Cu, L-Ni ve L-Co komplekslerinin n -tipi elektriksel iletkenliğe sahip oldukları saptandı. Komplekslerin elektriksel ve optiksel band aralıkları sırasıyla (1.46–1.36 eV),( 2.68–2.71 eV) ve (1.40–1.32 eV) aralığı olarak bulundu.

Rodrigues ve ark. (2000) yaptıkları çalışmada amorf ve kristal Ti-oxid filmlerini farklı sıcaklıklarda cam yüzey üzerine reaktif megnetron sputtering metodu ile kaplayarak incelediler. Filmlerin optiksel sabitleri, yansıma ve geçiş mor-ötesi ve görünür bölge spektrometrik ölçümleri ile belirlendi. Amorf filmler yaklaşık olarak 3.4 eV bant aralığına ve düşük enerjiler için geniş absorpsiyon kuyruğuna sahiptirler. Kristal filmler ise (3.3–3.35 eV) bant aralığı ve daha dar absorpsiyon kuyruğu göstermiştir. Optiksel sabitler film kalınlığına bağlıdır. Kristal filmlerin kırılma indeksinin derecesi kadar kalın filmlerde saçılma dağılımından kaynaklanan düzensizlik yapısının kanıtını göstermiştir.

Aydoğdu ve ark. (2002) yaptıkları bir çalışmada 1,2-O-benzal-4-aza-7-aminoheptane'dan 1,3-oxalone grubuna sahip 1,2-dihydroxyimino-3,7-diazo-9,10-Ocyclohexylide ligandını sentezlemişlerdir. Bu ligandların Cu (II) tuzları ile komplekslerini oluşturup bir takım özelliklerini incelemişlerdir. Komplekslerin yarıiletken özelliğe sahip olduklarını rapor etmişlerdir. Termal uç ölçümlerinden komplekslerin n-tipi yarıiletken olduklarını rapor etmişlerdir.

Aydoğdu ve ark. (2002) yeni sentezlenmiş Ni (L<sub>1</sub>H<sub>2</sub>) ve Ni (L<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) komplekslerinin elektrik ve optik özellikleri incelenmiştir. Bu komplekslerin inorganik yarıiletken özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Optik bant aralıkları, optik spektrumda elde edildi. Termal uç ölçümleri n-tipi elektriksel iletkenliğe sahip olduğunu göstermiştir.

Aydoğdu ve ark. (2003) yaptıkları bir çalışmada 1-Cloro-2,3-Obenzalpropane ve diclorogloxime'in reaksiyonundan hazırlanan 1,2-O-benzal -4-aza-7-aminoheptane'dan 1,3-oxalone gruba sahip 1,2-dihydroxyimino-3,7-diazo-9,10-Ocyclohexylide ligandı sentezlenmiştir. Bu ligandların Cu (II) tuzları ile birlikte bir takım özellikleri incelenmiş. Komplekslerin yarıiletken özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Termal uç ölçümleri ile komplekslerin n-tipi elektriksel özelliklere sahip olduğu görülmüştür.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

---

Yakuphanoglu ve ark. (2004) bazı optik ince film materyallerinin optiksel özellikleri, optik geçiş ve yansıma spektrası yardımıyla incelenmiştir. Kırılma indeksin dispersiyonu wemple-dimenico single oscillator modelinin şartlarında tartışıldı. Optiksel bant açtığı değerleri touc modeli ve wemple- dimenico modeli şartlarında hesaplandı. Wemple dimenico metod da bulunan EWDopt değerden touc modeli ile belirlenen değerlerle uygunluk içindedir. Optik absorpsiyon için mümkün optiksel geçişlerin türü (2.12-2.39 eV)'in enerji aralığında birlikte indirekt geçiştir. İnce filmin dispersiyon enerjisi  $E_d$  (29.69-14.32 eV) aralığında olduğu hesaplandı.

Arslan ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada N-N-N- trinaphthylmetil melamin- DDQ kompleks ince filminin optiksel özellikleri ve sentezi optik karakterizasyonu ile incelendiler. Kırılma indeksi ve absorpsiyon katsayısı gibi optik sabitler belirlendi ve kırılma indeksi dispersiyonu tek etkisi ve salınım modeli ile analiz edildi. Tek salınım enerjisi  $E_0$  ve dispersiyon enerjisi  $E_d$  hesaplandı. Sıcaklığın, kırılma indeksi dispersiyonu ve optik bant aralığı üzerine etkisi tartışıldı. Sonuç olarak tavlama sıcaklıkları ince filmin kırılma indeksi ve absorpsiyon kenarı üzerine önemli etkilere sahip olduğu gösterildi.

Rusu ve ark. (2005) yaptıkları çalışmada Kadmiyum oksit (CdO) ince filmleri sırasıyla 300° K ve 473° K de termal buharlaştırma ile vakum ortamında cam yüzey üzerine kaplandı. Yüzey sıcaklığına bağlı olarak filmlerin polikristal ya da amorf yapısı belirlendi. Yüzey sıcaklığının ve son-çökelti ısı uygulaması görünür bölgedeki optiksel geçişler için ısıtma/soğutma aşamaları sırasında elektriksel iletkenliğinin kesin sıcaklık bağıllığı incelendi. Sonuçlar kadmiyum eklemesi ve film rekristalizasyon bağlantısı içinde tavlama uygulaması sırasında tartışıldı. Optiksel enerji aralığı ( $E_g=2.4$  eV) olarak soğurma spektrasından direkt ve indirekt iç bağ geçişlerinde belirlendi.

Karipcin ve ark. (2006) yaptıkları bir çalışmada yeni dioxine ligandı ve onun trinuclear Cu (II) kompleksinin karakterizasyonu açıklanmıştır. IR spektası ligand dört yüzlü şekilde rol oynadığını ve bakır iyonu için ( $H_2L$ ) 'nin N4 donör gruplarını koordine ettiğini göstermiştir. Metal kısıkaçın yapısı elamantel analizi magnetik moment kondüktometrik ve spektroskopik ölçümler yardımı ile açıklandı. Optik soğurma çalışması hesaplanan bant aralığı enerji değeri ile birlikte geçişin direkt olduğunu gösterir. Bileşiğin dielektrik sabiti ve kırılma indeksi gibi optik sabitleri belirlendi. Kırılma indeksi

dispersiyon eğrileri tek salınım modeli ve salınım parametrelerine uyar. Wemple var. Dimenico tarafından geliştirilen  $E_0$  ve  $E_d$  optik dispersiyon parametreleri hesaplandı.

Gad ve ark.(2010).Yapılan bu çalışmada  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  ince filmini yaptılar. Bu oluşturulan ince filmi 100 ve 200°C de tavladılar.Buna göre sıcaklığın artmasıyla geçirgenliğin %80 den %70 düştüğünü gözlemlediler.Bu sıcaklık değerlerine göre kırılma indeksinin sıcaklık artışına bağlı olarak 1.775'ten 1.769'a düştüğünü gözlemlediler.Sıcaklığın kırılma indeksini ve geçirgenliğini etkilediğini gözlediler.

Mahendran ve Suriyanarayanan.(2010). Yaptıkları çalışmada  $CuInS_2$  ince filmini püskürtme yöntemiyle elde ettiler. Bu ince filmi 300, 325, 350, 375 ve 400°C de tavladılar.Bu ince filmlerin optiksel özelliklerini daha iyi anlayabilmek için yasak enerji bant aralıklarını hesapladılar.Buna göre sırasıyla 1.66, 1.63, 1.62, 1.60 ve 1.58 eV değerlerine ulaştılar.Sıcaklığın artmasıyla birlikte yasak enerji bant aralıklarının azaldığını gözlemlediler.Kullanılan bileşiğin doğrudan geçişli yarıiletken özelliğine sahip olduğunu düşündüler.

Temirci ve ark. (2010) Ligand olarak N-APTH ve onun Cu (II) kompleksini sentezlemişler. Sentezlenen ligandın ve kompleksinin ince filmini oluşturarak optik geçirgenlik ölçümlerini UV-VİS spektrometre kullanarak elde etmişlerdir. Optik ölçümlerden (N-ATH) ligandının ve Cu (II) kompleksinin yasak enerji aralığını sırasıyla 3.15 eV ve 2.36 eV olarak bularak yarıiletken karakter gösterdiklerini rapor etmişlerdir.

Aksu ve ark.(2011).Mn-CdS ince filmini oluşturdular. Daha sonra bu ince filmi 300, 350 ve 400°C de tavladılar. Yarıiletkenler için önemli bir özellik olan yasak enerji bant aralıklarının sıcaklık artışına bağlı olarak 3.42 eV' den 3.33 eV'e düştüğünü gözlemlediler. Sıcaklığın artmasıyla birlikte yasak enerji bant aralıklarının azaldığı sonucuna vardılar. Kullanılan materyalin doğrudan geçişli bir yarıiletken özelliğe sahip olduğunu gözlemlediler.

Ulutaş ve ark.(2012).  $\gamma$ -MnS ince filmini hazırladılar. Daha sonra bu ince filmi 27, 40 ve 70°C'de fırında tavladılar. Bu sıcaklık değerlerinde yasak enerji bant aralıklarını 3.80, 3.70 ve 3.40 eV diye ölçtüler. Sıcaklığın artmasıyla geçirgenliğin uzun dalga boylarında 570-670 nm aralığında %88'den % 57'e indiği gözlemlediler. Sıcaklığın artmasıyla hem yasak enerji bant aralıkları hem de geçirgenliğin azaldığı gözlemlendi.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

---

Kullanılan malzemenin doğrudan geçişli bir yarıiletken özellikte olduğu sonucuna vardılar.

Ziabari ve Ghodsi.(2013). Yaptıkları çalışmada sol jel yöntemini kullanarak CdS bileşiğine değişik oranlarda Cu katkılayarak ince film oluşturup ve bu ince filmleri 250 ve 350°C de tavladı. Bu ince filmlerin yasak enerji bant aralıklarını % 1 katkılama için 2.31, 2.27 eV %3 katkılama için ise 2.40 ve 2.35 eV değerlerini elde ettiler. Değişik katkılama oranlarıyla birlikte sıcaklık artışına bağlı olarak kırılma indeksinin %1 için 1.9'dan 2.1'e, %3 katkı için 1.91'den 2.2'ye çıktığını gözlemlediler. Yapılan bu çalışmada sıcaklık arttıkça yasak enerji bant aralığı ve kırılma indeksi azalırken katkılama arttırıldığında bu iki değerinde arttığı anlaşıldı.Sentezlenen materyalin doğrudan geçişli bir yarıiletken olduğu gözlemlendi.

Farid M. Abdel-Rahim ve ark.(2013) Bi<sub>5</sub>Ge<sub>40</sub>Se<sub>55</sub> ince filmi üzerinde çalıştılar. Bu ince filmi 323, 373 ve 423°K sıcaklıklarında tavladılar. Sıcaklığın optiksel özelliklerine etkisini araştırdılar. Belirtilen sıcaklıklarda tavlanan filmlerin geçirgenlik ve kırılma indekslerinin dalga boyuna bağlı grafiklerini çizdiler. Sıcaklık artışıyla birlikte geçirgenlik ve kırılma indeksinin azaldığı sonucuna vardılar. Yasak enerji aralığının sıcaklık artışıyla birlikte azaldığını gözlemlediler. 323'de 1.51 eV, 373'de 1.39 eV ve 423° K'de 1.30 eV yasak enerji bant değerleri elde edildi. Yapılan ince filmin yarıiletken özellik gösterdiği düşünüldü ve termal uç ölçümlerden n-tipi bir yarıiletken oldukları gözlemlendi.

Yonghui Wang ve ark. (2013) Ge-Te-In ince filmi hazırladılar. Bu ince filmi sırasıyla 150, 200, 250, 300 ve 350°C'de tavladılar. Bu tavlama sonrası optiksel sabitlere etkisini incelediler. Belirtilen sıcaklıklarda tavlanan filmlerin Absorpsiyon, geçirgenlik oranlarının dalga boyuna bağlı grafikleri çizildi. Artan sıcaklık değerlerine karşın geçirgenliğin azaldığı sonucuna varıldı. Yasak enerji bant aralıkları hesaplandı. 150°C'de 0.802 eV, 200°C'de 0.542 eV, 250°C'de 0.426 eV, 300° C'de 0.203 eV, 350°C'de ise 0.149 eV değerleri elde edildi. Sıcaklığın artmasıyla yasak enerji bant aralığının azaldığı sonucuna ulaşıldı. Çizilen grafiklere bağlı olarak materyalin bir yarıiletken olduğu ve indirekt geçiş olduğu sonucu düşünüldü.Termal uç ölçümlere dayalı olarak yarıiletkenin n-tipi olduğu sonucuna ulaşıldı.

Saidani ve ark.(2014). Yaptıkları çalışmada ZnO bileşiğine Cu katkılayıp sol jel yöntemini kullanarak ince film oluşturdu. Daha sonra bu ince filmleri 400, 450, 500 ve

500°C de tavladı. Bu ince filmlerin yasak enerji bant aralıklarını tespit etti. Buna göre sıcaklığını arttırarak sırasıyla 3.36, 3.33, 3.31 ve 3.28 eV değerlerini elde etti. Oluşturulan bu ince filmin geçirgenliğini kontrol ettiklerinde sıcaklığın artmasıyla geçirgenliğinde %95 ten %75'e düştüğünü gözlemlediler. Bu çalışmada sıcaklık artışıyla birlikte yasak enerji bant aralığı ile geçirgenliğin azaldığı soğurmanın ise arttığı gözlenmiştir. Yapılan bu çalışmada ince film materyalinin doğrudan geçişli olduğu sonucuna varılmıştır.

Ma ve ark.(2014). Yapılan çalışmada  $Mn_{1.56}Co_{0.96}Ni_{0.48}O_4$  ince filmini hazırlayarak 20, 80, 140, 200 ve 260°C de tavladılar. Daha sonra spektroskopik elipsometre kullanarak geçirgenliği daha rahat gözlemlemek için uzun dalga boylarını dikkate alarak sıcaklığın artmasıyla kırılma indeksinin de azaldığını gözlemlediler.

M.M. El-Nahass ve ark.(2014) titanil ftalosiyanın adı verilen bir organik bileşiğin ince filmini yaptılar. Bu ince filmi oda sıcaklığı 298° K ve 433° K sıcaklığında tavladılar. Sıcaklığın değişmesiyle birlikte optiksel özelliklerinde değiştiği belirlendi. Bu tavlanan ince filmlerin geçirgenlik ve kırılma indekslerinin dalga boyuna karşı grafiklerini çizdiler. Yapılan filmlerin indirekt geçiş olduğunu gözlemlediler. Termal uç yöntemiyle yarıiletkenin n-tipi olduğunu belirlediler. Çizdikleri grafiklerde sıcaklık artışı ile geçirgenlik, kırılma indisi ve yasak enerji bant aralığının azaldığı sonucuna ulaştılar.

M.M. El-Nahass ve ark.(2014) CuTPP İnce filmini hazırladılar. Bu ince filmi 298°K dışında 453, 503 ve 523° K sıcaklık değerlerinde tavladılar. Bu tavlama işleminin optiksel değerler üzerindeki etkilerini gözlemlediler. Geçirgenlik, yansıma ve kırılma indislerinin dalga boyuna bağlı değişim grafikleri çizildi. Sıcaklığın artmasıyla geçirgenlik oranının ve kırılma indeksinin azaldığı sonucuna vardılar. Daha sonra bu materyallerin yasak enerji bant aralıkları tespit edildi. 298° K'de 1.88 eV, 453° K'de 1.53 eV, 503° K'de 1.47 eV, 523° K'de 1.42 eV değerleri elde edildi. Sıcaklığın artışıyla yasak enerji bant aralığının azaldığı sonucuna ulaşıldı. Elde edilen sonuçlarla yapılan maddenin yarıiletken olduğu düşünüldü. Termal uç yöntemiyle materyalin n-tipi bir yarıiletken oldukları düşünüldü.

M.I. Abd-Elrahman ve ark.(2015)  $Ag_{10}As_{30}S_{60}$  ince filmi üzerinde çalıştılar. Bu ince filmi 453, 500 ve 573°K sıcaklıklarında tavladılar. Sıcaklığın Optik sabitlerine etkisini araştırdılar. Belirtilen sıcaklıklarda tavlanan filmlerin absorpsiyon, geçirgenlik ve kırılma indeksinin dalga boyuna karşı grafikleri çizildi. Sıcaklık artışıyla birlikte kırılma indisi

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

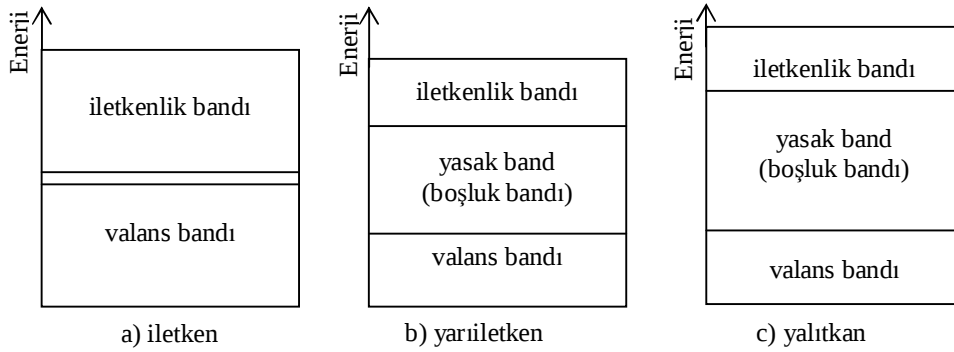
---

azalırken geçirgenlik değerlerinin değişiklik gösterdiğini gözlemlediler. Yapılan ince filmin indirekt geçiş olduğunu sapladılar. Yasak enerji aralıklarını  $453^{\circ}\text{K}$  için 2.3 eV,  $500^{\circ}\text{K}$  için 1.4 eV,  $573^{\circ}\text{K}$  için ise 1 eV olduğunu tespit ettiler. Buda sıcaklık artışıyla birlikte yasak enerji bant aralığının azaldığı sonucuna vardılar.

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Katılarda Band Yapısı

İletkenler, yarıiletkenler ve yalıtkanlar arasındaki farkı en iyi katıların band teorisi ile açıklanabilmektedir. Elektronlar en düşük enerjilerden yukarıya doğru enerji seviyelerini işgal etmeye başlarlar fakat bir katıyı oluşturan atomların dalga özelliklerinden dolayı bazı enerji seviyeleri yasaklanmıştır.  $T = 0^\circ\text{K}$ 'de tam doldurulan seviyeye valans bandı adı verilir. Valans bandındaki elektronlar ilettime katılmazlar. Valans bandının üzerindeki ilk boş enerji seviyesine iletim bandı denir. İletkenlerden ayrı olarak, yarıiletkenler ve yalıtkanlarda iletim ve valans elektronlarının arasında elektronların bulunamayacağı yasak enerji aralığı bulunmaktadır. Yarıiletkenlerde yasak enerji aralığı (1-3.5 eV) civarındayken, yalıtkanların sahip olduğu yasak enerji aralığı elektronun ısı enerjisinden çok büyüktür. Bu enerji termal olarak oldukça yüksek sıcaklık gerektirdiğinden ve oda sıcaklığında valans bandı tamamen dolu iken iletim bandı tamamen boş olduğu için yalıtkanların elektriksel iletkenliği çok düşük değerdedir (Zor 1991). Yasak enerji aralığı, yarıiletkenlerin kimyasal bağ türü ve atomların türü ile belirlenir. Yarıiletkenler incelendiğinde yasak enerji aralığının 0.1 eV'den 5 eV'ye kadar değiştiği gözlenebilir.

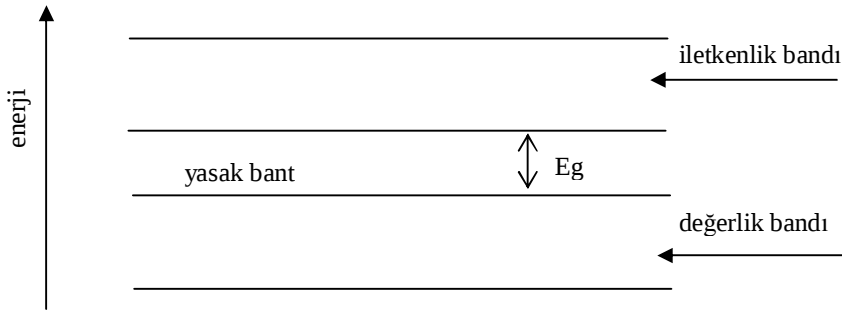


Şekil 3.1. İletken, yarıiletken ve yalıtkanın enerji band yapısı

Şekil 3.1. (a) da görüldüğü gibi iletkende yasak band aralığı oldukça küçüktür. (b) ve (c) de ise yasak band aralığı oldukça geniştir.

Valans bandındaki elektronların yörüngesinden koparak iletkenlik bandına geçmesi için bu iki band arasındaki yasak bandı geçmesi gerekir. Yarıiletkenlerde valans bandındaki

elektronlar ısı, ışık ve gerilim gibi uyarılmalarla iletkenlik bandına geçebilirler. Elektronun geçişi ile değerlik yani valans bandında elektron boşluğu meydana gelir. Dışarıdan elektrik ya da manyetik alan uygulandığında, bu boşluklar (holler) pozitif yük gibi davranırlar. Bir yarıiletkende oluşan elektrik akımı, iletkenlik bandındaki elektronların hareketi ve değerlik bandındaki boşlukların hareketlerinin toplamı olarak kabul edilir.



**Şekil 3.2.** Bir yarıiletkenin enerji-band diyagramı (Menşur.2002)

Katkısız yani has bir yarıiletkende mutlak sıfır sıcaklığında iletkenlik bandı tamamen boş olup değerlik bandından  $E_g$  kadar bir enerji ile ayrılmıştır (Şekil 3.2). Kesin bir sınırı olmamakla birlikte enerji band aralığı  $1.0 \leq E_g \leq 3.5$  eV arasında ise madde yarıiletken olarak adlandırılır (Sze ve Kwok 1976).

### 3.2.Yarıiletkenler

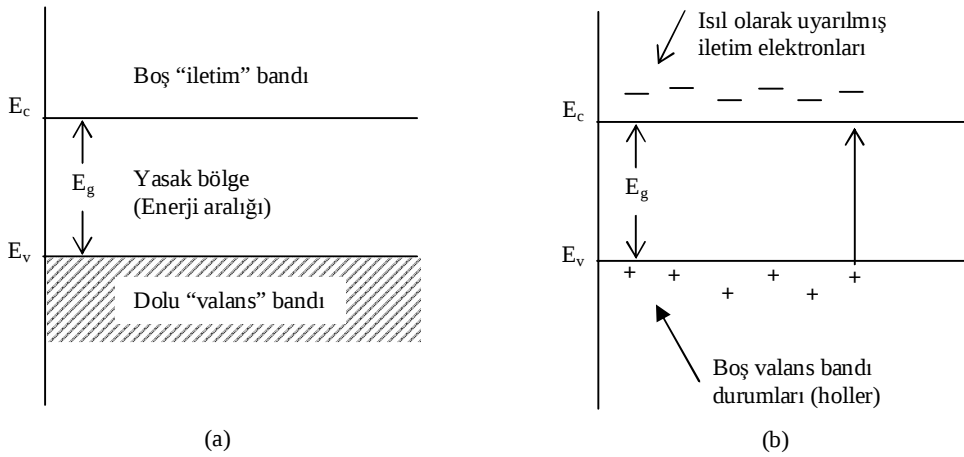
Yarıiletkenler, birçok özellikleri bakımından iletkenlerden ve yalıtkanlardan farklılıklar gösteren katıların ayrı bir sınıfıdır. Günümüz teknolojisinde önemli bir rolü olan yarıiletkenler, diyot, transistör ve tümeşik devreler gibi devre bileşenlerinin yanı sıra anahtar, fotovoltaiik pil, dedektör, termistör gibi aygıtların yapımında kullanılır.

Yarıiletken metal kompleksler, farklı yasak enerjilere sahip olmaları, ucuz ve değişik özellikte elde edilmelerinden dolayı son zamanlarda kullanım alanları oldukça artmıştır (Dağdelen ve Aydoğdu).

Oda sıcaklığında, metallerin özdirençleri  $10^{-8}$ - $10^{-4}$   $\Omega$ cm arasında, yarıiletkenlerin özdirençleri  $10^{-2}$ - $10^{-9}$   $\Omega$ cm arasında yalıtkanların özdirençleri ise  $10^9$ - $10^{20}$   $\Omega$ cm arasında değişmektedir. Belirtilen değerler keskin olmamakla beraber özdirençleri  $10^9$   $\Omega$ cm'den

büyük olan maddelere yalıtkan denilirse mutlak sıfırda saf yarıiletkenlerin yalıtkan olacağı söylenebilir. Yarıiletkenlerin yasak enerji aralıkları öyle bir değere sahiptir ki, ısı uyarılma ile elektriksel iletkenlik gösterirler. Yarıiletkenlerde sıcaklık arttıkça valans bandından iletim bandına ısı uyarılma yoluyla elektronlar geçerler. İletkenlik bandındaki elektronlar ve bu elektronların valans bandında bıraktıkları boşluklar elektriksel iletkenliğe katkıda bulunurlar (Mckelvey 1966). Sıcaklığın yükselmesiyle öz dirençlerinin azalması yarıiletkenleri metallere ayıran en önemli özelliklerden biridir.

Bir yarıiletkenin enerji band yapısı,  $0^{\circ}\text{K}$ 'de tamamen dolu elektronik durumlardan oluşan bir valans bandı, mutlak sıfırda tamamen boş bir iletim bandı ve bu iki band arasında bir yasak enerji aralığı şeklindedir (Şekil 3.3a). Yarıiletken, mutlak sıfır sıcaklığında kısmen dolu bandı olmadığı için mükemmel bir yalıtkandır. Bununla birlikte, sıcaklık artırıldığında valans bandından birkaç elektron yeterli ısı enerjisi elde ederek yasak band üzerinden uyarılıp daha önce boş olan iletim bandında bir iletim elektronu olabilir. Geride kalan valans bandındaki boşluk adı verilen pozitif yüklü boş durumlar da iletkenliğe katkıda bulunurlar (Şekil 3.3b). Artan sıcaklıkla birlikte iletme katkıda bulunan elektronların ve hollerin sayısının artacağı açıktır. Bundan dolayı elektriksel iletkenlik sıcaklıkla doğru orantılı bir şekilde artmış olur.



**Şekil 3.3.** Saf bir yarıiletkenin (a) mutlak sıcaklıkta ( $0^{\circ}\text{K}$ ) ve (b) oda sıcaklığında ( $300^{\circ}\text{K}$ ) iletim ve valans bantları ve ısı olarak uyarılmış elektron ve holler şeklinde verilmiştir.

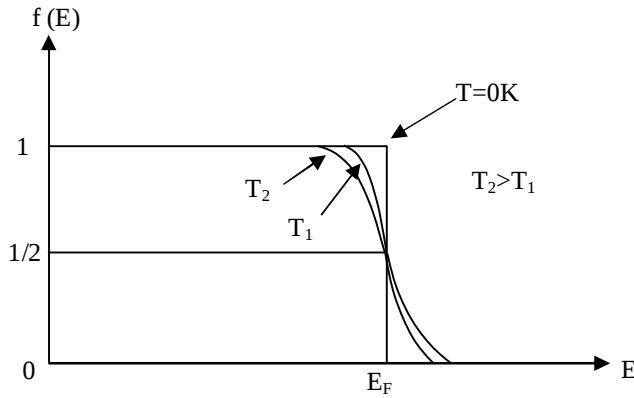
### 3.2.1. Taşıyıcı Konsantrasyonu ve Has Yarıiletkenler

Yarıiletkenlerde elektron ve holler iletkenliği sağladığından onlara genellikle serbest taşıyıcı ya da taşıyıcı denir. Birim hacimdeki taşıyıcıların sayısı, yarıiletken için önemli bir özelliktir ve yarıiletkenin elektriksel iletkenliğini belirlemede önemli rol oynar. Taşıyıcıların yoğunluğunu belirlemek için Fermi-Dirac dağılım fonksiyonundan yararlanılır. Fermi-Dirac dağılım fonksiyonu,

$$f(E) = \frac{1}{e^{\frac{E-E_F}{k_B T}} + 1} \quad (3.1)$$

bağıntısı ile verilir. Burada;  $E_F$ , Fermi enerji seviyesi  $k_B$  ise Boltzman sabitidir.

Fermi-Dirac dağılım fonksiyonu, elektronun  $T$  sıcaklığında ve  $E$  enerji seviyesinde bulunma olasılığını veren bir fonksiyondur. Bu fonksiyonun  $E$  enerjisine göre değişimi Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Fermi-Dirac dağılım fonksiyonu

Fermi-Dirac dağılım fonksiyonu incelenirse;  $T \rightarrow 0$  K iken,  $E < E_F$  için  $(E - E_F)/k_B T \rightarrow \infty$  ve  $E > E_F$  için de  $(E - E_F)/k_B T \rightarrow \infty$  olur. Böylece  $f(E < E_F) = 1$  ve  $f(E > E_F) = 0$  elde edilir. Buna göre  $T = 0$  K iken  $E_F$ 'nin altındaki tüm enerji seviyeleri dolu ve  $E_F$ 'nin üstündeki tüm enerji seviyeleri boştur.  $T > 0$  K ve  $E = E_F$  için  $f(E) = 1/2$  olur. Yani Fermi enerji seviyesinin işgal edilme olasılığı  $1/2$ 'dir.

$(E - E_F) \gg k_B T$  olması durumunda ise  $e^{\left(\frac{E-E_F}{k_B T}\right)}$  değeri 1'den çok büyük olacağından 1 sayısı ihmal edilebilir ve denklem (3.1) Maxwell-Boltzman dağılım fonksiyonuna dönüşür. Bu fonksiyon,

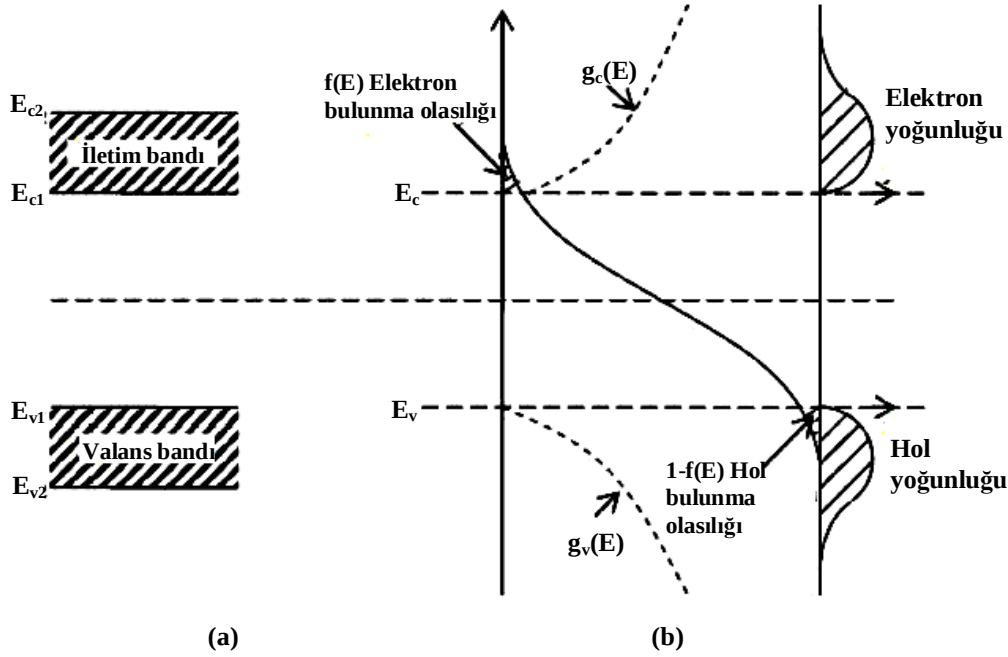
$$f(E) = e^{-\left(\frac{E-E_F}{k_B T}\right)} \quad (3.2)$$

şeklinde. Bundan sonra iletim bandındaki elektronların yoğunluğu hesaplanabilir.  $(E, E+dE)$  enerji aralığı bölgesindeki durumların sayısı  $g_c(E)dE$ 'ye eşit olur.

$g_c(E)$  elektron durum yoğunluğudur. Bu durumların her birinin işgal edilme olasılığı  $f(E)$  ise, bu enerji aralığı bölgesinde bulunan elektronların yoğunluğu  $f(E)g_c(E)dE$  olur. İletim bandındaki elektronların yoğunluğu  $n$ ;

$$n = \int_{E_{c1}}^{E_{c2}} f(E)g_c(E)dE \quad (3.3)$$

bağıntısı ile verilir. Burada;  $E_{c1}$  ve  $E_{c2}$ , iletim bandının sırasıyla alt ve üst enerji değerlerini ifade eder. Şekil 3.4'de dağılım fonksiyonu ve durum yoğunluğunun enerjiye göre değişimi verilmiştir.



Şekil 3.5. Bir yarıiletken  $m_c^* = m_h^*$  durumunda a) iletim ve valans bantları ve b) dağılım fonksiyonu ile elektron ve hollerin durum yoğunluğu

İletim bandındaki elektronların durum yoğunluğu  $g_c(E)$ ,

$$g_c(E) = \frac{1}{2\pi^2} \left( \frac{2m_c^*}{h^2} \right)^{3/2} (E - E_g)^{1/2} \quad (3.4)$$

bağıntısı ile verilir. Burada;  $m_e^*$  iletim bandındaki elektronların etkin kütlesidir.

Eğer  $E < E_g$  ise  $g_c(E)$  sıfıra gider.  $E_g < E$  ise  $g_c(E)$  sonludur. Valans bandının üst sınırını sıfır enerji kabul edip eşitlik (3.3)'teki  $E_{c1}$  ve  $E_{c2}$  sınırları yerine, sırasıyla  $E_g$  ve  $\infty$  değerlerini kullanarak ve (3.4)'ü (3.3)'te yerine yazarsak,

$$n = \frac{1}{2\pi^2} \left( \frac{2m_c^*}{h^2} \right)^{3/2} e^{E_p/k_B T} \int_{E_g}^{\infty} (E - E_g)^{1/2} e^{-E/k_B T} dE \quad (3.5)$$

elde edilir. İntegral sınır değerlerine göre alınırsa elektron yoğunluğu  $n$ ,

$$n = 2 \left( \frac{m_e^* k_B T}{2\pi \hbar^2} \right)^{3/2} e^{-\left(\frac{E_c - E_F}{k_B T}\right)} \quad (3.6)$$

olur ve  $N_c$

$$N_c = 2 \left( \frac{m_e^* k_B T}{2\pi \hbar^2} \right)^{3/2} e^{-\left(\frac{E_c - E_F}{k_B T}\right)} \quad (3.7)$$

olarak alınır

$$n = N_c e^{-\left(\frac{E_c - E_F}{k_B T}\right)} \quad (3.8)$$

olarak bulunur. Burada;  $N_c$ , iletim bandındaki elektronların etkin durum yoğunluğudur. Bu ifadede üstel olmayan terim üstel olan terime göre sıcaklıkla daha yavaş bir şekilde değişir. Aynı şekilde valans bandındaki hol yoğunluğu  $\rho$  ise,

$$p = \int_{E_{v1}}^{E_{v2}} (1 - f(E)) g_v(E) dE \quad (3.9)$$

bağıntısı ile verilir. Burada  $g_v(E)$  valans bandındaki hol durum yoğunluğu,  $g_v(E)dE$ , holler için  $(E, E+dE)$  enerji bölgesindeki durumların sayısı,  $E_{v1}$  ve  $E_{v2}$  ise valans bandının alt ve üst sınır değerleridir. Bu durumların her birinin işgal edilme olasılığı  $(1-f(E))$ 'ye sahip olduğu için, bu enerji bölgesinde bulunan hollerin yoğunluğu  $(1-f(E)) g_v(E) d(E)$ 'ye eşittir. Böylece valans bandında hol yoğunluğu  $\rho$ ,

$$p = 2 \left( \frac{m_h^* k_B T}{2\pi \hbar^2} \right)^{3/2} e^{-\left(\frac{E_F - E_v}{k_B T}\right)} \quad (3.10)$$

olur ve  $N_v$

$$N_v = 2 \left( \frac{m_h^* k_B T}{2\pi \hbar^2} \right)^{3/2} \quad (3.11)$$

olarak alınır

$$p = N_v e^{-\left(\frac{E_F - E_v}{k_B T}\right)} \quad (3.12)$$

olarak bulunur. Burada  $N_v$  valans bandındaki hollerin etkin durum yoğunluğunu ve  $m_h^*$  ise holün etkin kütesini göstermektedir.

Eğer yarıiletken, saf bir yarıiletken ise elektron yoğunluğu ile hol yoğunluğu birbirine eşit olur. Çünkü valans bandındaki bir elektron, ısı uyarılmayla iletim bandına çıkarsa valans bandında bu elektrona karşılık sadece bir tane boşluk oluşur. Bu nedenle iletim bandındaki elektron yoğunluğu ( $n$ ) valans bandındaki hol yoğunluğu ( $\rho$ )'ye eşit

$$n = \rho \quad (3.13)$$

ve çarpımları verilen sıcaklıkta sabit olup

$$n \cdot \rho = n_i^2(T) \quad (3.14)$$

ile verilir. Bu eşitliğe mass-action yasası denir. Burada,  $n_i(T)$  verilen bir yarıiletken için özgün taşıyıcı yoğunluğudur ve sıcaklığın bir fonksiyonudur. Elektron ve hollerin taşıyıcı yoğunlukları için bulunan bağıntıları denklem (3.13) te yerine yazarsak, taşıyıcı yoğunluğu  $n_i(T)$ ,

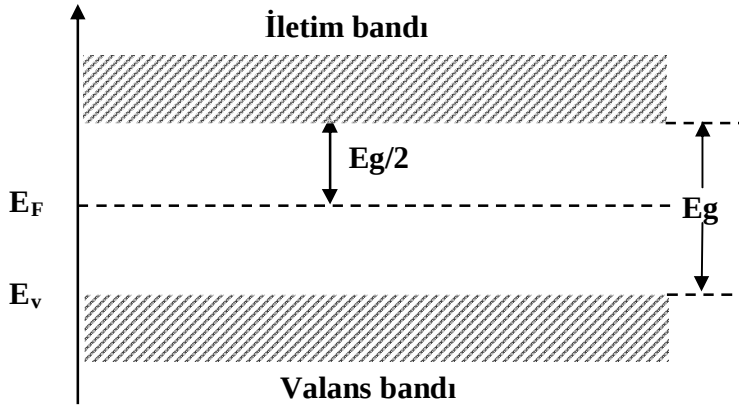
$$n_i(T) = 2 \left( \frac{k_B T}{2\pi \hbar^2} \right)^{3/2} (m_e^* m_h^*)^{3/4} e^{\frac{E_g}{2k_B T}} \quad (3.15)$$

bağıntısı ile verilir. Verilen bir yarıiletkende yasak enerji aralığı ve etkin kütleler belli ise taşıyıcı yoğunluğu yalnızca sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ortaya çıkar.

Mutlak sıfır sıcaklıkta bir katının elektronlarının Pauli ilkesine uygun olarak bütün enerji seviyelerini doldurması gerekmektedir. Bu durumda en üstteki seviyeye  $E_F$ , Fermi enerji seviyesi denir. Has yarıiletkenlerde elektron ve hol konsantrasyonları eşit olduğundan, (3.8) ve (3.12) denklemleri (3.13) denkleminde yerine yazılırsa Fermi enerji seviyesi  $E_{Fi}$ ,

$$E_{Fi} = \frac{1}{2} E_g + \frac{3}{4} k_B T \ln \left( \frac{m_h^*}{m_e^*} \right) \quad (3.16)$$

ile verilir. Has yarıiletkenlerde, elektron ve hol etkin kütleleri birbirine eşit alındığında ( $m_e^* = m_h^*$ ) Fermi enerji seviyesi Şekil 3.6 da görüldüğü gibi yasak enerji aralığının tam ortasında olur.



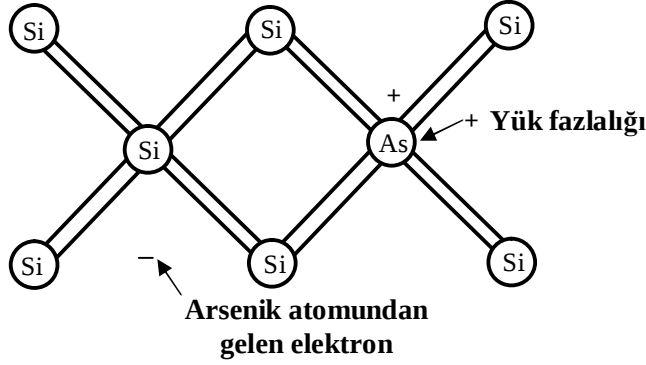
Şekil 3.6. Has yarıiletkenlerde ( $m_e^* = m_h^*$ ) Fermi enerji seviyesi ( $T=0$  K)

#### 3.2.2. Katkılı Yarıiletkenler

Saf (has) bir yarıiletkende elektron ve hol konsantrasyonları birbirine eşittir. Çünkü bir elektron valans bandından iletim bandına ısı uyarılma ile çıkarılırken daima geride bir hol bırakır. Günümüzde önemli olan birçok uygulamada, bir tek taşıyıcı tipinin öne çıkacağı örneklerle ihtiyaç vardır. Bir yarıiletken uygun katkı elementleri ile kalkıldığında iletkenliği sağlayacak çoğunluk taşıyıcıları holler ya da elektronlar olan numuneler elde edilebilir. Bu katılama ve örgü bozuklukları yarıiletkenin elektriksel özelliğini önemli ölçüde belirleyen faktörlerdir. Yarıiletkenler katılama işleminden sonra n-tipi ya da p-tipi özellik gösterirler.

##### 3.2.2.1. n-tipi Yarıiletkenler

Saf yarıiletkenlerden en yaygın kullanılan silisyum ve germanyum kristallerine katkı atomları katıldığında bu yapıların özellikleri değişmiş olur. Silisyum ve germanyum elmas yapısında kristalleşir ve IV. grup elementlerindendir. Her atom komşu dört atomla kovalent bağ kurar çünkü değerliği dördür. Değerliği beş olan fosfor, arsenik veya antimon gibi bir katkı elementi, örgüdeki normal bir atomla yer değiştirirse, dört kovalent bağ tamamladıktan sonra geriye oldukça zayıf bağla bağlı bir valans elektronu kalır. Böylece, bir katkı maddesi örgüyü en az bozacak şekilde yer edinmiş olur. Şekil 2.6'da silisyum kristaline arsenik atomunun katılanması görülmektedir. Kristal içerisinde arsenik atomunun beş değerlik elektronundan dördü, silisyum atomunun dört değerlik elektronu ile kovalent bağ yapar. Arsenik atomunun beşinci elektronu arsenik atomuna zayıf bir kuvvetle bağlıdır. Bu beşinci elektron ortamdan sağlayacağı ısı enerjisi ile kolayca iyonlaşabilir ve böylelikle bir fazla iletim elektronu ortaya çıkar. Arsenik atomu ise dört komşu silisyum atomu tarafından sıkı bir bağla bağlı olduğu için durgundur.



Şekil 3.7. Silisyum atomuna arsenik katkılanması

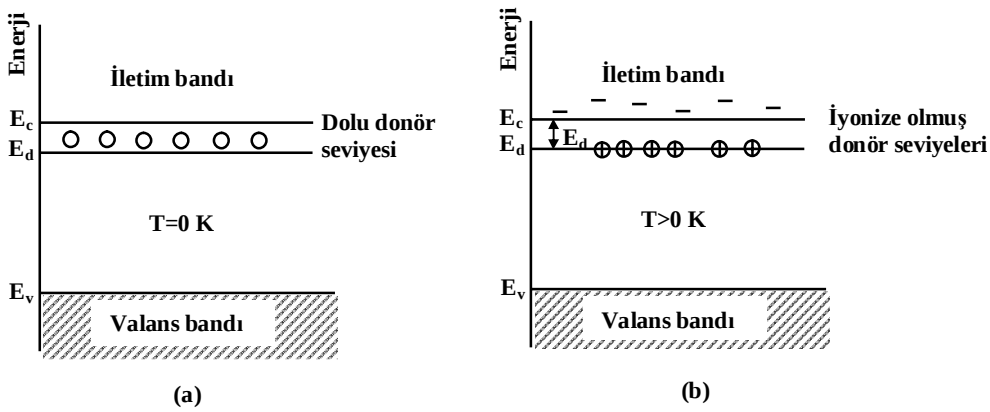
Elektron yoğunluğunun, hol yoğunluğundan fazla olduğu yarıiletkenlere n-tipi yarıiletken adı verilir. Kristale katkılanan atomlara elektron verici anlamında donör ve katkılanan atomların bulunduğu enerji seviyesine de donör enerji seviyesi adı verilir. Donörün iyonlaşma enerjisi Bohr atom modeli bağıntıları kullanılarak hesaplanır. Hidrojen atomunun birinci iyonizasyon enerjisi -13.6 eV'dir. Buna göre katkılı yarıiletkende donör enerji seviyesi  $E_d$ ,

$$E_d = \left( \frac{1}{\epsilon_r} \right)^2 \left( \frac{m_e^*}{m_e} \right) E_H \quad (3.17)$$

bağıntısı ile verilir. Burada;  $\epsilon_r$ , yarıiletkenin bağıl dielektrik sabiti ve  $E_H$  ise hidrojen atomunun birinci iyonlaşma enerjisidir.

n-tipi yarıiletkenlerde donör atomunun iyonlaşması ile donör enerji seviyesinden iletim bandına çıkan elektronlara karşılık valans bandında holler oluşmaz. Donör yoğunluğuna bağlı olarak, n-tipi yarıiletken materyallerde elektron yoğunluğu hol yoğunluğundan fazla olacağından, elektriksel iletkenliğe elektronlardan gelen katkı daha çok olacaktır. Bu nedenle, n-tipi yarıiletkenlerde elektronlara çoğunluk taşıyıcıları, hollere ise azınlık taşıyıcıları adı verilir.

Donörün enerji seviyesi, yasak enerji aralığının bulunduğu bölgede yer alır ve iletim bandının biraz aşağısında bulunur (Şekil 3.8). Bununla birlikte n-tipi yarıiletkenlerde Fermi enerji seviyesi, yasak enerji aralığının orta kısmından ayrılarak iletim bandına doğru kayma yapar. Bu kayma miktarı katkı yoğunluğuna göre değişir. Bundan dolayı, küçük bir enerjiyle bile donör atomlarının iyonlaşır ve donör elektronları iletim bandına geçerler. Bu enerjiye katkılanan atomun iyonlaşma enerjisi denir.



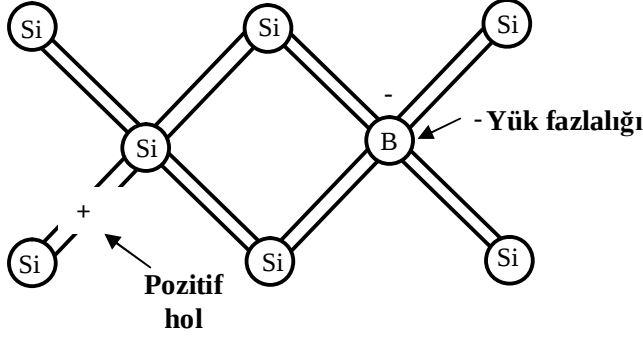
Şekil 3.8. n-tipi bir yarıiletkenin a.)  $T= 0\text{ K}$  ve b)  $T>0\text{ K}$  sıcaklıkta enerji band diyagramı

Silisyuma katkılanan, beş değerlikli başlıca donörlerin iyonlaşma enerjileri, P için 0.045 eV, As için 0.049 eV ve Sb için ise 0.039 eV'dir. Germanyuma katkılanan donörlerin iyonizasyon enerjileri, P için 0.012 eV, As için 0.0127 eV ve Sb için ise 0.0096 eV'dir.

### 3.2.2.2. p-tipi Yarıiletkenler

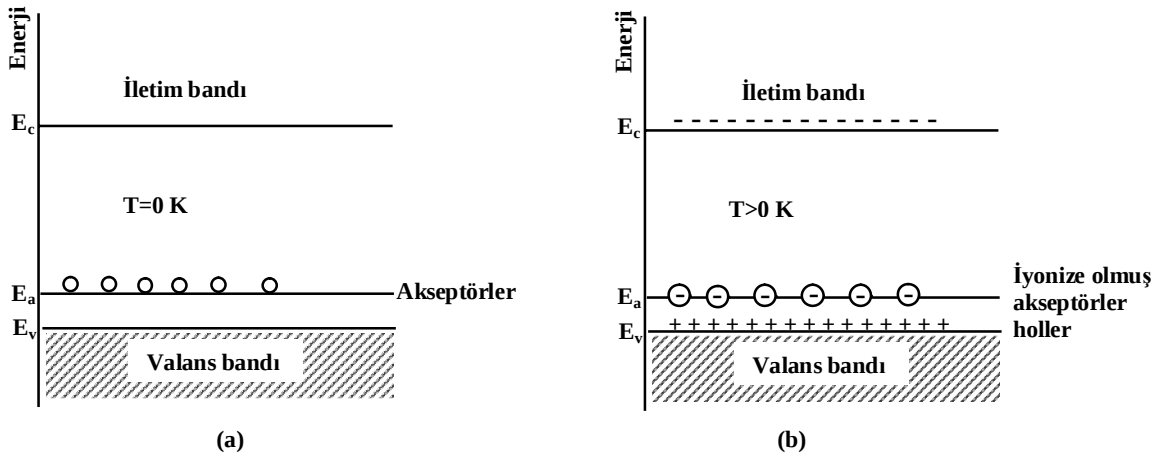
Periyodik tablonun dördüncü grubunda yer alan silisyum ve germanyum elementlerine periyodik tablonun üçüncü grubunda yer alan bor, alüminyum, galyum ve indiyum gibi bir madde eklenebilir. Silisyum kristaline bor atomu katkılanması durumunu göz önüne alalım (Şekil 3.9). Bor atomu üç tane değerlik elektronuna sahiptir ve silisyuma katkılıandığında elektron bağlantı yerlerinden biri boş kalır. Bu boşluk yani hol bir diğer bağlanmadan kapılan bir elektronla doldurulur ve hol bu elektronun yerine geçer. Böylece hol kristal içerisinde bir yerden başka bir yere geçmiş olur. B, Al, Ga ve In gibi üç değerlikli katkı atomları komşu atomlarla kovalent bağı tamamlayabilmek için valans

bandından elektron alıp geride bir hol bıraktıkları için alıcı anlamında akseptör adı verilir. Bu akseptörlerin bulundukları enerji seviyesine de akseptör enerji seviyesi denir.



Şekil 3.9. Si kristaline B atomu katkılanması

Bir akseptör iyonlaştığında yukarıda belirtilen boşluğun serbest kalması için enerji verilmesi gerekir. Enerji band diyagramında görüldüğü gibi bir elektron enerji aldığı anda bandın üst tarafına çıkarken boşluk enerji aldığı anda aşağı inmektedir. Şekil 3.10'da görüldüğü gibi akseptör enerji seviyeleri yasak enerji aralığının bulunduğu bölgede yer alır ve valans bandına yakın olur. Ayrıca p-tipi yarıiletkenlerde Fenni enerji seviyesi, yasak enerji aralığının orta kısmından ayrılarak valans bandına doğru kayar. Bu kayma katkı yoğunluğuna bağlı olarak değişiklik gösterir.



Şekil 3.10. p-tipi bir yarıiletkenin (a)  $T=0^\circ\text{K}$  ve (b)  $T>0^\circ\text{K}$  band diyagramı

Akseptör enerji seviyesi, akseptör tarafından bir holün yakalanabilmesi için gerekli enerjiye denir. Akseptör iyonlaştığında, yani bir elektron valans bandından holün bulunduğu yeri dolduracak şekilde uyarıldığında, hol valans bandının en üst enerji seviyesine düşer ve serbest bir taşıyıcı haline gelir ve iletkenliğe katkıda bulunur. Bu yüzden iyonlaşma olayı, enerji diyagramında elektronun yukarıya doğru çıkışı, holün ise aşağıya inişi olarak kabul edilebilir. Donör enerji seviyelerine benzer olarak akseptör enerji seviyeleri,

$$E_a = \left( \frac{1}{\epsilon_r} \right)^2 \left( \frac{m_h^*}{m_h} \right) E_H \quad (3.18)$$

bağıntısı ile verilir.

Silisyuma katkılanan akseptörlerin iyonizasyon enerjileri, B için 0.045 eV, Al için 0.057 eV, Ga için 0.065 eV ve In için ise 0.157 eV'dir. Germanyuma katkılanan akseptörlerin iyonizasyon enerjileri, B için 0.0104 eV, Al için 0.0102 eV, Ga için 0.0108 eV ve In için ise 0.0112 eV'dir.

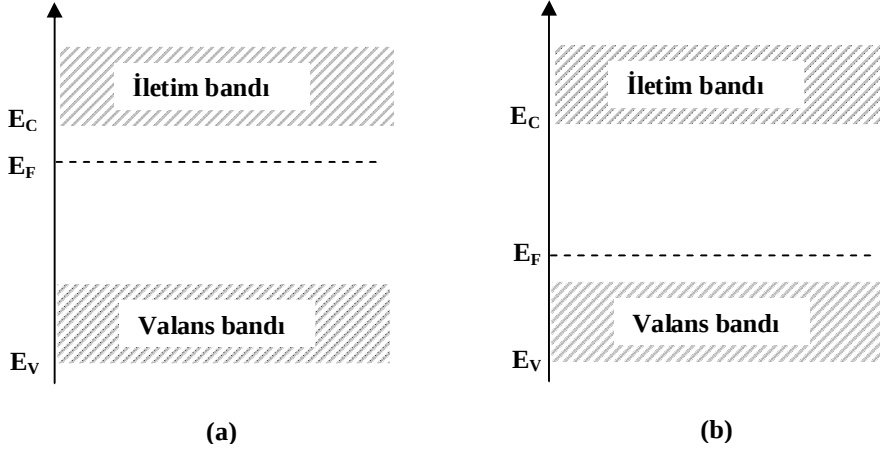
Katkılı yarıiletkenlerde Fermi enerji seviyesi katkısız haldeki durumdakinden farklıdır. Katkılı yarıiletkenlerde Fermi enerji seviyesinin yeri katkı atomlarının yoğunluğuna ve türüne göre değişir, n-tipi yarıiletkenlerde Fermi enerji seviyesi iletim bandına, p-tipi yarıiletkenlerde ise valans bandına daha yakındır. Katkılı yarıiletkenlerde Fermi enerji seviyesi;

$$E_F = E_{Fi} + k_B T \sinh^{-1} \left( \frac{N_D - N_A}{2n_i} \right) \quad (3.19)$$

bağıntısı ile verilir. Burada;  $N_D$  donör yoğunluğu,  $N_A$  akseptör yoğunluğu ve  $E_{Fi}$ , ise has yarıiletkenlerde Fermi enerji seviyesidir.

Bu bağıntıdaki,  $(N_D - N_A)$  net katkı yoğunluğuna bağlı olarak, katkılı yarıiletkenlerde Fermi enerji seviyesi, n-tipi yarıiletkenlerde iletim bandına, p-tipi yarıiletkenlerde ise

valans bandına daha yakın olacağı açıktır. Katkılı yarıiletkenlerde Fermi enerji seviyesinin yeri Şekil 3.11'de görülmektedir.



Şekil 3.11. (a) n-tipi ve (b) p-tipi katkılı yarıiletkenlerde Fermi enerji seviyeleri

Katkılı yarıiletkenlerde de aynı yarıiletken materyal için, n-tipi veya p-tipi durumuna göre, taşıyıcı yoğunlukları arasında.

$$n_n \rho_n = n_p \rho_p = n_i^2(T) \quad (3.20)$$

bağıntısı vardır. Bu bağıntı belirli bir sıcaklıkta, elektron ve hol yoğunluklarının çarpımının sabit, toplamalarının farklı olacağını anlamına gelir. Bağıntı 3.20 de anlaşılacağı gibi taşıyıcılara yoğunluğu uygun katılama yaparak birbirlerine göre değerleri artırılabilir ya da azaltılabilir.

### 3.3. Işık Madde Etkileşimi

Yarıiletkenlerin band yapısını belirlemenin en kolay yöntemi yarıiletkenlerin absorpsiyon spektrumunu ölçmekten geçer (Pankove 1971, Patterson 2010).

Absorpsiyon, yarıiletkene gelen elektromanyetik dalga ile madde içindeki elektrik yüklerinin etkileşmesi sonucu ortaya çıkan enerji kaybı olayıdır. Absorpsiyon sürecinde, belirli enerjiye sahip bir foton bir elektronu düşük enerji seviyesinden daha yüksek bir

enerji seviyesine doğru uyarır. Böylece, absorpsiyon spektrumunda enerji seviyeleri arasında tüm mümkün olan geçişler, yarıiletkenin yasak enerji aralığı ve bant tipi hakkında bilgi almamızı sağlar. Yarıiletkenin örgüsündeki kristal kusurlarını dikkate almazsak, ışığın absorplanmasının en belirgin nedenleri şunlardır;

- 1) Kristalde titreşimlerin mevcut olması,
- 2) İzinli bantlardaki elektron ve hollerin uyarılması,
- 3) Eksiton oluşturulması,
- 4) Yasak enerji aralığı içindeki yerleşik seviyelerin uyarılması,
- 5) Valans bandından iletim bandına yasak enerji aralığını geçecek şekilde elektronların uyarılması

Yarıiletken bir materyalde yarıiletkenin bant yapısına bağlı olarak absorpsiyon olayı farklı şekillerde gerçekleşebilmektedir. Yarıiletkenlerde absorpsiyon olayı şu şekillerde meydana gelmektedir (Pankove 1971).

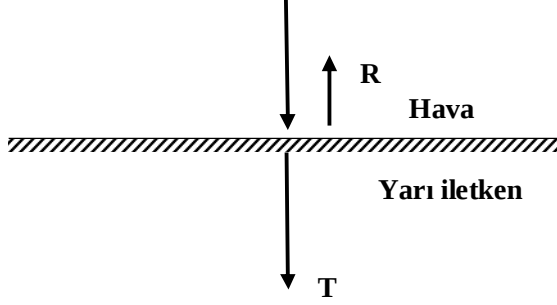
- a) Temel absorpsiyon olayı,
- b) Eksitonların absorpsiyonu,
- c) Serbest taşıyıcıların absorpsiyonu,
- d) Katkı atomlarının absorpsiyonu,
- e) Sıcak elektron (hot elektron) etkisiyle absorpsiyon,
- f) Elektronik tuzaklarına (isoelectronic trap) bağlı absorpsiyon,
- g) Akseptör-donör arası mümkün geçişler,
- h) Bant içi (intraband) geçişler,
- i) Örgü absorpsiyonudur.

Bu absorpsiyon olaylarından bir veya bir kaç bir yarıiletken materyalde aynı anda birlikte gerçekleşebilir.

#### 3.4. Işığın Yarıletkenden Geçiş

Şekil 3.12 deki gibi güneş ışınları yatay duran bir yarıiletken üzerine dik olarak gelsin. Gelen ışınımın R kadarı geriye yansır, geri kalanı T ise yarıiletken içine girer. Yarıiletken içine giren ışınım, eğer ışınımın enerjisi  $h\nu > E_g$  ise, elektron yarıiletken

tarafından soğurulur. Eğer  $h\nu < E_g$  ise ışınlım, enerjisini yarıiletken atomlarına aktararak yarıiletkenin ısınmasına neden olarak yok olur.



Şekil 3.12. Bir yarıiletken üzerine gelen tek renkli ışınlım (Engin, 1995)

### 3.5. Yarıiletkenlerin Optiksel Özellikleri

#### 3.5.1. Temel Absorpsiyon Olayı

Temel absorpsiyon bir yarıiletkende, valans bandındaki bir elektronun materyale gelen ışınlardan bir foton soğurarak iletim bandına geçmesi olarak adlandırılabilir (Şekil 3.13). Bunun için yarıiletken üzerine düşen fotonun enerjisinin yasak enerji aralığına eşit veya yasak enerji aralığından büyük olması gerekir. Bu durumda gelen fotonun frekansı  $\nu$

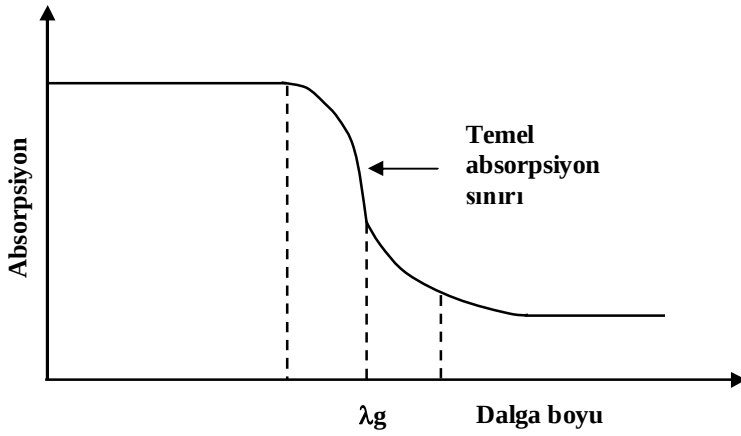
$$\nu \geq E_g/h \quad (3.21)$$

şeklinde yazılabilir. Gelen fotonun dalga boyu  $\lambda_g$

$$\lambda_g \leq hc/E_g \quad (3.22)$$

dir. Burada,  $h$  Planck sabitini  $c$  ise ışık hızını göstermektedir.

Şekil 3.13'de görülen bir yarıiletkenin temel absorpsiyon spektrumunda  $\lambda_g$  dalga boyuna değerce yakın dalga boylarından itibaren absorpsiyonda sürekli bir artış gözlenir ve  $\lambda_g$  'den sonra bir denge değerine ulaşır. Yarıiletken materyal  $\lambda_g$  dalga boyundan küçük dalga boylarında kuvvetli bir soğurucu,  $\lambda_g$  dalga boyundan değerce daha büyük dalga boylarında ise hemen hemen geçirgen özellik gösterir. Bu iki bölgeyi ayıran sınır, temel absorpsiyon sınırı olarak adlandırılır.

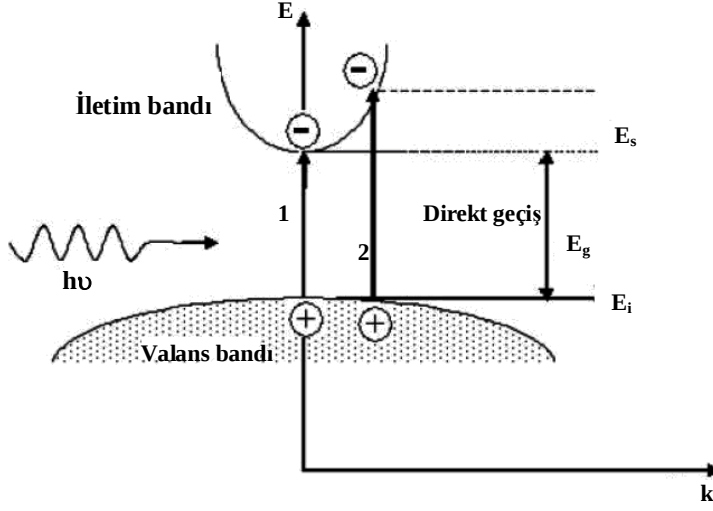


Şekil 3.13. Yarıiletkende temel absorpsiyon spektrumu

Bir yarıiletkenin temel absorpsiyon sınırında, direkt ve indirekt olmak üzere iki tür geçiş olayı söz konusudur.

### 3.5.2. Direkt Bant Geçiş

Bir yarıiletken materyalde iletim bandının minimumu ile valans bandının maksimumu enerji-momentum uzayında aynı  $k$  değerine sahip olabilir. ( $\Delta k = 0$ ). Bu tür bandlara direkt band denir. Böyle bir materyalde valans bandından bir elektronun iletim bandına geçmesi direkt geçiş olarak ifade edilir. Direkt band geçişi gelen fotonun enerjisi, yarıiletkenin yasak enerji aralığına eşit ise Şekil 3.14'de 1 geçişi olarak; gelen fotonun enerjisi, yarıiletkenin yasak enerji aralığından büyük ise Şekil 3.14'de 2 geçişi olarak görülür.



Şekil 3.14. Direkt bant geçici

Parabolik bandlarda, son durum enerji seviyesi ile yasak enerji aralığı arasındaki fark alınarak ilk enerji seviyesi elektronlar için,

$$E_{son} - E_g = \frac{\hbar^2 k^2}{2m_c^*} \quad (3.23)$$

holler için,

$$E_{ilk} = \frac{\hbar^2 k^2}{2m_h^*} \quad (3.24)$$

ile verilir. Burada  $m_c^*$  elektronun etkin kütlelerini  $m_h^*$  ise holün etkin kütlelerini göstermektedir.  $E_{son}$  ve  $E_{ilk}$  değerleri denklem (3.24)'de yerine yazıldığında,

$$h\nu - E_g = \frac{\hbar^2 k^2}{2} \left( \frac{1}{m_c^*} + \frac{1}{m_h^*} \right) \quad (3.25)$$

bağıntısı elde edilir. Direkt geçişlerde eksiton oluşumu veya elektron-hol etkileşimi dikkate alınmazsa absorpsiyon katsayısı  $\alpha$  gelen fotonun enerjisine

$$(\alpha h\nu) = A^* (h\nu - E_g)^r \quad (3.26)$$

eşitliğiyle bağlıdır. Burada  $A^*$ , bir sabit olup eşitliğin diğer tarafına atarsak

$$n(\alpha h\nu) \approx ((h\nu - E_g)^r \quad (3.27)$$

gibi verilir. Burada  $r$  bir sabit ve  $n$  ise kırılma indeksidir. Bu denklemden  $r$  izinli direkt geçişler için  $1/2$ , izinsiz direkt geçişler için ise  $3/2$  değerini alır.

### 3.5.3. İndirekt Band Geçişi

Yarıiletkenlerde iletim bandının minimumu ile valans bandının maksimumu enerji-momentum uzayında aynı  $k$  değerine karşılık gelmiyorlarsa ( $\Delta \vec{k} \neq 0$ ) bu tür bandlar indirekt band diye ifade edilir (Şekil 3.15). İndirekt bandlar arasındaki geçişlere indirekt band geçişi denir. İndirekt band geçişlerinde enerji korunur. Momentum korunumu için iki şarttan biri gerekir. Bunlar ya bir fononun emisyonu ya da soğurulması gerekir.

Bu iki geçiş

$$h\nu_{cm} = E_{son} - E_{ilk} + E_f \quad (\text{fonon emisyonu için}) \quad (3.28)$$

$$h\nu_{abs} = E_s - E_i - E_f \quad (\text{fonon absorpsiyonu için}) \quad (3.29)$$

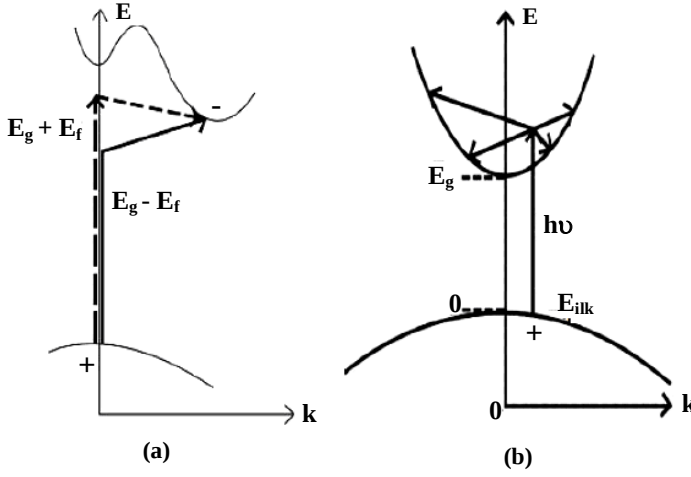
ile verilir. Burada  $E_f$ , fononun enerjisidir. Fonon absorpsiyonlu geçiş için absorpsiyon katsayısı ( $h\nu > E_g - E_f$  için)

$$\alpha_{abs}(h\nu) = \frac{A(h\nu - E_g - E_f)^r}{\exp\left(\frac{E_f}{k_B T}\right) - 1} \quad (3.30)$$

ile verilir. Fonon emisyonlu geçişler için absorpsiyon katsayısı ( $h\nu > E_g + E_f$  için)

$$\alpha_{cm}(h\nu) = \frac{A(h\nu - E_g + E_f)^r}{1 - \exp\left(-\frac{E_f}{k_B T}\right)} \quad (3.31)$$

ile verilir.



**Şekil 3.15.** (a) Bir yarıiletkende indirekt vadiler arası indirekt bant geçişi (b) Direkt bantlarda bir  $E_{ilk}$  ilk enerji seviyesinden iletim bandına mümkün indirekt bandı geçişlerinden dördü

Burada, indirekt bantlar arası indirekt geçişler (Şekil 3.15a) için  $r=2$ , direkt bantlar arası indirekt geçişler (Şekil 3.15b) için  $r=3$  alınır. Hem fonon emisyonu hem de fonon absorpsiyonun olması durumunda absorpsiyon katsayısı ( $\alpha$ ) ile frekans ( $\nu$ ) arasındaki bağıntı,

$$n_0 \alpha h\nu \approx \frac{(h\nu - E_g - E_f)^r}{\exp\left(\frac{E_f}{k_B T}\right) - 1} + \frac{(h\nu - E_g + E_f)^r}{1 - \exp\left(-\frac{E_f}{k_B T}\right)} \quad (3.32)$$

ile verilir. Burada  $r$ , izinli indirekt geçişler için 2, yasaklı indirekt geçişler için 3 değerlerini alabilen bir sabittir.

#### 3.6.Optiksel Sabitler

##### 3.6.1. Absorpsiyon Sabiti

Yarıiletkenlerin band aralığını belirlemek için en kolay ve en etkili yöntem absorpsiyon spektrumunu ölçmektir. Absorpsiyon, yarıiletkeneye gelen elektromanyetik dalga ile maddedeki elektrik yüklerinin etkileşmesi sonucu ortaya çıkan enerji kaybı olayıdır. Absorpsiyon sürecinde, bilinen enerjiye sahip foton bir elektronu düşük bir enerji seviyesinden daha yüksek bir enerji seviyesine uyarır. Böylece, absorpsiyon spektrumunda enerji seviyeleri arasında tüm mümkün olan geçişler, yarıiletkenin yasak enerji aralığı ve band tipi hakkında bizlere bilgi verir.

Tek renkli ışık demetinin soğurucu özelliğe sahip materyal üzerine düşürüldüğünü düşünelim. Gelen ışığın bir kısmının yüzeyden yansıdığı gerçeğini ihmal edelim. Böylece gelen ışığın şiddeti  $I_0$  ve ortamdan geçen ışığın şiddeti  $I$  olmak üzere iki değere sahip oluruz. Materyalin çok ince olduğunu düşünürsek ışık  $\Delta x$  kalınlıktaki bölgeden geçtikten sonra gelen ışığın şiddeti  $-\Delta I$  kadar azalır, azalma miktarı ilk şiddete ve  $\Delta x$ 'e bağlıdır.

$$-\Delta I = I - I_0 = I_0 \alpha \Delta x \quad (3.33)$$

denkleminde  $\alpha$  sabiti soğurma katsayısıdır. Bu katsayı, soğurucu ortamın ve ışığın dalga boyunun karakteristiğini gösterir. Işğın şimdi iki ya da daha fazla ince  $\Delta x$  kalınlığındaki tabakalardan geçtiğini düşünelim. Soğurma katsayısı, verilen materyalin karakteristiğini gösterecek ve gelen ışın şiddetinden bağımsız olacaktır. Böylece  $\Delta x$  kalınlığındaki plakanın arkasına yerleştirilen ikinci plaka ile ilk plakadan geçen ışğın şiddeti biraz daha azalacaktır. Fakat buraya gelen ışık şiddeti birinciye gelenden az olacağından daha az kayıp olacaktır. Fakat mutlak kayıp az olsa da her iki tabakadan olan ışık kaybı oranı eşit olacaktır. Bu  $N$  tane tabaka olsa da geçerli olur. Eşitlik 3.33'den  $\alpha$  çekilirse

$$\alpha = -\frac{\Delta I}{I_0 \Delta x} \quad (3.34)$$

elde edilecektir. Burada  $a$  soğurucu materyalin her birim kalınlıktan kaynaklanan azalma oranını veya soğuruculuğunu göstermektedir. Katmanları  $dx$  gibi çok küçük kalınlıklara indirirsek. Işık her katmanı geçerken soğurulan ilk ışık şiddeti  $\frac{dI}{I_0}$  oranı böylece

$$\frac{dI}{I_0} = -\alpha dx \quad (3.35)$$

şekline gelecektir. Toplam  $x$  kalınlığından geçen ışık şiddetindeki azalmayı bulmak için bu ifade,  $x=0$  da  $I_0$  ve  $x=x$  te  $I$  olmak üzere integre edilirse;

$$\int_0^x \frac{dI}{I_0} = -\alpha \int_0^x dx \quad (3.36)$$

$$\ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = -\alpha x \quad (3.37)$$

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (3.38)$$

olacaktır. (3.38) denklemi soğurma yasası olarak bilinir ve Lambert tarafından geliştirilmiştir.

Optik soğurma için Beer-Lambert yasası

$$\alpha = \frac{1}{I(\lambda)} \frac{dI(\lambda)}{dx} \text{ ya da} \quad \alpha = 2,303.A/x \quad (3.39)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $I(\lambda)$  ışık şiddetini,  $x$  ortam içinde alınan yolu,  $a$  ise soğurma katsayısını göstermektedir.

**3.6.2. Kırılma İndeksi**

$\mu$  magnetik geçirgenlik katsayısına,  $\varepsilon$  dielektrik sabitine ve  $\sigma$  elektriksel iletkenliğe sahip bir ortamdan geçerken, yayılan bir ışın Maxwell denkleminde uyar.

$$\nabla \times E = -\frac{\mu}{c} \frac{dH}{dt} \quad (3.48)$$

$$\nabla \times H = -\frac{4\pi\sigma}{c} E + \frac{\varepsilon}{c} \frac{dE}{dt} \quad (3.49)$$

$$\nabla \cdot H = 0 \quad (3.50)$$

$$\nabla \cdot E = 0 \quad (3.51)$$

Denklem 3.48 ve 3.49 birleştirildiğinde,

$$\begin{aligned} \nabla \times \nabla \times E &= -\frac{\mu}{c} \frac{d}{dt} (\nabla \times H) \\ &= -\frac{\mu}{c^2} 4\pi\sigma \frac{dE}{dt} - \frac{\mu\varepsilon}{c^2} \frac{d^2 E}{dt^2} \end{aligned}$$

elde edilir. Fakat  $\nabla \times \nabla \times E = \nabla(\nabla \cdot E) - \nabla^2 E$  ve denklem 3.51 düşünüldüğünde,

$$\frac{d^2 E}{dx^2} = -\frac{\mu}{c^2} 4\pi\sigma \frac{dE}{dt} + \frac{\mu\varepsilon}{c^2} \frac{d^2 E}{dt^2} \quad (3.52)$$

yazılabilir. Denklem 3.48 ve denklem 3.52 birlikte uygulanırsa,

$$-\frac{(2\pi\nu)^2}{v^2} = i2\pi\nu \frac{\mu}{c^2} 4\pi\sigma - \frac{\mu\varepsilon}{c^2} (2\pi\nu)^2$$

$$\frac{1}{v^2} = \frac{\mu\varepsilon}{c^2} - i \frac{\mu 4\pi\sigma}{2\pi v c^2} \quad (3.53)$$

Bütün yarıiletkenler için  $\mu=1$  alınır. Denklem 3.53 tekrar yazıldığında

$$\frac{1}{v^2} = \frac{\varepsilon}{c^2} - i \frac{2\sigma}{v c^2} \quad (3.54)$$

elde edilir. Mutlak kırılma indeksi formülünde hız çekilirse;

$$\frac{1}{v^2} = \frac{nc^2}{c^2} = \frac{n^2}{c^2} - \frac{i2nk}{c^2} - \frac{k^2}{c^2} \quad (3.55)$$

elde edilir. Denklem 3.54 ve denklem 3.55'in reel ve sanal kısımları eşleştirilirse,

$$n^2 - k^2 = \varepsilon \quad (3.56)$$

$$nk = \frac{\sigma}{v} \quad (3.57)$$

yazılır. n ve k için çözüm yapılırsa

$$\begin{aligned} n^2 - k^2 &= (n+k)(n-k) \\ \varepsilon^2 &= (n^2 + k^2 + 2nk)(n^2 + k^2 - 2nk) \\ &= (n^2 + k^2)^2 - (2nk)^2 \\ &= (n^2 + k^2)^2 - \left(\frac{2\sigma}{v}\right)^2 \\ n^2 + k^2 &= [\varepsilon^2 + \left(\frac{2\sigma}{v}\right)^2]^{1/2} \end{aligned} \quad (3.58)$$

Denklem 3.56 ve 3.58 birleştirildiğinde

$$n^2 = \frac{1}{2} \varepsilon \left\{ \left[ 1 + \left( \frac{2\sigma}{v\varepsilon} \right)^{1/2} + 1 \right] \right\} \quad (3.59)$$

$$k^2 = \frac{1}{2} \varepsilon \left\{ \left[ 1 + \left( \frac{2\sigma}{v\varepsilon} \right)^{1/2} + 1 \right] \right\} \quad (3.60)$$

Yalıtkan materyallerde,  $\sigma$  sıfıra gittiğinde  $n \sqrt{\varepsilon}$  'ye yaklaşır ve  $k$  sabiti sıfıra gider.

### 3.6.3.Yansıma Katsayısı

Geçirgenliği anlayabilmemiz için öncelikle yansıma katsayısını bilmemiz gerekir.

$$R = \frac{(n_2 - n_1)^2 + k^2}{(n_2 + n_1)^2 + k^2} \quad (3.40)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $n_2$  ve  $n_1$  ikinci ve birinci ortamların kırılma indislerinin gerçel kısmı,  $k$  ise sanal kısmı,  $R$  yansıma katsayısıdır. Görünür bölgede  $n$ ,  $k$  'dan çok büyük olduğu için  $k^2$  terimi ihmal edilebilir. Böylece (3.40) eşitliği

$$R = \frac{(n_2 - n_1)^2}{(n_2 + n_1)^2} \quad (3.41)$$

halinde basitleşmiş olur.

İlk ortamı, hava kabul edersek  $n_1=1$  olur. Bu durumda

$$R = \frac{(n - 1)^2}{(n + 1)^2} \text{ olur.}$$

Eğer  $n = 0$  ise  $R=1$  olur ki bu da materyalin tamamen yansıtıcı olduğunu gösterir.

### 3.6.4. Geçirgenlik Katsayısı

Geçirme sabiti, geçen ışığın gücünün gelen ışığın gücüne oranı ile belirlenir. Toplam geçirgenliği ince bir filmde bulmak için Şekil 3.16'da gösterildiği gibi iki bölge alabiliriz.

Girişim ihmal edildiği zaman  $x$  kalınlığındaki bir ince filme  $I_0$  şiddetindeki tek renkli ışık düşürülürse film içerisine giren ışık miktarı  $I$ ,

$$I = (1-R)I_0 \quad (3.42)$$

şeklinde yazılabilir. İkinci bölgeye ulaşan ışık şiddeti ise

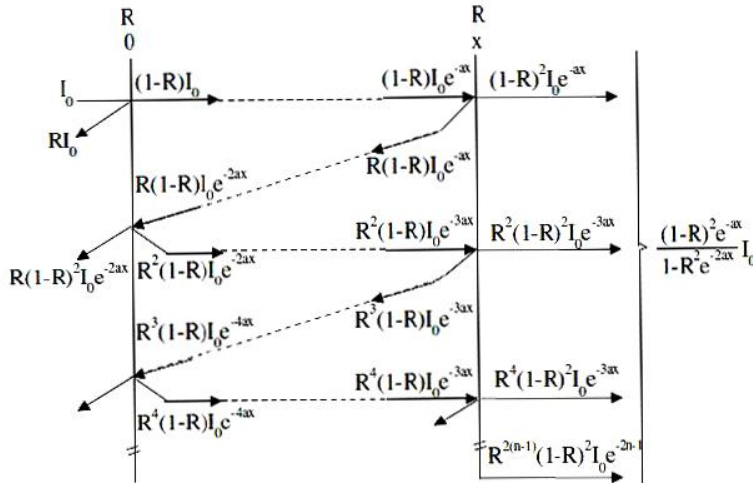
$$I = I_0(1-R)e^{-\alpha x} \quad (3.43)$$

dir. Filmden geçen ışık miktarı ise

$$I = R(1-R)I_0 e^{-\alpha x} \quad (3.44)$$

dir. Bu şekilde iç yansımalar Şekil 3.16'da görüldüğü gibi devam ettirilirse yansıyan ışık miktarının her yansımada bir

$$I = R^{2n}(1-R)^2 I_0 e^{-(2n+1)\alpha x} \quad (3.45)$$



Şekil 3.16. İnce bir filmde çok yansımalı ışık geçirimi

terimi kadar arttığı görülmektedir. Bu katkılar göz önüne alınarak filmin toplam ışık geçirgenliğinin

$$I = (1 - R)^2 I_0 e^{-\alpha d} \left( \sum_n R^{2n} e^{-2n\alpha x} \right) \quad (3.46)$$

olduğu görülür ki bu ise geometrik bir seridir. Böylece toplam geçirgenlik örnek tarafından yansıtılan ışık şiddetinin örnek üzerine gelen ışık şiddetine oranı

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (3.47)$$

şeklinde tanımlanır.

Bu iç yansımalar şekilde gösterildiği gibi devam ettirilirse toplam geçirgenlik

$$T = \frac{I}{I_0} = \frac{(1 - R)^2 e^{-\alpha d}}{1 - R^2 e^{-2\alpha d}} \quad (3.48)$$

diye ifade edilir.

### 3.7. Kompleks Yarıiletkenler

#### 3.7.1. Geçiş Metallerinin Genel Özellikleri

Geçiş metalleri, periyodik cetvelde IIA ve IIIA grupları arasında yer alan elementlerdir. Elektronik yapı bazında bakıldığında geçiş metalleri d orbital elementleri diye adlandırılır. İç geçiş metalleri f orbital elementleri diye bilinen ve periyodik cetvelin en altında yer alan gruplardır. Çünkü birinci, ikinci ve üçüncü seri geçiş metallerinde sırasıyla 3d, 4d ve 5d orbitalleri, iç geçiş metallerini oluşturanlar ise sırasıyla 4f ve 5f orbitallerini doldurmaya başlarlar. Periyodik cetvelin önemli bir bölümünü oluşturan geçiş metallerinin ana grup elementlerinden bazı farklı özellikleri vardır. Bu elementlerde kısmen dolu olan d ve f orbitallerinden dolayı bu elementler metalik özellik gösterirler ve kolay bir biçimde kompleks oluşturabilirler. Bu bileşiklerin ve çözeltilerinin çoğu renklidir. Bu

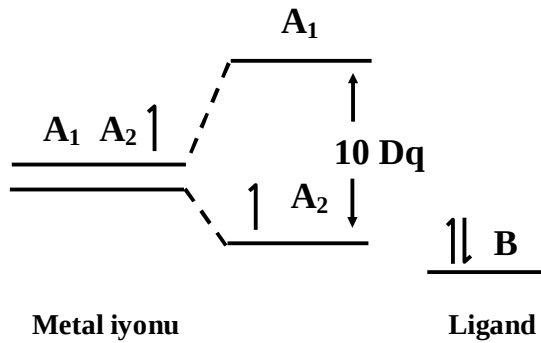
elementler ve bileşikler birçok reaksiyon için katalitik etki yaparlar (Shriver, 1994).

Geçiş metalleri genellikle değişik oksidasyon basamaklarında bulunabilirler. Geçiş metallerinde periyot boyunca ilerledikçe d orbitallerinin perdeleme etkisinin küçük olması nedeniyle çekirdeğin etkin yükü artar. Çekirdek yükündeki bu artış, atom yarıçapının küçülmesine, iyonlaşma enerjisi ve elektron ilgisinin artması gibi birçok sonuca neden olur (Özkar, 2005).

### 3.7.2. Kompleks Bileşiklerin Genel Yapısı

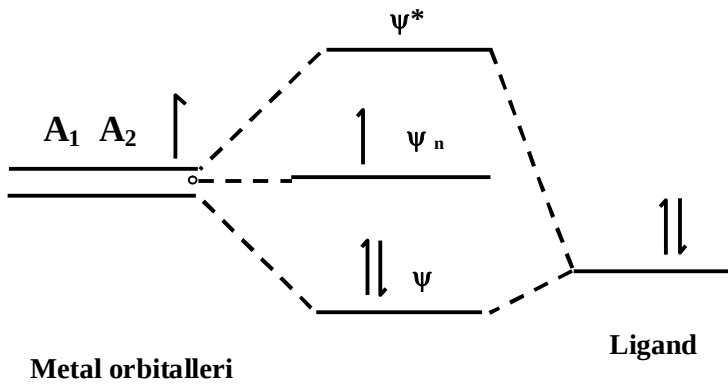
Kompleks bileşiklerin yapısı anlatılırken özellikle iki teori ortaya çıkar. Bunlardan biri Kristal alan teorisi diğeri ise molekül orbital teorisidir. Kristal alan teorisi, metal iyonu ile ligandlar arasındaki etkileşmenin yalnızca Elektrostatik boyutta olduğunu ve d orbitallerindeki yarılmının da yalnızca bu Coulomb etkileşmeden ileri geldiğini varsaymaktadır (Shriver, 1994).

A atomunda eş enerjili iki orbitalden birinde bir elektron bulunsun. B atomundaki eş enerjili orbitaller, aynı doğrultuda, fakat zıt yönde yönelmiş orbitaller olsun. Kristal alan teorisi, iki elektron ile dolu orbitali olan B atomunu ligand, A atomunu ise merkez iyonu olarak kabul eder. B atomunun A'ya yaklaşması ile A atomunun eş enerjili iki orbitali kristal alan yarılmına uğrar (Şekil 3.17). Yarıлма sonucu oluşan yüksek enerjili orbital ligand yönünde, düşük enerjili orbital ise karşıt yönde olur. Beklendiği gibi A atomunun tek elektronu düşük enerjili orbitale girerek orda yer edinir.



Şekil 3.17. Kristal alan teorisinde basit bir koordinasyon bileşiğinde metal- ligand etkileşimi

Molekül orbital teorisinde A atomunun ligand yönündeki orbitali ile B atomunun orbitali örtüşerek bir bağ yapar ve bir de bağa karşı molekül orbitali oluşturur. Liganda karışık yöndeki A orbitali de bağ yapmayan molekül orbitali olarak kalır. (Sekil 3.18). Bağ yapan molekül orbitaline ligandın elektron çifti girer. A atomunun elektronu ise bağ yapmayan molekül orbitaline girer (Özkar, 2005).



**Şekil 3.18.** Moleküler orbital teorisinde basit bir koordinasyon bileşiğinde metal-ligand etkileşimi

Her iki teoride de etkileşim sonunda üç orbital görülmektedir. Kristal alan kuramında bu orbitallerin ikisi metal orbitali, biri ligand orbitalidir. Etkileşmeden sonra da ligandın elektronları ligand orbitalinde, metal elektronu ise metalin orbitalinde kalmaktadır. Molekül orbital teorisinde ise, etkileşmeden sonra atom orbitalleri yerini molekül orbitallerine bırakmaktadır. Enerjisi ligand orbitalininkine yakın olan ve bağ yapan molekül orbitaline ligand ağırlıklı molekül orbitali denir. Enerjileri metal orbitallerininkine yakın olan, bağ yapmayan ve bağa karşı olan molekül orbitallerine de metal ağırlıklı molekül orbitali denir (Shriver, 1994).

Metal komplekslerinde bulunan ligandlardan doğrudan metale bağlı olan atoma verici atom denir. Komplekslerde yer alan metal atomu veya iyonu genellikle geçiş elementleridir. Ligandlarda metal atomuna bağlanacak atom sayısı artıkcı daha kararlı olur (Purcell ve Kotz, 1977).

### 3.8. Metal Komplekslerin İnce Film Haline Getirilmesi

#### 3.8.1. İnce Film Nedir?

İnce filmler, atomların ya da moleküllerin, kaplanacakları cam ya da kuartz yüzeye vakum ortamında tek tek dizilmesi ile hazırlanan, kalınlıkları 1 Å ile birkaç µm arasında değişen kaplamadır.

#### 3.8.2. Sol Jel Kaplama Yöntemleri

Yaygın kullanılan Sol jel kaplama yöntemleri üçe ayrılır. Bunlar; daldırarak kaplama, spin-kaplama (spin-coating) ve püskürterek kaplama yöntemleridir.

##### 3.8.2.1. Daldırarak Kaplama

Daldırarak kaplama, temel olarak bir tabakayı, solüsyon içine daldırma ve daha sonra tabakayı yavaşça geri çekmekle oluşturulan bir kaplama tekniğidir. Tabaka dışarı doğru çekilirken fazla malzeme tabakadan ayrılır. Daha sonra malzeme buharlaşarak ince film elde edilir. Genellikle daldırma birkaç kez tekrarlanarak daha uygun bir film elde edilir. Tek bir daldırma işlemi ile elde edilen ideal film kalınlığı genelde 0.1 -0.45 µm arasındadır. Film bundan daha kalın olursa, çözelti kurutulduğunda filmdeki adezyon kuvveti filmin taban yüzeyine paralel yönde daralmaya zorlayarak filmin kırılmasına neden olabilir. Daldırarak kaplamada film kalınlığı aşağıdaki bağıntı kullanılarak elde edilir.

$$h = c_1 \sqrt{\frac{\eta U}{\rho g}} \quad (3.49)$$

$h$  = kalınlık

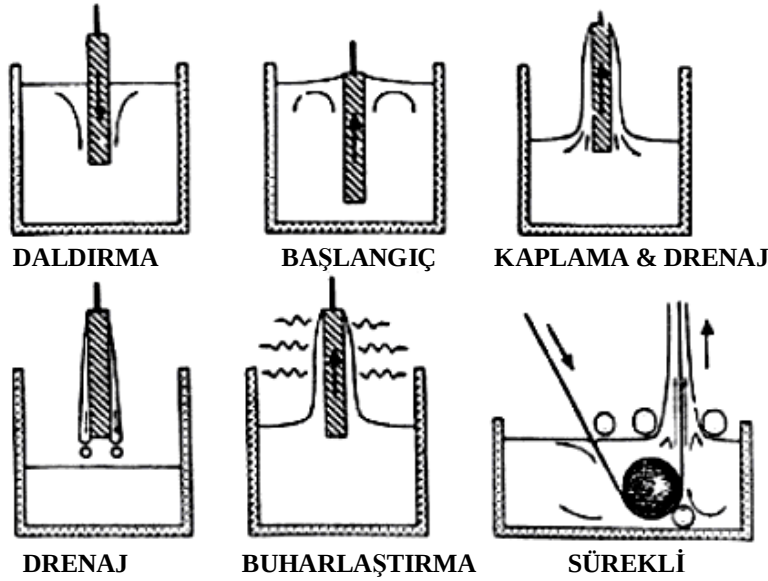
$c_1$  =sabit

$U$  = geri çekine hızı

$\eta$  = viskozite

$\rho$  = yoğunluk

$g$  = yerçekimi ivmesidir.



Şekil 3.19. Daldırarak kaplama yönteminin şematik gösterimi

#### 3.8.2.2. Püskürterek Kaplama

Bu yöntemde çözelti halindeki materyal ısıtılmış tabakaya püskürtülür. Sprey damlacıkları tabakaya çarptığında çözünen madde tabaka üzerinde yoğunlaşırken malzeme buharlaşır. Bir süre sonra yüzeyde istenen ince film oluşur.

#### 3.8.2.3. Döndürerek Kaplama

Spin-kaplamada birkaç damla solüsyon cam altlık üzerine damlatılır. Taban 3000-4000 rpm'e varan hızlarda dönmesi sağlanır. Taban dönerken solüsyon tabakaya yayılır ve çözelti buharlaşmaya başlar. Çözeltinin büyük bir kısmı buharlaştıktan sonra istenilen ince film elde edilir.

Film tabanda kalan çözeltiyi buharlaştırmak için düşük sıcaklıklarda (100-200°C) ısıtılır. Bu işlem birkaç kez daha tekrar edilir. Elde edilen film kalan organikleri buharlaştırmak için daha yüksek sıcaklıklarda (300-600°C) tavlama işlemi gerçekleştirilir.

**Çizelge 3.1.** Sol jel yönteminin üstünlük ve sınırlılıkları

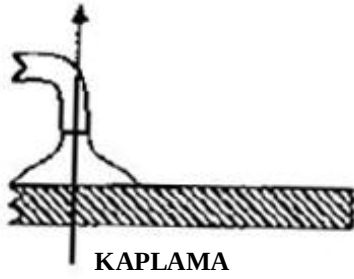
| <b>Üstünlükleri</b>                                                    | <b>Sınırlılıkları</b>                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Maliyeti düşüktür.                                                     | Film kalınlığını kontrol altında tutmak oldukça zordur.                                            |
| Kimyasal birleşigi kontrol etmek daha kolaydır.                        | Yüksek kalitede ince film kristali elde etmede diğer yöntemlere göre daha az ideal olabilmektedir. |
| Vakum pompası, vakum çemberi v.b. araçlara gerek kalmayabilir.         | Solüsyonun yüzeye yapışabilir olması gerekir.                                                      |
| Uygulanması diğer yöntemlere göre daha basit ve kontrol edilebilirdir. |                                                                                                    |

#### **3.8.2.4. Spin Kaplama (Spin Coating)**

Spin-kaplamada birkaç damla çözelti cam ya da kuartz taban üzerine damlatılır. Taban 3000-4000 rpm'e varan yüksek hızlarda döndürülür. Taban dönerken çözelti yavaş yavaş tabakaya yayılır ve çözelti buharlaşmaya başlar. Çözeltinin büyük bir kısmı buharlaştıktan sonra istenilen ince film elde edilir. Tabanda kalan çözeltiyi buharlaştırmak için düşük sıcaklıklarda (100-200°C) ısıtılmaya çalışılır. Bu işlem birkaç kez daha tekrar edilir. Elde edilen film kalan organikleri buharlaştırmak için daha yüksek sıcaklıklarda (300-600°C) tavlama işlemi yapılır. Spin kaplama yöntemi aşağıda şekli verilen adımlar tek tek uygulanır.

##### **Birinci Adım**

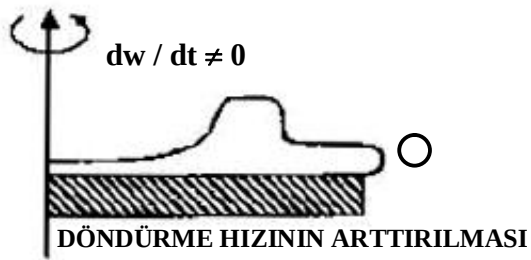
Çözeltinin bir cam ya da kuartz taban üzerine damlatılmasıdır. Bu adımda önemli olan çözeltinin büyük partiküllerden arındırılmış olması ve yüzeye yapışabilir bir özellik göstermesidir.



Şekil 3.20. Solüsyondun spin – coater üzerine damlatılması

#### İkinci Adım

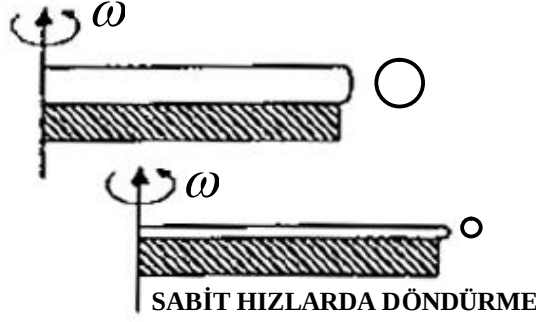
Solüsyonun tabana yayılması ve fazla solüsyonun atılarak ince filmin oluşması için tabanı ivmelendirilmesinin sağlanması. Bu aşamada hız <500 rpm tercih edilir.



Şekil 3.21. Spin kaplamada çözeltinin düşük hızlarda döndürülmesi.

#### Üçüncü Adım

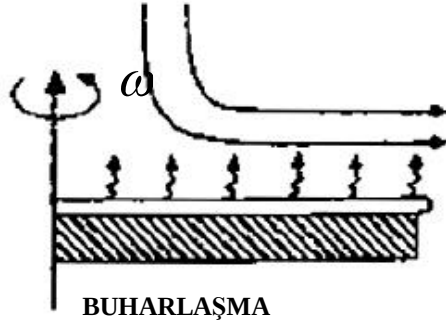
Bu adımda taban değişmeyen bir hızla döner ve solüsyondaki viskoz kuvvetleri akışkanın daha çok incelmesine engel olur. Hız (2000-4000) rpm'dir.



Şekil 3.22. Spin kaplamada çözeltinin yüksek hızlarda döndürülmesi.

#### Dördüncü Adım

Bu adımda film inceldiğinden buharlaşma etkili olmaya başlar ve jel oluşumu gerçekleşir. Hız ~500 rpm'dir.



Şekil 3.23. Spin kaplamada çözeltinin düşük hızlarda döndürülerek jelleşmenin sağlanması.

Spin kaplamada genelde spin hızının yükseltilmesi filmin homojen kaplanmasını olasılığını artırır. 2000 rpm'den düşük hızlarda homojen film oluşmamaktadır. Oluşan filmin kalınlığı aşağıdaki eşitlik ile ifade edilebilir.

$$h = \frac{h_0}{\sqrt{1 + \frac{4\rho\omega^2 h_0^2 t}{3\eta}}} \quad (3.50)$$

Burada  $h$  ince filmin kalınlığını

$h_0$  = filmin başlangıç kalınlığını

$\rho$  = yoğunluğunu

$W$  = açısal hızı

$t$  = zaman

$\eta$  = denge durumundaki viskozite'yi göstermektedir.

#### 3.8.3. Kaplama Yapılacak Altlıkların Temizliği

Filmlerin istenilen kalitede ve homojenlikte olabilmesi için kaplama yapılacak altlıkların temizliği oldukça önemlidir. Bu çalışmada kaplama yapılan cam altlıkların temizliği basamaklar halinde belirtilmiştir.

1-Camlar yıkanırken ya da kesilirken çıplak elle dokunulmamasına ve eldiven kullanılmasına özen gösterildi.

2-Altlıkların kaba temizliği için deterjan kullanıldı ve bol miktarda saf su (De iyonize su) ile durulandı.

3-Altlıklar azot gazı ( $N_2$ ) ile kurutuldu.

4-Kurutulan cam altlıklar saf asetonla 2 dakika boyunca yıkandı.

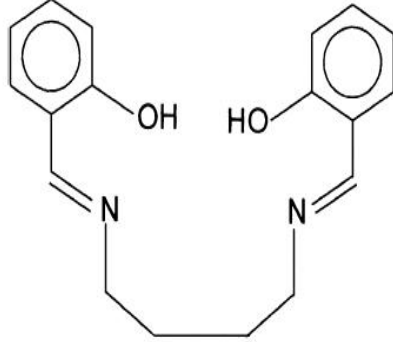
5-Yıkanan bu altlıklar tekrardan azot gazıyla kurutuldu.

#### 3.8.4. Metal Komplekslerin Elde Edilmesi

Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Kimya Bölümü Prof. Dr. Hamdi Temel ve ekibi tarafından sentezlenen ve karakterize edilen N,N'-Bis (salisiliden)-1,4-diaminobütan ( $LH_2$ ) özel adı ile bütas ligandının Cu (II) ile kompleksi CuL'den 40 mg alınarak 30 ml asetonla çözülerek  $21.10^{-3}$  mol/lit molariteli çözelti hazırlandı.Daha sonra homojen olması için 2 saat 400 rpm'de magnetik karıştırıcıda karışıma bırakıldı.

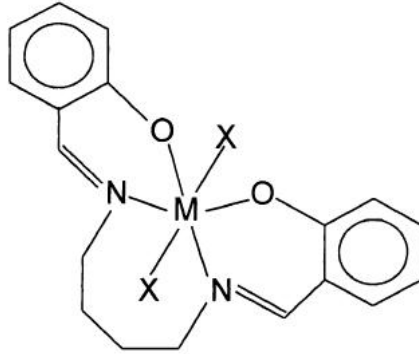
Aynı bölümde sentezlenen ve karakterize edilen ve yapısı aşağıda verilen N,N'-Bis (salisiliden)-1,4-diaminobütan ( $LH_2$ ) bütas ligandının Mn (II) ile kompleksi MnL'den 50 mg alınarak 25 ml asetonla çözülerek  $43.10^{-3}$  mol/lit molaritali çözelti hazırlandı. Daha sonra numunenin homojen olması için 3 saat boyunca 300 rpm'de magnetik karıştırıcıda karışıma bırakıldı.

### 3.8.5.Metal Komplekslerin Yapısı

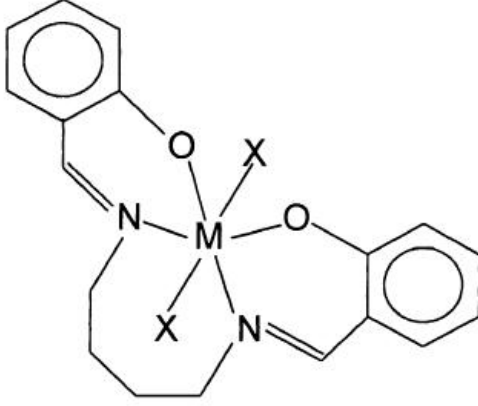


LH<sub>2</sub> Ligandının kimyasal yapısı

LH<sub>2</sub> Ligandının Cu (II) ve Mn (II) ile kompleksi (CuL) ve (MnL)'nin kimyasal yapısı aşağıdaki gibidir.



X=H<sub>2</sub>O M=Cu



X= H<sub>2</sub>O M=Mn

### 3.8.6. Numunenin İnce Film Haline Getirilmesi

Bu çalışmada 15 ayrı cam altlık kesildi. Bunlar;

5'i ligand LH<sub>2</sub> ,

5'i LH<sub>2</sub> ligandının Cu (II) ile kompleksi CuL ,

5'i LH<sub>2</sub> ligandının Mn (II) ile kompleksi MnL ,

için kesildi.

Hazırlanan numuneler bu cam altlıkların tek yüzüne homojen bir yayılım olacak şekilde ilave edildi.

### 3.8.7. Numunelerin Belirli Sıcaklıklarda Tavllanması

Daha sonra herbir ince film numune takımı aşağıda şekil 3.24'te verilen fırında sırasıyla 20, 40, 60, 80 ve 100° C'de 30 dakika boyunca tavlandı.



Şekil 3.24. Tavlama işleminin gerçekleştirildiği fırın

### 3.8.8. Numunelerin UV Ölçümleri

Tavlama işleminden sonra numunelerin absorpsiyon ve geçirgenlik katsayılarını gözlemleyebilmek için aşağıda şekil 3.25'te verilen UV-VİS ölçümlerinin yapıldığı Pelkin Elmer Lamda-25 Fotospektrometre kullanıldı.



Şekil 3.25. UV-VİS ölçümlerinin yapıldığı Pelkin Elmer lamda-25 fotospektrometre

### 3.8.9. Numunelerin Yasak Enerji Band Aralıklarının Belirlenmesi

Yarıiletken filmlerin yasak enerji aralığının belirlenmesinde optik absorpsiyon yöntemi kullanılır. Optik absorpsiyon yöntemi, yarıiletkenlerin yasak enerji aralıklarının belirlenmesinin yanı sıra bant yapılarının belirlenmesinde de oldukça yaygın olarak kullanılır.

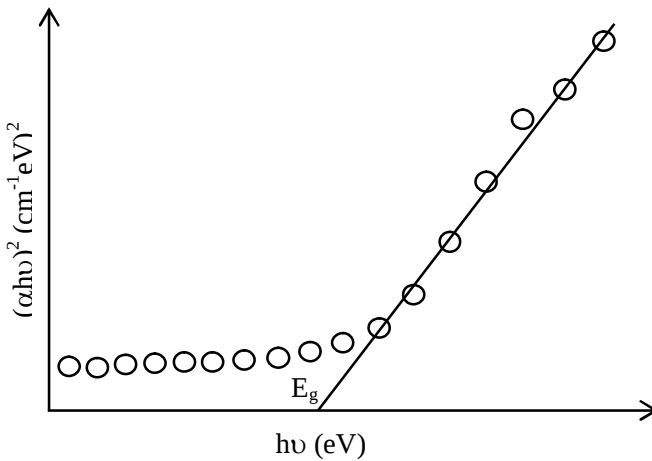
Bu yöntemle materyalin yasak enerji aralığını bulmak için  $(\alpha h\nu)^r - h\nu$  bağlı grafiği çizilir. Değişimin lineer olduğu kısma karşılık gelen doğrunun  $h\nu$  eksenini  $(\alpha h\nu)^r = 0$ 'da kestiği noktanın enerji değeri kullanılan malzemenin yasak enerji aralığını verir. Bunun nedenini açıklamak için denklem 3.26'yı kullanabiliriz.

$$(\alpha h\nu) = A^* (h\nu - E_g)^r$$

Denklemde  $r = \frac{1}{2}$  için her iki tarafın karesi alınır.  $(\alpha h\nu)^2 = 0$  olması için  $E_g = h\nu$

olur ki bu da malzemenin direkt geçişli olduğunu gösterir.

Denklemde  $r = 2$  için her iki tarafın karekökü alınır.  $(\alpha h\nu)^{1/2} = 0$  olması için  $E_g = h\nu$  olur ki bu da malzemenin indirekt geçişli olduğunu gösterir.



Şekil 3.26. Yasak enerji aralığının belirlenmesi

### 3.8.10. Numunelerin Kırılma İndekslerinin Dalga Boyuna Bağlı Değişimi

Kırılma indeksi ortamın ışığa karşı gösterdiği dirençtir. Bu indeksin ölçülmesinde genellikle elipsometre cihazı kullanılır. Elipsometre, mikrometre boyutunda kalınlıklara sahip ince filmlerin kalınlıklarını, kırılma indislerini veya dielektrik fonksiyonlarını inceleyen ve çok yönlü tekniklere sahip bir ölçüm aletidir (Azam, 1986).

Yarıiletken fiziğinde oldukça yaygın kullanılır. En önemli avantajları zarar vermeyen, kesin sonuç elde edilebilen, temassız ve optiksel bir analitik teknik olmasıdır. İnce filmlerin karakterizasyonunda fiziksel özelliklerini değiştirmeden kullanılmaktadır. Ayrıca yansıyan ışığın dalga boyundan daha ince tabakalar için ölçüm yapılabilir. Elipsometre yansıyan ışığın polarizasyonundaki değişim sonucunda bir takım veriler elde eder. Bu verilerden en önemlisi kırılma indeksidir.

Temel olarak bir elipsometrenin çalışma prensibi şu basamaklardan oluşur:

1. Işık bir ışık kaynağından yayılmaya başlar.
2. Işık bir polarizörden geçirilerek lineer polarize ışık haline dönüştürülür.
3. Ardından bir kompensatörden geçen ışık eliptik polarize ışık haline geçer.
4. Daha sonra örnek yüzeyine gelen ışık yansıma yapar (bu sırada yine lineer polarize ışıktır.)
5. Yansıyan ışığın bir analizör yardımı ile polarizasyonundaki değişim analiz edilir.
6. Bir dedektör yardımı ile işlem verileri bilgisayara aktarılır.
7. Toplanan veriler optik modelleme yardımı ile film kalınlığı ve kırılma indeksi hakkında bilgi alımında kullanılır.

Bu çalışmada kırılma indekslerinin dalga boyuna göre değişimi için aşağıda şekli verilen elipsometre kullanıldı.



Şekil 3.27. Spektroskopik Elipsometre

#### 3.8.11.Numunenin Yarıiletkenlik Tipinin Bulunması

Bu çalışmada, elde edilen CuL ve MnL ince filmlerin iletkenlik tipinin belirlenmesinde, kolay ve pratik bir yöntem olan sıcak-uç (hot-probe) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, tipi belirlenecek yarıiletkenin yüzeyine, aralarında belirli bir uzaklık olmak üzere, iki metal uç dokundurulur. Daha sonra bu uçlardan bir ısıtılır, diğeri ise oda sıcaklığında (25°C) bırakılır. Yarıiletkenin ısınan bölgesindeki serbest yükler, sahip oldukları termal hızla soğuk bölgelere hareket ederler. Uçlara bir voltmetre bağlanır ve pozitif uç ısıtılırsa, voltmetrenin pozitif yönde sapması halinde yarıiletkenin n-tipi olduğunu, negatif yönde sapması halinde ise yarıiletkenin p-tipi olduğunu gösterir.

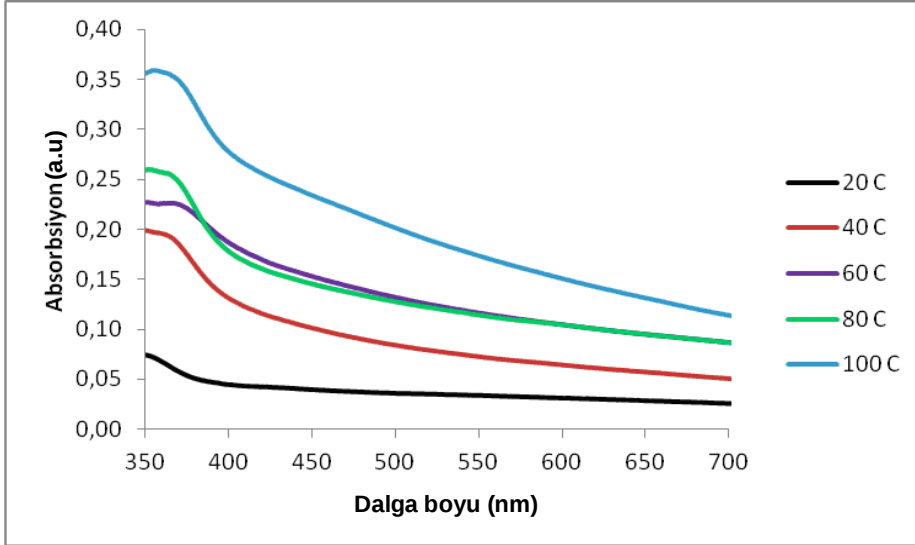
#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

##### 4.1. Araştırma Bulguları

Sol jel yöntemiyle elde edilen CuL ve MnL metal kompleksleri sırasıyla 20, 40, 60, 80 ve 100°C’de 30 dakika süre ile fırında tavlandı. UV-VİS cihazı yardımıyla absorpsiyon ve geçirgenlik oranları tespit edildi. Buna göre CuL ince filmi 350 ile 400 nm arasında, MnL ince filmi için ise 320 ile 350 nm arasında kuvvetli bir soğurma ve düşük geçirgenlik gözlemlendi. Absorpsiyon oranları yardımıyla  $\alpha$  lineer soğurma katsayısı (3.39) denkleminde faydalanılarak tek tek hesaplandı. Bu katsayı kullanılarak materyallerin yasak enerji band aralıkları  $(\alpha h\nu)^f - (h\nu)$  grafiği elde edildi.  $(\alpha h\nu)^f = 0$  olduğu yerden  $(h\nu)$  eksenine çizilen eğim ile yasak enerji bant aralığı bulundu.

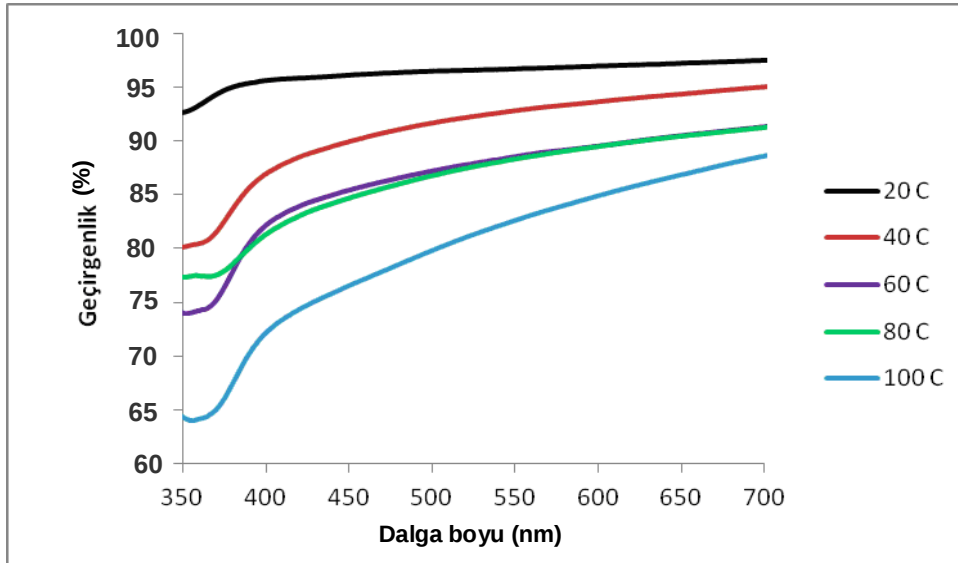
Her bir numunenin beş farklı sıcaklığa karşı gösterdiği soğurma ve geçirgenlik oranları grafiklerdeki gibi gözlenmiştir.

**Grafik 4.1.** CuL metal kompleksin soğurma dalga boyu grafiği

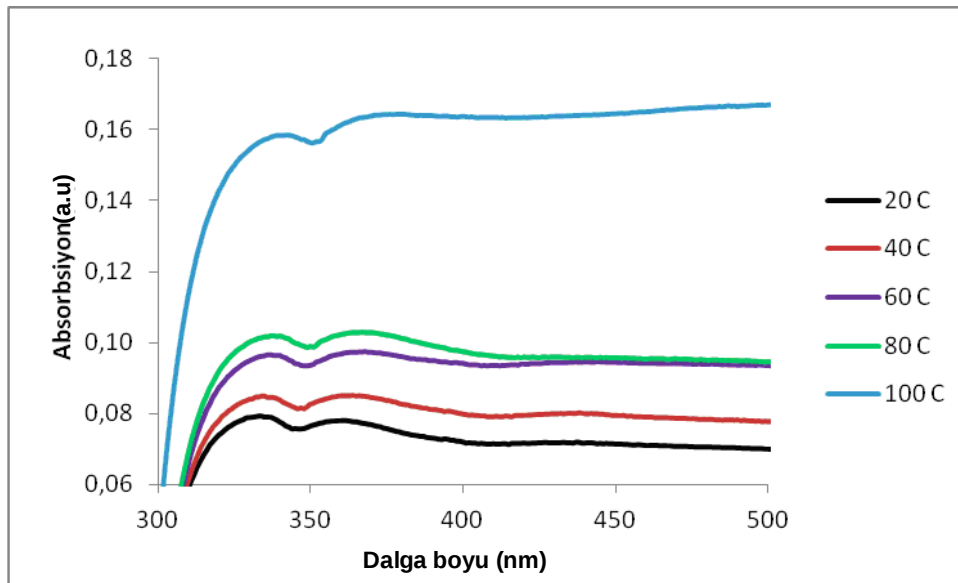


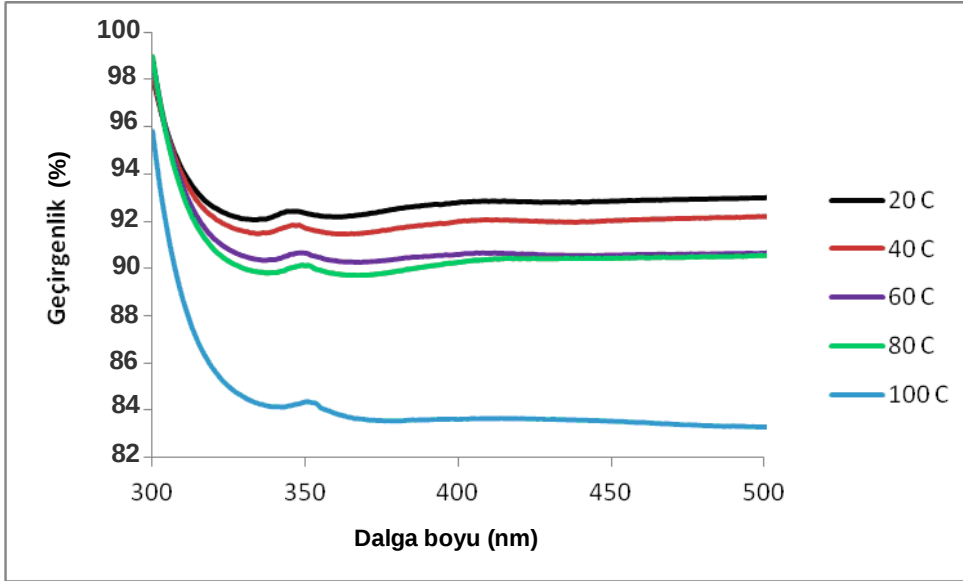
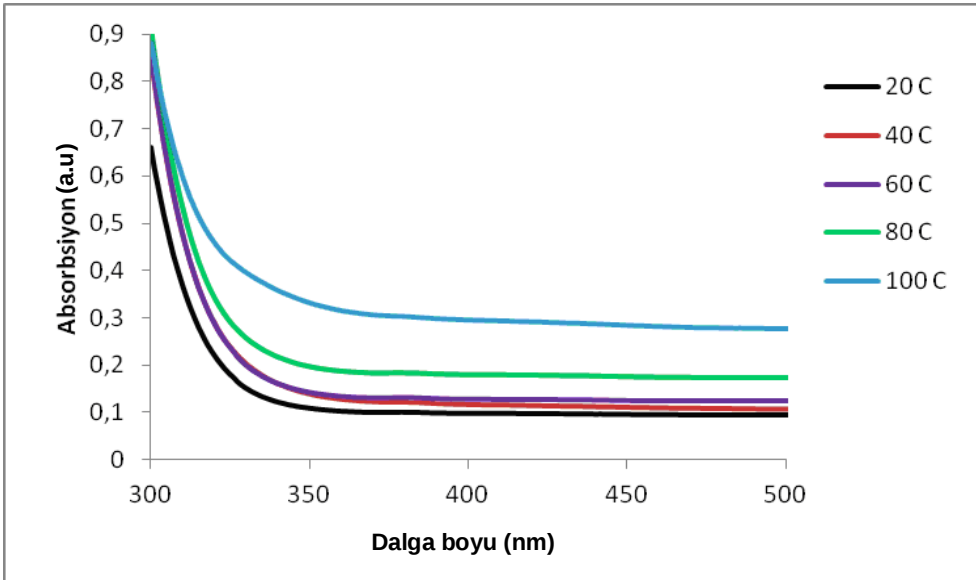
#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

**Grafik 4.2.** CuL metal kompleksin geçirgenlik dalga boyu grafiği

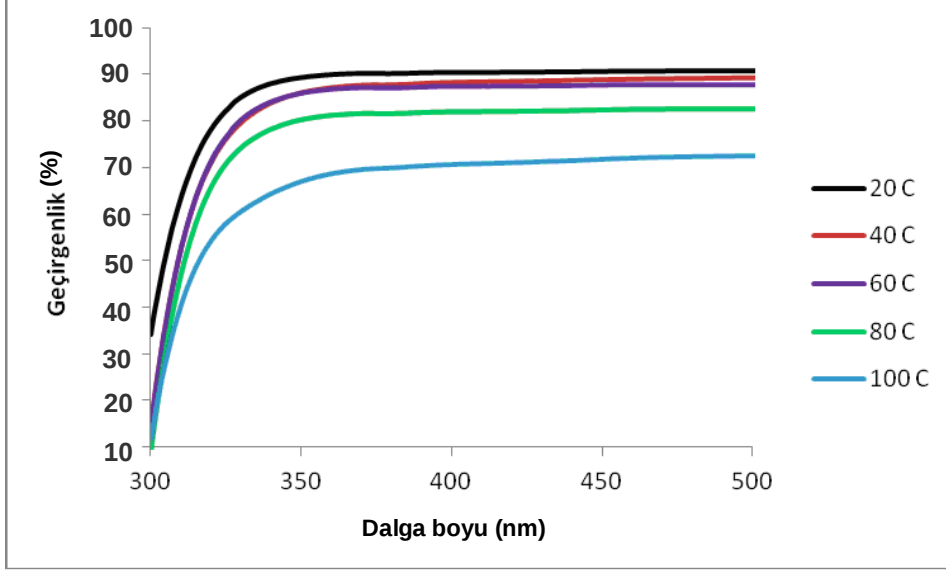


**Grafik 4.3.** MnL metal kompleksin soğurma dalga boyu grafiği



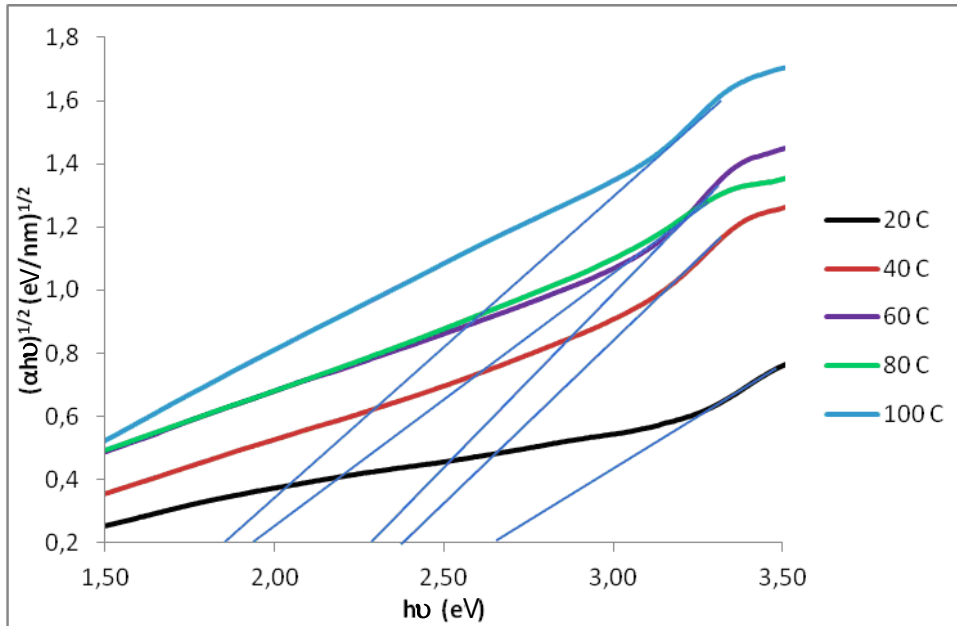
**Grafik 4.4.** MnL metal kompleksin geçirgenlik dalga boyu grafiği**Grafik 4.5.** LH<sub>2</sub> ligandına ait soğurma dalga boyu grafiği

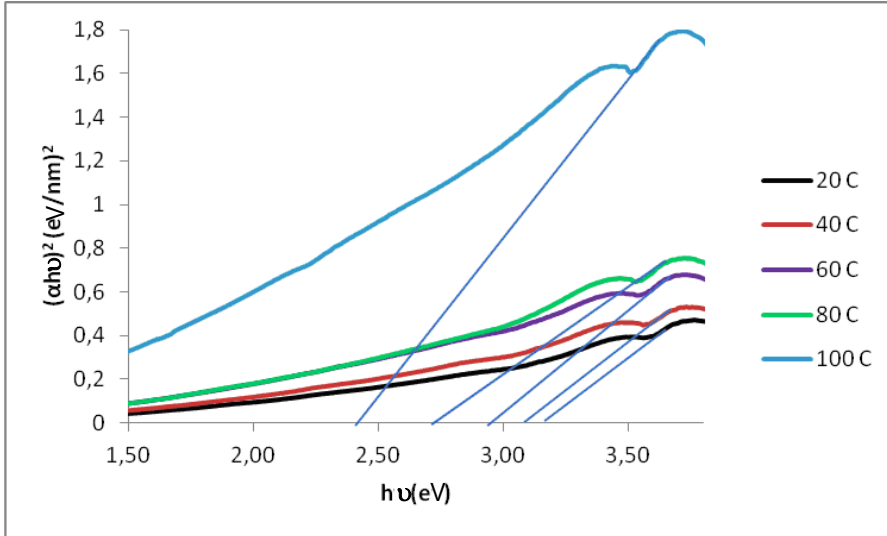
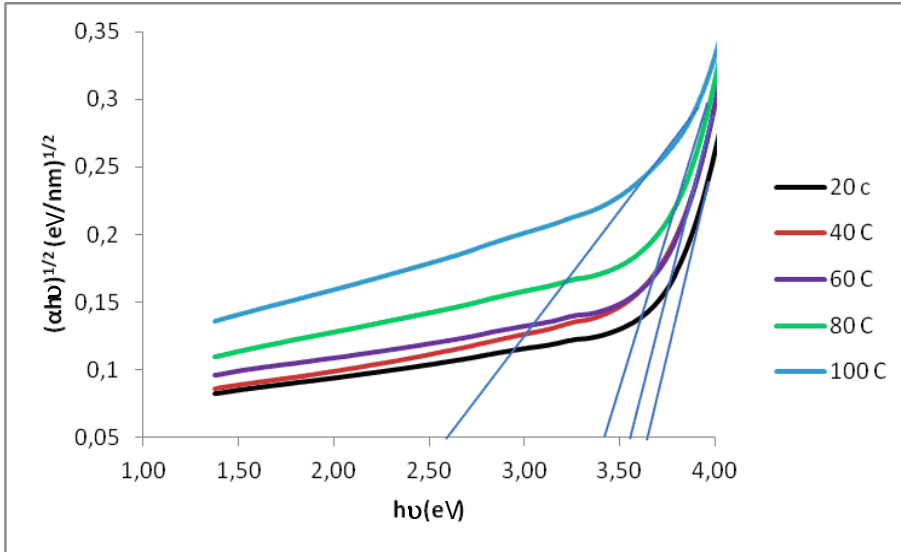
**Grafik 4.6.** LH<sub>2</sub> Ligandına ait geçirgenlik dalga boyu grafiği



Her bir numunenin beş farklı sıcaklığa karşı gösterdiği  $(\alpha h\nu)^f - h\nu$  grafikleri aşağıdaki gibi gözlenmiştir.

**Grafik 4.7.** CuL metal kompleksin  $(\alpha h\nu)^{1/2} (h\nu)$  bağlı grafiği



**Grafik 4.8.** MnL metal kompleksin  $(\alpha h\nu)^2$  ( $h\nu$ ) bağılı grafiği**Grafik 4.9.** LH<sub>2</sub> Ligandının  $(\alpha h\nu)^{1/2}$  ( $h\nu$ ) bağılı grafiği

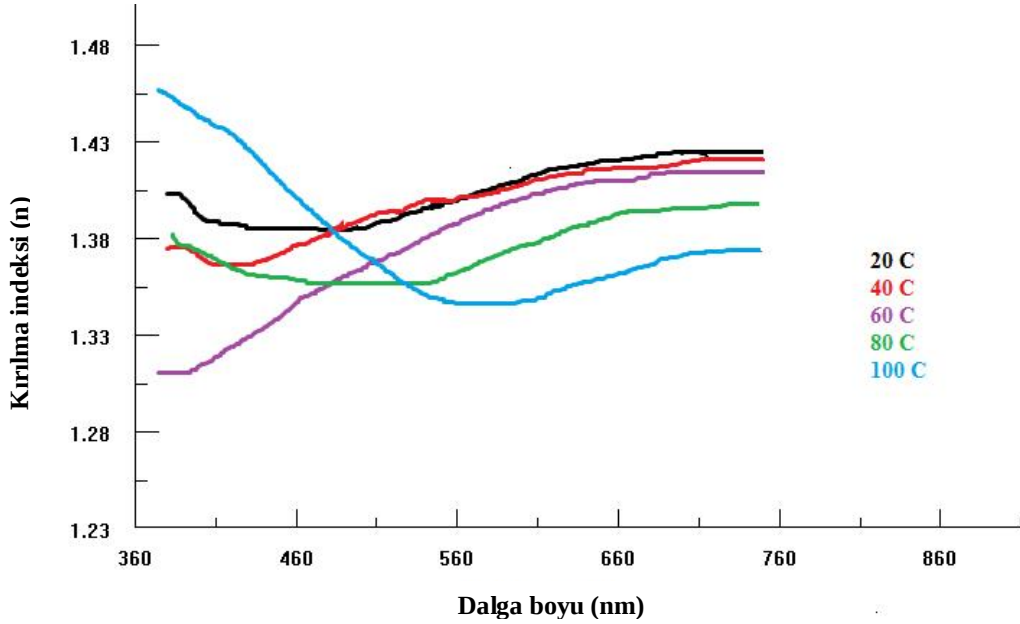
#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

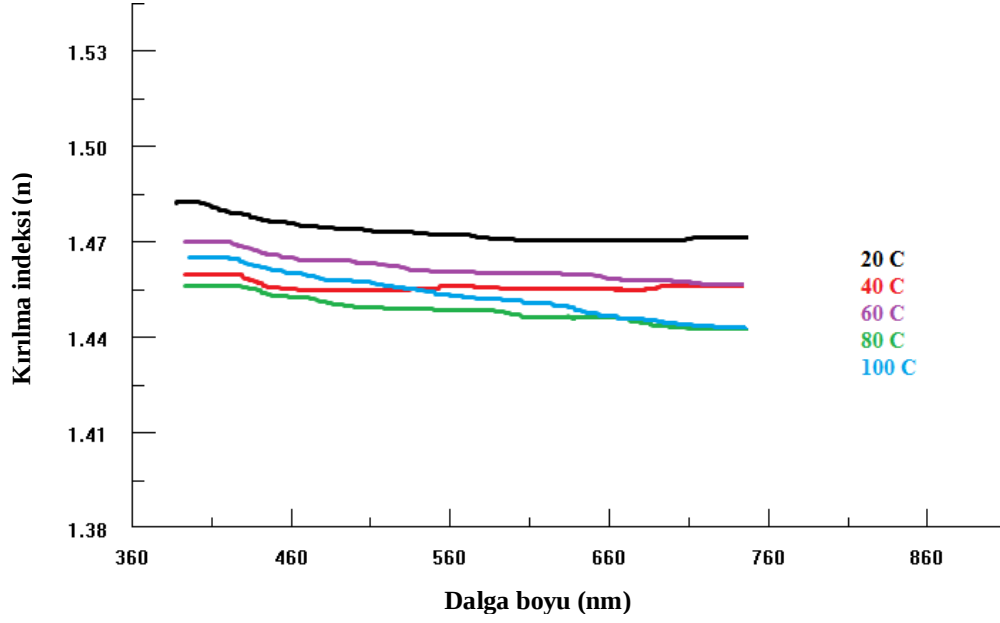
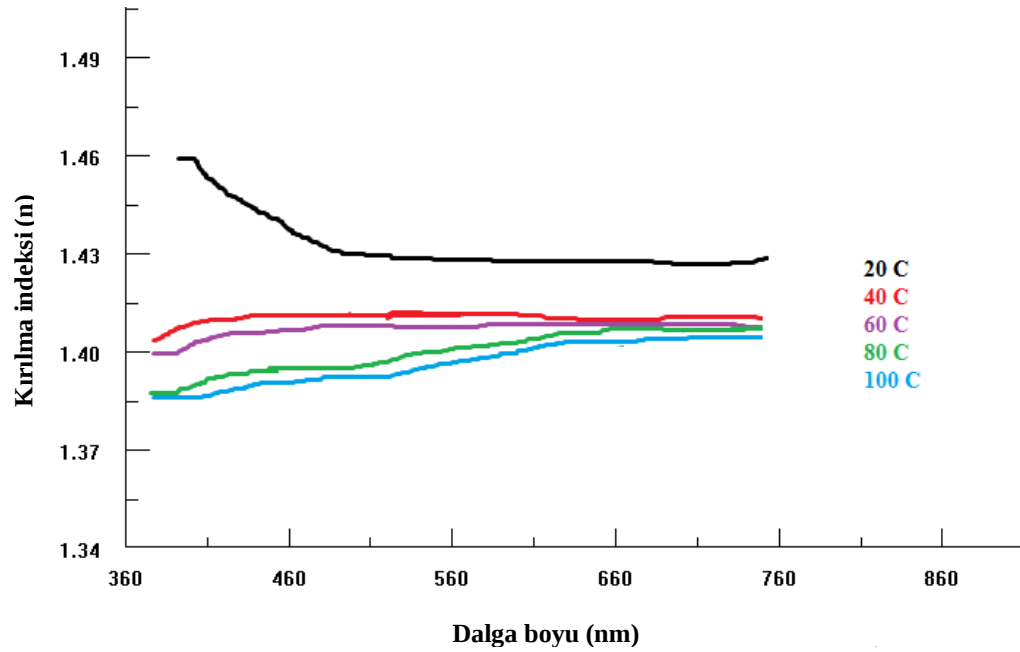
**Çizelge 4.1.** Sıcaklığa karşı  $E_g$  (eV) değerleri

|                 | 20°C | 40°C | 60°C | 80°C | 100°C |
|-----------------|------|------|------|------|-------|
| LH <sub>2</sub> | 3.65 | 3.53 | 3.41 | 3.40 | 2.60  |
| CuL             | 2.67 | 2.41 | 2.33 | 1.91 | 1.82  |
| MnL             | 3.20 | 3.10 | 2.90 | 2.75 | 2.44  |

Her bir numune ve sıcaklık için kırılma indeksinin dalga boyuna bağlı değişim grafiği çizildi.

**Grafik 4.10.** CuL ince filmine ait kırılma indeksi dalga boyu grafiği



**Grafik 4.11.** LH<sub>2</sub> ince filmine ait kırılma indeksi dalga boyu grafiği**Grafik 4.12.** MnL ince filmine ait kırılma indeksi dalga boyu grafiği

**Çizelge 4.2.** Sıcaklığa karşı n (kırılma indeksi) değerleri

|                 | 20°C | 40°C | 60°C | 80°C | 100°C |
|-----------------|------|------|------|------|-------|
| LH <sub>2</sub> | 1.47 | 1.45 | 1.45 | 1.44 | 1.44  |
| CuL             | 1.42 | 1.41 | 1.40 | 1.39 | 1.36  |
| MnL             | 1.43 | 1.42 | 1.41 | 1.41 | 1.40  |

#### 4.2. Tartışma

2014'te Saidani ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ZnO bileşiğine Cu katkılıyıp sol jel yöntemini kullanarak ince film oluşturdu. Daha sonra bu ince filmi 400, 450, 500 ve 500°C'de tavladı. Bu ince filmlerin yasak enerji bant aralıklarını tespit etti. Buna göre sıcaklığı arttırarak sırasıyla 3.36, 3.33, 3.31 ve 3.28 eV değerlerini elde etti. Oluşturulan bu ince filmin geçirgenliğini kontrol ettiklerinde sıcaklığın artmasıyla geçirgenliğinde %95'ten %75'e düştüğünü gözlemlediler.

2013'te Ziabari ve Ghodsi yaptıkları çalışmada sol jel yöntemini kullanarak CdS bileşiğine değişik oranlarda Cu katkılıyarak ince film oluşturup ve bu ince filmleri 250 ve 350°C de tavladı. Bu ince filmlerin yasak enerji bant aralıklarını % 1 katkılama için 2.31, 2.27 eV %3 katkılama için ise 2.40 ve 2.35 eV değerlerini elde ettiler. Değişik katkılama oranlarıyla birlikte sıcaklık artışına bağlı olarak kırılma indeksinin %1 için 1.9'dan 2.1'e, %3 katkı için 1.91'den 2.2'ye çıktığını gözlemlediler.

2010'da Mahendran ve Suriyanarayanan yaptıkları çalışmada CuInS<sub>2</sub> ince filmini püskürtme yöntemiyle elde ettiler. Bu ince filmi 300, 325, 350, 375 ve 400°C de tavladılar. Bu ince filmlerin optiksel özelliklerini daha iyi anlayabilmek için yasak enerji bant aralıklarını hesapladılar. Buna göre sırasıyla 1.66, 1.63, 1.62, 1.60 ve 1.58 eV değerlerine ulaştılar.

2011'de Aksu ve arkadaşları Mn-CdS ince filmini oluşturdular. Daha sonra bu ince filmi 300, 350 ve 400°C de tavladılar. Yarıiletkenler için önemli bir özellik olan yasak enerji bant aralıklarının sıcaklık artışına bağlı olarak 3.42'den 3.33 eV'a düştüğünü gözlemlediler.

2012'de Ulutaş ve arkadaşları y-MnS ince filmini hazırladılar. Daha sonra bu ince filmi 27, 40 ve 70°C de fırında tavladılar. Bu sıcaklık değerlerinde yasak enerji bant

aralıklarını 3.80, 3.70 ve 3.40 eV diye ölçtüler. Sıcaklığın artmasıyla geçirgenliğin uzun dalga boylarında 570 nm -670 nm aralığında %88 den % 57 e indiği gözlemlendiler.

2014'te yapılan çalışmada Ma ve arkadaşları  $Mn_{1.56}Co_{0.96}Ni_{0.48}O_4$  ince filmini hazırlayarak 20, 80, 140, 200 ve 260°C'de tavladılar. Daha sonra spektroskopik elipsometre kullanarak uzun dalga boylarında sıcaklığın artmasıyla kırılma indeksinin azaldığını gözlemlendiler.

2010 yılında Gad ve arkadaşları  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  ince filmini yaptılar. Bu oluşturulan ince filmi 100 ve 200°C'de tavladılar. Buna göre sıcaklığın artmasıyla geçirgenliğin %80 den %70 düşüğünü gözlemlendiler. Bu sıcaklık değerlerine göre kırılma indeksinin sıcaklık artışına bağlı olarak 1.775'ten 1.769'a düşüğünü gözlemlendiler.

2014 yılında EL-Nahass ve arkadaşları CuTTP ince filmini hazırlayarak 298, 453, 503 ve 523° K'de tavladılar. Yasak enerji bant aralıklarını sırasıyla 1.88, 1.53, 1.47 ve 1.42 eV diye ölçtüler. Daha sonra elipsometre kullanılarak sıcaklık artışına karşın kırılma indekslerini 2.6, 2.0, 1.9 ve 1.8 sonuçlarına ulaştılar. En son olarak tavlanan sıcaklıklarda ince filmin geçirgenliklerini sıcaklığa bağlı olarak %85, %83, %80 ve %77 diye gözlemlendiler.

Bu çalışmada ise  $LH_2$  ligandına Cu ve Mn katkılanıp sol jel yöntemi kullanılarak ince filmi oluşturuldu. Bu ince filmler 20, 40, 60, 80 ve 100°C de tavlandı.

CuL bileşiği için sırasıyla 2.67, 2.41, 2.33, 1.91 ve 1.82 eV değerleri elde edildi. Aynı bileşik için sıcaklık artışına bağlı olarak sırasıyla kırılma indekslerini 1.42, 1.41, 1.40, 1.39 ve 1.36 diye hesaplandı. Daha sonra yapılan ince filme gönderilen ışığın geçirgenliği hesaplandı. Sıcaklığa bağlı olarak geçirgenlikler sırasıyla %95, %92, %90, %90 ve %85 diye elde edildi.

MnL bileşiği için yasak enerji bant aralıkları 3.20, 3.10, 2.90, 2.75 ve 2.44 eV değerlerine ulaşıldı. Daha sonra bu ince filmlerin kırılma indeksleri 1.43, 1.42, 1.41, 1.41 ve 1.40 diye hesaplandı. Uzun dalga boyları dikkate alınarak %93, %92, %91, %90 ve %84 geçirgenlik değerleri elde edildi.

Literatürde ki Cu veya Mn metali ile yapılan ince film çalışmaları incelendiğinde sıcaklık artışına bağlı olarak yasak enerji bant aralığı, kırılma indeksi ve geçirgenliğin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu da yapılan tez çalışmanın diğer benzer çalışmalarla oldukça

#### 4. BULGULAR VE TARTIşMA

---

uyumlu olduğunu gösteriyor. Literatürdeki benzer çalışmalarda oluşan değerler farkının kullanılan ligandın, tavlama suresi ya da film kaplama tekniğinin farklı olmasından kaynaklanacağı düşünülmektedir.

Bu alışma ya da literatürde ki benzer çalışmalar, sıcaklığın iletkenlerin optiksel özellikleri üzerinde oldukça etkili olduğunu bizlere açıkça göstermektedir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

CuL filmlerinin yasak enerji bant aralığı (2.67-1.82 eV), MnL ince filmi için bant aralığı (3.20-2.44 eV) sonuçları elde edildi. Bu ince filmlerin yarıiletken özelliğine sahip olduğu anlaşıldı.

LH<sub>2</sub> ince filmin yasak enerji bant aralığı 3.65 ile 2.60 eV değerleri arasında ölçüldü. Liganda Cu (II) ve Mn (II) katkılандığında yasak enerji bant aralığının azaldığı gözlemlendi. Bu ince filmlerin yarıiletkenliklerinin arttığı düşünüldü. Yasak enerji bant aralığının azalması, katkılanma ile bileşiğin bağ yapısının değişebileceğinden kaynaklanabileceği düşünüldü.

$(\alpha h\nu)^r - (h\nu)$  grafikleri çizildiğinde  $(\alpha h\nu)^r = 0$  olduğu şekiller incelendiğinde CuL ince filmin indirekt geçişli olduğu, MnL ince filmin ise direkt geçişli olduğu gözlemlendi.

CuL ve MnL ince filmleri, morötesi ışın (320-400 nm) bölgesinde kuvvetli bir soğurma ve zayıf bir geçirgenlik gösterdiği gözlemlendi. Bu durum belirtilen aralıkta kullanılan malzemelerin opak bir cisim gibi davrandığını gösteriyor.

Geçirgenlik değerlerindeki azalışın tavlama işleminin etkisi ile film yüzeyinin düzgünlüğünün artmasından dolayı yansıma şeklindeki kayıpların artmasından kaynaklandığı düşünüldü.

CuL ve MnL ince filmleri ısıtıldıkça, yasak enerji bant aralığının azaldığı gözlemlendi. Bu azalmanın kompleksin bağ yapısının zayıflamasından ya da tavlama işlemi sonrası deformasyonlardan oluşan bant sarkmalarından kaynaklanabileceği düşünüldü (Pankove 1975).

CuL ve MnL ince filmlerinin sıcaklığı arttıkça, kırılma indeksleri uzun dalga boylarındaki değerlere bakılarak azda olsa azaldığı gözlemlendi. Bu azalmanın tavlama sonrası sıcaklık artışına bağlı olarak oluşan gözenek artışıyla ya da dispersiyon olayının gerçekleşmesi olabileceği düşünüldü (Olçay, Gençyılmaz ve ark.2012).

Kırılma indeksindeki bu azalma filmlerin kütle yoğunluklarının azalmasına da bağlanabileceği düşünüldü.

Tavlamanın etkisi ile filmlerin kalınlıklarının ve yüzey pürüzlüğünün azalacağı düşünüldü. Termal uç yöntemi kullanılarak tavlanan CuL ve MnL ince filmlerin n-tipi yarıiletken oldukları gözlemlendi.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

---

Sıcaklığın, ince filmlerin optiksel özelliklerine etkisi belirgin bir şekilde görüldü.

Bu çalışmada elde edilen veriler, organik bileşiklerle ilgili yapılan benzer çalışmalarda elde edilen sonuçlarla oldukça uyumludur.

## 6. KAYNAKLAR

- Abd-Elrahman, M.I., Abdel-Latief, A.Y., Khafagy, M.R., Younis, N., Hafiz, M.M. 2015. Thermal annealing effect on the optical properties of Ag<sub>10</sub>As<sub>30</sub>S<sub>60</sub> thin Film. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 137, 29–32
- Akkılıç, K., Ocak, Y.S., Kılıçoğlu, T. 2008. Effect of the binuclear Cu (II) complex interface layer on the calculation of electronic properties of Au/Cu (II) complex/n-Si organic–inorganic hybrid heterojunction. *Synthetic Metals* 158: 969–972
- Aksu, S., Bacaksiz, E., Parlak, M., Yılmaz, S., Polat, I., Altunbaş, M., Türksoy, M., Topkaya, R., Özdoğan, K., 2011. *Materials Chemistry and Physics*, Structural, optical and magnetic properties of Mn diffusion-doped CdS thin films prepared by vacuum evaporation, Pages 340–345
- Arslan, M., Atak, F.B., Yakuphanoglu, F. 2006. Synthesis and refractive index dispersion properties of the N, N',N''-trinaphthylm ethylmelamine- DDQ complex thin film. *Optical Materials*, s. 1-4
- Aydogdu, Y., Yakuphanoglu, F., Aydogdu, A. ve Saydam, S. 2000. Metal complexes of (LH<sub>2</sub>) ligand: 8-9-bis(hydroxyimino 1-4, 7, 10, 13- tetraaza 1, 2, 15, 16-o-dicyclopentylidenehexadecane crystal structure electrical and optical properties. *Synthetic Metals*, 122:329-335
- Aydogdu, Y., Yakuphanoglu, F., Aydogdu, A., Tas, E., ve Çukurovalı, A. 2002. Electrical conductivity properties of newly synthesised glyoxime complexes . *Solid State Sciences*, 4:879-883

- Azzam, R.M., Boshoro, N.M. 1986. Ellipsometry and polarized light, North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 539 p.
- El-Nahass M.M., Afify, H.A., Gadallah, A.S. Hassanien, A.M., Khedr, M.A. 2014. Effect of thermal annealing on structural and optical properties of titanyl phthalocyanine thin films Materials Science in Semiconductor Processing 27, 254–260
- El-Nahass, M.M., Abu-Samaha, F.S.H., Menshawy, S., Elesh, E. 2014. Effect of annealing on structural and optical properties of copper tetra phenyl porphyrin (CuTPP) thin films. Optics & Laser Technology 64, 28–33
- Engin, R., 1995. Güneş pilleri, Van 32-33.
- Farges, J.P., 1994. Organic Conductors. Marce Dekker, New York
- Farid, M. Abdel-Rahim, Hafiz, M.M., Alsorory, H. 2013. Thermal annealing effect on the structure and optical properties of Bi<sub>5</sub>Ge<sub>40</sub>Se<sub>55</sub> thin films. Journal of Alloys and Compounds 570, 76–80
- Gad, S.A., Boshta, M., Abo El-Soud, A.M., El-Gendy, Y.A., 2010. Physica B: Condensed Matter, Effect of the annealing temperature on the structure and optical properties of Cd<sub>1-x</sub>MnxTe thin films, Pages 4664–4667
- Gençyılmaz, O., Atay, F., Akyüz, İ. 2012. ZnO Yarıiletken Filmlerinin Optik, Elektrik ve Yüzey Özellikleri Üzerine Isıl Tavlama İşleminin Etkileri. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 16-1, 56-60
- Karipcin, F., Dede, B., Çağlar, Y., Hür, D., Ilıcan, S., Çağlar, M. and Şahin, Y. 2007. Synthesis, characterization and optical properties. Optics communications, 272:131-137

- Kılıçoğlu, T., Ocak, Y.S. 2011. Electrical and photovoltaic properties of an organic–inorganic heterojunction based on a BODIPY dye. *Microelectronic Engineering* 88:150–154 (Pankove, 1975). Pankove, J. I. 1975. *Optical processes in semiconductors*, Dover Publications, New York, A.B.D.
- M. Chao., Wang, H.G., Zhao, P.J., Xu, J.P., Chang, A.I., Wang, L., 2014. Liang Bian<sup>a</sup> *Materials Letters*, Temperature dependence of  $\text{Mn}_{1.56}\text{Co}_{0.96}\text{Ni}_{0.48}\text{O}_4$  thin films optical properties by spectroscopic ellipsometry, Pages 225–228
- Mahendran, C., 2010. N. Suriyanarayanan *Physica B: Condensed Matter*, Effect of temperature on structural, optical and photoluminescence properties of polycrystalline  $\text{CuInS}_2$  thin films prepared by spray pyrolysis, Pages 2009–201
- Martinez, E.S., Calleja, D., Bergers, P., Kudnig, J. and Klar, G. 1989. Structure electrical conductivity and dielectric relaxation of 1,2- dimethoxybenzene-tetrayanoethene 1:1 complex. *Synthetic Metals*, 32:79-89
- Masoud, M.S., and Khalil, E.A. 1986. Conducting properties of some azo complexes. *Reactivity of Solids*, 2:269-276
- Natsume, Y., Sakata, H. 2002. Electrical and optical properties of zinc oxide film post-annealed in  $\text{H}_2$  after fabrication by sol-gel process. *Material Chemistry and Physics*, 959:1-7
- Özkar, S. 2005. *Anorganik Kimya*. Gazi Kitabevi Tic. Ltd. Sti., Gözden geçirilmiş 5. baskı, Ankara. s.247-270
- Pankove, J.J. 1971. *Optical processes in semiconductors*.Dover Publications, Inc. New York.34-42

- Purcell, K.F., Kotz, J.C. 1977. Inorganic chemistry, W.B.Sounders company, London
- Rodríguez, J., Gómez, M., Ederth, J., Niklasson, G.A., Granqvist, C.G. 2000. Thickness dependence of the optical properties of sputter deposited Ti oxide films. Thin Solid Films, 365:210-216
- Rusu, R.S., Rusu, G.I. 2005. On the electrical and optical characteristics of CdO thin films. Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, 2:823-828
- Saidani, T., Zaabat, M., Aida, M.S., Benaboud, A., Benzitouni, S., Boudine, A., 2014. Superlattices and Microstructures, Influence of annealing temperature on the structural, morphological and optical properties of Cu doped ZnO thin films deposited by the sol–gel method, Pages 47–53
- Shriver, D.F., Atkins, P.W., Longford, C.H. 1994. Inorganic chemistry, Second edition. Oxford University Press, Oxford
- Sze, S.M., Kwok, K. N. 1976. Physics of semiconductor Devices, New Jersey USA
- Temel, H., Çakir, Ü., Otludil, B., Uğraş, H.İ. 2011. Synthesis, Spectral And Biological Studies Of Mn(II), Ni(II), Cu(II), And Zn(II) Complexes With A Tetradentate Schiff Base Ligand. Complexation Studies And The Determination Of Stability Constants (K<sub>e</sub>). Synthesis and Reactivity in Inorganic and Metal-Organic Chemistry 072954,37-21
- Temirci C., Gülcan M., Gökşen, K., Sönmez, M. 2010. Ohmic and rectifier properties of Al/Ligand (N-APTH) and Al/Cu (II) Complex contacts Microelectronic Engineering pages 2282-2287

- Ulutas, C., Guneri, E., Kirmizigul, F., Altindemir, G., Gode, F., Gumus, C., 2013. Materials Chemistry and Physics,  $\gamma$ -MnS thin films prepared by chemical bath deposition: Effect of bath temperature on their physical properties, , Pages 817–822
- Yakuphanoglu, F., Atalay, Y., Şekerci, M., 2005. Determination of the optical constants of 2-amino-5-phenyl-1,3,4-thiadizole by Hartree-Fock and Density Functional method(B3LYP). Journal of Molecular Structure, 779:72-76
- Yakuphanoglu, F., Çukurovalı, A., Yılmaz, İ. 2004. Single- Oscillator model and determination of optical constants of some optical thin film materials. Physica B, 353:210-216
- Yakuphanoglu, F., Şekerci, M., 2005. Determination of the optical constants of Co(II) complex of schiff base obtained from 1,8- diaminonaphthalene thin film by infrared spectra. Journal of Molecular Structure, 751:200-203
- Yakuphanoglu, F., Şekerci, M., Balaban, A. 2005. The effect of film thickness on the optical absorption edge and optical constants of the Cr(II) organic thin films. Optical Materials, 27:1369-1372
- Yonghui, W., Chen, F., Shen, X., Dai, S., Nie, Q. 2013. Thermal effect on the structure and optical properties of Ge–Te–In thin Films. Infrared Physics & Technology 60, 335–339
- Ziabari, A.A., Ghodsi, F.E. 2013. Journal of Luminescence, Influence of Cu doping and post-heat treatment on the microstructure, optical properties and photoluminescence features of sol–gel derived nanostructured CdS thin films, September, Pages 121–129

## 6. KAYNALAR

---

- Zorlu, M. 1991. Maddenin Elektriksel İletkenlik Özellikleri Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir Patterson J.Bailey. B.2010 Solid-state physics introduction to the theory, Berlin, Germany

## **ÖZGEÇMİŞ**

**ADI VE SOYADI** :Erman AKGÜNDÜZ  
**DOĞUM YERİ VE TARİHİ** :Diyarbakır-1982

**EĞİTİM DURUMU**

**LİSE** :Ziya Gökalp Lisesi  
(1996-1998)

**LİSANS** :Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim  
Fakültesi (1998-2003)

**YÜKSEK LİSANS** :Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

**ÇALIŞTIĞI KURUMLAR VE ÜNVANI** :

Özel Birey Dershaneleri (2004-2007)  
(Öğretmen)

Özel Ortadoğu Fen Lisesi (2007-2010)  
(Öğretmen)

Özel Eflatun Fen Lisesi (2010-2013)  
(Müdür Yardımcısı)

Cumhuriyet Üni. Sağlık Hizmetleri Meslek  
Yüksek Okulu (2013-....)  
(Öğr.Gör.)