



**T.C.**

**GİRESUN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SPİN KAPLAMA YÖNTEMİYLE RUBRENE İNCE FİMLERİNİN  
HAZIRLANMASI VE OPTİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**HATİCE GÜREL ÖZDEMİR**

**ARALIK 2013**

Fen Bilimleri Enstitü Müdürünün onayı.

....../...../.....

Doç. Dr. Kültiğın ÇAVUŞOĞLU

.....

Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak Fizik Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Birol ERTUĞRAL

.....

AnabilimDalı Başkanı

Bu tezi okuduğumuzu ve Yüksek Lisans tezi olarak bütün gerekliliklerini yerine getirdiğini onaylarız.

Doç. Dr. Nihat TUĞLUOĞLU

.....

Ortak Danışman

Yrd. Doç. Dr. Behzad BARIŞ

.....

Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Serdar KARADENİZ

.....

Doç. Dr. Birol ERTUĞRAL

.....

Yrd. Doç. Dr. Behzad BARIŞ

.....

## ÖZET

### SPİN KAPLAMA YÖNTEMİYLE RUBRENE İNCE FİLMLERİNİN HAZIRLANMASI VE OPTİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

GÜREL ÖZDEMİR, Hatice

Giresun Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Behzad BARIŞ

Ortak Danışman: Doç. Dr. Nihat TUĞLUOĞLU

ARALIK 2013, 84 sayfa

Bu tez çalışmasında, Rubrene organik yarıiletken ince filmlerin döndürme ile kaplama tekniği ile hazırlanması ve optik karakterizasyonu amaçlanmıştır. Rubrene ince filmin optik özellikleri 200-700 nm dalga boyu aralığında ışığın normal durumunda, geçirgenlik ve yansıma spektrofotometrik ölçümler kullanılarak incelenmiştir. Filmin görünür bölgede optiksel geçirgenliği %90-96 aralığında elde edilmiştir. Optik soğurma ölçümlerinden bant aralığı kenarı civarında optiksel geçiş tipinin dolaylı izinli geçiş olduğu bulunmuştur. Başlangıç optik ve nakil enerji aralıkları sırasıyla 2.31 ve 2.93 eV olduğu tespit edildi. Wemple-DiDomenico tek osilatör modeli ve tek terim Sellmeier dağılım ilişkisi optiksel dağılım parametrelerini analiz etmek için kullanıldı. Optik dielektrik sabitlerin analizlerinden, kayıp tanjant, elektrik modülü, optik iletkenlik, hacim ve yüzey enerji kayıp fonksiyonları ve durulma zamanı ayrıca tartışılmıştır. Üçüncü mertebeden doğrusal olmayan kutuplanma parametresi  $10^{-12}$  akb olarak bulunmuştur. Ayrıca, taramalı elektron mikroskobu (SEM) hazırlanan rubrene ince filmin yüzey morfolojisini görüntülemek için kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Organik yarıiletkenler, rubrene ince film, geçirgenlik, soğurma, yansıma spektrumu, soğurma katsayısı, dağılım parametreleri, dielektrik özellikler

## ABSTRACT

### OPTICAL CHARACTERIZATION OF RUBRENE PREPARATION THIN FILMS WITH SPIN COATING METHOD

GÜREL ÖZDEMİR, Hatice

Giresun University

Graduate School Of Natural and Applied Sciences

Department of Physics, M. Sc. Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Behzad BARIŞ

Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nihat TUĞLUOĞLU

DECEMBER 2013, 84 pages

In this thesis study, rubrene organic semiconductor thin films preparation by spin coating technique and optical characterization were aimed. The optical properties of rubrene thin film were investigated using a spectrophotometric measurement of transmittance and reflectance at normal incidence of light in the wavelength range 200–700 nm. The optical transmittance of the film was obtained ranging of 90–96% in the visible region. The type of optical transition near the edge of the band gap from optical absorption measurements is found to be indirect allowed transition. The onset optical and transport energy gaps were found to be 2.31 and 2.93 eV, respectively. Wemple-DiDomenico single oscillator model and single term Sellmeier dispersion relation were used to analyze the optical dispersion parameters. From the optical dielectric constants analysis, the loss tangent, the electric modulus, the optical conductivity, the volume and surface energy loss functions, and the relaxation time were also discussed. The third order of nonlinear polarizability parameter is found to be of the order  $10^{-12}$  esu. Scanning electron microscopy (SEM) was also used to image the surface morphology of the prepared rubrene thin film.

**Key Words:** Organic Semiconductors, Rubrene Thin Film, Transmittance, Absorption, Reflection Spectrum, Absorption Coefficient, Dispersion Parameters, Dielectric Properties.

## TEŞEKKÜR

Tez alıőmamın tım aőamalarında her turlü bilimsel desteği sağlayan değerli danışman hocam Yrd. Do. Dr. Behzad BARIŞ'a, bilgi birikimleri, değerli bilimsel destek ve gürőőleriyle katkı sağlayan değerli ortak danışman hocam Doç. Dr. Nihat TUğLUOğLU'na, bu çalıőmanın deneysel aőamalarında bilgilerini ve deneyimlerini bizimle paylaőan Selçuk Üniwersitesindeki değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ömer Faruk YÜKSEL'e ve deneysel ölçümlerde katkılarını ve yardımlarını esirgemeyen, göstermiő olduğu ilgi, anlayıő ve güler yüzünden ötürü Arő. Gör. Zeynep KIŐNIŐCI'ye, Selçuk Üniwersitesi İleri Teknoloji Ve Uygulama Merkezinde numunenin hazırlanmasında katkılarından dolayı ve Selçuk Üniwersitesi Kimya Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Mahmut KUŐ'a, bu projenin maddi olarak desteklenmesini sağlayan Giresun Üniwersitesi BAP ofisine (BAP, Proje No: FEN-BAP-A-160512-26) teőekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca tez çalıőmam sırasında maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen aileme de teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER .....	IV
TABLOLAR DİZİNİ .....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XI
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Organik Yarıiletkenler.....	1
1.1.1. Organik yarıiletken çeşitleri.....	2
1.1.2. Organik yarıiletkenlerin özellikleri.....	5
1.1.3. Organik yarıiletkenlerin uygulamaları.....	8
1.2. Rubrene Organik Yarıiletken .....	12
1.2.1. Genel özellikler.....	12
1.2.2. Kristal yapısı .....	13
1.3. Optiksel Temel Kavramlar .....	14
1.3.1. Elektromanyetik radyasyon .....	14
1.3.2. Işığın katılar ile etkileşimi .....	16
1.3.3. Atomik ve elektronik düzeydeki etkileşimler.....	17
1.3.4. Metallerin optiksel özellikleri.....	19
1.3.5. Metal olmayan malzemelerin optik özellikleri .....	20
1.3.6. Kırılma.....	21
1.3.7. Yansıma .....	24
1.3.8. Soğurma.....	24
1.3.9. Geçirgenlik.....	27
1.3.10. Renk.....	28
1.4. Yarıiletkenlerin Optik Özellikleri .....	29
1.4.1. Temel soğurma olayı .....	29
1.4.2. Direkt bant geçişi.....	30
1.4.3. İndirekt bant geçişi.....	33

1.4.4. Yarıiletkenlerin yasak enerji aralıklarının belirlenmesi.....	34
2. MATERYAL VE METOT .....	36
2.1. Cam Alt Tabakaların Temizlenmesi.....	36
2.2. Rubrene İnce Filmin Hazırlanması.....	36
2.3. Numune Hazırlanmasında Kullanılan Cihazlar.....	36
2.3.1. Numune tartım cihazı.....	36
2.3.2. Manyetik karıştırıcı.....	37
2.3.3. Su banyosu (ultrasonik temizleyici) .....	37
2.3.4. Mikro pipet .....	38
2.3.5. Cam malzeme temizleme cihazı .....	38
2.3.6. Glovebox sistemi .....	39
2.3.7. Döndürme ile kaplama (spin coater) sistemi .....	39
2.4. Ölçümlerde Kullanılan Cihazlar.....	40
2.4.1. UV-Vis spektrofotometresi.....	40
2.4.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	41
2.5. Döndürme ile Kaplama (spin coater) Yöntemi .....	43
2.6. Spektroskopik Ölçümler.....	45
3. ARAŞTIRMA BULGULARI .....	46
3.1. Rubrene İnce Filmin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi.....	46
3.2. Soğurma ( $A$ ), Geçirgenlik ( $T$ ) ve Yansıma ( $R$ ) Spektrumları.....	47
3.2.1. Soğurma spektrumları.....	47
3.2.2. Geçirgenlik spektrumları .....	47
3.2.3. Yansıma spektrumları .....	48
3.3. Soğurma Katsayısı ( $\alpha$ ), Sönüm Katsayısı ( $k$ ) ve Kırılma İndisi Spektrumları .....	49
3.4. Enerji bant aralığı ve geçişinin belirlenmesi .....	52
3.4.1. $m$ 'nin belirlenmesi .....	53
3.4.2. Optik bant aralığı ( $E_g$ )'nin belirlenmesi .....	53
3.4.3. Urbach enerjisi ( $E_U$ )'nun belirlenmesi .....	54
3.5. Kırılma indisi ( $n$ ) optik dağılım parametreleri .....	59
3.5.1. Wemple ve DiDomenico tek osilatör modeli .....	59
3.5.2. Tek terimli Sellmeier dağılım ilişkisi .....	61

3.5.3. Rubrene filminin üçüncü mertebeden doğrusal olmayan kutuplanma parametresi ( $\chi^{(3)}$ ).....	62
3.6. Dielektrik karakteristikler.....	66
3.6.1. Dielektrik fonksiyonun gerçek ( $\epsilon'$ ) ve sanal ( $\epsilon''$ ) kısımları .....	66
3.6.2. Kayıp tanjant ( $\tan \delta$ ) .....	68
3.6.3. Elektrik modülünün gerçek ( $M'$ ) ve sanal ( $M''$ ) kısımları .....	68
3.6.4. Hacim enerji ( $V_{EL}$ ) ve yüzey enerji ( $S_{EL}$ ) kayıpları .....	69
3.6.5. Optik iletkenliğin gerçek ( $\sigma'$ ) ve sanal ( $\sigma''$ ) kısımları.....	71
3.6.6. Dielektrik durulma zamanı ( $\tau$ ) .....	72
4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR .....	73
KAYNAKLAR .....	75
ÖZGEÇMİŞ .....	84



## TABLULAR DİZİNİ

### TABLO

Tablo 1.1 Bazı geçirgen malzemeler için kırılma indisi .....	23
Tablo 3.1 Rubrene organik yarıiletken ince film ve karşılaştırma açısından diğer organik bileşikler için nakil (transport) aralığı ( $E_g^{trans}$ ), optik aralık ( $E_g^{opt}$ ) ve bağlanma enerjisi ( $E_B$ ) değerleri .....	58
Tablo 3.2 Rubrene organik yarıiletken ince film ve karşılaştırma açısından diğer organik bileşikler için optik bant aralığı ( $E_g$ ), Urbach sabiti ( $\alpha_0$ ), Urbach enerji ( $E_U$ ) ve diklik parametresi ( $\beta$ ) değerleri .....	58
Tablo 3.3 Rubrene organik yarıiletken ince film ve karşılaştırma açısından diğer organik bileşikler için dağılım parametreleri .....	65

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### ŞEKİL

Şekil 1.1 Küçük moleküllere dayalı organik yarıiletkenlerin yapısı.....	3
Şekil 1.2 (a) ve (b) $\sigma$ ve $\pi$ bağlarında elektron dağılımı ve (c) ve (d) ise anti-bağ $\sigma$ ve $\pi$ orbitallerinin yük-yoğunluğu dağılımı .....	4
Şekil 1.3 Elektronik geçişler. ....	5
Şekil 1.4 Enerji seviyelerinin bant oluşturması.....	6
Şekil 1.5 Yalıtkan, yarıiletken ve iletken için enerji bant yapısı .....	6
Şekil 1.6 HOMO, LUMO molekül diyagramı. ....	7
Şekil 1.7 N konjugasyonlu polimerlerde bant oluşumu .....	8
Şekil 1.8 OLED Yapısı .....	9
Şekil 1.9 Geçit, Savak ve Kaynak kontakların altta olduğu OTFT şeması.....	10
Şekil 1.10 P3HT:PCBM güneş hücresi. ....	11
Şekil 1.11 Rubrene tozu .....	12
Şekil 1.12 Rubrene molekülünün (a) yapısal formülü ( $C_{42}H_{28}$ ) (b) üç boyutlu resmi.....	13
Şekil 1.13 (a) Fiziksel buhar taşıma yöntemiyle büyütülen rubrene ortorombik kristalin optik mikroskop fotoğrafı. Açık yüzey (100) yüzeyidir. (b) ve (c) <b>b</b> ve <b>c</b> eksenleri boyunca gözlenen ortorombik rubrene birim hücresi .....	13
Şekil 1.14 Elektrik alan E, manyetik alan H ve dalga boyu $\lambda$ bileşenleri ile bir elektromanyetik dalganın gösterimi .....	14
Şekil 1.15 Görünür spektrum çeşitli renkler için dalga boyu aralıkları dahil olmak üzere elektromanyetik radyasyon spektrumu .....	15
Şekil 1.16 İzole bir atom için, bir enerji durumundan diğerine bir elektronun uyarılması ile foton soğurulmasının şematik gösterimi.....	18
Şekil 1.17 (a) Bir elektron daha yüksek bir enerjideki boş duruma uyarılmış olduğu metalik malzemeler için foton soğurulmasının şematik gösterimi (b) düşük enerji seviyesindeki elektronun daha yüksek enerjili bir seviyeye çıktıktan sonra kararsız durumda bir süre kalıp tekrar kararlı hale dönüp ışığı yayılım yapmasının şematik gösterimi. .	20

Şekil 1.18 Prizmadan geçen ışığın renklere ayrılması. ....	21
Şekil 1.19 (a) Metal olmayan materyaller için yasak enerji aralığı boyunca uyarılan bir elektronun soğurma spektroskopisi,(b) Yasak enerji aralığı boyunca doğrudan elektron geçişi ile fotonun yayılımı .....	25
Şekil 1.20 Geçirgen bir madde boyunca ışığın geçişi.....	27
Şekil 1.21 Bir yeşil cam boyunca gelen ışığın iletilme, absorbe ve yansıma kesirlerinin dalga boyuna göre değişimleri .....	28
Şekil 1.22 Yarıiletkende temel soğurma spektrumu.....	30
Şekil 1.23 Bir yarıiletkende direkt bant geçişi .....	31
Şekil 1.24 Direkt bant geçişinde enerji durumlarının gösterimi .....	32
Şekil 1.25 İndirekt bant geçişi.....	33
Şekil 1.26 Yasak enerji aralığının soğurma yöntemi ile belirlenmesi. ....	35
Şekil 2.1 Kern marka tartım cihazı. ....	37
Şekil 2.2 Velp marka manyetik karıştırıcı.....	37
Şekil 2.3 WiseClean marka manyetik karıştırıcı.....	38
Şekil 2.4 Isolab marka mikropipet. ....	38
Şekil 2.5 UVO marka (Cleaner model no 42-220) ozonla temizleme cihazı.....	38
Şekil 2.6 MBraun marka glovebox sistemi.....	39
Şekil 2.7 Laurell marka döndürme ile kaplama sistemi.....	39
Şekil 2.8 Jasco Model V-670 UV/VIS/NIR Spektrofotometre cihazı. ....	40
Şekil 2.9 Spektrofotometre sisteminin şematik gösterimi . ....	41
Şekil 2.10 Zeiss Evo <sup>®</sup> LS-10 model taramalı elektron mikroskobu (SEM). ....	42
Şekil 2.11 Taramalı elektron mikroskobu (SEM)'nun temel kısımları. ....	42
Şekil 2.12 Spin kaplama yönteminin şeması. ....	43
Şekil 2.13 Döndürme ile kaplamanın dört aşaması .....	44
Şekil 3.1 Rubrene ince filmin SEM görüntüsü. ....	46
Şekil 3.2 Rubrene organik yarıiletken ince filmin oda sıcaklığında soğurmanın dalgaboyu ile değişimi .....	47
Şekil 3.3 Rubrene organik yarıiletken ince filmin oda sıcaklığında geçirgenliğinin dalga boyu ile değişimi .....	48
Şekil 3.4 Rubrene organik yarıiletken ince filmin oda sıcaklığında yansımanın dalgaboyu ile değişimi .....	49

Şekil 3.5 Rubrene organik yarıiletken ince filmin oda sıcaklığında soğurma katsayısının dalga boyu ile değişimi .....	51
Şekil 3.6 Rubrene organik yarıiletken ince filmin oda sıcaklığında sönüm katsayısının dalgaboyu ile değişimi .....	51
Şekil 3.7 Rubrene organik yarıiletken ince filmin oda sıcaklığında kırılma indisinin dalga boyu ile değişimi. ....	52
Şekil 3.8 (a) Geçirgenliğin dalga boyuna göre birinci türevinin ( $dT/d\lambda$ ) ve (b) yansımının dalga boyuna göre birinci türevinin ( $dR/d\lambda$ ) dalga boyu ile değişimi. ....	55
Şekil 3.9 Rubrene ince filmin (a) $d[\ln(\alpha h\nu)]/d(h\nu)$ 'nin foton enerji ( $h\nu$ ) değişimi ve (b) $\ln(\alpha h\nu) - \ln(h\nu - E_g)$ değişimi. ....	56
Şekil 3.10 Rubrene ince filmin $(\alpha h\nu)^{1/2}$ 'nin foton enerji ( $h\nu$ ) değişimi.....	57
Şekil 3.11 Rubrene ince filmin Urbach eğrisi.....	57
Şekil 3.12 Rubrene ince filmin $(n^2 - 1)^{-1} - (h\nu)^2$ grafiği.....	63
Şekil 3.13 Rubrene ince filmin $n^2 - \lambda^2$ değişimi.....	64
Şekil 3.14 Rubrene ince filmin $(n^2 - 1)^{-1} - \lambda^{-2}$ değişimi. ....	64
Şekil 3.15 Rubrene ince filmin $\chi^{(3)}$ - foton enerji ( $h\nu$ ) değişimi.....	65
Şekil 3.16 Rubrene ince filmin $\varepsilon' - h\nu$ değişimi. ....	67
Şekil 3.17 Rubrene ince filmin $\varepsilon'' - h\nu$ değişimi. ....	67
Şekil 3.18 Rubrene ince filmin $\tan\delta - h\nu$ değişimi.....	68
Şekil 3.19 Rubrene ince filmin $M'$ ve $M'' - h\nu$ değişimi.....	69
Şekil 3.20 Rubrene ince filmin hacim enerjisi ( $V_{EL}$ ) ve yüzey enerji ( $S_{EL}$ ) kayıplarının foton enerjisi ile değişimi. ....	70
Şekil 3.21 Rubrene ince filmin $\sigma'$ ve $\sigma''$ optik iletkenliklerin foton enerjisi ile değişimi.....	71
Şekil 3.22 Rubrene ince filmin durulma zamanı ( $\tau$ ) 'nun foton enerjisi ile değişimi. ....	72

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\sigma$	: Sigma
$\pi$	: Pi
$\text{Å}$	: Angstrom
$^{\circ}\text{C}$	: Selsius derece
T	: Geçirgenlik katsayısı
E	: Enerji
$E_e$	: Elektronun enerjisi
$E_h$	: Hollerin enerjisi
$E_v$	: Valans bantının enerjisi
$E_B$	: Bağlanma enerjisi
$E_U$	: Urbach enerjisi
$E_0$	: Tek osilatörün enerjisi
$E_d$	: Dağılım enerjisi
$E_g$	: Yasak enerji aralığı
$E_g^{opt}$	: Optik bant aralığı
$E_g^{trans}$	: Nakil transport aralığı
$\mu$	: Manyetik geçirgenlik sabiti
I	: Işığın şiddeti
v	: Işığın vakumdaki hızı
$\omega$	: Açısal frekans
$\epsilon$	: Yarıiletkenin dielektrik sabiti
$\epsilon_0$	: Boşluğun elektriksel geçirgenliği
l	: Malzemenin kalınlığı

$f$	: Osilatör kuvveti
$\alpha$	: Soğurma katsayısı
$\lambda$	: Dalga boyu
$k$	: Sönüm katsayısı
$\phi$	: Faz değişimi
$n$	: Kırılma indisi
$\varepsilon'$	: Dielektrik sabitinin reel kısmı
$\varepsilon''$	: Dielektrik sabitinin sanal kısmı
$\varepsilon_\infty$	: Optiksel dielektrik sabiti
$h$	: Planck sabiti
$c$	: Işık hızı
$\nu$	: Fotonun frekansı
$m^*$	: Etkin kütle
$n^*$	: Kompleks kırılma indisi
$\varepsilon^*$	: Kompleks dielektrik sabiti
$N$	: Serbest taşıyıcı yoğunluğu
$S_0$	: Ortalama osilatör kuvvet
$\chi^{(3)}$	: Rubrene ince filminin 3.mertebeden doğrusal olmayan alınganlık
$\chi'$	: Lineer optik alınganlık
$\sigma'$	: Optik iletkenliğin gerçek kısmı
$\sigma''$	: Optik iletkenliğin sanal kısmı
$\sigma^*$	: Kompleks optik iletkenlik
$M'$	: Elektrik modülünün gerçek kısmı
$M''$	: Elektrik modülünün sanal kısmı
$M^*$	: Kompleks elektrik modülü
$\tau$	: Dielektrik durulma zamanı

## Kısaltmalar

Al	: Alüminyum
BaO	: Baryum oksit
PbO	: Kurşun oksit
Ca	: Kalsiyum
DC	: Doğru akım
$E_g$	: Yasak enerji aralığı
$E_o$	: Elektronik geçişler için ortalama sönüm enerjisi
$E_d$	: Dispersiyon enerjisi
eV	: Elektron volt
GaAs	: Galyum arsenik
Ge	: Germanyum
HOMO	: En yüksek enerjili dolu orbital
LUMO	: En düşük enerjili boş orbital
I	: Akım
$I_d$	: Savak (drain) akımı
$I_0$	: Malzemeye gelen ışığın şiddeti
$I_d$	: Malzemedен geçen ışığın şiddeti
IR	: Kızılötesi
ITO	: İndiyum kalay oksit
İB	: İletim bantı
j	: Akım yoğunluğu
kHz	: Kilohertz
LAD	: Lazer ablasyon biriktirme
Mg	: Magnezyum
MHz	: Megahertz

$M_{-1}, M_{-3}$	: Moment integral değerleri
$\mu$	: Mobilite
nm	: Nanometre
OFET	: Organik alan etkili transistör
OLED	: Organik ışık yayan diyot
OTFT	: Organik ince film transistörler
OPVC	: Organik fotovoltaiik hücre
PLD	: Atımlı lazerle biriktirme
PLED	: Polimer ışık yayan diyot
PMOLED	: Pasif matrix oled
PVD	: Fiziksel buhar biriktirme
R	: Yansıma
RF	: Radyo frekans
S	: Siemens
Si	: Silisyum
SiO <sub>2</sub>	: Silisyum dioksit
$S_{EL}$	: Yüzey enerji kaybı
T	: Transmittans
$T$	: Sıcaklık
$\tan\delta$	: Kayıp tanjant
UV	: Morötesi
VB	: Valans bantı
VIS/NIR	: Görünür bölge/yakın kırmızı ötesi
V	: Uygulanan potansiyel farkı
$V_d$	: Savak (drain) voltajı
$V_g$	: Kapı (gate) voltajı



$V_t$  : Eşik gerilimi

$V_{EL}$  : Hacim enerji kaybı

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Organik Yarıiletkenler

Organik yarıiletken, yarıiletkenlik özelliği gösteren organik bir malzemedir. Organik yarıiletkenler düşük alt yapı maliyeti, geniş ve esnek yüzeylere uygulanabilme, kolay ve hızlı üretim yöntemleri bakımından son yıllarda büyük ilgi çekmektedir. Organik yarıiletkenler iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar düşük molekül ağırlığına sahip küçük moleküller ve daha yüksek molekül ağırlığına sahip polimerlerdir. Organik yarıiletkenler; fotodiyotlar, organik ışık yayan diyotlar (OLED) (1), organik güneş pilleri ve organik ince film transistörler (OTFT) gibi aygıtların uygulamasının yapıldığı malzemelerdir.

Organik materyallerin iletim mekanizması inorganik yarıiletkenlerden farklılık gösterir. Moleküller zayıf Van der Waals etkileşimleri ile birbirine bağlıdırlar (2). Taşıyıcılar genellikle malzeme içerisinde bant iletimi yerine enerji seviyelerinde atlama mekanizması (hopping) ile hareket ederler.

Organik yarıiletkenlerden bahsedilmesi yeni değildir ancak 21. yüzyılın başlarında organik yarıiletkenler endüstride bir yer bulabilmiştir. Organik yarıiletkenlere ilk örnek olan Antrasen kristallerinin karanlık ve fotoiletkenlik ile ilgili çalışmaları 20. yüzyılın başlarına uzanır (3). 1930 yılında ilk defa Lilienfeld tarafından alan etkili transistör bulunmuştur (4).

Bernanose ve arkadaşları 1950'li yılların başlarında Nancy Üniversitesinde organik bir malzemeye yüksek gerilimli bir alternatif akım uygulayarak ilk kez organik malzemelerde elektrolüminesans olayını gözlemişlerdir. Bu gözlem organik maddelerde elektrolüminesansa ilişkin ilk keşif olarak tarihe geçmiştir (5).

1960'lı yılların başlarında Martin Pope ve arkadaşları organik kristallerde elektrot kontaklar yaparak bu kontaklardan elektron ve deşik akımı elde edilmesine ilişkin gerekli şartları tanımlamışlardır (6,7). Bu çalışmalar organik LED'lerin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için öncü çalışmalar arasında yer almaktadır. Bunu izleyen yıllarda Martin Pope ve arkadaşları vakum altında saf ve tek kristal organik malzemelerde doğru akım (DC) elektrolüminesans olayını gözlemişlerdir (8).

1975 yılında, ilk inorganik elektrolüminesans bir polimer polivingyl carbasole kullanılarak yapılmıştır. Bir diğer organik yarıiletken tipi olan konjuge polimerler 1977 yılında Alan J Heeger, Alan G MacDiarmid ve Hideki Shirakawa tarafından

keşfedilmiştir ve konularındaki başarılarından dolayı 2000 yılında Nobel Kimya Ödülü'ne layık görülmüşlerdir (9).

En başarılı organik güneş pilleri, yük iletiminin iki farklı organik yarıiletken ara yüzeyinde olduğu yapılardır (organik heteroeklemler). 1984 yılında Harima ve arkadaşları tarafından bir organik heteroeklemlerde etkin bir yük foto üretimi gerçekleştirildiği rapor edilmiştir (10).

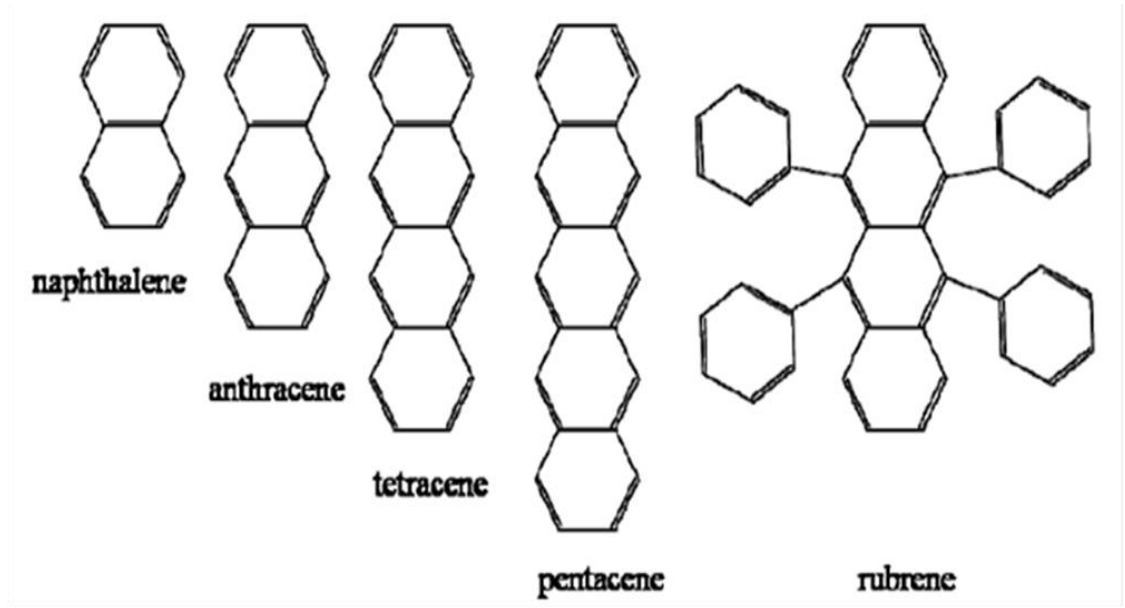
1987 yılında tanımlanan organik alan etkili transistörler (OFET), modern mikro elektronik sektörünün en önemli bölümlerinden biri olmuştur (11). Organik Alan Etkili Transistörlerin bilinen silikon tabanlı transistörlere göre birçok avantajları vardır.

Organik alan etkili transistörler, tek kristal inorganik yarı iletken tabanlı alan etkili transistörlerle (silisyum ve germanyum ) karşılaştırıldığında, elde edilen yük taşıyıcı mobilite değeri çok düşüktür. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalar sonucu rubrene tek kristal tabanlı organik alan etkili transistörlerde  $15.4 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  mobilite değeri elde edilmiş olup, bu mobilite değeri ile amorf silikon tabanlı transistörlerin mobilite değerlerine ulaşmıştır (12).

### 1.1.1. Organik yarıiletken çeşitleri

Organik yarıiletkenler iki gruba ayrılmaktadır. İlk grup olan küçük moleküller; tekrarlanamayan bir yapıya sahiptirler yani monomerdirler. Küçük organik moleküller düşük molekül ağırlığına sahiptir. Şekil 1.1'de bazı küçük moleküller gösterilmektedir.

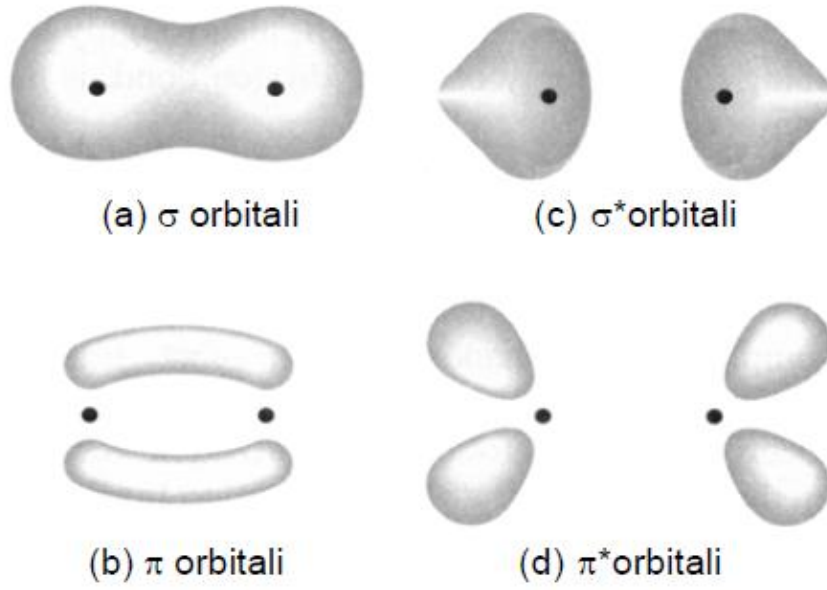
Benzen halkalarının birbirleriyle bağlanmasıyla lineer acene molekülleri oluşturulmaktadır. Bu moleküller yüksek kaliteli yarıiletken kristaller oluşturmaktadır. Acene moleküllerinde karbonlar  $sp^2$  hibritleşmesine sahiptirler ve karbonun  $\sigma$  bağları tarafından komşu atomlara bağlanmaktadır.  $2s$ ,  $2p_x$  ve  $2p_y$  karbon atomunun orbitalleri hibritleşebilir ve üç  $\sigma$  bağdan oluşturulmaktadır. Kalan  $2p_z$  orbitali bir  $\pi$  bağ oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Elektronların delokalizasyonu, bir molekül içindeki moleküler zincirleri boyunca  $\pi$  orbitalleri arasındaki örtüşme yoluyla gerçekleşmektedir. Şekil 1.1'de listelenen organik yarıiletkenler karbon atomlarının  $\pi$  orbitalleri,  $\pi$  bağ ile birbirine tutulan bir konjuge  $\pi$ -elektron sistemine sahiptir.



**Şekil 1.1** Küçük moleküllere dayalı organik yarıiletkenlerin yapısı (2)

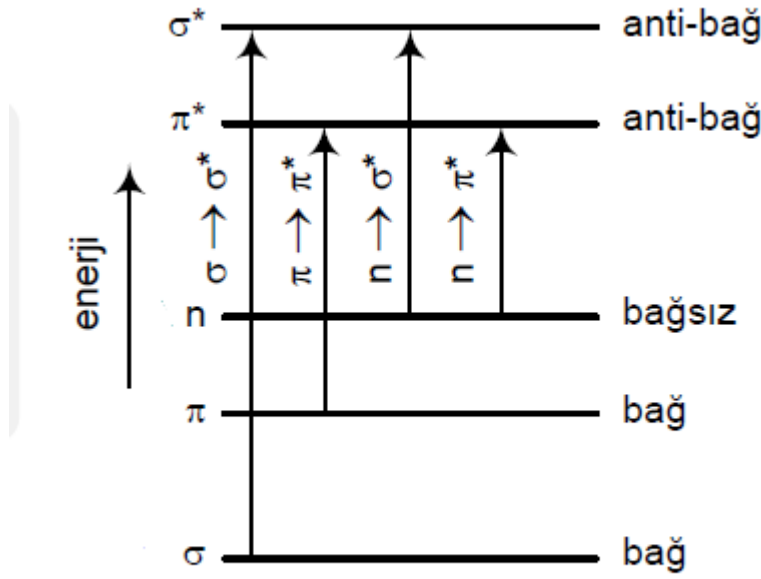
İkinci grup olan polimerler ise tek monomerlerin bağlı zincirlerinden (basit polimer) veya iki ya da daha fazla monomerin (kopolimer) birleşiminden oluşmaktadır. Polimerler çözelti içinde kolayca çözünebilmektedir. Düşük molekül ağırlığına sahip organik yarıiletkenler polimerlerden daha iyi bir kristal olma özelliğine sahiptir.

Tüm elektronik malzemeler (monomer veya polimer ) konjuge bağlardan ana zincir içermektedir. Bu yapı moleküllerdeki iletkenliğin sağlanması için önemlidir (13). Küçük moleküller de polimerlerde moleküllerdeki  $sp^2$  hibritleşmiş karbon atomlarının  $P_z$  orbitallerinden oluşan ortak bir konjuge  $\pi$  elektron sistemine sahiptir.  $\pi$  bantları  $\sigma$  bantlarına kıyasla daha zayıftır. Bu yüzden konjuge polimerlerin en düşük elektronik uygulamaları görünür spektral bölgede ışık soğurulması ve yayılmasına neden olan, enerji bant aralığı 1.5-3 eV arasında olan  $\pi - \pi^*$  geçişleridir.



**Şekil 1.2** (a) ve (b)  $\sigma$  ve  $\pi$  bağlarında elektron dağılımı ve (c) ve (d) ise anti-bağ  $\sigma$  ve  $\pi$  orbitallerinin yük-yoğunluğu dağılımını göstermektedir

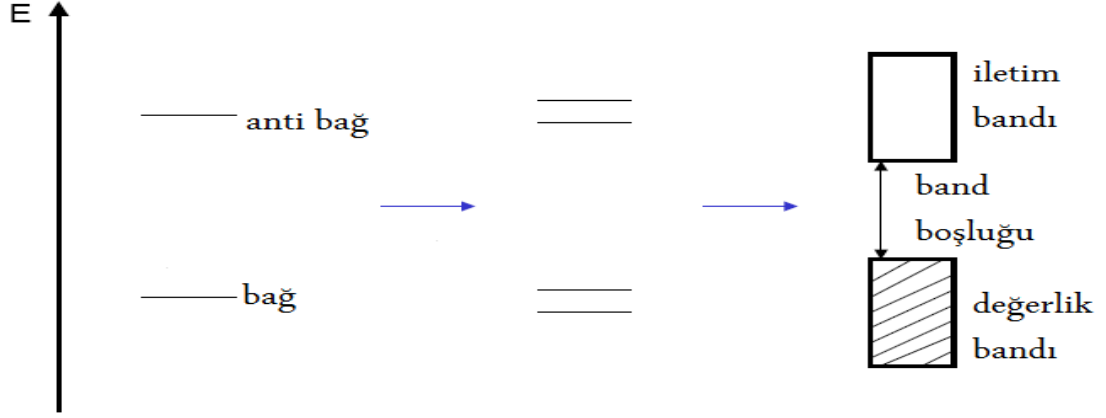
$\pi - \pi^*$  geçişleri soğurma spektroskopisinin organik bileşiklere uygulanmasında yararlanılan elektronik geçişlerin hemen hepsi  $\pi$  elektronlarının  $\pi^*$  uyarılmış duruma geçirilmesi temeline dayanmaktadır; bu işlemler için gerekli enerjiler soğurma piklerinin uygun spektral bölgede (200-700 nm) bulunmasını sağlamaktadır. Şekil 1.3'te dört elektronik geçiş görülmektedir; bunlar  $\sigma \rightarrow \sigma^*$ ,  $n \rightarrow \sigma^*$ ,  $n \rightarrow \pi^*$  ve  $\pi \rightarrow \pi^*$ 'dir (14).



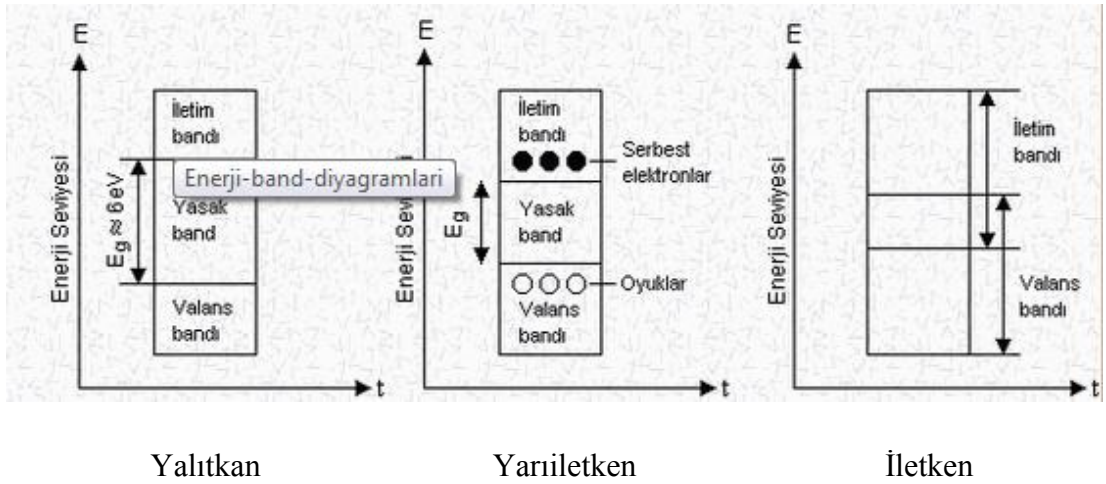
Şekil 1.3 Elektronik geçişler

### 1.1.2. Organik yarıiletkenlerin özellikleri

Bir elektronlu iki atomdan oluşan en basit molekülde, elektronun bulunduğu bağ enerji seviyesi ile boş olan anti bağ seviyesi olmak üzere iki enerji seviyesi oluşmaktadır. İnorganik malzemelerde bu bağ orbitallerinin oluşturduğu yüksek enerjili dolu banta değerlik bantı (valans bantı) denilmektedir. Anti bağ orbitallerinin oluşturduğu düşük enerjili boş banta iletim bantı denilmektedir (1). Bu bantlar arasındaki enerji farkına da yasak enerji aralığı ( $E_g$ ) denilmektedir. Şekil 1. 4'de enerji seviyelerinin iletim ve valans bantı oluşturması verilmiştir. Yalıtkan, yarıiletken ve iletkenlerin bant aralıkları ise Şekil 1.5'te gösterilmiştir. Yalıtkanlarda valans ve iletim bantları birbirinden çok uzaktır ( $E_g \approx 6$  eV). Bu yüzden elektrik iletimi olmaz. Yarıiletkenlerde yasak enerji aralığı 0.1 eV'dan 5 eV'a kadar değişmektedir. Metallerde ise valans ve iletim bantları hemen hemen üst üste gelecek kadar birbirine yakındır. İletken malzemelerde bu fark çok az olduğu için iletim kolayca olur.



Şekil 1.4 Enerji seviyelerinin bant oluşturması (1)

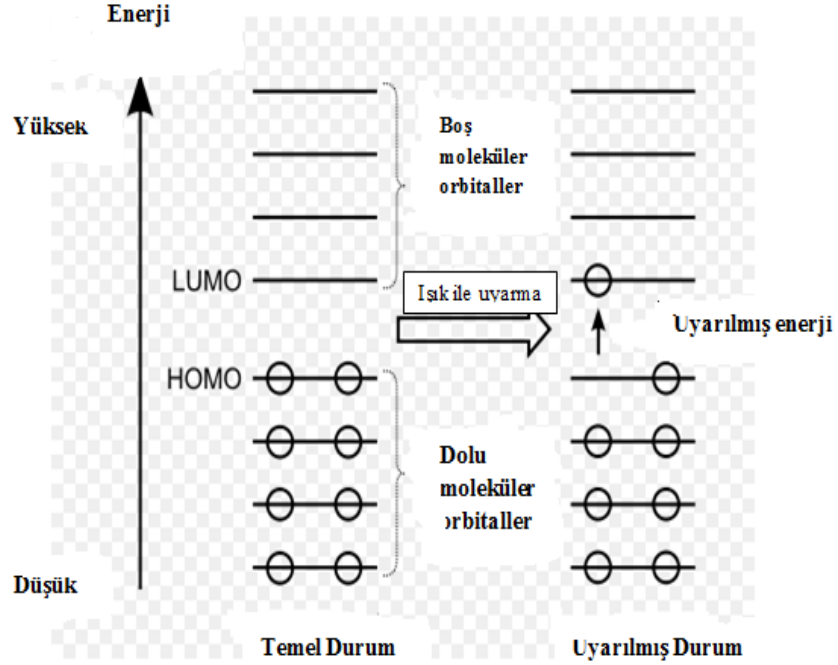


Şekil 1.5 Yalıtkan, yarıiletken ve iletken için enerji bant yapısı (15)

Polimer gibi organik malzemelerde ise düşük enerji ve yüksek enerji bantlarına sırasıyla; dolu olan en yüksek enerji orbitali (Highest Occupied Molecular Orbital) HOMO ve boş olan en düşük enerji orbitali (Lowest Unoccupied Molecular Orbital) LUMO adı verilmektedir. Şekil 1.6'da HOMO ve LUMO molekül diyagramı gösterilmektedir (16).

Yalıtkan polimerlerde HOMO ve LUMO arasında geniş bir yasak enerji aralığı vardır. Ancak iletken polimerler konjuge bağlardan oluşmaktadır. Polimer zinciri üzerinde birbirini takip eden tek ve çift bağlara sahip olan konjuge polimerlerde bant yapısı delokalize olan  $\pi$  bağlarının tekrarlanması ile oluşmaktadır.

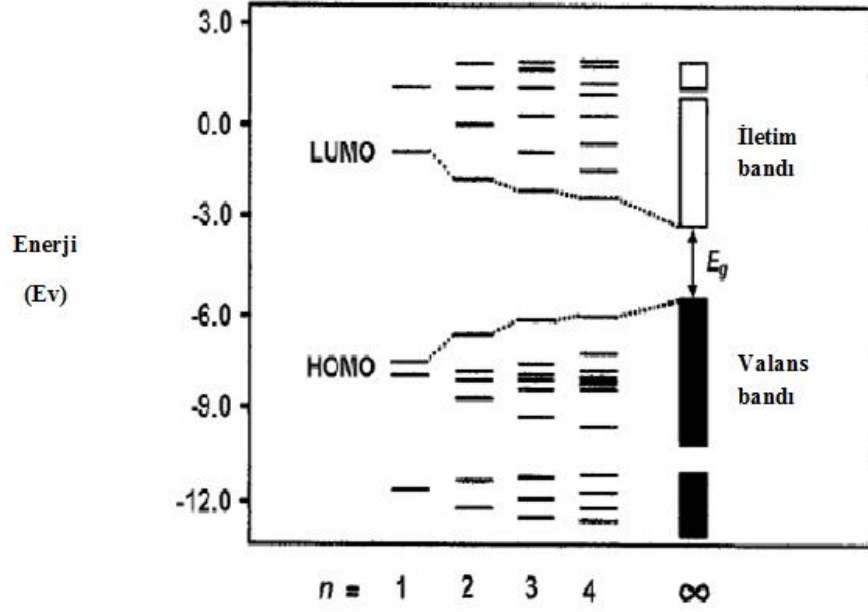
Konjugasyon arttıkça HOMO ve LUMO enerji seviyeleri arasındaki fark gittikçe azalmaktadır (Şekil 1.7). Böylece bantlar arası mesafe azaldığı için bu tür konjuge polimerler yarıiletken gibi davranarak düşük voltaj uygulandığında elektrik akımını iletmektedir.



Şekil 1.6 HOMO, LUMO molekül diyagramı

Konjugasyon arttıkça polimer yalıtkan durumdan yarıiletken hale getirilebilir. Fakat iletken hale getirilebilmesi için konjugasyonun yanı sıra doplama işlemi gerekmektedir. Yarıiletkenlerde ve konjuge polimerlerde iletkenliği sağlayan sadece elektronlar değildir. Elektronlar atomlardan ayrıлып bir üst enerji bantına geçtiğinde geride pozitif yüklü boşluklar bırakmaktadır. Bu boşluklar da başka bir elektron tarafından hemen doldurulmaktadır. Pozitif yüklü bu boşluklar malzeme içinde elektronun tersi yönünde hareket ederek elektrik akımının iletilmesine yardımcı olmaktadır (1).



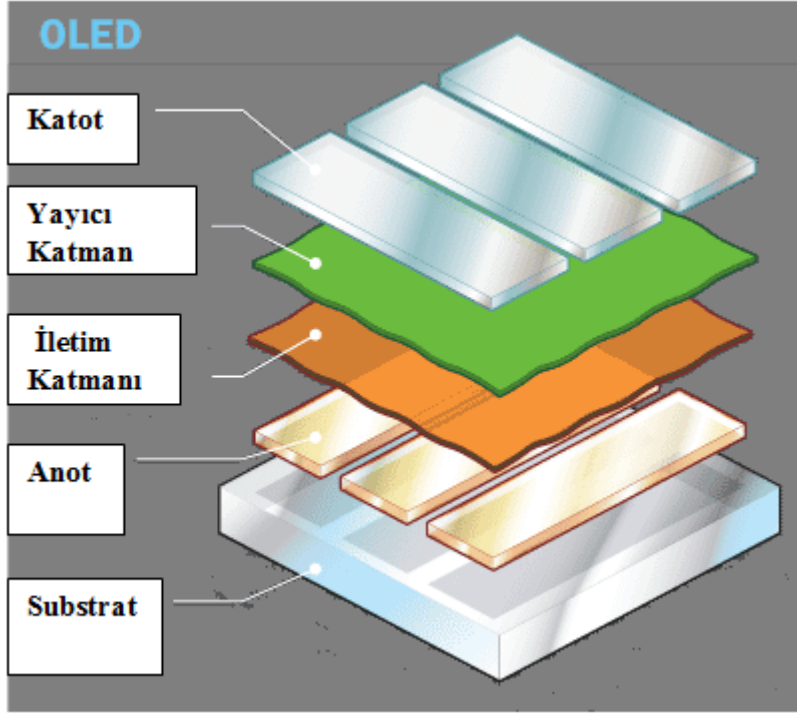


Şekil 1.7 N konjugasyonlu polimerlerde bant oluşumu (1)

### 1.1.3. Organik yarıiletkenlerin uygulamaları

Organik yarıiletkenler esneklikleri, malzemenin özelliklerinin istenilen şekilde ayarlanabilmesi, ucuz teknolojiyle üretilebilmesi, çevreci bir üretim sürecinin olması sebebiyle birçok avantaj sağlamaktadır. Organik yarıiletken malzemeler, organik ışık yayan diyotlar (OLED), organik alan etkili transistörler (OFET) ve fotodiyotlar gibi birçok elektronik aygıtlarda kullanılmaktadır.

Organik yarıiletken alanının en fazla araştırma ve yatırım yaptığı aygıtların başında organik ışık yayan diyot (Organic Light Emitting Diode, OLED) gelmektedir. Bu aygıtlarda yarıiletken malzeme olarak eğer küçük moleküller kullanılırsa bunlara OLED eğer organik polimer kullanılırsa bunlara polimer LED (PLED) denilmektedir. Küçük moleküllerde yüzey kaplamak için pahalı ve zor bir yöntem olan vakumla buharlaştırma işlemi yapılırken polimerler sıvı içinde yüzeye uygulanabildikleri için üretimleri küçük moleküllerden daha kolaydır (17).

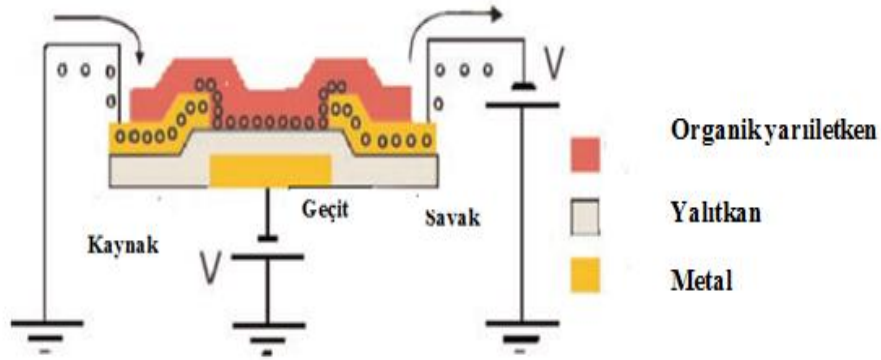


Şekil 1.8 OLED Yapısı (18)

OLED' in yapısında; alttabaka OLED' i destekleyen yapıdır. Anot, cihazdan akım geçerken elektron boşlukları oluşturan şeffaf tabakadır. Katot cihaza gerilim uygulandığında elektronları veren tabakadır. Katot şeffaflığı OLED' in tipine göre değişmektedir. İletim katmanı, organik plastikten yapılmıştır ve anottan elektron boşlukları taşımaktadır. Yayıcı katman, organik plastikten yapılmaktadır. Katottan elektronları taşımaktadır ve ışık burada oluşmaktadır (18).

OLED'lerin çalışma mekanizması şu şekildedir: Anot ve katot arasında bir gerilim uygulandığında katottan anoda doğru elektron akışı olmaktadır. Elektronlar negatif yüklü katottan yayıcı tabakaya geçerler ve böylece yayıcı tabaka negatif yüklenmektedir. Pozitif yüklü anot da iletken tabakadaki elektronları çekmektedir. Böylece iletken tabakada pozitif yüklü boşluklar oluşacaktır. Zıt yükler birbirini çekeceğinden, iletken tabakadaki elektron boşlukları yayıcı tabakadaki elektronları çekmektedir. Böylece elektron ve boşluklar birbiriyle birleşerek yeni bir yapı oluşturmaktadır. Bu yeni yapı nedeniyle elektronların enerjisi azalır ve enerji farkına eşit enerjide ışık yaymaktadır (1).

Organik ince film transistörler (Organic Thin Film Transistor, OTFT) en az LED'ler kadar popüler aygıtlardır. OTFT'ye son yıllarda endüstriyel ilginin doğmasını sağlayan gelişme yeni polimerlerin sentezlenmesiyle taşıyıcı hareket kabiliyetinin amorf silisyum transistorlerinin üzerine çıkması olmuştur. Üretim prensibi OLED'lerde olduğu gibi malzemeler ince filmler halinde plastik veya cam yüzeyde biriktirilmesi esasına dayanmaktadır. OTFT'lerin değişik yapıları vardır ancak en çok tercih edilen yapı Şekil 1.9'da görülmektedir (17). Bu yöntemin seçilmesindeki en büyük etken oldukça hassas olan yarıiletken polimerlerin yüzeye kaplanma işleminin üretim sürecinin en son adımında yapılmasıdır. Böylece üretimden doğabilecek riskler en aza indirilmektedir. Transistörlerin en yaygın tipi alan etkili transistörlerdir (OFET). Bunlar kaynak, savak ve geçit olmak üzere üç uçlu aygıtlardır (17).



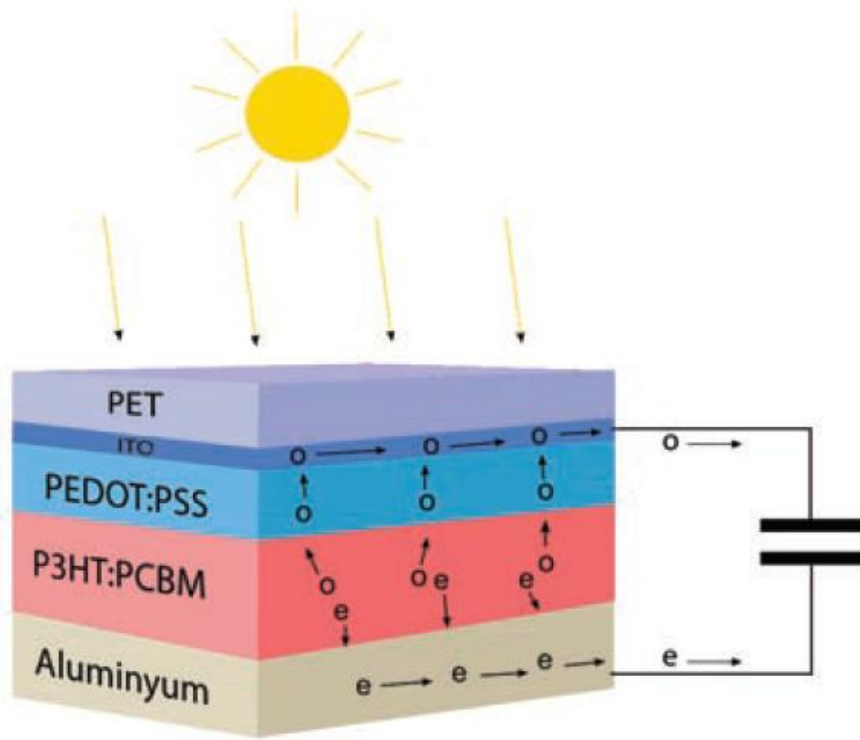
**Şekil 1.9** Geçit, Savak ve Kaynak kontakların altta olduğu OTFT şeması

OTFT'lerin tasarımında ve analizinde dikkat edilen en önemli performans kriterleri ise; taşıyıcı hareket kabiliyeti (mobilité), eşik ve beslenme gerilimleri, sızıntı akımı ve maksimum çalışma frekansıdır.

Organik yarıiletkenlerde önemli aygıtlardan biri de organik fotovoltaiik hücreler (OPVC) veya organik güneş pilleridir. Organik güneş pili güneşten gelen ışığı, aktif polimer tabakası ile doğrudan elektrik enerjisine çeviren aygıttır. Organik

güneş pilleri kolay üretimi, ucuz maliyeti, esneklikleri ve çok ince film yapabilme özellikleri nedeniyle silikon güneş pillerine alternatif olarak gösterilmektedir.

Organik güneş pilleri, iki elektrot arasına aktif tabaka (polimer) sıkıştırılarak oluşturulur. Şekil 1.10'da iki elektrot arasına P3HT:PCBM karışımının elde edilmesiyle meydana gelen bir polimer güneş pili gösterilmektedir (17). Genel olarak elektrot olarak ITO (İndiyum Kalay Oksit) kullanılmaktadır. ITO kaplı pet yüzey üzerine sırasıyla delik-taşıyıcı katman olarak bilinen PEDOT: PSS, aktif karışım P3HT:PCBM ve son olarak alüminyum kaplanarak güneş hücresinin üretimi gerçekleştirilmektedir.



**Şekil 1.10** P3HT:PCBM güneş hücresi

Organik güneş pilleri şu şekilde çalışmaktadır (17): Güneşten gelen fotonlar PET, ITO, PEDOT: PSS katmanlarını geçerek P3HT:PCBM filmine ulaştıklarında sahip oldukları enerjiyi elektron ve deşik (boşluk) çiftleri olan eksitonları oluşturmak için kullanılmaktadır. ITO ve alüminyum elektrotlarının iş fonksiyonları seviyeleri arasındaki farkın sebep olduğu elektrik alan etkisiyle, bu elektron-deşik çiftleri birbirinden ayrılmaktadır. Elektronlar alüminyum elektroduna, deşikler ise ITO

elektroduna taşınarak devreden akım geçmesi sağlanmaktadır. Böylece foton enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.

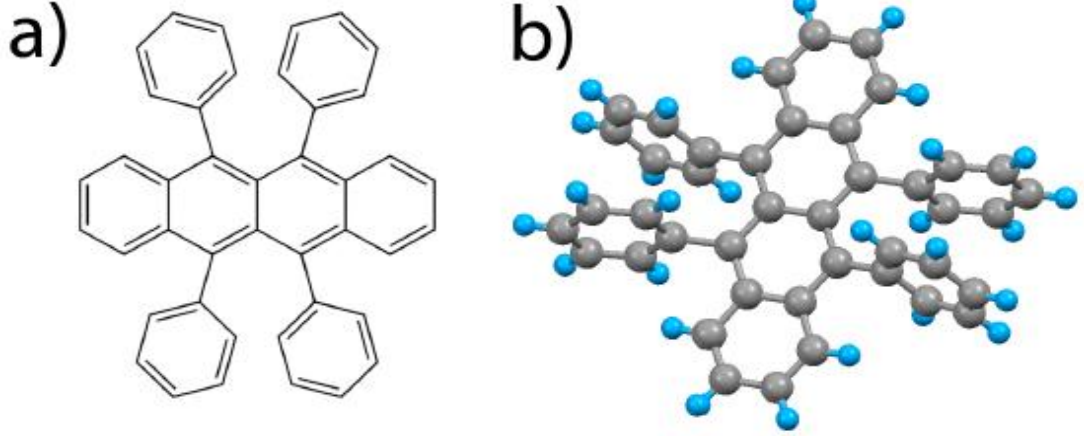
## 1.2. Rubrene Organik Yarıiletken

### 1.2.1. Genel özellikler

Rubrene (5,6,11,12-tetraphenylnaphthacene) kırmızı renkli bir polycyclic aromatik hidrokarbondur (19) (Şekil 1.11) ve iki merkezi benzen ( $C_6H_6$ ) halkasının her iki tarafına bağlı fenil ( $C_6H_5$ ) halkalı bir tetracen temel (yani, dört yapışık benzen halkası)'inden oluşur. Şekil 1.12(a) ve (b)'de rubrene molekülünün yapısal formülü ve üç boyutlu resmi görülmektedir (20). Rubrene'in molar kütlesi 532.7 g/mol ve erime noktası 315 °C'dir (19). Rubrene, ışıklı çubuk içinde bir sarı ışık kaynağı ve kemilüminesans içinde bir duyarlaştırıcı olarak kullanılır. Bir organik yarıiletken olan rubrene'in en önemli uygulamaları organik ışık yayan diyotlar (OLED) (21), organik alan etkili transistörler (OFET) (22), fotovoltajik hücreler (23) ve organik-inorganik hetero eklemlerdir (24). Rubrene, boşluklar (hole) için 40  $cm^2/(V\cdot s)$  yüksek taşıyıcı hareketliliğine (mobility) sahip olup bu sayede p tipi organik yarıiletken olma özelliğini taşımaktadır (19). Rubrene ayrıca oda sıcaklığında %100 fotolüminesans verime sahiptir (25). Rubrene molekülünün HOMO/LUMO bant aralığı yaklaşık 2.2 eV'dur (26).



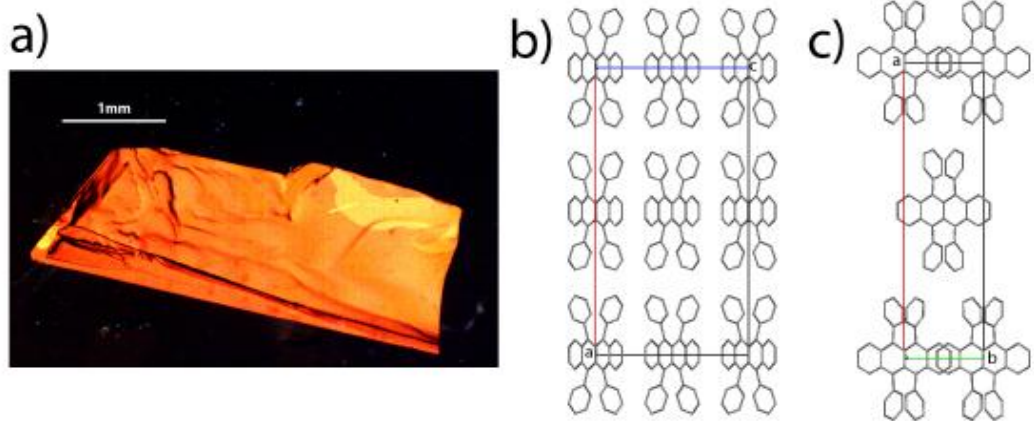
Şekil 1.11 Rubrene tozu



**Şekil 1.12** Rubrene molekülünün (a) yapısal formülü ( $C_{42}H_{28}$ ) (b) üç boyutlu resmi. Sadelik açısından hidrojen atomları gösterilmemiştir

### 1.2.2. Kristal yapısı

Rubrene molekülü monoklinik, triklinik ve ortorombik fazda kristalleşmesine rağmen ortorombik fazda elde etmek daha kolaydır (20). Şekil 1.13 (a)'da fiziksel buhar taşıma yöntemiyle büyütülen ortorombik rubrene kristalin optik mikroskop fotoğrafı görülmektedir (20). Ortorombik kristalin oda sıcaklığında (293 K) toplanan birim hücre örgü sabitleri  $\vec{a} = 26.86(1) \text{ \AA}$ ,  $\vec{b} = 7.193(3) \text{ \AA}$  ve  $\vec{c} = 14.433(5) \text{ \AA}$ , hacim 2788.5(18), birim hücredeki molekül sayısı 4'dür. Ayrıca, birim hücre başına dört molekülü  $Cmca$  uzay grubuna sahiptir (20). Şekil 1.13 (b) ve (c)'de **b** ve **c** eksenleri boyunca bakıldığında ortorombik kristalin birim hücreleri görülmektedir.

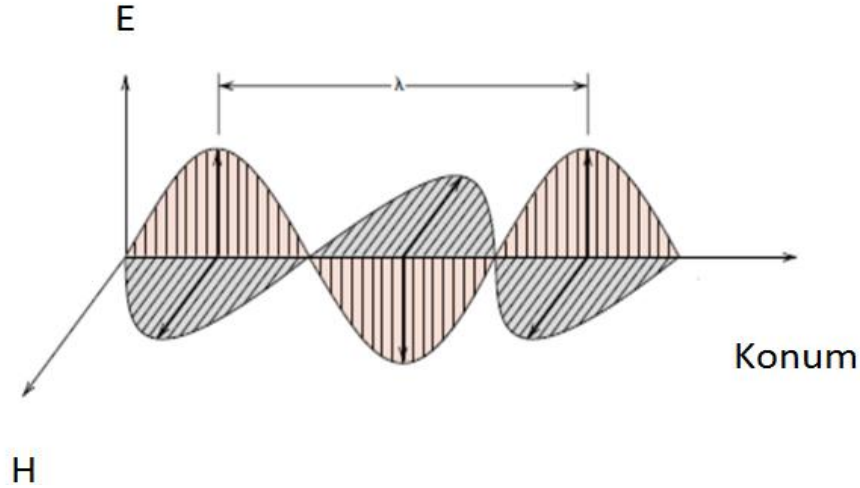


**Şekil 1.13** (a) Fiziksel buhar taşıma yöntemiyle büyütülen rubrene ortorombik kristalin optik mikroskop fotoğrafı. Açık yüzey (100) yüzeyidir. (b) ve (c) **b** ve **c** eksenleri boyunca gözlenen ortorombik rubrene birim hücresi

### 1.3. Optiksel Temel Kavramlar

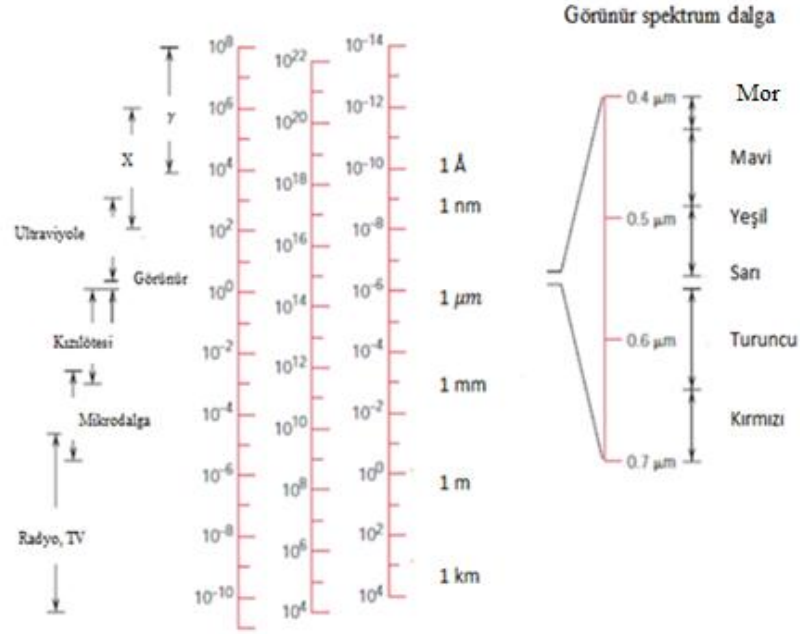
#### 1.3.1. Elektromanyetik radyasyon

Klasik anlamda, elektromanyetik radyasyon birbirlerine ve yayılma yönüne dik olan elektrik ve manyetik alan bileşenden oluşan dalga olarak kabul edilmektedir (Şekil 1.14). Işık, ısı (ısı veya ışık yayan enerji), radar, radyo dalgaları ve x-ışınları elektromanyetik radyasyonun farklı türleridir. Bunların her biri sahip oldukları dalga boyuna göre karakterize edilmektedir. Radyasyon, elektromanyetik spektrumun  $\gamma$ -ışınlarında en geniş aralığı  $10^{-12}$  m ( $10^{-3}$  nm) dalga boyunda, X-ışınları, morötesi (UV), görünür, kızılötesi ve radyo dalgaları yoluyla dalga boyu ise  $10^5$  m kadar uzundur (27). Bu spektrum, logaritmik bir ölçekte, Şekil 1.15'de gösterilmiştir (27).



**Şekil 1.14** Elektrik alan E, manyetik alan H ve dalga boyu  $\lambda$  bileşenleri ile bir elektromanyetik dalganın gösterimi (27)

Görünür ışık, spektrumun çok dar bir bölge içinde yer alır ve dalga boyları yaklaşık  $0.4 \mu\text{m}$  ( $4 \times 10^{-7}$  m) ve  $0.7 \mu\text{m}$  arasında değişmektedir. Algılanan renk dalga boyu tarafından belirlenir; örneğin,  $0.4 \mu\text{m}$  dalga boyuna sahip radyasyon mor görüntülenirken,  $0.5 \mu\text{m}$  ve  $0.65 \mu\text{m}$  dalga boyuna sahip radyasyon sırasıyla yeşil ve kırmızı renkte görüntülenmektedir. Farklı renkler için spektrum aralıkları Şekil 1.15'de verilmiştir. Beyaz ışık tüm renklerin karışımından oluşmaktadır. Devam eden görüşler öncelikle bu görünür radyasyon ile ilgilidir, tanım gereği sadece görünür radyasyon göz için duyarlıdır.



**Şekil 1.15** Görünür spektrum çeşitli renkler için dalga boyu aralıkları dahil olmak üzere elektromanyetik radyasyon spektrumu

Her elektromanyetik radyasyon boşluğu aynı hızla yani  $3 \times 10^8$  m/s (186.000 mil/s) hızla geçmektedir. Bu hız ( $c$ ), boşluğun elektriksel geçirgenliği ( $\epsilon_0$ ) ve manyetik geçirgenliği ( $\mu_0$ ) ile aşağıdaki denklemdeki gibi ifade edilmektedir.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad (1.1)$$

Dolayısıyla elektromanyetik sabit  $c$  ile elektriksel geçirgenlik ve manyetik geçirgenlik arasında bir ilişki vardır.

Ayrıca, elektromanyetik radyasyon frekans ve dalga boyuna göre hızın bir fonksiyonu olarak aşağıdaki denklemdeki gibi ifade edilmektedir.

$$c = \lambda \nu \quad (1.2)$$



Frekans hertz cinsinden ifade edilmektedir ve saniyede 1 devir olarak bilinmektedir. Elektromanyetik radyasyonun farklı formları için frekans aralıkları da Şekil 1.15'deki spektrumda dahildir.

Işık hem parçacık hem de dalga karakteristiğine sahiptir. Foton ışığın bir kuantum birimidir. Bir fotonun enerjisinin belirli bir dereceye kadar enerji içerdiği söylenmektedir, ya da sadece belirli değerler almaktadır. Enerji aşağıdaki denklem gibi ifade edilmektedir.

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (1.3)$$

Burada h: Planck sabitidir ( $6.62 \times 10^{-34}$  J-s).

Denklem 1.3'de görüldüğü gibi foton enerjisi radyasyonun frekansına orantılı ve dalga boyu ile ters orantılıdır. Foton enerjileri de elektromanyetik spektruma dahildir (Şekil 1.15).

### 1.3.2. Işığın katılar ile etkileşimi

Herhangi bir ortamdan ışık geldiğinde, birkaç olay gerçekleşmektedir. Işık radyasyonu bazı ortamlarda iletilebilmektedir. Bazı ortamlarda ışık soğurulacak ve bazı ortamlarda iki ortam arasında ara yüzey olarak yansıyacaktır. Katı bir ortamın yüzeyine gönderilen ışığın şiddeti  $I_0$ , geçen, soğurulan ve yansıyan şiddetlerinin toplamına eşit olmalıdır. Geçen, soğurulan ve yansıyan ışığın şiddetleri sırasıyla  $I_T, I_A, I_R$  ile gösterilmektedir ve aşağıdaki denklemdeki gibi ifade edilmektedir (27).

$$I_0 = I_T + I_A + I_R \quad (1.4)$$

Radyasyon şiddeti metre kare başına watt olarak ifade edilmektedir, yayılma yönüne dik olan bir birim alan boyunca zaman birimi başına aktarılan enerji değerine karşılık gelmektedir.

Denklem 1.4'e alternatif olarak aşağıdaki gibi de gösterilmektedir (27).

$$T + A + R = 1 \quad (1.5)$$

$T$ ,  $A$  ve  $R$  sırasıyla geçirgenlik ( $I_T / I_0$ ), soğurma katsayısı ( $I_A / I_0$ ) ve yansıma katsayısı ( $I_R / I_0$ ) temsil etmektedir.

Işığın içerisinde kolaylıkla geçebildiği ya da çok az soğurulduğu ve saçıldığı maddelere geçirgen maddeler denir. Işığın içerisinde nüfuz edebildiği ve orada saçılabilirdiği malzemelere yarıgeçirgen malzemeler denir. Işığı karşı tarafa geçirme özelliği olmayan malzemelere opak (mat) malzemeler denir.

Toplu metallerde tüm ışık radyasyonu soğurma veya yansıtma olan tüm görünür spektrum boyunca mattır. Diğer yandan elektriksel olarak yalıtkan malzeme geçirgen yapılabilmektedir.

### **1.3.3. Atomik ve elektronik düzeydeki etkileşimler**

Katı maddeler içinde meydana gelen optik olaylar, elektromanyetik radyasyonların, atomların, iyonların veya elektronların etkileşimlerine yol açmaktadır. En önemli etkileşimlerin ikisi, elektronik polarizasyon ve elektron enerji geçişleridir (27).

#### **1.3.3.1. Elektronik polarizasyon**

Elektromanyetik dalganın bir bileşeni hızla değişen elektrik alanıdır (Şekil 1.14). Görünen dalga boylarında, malzeme içinde ilerleyen elektromanyetik dalganın (ışık) elektrik bileşeni ile her atomun etrafını saran elektron bulutu arasında bir etkileşme meydana gelmektedir. Bu etkileşme ile elektronların çekirdeğe göre ötelenmesi sonucunda bir elektronik polarizasyon (kutuplaşma) meydana gelmektedir. Bu kutuplaşmanın iki sonucu (27):

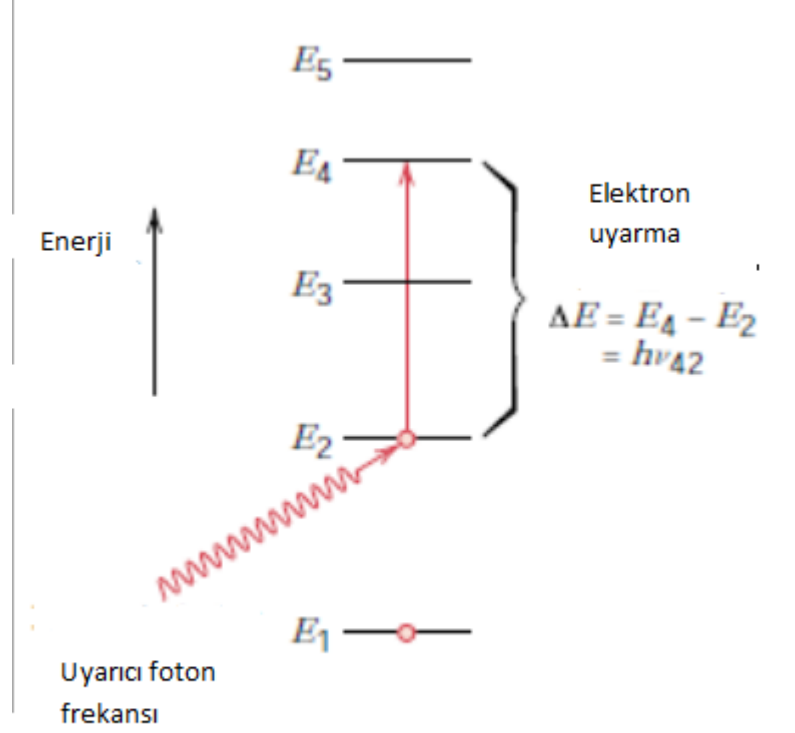
- (1) Elektromanyetik radyasyon enerjisinin bir kısmını absorbe edilebilmesi
- (2) Işık dalgası malzeme içinden geçerken hızı yavaşlamasıdır.

#### **1.3.3.2. Elektron enerji geçişleri**

Elektromanyetik radyasyonun soğurma veya yayılımı, uyarılmış bir enerji düzeyinden diğerine elektron geçişleri ile ilgilidir. İzole bir atomun elektron enerji diyagramı Şekil 1.16'daki gibi gösterilmektedir. Bir elektron mevcut bulunduğu  $E_2$  enerji düzeyinden uyarılarak, boş ve daha yüksek bir  $E_4$  enerji düzeyine foton enerjisini absorbe ederek yükselbilmektedir. Elektronun enerji değişimi  $\Delta E$ , aşağıdaki radyasyon frekansına bağlıdır.

$$\Delta E = h\nu \quad (1.6)$$

Burada  $h$  Planck sabitidir.



**Şekil 1.16** İzole bir atom için, bir enerji durumundan diğerine bir elektronun uyarılması ile foton soğurulmasının şematik gösterimi

Bu noktada birkaç kavramın iyi anlaşılması önemlidir. İlki, atom için enerji durumları ayrıdır, sadece belirli  $\Delta E$  enerji seviyeleri arasında geçişler mevcuttur böylece atom için olası  $\Delta E$ 'nin tekabül ettiği frekanslar yalnızca elektron geçişlerinden fotonlar tarafından soğurulmaktadır. Ayrıca, fotonun tüm enerjisi her uyarma sonucunda soğurulur.

İkinci önemli nokta ise uyarılmış enerji seviyesinden bir elektron karalı hale geri dönmek istemektedir. Kısa bir süre içinde, aldığı enerjisi geri yayarak orijinal (ilk) enerji düzeyine geri dönmektedir. Bu geri dönüş farklı aşamalardadır. Ancak sonuçta, enerji soğurulması ve yayılması sırasında enerjinin korunumu yasası geçerlidir.

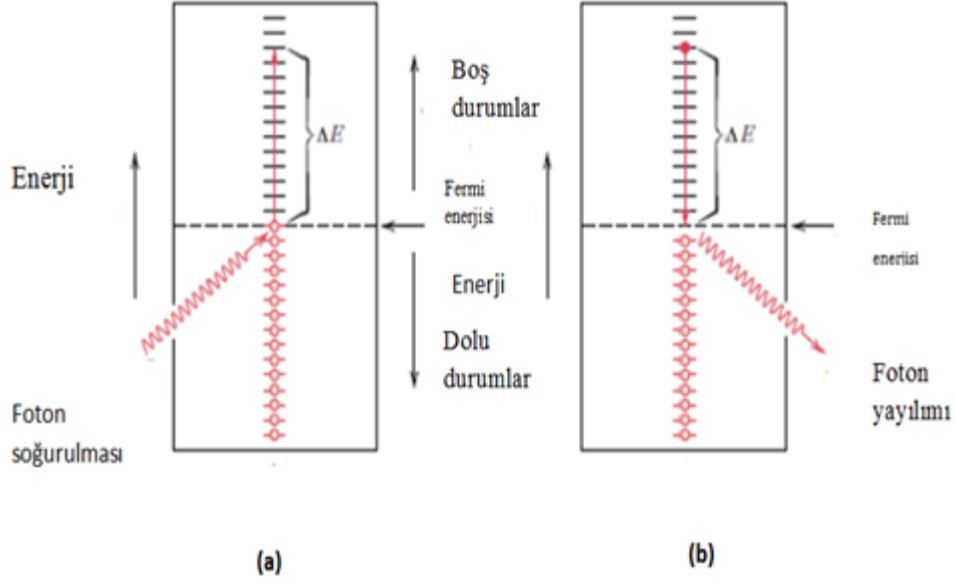
### 1.3.4. Metallerin optiksel özellikleri

Metaller için elektron enerji bant şemaları Şekil 1.17(a) ve (b)'de gösterilmektedir (27). Her iki durumda yüksek enerji seviyeleri kısmen elektronlar ile doludur. Metaller opak malzemelerdir, çünkü malzeme üzerine etki eden görünen dalga boylarındaki ışık dalgaları elektronları fermi enerjisi düzeyinin üzerindeki kısmen boş enerji seviyelerine yükseltir (Şekil 1.17(a)). Sonuç olarak gelen ışığın enerjisi denklem (1. 6)'ya göre soğurulmaktadır.

Tüm enerji emilimi metalin yüzeyinde, yaklaşık  $0.1 \mu\text{m}$  bir kalınlık içinde gerçekleşmektedir. Dolayısıyla ancak  $0.1 \mu\text{m}$ 'den daha ince metal filmler ışığı geçirebilmektedir.

Görünür ışığın tüm frekanslarının metaller tarafından soğurulması nedeniyle sürekli kullanılabilir boş durumlar Şekil 1.17(a)'daki gibi izinlidir. Aslında metallerin, frekans spektrumunun düşük kısımlarında tüm elektromanyetik radyasyonlar yani radyo dalgalarından kızılötesi, görünür ve mor ötesi (UV) dalgaların ortası opaktır. Metaller yüksek frekans radyasyonunda ( $X$  ve  $\gamma$  ışını) saydamdır.

Bir atom tarafından soğurulan ışık ile düşük enerji seviyesindeki elektron daha yüksek enerjili bir seviyeye çıkmaktadır. Bir atom için bu durum kararsız bir haldir. Elektron burada belirli bir süre kalır ve ardından daha kararlı olan temel hale dönmesi yani foton yayılımı Şekil 1.17(b)'de gösterilmektedir. Çoğu metaller için yansıma 0.90 ve 0.95 arasındadır, enerjinin geri kalan kısmı ısı enerjisine dönüşmektedir.



**Şekil 1.17** (a) Metalik malzemeler için bir elektronun fotonu soğurarak daha yüksek olan üst enerji seviyesine geçişinin şematik gösterimi (b) düşük enerji seviyesindeki elektronun daha yüksek enerjili bir seviyeye çıktıktan sonra kararsız durumda bir süre kalıp tekrar karalı hale döndüğünde ışık yayma olayının şematik gösterimi

Metaller opak malzemeler oldukları için yüksek yansıtma özelliğine sahiptir. Dolayısıyla metallerin renklerini, üzerlerinden yansıyan ışığın dalga boylarının dağılımı belirler. Metaller beyaz ışığa maruz kaldığında parlak bir görünüm göstermektedir yani metaller görünür spektrumun tüm aralığında yüksek yansıtıcı özelliğe sahiptir. Diğer bir deyişle yansıyan bir ışın için, bu bileşimin yayılım olmadan önce soğurulmuş fotonları, frekans ve sayısı bakımından yaklaşık gelen ışın için aynıdır. Alüminyum ve gümüş yansıtıcı davranışı gösteren iki metaldir. Bakır ve altın sırasıyla kırmızı-turuncu ve sarı renkte görünür çünkü kısa dalga boyları olan ışık fotonları ile ilgili enerjinin bir kısmı görünür ışık olarak tekrar yayılmaktadırlar.

### 1.3.5. Metal olmayan malzemelerin optik özellikleri

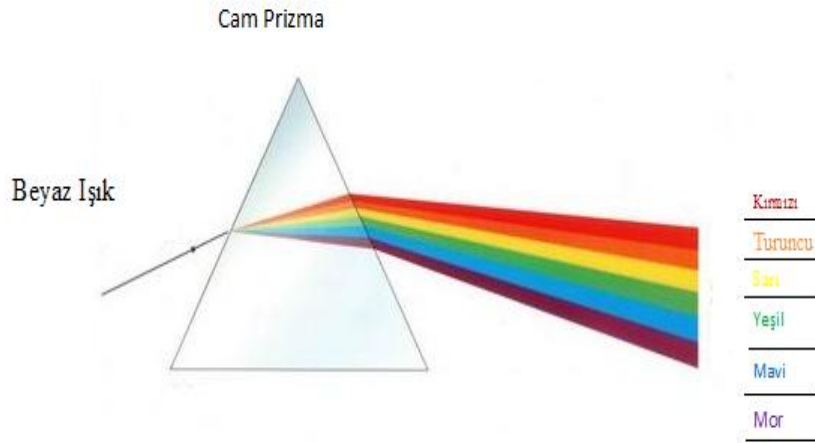
Elektron bant yapılarına bağlı olarak metalik olmayan malzemeler görünen dalga boyundaki ışığı geçirebilmektedir. Bu yüzden yansıma ve soğurma yanında kırılma ve geçirme durumları da dikkate alınmalıdır.

### 1.3.6. Kırılma

Işık, saydam malzeme içine geldiğinde doğrultusunu değiştirmesi sonucunda hızında bir azalma yaşanır bu olaya ışığın kırılması denilmektedir. Bir malzemenin kırılma indisi ( $n$ ), ışığın vakumdaki hızının ( $c$ ) ışığın malzeme içindeki hızına ( $v$ ) oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$n = \frac{c}{v} \quad (1.7)$$

Kırılma indisinin büyüklüğü (ışığın ne kadar eğildiği) ışığın dalga boyuna bağlıdır. Prizmadan geçen beyaz ışığın renklere nasıl ayrıldığı Şekil 1.18'te gösterilmektedir (27). Her bir renk, cam prizma içinden geçerken farklı miktarlarda kırılmaya uğramaktadır. Kırılma indisi sadece ışığın optik rotasını etkilemez, aynı zamanda gelen ışığın yüzeyden yansıyan miktarını da etkilemektedir.



Şekil 1.18 Prizmadan geçen ışığın renklere ayrılması

$c$ 'nin büyüklüğü denklem 1. 1'deki gibi tanımlanmaktadır ve buna eşdeğer bir ifade olarak ışığın hızı ( $v$ ) aşağıdaki gibi verilmektedir (27).

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} \quad (1.8)$$

Burada  $\epsilon$ , dielektrik sabiti,  $\mu$ , manyetik geçirgenlik sabitidir.

Denklem (1. 7) kullanılarak aşağıdaki ifade elde edilmektedir (27).

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\sqrt{\epsilon\mu}}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}} = \sqrt{\epsilon_r\mu_r} \quad (1.9)$$

Burada  $\epsilon_r$ , relatif dielektrik sabiti,  $\mu_r$ , relatif manyetik geçirgenlik sabitidir. Pek çok malzemenin çok az manyetik olduğu düşünüldüğünde  $\mu_r \cong 1$  olmaktadır.

$$n \cong \sqrt{\epsilon_r} \quad (1.10)$$

Sonuç olarak saydam malzeme için kırılma indisi ve dielektrik sabiti arasında bir ilişki olduğu görülmektedir. Daha önce belirtildiği gibi, kırılma olayı nispeten yüksek frekanslarda görünür ışık için elektronik polarizasyon ile ilgilidir. Böylece, dielektrik sabiti denklem 1.10'da kullanılan kırılma indisi ölçümlerinden belirlenebilmektedir.

Işığın malzeme içindeki geçiş hızına etki eden şey elektronik etkileşimler olduğuna göre, atom veya iyonların boyutları da bu etkinin büyüklüğüne etki edecektir. Atom veya iyon boyutu büyüdükçe, elektronik kutuplaşma artacak, hız düşecek ve kırılma indisi artacaktır. Kırılma indisi tipik soda-kireç camı için yaklaşık olarak 1,5'tur. Büyük oranda bir cama baryum ve kurşun iyonları (BaO ve PbO gibi) eklendiğinde kırılma indisi ( $n$ ) önemli ölçüde artacaktır. Örneğin %90 ağırlığında PbO içeren büyük ölçüde kurşunlanmış camlar yaklaşık olarak 2.1 kırılma indisine sahiptir.

Kübik yapıya sahip kristal seramiklerde ve camlarda kırılma indisinin değeri kristal doğrultusundan bağımsızdır yani izotropiktir. Ancak, kübik olmayan kristallerde kırılma indisi anizotropiktir. Kırılma indisi iyonların en yoğun dizildiği doğrultularda en büyüktür. Tablo 1.1'de birkaç cam, geçirgen seramik ve polimerler için kırılma indisleri verilmektedir. Ortalama kırılma indisi değerleri kristal yapıya sahip seramikler için bulunduğu kırılma indisinin anizotropik olduğu görülmektedir.

**Tablo 1.1** Bazı geçirgen malzemeler için kırılma indisi

<b>Malzeme</b>	<b>Ortalama Kırılma İndisi</b>
<b>Seramikler</b>	
<b>Silis Cam</b>	1.46
<b>Borosilikat Cam</b>	1.47
<b>Soda-Kireç Cam</b>	1.51
<b>Kuartz (<math>SiO_2</math>)</b>	1.55
<b>Kurşunlu Cam</b>	1.65
<b>Magnezyum Alüminyum Oksit (<math>MgAl_2O_4</math>)</b>	1.72
<b>Magnezyum Oksit (MgO)</b>	1.74
<b>Alüminyum Oksit (<math>Al_2O_3</math>)</b>	1.76
<b>Polimerler</b>	
<b>Politetrafloroetilen</b>	1.35
<b>Polimetil metakrilat</b>	1.49
<b>Polipropilen</b>	1.49
<b>Poliytilen</b>	1.51
<b>Polistiren</b>	1.60



### 1.3.7. Yansıma

Işık, tamamen geçirgen ve kırılma indisleri farklı bir ortamdan diğer bir ortama geçerken, ışığın bir kısmı iki malzemenin ara yüzeyinde saçılmaktadır. Yansıma ( $R$ ), gelen ışığın ara yüzeydeki yansıtılan kısmını ifade etmektedir.

$$R = \frac{I_R}{I_0} \quad (1.11)$$

Burada  $I_0$ , gelen ışığın şideti,  $I_R$ , yansıyan ışığın şiddetidir.

Eğer ışık yüzeye normal veya dik geliyorsa yansıma ifadesi;

$$R = \left( \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \quad \text{şeklindedir.} \quad (1.12)$$

Burada  $n_1$  ve  $n_2$  iki ortamın kırılma indisini ifade etmektedir. Işık ara yüzeye normal gelmezse,  $R$  yansıma açısına bağlı olacaktır. Işık, vakum veya hava ortamından bir katı içine geçerse;

$$R = \left( \frac{n_s - 1}{n_s + 1} \right)^2 \quad (1.13)$$

Havanın kırılma indisi için bu ifade yaklaşık olarak uyumludur. Bu nedenle katının kırılma indisi büyürse yansıma da artmaktadır. Tipik silisyumlu camlar için, yansıma yaklaşık 0.05'tir. Bir katı maddenin kırılma indisinin büyüklüğü gelen ışığın dalga boyuna bağlı olduğu gibi, yansıma oranı da dalga boyu ile değişiklik göstermektedir. Lensler ve diğer optiksel aletler için yansıma kaybı, magnezyum florür gibi dielektrik malzemelerin çok ince katmanları yansıtıcı yüzey kaplama ile önemli ölçüde en aza indirilmektedir.

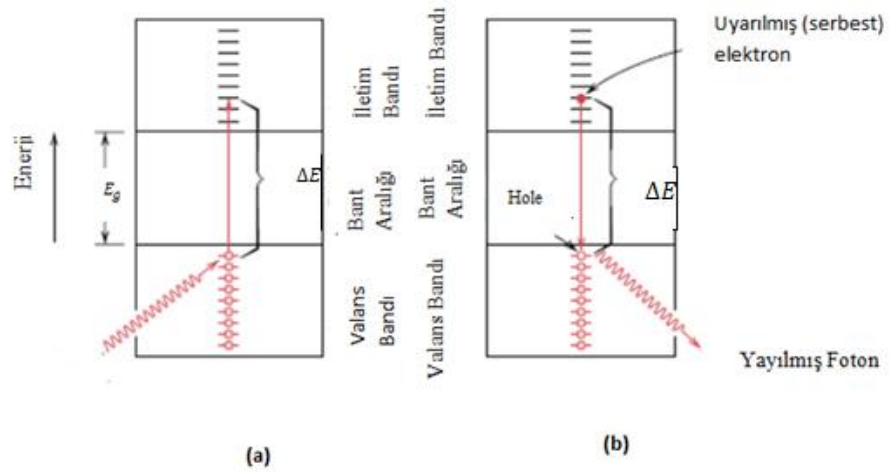
### 1.3.8. Soğurma

Metal olmayan malzemeler görünür ışığa karşı opak veya geçirgen özellikte olabilmektedir ve metal olmayan malzemeler geçirgenlik özelliğine sahipse renkli görülmektedir (27). Işık metalik olmayan malzemelerde iki temel mekanizma ile soğurulmaktadır. Bunlar bu tür malzemeler içinde ışığın geçiş karakteristiklerini etkilemektedir. Bunlardan biri elektronik kutuplaşmadır. Elektronik kutuplaşma da bu tür soğurma sadece, düşük frekanslı (maddeyi oluşturan atomların gevşeme

frekanslarına yakın değerlerde) ışıklar için geçerlidir. Diğer mekanizma valans bantı-iletim bantı elektron geçişlerini içermektedir. Malzemenin elektron bant yapısına (yarıiletken ve yalıtkanların) bağlıdır.

Işığın soğurulması neredeyse dolu valans bantındaki bir elektronun uyarılması veya yükselmesi ile olabilmektedir. Yasak enerji aralığı ( $E_g$ ) ve boş durumdaki iletim bantı Şekil 1.19(a)'da gösterilmektedir (27). Işığın soğurulması sonucunda valans bantında bir boşluk, iletim bantında ise bir serbest elektron oluşmuştur. Ayrıca, denklem 1.6'da gösterildiği gibi uyarılma enerjisi  $\Delta E$  soğurulan fotonun frekansı ile ilişkilidir. Eğer fotonun enerjisi yasak enerji aralığı  $E_g$  'den daha büyükse soğurma olayı gerçekleşmektedir.

$$h\nu > E_g \quad (1.14)$$



**Şekil 1.19 (a)** Metal olmayan materyaller için yasak enerji aralığı boyunca uyarılan bir elektronun soğurma spektroskopisi, **(b)** Yasak enerji aralığı boyunca doğrudan elektron geçişi ile fotonun yayılımı.

Denklem (1.14)'ü dalga boyu cinsinden ifade edersek;

$$\frac{hc}{\lambda} > E_g \quad (1.15)$$

Görünür ışığın minimum dalga boyu  $\lambda_{\min} \cong 0.4 \mu m$ ,  $c = 3 \times 10^8 m/s$  ve  $h = 4.13 \times 10^{-15} eV \cdot s$ , maksimum yasak enerji aralığı  $E_{g(\max)}$  ;

$$\begin{aligned}
 E_{g(\max)} &= \frac{hc}{\lambda_{\min}} \\
 &= \frac{(4.13 \times 10^{-15} eV \cdot s)(3 \times 10^8 m/s)}{4 \times 10^{-7} m} \\
 &= 3.1 eV
 \end{aligned} \tag{1.16}$$

Sadece 3.1 eV'da maksimum yasak enerji aralığı için görünür ışığın soğurulması mümkündür.

Görünür bölgede yaklaşık 3.1 eV'dan daha büyük yasak enerji aralığına sahip metal olmayan malzemeler tarafından soğurulamamaktadır. Bu malzemeler yüksek saflığa sahipse saydam ve renksiz gözükmetedir.

Görünür ışığın maksimum dalga boyu  $\lambda_{\max} \cong 0.7 \mu m$  olarak alındığında minimum yasak enerji aralığı  $E_{g(\min)}$  ;

$$\begin{aligned}
 E_{g(\min)} &= \frac{hc}{\lambda_{\max}} \\
 &= \frac{(4.13 \times 10^{-15} eV \cdot s)(3 \times 10^8 m/s)}{7 \times 10^{-7} m} \\
 &= 1.8 eV
 \end{aligned} \tag{1.17}$$

Sadece 1.8 eV'da minimum yasak enerji aralığı için görünür ışığın soğurulması mümkündür.

Sonuç olarak yasak enerji bant genişliği yaklaşık 1.8 eV değerinden daha düşük olan yarı iletkenlerde, görünen dalga boyundaki tüm ışık dalgaları, valans bantından iletim bantına elektron geçişleri ile soğurulur. Bu yüzden bu tür malzemeler ışığı geçirmez yani opak malzemelerdir. Görünür spektrumun bir kısmı 1.8 eV ve 3.1 eV arasındaki yasak enerji aralığına sahip olan malzemeler tarafından kısmi olarak soğurulmaktadır. Bu tür malzemeler renkli gözükmetedir.

Her metal olmayan malzeme  $E_g$  'nin büyüklüğüne bağlı olarak bazı dalga boylarında opak olmaktadır. Örneğin 5.6 eV yasak enerji aralığına sahip olan elmas yaklaşık  $0.22 \mu\text{m}$ 'den daha düşük dalga boylarına sahip olan radyasyonda opaktır.

### 1.3.9. Geçirgenlik

Işığın geçirgen bir katı boyunca iletilmesiyle meydana gelen soğurma, yansımaya ve geçirgenlik olayı Şekil 1.20'de gösterilmektedir (27).

$$I_T = I_0(1 - R)^2 e^{-\beta l} \quad (1.18)$$

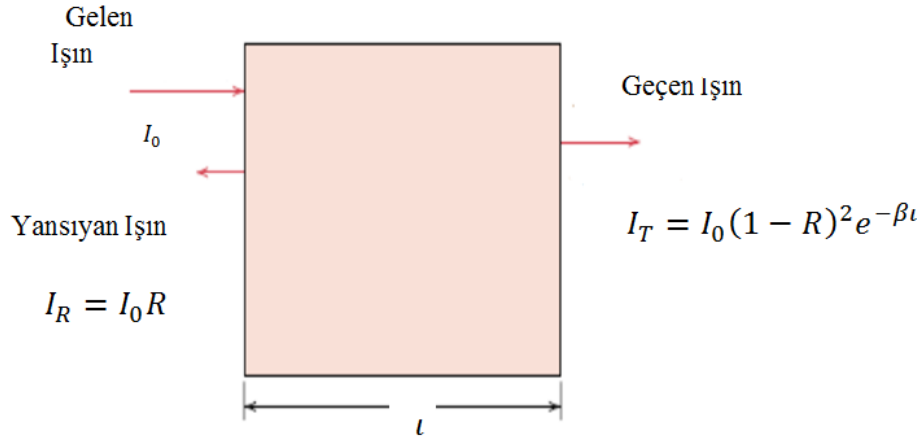
Burada;  $I_0$ : Gelen ışık şiddeti,  $l$ : Kalınlık

$R$ : Yansımaya katsayısı

$\beta$ : Absorbsiyon katsayısı

$I_T$ : Geçen ışık şiddetini ifade etmektedir.

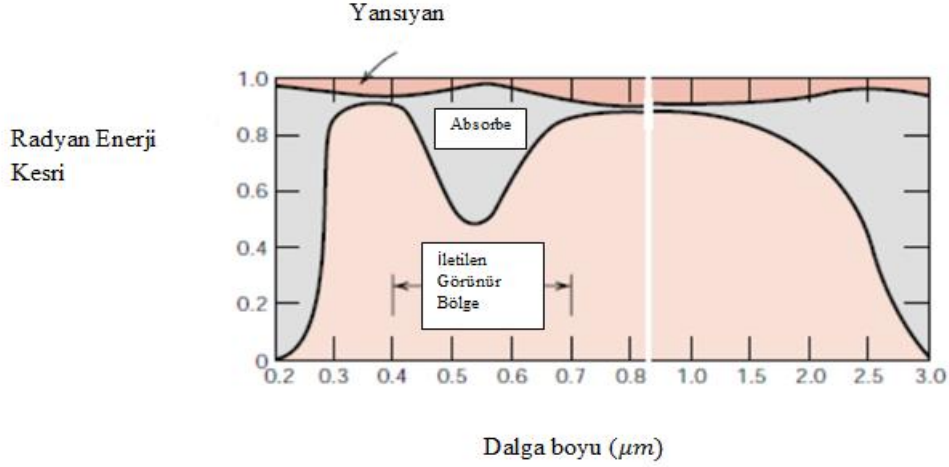
Bu ifade için yansımaya katsayısı  $R$  hem ön hem de arka yüzey dışında aynı ortalama değere sahip olduğu varsayılmıştır.



**Şekil 1.20** Geçirgen bir madde boyunca ışığın geçişi

Geçirgen bir malzeme boyunca iletilen gelen ışığın kesri soğurma ve yansımadan kaynaklanan kayıplara bağlıdır. Denklem (1.5)'deki gibi yansımaya  $R$ , soğurma  $A$  ve geçirgenlik  $T$ 'nin toplamı 1'dir.  $R$ ,  $A$  ve  $T$  değerlerinin her biri ışığın

dalga boyuna bağlıdır. Bu Şekil 1.21’de spektrumun görünür bölgesinde yeşil bir cam için gösterilmektedir. Örneğin  $0.4 \mu\text{m}$  dalga boyuna sahip olan ışık için geçen, yansıyan ve soğurulan kesirler yaklaşık olarak sırasıyla 0.90, 0.05 ve 0.05’tir. Ancak  $0.55 \mu\text{m}$  dalga boyunda her bir kesir yaklaşık 0.50, 0.48 ve 0.02 olarak değişmiştir.



**Şekil 1.21** Bir yeşil cam boyunca gelen ışığın iletme, soğurma ve yansıma kesirlerinin dalga boyuna göre değişimleri

### 1.3.10. Renk

Geçirgen malzemeler, ışığın belirli dalga boyu aralıklarının bir sonucu olarak renkli gözükmektedir (27). Bu seçici soğurmadır. Fark edilen bu renk dalga boylarının birleşiminin bir sonucudur. Eğer soğurma tüm dalga boyları için aynı ise malzeme renksiz gözükür. Yüksek saflık içeren inorganik camlar, yüksek saflıktaki tek kristal elmaslar ve safirler buna örnek olarak gösterilmektedir.

Genellikle, her bir seçici soğurma elektron uyarılması ile olmaktadır. Böyle bir durumda görünür ışık için foton enerji aralığı  $1.8 \text{ eV}$ 'dan  $3.1 \text{ eV}$ 'a kadar olan yarı iletken malzemeler için bant aralığını içermektedir. Böylece görünür ışığın kesri  $E_g$  'den daha büyük enerjilere sahiptir ve seçici valans bantı-iletim bantı elektronların geçişleri ile soğurulmaktadır. Tabiki soğurulan radyasyonun bazıları daha düşük enerji durumlarında uyarılmış elektronların asıl kısmından geride kalarak tekrar yayılacaktır. Bu tekrar yayılan radyasyonun soğurulması ile aynı frekansta

meydana gelmesi gerekmemektedir. Sonuç olarak, renk frekans dağılımı ışık ışınlarının hem iletilmesine hem de geri yansımaya bağlıdır.

#### 1.4. Yarıiletkenlerin Optik Özellikleri

Yarıiletkenlerin bant yapılarının belirlenmesinde en çok kullanılan yöntem optik soğurma yöntemidir. Bu yöntemle yarıiletkenin bant tipi ve yasak enerji aralığı hakkında bilgi edinilebilmektedir. Soğurma, bir malzemeye gelen elektromanyetik dalganın malzemede bulunan elektriksel yükler ile etkileşmesi sonucunda enerji kaybına uğraması olayıdır. Bu enerji kaybı materyalin atomları tarafından kullanılmaktadır. Soğurma olayında belli bir enerji seviyesinde bulunan foton bir elektronu düşük enerji seviyesinden yüksek bir enerji seviyesine uyarılmaktadır (1).

Çeşitli dalga boylarında ışın içeren bir demet, yarı saydam bir ortamdan geçirilirse ışının soğurulması ile içindeki bazı dalga boyları kaybolmaktadır. Materyaldeki moleküllerin bu ışınları soğurmasından sonra materyali geçen ışın demeti bize materyal hakkında bilgi vermektedir.

##### 1.4.1. Temel soğurma olayı

Bir elektronun bir foton soğurarak valans bantından iletim bantına geçmesiyle temel soğurma olayı oluşmaktadır. Bu geçişin gerçekleşmesi için materyal üzerine düşen foton enerjisinin yasak enerji aralığına eşit veya ondan daha büyük olması gerekmektedir. Gelen fotonun frekansı  $\nu$  ise

$$\nu \geq E_g / h \quad (1.19)$$

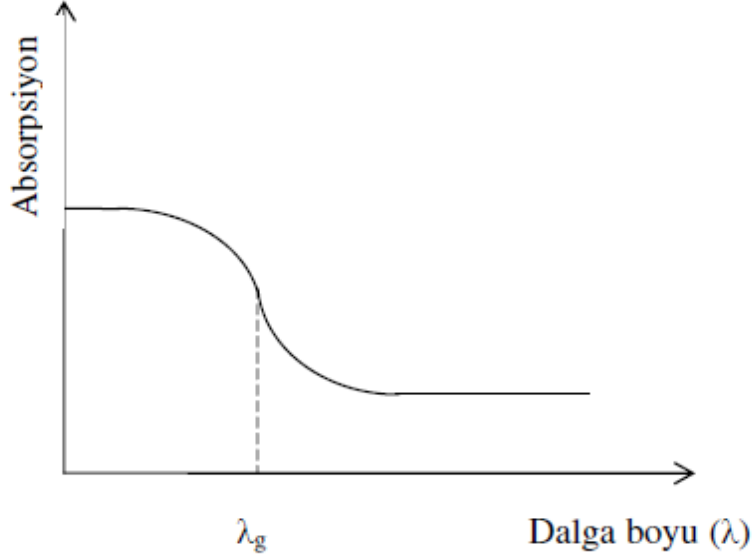
şeklinde yazılmaktadır. Gelen fotonun dalga boyu ise:

$$\lambda_g \leq hc / E_g \quad (1.20)$$

şeklinde yazılmaktadır. Burada;  $E_g$  :Yasak enerji aralığı;  $h$ : Planck sabiti;  $\lambda_g$  : gelen foton dalga boyu ve  $c$ : ışık hızı 'dır.

Temel soğurma, yarıiletkenin enerji aralığının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Şekil 1.22'de yarıiletken için temel soğurma spektrumu görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi yarıiletken temel soğurma spektrumunda  $\lambda_g$  dalga boyuna yakın dalga boylarından itibaren soğurulmada sürekli bir artış gözlenmektedir.  $\lambda_g$  değerinden sonra bir denge değerine ulaşmaktadır. Yarıiletken

materyal  $\lambda_g$  dalga boyundan büyük dalga boylarında geçirgenlik özelliği göstermektedir.  $\lambda_g$  dalga boyundan küçük dalga boylarında ise kuvvetli bir soğurucu olarak görülmektedir. Bir yarıiletkenin temel soğurma sınırında direkt bant geçişi ve indirekt bant geçişi olmak üzere iki tür geçiş vardır.



Şekil 1.22 Yarıiletkende temel soğurma spektrumu (28)

#### 1.4.2. Direkt bant geçişi

Yarıiletken materyalde iletim bantının minimumu ile valans bantının maksimumu enerji-momentum uzayında aynı  $k$  değerine sahip ise ( $\Delta k = 0$ ) bu tür geçişlere direkt bant geçişi denilmektedir.  $k = 0$  'da momentum korunum ifadesi;

$$\hbar k_e + \hbar k_h = 0 \quad (1.21)$$

Burada ;  $\hbar k_e$  : elektronların kristal momentumları

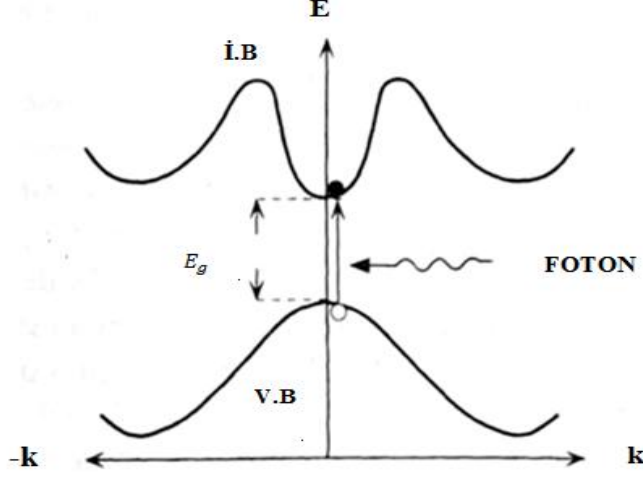
$\hbar k_h$  : hollerin kristal momentumlarını vermektedir.

Direkt bant geçişi Şekil 1.23'de görülmektedir. Direkt bant geçişte frekansı  $\nu$  olan bir fotonun enerjisi:

$$h\nu = E_e - E_h \geq E_i - E_v \quad (1.22)$$

ifadesi ile verilmektedir.

Burada;  $E_e$ : elektronların,  $E_h$ : hollerin,  $E_i$ : iletim bantının ve  $E_v$ : valans bantının herhangi bir konumdaki enerjilerini vermektedir. Direkt bant geçişinde enerji korunmaktadır.



Şekil 1.23 Bir yarıiletkeninde direkt bant geçişi

Direkt bant geçişinde, gelen fotonun enerjisi yarıiletkenin enerji aralığına eşit olduğu zaman Şekil 1.24'de görülen 1 geçişi görülmektedir. Gelen fotonun enerjisinin yarı iletkenin enerji aralığından büyük olduğu durumlarda ise Şekil 1.24'deki 2 geçişi görülmektedir. Buna göre;

$$E_s = h\nu - |E_i| \quad (1.23)$$

ifade edilmektedir.  $E_i$ : ilk durum enerji seviyesi ve  $E_s$ : son durum enerji seviyesi'dir.

Parabolik bantlarda ise;

$$E_s - E_g = \frac{\hbar^2 k^2}{2m_e^*} \quad (1.24)$$



$$E_i = \frac{\hbar^2 k^2}{2m_h^*} \quad (1.25)$$

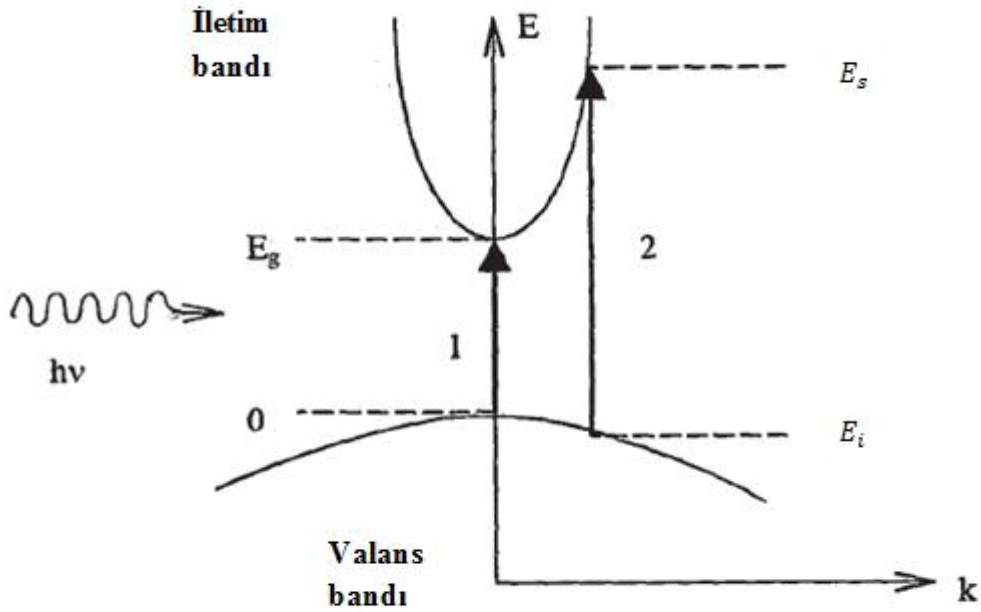
şeklinde gösterilmektedir.

Burada ;  $m_e^*$ : elektronun etkin kütlesi ve  $m_h^*$ : holün etkin kütlesidir.

1.24 ve 1.25 denklemleri 1.23 denkleminde yerine yazılırsa;

$$h\nu - E_g = \frac{\hbar^2 k^2}{2} \left( \frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right) \quad (1.26)$$

elde edilmektedir.



**Şekil 1.24** Direkt bant geçişinde enerji durumlarının gösterimi (28)

Direkt geçişlerde eksiton oluşumu veya elektron-boşluk etkileşimi göz önüne alınmazsa, soğurma katsayısı  $\alpha$  gelen fotonun enerjisine;

$$\alpha(h\nu) = A^* (h\nu - E_g)^n \quad (1.27)$$

ifadesi ile bağlıdır.

Buradaki  $A^*$  değeri;

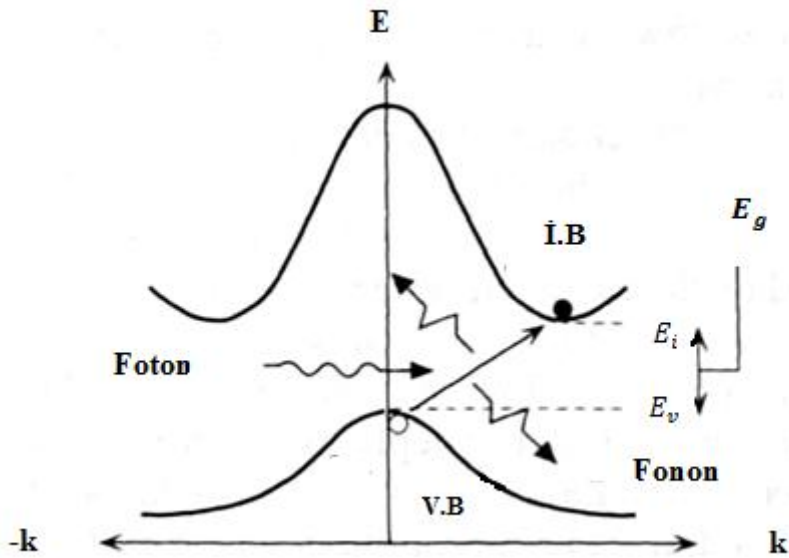
$$A^* \approx \frac{q^2 \left( 2 \frac{m_h^* m_e^*}{m_h^* + m_e^*} \right)^{3/2}}{nch^2 m_e^*} \quad (1.28)$$

ifadesi ile verilen bir sabittir.

$n$  değeri ise; izinli direkt geçişler için 1/2, izinsiz direkt geçişler için 3/2 değerlerini alan bir sabittir.

### 1.4.3. İndirekt bant geçişi

Yarıiletkende iletim bantının minimumu ile valans bantının maksimumu enerji-momentum uzayında aynı  $k$  değerine karşılık gelmiyorsa ( $\Delta k \neq 0$ ) bu tür geçişlere indirekt bant geçişi denilmektedir. İndirekt bant geçişi Şekil 1.25'de gösterilmektedir.



Şekil 1.25 İndirekt bant geçişi

İndirekt bant geçişinde enerji korunur ama momentum korunumu için bir fononun yayılması veya soğurulması gerekmektedir. Bu iki geçiş;

$$h\nu_e = E_s - E_i + E_f \quad (\text{Fonon yayılımı durumunda}) \quad (1.29)$$

$$h\nu_a = E_s - E_i - E_f \quad (\text{Fonon soğurulması durumunda}) \quad (1.30)$$

ile verilmektedir. Burada  $E_f$ , fonon enerjisidir.

Fonon soğurulması geçişi için soğurma katsayısı,

$h\nu \geq E_g - E_f$  durumu için;

$$\alpha_{abs}(h\nu) = \frac{A(h\nu - E_g - E_f)^n}{\exp\left(\frac{E_f}{kT}\right) - 1} \quad (1.31)$$

ile verilmektedir. Fononun yayımlı geçişleri için soğurma katsayısı,

$h\nu \geq E_g + E_f$  durumu için;

$$\alpha_{em}(h\nu) = \frac{A(h\nu - E_g + E_f)^n}{\exp\left(-\frac{E_f}{kT}\right) - 1} \quad (1.32)$$

ile verilmektedir. Burada  $n$  izinli geçişler için 2, izinsiz geçişler için 3 değerini alan bir sabittir. Hem fonon yayılımı hem de fonon soğurulması olması durumunda soğurma katsayısı ( $\alpha$ ) ile frekans ( $\nu$ ) arasındaki bağıntı;

$$n_0 \alpha h\nu \approx \frac{(h\nu - E_g - E_f)^n}{\exp\left(\frac{E_f}{kT}\right) - 1} + \frac{(h\nu - E_g + E_f)^n}{\exp\left(-\frac{E_f}{kT}\right) - 1} \quad (1.33)$$

ile verilmektedir (1).

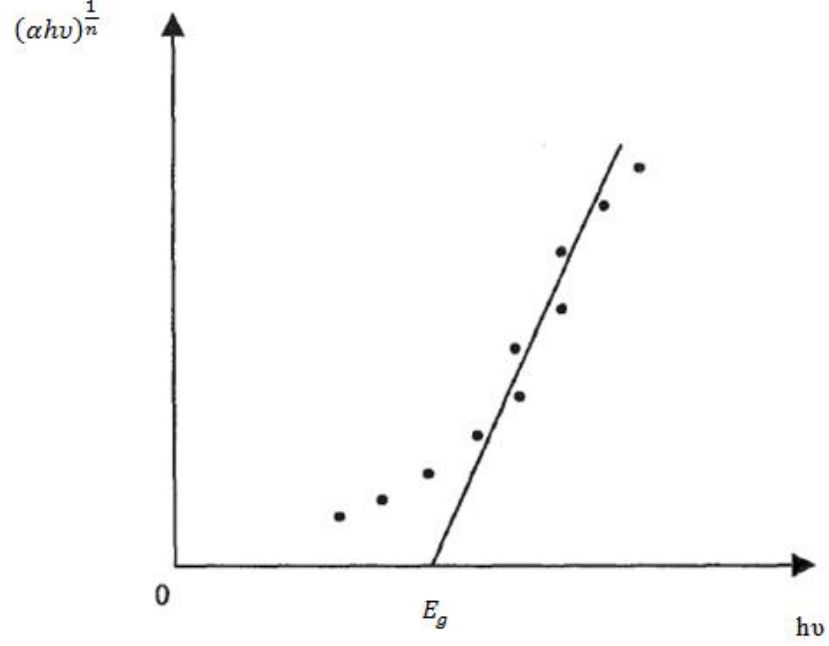
#### 1.4.4. Yarıiletkenlerin yasak enerji aralıklarının belirlenmesi

Yasak enerji aralığının belirlenmesinde en çok kullanılan yöntem temel soğurma spektrumudur. Soğurma katsayısı ile yasak enerji arasındaki bağıntı denklem 1.34'de verilmektedir. Yaklaşık olarak bu denklem

$$\alpha(h\nu) \approx (h\nu - E_g)^n \quad (1.34)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir.

Bu yöntemde  $(\alpha h\nu)^{\frac{1}{n}}$  nin  $h\nu$ 'ye göre grafiği Şekil 1.26'deki gibi çizilmektedir. Grafiğin lineer olduğu kısma karşılık gelen doğrunun  $h\nu$  eksenini kestiği noktanın enerji değeri o materyalin yasak enerji aralığını vermektedir ( $(\alpha h\nu)^{\frac{1}{n}} = 0$ 'da).



Şekil 1.26 Yasak enerji aralığının soğurma yöntemi ile belirlenmesi

$$(\alpha h\nu)^{\frac{1}{n}} = h\nu - E_g \text{ denkleminde;}$$

$n = 1/2$  değerinde materyal izinli direkt bant aralığına

$n = 3/2$  değerinde materyal izinsiz direkt bant aralığına

$n = 2$  değerinde materyal izinli indirekt bant aralığına

$n = 3$  değerinde materyal izinsiz indirekt bant aralığına sahiptir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Cam Alt Tabakaların Temizlenmesi

Bu çalışmada kullanılan rubrene (5, 6, 11, 12 -Tetraphenylnaphthacene) tozu Sigma- Aldrich firmasından satın alınmıştır. Optiksel ölçümler için alttabaka olarak 1 mm x 20 mm x 20 mm boyutlarında Corning 1737 cam kullanılmıştır. Cam alttabakalar, ultrasonik su banyosu (Wise Clean Wisd. Laboratory Instruments) kullanarak sırasıyla trikloretilen, metanol ve aseton'da 5'er dakika temizlenmiştir. Her bir temizleme işlemi arasında ayrıca 5 dakika 18 M $\Omega$  öz dirence sahip deiyonize su ile yıkanmıştır. Bu aşamalardan sonra camlarda su lekesi ve toz kalmaması için camlar azot gazıyla kurutulmuştur. Son olarak kurutulan camlar ozonla (UVO Cleaner model no 42-220) temizlenerek kaplamaya hazır hale getirilmiştir.

### 2.2. Rubrene İnce Filmin Hazırlanması

Cam alt tabaka üzerinde rubrene ince film hazırlama işlemleri MBraun marka glove box içinde yapılmıştır. Çözelti konsantrasyonu 10mg/ml olacak şekilde rubrene tozu toluene içinde çözdürülmüştür. Cam alt tabaka ilk olarak Laurell marka döndürme ile kaplama (spin coater) cihazına yerleştirilir ve alt tabakanın üzerine mikro pipet yardımı ile yaklaşık 10  $\mu$ l rubrene çözeltisi damlatıldı. Kaplama cihazı önce 500 devir/dakika'da 30 saniye daha sonra 1200 devir/dakika'da 60 saniye çalıştırıldı. Bu işlem kalın film elde etmek için 5 kez tekrarlandı ve toplamda 50  $\mu$ l çözelti kullanıldı. Rubrene film kaplı cam alt tabaka cihazdan alınıp oda sıcaklığında glovebox içinde bekletildi. Toluene oda sıcaklığında uçtuktan sonra cam üzerinde rubrene ince film birikmiş oldu.

### 2.3. Numune Hazırlanmasında Kullanılan Cihazlar

#### 2.3.1. Numune tartım cihazı

Rubrene tozunun tartımı için Kern marka tartım cihazı kullanılmıştır. 1 ml toluen başına 10 mg rubrene tartılmıştır.



**Şekil 2.1** Kern marka tartım cihazı

### **2.3.2. Manyetik karıştırıcı**

Rubrene tozu toluende çözüldükten sonra çözünmenin daha iyi olabilmesi için çözelti Velp marka manyetik karıştırıcıda 30 dakika karıştırıldı.



**Şekil 2.2** Velp marka manyetik karıştırıcı

### **2.3.3. Su banyosu (ultrasonik temizleyici)**

Cam alttabakaların deterjan, kimyasal temizleme ve deiyonize su (18 M $\Omega$ ) işlemi sırasında WiseClean marka su banyosu kullanılmıştır.



*Ultrasonic Cleaner  
(WUC-A06H)*

**Şekil 2.3** WiseClean marka manyetik karıştırıcı

#### **2.3.4. Mikro pipet**

Rubrene çözeltisinin oluşturulmasında çözücü toluene miktarının belirlenmesinde ve hazırlanan çözeltinin cam üzerine istenilen miktarda damlatılmasında kullanılmıştır.



**Şekil 2.4** Isolab marka mikropipet

#### **2.3.5. Cam malzeme temizleme cihazı**

Ozonla cam malzemeleri steril etmek için kullanılmıştır.



**Şekil 2.5** UVO marka (Cleaner model no 42-220) ozonla temizleme cihazı

### 2.3.6. Glovebox sistemi

Rubrene çözeltisinin hazırlanması, döndürme ile kaplama (spin coater) yöntemiyle cam alttabakalara rubrene filminin hazırlanması ve filmlerin saklanması için kullanılan MBraun marka glovebox sistemi. Bu sistem Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde bulunmaktadır.



Şekil 2.6 MBraun marka glovebox sistemi

### 2.3.7. Döndürme ile kaplama (spin coater) sistemi

Cam alttabakalara rubrene ince filmi kaplamak için kullanılan Laurell marka döndürme ile kaplama (spin coater) sistemi kullanılmıştır.



Şekil 2.7 Laurell marka döndürme ile kaplama sistemi



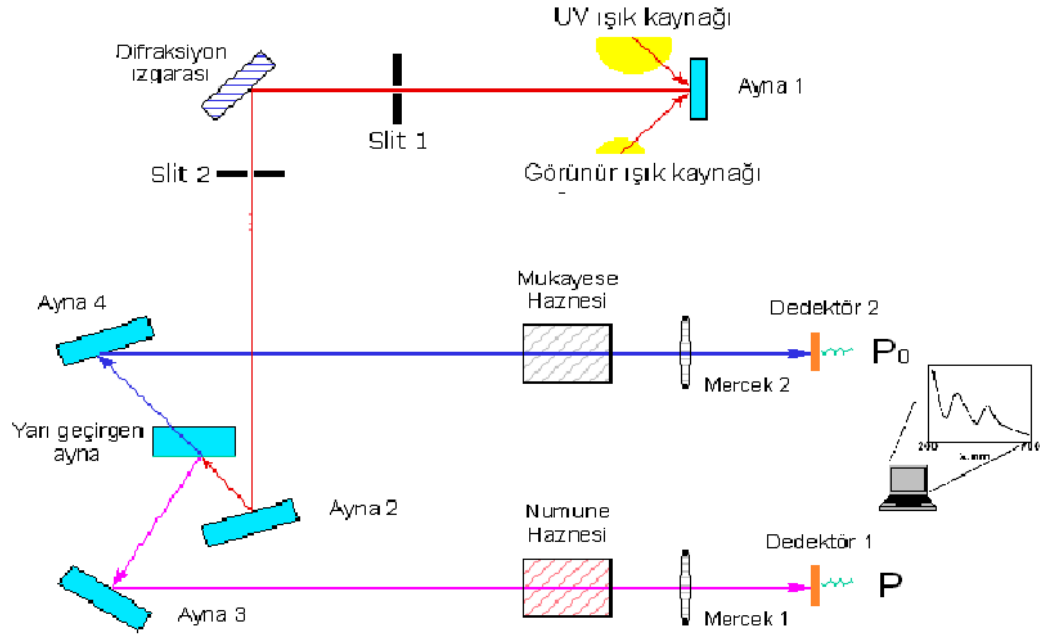
## 2.4. Ölçümlerde Kullanılan Cihazlar

### 2.4.1. UV-Vis spektrofotometresi

Döndürme ile kaplama (spin coater) yöntemi kullanılarak hazırlanan rubrene organik yarıiletken ince filmin optik ölçümleri (soğurma, geçirgenlik ve yansıma) Selçuk Üniversitesi Fizik Bölümünde bulunan Jasco Model V-670 UV/VIS/NIR Spektrofotometre kullanılarak incelenmiştir. Bu spektrofotometre ile 190-2700 nm dalgaboyu aralığındaki elektromagnetik dalganın madde ile etkileşmesi incelenebilmektedir. Cihaz, ışık kaynağı olarak UV (morötesi) bölge için (187-350 nm) bir döteryum lamba, VIS/NIR (görünür bölge/yakın kırmızıötesi) bölge için (330-2700 nm) bir halojen lamba içermektedir. Cihazda, ışık kaynağından çıkan ışık, bir monokromatördeki kırınım ağı ile tek dalgaboylu hale getirilir ve bir ayırıcı (sektör) aynaya gönderilir. Bu ışık demeti ayırıcı ayna sayesinde iki kısma ayrılır ve biri ölçülecek numune üzerine, diğeri referans numunesine gönderilir. Numune ve referanstan ayrılan ışık, fotoçoğaltıcı tüp veya PbS fotoiletken pilden oluşan bir detektörde algılanarak numunenin optik uyarıma verdiği tepki ölçülür. Soğurma ve yansıma ölçümlerinde farklı modüller kullanılır (1).



Şekil 2.8 Jasco Model V-670 UV/VIS/NIR Spektrofotometre cihazı



**Şekil 2.9** Spektrofotometre sisteminin şematik gösterimi (29)

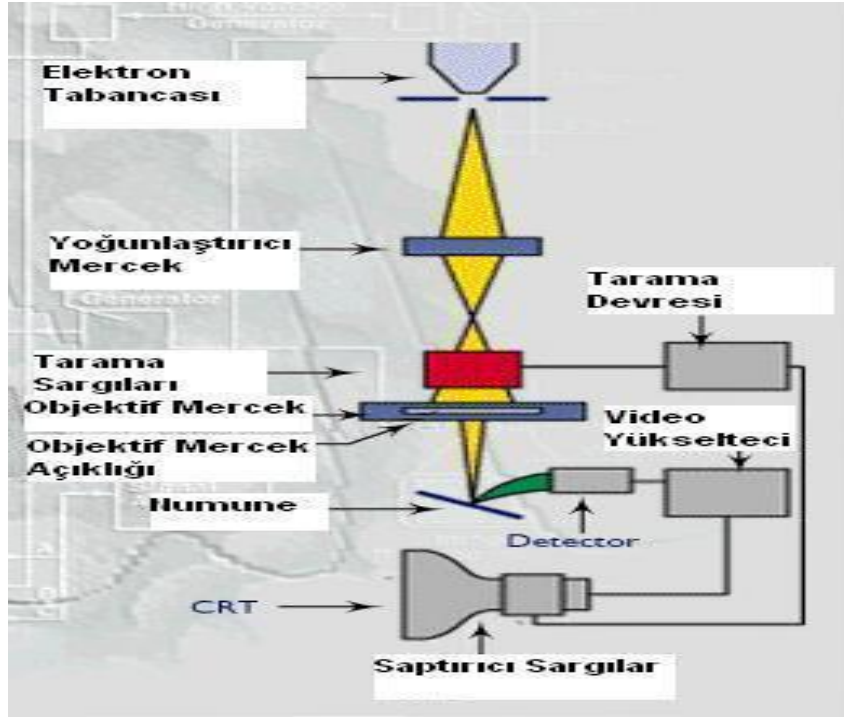
#### 2.4.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Döndürme ile kaplama (spin coater) yöntemi kullanılarak hazırlanan rubrene organik yarıiletken ince filmin yüzey morfolojisi Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde bulunan Zeiss Evo<sup>®</sup> LS-10 model taramalı elektron mikroskobu (SEM) (Şekil 2.10.) kullanılarak incelenmiştir.

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Optik Kolon, Numune Hücresi ve Görüntüleme Sistemi olmak üzere üç temel kısımdan oluşmaktadır (Şekil 2.11.). Optik kolon kısmında; elektron demetinin kaynağı olan elektron tabancası, elektronları numuneye doğru hızlandırmak için yüksek gerilimin uygulandığı anot plakası, ince elektron demeti elde etmek için yoğunlaştırıcı mercekler, demeti numune üzerinde odaklamak için objektif merceği, bu merceğe bağlı çeşitli çapta apatürler ve elektron demetinin numune yüzeyini taraması için tarama bobinleri yer almaktadır. Mercek sistemleri elektromanyetik alan ile elektron demetini inceltmekte veya numune üzerine odaklamaktadır. Tüm optik kolon ve numune  $10^{-4}$  Pa gibi bir vakumda tutulmaktadır. Görüntü sisteminde, elektron demeti ile numune girişimi sonucunda oluşan çeşitli elektron ve ışınları toplayan dedektörler, bunların sinyal çoğaltıcıları ve numune yüzeyinde elektron demetini görüntü ekranıyla senkronize tarayan manyetik bobinler bulunmaktadır (30).



Şekil 2.10 Zeiss Evo<sup>®</sup> LS-10 model taramalı elektron mikroskobu (SEM)



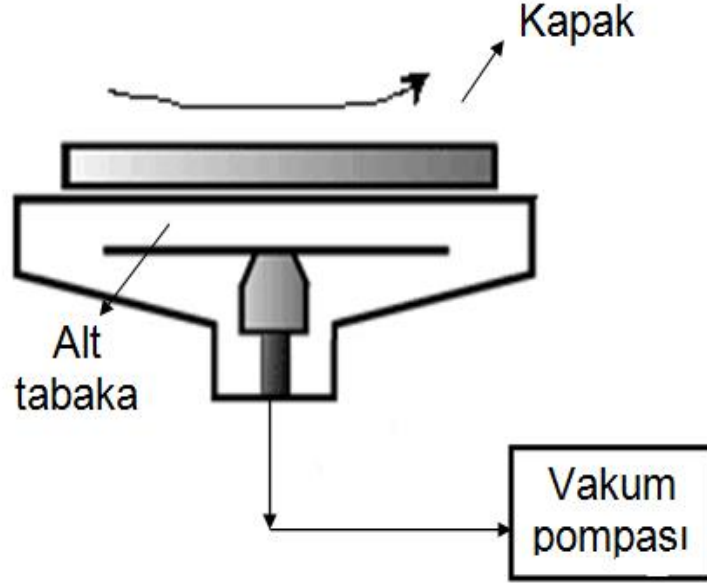
Şekil 2.11 Taramalı elektron mikroskobu (SEM)'nin temel kısımları

Yanal kesit SEM görüntülerinden büyütülen rubrene filmin kalınlığı yaklaşık 19 nm olduğu tespit edilmiştir.

## 2.5. Döndürme ile Kaplama (spin coater) Yöntemi

Döndürme ile kaplama, çözeltinin belli bir hızla döndürülen yüzey üzerine merkezkaç kuvvetinin etkisi ile eşit ve düzenli bir şekilde yayılması işlemidir. Döndürme ile kaplama yöntemi mikroelektronik endüstride ince film oluşturmak için kullanılan en önemli yöntemlerdendir. Şekil 2.7’de döndürme ile kaplama cihazı gösterilmektedir.

Şekil 2.12’de spin kaplama düzeneğinin şematik şekli gösterilmektedir (1). Şekilde görüldüğü gibi alt tabaka vakum pompası ile tutturulmaktadır. Bu vakum pompası alt tabakanın üzerine vakum uygulayarak dönme anında alt tabaka üzerine konulan malzemenin savrulmadan sabit kalmasını sağlamaktadır. Sistemde kaplamanın yapılacağı bölüm bir kapakla ortamdaki tozdan yalıtılmıştır. Bu filmlerin tozdan arındırılmış bir alanda kaplanmasını sağlamaktadır. Düzgün bir film kalınlığına ulaşmak çözelti özelliklerine (viskozite, kuruma hızı, katı oranı ve yüzey gerilimleri) ve işlem şartlarına (döndürme hızı, kaplama sayısı ve damlatılan çözelti sayısı ) bağlıdır. Kaplama kalınlığının aralığı 1nm ile 10  $\mu$  m arasında değişmektedir



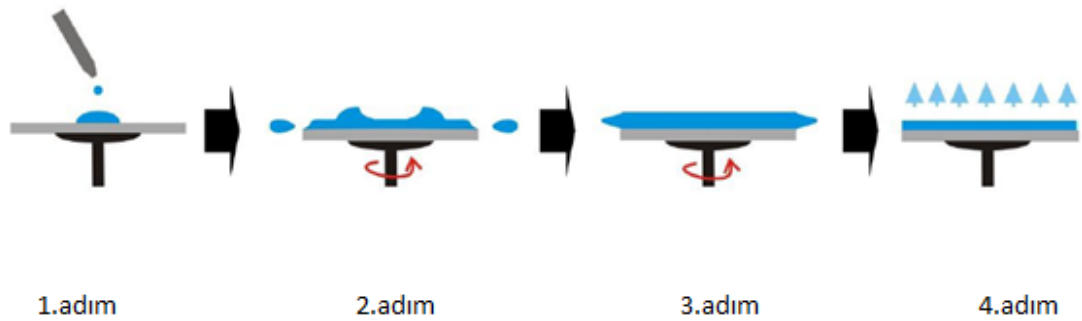
Şekil 2.12 Spin kaplama yönteminin şeması

Şekil 2.13’de spin kaplama yönteminin dört aşaması verilmektedir (31). Birinci adımda; çözelti sabit hızla dönmekte olan alt tabaka üzerine uygulanmaktadır. Bu adımda önemli olan çözeltinin büyük parçacıklardan arındırılmış olması ve yüzeye yapışabilir bir özellik göstermesidir.

İkinci adımda; Durmakta olan taşıyıcı yüksek hızla döndürülmektedir. Dönme sırasında alt tabaka üzerine damlatılmış çözelti merkezkaç kuvvetinin etkisiyle alt tabaka üzerine ince film şeklinde yayılmaktadır. Eğer çözelti fazla miktarda damlatılmışsa fazlalık yüzeyden savrulmaktadır. Dönme esnasında film kalınlığı azalmaktadır.

Üçüncü adımda; Açısal hız sabit tutulur ve bu adımda filmin kalınlığı azaldıkça fazla sıvının savrulması azalmaktadır. İşlem sırasında sıvının dışa yönelimini sağlayan merkezkaç kuvveti ve içe doğru radyal hareketi sağlayan viskoz kuvveti arasındaki dengenin sağlanmasıyla filmin homojen yapısı oluşmaktadır.

Dördüncü adımda; çözelti filmden buharlaştırılarak istenilen inceliğe ulaştırılmıştır.



**Şekil 2.13** Döndürme ile kaplamanın dört aşaması (32)

Döndürme ile kaplama yönteminde çözelti alt tabaka üzerine uygulanırken hava kabarcığı ve boşluk olmamasına dikkat edilmelidir. Hava kabarcığı veya boşluk olursa çözelti düzgün bir şekilde dağılmamaktadır. Çözelti alt tabakanın tam merkezine veya merkeze yakın bölgeye damlatılmalıdır (1).

Döndürme ile kaplama, katı yüzeyler üzerine polimer kaplama, mikro devre üretiminde, düz ekran gösterge kaplamalarda, televizyon tüplerinde, DVD ve CD-ROM 'larda kullanılmaktadır (1).

## **2.6. Spektroskopik Ölçümler**

Spektrometrede soğurma ölçümü yaparken referans numune yuvasına referans cam konulup, cihazın kalibrasyonu yapıldıktan sonra numune yuvasına rubrene ince film yerleştirilerek, ölçüm bölgesi ve ölçüm aralığı ayarlandıktan sonra ölçüm gerçekleştirilmiştir. Tüm ölçümler Jasco Model V-670 UV/VIS/NIR Spektrofotometre kullanılarak 5 nm adımlarla, 200-700 nm dalga boyu aralığında yapılmıştır.

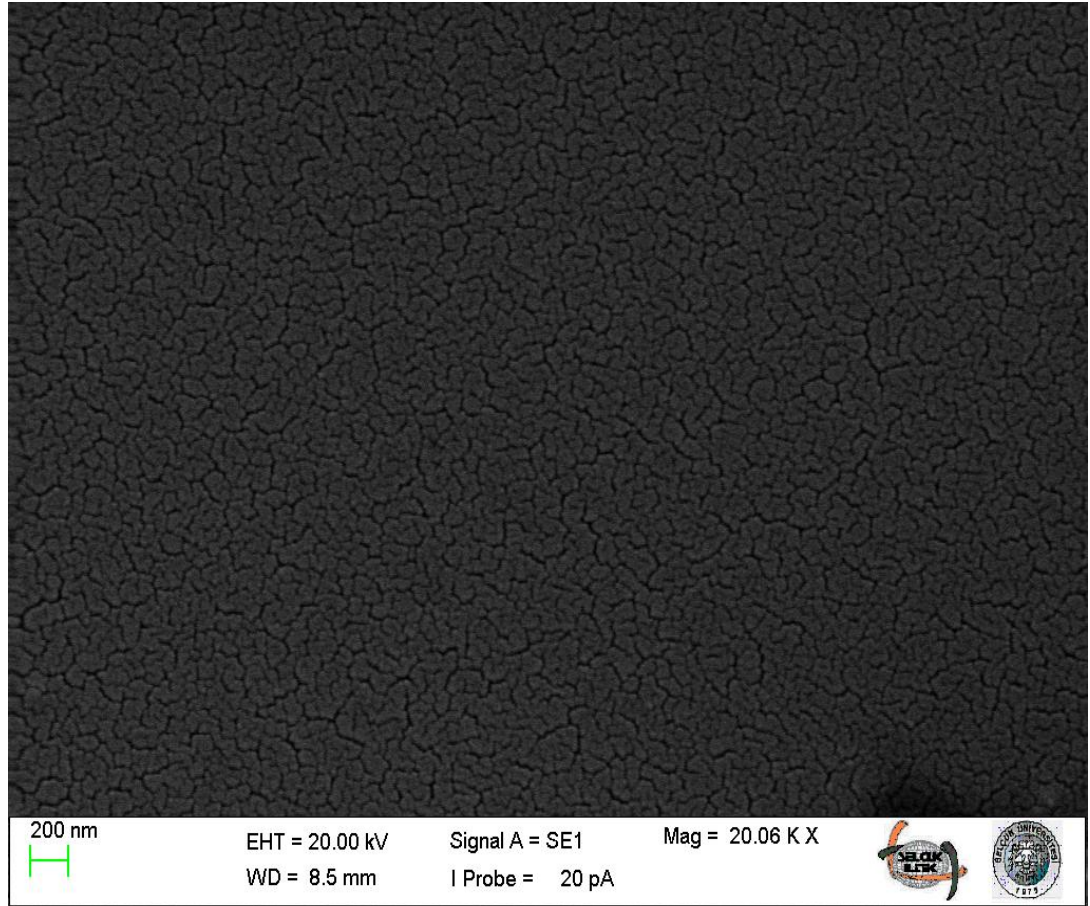
Yansıma ölçümlerinde, spektrofotometre 'nin soğurma ölçümünde kullanılan modülü yerine yansıma modülü (JASCO, Model ISN-723, 60 mm dia. Integrating sphere, UV-Vis-NIR) takılmış ve cihazın kalibrasyonu yapılmıştır. Yansıma ölçümünde numune yuvasına rubrene ince film konarak soğurma ölçümünde olduğu gibi 5 nm adımlarla ve 200-700 nm dalga boyu aralığında ölçüm gerçekleştirilmiştir.

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

#### 3.1. Rubrene İnce Filmin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), küçük ve büyük mikro yapılara sahip malzemeleri görüntülemek için kullanılır. SEM, ince film yüzey morfolojisi incelenerek doğrudan iki boyutlu yüzey görüntüleme yanı sıra mümkün olan ortalama parçacık boyutunun da belirlenmesinden dolayı önemli bir cihaz olarak bilinir. SEM ile ince filmler yüksek çözünürlükte görüntülenebildiği gibi ayrıca film kalınlığının küçük veya büyük olmasının da bir önemi yoktur.

Şekil 3.1.'de rubrene ince filmin 20000X büyütme SEM görüntüsü görülmektedir. Filmin SEM görüntüsü incelendiğinde, filmin tüm yüzeyi tam olarak homojen bir dağılıma sahiptir ve 50-100 nm aralığında tane büyüklüğünde yapıların oluştuğu görülmektedir. Filmin mikro yapısı küçük ve büyük taneler içerir.



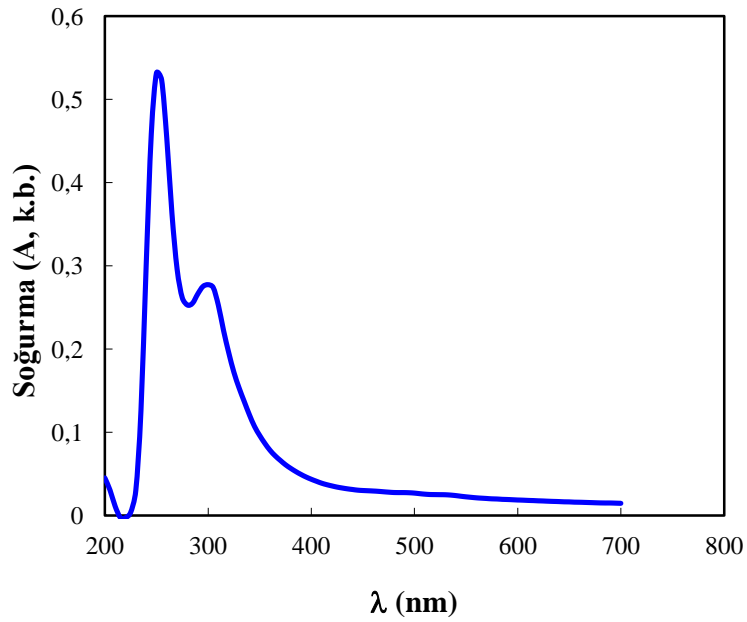
Şekil 3.1 Rubrene ince filmin SEM görüntüsü

### 3.2. Soğurma (A), Geçirgenlik (T) ve Yansıma (R) Spektrumları

Spin (döndürme) kaplama yöntemiyle cam alt tabaka üzerinde rubrene organik yarıiletken ince film hazırlanmıştır.

#### 3.2.1. Soğurma spektrumları

Soğurma (A) metodu, UV-Vis bölgesinde organik ve inorganik malzemelerin optik geçişlerini ve bant yapılarını incelemek için faydalı bir yöntemdir. Şekil 3.2.'de rubrene ince film için 200-700 nm dalga boyu aralığında soğurma (A) spektrumu verilmiştir. Şekil 3.2.'yi incelediğimizde rubrene filmi için 250 nm ve 300 nm dalga boyunda 2 adet karakteristik soğurma piki elde edilmiştir. Bu dalga boylarında oluşan pikler, dolu olan en yüksek enerjili yörüngeden (HOMO) boş olan en düşük enerjili yörüngeye  $\pi \rightarrow \pi^*$  geçişlerinin bir sonucudur.



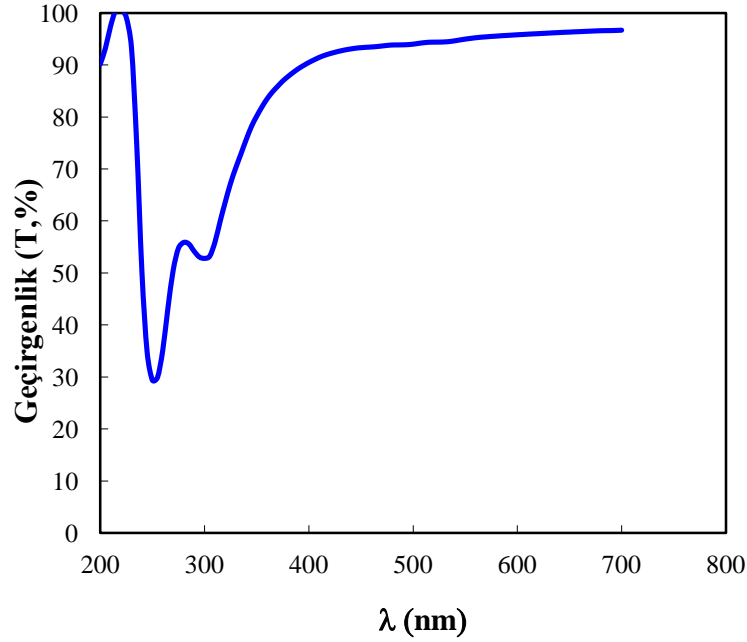
Şekil 3.2 Rubrene organik yarıiletken ince filmin oda sıcaklığında soğurmanın dalga boyu ile değişimi

#### 3.2.2. Geçirgenlik spektrumları

Filmin optik geçirgenlik (T) spektrumu oda sıcaklığında 200-700 nm dalgaboyu aralığında 5 nm adımlarla alınmış ve Şekil 3.3.'de verilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi Rubrene'nin düşük dalga boylarında ( $225 < \lambda < 250$ nm) geçirgenlik özelliğinin azaldığını ve yüksek dalga boylarına gidildikçe geçirgenlik özelliğinin



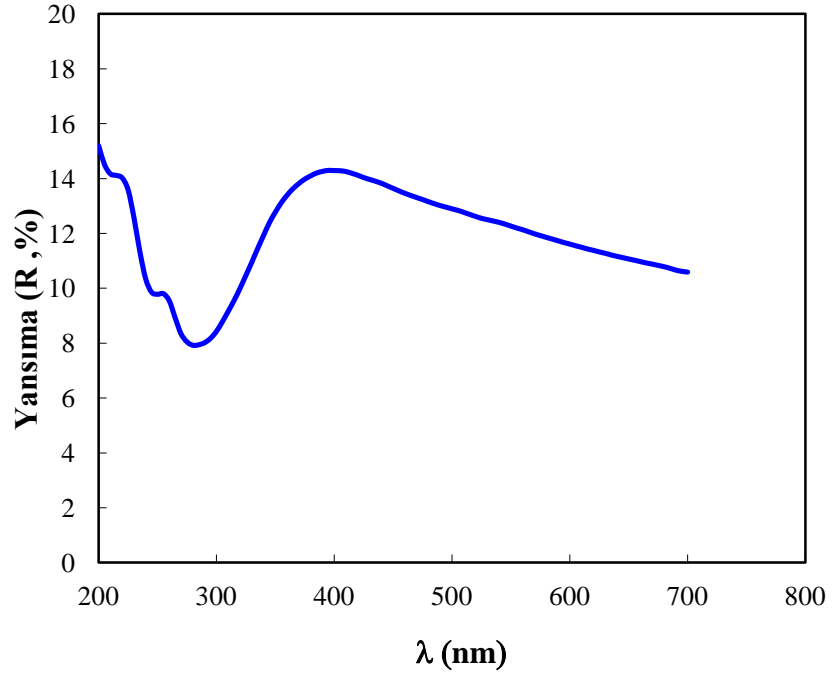
arttığı görülmektedir. Rubrene ince filmin görünür bölgede (400-700 nm) %90 ile %96 arasında bir geçirgenliğe sahip olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 3.3** Rubrene organik yarıiletken ince filmin oda sıcaklığında geçirgenliğinin dalga boyu ile değişimi

### 3.2.3. Yansımaya spektrumları

Şekil 3.4.'de rubrene ince film için 200-700 nm dalga boyu aralığında yansımaya ( $R$ ) spektrumu verilmiştir. Rubrene ince filmin görünür bölgede (400-700 nm) %14 ile %10 arasında bir yansımaya sahip olduğu belirlenmiştir. Şekil 3.3. ve 3.4.'de geçirgenlik ( $T$ ) ve yansımaya ( $R$ ) dağılımlarından rubrene ince filmin yüksek dalga boylarında ( $\lambda > 390$  nm) saydam ( $R+T=1$ ) olduğu yani soğurucu olmayan bu bölgede ışık soğurulmamakta veya saçılmamaktadır. Bununla birlikte, kısa dalga boylarındaki ( $\lambda < 390$  nm) soğurma bölgesi olarak bilinen eşitsizlik ( $R+T < 1$ ) soğurmanın varlığından dolayıdır.



**Şekil 3.4** Rubrene organik yarıiletken ince filmin oda sıcaklığında yansımının dalga boyu ile değişimi

### 3.3. Soğurma Katsayısı ( $\alpha$ ), Sönüm Katsayısı ( $k$ ) ve Kırılma İndisi Spektrumları

Işığın yansıtma teorisi, kırılma indisi ( $n$ ), sönüm katsayısı ( $k$ ) değerlerini hesaplamak için kullanılmaktadır (33). Bu teoride  $k$  ve  $n$  değerlerini hesaplamak için

$$k = \frac{\alpha\lambda}{4\pi} \quad (3.1)$$

ve

$$n = \left( \frac{1+R}{1-R} \right) + \sqrt{\frac{4R}{(1-R)^2} - k^2} \quad (3.2)$$

denklemlerinden yararlanılır. Burada  $\lambda$ , dalga boyu ve  $\alpha$  ise soğurma katsayısı olup

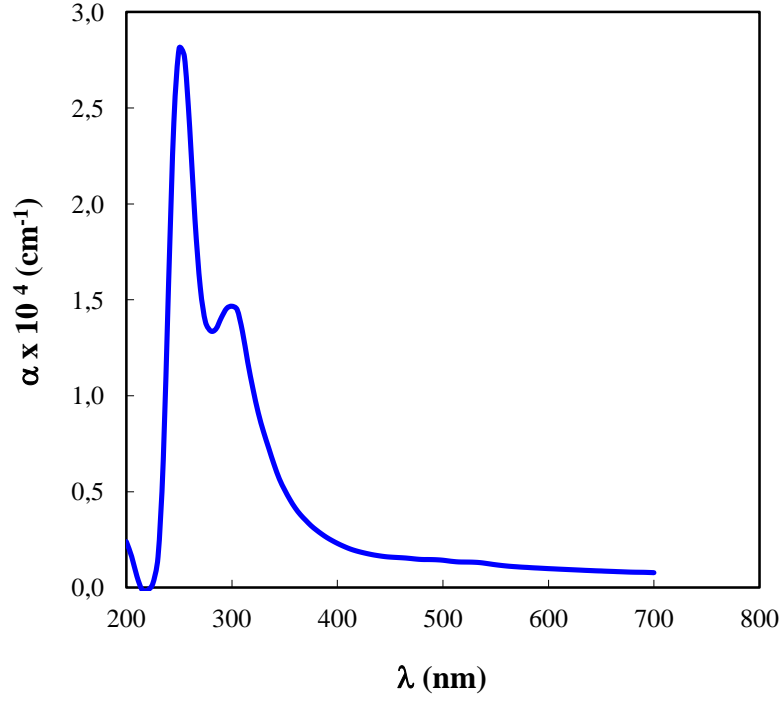
$$\alpha = \text{Soğurma (A)} / \text{Kalınlık (d)} \quad (3.3)$$

ile ifade edilir (34). Buradaki  $\alpha$  belli film kalınlığı için optik yoğunluk olarakta adlandırılır. Optik yoğunluk sayısal olarak soğurmaya eşdeğerdir(34). Film kalınlığı bilindiğinde soğurma ( $A$ ) ve yansıtma ( $R$ ) karakteristiklerinden optiksel sabitler

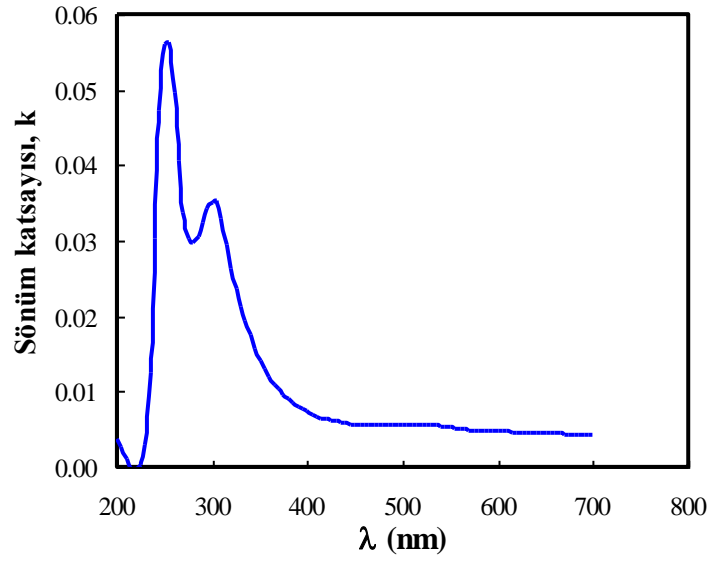
hesaplanabilir. Rubrene ince filmin kalınlığı SEM ölçümlerinden 19 nm olarak belirlenmiştir. Şekil 3.2 ve denklem (3.3)'den yararlanarak soğurma katsayısının dalga boyuna ( $\alpha - \lambda$ ) göre değişimi hesaplanmış ve Şekil 3.5'de verilmiştir. Şekil 3.5'i incelediğimizde, soğurma katsayı spektrumunun 2 tane pike sahip olduğu görülmektedir. Yüksek dalga boylu pik, düşük dalga boylu pikten daha düşük şiddete sahiptir. Rubrene'nin soğurma katsayısı ( $\alpha$ )'nın 250 nm dalga boyundaki piki  $2.81 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$  değere sahipken 300 nm dalga boyundaki piki  $1.46 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$  değere sahiptir. Soğurma katsayısı, 300 nm dalga boyundan sonra artan dalga boyu ile azalmakta ve 700 nm dalga boyunda  $0.77 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$  lik en düşük değerine sahip olmaktadır.

Şekil 3.5 ve denklem (3.1)'den yararlanarak sönüm katsayısının dalgaboyuna ( $k - \lambda$ ) göre değişimi hesaplanmış ve Şekil 3.6'da verilmiştir. Şekil 3.6'yı incelediğimizde, denklem (3.1)'e göre, sönüm katsayısı soğurma katsayısı ile doğru orantılı olduğundan doğal olarak Şekil 3.5 ile benzer bir spektrum değişimi gözlenmiştir. Rubrene'nin sönüm katsayısı ( $k$ )'nın 250 nm dalga boyundaki piki 0.056 değere sahipken 300 nm dalga boyundaki piki 0.035 değere sahiptir. Sönüm katsayısı, 300 nm dalga boyundan sonra artan dalga boyu ile azalmakta ve 700 nm dalga boyunda  $4.31 \times 10^{-3}$  'lik en düşük değerine sahip olmaktadır. Uzun dalga boylarında sönüm katsayısı ( $k$ )'nın küçük olması hazırlanan rubrene filmin son derece saydam olduğunu göstermektedir (35).

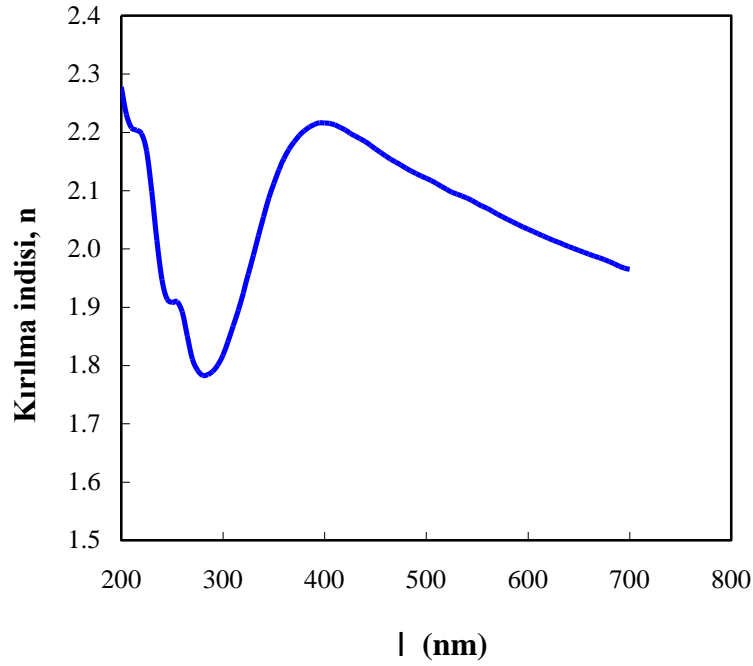
Optiksel aygıt dizaynı için kırılma indisi ( $n$ ) anahtar parametredir. Bununla birlikte, optiksel malzemelerin kırılma indisi ( $n$ )'nin belirlenmesi entegre optiksel aygıtlardaki anahtarlar, filtreler ve modülasyon gibi uygulamalar için oldukça önemlidir (35). Şekil 3.7, denklem (3.2) kullanılarak 200 ile 700 nm dalga boyu aralığında rubrene'nin kırılma indisinin ( $n$ ) spektrumunu göstermektedir. Rubrene filmin kırılma indisi ( $n$ ), 200 nm den büyük ve 390 nm den küçük dalga boyu aralığında ( $200 < \lambda < 390 \text{ nm}$ ) anormal dağılım ve 390 nm den büyük 700 nm den küçük dalga boyu aralığında ( $390 < \lambda < 700 \text{ nm}$ ) da normal dağılım göstermektedir. Bu spektrum farklı bir açıdan incelendiğinde, rubrene'in kırılma indisi ( $n$ ) 200 nm dalga boyunda 2.27 değerinden hızla azalarak 275 nm dalga boyunda 1.79 değerine düşmektedir. Daha sonra tekrar artmakta 390 nm dalga boyunda 2.21 değeriyle pik yapmakta ve tekrar hızla azalarak 700 nm dalga boyunda 1.96'lık değerine ulaşmaktadır.



**Şekil 3.5** Rubrene organik yarıiletken ince filmin oda sıcaklığında soğurma katsayısının ( $\alpha$ ) dalga boyu ile değişimi



**Şekil 3.6** Rubrene organik yarıiletken ince filmin oda sıcaklığında sönüm katsayısının ( $k$ ) dalga boyu ile değişimi



**Şekil 3.7** Rubrene organik yarıiletken ince filmin oda sıcaklığında kırılma indisinin dalga boyu ile değişimi

### 3.4. Enerji bant aralığı ve geçişinin belirlenmesi

Rubrene filmin soğurma bantını tahmin etmek için, optiksel geçirgenliğin ve yansımının dalga boyuna bağlı birinci türevi hesaplanmış ve Şekil 3.8. (a) ve (b)'de sırasıyla,  $dT/d\lambda$  ve  $dR/d\lambda$ 'nin 200 nm ile 700 nm dalga boyu arasındaki değişimi verilmiştir. Her iki şekilde de maksimum pik değerleri gözlenmiştir. Bu pikler rubrene filmin optiksel bant aralığının varlığına bir kanıttır (35). Birçok organik malzemede, banttan banta geçiş teorisinde temel soğurma kenarında optiksel soğurmaya analiz etmek olağandır (36-38). Tauc (39) tarafından önerilen Tauc çizimi, organik, inorganik ve diğer malzemelerin optik soğurma spektrumunu göstermek ve optiksel bant aralığını belirlemek için uygun bir yoldur. Bu uygulamada, bant aralığı yakınında bantlar arası geçişten dolayı soğurma katsayı verisi Tauc'un kuvvet kanunu davranışına uyar ve

$$\alpha = \frac{\beta}{h\nu} (h\nu - E_g)^m \quad (3.4)$$

ile verilir (38). Burada  $\beta$  enerjiden bağımsız sabit,  $h\nu$  foton enerjisi,  $E_g$  optiksel bant aralığı ve  $m$  parametresi 1/2, 2, 3/2 ve 3 değerlerini alabilir ve sırasıyla

doğrudan izinli, dolaylı izinli, doğrudan yasak ve dolaylı yasak geçişlere karşılık gelir.

### 3.4.1. $m$ 'nin belirlenmesi

Denklem (3.4) ifadesi yeniden

$$\frac{d[\ln(\alpha h\nu)]}{d(h\nu)} = \frac{m}{h\nu - E_g} \quad (3.5)$$

şeklinde yazılabilir.  $m$  değerini belirlemek için, denklem (3.5)'e göre geçiş tipi bulunabilir. Şekil 3.9 (a) rubrene ince filmi için  $d[\ln(\alpha h\nu)]/d(h\nu)$ 'nin  $h\nu$ 'e göre değişim grafiğini göstermektedir. Şekil 3.9'ı incelediğimizde belirli enerji değerlerindeki pikler, 1.7 ile 3.5 eV arasındaki enerji bölgesinde rubrene filmin yaklaşık olarak tahmini optiksel bant aralığını ( $E_g$ ) verir. Şekil 3.9(a)'daki pikler  $h\nu = E_g \approx 2.2589, 2.4601$  ve  $2.6155$  eV enerji değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir.  $m$  parametre değerini belirlemek için,  $E_g$ 'nin tahmini 3 değeri için Şekil 3.9(b)'de  $\ln(\alpha h\nu) - \ln(h\nu - E_g)$  eğrisi çizdirilmiştir.  $E_g$ 'nin tahmini 3 değeri için elde edilen eğrilerin eğimleri bize  $m$  parametresinin değerini vermektedir. Bütün  $E_g$  değerleri için eğrilerin eğimleri yaklaşık 2'ye eşit olarak bulunmuştur ve bu değer rubrene ince filmin soğurma kenarının dolaylı izinli geçişlerle oluştuğunu göstermektedir.

### 3.4.2. Optik bant aralığı ( $E_g$ )'nin belirlenmesi

İnce film malzemelerin fiziksel özelliklerinin önemli bir parametresi optik bant aralığı ( $E_g$ )'dir.  $E_g$ , filmin temel soğurma sınırını vermesi yanında optik bant yapısını da yansıtır. Denklem (3.4) yardımıyla rubrene ince filmin optik bant aralığının kesin bir değerini elde etmek için, rubrene filmin oda sıcaklığında ölçülen  $(\alpha h\nu)^{1/2}$ 'nin  $h\nu$ 'ye karşılık eğrisi Şekil 3.10'da gösterilmektedir. Şekilden görülebileceği gibi, hesaplama sonucu rubrene filmin 2 enerji bant aralığı vardır. Düşük enerjili olan başlangıç (onset) optik bant aralığı ( $E_g^{opt}$ ) diğeri ise nakil (transport) aralığı ( $E_g^{trans}$ ) dır. Nakil aralığı ( $E_g^{trans}$ ), en yüksek dolu moleküler yörüngeler ile en düşük boş moleküler yörüngeler arasındaki enerji farkıdır. Hesaplanan optik bant aralığı ( $E_g^{opt}$ ) hesaplanan nakil aralığından ( $E_g^{trans}$ ) düşüktür

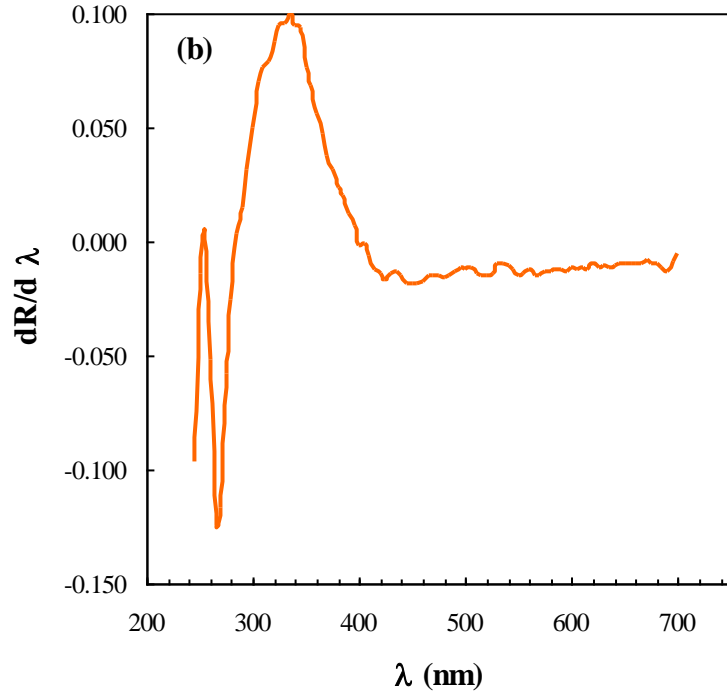
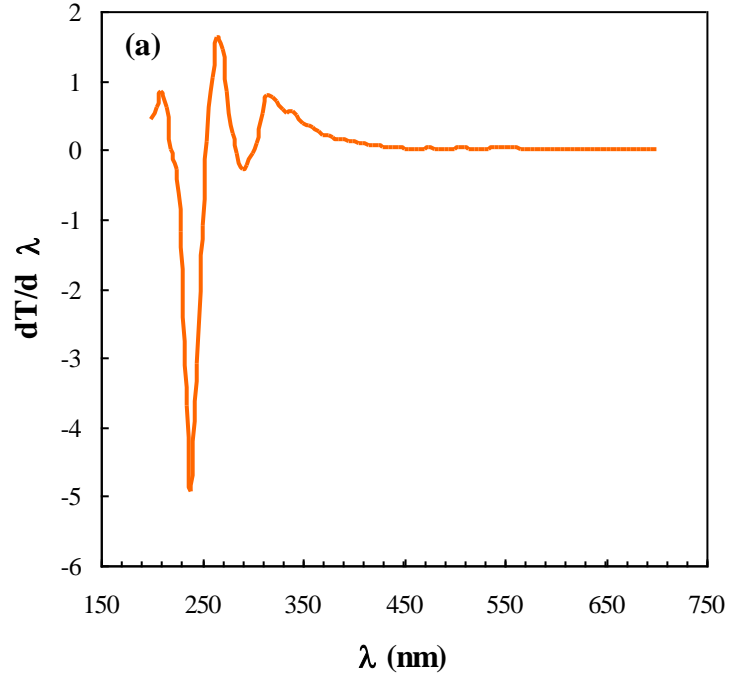
ve aradaki fark bağlanma enerjisi ( $E_B$ ) olarak adlandırılır (40-45). Şekil 3.10'dan rubrene ince filmin  $E_g^{opt}$ ,  $E_g^{trans}$  ve  $E_B$  değerleri belirlenmiş ve sırasıyla 2.31, 2.93 ve 0.62 eV olarak hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 3.1'de önceden literatürde yayınlanan diğer organik bileşiklerle karşılaştırmalı olarak verilmiştir (40-45).

### 3.4.3. Urbach enerjisi ( $E_U$ )'nun belirlenmesi

Rubrene ince filmin optik davranışını daha fazla analiz etmek için, rubrene filmin soğurma kuyruğu ölçülen enerji aralığında araştırılmıştır. Düşük soğurma bölgesinde ( $\alpha < 10^4 \text{ cm}^{-1}$ ), soğurma katsayısı ( $\alpha$ ) foton enerjisine ( $h\nu$ ) üstel bir bağımlılık göstermektedir. Urbach kuyruğu veya kenar bant aralığının altında foton enerji bölgesinde soğurmaya yakın baskındır (44). Bu bölge Urbach kuyruğu olarak adlandırılır. Urbach kuyruğu filmlerin optik bant aralığında mevcut yerleşmiş durumların genişliği (46) olup,

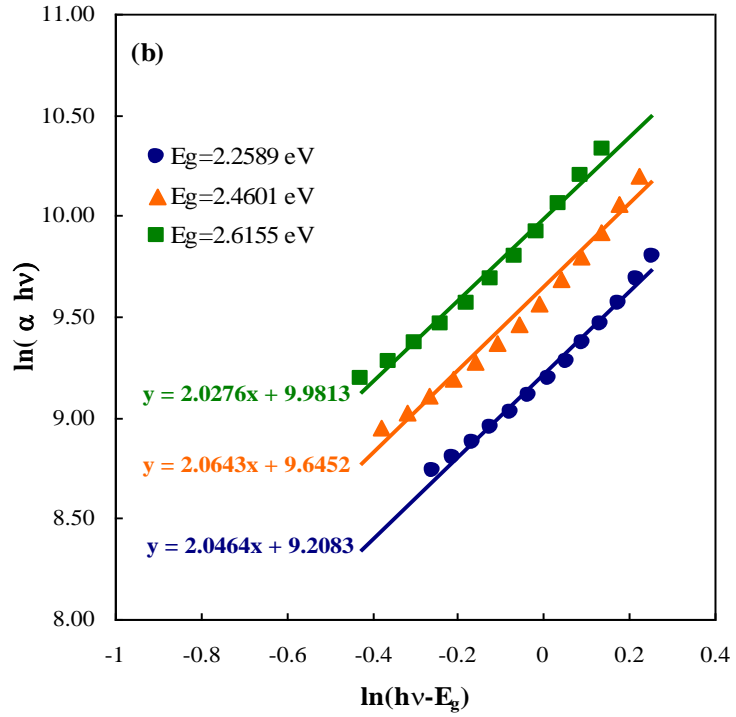
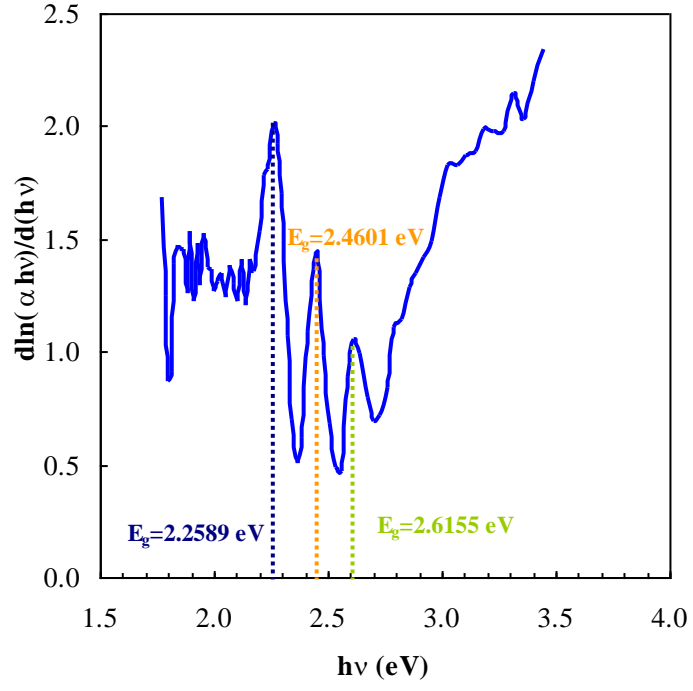
$$\alpha = \alpha_0 \exp\left(\frac{h\nu}{E_U}\right) \quad (3.6)$$

denklemlerle belirlenir (47). Burada  $\alpha_0$  bir sabittir.  $E_U$  bant aralığı içinde yerleşmiş (lokalize) durumların bant kuyruğunun genişliğini ifade eden Urbach enerjisine karşılık gelir. Şekil 3.11. rubrene filmi için  $\ln \alpha$ 'nın foton enerjisine ( $h\nu$ ) karşılık değişimini göstermektedir. Şekil 3.11'i incelediğimizde, rubrene filmin düşük soğurma bölgesinde foton enerjisine  $\ln \alpha$ 'nın bağlı eğrisi düz bir çizgi vermektedir. Bu düz eğrinin eğiminin tersinden rubrene filmin Urbach enerjisi ( $E_U$ ) değeri ve  $\ln \alpha$  eksenini kesme noktasından da  $\alpha_0$  değeri hesaplanmıştır.  $E_U$  ve  $\alpha_0$  değerleri sırasıyla 1.169 eV ve  $167.8 \text{ cm}^{-1}$  olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu değerler Tablo 3.2'de önceden literatürde yayınlanan diğer organik bileşiklerle karşılaştırma olması açısından verilmiştir (44,48-50). Urbach enerjisi ( $E_U$ ) kenar genişliği ayrıca Urbach kenar eğimi olan başka bir parametre ile ilgilidir. Bu parametre yükseklik veya diklik parametresi  $\beta = kT/E_U$  olup, elektron-fonon veya eksiton-fonon etkileşmelerinden dolayı optik soğurma kenarının genişlemesini karakterize eder (51). Oda sıcaklığı  $T = 300 \text{ K}$  olarak  $\beta$  parametresi 0.022 olarak hesaplanmış ve Tablo 3.2'de ayrıca verilmiştir.

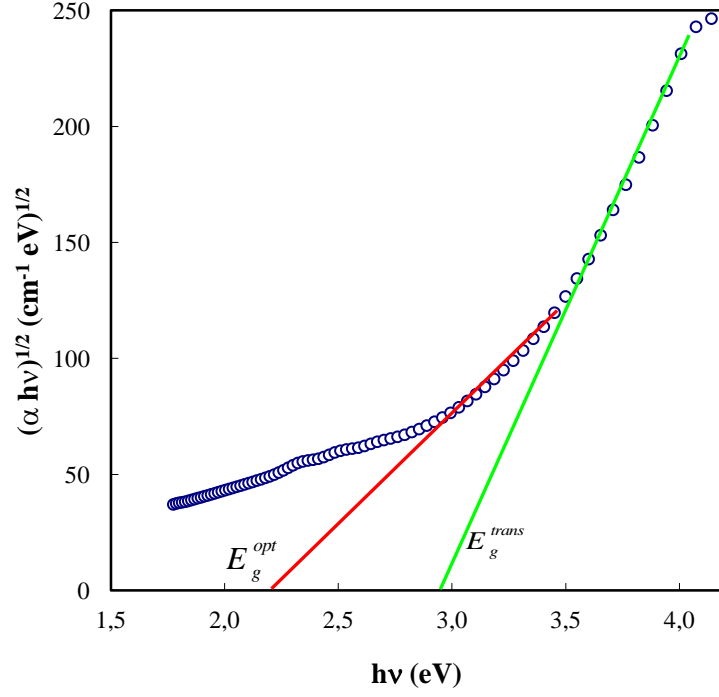


**Şekil 3.8** (a) Geçirgenliğin dalga boyuna göre birinci türevinin ( $dT/d\lambda$ ) ve (b) yansımanın dalga boyuna göre birinci türevinin ( $dR/d\lambda$ ) dalga boyu ile değişimi

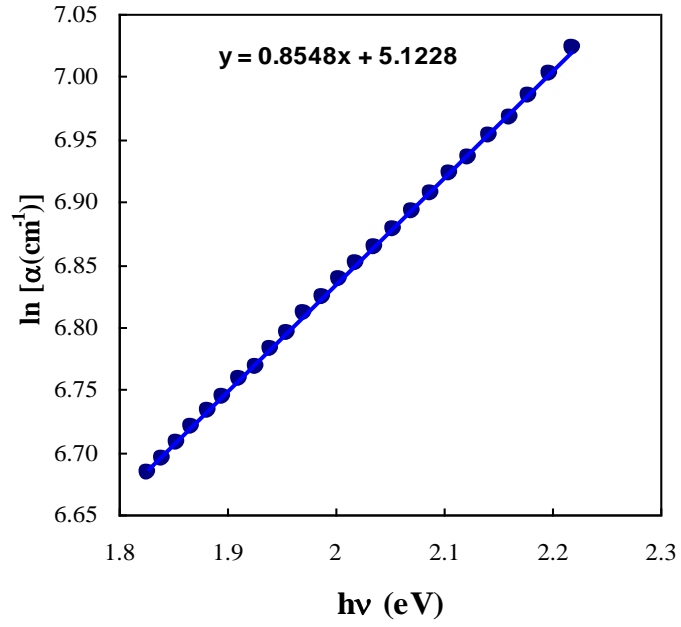




**Şekil 3.9** Rubrene ince filmin (a)  $d[\ln(\alpha h\nu)]/d(h\nu)$  'nin foton enerjisi ( $h\nu$ ) değişimi ve (b)  $\ln(\alpha h\nu) - \ln(h\nu - E_g)$  değişimi



Şekil 3.10 Rubrene ince filmin  $(\alpha hv)^{1/2}$ , nin foton enerjisi ( $h\nu$ ) değişimi



Şekil 3.11 Rubrene ince filmin Urbach eğrisi

**Tablo 3.1** Rubrene organik yarıiletken ince film ve karşılaştırılması açısından diğer organik bileşikler için nakil (transport) aralığı ( $E_g^{trans}$ ), optik aralık ( $E_g^{opt}$ ) ve bağlanma enerjisi ( $E_B$ ) değerleri

Bileşik	$E_g^{trans}$ (eV)	$E_g^{opt}$ (eV)	$E_B$ (eV)	Referans
Rubrene	2.93	2.31	0.62	Bizim çalışma
NiTTP	2.88	2.58	0.30	(40)
Ca[ $(NO_2)_2$ -8HQ] <sub>2</sub>	2.40	1.10	1.30	(41)
Alq <sub>3</sub>	4.14	2.82	1.32	(42)
Tin phthalocyanine (SnPc)	2.84	1.20	1.64	(43)
PTCDA	3.16	1.76	1.40	(44)
$\alpha$ -sexithiophene ( $\alpha$ -6T)	3.40	3.00	0.40	(45)
Copper phthalocyanine (CuPc)	2.30	1.70	0.60	(45)

**Tablo 3.2** Rubrene organik yarıiletken ince film ve karşılaştırma açısından diğer organik bileşikler için optik bant aralığı ( $E_g$ ), Urbach sabiti ( $\alpha_0$ ), Urbach enerji ( $E_U$ ) ve diklik parametresi ( $\beta$ ) değerleri

Bileşik	Geçiş tipi	$E_g$ (eV)	$\alpha_0$ (cm <sup>-1</sup> )	$E_U$ (meV)	$\beta$	Referans
Rubrene	Dolaylı izinli	2.31	167.80	1169	0.022	Bizim çalışma
PTCDA	Dolaylı izinli	1.76	---	650	0.025	(44)
Methyl orange	Dolaylı izinli	2.02	---	543	---	(48)
NiPc	Dolaylı izinli	1.66	---	93.4	---	(49)
NBAA	Dolaylı izinli	1.56	---	658	---	(50)

### 3.5. Kırılma indisi (n) optik dağılım parametreleri

Herhangi bir malzemenin kırılma indisinin ( $n$ ) foton enerjisiyle ( $h\nu$ ) değişiminin ne tür bir forma uyduğunu tanımlayan bağıntılara dağılım (dispersion) ifadeleri denir (1).

#### 3.5.1. Wemple ve DiDomenico tek osilatör modeli

Dağılım işlemi optiksel aygıtların tasarımı ve optiksel haberleşmede önemli bir faktör olduğu için optiksel malzemelerin araştırılmasında önemli bir rol oynar. Tek-osilatör modeli, optik bant aralığının altındaki geçişler için dielektrik tepkiyi tanımlar ve kırılma indisinin davranışını belirlemede önemli bir rol oynar. Bu model malzemenin elektronik özellikleri ve kimyasal bağları arasındaki ilişkiden kaynaklanır (1). Tek osilatör modeli, iyonik veya kovalent malzemeler için görünür bölgede optiksel özellikleri tanımlamak için sadece uygulanmaz ayrıca bu malzemelerin bazı yapısal özelliklerini de belirlemek için uygulanır (38,43,44,52). Rubrene ince filmi için, normal dağılım bölgesinde ( $\lambda > 390$  nm), kırılma indisinin ( $n$ ) dağılımı Wemple ve DiDomenico (53) tarafından geliştirilen tek osilatör modelini kullanarak analiz edilmiştir. Bu modelde  $E_d$  ve  $E_0$  dağılım enerji parametreleri sunulmuştur. Foton enerjisinin ( $h\nu$ ) bir fonksiyonu olarak kırılma indisi ( $n$ ),

$$(n^2 - 1)^{-1} = \frac{E_0}{E_d} - \frac{1}{E_0 E_d} (h\nu)^2 \quad (3.7)$$

şeklinde ifade edilebilir (35,40-45,53). Burada  $E_0$  tek osilatör enerjisi,  $E_d$  dağılım enerjisi olup osilatör kuvvetin veya bantlar arası optik geçişin ortalama gücün ölçümüdür. Başka bir deyişle, bantlar arası optik geçişin şiddetini ölçen  $E_d$  parametresi bant aralığına önemli ölçüde bağlı değildir.  $E_0$  ve  $E_d$  parametrelerinin iyonik veya kovalent malzemelerin iyonikliği ve kristal yapısı ile önemli bir ilişkisi vardır (38,43,44,52).  $E_d$  parametresinin kimyasal bağlarla yakından ilişkili olduğu bulunmuştur (38,43,52). Şekil 3.12 Rubrene ince film için  $(n^2 - 1)^{-1}$ 'nin  $(h\nu)^2$  ile değişimini gösterir. Şekil 3.12'deki grafiğin 5 ile 8 (eV)<sup>2</sup> enerji aralığında doğrusal olduğu gözlenmiştir.  $E_d$  ve  $E_0$  değerleri bu doğrunun eğiminden ve kesme

noktasından belirlenmiştir. Bu doğrunun uzun dalga boylarına uzatılıp  $(h\nu)^2=0$ ' da y-ekseniyle kesişme noktası yüksek frekans optiksel dielektrik sabitinin ( $\varepsilon_\infty = n_o^2$ ) değerine karşılık gelir. Sıfır foton enerjisindeki kırılma indisi ( $n_0$ ),  $n_0^2 = 1 + E_d / E_0$  dağılım ilişkisinden belirlendikten sonra yüksek frekans optiksel dielektrik sabiti ( $\varepsilon_\infty$ ) kolayca hesaplanabilir. Rubrene ince filmin  $E_0$ ,  $E_d$  ve  $\varepsilon_\infty$  değerleri sırasıyla 5.47 eV, 15.16 eV ve 3.77 olarak elde edilmiş ve Tablo 3.3'de önceden literatürde yayınlanan diğer organik bileşiklerle karşılaştırmalı olarak verilmiştir (33,40,42-44,54-56). Tanaka dağılım ilişkisine (34) göre tek osilatör enerjisi ( $E_0$ ), optik bant aralığının ( $E_g^{opt}$ ) iki katı değere sahiptir. Rubrene ince film için  $E_0 / E_g^{opt}$  oranı 2.36 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, tek osilatör modelin  $E_0$  ve  $E_d$  parametreleri kompleks dielektrik sabitinin sanal bileşeni ( $\varepsilon''$ )'nin  $M_{-1}$  ve  $M_{-3}$  momentlerine

$$E_0^2 = \frac{M_{-1}}{M_{-3}} \quad (3.8)$$

ve

$$E_d^2 = \frac{M_{-1}^3}{M_{-3}} \quad (3.9)$$

denklemleri ile bağlantılıdır.  $M_{-1}$  ve  $M_{-3}$  momentlerin değerleri denklem (3.8) ve (3.9) kullanarak sırasıyla 2.77 ve 0.092 eV<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, Wemple ve DiDomenico (57) tarafından önemli bir parametre olan osilatör kuvveti ( $f$ )

$$f = E_0 E_d \quad (3.10)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Rubrene ince filmin osilatör kuvveti ( $f$ ) 82.97 eV<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Düşük enerjilerde kırılma indisinin ( $n$ ) davranışı, tek osilatör modelinde serbest taşıyıcı katkısı açısından analiz edilebilir. Kırılma indisi ( $n$ ), dalga boyunun ( $\lambda$ ) fonksiyonu olarak

$$n^2 = \varepsilon' = \varepsilon_L - \left( \frac{e^2}{4\pi^2 c^2 \varepsilon_0} \right) \left( \frac{N}{m^*} \right) \lambda^2 \quad (3.11)$$

şeklinde ifade edilir (40,43,54). Burada  $\varepsilon'$  dielektrik sabitin gerçek kısmı,  $\varepsilon_L$  örgü dielektrik sabiti (veya yüksek frekans dielektrik sabiti),  $e$  temel yük,  $c$  ışık hızı,  $\varepsilon_0$  boşluğun dielektrik sabiti ve  $N/m^*$  serbest taşıyıcı yoğunluğunun etkin kütleyle oranıdır. Şekil 3.13 rubrene ince filmin  $n^2$ 'nin  $\lambda^2$ 'ye göre değişimini gösterir.  $n^2$ 'nin  $\lambda^2$ 'ye göre değişimi, yüksek dalga boylarında denklem (3.11)'i doğrulayan düz bir çizgi gösterir.  $n^2$ 'nin  $\lambda^2$ 'ye göre değişiminin doğrusal kısmını sıfır dalga boyuna doğru uzatırsak  $n^2$  eksenini kesme noktası  $\varepsilon_L$ 'nin değerini ve doğrusal kısmın eğiminden denklem (3.11)'e göre  $N/m^*$ 'nin değeri elde edilmiştir.  $\varepsilon_L$  ve  $N/m^*$  değerleri sırasıyla 5.32 ve  $4.04 \times 10^{57} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-3}$  olarak hesaplanmış ve Tablo 3.3'de önceden literatürde yayınlanan diğer organik bileşiklerle karşılaştırmalı olarak verilmiştir (32,34-36,46-48). Yüksek frekans dielektrik sabiti,  $\varepsilon_\infty = n_\infty^2$ , 3.77 değerine eşittir.  $\varepsilon_L$  değeri  $\varepsilon_\infty = n_\infty^2$  değerinden 1.55 defa büyük olduğu bulunmuştur ve bu sonuç kutuplanma için serbest taşıyıcıların küçük konsantrasyon katkısına atfedilmiştir (42-44,54-56).

### 3.5.2. Tek terimli Sellmeier dağılım ilişkisi

Sellmeier denklemi, 1871 yılında Wilhelm Sellmeier tarafından ilk kez düşünülmüş olup, belirli bir saydam ortam için kırılma indisi ( $n$ ) ile dalga boyu ( $\lambda$ ) arasındaki deneysel bir ilişkidir. Bu denklem ortamdaki ışığın dağılımını belirlemek için kullanılır (58).

Kırılma indisi ( $n$ ), ortalama bantlar arası osilatör dalga boyunu ( $\lambda_0$ ) belirlemek için,

$$\frac{n_\infty^2 - 1}{n^2 - 1} = 1 - \left( \frac{\lambda_0}{\lambda} \right)^2 \quad (3.12)$$

ifadesindeki tek terim Sellmeier denklemi yardımıyla ayrıca incelenmiştir. Burada  $n_\infty$  uzun veya sonsuz dalga boyunda kırılma indisidir. Şekil 3.14 Rubrene ince filmin  $n^2 - 1$ 'nin  $\lambda^{-2}$ 'ye göre değişimini gösterir.  $n^2 - 1$ 'nin  $\lambda^{-2}$ 'ye göre değişiminin

doğrusal kısmını  $\lambda^{-2} = 0$ 'a doğru uzatırsak  $n^2 - 1$  eksenini kesme noktası  $\varepsilon_\infty = n_\infty^2$ 'nin değerini ve doğrusal kısmın eğiminden denklem (3.12)'e göre  $\lambda_0$ 'ın değeri elde edilmiştir.  $\varepsilon_\infty = n_\infty^2$  ve  $\lambda_0$  değerleri sırasıyla 3.77 ve 226.54 nm olarak hesaplanmış ve Tablo 3.3'de önceden literatürde yayınlanan diğer organik bileşiklerle karşılaştırmalı olarak verilmiştir (40,42-44,52-56). Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'den elde edilen yüksek frekans dielektrik sabiti  $\varepsilon_\infty = n_\infty^2$ 'nin değeri birbirine eşit olup 3.77 olan değeri Tablo 3.3'de sadece bir defa verilmiştir. Bu sonuç boş bir örgü içinde sınırlanmış taşıyıcıların ve örgü titreşimlerinin saydam bölge içinde olduğuna atfedilmiştir (57,59). Denklem (3.12) yeniden düzenlenirse (57,59):

$$n^2 - 1 = \frac{S_0 \lambda_0^2}{1 - (\lambda_0 / \lambda)^2} \quad (3.13)$$

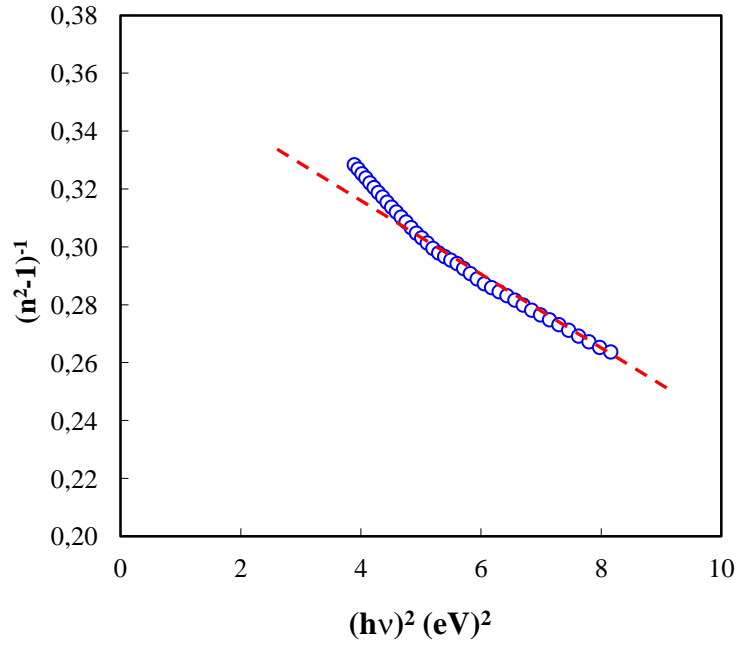
ifadesi elde edilir. Burada  $S_0$ ,  $S_0 = (n_\infty^2 - 1) / \lambda_0^2 = E_d / E_0 \lambda_0^2$  eşit olup ortalama osilatör kuvvetidir. Rubrene ince filmin  $S_0$  ve  $E_0 / S_0$  (kırılma indisi dağılım parametresi)'nin değerleri sırasıyla  $5.40 \times 10^{13} \text{ m}^{-2}$  ve  $10.13 \times 10^{-14} \text{ (eV m}^2)$  olarak hesaplanmış ve Tablo 3.3'de ayrıca verilmiştir.

### 3.5.3. Rubrene filminin üçüncü mertebeden doğrusal olmayan kutuplanma parametresi ( $\chi^{(3)}$ )

Doğrusal olmayan optik alınganlık olarak adlandırılan üçüncü mertebeden doğrusal olmayan kutuplanma parametresi ( $\chi^{(3)}$ ), optik anahtarlama ince filmlerin kullanılması olasılığını göstermek için önemli bir parametredir. Buna ek olarak, organik hazırlanan ince filmin moleküller arasındaki kimyasal bağların gücü hakkında bir gösterge sağlar (60-63). Lineer optik alınganlığa ( $\chi^{(1)}$ ) göre rubrene filmin üçüncü mertebeden doğrusal olmayan alınganlığı ( $\chi^{(3)}$ )

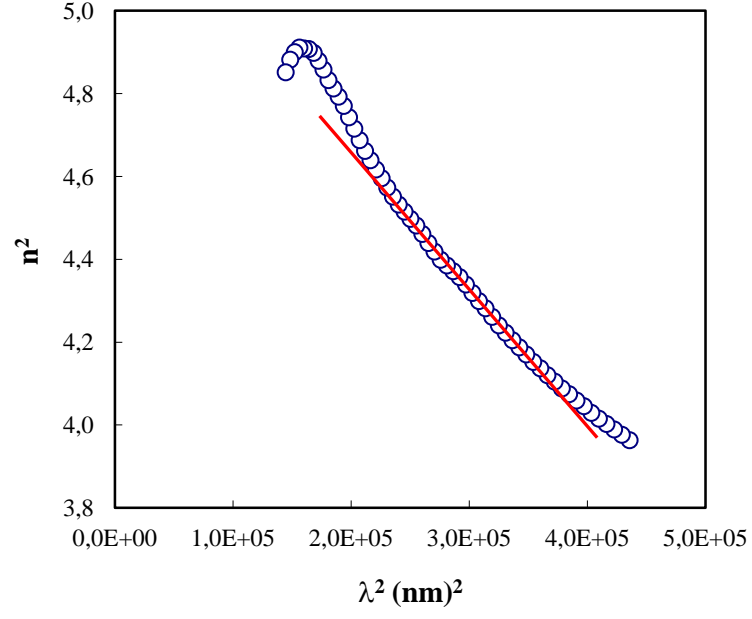
$$\chi^{(3)} = A(\chi^{(1)})^4 = \frac{A}{(4\pi)^4} (n^2 - 1)^4 = A \left( \frac{E_0 E_d}{4\pi(E_0^2 - (h\nu)^2)} \right)^4 \quad (3.14)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır (60-63). Burada  $A$  bir sabit olup yaklaşık değeri  $A=1.7 \times 10^{-10}$  esu (54,55) dur,  $n$  kırılma indisi,  $E_0$  tek osilatör enerjisi ve  $E_d$  dağılım enerjisidir. Şekil 3.15 Rubrene ince filmin foton enerjisinin ( $h\nu$ ) fonksiyonu olarak üçüncü mertebeden doğrusal olmayan kutuplanma parametresinin ( $\chi^{(3)}$ ) değişimini göstermektedir. Şekilden görülebildiği gibi,  $\chi^{(3)}$ 'ün değeri 1.77 eV da  $0.45 \times 10^{-12}$  esu'dan başlar ve foton enerjisi 3.15 eV oluncaya kadar artar ve değeri  $1.59 \times 10^{-12}$  esu'ya ulaşır. Daha sonra  $\chi^{(3)}$ , 4.43 eV'a kadar azalır ve bu enerjide değeri  $0.15 \times 10^{-12}$  esu'ya sahip olur. Son olarak  $\chi^{(3)}$ 'ün değeri tekrar foton enerjisi 6.2 eV'a ulaşınca kadar artar ve bu enerjide değeri  $2.09 \times 10^{-12}$  esu'ya sahip olur.

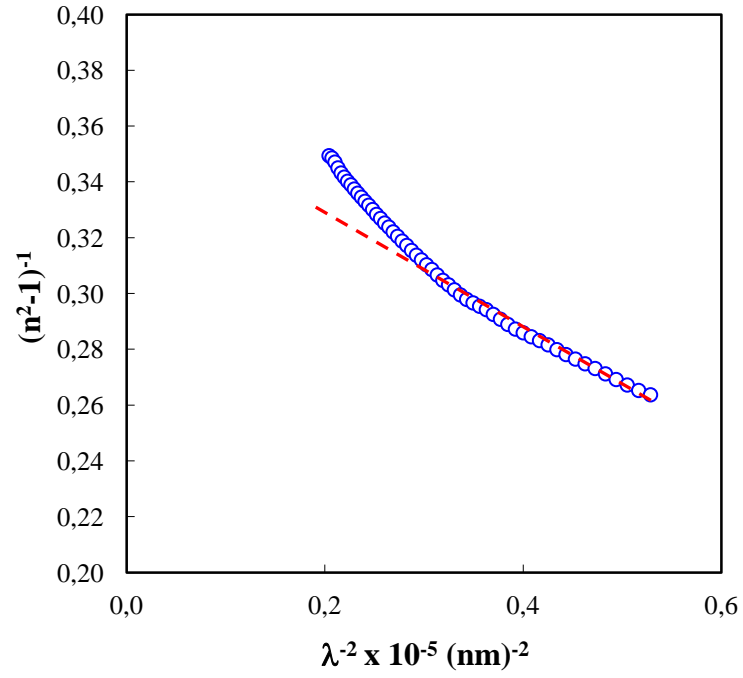


Şekil 3.12 Rubrene ince filmin  $(n^2 - 1)^{-1} - (h\nu)^2$  grafiği

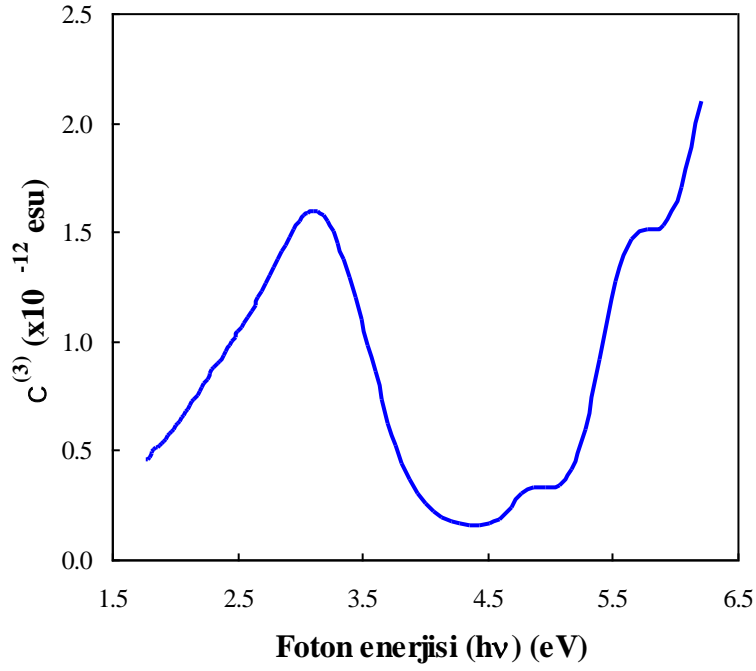




Şekil 3.13 Rubrene ince filmin  $n^2 - \lambda^2$  değişimi



Şekil 3.14 Rubrene ince filmin  $(n^2 - 1)^{-1} - \lambda^{-2}$  değişimi



**Şekil 3.15** Rubrene ince filmin  $\chi^{(3)}$  - foton enerjisi ( $h\nu$ ) değişimi

**Tablo 3.3** Rubrene organik yarıiletken ince film ve karşılaştırma açısından diğer organik bileşikler için dağılım parametreleri

Bileşik	$E_d$ (eV)	$E_0$ (eV)	$\lambda_0$ (nm)	$S_0$ ( $10^{13} \text{ m}^{-2}$ )	$E_0 / S_0$ $\times 10^{-14} (\text{eV m}^2)$	$\epsilon_\infty$	$\epsilon_L$	$N/m^*$ ( $\text{kg}^{-1} \text{ m}^{-3}$ )	Referans
Rubrene	15.16	5.47	226.54	5.40	10.13	3.77	5.32	$4.04 \times 10^{37}$	Bizim çalışma
NiTTP	10.0	1.80	-	-	-	6.40	8.50	$5.30 \times 10^{56}$	(40)
Alq3	8.25	3.69	-	-	-	3.23	3.46	$6.01 \times 10^{55}$	(42)
SnPc	4.09	1.28	-	-	-	4.20	5.75	$4.24 \times 10^{56}$	(43)
PTCDA	9.48	5.42	228.78	3.34	1.62	2.74	4.42	$5.48 \times 10^{58}$	(44)
Rhodamine B	8.40	3.05	-	-	-	3.39	2.98	$2.52 \times 10^{46}$	(54)
CoPc	16.25	6.36	-	-	-	3.56	3.60	$6.16 \times 10^{55}$	(55)
MgPc	8.48	3.59	-	-	-	3.36	3.58	$2.50 \times 10^{45}$	(33)
PTCDI	6.59	2.41	-	-	-	2.73	4.22	$8.61 \times 10^{45}$	(56)

### 3.6. Dielektrik karakteristikler

Kompleks kırılma indisi,  $n^* = n(\lambda) + ik(\lambda)$  ve kompleks dielektrik fonksiyonu  $\varepsilon^* = \varepsilon'(\lambda) + i\varepsilon''(\lambda)$  herhangi bir katı malzemenin optiksel özelliklerini tanımlamak için genellikle kullanılır. Kompleks dielektrik fonksiyonu ( $\varepsilon^*$ ), madde ile elektromanyetik dalgaların etkileşimini açıklar. Bu fonksiyon moleküler mekanizma altında yatan etkileşmeyi yansıtmaktadır (64).

#### 3.6.1. Dielektrik fonksiyonun gerçektek ( $\varepsilon'$ ) ve sanal ( $\varepsilon''$ ) kısımları

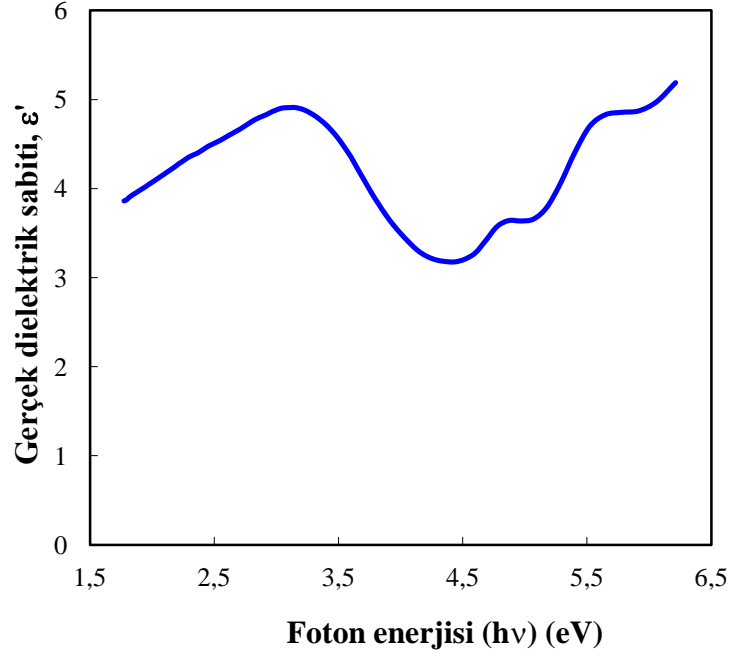
Dielektrik fonksiyonun gerçektek ( $\varepsilon'$ ) ve sanal ( $\varepsilon''$ ) kısımları, kırılma indisi ( $n$ ) ve sönüm katsayısı ( $k$ ) değerleri ile yakından ilişkilidir. Rubrene ince film için  $\varepsilon'$  ve  $\varepsilon''$  değerleri (41,65),

$$\varepsilon' = n^2 - k^2 \quad (3.15)$$

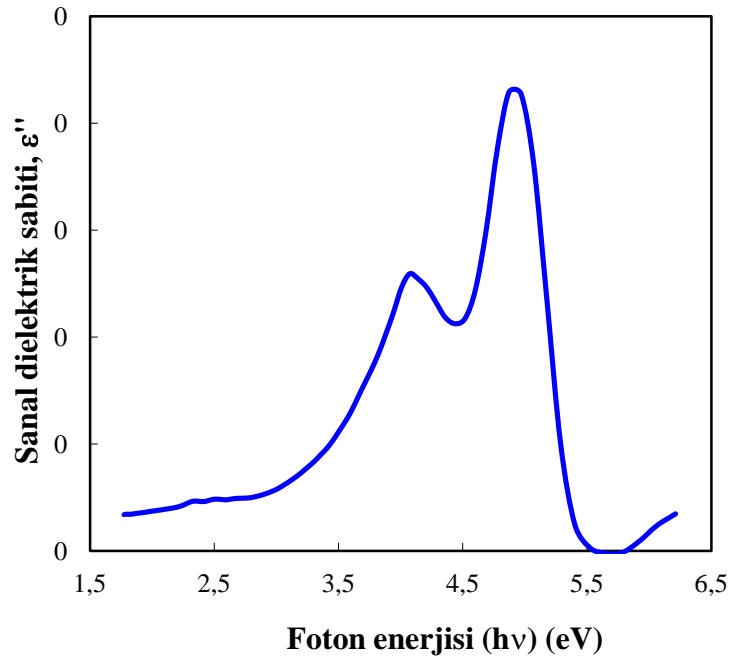
ve

$$\varepsilon'' = 2nk \quad (3.16)$$

ifadelerinden elde edilmektedir. Şekil 3.16'da foton enerjisinin fonksiyonu olarak dielektrik sabitinin gerçektek ( $\varepsilon'$ ) kısmının değişimi gösterilmektedir. Şekilden görülebildiği gibi, dielektrik sabitinin gerçektek bileşen değerleri düşük enerji değerlerinden itibaren 3.1 eV'a kadar hızlı artmakta ve bu enerji değerinden itibaren 4.35 eV'e kadar azalmakta ve tekrar foton enerjisi artışıyla 6.2 eV'a kadar artmaktadır.  $\varepsilon'$ 'nin en düşük değeri 4.43 eV (280 nm)'de 3.18 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca,  $\varepsilon'$ 'nin değerleri örneğin 3.1 eV (400 nm) ve 1.77 eV (700 nm) için sırasıyla 4.91 ve 3.86 olarak belirlenmiştir. Şekil 3.17'de foton enerjisinin fonksiyonu olarak dielektrik sabitinin sanal ( $\varepsilon''$ ) kısmının değişimi gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde,  $\varepsilon''$ 'nin spektrumunda morötesi (ultraviolet) bölgede 2 tane pikin varlığı görülmektedir. Rubrene filmi için  $\varepsilon''$ 'nin 4.07 eV (305 nm) ve 4.87 eV (255 nm)'de değerleri sırasıyla 0.13 ve 0.21 olarak belirlenmiştir. Ayrıca,  $\varepsilon''$ 'nin görünür (visible) bölgedeki değerleri örneğin 3.1 eV (400 nm) ve 1.77 eV (700 nm) için sırasıyla 0.032 ve 0.017 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.16 Rubrene ince filmin  $\epsilon'$  -  $h\nu$  değişimi



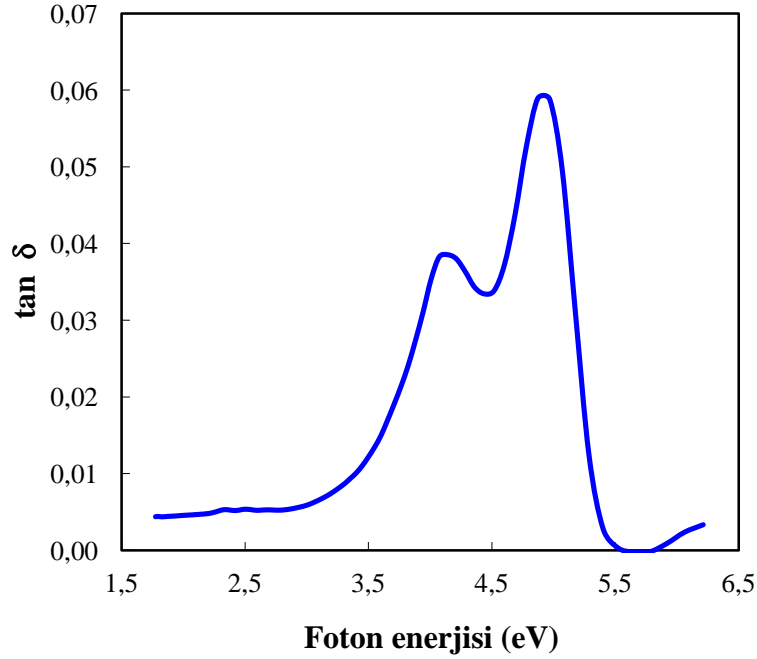
Şekil 3.17 Rubrene ince filmin  $\epsilon''$  -  $h\nu$  değişimi

### 3.6.2. Kayıp tanjant ( $\tan \delta$ )

Kayıp tanjant ( $\tan \delta$ ), ince bir filmde kayıp gücün film kusurları ve film boyunca iletilen toplam güce oranı olarak belirtilir. Kayıp tanjant [66]:

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \quad (3.17)$$

olarak ifade edilir. Şekil 3.18'de rubrene ince film için foton enerjisinin fonksiyonu olarak kayıp tanjant ( $\tan \delta$ )'ın değişimi verilmektedir. Şekil incelendiğinde,  $\tan \delta$ 'nın foton enerjisi ile değişimi  $\varepsilon''$ 'nin eğilimiyle aynıdır ve  $\tan \delta$ 'nın spektrumu da 255 ve 305 nm'de 2 pikin varlığı ile karakterize edilmiştir.



Şekil 3.18 Rubrene ince filmin  $\tan \delta - h\nu$  değişimi

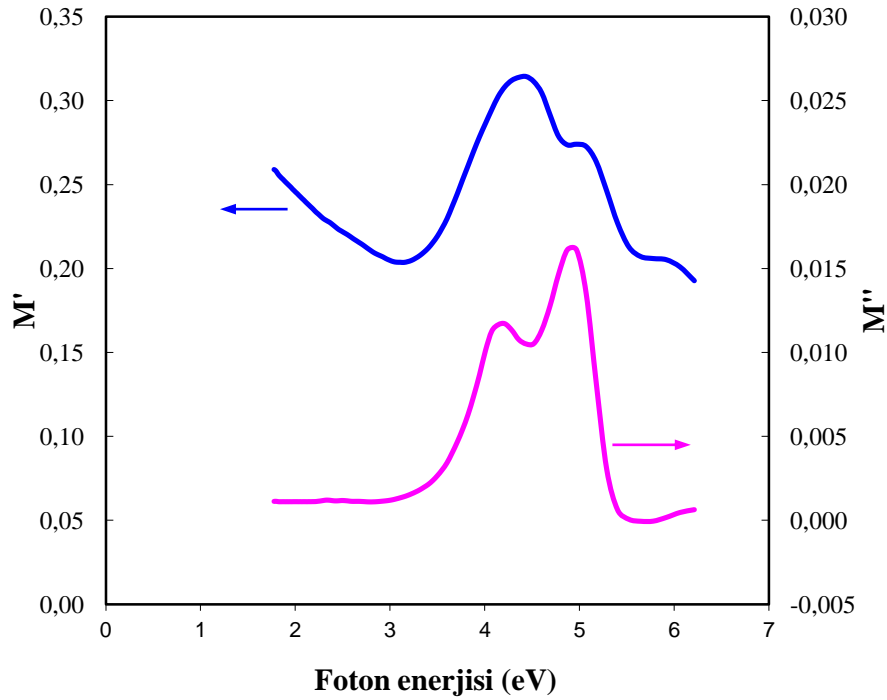
### 3.6.3. Elektrik modülünün gerçek ( $M'$ ) ve sanal ( $M''$ ) kısımları

Elektrik modülü ( $M^*$ ), durulma (gevşeme) mekanizması hakkında bilgi elde etmek için güçlü bir parametre olduğu kanıtlanmıştır (66,67).  $\varepsilon'$  ve  $\varepsilon''$  değerlerinden, Maceode ve arkadaşları (67) tarafından tanımlandığı gibi kompleks elektrik modülü ( $M^*$ )

$$M^* = \frac{1}{\varepsilon^*} = M' + jM'' \quad (3.18)$$

$$= \frac{\varepsilon'}{(\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2)} + j \frac{\varepsilon''}{(\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2)}$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $M'$  ve  $M''$  sırasıyla elektrik modülünün gerçek ve sanal bileşenleridir. Foton enerjisinin fonksiyonu olarak  $M'$  ve  $M''$  değişimi Şekil 3.19'da verilmiştir. Şekilden  $M'$  için geniş bir pik ve  $M''$  için de 2 ayrı pik görülmektedir.



**Şekil 3.19** Rubrene ince filmin  $M'$  ve  $M'' - h\nu$  değişimi

### 3.6.4. Hacim enerji ( $V_{EL}$ ) ve yüzey enerji ( $S_{EL}$ ) kayıpları

Elastik olmayan elektron saçılma deneyinde katının spektral cevabı, enerji kayıp fonksiyon adlı dielektrik teorisinin kapsamında ele alınabilir (68,69). Enerji kayıp fonksiyonları, hacim enerji kayıp ( $V_{EL}$ ) fonksiyonu ve yüzey enerji kayıp ( $S_{EL}$ ) fonksiyonu olarak bilinmektedir. Hacim ve yüzey enerji kayıp fonksiyonları sırasıyla malzemenin gövdesine ve yüzeyine hareket eden hızlı elektronların karakteristik enerji kaybı ile orantılıdır (68,69). Hacim enerji ( $V_{EL}$ ) ve yüzey enerji

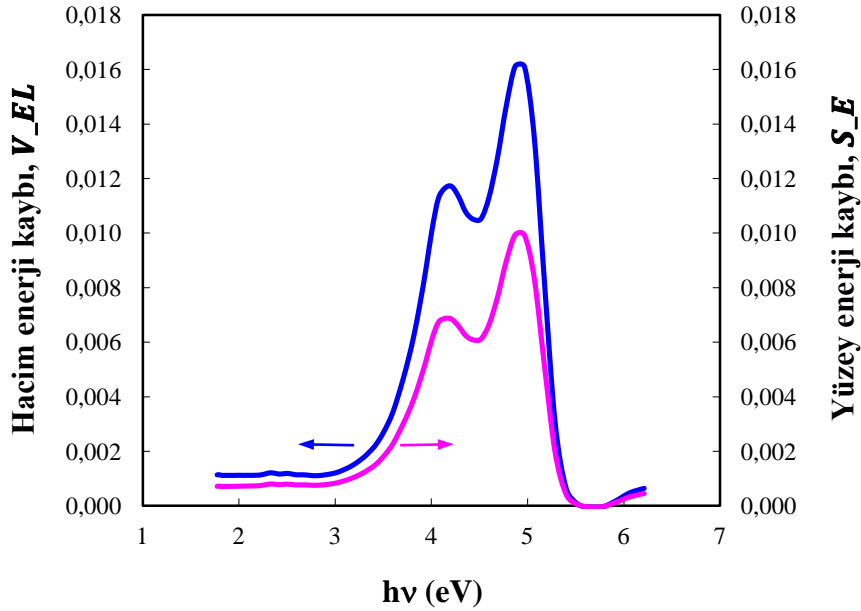
( $S_{EL}$ ) kayıpları, sırasıyla dielektrik sabitinin gerçekte ve sanal kısımlarıyla ilişkilidir (70,71):

$$V_{EL} = -\text{Im}\left(\frac{1}{\epsilon^*}\right) = \frac{\epsilon''}{\epsilon'^2 + \epsilon''^2} \quad (3.19)$$

ve

$$S_{EL} = -\text{Im}\left(\frac{1}{\epsilon^* + 1}\right) = \frac{\epsilon''}{(\epsilon' + 1)^2 + \epsilon''^2} \quad (3.20)$$

$V_{EL}$  ve  $S_{EL}$  değerleri denklem (3.19) ve (3.20)'den görülebildiği gibi dielektrik sabitinin gerçekte ve sanal kısımları kullanılarak hesaplanmaktadır. Foton enerjisinin fonksiyonu olarak Rubrene ince filmin hesaplanan hacim ve yüzey enerji kayıp dağılımları Şekil 3.20'de verilmiştir. Şekilden görülebildiği gibi Rubrene'nin  $V_{EL}$  değerleri  $S_{EL}$  değerlerinden bütün enerji değerlerinde daha büyüktür. Rubrene filmi için  $V_{EL}$ 'in 4.07 eV (295 nm) ve 4.87 eV (255 nm)'de değerleri sırasıyla 0.011 ve 0.016 olarak belirlenmiştir. Ayrıca,  $S_{EL}$ 'in 4.07 eV ve 4.87 eV'deki pik değerleri sırasıyla  $6.84 \times 10^{-3}$  ve  $9.94 \times 10^{-3}$  olarak belirlenmiştir.



**Şekil 3.20** Rubrene ince filmin hacim enerjisi ( $V_{EL}$ ) ve yüzey enerji ( $S_{EL}$ ) kayplarının foton enerjisi ile değişimi

### 3.6.5. Optik iletkenliğin gerçek ( $\sigma'$ ) ve sanal ( $\sigma''$ ) kısımları

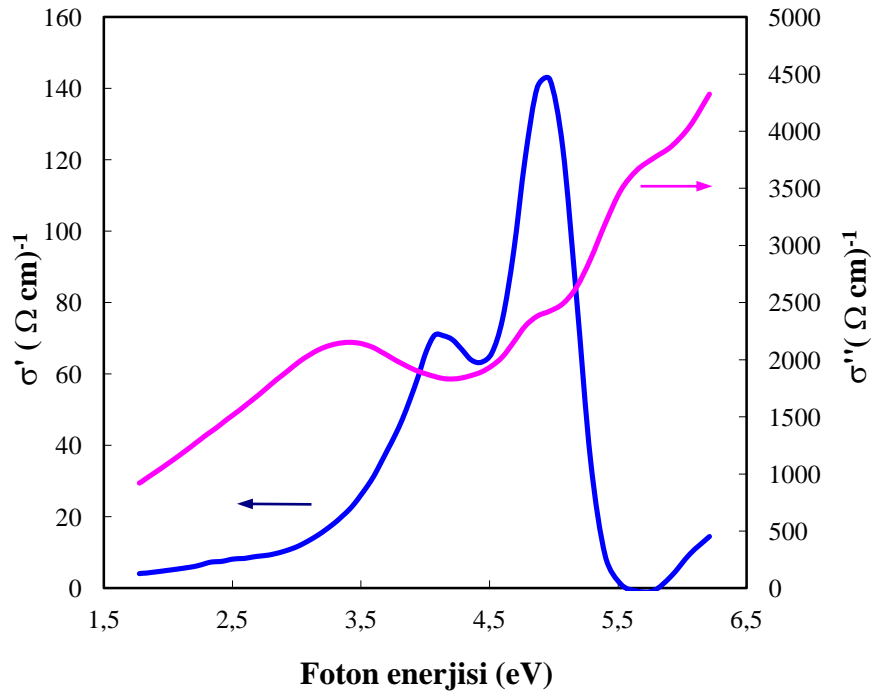
Kompleks optik iletkenlik ( $\sigma^* = \sigma' + i\sigma''$ ), kompleks dielektrik sabiti ( $\varepsilon^* = \varepsilon' + i\varepsilon''$ ) ile aşağıdaki bağıntılarla ilişkilidir (72):

$$\sigma' = \omega\varepsilon''\varepsilon_0 \quad (3.21)$$

ve

$$\sigma'' = \omega\varepsilon'\varepsilon_0 \quad (3.22)$$

Şekil 3.21 foton enerjisinin ( $h\nu$ ) fonksiyonu olarak optik iletkenliğin hesaplanan gerçek ( $\sigma'$ ) ve sanal ( $\sigma''$ ) kısımlarını göstermektedir. Şekilden açıkça görüldüğü gibi, foton enerjisi artışı ile optik iletkenliğin gerçek kısmı ( $\sigma'$ ) 2 ayrı pike sahipken, optik iletkenliğin sanal kısmı foton enerjisi ile artar.  $\sigma'$ 'nin foton enerjisi ile değişimi  $\varepsilon''$ 'nin eğilimiyle aynıdır ve  $\sigma'$ 'nin spektrumu da 4.07eV ve 4.96eV'da 2 pikin varlığı ile karakterize edilmiştir. Rubrene filmi için  $\sigma'$ 'nin 4.07 eV (205 nm) ve 4.96 eV (250 nm)'de değerleri sırasıyla 70.09 ve 143 olarak belirlenmiştir. Ayrıca,  $\sigma''$ 'nin 4.07 eV ve 4.96 eV'deki pik değerleri sırasıyla  $1.85 \times 10^3$  ve  $2.43 \times 10^3$  olarak belirlenmiştir.



**Şekil 3.21** Rubrene ince filmin  $\sigma'$  ve  $\sigma''$  optik iletkenliklerin foton enerjisi ile değişimi

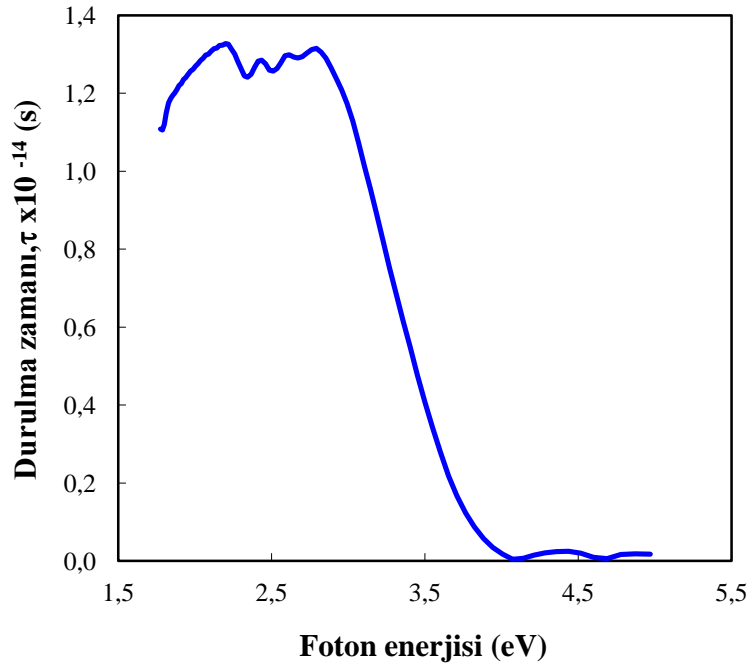


### 3.6.6. Dielektrik durulma zamanı ( $\tau$ )

Dielektrik durulma zamanı ( $\tau$ ),

$$\tau = \left| \frac{\varepsilon_{\infty} - \varepsilon'}{\omega \varepsilon''} \right| \quad (3.23)$$

denklemleriyle ifade edilir. Burada  $\varepsilon_{\infty}$  yüksek frekans dielektrik sabiti,  $\varepsilon'$  ve  $\varepsilon''$  ise sırasıyla dielektrik sabitinin gerçekte ve sanal kısımlarıdır. Şekil 3.22 foton enerjisinin ( $h\nu$ ) fonksiyonu olarak hesaplanan dielektrik durulma zamanı ( $\tau$ ) kısımlarını göstermektedir. Şekilden açıkça görüldüğü gibi,  $\tau$ 'nin değeri 1.77 eV da  $1.1 \times 10^{-14}$  s'den başlar ve foton enerjisi 2.19 eV oluncaya kadar artar ve değeri  $1.32 \times 10^{-14}$  s'ye ulaşır. Daha sonra  $\tau$ , 2.82 eV'a kadar hemen hemen sabit olup ve bu enerji aralığında (2.19-2.82 eV) ortalama değeri  $1.27 \times 10^{-14}$  esu'ya sahip olur. Son olarak  $\tau$ 'nin değeri tekrar foton enerjisi 4.0 eV'a ulaşınca kadar hızlıca azalır ve bu enerji değerinden 5.0 eV'a kadar hemen hemen sabit değere sahip olur.



Şekil 3.22 Rubrene ince filmin durulma zamanı ( $\tau$ )'nin foton enerjisi ile değişimi

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada döndürme ile kaplama (spin coating) yöntemiyle cam alttabaka üzerinde hazırlanan rubrene organik yarıiletken ince filmlerin optik parametreleri, dağılım parametreleri ve dielektrik özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, rubrene tozu toluene içinde çözdürüldü ve oluşturulan çözelti kullanılarak, döndürme ile kaplama cihazıyla oda sıcaklığında ince film elde edilmiştir. Filmin elde edilmesi için yapılan işlemler 5 kez yinelenmiştir. Hazırlanan filmin yüzeysel özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM), optiksel ve dielektriksel özellikleri de UV-VIS Spektrofotometre ile geçirgenlik, soğurma ve yansımaya spektrumları alınarak incelenmiştir.

Rubrene ince filmin yüzey özelliklerini incelemek ve yüzey pürüzlülükleri hakkında bilgi edinebilmek için SEM ile yüzey görüntüleri alınmıştır. Filmin kalınlığı SEM analizinden yaklaşık 19 nm olarak bulunmuştur. SEM görüntülerinden filmin tüm yüzeyi tam olarak homojen bir dağılıma sahiptir ve 50-100 nm aralığında tane büyüklüğünde yapıların oluştuğu görülmüştür.

Rubrene ince film için 200-700 nm (UV-VIS bölge) dalga boyu aralığında optik geçirgenlik, soğurma ve yansımaya spektrumları alınmıştır. 700 nm den sonraki bölgede (IR bölge) değişim benzer olduğu için verilmemiştir. Rubrene ince filmin görünür bölgede (400-700 nm) %90 ile %96 arasında bir geçirgenliğe ve %14 ile %10 arasında bir yansımaya sahip olduğu belirlenmiştir. Filmin kırılma indisi ve sönüm indisi gibi optik sabitleri dalga boyuna bağlı olarak belirlenmiş ve kırılma indisinin bazı dağılım parametreleri de hesaplanmıştır.

Fotovoltaik uygulamalar için önemli bir optik parametre de yarıiletkenlerin yasak enerji aralıklarıdır. Rubrene yarıiletken filmin yasak enerji aralığı soğurma spektrumu analizlerinden oda sıcaklığında incelenmiştir. Döndürme ile kaplama yöntemiyle hazırlanan rubrene ince filmin 2 enerji bant aralığı olduğu ve dolaylı izinli bant geçişli yapı gösterdiği saptanmıştır. Düşük enerjili olan başlangıç (onset) optik bant aralığı ( $E_g^{opt}$ ) diğeri ise nakil (transport) aralığı ( $E_g^{trans}$ ) olup değerleri sırasıyla 2.31 ve 2.93 eV olarak hesaplanmıştır.

Bundan başka, Rubrene filmin optik dielektriksel özellikleri incelenmiştir. Dielektrik sabiti, iletkenlik, kayıp tanjant, elektrik modülü, hacim ve yüzey enerji kayıpları, dielektrik durulma zamanı gibi Rubrene ince filmin dielektriksel özelliklerde belirlenmiştir. Bir örnek vermek gerekirse, dielektrik sabitinin gerçek

kısmı  $\varepsilon'$ 'nün değerleri örneğin 3.1 eV (400 nm) ve 1.77 eV (700 nm) için sırasıyla 4.91 ve 3.86 olarak hesaplanmıştır.

Bu projeden elde edilen sonuçlara göre Rubrene organik yarıiletken ince filmler optoelektronik ve güneş pili cihaz uygulamalarında kullanım için en iyi adaylardan biridir.

## KAYNAKLAR

- (1) Nalçacıgil, Z. 2011. Perylene Türevi Organik Yarıiletken İnce Filmlerin Optik Özelliklerinin İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, pp.1-39,Konya.
- (2) Park, B. 2008. Electronic and structural properties of pentacene at organic/inorganic interfaces, Doctor of Philosophy (Materials Science) at the University of Wisconsin-Madison.
- (3) Brütting, W. 2005. Physics of organic semiconductors, *Wiley-Vch-Verlag*, Weinheim, pp.1-12.
- (4) Akın, M. E. 2008. N-Tipi Yarı İletken Malzemelere Dayalı Organik Alan Etkili Transistörlerin Üretimleri, Performans Ve Karakterlerinin İncelenmesi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, pp.1, İzmir.
- (5) Bernanose, A. , Comte, M., Vouaux,P. 1953. J. Chim. Phys. 50, 64. and Bernanose, A. , Vouaux, P. 1953. J. Chim. Phys. 50, 261.
- (6) Kallmann, H., Pope, M. 1960. Positive Hole Injection into Organic Crystals. The Journal of Chemical Physics 32, 300.
- (7) Kallmann, H. , Pope, M. 1960. Bulk Conductivity in Organic Crystals. Nature 186, 4718: 31.
- (8) Pope, M., Kallmann, H.P., Magnante, P. 1963. Electroluminescence in Organic Crystals. The Journal of Chemical Physics 38, 2042.
- (9) Heeger, A, MacDiarmid, A.G., Shirakawa, H. 2000. The Nobel Prize in Chemistry 2000 [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/2000/](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2000/) web adresinden 01 Mart 2013 tarihinde edinilmiştir.

- (10) Harima, Y., Yamashita, K., and Suzuki, H. 1984. Spectral sensitization in an organic p-n junction photovoltaic cell, Applied Physics Letters, 45 (10), 1144-1145.
- (10) Tsumura, A., Koezuka, H., Ando, T. 1988. [Polythiophene field-effect transistor: Its characteristics and operation mechanism](#). Synthetic Metals, 25, 11-23.
- (11) Singh, B.Th., Erten, S., Günes, S., Zafer, C., Türkmen, G., Kuban B., Teoman, Y., Sariciftci, N.S., and İçli, S. 2006. Soluble derivatives of perylene and naphthalene dimide for n-channel organic field-effect transistors. Organic Electronics, 7, 480-489.
- (12) Rockett, A. 2008, The materials science of semiconductors, Springer-Verlag, New York – U.S.A. pp.395.
- (13) Ultraviyole ve görünür (visible) spektrofotometre.  
[http://www.bayar.edu.tr/besergil/7\\_BOLUM\\_4.pdf](http://www.bayar.edu.tr/besergil/7_BOLUM_4.pdf). web adresinden 1 Mart 2013 tarihinde edinilmiştir.
- (14) Yarıiletkenler. <http://320volt.com/yari-iletkenler-ve-diyot/> web adresinden 1 Mart 2013 tarihinde edinilmiştir.
- (15) HOMO,LUMO molekül diyagramı,  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Molecule\\_HOMO\\_LUMO\\_diagram.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Molecule_HOMO_LUMO_diagram.svg)  
web adresinden 10 Ocak 2013 tarihinde edinilmiştir.
- (16) Mert, O., Organik Elektronik. Boğaziçi Üniversitesi, elektrik Elektronik Müh. [http://www.bumems.ee.boun.edu.tr/publications/organik\\_elektronik.pdf](http://www.bumems.ee.boun.edu.tr/publications/organik_elektronik.pdf) web adresinden 10 Ocak 2013 tarihinde edinilmiştir.
- (17) How OLEDs work. <http://electronics.howstuffworks.com/oled1.htm> web adresinden 15 Nisan 2013 tarihinde edinilmiştir.

- (18) <http://en.wikipedia.org/wiki/Reuben> web adresinden 01 Mart 2013 tarihinde edinilmiştir.
- (19) Fumagalli, E.M. 2012. Growth and physical properties of crystalline rubrene. Università degli Studi di Milano-Bicocca, Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali. PhD thesis.
- (20) Kim, J.S., Kajii, H., Ohnori Y. 2006. Characteristics of optical response in red organic light-emitting diodes using two dopant system for application to the optical link devices. *Thin Solid Films* 499, 343–348.
- (21) Kim, K., Kim, M.K., Kang, H.S., Cho, M.Y., Joo, J., Kim, J.H., Kim, K.H., Hong, C.S., Choi, D.H. 2007. New growth method of rubrene single crystal for organic field-effect transistor. *Synthetic Metals* 157, 481–484.
- (22) Chan, M.Y., Lai, S.L., Fung, M.K., Lee, C.S., Lee, S.T. 2007. Doping-induced efficiency enhancement in organic photovoltaic devices. *Applied Physics Letters* 90, 023504–023506.
- (23) Barış, B., Yüksel, Ö.F., Tuğluoğlu, N., Karadeniz, S. 2013. Double barrier heights in 5,6,11,12-tetraphenylnaphthacene (rubrene) based organic Schottky diode. *Synthetic Metals* 180, 38–42.
- (24) Uchida, M., Adachi, C., Koyama, T., Taniguchi, Y. 1999. Charge carrier trapping effect by luminescent dopant molecules in single-layer organic light emitting diodes. *Journal of Applied Physics* 86, 1680-1687.
- (25) Li, F., Lin, J., Feng, J., Cheng, G., Liu, H., Liu, S., Zhang, L., Zhang, X., Lee, S.T. 2003. Electrical and optical characteristics of red organic light-emitting diodes doped with two guest dyes. *Synthetic Metals* 139, 341-347.

- (26) Li, F., Lin, J., Feng, J., Cheng, G., Liu, H., Liu, S., Zhang, L., Zhang, X., Lee, S.T. 2003. Electrical and optical characteristics of red organic light-emitting diodes doped with two guest dyes. *Synthetic Metals* 139, 341-347.
- (27) William D. Callister, Jr. 2001. *Fundamentals of Materials Science and Engineering. An Interactive, Fifth edition*, John Wiley&Sons, Inc. pp. S297-S309.
- (28) İlcan S. 2001. Spray Pyrolysis Yöntemi ile elde edilen In Katkılı CdZnS Filmlerinin Özellikleri, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, pp.49-53 Eskişehir.
- (29) Akyaz, T.T. 2012. Bazı ince film iletken polimerlerin bant aralıkları ve yüzey iletkenliklerinin incelenmesi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, pp. 90, Çanakkale.
- (30) SEM, Taramalı Elektron Mikroskobu.  
<http://www.selcukiltek.com/equipment-105-sem-taramali-elektron-mikroskobu.aspx>  
web adresinden 15 Nisan 2013 tarihinde edinilmiştir.
- (31) Polat E.G. 2009. Sol-Jel Yöntemi İle Bakır Ve Kalay Katkılı ZnO İnce Filmlerin Üretilmesi, Optik ve Mikro Yapısal Karakterizasyonu, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, pp.31-34, Gebze.
- (32) Spin Kaplama Aşamaları,  
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f3/SolGel\\_SpinCoating.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f3/SolGel_SpinCoating.jpg) web adresinden 10 Ocak 2013 tarihinde edinilmiştir.
- (33) El-Nahass, M.M., Atta, A.A., El-Sayed, H.E.A., El-Zaidia E.F.M. 2008. Structural and optical properties of thermal evaporated magnesium phthalocyanine (MgPc) thin films. *Applied Surface Science*. 254, 2458-2465.

- (34) Harper, C.A. 2001. Handbook of Ceramics, Glasses, and Diamonds, ISBN 0-07-026712-X, McGraw-Hill, New York.
- (35) Farag, A.A.M., Ashery, A., Shenashen, M.A. 2012. Optical absorption and spectrophotometric studies on the optical constants and dielectric of poly (o-toluidine) (POT) films grown by spin coating deposition, *Physica B* 407, 2404–2411.
- (36) El-Nahass, M.M., Farag, A.M., Abd El-Rahman, K.F., Darwish, A.A.A. 2005. Dispersion studies and electronic transitions in nickel phthalocyanine thin films. *Optics & Laser Technology*, 37, 513–523.
- (37) Ambily, S., Menon, C.S. 1999. The effect of growth parameters on the electrical, optical and structural properties of copper phthalocyanine thin films. *Thin Solid Films*, 347, 284–288.
- (38) Farag, A.A.M., Yahia, I.S. 2010. Structural, absorption and optical dispersion characteristics of rhodamine B thin films prepared by drop casting technique. *Optics Communications*, 283, 4310–4317.
- (39) Tauc, J. 1968. Optical properties and electronic structure of amorphous Ge and Si. *Materials Research Bulletin*, 3, 37–46.
- (40) El-Nahass, M.M., Abd El-Khalek, H.M., Nawar, A.M. 2012. Topological, morphological and optical properties of Gamma irradiated Ni (II) tetraphenyl porphyrin thin films. *Optics Communications*, 285, 1872–1881.
- (41) Farag, A.A.M., Haggag, S.M.S., Mahmoud, M.E. 2011 Spectral–optical–electrical thermal properties of deposited thin films of nano-sized calcium(II)- 8-hydroxy-5,7-dinitroquinolate complex. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 82, 467-474.



- (42) El-Nahass, M.M., Farid, A.M., Atta, A. 2010. Structural and optical properties of Tris(8-hydroxyquinoline) aluminum (III) (Alq<sub>3</sub>) thermal evaporated thin films,” *Journal of Alloys and Compounds*, 507, 112-119.
- (43) El-Nahass, M.M., Atta, A.A., El-Shazly, E.A.A., Faidah, A.S., Hendi, A.A. 2009. Influence of  $\gamma$ -irradiation on the optical properties of nanocrystalline tin phthalocyanine thin films. *Materials Chemistry and Physics*, 117, 390-394.
- (44) Farag, A.A.M., Fadel, M. 2013. Optical absorption and dispersion analysis of nanocrystalline perylene-3,4,9,10-tetracarboxylic-3,4,9,10-dianhydride film prepared by dip coating and its optoelectronic application,” *Optics & Laser Technology*, 45, 356-363.
- (45) Hill, I.G., Kahn, A., Soos, Z.G., Pascal, Jr.R.A. 2000. Charge-separation energy in films of  $\pi$ -conjugated organic molecules. *Chemical Physics Letters*, 327, 181-188.
- (46) Gupta, R.K., Cavas, M., Yakuphanoglu, F. 2012. Structural and optical properties of nanostructure CdZnO films,” *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 95, 107–113.
- (47) Urbach, F. 1953. The long-wavelength edge of photographic sensitivity and of the electronic absorption of solids. *Physical Review*, 92, 1324–1324.
- (48) Farag, A.A.M., Mansour, A.M., Ammar, A.H., Abdel Rafea, M. 2011. Characterization of electrical and optical absorption of organic based methyl orange for photovoltaic application. *Synthetic Metals*, 161, 2135–2143.
- (49) El-Nahass, M.M., Farag, A.M., Abd El-Rahman, K.F., Darwish, A.A.A. 2005. Dispersion studies and electronic transitions in nickel phthalocyanine thin films,” *Optics & Laser Technology*, 37, 513–523.

- (50) El-Ghamaz, N.A., El-Sonbati, A.Z., Diab, M.A., El-Bindary, A.A., Seyam, H.A. 2013. Optical properties of thermally evaporated 4-(4-nitrobenzalideneamino) antipyrine Schiff base thin films. *Solid State Sciences*, 19, 19–26.
- (51) Mahr, H. 1962. Ultraviolet absorption of KI diluted in KCl crystals. *Physical Review*, 125, 1510–1516.
- (52) Yakuphanoglu, F., Çukurovalı, A., Yılmaz, I. 2004. Single-oscillator model and determination of optical constants of some optical thin film materials. *Physica B*, 353, 210–216.
- (53) Wemple, S.H., DiDomenico, Jr. M. 1971. Behavior of the electronic dielectric constant in covalent and ionic materials. *Physical Review B*, 3, 1338-1351.
- (54) Zeyada, H.M., El-Nahass, M.M., Samak, S.A. 2012. Effect of  $\gamma$ -ray irradiation on structure formation and optical constants of thermally evaporated rhodamine B thin films. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 358, 915–920.
- (55) El-Nahass, M.M., El-Gohary, Z., Soliman, H.S. 2003. Structural and optical studies of thermally evaporated CoPc thin films. *Optics & Laser Technology*, 35, 523 – 531.
- (56) El-Nahhas, M.M, Abdel-Khalek, H., Salem, E. 2012. Structural and Optical Properties of Nano crystalline 3,4,9,10-Perylene-Tetracarboxylic-Diimide Thin Film. *Advances in Condensed Matter Physics*, 2012, 1-7.
- (57) Wemple, S.H., DiDomenico, Jr.M. 1970. Theory of the elasto-optic effect in nonmetallic crystals. *Physical Review B*, 1, 193-202.
- (58) Sellmeier equation. [http://en.wikipedia.org/wiki/Sellmeier\\_equation](http://en.wikipedia.org/wiki/Sellmeier_equation) web adresinden 12 Şubat 2013 tarihinde edinilmiştir.

- (59) Abdel-Aziz, M.M., Yahia, I.S., Wahab, L.A., Fadel, M., Afifi, M.A. 2006. Determination and analysis of dispersive optical constant of TiO<sub>2</sub> and Ti<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin films. *Applied Surface Science*, 252, 8163–8170.
- (60) Wagner, T. Krbal, M., Kohoutek, T., Peina, V., Vlek, M., Vlek, M., Frumar, M. 2003. Kinetics of optically- and thermally-induced diffusion and dissolution of silver in spin coated As<sub>33</sub>S<sub>67</sub> amorphous films; their properties and structure. *Journal Non-Crystalline Solids*, 326, 233-237.
- (61) Tichy, L., Ticha, H., Nagels, P., Callaerts, R., Mertens, R., Vlcek, M. 1999. Optical properties of amorphous As-Se and Ge-As-Se thin films. *Materials Letters*, 39, 122-128.
- (62) Al-Ghamdi, A.A., Mahmoud, W.E., Yaghmour, S.J., Al-Marzouki, F.M. 2009. Structure and optical properties of nanocrystalline NiO thin film synthesized by sol-gel spin-coating method,” *Journal of Alloys and Compounds*, 486, 9-13.
- (63) Abdolazadeh Ziabari, A., Ghodsi F.E. 2011. Optoelectronic studies of sol-gel derived nanostructured CdO-ZnO composite films. *Journal of Alloys and Compounds*, 509, 8748-8755.
- (64) Kremer, F. 2002. Dielectric spectroscopy – yesterday, today and tomorrow. *J. Non-Cryst. Solids*, 305, 1-9.
- (65) Abdel-Aziz, M.M., El-Metwally, E.G., Fadel, M., Labib, H.H., Afifi, M.A. 2001. Optical properties of amorphous Ge-Se-Tl system films. *Thin Solid Films*, 386, 99–104.
- (66) Karadeniz, S. 2007. <sup>60</sup>Co  $\gamma$ -ray irradiation effects on dielectric characteristics of tin oxide films of different thicknesses on n-type Si(111) substrates. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 260, 571-578.

- (67) Macedo, P.B., Moynihan, C.T., Bose, R. 1972. The role of ionic diffusion in polarisation in vitreous ionic conductors. *Physics and Chemistry of Glasses*, 13, 171-179, 1972.
- (68) Luth, H. 2001. *Solid Surfaces, Interfaces and Thin Films*, fourth ed. Springer, Berlin.
- (69) Bagheri Khatibani, A., Rozati, S.M. 2013. Synthesis and characterization of amorphous aluminum oxide thinfilms prepared by spray pyrolysis: Effects of substrate temperature. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 363, 121–133.
- (70) El-Nahass, M.M., Farag, A.A.M. 2012. Structural, optical and dispersion characteristics of nanocrystalline GaN films prepared by MOVPE. *Optics & Laser Technology*, 44, 497–503.
- (71) Ziabari A.A., Ghodsi, F.E. 2011. Optoelectronic studies of sol-gel derived nanostructured CdO–ZnO composite films. *Journal of Alloys and Compounds*, 509, 8748-8755.
- (72) Dongol, M., El-Nahass, M.M., El-Denglawey, A., Elhady, A.F., Abuelwafa, A.A. 2012. Optical Properties of Nano 5,10,15,20-Tetraphenyl-21H,23H- Prophyrin Nickel (II) Thin Films. *Current Applied Physics*, 12, 1178-1181.

## ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Ankara’da doğdu. İlk, Orta ve Lise öğrenimini Ankara’da tamamladı.2007 yılında girdiği Giresun Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden Haziran 2011’de birincilikle mezun oldu. Aynı yıl girdiği Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans programında eğitimine devam etmektedir.

### **Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) :**

1- **Hatice Gürel**, Behzad Barış, Birol Ertuğral, Ömer Faruk Yüksel, “Organik yarıiletken rubrene ince filmin optik özelliklerinin incelenmesi”, Giresun Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi, Proje No: FEN-BAP-A-160512-26, Haziran 2013.

### **Uluslararası Yayınlar :**

1- Nihat Tuğluoğlu, Behzad Barış, **Hatice Gürel**, Serdar Karadeniz, Ömer Faruk Yüksel, “Investigation of optical band gap and device parameters of rubrene thin film prepared using spin coating technique” **Journal of Alloys and Compounds**, Volume 582, 5 January 2014, Pages 696-702.

2- **Hatice Gürel**, Nihat Tuğluoğlu, Behzad Barış, Serdar Karadeniz, Ömer Faruk Yüksel, Zeynep Kışnişçi “Optical dispersion and dielectric properties of rubrene film” Uluslararası bir dergiye incelemeye gönderildi.

### **Uluslararası Kongreler :**

1- **Hatice Gürel**, Behzad Barış, Nihat Tuğluoğlu, Serdar Karadeniz, Ömer Faruk Yüksel, “Investigation of some optical parameters of rubrene thin film” Türk Fizik Derneği 30. Uluslararası Fizik Kongresi (TFD 30), 2-5 Eylül 2013, sayfa no:513

2- **Hatice Gürel**, Nihat Tuğluoğlu, Behzad Barış, Serdar Karadeniz, Ömer Faruk Yüksel, Zeynep Kışnişçi, “Optical dielectric and conductivity properties of 5,6,11,12 Tetraphenylnaphthacene thin films” Türk Fizik Derneği 30. Uluslararası Fizik Kongresi (TFD 30), 2-5 Eylül 2013, sayfa no:514