



GİRESUN
ÜNİVERSİTESİ



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORGANİK TABANLI GÜNEŞ PİLLERİNDE KULLANILABİLECEK
İNCE FİLMLEİN OPTİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Enerji Sistemleri Mühendisliği

Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Emrah KULOĞLU

20152108001

2019

GİRESUN



T.C.

GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ORGANİK TABANLI GÜNEŞ PİLLERİNDE KULLANILABİLECEK
İNCE FİLMLERİN OPTİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

EMRAH KULOĞLU

Temmuz 2019

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

**ORGANİK TABANLI GÜNEŞ PİLLERİNDE
KULLANILABİLECEK İNCE FİLMLERİN
OPTİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emrah KULOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : Enerji Sistemleri Mühendisliği
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Serdar KARADENİZ

Temmuz 2019

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

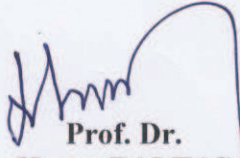
**ORGANİK TABANLI GÜNEŞ PİLLERİNDE
KULLANILABİLECEK İNCE FİLMLERİN OPTİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

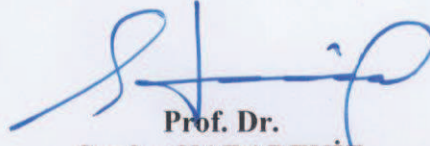
YÜKSEK LİSANS TEZİ

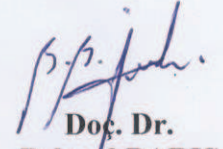
Emrah KULOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : Enerji Sistemleri Mühendisliği

Bu tez 08/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.


**Prof. Dr.
Hasan BALTAŞ
Jüri Başkanı**


**Prof. Dr.
Serdar KARADENİZ
Üye**


**Doç. Dr.
Behzad BARIŞ
Üye**

**Doç. Dr.
Bahadır KOZ
Enstitü Müdürü**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Emrah KULOĞLU

08/07/2019

TEŞEKKÜR

“Organik Tabanlı Güneş Pillerinde Kullanılabilecek İnce Filmlerin Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi” isimli yapılan bu çalışma, 2018-2019 Eğitim-Öğretim yılında Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlandı.

Bu çalışmada karşılaştığım güçlükleri çözmekte engin bilgilerinden faydalanma imkânı bulduğum, yakın alakası ile birçok hususta bana yol göstermiş, ayrıca teşvikleriyle bilhassa çalışmalarım boyunca her türlü desteği sağlayan değerli danışman hocam Prof.Dr. Serdar KARADENİZ hocama teşekkürlerimi sunmak, benim için yerine getirilmesi gereken en zevkli vazifedir.

Bu çalışmanın deneysel aşamalarında bilgi ve deneyimlerini bizimle paylaşan, yardımlarını da bizden esirgemeyen Giresun Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Öğretim Üyelerinden Doç.Dr. Behzad BARIŞ hocama da teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca çalışmalarım boyunca örneklerin hazırlanması, döndürme tekniği ile spin kaplamaların yapılması ve optik özelliklerin incelenmesi esnasında laboratuvarlarını kullandığımız Giresun Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Araştırma Laboratuvarı çalışanlarına da çok teşekkür ederim.

SEM ve XRD spektrumlarının eldesinde yardımlarını esirgemeyen Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi öğretim elemanlarından Öğr.Gör.Dr. Murat ŞİRİN’e de ayrıca teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde en büyük pay sahibi olan, maddi ve manevi destekleriyle sürekli yanımda olan aileme en içten saygı, sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	II
İÇİNDEKİLER	III
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	IX
ÖZET.....	XII
SUMMARY	XIII
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
2.1. Organik Yarıiletkenler ve Çeşitleri.....	3
2.1.1. Organik yarıiletkenlerin özellikleri.....	5
2.1.2. Organik yarıiletkenlerin uygulamaları.....	8
2.2. Coronene Organik Yarıiletken.....	12
2.2.1. Genel özellikler.....	12
2.3. Optiksel Temel Kavramlar	13
2.3.1. Elektromanyetik radyasyon	13
2.3.2. Işığın katılar ile etkileşimi	16
2.3.3. Atomik ve elektronik düzeydeki etkileşimler	17
2.3.4. Metallerin optiksel özellikleri.....	19
2.3.5. Metal olmayan malzemelerin optik özellikleri	20
2.3.6. Kırılma	21
2.3.7. Yansıma	22
2.3.8. Soğurma	23
2.3.9. Geçirgenlik.....	26
2.3.10. Renk	27

2.4. Yarıiletkenlerin Optik Özellikleri.....	28
2.4.1. Temel soğurma olayı	28
2.4.2. Direkt bant geçişi.....	30
2.4.3. İndirekt bant geçişi.....	33
 BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	35
3.1. Cam Alt Tabakaların Temizlenmesi	35
3.2. Numune Hazırlanmasında Kullanılan Cihazlar	36
3.2.1. Numune tartım cihazı.....	36
3.2.2. Manyetik karıştırıcı.....	36
3.2.3. Mikro pipet	37
3.2.4. Cam malzeme temizleme cihazı	37
3.3. Coronene İnce Filmlerin Hazırlanması.....	38
3.4. Döndürme ile Kaplama (Spin Coater) Yöntemi	38
3.5. Ölçümlerde Kullanılan Cihazlar	41
3.5.1. UV-VIS spektrofotometresi.....	41
3.5.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	43
3.5.3. X-ışını kırınım cihazı (XRD).....	44
 BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	46
4.1. Soğurma (A), Geçirgenlik (T) ve Yansıma (R) Spektrumları	46
4.1.1. Soğurma spektrumları.....	46
4.1.2. Geçirgenlik spektrumları	47
4.1.3. Yansıma spektrumları.....	47
4.2. Coronene İnce Filmlerin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Analizi... 48	
4.3. Coronene İnce Filmlerin X-ışını Difraktometresi (XRD) ile Analizi.....	51
 BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ	52
 KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	57

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simgeler

β	: Absorbsiyon katsayısı
$\text{\AA}$	: Angstrom
ϵ_0	: Boşluğun dielektrik sabiti
λ	: Dalga boyu
E_e	: Elektronun enerjisi
m_e^*	: Elektronun etkin kütlesi
E	: Enerji
ν	: Frekans
T	: Geçirgenlik katsayısı
λ_g	: Gelen foton dalga boyu
E_h	: Hollerin enerjisi
m_h^*	: Holün etkin kütlesi
c	: Işık hızı
I	: Işık şiddeti
E_i	: İletim bandının enerjisi
n	: Kırılma indisi
l	: Malzemenin kalınlığı
μ_0	: Manyetik geçirgenlik

μ	: Manyetik geçirgenlik sabiti
π	: Pi
h	: Planck sabiti
ϵ_r	: Relatif dielektrik sabiti
μ_r	: Relatif manyetik geçirgenlik sabiti
$^{\circ}\text{C}$	: Selsius derece
σ	: Sigma
α	: Soğurma katsayısı
k	: Sönüm katsayısı
E_v	: Valans bantının enerjisi
ϵ	: Yarıiletkenin dielektrik sabiti
E_g	: Yasak enerji aralığı

Kısaltmalar

I	: Akım
Au	: Altın
Al	: Alüminyum
BaO	: Baryum oksit
DC	: Doğru akım
eV	: Elektron volt
LUMO	: En düşük enerjili boş orbital
HOMO	: En yüksek enerjili dolu orbital
E_f	: Fonon enerjisi
PMT	: Fotomultiplier tüp
T	: Geçirgenlik

Ge	: Germanyum
VIS/NIR	: Görünür bölge/yakın kırmızı ötesi
Hz	: Hertz
I_T	: İletilen ışın şiddeti
İB	: İletim bantı
InGaAs	: İndiyum galyum arsenit
ITO	: İndiyum kalay oksit
IR	: Kızıl ötesi
kHz	: Kilohertz
PbS	: Kurşun kükürt
PbO	: Kurşun oksit
Mg	: Magnezyum
I_0	: Malzemeye gönderilen ışın şiddeti
MHz	: Megahertz
UV	: Morötesi
nm	: Nanometre
OFET	: Organik alan etkili transistör
OPVC	: Organik fotovoltaiik hücre
OLED	: Organik ışık yayan diyet
OTFT	: Organik ince film transistör
PLED	: Polimer ışık yayan diyet
RF	: Radyo frekans
T	: Sıcaklık
Si	: Silisyum
SiO ₂	: Silisyum dioksit
A	: Soğurma

I_A	: Soğurulan ışın şiddeti
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
THF	: Tetrahidrofuran
VB	: Valans bandı
R	: Yansıma
I_R	: Yansıyan ışın şiddeti
E_g	: Yasak enerji aralığı



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Küçük moleküllere dayalı organik yarıiletkenlerin yapısı	3
Şekil 2.2. (a) ve (b) σ ve π bağlarında elektron dağılımı, (c) ve (d) ise anti-bağ σ^* ve π^* orbitallerinin yük-yoğunluğu dağılımı.....	4
Şekil 2.3. Elektronik geçişler	5
Şekil 2.4. Enerji seviyelerinin bant oluşturmaları.....	6
Şekil 2.5. Yalıtkan, yarıiletken ve iletken için enerji bant yapısı	6
Şekil 2.6. HOMO ve LUMO molekül diyagramı	7
Şekil 2.7. N konjugasyonlu polimerlerde bant oluşumu.....	8
Şekil 2.8. OLED yapısı	9
Şekil 2.9. Kaynak, geçit ve savak kontakların altta olduğu OTFT şeması	10
Şekil 2.10. P3HT:PCBM güneş hücresi	11
Şekil 2.11. Coronene tozu	12
Şekil 2.12. Coronene molekülünün, (a) yapısal formülü ($C_{24}H_{12}$) (b) üç boyutlu resmi.....	13
Şekil 2.13. Elektrik alan E, manyetik alan H ve dalga boyu λ bileşenleri ile bir elektromanyetik dalganın gösterimi	14
Şekil 2.14. Görünür spektrum çeşitli renkler için dalga boyu aralıkları dahil olmak üzere elektromanyetik radyasyon spektrumu.....	14
Şekil 2.15. İzole bir atom için, bir enerji durumundan diğerine bir elektronun uyarılması ile foton soğurulmasının şematik gösterimi	18
Şekil 2.16. (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.....	20
Şekil 2.17. Prizmadan geçen ışığın renklere ayrılması	21

Şekil 2.18. (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.....	24
Şekil 2.19. Geçirgen bir madde boyunca ışığın geçişi	26
Şekil 2.20. Bir yeşil cam boyunca gelen ışığın iletilme, absorbe ve yansıma kesirlerinin dalga boyuna göre değişimleri	27
Şekil 2.21. Yarıiletkende temel soğurma spektrumu	29
Şekil 2.22. Bir yarıiletkende direkt bant geçişi	31
Şekil 2.23. Direkt bant geçişinde enerji durumlarının gösterimi	32
Şekil 2.24. İndirekt bant geçişi.....	33
Şekil 3.1. WUC-A06H marka ultrasonik temizleyici	35
Şekil 3.2. Ohaus marka hassas terazi cihazı.....	36
Şekil 3.3. Heidolph marka manyetik karıştırıcı	36
Şekil 3.4. Isolab marka mikropipet	37
Şekil 3.5. UVO marka (Cleaner model no 42-220) ozonla temizleme cihazı.....	37
Şekil 3.6. VCT-100 marka döndürme ile kaplama (spin coater) sistemi	39
Şekil 3.7. Spin kaplama yönteminin şeması	39
Şekil 3.8. Döndürme ile kaplamanın dört aşaması.....	40
Şekil 3.9. Shimadzu® UV-3600 UV/VIS/NIR spektrofotometre	42
Şekil 3.10. Spektrofotometre sisteminin şematik gösterimi.....	42
Şekil 3.11. Jeol® JSM-6610 taramalı elektron mikroskobu (SEM)	44
Şekil 3.12. Rigaku® SmartLab difraktometre (XRD)	45
Şekil 4.1. Coronene kaplı ince filmlerin oda sıcaklığında soğurmanın dalga boyu ile değişimi	46
Şekil 4.2. Coronene kaplı ince filmlerin oda sıcaklığında geçirgenliğin dalga boyu ile değişimi	47
Şekil 4.3. Coronene kaplı ince filmlerin oda sıcaklığında yansımanın dalgaboyu ile değişimi	48
Şekil 4.4. 3x100µl'lik Coronene kaplı ince filmin SEM görüntüsü	49
Şekil 4.5. 10x100µl'lik Coronene kaplı ince filmin SEM görüntüsü.....	49
Şekil 4.6. 3x100µl'lik Coronene kaplı ince filmin ortalama kalınlığının (2,11µm) SEM görüntüsü	50

Şekil 4.7. 10x100µl'lik Coronene kaplı ince filmin ortalama kalınlığının (7,54µm) SEM görüntüsü	50
Şekil 4.8. Coronene kaplı ince filmlerin XRD spektrumu	51



ORGANİK TABANLI GÜNEŞ PİLLERİNDE KULLANILABİLECEK İNCE FİMLERİN OPTİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında, coronene organik yarıiletken ince filmlerin döndürme ile kaplama tekniği ile hazırlanması ve optik karakterizasyonu amaçlanmıştır. Coronene ince filmlerin optik özellikleri 200-700nm dalga boyu aralığında soğurma, geçirgenlik ve yansıma spektrofotometrik ölçümleri kullanılarak incelenmiştir. Filmlerin 250nm ve 300-310nm dalga boylarında iki adet karakteristik soğurma piki elde edilmiştir. Filmlerin görünür bölgede %85 ile %98 aralığında bir geçirgenliğe ve %11 ile %8,5 aralığında bir yansımaya sahip olduğu görülmüştür.

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak filmlerin x1,000 büyütmeli görüntüleri alınmış, 3x100µl ve 10x100µl'lik örnekler için sırasıyla 2,11µm ve 7,54µm'lik film kalınlığı ölçülmüştür.

X-ışını kırınım analizi kullanılarak $2\theta=9,400^\circ$ 'de coronenenin ana piki gözlemlenmiştir. XRD sonuçlarından görüldüğü üzere 7,54µm kalınlığındaki filmin homojen bir şekilde kaplandığı ve pikinin daha şiddetli olduğu tespit edilmiştir. Bu durum coronenin çözelti içinde daha iyi çözölmüş olduğuna atfedilmiştir. Diğer taraftan, film kalınlıkları XRD ve SEM sonuçlarını desteklemiştir.

Anahtar kelimeler: İnce filmler, organik ince filmler, güneş pilleri, optik özellikler

INVESTIGATION OF OPTICAL PROPERTIES OF THIN FILMS THAT CAN BE USED IN ORGANIC BASED SOLAR CELLS

SUMMARY

In this thesis work, the preparation by spin coating technique and optical characterization have been aimed of coronene organic semiconductor thin films. The optical properties of the coronene thin films have been examined using the spectrophotometric measurements of absorption, transmittance and reflection in the range of 200-700nm wavelengths. Two pieces of characteristic absorption peaks of films have been obtained at 250 and 300-310nm. It has been seen that the films have a transmittance from 85% to 98% and a reflectance from 11% to 8,5% in the visible region.

The film images have been taken using scanning electron microscopy (SEM) with magnifications of x1,000 and measured film thickness 2.11 μ m and 7.54 μ m for 3x100 μ l and 10x100 μ l samples, respectively.

Two main peaks have been observed of coronene at $2\theta=9,400$ using x-ray diffraction analysis. As seen from XRD results, it has been detected that the coronene film with thickness of 7.54 μ m given smooth homogeneous coating and severe peak. This attributed to better dissolving of coronene solution. On the other hand, the film thickness have been supported the XRD and SEM results.

Keywords: Thin films, organic thin films, solar cells, optical properties

BÖLÜM 1. GİRİŞ

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 bağlıdır [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].

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRILMASI

Bernanose ve arkadaşları 1950'li yılların başlarında Nancy Üniversitesinde organik bir malzemeye yüksek gerilimli bir alternatif akım (AC) 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 kristallere elektrod kontaklar yaparak bu kontaklardan elektron ve deşik akımı elde edilmesine ilişkin gerekli şartları tanımlamışlardır [6,7]. Bu çalışmalar OLED'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 heteroeklemde etkin bir yük foto üretimi gerçekleştirildiği rapor edilmiştir [10].

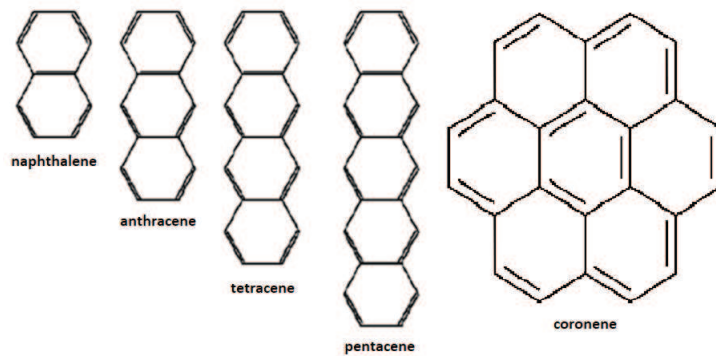
1987 yılında tanımlanan organik alan etkili transistörler (OFET), modern mikro elektronik sektörünün en önemli bölümlerinden biri olmuştur [11]. Organik alan etkili transistörlerin bilinen silikon tabanlı transistörlere göre birçok avantajları vardır. Organik alan etkili transistörler, tek kristal inorganik yarı iletken tabanlı alan

etkili transistörlerle (silisyum ve germanyum) karşılaştırıldığında, elde edilen yük taşıyıcı mobilite değeri çok düşüktür. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda tek kristal tabanlı organik alan etkili transistörlerde daha verimli mobilite değerleri elde edilmiş olup, bu değerler ile amorf silikon tabanlı transistörlerin mobilite değerlerine ulaşılmıştır [12].

2.1. Organik Yarıiletkenler ve Çeşitleri

Organik yarıiletkenler iki gruba ayrılmaktadır. İlk grup olan küçük moleküller; tekrarlanamayan bir yapıya sahiptirler yani monomerdirler. Küçük organik moleküller düşük molekül ağırlığına sahiptirler. Şekil 2.1.'de bazı küçük moleküller gösterilmektedir.

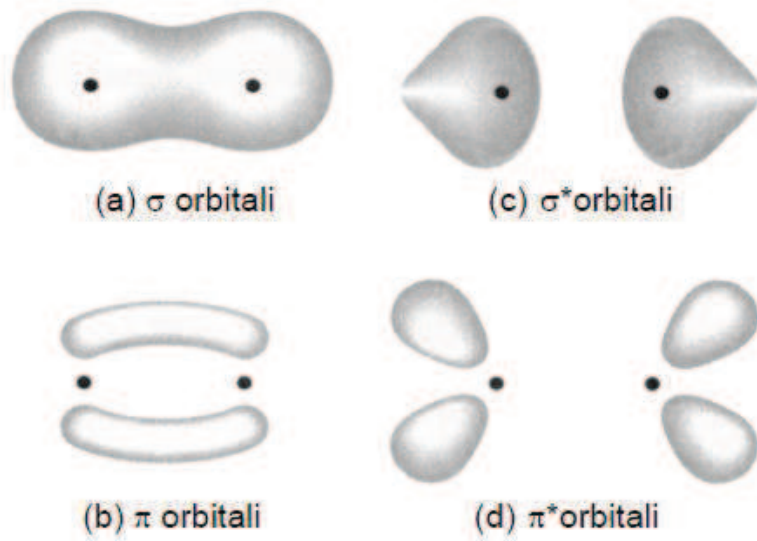
Benzen halkalarının birbirleriyle bağlanmasıyla lineer acene molekülleri oluşturulmaktadır. Bu moleküller yüksek kaliteli yarıiletken kristaller oluşturmaktadır. Acene moleküllerinde karbonlar sp^2 hibritleşmesine sahiptirler ve karbonun σ bağları tarafından komşu atomlara bağlanmaktadır. $2s$, $2p_x$ ve $2p_y$ karbon atomunun orbitalleri hibritleşmektedir ve üç σ bağdan oluşturulmaktadır. Kalan $2p_z$ orbitali bir π bağ oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Elektronların delokalizasyonu, bir molekül içindeki moleküler zincirleri boyunca π orbitalleri arasındaki örtüşme yoluyla gerçekleşmektedir. Şekil 2.2.'de listelenen organik yarıiletkenler karbon atomlarının π orbitalleri, π bağ ile birbirine tutulan bir konjuge π -elektron sistemine sahiptir.



Şekil 2.1. 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.

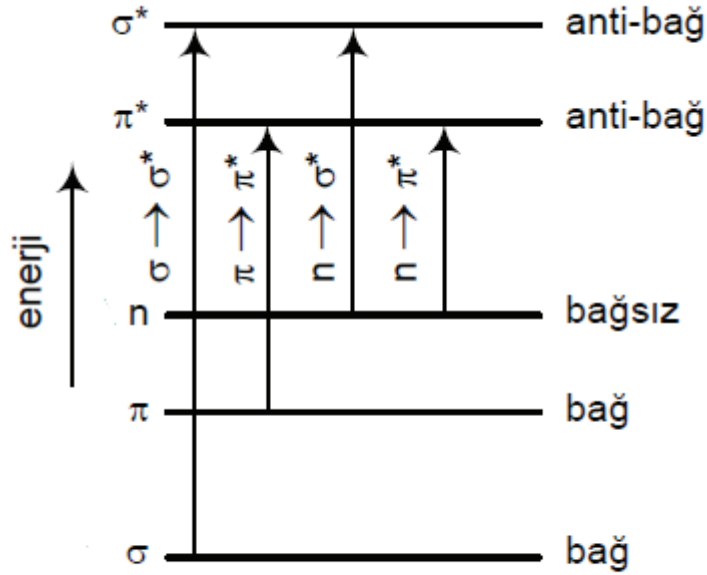
Tüm elektronik malzemeler (monomer veya polimer) konjuge bağlardan ana zincir içermektedir. Bu yapı moleküllerdeki iletkenliğin sağlanması için önemlidir [13]. Küçük moleküller de polimerlerde moleküllerdeki sp^2 hibritleşmiş karbon atomlarının P_z orbitallerinden oluşan ortak bir konjuge π elektron sistemine sahiptir. π bantları σ 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 2.2. (a) ve (b) σ ve π bağlarında elektron dağılımı, (c) ve (d) ise anti-bağ σ ve π orbitallerinin yük-yoğunluğu dağılımı

$\pi - \pi^*$ geçişleri soğurma spektroskopisinin organik bileşiklere uygulanmasında yararlanılan elektronik geçişlerin hemen hepsi π elektronlarının π^* uyarılmış duruma geçirilmesi temeline dayanmaktadır; bu işlemler için gerekli enerjiler

absorbsiyon piklerinin uygun spektral bölgede (200-700 nm) bulunmasını sağlamaktadır. Şekil 2.3.'te dört elektronik geçiş görülmektedir; bunlar $\sigma \rightarrow \sigma^*$, $n \rightarrow \sigma^*$, $n \rightarrow \pi^*$ ve $\pi \rightarrow \pi^*$ dır [14].

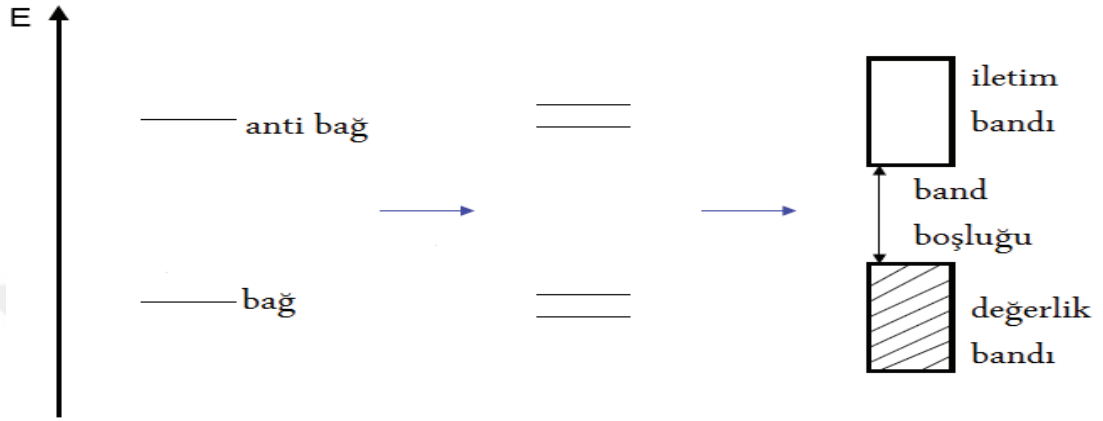


Şekil 2.3. Elektronik geçişler

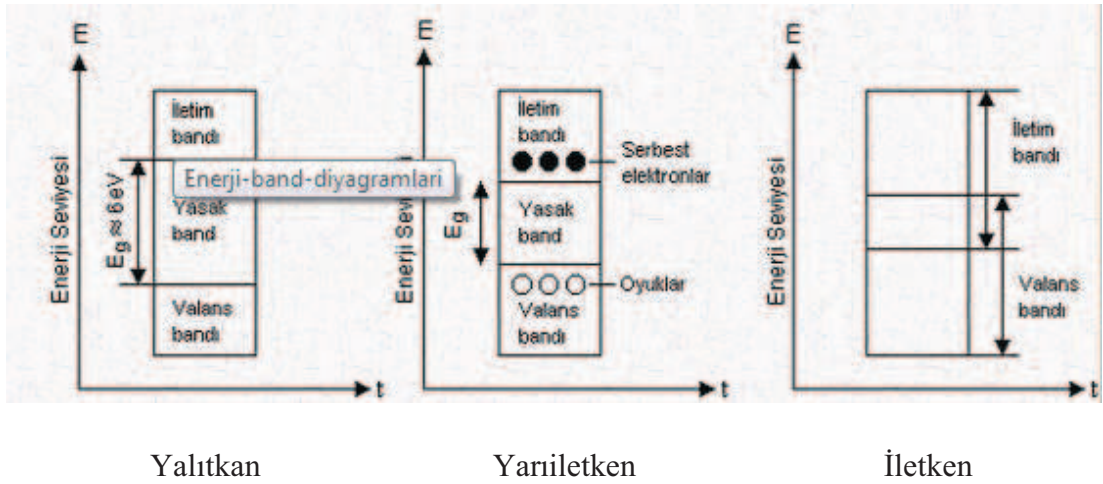
2.1.1. Organik yarıiletkenlerin özellikleri

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 bandı (valans bandı) denilmektedir. Anti bağ orbitallerinin oluşturduğu düşük enerjili boş banda iletim bandı denilmektedir [1]. Bu bantlar arasındaki enerji farkına da yasak enerji aralığı (E_g) denilmektedir. Şekil 2.4.'te enerji seviyelerinin iletim ve valans bandı oluşturması verilmiştir. Yalıtkan, yarıiletken ve iletkenlerin bant aralıkları ise Şekil 2.5.'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 2.4. Enerji seviyelerinin bant oluşurması [1]

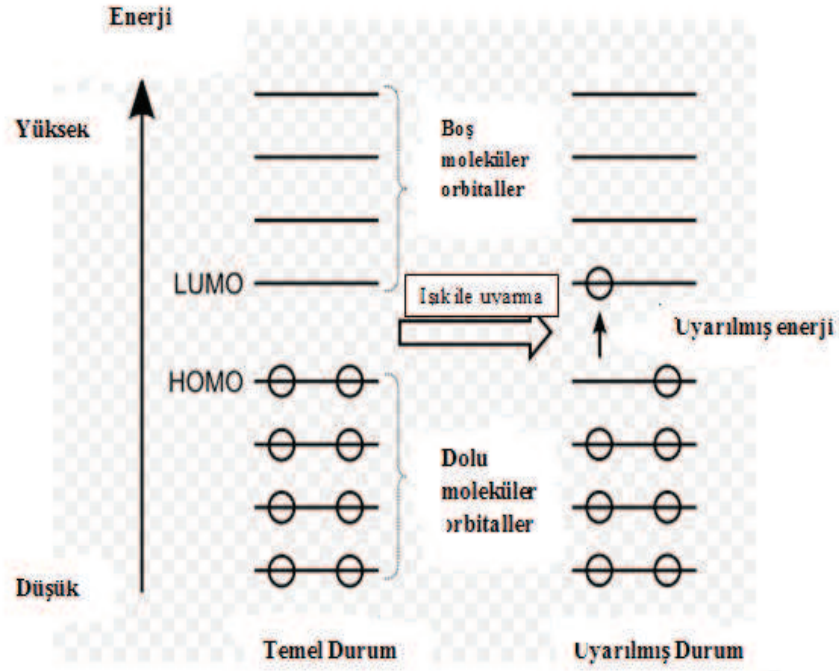


Şekil 2.5. Yalıtkan, yarıiletken ve iletken için enerji bant yapısı [15]

Polimer gibi organik malzemelerde ise düşük enerji ve yüksek enerji bantlarına sırasıyla; dolu olan en yüksek enerji orbitaline (Highest Occupied Molecular Orbital) HOMO ve boş olan en düşük enerji orbitaline (Lowest Unoccupied Molecular

Orbital) LUMO adı verilmektedir. Şekil 2.6.'da HOMO ve LUMO molekül diyagramı gösterilmektedir [16].

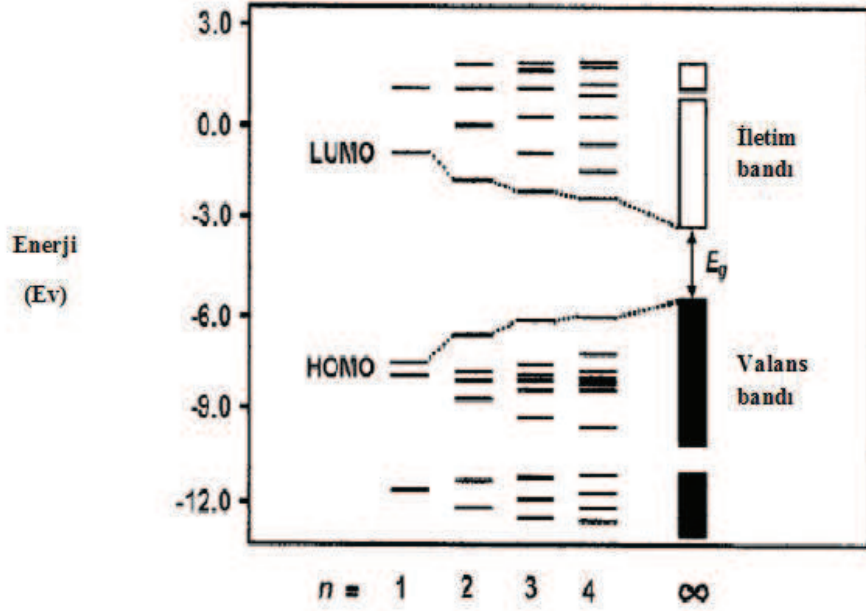
Yalıtkan polimerlerde HOMO ve LUMO arasında geniş bir yasak enerji aralığı vardır. Ancak iletken polimerler konjuge bağlardan oluşmaktadır. Polimer zinciri üzerinde birbirini takip eden tek ve çift bağlara sahip olan konjuge polimerlerde bant yapısı delokalize olan π bağlarının tekrarlanması ile oluşmaktadır. Konjugasyon arttıkça HOMO ve LUMO enerji seviyeleri arasındaki fark gittikçe azalmaktadır (Şekil 2.7.). Böylece bantlar arası mesafe azaldığı için bu tür konjuge polimerler yarıiletken gibi davranarak düşük voltaj uygulandığında elektrik akımını iletmektedir.



Şekil 2.6. HOMO ve 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 ayrılp 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].



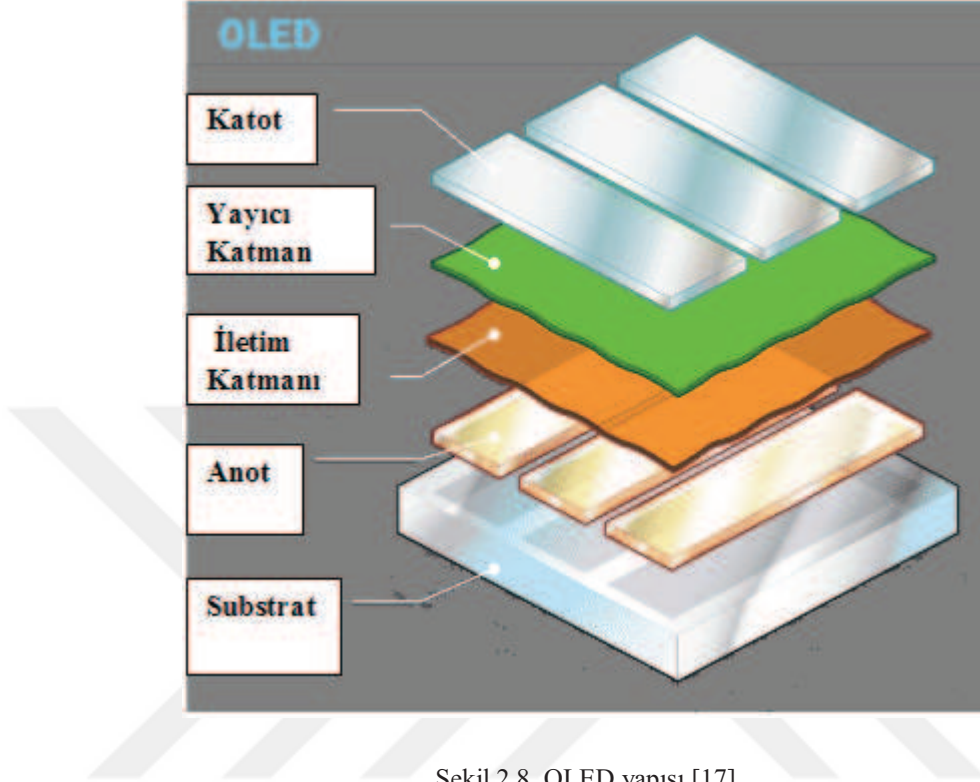
Şekil 2.7. N konjugasyonlu polimerlerde bant oluşumu [1]

2.1.2. 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 daha kolaydır [17].



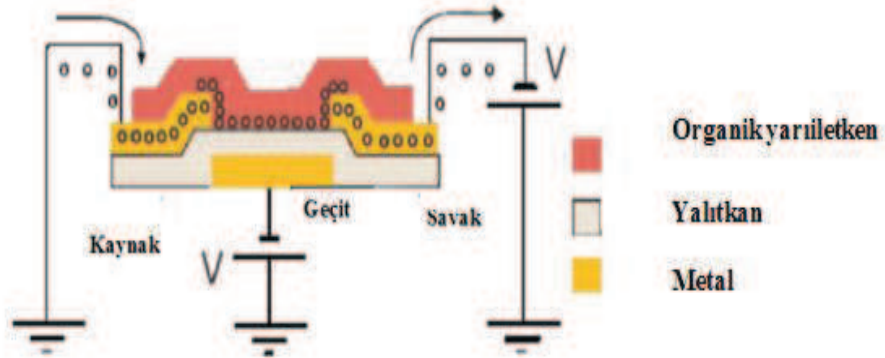
Şekil 2.8. OLED yapısı [17]

OLED'in yapısında; alttabaka (substrat) 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 [17].

OLED'lerin çalışma mekanizması şu şekildedir: Anot ve katot arasına 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 gelecek vaat eden 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 2.9.'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].

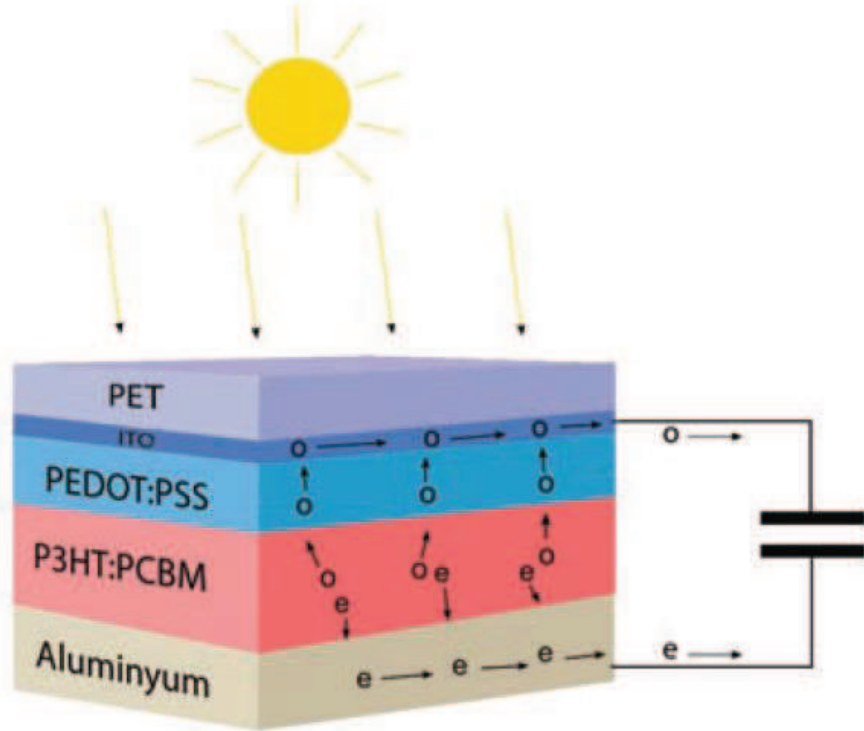


Şekil 2.9. Kaynak, geçit ve savak kontakların altta olduğu OTFT şeması

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 oldukça ince film yapabilme özellikleri nedeniyle silikon güneş pillerine alternatif olarak gösterilmektedir.

Organik güneş pilleri, iki elektrot arasına aktif tabaka (polimer) sıkıştırılarak oluşturulur. Şekil 2.10.'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.



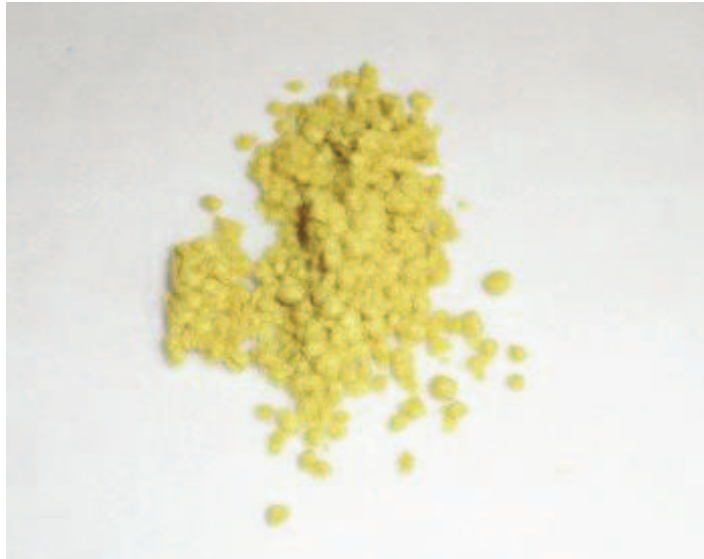
Şekil 2.10. P3HT:PCBM güneş hücresi

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 boşluk (deşik) çiftleri olan eksitonları oluşturmak için kullanmaktadır. ITO ve alüminyum elektrodlarının 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.

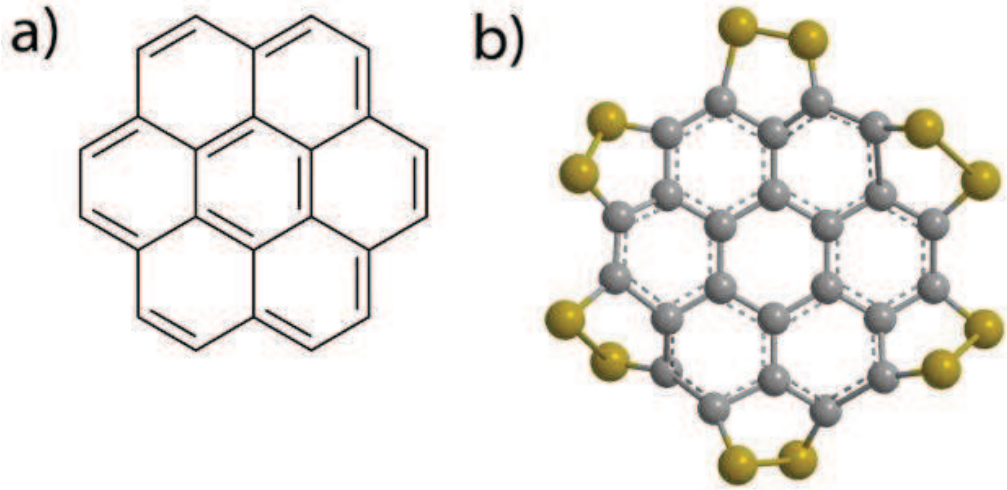
2.2. Coronene Organik Yarıiletken

2.2.1. Genel özellikler

Coronene, Şekil 2.11.'de görüldüğü gibi sarı renkli polycyclic aromatik hidrokarbon olup $C_{24}H_{12}$ formülüne sahiptir [18]. Coronene'in molar kütlesi 300,36 g/mol, yoğunluğu 1,371 g/cm³, kaynama noktası 525 °C ve erime noktası da 437,3 °C'dir [19]. Şekil 2.12. (a) ve (b)'de coronene molekülünün yapısal formülü ve üç boyutlu resmi görülmektedir [20]. Solüsyonları UV ışığı altında mavi ışık floresansı yayar.



Şekil 2.11. Coronene tozu

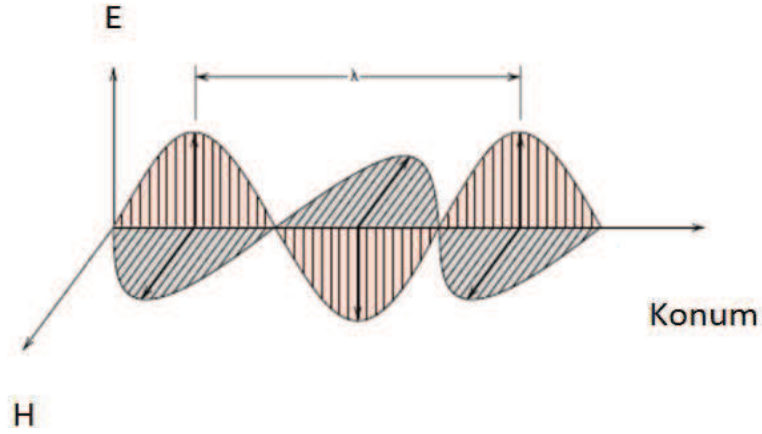


Şekil 2.12. Coronene molekülünün, (a) yapısal formülü ($C_{24}H_{12}$) (b) üç boyutlu resmi [20]

2.3. Optiksel Temel Kavramlar

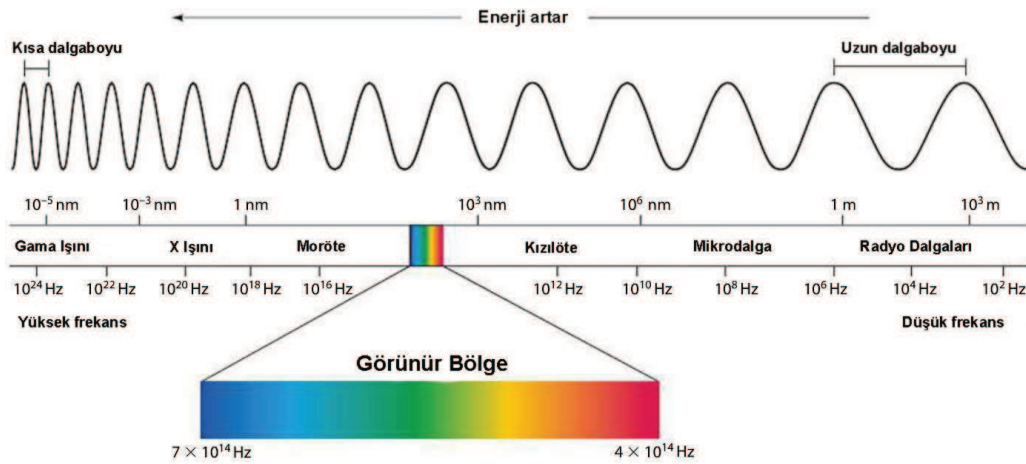
2.3.1. Elektromanyetik radyasyon

Klasik anlamda, elektromanyetik radyasyon birbirlerine ve yayılma yönüne dik olan elektrik ve manyetik alan bileşenden oluşan dalga olarak kabul edilmektedir (Şekil 2.13.). 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 γ -ışınlarında en geniş aralığı 10^{-12} m (10^{-3} nm) dalga boyunda, X-ışınları, morötesi (UV), görünür, kızıl ötesi ve radyo dalgaları yoluyla dalga boyu ise 10^5 m kadar uzundur. Bu spektrum, logaritmik bir ölçekte, Şekil 2.14.'te gösterilmiştir [21].



Şekil 2.13. Elektrik alan E, manyetik alan H ve dalga boyu λ bileşenleri ile bir elektromanyetik dalganın gösterimi [21]

Görünür ışık, spektrumun çok dar bir bölgesi içinde yer alır ve dalga boyları yaklaşık $0,4 \mu\text{m}$ ($4 \times 10^{-7} \text{m}$) 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. Beyaz ışık tüm renklerin karışımından oluşmaktadır. Devam eden görüşler öncelikle bu görünür radyasyon ile ilgilidir, tanımı gereği sadece görünür radyasyon göz için duyarlıdır.



Şekil 2.14. Görünür spektrum çeşitli renkler için dalga boyu aralıkları dahil olmak üzere elektromanyetik radyasyon spektrumu

Her elektromanyetik radyasyon boşluğu aynı hızla yani 3×10^8 m/s (186.000 mil/s) hızla geçmektedir. Bu hız aşağıdaki denklemdeki gibi ifade edilmektedir.

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

c = ışık hızı, ϵ_0 = boşluğun dielektrik sabiti, μ_0 = manyetik geçirgenlik

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.

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

c = ışık hızı, λ = dalga boyu, ν = frekans

Frekans hertz cinsinden ifade edilmektedir ve saniyede 1 Hz = 1 devir olarak bilinmektedir. Elektromanyetik radyasyonun farklı formları için frekans aralıkları da spektrumda dahildir.

Işığın hem parçacık hem de dalga karakteristikleri bulunmaktadır. 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.

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

E = enerji, h = planck sabiti ($6,62 \times 10^{-34}$ J-s).

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

2.3.2. 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 ışının şiddeti I_0 , iletilen, soğurulan ve yansıyan şiddetlerinin toplamına eşit olmalıdır. İletilen, soğurulan ve yansıyan ışının şiddetleri sırasıyla I_T, I_A, I_R ile gösterilmekte ve aşağıdaki denklemde gibi ifade edilmektedir [21].

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

I_0 = gönderilen ışın şiddeti, I_T = iletilen ışın şiddeti,

I_A = soğurulan ışın şiddeti, I_R = yansıyan ışın şiddeti

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 [21].

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

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.

2.3.3. 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 [21].

2.3.3.1. Elektronik polarizasyon

Elektromanyetik dalganın bir bileşeni hızla değişen elektrik alandır (Şekil 2.13.). 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 [21]:

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

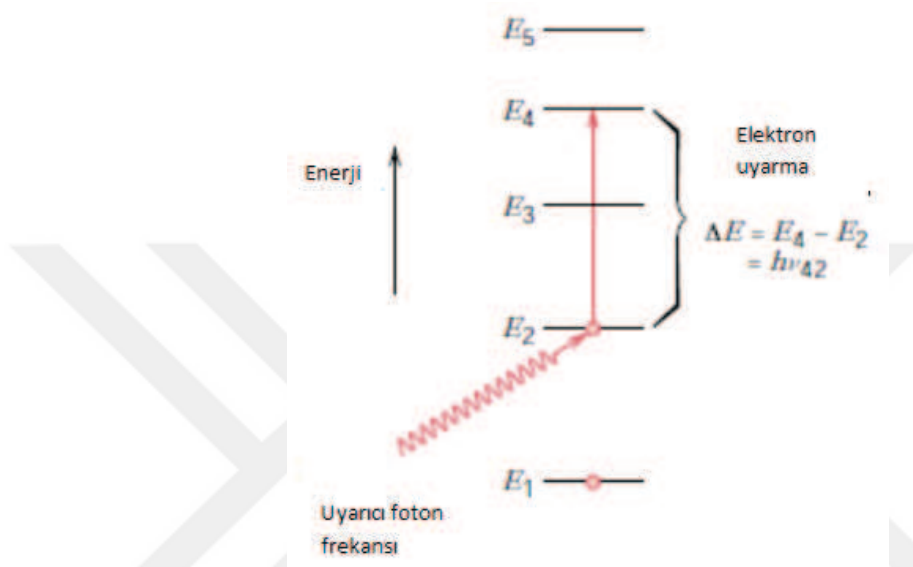
2.3.3.2. Elektron enerji geçişleri

Elektromanyetik radyasyonun soğurma veya yayılımı, uyarılmış bir enerji düzeyinden diğerine elektron geçişleri ile ilgilidir. İzole bir atomun elektron enerji diyagramı Şekil 2.15.'deki gibi gösterilmektedir. Bir elektron mevcut bulunduğu E_2 enerji düzeyinden uyarılarak, boş ve daha yüksek bir E_4 enerji

düzeyine foton enerjisini absorbe ederek yükselebilmektedir. Elektronun enerji değişimi ΔE , aşağıdaki radyasyon frekansına bağlıdır.

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

ΔE = enerji değişimi, h = planck sabiti



Şekil 2.15. 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 ayırdır, sadece belirli ΔE enerji seviyeleri arasında geçişler mevcuttur böylece atom için olası ΔE '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 enerjiyi geri yayarak ilk (orijinal) enerji düzeyine geri dönmektedir. Bu geri dönüş farklı aşamalardadır. Ancak sonuçta, enerji soğurulması ve yayılması sırasında enerjinin korunumu yasası geçerlidir.

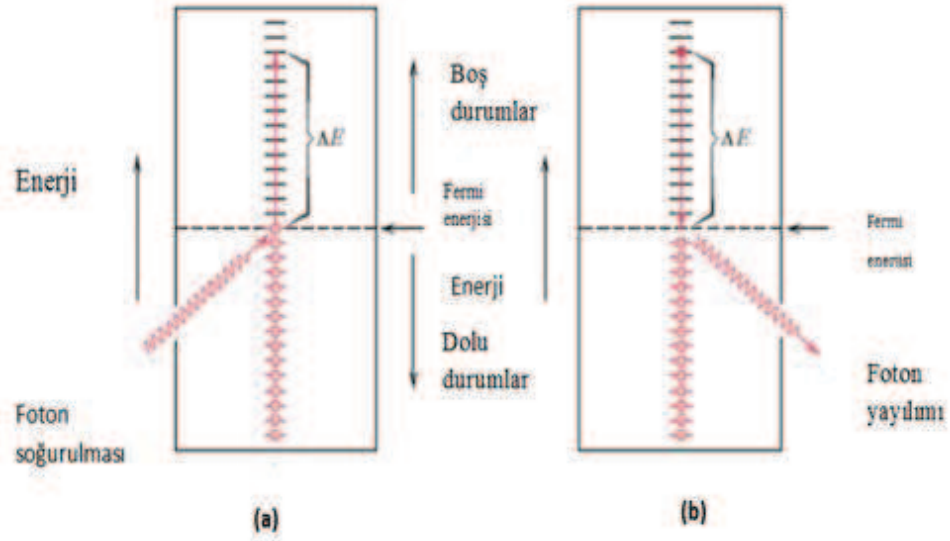
2.3.4. Metallerin optiksel özellikleri

Metaller için elektron enerji bant şemaları Şekil 2.16. (a) ve (b)'de gösterilmektedir [21]. 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 2.16. (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 2.16. (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 γ 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 2.16. (b)'de gösterilmektedir. Çoğu metaller için yansıma 0,90 ve 0,95 arasındadır ve enerjinin geri kalan kısmı ısı enerjisine dönüşmektedir.



Şekil 2.16. (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 [21]

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.

2.3.5. 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.

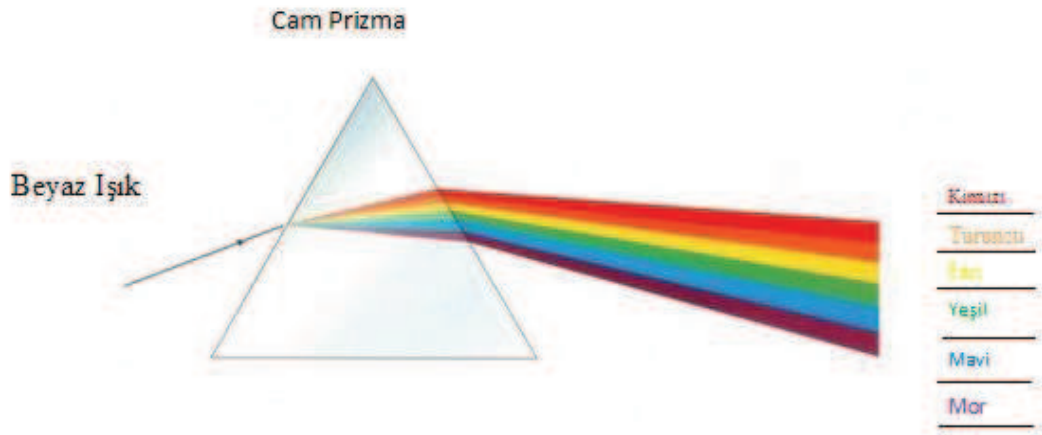
2.3.6. Kırılma

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.

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

n = kırılma indisi, c = ışığın vakumdaki hızı, v = ışığın malzeme içindeki hızı

Kırılma indisinin büyüklüğü (ışığın ne kadar eğildiği) ışığın dalga boyuna bağlıdır. Prizmadan geçen beyaz ışığın renklere nasıl ayrıldığı Şekil 2.17.'de gösterilmektedir [21]. 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 2.17. Prizmadan geçen ışığın renklere ayrılması [21]

c 'nin büyüklüğü denklem (1.1)'deki gibi tanımlanmaktadır ve buna eşdeğer bir ifade olarak ışığın hızı (v) aşağıdaki gibi verilmektedir [21].

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

v = ışığın hızı, ε = dielektrik sabiti, μ = manyetik geçirgenlik sabiti

Denklem (1.7) kullanılarak aşağıdaki ifade elde edilmektedir [21].

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\sqrt{\varepsilon\mu}}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} = \sqrt{\varepsilon_r\mu_r} \quad (1.9)$$

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

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

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.

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. Ortalama kırılma indisi değerleri kristal yapıya sahip seramikler için bulunduğu kırılma indisinin anizotropik olduğu görülmektedir.

2.3.7. 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.

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

I_0 = gelen ışığın şiddeti, I_R = yansıyan ışığın şiddeti

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.

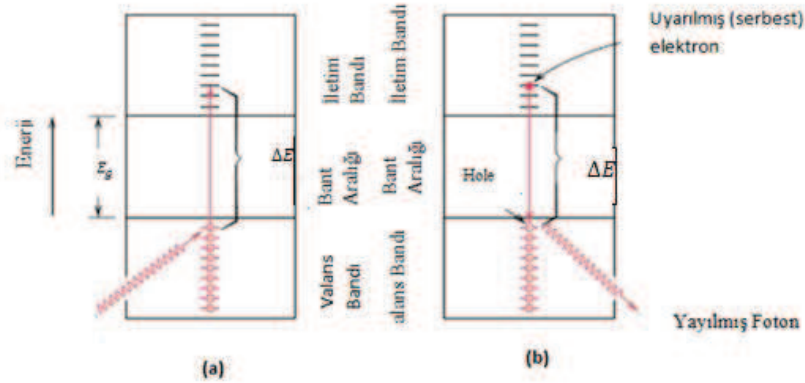
2.3.8. Soğurma

Metal olmayan malzemeler görünür ışığa karşı opak veya geçirgen özellikte olabilmektedir ve metal olmayan malzemeler geçirgenlik özelliğine sahipse renkli görülmektedir [21]. Işık metalik olmayan malzemelerde iki temel mekanizma ile soğurulmaktadır. Bunlar bu tür malzemeler içinde ışığın geçiş karakteristiklerini etkilemektedir. Bunlardan biri elektronik kutuplaşmadır. Elektronik kutuplaşma türünde soğurma sadece, düşük frekanslı (maddeyi oluşturan atomların gevşeme

frekanslarına yakın değerlerde) ışıklar için geçerlidir. Diğer mekanizma valans bandı-iletim bandı elektron geçişlerini içermektedir. Malzemenin elektron bant yapısına (yarıiletken ve yalıtkanlar) 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 2.18. (a)'da gösterilmektedir [21]. Işığın soğurulması sonucunda valans bantında bir boşluk, iletim bantında ise bir serbest elektron oluşmuştur. Ayrıca, denklem (1.6)'da gösterildiği gibi uyarılma enerjisi ΔE 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 2.18. (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 [21]

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 $E_{g(max)}$;

$$\begin{aligned}
E_{g(\max)} &= \frac{hc}{\lambda_{\min}} \\
&= \frac{(4,13 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}) (3 \times 10^8 \text{ m/s})}{4 \times 10^{-7} \text{ m}} \\
&= 3,1 \text{ eV}
\end{aligned} \tag{1.16}$$

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 $\lambda_{\max} \cong 0,7 \mu \text{ m}$ olarak alındığında minimum yasak enerji aralığı $E_{g(\min)}$;

$$\begin{aligned}
E_{g(\min)} &= \frac{hc}{\lambda_{\max}} \\
&= \frac{(4,13 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}) (3 \times 10^8 \text{ m/s})}{7 \times 10^{-7} \text{ m}} \\
&= 1,8 \text{ eV}
\end{aligned} \tag{1.17}$$

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 absorbe edilmektedir. 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 $0,22 \mu m$ 'den daha düşük dalga boylarına sahip olan radyasyonda opaktır.

2.3.9. Geçirgenlik

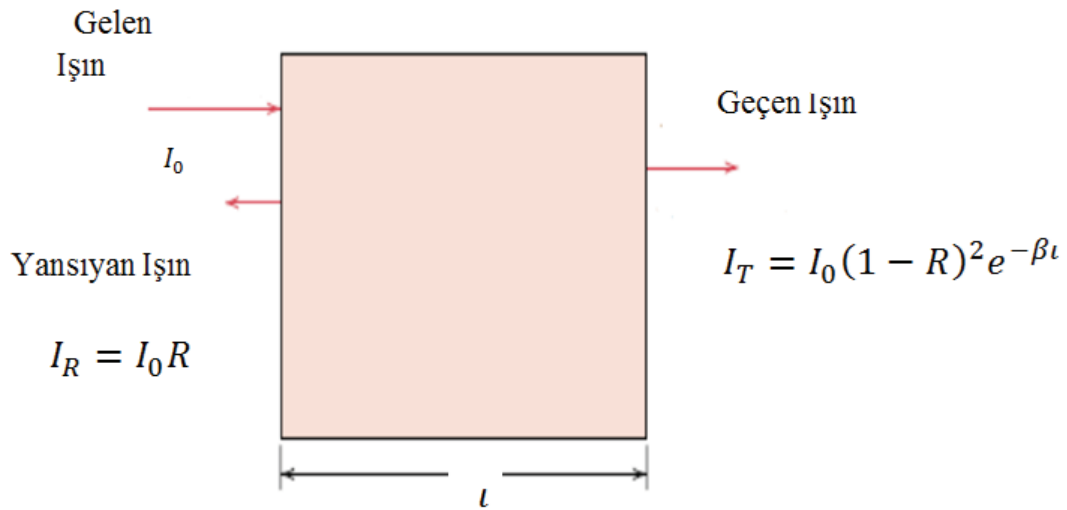
Işığın geçirgen bir katı boyunca iletilmesiyle meydana gelen soğurma, yansıma ve geçirgenlik olayı Şekil 2.19.'da gösterilmektedir [21].

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

I_0 : gelen ışık şiddeti, l : kalınlık, R : yansıma katsayısı

β : absorpsiyon katsayısı, I_T : geçen ışık şiddeti

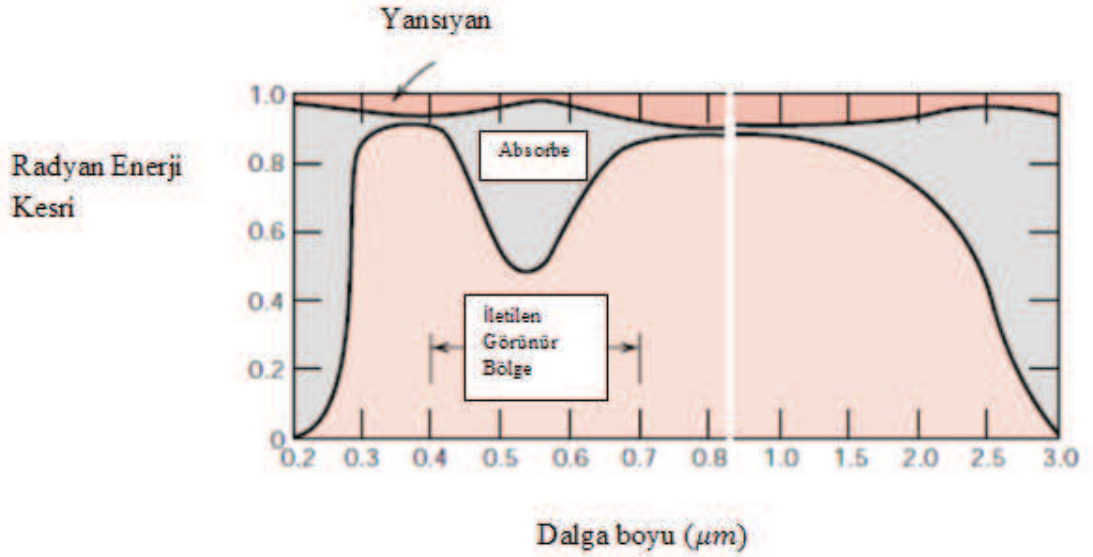
Bu ifade için yansıma katsayısı R hem ön hem de arka yüzey dışında aynı ortalama değere sahip olduğu varsayılmıştır.



Şekil 2.19. Geçirgen bir madde boyunca ışığın geçişi [21]

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

boyuna bağlıdır. Şekil 2.20.'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 2.20. Bir yeşil cam boyunca gelen ışığın iletilme, absorbe ve yansıma kesirlerinin dalga boyuna göre değişimleri

2.3.10. Renk

Geçirgen malzemeler, ışığın belirli dalga boyu aralıklarının bir sonucu olarak renkli gözükmemektedir [21]. Bu seçici soğurmadır ve fark edilen bu renk dalga boylarının birleşimin 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 eV'dan 3,1 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.

2.4. 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 uyarmaktadır [1].

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

2.4.1. 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 ν ise,

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

şeklinde yazılmaktadır. Gelen fotonun dalga boyu ise:

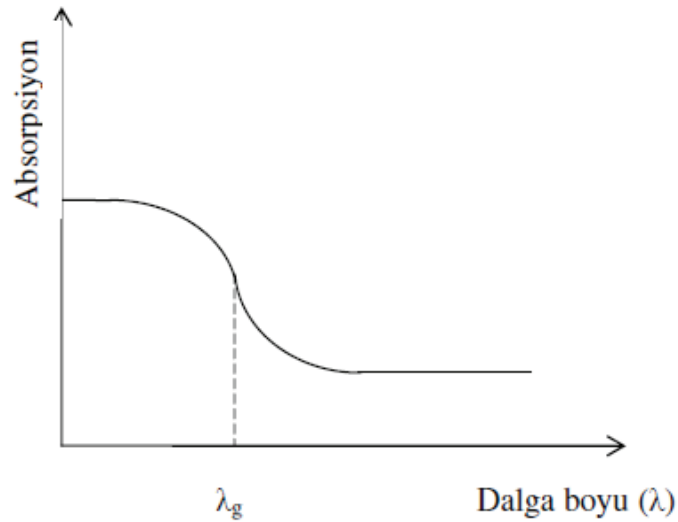
$$\lambda_g \leq hc / E_g \quad (1.20)$$

şeklinde yazılmaktadır.

E_g = yasak enerji aralığı, h = planck sabiti,

λ_g = gelen foton dalga boyu, c = ışık hızı

Temel soğurma, yarıiletkenin enerji aralığının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Şekil 2.21.'de yarıiletken için temel soğurma spektrumu görülmektedir [22]. Şekilde görüldüğü gibi yarıiletken temel soğurma spektrumunda λ_g dalga boyuna yakın dalga boylarından itibaren absorpsiyonda sürekli bir artış gözlenmektedir. λ_g değerinden sonra bir denge değerine ulaşmaktadır. Yarıiletken materyal λ_g dalga boyundan büyük dalga boylarında geçirgenlik özelliği göstermektedir. λ_g dalga boyundan küçük dalga boylarında ise kuvvetli bir absorplayıcı olarak görülmektedir. Bir yarıiletkenin temel soğurma sınırında direkt bant geçişi ve indirekt bant geçişi olmak üzere iki tür geçiş vardır.



Şekil 2.21. Yarıiletkende temel soğurma spektrumu [22]

2.4.2. Direkt bant geçişi

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

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

$\hbar k_e$ = elektronların kristal momentumları

$\hbar k_h$ = hollerin kristal momentumları

Direkt bant geçişi Şekil 1.22.'de görölmektedir. Direkt bant geçişte frekansı ν olan bir fotonun enerjisi:

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

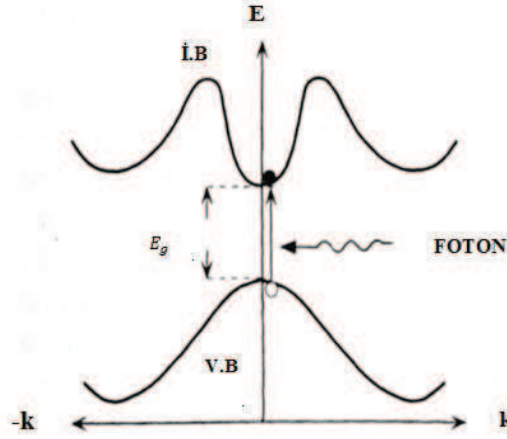
ifadesi ile verilmekte ve direkt bant geçişinde enerji korunmaktadır.

E_e = elektronların herhangi bir konumdaki enerjisi

E_h = hollerin herhangi bir konumdaki enerjisi

E_i = iletim bantının herhangi bir konumdaki enerjisi

E_v = valans bantının herhangi bir konumdaki enerjisi



Şekil 2.22. Bir yarıiletkenkte direkt bant geçişi

Direkt bant geçişinde, gelen fotonun enerjisi yarıiletkenin enerji aralığına eşit olduğu zaman Şekil 2.23.'te görülen 1 (bir) geçişi görülmektedir. Gelen fotonun enerjisinin yarı iletkenin enerji aralığından büyük olduğu durumlarda ise Şekil 2.23.'deki 2 (iki) geçişi görülmektedir [22]. Buna göre;

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

ifade edilmektedir.

E_i : ilk durum enerji seviyesi, E_s : son durum enerji seviyesi

Parabolik bantlarda ise;

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

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

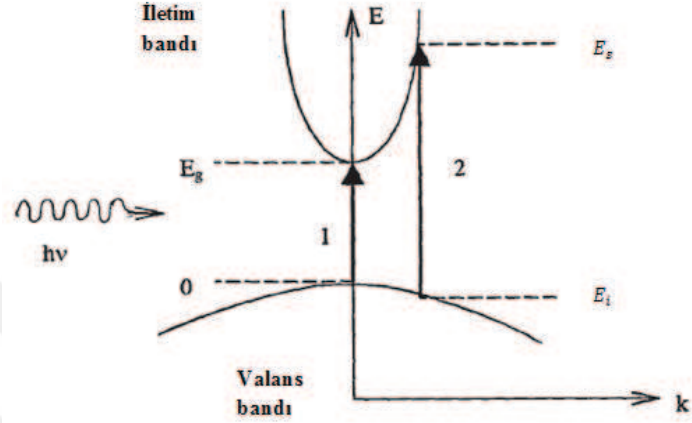
şeklinde gösterilmektedir.

m_e^* = elektronun etkin kütlesi, m_h^* = holün etkin kütlesi

Denklem (1.24) ve denklem (1.25)'i denklem (1.23)'te 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 2.23. Direkt bant geçişinde enerji durumlarının gösterimi [22]

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

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

ifadesi ile bağlıdır.

Buradaki A^* değeri;

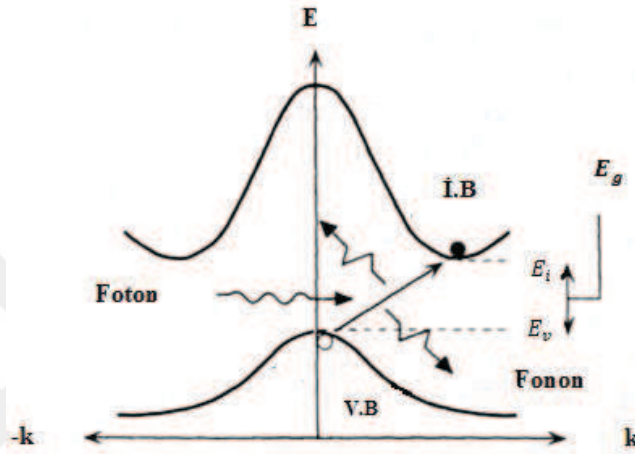
$$A^* \approx \frac{q^2 \left(2 \frac{m_h^* m_e^*}{m_h^* + m_e^*} \right)^{3/2}}{nch^2 m_e^*} \quad (1.28)$$

ifadesi ile verilen bir sabittir.

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

2.4.3. 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 2.24.'te gösterilmektedir [22].



Şekil 2.24. İndirekt bant geçişi [22]

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

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

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

E_f = fonon enerjisi

Fonon soğurulması geçişi için soğurma katsayısı,

$$h\nu \geq E_g - E_f \text{ durumu için;}$$

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

ile verilmektedir. Fononun yayılımlı 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 (α) ile frekans (ν) 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].

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Cam Alt Tabakaların Temizlenmesi

Bu çalışmada, alt tabaka olarak 1,5x1,5x1mm boyutlarında Corning 1737 cam kullanıldı. Cam alt tabakalar sırasıyla trikloretilen, aseton ve propanol kullanılarak su banyosu (ultrasonik temizleyici) cihazı yardımıyla 3'er dakika süreyle yıkandı. Her temizlik aşamasında cam alt tabakalar deterjan, kimyasal temizleme ve deiyonize su (18 M Ω -cm) ile durulandı. Bu işlem sırasında WUC-A06H marka su banyosu (ultrasonik temizleyici) kullanıldı (Şekil 3.1.). Temizlik aşaması biten alt tabakalar da su lekesi ve toz kalmaması için camlar kuru azot gazıyla kurutuldu.

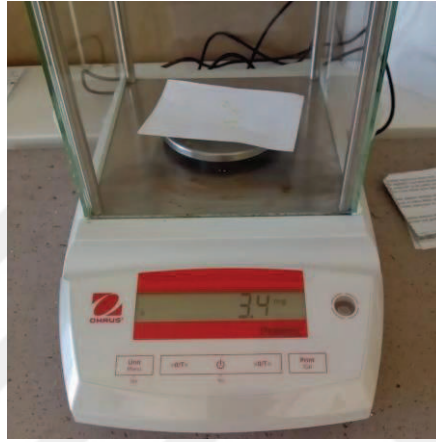


Şekil 3.1. WUC-A06H marka ultrasonik temizleyici

3.2. Numune Hazırlanmasında Kullanılan Cihazlar

3.2.1. Numune tartım cihazı

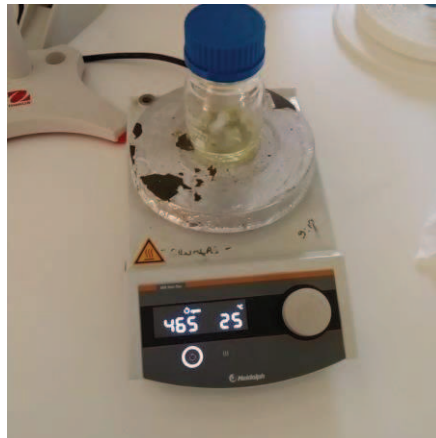
Numunelerin tartımı için Ohaus marka hassas terazi (Şekil 3.2.) cihazı kullanıldı. Oda sıcaklığında 30 ml tetrahidrofuran (THF) başına 3,4 mg coronene tozu tartıldı.



Şekil 3.2. Ohaus marka hassas terazi cihazı

3.2.2. Manyetik karıştırıcı

Coronene malzemesinin tetrahidrofuran (THF) içerisinde tamamen çözülebilmesi için Heidolph marka manyetik karıştırıcı kullanıldı (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Heidolph marka manyetik karıştırıcı

3.2.3. Mikro pipet

Hazırlanan çözeltinin cam üzerine istenilen miktarlarda damlatılmasında Isolab marka mikro pipet kullanıldı (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Isolab marka mikro pipet

3.2.4. Cam malzeme temizleme cihazı

Ozonla cam malzemeleri steril hale getirmek için kullanıldı.



Şekil 3.5. UVO marka (Cleaner model no 42-220) ozonla temizleme cihazı

3.3. Coronene İnce Filmlerin Hazırlanması

Bu çalışmada kullanılan coronene malzemesi Sigma-Aldrich firmasından satın alındı. Kimyasal temizlik işlemi biten alt tabakalar üzerinde coronene ince film oluşturma işlemine geçilmeden önce manyetik karıştırıcı yardımıyla kullanılacak çözelti oluşturuldu (Şekil 3.3.).

Döndürme ile kaplama (spin coater) cihazına yerleştirilen alttabakalar üzerine hazırlanan çözülden değişik miktarlarda (3x100µl, 4x100µl, 6x100µl ve 10x100µl) damlatıldı (Şekil 3.6.). Bu işlem sırasında cihaz 30 saniyelik sürelerle önce 500 devir/dakika daha sonra da 1100 devir/dakika döndürüldü. Döndürme ile kaplama yapan cihazdan alınan cam alt tabakalar bir süre oda sıcaklığında bekletilerek çözücünün tamamen uçması sağlandı.

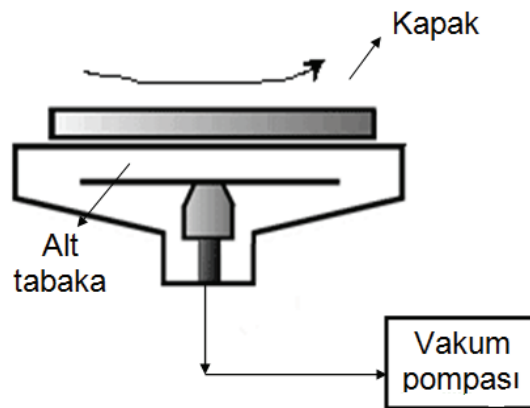
3.4. Döndürme ile Kaplama (Spin Coater) Yöntemi

Döndürme ile kaplama (spin coater), 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. Cam alt tabakalara coronene kaplamak için VTC-100 marka döndürme ile kaplama (spin coater) cihazı (Şekil 3.6.) kullanıldı.



Şekil 3.6. VCT-100 marka döndürme ile kaplama (spin coater) sistemi

Döndürme ile kaplama düzeneğinin şematik şekli (Şekil 3.7.) 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 1µm ile 10µm arasında değişmektedir.



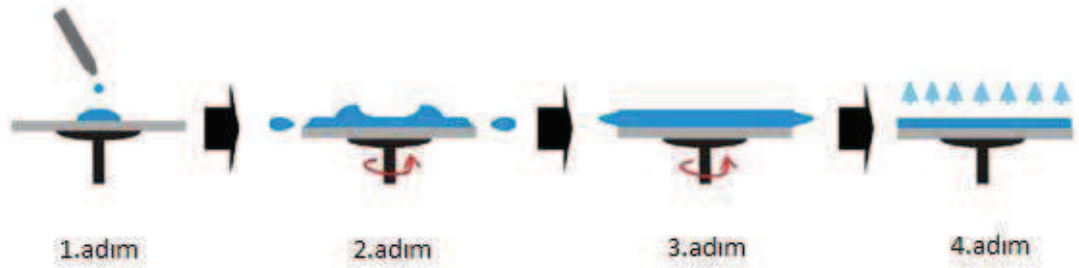
Şekil 3.7. Spin kaplama yönteminin şeması [1]

Döndürme ile kaplama yönteminin dört aşaması da Şekil 3.8.'de verilmektedir [25]. 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 filmde buharlaştırılarak istenilen inceliğe ulaştırılmıştır.



Şekil 3.8. Döndürme ile kaplamanın dört aşaması [26]

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].

3.5. Ölçümlerde Kullanılan Cihazlar

3.5.1. UV-VIS spektrofotometresi

Döndürme ile kaplama (spin coater) yöntemi kullanılarak hazırlanan coronene organik yarıiletken ince filmlerin optik ölçümleri (soğurma, geçirgenlik ve yansıma) Giresun Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde bulunan Shimadzu® UV-3600 UV/VIS/NIR (150mm dia. Integrating sphere) Spektrofotometresi (Şekil 3.9.) kullanılarak incelendi.

Bu spektrofotometre ile 185-3300nm dalgaboyu aralığındaki elektromanyetik dalganın madde ile etkileşmesi incelenabilmektedir. UV ve görünür bölgeler için PMT (fotomultiplier tüp), yakın kızıl ötesi bölge için InGaAs ve soğutulmuş PbS fotoiletken pilden oluşan dedektörler kullanılmaktadır. Sadece PMT ve PbS dedektörlerini kullanan geleneksel cihazlarla, bu dedektörler arasındaki geçiş bölgesinde hassasiyette bir düşüş vardır. Bununla birlikte, bu geçit bölgesini örtmek için bir InGaAs dedektörü kullanmak, tüm ölçülen dalga boyu aralığında yüksek hassasiyet sağlar ve 1500nm'de 0,00003Abs gürültü seviyesi verir [23]. Bununla beraber 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 [1].

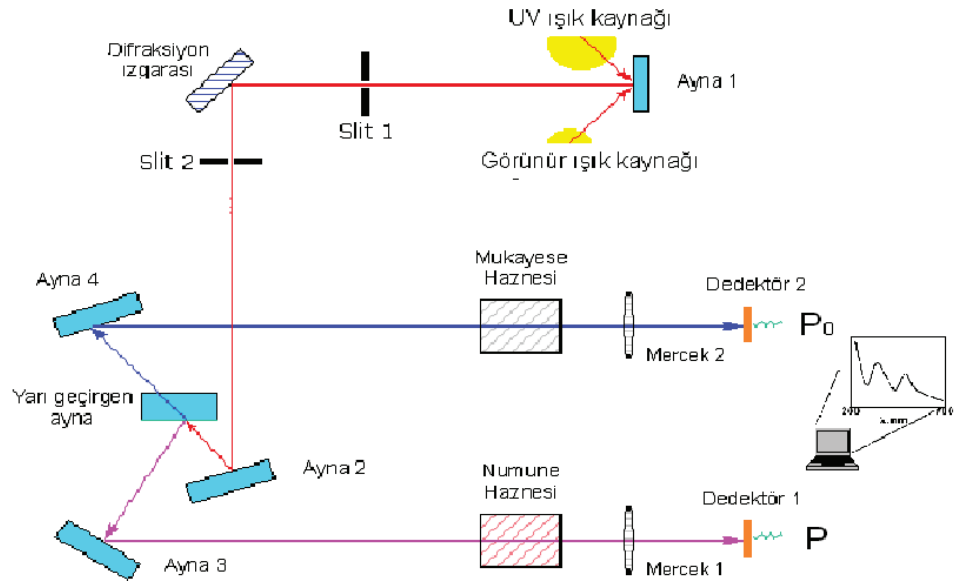
Spektrometrede soğurma ve geçirgenlik ölçümü yaparken referans numune yuvasına referans cam konulup, cihazın kalibrasyonu yapıldıktan sonra numune yuvasına coronene ince film yerleştirilerek, ölçüm bölgesi ve ölçüm aralığı ayarlandıktan

sonra ölçüm gerçekleştirildi. Tüm ölçümler 10nm adımlarla, 200-700nm dalga boyu aralığında ölçüm gerçekleştirildi.

Yansımaya ölçümlerinde, spektrofotometrenin soğurma ölçümünde kullanılan modülü yerine yansımaya modülü takıldı ve cihazın kalibrasyonu yapıldı. Yansımaya ölçümünde numune yuvasına coronene ince film konularak soğurma ölçümünde olduğu gibi 10nm adımlarla ve 200-700nm dalga boyu aralığında ölçüm gerçekleştirildi.



Şekil 3.9. Shimadzu® UV-3600 UV/VIS/NIR spektrofotometre



Şekil 3.10. Spektrofotometre sisteminin şematik gösterimi [24]

3.5.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Döndürme ile kaplama (spin coater) yöntemi kullanılarak hazırlanan coronene organik yarıiletken ince filmin yüzey morfolojisi Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan Jeol® JSM-6610 taramalı elektron mikroskobu (SEM) (Şekil 3.11.) kullanılarak incelendi.

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), küçük ve büyük mikro yapılara sahip malzemeleri görüntülemek için kullanılır. SEM cihazında bulunan ikincil elektron görüntü ve geri yansıyan elektron görüntü dedektörleri ile yüksek çözünürlükte görüntü elde edilmektedir. Cihaza monte olan enerji dağılımlı X-ışını spektrometresi ile incelenen örnek yüzeyinde herhangi bir nokta, çizgi ve alan taraması ve seçilmiş alan X-ışını haritalanması yapılmakta ve bu bölgelerde kalitatif ve kantitatif analizler yapılabilmektedir. SEM ile 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 ve ince filmler yüksek çözünürlükte görüntülenebildiği gibi ayrıca film kalınlığının küçük veya büyük olmasının da bir önemi yoktur. Yalıtkan numunelerin analizi için numune hazırlamada kullanılmak üzere yüksek vakum sputter altın ve karbon kaplama cihazı mevcuttur.

Numuneleri ölçüme hazırlarken ilk olarak, tüm numunelerin iletkenliğini sağlamak için, numunelerin yüzeyi (Quorum, SC-7620) Ar (argon) gazı ortamında yaklaşık 150 saniye boyunca %99 saflıkta altın (Au) ile kaplandı. Daha sonra, vakum ortamında 20 kV hızlanma voltajı ile incelendi.



Şekil 3.11. Jeol® JSM-6610 taramalı elektron mikroskobu (SEM)

3.5.3. X-ışını kırınım cihazı (XRD)

Döndürme ile kaplama (spin coater) yöntemi kullanılarak hazırlanan coronene organik yarıiletken ince filmin yapı analizi Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan Rigaku® SmartLab difraktometre cihazı (XRD) (Şekil 3.12.) kullanılarak incelendi.

X-Işını kırınım cihazı (XRD), her bir kristal fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak X-ışınlarını karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanır. Her bir kristal faz için bu kırınım profilleri bir nevi parmak izi gibi o kristali tanımlar. Analiz sırasında numuneyi tahrip etmez ve çok az miktardaki numunelerin dahi analizlerinin yapılmasını sağlar. X-ışını kırınım cihazıyla kayaçların, kristal malzemelerin, ince filmlerin ve polimerlerin nitel ve nicel incelemeleri yapılabilir. Bu X-ışını difraktometresi; toz, katı ve ince film şeklindeki örneklerde fazlar, fazların miktarı, kristal boyutu, latis parametreleri, yapıdaki değişimler, kristal yönelmesi ve atom pozisyonları hakkında bilgi verir. Bu cihaz ile ayrıca 2300 °C'ye kadar atmosfer, vakum ve inert gaz ortamında kristal yapıdaki faz değişimlerini görmek mümkündür.

Sol-jel methodu ile farklı sıcaklıklarda tavlanan ince filmler için X-ışını kırınım analizi yapıldı. Ölçümler sırasında, difraktometredeki bakır hedefe 40 kV'luk gerilim ve 30 mA'lik akım uygulanarak elde edilen $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$) X-Işınları kullanıldı. Ölçümler, oda sıcaklığında, $200 \leq 2\theta \leq 800$ aralığı boyunca değiştirilerek alındı.



Şekil 3.12. Rigaku® SmartLab difraktometre (XRD)

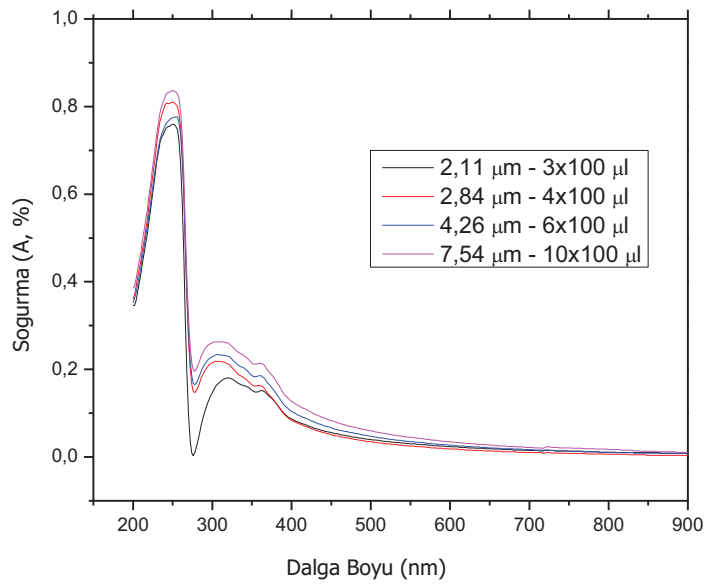
BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

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

Döndürme ile kaplama yöntemiyle cam alt tabaka üzerinde coronene organik yarıiletken ince film hazırlanmıştır.

4.1.1. Soğurma (A) spektrumları

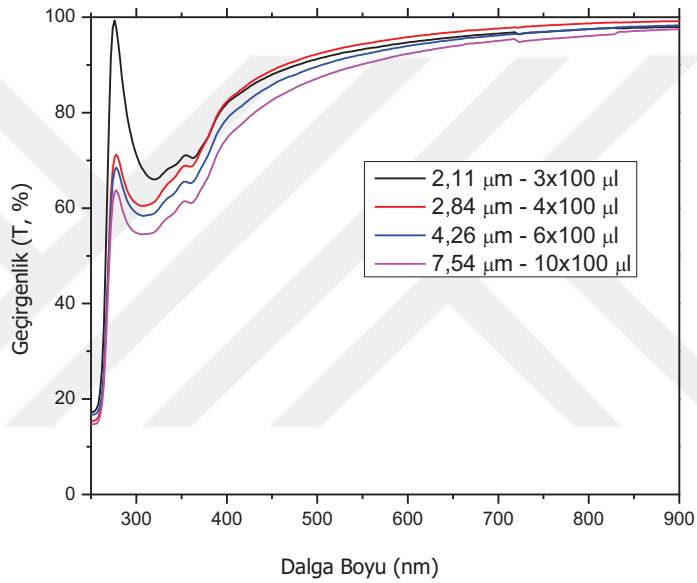
Soğurma (A) metodu, UV-VIS bölgesinde organik ve inorganik malzemelerin optik geçişlerini ve bant yapılarını incelemek için faydalı bir yöntemdir. Şekil 4.1.'de coronene kaplı ince filmler için 200-700nm dalga boyu aralığında soğurma (A) spektrumları verilmiştir. Şekil 4.1.'i incelediğimizde coronene kaplı ince filmler için 250nm ve 300-310nm dalga boyunda 2 (iki) adet karakteristik soğurma piki elde edilmiştir.



Şekil 4.1. Coronene kaplı ince filmlerin oda sıcaklığında soğurmanın dalga boyu ile değişimi

4.1.2. Geçirgenlik (T) spektrumları

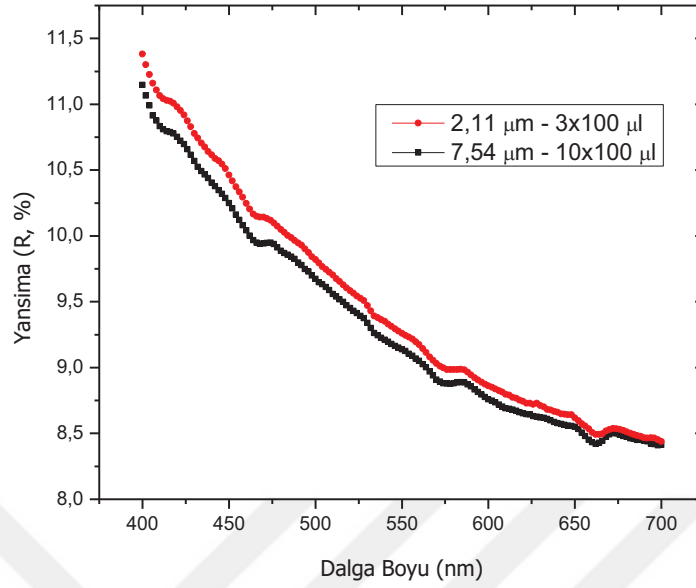
Filmin optik geçirgenlik (T) spektrumu oda sıcaklığında 200-700nm dalgaboyu aralığında 10nm adımlarla alındı ve Şekil 4.2.'de verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi coronenenin düşük dalga boylarında ($220 < \lambda < 250\text{nm}$) geçirgenlik özelliğinin azaldığı ve yüksek dalga boylarına gidildikçe geçirgenlik özelliğinin arttığı görülmektedir. Coronene kaplı ince filmlerin görünür bölgede (400-700nm) %85 ile %98 aralığında bir geçirgenliğe sahip oldukları belirlenmiştir.



Şekil 4.2. Coronene kaplı ince filmlerin oda sıcaklığında geçirgenliğinin dalga boyu ile değişimi

4.1.3. Yansımaya (R) spektrumları

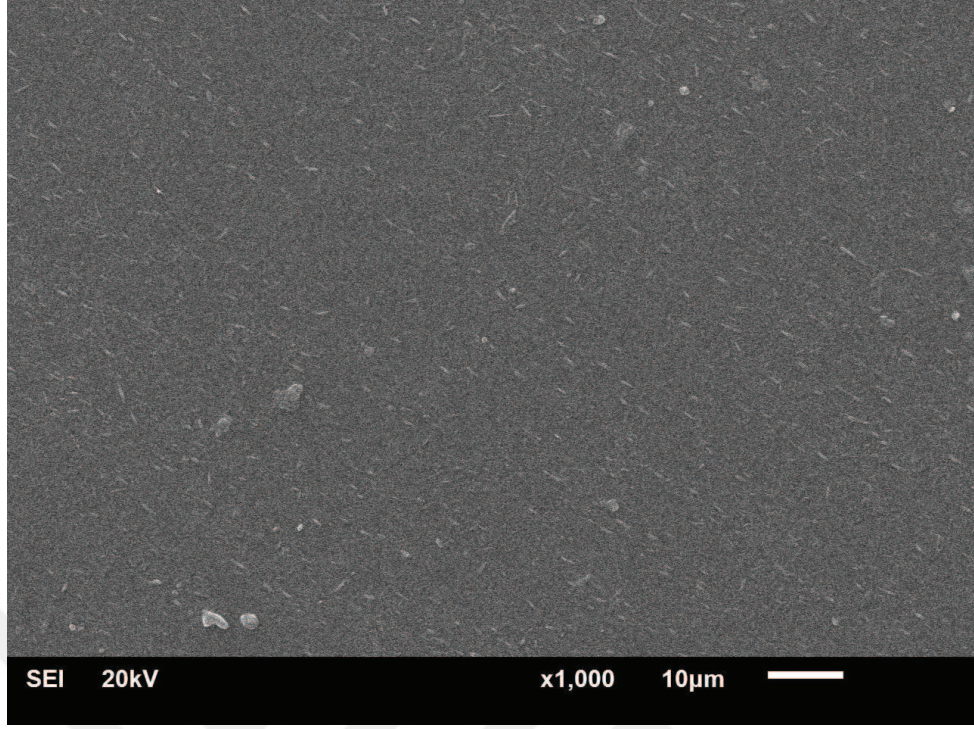
Şekil 4.3.'te coronene kaplı ince filmler için 400-700nm dalga boyu aralığında yansımaya (R) spektrumu verilmiştir. Coronene kaplı ince filmlerin görünür bölgede (400-700nm) %11 ile %8,5 aralığında bir yansımaya sahip olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.2. ve 4.3.'te geçirgenlik (T) ve yansımaya (R) dağılımlarından coronene kaplı ince filmlerin yüksek dalga boylarında ($\lambda > 400\text{nm}$) saydam ($R+T=1$) olduğu yani soğurucu olmayan bu bölgede ışık soğurulmamakta veya saçılmamaktadır.



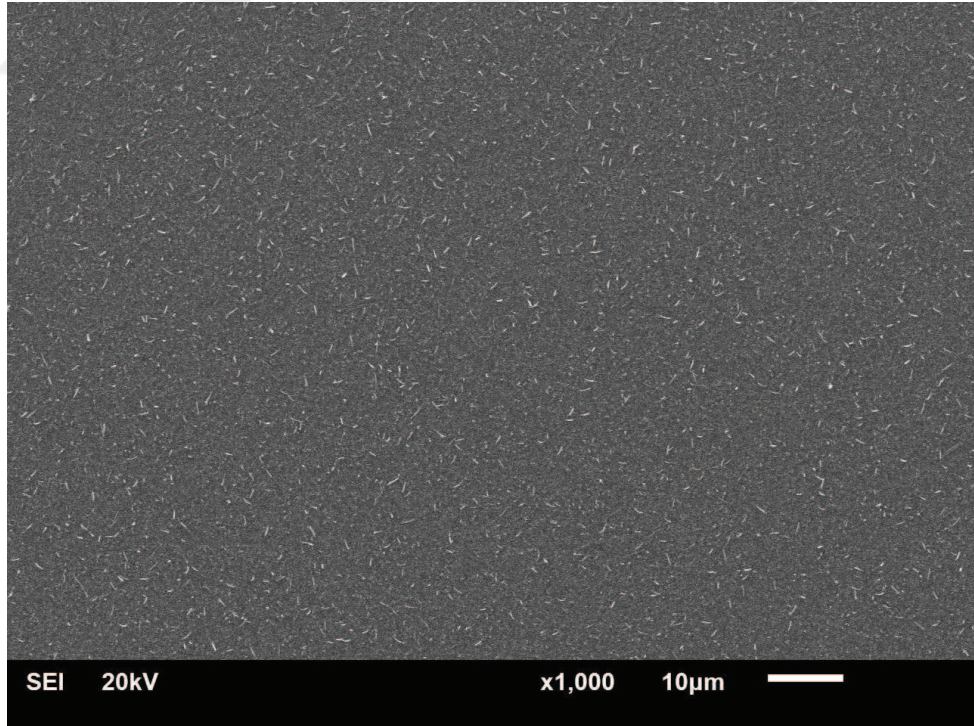
Şekil 4.3. Coronene kaplı ince filmlerin oda sıcaklığında yansımanın dalga boyu ile değişimi

4.2. Coronene İnce Filmlerin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Analizi

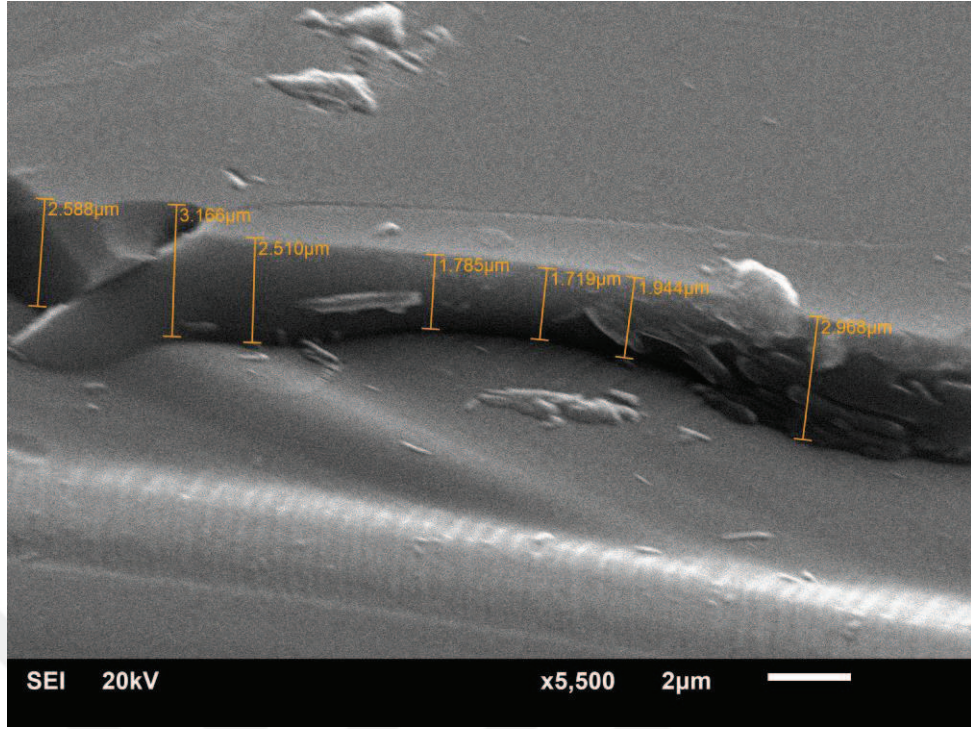
Aşağıdaki şekillerde 3x100μl'lik coronene kaplı ince filmin x1,000 büyütmeli SEM görüntüsü (Şekil 4.4.) ile 10x100μl'lik coronene kaplı ince filmin x1,000 büyütmeli SEM görüntüsü (Şekil 4.5.)'te görülmektedir. Filmlerin SEM görüntüleri incelendiğinde, filmlerin tüm yüzeyleri tam olarak homojen bir dağılıma sahiptir ve filmlerin mikro yapıları küçük ve de büyük taneler içerir. Yan kesitten taramalı elektron mikroskobunda filmlerin ortalama kalınlıkları sırasıyla 2,11μm ve 7,54μm olarak ölçüldü.



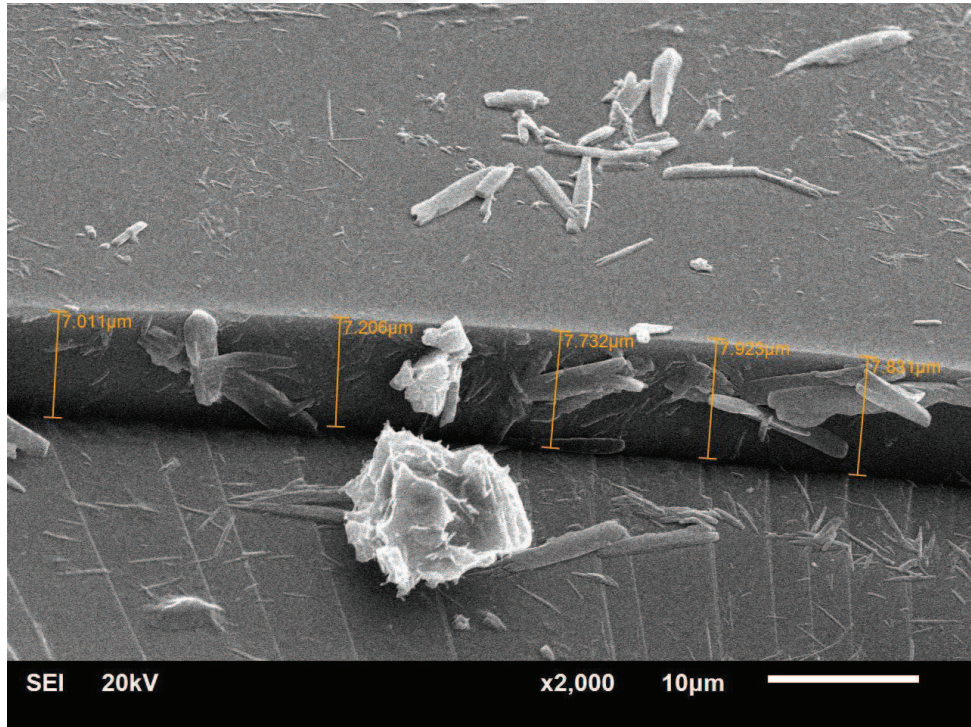
Şekil 4.4. 3x100µl'lik Coronene kaplı ince filmin SEM görüntüsü



Şekil 4.5. 10x100µl'lik Coronene kaplı ince filmin SEM görüntüsü



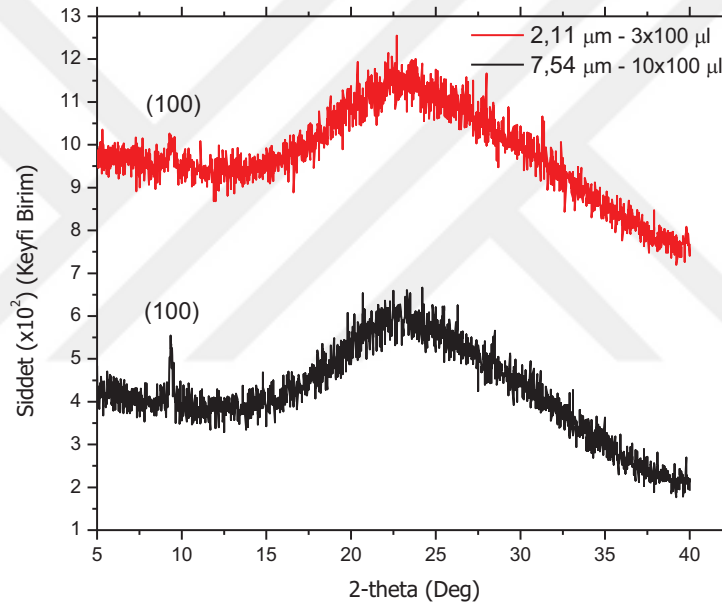
Şekil 4.6. 3x100µl'lik Coronene kaplı ince filmin ortalama kalınlığının (2,11µm) SEM görüntüsü



Şekil 4.7. 10x100µl'lik Coronene kaplı ince filmin ortalama kalınlığının (7,54µm) SEM görüntüsü

4.3. Coronene İnce Filmlerin X-Işını Difraktometresi (XRD) ile Analizi

Cam altlıklar üzerine döndürme kaplama yöntemiyle kaplanan 2,11 μm ve 7,54 μm kalınlığındaki filmlerin X-ışını kırınım desenleri Şekil 4.8.'de verilmiştir. Şekil 4.8.'e bakıldığında yaklaşık $2\theta = 9,400^\circ$ 'de (100) (ICDD PDF Kart No: 00-021-1611) düzlemine denk gelen coronenenin ana piki gözlemlenmiştir [27]. XRD sonuçlarına bakıldığında SEM görüntülerini destekler şekilde 7,54 μm kalınlığındaki filmde coronene çözelti içinde çok daha iyi çözündüğü için kaplama daha homojen hale gelmiştir ve coronene polimerinin ana pikinin şiddetinin arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.8. Coronene kaplı ince filmlerin XRD spektrumu

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada döndürme ile kaplama yöntemiyle cam alttabaka üzerinde hazırlanan coronene organik yarıiletken ince filmlerin optik parametreleri, yüzey morfolojileri ve yapı analiz parametreleri incelendi. Bu amaçla, coronene tozu THF (tetrahidrofuran) içinde çözdürüldü ve oluşturulan çözelti kullanılarak, döndürme ile kaplama cihazıyla oda sıcaklığında ince film elde edildi. Filmin elde edilmesi için hazırlanan çözeltiden değişik miktarlarda (3x100µl, 4x100µl, 6x100µl ve 10x100µl) damlatıldı. Hazır hale gelen filmlerin, UV-VIS Spektrofotometre ile optiksel özellikleri (soğurma, geçirgenlik ve yansımalar spektrumları), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile yüzey morfolojisi ve X-Işını difraktometre (XRD) ile de yüzeysel özellikleri incelendi.

Coronene kaplı ince filmler UV-VIS bölgesinde, 200-700nm dalga boyu aralığında 10 nm adımlarla alındı. Belitilen dalga boyu aralığında soğurma, geçirgenlik ve yansımalar spektrumları elde edildi. 700nm'den sonraki bölgede (IR bölge) değişim benzer olduğu için spektrumlarda gösterilmedi. Soğurma spektrumlarında, 250nm ve 300-310nm dalga boylarında iki adet karakteristik soğurma piki elde edildi. Geçirgenlik spektrumlarında, görünür bölgede (400-700nm) %85 ile %98 aralığında bir geçirgenliğe sahip olduğu ve düşük dalga boylarında ($220 < \lambda < 250$ nm) geçirgenlik özelliğinin azaldığı, yüksek dalga boylarına gidildikçe geçirgenlik özelliğinin arttığı görüldü. Yansımalar spektrumlarında, %11 ile %8,5 aralığında bir yansımaya sahip olduğu belirlendi.

Coronene kaplı ince filmlerin, yüzey özelliklerini incelemek ve yüzey pürüzlülükleri hakkında bilgi edinebilmek için filmlerin taramalı elektron mikroskobunda (SEM) x1,000 büyütme görüntüleri alındı. Filmlerin kalınlığı SEM görüntülerinden 3x100µl katkılı örneği için 2,11µm ve 10x100µl katkılı örneği için ise 7,54µm olarak

ölçüldü. SEM görüntüleri incelendiğinde, filmlerin tüm yüzeyleri tam olarak homojen bir dağılıma sahip olduğu görüldü.

Coronen kaplı ince filmlerin, yapı analizi hakkında bilgi edinmek için X-ışını kırınım analizi yapıldı. $2,11\mu\text{m}$ ve $7,54\mu\text{m}$ kalınlıklarındaki coronene polimerlerinin $2\theta=9,400^\circ$ de ana piki gözlemlendi. XRD sonuçlarına bakıldığında SEM görüntülerini destekler şekilde $7,54\mu\text{m}$ kalınlığındaki filmde coronene çözelti içinde çok daha iyi çözündüğü için kaplama daha homojen olmuş olup coronene ait pik daha şiddetli tespit edilmiştir. Bu da filmlerin kaplanma kalınlıklarının XRD ve SEM sonuçlarını destekler nitelikte olduğu bulunmuştur.

Bu çalışmanın devamında elde edilen filmlerin kalınlıklarının biraz daha artırılarak üretilebilir ve çalışma tekrarlanabilir. Ayrıca farklı kalınlıklardaki filmlere farklı organik katkıları ile bu katkılamaların optik sonuçları incelenebilir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, coronene kaplı organik yarıiletken ince filmler, optoelektronik ve güneş pili cihaz uygulamaları için uygun olabilecek 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] http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2000., Erişim Tarihi: 01.03.2013.
- [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] http://www.bayar.edu.tr/besergil/7_BOLUM_4.pdf., Erişim Tarihi: 01.03.2013.
- [14] <http://www.320volt.com/yari-iletkenler-ve-diyot>., Erişim Tarihi: 01.03.2013.
- [15] https://www.commons.wikimedia.org/wiki/File:Molecule_HOMO_LUMO_diagram.svg., Erişim Tarihi: 10.01.2013.
- [16] http://www.bumems.ee.boun.edu.tr/publications/organik_elektronik.pdf., Erişim Tarihi: 10.01.2013.
- [17] <http://electronics.howstuffworks.com/oled1.htm>., Erişim Tarihi: 15.04.2013.
- [18] <http://www.en.wikipedia.org/wiki/Coronene>., Erişim Tarihi: 01.06.2019.
- [19] <http://ubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/coronene#section=Experimental-Properties>., Erişim Tarihi: 01.06.2019.

- [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] William D. Callister, Jr. 2001. *Fundamentals of Materials Science and Engineering. An Interactive*, Fifth edition, John Wiley&Sons, Inc. pp. S297-S309.
- [22] 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.
- [23] https://www.shimadzu.com/an/molecular_spectro/uv/uv-3600plus.html, Erişim Tarihi: 14.06.2019.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f3/SolGel_SpinCoating.jpg, Erişim Tarihi: 10.01.2013.
- [27] Barış, B., Karadeniz, S. & Erdal, M. O. (2017). Preparation of coronene nanowires and its properties. *Materials Letters*, 205, 70-74.

ÖZGEÇMİŞ

Emrah KULOĞLU 1986 yılında Suşehri-SİVAS'ta doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Giresun'da tamamladı. 2012 yılının Şubat ayında Rize Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nü bitirdi. 2016 yılında Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Giresun ilinde öğrenimine devam etmekte olup İngilizce bilmektedir.