

**EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ  
ENSTİTÜSÜ**

**(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

**PASİF MATRİKS EKРАНLAR İÇİN ORGANİK IŞIK  
YAYAN DİYOT (OLED) ÜRETİMİ, OPTİK VE  
ELEKTRİKSEL KAREKTERİZASYONU**

**Yavuz AŞCI**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ömer MERMER**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Bilim Dalı Kodu: 609.01.00**

**Sunuş Tarihi: 17/ 12/2013**

**Bornova-İZMİR**

**2013**



Yavuz AŞCI tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “Pasif Matriks Ekranlar için Organik IŞık Yayan Diyot (OLED) Üretimi, Optik ve Elektriksel Karakterizasyonu” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliđi ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesinin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 17/12/2013 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

**Jüri Üyeleri:**

**İmza**

**Jüri Başkanı : Yrd. Doç. Dr. Ömer MERMER**

**Raportör Üye : Yrd. Doç. Dr. Yavuz ÖZTÜRK**

**Üye Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN**



## ÖZET

### PASİF MATRİKS EKРАНLAR İÇİN ORGANİK IŞIK YAYAN DİYOT (OLED) ÜRETİMİ OPTİK VE ELEKTRİKSEL KARAKTERİZASYONU

AŞCI, Yavuz

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ömer MERMER

Aralık 2013, 56 sayfa

Bu tez pasif matriks ekranlar için organik ışık yayan diyot üretimi (OLED) ve karakterizasyonu üzerine odaklanmıştır. İyi elektriksel iletkenlik ve yüksek optik geçirgenlik özelliklerinden dolayı altlık olarak indiyum katkılandırılmış kalay oksit kullanılmıştır (Indium Tin Oxide, ITO). ITO yüzeyinin pürüzlülüğünün azaltılması ve diğer katmanlarla enerjisi seviyesinin uyumluluğunu arttırmak amacıyla kendiliğinden organize tek katman tekniği (KOT) üzerinde durulmuştur.

ITO yüzeyini modifiye etmek için ferrosen karboksilik asit (MY1) ve ferrosen boronik asit(MY2) olmak üzere iki farklı KOT molekülü kullanılmıştır. Çözeltileri hazırlanmış KOT molekülleri içinde ITO'lar değişik sürelerde (3saat ve 12saat) bekletilmiş ve bu sürelerin KOT moleküllerinin yüzeyle bağ oluşturma üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Modifiye edilmiş ITO'ların yüzey morfolojisi Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ve döngüsel voltametri yöntemiyle incelenmiştir. Bu yüzey analizlerinin yanı sıra, ITO/KOT/TPD/Alq3/Al, ITO/TPD/Alq3/Al konfigürasyonuna sahip OLED aygıtlar üretilerek bu aygıtların lüminesans-akım ve akım-gerilim grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen veriler karşılaştırılarak KOT moleküllerinin OLED aygıtlarındaki etkisi araştırılmıştır. Modifiye edilmiş OLED aygıtlarının çalışma potansiyellerinde ve ışık şiddetinde modifiye edilmemiş OLED aygıtlarına göre iyileşme olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** OLED, Çalışma Potansiyeli, Kendiliğinden Organize tek katman, AFM, Lüminesans, KOT, Organik yarıiletken.



**ABSTRACT****PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF ORGANIC LIGHT  
EMITTING DIODES (OLED) FOR PASSIVE MATRIX DISPLAYS**

AŞCI, Yavuz

MSc in Electrical-Electronics Eng.

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ömer MERMER

December 2013, 56 pages

This thesis focused on fabrication and characterization of organic light emitting diodes (OLED) for passive matrix displays. Because of good electrical conductivity and high optical transparency, indium tin oxide (ITO) was used as a substrate. In order to decrease surface roughness of ITO and to match energy levels between ITO and adjacent layers, Self Assembly Monolayer was used.

Two different types of SAM molecules, which are ferroceneboronic acid (MY1) and ferrocenecarboxylic (MY2) acid, were prepared and used to modify the ITO surface. ITO covered glass substrates were immersed in solutions of SAM molecules and waited for two different time (3 hours and 12 hours) intervals to investigate the bounding effects between SAM layer and ITO surface.

Surface analyses of modified and unmodified ITO's were performed by Atomic Force Microscopy (AFM) and cyclic voltametry techniques. In addition to surface analyses, OLED devices which have ITO/KOT/TPD/Alq3/Al and ITO/TPD/Alq3/Al configuration were fabricated. Electrical and optical properties of these devices were investigated. It has shown that luminous intensities and turn on voltages of the modified OLED devices were improved compared to unmodified ones.

**Keywords:** OLED, Turn On Voltage, Self-assembled Monolayer, AFM, Luminescence, SAM, Organic Semiconductor.



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgilerini benden esirgemeyen ve her türlü olanağı sağlayan sayın Yrd Doç. Dr. Ömer MERMER'e, sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa CAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim sırasında laboratuvar çalışmalarında yardımcı olan ve tecrübelerinden yararlandığım sayın Doç. Dr. Mahmut KUŞ'a teşekkür ederim. Yüksek lisans çalışmalarımın en zor zamanlarında bana yardımlarını esirgemeyen dostlarım Özgür TAŞKIN'a, Erman SELİM'e, Eyüp GÜRCAN'a teşekkür ederim. OLED aygıtlarının yapımı ve karakterizasyonunda bana yardımcı olan sayın Koray KARA'ya, AFM görüntüleri için sayın Sümeyra BÜYÜKÇELEBİ'ye teşekkür ederim.

Ayrıca bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan anne ve babama özel teşekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	V
ABSTRACT .....	VII
TEŞEKKÜR .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	XIV
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	XVII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XVIII
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Organik Yarı İletken Malzemeler ve OLED Aygıtlar .....	1
1.2 Organik Yarı İletken Malzemeler.....	1
1.3 Moleküler Orbital Enerji Seviyeleri ve Enerji Bantları.....	3
1.4 Kimyasal Bağlar .....	4
1.5 Singlet ve Triplet Enerji Durumları.....	5
1.6 Organik Moleküllerde Absorbsiyon ve Emisyon.....	6
1.7 Organik Yarı iletkenlerde Hopping Mekanizması .....	6
1.8 Yük Transferi .....	8
2 ORGANİK IŞIK YAYAN DİYOT (OLED) .....	10
2.1 OLED Aygıtının Avantajları ve Dezavantajları.....	10
2.2 OLED Aygıtının Yapısı.....	11
2.3 OLED Aygıtının Çalışma Prensibi.....	12
2.4 Elektron Boşluk Rekombinasyonu ve Eksiton Oluşumu.....	12
2.5 Yük Enjeksiyonu ve Yük Transferi.....	13
2.6 Schottky Termiyonik Emisyonu.....	14

## İÇİNDEKİLER(devam)

Sayfa

2.7	Fowler Nordheim Tunellemesi.....	15
2.8	Space Charge Limited Current (SCLC) Yaklaşımı .....	15
2.9	Trap Charge Limited Current Yaklaşımı .....	17
2.10	OLED Aygıtında Verim Hesabı .....	18
2.10.1	Kuantum verimi .....	18
2.10.2	Luminous güç verimi (lm/W) .....	18
2.10.3	Lüminans verimi (Akım verimi) (cd/A) .....	19
3	OLED MATERYALLERİ .....	19
3.1	Anot Materyalleri.....	19
3.2	Boşluk İletim Materyalleri .....	19
3.3	Elektron İletim ve Emisyon Materyalleri.....	20
3.4	Katot Materyalleri.....	21
3.5	Kendiliğinden Organize Tek Katman (KOT).....	21
3.5.1	KOT moleküllerine giriş .....	22
3.5.2	KOT moleküllerinin oluşumu.....	23
3.5.3	KOT-HTL.....	24
3.6	Tezin Amacı ve Kapsamı .....	25
4	DENEYSEL METOTLAR.....	26
4.1	OLED Hazırlama Basamakları.....	26
4.2	ITO'nun Yüzeyden Kaldırılması .....	26
4.3	ITO Camların Temizlenmesi.....	27
4.4	Materyal .....	27
4.5	KOT Moleküllerinin Çözeltilerinin Hazırlanması.....	27
4.6	Termal Buharlaştırma Yönetimi ile Organik ve Katot Katmanlarının Kaplanması.....	29

## İÇİNDEKİLER(devam)

Sayfa

5	DENEYSEL VERİLER ve SONUÇLARI .....	31
5.1	Atomik Kuvvet Mikroskobu Sonuçları.....	31
5.2	ITO Yüzeyinin Kelvin Probe Mikroskobu (KPM) Sonuçları .....	32
5.3	Kullanılan Bileşiklerin Döngüsel Voltammetri (CV) Çalışmaları .....	34
5.4	KOT Moleküllerinin ITO Yüzeyindeki Kararlılıkları.....	36
5.5	Sentezlenen Bileşiklerin Spektroskopik Ölçümleri.....	38
5.6	OLED Aygıtının I-V Sonuçları.....	38
5.7	Lüminesans Sonuçları.....	42
5.7.1	3 saatlik ve 12 saatlik KOT molekülleri.....	44
5.8	Işık Şiddeti Dalga Boyu Grafiği.....	46
5.9	CIE Standartlarına Göre Renk Analizi Sonuçları.....	46
6	SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	48
	KAYNAKLAR DİZİNİ.....	50
	ÖZGEÇMİŞ .....	56

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Karbon atomları arasındaki $\pi$ ve $\sigma$ bağları .....	1
1.2 Organik malzemelerde $\pi$ ve $\sigma$ bağları(haldi, 2008) .....	2
1.3 2s 2p <sub>x</sub> 2p <sub>y</sub> 2p <sub>z</sub> orbitallerinin gösterimi a) Hibrit orbitaller b) Karbon atomu .....	3
1.4 Organik moleküllerde HOMO-LUMO seviyelerinin oluşması.....	4
1.5 Etilen karbon atomları $\sigma$ ve $\pi$ bağlarının gösterimi .....	5
1.6 Yük transferi süreçleri.....	7
1.7 Organik yarı iletkenlerde HOMO LUMO seviyelerinin dağılımı. ....	8
1.8 Hole transferinin gösterimi b) yeniden yapılanmadaki $\lambda_1$ ve $\lambda_2$ 'nin tanımlanması. ....	9
2.1 Tek katmanlı ve çok katmanlı OLED .....	12
2.2 OLED aygıtının çalışma prensibi .....	12
2.3 Termiyonik emisyon taşıyıcı injeksiyonu .....	14
2.4 Fowler-Nordheim tünelleme mekanizması .....	15
2.5 Enjekte edilen akım yoğunluğunun gerilime göre değişimi.....	16
3.1 En çok kullanılan küçük molekül HTL malzemeleri TPD ve NPB.....	20
3.2 a) Alq <sub>3</sub> b) Gaq <sub>3</sub> c) Inq <sub>3</sub> d) BCP e) FIrpic'in kimyasal yapıları .....	20

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.3 KOT molekülleriyle modifiye edilen ITO'nun çalışma potansiyeli artar .....	22
3.5 KOT moleküllerinin oluşumu .....	24
4.1 a) ITO camların aşındırılması işlemi b) ITO'ların elmas kalemle kesilmesi .....	26
4.2 a) ITO temizlenme işlemi b) UV aygıtı .....	27
4.3 Ferrosen boronik asit ve Ferrosen karboksilik asit moleküllerinin şekilleri .....	28
4.4 OLED aygıtının yapımında kullanılan cihazlar .....	29
4.5 Üretilen OLED aygıtı ve katot ve anot maskesi .....	30
5.1a) Yalın ITO b) 12 saat MY1 çözeltisinde bekletilmiş ITO c)12 saat MY2 çözeltisinde bekletilmiş ITO'ların yüzey pürüzlülüğü d) 3 saat MY1 çözeltisinde bekletilmiş ITO e) 3 saat MY2 çözeltisinde bekletilmiş ITO .....	32
5.2 a) Yalın ITO yüzey yükselti b) Yalın ITO yüzey potansiyeli .....	33
5.3 a)MY1 ile modifiye ITO yüzey yükselti b) ve yüzey potansiyeli .....	33
5.4 a)MY2 ile modifiye ITO yüzey yükselti b) ve yüzey potansiyeli .....	33
5.5 MY1 ve MY2 çözeltilerinin döngüsel voltammogramı .....	34
5.6 ITO yüzeyine kot oluşturmuş MY1 ve MY2 moleküllerinin döngüsel voltammogramı .....	35

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.7 MY1 moleküllerinin katı ve sıvı ortamdaki döngüsel voltammogramları.....	35
5.9 ITO yüzeyinde KOT oluşturmuş MY1 bileşiğinin döngüsel voltammogramı.....	37
5.10 ITO yüzeyinde KOT oluşturmuş MY2 bileşiğinin döngüsel voltammogramı.....	37
5.11 KOT moleküllerinin absorpsiyon grafikleri .....	38
5.12 OLED aygıtlarının Keithley 2400 ile test edilmesi.....	38
5.13 3saatlik kot molekülleriyle üretilmiş OLED aygıtlarının I-V grafiği .....	39
5.14 Yalın ve 12 saatlik OLED aygıtları I-V grafiği .....	40
5.15 3 ve 12 saatlik MY1 molekülleri I-V grafiği .....	40
5.18 3 saatlik KOT molekülleri lüminesans grafiği.....	43
5.19 12 saatlik KOT molekülleri lüminesans sonuçları.....	43
5.20 3 ve 12 saatlik MY1 modifiyeli OLED aygıtların lüminesans sonuçları .....	44
5.24 ITO/ KOT /TPD/ Alq3 konfigürasyonlu OLED aygıtlarının renk analizi sonuçları .....	47

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4-1 Üretilen aygıtların listesi	30
5-1 Modifiye edilmiş ve edilmemiş ITO camların yüzey pürüzlülüğü	32
5-2 Yalın ve MY1, MY2 ile modifiye edilmiş ITO camların yüzey potansiyeli	33
5-3 KOT moleküllerin HOMO değerleri	36
5-4 Üretilen OLED aygıtların turn on voltajları	42
5-5 Üretilen OLED aygıtlarının CIE indeksleri	47

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
eV	Elektron volt
$\epsilon$	Dielektrik sabiti
$\epsilon_0$	Boşluğun dielektrik sabiti
$\hbar$	İndirgenmiş Planck sabiti
$k_B$	Boltzman sabiti
Nm	Nanometre
mg	Miligram
M	Molar
$m^*$	etkin elektron yada $h^+$ kütlesi
mA	Miliamper
mL	Mililitre
$\Psi$	Dalga fonksiyonu
$\Phi_p$	Fotoluminesans kuantum verimi
$\phi_b$	Bariyer yüksekliği
V	Volt

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ(devam)**

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
ETL	Elektron iletim tabakası (Electron transport layer)
HTL	Boşluk iletim tabakası (Hole transport layer)
HIL	Boşluk injeksiyon tabakası(Hole injection layer)
ITO	İndiyum doplanmış kalay oksit (Indium tin oxide)
KOT	Kendiliğinden organize tekkatman
NPB	4,4'-Bis(N-1-naftil-N-fenilamino)bifenil
OFET	Organik alan etkili transistör (Organic field effect transistor)
OLED	Işık yayan organik diyot (Organic light emitting diode)
OSC	Organik güneş hücresi (Organic solar cell)
PEDOT:PSS	Poli(3,4-etilendioksitiyofen) poli(stirensülfonat)
TPD	4,4'-Bis(fenil-m-tolilamino)bifenil
UV	Ultraviyole



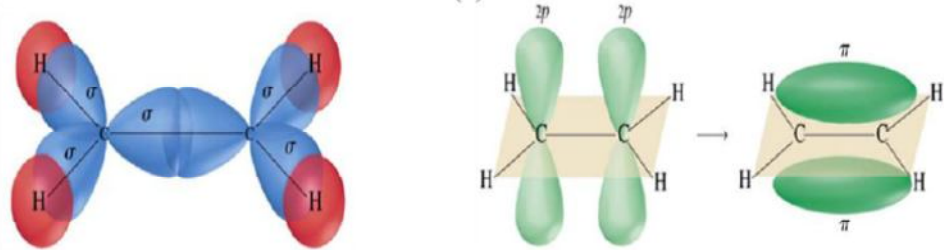
## 1 GİRİŞ

### 1.1 ORGANİK YARI İLETKEN MALZEMELER VE OLED AYGITLAR

#### 1.2 Organik Yarı İletken Malzemeler

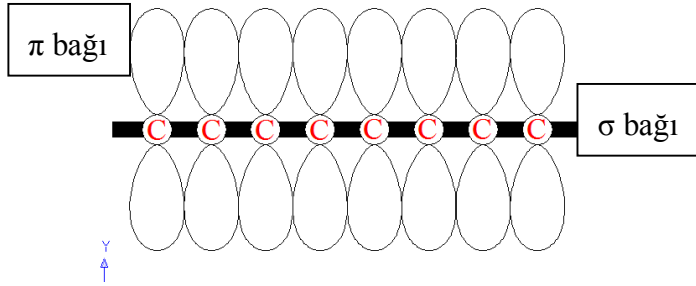
Organik elektronik ya da plastik elektronik iletken organik moleküllerle ilgilenen elektronğin bir dalıdır. Organik iletken malzemeler inorganik iletkenlere göre daha hafif ve elektriksel özellikleri kontrol edilebilirdir. Organik moleküllerin sentezlenmesindeki esneklik, lüminesans ve iletkenlik gibi özelliklerin kontrol edilmesini sağlamasından dolayı Organik Alan Etkili Transistörlerde (Organic Field Effect Transistor OFET)(Henning, 2009; Someya et al., 2008), Organik Işık Yayan Diyotlarda (Organic Light Emitting Diode OLED) (Suppiah et al.; Shiyong et al.)ve Fotovoltaik(Lo et al.; Peumans et al.) hücrelerde kullanılmaktadır.

Organik materyaller temelde karbon atomlarından oluşurlar. Karbon atomlarının elektronik dağılımı, kimyasal bağ yapısında  $sp$ ,  $sp^2$ ,  $sp^3$  gibi farklı hibrit orbitallerin oluşmasına olanak sağlar. Karbon atomunun elektronik konfigürasyonunda 1s orbitalinde 2 atom, 2s ve 2p seviyelerinde ise 4 değerlik elektronu vardır. Karbon içeren farklı bileşiklerin elektron konfigürasyonunu açıklayabilmek için hibrit orbital kavramı kullanılır. Hibrit orbitaller atomik orbitallerin karışımı olarak kabul edilir. Yeni bir hibrit orbital meydana getirmek için s ve p orbitallerinin dalga fonksiyonları birleşir. Yeni orbitaller atomik orbitallerin lineer kombinasyonudur ve oluşma nedeni ise bileşiğin toplam enerjisini minimize etmektir. 1s orbitali 3p orbitali ile birleşirse her biri farklı uzunlukta iki lobu olan 4 adet  $sp^3$  hibrit orbitali meydana gelir. Her bir karbon atomunun dört komşusu olduğu durum elmasta görülür. İki atom hibrit orbital oluşturduğunda sigma ( $\sigma$ ) ve pi ( $\pi$ ) bağları oluşur. Şekil 1.1 de etilen molekülünde  $\sigma$  ve  $\pi$  bağlarının oluşumu gösterilmiştir.



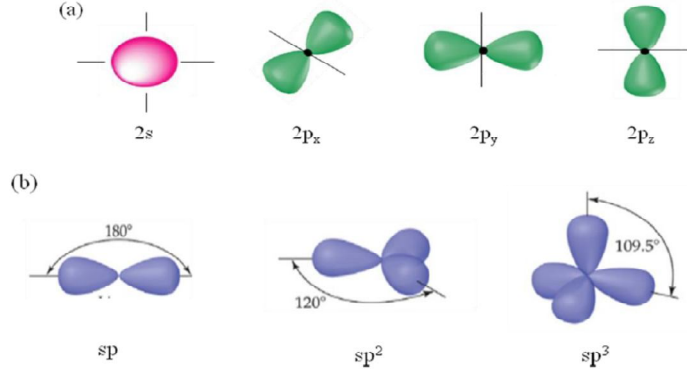
Şekil 1.1 Karbon atomları arasındaki  $\pi$  ve  $\sigma$  bağları(Aydın, 2011)

Bu iki bağın arasındaki temel fark yaptıkları bağın kuvvetidir.  $\sigma$  bağları her zaman  $\pi$  bağından daha kuvvetlidir. Şekil 1.2’de  $\sigma$  ve  $\pi$  bağlarının karbon atomundaki oluşma yönleri gösterilmiştir. Bir molekül veya polimer oluştuğunda tek çift ya da üçlü bağların olması doğrudan hibritleşmeyle alakalıdır. Polimerler elektrik özelliklerini belirleyen  $sp^2$  ve  $sp^3$  hibritleşmesi yapabilirler. Karbon atomları arasında  $sp^3$  hibritleşmesi olan polimerler büyük bant aralığına ( $>3eV$ ) sahip olmaktadır (Kroon et al., 2008). Bu da polimere optiksel geçirgenlik ve yalıtkanlık gibi özelliklere sahip olmasına neden olur. Bir başka polimer sınıfı ise konjuge polimerler olarak da bilinen  $sp^2$  hibritleşmesine sahip olan polimerlerdir. Karbon atomlarındaki  $\pi$  bağları arasındaki etkileşimden dolayı elektronik dalga fonksiyonu polimer zincirinde delokalize olur. Bu delokalizasyon yük taşıyıcıların daha hızlı hareket etmesine olanak sağlar. Bu özelliklerine göre organik yarıiletkenleri küçük molekül ve polimerler olarak iki sınıfa ayırabiliriz. Bu iki sınıf arasındaki temel fark ise ince film kaplama yaparken uygulanan yöntemdir. Küçük moleküller buharlaştırma ve süblimasyonla kaplanırken (Andersson., 2005), polimerler sadece solüsyon halinde döndürerek kaplama gibi metotlarla kaplanabilmektedir (De Roose et al., 2006).



Şekil 1.2 Organik malzemelerde  $\pi$  ve  $\sigma$  bağları (Halidi, 2008)

Organik yarıiletkenlerde yük iletimini anlamak için ilk önce atomik orbitaller ve atomik orbitallerin kimyasal bağ oluşturma eğilimleri anlaşılmalıdır. Schrödinger denklemini bir hidrojen atomu için çözüldüğünde dalga fonksiyonu atomda bir veya iki elektronun bulunabileceği bölgeleri tanımlar. Bu bölgelere orbital denir. Schrödinger denklemi daha ağır atomlar için ek birkaç terim içerirse de bu terimlerin hidrojen atomunun orbitallerinde çok küçük bir bozulmaya sebep olduğunu kabul edebiliriz. Bundan dolayı orbitaller, atomlar arasındaki kimyasal bağları tanımlamada sık olarak kullanılır. Karbon atomunda kovalent bağların oluşumundan sorumlu  $2s$ ,  $2p_x$ ,  $2p_y$ ,  $2p_z$  olmak üzere dört adet değerlik orbitali vardır (D.W.Oxtoby. et. al., 2003). Bu durum Şekil 1.3’de gösterilmiştir. Kovalent bağlarda s ve p orbitalleri lineer olarak birleşip hibrit orbitalleri oluşturur ve  $sp^1$ ,  $sp^2$ ,  $sp^3$  olmak üzere üç çeşit hibrit orbital vardır.



Şekil 1.3 2s 2p<sub>x</sub> 2p<sub>y</sub> 2p<sub>z</sub> orbitallerinin gösterimi a) hibrit orbitaller b) karbon atomu (Havvare, 2011)

### 1.3 Moleküler Orbital Enerji Seviyeleri ve Enerji Bantları

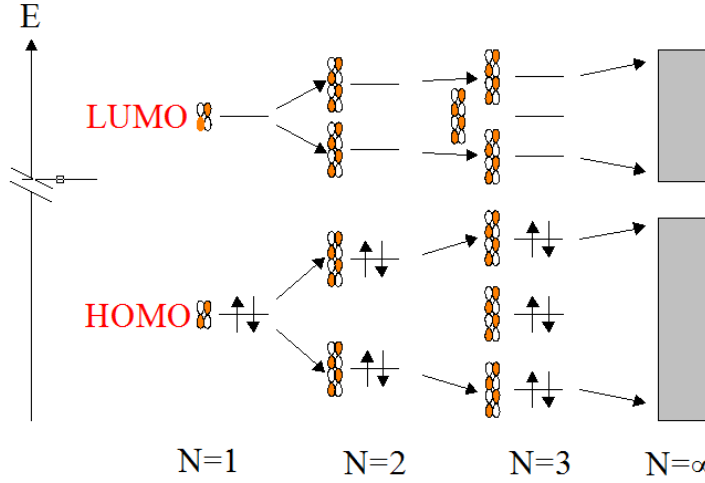
Yukarıda bahsedilen elektron yer değiştirmesi nedeniyle, dalga fonksiyonları bir elektronun yerini sadece bir atom veya moleküler orbital için açıklamak yerine tüm molekül üzerinde açıklayacak şekilde tanımlanmalıdır. Schrödinger eşitliği birçok atom ve elektronun bulunduğu bir sistemde çok karmaşık olduğundan dolayı, Hamiltonian'ın öz fonksiyonları ve öz değerleri genellikle, Hamiltonian'ın bazı terimlerini göz ardı ederek yaklaşık olarak bulunur. Moleküler orbitallerin dalga fonksiyonları  $\Phi_1$  dalga fonksiyonuna sahip atomik p- orbitallerinin lineer kombinasyonları olarak tanımlanabilir. Daha önce belirtildiği gibi  $\sigma$  bağının bağlanma enerjisi  $\pi$  bağına göre daha büyüktür.  $\sigma$  bağındaki elektronları koparmak  $\pi$  bağındaki elektronları koparmaktan daha zor olduğundan,  $\sigma$  bağının elektriksel iletkenliğe yaptığı katkı göz ardı edilebilir (Pope et al., 1999). Bundan dolayı, bu bölümün ilerleyen kısmı sadece  $\pi$ -moleküler orbital üzerine odaklanılacaktır.

$\pi$ -moleküler orbitalinin dalga fonksiyonu  $\Psi_\pi$ ,  $\Phi_1$  dalga fonksiyonlu atomik p-orbitallerin lineer kombinasyonları olarak tanımlanabilir.

$$\Psi_\pi = \sum_{l=1}^N a_l \Phi_l \quad (1)$$

N moleküldeki karbon atomlarının sayısı,  $a_l$  lineer katsayıları ve toplam bütün karbon atomları üzerinde geçerlidir. N adet karbon atomu için, Hamiltonian hermitesini veren ortogonal N moleküler orbital olarak tanımlanabilir (Pope and Swenberg, 1999).

Bir molekülün temel seviyesinde, en düşük enerjilerin moleküler orbitalleri ters spinli 2 elektron tarafından doldurulur(Pauli-Prinsibi). En yüksek enerjide doldurulan moleküler orbital en yüksek dolu moleküler orbital olarak adlandırılır(Highest Occupied Molecular Orbital, HOMO), ondan sonraki daha yüksek enerjili ancak elektron içermeyen moleküler orbital ise en düşük boş moleküler orbital(Lowest Unoccupied Molecular Orbital, LUMO) olarak adlandırılır( Bkz. Şekil 1,4).



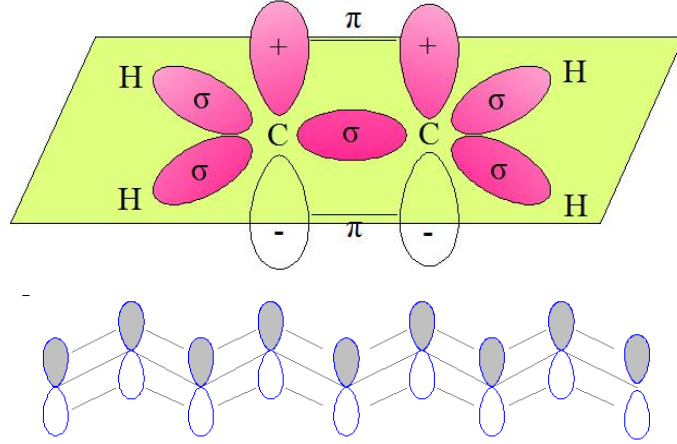
Şekil 1.4 Organik moleküllerde HOMO-LUMO seviyelerinin oluşması (Haldi, 2008)

Organik moleküllerin birbirlerine yakın oldukları moleküler katılarda, farklı moleküllerin moleküler orbitalleri çakışır. Her ne kadar 2 molekül bir sistem birbirinden bağımsız 2 molekül olarak düşünülmemese de, moleküler orbitallerin enerjileri moleküller arası etkileşimler nedeniyle ayrılırlar. Birçok molekül etkileşime başlarsa, enerjilerin ayrılması inorganik yarı iletkenlerdeki değerlik ve iletim bantlarıyla karşılaştırılabilen bir yapı oluşmasına neden olur(Bredas et al., 1985).

#### 1.4 Kimyasal Bağlar

Hibrid orbitallerin açıklamasıyla, kovalent bağların oluşumu basittir. İlk olarak, iki atomun hibrid orbitallerini  $sp^1$ ,  $sp^2$ , ya da  $sp^3$  üst üste getirerek, kovalent tek bağlar veya  $\sigma$ -bağları oluşturulur. Buna rağmen, organik yarı iletkenlerde asıl önemli olan, bir  $\sigma$ -bağı ve bir ya da iki  $\pi$ -bağıyla oluşan ve  $sp^2$  ve  $sp^1$  hibritleşmesi sonucu ortaya çıkan ikili ve üçlü bağlardır. Böyle sistemlerde,  $\pi$ -bağı, Şekil 1.5 de gösterildiği gibi saf p- karakteristikli atomik orbitallerin üst üste gelmesiyle elde edilir.

$\sigma$ -bağlarındaki hibrid orbitaller arası örtüşme  $\pi$ -bağlarındaki p-orbitallerinin örtüşmesine göre küçüktür buna bağlı olarak  $\pi$ -bağlardaki bağlanma enerjisi  $\sigma$ -bağlardaki bağlanma enerjisinden küçüktür. Ancak, p-orbitalleri arasındaki güçsüz bağlantı nedeniyle, bu orbital içerisindeki elektronlar boşlukta delokalizasyona daha eğilimlidirler ve elektronlarda daha fazla polarizasyon beklenebilir. Tek ve ikili bağlı ya da ikili ve üçlü bağların birbirini izlediği moleküler sistemlerde, birleşik sistemler, iki atom arasındaki mesafeden daha uzun olsa bile, p-orbitalleri zincir boyunca üst üste gelmeye devam ettiğinden, elektronların delokalizasyonu gerçekleştirilebilir(Bkz. Şekil 1,5).



Şekil 1.5 Etilen karbon atomları  $\sigma$  ve  $\pi$  bağlarının gösterimi (Şeker, 2011)

### 1.5 Singlet ve Triplet Enerji Durumları

Bir elektronun uyarılarak arkasında boşluk bırakıp bir üst enerji bandına geçmesi durumu, bir başka deyişle uyarılmış durum, kuantum mekaniksel olarak açıklanabilir. Bir boşluk kayıp bir elektronu temsil ettiğinden, hem elektron hem de boşluk benzer dalga fonksiyonlarıyla temsil edilebilir. 1/2 spinli 2 parçacıklı bir sistemde, Hamiltonian'ın öz durumları parçacıkların değişimine bağlı olarak antisimetrik olmalıdır (Pauli Principle)(Griffiths, 2005). Dalga fonksiyonları uzay ve spin dalga fonksiyonlarının çarpımı olarak yazıldığından, spin dalga fonksiyonu simetrik ya da antisimetrik olabilir. Elektron ve boşluk için, dalga fonksiyonunun spin kısmı oklar spin yönlerini gösterecek şekilde

$\Psi_{\text{spin}} = |\uparrow\downarrow\rangle$  veya  $|\downarrow\uparrow\rangle$  ifadesiyle tanımlanabilir. Spinin 4 muhtemel kombinasyonu bir antisimetrik (singlet) durum  $S_n$  :

$$\Psi_{\text{spin}} = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\uparrow\downarrow\rangle - |\downarrow\uparrow\rangle) \quad (2)$$

ve 3 simetrik (triplet) durum  $T_n$  :

$$\Psi_{\text{spin}} = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\uparrow\downarrow\rangle + |\downarrow\uparrow\rangle) \quad (3)$$

$$\Psi_{\text{spin}} = |\uparrow\rangle|\uparrow\rangle \quad (4)$$

$$\Psi_{\text{spin}} = |\downarrow\rangle|\downarrow\rangle \quad (5)$$

arasında ayırt edilebilir.

## 1.6 Organik Moleküllerde Absorbsiyon ve Emisyon

Bir molekül, komşu moleküllerle dipol-dipol etkileşimleri aracılığıyla, elektriksel yükler enjekte edilerek, bir foton veya bir fonon soğurarak uyarılabilir. Bir eksiton rekombine olduğu zaman, molekülden ışık emisyonu oluşur(Qiao et al., 2010). Bir eksiton, net yükü 0 olan bir elektron ve boşluğun birbirine bağlı olduğu durumdur. Eksitonlar difüzyon yapabilen yarı-parçacık olarak düşünülebilir. Elektron ile boşluk arasındaki yarıçap eksitonun yarıçapıdır. Polimetrik sistemlerdeki küçük orbital üst üste gelmelerinden dolayı, eksitonlar lokalizedir (Frenkel eksitonlar) ve yarıçapları moleküller arası mesafelere göre küçüktür (5 Å'dan küçüktür). Bir inorganik kristal içindeki eksitonlar yarıçapları 40 ile 100 Å arasındadır (Wannier eksiyonları)(Pope et al., 1999). Bir eksiton bir polimer zinciri üzerinde(zincir içi eksitonları) ya da 2 polimer zinciri(zincirler arası eksiton) arasında konumlanabilir. Zincirler arası eksitonlar genellikle çok küçük fotoluminesans verimliliğe sahiptir (Tretiak et al., 2000).

Polimerlerde emilim ve emisyon olgusu genellikle çok uzak bölgeler etkileşemediğinden tüm polimer zincirini kapsamaz. Ek olarak, polimer zincirleri içerisindeki kıvrım gibi faktörler etkileşimi limitler. Birleşme uzunluğu polimerdeki verimli etkileşim uzunluğunu tanımlamak için kullanılır. Sadece bu uzunluk içerisindeki kısımlar polimerin emilim ve emisyonu dahil olur. Birçok durumda, polimerlerin birleşme uzunluğu 11 ile 20 monomer birim arasındadır (Argyris et al., 1997; Kuzmany et al., 1987; Bredas et al., 1985).

Eğer emisyon bir fotonun emilmesi sonucu oluşursa, bu sürece fotoluminesans (PL) olarak; eğer yük enjekte ederek oluşursa elektroluminesans(EL) olarak adlandırılır.

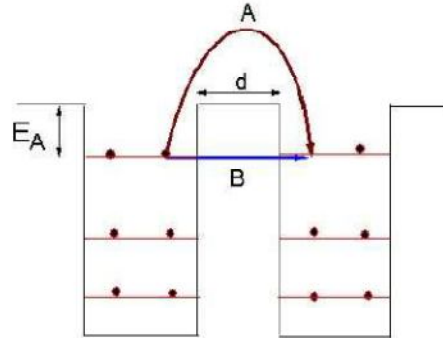
## 1.7 Organik Yarı iletkenlerde Hopping Mekanizması

Mobilite, yük taşıyıcılarının uygulanan elektrik alan altındaki hızı olarak tanımlanır. İnorganik yarı iletken materyallerde, yük iletimi, iyi bilinen iletim ve değerlik bandlarında meydana gelir. Bu materyallerde, mobilite 100 cm<sup>2</sup>/V.s gibi çok büyük değerlere ulaşabilir. Ancak organik yarı iletkenlerde, oluşturulmuş moleküller Van der Waals kuvvetleriyle birbirlerine çok zayıf olarak bağlıdır ve band formasyonunun klasik görünümü çok doğru değildir. Bu materyallerde, band

enerjisi  $k_B T$  değerinden küçüktür (Gutmann et al,1967). Organik yarıiletkenlerde mobilite değeri  $10 \text{ cm}^2/\text{V.s}$  mertebelerindedir(Wang et al, 2010; Eswart et al.,2011) eğer yük taşıyıcılarının saçılımı esasından aldığı ortalama serbest yol mesafesini hesaplamak istersek moleküller arası mesafeden küçük değerler elde ederiz. Bu durumun ışığında, organik yarı iletkenlerde yük iletim mekanizması, kristal malzemelerdeki mekanizmasıyla farklılık göstermelidir. Aslında, her adımda oran sınırlayıcı bir süreç olmalıdır, yük taşıyıcılar (Gutmann et al,1967). oransal eşitliğinde verilen mobilite ile, aktif enerji bariyerinin üstesinden gelmelidir:

$$\mu \propto \exp(-E_A/k_B T) \quad (6)$$

$E_A$  aktivasyon enerjisi, ve  $k_B$  Boltzmann sabiti. Basit şekilde açıklamak gerekirse, belirli bir enerjiye sahip taşıyıcı sığ veya derin potansiyel kuyusu içerisine yerleştirilir ve yeterli derecede termal enerji aldıktan sonra, taşıyıcı potansiyel bariyeri aşarak komşu duruma atlayabilir. Bu süreç Şekil 1.6'da gösterilmiştir. Organik yarı iletken materyallerde hopping mekanizması iletimde baskın olan mekanizmadır(Horowitz, 1998). Bu nedenle, organik yarı iletkenlerin mobilite değeri; Si ya da Ge gibi kristal yarı iletkenlerin iletkenliklerinin sıcaklıkla arasındaki ilişkiden farklı olarak sıcaklık ile exponansiyel olarak değişir.



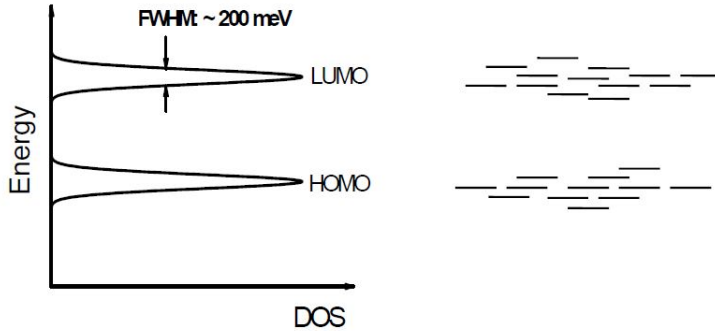
Şekil 1.6 Yük transferi süreçleri A ve B doğrultusuyla gösterilmiştir.

İki lokalize olmuş durum arasında fonon-assited hopping yada doğrudan tünelleme gibi iki farklı süreç meydana gelebilir(Jongwoon and Kawakami, 2006). Tünelleme iki durumun elektronik dalga fonksiyonunun efektif olarak üstü üste binmesi durumunda meydana gelebilir. Hopping ise taşıyıcılar lokalize olmuş durumlarda sıkışmışken bir fonon absorbe eder ve bir sonraki uygun duruma atarsa oluşur.

## 1.8 Yük Transferi

Yük taşıyıcıları; organik yarı iletken tabakasına enjekte olabilmek için, metal/organik arayüzün potansiyel bariyerinin üstesinden gelmek zorundadır. Düşük bariyer yada yüksek sıcaklık durumlarında, çok miktarda yük taşıyıcıları arayüz bariyer yüksekliğinden daha enerjiye sahip olacaktır bu durum termiyonik emisyon olarak adlandırılır fakat sıcaklık düşer veya potansiyel bariyer yüksekliği yüksek bir değere çıkarsa, enjeksiyon sadece potansiyel bariyer üzerinden kuantum mekaniksel tünellemeyle gerçekleşir. Yük taşıyıcıları metalden boş düzeylere en düşük dolu(LUMO) ve en yüksek dolu(HOMO) moleküler orbitalde tünelleme yapar. Alternatif olarak eğer organik katman; organik materyalin HOMO ve LUMO seviyeleri arasında yeni ulaşım durumları oluşturabilecek şekilde yüksek konsantrasyonlu safsızlık içerirse, tünelleme organik katmanda metalden boş lokalizasyonlu durumlara atlamalı tip süreciyle gerçekleşir(Koehler et al., 1997). Bu bariyer her bir arayüzde enjeksiyonu domine eden en düşük bariyerdir(Champbell et al., 1997).

Özellikle organik ince filmlerin amorf yüzeylerinde, durumların yoğunluğu (Density of states, DOS) şekil 1.4'de gösterildiği gibi özel moleküllerin moleküler orbitallerinin Gauss dağılımıyla olarak gösterilmiştir(). Bunun gibi amorf katmanlardaki yük iletimi temel olarak fonon yardımcı süreç olan sağlam lokalizasyonlu durumlar arasında atlama süreçleri tarafından değerlendirilir. Bu nedenle, amorf organik materyallerin yük taşıyıcılarının mobiliteleri genellikle sıcaklığın artmasıyla artar (Borsenberger et al, 1991).



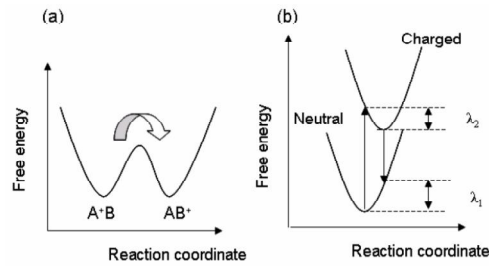
Şekil 1.7 Organik yarı iletkenin HOMO LUMO seviyelerinin dağılımı. (Kondo,T., 2007)

Fonon yardımcı süreç durumunda, yük taşıyıcılar tek moleküllere yerleşir ve molekülden moleküle atlar. İki komşu molekül arasındaki yük atlama frekansı, yarı klasik Marcus teorisinin ilk yaklaşımıyla bulunabilir ve şu şekilde yazılır(Marcus et al, 1993).

$$k_{et} = \left( \frac{4\pi^2}{h} \right) \frac{t^2}{\sqrt{4\pi\lambda kT}} \exp \left( -\frac{\lambda}{4kT} \right) \quad (7)$$

$k_{et}$  yük transfer oranı,  $t$  moleküller arası transfer integrali, and  $\lambda$  reorganizasyon enerjisidir. Bu eşitlik yük atlama oranının 2 ana parametreye bağlı olduğunu gösterir:  $t$  moleküller arası transfer integrali, ve  $\lambda$  reorganizasyon enerjisidir. Yüksek mobilite ve bunun sonucu olarak yüksek transfer oranı,  $t$  'nin büyük ve  $\lambda$  in küçük değerler almasını gerektirir.  $\lambda$  reorganizasyon enerjisi 2 enerjik terimin toplamıyla oluşur: molekülün iç reorganizasyon enerjisi ( $\lambda_i$ ) ve çevreleyen ortamın reorganizasyon enerjisi ( $\lambda_s$ ). (Barbara et al, 1996). Bir yandan  $\lambda_i$ , nötr durumdan iyonize duruma geçerken yada tam tersi durumda, moleküllerin içerisindeki geometrik değişiklikleri yansıtır; bu modifikasyonlar birleşik materyallerin güçlü elektron titreşim bağlanma karakteristiğinin sonucu olarak önemlidir.  $\lambda_i$ , Şekil 1.8 b: (Berlin et al, 2003; Coropceanu et al, 2002) de gösterildiği gibi 2 enerji dinlenme teriminin toplamıdır; iyonun dinlenme ve denge geometrisi karakteristikleri içindeki enerjileri arasındaki fark; (2) radikal iyonun denge geometrisi ve nötr geometrisindeki enerjileri arasındaki fark. Diğer taraftan,  $\lambda_s$  çevreleyen moleküllerin elektronik polarizasyonlarındaki değişimini ve yük taşıyıcılar etrafındaki yeni yönelimlerini tanımlar; ikincisi katı durumlarda önemli ölçüde limitlenmiş olarak beklenir (Lemaire et al, 2004).

Moleküller arası transfer integrali iki molekül arasındaki elektronik bağlanma kuvvetiyle hesaplanır. Kesin değerler 2 nötr molekülün yapılan dimerinde boşluklar için HOMO(LUMO) enerji seviyelerinde elektronik bölümün yarısı olacak şekilde bir yaklaşım yapılarak oluşturulur (Li et al, 1999; Cornil et al, 2001) İki molekül arasındaki bütün yük-transfer oranı ve materyalin yüksek yük taşıyıcı mobiliteye sahip olabilmesi için, reorganizasyon enerjisi küçük ve moleküller arası transfer integrali büyük olmalıdır. Küçük reorganizasyon enerjisi için, aromatik moleküllerin  $\pi$ -elektronu yüksek delokalizyonlu olmalıdır. Büyük moleküller arası transfer integrali için, moleküller optimize edilmiş orbital üst üste binmesine sahip olmalıdır (rotasyonel düzensizlik moleküller arası transfer integralini üzerinde önemli bir etkiye sahiptir)



Şekil 1.8 a) A molekülünden B molekülüne hole transferinin şematik gösterimi b) Yeniden yapılanmadaki  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  'nin tanımlanması.

## 2 ORGANİK IŞIK YAYAN DİYOT (OLED)

### 2.1 OLED Aygıtının Avantajları ve Dezavantajları

İlk olarak OLED aygıtının avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

\*Kendinden aydınlatmalı olması: OLED aygıtların verimi aydınlatma, yayıcılar ve polarizeler kullanılmadan yapılan diğer görüntü üretmeye yarayan aygıtlardan daha iyidir.

\*Düşük maliyetli ve kolay üretilmesi: Polimer OLED aygıtların üretimi makaradan makaraya (*Roll-to-roll*) yöntemiyle yapılabilmektedir.

\*Renk çeşitliliğinin çok fazla olması: Kırmızı ışıktan mavi ışığa kadar çeşitli renklerde görüntü elde edebilmek için bol miktarda organik maddeler bulunmaktadır. Bu organik maddelere değişik fonksiyonel grupların kimyasal olarak bağlanmasıyla, malzemenin  $E_g$  değerini değiştirmek mümkün hale geldiği için renk çeşitliliğini kontrol edilebilmektedir.

\*Hafif, kompakt ve ince aygıt olması: OLED aygıtlar genellikle çok ince yapılardan oluşmaktadır. Organik ve anorganik yapılardan oluşan OLED aygıtının toplam kalınlığı yaklaşık 200-300 nm civarındadır. Bu da OLED aygıtların hafif ve kompakt olmasını sağlamaktadır.

\*Esnek bir yapıda olması: OLED aygıtların organik malzemelerden meydana gelmesi esnek elektronik aygıtlar üretmeyi olanaklı hale getirmiştir. Plastik altlık yüzeylerinde de bu organik malzemelerin uygulanması ayrıca birçok avantaj sağlamıştır.

\*Yüksek parlaklık ve çözünürlüklere sahip olmaları: OLED aygıtları düşük gerilimde çalışmalarına rağmen yüksek ışımaya (yüksek parlaklık) yaparlar. (Beyaz OLED aygıtlar  $150.000 \text{ cd/m}^2$  kadar ışık vermektedir).

\*Geniş görüş açısına sahip olmaları:  $160^\circ$ 'ye kadar olan açılarda bakıldığında dahi görüntüde önemli bir bozukluk göstermezler. Bu nedenle görüntüleme açıları oldukça geniştir.

\*Hızlı cevap vermesi:  $< 1 \mu\text{s}$ 'nin altındadır.

Öte yandan OLED aygıtının bazı dezavantajları da aşağıdaki gibi sıralanabilir;

\*Bozulmaya karşı duyarlı olması: Oksijen ve su molekülleri tarafından bozunmaya karşı son derece duyarlı olmaları,

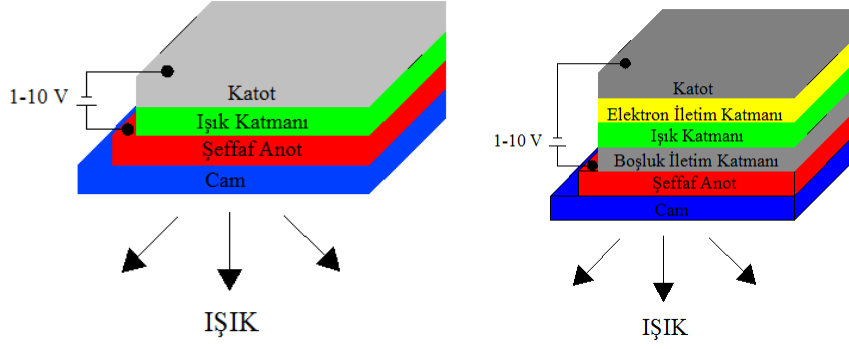
\*Düşük  $T_g$  değeri: Küçük moleküllerle yapılan aygıtların genelde düşük  $T_g$  değerine sahip olmaları,

\*Düşük mobilite: Organik moleküllerin amorf yapıları nedeniyle mobiliteilerinin düşük olması,

\*Kısa ömürlü olması: OLED’lerde en büyük problem yapılan aygıtın ömrüdür(Can,M., 2012).

## 2.2 OLED Aygıtının Yapısı

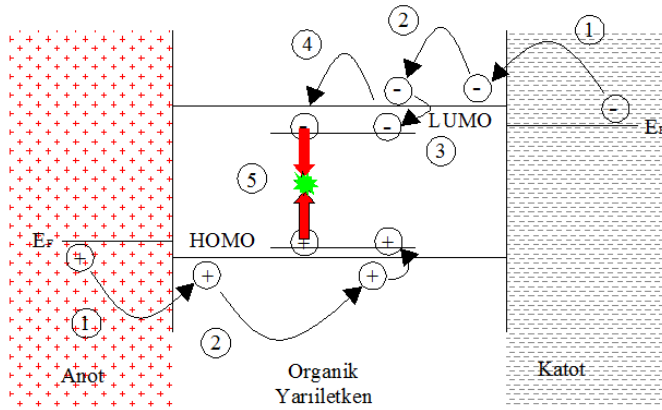
OLED aygıtı Şekil 2.1 de görüldüğü gibi kalınlığı yaklaşık 1µm olacak şekilde iki elektrot arsına sıkıştırılmış tek katmanlı veya çok katmanlı bir yapıya sahip olabilmektedir. Yapı genellikle cam yüzey üzerine anot olarak transparan oksit tabakasının kaplanması ve üzerine organik moleküllerin daha sonra da katot elektrotun eklenmesiyle oluşturulmaktadır. Organik katmanlar döndürerek kaplama yöntemiyle bir veya birden fazla polimer ya da termal buharlaştırma yöntemiyle küçük moleküllerden oluşturulabilir. Organik katman tek veya çok katmanlı olarak üretilebilmektedir. Eğer tek bir katman kullanılırsa bu katmanın elektron boşluk ve elektronun iletimini ve ışığın yayılımını sağlamalıdır. Bütün bu özelliklerin tek bir organik moleküle toplanması oldukça zordur. Bu yüzden OLED aygıtlar, elektrotlar arasında iyi taşıyıcı enjeksiyonu ve iletimi sağlanabilmesi için çok katmanlı olarak tasarlanır. Böylesi bir tasarım küçük (small) moleküller kullanılarak ilk kez 1987 yılında Tang ve grubu tarafından gerçekleştirilmiştir(Tang,W et al.,1987). Tang ve grubu iletken ve saydam özelliğe sahip ITO üzerine 1,1-bis-(4-bis(4-metilfenil)-aminofenil)-sikloheksan (TAPC) ve alüminyum tris-(8-hidroksikinolin) (Alq<sub>3</sub>)organik malzemeleri buharlaştırılarak ilk çift katmanlı OLED aygıtını üretmişlerdir. Bu çift katmanlı yapıda TAPC boşluk iletim tabakası (HTL), Alq<sub>3</sub> ise elektron taşıma tabakası (ETL) olarak kullanılmıştır. Gümüş:magnezyum (Ag:Mg) alaşımı, düşük çalışma fonksiyonuna sahip olmasından dolayı katot olarak kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin enerji düzeyleri dikkatli bir şekilde seçilmiştir. Örnek vermek gerekirse, Katot bileşiğinin çalışma fonksiyonun enerjisi ile Alq<sub>3</sub> bileşiğinin LUMO seviyeleri birbirine çok yakındır. Bundan dolayı, Ag:Mg katotu ve Alq<sub>3</sub> düşük enerji bariyeri sayesinde verimli bir enjeksiyon sağlanmıştır. Bu OLED aygıtı için, düşük bir gerilimde (~10V) yüksek bir parlaklık gözlemlenmiştir ve bu aygıtın dış kuantum verimi, enjekte edilen elektron başına üretilen fotonların sayısı, (η<sub>ext</sub>), %1’e ulaşılabilmiştir. Halen OLED araştırmalarında bu mimari standart olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.1 Tek katmanlı ve Çok katmanlı OLED

### 2.3 OLED Aygıtının Çalışma Prensibi

OLED aygıtlarının çalışma prensibi inorganik LED 'ler ile benzerlik gösterir. Anot ve katoda gerilim uygulandığında, yükler elektrotlardan organik yarıiletkenine doğru akmaya başlar. Boşluklar ve elektronlar yarı iletken boyunca ters yönde hareket ederler. Yükler yarıiletkende bir noktada buluştuklarında elektron-boşluk çifti (eksiton) oluşturur. Bu oluşan elektron-boşluk çiftinin rekombine olması sonucunda da OLED aygıtı ışık yaymaya başlar. Şekil 2.2 de OLED aygıtının çalışma prensibi anlatılmıştır. 1) Yük iletimi 2-3) Eksiton oluşumu ve taşınması 4-5) Uyarılmış bir durumdan radyatif olarak rekombine olması.  $E_f$  metal elektrotların fermi seviyesini göstermektedir. Bu basamakların hepsi ileriki kısımlarda detaylı olarak incelenecektir.



Şekil 2.2 OLED aygıtının çalışma prensibi (Godlevski, 2007)

### 2.4 Elektron Boşluk Rekombinasyonu ve Eksiton Oluşumu

OLED aygıtının bütün katmanlarından yüksek akımlar geçebilir fakat taşıyıcılar birleşip eksitonları ve ışık meydana getirmezlerse OLED aygıtından yüksek verim elde edilemez. Bu çok ince katmandan( yaklaşık 100nm) verim elde edebilmek için; tek katmanlı OLED aygıtlarında taşıyıcılarının mobilitelerinin aynı

olması veya yüksek mobilitedeki taşıyıcıların rekombine olmalarını sağlayacak çok katmanlı bir yapı tasarlanması gereklidir. Rekombinasyon süreci Langevin teorisyle açıklanabilir. Bu modele göre elektron-boşluk oluşumu spin bağımsızdır. (Davids et al., 1997; Scott and Carter, 1997). Eksitonun spin dalga fonksiyonu singlet ( $S=0$ ) veya triplet ( $S=1$ ) olabilir. Spin istatistiğine göre eksitonun singlet ve triplet oluşturması oranı 1:3 tür. Organik yarı iletkenlerde triplet eksitonların singlet eksitonlara göre daha kuvvetli bağ yapmasından dolayı kuantum veriminin %25 i aşamaz. Bu verim triplet eksitonlarının non-radiative olmasından kaynaklanmaktadır(Kwok and Xu, 2002).

Taşıyıcı mekanizmasına göre, rekombinasyon düşük mobiliteli taşıyıcının olduğu tarafa daha yakın olacaktır. Tek katmanlı OLED aygıtlarında elektron-boşluk çifti elektrotta yakın yerde meydana gelecektir. Blok katmanı kullanılarak, yüksek mobiliteli taşıyıcıları organik/organik ara yüzünde hapsedilebilmektedir. Böyle bir tasarım aygıtın veriminin, eksiton sayısını veya yoğunluğundaki artışa bağlı olarak arttıracaktır.

## 2.5 Yük İnjesiyonu ve Yük Transferi

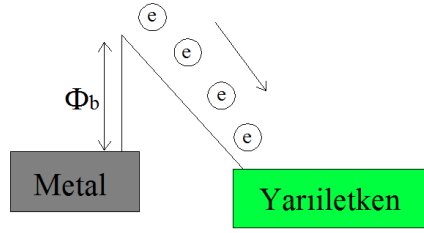
Organik aygıtlarda kullanılan moleküller düşük elektrik alan ( $<10^4$  V/cm) altında yalıtıkandırlar. Organik moleküllerin öz direnç değerleri  $10^{15}$   $\Omega$ -cm mertebelerindedir. Bu da saf organik malzemelerin kimyasal olarak donör ve akseptör ile katkılanmadıkları sürece net bir yüklerinin olmadığını göstermektedir. Fakat OLED aygıtlarının çalışması sırasında  $1A/cm^2$  gibi akım yoğunluğu elde edilebilmektedir. Bu da organik yarıiletkenler için çelişkili bir durum oluşturmaktadır ve yüksek akım yoğunluğunun açıklanması için yeni mekanizmaların tanımlanmasını gerektirir: Bunlar; elektrot/organik arayüzündeki taşıyıcı enjesiyonu, space charge limited current (SCLC) yaklaşımı ve trap charge limit current (TCLC) yaklaşımıdır. Yüksek akım yoğunluğu, elektrot/organik arayüzündeki taşıyıcı enjesiyonu ve SCLC tarafından sağlanır(Davids et al., 1997; Jain et al., 2001).

Organik ince filmlerin elektronik yapısı her bir molekülün HOMO ve LUMO ile açıklanabilir. Her bir molekül Van der Waal's kuvvetlerinin etkisindedir bu da iletim ve değerlik bandının oluşmasını sağlar. Yapısal olarak organik yarıiletkenlerin taşıyıcı yoğunlukları düzensizliklere ve kirliliğe bağlı olarak inorganik yarı iletkenlerle ( $1-10^3$   $cm^2/V.s$ ) karşılaştırıldığında çok düşüktür( $10^{-3}-10^{-7}$   $cm^2/V.s$ ). Taşıyıcılar organik katmanlara Schottky termal enjesiyonu ve Fowler-Nordheim tünelleme enjesiyonu ile enjekte olurlar.

## 2.6 Schottky Termiyonik Emisyonu

Metal-organik yarıiletken arayüzünde yük taşıyıcıları yeterli termal enerjiye sahip olduklarında organik malzemenin LUMO seviyesine enjekte olabilirler. Herhangi bir elektrik alan uygulanmadığında ve termal dengede yük taşıyıcıları metalden yarıiletkene ve yarıiletkenenden metale hareket ederler. Fakat denge durumu olmasından dolayı net akım sıfırdır.

Termiyonik Emisyon



Şekil 2.3 Termiyonik Emisyon taşıyıcı injeksiyonu

Pozitif gerilim altında, bariyer boyunca elektrostatik potansiyel azalır. böylece organik yarıiletkenenden metal kontakta akan akım azalır. Yük-voltaj karakteristiği denklem 10 ve 11'e göre tanımlanır. (Rhoderick and Williams, 1978)

$$J = A^*T^2 \exp\left(-\frac{\phi_b}{k_B T}\right) \quad (10)$$

$$A^* = \frac{4\pi q m^* k_B^2}{h^3} \quad (11)$$

$q$  elektronun yükü,  $m^*$  efektif elektron ve boşluk kütlesi,  $k_B$  Boltzman sabiti,  $T$  sıcaklık  $\Phi_b$  bariyer yüksekliği  $A^*$  Richardson sabitidir.

Temel olarak Richardson kanunu yük taşıyıcılarının sadece anot ve katot yöndeki yük akışını açıklar. Elektrot ve yarıiletken arasında kontak kurulduğunda, enjekte olan elektronlar metal tarafta bu elektronlara çekici kuvvet uygulayan pozitif yükler meydana getirir. Bu kuvvete sanal güç etkisi denir. Sonuç olarak arayüzde bir elektrik alan oluştuğunda  $\Phi_b$  bariyeri  $\Delta \Phi_b$  kadar düşer.

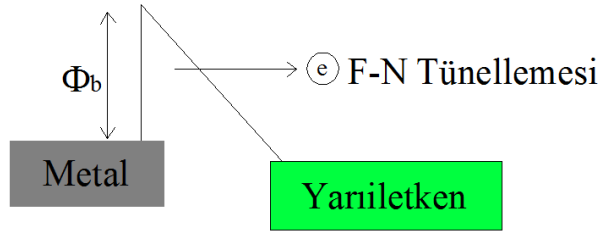
$$\Delta \phi_b = \left(\frac{e^3}{4\pi\epsilon\epsilon_0}\right)^{1/2} E^{1/2} = \beta_{RS} E^{1/2} \quad (12)$$

Bu koşul altında akım yoğunluğu Richardson-Schottly kanunu ile açıklanır. (Glang and Maissel, 1970).

$$J = A^*T^2 \exp\left(-\frac{\phi_b}{k_B T}\right) \exp\left(\frac{2\beta_{RS}E^2}{k_B T}\right) \quad (12)$$

## 2.7 Fowler Nordheim Tunellemesi

Richardson-Schottky termoyonik yayınının aksine, Fowler-Nordheim mekanizması kolombik etkileri göz ardı eder ve yüksek elektrik alan nedeniyle enerji bantlarının bükülmesi sonucu oluşan üçgensel potansiyel bariyerini Şekil 2.4 de görüldüğü gibi tünelleme mekanizmasıyla açıklar.



Şekil 2.4 Fowler-Nordheim tünelleme mekanizması

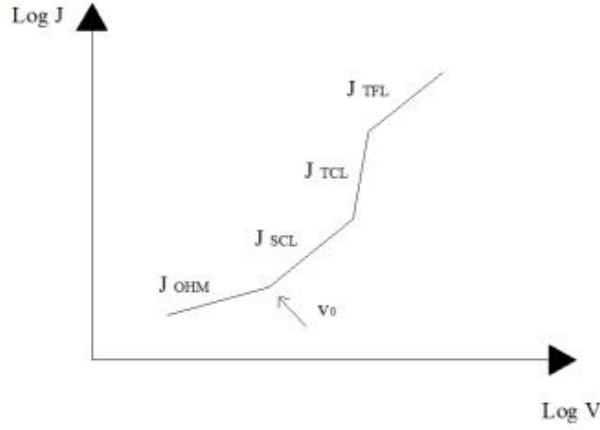
Fowler-Nordheim mekanizması aşağıdaki denklem ile açıklanır. (Bhandari et al., 2009).

$$J = \left(\frac{q^3 V^2 m_0}{8\pi h \phi_b m^*}\right) \exp\left(-\frac{8\pi(2m)^{0.5} \phi_b^{1.5}}{3h q V}\right) \quad (20)$$

$m_0$  serbest elektronun kütlesi,  $m^*$  efektif elektron ve boşluğun kütlesi,  $\Phi_b$  bariyer yüksekliği,  $h$  Plank sabiti ve  $V$  anot ile katot arasında uygulanmış olan gerilimdir.

## 2.8 Space Charge Limited Current (SCLC) Yaklaşımı

OLED aygıtında metal ve organik tabakalar arasındaki yük iletimi SCLC yaklaşımıyla anlaşılabilir. Şekil 2.5 yığın sınırlı ve enjeksiyon sınırlı akım yoğunluğuna karşı voltaj karakteristiği görülmektedir. Akım yoğunluğu dört kısımda incelenebilir. Bunlar omik bölge ( $J_{OHM}$ ), space charge limited bölgesi ( $J_{SCL}$ ), trap charge limited bölgesi ( $J_{TCL}$ ), trap charge filled bölgesi ( $J_{TFL}$ ) olarak sıralanabilir.



Şekil 2.5 Enjekte edilen akım yoğunluğunun gerilime göre değişimi

Düşük voltajda akımı serbest elektronların hareketi belirler ve akım yoğunluğu ohm yasasıyla açıklanır. (Shen et al., 2004).

$$J_{OHM} = eN_0\mu\frac{V}{L} \quad (21)$$

V gerilim,  $N_0$  birim yüzey başına serbest elektron, e elektron yükü,  $\mu$  mobilite, L de iki elektrot arası kalınlığı göstermektedir.

Eşik voltajı; akım değerinin omik akımdan SCL akıma geçtiğini gösteren değerdir. Uygulanan gerilim arttıkça yük taşıyıcıları organik yarı iletkene enjekte olmaya başlar. Organik yarıiletkenin yük mobilitésinin  $10^{-5}$  - $10^{-3}$   $\text{cm}^2/(\text{V.s})$  mertebelerinde olması nedeniyle (Rakurthi, 2010) uygulanan gerilim arttıkça yük taşıyıcıları bu tabakalarda birikmeye başlar. Bu şartlar altında belirli bir değerden sonra akım yoğunluğu gerilimin karesiyle artmaya başlar ve bu rejime SCLC rejimi adı verilir. SCLC rejimi basit bir kondansatör modeliyle aşağıdaki gibi açıklanabilir.

$$Q_{inj} \approx Q = CV \quad (13)$$

$Q_{inj}$  enjekte edilmiş yük, Q toplam yük, C kapasite ve V voltajı göstermektedir. Akım yoğunluğu ise denklem14'le ifade edilebilir.

$$J = \frac{Q_{inj}}{Ad} v_d \text{ with } v_d = \mu E = \mu \frac{V}{d} \text{ and } C = \epsilon\epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (14)$$

A aktif alan,  $d$  iki elektrot arası mesafe,  $v_d$  yüklerin sürüklenme hızı,  $\mu$  mobilite,  $E$  elektrik alan,  $\epsilon_0$  boşluğun dielektrik sabiti,  $\epsilon$  dielektrik sabitidir. Bu durumda akım yoğunluğu.

$$J_{SCLC} \approx \epsilon \epsilon_0 \mu \frac{V^2}{L^3} \quad (15)$$

Olarak elde edilir. Mott ve Gurney akımın SCLC yaklaşımına göre değişimini denklemi ile açıklamıştır (Shen et al., 2004). Denklemde  $\epsilon_0$  boşluğun dielektrik sabiti,  $\epsilon$  dielektrik sabitidir.

$$J_{SCLC} = \frac{9}{8} \epsilon \epsilon_0 \mu \frac{V^2}{L^3} \quad (16)$$

Kısmen yüksek elektrik alan altında yüksek miktarda taşıyıcı organik yarıiletkenlere enjekte olur ve organik katmandaki tuzakların dolmasını sağlar. Organik tabakadaki tuzakların doldurulmasından sonra ekstra enjeksiyonlarla tuzaklanan yüklerden bağımsız olarak yük hareketi gerçekleşir. Bu yük iletimine trap filled space charge limited akımı adı verilir. (Rakurthi, 2010).

## 2.9 Trap Charge Limited Current Yaklaşımı

Organik yarıiletkenlerde yükler, arayüzlerin veya yapısal bozuklukların meydana getirdiği tuzaklarda birikebilir. Yük enjeksiyonunun fazla olması durumunda fermi seviyesi HOMO ve LUMO seviyelerindeki yüklerin immobilize olmalarına neden olur. Tuzakların varlığında gerilim giderek artırılırsa elektronun fermi seviyesi LUMO enerji düzeyine çıkar ve enjekte olmuş elektron yoğunluğu artar. Eğer tuzaklar enerjilere bölünmüşse elektrik alanın artmasıyla birlikte kademeli olarak bu tuzakları dolduracaklardır ve akım bütün tuzaklar dolana kadar SCLC'ye göre karesel olarak artar (Singh, 2009). Bu model yüksek gerilimler altında gözlenen trap charge limited akımı olarak tanımlanır. Enerji seviyesindeki tuzak yoğunluğu, denklem 17'de gösterilmiştir.

$$N_t(E) = \frac{N_t}{kN_t} \exp\left(\frac{E-E_{LUMO}}{kT_t}\right) \quad (17)$$

$N_t$  toplam tuzak yoğunluğu,  $k$  Boltzman sabiti,  $T_t$  eksponansiyel sıcaklık dağılımının sıcaklığıdır ( $T_t = E_t/k$ ,  $E_t$  karakteristik tuzak enerjisidir). Bundan dolayı yüksek enjeksiyon akımlarında ve düşük fermi seviyesinde, tuzakların dolması

tuzakların yoğunluklarıyla ve tuzakların enerji dağılımlarıyla ilişkidir. Akım yoğunluğu 18 denklemiyle tanımlanır.  $m = T_t/T'$  dir.

$$J_{TCL} = \frac{v^{m+1}}{d^{2m+1}} \quad (18)$$

## 2.10 OLED Aygıtında Verim Hesabı

Verim üretilen aygıtın hem enerji tüketimi hem de dayanıklılığı açısından çok önemlidir. Herhangi bir lüminesans değerinde düşük I-V değeri güç tüketiminin az, omik ısınmanın daha düşük olduğunu ve buna bağlı olarak da aygıtın daha uzun bir yaşam ömrü anlamına gelmektedir. .

OLED aygıtının verimi

- Kuantum verimi,
- Güç verimi (lm/W),
- Lüminesans verimi (cd/A)

Değerlerine bakılarak karakterize edilebilir.

### 2.10.1 Kuantum verimi

OLED aygıtının kuantum verimini  $\eta_q$  iç kuantum verimi ve dış kuantum verimi olarak iki kısımda incelenebilir.

1. İç kuantum verimi (IQE): Aygıtın içinde oluşan foton sayısının enjekte edilen eksiton sayısına oranıdır.
2. Dış kuantum verimi (EQE): Aygıttan elde edilen foton sayısının aygıtta enjekte edilen eksiton sayısı olarak tanımlanır. Bir başka deyişle aygıtın dış kuantum verimi iç kuantum veriminin foton oluşum verimi ile çarpımına eşittir(Shinar, 2004).

$$\eta_{eqe} = \eta_{int}\eta_{ph} \quad (19)$$

### 2.10.2 Luminous güç verimi (lm/W)

Güç verimi  $\eta_p$ ; ışık akısının elektriksel olarak uygulanan güce oranıdır. (lm/W). Güç verimi katı hal OLED aydınlatma uygulamalarında sıklıkla kullanılır. Bir armut ampulün güç verimi 15 lm/W iken floresan lambanın yaklaşık 60 lm/W'dır. En son yapılan araştırmalarda OLED aygıtında güç verimi 100 lm/W değerine ulaşılmıştır.

### 2.10.3 Lüminans verimi (Akım verimi) (cd/A)

Bir OLED aygıtının Lüminans verimi veya akım verimi lüminansın ( $\text{cd/m}^2$ ) akım yoğunluğuna ( $\text{A/m}^2$ ) oranıdır. Lüminans verimi insan gözünün spektral hassasiyeti hakkında bilgi verir. Bundan dolayı aynı kuantum verimine sahip iki farklı aygıt yaydıkları ışığın spektrumuna bağlı olarak farklı lüminans verimine sahip olabilir. Lüminans verimi OLED ekran endüstrisinden OLED aygıtın performansını karakterize etmekte kullanılır.

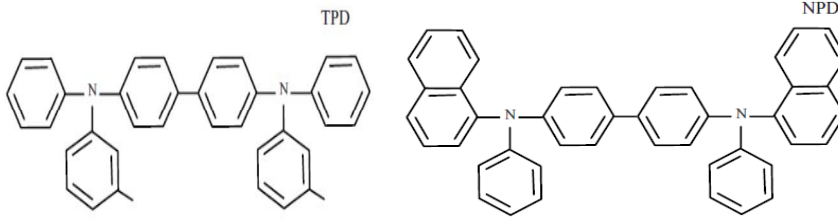
## 3 OLED MATERYALLERİ

### 3.1 Anot Materyalleri

Anottan HTL katmanına boşlukların iyi iletilebilmesi için cam yüzeyler üzerine ITO kaplanmaktadır. Altığın ve ITO katmanının yüzeyinin pürüzsüz olması polimer OLED aygıtlar için önemlidir. Genellikle yüzey pürüzlülüğünün 2nm den az olması gerekmektedir. ITO'nun yüksek iş fonksiyonuna sahip olması ( $\phi > 4.1 \text{ eV}$ ) boşlukların verimli bir şekilde HTL katmanına iletilmesini sağlar. ITO'nun saydam olmasının nedeni ise bant aralığının 4eV olmasıdır. Küçük molekül OLED aygıtlarında polimer OLED aygıtlarında karşılaşılmayan bazı sorunlarla karşılaşabilmektedir. ITO yaklaşık  $2 \times 10^{-4} \Omega$  dirence sahiptir bu da ITO katmanı üzerinde akan akımı sınırlar ve anot iletkenleri üzerinde istenmeyen gerilim düşümlerine sebep olur. ITO polikristal yapısı nedeniyle pürüzlü bir yüzeye sahiptir. ITO'nun kimyasal olarak aktif bir yüzeye sahip olması indiyumun organik katmanlara geçmesine sebep olabilmektedir.

### 3.2 Boşluk İletim Materyalleri

Temel olarak HTL materyallerinde istenilen iyi bir boşluk iletkenliğine sahip olmasıdır. TPD ve NPB en sık kullanılan küçük molekül boşluk materyalleridir. TPD ve NPB yüksek boşluk mobilitelerine ( $10^{-3}$ - $10^{-4} \text{ cm}^2/\text{V.s}$ ) sahip olmalarında dolayı hem TPD hem NPB OLED aygıtlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. TPD ve NPB'nin kimyasal yapıları Şekil 3.1 de görülmektedir. Daha verimli bir OLED aygıtı için diğer bir önemli konu ise HIL ile HTL arayüzündeki enerji bariyerinin boyutudur. HIL ile HTL arasındaki enerji bariyeri küçük olması OLED aygıtının verimini artıracaktır.

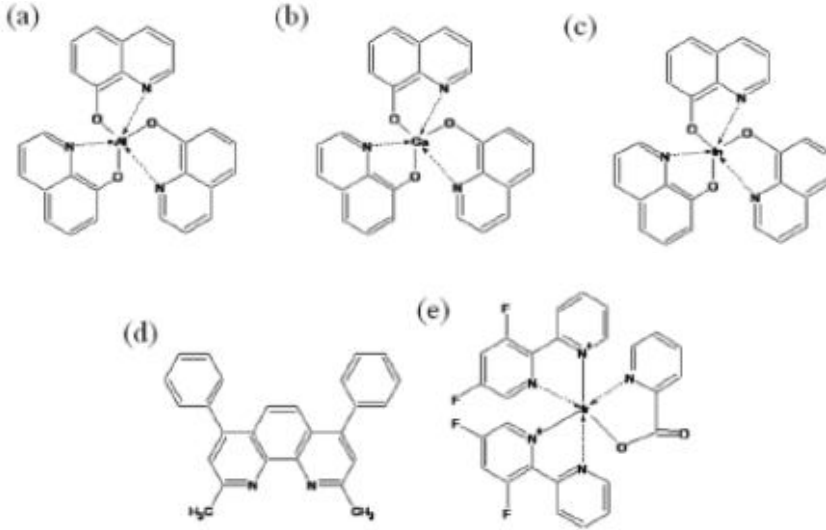


Şekil 3.1 En çok kullanılan küçük molekül HTL malzemeleri TPD ve NPD

(Xiaodong, 2008)

### 3.3 Elektron İletim ve Emisyon Materyalleri

Organometalik bileşiklerin hem iletim hem de emisyon özelliklerine sahip olmaları, OLED aygıtlarında çok fazla kullanılmalarına sebep olmuştur. Örnek olarak tris-(8-hydroxyquinolinolato) gallium ( $GaQ_3$ ), tris-(8-hydroxyquinoline) indium ( $InQ_3$ ) ve tris-(8-hydroxyquinoline) aluminum ( $AlQ_3$ ) materyalleri OLED aygıtlarında ETL ve EML tabakası olarak kullanılmışlardır (Bkz. Şeki3.2). Yüksek elektron ilgisi (3.0eV), yüksek iyonizasyon potansiyeli (5.95 eV) gibi elektronik özelliklerinden dolayı  $AlQ_3$  en yaygın olarak kullanılan yeşil renkli ETL ve EML materyalidir.



Şekil 3.2 a)  $AlQ_3$  b)  $GaQ_3$  c)  $InQ_3$  d) BCP e) Firpic 'in kimyasal yapıları

ETL ve EML malzemeleri, elektronun iyi enjekte olabilmesi için ETL'nin LUMO seviyesi ve katot fermi seviyesi arasında uyum sağlamalıdır. Bunun yanı sıra organik materyallerde boşluk mobilitesinin elektron mobilitesinden büyük olmasından dolayı kendisinden sonraki ve önceki katmanların enerji seviyeleriyle uyumlu olmaları gereklidir.

### 3.4 Katot Materyalleri

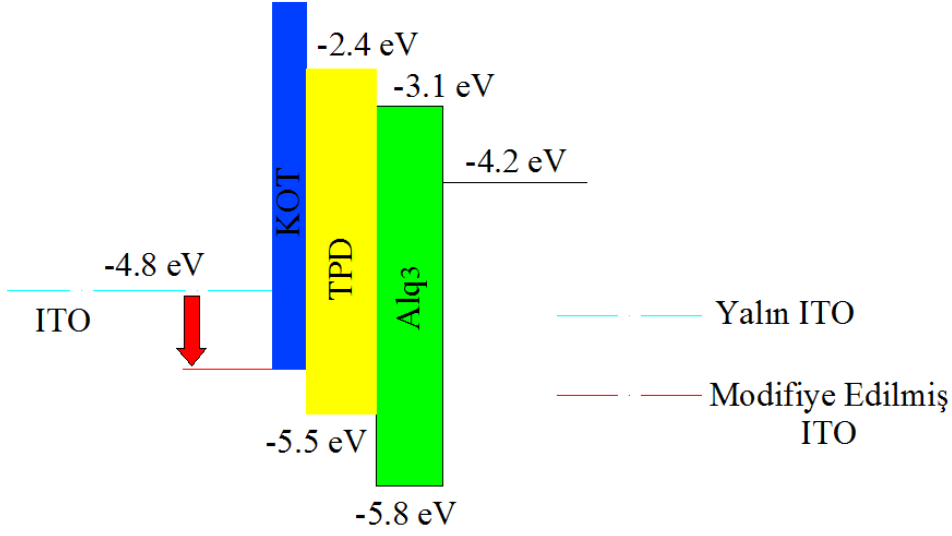
Anot materyallerinin tersine katot materyalleri saydam olmamaktadır. Yüksek iletkenlik düşük iş fonksiyonuna sahip olmalıdırlar. OLED aygıtlarında katot elektrot olarak kullanılan Ca ( $\phi = 2,87$  eV), Al ( $\phi = 4,3$  eV) ve  $Mg_{0.9}:Ag_{0.1}$  ( $\phi = 3,66$  eV) gibi metallerin düşük çalışma potansiyel enerjisine sahip olmaları katot materyallerinin çok çabuk oksitlenmelerine sebep olmaktadır. Bunun önüne geçebilmek için azot ortamında üretilmeli veya üretimden hemen sonra enkapsilasyon işlemi ile hava ile olan etkileşimi kesilmelidir.

### 3.5 Kendiliğinden Organize Tek Katman (KOT)

ITO yüzeyinin çalışma fonksiyonunu geliştirmek için ultraviyole (UV)(Iwama et al., 2003) , oksijen plazma (Kim et al., 1998) gibi teknikler kullanılmaktadır. Fakat bu teknikler ITO yüzeyinin çalışma fonksiyonunu yeterince arttırmamakta ve pahalı olması gibi dezavantajlara sahip olmaktadır. Yüzey modifikasyonu; yüzeyin kimyasal ve/veya fiziksel karakteristiğini artırma tekniğidir. Yüzeyin sürtünme, aşınma gibi nedenlerden kaynaklanan direnç değişimi elektriksel, mekanik, biyolojik uygulamalarda önem taşımaktadır. Bundan dolayı yüzey modifikasyonu araştırılmakta ve geliştirilmektedir. (Maboudian and Howe, 1997). Yüzey modifikasyonu için vakum işlemi ile kurulum metotları hidrojen pasivizasyon kullanılarak uygulanan ıslak metotlar, hidrojen bağlı florlanmış tek katman uygulamaları ve kovalent bağlı hidrokarbon kendiliğinden organize tek katman (KOT) gibi metotlar kullanılmaktadır.

KOT tekniği yüzey iş fonksiyonunu geliştirmek için kullanılan yaygın metotlardan biridir. Hazırlanmasının kolay oluşu, geniş bir uygulama alanının olması nedeniyle yoğun olarak çalışılmaktadır(Ulman, 1996).

OLED uygulamalarında KOT molekülleri genellikle anot/organik arayüzünde taşıyıcı enjeksiyonunu ve OLED aygıtının kararlılığını arttırmak için kullanılmaktadır. Anot/organik arayüzündeki pin hollerin oluşumunu azaltması ve anodun iş fonksiyonunun artması, boşluk enjeksiyon bariyerinin yüksekliğini değiştir bu da OLED aygıtının elektrolüminesans karakteristiğinde bir artışa neden olur (Hatton et al., 2001; Zhu et al., 2002).



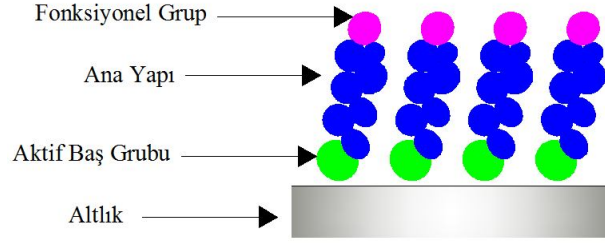
Şekil 3.3 KOT molekülleriyle modifiye edilen ITO'nun çalışma potansiyeli artar.

### 3.5.1 KOT moleküllerine giriş

Katı yüzeyleri modifiye etmek için kullanılan yöntemleri fiziksel ve kimyasal işlemler olarak iki kısımda sınıflandırabiliriz. Fiziksel işlemler sırasında; kimyasal işlem içermeyen buharlaştırma, saçtırma, süblimasyon gibi yöntemler kullanılmaktadır. Kimyasal işlemler ise fiziksel işlemlerin aksine kimyasal reaksiyon aracılığıyla yüzeyde yeni türler meydana getirilir. Kimyasal buhar kaplama, atomik katman biriktirme veya KOT oluşumu gibi yöntemler kullanılır.

Nanometre ölçeğinde organik ince film materyalleri için KOT molekülleri en temel formdur. "Adsorption of Bifunctional Organic Disulfides on Gold Surfaces" (Nuzzo and Allara, 1983) yayınladıkları makale ile Nuzzo ve Alara KOT molekülleri ile ilgili araştırmalarının öncülerindendirler. Kaplanmış altın üzerine organik moleküllerin düzenli bir şekilde bağlanabilmelerini sağlayan yeni bir teknik ortaya koymuşlardır. Bu teknikten sonra KOT moleküllerinin hazırlanışı, oluşumu, yapısı çok daha fazla önem kazanmıştır. KOT moleküllerinin altın yüzeyler üzerine kaplanması en çok çalışılan sistem olarak göze çarpmaktadır.

Kendinden organize atomlar moleküler düzeyde tekrar eden bir simetriye sahiptir. KOT tekniği, moleküllerin doğası gereği çok düzgün olarak yüzeye bağlanıp yüzeyin elektriksel ve kimyasal özelliklerini değiştirebilir. KOT moleküllerinin genel yapısı Şekil 3.4'te görülmektedir.



Şekil 3.4 Düz bir yüzdeki KOT (Thiruvengadam, 2007)

Kendiliğinden organize katman molekülleri üç ana kısımda incelenebilir.

- I. Aktif Baş grupları
- II. Alkil grupları
- III. Fonksiyonel gruplar

Aktif baş grupları yüzeyle KOT molekülleri arasında kimyasal etkileşimin başlamasını ve yüzey atomları ile kimyasal bir bağın oluşmasını sağlayan kısımdır. Bu bağlar yeni enerji seviyelerinin oluşmasına sebep olurlar. Bir başka deyişle KOT moleküllerinin yüzey üzerinde organizasyonu yüzey atomlarıyla aktif baş gruplarının etkileşime geçmesiyle başlar termodinamik denge sağlanıncaya kadar devam eder(Havvare, 2011).

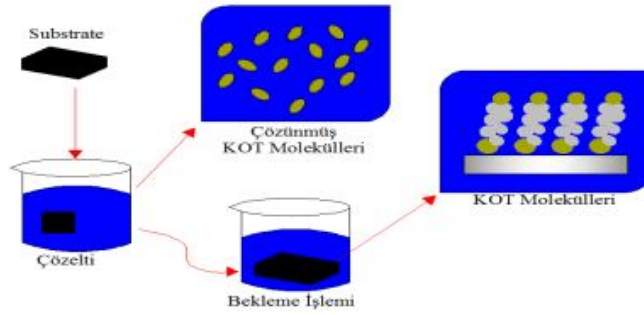
Ana yapı, moleküller arasındaki Van der Waals kuvvetlerini etkileyerek KOT moleküllerinin yüzey açılarının değişmesinde rol oynar ve buna bağlı olarak düzenli bir örgü oluşmasını sağlar. Alkil grupları elektriksel iletkenliği, optiksel özelliklerin belirlendiği kısımdır.

Üçüncü kısım olan fonksiyonel gruplar ise KOT tabakası üzerine oluşturulabilecek olası tabakalarla yeni kimyasal reaksiyonların gerçekleşme ihtimali olan kısımdır. KOT yapısı substratın, aktif baş grubun, alkil grupların ve fonksiyonel gruplarının ve bu grupların boyutlarının değişimiyle tasarlanabilir.

### 3.5.2 KOT moleküllerinin oluşumu

KOT moleküllerinin hazırlanması çok basit ve çok az miktarlarda organik molekül gerektirir. KOT moleküllerin oluşabilmesi için substratın, çözeltisi(0,1 ile 2mM) hazırlanan organik bileşiğin içerisinde batırılması yeterli olmaktadır (Şekil 3.5). Çözelti hazırlanırken KOT moleküllerinin çözülebileceği çözücülerle hazırlanmasına dikkat edilmektedir. KOT moleküllerini literatürde çözücü olarak daha çok su ve etanol fakat bu tezde çözücü olarak Dimetil sülfoksit (DMSO) kullanılmıştır. KOT moleküllerin oluşumunda rol oynayan temel kuvvet zincirler arasındaki Van der Waals kuvvetidir. Sistem lateral etkileşimi optimize etmek ve potansiyel enerjiyi minimize etmeyi amaçlar. KOT moleküllerinin tamamen oluşabilmesi için bir gün çözelti içinde kalması yeterli olmaktadır. Şekil 3.5'te

görüldüğü üzere moleküllerin yapısına bağlı olarak oluşan filmler düzenli veya düzensiz olabilmektedirler. Tek katmandaki düzen, geometrik yapı, tek katmanlar içindeki dipol-dipol ve elektrostatik etkileşimler gibi birçok faktöre bağlıdır. KOT moleküller çok farklı özelliklerde ince filmler oluşturulabilmesinden dolayı teknolojik açıdan çok önemlidirler. Örnek olarak, substrat ile bağlanma farklı baş grupları  $-RLi$  (organik metaller) ,  $-SiR_3$ (silan),  $-COOH$ (asidik) kullanılarak değiştirilebilir. Yumuşaklık veya elastik uyumluluğu zincirin boyunu veya zincirdeki kimyasal bağın (tek, çift, üçlü C-C bağları) çeşidi değiştirerek sağlanabilmektedir.



Şekil 3.5 KOT moleküllerinin oluşumu

### 3.5.3 KOT-HTL

Kendiliğinden organize katman (KOT) tekniğinin elektronik cihazlarda kullanılma fikri 1970'lerin başlarında ortaya atılmıştır. Entegre devrelerin geliştirilmeye başladığı ilk zamanlarda Aviram ve Ratner katı-hal elektronik cihazların yapabildiği enerji depolama, yük transferi gibi görevleri organik moleküllerin yapabileceği fikrini ortaya atmışlardır (A. Aviram et.al.,1973). KOT molekülleri OLED aygıtlarında HIM olarak kullanılmaktadır. KOT moleküllerinin OLED aygıtlarında kullanılmasının nedeni üretilen cihazın düşük voltajda çalışması ve yaşam ömrünün uzatılmasıdır. HIL materyali HTL film yüzeyinin düzgün olmasına katkı sağlar bu da hollerin daha verimli bir şekilde HTL'ye aktarılmasını sağlar. HIM anot yüzeyine iyi tutunmalı ve anot yüzeyinin pürüzsüz olmasına katkı sağlamalıdır.

KOT molekülleri OLED uygulamalarında ITO'nun kimyasal ve elektriksel özelliklerinin kontrol edilebilmesinde önemli rol oynar. KOT molekülleri kullanılarak ITO yüzeyinden organik tabakaya geçecek olan boşlukların enjeksiyonunu geliştirilebilir. Bunun için ITO'nun çalışma potansiyelini değiştirmek mümkün olmaktadır (Bruner et al., 2002)

### 3.6 Tezin Amacı ve Kapsamı

Altlık ve organik moleküle göre değişen anorganik/organik heteroeklemlerde güçlü kimyasal etkileşimler birçok organik elektronik uygulamalarında görülmektedir. OLED aygıtlarında, boşluk taşıyıcı verimi en kritik parametrelerden biridir ve elektrotun iş fonksiyonuna bağlıdır. Yüksek iş fonksiyonuna sahip olan elektrotlar, boşluk taşıyıcılarına engel olan organik/metal arasındaki enerji bariyerinin yüksekliğini azaltmaktadırlar. Bir çok optoelektronik uygulamalarında kullanılan ITO'nun iş fonksiyonu 4.2 - 4.4 eV arasında değişkenlik göstermektedir. ITO'nun iş fonksiyonu kimyasal işlemler aracılığıyla 3.9–5.1eV değerleri arasında değiştirilebilmektedir. ITO yüzeyinin farklı yöntemler aracılığıyla değiştirilmesi bunun sonucunda ise ITO'nun iş fonksiyonunun istenilen değerlere getirilmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bununla birlikte ITO üzerine kaplanan KOT molekülleriyle kimyasal tepkimeye girmesi sonucunda ITO iş fonksiyonunun daha düşük değerlere kaydığı görülmüştür. Bu özelliklerden ITO yüzeyinin KOT molekülleri ile modifiye edilmesi, metal/organik arayüzündeki yük transferinin azalmasına neden olacak tuzakların oluşumunu azalttığı ve bunun sonucunda da yük transferini arttığı tespit edilmiştir (Brütting, 2005). KOT molekülleri kullanılarak ITO'nun iş fonksiyonu değeri 4.8-5.2 eV arasında değiştirilebilmektedir ve bu değer OLED aygıtlarında HTL materyalleri için uygundur (Koch et al., 2003; Bradley et al., 2005; Koch et al., 2006).

Son zamanlarda OLED katmanları ayrı ayrı çalışılmaktadır. Bu tez kapsamında OLED aygıtlarında kullanılan PEDOT:PSS yerine ITO yüzeyine kendiliğinden bağlanabilen yeni tür organobileşikler kullanılarak OLED aygıtlarının geliştirilmesi üzerinedir. Bu kendiliğinden oluşan moleküller anot elektrot (ITO) ile organik yarıiletken arasındaki yük taşıyıcı transferini geliştirmeye yönelik olması düşünülmektedir (Dong et al., 2008). ITO yüzeyindeki hidroksil grupları ve KOT moleküllerini baş grupları ile kimyasal bağ yaparlar. ITO yüzeyinde oluşturulan bu tek katman sayesinde ITO iş fonksiyonu 5,0-5,5eV değerlerine kaydırılır böylelikle ITO ile HTL arasındaki bariyer yüksekliği azaltılır.

Bu tezde farklı KOT molekülleriyle modifiye edilmiş ve edilmemiş ITO yüzeyinin döngüsel voltammetri ile HOMO seviyelerini belirlenerek uygun HTM molekülü seçilmiştir. Ayrıca KOT moleküllerinin ITO yüzeyine bağlanmadaki zamanın etkisi araştırılarak aygıt yapma süresi üzerine çalışılmıştır. Organik anorganik ara yüz problemlerini KOT molekülleri kullanarak yük transferine bu

moleküllerin etkisini araştırıldı. Yapılan OLED aygıtlarının performansının KOT molekülleri kullanılarak artırılabilirdiği gösterilmiştir.

## 4 DENEYSEL METOTLAR

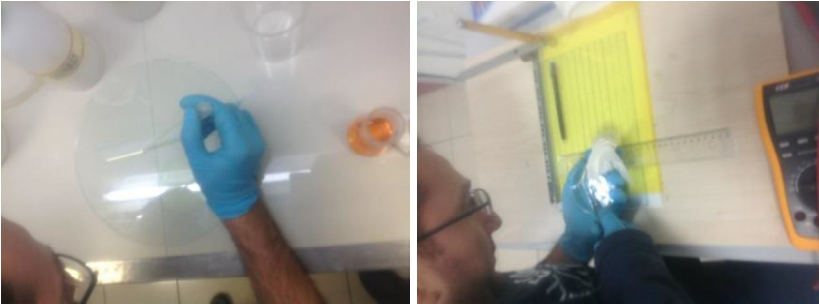
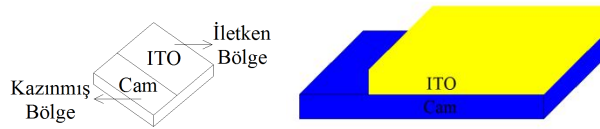
### 4.1 OLED Hazırlama Basamakları

Bu kısımda OLED üretim basamaklarından bahsedilecektir. OLED aygıtının üretim basamaklarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz

- ITO'nun kesilmesi (1.5x1.5cm)
- ITO'nun HCL asit ile bir bölümünün kaldırılması
- UV Ozon işlemi
- KOT moleküllerinin ITO üzerinde oluşturulması
- Organik katmanların ısıl buharlaştırma işlemi ile kaplanması  
(Boşluk iletim, ışık ve elektron iletim katmanları)
- Isıl buharlaştırma işlemi ile katot materyalinin (Alüminyum) kaplanması.

### 4.2 ITO'nun Yüzeyden Kaldırılması

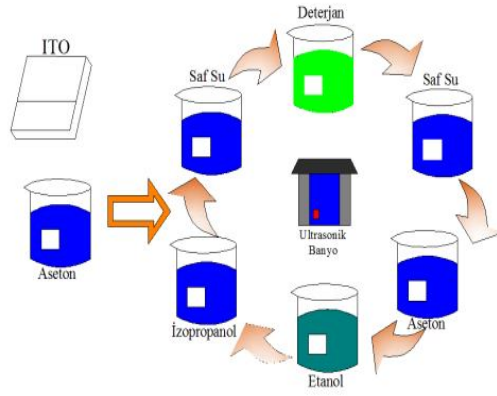
OLED üretiminin ilk basamağı ITO'nun yüzeyden kaldırılması işlemidir. ITO camların 1,5x1,5 cm olarak elmas kalem kullanılarak kesilmesinden sonra ITO camların yüzeyinin 0.3cm'lik bir kısmı HCL çözeltisi kullanılarak kaldırılmıştır. ITO yüzeyinin 0.3cm'lik bir kısmının kaldırılmasındaki amaç OLED aygıtının kısa devresini olmasını engellemektir. Şekil 4.1 substratın kazındıktan sonraki görüntüsü göstermektedir.



Şekil 4.1 a) ITO camların aşındırılması işlemi b) ITO'ların elmas kalemle kesilmesi

### 4.3 ITO Camların Temizlenmesi

ITO yüzeyinin temizlenmesi OLED cihazının üretilmesinde çok önemli bir yere sahiptir. Organik moleküller direkt olarak ısı buharlaştırma tekniğiyle ITO üzerine kaplanmasından dolayı küçük bir toz bile cihazın kısa devre veya karasız I-V karakteristiğine sahip olmasına neden olabilir. Bundan dolayı ITO yüzeyi kaplanmadan önce olabildiğince temizlenmelidir. Substatlar ultrasonik banyoda sırasıyla 30 dakika saf su, aseton, izopropanol, etanol ve tekrar saf su ile temizlenmiştir. Bu ultrasonik banyoda temizleme işleminden sonra ITO yüzeyinde kalmış olabilecek olan toz parçalarını uzaklaştırmak amacıyla azot gazı püskürtülmüştür. Kimyasal temizlik aşamasından sonra ITO yüzeyine UV-Ozon işlemi uygulanmıştır. Şekil 4.2 ITO'nun temizlenme basamakları ve UV Ozon aygıtı görülmektedir.



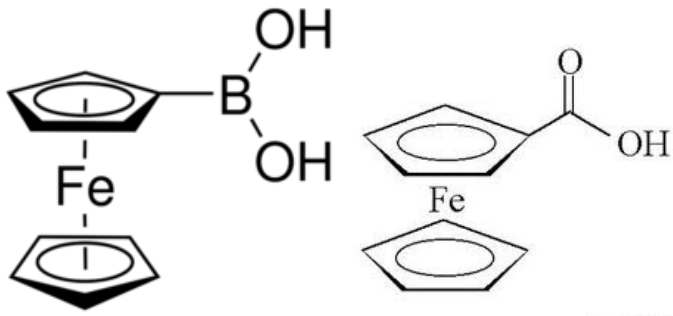
Şekil 4.2 a) ITO temizlenme işlemi b) UV aygıtı

### 4.4 Materyal

ITO camlar (668559 Aldrich), KOT molekülü olarak kullanılan Ferrosen karboksilik asit (106887 Aldrich) ve Ferrosen boronik asit (643750 Aldrich) Sigma Aldrich firmasından temin edilmiştir. Çözgen olarak ise kullanılan Dimetil sülfoksit Merck (Merck: 317275) firmasından satın alınmıştır.

### 4.5 KOT Moleküllerinin Çözeltilerinin Hazırlanması

KOT molekülü olarak Ferrosen Karboksilik Asit (MY1) ve Ferrosen Boronik (MY2) asit kullanılmıştır. KOT moleküllerinin 0.9 mM'lik çözeltileri hazırlanmıştır. ITO camlar bu çözeltiler içerisinde 3 ve 12 saat bekletilmiştir. Çözeltiden çıkarılan KOT molekülleri kaplanmış camlar çözücüleriyle yıkanarak tek bir katman oluşması sağlanmıştır. Daha sonra üzerine azot gazı püskürtülerek partiküllerin ve tozların uzaklaştırılması sağlanmış ve organik materyallerin kaplanmasına hazır hale getirilmiştir. Şekil 4.3'te hazırlanan çözeltiler görülmektedir.



Şekil 4.3 Ferrosen Boronik Asit ve Ferrosen Karboksilik Asit moleküllerinin şekilleri

#### 4.6 Termal Buharlaştırma Yönetimi ile Organik ve Katot Katmanlarının Kaplanması.

Bu çalışmada organik küçük moleküller ve katot katmanları iki farklı ısıtılabilir buharlaştırma sistemiyle kaplanmıştır. Bu sistemler Şekil 4.4'te görülmektedir.



Şekil 4.4 OLED aygıtının yapımında kullanılan cihazlar

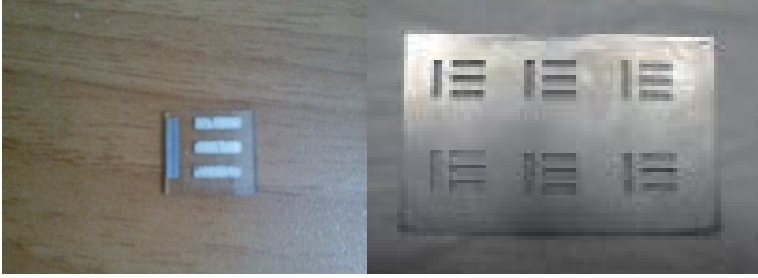
Yüksek kalitede bir film üretebilmek için buharlaştırma sisteminin basıncının yaklaşık  $10^{-6}$  torr olması gereklidir. Yüksek vakum değeri sadece buharın ve atmosferle reaksiyona girmesini engellediği için değil aynı zamanda buharlaştırılan atomların ortalama çarpışma süresini arttırdığı için gereklidir. Yüksek vakuma ulaşabilmek için turbo moleküler pompa kullanılmıştır.

Kaplanan filmlerin kalınlığı kuartz kristal mikrobalans tekniği ile gözlemlenmiştir. Organik buharlaştırma sistemi içerisine yerleştirilen temizlenmiş ve KOT molekülleri ile kaplanmış ITO'lar potalarda yerleştirilmiş olan HTL olarak TPD, ETL ve Işık katmanı olarak kullanılan Alq<sub>3</sub> ile kaplanmıştır. Organik molekülleri kaplandıktan hemen sonra ITO'lar azot ortamına alınmış ve katot katmanı (Alüminyum) azot ortamındaki buharlaştırma sistemiyle kaplanmıştır. Elektriksel ve optik karakterizasyonu azot ortamında yapılmıştır. Üretimi yapılmış olan OLED aygıtları Tablo 4.1'de görülmektedir.

Tablo 4-1 Üretilen aygıtların listesi

	<b>TRANSPARAN ANOT</b>	<b>BOŞLUK ENJEKSİYON KATMANI</b>	<b>BOŞLUK TAŞIYICI KATMANI</b>	<b>EMİSYON ve ELEKTRON İLETİM KATMANI</b>	<b>KATOT KATMANI</b>
CİHAZ 1	ITO	*****	TPD ( 60nm)	Alq3 (40nm)	Al ( 125nm)
CİHAZ 2	ITO	MY1 ( ~ 1nm)	TPD ( 60nm)	Alq3 (40nm)	Al ( 125nm)
CİHAZ 3	ITO	MY1 ( ~ 1nm)	TPD ( 60nm)	Alq3 (40nm)	Al ( 125nm)

Her bir cihaz için aktif alanı  $0.04\text{cm}^2$ 'dir. Üretilen OLED cihazlarının son hali ve üretimde kullanılan maske Şekil4.5'te görülmektedir.



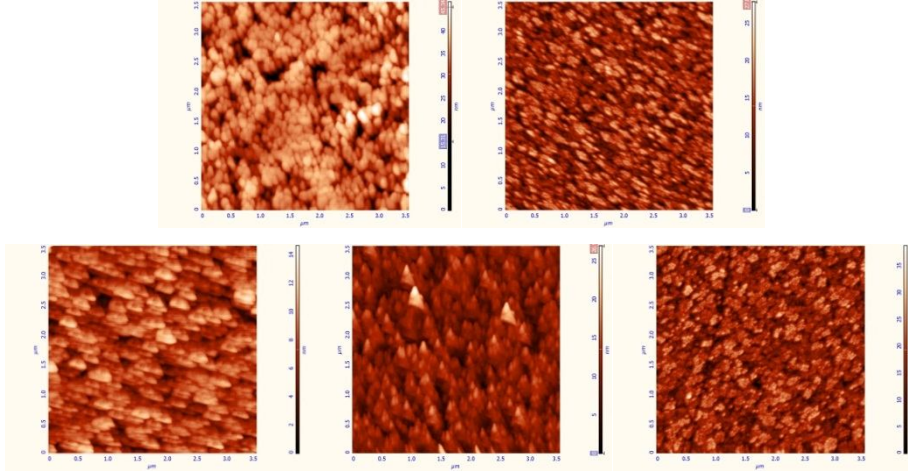
Şekil 4.5 Üretilen OLED aygıtı ve Katot ve anot maskesi

## 5 DENEYSEL VERİLER ve SONUÇLARI

Tezin amaçlarından biri, OLED aygıtındaki metal/organik arayüzünde oluşan heterojenlik probleminin KOT molekülleriyle önlenmesidir. Bu amaçla kullanılan bileşiklerin ITO yüzeyine KOT oluşturulabilecek özellikte seçilmiştir. Bu KOT molekülleriyle hazırlanan OLED aygıtları karakterize edilmiştir (Havare,2011). ITO yüzeyinde gerçekleşmiş olan kimyasal bağları tespit edebilmek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu tezde döngüsel voltammetri (CV) ve AFM teknikleri kullanılarak ITO yüzeyine bağlanma tespit edilmiştir. Kullanılan KOT molekülleri hem çözelti ortamında hem de katı ortamda döngüsel voltammetri ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümler arasındaki fark ITO ile HTL arasındaki enerji seviyesi hakkında bilgi vermiştir. AFM ise modifiye edilmiş olan ITO'ların yüzey analizinde ve Kelvin Probe Mikroskobu (KPM) ölçümlerinde kullanılmıştır. Optiksel ölçümler içinse QE6500 Spektrometre ve Admesy Brontes kalorimetre cihazları kullanılmıştır

### 5.1 Atomik Kuvvet Mikroskobu Sonuçları

KOT moleküllerinin yüzey özelliklerinin belirlenmesinde NT-MDT atomik kuvvet mikroskobu (AFM) kullanılmıştır. AFM nanoboyuttaki bir probun yüzey etkileşimi sonucunda oluşan kuvvetin izlendiği bir sistemdir. Binnig, Quate ve Gerber 1986'da ilk atomik kuvvet mikroskobunu geliştirmişlerdir. İlk ticari AFM 1989'da piyasaya sürülmüş ve bu tarihten itibaren özellikle tıp, kimya, biyoloji, fizik ve daha birçok alanda sıkça kullanılmaya başlanmıştır (Havare, 2011). AFM, nano boyutta görüntüleme, ölçme ve malzeme işleme konusunda en gelişmiş araçlardan biri haline gelmiştir AFM'lerin genel kullanım amaçları arasında, üç boyutlu yüzey görüntüsü elde, nanolitografi, yüzey pürüzlülüğünün tespiti, nano boyutta kalınlık ölçümü olarak sayılabilir(Can, 2012). Şekil 5.1'de farklı sürelerde KOT molekülleri içinde bekletilen ITO camların AFM görüntüleri görülmektedir.Tablo5.1'de ise modifiye edilmiş ve edilmemiş ITO'ların AFM verilerinden elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.1a) Yalın ITO b) 12 saat MY1 çözeltisinde bekletilmiş ITO c)12 saat MY2 çözeltisinde bekletilmiş ITO'ların yüzey pürüzlülüğü d) 3 saat MY1 çözeltisinde bekletilmiş ITO e) 3 saat MY2 çözeltisinde bekletilmiş ITO

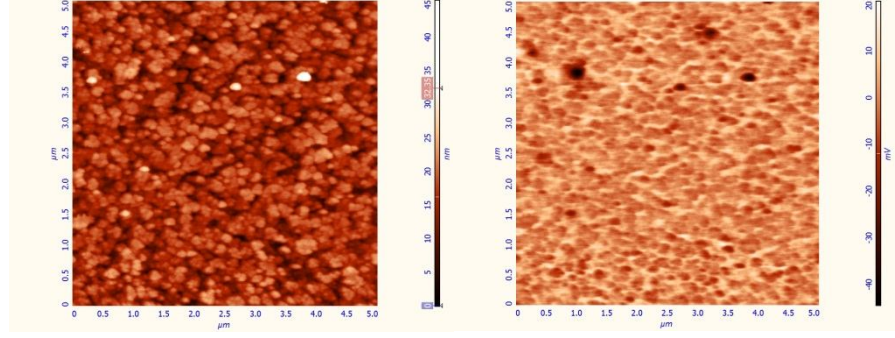
Tablo 5-1 Modifiye edilmiş ve edilmemiş ITO camların yüzey pürüzlülüğü

	Yalın ITO	ITO-MY1		ITO-MY2	
		3 saat	12 saat	3 saat	12 saat
Pürüzlülük (RMS)	0,463nm	0,272nm	0,377nm	0,364nm	0,379nm

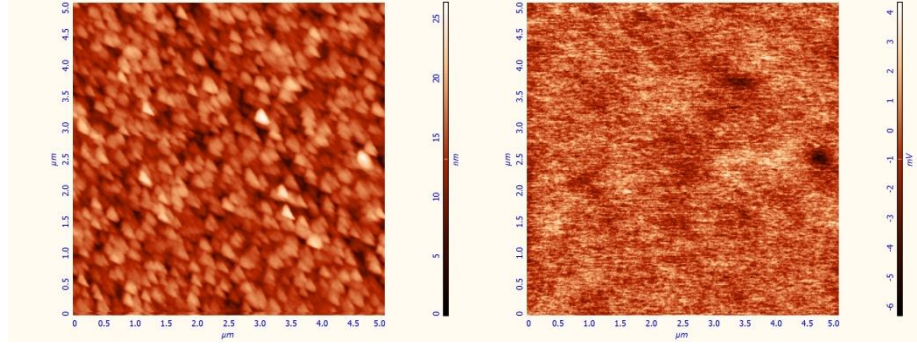
AFM sonuçlarına baktığımızda ITO'lar üzerinde KOT moleküllerinin yüzey pürüzlülüğü azalttığı ve moleküler arası etkileşim nedeniyle zaman uzadıkça ITO yüzeyinde KOT moleküllerinin daha fazla biriktiği söylenilebilir.

## 5.2 ITO Yüzeyinin Kelvin Probe Mikroskobu (KPM) Sonuçları

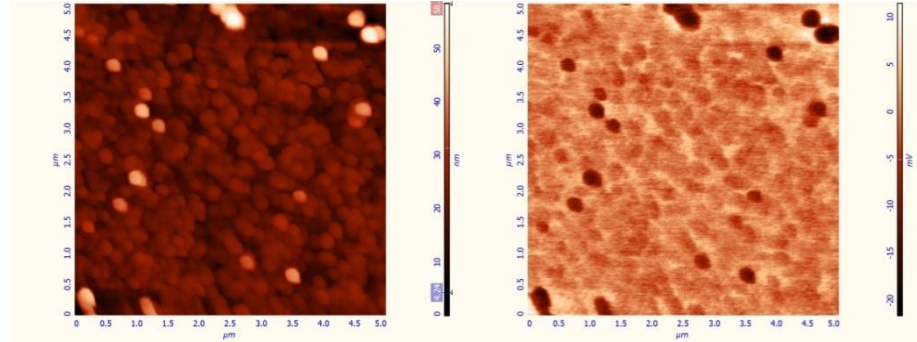
ITO yüzeyinin KOT molekülleriyle modifiye olup olmadığı hakkında bilgi sahibi olabilmek amacıyla KPM yöntemi kullanılmıştır. KPFM ölçümleri için NT-MDT marka AFM cihazı kullanılmıştır. Örnek ve iğne arasında elektriksel bir kuvvet oluşturabilmek amacıyla TiN kaplı AFM iğnesi kullanılmıştır. KPM yöntemiyle, modifiye edilen ve modifiye edilmemiş olan ITO camların iş fonksiyonlarının ve yüzey potansiyellerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ölçümler sırasında çift tarama tekniği kullanılmıştır. İlk geçişte yüzey topografyası için yarı temas modda görüntü alındı, ikinci geçişte ise iğne yüzeyden geri çekildi ( $\Delta Z=10\text{nm}$ ) ve yüzey potansiyeli görüntüsü alındı (Bkz.Şekil 5.2,5.3,5.4).



Şekil 5.2 a) Yalın ITO yüzey yükselti b) Yalın ITO yüzey potansiyeli



Şekil 5.3 a)MY1 ile modifiye ITO yüzey yükselti b) ve yüzey potansiyeli



Şekil 5.4 a)MY2 ile modifiye ITO yüzey yükselti b) ve yüzey potansiyeli

Tablo 5-2 ITO ve MY1, MY2 ile modifiye edilmiş ITO'ların yüzey potansiyeli

	<b>YALIN ITO</b>	<b>MY1</b>	<b>MY2</b>
<b>YÜZEY POTANSİYELİ(mV)</b>	-0,88	-0,43	-0,26

Tablo5.2'den de görüldüğü üzere KOT molekülleriyle modifiye edilmiş olan ITO camların yüzey potansiyellerinde artış gözlemlenmiştir. Bu artış ITO yüzeyinin KOT molekülleriyle kaplandığını göstermektedir. Buna ek olarak yüzey potansiyelindeki artış ITO'nun iş fonksiyonunda da bir artışa neden olmuştur çünkü yüzey potansiyeli yüzeyin iş fonksiyonuyla orantılı olarak değişmektedir. Sonuç olarak ITO yüzeyinin fermi ve seviyesi organik katmanın HOMO seviyesi

uyumlu hale getirilmiştir. Böylelikle taşıyıcı enjeksiyonu çalışma voltajının düşürülmesiyle arttırılmıştır.

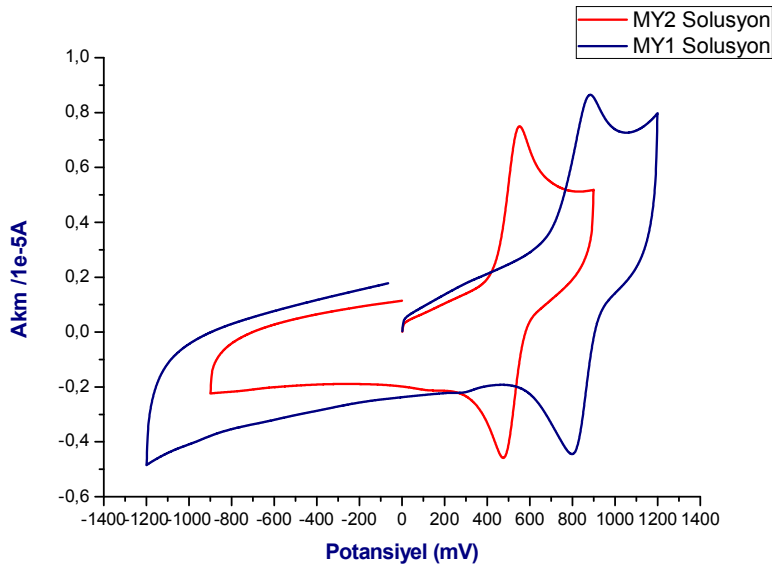
### 5.3 Kullanılan Bileşiklerin Döngüsel Voltammetri (CV) Çalışmaları

Elektrokimyasal ölçümler BAS Instruments firmasının Epsilon voltammetri cihazı kullanılmış ve toluen çözeltileri içerisinde yapılmıştır. Yardımcı elektrot olarak platin tel, referans elektrodu olarak Ag tel, çalışma elektrodu olarak camısı karbon ve destek elektroliti olarak asetonitril çözeltisi içerisindeki 0,1M TBAPF<sub>6</sub> (tetrabutilamonyum hekzaflorofosfat) kullanılmıştır.

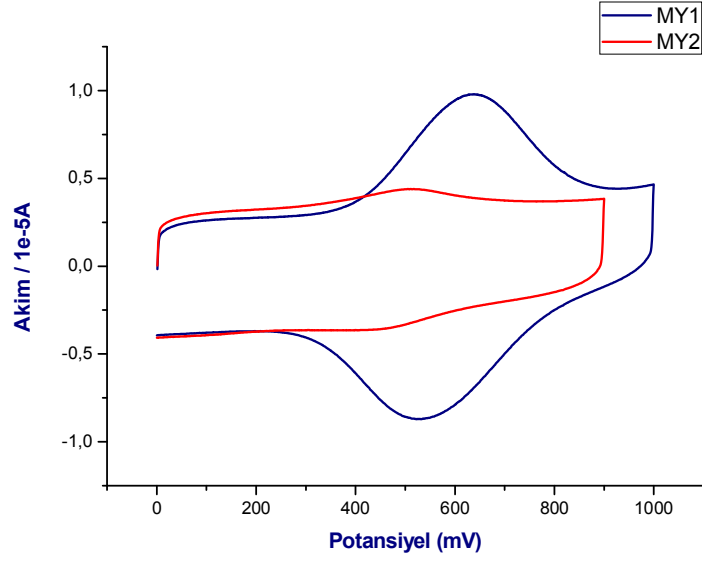
Eşitlik 20 ve 21'den yararlanılarak KOT moleküllerinin E<sub>HOMO</sub> ve E<sub>LUMO</sub> değerleri belirlenebilmektedir (Yu et al., 2010). Değerler hesaplanırken ilk yükseltgenme ile ilk indirgenme pikinin alınması çok önemlidir çünkü ilk indirgenme veya yükseltgenme piki nötr haldeki bileşiğin pikidir (Can, 2012). Şekil 5.5'te KOT moleküllerinin sıvı ortamındaki, Şekil 5.6'da KOT moleküllerinin ITO yüzeyindeki, Şekil 5.7'de MY1 ve Şekil 5.8'de MY2 moleküllerinin sıvı ve katı ortamda alınan voltammogramları gösterilmiştir. Bu ölçümler sonucunda hesaplanan HOMO değerleri Tablo 5.3'te görülmektedir.

$$E_{LUMO} = -e(E_{1/2(ind.)} + 4,4) \quad (20)$$

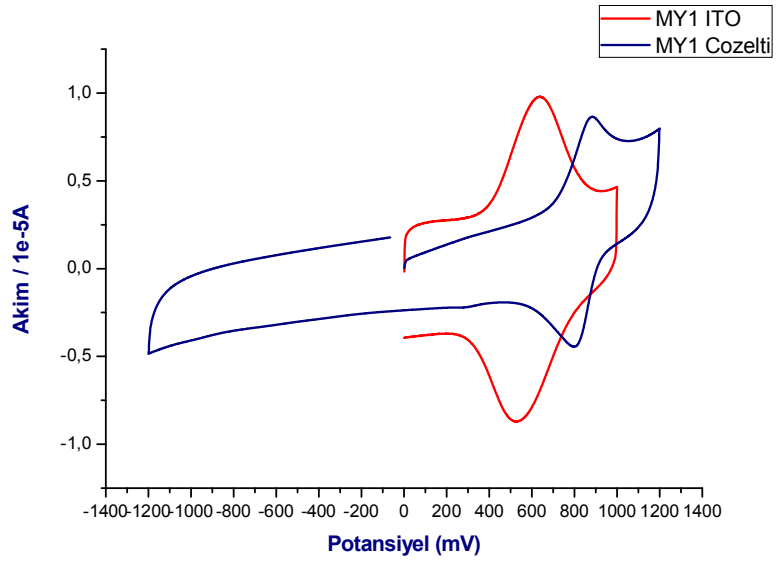
$$E_{HOMO} = -e(E_{1/2(yüks.)} + 4,4) \quad (21)$$



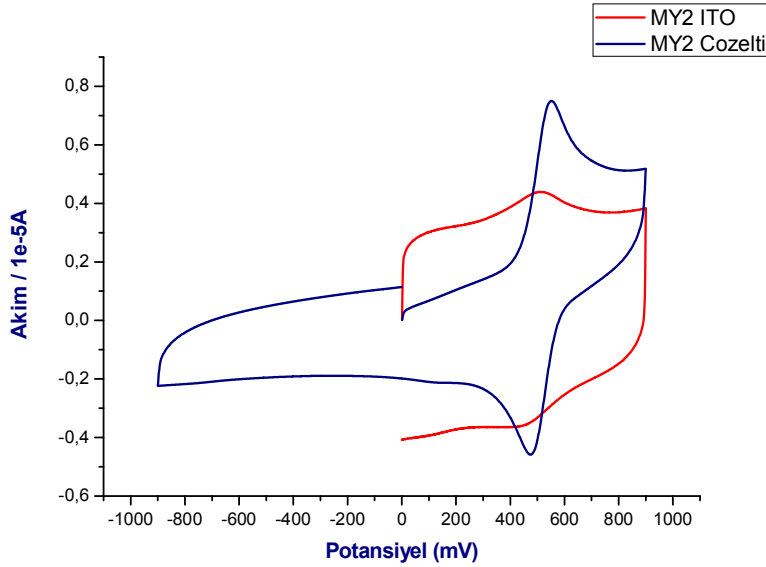
Şekil 5.5 MY1 ve MY2 çözeltilerinin döngüsel voltammogramı



Şekil 5.6 ITO yüzeyine KOT oluşturmuş MY1 ve MY2 moleküllerinin döngüsel voltammogramı



Şekil 5.7 MY1 moleküllerinin katı ve sıvı ortamdaki döngüsel voltammogramları



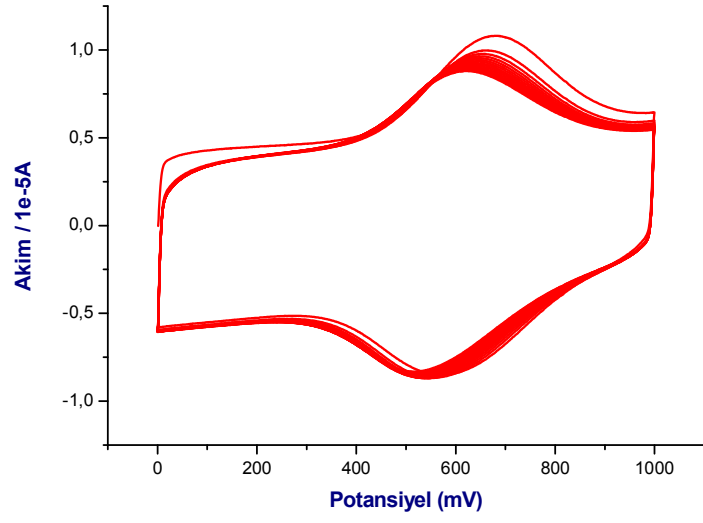
Şekil 5.8 MY2 moleküllerinin katı ve sıvı ortamdaki döngüsel voltammogramları

Tablo 5-3 KOT moleküllerin HOMO değerleri

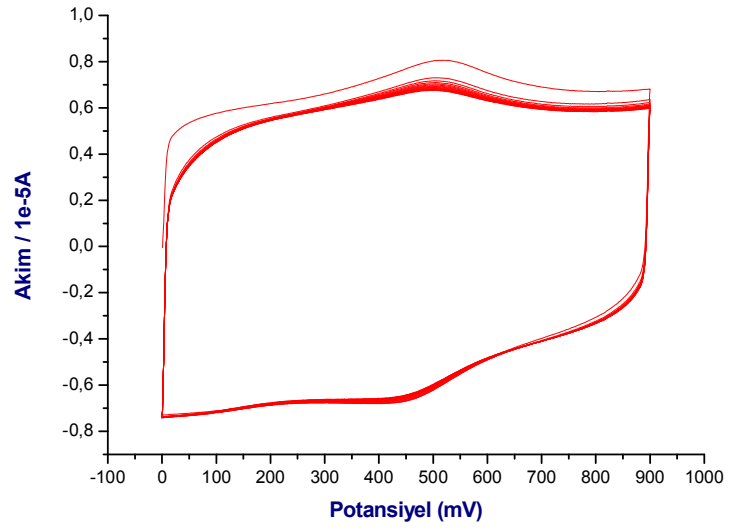
Madde	$E_{\text{HOMO}}$ (Çözelti Ortamında) eV	$E_{\text{HOMO}}$ (ITO yüzeyindeki) eV	$\Delta E_{\text{HOMO}}$ eV
MY1	5,20	4,92	0,28
MY2	4,97	4,85	0,12

#### 5.4 KOT Moleküllerinin ITO Yüzeyindeki Kararlılıkları

ITO yüzeyindeki KOT moleküllerinin kararlılıkları da CV tekniği ile belirlenmiştir. Çalışma elektrodu olarak KOT molekülleriyle modifiye edilmiş ITO, referans elektrod olarak Ag tel, yardımcı elektrod olarak platin tel ve destek elektrolit olarak asetonitril içerisindeki 0,1 M TBAPF<sub>6</sub> (tetrabutylamonyum hekzaflorofosfat) kullanılmıştır. Şekil 5.9 ve 5.10'da ITO üzerine kaplanmış KOT moleküllerinin CV tekniği kullanılarak 30 döngü yapılarak test sonuçları görülmektedir.



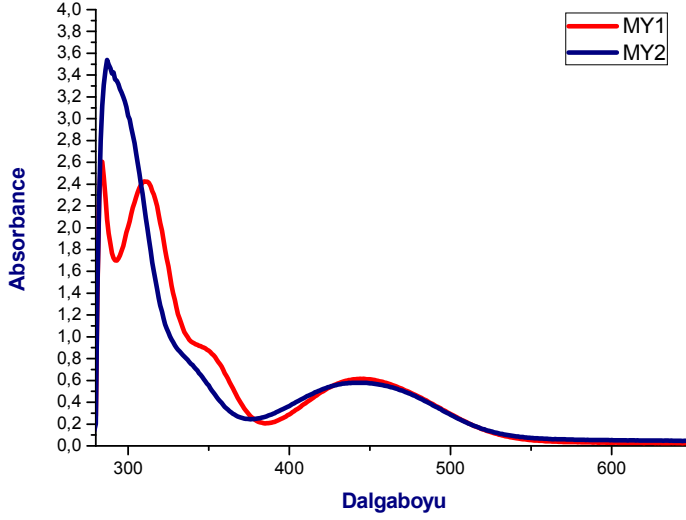
Şekil 5.9 ITO yüzeyinde KOT oluşturmuş MY1 bileşiğinin döngüsel voltammogramı



Şekil 5.10 ITO yüzeyinde KOT oluşturmuş MY2 bileşiğinin döngüsel voltammogramı.

## 5.5 KOT moleküllerinin Spektroskopik Ölçümleri

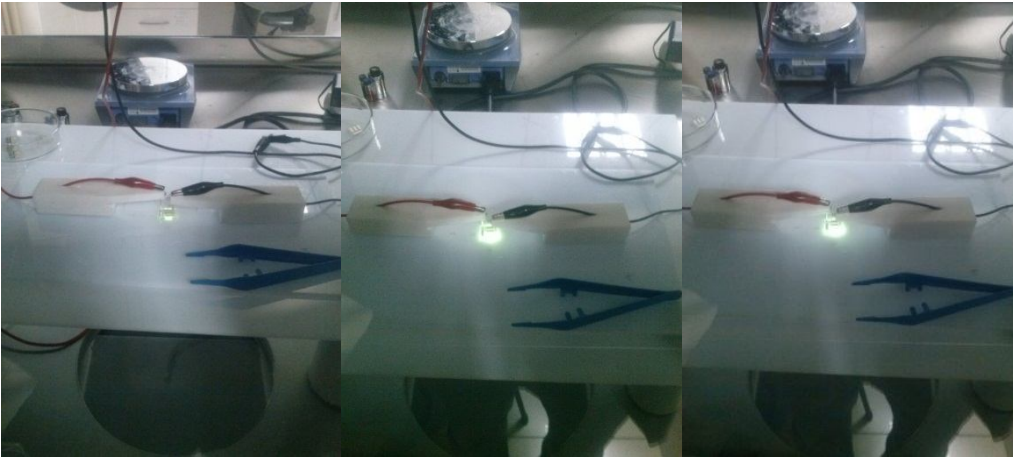
OLED aygıtında kullanılan KOT moleküllerinin fotofiziksel özelliklerini belirlemek için Hitachi-UV spektrofotometre kullanılmıştır. Şekil5.11 grafiğinden KOT moleküllerinin maksimum absorpsiyonlarının 450nm dalga boyunda olduğu görülmektedir.



Şekil 5.11 KOT moleküllerinin absorpsiyon grafikleri

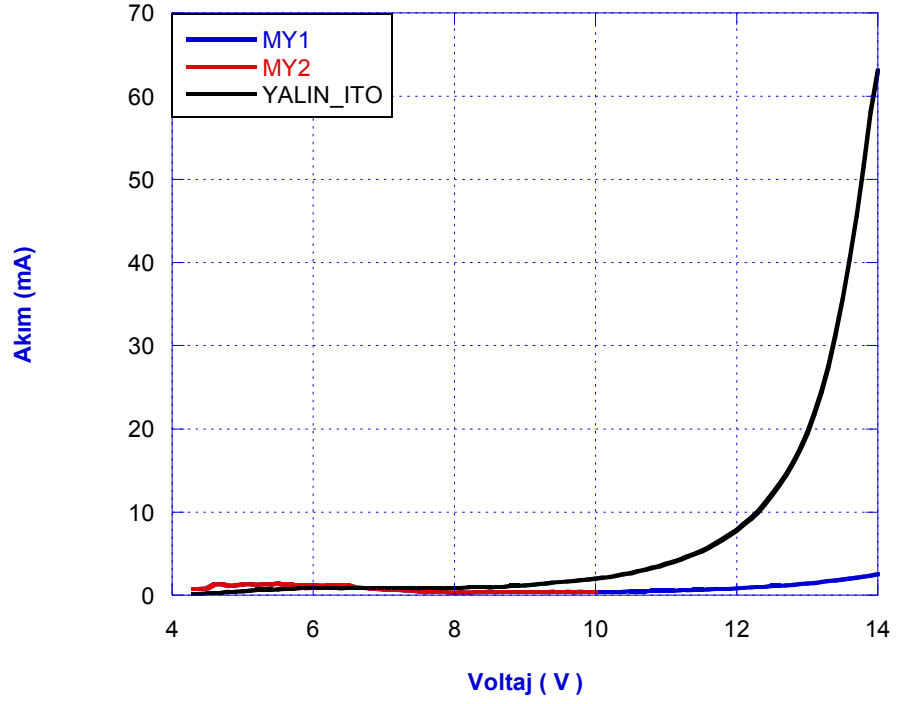
## 5.6 OLED Aygıtının I-V Sonuçları

Üretimi yapılan 3 saat ve 12 saatlik çözeltilerinde bekletilen OLED aygıtlarının I-V karakteristiğini incelemek için Keithley 2400 cihazı kullanılmıştır. Keithley cihazı LabView™ programı ile yazılan arayüz programı ile kontrol edilmiştir.

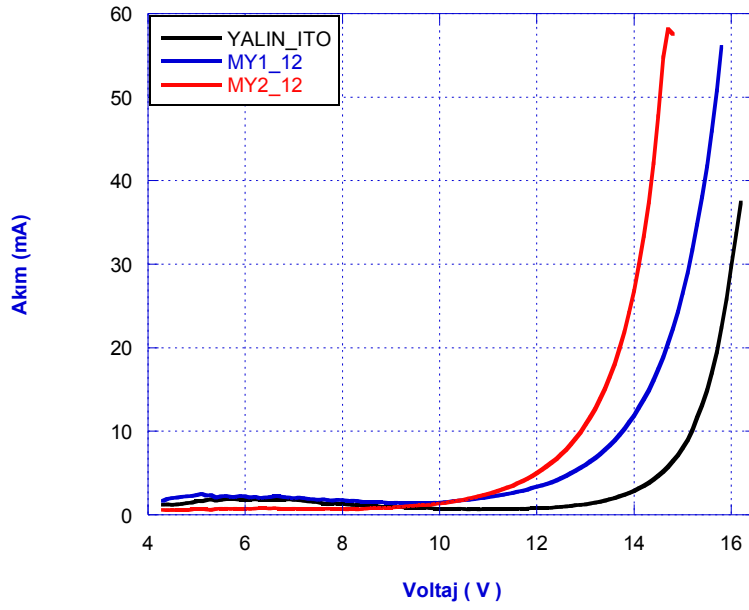


Şekil 5.12 OLED'in Keithley 2400 ile test edilmesi

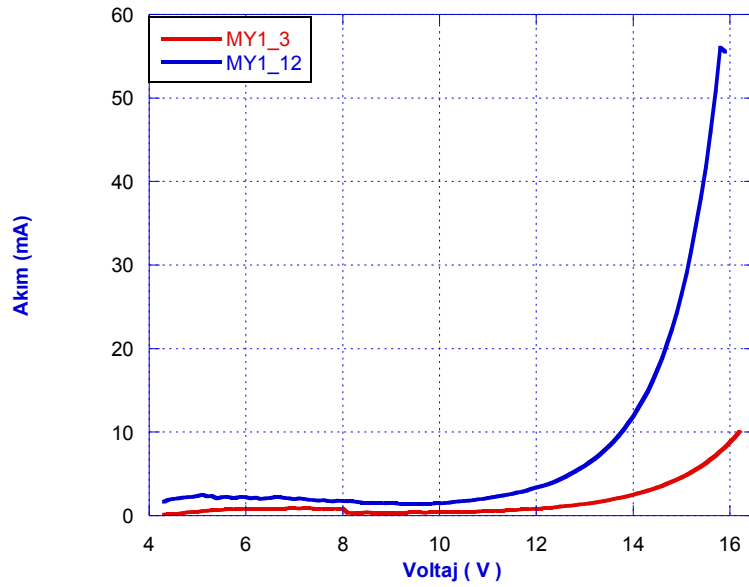
Şekil 5.13 5.14, 5.15,5.16 da üretilmiş olan OLED aygıtlarının akım-gerilim grafikleri görülmektedir. Şekil 5.13'te 3 saatlik KOT moleküllerinin I-V grafiğinden de görüleceği üzere 3 saatlik KOT molekülleriyle modifiye edilmiş ITO camlarla üretilen OLED aygıtları yüksek akım değerlerine ulaşmadan OLED aygıtları bozulmaktadır.



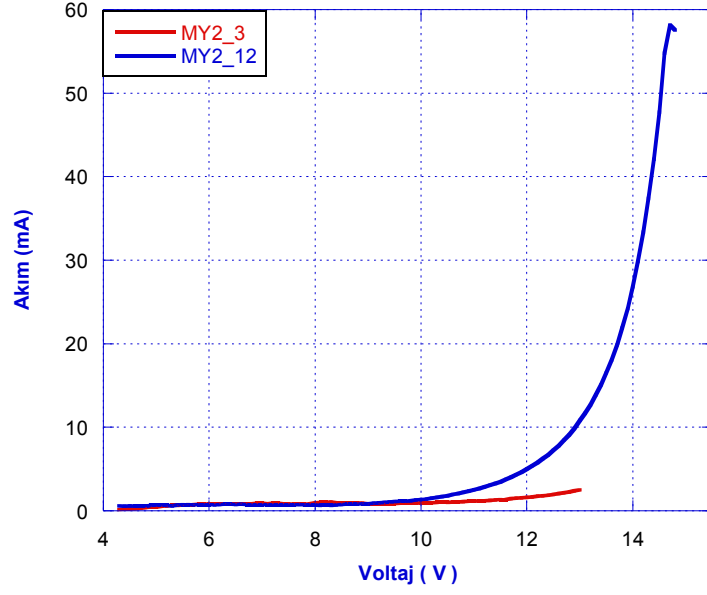
Şekil 5.13 3saatlik KOT molekülleriyle üretilmiş OLED aygıtlarının I-V grafiği



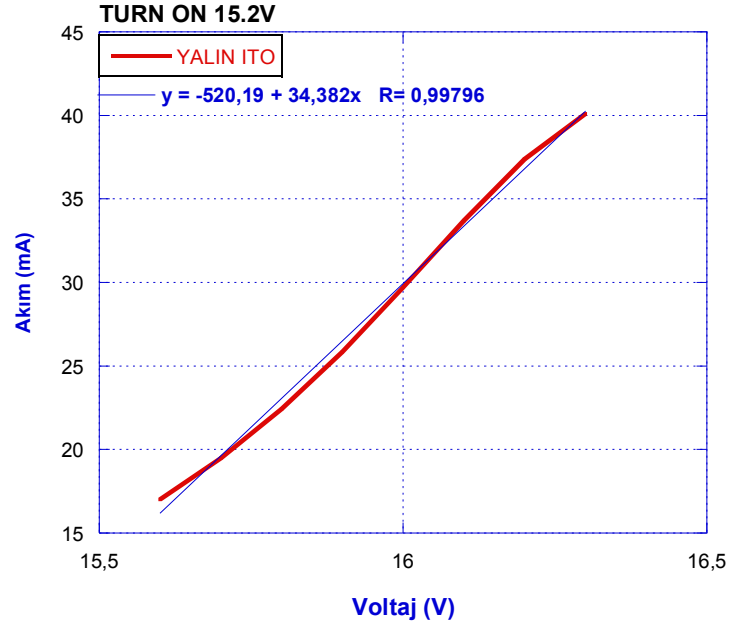
Şekil 5.14 Yalın ve12 saatlik OLED aygıtları I-V grafiği



Şekil 5.15 3 ve 12 saatlik MY1 molekülleri I-V grafiği



Şekil 5.16 3 ve 12 saatlik MY2 molekülleri I-V grafiği



Şekil 5.17 Yalın ITO turn on voltajı

Şekil 5.17'de ITO/TPD/Alq3/Al konfigürasyonuna sahip OLED aygıtının I-V grafiğinin doğrusal bölgesindeki doğru denklemi KaleidaGraph™ programı kullanılarak bulunmuştur. Doğrunun x eksenini kestiği nokta ise OLED aygıtının turn on voltajını vermektedir.

Tablo 5-4 Üretilen OLED aygıtların turn on voltajları

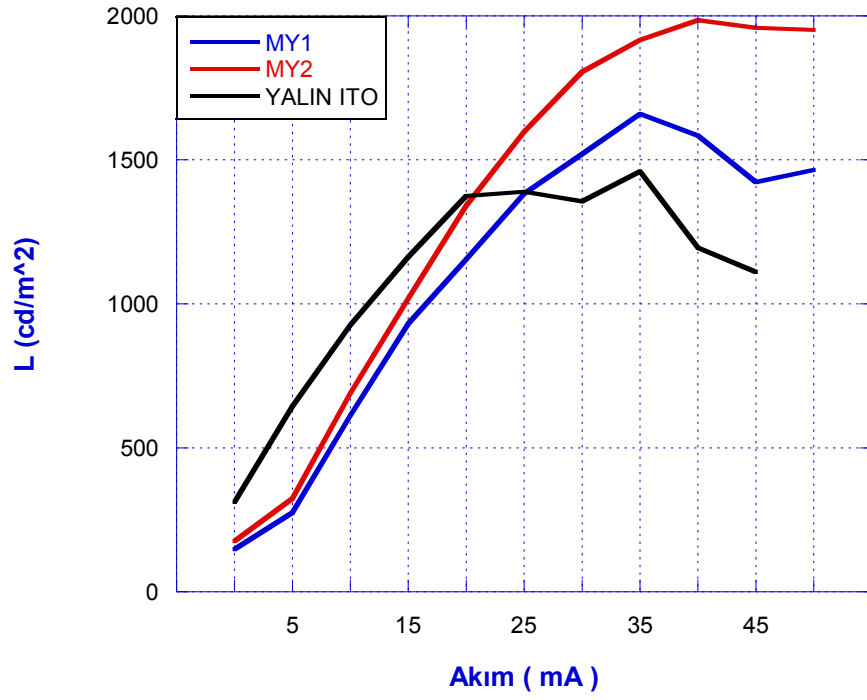
<b>OLED AYGITI</b>	<b>YALIN ITO</b>	<b>MY1</b>	<b>MY2</b>
<b>TURN ON VOLTAJI</b>	<b>15,2 V</b>	<b>14,3 V</b>	<b>13,4 V</b>

Tablo5.4'te modifiye edilmemiş ve modifiye edilmiş ITO'larla üretilmiş olan OLED aygıtlarının turn on voltajları gösterilmiştir. Bu tabloya göre MY1 ve MY2 molekülleri modifiye edilmiş ITO'larla üretilen OLED aygıtlarının modifiye edilmemiş OLED aygıtlarına göre turn on voltajının daha düşük olduğunu söyleyebiliriz. Aynı zamanda MY2 ile modifiye edilmiş OLED aygıtının da MY1 ile modifiye edilmiş ITO'lara göre daha düşük turn on voltajına sahiptir.

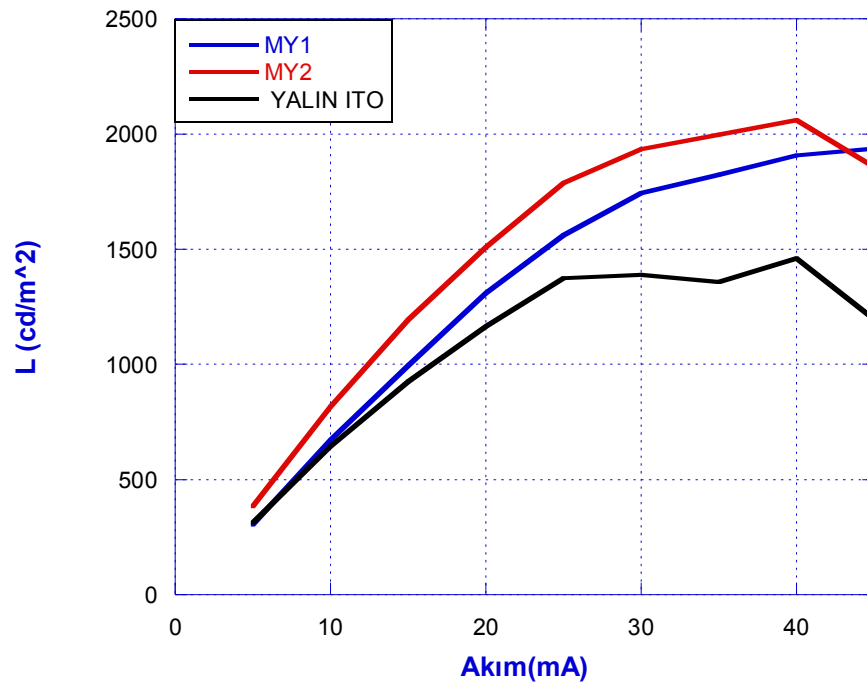
### 5.7 Lüminesans Sonuçları

İki farklı KOT molekülleriyle hazırlanan çözeltilerde 3 ve 12 saatlik bekletilen ITO'ların OLED aygıtına etkisi araştırılmıştır. Temel olarak OLED aygıtının ITO yüzeyinden HTM materyaline yük iletimini artırması ve ITO'nun Fermi enerji seviyesinin organik materyalin HOMO seviyelerini uyumlu hale getirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan OLED aygıtlarının optiksel özellikleri incelendiğinde KOT molekülleri kullanıldığında lüminesans değerlerinin yalın ITO ya göre daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Bunun nedenin ise kullanılan KOT moleküllerinin ITO'nun iş fonksiyonunu düşürerek daha fazla yük aktarımına neden olup aktif bölgede oluşan eksiton miktarının artması ile doğrudan ilişkilidir.

Şekil 5.18'de görüldüğü gibi düşük akım değerlerinde MY1 konfigürasyona sahip moleküllerinin yalın ITO ile hemen hemen aynı lüminesans değerlerine sahip olduğu ve akım değerinin artmasıyla yalın ITO'dan giderek uzaklaştığı görülmektedir. Şekil 5.9'da ise 12 saat KOT çözeltilerinde bekletilen ITO'lar ile yapılan OLED aygıtlarının yalın ITO'larla üretilenlere göre daha iyi lüminesans değerlerine sahip olduğu görülmektedir.



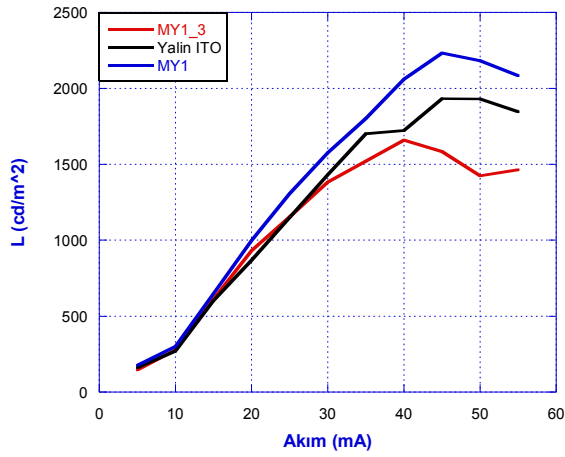
Şekil 5.18 3 saatlik KOT molekülleri Lüminesans grafiği



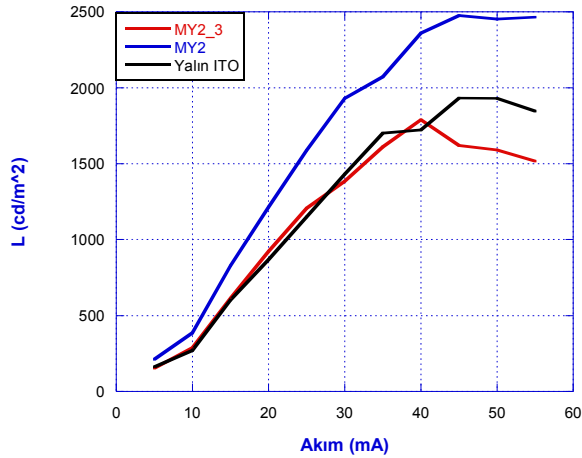
Şekil 5.19 12 saatlik KOT molekülleri Lüminesans Sonuçları

### 5.7.1 3 saatlik ve 12 saatlik KOT molekülleri

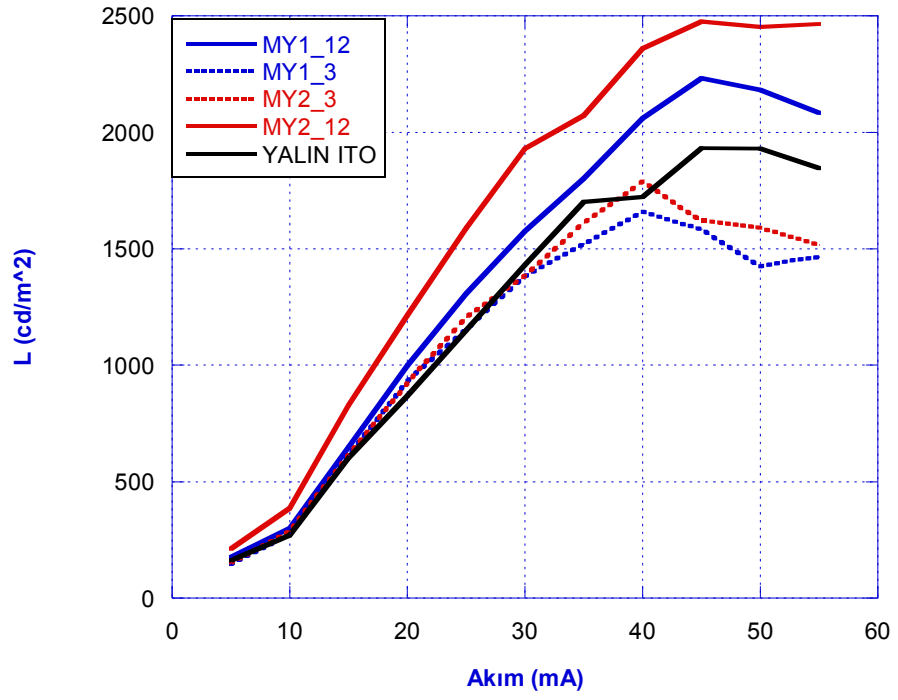
Şekil 5.20’de ve Şekil 5.21’de 3 ve 12 saatlik KOT moleküllerinde bekletilen ITO camlarla hazırlanan OLED aygıtlarının lüminesans grafikleri görülmektedir. Şekil 5.20 den MY1 moleküllerinin 3 saatlik ve 12 saatlikleri arasında düşük akım değerlerinde belirgin bir fark gözlenmezken akım değeri arttırıldığında lüminesans değerinin belirgin olarak arttığı görülmektedir. Şekil 5.21’de MY2 moleküllerinin 12 saatlik konfigürasyonunun hem düşük akım değerlerinde hem de yüksek akım değerlerinde lüminesansın 3 saate oranla daha fazla artış gösterdiği görülmektedir. Şekil 5.23’te ise üretilmiş olan bütün OLED aygıtlarının lüminesans değeri gösterilmiştir.



Şekil 5.20 3 ve 12 saatlik MY1 modifiyeli OLED aygıtların lüminesans sonuçları



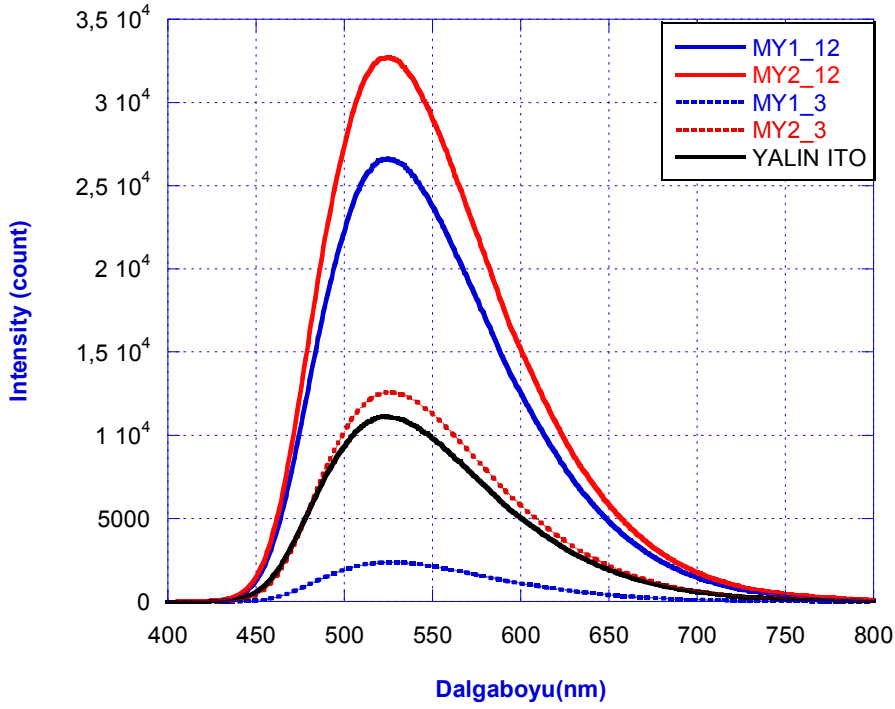
Şekil 5.21 3 ve 12 saatlik MY2 modifiyeli OLED aygıtların lüminesans sonuçları



Şekil 5.22 3 ve 12 saatlik MY1 ve MY2 modifiyeli OLED aygıtlarının Lüminesans grafiği

## 5.8 Işık Şiddeti Dalga Boyu Grafiği

Işık şiddetinin dalga boyu grafiğine göre üretim yapılan bütün aygıtların yaklaşık olarak aynı dalga boyunda ışıma yaptıkları görülmektedir(Şekil5.23). Bu da elektron-boşluk emisyonunun EML katmanı içerisinde gerçekleştiğini göstermektedir.



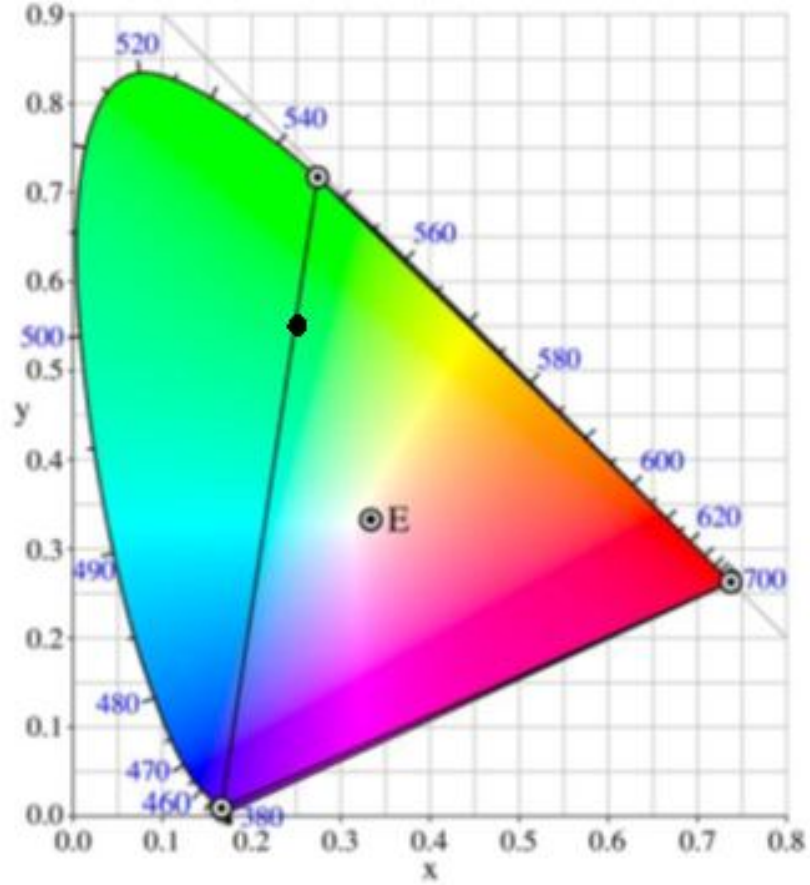
Şekil 5.23 3 ve 12 saatlik modifiyeli OLED aygıtlarının EL şiddeti- Dalgaboyu grafiği

## 5.9 CIE Standartlarına Göre Renk Analizi Sonuçları

CIE ( International Commission on Ilumination) komisyonun 1931 yılında renkleri ayırt edebilmek için (x,y) koordinatlarıyla ifade edilebilen bir renk uzayı tanımlamıştır. Bu renk uzayı insan gözünün algıladığı renklerin standardını belirleyen bir renk diyagramıdır CIE renk uzayı oluşturulurken kırmızı (x), yeşil (y) ve mavi (z) olmak üzere üç renk-uyumlandırma fonksiyonu temel alınmıştır. Renk analizi parlaklık ve kromatiklik olarak iki kısımda incelenir. CIE indeksinde renk kromatikliği x ve y koordinatlarının her ikisinde de tanımlanmaktadır Y koordinatı ise renklerin parlaklığı hakkında bilgi verir. Ekran uygulamalarında renkler genellikle kırmızı, yeşil ve mavinin (RGB)karışımları olarak elde edilir. CIE renk indeksinde RGB renklerinin koordinatları sırasıyla (0.73, 0.27), (0.27, 0.72) ve (0.17, 0.01) dir. Üretilen OLED aygıtlarının CIE indeksleri Tablo 5.5'te görülmektedir. Şekil 5.24'te CIE kromatik diyagramı gösterilmiştir.

Tablo 5-5 Üretilen OLED aygıtlarının CIE indeksleri

KONFIGÜRASYON	12 saat		3saat	
	x	y	x	y
ITO/MY1/TPD/Alq3/Al	0,31	0,53	0,3	0,53
ITO/MY2/TPD/Alq3/Al	0,3	0,52	0,31	53



Şekil 5.24 ITO/ KOT /TPD/ Alq3 konfigürasyonlu OLED aygıtlarının renk analizi sonuçları

## 6 SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu tez karboksilik asit ve boronik asit temelli yüzey aktif grup içeren KOT moleküllerinin ITO yüzeyini modifiye ederek OLED aygıtının optiksel ve elektriksel anlamda performansını geliştirmek üzere kurgulanmıştır. KOT tekniği hidrofobik HTL materyali ile hidrofilik ITO arayüzeyini uyumlaştırmada kullanılan tekniklerden biridir.

Tezin başlangıç bölümüne organik yarıiletken malzemelerin tanımı ve inorganik yarıiletken malzemeler arasındaki farklar ile başlanmıştır. Daha sonra ise organik yarıiletken malzemelerin fiziki yük taşıma mekanizmalarına değinilmiştir.

Tezin ikinci bölümünde OLED aygıtlarının avantajları, dezavantajları, çalışma prensibi, OLED aygıtında verim hesabı, yük transfer modelleri ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde elektron emisyon ve iletim materyalleri, anot, katot materyalleri, boşluk iletim materyalleri üzerinde durulmuştur. Ayrıca KOT moleküllerinin elektronikte tarihçesi ve kullanımı anlatılmıştır. Bölümün sonunda ise KOT moleküllerinin OLED aygıtlarındaki avantajları açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde OLED aygıtının hazırlanış basamakları olan ITO'nun kaldırılması, temizlenmesi ve modifiye edilen ITO üzerine organik moleküllerin kaplanması ve en sonunda ise katot materyali olan alüminyum kaplanması anlatılmıştır.

Beşinci bölümde ise deneysel veriler ve sonuçları verilmiştir. AFM ile elde edilmiş ITO yüzeyi morfolojisi incelenmiş. I-V ölçümleri yapılmış ve QE65000 ile optiksel ölçümleri yapılmıştır.

Sonuç olarak ITO/KOT/TPD/Alq3/Al konfigürasyonuna sahip OLED aygıtlar üretilip analiz edilmiştir. Zamanın KOT moleküllerinin yüzey üzerinde oluşması üzerindeki etkisi araştırılmıştır. I-V grafiklerine bakıldığında KOT molekülleri, OLED aygıtının çalışma voltajını düşürmüştür. Bu düşüşe ITO ve TPD arasındaki enerji bariyerindeki düşüşünün neden olduğunu söyleyebiliriz. Lüminesans grafikleri göz önünde bulundurulduğunda 3 saatlik MY1 ile modifiye edilmiş OLED aygıtlarının MY2 ile kullanılan EML tabakasının aynı olmasından dolayı aynı dalga boyunda ışımaya yaptığını fakat ışık şiddetinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

CV yöntemi kullanılarak KOT moleküllerinin elektrokimyasal özellikleri belirlenmiştir. CV ölçümleri hem sıvı ortamda hem de MY1 ve MY2 ile modifiye edilmiş ITO üzerinde yapıldı. Bu ölçümler kullanılarak KOT moleküllerinin sıvı

ve katı fazdaki HOMO seviyeleri çözültü ortamında 5.20 ve 4.97, katı ortamda 4.92 ve 4.85 olarak hesaplandı. Katı ve sıvı fazdaki ölçüm farkı, bize metal elektrot organik katman arasındaki bariyer yüksekliğini ( $E_g$ ) azalttığını ve böylece boşluk yük taşıyıcı sayısını arttırarak OLED aygıtının performansına olumlu şekilde etki ettiği gözlenmiştir.

KPM sonuçlarına bakıldığında ise bulunan yüzey potansiyelleri yalın ITO (-0,88eV) MY1 (-0,43eV) ve MY2 (-0,26eV) olarak bulunmuştur. Dolayısıyla SAM moleküllerinin varlığının ITO'nun iş fonksiyonunu arttırdığı tespit edilmiştir.

Yalın ITO'nun modifiye edilmiş ITO ile aynı yüzey özelliklerine sahip olduğu söylenilebilir. Bunun nedeni ise KOT moleküllerinin çok ince bir katman olarak yüzeye yapışmaları gösterilebilir(1-2nm). Bununla birlikte AFM görüntülerinden alınan yüzey pürüzlülüğü değerlerinin farklılık göstermesi yüzeyin KOT molekülleriyle kaplandığını ve KOT moleküllerinin ITO yüzeyinin pürüzlülüğünü azaltarak daha düzgün bir yüzeye neden olduğunu söyleyebiliriz. Bundan yola çıkarak KOT moleküllerinin metal organik yüzeyler arasındaki uyumun sağlanmasına yardımcı olduğunu söyleyebiliriz.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Argyakis, P., Kobryanskii, M. V., Sluch, M. I. and Vitukhnovsky, A. G.**, 1997, Influence of conjugated polymer chain length on luminescence properties of ordered polymer films, *Synthetic Metals*, 91, 159p.
- Andersson, T.G.**, 2005, Evaporation of small-molecule nanolayers-growth, structure, electronic levels and devices, *High Density Microsystem Design and Packaging and Component Failure Analysis*.
- Adrian, K.**, 2011, Principles Of Solar Cells, Leds and Diodes: The Role Of The Pn Junction / Adrian Kitai, 318p.
- Aydın, H.**, 2011, Interface Properties Of Modified Indium Tin Oxide Based Organic Light Emitting Diodes with Functional Aromatic Molecules, MSc Thesis, İzmir Institute of Technology, 103p.
- Barbara, P. F., Meyer, T. J. and Ratner, M. A. J.**, 1196, *Phys. Chem*, 100, 13148p.
- Brédas, J. L. and G. A. Street**, 1985, *Acc. Chem. Res.* 18, 309p.
- Brédas, J. L., Coropceanu, V., Malagoli, M., da Silva Filho, D. A., Gruhn, N. E. and Bill T. G.**, 2002, Hole and electron-vibrational couplings in oligoacene crystals: intramolecular contributions, *J. Phys. Rev. Lett.*, 89, 275503p.
- Bredas, J. L., Calbert, J. P., Silva, D. A. and Cornil, J.**, 2002, Organic semiconductors: A theoretical characterization of the basic parameters governing charge transport, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99, 5809p.
- Bredas, L.**, 1985, Relationship between band gap and bond length alternation in organic conjugated polymers, *Journal of Chemical Physics*, 82, 3808p.
- Brütting W.**, 2005, *Physics of Organic Semiconductors*, Wiley, 58p.
- Bhandari, N. K., Bhandari, N., Cahay, M., Boolchand, P. and Ferendeci, A.**, 2009, Use of Hole and Electron Impeding layers to Improve the Efficiency of Organic Light Emitting Diodes, MSc, University of Cincinnati and Ohio, 108p.
- Bässler, H.**, 1993, Charge transport in disordered organic photoconductors a monte carlo simulation study, *Phys. Status Solidi B*, 175, 15p.
- Borsenberger, P. M., Pautmeier, L. and Bässler, H.**, 1991, *J. Chem. Phys.*, 94, 5447p.
- Berlin, Y. A., Hutchinson, G. R, Rempala, P., Ratner, M. A. and Michl, J. J.**, 2003, *Phys. Chem. A* 107, 3970p.
- Can, M.**, 2012, Organik Işık Yayan Diyotlar ve Boyar Maddeli Fotovoltaik Hücreler İçin Organik Malzeme Sentezi ve Uygulamaları, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, 236s.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Cornil, J., Beljonne, D., Calbert, J. P. and Brédas, J. L.**, 2001, Small Bandgap Polymers for Organic Solar Cells, *Adv. Mater.* 13, 1053p.
- Champbell, A. J., Bradley, D. D. C. and Lidzey and D. G.**, 1997, Space-charge limited conduction with traps in poly(phenylene vinylene) light emitting diodes, *J. Appl. Phys.* 82, 6326p
- Coropceanu, V., Malagoli, M., da Silva Filho, D. A., Gruhn, N. E., Bill, T. G., Lemaire, V., da Silva Filho, D. A., Coropceanu, V., Lehmann, M., Geerts, Y., Piretti, J., Debije, M. G., van de Craats, A. M., Senthilkumar, K., Siebbeles, L. D. A. and Cornil, J.**, 2004, Charge transport properties in discotic liquid crystals: a quantum-chemical insight into structure-property relationships, *J. Am. Chem. Soc.*, 126, 3271p.
- CIE**, 1931, Commission Internationale de l'Eclairage Proceedings, Cambridge, Cambridge University Press.
- Dauids, P.S., Campbell, I.H., and Smith, D.L.**, 1997, Device model for single carrier organic diodes, *Journal of Applied Physics*, 82, 6319p.
- DeRose, Christopher, T., Enami, Y. and Norwood, R.A.**, 2006, Pockel's coefficient enhancement of poled electro-optic polymers with a hybrid organic-inorganic sol-gel cladding layer, *Applied Physics Letters*, 89, 131102p.
- Dong, H. K., Chan, M. C., Jong, W. P. and Se Y. O.**, 2008, Effects of ITO surface modification using self-assembly molecules on the characteristics of OLEDs, *Ultramicroscopy*, 1233p.
- Esward, T., Knox, S., Jones, H. and Brewer, P.**, 2011, A metrology perspective on the dark injection transient current method for charge mobility determination in organic semiconductors, *Journal of Applied Physics*, 109, 093707p.
- Griffiths D. J.**, 2005, *Introduction to Quantum Mechanics*, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall,
- Glang, R. and Maissel, L.I.**, 1970, *Handbook Of Thin Film Technology*. McGraw-Hill New York, 21p.
- Gutmann, F. and Lyons, L. E.**, 1967, *Organic Semiconductors* John Wiley & Sons, Inc, 858p.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Godlewski, J. and Obarowska, M.**, 2007, Organic light emitting devices, Opto-Electronics Review, 15, 179p.
- Horowitz, G.**, 1998, Organic field-effect transistors, Advanced Materials, 10, 365p.
- Haldi, A.**, 2008, Patternable electrophosphorescent organic light-emitting diodes with solution-processed organic layers, Ph.D. Thesis, Georgia Institute of Technology, 130p.
- Havvare, A.K.**, 2011, Kendiliğinden Organize Tek Katman Tekniği (KOT) Kullanılarak Organik LED (OLED) Veriminin Artırılması ve Karakterizasyonu, Ege Üniversitesi, Doktora Tezi, 173s.
- Iwama, Y., Cho, D.C., Mori, T. and Mizutani, T.**, 2003, Electroluminescence properties of organic light-emitting diodes using ITO with different surface treatments, Properties and Applications of Dielectric Materials, 2003. Proceedings of the 7th International Conference on, 2,718p.
- Jain, S.C., Geens, W., Mehra, A., Kumar, V. and Aernouts, T.**, 2001, Injection- and space charge limited-currents in doped conducting organic materials, Journal of Applied Physics, 89, 3804p.
- Jongwoon, P. and Kawakami, Y.**, 2006, Temperature-dependent dynamic behaviors of organic light-emitting diode, Display Technology, 2, 333p
- Infahsaeng, Y.**, 2005, Characteristics and Fabrication of Organic Light Emitting Devices Base On Tris (8-Hydroxyquinoline) Aluminum, Msc Thesis, Mahidol University, 116p.
- Kroon, R., Lenes, M., Hummelen, J. C., Blom, P. W. M. and De Boer, B.**, 2008, Small band gap polymers for organic solar cells, Polymer Reviews, 48, 531p.
- Kwok, H.L. and Xu, J.B.**, 2002, A model for exciton formation in organic electroluminescent devices, Solid-state Elec., 46,645p
- Koehler, M. and Hümmelgen, I. A.**, 1997, Appl. Phys. Lett., 70, 3254p.
- Kuzmany, H. and Kurti, J.**, 1987, The physical meaning of the conjugation length in polymers, Synthetic Metals, 21, 95p.
- Kim, J.S., Granstrom, M., Friend, R.H., Johansson, N., Salaneck, W.R., and Daik, R.**, 1998, Indium-tin oxide treatments for single- and double-layer polymeric light-emitting diodes: The relation between the anode physical, chemical, and morphological properties and the device performance, Journal of Applied Physics, 84, 6859p.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)**

- Koch, N., Kahn, A., Ghijsen, J., Pireaux, J. J., Schwartz, J., Johnson, R. L. and Elschner, A.**, 2003, Conjugated organic molecules on metal versus polymer electrodes: Demonstration of a key energy level alignment mechanism, Appl. Phys. Lett., 82, 70p.
- Koch, N. and Vollmer A.**, 2006, Electrode-molecular semiconductor contacts: Work-function-dependent hole injection barriers versus Fermi-level pinning, Appl. Phys. Lett., 89, 162107p
- Lo, M.F., Lai, S. L., Wong, F.L., Fung, M.K., Lee, S. T. and Lee, C. S.**, 2010, Operation stability enhancement in organic photovoltaic device by a metal doped organic exciton blocking layer, Applied Physics Letters , 97, 143300p.
- Li, X. Y., Tang, X. S. and He, F. C.**, 1999, Electron transfer in poly(*p*-phenylene) oligomers: effect of external electric field and application of Koopmans theorem Chem. Phys. 248, 137p.
- Marcus, R. A.**, 1993, Rev. Mod. Phys., 65, 599p.
- Pope, M. and Swenberg, C. E.**, 1999, Electronic Processes in Organic Crystals and Polymers, 2nd ed. New York: Oxford Science Publications, 734p.
- Pope, M., Kallmann, H. and Magnante, P.**, 1963, Electroluminescence in organic crystals, Journal of Chemical Physics, 38, 2042p.
- Peumans, P., Bulovic, V. and Forrest, S.R.**, 2000, Efficient photon harvesting at high optical intensities in ultrathin organic double-heterostructure photovoltaic diodes , Applied Physics Letters, 76, 2650p.
- Rakurthi, A.**, 2010, Improvement of Efficiencies and Lifetimes of White Light-Emitting Organic Diodes Using a Novel Co-evaporated 'Hole-Confining' Structure. Structure., 119p.
- Shinar, J.**, 2004, Organic Light-Emitting Devices: A Survey, Springer Verlag, 309p.
- Shen, Y., Hosseini, A.R., Wong, M.H. and Malliaras, G.G.**, 2004, How to make ohmic contacts to organic semiconductors, ChemPhysChem. 5, 16p.
- Sirringhaus, H.**, 2009, Materials and Applications for Solution-Processed Organic Field-Effect Transistors, Proceedings of the IEEE , 97, 1570p.
- Scott, J.C. and Karg, S.A.**, 1997, Bipolar charge and current distributions in organic light emitting diodes, J. Appl. Phys., 82, 1454p.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Someya, T B., Pal, J. Huang, and Katz, H. E.,** 2008, Organic semiconductor devices with enhanced field and environmental responses for novel applications, MRS Bull., 33,690p.
- Singh, A.,** 2009, Electrical and Optical properties of electroluminescent materials used for Organic Light Emitting Device, Master of Technology, School of Physics and Material Science Thapar University, 79p.
- Suppiah, S., Mohamad S. M. and Juhari, N.,** 2011, Fabrication of MEH-PPV Based Organic Light Emitting Diode and Transistor, Micro and Nanoelectronics (RSM), IEEE Regional Symposium on , 391p.
- Şeker, M.,** 2011, Application of Self assembled Monolayer Technique to Improve Hole Transport in Organic Leds, MSc Thesis, İzmir Institute of Technology, 122p.
- Shiyong, L., Feng L., Cheng, G. and Feng, J.,** 2003, Highly efficient organic light-emitting devices, Optoelectronics, Proceedings of the Sixth Chinese Symposium, 266p.
- Qiao, X., Tao, Y., Wang, Q. and Ma, D,** 2010, Controlling charge balance and exciton recombination by bipolar host in single-layer organic light-emitting diodes, Journal of Applied Physics, 108, 034508p.
- Tang C. W. and VanSlyke S. A.,** 1987, Organic electroluminescent diodes, Appl. Phys. Lett., 51, 913p
- Tretiak, S., Saxena, A, Martin, R. L. and Bishop, A. R.,** 2000, Interchain electronic excitation in Poly(phenylenevinylene) (PPV) Aggregates, J. Phys. Chem. B, 104,7029p.
- Thiruvengadam, S.,** 2007, Characterization And Analysis Of Hybrid Electronic Materials For Molecular Based Devices, MSc Thesis, India Bharathiyar University, 151p.
- Wang, Z.B. Helander, M.G., Greiner, M.T.and Qiu, J.,** 2010, Carrier mobility of organic semiconductors based on current-voltage characteristics, Journal of Applied Physics , 107, 034506p.
- Feng,X,** 2008, Development of 8-Hydroxyquinoline Metal Based Organic Light-Emitting Diodes, Phd Thesis, Department of Materials Science and Engineering University of Toronto, 129p.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)**

**Yu D., Yang Y., Durstock M., Baek J. B., and Dai L.,** 2010, Soluble P3HT-Grafted Graphene for Efficient Bilayer Heterojunction Photovoltaic Devices, ACS Nano, 4, 10, 5633p

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Ad, Soyad** : Yavuz Aşçı  
**Cinsiyet** : Bay  
**Doğum Tarihi** : 01/01/1983  
**Medeni Durum** : Bekar  
**Uyruk** : T.C.  
**Askerlik Durumu** : Yaptı.

### İLETİŞİM BİLGİLERİ

**Adres Bilgileri** : **Pazaryukarı Mah. Telekom Karşısı**

Erol Apt. D:3 Yalvaç/ISPARTA

**Ev Tel.** : (246) 441 4011

**E-posta** : [yavuz.asci32@hotmail.com](mailto:yavuz.asci32@hotmail.com)

### EĞİTİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	-Ege Üniversitesi Elektrik Elektronik Müh.
Üniversite	Dokuz Eylül Üniversitesi – İzmir – Elektrik-Elektronik Müh. – 09/2002 – 06/2008 Bitirme Notu: (75/100)
Lise	Adem Tolunay Fen Lisesi – BURDUR- Fen-Matematik – 09/1997 – 06/2001 Bitirme Notu: (4.70/5)