



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNORGANİK NANOPARÇACIK TEMELLİ POLİMER HİBRİT LED'LERDE YÜK TAŞIYICILARININ MOBİLİTE ÖLÇÜMLERİ

Nurhan Mehmet VARAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

ARALIK-2013
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNORGANİK NANOPARÇACIK TEMELLİ POLİMER HİBRİT LEDLERDE YÜK TAŞIYICILARININ MOBİLİTE ÖLÇÜMLERİ

Nurhan Mehmet VARAL

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mahmut KUŞ

2013, 55 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Mahmut KUŞ
Prof. Dr. Haluk ŞAFAK
Yrd. Doç. Dr. Ömer Faruk YÜKSEL

Bu çalışmada, MEHPPV kırmızı emisyon yapan polimer içerisine katkılanan Fe_3O_4 manyetik nano-parçacıklarının boşluk yük taşıyıcısı mobilitesi üzerine olan etkisi incelenmiş ve organik ışık yayan diyot uygulaması yapılmıştır. Yük taşıyıcısının mobilitesini hesaplayabilmek için, admitans spektroskopisi (kpasitans/frekans taramaları) ve FET mobilitesi yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen veriler ışığında organik ışık yayan diyot uygulaması ile Fe_3O_4 nano-parçacıklarının cihaz performansına olan etkisi incelenmiş ve değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Organik, opto-elektronik, OLED, OFET, admitans

ABSTRACT

MS THESIS

MOBILITY MEASUREMENTS OF CHARGE CARRIERS AT INORGANIC NANOPARTICLE BASED POLYMER HYBRID LIGHT EMITTING DIODES

Nurhan Mehmet VARAL

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN PHYSICS

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mahmut KUŞ

2013, 55 Pages

Jury
Advisor : Doç. Dr. Mahmut KUŞ
Prof. Dr. Haluk ŞAFAK
Yrd. Doç. Dr. Ömer Faruk Yüksel

In this study, the effect of Fe_3O_4 magnetic nano-crystal doping into MEHPPV polimer matrix with different ratios on the hole mobilities and organic light emitting diode application is performed. Admittance spectroscopy by capacitance/frequency measurements and FET mobility techniques are used to calculate hole mobilities for different doping ratios. In the light of mobility measurement results, OLED application with different ratios is performed and efficiency change of the devices are observed.

Keywords: Organic, Opto-electronic, OLED, OFET, admittance

ÖNSÖZ

Yüksek lisans ve tez sürecim boyunca benden hiçbir yardımı esirgemeyen ve sabır gösteren danışmanım ve saygı değer hocam Doç. Dr. Mahmut KUŞ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Fizik bölümü öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Ömer Faruk YÜKSEL ve Prof. Dr. Haluk ŞAFAK'a yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmalarım sırasında laboratuar imkanlarını sonuna kadar sunan İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi müdürü ve saygıdeğer hocam Prof. Dr. Mustafa ERSÖZ'e teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan ve desteğini esirgemeyen arkadaşlarım Koray KARA, Faruk ÖZEL, Sümeyra BÜYÜKÇELEBİ, İlker ÖNER, Serhat TİLKİ, Hansan TETİK ve ILTEK çalışanlarına teşekkür ederim.

Selçuk Üniversitesi BAP'a bu çalışmaya verdiği maddi destekten ötürü teşekkür ederim.

Son olarak tüm hayatım boyunca maddi ve manevi hiçbir desteği esirgemeyen, her konuda yanımda olan babam İbrahim VARAL, annem Fatma VARAL, kardeşim Elmas DERYA ve eşi Metin DERYA ile sevgili arkadaşım Seçil KARANA'ya her zaman yanımda olmaları ümidi ile sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışmamı babam ve anneme ithaf ediyorum.

Nurhan Mehmet VARAL
KONYA-2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **viii**

1. ORGANIK ELEKTRONIK VE MOBİLİTE **1**

1.1. Çalışmanın Amacı 1
1.2. Organik Elektronik ve Kısa Tarihi 3
1.3. Taşıyıcı Mobilitesi Ölçüm Teknikleri 10
1.3.1. Admitans Spektroskopisi (AS) 19
1.3.2. Organik Alan Etkili Transistörler (OFET) 23

2. MATERYAL VE YÖNTEM **28**

2.1. Admitans Spektroskopisi Ölçümleri İçin Diyot Yapısının Hazırlanışı 28
2.2. Fet Mobilitesi Ölçümleri İçin Transistör Yapısının Hazırlanışı 30
2.3. OLED Uygulaması İçin Diyot Yapısının Hazırlanışı 31

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **33**

4.1. Empedans Spektroskopisi Ölçüm Sonuçları 33
4.2. FET Mobilitesi ölçüm sonuçları 36
4.3. Fe_3O_4 Katkılanmış MEHPPV matriksi ile OLED uygulaması 46

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **50**

5.1 Sonuçlar 50
5.2 Öneriler 50

KAYNAKLAR **51**

ÖZGEÇMİŞ **55**

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

v	: Yük taşıyıcısı hızı
μ	: Yük taşıyıcısı mobilitesi
μ_{dc}	: Yük taşıyıcısının doğru akım altındaki hızı
^0C	: Santigrad derece
A	: Alan
A_c	: Moleküler kristalin elektron çekiciliği
A_g	: Elektron çekiciliği
Al	: Alüminyum
Al_2O_3	: Alüminyum oksit
Alq_3	: Tris(8-hydroxyquinolinato)aluminium
C	: Kapasitans
Cd	: Kadmiyum
C_{geo}	: Geometrik kapasitans
C_i	: Birim alana düşen kapasitans
Cm^2	: Santimetre kare
CoFe	: Kobalt demir
D	: İnce film kalınlığı
ε	: Dielektrik sabiti
ε_0	: Boşluğun dielektrik sabiti
E_A	: Aktivasyon enerjisi
E_{opt}	: Optik band aralığı
eV	: Elektron volt
F	: Elektrik alan büyüklüğü
Fe_3O_4	: Demir III Oksit
f_r	: Suseptans eğrisinin tepe noktasına denk gelen frekans değeri
GaAs	: Galyum Arsenit
Ge	: Germanyum
$\hbar$	: Plank sabiti
I_c	: Moleküler kristalin iyonizasyon potansiyeli
I_d	: Kaynak-akaç arasındakı akım değeri
$I_{d,sat}$	: Satürasyon bölgesinde kaynak-akaç arasındaki akım değeri
I_g	: İyonizasyon potansiyeli
J	: Akım yoğunluğu
L	: Kaynak-akaç elektrotları arasındaki mesafe
Mg	: Magnezyum
N_a	: Yarı-iletken katkılanma oranı
P_c, P_h	: Polarizasyon enerjisi
Si	: Silisyum
$V_{d,}$ V_{DS}	: Kaynak-akaç arasındaki gerilim
V_{dc}	: Doğru akım potansiyeli
V_g, V_{GS}	: Kapı-kaynak arasındaki gerilim
V_T, V_{TH}	: Eşik gerilimi
W	: Kaynak ve akaç elektrotlarının genişliği
$-\Delta B$	: Negatif diferansiyel suseptans
ΔE	: Enerjideki belirsizlik
Δt	: Zamandaki belirsizlik

τ_{dc} : Yük taşıyıcısının doğru akım altındaki uçuş süresi
τ_r : Ortalama uçuş süresi

Kısaltmalar

μm : Mikro metre
AC : Alternatif akım
AMOLED : Aktif matris organik ışık yayan diyot
Cd : Kandela
CELIV :
Cm^2 : Santimetre kare
CMOS :
DC : Doğru akım
DI-SCLC :
DSSC : Boya esaslı güneş hücresi
ETL : Elektron taşıma katmanı
FET : Alan etkili transistör
HOMO : En yüksek doldurulmuş moleküler orbital
ILC :
ITO : İndium-tin-oksit
JFET :
JSC : Kısa devre akımı
LUMO : En düşük doldurulmamış moleküler orbital
M : Metre
m^2 : Metre kare
MEHPPV : Poly[2-methoxy-5-(2-ethylhexyloxy)-1,4-phenylenevinylene]
MESFET :
Mg : Miligram
MISFET : Metal-
Ml : Mili Litre
MOS :
MOSFET : Metal-oksit-yarıiletken alan etkili transistör
mT : Mili tesla
nF : Nano Farat
Nm : Nano metre
n-tipi : Elektronca zengin yarı-iletken
OFET : Organik alan etkili transistör
OLED : Organik ışık yayan diyot
OPV : Organik fotovoltaik hücre
P3HT : Poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl)
PCBM : [6,6]-phenyl-C61-butyric acid methyl ester
PEDOT:PSS : Poly(3,4-ethylenedioxythiophene):Poly(styrenesulfonate)
PFO : Poly-fluorene
PPV : Poly-phenylene vinylene
p-tipi : Boşlukça zengin yarı-iletken
PVT : Poly-vinyl Triazole
Rpm : Dakikada dönme sayısı
s : Saniye
SCLC : Space Charge Limited Current
TFT : İnce film transistör

TOF	: Time of Flight
UV	: Ultra viole
V	: Volt
VRH	: Değişken Mesafeli Sıçrama (Variable Range Hoping)

1. ORGANIK ELEKTRONIK VE MOBİLİTE

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışma başlığından da anlaşılabileceği üzere polimer/nanoparçacık hibrit bir sistem içerisindeki yük taşıyıcılarının mobilite ölçümleri üzerine deneysel çalışmalar içermektedir. Bilindiği üzere organik elektronik sistemlerde cihaz yapısı, ince film morfolojileri, metal/yarı-iletken arayüzeyler gibi bir çok faktörün yanı sıra kullanılan yarı-iletkenlerdeki yük taşıyıcılarının mobiliteleri cihaz performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmada cihaz performansını önemli ölçüde etkileyen yük taşıyıcılarının mobilite ölçümleri üzerinde durulmuştur.

Çalışmamızın amacı kırmızı emisyon yapan yarı-iletken MEH-PPV (Poly[2-methoxy-5-(2-ethylhexyloxy)-1,4-phenylenevinylene]) polimerine, sentezi başka bir çalışmada yapılmış olan Fe_3O_4 manyetik nanoparçacıklarının belirli oranlarda katkılanması ile elde edilen polimer/nanoparçacık hibrit sistem içerisinde manyetik parçacıkların katkılanması ile meydana gelen mobilite değişimlerinin ölçümü gerçekleştirilerek, bu değişimin üretimi yapılacak olan organik ışık yayan diyot uygulamasına olan etkisini incelemektir.

Polimer temelli ledler, inorganik temelli elektronik kompanentlerle karşılaştırıldığında düşük maliyetli üretim, çözelti formunda kaplanabilme, geniş dalga boyunda emisyon, yüksek renk derinliğine sahip olma, büyük alanlara uygulanabilme, düz ekran görüntüleme cihazlarında kullanılabilme, esnek yüzeylere kaplanılabilme gibi birçok avantajı sayesinde büyük ilgi toplamaktadır. Polimer yarı-iletkenlerin sahip olduğu bütün bu özellikler nedeniyle lüminesant aktif yarı-iletken materyaller içerisinde foto-lüminesans verimliliğinin yüksek olması ve sentez mekanizmalarının değiştirilebilmesiyle, kimyasal yapılarının kolaylıkla modifiye edilebilmesi sayesinde en çok gelecek vaad eden materyallerden biri olan vinylene türevi MEH-PPV polimeri taşıyıcı olarak seçilmiştir.

Bunun yanı sıra organik elektronik elemanların verimlilikleri üzerine etkileri sebebiyle manyetik materyaller on yılı aşkın süredir geniş kapsamlı olarak araştırılmaktadır (Li2006, Haque2007, Taberma2006). Fe_3O_4 manyetik nanoparçacığı, Oleil Amin yada Oleik Asit gibi yüzey aktif materlallerle kaplanarak çözünebilir hale getirilebilmektedir. Bu sayede yüzey aktif organik materyallerle kaplanmış nonaparçacıklar, organik çözgenlerde yada suda rahatlıkla çözünebilmekte ve kolloidal

nanoparçacıklar olarak adlandırılmaktadır. Bu tip nano-parçacıkların çözelti formunda ince film haline getirilebilmesi, yine organik çözgenler içerisinde çözünebilen diğer polimer yarı-iletkenlere katkılanabilmeleri bu çalışmanın ortaya çıkışı için itici güç olmuştur.

Literatürdeki manyetik etki çalışmalarına ve manyetik nano-parçacık katkılanmasına örnekler vermek gerekirse; Kalinowski ve ekibi 500mT şiddetindeki bir dış manyetik alanın, Alq3 temelli bir OLED yapısında akım yoğunluğundaki ve lüminesans şiddetindeki %3 lük bir artışa neden olduğunu rapor etmiştir (Kalinowski2003, Niedermier2010). Diğer yandan 10mT civarındaki zayıf manyetik alanın ise PFO (polyfluorene) temelli OLED lerin oda sıcaklığı altında %10'luk bir direnç artışı gösterdiği tespit edilmiştir (Niedermier2010, Wohlgenannt2004). Sun ve ekibi %0,1 CoFe manyetik nanoparçacığının doplanmış Meh-PPV kırmızı emisyon yapan polimer matrikse katkılanmasıyla OLED'in dış kuantum verimliliğinde %27 ile %32 arasında artış gözlenmiştir (Sun2007). CoFe nanoparçacıklarının, MEHPPV polimer matriksine katkılanması elde edilen yapıda boşluk mobilitesinin 1x10-5 cm2/V.s. seviyesinden 6x10-6 cm2/V.s. seviyelerine düşmesine sebep olmuştur. Bunun sebebi ise polimer matriksin içinde yeni tuzak seviyelerinin oluşması ve tuzak bölgelerinin iki katına çıkması olarak rapor edilmiştir. Tuzak seviyelerindeki artış, boşluk mobilitesindeki düşüş daha dengeli bir yük taşıyıcısı aktarımına imkan vermekte ve bu sayede rekombinasyon miktarı artmakta ve verim artışına sebep olmaktadır. Manyetik nanoparçacıklar yanlızca OLED uygulamalarında değil, aynı zamanda diğer organik elektronik cihazlarda ve özellikle güneş pillerinde denenmiştir. P3HT:PCBM karışım aktif katmanlı organik güneş pillerine Fe3O4 manyetik nanoparçacığının katkılanmasıyla kısa devre akımında (JSC) %14 artış elde edilmiştir (Zhang2011). Bu artış Fe3O4 manyetik nanoparçacığının sahip olduğu super para-manyetik etkiden kaynaklanmaktadır.

Çalışmamızın literatüre kattığı özgün değer ise Fe_3O_4 manyetik nanoparçacıklarının ilk defa OLED uygulamalarına yönelik kullanılması ve polimer matriks içerisinde mobiliteye olan etkisinin incelenmesidir. Laboratuar çalışmalarına geçiş yapmadan önce, yapılan çalışmaların amacının ve kapsamının daha iyi anlaşılabilmesi için organik elektronik cihazlar ve yük taşıyıcılarının mobilite ölçüm teknikleriyle ilgili ön bilgi vermek doğru olacaktır. Bu bağlamda, ilk olarak organik elektronik cihazlar ve mobilite ölçüm teknikleri ile ilgili genel bir bilgi verilecek ve akabinde mobilite ölçümü için tercih edilen iki yöntem ve bu yöntemler kullanılarak

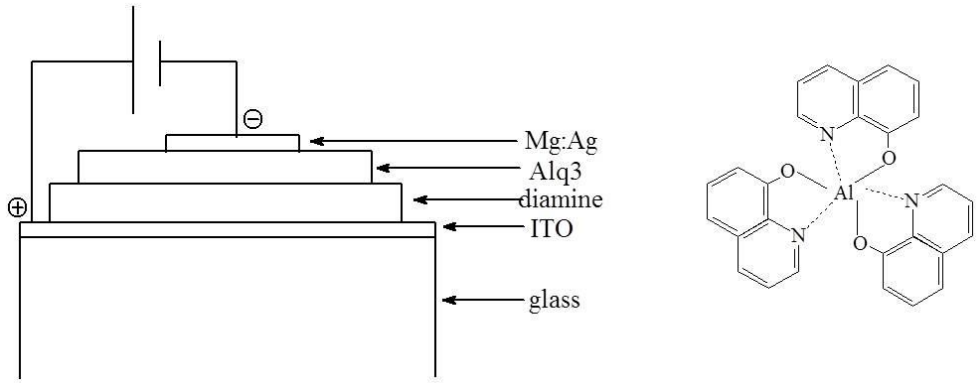
gerçekleştirilen deneysel çalışmaların detayları anlatılacaktır. Son olarak ise elde edilen sonuçlar ışığında polimer/nano-parçacık hibrit sistemin organik ışık yayan diyot uygulaması ele alınacak ve sonuçları tartışılacaktır.

1.2. Organik Elektronik ve Kısa Tarihi

20. yüzyılın ortalarında transistörün icat edilmesi ile Si ve Ge gibi inorganik materyaller elektronik sanayinde ve komponentlerinde baskın rol almaya başlamıştır. Aynı zamanda Si ve Ge gibi materyaller ile üretilen transistörler sayesinde vakum temelli komponentlerin yerini katı hal komponentler almıştır. Günümüzde 21. Yüzyılın başlarında yepyeni bir teknoloji ile karşı karşıyayız. Bir devrim olarak adlandırılabilecek bu yeni teknolojiyi sınıflandırmak gerekirse "Organik Elektronik" olarak adlandırabiliriz. Bu yeni çeşit materyallerin üzerlerinde çalışıldıkça ve yapıları daha iyi anlaşılmaya başladıkça yeni cihaz konseptlerine ve yeni uygulamalara yol açmış ve açmaya devam etmektedir. Elektronik komponentler açısından yeni bir çığır açan bu muazzam gelişmeler, büyük alan uygulamalar, esnek aydınlatma ve görüntüleme sistemleri gibi yeni alanlar ve sektörler üretmiştir.

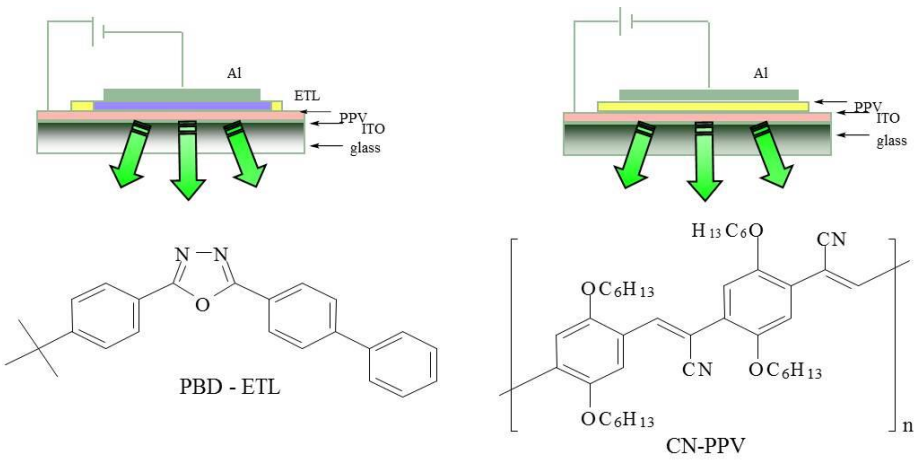
Peki organik yarı-iletkenlerin geçmişi bu kadar yakın mı? Organik "antracene" kristali üzerinde gerçekleştirilen iletkenlik ve ışıl-iletkenlik çalışmaları 20. Yüzyılın başlarına kadar gitmektedir (Koenigsberger1910, Volmer1913). Daha sonra 1950'lerde elektro-lüminesansın A. Bernanose tarafından "quinacridone" organik materyali ile üretilen bir diyot yapısın üzerinden keşfedilmesi ile moleküler kristaller üzerindeki çalışmalar yoğunlaşmaya başlamıştır (Bernanose1953, Pope1963, Helfrich1965). Bu tarihten sonra yapılan çalışmalar optik uyarılma ve yük taşıyıcılarının iletimleri üzerine yoğunlaşmıştır (Silinsh1980, Pope1982). Elektrolüminesant diyotların üzerinde yoğunlaşan çalışmalara rağmen, günümüzde kullanılan organik led sistemlere göre yüksek oranda verisimsiz sistelerdi. Örnek vermek gerekirse 1960'larda "antracene" doplanmış bir diyot sistemi 400V AC voltaj ile sürülebilmekteydi (Kallmann1960). 1975 yılında ise Godlewski ve Kalinowski tarafından 30V~300V arasında sürülen yaklaşık 2.2 mikron kalınlığında yarı-iletken "tetracene" elektro-lüminesant diyot elde edilmiştir (Godlewski1975). Öncü elektro-lüminesant yapılardaki en büyük problem örneklerinden de görülebileceği üzere milimetre ve mikrometre mertebesindeki filmlerin üretim teknikleri ve çok yüksek voltajlarda sürülmesiydi. Bu prolemler tâ ki 1987 yılında Tang ve ekibinin Alq_3 (Tris(8-hydroxyquinolinato)aluminium) kullanarak

%1 kuantum verimliliğine sahip 10 voltta 1000 cd/m^2 ışık şiddetinin elde edildiği çalışmaları sonucunda yep yeni bir çığır açana kadar devam etti, bu çalışmada üretimi yapılan cihazın yapısı Şekil 1.1'de görülmektedir (Tang1987).



Şekil 1.1 Tang ve ekibinin geliştirdiği OLED yapısı

Tam bu dönemde 1970'lerde başarılı sentezler ve konjüge polimerlerin kontrollü doplanabilmesi sonucunda organik yarı-iletkenlerin bir diğer önemli kolunu oluşturan eletro-lüminesant yarı-iletken polimerler ortaya çıkmış ve 2000 yılında kimya alanında Nobel ödülü ile onurlandırılan katkılanmış polyacetylene OLED çalışması yayınlanmıştır (Chiang1977). 1990 ve 1992 yıllarında ise Burroughes, Bradley ve ekibi tarafından geliştirilen yaklaşık 70 nm. Aktik katman kalınlığına sahip PPV (p-phenylene vinylene) temelli ilk düşük voltajda çalışan ve yüksek verimliliğe sahip polimer temelli OLED geliştirilmiş oldu (Burroughes1990). 1992 ve 1993 yıllarında ise farklı cihaz yapıları ve PPV türevleri ile yarı-iletken polimerler üzerinde benzer çalışmalar devam etmiştir, ilk örnekleri temsil eden cihaz yapıları Şekil 1.2'de görülmektedir.

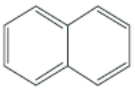
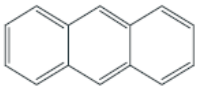
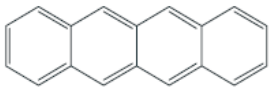
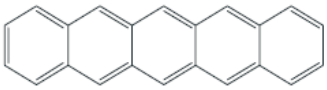


Şekil 1.2 İlk yüksek verimliliğe sahip polimer temelli OLED cihaz yapısı

PPV ve benzeri katkılanmamış konjüge polimerlere olan ilgi, 1980'li yıllarda ilk defa geliştirilen, p ve n tipi iki organik yarı iletkenden meydana gelen hetero-eklem ve kayda değer bir verimliliğe sahip güneş hücresinin geliştirilmesi ile artmaya başlamıştır (Tang1986). Aynı zamanda oligomer ve konjüge polimer ile üretilen ilk organik transistör ise organik elektronik dünyasında ayrı bir kapı açmıştır (Koezuka1987, Burroughes1988, Horowitz1989). Buna rağmen organik elektronik dünyasının gelişmesindeki en büyük etki ve adımlar vakum buharlaştırılmış organik moleküler filmler (Tang1987, Tang1989) ve konjüge polimerler ile üretilen OLED'ler sayesinde atılmıştır (Burroughes1990, Braun1991). Bilindiği üzere hem laboratuar hem endüstriyel çalışmalar sonucu son 15 yılda elde edilen birikim sayesinde ilk ticari prototipler ve hatta iki farklı uzak doğu firmasının çalışmaları sonucu ticari olarak yüksek çözünürlüklü AMOLED ekranlar son kullanıcının hizmetine sunulmuştur. Organik elektronik alanında ki diğer örnekler olan transistörler ve güneş hücreleri de umarız ki yakın bir süreç içerisinde ticarileşebilecek noktalara gelecektir.

Daha öncede bahsedildiği gibi organik materyaller, konjüge polimerler ve moleküler yapılar olarak iki ana başlık altında kategorize edilebilir. Her iki organik yapıda da karbon atomlarının sp^2 hibritleşmesi sonucu p_z orbitallerinde π-elektronları konjüge hale gelmektedir. π Bağları zayıf olmalarına rağmen konjüge moleküllerdeki en düşük uyarılma seviyelerinde oluşan π-π^* geçişleri, organik yapıların sahip oldukları 1,5 ve 3 eV'luk band boşluğunda yapılan soğurma ve emisyonun görünür bölgede kalmasını sağlamaktadır. Ve organik moleküllerin sahip olduğu band genişliği, sistemin sahip olduğu konjügasyon uzunluğuna bağlı olarak değiştirilebilmektedir. Bu sayede kimya bilimi organik materyallerin opto-elektronik özellikleriyle oynayabilmek konusunda çok geniş olasılıklar ve seçenekler sunabilmektedir. Bunun yanı sıra moleküler yapılar ve polimerler arasındaki en büyük fark ise bu materyallerin farklı yöntemler kullanılarak ince film haline getirilmesidir. Moleküler yapılar (small molecules) çoğunlukla gaz fazında süblimleşerek yada buharlaştırılarak ince film haline getirilirken, konjüge polimerler ise yalnızca çözelti formunda, dönü kaplama (spin coater) yada dijital baskılama (ink-jet printing) gibi teknikler kullanılarak kaplanmaktadır. Farklı moleküler yapıların ve konjüge polimerlerin yüksek düzenliliğe sahip ince film büyütme çalışmaları halen devam etmekte olup, cihaz performansını etkileyen en önemli etkenlerden biridir. Daha öncede bahsedildiği gibi konjigasyon uzunluğunun değişimi ile organik materyallerin optik ve elektronik özellikleri de

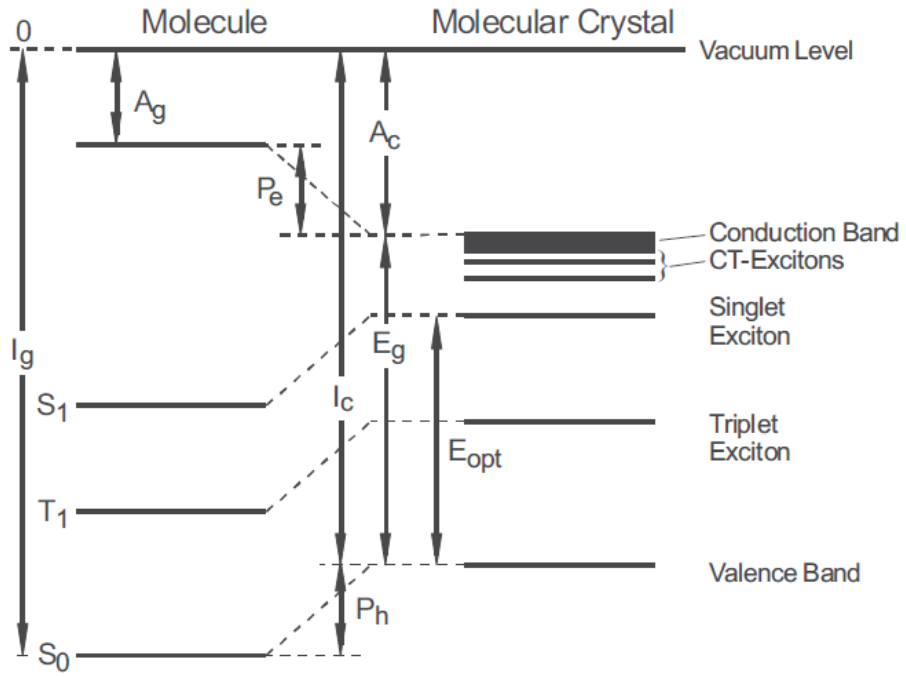
değişmektedir. Şekil 1.3'de benzen yapısının temel alındığı örnekte konjigasyonun absorbsiyona olan etkisi görülmektedir.

Molecule	Structure	Absorption Maximum
Benzene		255 nm
Naphthalene		315 nm
Anthracene		380 nm
Tetracene		480 nm
Pentacene		580nm

Şekil 1.3 Konjigasyon değişiminin optik özelliklere olan etkisi (Brütting2005)

Organik moleküllerin birbirleriyle olan etkileşimleri inorganik kristallerden tamamı ile farklıdır. İnorganik kristaller birbirlerine kovalent bağ ile bağlanırken, organik moleküler kristaller oldukça zayıf bir bağ olan moleküller arası van der Waals kuvveti ile birbirlerine bağlanırlar. Si ve GaAs gibi inorganik kristaller ile karşılaştırıldığında organik materyaller birbirlerine daha zayıf bağlarla bağladıkları için optik ve elektronik özelliklerinin değişmesinin yanında mekanik ve termodinamik özellikleride tamamı ile farklıdır. Daha zayıf bir bağlanma çeşidi olan van der Waals bağı ile bağlanmanın sonucu organik moleküller inorganik kristaller ile karşılaştırıldıklarında, daha düşük sertlik, düşük erime sıcaklıkları ve daha önemlisi daha düşük seviyelerde elektronik dalga fonksiyonu geçişleri gözlenmektedir. Elektronik dalga fonksiyonlarının bu şekilde davranması ise direkt olarak optik özellikler ve elektronik geçişleri etkilemektedir. Konjüge polimerlerde ise durum biraz daha farklı olup, konjigasyon uzunluğu, poimer morfolojisi ve üretilen ince filmlerin sahip olduğu morfolojik yapı optik ve elektronik açıdan daha etkin materyaller olarak görülebilir. Buna rağmen birbirine yakın polimer zincirleri arasındaki elektronik geçişler inorganik materyaller ile karşılaştırıldığında zayıf kalmaktadır. Amorf yapıya

sahip olan organik moleküllerdeki zayıf delokalizasyon siglet ve triplet geçişlere bağlı olarak molekküler arası geçişlerin zayıf olması nedeniyle organik ışık yayan diyotlarda elektro-lüminesans verimliliği için teorik bir üst sınır koymaktadır. Aynı zamanda bir diğer önemli unsur ise organik moleküllerde optik uyarılmalar (eksitonlar) çoğunlukla tek bir molekül üzerinde meydana gelmekte ve genellikle 0.5 ile 1 eV enerji değerine sahip olmaktadır. Bu bağlanma enerjisinin organik güneş hücrelerinde bağımsız negatif ve pozitif yükün ayrılabilmeleri için yeterli olmak zorundadır (Brütting2005). Bir organik katı molekül üzerinde elektron ve boşlukların hareketi göz önüne alındığında, iyonik moleküler enerji seviyelerinin en büyük etken faktör olduğu unutulmamalıdır. Örnek vermek gerekirse, organik molekül üzerinde bir boşluk oluşturulmak istendiğinde M şeklinde doğal formunda bulunan molekülden bir elektron kopartılarak M+ katyonuna dönüştürülmesi gerekir ve molekül üzerinde oluşturulan bu kusur sayesinde elektron bir molekülden diğerine geçiş yapabilmekte ve boşluk taşınabilmektedir (Coyle1986). Aynı şekilde elektron taşıma durumu incelendiğinde ise negatif yüklü radical iyonlar devreye girmektedir. Konjüge polimerlerde ise bu durum nerdeyse aynı olmakla beraber, uyarılmış enerji seviyeleri polimer yapılarda negatif ve pozitif polaronlar olarak adlandırılmaktadır. Gas fazındaki bir organik polimer ele alınacak olursa, biraz önce bahsedilen iyonik seviyeler polarizasyon enerjileri tarafından stabilize hale gelmekte ve Şekil 1.4'te görülen enerji seviyeleri meydana gelmektedir.



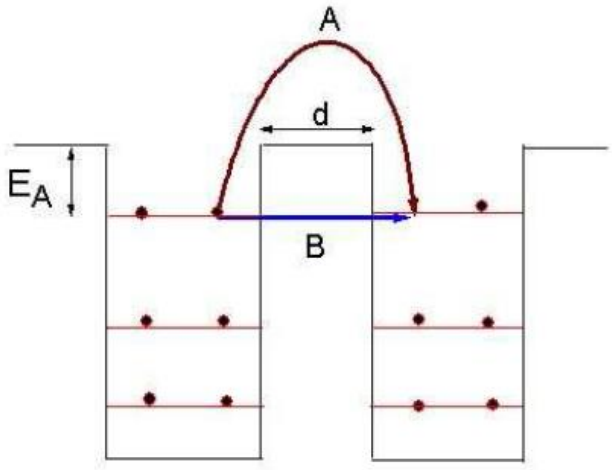
Şekil 1.4 Organik molekül ve moleküler kristal arasındaki enerji seviyeleri farkı (Brütting2005)

Şekil 1.4'te sol tarafta gaz fazında bulunan organik molekül için I_g iyoizasyon potansiyelini ve A_g elektron çekiciliğini ifade etmektedir. I_c ve A_c ise moleküler kristal için iyonizasyon potansiyeli ve elektron çekiciliğini göstermektedir. Polarizasyon enerjileri nedeniyle moleküler kristal için P_h ve P_e uyarılmış durumları kristal içerisinde stabilize olmuştur. E_{opt} moleküler kristal için floresans ve absorbsiyon üzerinden hesaplanan optik band boşluğunu temsil ederken, E_g her bir yük taşıyıcısı geçişi için band boşluğunu ifade etmektedir. E_{opt} ve E_g arasındaki enerji farkı ise eksiton bağlanma enerjisi olarak adlandırılmaktadır. Gaz fazındaki bir organik molekülden, moleküler kristal ve amorf organik katılara doğru gidildikçe Şekil 1.5'te verilen enerji seviyeleri oluşmaktadır.

Her bir organik molekülün birbirleriyle olan etkileşimleri, dizilimleri ve aralarında oluşan bağ yapıları eş yada özdeş olmadığı için katı faza doğru gidildikçe, amorf katılarda enerji seviyeleri aralıklarından bahsedilebilmektedir. Bu durumu tetikleyen ve biçimlendiren en önemli olgulardan biri moleküller arası yük taşıyıcısı geçişlerinin hangi yol ile meydana geldiğidir. Bu geçişler enerji bandları arası geçiş (band transport), yük taşıyıcılarının eneji seviyeleri arasında yada molekülden moleküle atlaması (hoping transport) ve son olarak tünelleme yolu ilegerçekleşir. Elektronik delocalizasyonun oda sıcaklığında zayıf olması sebebi ile organik moleküllerde yük taşıyıcısı mobiliteleri 1 ile 10 cm^2/Vs arasında değişmektedir (Karl2001). Birçok durumda organik moleküllerdeki baskın geçiş yük taşıyıcılarının enerji seviyeleri arasında sıçraması (hoping) ile gerçekleşmekte ve bu durum daha düşük taşıyıcı mobilitesi değerlerinin alınmasına sebep olmaktadır. Bu davranış biçimi ortam sıcaklığının yanı sıra organik molekül üzerine uygulanan potansiyel fark ile de değişmektedir.

Sıçrama teorsinin temelleri 1960'lı yılların sonu ve 1970'li yılların başlarında, doplanmış yarı-iletkenler üzerinde donör ve akseptör bölgelerindeki lokalize durumlarda bulunan elektronların iletim mekanizmaları üzerinde yapılan çalışmalarla atılmaya başlamıştır. Kısa zamanda anlaşıldı ki temelleri sağlam bir teori ortaya atailmek için yük taşıyıcılarının iki enerji seviyesi arası sıramasının bir perkolasyon problemi olduğu göz önüne alınmalıydı. Matematiksel olarak perkülasyonunda göz önende bulundurularak teoriye eklendiği modellemeler 1970'lerin başlarında daha doğru bir yaklaşımla birbirinden bağımsız olarak Ambegaokar (Ambegaokar1971), Pollak (Pollak1972) ve Shklovskii (Shklovskii1971) tarafından ortaya atılmıştır. Ve sonuç olarak ortaya daha doğru bir yaklaşım olan "Variable-Range-Hopping" VRH

modellemesi çıkmıştır. 1990'lı yıllarda düzensiz organik yapılar üzerine VRH yaklaşıımı kullanılarak bir çok çalışma yapılmıştır (Arkhipov1993, Arkhipov1994, Shklovskii1984). 1990 ve günümüze organik materyallerin iletim mekanizmaları üzerine sayısız çalışma ve modelleme ortaya konulmuştur (Baranovskii1996, Baranovskii2001 Baranovskii2006). Yük taşıyıcısının iki lokalize durum arasında sıçraması sahip olduğu enerji ve termal destekli phonon etkileşimleri ile gerçekleşebilmektedir (Vissenberg1999). Bu nedenle iki durum arası geçişler moleküler yapı ve ortam şartlarının etkisi ile uzun yada kısa mesafeli olarak gerçekleşebilir. Şekil 1.5'te E_A aktivasyon enerjisini, d iki lokalize durum arası mesafeyi ifade etmekte, A yük taşıyıcısının şıçrama yolu ile geçişini ve B ise tünelleme yolu ile iletimi temsil edilmektedir.



Şekil 1.5 A) Yük taşıyıcısının lokalize bir durumdan diğerine "Sıçrama" ile iletimi B) Yük taşıyıcısının direkt tünelleme ile iletimi

Organik moleküllerde yasak enerji aralıkları uzaysal olarak kimyasal yada yapısal kusurlar üzerinde oluşmaktadır. Yük taşıyıcısı bandlar arası geçiş yaparken bu tip kusurlarda takılarak, tekrar serbest bırakılana kadar iletime katkıda bulunamayabilirler. Şekil 1.5 B'de görüldüğü gibi yük taşıyıcısının sıçraması ile tuzak seviyelerinde yakalanması durumunda, en yakın lokalize durumun dalga fonksiyonu ve tuzak seviyesinin dalga fonksiyonunun etkin biçimde üst üste gelmesi sonucu phonon etkileşimleri yardımıyla tünelleme iletimi gerçekleşebilir (Vissenberg1998). Organik katılarda moleküller arası etkileşimler genellikle kovalenttir, bu kuvvet van der Waals ve London kuvvetlerinden bile zayıf olması nedeni ile inorganik yapılar ile

karşılaştırıldıklarında iletim bandları daha dardır. Bu dar band yapısı elde edilen organik ince film yada katıların amorf yapısı nedeniyle daha da düzensiz bir yapıya sahip olabilir. Organik Elektronik komponentlerde genel olarak kullanılan boyalar, karbon p_z orbitallerinin üst üste gelmesi ile oluşan π-konjüge sistemlerdir. Orbitallerin üst üste gelmesi sonucu π-elektronları HOMO ve LUMO arasında görünür bölgeye karşılık gelen frekanslarda delokalize olarak bulunabilmektedirler. Katı halde organik moleküllerin zayıf bağlanmaları nedeni ile yük taşıyıcıları çoğunlukla moleküller üzerinde lokalize olarak bulunmaktadırlar. Yük geçişi ise inorganik yapılarda yük taşıyıcısının bir tuzak seviyesinden diğerine sıçramasına benzer olarak molekülden moleküle sıçrama ile gerçekleşmektedir (Yan1994). Pratik olarak denilebilir ki; mobilite değeri 10^{-4} $cm^2/V.s.$ nin altında olan yapılarda sıçrama mekanizması geçerli iken, mobilite değeri daha yüksek olan yapılarda ise band geçişleri söz konusudur. Bunun sebebi ise iletimin hızlı olduğu yapılarda, yük taşıyıcısının durumlar arası geçişi kısa olduğu için Heisenberg'in belirsizlik ilkesine göre ($\Delta t \times \Delta E \geq \hbar/2$), band aralığı geniş olması gerekliliğidir. Fakat dalga fonsiyonunun üst üste örtüştüğü durumlarda, küçük dalga fonksiyonları keskin enerji sınırlarına sahip orbitallere benzerlik gösterecek ve yük taşıyıcısı iletimi yavaş gerçekleşecektir.

Organik yapıların karakterizasyonu ve organik elektronik komponentlerin üretimi üzerine olumlu ve büyük gelişmelerin elde edilmesine rağmen, moleküller arası yük enjeksiyonu ve iletimi konuları henüz yeteri kadar aydınlatılamamıştır. Bu durum organik elektronik yapıların yeterli düzeyde anlaşılamamasına ve daha verimli sistemlerin elde edilebilmesinin önene geçmektedir. Bu çalışmada elde edilen polimer/nanoparçacık hibrit sistem içerisinde yük taşıyıcılarının mobilitelerinin hesaplanılabilmesi için admitans ve organik transistör modellemeleri kullanılmıştır. Bu çalışmada organik moleküler sistemlerin iletim mekanizmaları üzeride durulmayacak olsada, elde edilen polimer/nanoparçacık hibrit sistemdeki yük taşıyıcılarının mobiliteleri admitans ve transistör modellemeleri kullanılarak hesaplanacaktır.

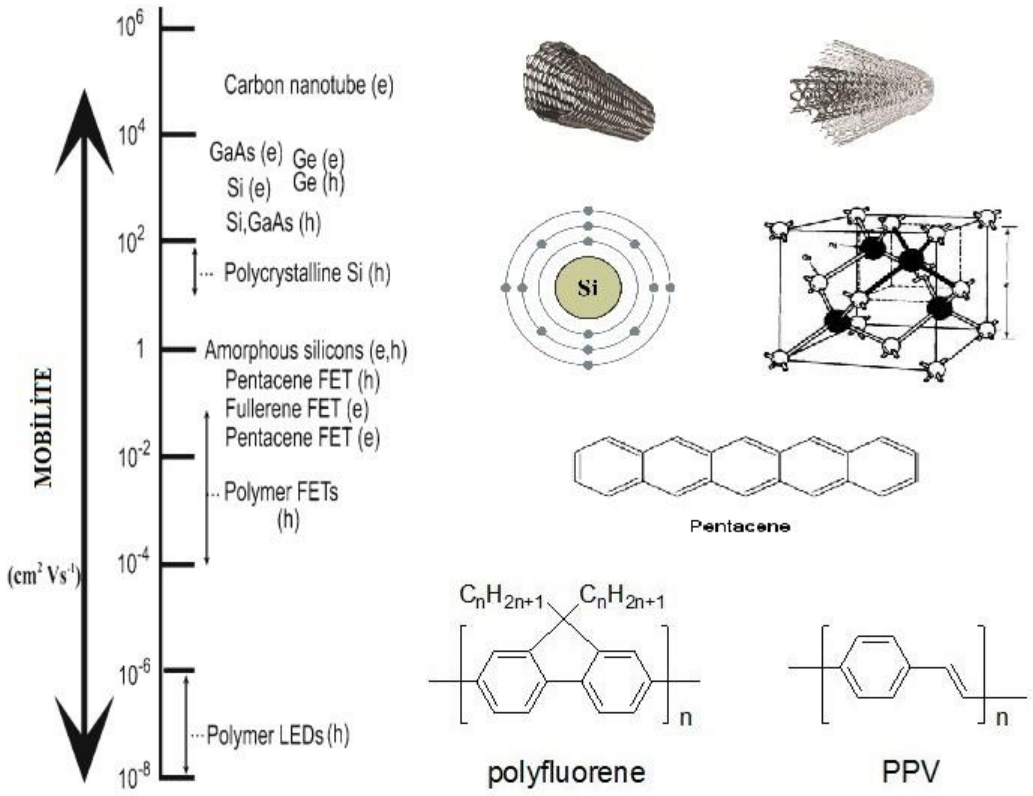
1.3. Taşıyıcı Mobilitesi Ölçüm Teknikleri

Geçtiğimiz on yılda organik elektronik cihazlar üzerindeki çalışmaların yoğunlaşması ile birlikte umut vaad eden ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu gelişme bilindiği gibi elde edilen bilgi birikimi , organik materyallerin karakteristiği üzerinde yapılan çalışmalar ve ara yüzey incelemeleri ile söz konusu olabilir. Cihaz

performansını domine eden diğer iki faktör ise yük taşıyıcısı iletimi ve mobilitesidir. Bir çok organik molekül yada polimer üzerinde yapılan çalışmalarla, taşıyıcı mobilitesi ve davranışının daha iyi anlaşılabilmesi kimyacıların daha yüksek yük taşıyıcısı mobilitesine sahip materyaller üretebilmelerini, fizikçi yada mühendislerin ise elde edilen cihaz yapılarını daha kolay optimize edebilmelerini sağlayacaktır. Taşıyıcı mobilitesini etkileyen en önemli iki faktör molekül yapısı ve materyalin sahip olduğu saflıktır. İnonrganik materyellerde elektron mobilitesi boşluk mobilitesinden yüksekken, organik materyallerde tam tersi söz konusudur (aynı şekilde pozitif yüklü polaranlar, negatif yüklü polaranlardan daha hızlıdır.). Bir yarı-iletken materyalin iletkenliği baskın yük taşıyıcısının mobilitesi ile belirlenir. Organik yarı-iletkenlerde yük taşıyıcısı iletimi moleküller arası, molekül içi, kristal düzlemler ve granüller arasında gerçekleşebilir. Birbirinden farklı birçok bariyer organik materyallerdeki yük taşıyıcısı iletimi yavaşlatmak ile birlikte mobilite değerlerinin inorganik yapıların çok altında kalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle 0,1 ile 1 cm^2/Vs taşıyıcı mobilitesine sahip organik yapılar, iyi birer yarı-iletken olarak kabul edilmektedir (Stallinga2009). Deneysel olarak polimer temelli OFET ve OLED yapılardan elde edilen mobilite sonuçları ise birbirinden farklı değerlere sahip olabilirmektedir. Foto-taşıyıcı üretimi ile birlikte farklı ölçüm tekniklerinin kullanılması, beklenmedik istatistik mekaniksel sonuçların elde edilmesine sebep olabilmektedir. Bu nedenle birbirinden farklı teknik ve modellemelerde düzensiz amorf sistemler göz önüne alınarak, lokalize durumlar arası yük taşıyıcısı sıçraması, polaronik sıçramalar ve tuzak seviyeleri matematiksel olarak denklemlere dahil edilmişir.

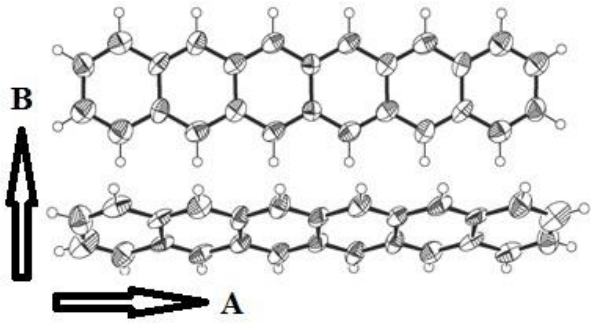
Organik bir yapıdaki yük taşıyıcısı mobilitesi (μ) OFET,OLED, OPV, DSSC gibi bir çok organik elektronik yapının performansını direk olarak etkilemektedir. Örnek vermek gerekirse organik bir güneş pilinin güç verimliliği yada OLED yapısından geçen akım yük taşıyıcısı mobilitesi tarafından kontrol edilmektedir. İnorganik yarı-iletkenlerde taşıyıcı mobilitesi, ortalama yük taşıyıcısı sürüklenme hızının (v_d) uygulanan elektrik alana (E) oranı ile tanımlanmaktadır. İnorganik yapıların doğası gereği elektron ve boşluklar yüksek delokalize geniş dalga boylu düzlemsel dalga fonksiyonları ile iletilmekte ve bu dalga fonksiyonlarının akustik fononlar (örgü titreşimleri) üzerinden saçılması yada yüklü tuzak seviyeleri (n ve p tipi katkılamalar) tarafından sınırlanmaktadır. Bu nedenle yük mobilitesi $\mu >> 1$ cm^2/Vs den büyük değerlerde ve örgü titreşimlerinden gerçekleşen saçılmalar nedeniyle sıcaklığa ters orantılı olarak bağımlıdır. Organik polimerler gibi düzensiz yapılarda iletim ise lokalize

durumlar arasındaki enerji farkının fononlar yardımı ile yük taşıyıcısının sıçraması yolu ile gerçekleşmektedir. Fononlar yardımıyla gerçekleşen iletim, bandlar arası gerçekleşen iletimden çok daha yavaştır, fakat sıcaklığın artışıyla iletim hızı doğru orantılı olarak artmaktadır.



Şekil 1.6 Organik ve inorganik yapıların mobillite karşılaştırması

Şekil 1.6'da organik ve inorganik yapıların elektron (e) ve boşluk (h) taşıyıcıları mobilite karşılaştırması görülmektedir. Aynı zamanda organik moleküler ve polimer yapılarda ince film eldesinde kullanılan kaplama tekniği e ince film içerisindeki iletim yönü gibi etmenlerde mobilite üzerinde etkilidir.



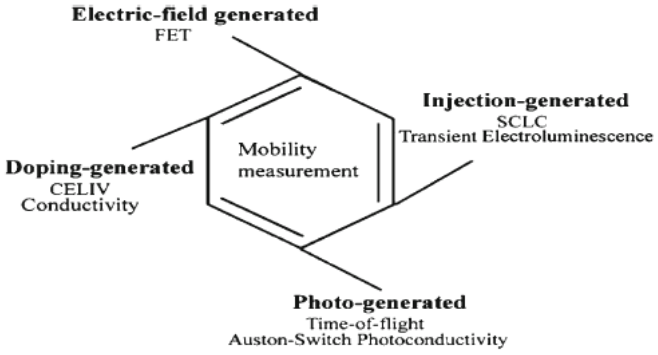
Şekil 1.7 Pentacene molekülü üzerinde yük taşıyıcısı iletimi

Şekil 1.7'de Pentacene molekülü üzerinden örnk vermek gerekirse, yük taşıyıcısının molekül boyunca (A) yolunu takip etmesi durumunda Pentacene yapısından kaynaklanan çift bağlar üzerinden kesintisiz konjigasyon sayesinde yük iletimi hızlı olacaktır. Fakat yük taşıyıcısının ince film içerisinde bir mokülden diğer bir moleküle (B) sıçrama yolu ile iletilmesi durumunda, karşılaşacağı enerji bariyeri nedeni ile yük iletimi (A) yoluna göre daha yavaş olacaktır. Verilen örnekten de anlaşılacağı üzere, iki elektrot arasına kaplanmış bir ince film üzerinde yük taşıyıcıları olan elektron ve boşluklar, elektrik alanın uygulanması ile taşınır. Burada önemli olan nokta ise elektrik alanın molekül simetrisine göre yönü ve yük taşıyıcısının hangi mekanizma ile iletildiğidir.

$$v = \mu F \tag{1}$$

Yük taşıyıcısının hızı (v) doğrusal olarak elektrik alanın büyüklüğüne (F) denklem (1) de ifade edildiği gibi doğrusal olarak bağlıdır. Ve doğrusal bağımlı (μ) katsayısı yük taşıyıcısının sürüklenme mobilitesini (birim zamanda, birim mesafede yük taşıyıcısının elektrik alan altındaki mobilitesi) ifade etmektedir. Taşıyıcı mobilitesi organik materyaller söz konusu olduğunda moleküler yapı, konjigasyon uzunluğu ve morfoloji ile büyük oranda bağımlıdır.

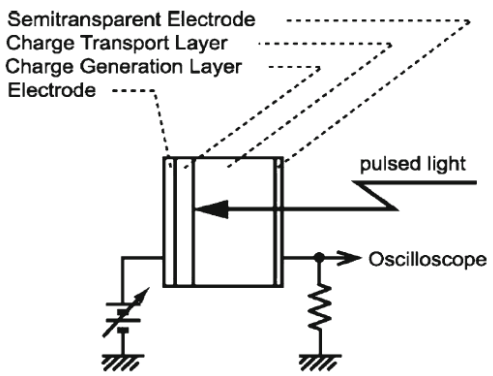
İnorganik yapılarda yüksek mobilite değerleri iletkenlik ve Hall etkisi yöntemleri ile belirlenebilmektedir (Hamaguchi2001). Sürüklenme mobilitesi, taşıyıcıların saçılma mekanizmaları ve dağılım fonksiyonlarına bağlı olarak Hall mobilitesi ile belirlenilebilir, fakat bu yöntem yüksek dirence ve düşük mobilite değerlerine sahip organik yapıların ölçümlerine uygun değildir. Bu nedenle Şekil 1.8'de bulunan bir takım ölçüm yöntemleri geliştirilmiştir.



Şekil 1.8 Mobilite ölçüm yöntemleri (Tiwari2009)

Organik moleküllerdeki amorf yapı, iletim mekanizmalarının farklılığı yeni ölçüm yöntemlerinin geliştirilmesine sebep olmuştur. Bu yöntemlerden bazıları, TOF (Time of Flight) (Lampert1970, Mort1976), SCLC/TF-SCLC (stedy state space charge limited current) (Lampert1970, An2005), DI-SCLC (dark injection space charge limited transient current) (Lampert1970, Mort1976), OFET performansının analizi (Sze1981), kare sinyalin yarı-iletken diyot üzerine uygulanması ile elektrolüminansın (transient EL method) ölçülmesi (Hosokawa1992, Wong2001) olarak sıralanabilir.

TOF tekiniği moleküler katkılanmış ve polimer düzensiz organik sistemlerde en çok kullanılan mobilite ölçüm tekniklerinden biridir. TOF metodu bir organik ince filmde taşıyıcının bir elektrottan diğerine uçuş süresinin ölçülmesine dayalı bir sistemdir. TOF tekniği ilk olarak organik moleküller üzerinde Kepler tarafından uygulanmış ve antracene kristalinin mobilitesi hesaplanmıştır (Tang1987). Kristal yapıdaki antracene molekülü üzerinde yapılan çalışmaların ardından, birçok amorf yapıdaki organik molekül ve polimerler üzerinde de uygulamalar devam etmiştir. Uygulaması kolay bir teknik olan TOF sisteminin şematik çizimi Şekil 1.9'da verilmiştir. Ölçümü yapılacak olan yarı-iletken kalınlığının en az 1µm ve üzerinde olaması gerekmektedir. Film kalınlığı nedeniyle fazla materyal harcanması ve farklı tekniklerle de yakın sonuçlara ulaşılabilmesi nedeniyle bu çalışmamızda TOF tekniği ercih edilmemiştir. Şekil 1.9'da görüldüğü gibi darbeli bir ışık vasıtası ile uyarılan yarı-iletken, bir tarafı yarı geçirgen diğer tarafı ölçümü yapılacak olan materyalin enerji seviyelerine uygun olrak seçilen bir metal elektrot arasına farklı teknikler kullanılarak kaplanabilmektedir. Yarı geçirgen elektrot tarafından gönderilen darbeli ışıma, yarı-iletken/elektrot arayüzeyinde foto uyarılmış yük taşıyıcıları oluşturmakta ve diyot yapısı üzerine uygulanan gerilim vasıtası ile yük taşıyıcıları diğer elektroda doğru harekete geçmektedir.



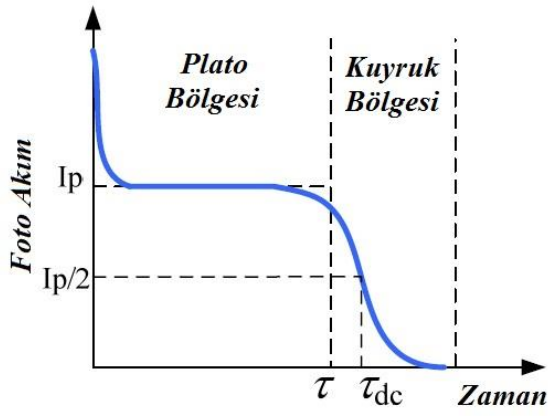
Şekil 1.9 TOF ölçüm sisteminin şematik diagramı (Tiwari2009)

Uygulanan gerilimin polaritesi yarı-iletken enerji seviyelerine uygun olarak seçilen elektrotlar arasındaki boşluk yada elektron taşıyıcıların uçuş yönünü belirmektedir. Sistem içerisine osiloskop ile bağlanan algılama direnci üzerinden elde edilen sinyal ile yük taşıyıcısının bir elektrottan diğerine uçuş süresi hesaplanmaktadır. Yük taşıyıcısının uçuş süresi (τ) üzerinden;

$$\nu = d / \tau \tag{2}$$

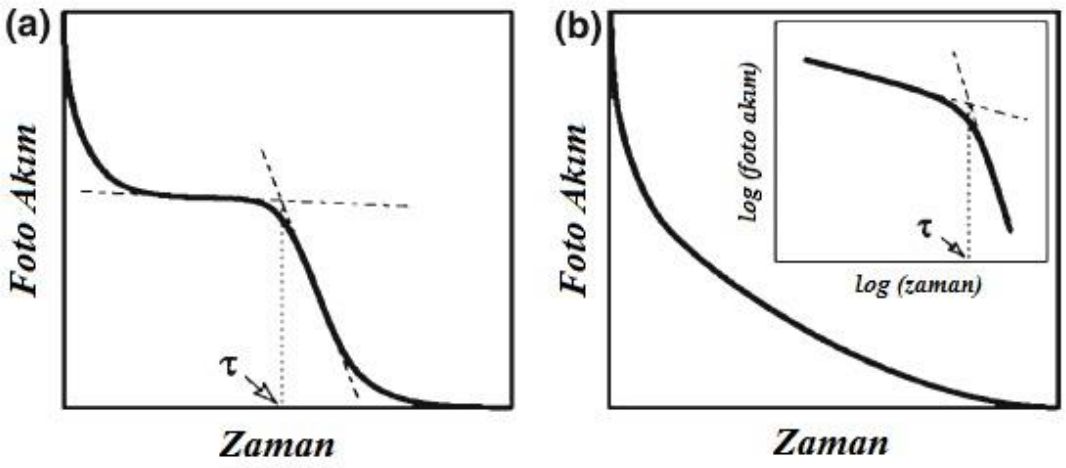
$$\mu = \nu / F \tag{3}$$

(2) ve (3) denklemleri kullanılarak yük taşıyıcılarının mobilitesi hesaplanmaktadır. (ν) yük taşıyıcısının bir elektrottan diğerine uçuş hızını, (*d*) yarı-iletken kalınlığını, (*μ*) mobiliteyi, (*F*) ise diyot üzerine uygulanan elektrik alanın büyüklüğünü ifade eder. Şekil 1.10 Algılama direnci üzerinden elde edilen sinyali ifade etmektedir. Geçici sönümlenme akımı plato ve kuyruk bölgesi olarak iki bölümde incelenebilir. Plato bölgesi foto uyarılmış yük taşıyıcılarının karşı elektroda ulaşmadan önceki toplu hareketini ifade etmektedir.



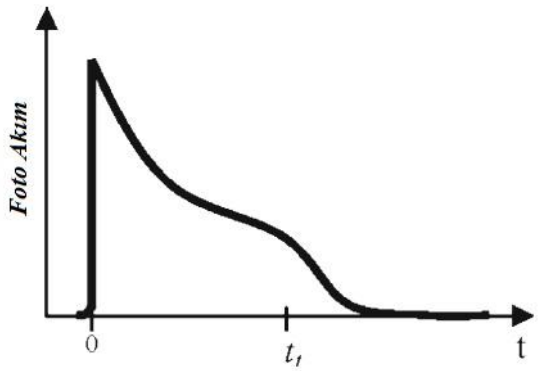
Şekil 1.10 TOF Sinyali ve sinyal bölgeleri

Kuyruk bölgesi ise, difüzyon ve tuzaklanmış yük taşıyıcılarının serbets kalarak elektroda ulaşmasıyla oluşan sinyali ifae etmektedir (Xue2004). Unutulmamalıdır ki, şekil 1.10 da görülen (τ) karşı elektroda ulaşan en hızlı yük taşıyıcısını ifade etmektedir fakat doğru akım (DC) altında iletilen yük taşıyıcıları tuzak seviyeleri ve safsızlıklar nedeni ile ortalama hızla hareket etmektedir. Bu sebeple foto akım genliğinin yarısını ifade eden ($I_p/2$) üzerinden (τ_{dc}) ortalama uçuş zamanı olarak alınmalıdır.



Şekil 1.11 a) non-dipersive transport b) dispersive transport

Organik materyaller amorf yapıda oldukları için dispersiv yapıdadırlar, şekil 1.11 a)'da görülen foto akım sinyali dispersive olmayan materyallerden elde edilen sinyali temsil ederken, dispersiv yapıda olan materyallerden elde edilen sinyallerde plato yada kuyruk bölgesi birbirinden ayırt edilememektedir. Bu nedenle yük taşıyıcılarının sistemden çıkış noktasının tespit edilebilmesi için her iki zaman ve foto akım parametrelerinin logaritması alınarak kesişim noktalarından uçuş zamanı (τ) elde edilir. Uçuş süresinin doğru hasaplanılabilmesi ve verimli bir foto akım geçiş sinyali elde edilebilmesi için uyarılma ışığının yük taşıyıcılarının uçuş sürelerinden daha kısa aralıklarla uygulanması, bununla birlikte yarı iletken ince film üzerinde ışığın soğurulduğu bölgenin film kalınlığından daha küçük olması gerekmektedir. TOF ölçümlerinde karşılaşalabilecek bir diğer durum ise organik materyallerin derin tuzak seviyelerinden kaynaklanan ve yük taşıyıcılarının tekrar serbest kalarak tuzaktan kurtulması ile meydana gelen sinyallerdir. Şekil 1.12'de verilen foto akım grafiği tuzak seviyelerinden kaynaklanak tepe oluşumunu göstermektedir.



Şekil 1.12 Tuzak seviyelerinden kaynaklanan TOF sinyali değişimi

Şekil 1.12 ile temsil edilen durumda yük taşıyıcılarının uçuş süreleri 0 ve t_1 noktalarından çizilecek birbirine paralel iki doğrunun orta noktası alınarak elde edilebilecektir. Organik materyaller üzerinde yapılan çalışmalarda genel olrak dikkat edilmesi gereken üç unsuru özetlemek gerekirse, organik katmanın film kalınlığının mümkün olduğu kadar kalın tutulması, kullanılan lazerin numuneye olan uzaklığının uyarılma bölgesini film içerisinde derinleştirmemek amacı ile ayarlanması ve lazerin karakteristik piklerinden kurtulabilmek amacı ile dijital filtre kullanılması olarak sıralanailir. Sistem üzerinden kararlı ve temiz sinyal alailmek için yapılamsı gereken adımların yanı sıra, yarı-iletken üzerine yük taşıyıcılarının sürüklenebilmesi için uygulanan gerilim kaynaklı taşıyıcı enjeksiyonunun mümkün olduğu kadar önüne geçebilmek amacıyla seçilmesi gereken enerji seviyeleri şekil 1.13'te verimiştir.



Şekil 1.13 TOF ölçümü için gereken ideal enerji seviyeleri diagramı

Organik materyaller üzerinde yapılan mobilite çalışmalarında kullanılan bir diğer yöntem ise akım/akım yoğunluğu-voltaj eğrileri üzerinden elde edilen SCLC (space-charge-limited-current) modellemesidir. Omik davranış nedeniyle genellikle düşük voltajlarda Akım yoğunluğu (J) / Voltaj(V) eğrisi lineer olarak gözlemlenir. Yüksek voltajlara doğru gidildikçe ise sistem içerisine enjekte edilmiş taşıyıcıların basın olduğu, bir elektrodtan diğerine sürüklenen yük taşıyıcılarının davranışı gözlenir. Bu tip durumlarda akım yoğunluğu Mott–Gurney eşitliği (kanunu) olarak birilen denklemi takip eder ve bu denklem üzerinden yük taşıyıcısı mobilitesi hesaplanılabilir (Lampert1970).

$$J = \frac{9}{8}\varepsilon_0\varepsilon\mu\frac{V^2}{d^3} \tag{4}$$

(4) numaralı denklemde (J) akım yoğunlunu, (ε_0) boşluğun dielektrik katsayısını, (ε) dielektrik katsayısını, (μ) ise mobiliteyi temsil etmektedir. Mott-Gurney kanunu mükemmel bir yalıtkanın elektrik alandan bağımsız materyal içindeki yük taşıyıcılarının

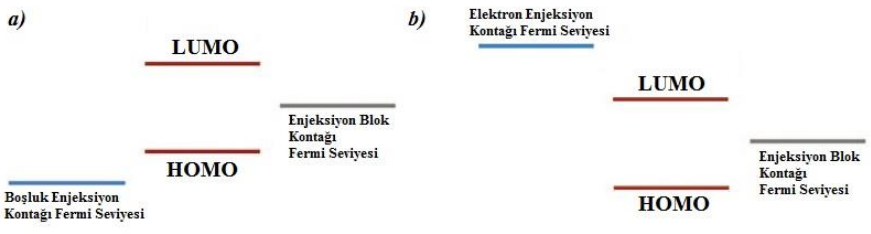
mobilitesi üzerinden yaklaşımda bulunmaktadır. Fakat organik yalıtkanlar için bu durum geçerli değildir, bu nedenle Poole-Frenkel alan etkileşimli yaklaşımının bu kanuna dahil edilmesi gerekir.

$$\mu(F) = \mu_0 exp(\beta\sqrt{F}) \tag{5}$$

Denklem (5)'te görülen elektrik alan bağımlı mobilite yaklaşımı denklem (4) için uygulanacak olursa;

$$J_{SCLC} = \frac{9}{8}\varepsilon_0\varepsilon\mu_0 exp(0.89\beta\sqrt{\frac{V}{d}})\frac{V^2}{d^3} \tag{6}$$

Elektrik alan ifadesininde değişken olarak kullanıldığı denklem (6) elde edilecektir (Murgatroyd1970). SCLC yönteminin uygulanabilmesi için deneysel olrak hazırlanancak olan diyot yapısının enerji basamaklarının ölçüm yöntemine gere seçilmesi gerekir. Boşluk yada elektron taşıyıcılardan herhangi birinin ölçülebilmesi için farklı enerji basamakları ve yapılar kullanılır. Boşluk mobilitesinin ölçülmek istendiği durumda taşıyıcıların enjekte edilecegi metal yada oksit tabakanın fermi seviyesinin, ölçümü yapılacak yarı iletkenin HOMO seviyesi ile omik kontak yapması gerekmektedir. Mümkünse enerji seviyelerinin eşit yada altında seçilmesi gerekmektedir. Taşıyıcıların toplanacağı elektrodun ise elektron taşıyıcıları bloklayabilmesi için yine yarı iletkenin HOMO seviyesine yakın yahut LUMO'sundan mümkün olduğu kadar uzak olması istenir. Sekil 1.13 a)'da boşluk mobilitesinin ölçülebilmesi için seçilmesi gereken ideal enerji seviyeleri verilmiştir. Aynı şekilde yalnızca elektron taşıyıcıların ölçülebilmesi için b) de ise yarı-iletkenin LUMO seviyesi üzerinde bir elektrot ile karşı elektrot olarak boşlukların sistem içerisine enjekte olmasını engelleyebilecek bir enerji seviyesi belirlenmiştir.



Şekil 1.14 SCLC ölçümü için gereken ideal enerji seviyeleri

Teorik hesaplamalar ve deneysel sonuçlar göstermektedir ki, yarı-iletken HOMO yada LUMO seviyesi ile taşıyıcı enjeksiyon kontakları arasındaki enerji bariyeri 0,3eV seviyelerini geçmemelidir (Malliaras1999, Davids1997, Liu2007).

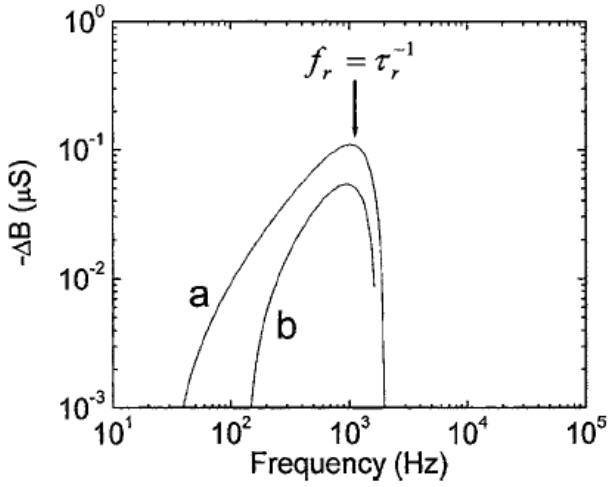
TOF, SCLC yöntemlerinin yanı sıra CELIV (Cgarge Extraction by Linearly Increasing Voltage), DI-SCLC (Dark Injection Space Charge Limited Current), ILC (Injection Limited Current) gibi yöntemler ve modellemelerde organik materyaller için mobilite hesaplayailmek için kullanılmaktadır. Fakat bu çalışmada daha az materyal sarfiyatı, kalın film oluşturma zorunluğunun getirdiği problemler gibi sebeplerden dolayı mobilite ölçümleri için admitans spektroskopisi ve OFET mobilitesi yöntemleri uygulanmıştır.

1.3.1. Admitans Spektroskopisi (AS)

Daha öncede bahsedildiği gibi TOF tekniği yanlızca materyal karakterizasyonu ve mobilite ölçümü üzerine geliştirilmiş bir sistemdir. Meteryalin metal/yarı-iletken arayüzeyinden bağımsız olarak taşıyıcı mobilitesinin ölçülebilmesi için geliştirilen bu teknik, yük taşıyıcılarının uyarılmaları amacıyla kullanılan lazer ışığının ince film içerisine nüfuz etmesi ve gücünün ayarlanılabilmesi bir ile üç mikron arası kalınlıkta ince filmler ve numuneler hazırlama gibi problemleri beraberinde getirmektedir. Bu durum çok az miktarlarda hazırlanan yada sentezlenen materyallerin karakterizasyonlarını zorlaştırmaktadır. SCLC yada transient elektro-lüminesans gibi tekniklerde kullanılabilsede, alternatif akım (AC) sinyalinin inorganik yada organik sitemler üzerindeki etkisi ve davranışıda materyal karakterizasyonu amacıyla incelenebilmektedir. Son yıllarda bir çok grup admitans spektroskopisi ve AC sinyalin mateyaller üzerindeki etkisini inceleyerek çeşitli modellemeler kullanarak materyal karakterizasyonu ve mobilite hesaplama amacı ile uyuglamalar gerçekleştirmiştir (Martens1999, Berleb2002, Gommans2004) AC sinyalin yarı-iletken materyaller üzerindeki etkisi incelenerek elde edilen kompleks admitans ile iki elektrot arasına kaplanmış ince film içerisindeki yük taşıyıcılarının iletim dinamikleri incelenebilmektedir. Yarı-iletken sistem içerisindeki boşluk yada elektron yük taşıyıcılarının birbirlerinden ayrı ayrı yada aynı anda simültane olarak yarı-iletken enerji seviyelerine uygun elektrotların seçilmesi ile mobiliteleri elde edilebilmektedir (Martens2000). AC sinyalin etkileri incelendiğinde τ_{dc} yük tşıyıcısı uçuş süresinin;

$$-\Delta B = -w(C - C\text{geo}) \quad (7)$$

Denklem (7) negatif diferansiyel süseptansın $-\Delta B$, frekansa bağlı olarak incelenmesi ile elde edilebileceği görülmüştür. (7) numaralı denklemde (C) kapasitansı, (C_{geo}) ise yüksek frekanslarda yalıtkan gibi davranan materyallerin geometrik kapasitansını temsil etmektedir. Şekil 1.15'te görüldüğü gibi süseptans eğrisinde tepe noktası olan frekans (f_r), yük taşıyıcılarının AC ye bağlı ortalama uçuş zamanını (τ_r) vermektedir.



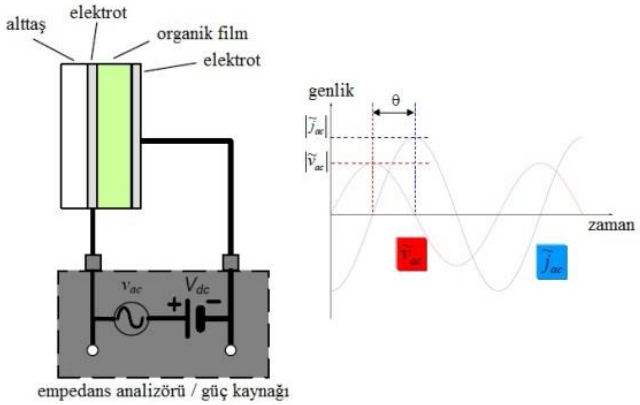
Şekil 1.15 Negatif diferansiyel süseptansın frekansa bağlı eğrisi (Tsang2006)

S. K. So ve ekibinin teorik modellinde (τ_r) ve (τ_{dc}) denklem (8) de verildiği gibi bir katsayı ile birbirine bağlıdır (Tsang2006). Gaussian karmaşıklık modeli kullanılarak yapılan bu çalışmalardan elde edilen yük taşıyıcısı uçuş süreleri TOF sisteminden elde edilen datalarla karşılaştığında birebir örtüşmektedir (Tsung2009).

$$\tau_{dc} = 0.56\tau_r \quad (8)$$

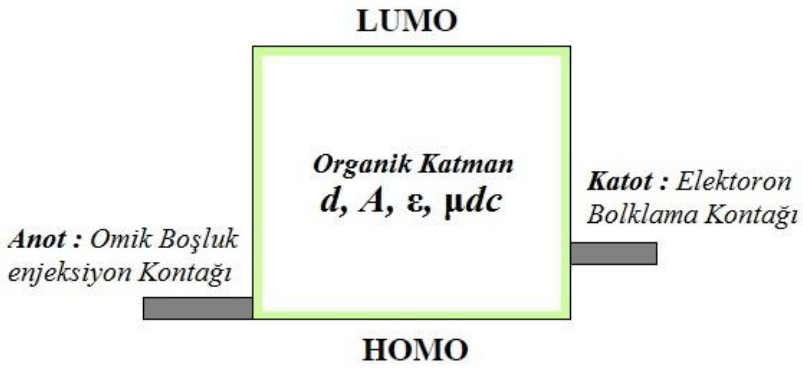
Admitans spektroskopisinin ölçüm sistemi şekil 1.16'da verilmektedir. Küçük genliğe sahip AC sinyalin, doğru akım (DC) bir sinyalin üzerine süper posiyson ile bindirilmesiyle empedans analizörü yardımı ile belirli aralıkta değişken frekansa bağlı olarak, elde edilen yarı-iletken diyot yapısının kapasitans ölçümleri AC ve DC genliğin sabit olduğu durumda ölçümler yapılmaktadır. Boşluk mobilitesinin hesaplanmak istendiği şekil 1.17'daki gibi (d) kalınlığına, (ε) dielektrik katsayısına ve (μ_{dc})

mobilitesine sahip birorganik katmanın, (A) alanına sahip iki metal elektrot arasına kaplandığını düşünecek olursak; boşluk taşıyıcılarının enjekte edileceği anodun organik katman ile omik kontak yapması gerekmektedir.



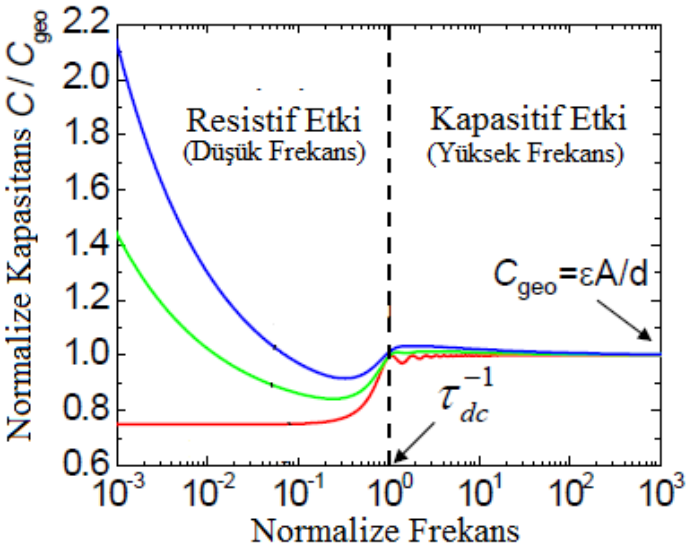
Şekil 1.16 Admitans Spektroskopisi ölçüm sistemi şeması

Katot olarak kullanılacak metalin ise elektronları bloke edecek bir enerji seviyesine sahip olması gerekmektedir. Pozitif DC gerilim (V_{dc}) altında şekil 1.17'de verilen yapının anot tarafından boşluklar sistem içerisine enjekte edilecektir.



Şekil 1.17 Admitans spektroskopisi boşluk mobilitesi ölçümü için gereken enerji seviyeleri diagramı

Sistem içerisine giren yükler DC gerilimin etkisi ile katoda doğru sürüklenecek ve modüle edilen AC gerilim sayesinde frekansa bağlı olarak kapasitans üzerindeki düşüş ve yükseliş, yük taşıyıcılarının sisteme girişi ve katot tarafından sistemi terk edişi elde edilebilir.



Şekil 1.18 Kapasitif ve resistif etkinin frekansa bağlı değişimi

Şekil 1.18'te görülen eğriler organik materyallerin düşük frekanslarda gösterdiği resistif ve yüksek frekanslarda gösteriği kapasitif etkiye örnek olarak verilebilir (Tsung2009). Düşük frekanslarda yarı-iletkenlerin gösterdiği resistif etki yük taşıyıcılarının sistem içerisindeki hareketinden kaynklanmaktadır. Kapasitans eğrisindeki düşüş yük taşıyıcısının sistemi terk ettiği noktaya kadar devam etmekte ve yüksek frekanslarda yarı-iletkenler yalıtkan gibi davranmaktadır. Elde edilen frekansa bağlı kapasitans değişiminden, negatif diferansiyel süseptansın hesaplanması ile denklem (8) kullanılarak (τ_{dc}) elde edilebilmektedir.

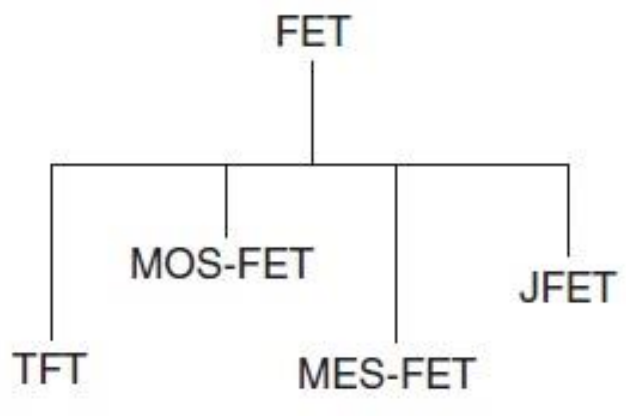
$$\mu_{dc} = \frac{d^2}{\tau_{dc} V_{dc}} \tag{9}$$

Uçuş süresinin belirlenmesi ile birlikte denklem dokuz kullanılarak sabit elektrik alan altındaki yük taşıyıcısının mobilitesi belirlenebilmektedir. Bu tekniğin kullanılabilmesi için kalınlık optimizasyonunun doğru yapılması önemlidir. Ölçümü yapılacak olan materyal için hazırlann filmin ince olması, elde edilen diyot yapısındaki aryüzey etkileri ve film içerisindeki tuzak seviyeleri nedeniyle elde edilen admitans sinyalinde baskın olmasına yol açabilmektedir. Fakat organik materyaller için 300 – 700 nm arasındaki film kalınlıklarında admitans spektroskopisi tekniği TOF ile birebir sonuçlar vermektedir (Tsung2009).

Bu çalışmada kullanılan ölçüm tekniklerinden biri olan admitans spektroskopisinin uygulaması deneysel kısımda anlatılacak ve kullanılan materyaller ile ilgili daha detaylı bilgiler verilecektir.

1.3.2. Organik Alan Etkili Transistörler (OFET)

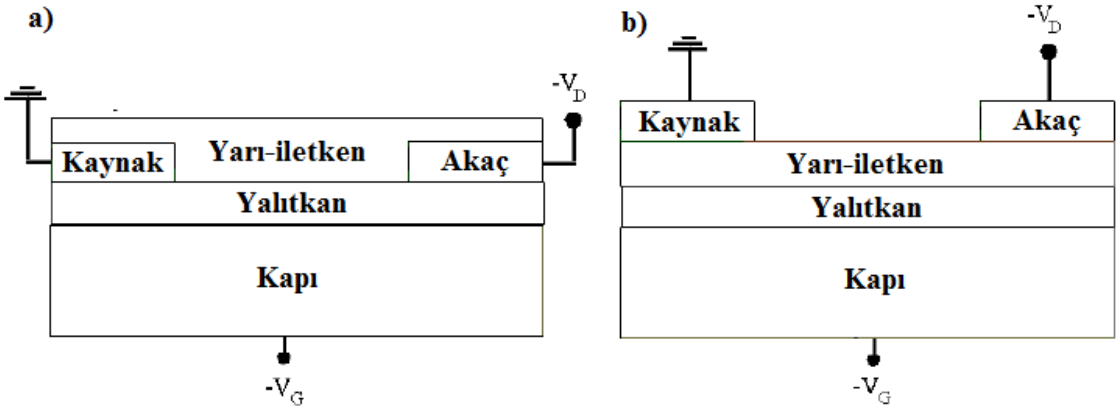
Alan etkili transitörler JFET (junction field effect transitor), MESFET (Metal-oxide-Semiconductor FET), MISFET (Metal-insulator-semiconductor FET) ve OFET (organic field effect transistor) gibi farklı yapılara sahiptirler. Organik alan etkili transistörler TFT (thin film transistor) başlığı altında incelenmektedir. OFET'ler, FET'ler ile karşılaştırıldığında performanslı yapılar olarak tabiki değerlendirilemez (Lin1991). Fakat günümüzde hali hazırda ticari uygulamaları olan OLED ekranların kontrolü, düşük akım altında çalışabilen birçok organik elektronik yapı için OFET'ler kullanılmaktadır.



Şekil 1.19 Alan etkili transistör yapıları

Pentacene organik molekülü ile elde edilen OFET yapılar inorganik yapılara yaklaşabilmekte (LinY1997, LinY/2 1997) ve maliyetin, performansa oranla daha önemli olduğu, çoğunlukla kilohertz mertebesinde çalışan elektronik uygulamalarda kullanılabilmektedir. Nano-kristal kolloidal kadmiyum selenit, çinko oksit gibi organik kristallerin kullanılması ile organik/inorganik hibrit yapılar oluşturulabilmektedir (Ridley1999, Sun2005, Xu2007). Organik alan etkili transistör üretimindeki en büyük problemlerden biri lojik MOS,CMOS gibi düşük güçte çalışan yapılara yönelik, n-tipi organik materyallerin az sayıda olması ve bu materyallerin tümünün transistör yapılarında kullanılamamasıdır (Cantore2003). OFET'ler çoğunlukla Şekil 1.20'de

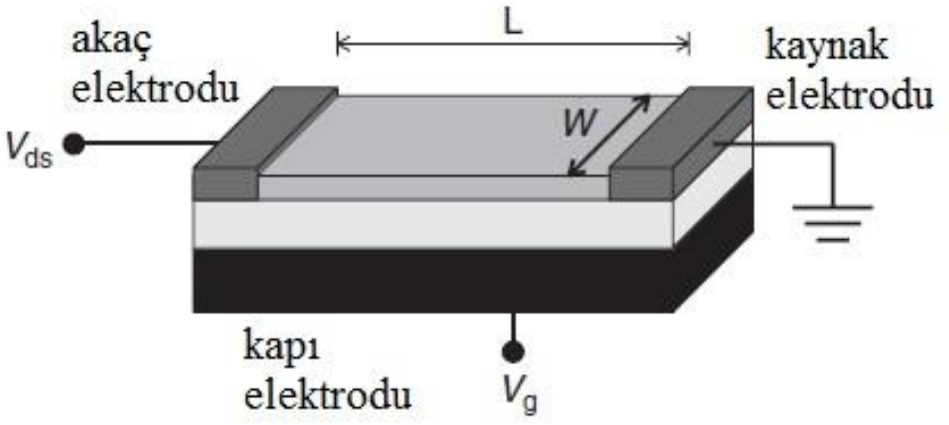
olduğu gibi alt kontak ve üst kontak olarak iki farklı yapıda üretilmektedir. Her iki yapınında avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.



Şekil 1.20 OFET geometrileri a) alt kontak b) üst kontak

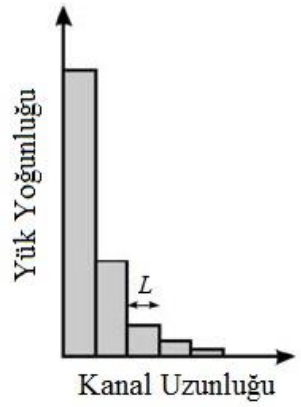
Alt kontak yapılarda iletken metal, yalıtkan tabakanın üzerine kaplanır ve eğer yalıtkan tabaka silicon oksit gibi kristal yapıya sahip ise farklı litografik teknikler kullanılarak farklı şablonlar oluşturulabilir. Fakat üst kontak yapılarda bu uygulama kullanılamaz. Organik yarı-iletken üzerine maske yardımı ile vakum buharlaştırma sistemi kullanılarak kaplanan metale litografik tekniklerin uygulanması durumunda organik materyalin kimyasal yapısı değişebilir yada bozulabilir. Bir diğer yandan metal ve organik yarı-iletken arası yüzey direncinin üst kontak yapılarda, alt kontak yapılara göre daha düşük olduğu rapor edilmiştir. TFT yapısındaki kapıya uygulanan pozitif bir gerilim, kaynak üzerinde negatif yüklerin indüklenmesine sebep olacaktır, p-tipi bir yarı-iletkenin kullanılması durumunda kaynak-kapı arasında çok düşük seviyelerde bir akım oluşacaktır. Bu akım kullanılan yalıtkanın kimyasal yapısından yada safsızlığından kaynaklanabilmektedir. Örnek vermek gerekirse p-tipi bir yarı-iletken olarak pentacene ve metal elektrot olarak altın kullanılacak olursa, metal ve yarı-iletken arasındaki enerji bariyerinin yüksek olması neeniyle elektronlar sistem içerisine enjekte olamayacaktır. Fakat kapıya uygulanancak olan pozitif bir gerilim, akaç ile kaynak arasında oluşturulacak potansiyel fark sayesinde enerji seviyeleri arasındaki fark boşluk yük taşıyıcıları için düşecek, kapı tarafında oluşan pozitif indüklenmeninde yardımı ile sistem içerisine enjekte olacak ve iletime geçecektir. Temel olrak bir ince film transistorün kapısını oluşturan yalıtkan, kapasitör olarak davranmakta ve uygulanan gerilimin polaritesine bağlı olrak ince filmin her iki tarafında da yük birikmektedir.

Yarı-iletken tarafta biriken bu yük, organik tabaka içerisinde bir iletim kanalı olşurturmakta ve kaynak ile akaç arasında yük iletimi gerçekleştirmektedir.



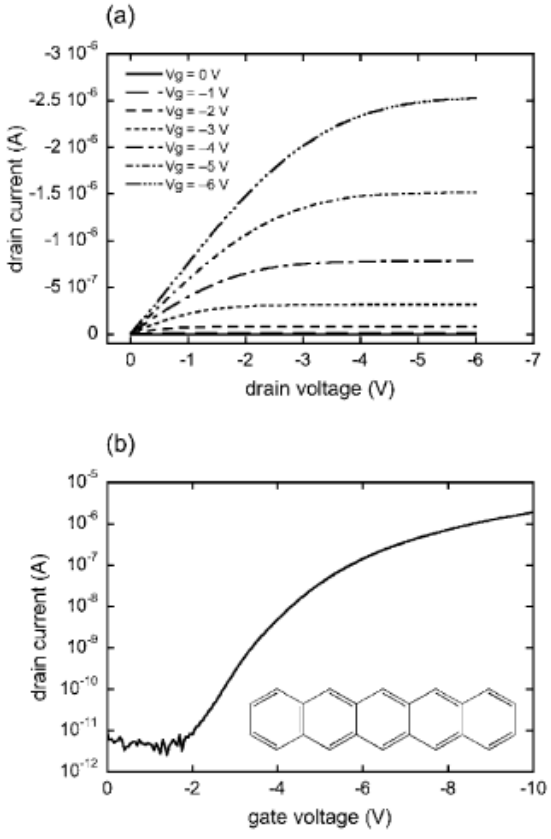
Şekil 1.21 TFT kanal uzunluğu ve genişliği şeması

TFT yapısın içerisindeki yük taşıyıcılarının elirli bir yönde iletimi söz konusu olduğu için, organik molekül yada konjüge polimerlerin akaç ve kaynak arasında dizilimi ve yönelimleri önemlidir. Akaç ve kaynak arasında elektrotlara dik olarak yönelime sahip olan bir molekül ile paralel olarak dizilen molekül arasında uygulanan gerilimin yönü nedeni ile iletim hızı farkı meydana gelecektir. Bu durum bizi akaç ve kaynak elektrotların arasındaki genişlik (L) ve eletrot uzunluğu (W) parametrelerine yöneltmektedir. İletim kanalının uzunluğu kavramı tam olarak anlaşılamamaklar beraber, kullanılan TFT ve organik molekülün yapısı göz önüne alınarak efektif bir uzunluktan bahsedilebilmektedir. Bunun sebebi ise yarı-iletken/yalıtkan ara yüzeyinden, organik materyal içerisine doğru yük taşıyıcısı dağılımının artarak sürekli bir biçimde değişim göstermesi olarak değerlendirilebilir (Klauk2006). Yük dağılımı ilk olarak Mott ve Gurney tarafından türetilmiştir (Mott1940). Bu dağılımdaki Debye uzunluğu kaba bir yaklaşımla iletim kanalı genişliği olarak tanımlanabilir. Bu yaklaşım ile efektif kanal genişliği 0.1 ile 1nm arasında tanımlanabilir, bu uzunluk monomoleküler bir katmandan daha kısa bir mesafedir. Bu nedenle iletim çoğunlukla organik tabaka içerisinde yalıtkan tabakaya en yakın moleküden başlar (Dodabalapur1995). Buradan yola çıkarak yük yoğunluğunun şekil 1.22'de görüldüğü gibi değiştiği söylenebilir.



Şekil 1.22 Yük yoğunluğunun, kanal uzunluğuna bağlı olarak değişimi

.Bir organik ince film transistörün çıkış karakteristik ve transfer eğrisi şekil 1.23'te verildiği gibidir. Transfer eğrisi şekil 1.23 a)'da olduğu gibi kaynak ve akaç arasında oluşan akımın, kapı/kaynak arası gerilimin sabit olduğu durumda akaç/kaynak arasındaki gerilimin değişimine bağlı olarak, çizilmesi ile elde edilir. Şekil 1.23 b)'de ki karakteristik eğri ise kaynak/akaç arasındaki akımın, akaç/kaynak arası gerilimin sabit olduğu durumda, kapı/kaynak arası gerilimin değişimine bağlı olarak çizilmesi ile elde edilmektedir.



Şekil 1.23 TFT karakteristik eğrileri (Kaluk2006)

Bir FET yapısında şekil 1.21'de gösterilen L uzunluğu, yalıtkan katmanın kalınlığından çok daha fazla ise ve yük taşıyıcısı mobilitesi (μ) sabit olarak kabul edilirse, kaynak-akaç arasındaki akım (I_d) ; kaynak/akaç arasındaki (V_d) ve kaynak/kapı arasındaki (V_g) gerilimine denklem (10) ile bağımlıdır.

$$I_d = \frac{W}{L}\mu C_i\left\{(V_g - 2\emptyset_b - \frac{V_d}{2})V_d - \frac{2}{3}\frac{\sqrt{2\varepsilon_s q N_a}}{C_i}\left[(V_d + 2\emptyset_b)^{\frac{3}{2}} - (2\emptyset_b)^{\frac{3}{2}}\right]\right\} \qquad (10)$$

Burada (W) şiekil 1.21'de gösterilen kanal genişliğini, (C_i) birim alanda yalıtkan kapasitansını, (ε_s) yarı-iletken dielektrik sabitini, (N_a) ise p-tipi yarı-iletkenin doplanma oranını ifade etmektedir. Bu formül (I_d)'nin öncelikle lineer olarak artışını (linear regime) ve daha sonra dereceli olarak sabitlenmesini (saturation regime) matematiksel olarak ifade etmekte ve aynı zamanda (I_d)'nin (V_g)'nin artışına doğru orantılı olarak arttığını belirtmektedir. Denklem (10) küçük bir (V_d) değerinin uygulanması ile denklem (11)'e indirgenmekte ve denklem (12) (V_t) eşik geriliminin güçlü dönüşüm bölgesine bağımlılığını ifade etmektedir.

$$I_d = \frac{W}{L}\mu C_i\left(V_g - V_t\right)V_d \qquad (11)$$

$$V_t = 2\emptyset_b + \frac{\sqrt{2\varepsilon_i q N_a (2\emptyset_b)}}{C_i} \qquad (12)$$

Formül (11) ve (12) kullanılarak doyum bölgesindeki yük taşıyıcısı mobilitesinin (I_d)'ye olan bağımlığı çıkartılabilir;

$$I_{d,sat} = \frac{W}{2L}\mu C_i\left(V_g - V_t\right)^2 \qquad (13)$$

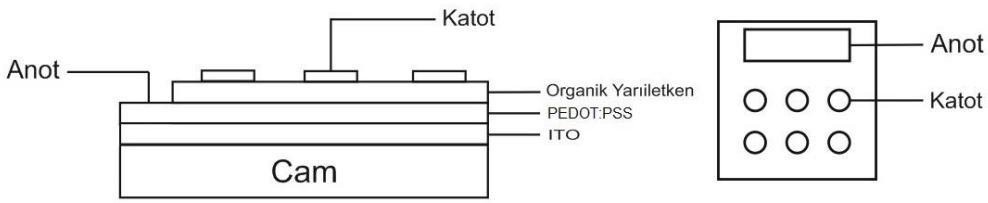
Elde edilen formül (13) ile doyum bölgesinde yük taşıyıcısı hızının ortalama olarak sabit kabul edilebileceği bir bağımlılık çıkartılabilmekte ve yük taşıyıcılarının mobilitesi elde edilebilmektedir (Horowitz1998).

Bu çalışmada FET mobilitesi hesaplama yöntemi admitans spektroskopisi yöntemi ile beraber kullanılmış ve ardından elde edilen yarı-iletken/nano-kristal hibrit yapının OLED uygulaması yapılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

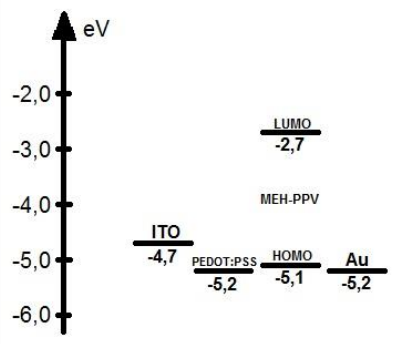
2.1. Admitans Spektroskopisi Ölçümleri İçin Diyot Yapısının Hazırlanışı

Birinci bölümde bahsedildiği gibi admitans spektroskopisi yönteminin uygulanabilmesi için hazırlanması gereken diyot yapısının kullanılan polimerin enerji seviyelerine uygun olacak sekilde omik kontak oluşturması ve yanlızca boşluk taşıyıcılarının iletime katılabilmeleri için karşı taraftaki metal kontağın şekil 1.17'de olduğu gibi HOMO seviyesine yakın seçilmesi gerekmektedir. Üretimi yapılan diyot yapısı sırasıyla yan ve üst kesit olacak şekilde şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Admitans Spektroskopisi için hazırlanan diyot yapısı

Yapılacak olan uygulama için tercih edilen MEHPPV (Poly[2-methoxy-5-(2-ethylhexyloxy)-1,4-phenylenevinylene]) polimerinin HOMO, LUMO enrji seviyelerine uygun bir yapı elde edilebilmesi için KINTEC firmasından satın alınan yüzey direnci 10-12 Ω/□ olan ITO (indium-tin-oxide) iletken oksit kaplı cam alttaş ile PEDOT:PSS (Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-poly(styrenesulfonate)) boşluk iletiminin oksit/organik yarı-iletken arasında geçişi kolaylaştırması ve enerji bariyerini düşürmesi amacı ile kullanılmıştır. Kullanılan materyallerin enerji seviyeleri şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2 Diyot yapısında kullanılan materyallerin enerji seviyeleri

Öncelikle hazır alınan ITO kaplı cam altlıklar 1,5cm x 1,5cm boyutlarında kesilerek literatürde standart temizleme prosedürü olan sırası ile aseton, propanol, su içerisinde ultrasonik banyo ile 15'er dakika temizlenmiştir. İkinci aşamada ise ITO yüzeyinin oksijen ile modifikasyonu, iş fonksiyonun aşağıya çekilebilmesi amacı ile UV temizleyici içerisinde altlıklar 30 dakika bekletilmiştir. Daha sonra Heraeus firmasından satın alınan CLEVIOS™ P VP AI 4083 minimum 500, maksimum 5000 Ω/cm dirence sahip PEDOT:PSS iletken polimeri çözelti fazında dönü kaplama (spin coater) yöntemi kullanılarak, 3000rpm ile 1 dakikada ITO katmanı üzerine kaplanmıştır. Kaplanan PEDOT:PSS katmanı içerisinden çözgenin uzaklaştırılabilmesi için vakum altında 120 ^{0}C derecede 30 dakika bekletilerek tavlama ve kurutma işlemi uygulanmıştır.

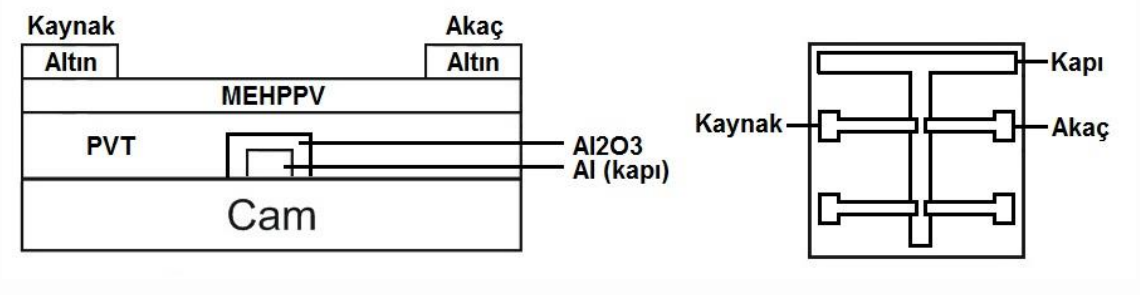
Kaplanan PEDOT:PSS katmanı üzerine, Sigma Aldrich firmasından temin edilen MEH-PPV kırmızı emisyon yapan yarı-iletken, 5mg/ml derişime sahip polimer klorobenzen çözgeni içerisinde yine dönü kaplama tekniği kullanılarak 1500 rpm, 1 dakikada kaplanmıştır. Sistem içerisinden çözgenin uzaklaştırılabilmesi ve yüzey morfolojisinin düzeltilebilmesi için vakum altında 80 ^{0}C derecede tavlanmıştır. Organik yarı-iletken katman üzerinden anot olarak kullanılan ITO dan kontak alınabilmesi için 3 mm x 15 mm boyutlarında bir alan silinerek kaldırılmıştır. Daha sonra organik katman üzerine 2 mm çap, yaklaşık 0,031 cm^2 alana sahip, katot olarak kullanılacak olan elektrotlar termal buharlaştırma yöntemi kullanılarak, bir maske yardımı ile şekil 24'teki yapıyı oluşturacak şekilde 100nm kalınlığında %99.5 saflıkta altın kaplanarak diyot yapısı tamamlanmıştır.

Fe_3O_4 manyetik nano-parçacıkları MEHPPV polimer matriksi içerisine sırasıyla %0.4, %0.6, %0.8, %1 ve %2 oranlarında katkılanarak iç manyetik alanın cihaz performansı üzerine etkisinin anlaşılabilmesi amacı ile mobilite değişimi incelenmiştir. Hazırlanan MEHPPV/Fe_3O_4 yapıları için katkısız MEHPPV diyotlar referans olarak alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

Modellemenin uygulanailmesi için kapasitans/frekans ölçümleri HIOKI IM3570 empedans analizörü ve Kikushi sinyal jenaratörü kullanılmış ve ölçüm parametreleri olarak 50mV AC genlik, frekans aralığı ve 10V DC ye kadar 1'er V artışlarla incelemeler yapılmıştır.

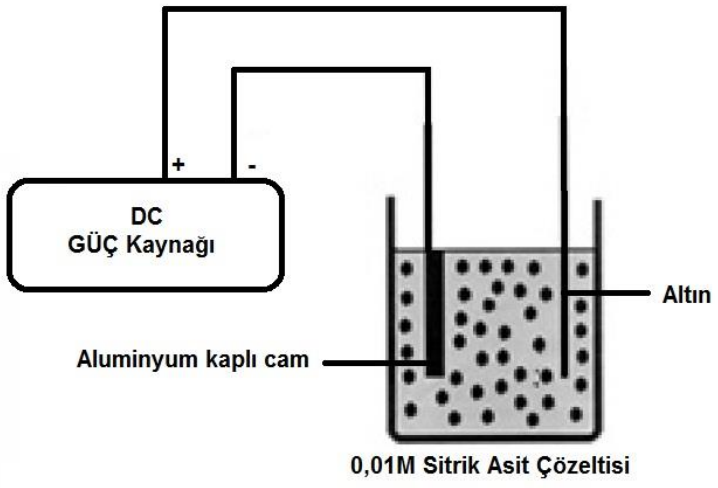
2.2. Fet Mobilitesi Ölçümleri İçin Transistör Yapısının Hazırlanışı

FET mobilitesinin hesaplabilmesi için tasarlanan FET yapısı şekil 2.3'de verilmiştir. 1,1mm kalınlığa sahip mikroskop lamelleri 2 cm x 2 cm ebatlarında kesilerek, 15'er dakika sırası ile isopropanol ve aseton içerisinde, ultrasonik banyo ile temizlenmiştir. Daha sonra temizlenen camlar termal evaporatör içerisine alınarak maske yardımı ile aluminyum kapı şekil 26 b)'de görüldüğü gibi "T" şeklinde 150nm kalınlığına sahip olacak şekilde kaplanmıştır.



Şekil 2.3 Mobilite ölçümü için hazırlanan FET yapısı ve geometrisi

İkinci aşamada ise kaplanan aluminyum kapının üzerine şekil 2.4'de verilen düzenek ile anodik oksidasyon yöntemi kullanılarak Al_2O_3 yaklaşık 20 nm kalınlığında olacak şekilde kaplanmıştır.



Şekil 2.4 Anodik oksidasyon şeması

Oksidasyon işlemi 0,01M sitrik asit çözeltisi içerisinde anot aluminyum kaplı cam alttaş, katot ise altın olacak şekilde bir DC güç kaynapına bağlanan sistem ile

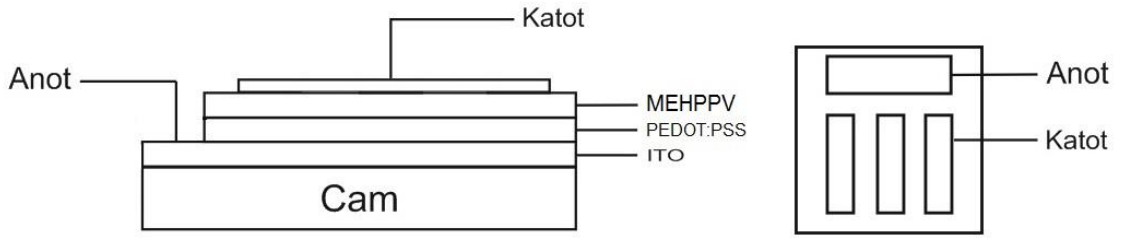
gerçekleştirilmiştir. DC güç kaynağı üzerinden 50 volt, 0,06 mA sabit akım ve gerilim altında sistem içerisinen geçen akım değeri 0,008 mA olana kadar beklendi ve kaplama işlemi sonlandırıldı. Daha sonra elde edilen Al_2O_3 filmler saf su ile yıkanarak kuruma ve tavlama işlemi için vakum altında 150 ^{0}C de 11 saat boyunca bekletildi. Tavlama işleminin ardından pürüzlü bir yüzeye sahip olan alüminanın yüzey modifikasyonu ve yalıtkan tabakanın kalınlaştırılması amacı ile dönü kaplama yöntemi kullanılarak 5 mg/ml derişime sahip, suda çözünen PVT (polyvinyl triazole) yalıtkan polimeri 1500 rmp hızla 1 dakikada yaklaşık 200 nm kalınlığında kaplandı ve 50 ^{0}C sıcaklıkta vakum altında 11 saat bekletilerek tavlandı.

Yalıtkan tabakanın kaplanmasının ardından MEHPPV yarı-iletken polimeri klorobenzen çözgeni içerisinde 5 mg/ml derişim ile yine dönü kaplama yöntemi kullanılarak 1000,1200,1500,2000 rpm gibi farklı kaplama hızlarında bir dakikada kaplanarak cihaz performansı karşılaştırmaları yapıldı. Daha sonra belirlenen kaplama hızında MEHPPV katkısız polimeri ve farklı katkılama oranlarına sahip polimerler kaplanarak 50 ^{0}C altında 30 dakika vakm fırınında bekletilerek tavlandı.

Son aşamada elde edilen yapı vakum buharlaştırma sistemi içerisine alınarak maske yardımı ile akaç ve kaynak olarak kullanılacak olan altın elektrotlar 100 nm kalınlığa sahip olacak şekilde kaplanarak cihaz üretim aşaması tamamlanmıştır. Elde edilen cihzların elektronik karakterizasyonu iki adet KEITHLEY 2400 DC kaynağının biribirine bağlanması ile LABVIEW programı kullanılarak yapılmıştır.

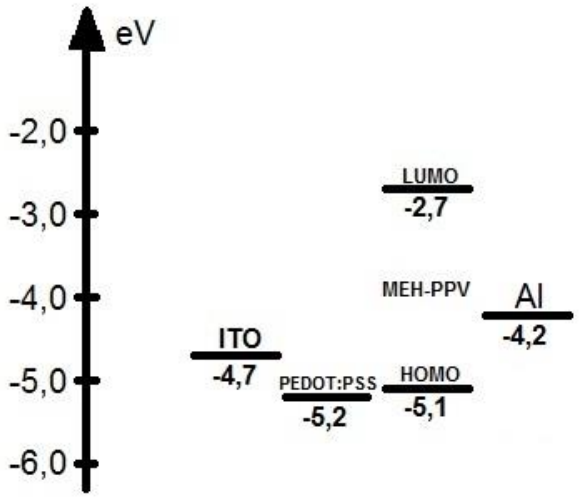
2.3. OLED Uygulaması İçin Diyot Yapısının Hazırlanışı

MEHPPV polimer matriksi içerisine katkılanan Fe_3O_4 nano-parçacıklarının mobilite üzerine olan etkilerinin gözlemlenmesinin ardından, elde edilen sonuçların gözlemlenilebilmesi için OLED uygulaması gerçekleştirilmiştir. Performan değişiminin incelenebilmesi için üretimi yapılan OLED yapısı şekil 2.5'de görülmektedir.



Şekil 2.5 Üretimi yapılan OLED'lerin yapısı ve geometrisi

KINTEC firmasından hazır alınan ITO kaplı cam alttaşlar, sırasıyla aseton, isopropanol içerisinde 15'er dakika olmak üzere ultrasonik banyo yardımı ile temizlendi ve temizlenen camlar azot yardımı ile kurutuldu. Temizlenen ITO kaplı camlar 30 dakika UV temizleyici içerisinde bekletilerek ITO iş fonksiyonu 0,4 eV kadar aşağıya çekilerek aynı zamanda son temizlik aşaması uygulanmış oldu. Daha sonra HERAEUS firmasından hazır olarak satın alınan CLEVIOS™ P VP AI 4083 iletken bir polimer olan PEDOT:PSS dönü kaplama yöntemi kullanılarak 3500 rpm 1 dakika içerisinde kaplanarak tavlama ve çözgen uzaklaştırma işlemi için 120 ^{0}C derecede vakum altında 1 saat bekletilmiştir. Daha sonra klorobenzen içerisinde 5 mg/ml derişime sahip katkısız MEHPPV polimeri ve %0.5, %1, %2 ve %3 Fe_3O_4 nano-parçacığı ile katkılanmış ve yine dönü kaplama tekniği kullanılarak 2000 rpm, 1 dakika ile kaplanmıştır. Emisyon katmanının yüzey morfollijisinin düzenlenmesi için 70 ^{0}C derece sıcaklık ve vakum altında bekletilmiştir. Son aşamada ise anot ve katot olarak kullanılacak olan alüminyum katmanı, vakum buharlaştırma tekniği kullanılarak 100 nm kalınlığında kaplanmış ve cihaz üretimi tamamlanmıştır. Elde edilen OLED yapısında kullanılan materyallerin enerji seviyeleri şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6 OLED cihazı enerji seviyeleri

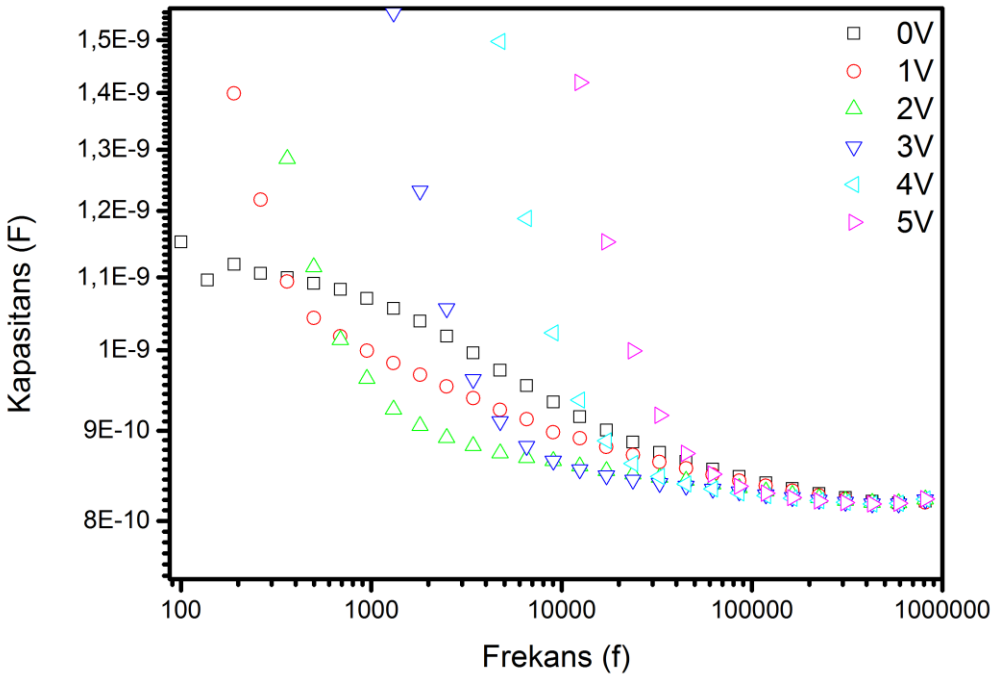
Son aşamada ise elde edilen OLED yapıların elektronik karakterizasyonu KEITHLEY 2400 DC güç kaynağı kullanılarak elde edilmiş, elektrolüminesans ölçümleri ise OCEAN OPTICS QE65000 elektro-fotometre kullanılarak ele edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

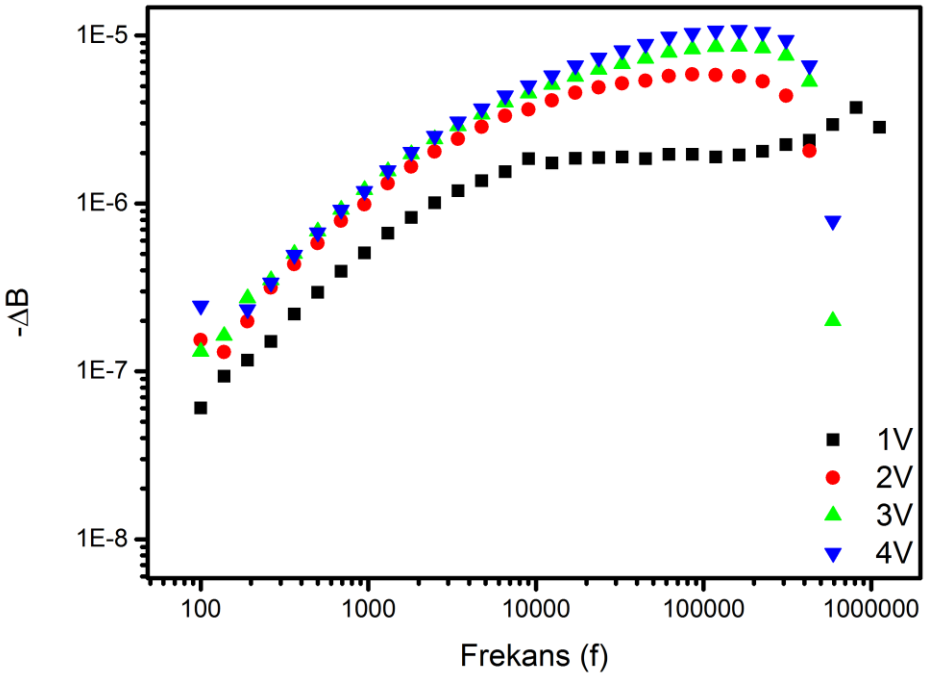
4.1. Empedans Spektroskopisi Ölçüm Sonuçları

Kapasitans ölçümleri için hazırlanan diyot yapısı üzerinden Keıthley DC düç kaynağı ile yapılan akım-voltaj ölçümlerinde ITO/PEDOT:PSS/MEHPPV yapısı ile omik kontak oluşturulduğu, uygulanan düşük voltajlarda gözlemlenmiştir. Fakat dönü kaplama yöntemi ile kaplaması yapılan yarı-iletken tabaka olan MEHPPV polimeri yeterince kalın kaplanamadığı için bir takım problemlerle karşılaşılmıştır. Farklı konsantransyonlarda yapılan MEHPPV kaplamalarında, düşük konsantrasyonlarda kalın film elde edilememekte, yüksek konsantrasyona gidildikçe film kalınlığı artmakta fakat homojen bir ince film oluşturulamamktadır. Bu nedenle yapılan uygulamalarda 10 mg/ml çözelti konsantrasyonu tercih edilmiş ve dönü kaplama yöntemi ile birlikte drop-cast çalışmaları da yapılmıştır.

Fakat yapılan çalışmalar neticesinde elde edilmesi beklenen kapasitans sonuçları elde edilememiştir. Şekil 2,7'de görülen 0V DC, 50mV AC gerilim altında yapılan



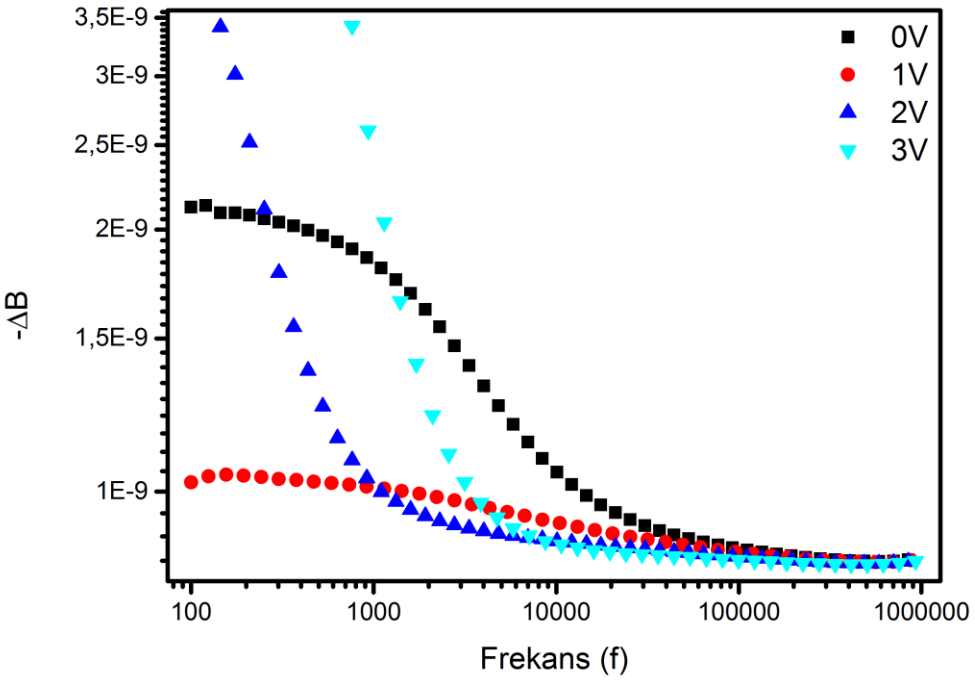
Şekil 2.7 50mV AC gerilim altında kapasitans/frekans eğrisi



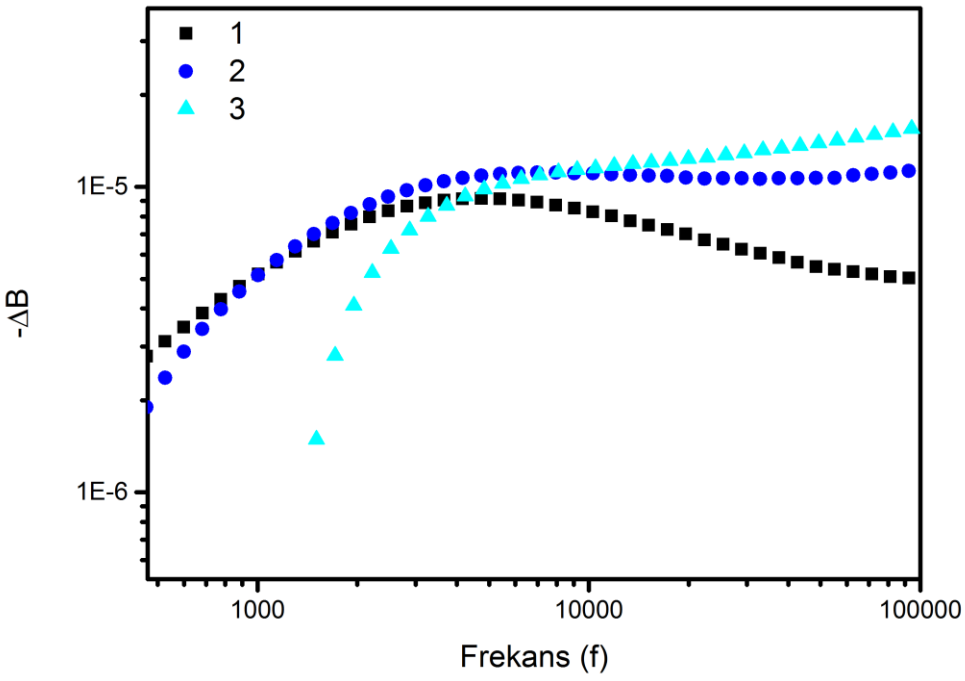
Şekil 2.8 50mV AC gerilim altında elde edilen negatif diferansiyel süseptans eğrisi

ölçümlerde kapasitans eğrisi geometrik kapasitansı vermesi gerekirken, yarı-iletken katman içerisinde yüksek konsantrasyondan kaynaklanan, homojen olmayan bölgeler nedeniyle yük taşıyıcısı iletimi olması gerektiği gibi gerçekleşmemektedir. Yüksek frekansa doğru gidildikçe elde edilen kapasitans değeri geometrik kapasitansa yaklaşsa da, düşük frekanslarda elde edilen değerler bir yarı iletkenin davranıiını yansıtmamaktadır. Sonrasında sırasıyla diyot yapısı üzerine uygulanan 1V, 2V, 3V, 4V ve 5V DC gerilim ile alınan kapasitans sonuçları şekil 30'da görülmektedir. DC gerilim altında alınan freknsa bağlı kapasitans eğrileri yine beklendiği gibi davranış göstermemiştir. 1V DC altındaki MEHPPV polimeri düşük frekanslarda beklenenden yüksek kapasitif etki göstermiştir. Beklenmeyen bu davranışın sebebi ise yapılan araştırmalar sonucu katot tarafında kullanılan metalin enerji seviyesine bağlanmıştır. Kullanılan metalin iş fonksiyonunun, MEHPPV polimerinin HOMO seviyesinin altında kalması kapasitif etkinin yükselmesine sebep olmuş ve kullanılan modelleme üzerinde yapılacak hesaplamalarda sapmalara sebep olmuştur. Şekil 2.8'de görüldüğü gibi denklem (7) üzerinden hesaplanan negatif suseptans eğrileri beklenen yapısından uzak geniş eğriler vermiş ve tepe noktalarından hesaplanacak olan yük taşıyıcısı uçuş zamanı elde edilememiştir. Katot metalinin iş fonksiyonu ve MEHPPV polimerinin sahip

olduğu tuzak seviyelerinin yüksek olması elde edilen suseptans sinyalinin tepe noktaları birbirine çok yakın çıkmış ve mobilite hesaplamaları yapılamamıştır.



Şekil 2.9 75 mV AC gerilim altında elde edilen kapasitans/frekans eğrisi

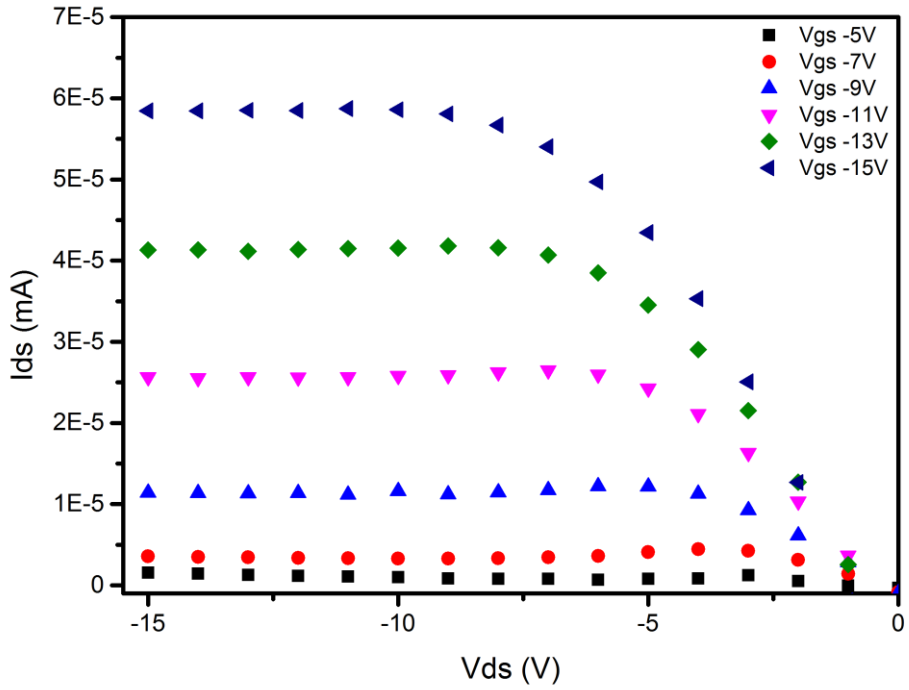


Şekil 2.10 75mV AC gerilim altında elde edilen kapasitans/frekans eğrisi

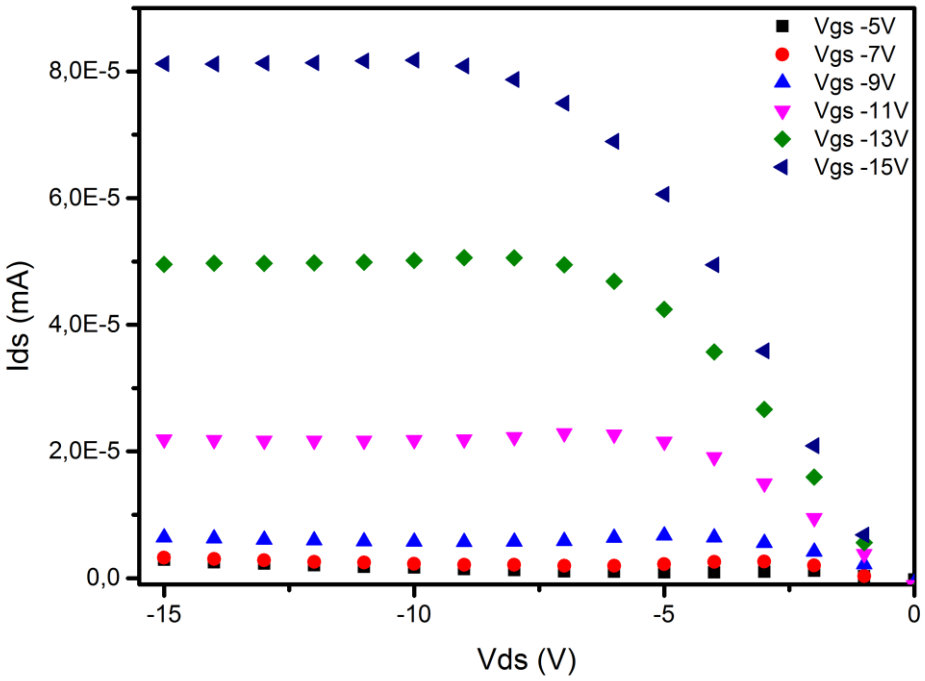
Şekil 2.9 ve 2.10'da görüldüğü gibi 50mV yerine uygulanan 75mV ve 25mV AC genlik ölçümlerinde de benzer sonuçlar elde edilmiş ve modelleme sonuçlar üzerine uygulanamamıştır. Bu çalışmanın tamamlanabilmesi için MEHPPV polimerinin daha kalın kaplanabilmesi ve polimerin HOMO seviyesinden yaklaşık 0,4 ile 0,6 eV daha yüksek iş fonksiyonuna sahip bir mealin katot olarak kullanılması gerekmektedir.

4.2. FET Mobilitesi ölçüm sonuçları

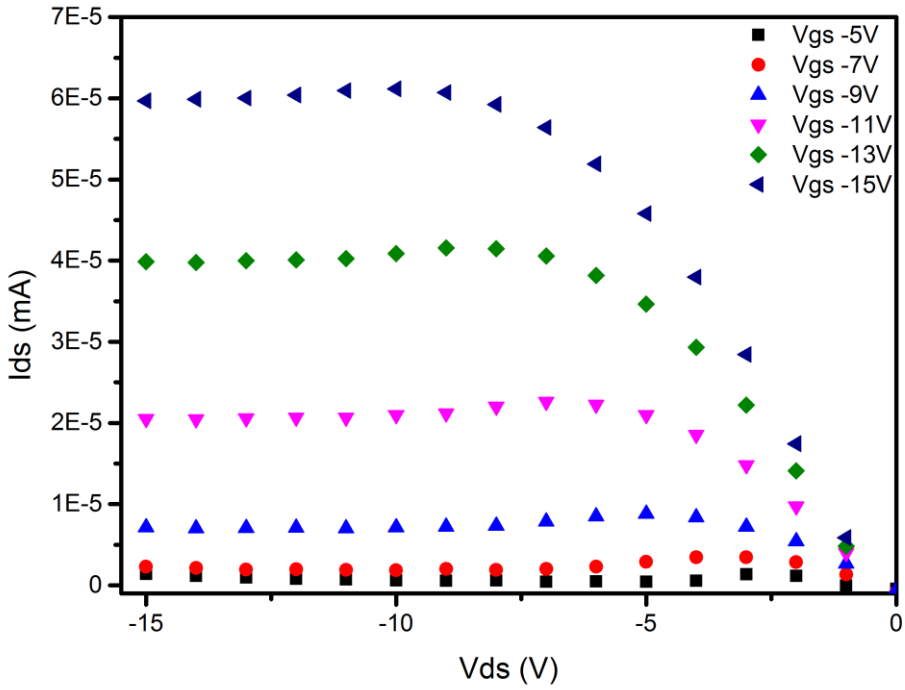
Daha öncede belirtildiği gibi bu çalışma sonucu katkısız MEHPPV ile %0.5, %1, %2, %3, %4 manyetik Fe_3O_4 nano-parçacık katkılı MEHPPV ile elde edilen OFET yapıları incelenmeiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Yalıtkan olarak kullanılan Al_2O_3/PVT yalıtkan katmanının alüminyum kapı ve altın kaynak arasındaki kapasitansı 3,5 nF/cm2 olarak ölçülmüştür. Kullanılan MEHPPV polimerinin p-tipi yapıya sahip olması ve kapı gerilimine bağlı olarak yapılan ölçümler sonucu üretimi yapılan OFET yapıları p-kanal transistör özelliği göstermektedir. Şekil 2.11, 2.12 ve 2.13'de verilen ölçüm sonuçları katkısız MEHPPV polimerinin optimum film kalınlığının tespit edilebilmesi için yarı-iletken katman olarak kullanıldığı ve sırasıyla kaplama hızları 1200, 1500, 2000 rpm olan dönü kaplama çalışmasının sonuçlarının vermektedir. Kapı geriliminin -5V ile -25V arasında adım adım sabit tutularak, kaynak ve akaç arası gerilimin 0V ile -20V arasında taranması ile elde edilen akım değerlerini vermektedir. Dönü kaplama hızındaki farklılık hariç tüm şartlar eşit tutulmuştur. Uygulanan düşük gerilim değerlerinde I_{ds}derinde görülen lineer artış yarı-iletken tabaka ve altın kontak arasında omik kontak elde edildiğini göstermektedir. İdeal bir transistörün sahip olması gereken $V_{ds} = V_{gs} - V_{th}$ bölgsinde ise iyi tanımlanmış bir pinch-off davranışı görülmektedir.



Şekil 2.11 1200 rpm kaplama hızında elde edilen karakteristik eğri



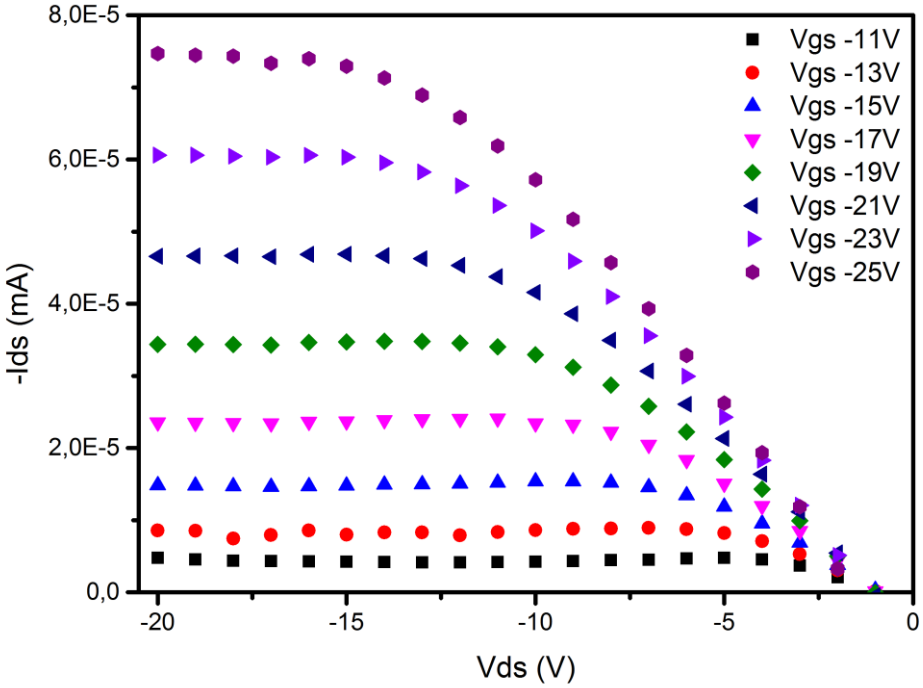
Şekil 2.12 1500 rpm kaplama hızında elde edilen karakteristik eğri



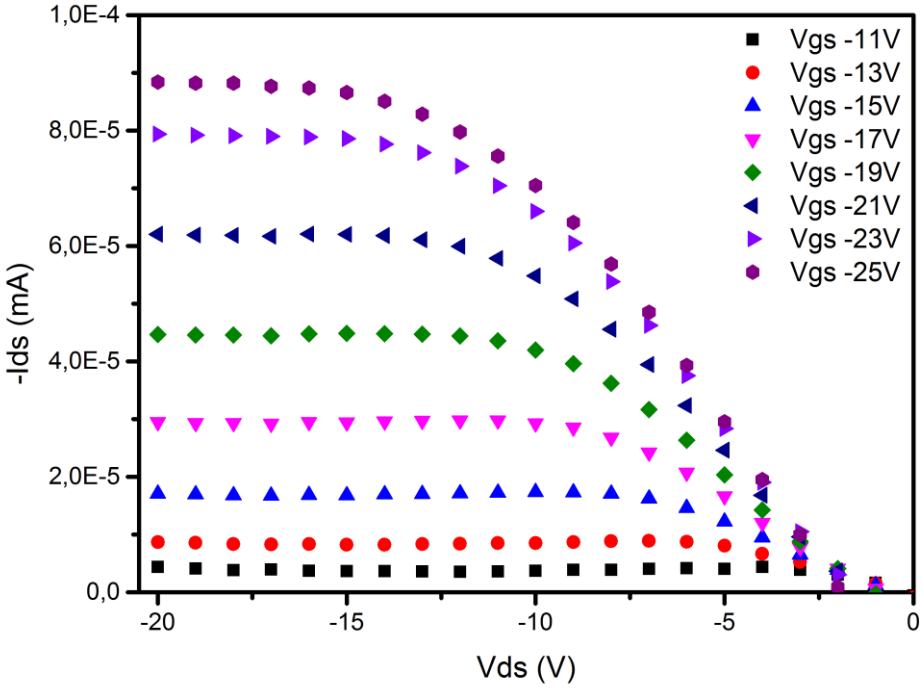
Şekil 2.13 2000 rpm kaplama hızında elde edilen karatristik eğri

Daha sonrasında ise doyum bölgesine ulaşılmış ve kaynak ile akaç arsındaki akım sabitlenmiştir. Yapılan ölçümlerde her ne kadar rapor edilmemiş olsada kaynak ve akaç arasında -20V ve üzeri gerilimlerde I_{ds} akım değeri tekrar lineer olarak yükselmeye başlayarak omik davranış görtermeye başlamaktadır. Doyum bölgesinin ardından omik davranış göstererek I_{ds} akım değerinin lineer yükselmeye başlaması, yarı-iletken yapı içerisinde tuzaklanmış yüklerin bulunduğu ve belirli bir gerilim değerinin üzerinde serbest kaldığı anlamına gelmektedir. Şekil 2.11, 2.12 ve 2.13'deki I_{ds} akım değerleri karşılaştırıldığında aynı şartlar altında en iyi iletkenlik ve akım değerleri 1500 rpm hızında yapılan kaplamalardan elde edilmiştir. Bu nedenle cihaz performansı en yüksek olan kaplama hızı Fe_3O_4 manyetik nano-parçacıklarının katkılandığı cihazlara referans olması amacı ile seçilmiştir. Bu aşamadan itibaren hazırlanan ve üretimi yapılan cihazların yarı-iletken tabakaları 1500 rpm hızı ile kaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılarak mobilite hesaplamaları yapılmıştır. Şekil 2.13, 2.14, 2.15, 2.16, 2.17 ve 2.18'de sırasıyla katkılanmamış MEHPPV ve %0.5, %1, %2, %3, %4 katkılanmış MEHPPV transistörlerin çalışma karakteristikleri görülmektedir. Elde edilen akım değerleri incelendiğinde katkılanmış yarı-iletken yapıların katkısız yapıya göre daha yüksek I_{ds} akımına sahip olduğu görülmektedir. Katkılama oranına göre karşılaştırma yapıldığında, sırasıyla %0.5, %1, %2, %3 oranlarında akım ve mobilite değerlerinde

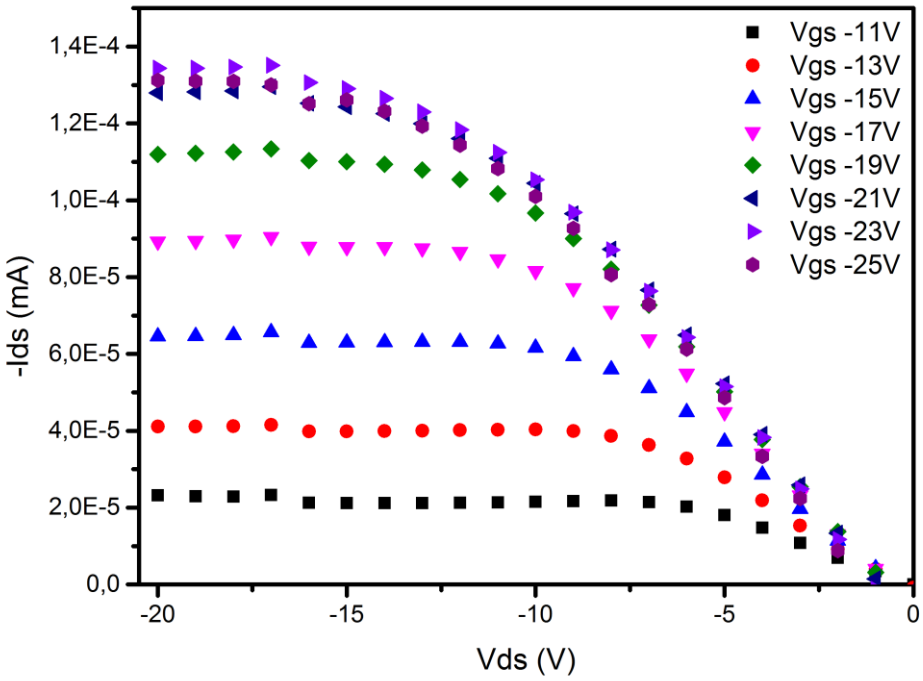
doğrusal bir artış gözlenmektedir. Sonrasında %4 katkılanma oranında ise maksimum değerden düşüş gözlenmektedir.



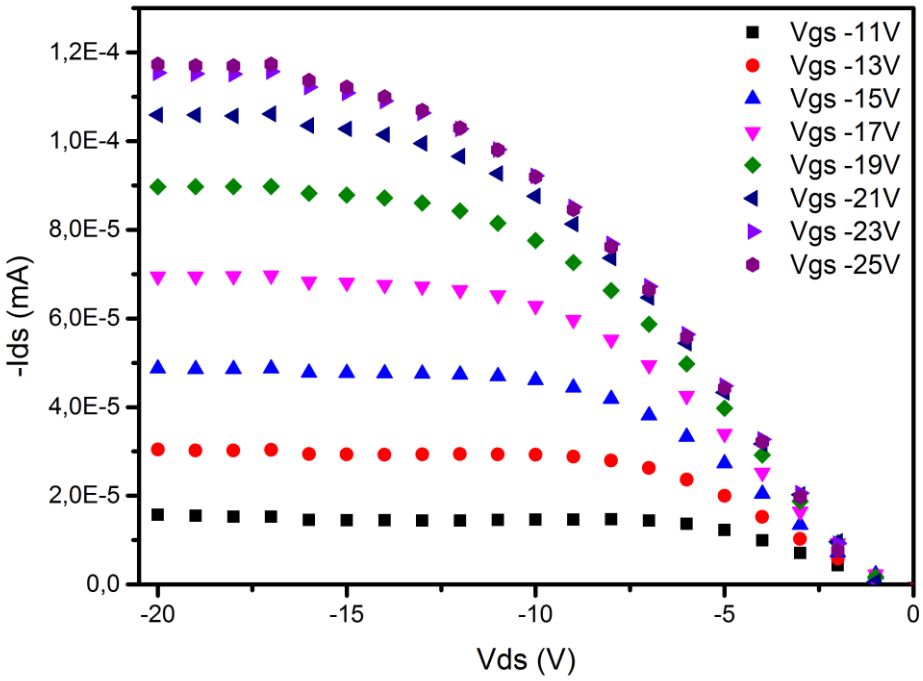
Şekil 2.13 Katkılanmamış MEHPPV için I_{ds}/V_{ds} eğrisi



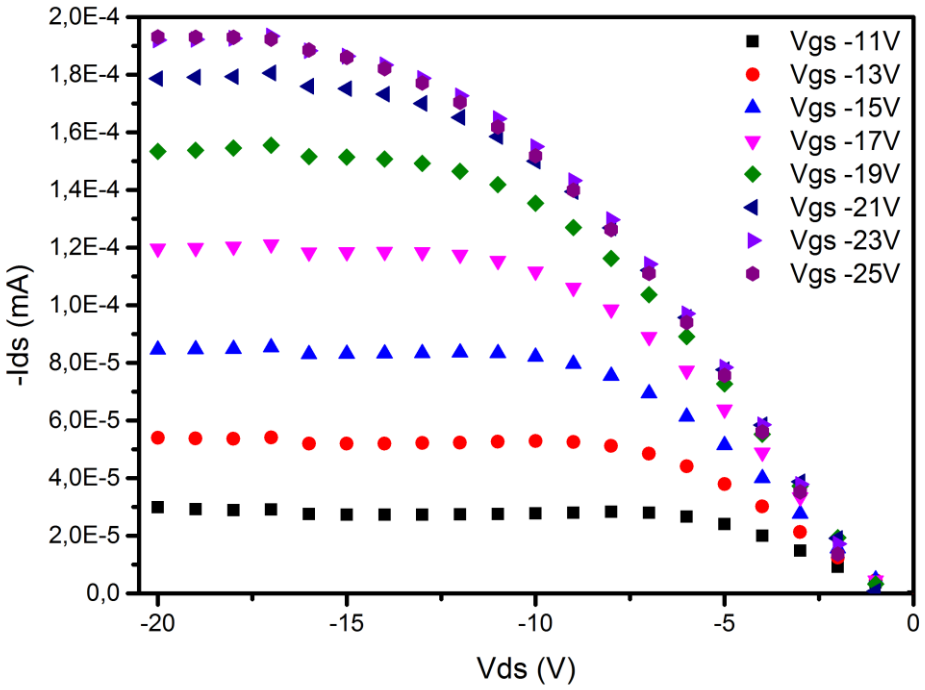
Şekil 2.14 %0,5 Katkılanmış MEHPPV için I_{ds}/V_{ds} eğrisi



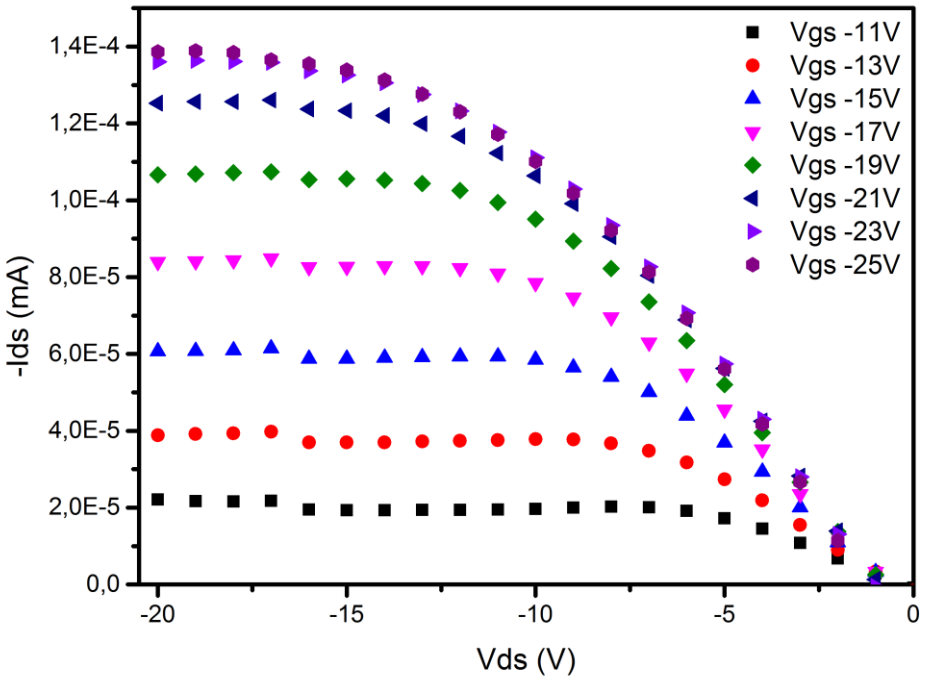
Şekil 2.15 %1 Katkılanmış MEHPPV için I_{ds}/V_{ds} eğrisi



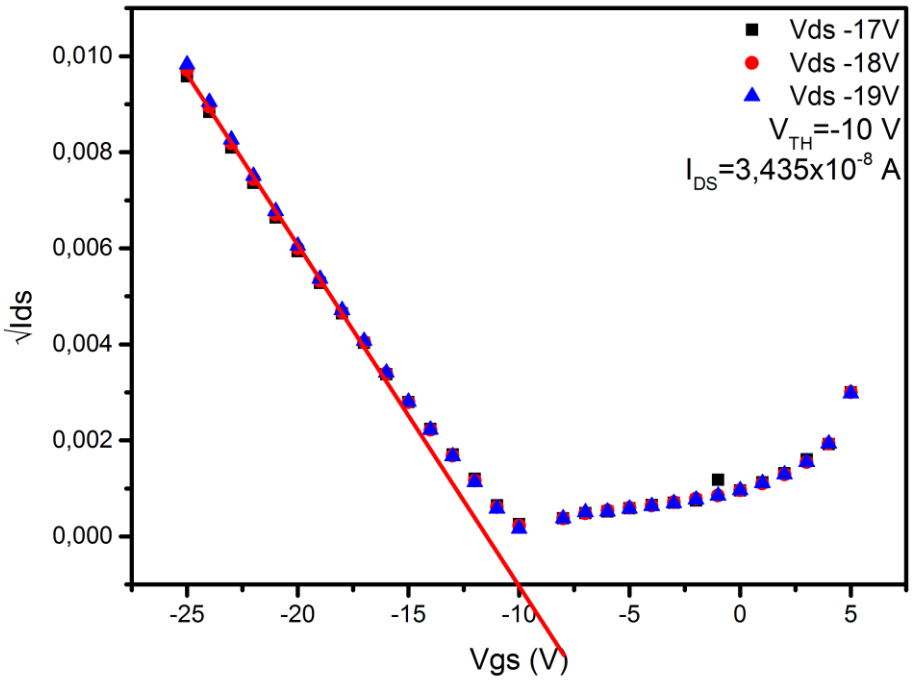
Şekil 2.16 %2 Katkılanmış MEHPPV için I_{ds}/V_{ds} eğrisi



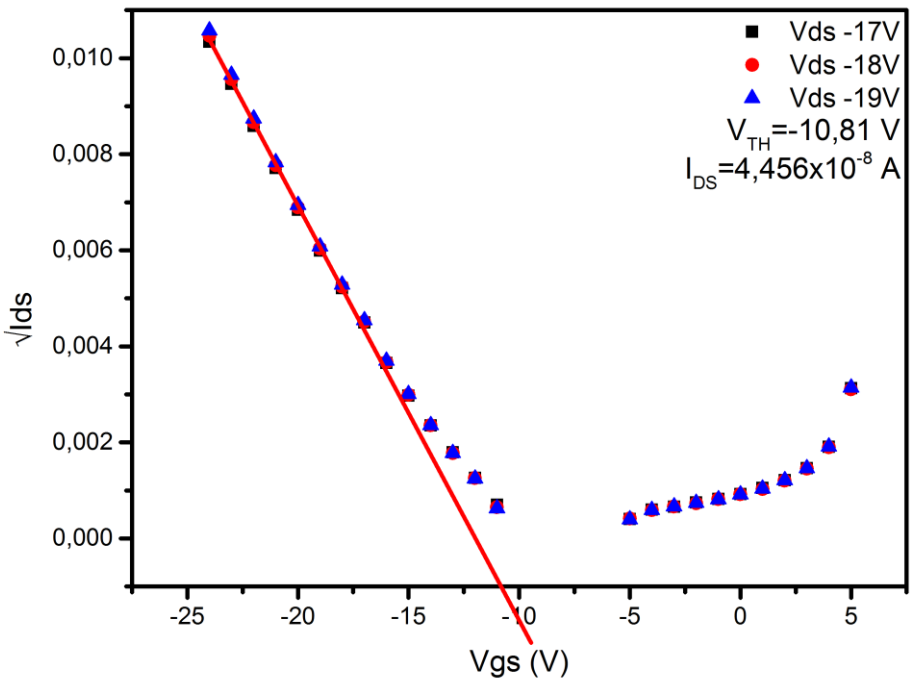
Şekil 2.17 %3 Katkılanmış MEHPPV için I_{ds}/V_{ds} eğrisi



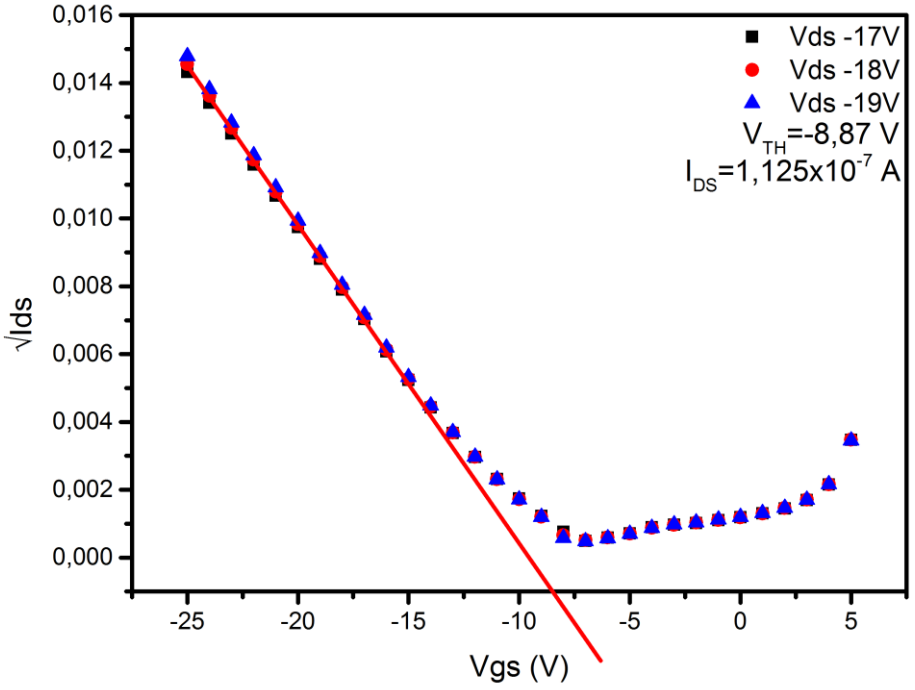
Şekil 2.18 %4 Katkılanmış MEHPPV için I_{ds}/V_{ds} eğrisi



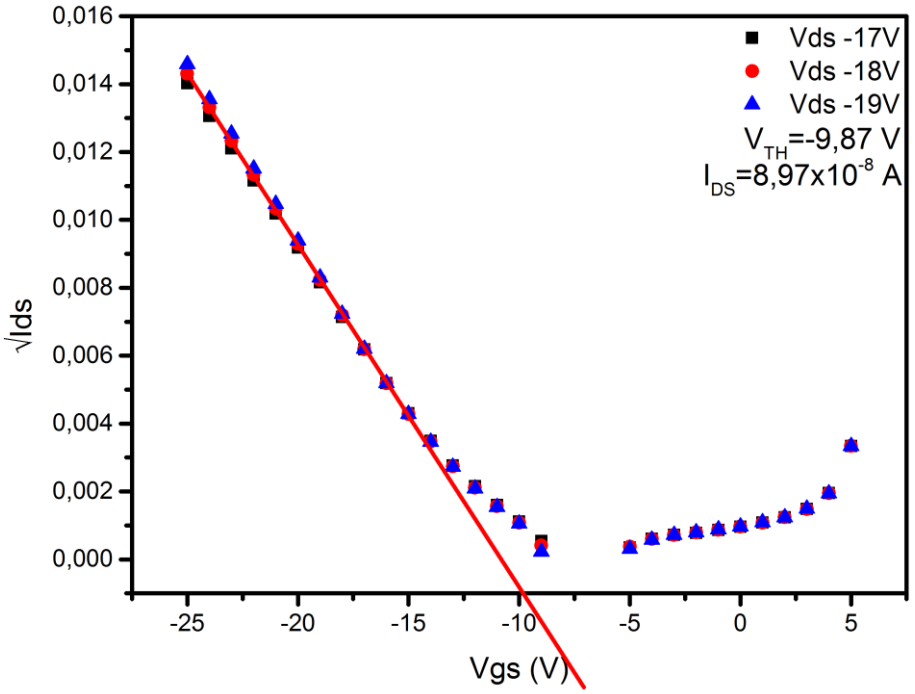
Şekil 2.19 Katkılanmamış MEHPPV için transfer eğrisi



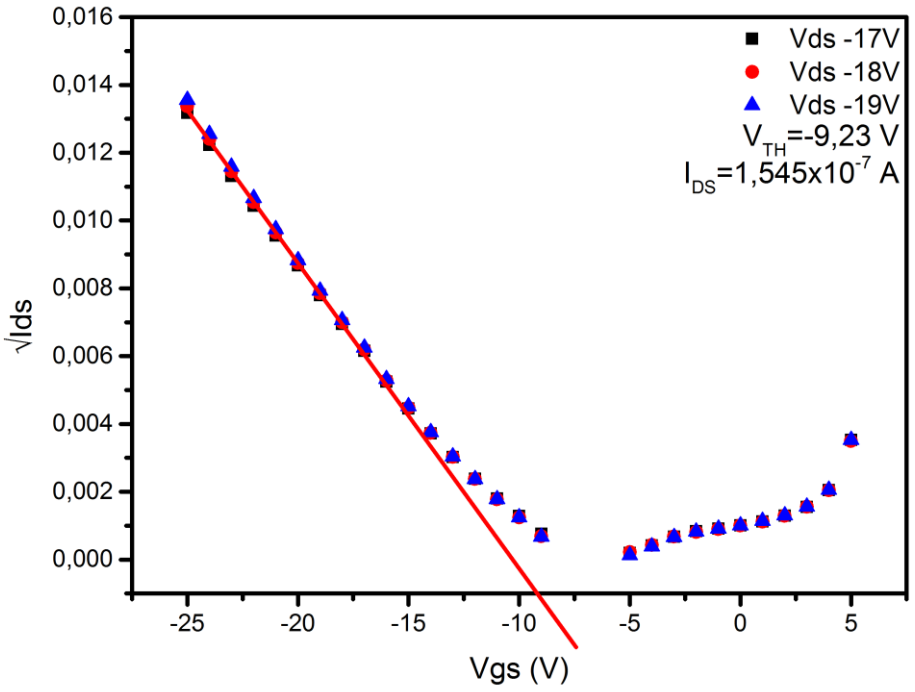
Şekil 2.20 %0,5 katkılanmış MEHPPV için transfer eğrisi



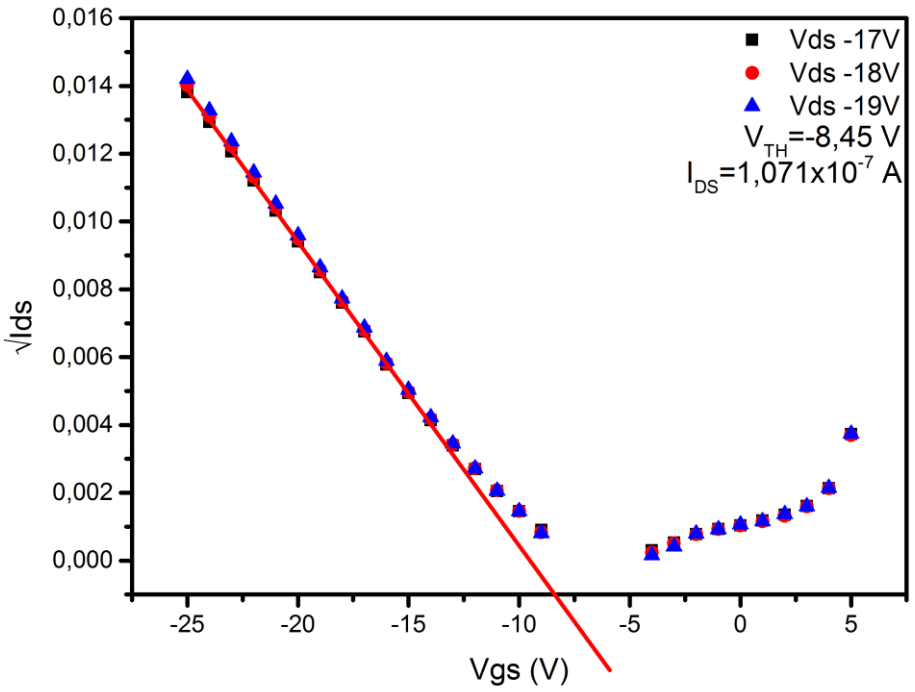
Şekil 2.21 %1 katkılanmış MEHPPV için transfer eğrisi



Şekil 2.22 %2 katkılanmış MEHPPV için transfer eğrisi



Şekil 2.23 %3 katkılanmış MEHPPV için transfer eğrisi



Şekil 2.24 %4 katkılanmış MEHPPV için transfer eğrisi

Şekil 2.19 ve 2.24 arası katkılanmış ve katkılanmamış cihazların -19V kaynak/akaç gerilimi altındaki transfer karakteristiklerini vermektedir. Transfer karakteristiğinden elde edilen $\sqrt{I_{gs}}$ akım değerlerinin V_{gs} kapı voltaj değerine göre çizilmesi ile transistör yapısılarının eşik gerilimleri elde edilmiştir. Her bir transistör yapısının sahip olduğu eşik gerilimi ve eşik geriliminin hesaplandığı V_{ds}gerilimi için sahip olduğu I_{ds} değeri şekiller üzerinde görülebilmektedir. Elde edilen V_{TH} eşik gerilim değerleri ile denklem (13) kullanılarak hesaplanan mobilite değerleri tablo 1 üzerinde verilmiştir. Elde edilen mobilite değerleri birbirleriyle karşılaştırıldığında görülmektedir ki, manyetik Fe_3O_4 manyetik nano-parçacıklarının polimer matriks içerisine katkılanması tüm oranlar için boşluk mobilitesi değerinin artışına sebep olmuştur. Katkılama oranları arasında karşılaştırma yapıldığında ise boşluk mobilitesinin artışı katkısız MEHPPV polimerine göre %0.5, %1, %2 ve %3 oranlarında düzenli bir artış gösterirken, %4 oranında düşüş göstermiştir. %3 katkılanma oranında ise en yüksek mobilite değeri gözlemlenmiştir.

Katkılanan manyetik nano-parçacıkların yapısı incelendiğinde, kolloidal yapıya sahip olmaları nedeniyle Fe_3O_4 parçacıklarının dışı yüzey aktif yalıtkan bir mayteryal ile kaplıdır. Bu yalıtkan materyal sayesinde nano-parçacıklar polimer matriksi içerisinde herhangi bir yük iletmine dahil olmamakta ve katkıda bulunmamaktadır.

AYGIT	V_{GS} (V)	V_{TH} (V)	I_{DS} (A)	μ (cm2/V.s)
MEHPPV	-19	-10,00	3,435E-08	3,39E-04
%0,5 Katkılanmış	-19	-10,81	4,456E-08	5,31E-04
%1 Katkılanmış	-19	-8,87	1,125E-07	8,77E-04
%2 Katkılanmış	-19	-9,87	8,970E-08	8,61E-04
%3 Katkılanmış	-19	-9,23	1,545E-07	1,29E-03
%4 Katkılanmış	-19	-8,45	1,071E-07	7,70E-04

Tablo 1 FET mobilitesi sonuç tablosu

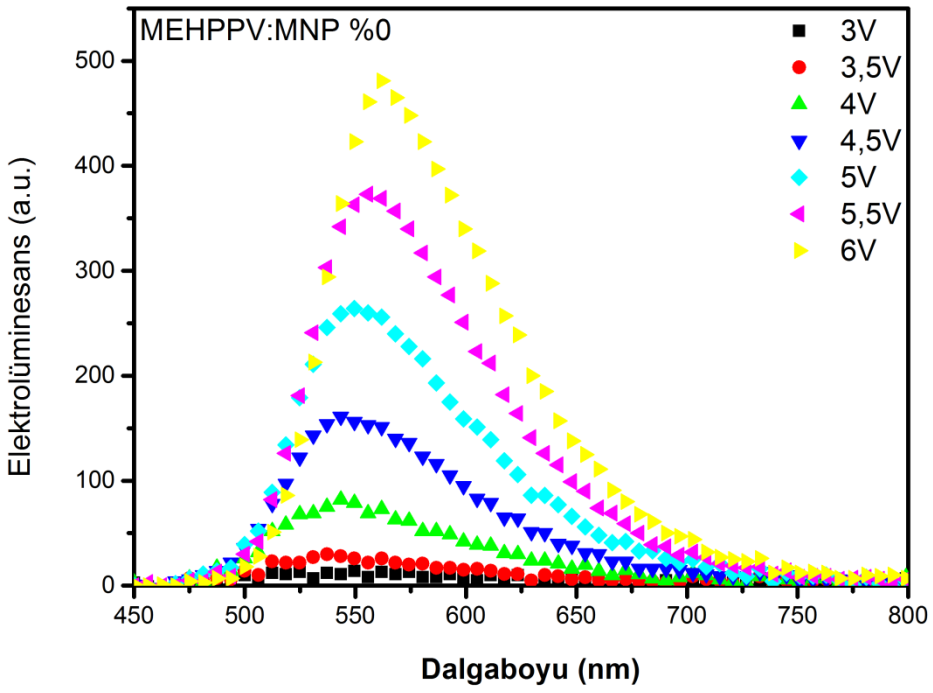
Cihaz içerisinde herhangi bir elektronik iletime katkıda bulunmayan parçacıkların sahip oldukları dahili manyetik alan sayesinde, temel singlet enerji seviyesinden uyarılan yük taşıyıcısının MEHPPV polimerinin 1,50 eV (Monkman2001) seviyesinde sahip olduğu triplet enerji seviyesine geçerek spin yönünün değişerek singlet enerji seviyesine dönmesi sayesinde iletim hızı artmakta ve uçuş süresi düşmektedir. İç manyetik alanın

yük taşıyıcıları üzerindeki bu etkisi uçuş süresinin düşmesine ve dolayısı ile boşluk mobilitesinin artmasına sebep olmaktadır (Kus2013).

Dış manyetik alanın yarı-iletkenler üzerindeki etkileri uzun yıllardır bir çok grup tarafından incelenmektedir (Kalinowski2003, Niedermeir2010), ZnO, Fe_3O_4 gibi süper para-manyetik nano-parçacıkların etkileri ise son yıllarda detaylı olarak incelenmeye başlanmıştır. Literatürde bulunan bir başka çalışmada MEHPPV polimerine katkılanan CoFe nano-parçacığının OLED kuantum verimliliğinde %27 ile %35 arasında artış gözlenmiştir (Wohlgenannt2004). Bu çalışmada ise farklı oranlarda katkılanma sonucu elde edilen mobilite verilerinin etkisinin incelenebilmesi, karşılaştırma yapılabilmesi için OLED uygulaması yapılmış ve elde edilen yapının performans incelemesi yapılmıştır.

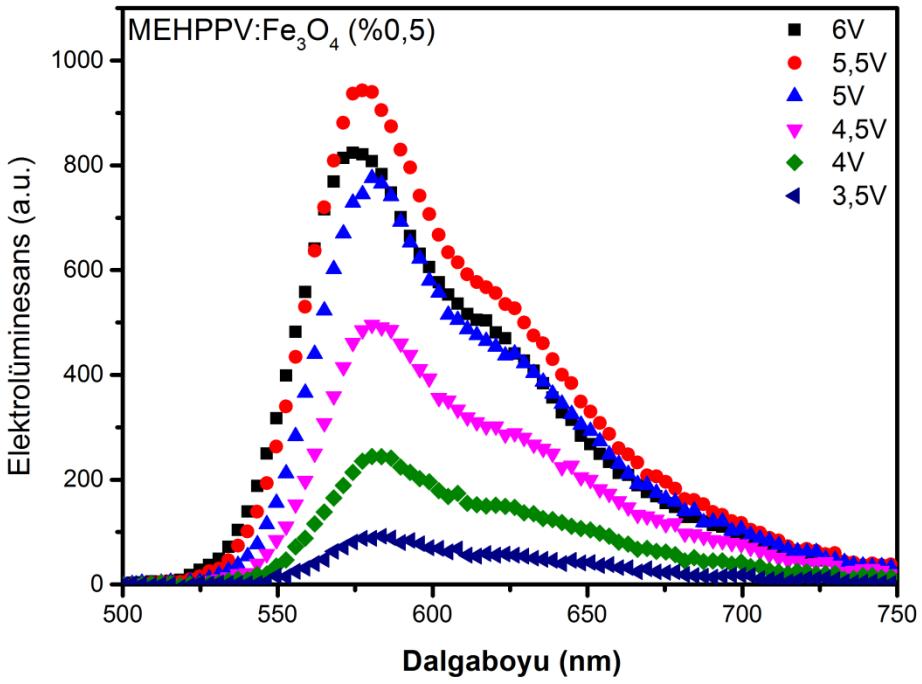
4.3. Fe_3O_4 Katkılanmış MEHPPV matriksi ile OLED uygulaması

Deneysel kısımda anlatılan yöntem ve materyaller ile üretilen OLED cihazını beklendiği gibi katkılanma oranının artışı ile elektrolüminesans şiddetinde artış gözlenmiştir.

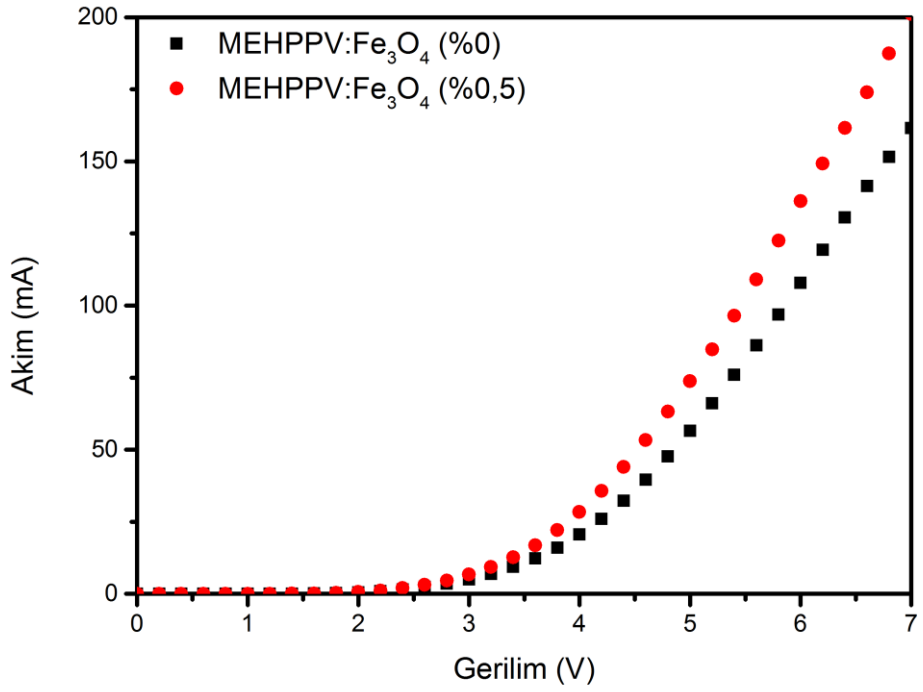


Şekil 2.25 Katkılanmamış MEHPPV diyodun voltaja bağlı elektrolüminesans/dalgaboyu grafiği

Şekil 2.25 katkılanmamış MEHPPV polimerinin dalga boyuna bağlı elektrolüminesan eğrisini vermektedir. Elde edilen eğri üzerinde görüldüğü gibi uygulanan gerilimin artışı ile elektrolüminesans şiddetinde de doğrusal bir artış gözlenmektedir. Aynı zamanda eğrilerin her biri incelendiğinde elektrolüminesans tepe noktasının kırmızı bölgeye doğru polimer içi etkileşimlerden kaynaklanan bir kayma gözlenmektedir. Elektrolüminesans tepe noktasındaki bu değişşim ince film içerisinde bir polimer zincirinden diğerine π-π^* geçişlerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 2.26'da verilen %0,5 katkılanmış MEHPPV polimer matriksi incelendiğinde ise aynı davranışın gözlenmesi ile beraber 630 nm dolaylarında elektrolüminesans eğrisi üzerinde yeni bir tepe görülmektedir. Katkılanma ile birlikte meydana gelen bu değişim Fe_3O_4 nano-parçacığı üzerinde bulunan kusurlardan kaynaklanmaktadır, fakat renk kordinatları üzerinde büyük bir etkisi yoktur. Yine %0,5 katkılanmış ve katkılanmamış OLED cihazları 3,5 gerilim altında karşılaştırıldıklarında, katkılanmış cihazın daha yüksek emisyon şiddetine sahip olduğu ve dolayısı ile turn-on voltajınında düştüğü şekil 60'da akım/voltaj eğrisi üzerinde görülmektedir.



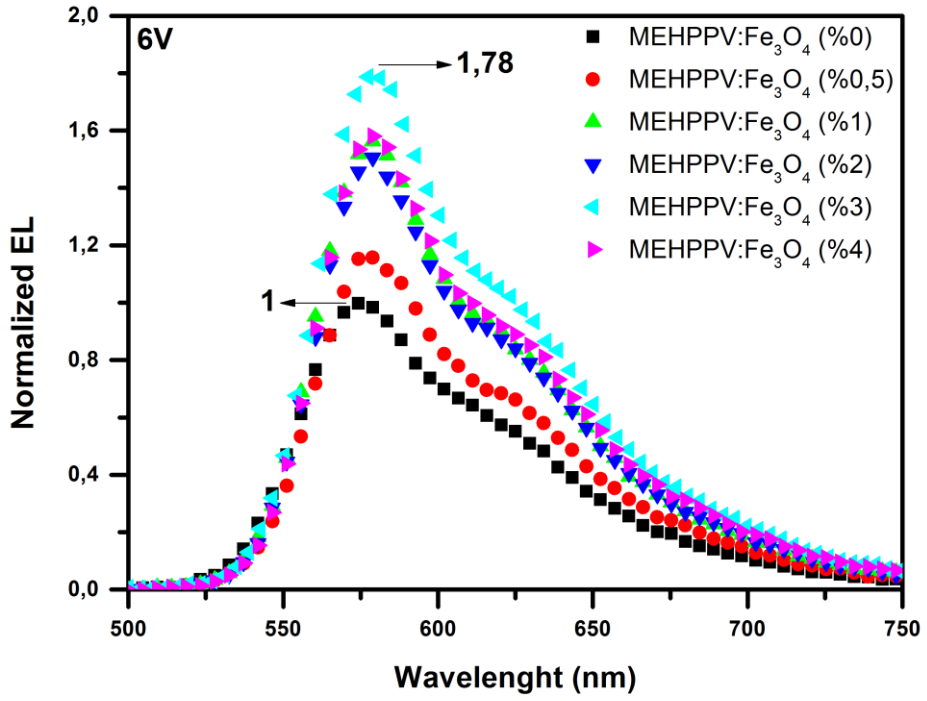
Şekil 2.26 %0,5 katkılanmış MEHPPV diyodun voltaja bağlı elektrolüminesans/dalgaboyu grafiği



Şekil 2.27 Katkılanmamış MEHPPV ve %0,5 katkılanmış diyodun akım/voltaj karşılaştırması

FET mobilitesi sonuçları ile OLED cihazlarından elde edilen akım/voltaj eğrileri karşılaştırıldığında, %0,5 katkılanmış ve katkılanmamış cihaz arasındaki boşluk mobilitesi artışı tablo 1 üzerinden de doğrulanmaktadır. Buna bağlı olarak turn-on voltajın düşmesi ile daha düşük gerilim altında daha yüksek emisyon şiddeti elde edilebilmektedir.

6V sabit gerilim altında sırasıyla katkılanmamış ve %0.5, %1, %2, %3, %4 katkılanmış cihazların normalize edilmiş elektrolüminesans karşılaştırmaları şekil 2.28'de görülmektedir. Katkılanma oranının artışı ile elektrolüminesans şiddetinde artış gözlenmekte ve tepe noktası sabit kalmaktadır. Katkılanmamış cihaz ile %3 katkılanmış cihaz karşılaştırıldığında %78 oranında bir elektrolüminesans verimliliği artışı tespit edilmiştir.



Şekil 2.28 Katkılanmamış MEHPPV ve katkılanmış MEHPPV cihazların 6V gerilim altındaki elektrolüminesans grafiği karşılaştırması

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Elde edilen tüm datalar, FET mobilitesi hesaplamaları ve OLED cihazlarından elde edilen datalar karşılaştırıldığında birbirini doğrulayan veriler elde edilmiştir. Manyetik nano-parçacıkların MEHPPV polimer matriksi içerisine katkılanması ve katkılanma oranının artışı ile boşluk mobilite ve dolayısı ile OLED performansında doğru orantılı bir artış gözlenmiştir.

Tamamı ile çözelti fazında dönü kaplama yöntemi kullanılarak üretimi yapılan OLED cihazlarında %3 katkılama oranında %78 artış ile maksimum verimlilik elde edilmiştir. Yapılan tüm çalışmalar yakın zaman içerisinde literatüre katkı sağlamak amacı ile rapor edilecek ve makale olarak yayınlanacaktır.

5.2 Öneriler

Polimer matriksi içerisine katkılanan Fe_3O_4 süper para-manyetik nano-kristaller gelecek vaad eden parçacıklar olmakla beraber, opto-elektronik ve organik elektronik uygulamaların tümünde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada elde edilen veriler ışığında OLED ve OFET uygulamalarının dışında diğer organik elektronik uygulamalarda da kullanılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

Ambegaokar, V., Halperin, B.I., Langer, J. S., 1971, *Phys Rev B*, 4, 2612.

An, Z., Yu, J., Jones, S.C., Barlow, S., Yoo, S., Domercq, B., Prins, P., Siebbeles, L.D.A., Kippelen, B., Marder, S.R., 2005, High electron mobility in room temperature discotic liquid-crystalline perylene diimides, *Adv. Mater.*, 17, 2580–2583.

Arkhipov, V. I., B¨assler, H., 1993, *Phil. Mag. Lett*., 67, 343.

Arkhipov, V. I., B¨assler, H., 1994, *Phil. Mag. Lett*., 69, 241.

Baranovskii, S. D., Cordes, H., Kohary, K., Thomas, P., 2001, *Phil. Mag. B*, 81, 955.

Baranovskii, S. D., Faber, T., Hensel, F., Thomas, P., Adriaenssens, G.J., 1996, *J. Non Cryst. Solids*, 198/200, 214.

Baranovskii, S. D., Rubel, O., 2006, Description of charge transport in disordered organic materials In: Baranovski S (ed) Charge transport in disordered solids with applications in electronics, *Wiley*, Chichester, 221.

Berleb, Brütting, W., 2002, *Phys. Rev. Lett.*, 89, 286601.

Bernanose, A., Comte, B., Vouaux, P., 1953, *J. Chim. Phys.*, 50, 64.

Braun, D., Heeger, A. J., 1991, *Appl. Phys. Lett.*, 58, 1982.

Brütting, W., 2005, Physics of Semiconductors, *WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA*, Weinheim, 3.

Burroughes, J. H., Bradley, D. D. C., Brown, A. R., Marks, R. N., MacKay, K., Friend, R. H., Burns, P. L., Holmes, A. B., 1990, Light-emitting diodes based on conjugated polymers, *Nature*, 347 (6293), 539.

Burroughes, J. H., Jones, C. A., Friend, R. H., 1988, *Nature*, 335, 137.

Cantatore, E., Meijer, E. J., 2003, *Proc. 29th Eur. Solid-State Circuits Conf. ESSCIRC '03*, 29.

Chiang, C. K., Fincher, C. R., Park, Jr. Y. W., Heeger, A. J., Shirakawa, H., Louis, E. J., Gau, S. C., Alan G. MacDiarmid, 1977, *Phys. Rev. Lett*, 39, 1098.

Coyle, J. D., 1986, Introduction to Organic Photochemistry, *John Wiley & Sons*.

Davids, P. S., Campbell, I. H., Smith, D. L., 1997, *J. Appl. Phys.*, 82, 6319

Dodabalapur, A., Torsi, L., Katz, H. E., 1995, *Science*, 268, 270–271.

Godlewski, J., Kalinowski, J., 1975, Photosensitive Space Charge Controlled Currents in Tetracene Crystals, *Phys. Stat. Sol. A*, 32, K173–K175.

Gommans, H. H. P. , Kemerink, M., Andersson, G. G., Pijper, R. M. T., 2004, *Phys. Rev. B.*, 69, 155216.

Hamaguchi, C., 2001, Basic Semiconductor Physics, *Springer*, New Delhi, 263.

Haque, S., Koops, S., Tokmoldin, N., Durrant, J., Huang, J., Bradley, D., Palomares, E., 2007, *Advanced Materials*, 19, 683-687.

Helfrich, W., Schneider, W. G., 1965, *Phys. Rev. Lett.*, 140, 229.

Horowitz, G., 1998, Organic Field-Effect Transistors., *Adv. Mater.*, 10(5), 365-377.

Horowitz, G., Fichou, D., Peng, X. Z., Xu, Z., Garnier, F., 1989, *Solid State Communications*, 72, 381.

Hosokawa, C., Tokailin, H., Higashi, H., Kusumoto, T., 1992, Transient behavior of organic thin film electroluminescence., *Appl. Phys. Lett.*, 60, 1220.

Kalinowski, J., Cocchi, M., Virgili, D., Di Marco, P., Fattori, V., 2003, *Chemical Physics Letters*, 380 710-715.

Kallmann, H., Pope, M., 1960, Bulk Conductivity in Organic Crystals, *Nature*, 186(4718), 31.

Kallmann, H., Pope, M., 1960, Positive Hole Injection into Organic Crystals, *The Journal of Chemical Physics*, 32, 300.

Karl, N., Marktanner, J., 2001, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 355, 149.

Klauk, H., 2006, Organic Electronics, *WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA*, Weinheim.

Koenigsberger, J., Schilling, K., 1910, *Ann. Physik*, 32, 179.

Koezuka, H., Tsumara, A., Ando, T., 1987, *Synth. Met.*, 18, 699.

Kus, M., Ozel, F., Varal, N. M., Ersoz, M., 2013, *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 134, 509-524.

Lampert, M.A., Mark, P., 1970, Current Injection in Solids., *Academic Press*, New York.

Li, Y., Rizzo, A., Cingolani, R., Gigli, G., 2006, *Advanced Materials*, 18, 2545-2548.

Lin, J. L., Sah, W. J., Lee, S. C., 1991, *IEEE Electron Device Lett.*, 12, 120.

Lin, Y. Y., Gundlach, D. J., Nelson, S. F., Jackson, T. N., 1997, *IEEE Electron Device Lett,*. 18, 606.

Lin, Y. Y., Gundlach, D. J., Nelson, S. F., Jackson, T. N., 1997, *IEEE Trans. Electron Devices*, 44, 1325.

Liu, C. Y., Chen, S. A., 2007, *Macromol. Rapid Commun.*, 28, 1743.

Malliaras, G. G., Scott, J. C., 1999, *J. Appl. Phys.*, 85, 7246.

Martens, H. C. F. , Brom, H. B., Blom, P. W. M., 1999, *Phys. Rev.*, B 60, R8489.

Martens, H. C. F., Huiberts, J. N., Blom, P. W. M., 2000, *Appl. Phys. Lett.*, 77/12, 1852.

Monkman, A. P., Borrows, H. D., Hartwell, L. J., Horsburg, L. E., 2001, *Phys. Rev. Lett.*, 86, 1358–1361.

Mort, J., Pai, D.M., 1976, Photoconductivity and Related Phenomena, *Elsevier New York*.

Mott, N. F., Gurney, R. W., 1940, Electronic Processes in Ionic Crystals, *Clarendon Press*, Oxford.

Murgatroyd, P. N., 1970, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 3, 151.

Niedermeir, U., 2010, Magnetic field effect in organic light emitting diodes, Ph.D. thesis, *Technishe Universitat Darmstadt*.

Pollak, M., 1972, *J. Non Cryst. Solids*, 11, 1.

Pope M., Swenberg, C. E., 1982, Electronic Processes in Organic Crystals, *Clarendon Press*, Oxford.

Pope, M., Kallmann, H., Magnante, P., 1963, *J. Chem. Phys*., 38, 2042.

Ridley, B. A., Nivi, B., Jacobson, J. M., 1999, *Science*, 286, 746.

Shklovskii, B. I., Efros, A. L., 1971, *Sov. Phys. JETP*., 33, 468.

Shklovskii, B. I., Efros, A. L., 1984, Electronic properties of doped semiconductors, *Springer*, Berlin, Heidelberg, New York.

Silinsh. E. A., 1980, Organic Molecular Crystals., *Springer*, Berlin.

Stallinga, P., 2009, Elektrical Characterization of Organic Electronic Materials and Devices, *Jonh Wiley & Sons Ltd.*, Great Britain by TJ International, Padstow, Cornwall.

Sun, B., Sirringhaus, H., 2005, *Nano Lett.*, 5, 2408.

Sun, C. J., Wu, Y., Xu, Z., Hu, B., Bai, J., Wang, J. P., Shen, J., 2007, *Applied Physics Letters*, 90, 232110-232113.

Sze, S.M., 1981, Physics of Semiconductor Devices. 2nd edn., *Wiley*, New York.

Taberna, P. L., Mitra, S., Poizot, P., Simon, P., Tarascon, J. M., 2006, *Nat. Mater.*, 5, 567-573.

Tang C. W., VanSlyke, S. A., 1989, *J. Appl. Phys.*, 65, 3610.

Tang, C. W., 1986, *Appl. Phys. Lett*., 48, 183.

Tang, C. W., Vanslyke, S. A., 1987, Organic electroluminescent diodes, *Applied Physics Letters*, 51(12), 913

Tiwari, S., Greenham, N. C., 2009, Charge Mobility Measurement Techniques in Organic Semiconductors, *Opt. Quant. Electron*, 41, 69-89.

Tsang, S. W., So, S. K., Xu J. B., 2006, *Appl. Phys.*, 99, 013706.

Tsung K. K., So, S. K., 2009, *JOURNAL OF APPLIED PHYSICS*, 106, 083710.

Vissenberg, M. C. J. M., 1999, Opto-Electronic Properties of Disordered Organic Semiconductors, *PhD thesis*.

Vissenberg, M. C. J. M., Matters, M., 1998, Theory of the field-effect mobility in amorphous organic transistors, *Phys. Rev. B.*, 57, 12964–12967.

Volmer, M., 1913, *Ann. Physik.*, 40, 775.

Wohlgenannt, T. L. F. M., Mermer, O., Veeraraghavan, G., 2004, *New Journal of Physics*, 6, 185.

Wong, T.C., Kovac, J., Lee, C.S., Hung, L.S., Lee, S.T., 2001, Transient electroluminescence measurements on electron-mobility of *N*-arylbenzimidazoles, *Chem. Phys. Lett.*, 334, 61.

Xu, Z. X., Roy, V. A. L., Stallinga, P., Muccini, M., Toffanin, S., Xiang, H. F., Che, C. M., 2007, *Appl. Phys. Lett.*, 90, 223509.

Xue, J., Uchida, S., Rand, B. P., Forrest, S. R., 2004, *Appl. Phys. Lett.* 85, 5757.

Yan, M., Rothberg, L. J., Papadimitrakopoulos, F., Galvin, M. E., Miller, T. M., 1994, *Phys. Rev. Lett.*, 73, 744.

Zhang, W., Xu, Y., Wang, H., Xu, C., Yang, S., 2011, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95, 2880-2885.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Nurhan Mehmet Varal
Uyruğu	**:**	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Eskişehir / 01.03.1985
Telefon	**:**	+90 555 546 30 36
Faks	**:**	-
e-mail	**:**	nmvaral@gmail.com / nmvaral@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	**Karatay M.P. Anadolu Lisesi, Karatay, Konya**	**2003**
Üniversite	:	**Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya**	**2009**
Yüksek Lisans	:	**-**	
Doktora	:	**-**	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**

UZMANLIK ALANI

Organik Elektronik Cihazlar, OLED, OSC, DSSC, Yarı-iletken Karakterizasyonu

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Kus, M., Ozel, F., Varal, N. M., Ersoz, M., 2013, *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 134, 509-524.