



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

N, N′-DİOKTİL-3,4,9,10-PERİLENDİKARBOKSİİMİD ORGANİK YARIİLETKEN KATKILI n-ZnO/p-Si HETEROEKLEM FOTODİYOTUN IŞIĞA DUYARLILIK PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI

Emrecan EMEKSİZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ocak-2020
KONYA

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

N, N′-DİOKTİL-3,4,9,10-PERİLENDİKARBOKSİİMİD ORGANİK YARIİLETKEN KATKILI n-ZnO/p-Sİ HETEROEKLEM FOTODİYOTUN IŞIĞA DUYARLILIK PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI

Emrecan EMEKSİZ

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

Danışman: Doç. Dr. Murat YILDIRIM

2020, X+32 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Murat YILDIRIM
Dr. Öğr. Üyesi Fatih DURMAZ
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Okan ERDAL

Bu çalışmada katkısız ZnO ve N,N′-dioktil-3,4,9,10-perilendikarboksiimid katkılı ZnO ince filmler sol jel yöntemi ile hazırlandı. Katkısız ve katkılı ZnO ince filmler döndürerek kaplama (spin coating) metodu kullanılarak organik yarıiletken tabanlı fotodiyot oluşturuldu. Hazırlanan katkısız ve katkılı ZnO ince filmlerin yapısal özellikleri araştırıldı. Ayrıca ince filmlerin yüzey görüntüleri AFM ile alındı. AFM sonuçları katkısız ve katkılı ZnO ince filmlerin polikristal yapıya sahip olduğunu doğruladı. Hazırlanan katkısız Au/ZnO/p-Si ve katkılı Au/ZnO-PTCDI-C8/p-Si heteroeklem fotodiyotların optoelektronik karakterizasyonu için gerekli parametrelerin hesaplanabilmesi için diyotların akım-voltaj ve fotoiletkenlik ölçümleri yapıldı. Diyotların arayüzey ve elektriksel özellikleri katkıya bağlı olarak değiştiği tespit edildi. Ayrıca fotodiyotların doğrultma ve fotocevap özellikleri organik yarıiletken katkısı ile geliştirildi. Hazırlanan katkısız Au/ZnO/p-Si foto diyotların fotocevap özelliklerinin organik katkılar kullanılarak bu özelliklerin geliştirilebileceği tespit edildi.

Anahtar Kelimeler: ZnO, PTCDI-C8, Fotodiyot, Sol-jel, Kompozit.

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION PHOTOSENSITIVITY PERFORMANCE OF N,N′-DIOCTYL-3,4,9,10-PERYLENEDICARBOXIMIDE ORGANIC SEMICONDUCTOR DOPED n-ZnO/p-Si HETEROJUNCTION PHOTODIODE

Emrecan EMEKSİZ

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF BIOTECHNOLOGY

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Murat YILDIRIM

2020, X+32 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Murat YILDIRIM
Asst. Prof. Dr. Fatih DURMAZ
Asst. Prof. Dr. Mehmet Okan ERDAL

In this thesis, undoped ZnO and N,N′-Dioctyl-3,4,9,10-perylenedicarboximide doped ZnO thin films were prepared by sol gel method to fabricate the organic semiconductor based photodiode. Undoped and co-doped ZnO thin films were grown on the glass substrates using spin coating method. The structural properties of the thin films were investigated. Also the surface images of undoped and doped ZnO thin films were taken by AFM. The AFM results confirm that the undoped ZnO and co-doped ZnO thin films have the polycrystalline nature. The electrical characterization of prepared undoped

Au/ZnO/p-Si and doped Au/ZnO-PTCDI-C8/p-Si photodiodes were performed by phototransient current measurements, current-voltage characteristics. The electrical parameters and interface properties of the photodiodes were changed with dopants. Also the photoresponse and rectification properties of undoped and co-doped photodiodes were changed. It was found that the photoresponse properties of the undoped Au/ZnO/p-Si photodiodes can be improved using organic dopants.

Keywords: ZnO, PTCDI-C8, Photodiode, Sol-gel, composite.

ÖNSÖZ

Uzmanlık alanımın öğrenilmesinde ara kademelerden biri olan yüksek lisans eğitimin sonuna gelmiş bulunuyorum. Mesleğimin ayrıntılarını öğrenmek ve çevremdekilere faydalı olmak için önümde aşmam gereken birçok engel olduğunun farkında olarak, Uzmanlık eğitimi boyunca ilminden faydalandığım, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim, yanında çalışmaktan onur duyduğum ve ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı değerli hocam, danışmanım sayın Doç. Dr. Murat YILDIRIM'a,

Diğer branş rotasyon eğitiminde bana yardımcı olan hocalarıma ve ekiplerindeki herkese; birlikte çalışmaktan zevk aldığım asistan arkadaşlarıma; değerli meslektaşlarıma,

En çok bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan aileme ve dostlarıma tebrigatımı buraya kayd ile mübahiyim.

Tez çalışmamın gerçekleştirilmesinde maddi destek sağlayan S.Ü. Bilimsel Araştırmalar Koordinatörlüğü'ne (BAP - 19201078 nolu proje) katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Emrecan EMEKSİZ

KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iii**

ABSTRACT ..... **iv**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

ŞEKİLLER ..... **viii**

ÇİZELGELER ..... **ix**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **x**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **2**

2.1. Çinko Oksit (ZnO) 8

3. MATERYAL VE YÖNTEM **10**

3.1. Materyal 10
3.2. Metot 12

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **14**

4.1. Numune Hazırlanması 14
4.2. Deneysel sonuçlar 17

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **24**

KAYNAKLAR **26**

ŞEKİLLER

Şekil 4.1. N,N′-Dioctyl-3,4,9,10-perilendikarboksiimid ($C_{40}H_{42}N_2O_4$, PTCDI-C8), moleküler yapısı ……...…….11

Şekil 4.2. Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapının şematik gösterim ……12

Şekil 4.3 Au/ZnO/p-Si ve Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapılarının, $I-V$ karakteristiklerinin karanlık ve 20 -100 mW/cm^2 ışık şiddeti aralığında elde edilmesi için kullanılan Fytronix SS-7000 Solar Simulator ölçüm sistemi ……..13

Şekil 4.4. (a) Au/ZnO/p-Si ve (b) Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapılarının oda sıcaklığında alınan karanlık ve faklı ışık şiddetlerindeki akım-voltaj karakteristikleri ……...14

Şekil 4.5. Doğrusal bir fotoiletken mekanizma sergileyen Au/ZnO/p-Si ve Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapıların m değerlerinin gösterimi (-3V'ta) ..……....15

Şekil 4.6. (a) Au/ZnO/p-Si and (b) Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklemleri için çeşitli aydınlatmalarda elde edilen fotoakım değerleri …….…....16

ÇİZELGELER

Çizelge 4.1. Au/ZnO/p-Si ve Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapıların oda sıcakğınıda yapılan ölçümleri ile elde edilen diyot parametreleri ……..28

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

LED : Işık Yayan Diyot

FET : Alan Etkili Tansistör

MEH-PPV : poli[2-metoksi-5-(2-etilhekziloksi)-1,4-fenilenvinil]

PCBM : [6,6]-fenil-C61-bütrik asit metil ester

PTCDI-C8 : N,N′-dioktil-3,4,9,10-perilendikarboksiimid

P3HT : Poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl)

Φ_B : Bariyer yüksekliği

PV : Fotovoltaik (Photovoltaic)

SAW : Akustik Dalga Cihazları

TE : Termiyonik Emisyon

HOMO : En yüksek işgal edilen moleküler orbital

LUMO : En düşük boş moleküler orbital

1. GİRİŞ

Organik bileşikler, kararlılıklarından dolayı son zamanlarda, elektronik devre elemanlarının yapımında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Polimerik ve polimerik olmayan organik bileşiklerin elektriksel ve fotoelektriksel özellikleri yaygın olarak araştırılmaktadır. Polimerik olmayan ve polimerik organik bileşik ince filmlerle hazırlanan diyotların, doğrultucu özelliklere sahip oldukları belirlenmiştir. Organik yarıiletkenler ve iletkenler alışılmadık birçok elektriksel, optik ve manyetik özellikler gösterirler ve moleküler elektronik malzemelerin üretimi için kullanılabilirler. Schottky diyotların birçoğu metaller ve inorganik yarıiletkenler ile organik iletken polimerler kullanılarak hazırlanıp karakterize edilmektedirler. İletken polimer malzemeler, ışık yayan diyotlar (LED), alan etkili transistörler (FET) ve fotodiyotlar gibi birkaç optoelektronik malzemelerde aktif bir araç olarak kullanılmaktadırlar. Halen polimer güneş pilleri, inorganik benzerleri ile karşılaştırıldığı zaman, ışık etkisi, esneklik ve kolay üretilmesinden dolayı dikkat çekmektedirler.

Işık yayan diyotlarda geniş ölçüde kullanılan moleküler ağırlıklı büyük polimer poli[2-metoksi-5-(2-etilhekziloksi)-1,4-fenilenvinil] (MEH-PPV) polimeri fotodiyotlarda etkili bir malzemedir. Yapılan çalışmalarda, MEH-PPV ve fulleren türevi olan [6,6]-fenil-C61-bütrik asit metil ester (PCBM) organiklerle yapılan iki-tabakalı fotodiyotların iyi verime sahip oldukları gösterilmiştir.

Bu tez çalışmasında geniş teknolojik uygulamaları olan metal-yarıiletken heteroeklem yapının ara tabakası N,N′-dioktil-3,4,9,10-perilendikarboksiimid (PTCDI-C8) katkılı ZnO dönel kaplama yöntemiyle büyütülmesi sağlanarak Au/ZnO-PTCDI-C8/p-Si heteroeklemi oluşturulmuş, I-V ve C-V ölçümleri alınarak Au/ZnO-PTCDI-C8/p-Si heteroeklem yapının aydınlatma şiddetine bağlı olarak ışığa duyarlılık ve dielektrik özellikleri belirlenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Organik tabanlı ışığa duyarlı malzemelerin geliştirilmesi; teknolojide geniş bir kullanım alanı sunmuştur. Organik tabanlı ışığa duyarlı organik yarıiletkenlere olan genel ilginin ilginç bir nedeni, fotoelektrik özellikleri ayarlamak için kimyasal yöntemler kullanma olasılığıdır. Birçok araştırmacı bu yenidünyayı sadece fotovoltaik uygulamalardaki potansiyeli nedeniyle değil, aynı zamanda fotonik (You ve ark., 2013), moleküler elektronik (Mori, Benten, Okada, Ohkita, & Ito, 2014; Tsujioka & Irie, 2010), ve tıp (Wang, Wang, Fan, & Wang, 2010), alanındaki uygulamalarda da araştırmaktadır. Organik malzemeler muazzam bir gelişme göstermiş, kararlılık ve artırılmış bariyer yüksekliği nedeniyle elektronik cihazlarda da kullanılmıştır. Organik yarıiletken ve türevleri, moleküler yapılarının çeşitliliği ve minimum çevresel etki nedeniyle heyecan verici umutlar sunmaktadır (Mensah-Darkwa ve ark., 2017).

Organik yarıiletken malzeme tabanlı teknoloji, son on yılda, özellikle yenilenebilir enerjileri artırmaya yönelik sıkı politikalar nedeniyle, dikkate değer bir oranda gelişmiştir. Araştırma merkezleri, elektrik için yenilenebilir enerji verimini artırmaya çalışıyor ve bu çalışmalar dünya çapında açıkça bir rekabet hakine geliş durumdadır. Organik yarıiletken malzemelerin bu paradigma değişiminde önemli bir rol alması bekleniyor; sonuç olarak, organik yarıiletken uygulamaları önemli ölçüde artmaya devam edecek. Uygulamalarda, yarıiletken organik bileşik kumarin ve bunun türevlerine fotodiyot, fotodetektör gibi optik cihaz uygulamalarında büyük ilgi oluşmuştur, çünkü görünür ışık aralığında aynı elektronik geçişin, emisyon ve soğurma eğrilerinin maksimumlarının arasındaki dalga boyu veya frekans farkı olarak tanımlana stokes kaymaları, yüksek kuantum verimleri ve flüoresans sergilerler (Ehrl, Kindervater, Deeg, Braeuchle, & Hoppe, 1994).

Organik boyalar, foto iletken özelliklerinin yanı sıra yüksek termal ve kimyasal stabiliteye sahiptir. Literatürdeki birkaç rapor, elektrikli ve optik cihazların üretiminde ve geliştirilmesinde organik boyaların önemine değinmiştir (Schulz-Ekloff, Wöhrle, van Duffel, & Schoonheydt, 2002). Bunlara örnek olarak Metilen mavisi (MB) verilebilir, MB, fenotiyazin organik ailesine ait olan heterosiklik bir aromatik bileşiktir. 670 nm civarında maksimum ışık emilimi gösterdiği rapor edilmiştir ve optik nem sensörü olarak kullanılmıştır (Zanjanchi & Sohrabnezhad, 2005).

Günümüzde, organik bileşiklerin ve inorganik substratların hibrit yapıları olarak üretilen fotodiyotlar ile ilgili teorik ve deneysel çalışmalar hızla artmaktadır. Araştırmacılar daha önce, grafen oksit (GO) katkılı organik nanokompozitler kumarin iskeleler, kobalt ftalosiyanin (CoPC), fenil-C61butirik asit metil ester (PCBM)'e dayanan p-Si Schottky diyotlarını araştırmışlardır (Björström ve ark., 2005; Mekki ve ark., 2016; Ocaya ve ark., 2017). Bu çalışmalarda oluşturulan organik tabanlı heteroeklem yapılarda üst ve alt kontak noktaları dairesel kesite sahiptir. Aydınlatma, düşük kalınlıkta (şeffaf) bir alüminyum pencere oluşturan üst tabakaya yönlendirilir.

Tasarlanan organik tabanlı heteroeklem yapıların performansı, işleyişindeki tam yük taşıyıcı aktarma mekanizmasına ve özellikle yüksek frekanslı uygulamalar için ortaya çıkan katmanlar arası taşıyıcı hareketliliğine bağlıdır. Tipik bir organik tabanlı heteroeklem yapı idealite faktöründen dolayı maksimum cihaz akımını sınırlayan büyük seri dirençten çok daha büyük bir direnç sergiler. Yine de, algılama ve fotovoltaik uygulamalar için kullanım alanı bulmaktadırlar. Tipik bir organik tabanlı heteroeklem yapıya sahip olan fotodiyot karakterizasyonunda, uyarıcı yoğunluklar yaklaşık maksimum 100 mW/cm^2 civarında değişir.

Bir ışığa duyarlı algılayıcıda, bimoleküler rekombinasyon, ışık ile üretilen yüklerin cihaz verimliliğini ciddi şekilde sınırlayabilir. Aynı zamanda, işleyişteki kesin mekanizmalar, hali hazırda bildirilen yöntemler kullanılarak kolayca ölçülemez. Bimoleküler rekombinasyonun boyutunun deneysel olarak belirlenmesi, akıma yoğunluğa olan bağımlılık olarak değerlendirilir. Yoğunluğa karşı doğrusal fotoiletkenlik 1'e tekabül eder ve mononükleer rekombinasyonu gösterir, 0.5 ise bimoleküler rekombinasyonu gösterir.

Organik heteroeklemlerde oluşturulan fotoeksitonlar, ara yüzünde serbest taşıyıcılara ayrışırlar, kuantum veriminde bir artışa ve rekombinasyonun azalmasına neden olurlar (Sariciftci, 2004). Bu tür malzemelerde Langevin rekombinasyonu genellikle Coulomb yarıçapından daha kısa mesafelerde ilerleyen şarj taşıyıcıları nedeniyle gözlenir. Başka bir rekombinasyon mekanizması, yani nonmerminat (veya trimoleküler) rekombinasyonu da rapor edilmiştir. Rekombinasyon fenomeni iyi çalışılmış olmasına rağmen, henüz kesin formları ve kökenleri tam olarak açıklanmamıştır (Sariciftci, 1995).

Koster ve ark. çalışmalarında P3HT:fullerene heteroeklem yapsına sahip güneş hücresinde bimoleküler rekombinant yük taşıyıcıların fraksiyonunu ölçmek için bir yöntem bildirmişlerdir. Konvansiyonel analizin aksine, akım-yoğunluk davranışındaki

görünür doğrusallığa rağmen doğrusal olmayan davranışları ayrıştırırlar. Yaklaşımları, bimoleküler rekombinant mekanizmasına ek olarak yük taşıyıcı sürüklenmesini ve dağılımını da içerir ve bunun 100 mW/cm^2 aydınlanmaya kadar olduğunu gösterir (Koster, Kemerink, Wienk, Maturová, & Janssen, 2011). Aynı zamanda, Koster ve ark. analizlerini, zayıf bimoleküler rekombinant bölgesinde ölçülen fotovoltaik cihazlarını kullanarak kısa devre akım yoğunluğu ile sınırlandırmaktadırlar; Bu gibi ölçümlerde gürültü değerlerindeki tipik gürültüyü azaltarak başarılı olmuşlardır, tavlanmış P3HT: PCBM kompozit numunelerinin özellikli durumunda, yük taşıyıcı sürüklenmesinin ve farklı akım yoğunluğunun etkilerini göz önüne alınmalıdır. Çalışmalar uygulanan alan ve katkılama konsantrasyonunun, fotoiletkenliği önemli derecede etkilendiğini göstermektedir.

Yüksek derece ters öngerilim için, hiçbir kazanım gözlemlenemediğini göstermiştir, çünkü yükte doygunluk, foto-üretilen taşıyıcıların tam olarak toplanmasından kaynaklanmaktadır. Kazanç oluşur çünkü temas foto-üretilen taşıyıcılara göre negatif ikincil yük taşıyıcılarının enjeksiyonunu zorlar. Yüksek ters önyargılı taşıyıcı enjeksiyonun da taşıyıcı hızı doygunluğu gibi başka etkilerin olmaması, beklenen lineer foto-akım tepkisini üretecektir. İlk defa, öngerilim ve ışınımın bir fonksiyonu olarak fotoiletkenliğin hızlı bir şekilde karakterizasyonunu sağlayan deneysel temelli bir metot sunuyoruz. Bu yöntem, malzeme tepkisi boyunca işleyişteki olası rekombinasyon modlarının yorumlanmasını kolaylaştırır. Deneysel veriler tarafından desteklenen basit argümanları kullanarak, elde edilen parsellerin, farklı yanlılık ve malzeme katlamadaki farklılıkları nasıl kolayca vurguladığını gösterdik. Koster ve ark. ayrıca fotoiletkenlikğin yoğunluğa bağlı olduğunu göstermiştir (Koster ve ark., 2011). Öngerilim ile sürekli bir karakterizasyon, fotoiletkenliğin 1'den büyük olduğunu gösteren belirli organik kompozitler üzerindeki ampirik ölçümlerin ışığında avantajlıdır. Bu, mononükleer veya bimoleküler rekombinant dışındaki mekanizmaların işleyişte olabileceğini düşündürmektedir. Tam ters gerilim eşik voltajının belirli organik kompozit ve katkılama derecesine bağlıdır. Bu davranış Shockley-Ramo teoremi ile açıklanabilir (Ramo, 1939; Shockley, 1938), burada indüklenen elektrot akımının baskın olarak, elektrotta sonlanan ani elektrostatik akı, elektrottaki net şarj varış hızından daha fazla olması nedeniyledir. Ek olarak, sürekli fotoüretilen, geçiş süresi yakalama süresinden daha kısa olduğunda fotoğraf akımının doygunluğuna katkıda bulunur.

Aynı zamanda, elektron deşiği taşıma özelliklerinde bir dengesizlik, omik bir temasın yakınındaki malzemede net bir pozitif yük bırakmaktadır. Termiyonik emisyon teorisinin geçerliliği varsayarsak, gerilim, ışınım, idealite faktörü ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak bariyer yüksekliği (Φ_B) değişimi elde edilebilir.

Yakın geçmişte, organik ve inorganik maddelerin elverişli karışımını içeren hibrit materyaller, yeni ortaya çıkan hibrit optoelektronik cihazların alanı için yapılan araştırmayı etkilemiştir. Özellikle hibrit boyaya duyarlı veya organik güneş pilleri ve fotodiyotlar, konvansiyonel ve aynı zamanda gelişmekte olan inorganik yarı iletken malzemelerle birlikte yüksek iletken polimerler ile birlikte ciddi araştırmalara yol açmıştır (Jäckle ve ark., 2015).

Fotodiyotlar, Schottky, p-n veya p-i-n bağlantılarının, ışıkla aydınlatma ile üretilen elektron ve deşik çiftlerinin yerleşik elektrik alanından taşındığı konfigürasyonlardan birine sahip olan fotosensörlerdir. Enerjik fotonlara karşı hassastırlar ve uygulamalı optoelektronik için en iyi yarı iletken dedektörler olarak kabul edilirlir. Gelen foton enerjisini elektriğe dönüştürürler. Fotodiyot, bant boşluğundan daha yüksek enerjilere sahip fotonlara maruz kaldığında, tükenim bölgesi içinde fotoelektron deşik çiftleri oluşturulur ve bu yükler birleşme elektrik alanı tarafından nötr bölgelere ayrılır ve sürüklenir ve böylece fotoüretilmiş delik elektron rekombinasyonundan kaçınır. Daha sonra harici devre boyunca fotoakımı taşıyıcı kayması ile gerçekleştirilir (Tataroğlu ve ark., 2016).

Doğal çivit mavisi ($C_{16}H_8N_2Na_2O_8S_2$ indigo Carmine) boya, Roma ve Mısır uygarlıklarına dayanan kararlı organik boyalardan biridir (Seixas de Melo, Moura, & Melo, 2004). 1×10^{-2} cm^2 $V^{-1}s^{-1}$ iyi oranlanmış yüksek taşıyıcı hareketliliğine sahip, 1.7 eV'lik bir iç bant aralığına sahip organik bir yarı iletkendir. Ayrıca, son derece ucuz, toksik olmayan ve biyolojik olarak parçalanabilen doğal çivit mavisi kendisine alan etkili transistör uygulamalarında yer bulmuştur (Irimia-Vladu ve ark., 2012). Çivit yüksek erime noktasına (~391 ° C), bununla birlikte istisnai derecede düşük çözünürlüğe sahiptir, moleküller arası ve molekül içi hidrojen bağları ile elde edilen stabilizasyon ile tarif edilmiştir. π-bölgelerinin moleküler arası etkileşimleri, çözeltilerde ölçülen çivitlerin titreşimli ve elektronik spektrumları üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir ve çivit ince filmlerde tespit edilen makul yük taşınmasının, bu güçlü moleküller arası etkileşimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir (Irimia-Vladu ve ark., 2012). Irimia-Vladu ve ark. etkili bir hibrit fotodiyot oluşturmak için Au ve n-Si arasında bir arayüzey çivit kaplama kullanılmıştır. Metal ve yarı iletken yapılar arasında

yeni bir organik ara katmanın dahil edilmesi, yeni yarıiletkenlerin araştırılmasında hibrit yapılar oluşturulması bakımından önemli fırsatlar yaratmaktadır.

Heteroeklemlerde kullanılan organik arayüzey yarıiletkenleri metalden ayırır ve arayüzeydeki reaksiyonları ve difüzyonu önler. Son zamanlarda, fotodiyot (Yıldırım & Kocyigit, 2018), Fotovoltaik hücre (Oseni ve ark., 2018) , alan etkili transistör (Shahbazi, Bahari, & Ghasemi, 2016; Turut, Karabulut, Ejderha, & Bıyıklı, 2015), ışık yayan diyot uygulamalar (Zhang, Zheng, & Shen, 1999) için ince bir organik ara katman ile entegre edilmiş metal-yarı iletken hibrid yapılardan yapılan cihazlarda önemli çalışmalar bildirilmiştir. Bununla birlikte, bu yeni fotodiyotlar, metal ve yarı iletken arasındaki yeni bariyer yüksekliği, değiştirilmiş seri direnci ve arayüzdeki ekstra enerji dağılım durumları ile ek arayüz organik tabakasının neden olduğu homojensizlikler nedeniyle ideal durumlarından farklıdır.

Organik malzemelerin kullanılmasının en önemli faydalarından biri inorganik olanlara göre, ucuz malzemelerden elde edilen düşük maliyet ve yüksek elektriksel iletkenlik, çevre dostu doğa ve çevre koşullarında daha iyi kararlılık ile birlikte spin veya elektrospin kaplama gibi uygulama işlem basamaklarının uygulamasına olanak sağlamalarıdır. Esnek yüzeylerde bile cihazın üretimini kolaylaştırmak için düşük sıcaklıklarda büyük ölçeklerde zahmetsizce hazırlanabilirler.

Son yıllarda bilim adamlarının bilimsel araştırmalarda gösterdiği gayret sadece elektronik aygıtların boyutlarını küçültmekle kalmamış teknolojinin adının ve yönünün değişmesine de neden olmuştur. Milyonlarca dolar bütçenin ayrıldığı, elektronik, kimya, fizik, malzeme bilimi, uzay ve sağlık bilimlerinin bir arada çalıştığı bu yeni bilime nanoteknoloji denilmektedir. Moleküler üretim olarak da adlandırılan nanoteknoloji, maddeyi nanometre seviyesinde işleyerek ve bu boyutlarda maddenin kazandığı değişik fiziksel, kimyasal, biyolojik özellikleri de kullanarak çalışan cihazlar ve sistemler elde etmeyi amaçlamaktadır. Nanoteknoloji malzemeleri arasında; elmas filmler, organik filmler, yarıiletkenler, metal filmler, dielektrikler, ferroelektrik filmler ve piezoelektrik filmler bulunmaktadır. Bunlar arasındaki yarıiletkenler günlük hayatımızda bilgisayarlardan cep telefonlarına kadar sıkça kullandığımız cihazların yapımında önemli bir yere sahiptir. Günümüz elektronik ürünlerinde kullanılan transistörler, doğrultucu diyotlar, yarıiletken güneş pilleri, termistörler (Aleksic & Nikolic, 2017), detektörler, sensörler gibi birçok cihaz yarıiletken maddelerden yapılır. 1940'ların sonlarına doğru ortaya çıkan yarıiletken malzemeler elektronik endüstrisinde çok önemli değişikliklere neden olmuştur.

Gerçekleşen minyatürleşme ile daha önceki devrelerin tek bir elemanından binlerce kat daha küçük bir pul üzerine şimdi komple sistemler yerleştirilebilmektedir. Yarıiletken sistemler daha küçük ve hafif olmaları, ısınmadan kaynaklanan kayıpların olmaması, daha sert yapıda olmaları, daha verimli olmaları ve ısınma sürelerine gerek duymamaları gibi özellikleri nedeniyle tercih edilirler. Günümüzde güvenliğin daha da önem kazanması nedeniyle yanıcı, patlayıcı ve zehirleyici gazların algılanmasına yönelik araştırmalar artmaktadır. Bu doğrultuda sensörlerin önemi ortaya çıkmaktadır.

Sensörler çevredeki bir uyarıcıdan gelen ve insan duyu organları ile çok az veya hiç hissedilmeyen kimyasal ve fiziksel uyarıları hassas bir şekilde algılayıp ölçülebilen niceliklere çeviren elektronik devre elemanlarıdır. Sensörler, dış ortamdaki fiziksel veya kimyasal değişimleri algılayabilen ve bu değişimleri elektrik sinyaline dönüştürebilen aygıtlardır. Gaz ortamında çalışabilen ve bu ortamdaki gazın varlığını, cinsini veya yoğunluğunu algılayabilen sensörlere ise gaz sensörleri denir. Gaz sensörleri atmosferik gazların algılama, ortaya çıkarma ve analiz edilmesini sağlar. Bu nedenle gaz sensörleri birçok endüstriyel uygulamalarda kullanılır. Örneğin maden ocaklarında toksik ve patlayıcı gazların ortaya çıkarılmasında, kalıntı gaz sızıntılarının önlenmesi ve atmosferik kirliliği kontrol etmek için kullanılır. Endüstriyel alanda gaz sensörü ihtiyacının bu kadar yüksek olması ekonomik olarak büyük bir pazar oluşturmaktadır.

Dolayısıyla günümüzde bu tür cihazların üretimi için nano boyutlu malzeme sentezi gereklidir. Bu nedenle günümüzde nanoteknolojiye yapılan yatırımlar gün geçtikçe artmaktadır. Gaz sensörü uygulamalarında kullanılan ince ya da kalın film formunda kullanılan sensörler oldukça etkin çalışmaktadır. Bu sensörlerin küçük boyutlu olması, basit üretilebilmesi, düşük maliyetli olması, hafif olması ve düşük güç tüketimine sebep olması bu cihazların avantajlarıdır. Bu özellikleri elde etmek için birçok yarı iletken metaloksit (SnO2 ve ZnO gibi), gaz sensörü üretiminde kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda kalınlığı 1μm'den küçük filmler ince film (thin film) ve kalınlığı 1μm'den büyük filmler kalın film (thick film) olarak adlandırılmıştır. İnce filmler atomların ya da moleküllerin kaplanacakları yüzeye tek tek dizilmeleriyle hazırlanabilmektedir.

Sol-jel yöntemi diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında; toz saflığı yüksektir ve başlangıç malzemeleri distilasyonla, kristallenmeyle ya da elektrolizle kolayca saflaştırılabilir. İşlem sıcaklığı oldukça düşüktür ve kimyasal reaksiyonların kinetiği kolayca kontrol edilir. Ayrıca birincil kolloidal tanelerin çekirdekleşme ve tane

büyümesi kontrol edilerek istenilen şekil, tane ve tane boyut dağılımı elde edilebilir. Bu nedenlerden dolayı sol-jel yöntemi bu tez çalışması için uygun bir yöntem olarak seçilmiştir.

Bu tez çalışmasının amacı; boyalarda, parfümlerde, temizlik malzemelerinde, patlayıcılarda, gübre yapımında, sanayide, nitrik asitin üretiminde, ürede ve plastiklerde çok miktarda kullanılan yoğun ve zararlı bir amonyak gazı ortamında çalışabilen ve bu şartlarda tepki veren ZnO tabanlı ve organik yarıiletken katkılı nano yapılı bir fotodiyot üretmektir. Işık duyarlılığının yanı sıra cevap süresinin kısa ve geri dönüşümünün ise hızlı olması amaçlanmaktadır.

Bu bağlamda üretilecek olan numuneler sol-jel yöntemi yardımıyla hazırlanacak ve bu hazırlanan film yüzeyine tasarlanan heteroeklem yapıya sahip foto diyotların morfolojik özellikleri, elektriksel özellikleri ve ışık duyarlılık özellikleri araştırılmıştır. Bulunan sonuçların ise literatürle uyumluluğu incelenerek gerekli yorumlar yapılmıştır.

2.1. Çinko Oksit (ZnO)

Çinko oksit önceleri sadece boya maddesi olarak kullanılmakta ve “beyaz çinko”, “çin beyazı” veya “çiçek beyazı” olarak adlandırılmaktaydı. Çinko oksit, bakırın eritilmesinden ortaya çıkan bir yan ürün olarak bilinmekteydi. Romalılar ise “cadmia” olarak adlandırmışlar ve pirinç elde etmekte, melhem yapımında kullanmışlardır. Bununla birlikte Roma’daki tüm kimyacılar cadmia’nın altına dönüştürülebileceğini düşünmüşlerdir. Isı ve ışık veren oksitlenme özellikleri olan cadmia metal çinkonun yanmasıyla elde edilmesi 18. yüzyılın ortalarında, Alman kimyacı Cramer tarafından gerçekleştirilmiştir. Beyaz çinko 1781 yılında Fransa’da üretmeye başlamasına rağmen sanayide kullanılması 1840lı yıllara kadar uzandı. Bu tarihten itibaren Reclaire tarafından sanayide kullanılmaya başlanmıştır (Kirk-Othmer, 2007).

1850’li yıllarda New Jersey deki S. Wethrill şirketi tarafından geliştirilen yöntem ile fırın içinde yüksek sıcaklıkta çinkoyu ısıtarak çinko koru haline getirdiler ve fırın dışına çıkarılan kor halindeki çinkonun havadaki oksijenle temasa geçmesiyle çinko oksit elde etmişlerdir. Bu yöntem geliştirilmiş fakat günümüzde yaygın olarak kullanılmamaktadır. Yerkabuğunda en çok bulunan elementler arasında 23. sırada ve kırılgan bir metal olan çinko, mavimsi açık gri renkte olup, düşük kaynama sıcaklığı özelliği ile geçiş elementleri grubunda yer alır. Oluşturduğu bileşiklerde kovalent bağ

yapan ve bileşiklerinde (+2) değerlikli olarak bulunan çinko oksit, doğada “mineral zinkit” olarak bulunur.

ZnO tabanlı cihazlar, yüzey akustik dalga cihazları (SAW) için bir transduser olarak kullanılan ve iyi bilinen bir piezoelektrik malzemedir. ZnO ince filmler gaz sensörleri, güneş pilleri, optoelektronik cihazlar, şeffaf iletkenler ve optik dalga kılavuzları gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır. Çinko oksit film hazırlamada kullanılan birçok metot vardır. Bunlar arasında soljel metodu, geniş yüzeylere az bir maliyetle uygulanabilmesi ve filmin mikroyapısının kolayca kontrol edilebilmesi sebebiyle tercih edilmektedir.

Sol-jel ile hazırlanan filmlerin mikroyapısını ve optik özelliklerini etkileyen birçok parametre vardır. Bunlardan bazıları şunlardır: Sol’ün kimyasal kompozisyonu ve konsantrasyonu, kaplama parametreleri, filmin kalınlığı, kaplama yapılan her kat arasında uygulanan kurutma sıcaklığı ve kurutma süresi ve son ısıl işlem sıcaklığıdır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde çalışmada kullanılan materyal ve yöntemler hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1. Materyal

Son yıllarda büyük ilgi gören kaplamalar arasında çinko oksit tabanlı kaplamalar yaygın olarak kullanılma alanı olan indiyum ve kalay tabanlı oksit filmlere göre daha büyük orandadır. Bununla birlikte çinko oksit filmlerin indiyum ve kalay oksit tabanlı filmlere göre daha ucuz olması önemli bir avantaj olarak söylenebilir. Saf çinko oksit filmler şeffaftırlar, fakat genellikle yüksek dirence sahip olan saf çinko oksit filmlerin katkı oranları göz önüne alındığında saf çinko oksit filmlerin sahip olduğu yüksek direnç özelliği kendini yüksek iletkenlik özelliğine bırakır. Bununla birlikte katkısız çinko oksit filmler stokiyometrik olmayan filmler olarak adlandırılır ve yüksek sıcaklıklarda stabil olmadığı gözlenmiştir. Katkılı ZnO filmler pratik uygulamalar için daha uygun olduğu literatürde birçok çalışmada vurgulanmıştır. Bu tez çalışmasında kaplama yöntemi olarak sol-jel yöntemi yukarıda sıralanan avantajlarından dolayı ince film kaplama yöntemi olarak sol jel yöntemi seçilmiş ve organik katkılı çinko oksit arayüzeye sahip hetero eklem yapılar oluşturulmuştur (Arif ve ark., 2015).

Organik elektronik alanı, yani organik yarıiletkenlere dayanan elektronik cihazlar hızlı bir şekilde ilerlemiştir ve organik ince film malzemelerine dayanan elektronik yakında yarı iletken teknolojisinin bir dayanak noktası haline gelmiştir. Organik yarıiletkenlerin performansı doğrudan moleküler paketleme, kristallik, büyüme modu ve saflık ile ilgilidir (Virkar, Mannsfeld, Bao, & Stingelin, 2010). İnorganik yarı iletkenlerde p orbitallerindeki delikler ve elektronlar tipik yük taşıyıcılarıdır. Yük taşıma tipik olarak, yük taşıyıcılarının bir molekülden diğerine geçme kabiliyetine bağlıdır, bu da en yüksek işgal edilen moleküler orbital (HOMO) ve en düşük boş moleküler orbital (LUMO) seviyeleri arasındaki enerji boşluğuna bağlıdır. İletim bandı ve değerlik bandı genellikle sırasıyla LUMO ve HOMO ile değiştirilir. Özellikle organik yarı iletkenlerin amorf katmanlarında, durumların yoğunluğu (Density of States, DOS), bireysel moleküllerin lokalize moleküler orbitallerinin Gausiyen benzeri bir dağılımı ile oldukça iyi temsil edilir (Peumans, Yakimov, & Forrest, 2003).

Bu malzemeler ya pentasen (pentacene), antrasen (anthracene), rubren (rubrene) veya oligotiyofenler gibi oligomerlere ya da polipirol, poliasetilen, poli(3-heksiltiyofen)(P3HT) veya poli(p-fenilen vinilen) (PPV)gibi polimerlere dayanmaktadır (Mishra & Bäuerle, 2012). Zhan ve ark. çeşitli tekniklerle ölçülen çeşitli organik yarı iletkenlerin LUMO enerjileri arasındaki ilişkileri sunulmuştur. Bu korelasyonlar, çeşitli yöntemlerin doğruluklarını ve avantajlarını değerlendirmemize ve eksiton bağlanma enerjisi ile enerji boşluğu arasında bir ilişki çıkarmamıza izin verir (Zahn, Gavrila, & Gorgoi, 2006). Perylene türevleri, PTCDA (Perylene-3,4,9,10-tetracarboxylic dianhydride $C_{24}H_8O_6$), PTCDI-Ph (N,N′-Diphenyl-3,4,9,10-perylenedicarboximide, $C_{36}H_{18}N_2O_4$), PTCDI-C5 (N,N′-Dipentyl-3,4,9,10-perylenedicarboximide, $C_{34}H_{30}N_2O_4$) ve PTCDI-C8 (N,N′-Dioctyl-3,4,9,10-perylenedicarboximide, $C_{40}H_{42}N_2O_4$) teknoloji uygulamaları için yüksek elektriksel iletkenlik ve mobilite sayesinde popüler yarıiletkenlerdir. (Forrest, Leu, So, & Yoon, 1989; Hiramoto, Suezaki, & Yokoyama, 1990; Tang, 1986; Wöhrle ve ark., 1995).

Organik yarı iletken malzemenin cihaz uygulamalarında etkisi üzerine bir dizi deneysel çalışma vardır. Bununla birlikte, Au/PTCDI-C8:ZnO/P-Si heteroeklemin ışığa duyarlılığı ile ilgilikapsamlı bir çalışma literatür çalışmasında rastlanmamıştır. Bu nedenle, elektriksel özelliklerin ayrıntılı olarak incelenmesi gerekir. Literatürde, organik/inorganik yarı iletken arayüzlerde bariyer oluşumu ve geniş bir sıcaklık aralığında arayüzeylerin sıcaklığa bağlı iletim mekanizmaları hakkında çok az deneysel bilgi mevcuttur.

Termiyonik emisyon (TE) teorisine dayanan cihazların I-V özelliklerinin analizi genellikle bariyer yüksekliğinde anormal bir düşüş ve azalan sıcaklıkta idealite faktöründe bir artış olduğunu ortaya koymaktadır (Dökme & Altindal, 2006)(Ş. Karataş, Altındal, & Çakar, 2005). Standart TE teorisi, Schottky bariyer yükseklik varyasyonunun sadece sıcaklık ile bant aralığının değişimi ile kontrol edilmesini beklediği için bu sonucu açıklamamaktadır (Kaya, Sevgili, & Altındal, 2014).

Schottky temaslarındaki Schottky bariyer yüksekliğinin atomik yapının bir fonksiyonu olması muhtemeldir ve tane sınırları, kusurlar, çoklu fazlar vb. neden olan metal-yarı iletken arabirimdeki atomik homojenlikler (Şükrü Karataş, Yildirim, & Türüt, 2013). Oda sıcaklığında cihazların I-V özelliklerinin analizi sadece iletim süreci veya metal-yarı iletken arayüzünde bariyer oluşumunun doğası hakkında ayrıntılı bilgi vermez. $I-V$ karakteristikleri sıcaklık bağımlılığı, iletim mekanizmalarının farklı yönlerini anlamamızı sağlar. Bu çalışmanın amacı, ZnO tabanlı heterojonksiyon

cihazlarında katkılı PTCDI-C8 materyalinin potansiyel kullanımını araştırmak ve Au/PTCDI-C8:ZnO/P-Si heterojonksiyonunun elektriksel özelliklerini belirlemektir.

3.2. Metot

Bu tez çalışmasında kompozit malzemenin üretimi için sol jel yöntemi seçilmiştir. Bir kolloid, dağınık fazın çok küçük olduğu (1-1000 nm), yerçekimi kuvvetlerinin ihmal edilebilir olduğu ve etkileşimlerin Van der Waals cazibe ve yüzey yükleri gibi kısa menzilli kuvvetlerin hakim olduğu bir süspansiyondur. Dağınık fazın eylemsizliği, Brownian hareketini sergileyecek kadar küçüktür, bu da süspansiyon ortamının molekülleri ile çarpışmalar tarafından verilen momentum tarafından yönlendirilen rastgele bir ilerleyiştir. Sol, bir sıvıdaki katı parçacıkların kolloidal bir süspansiyonudur.

Aerosol, bir gazdaki parçacıkların kolloidal bir süspansiyonu olarak adlandırılırken (süspansiyon parçacıklar sıvı ise sis, katı ise duman olarak adlandırılabilir) emülsiyon, başka bir sıvıdaki sıvı damlacıkların süspansiyonudur. Bu tür kolloidlerin tümü, seramik malzemelerin yapılabileceği polimerler veya parçacıklar üretmek için kullanılabilir. Bir seramik genellikle ne olmadığını söyleyerek tanımlanır: metalik olmayan ve inorganiktir; bazılarının da kalkonit (chalcogenide) olmadığını söylenir. Böylece hem kristal hem de kristal olmayan tüm metal oksitleri, nitrürleri ve karbürleri içerir. Sol-jel işleminde, bir kolloidin hazırlanması için öncüler (*precursors,* başlangıç bileşikleri), çeşitli ligandlarla çevrili bir metal veya metaloid elementten oluşur (başka bir metal veya metaloid atomu içermeyen ekler). Örneğin, alüminyum oksit için ortak öncüler, $Al(NO_3)_3$ gibi inorganik (karbon içermeyen) tuzları ve $Al(OC_4H_9)_3$ gibi organik bileşikleri içerir. İkincisi, sol-jel araştırmasında en çok kullanılan öncülerin sınıfı olan bir alkoksit örneğidir. Bir Alkan, metan (CH_4) ve etan (C_2H_6) gibi sadece tek bağlarla bağlanan sadece karbon ve hidrojen içeren bir moleküldür; Genel formül C_nH_{2n+2}'dir.

Bir alkil, örneğin metil (•CH3) veya etil (•C2H5) üreten bir Alkan molekülünden bir hidrojen (proton) çıkararak oluşan bir ligandtır (burada nokta • bir bağ oluşturmak için mevcut olan bir elektronu gösterir). Bir alkol, metanol (CH3OH) veya etanol (C_2H5OH) gibi bir alkil (veya diğer) moleküle bir hidroksil (OH) grubu eklenerek oluşturulan bir moleküldür. Bir alkoksi, metoksi (•OCH3) veya etoksi (•OC2H5) gibi bir alkol üzerindeki hidroksilden bir protonun çıkarılmasıyla oluşan bir ligandtır.

Metal alkoksitler metal ailesinin üyeleridirbir metal veya metaloid atomuna bağlı organik bir ligand olan organik bileşikler. En iyi çalışılan örnek silikon tetraetoksit (veya tetraetoksisilan veya tetraetil ortosilikat, TEOS), $(OC_2H_5)_4$'tür. Organometalik bileşikler, metal alkoksitlerde olduğu gibi metaloksijen-karbon bağlantıları değil, doğrudan metal-karbon bağlarına sahip olarak tanımlanır; bu nedenle, alkoksitler organometalik bileşikler değildir, ancak bu kullanım literatürde sıklıkla ortaya çıkar. Metal alkaksidler, su ile kolayca reaksiyona girdikleri için popüler öncülerdir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölüm diyotlarının yapımı için izlenen yol, kullanılacak malzemeler, temizleme yöntemler, numunelerin hazırlanması, ölçüm yöntemlerini içerir. Ayrıca hazırlanan numunelerin I-V ölçümlerinin değerlendirilmesini de içerir. Hazırlanan Au/ZnO/p-Si ve PTCDI-C8 katkılı ZnO Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapılar için elektriksel özellikleri I-V karakteristiklerinden hesaplanıp incelenmesinden elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

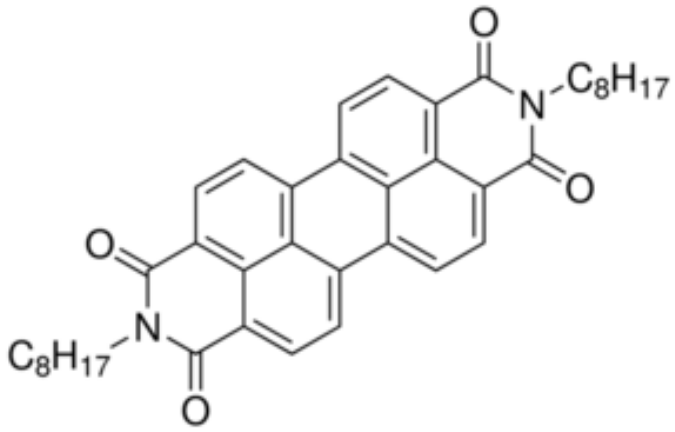
4.1. Numune Hazırlanması

Heteroeklem yapıları hazırlamak titizlik gerektiren bir iştir. Bu tez çalışmasında <100> düzleminde kesilmiş 1,5 cm x 1,5 cm boyutlarında p- tipi Si yarıiletken kullanılmıştır. Daha sağlıklı sonuçlar alabilmek için numunenin organik ve kimyasal kirlerden arındırılmış olması gerekir. Yarıiletken yüzeyinin parlatılma işlemi fabrikada üretim işlemi esnasında yapıldığından dolayı ayrıca mekanik temizleme işlemi yapılmayıp sadece kimyasal temizleme yapıldı. Kimyasal temizleme esnasında aşağıdaki işlemler sırasıyla uygulanmıştır. Temizleme işlemi Radio Corporation of America (RCA) yöntemine göre yapılmıştır. Temizleme işleminin ayrıntıları Yıldırım (2019) taafından ayrıntılı olarak verilmiştir (Yıldırım, 2019).

1,5 cm x 1,5 cm boyutlara sahip p tipi Si kristalinin mat olan tarafının bütün yüzeyine %99,99 saflığındaki indiyum (In) metali $5x10^{-6}$ Torr basınçta termal buharlaştırma yöntemi ile 1500 Å kalınlığında büyütülmüştür. Daha sonra düşük özdirençli omik kontak elde etmek için vakumda 450˚C sıcaklığında yaklaşık 2 dakika ısısal işleme tabi tutulmuştur. Metal/Yarıiletken (MY) omik kontağın oluşturulmasında Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde bulunan ince film ünitesi (Nanovak NVTS21) kullanılmıştır.

N,N′-Dioctyl-3,4,9,10-perylenedicarboximide ($C_{40}H_{42}N_2O_4$, PTCDI-C8), Aldrich firmasından toz olarak satın alınmıştır. PTCDI-C8'nin moleküler yapısı Şekil 4.1'de görülmektedir. PTCDI-C8 çözeltisi 1-2 diklorobenzen içinde 25g/l konsantrasyonu ile çözülerek hazırlanmıştır. Daha sonra çözünmüş malzemeler kuru azot ortamında 60 dakika için 30°C'de karıştırılmıştır. Karıştırma işlemini PTCDI-C8:ZnO organik karışımının hazırlanması amaçlanmıştır. Bu amaçla, kullanılan öncüller çinko asetat dehidrate ($Zn(C_2H3O_2)2{\cdot}2H_2O$) edildi. Karışım metanol içinde

çözüldü. Çinko asetat konsantrasyonu 0.2 M'dır. Daha sonra, karışım çözeltisi, tam karıştırma için spin dökümünden önce gece boyunca karıştırıldı. Bu arada, silikon alttaş (p tipi, 600 mm Kalınlık, 5-10 Ω.cm direnç ve <100> yöneliminde parça kesildi. Aseton ve propanol ile ultrasonik temizleyicide temizlendir ve doğal oksit tabakasını ve safsızlıkları yüzeylerden çıkarmak için 30 saniye boyunca HF:H_2O (1:1) çözeltisine atıldılar. Si alttaş parçalarının arka yüzeyine alüminyum (Al) tabakası 100 nm kalınlığında buharlaştırıldı. Al buharlaştırılmış parçalar, omik kontaklar elde etmek için 2 dakika boyunca 450 °C'de azot ortamında tavlanmıştır. Hazırlanan PTCDI-C8:ZnO blend solüsyonu, spin kaplayıcı ile 30 saniye boyunca 1500 rpm dönme hızında spin kaplama tekniği ile Si substratları üzerine kaplanmıştır. Daha sonra, numune, çözücülerin buharlaşması ve aynı zamanda numunelerin kurutulması için 15 dakika boyunca 150 °C'de sıcak plaka üzerinde termal olarak tavlanmıştır. Hazırlanan numuneler Daha sonra, bir başka Au tabakası, delikli maskeli ile doğrultucu kontak için termal buharlaştırıcı ile 150 nm kalınlığında PTCDI-C8:ZnO ince film yüzeylerine buharlaştırıldı.



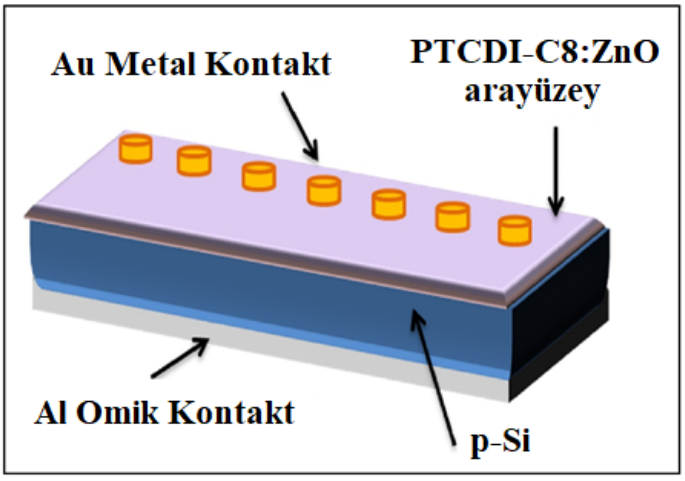
Şekil 4.1. N,N′-Dioctyl-3,4,9,10-perilendikarboksiimid yapısı ($C_{40}H_{42}N_2O_4$, PTCDI-C8), moleküler yapısı.

Solüsyon hazırlama ve PTCDI-C8 ince film büyütme işlemleri Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde bulunan MBraun marka temiz odasında (glovebox) gerçekleştirilmiştir. Bu oda 1.5-2.5 mbar basınçta argon (Ar) gazında muhafaza edilmiştir. 1,5 cm x 1,5 cm boyutlara sahip p tipi Si kristalinin parlak olan tarafının üzerine, Laurell marka spin kaplama cihazı kullanılarak spin (döndürme) kaplama yöntemi ile organik filmi büyütülmüştür.

PTCDI-C8 film 60 saniyede 1200 rpm döndürme hızında büyütülmüştür. Bu aşamadan sonra PTCDI-C8:ZnO/p-Si yapısı hazırlanmış oldu. Schottky (doğrultucu) kontakları oluşturmak için bir maske kullanılarak $5x10^{-6}$ Torr basınçta termal buharlaştırma metodu ile %99,95 saflıktaki altın (Au) metali ile kaplanmıştır.

Doğrultucu kontak oluşturmak için basınç istenilen seviyeye geldiğinde içerisinde Au bulunan tungsten potadan akım geçirilmeye başlanır. Akım geçen pota ısınmaya başlar ve üzerindeki altın (Au) ısıtır. Sistemdeki tungsten telden akım geçerken tel yüksek sıcaklık değerlerine ulaşır ve Au'nın sıcaklık erime noktasına (1060˚C) gelindiğinde Au erimeye, daha sonra kaynama noktasında (2856˚C) buharlaşmaya başlar. Buharlaşan Au, PTCDI-C8:ZnO filmin yüzeyine yapışarak ince film tabakasını oluşturur. Sonuç olarak, 1500 Å kalınlığında Au büyütülmüş ve Schottky (doğrultucu) kontak işlemi tamamlanmış olmaktadır.

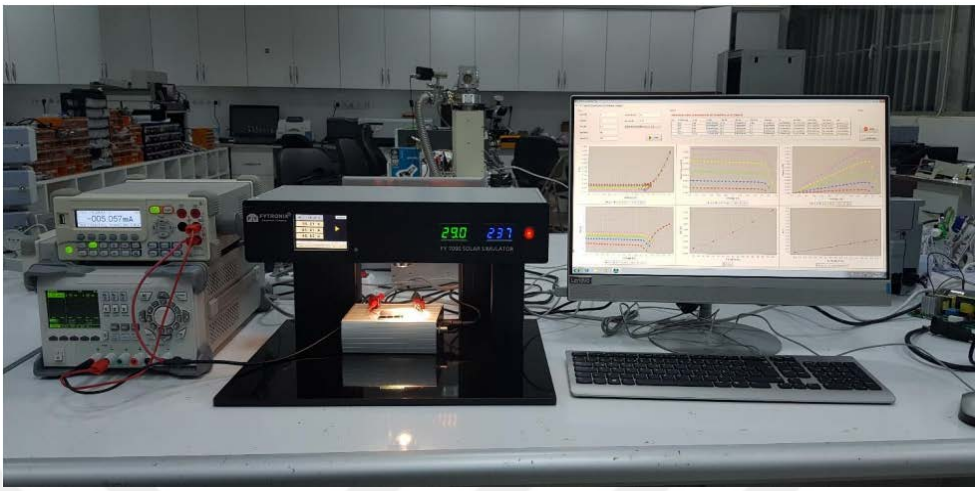
Diyot temas alanı 3.14 x 10^{-2} cm^2 olarak belirlenmiştir. Sonuçta, Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapı hazırlanmıştır. Üretilen heteroeklem yapı Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapının şematik gösterimi

Hazırlanan katkılanmamış ZnO ile oluşturulan Au/ZnO/p-Si ve PTCDI-C8 katkılı ZnO Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapıların karakterizasyonu akım-voltaj $I-V$ ölçümleri, Selçuk Üniversitesi Biyoteknoloji Bölümü Araştırma

Laboratuvarında bulunan ve genel görünüşü Şekil 4.3'te verilen Fytronix SS-7000 Solar Simulator ile 20 -100 mW/cm^2 aralığında 20 mW/cm^2 aralıklarla gerçekleştirilmiştir.



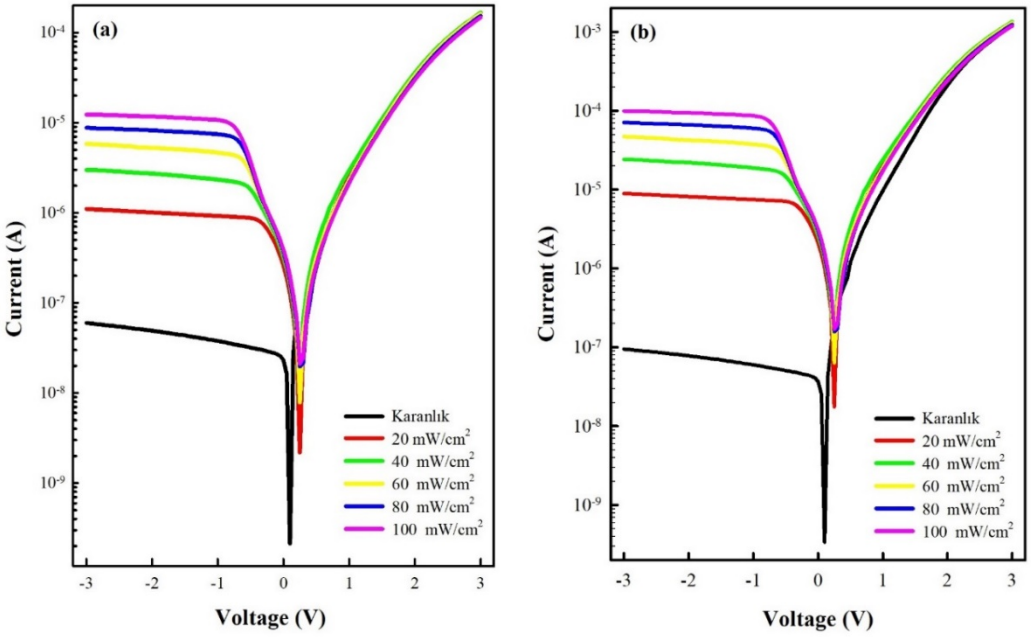
Şekil 4.3 Au/ZnO/p-Si ve Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapılarının, $I-V$ karakteristiklerinin karanlık ve 20 -100 mW/cm^2 ışık şiddeti aralığında elde edilmesi için kullanılan Fytronix SS-7000 Solar Simulator ölçüm sistemi

4.2. Deneysel sonuçlar

Katkılanmamış ZnO ile oluşturulan Au/ZnO/p-Si ve PTCDaI-C8 katkılı ZnO Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapıların karakterizasyonu akım-voltaj $I-V$ ölçümleri ile gerçekleştirildi. Bu karakterizasyon işlemleri karanlık ve 20 -100 mW/cm^2 aralığında 20 mW/cm^2 aralıklarla ölçülmüştür. Au/ZnO/p-Si ve Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapılarının, karanlık ve 20 -100 mW/cm^2 ışık şiddeti aralığında elde edilen $I-V$ karakteristikleri Şekil 4.4'te verilmiştir. $I-V$ ölçümleri termoiyonik emisyon teorisi olarak bilinen ilişki ile Heteroeklem yapıların diyot parametreleri analiz edilebilir. Bu teoriye göre $V > 3kT$, kabul edilip, akım-gerilim ($I-V$) eğrileri için aşağıdaki ifadeler kullanılabilir (Sze, 1981):

$$I = I_0\left[exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1\right]; \quad I_0 = AA^*T^2 exp\left(-\frac{q\Phi_B}{kT}\right) \qquad (1)$$

Burada, I_0 doyum akımı, n diyot kalite faktörü, q elektronik yük, A ölçümlerde kullanılan kontağın alanı, A^* efektif Richardson sabiti (p tipi silisyum için A^*= 32 A cm^{-2} K^{-2} olarak verilmektedir), Φ_B bariyer yüksekliği ve T mutlak sıcaklık. I_0 doyum akımı lnI ile elde edilen doğrusal değişimin ekseni kestiği noktadan hesaplanabilir.



Şekil 4.4. (a) Au/ZnO/p-Si ve (b) Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapılarının oda sıcaklığında alınan karanlık ve faklı ışık şiddetlerindeki akım-voltaj karakteristikleri.

Au/ZnO/p-Si ve Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapıları için Φ_B bariyer yüksekliği ve n idealite faktörü değerleri voltaja bağlı lnI grafiğinin sırasıyla eksenin kesim noktası ve eğimden hesaplanabilir (Rhoderick, EH Williams, 1998):

$$\Phi_B = \frac{kT}{q} ln\left(\frac{AA^*T^2}{I_0}\right) \text{ ve } n = \frac{q}{kT}\frac{dV}{dln(I)} \quad (2)$$

İdeal diyot için n, 1 e eşittir. Bununla birlikte, n genellikle bu değerden daha yüksek değerler almaktadır. Yüksek n değerleri, Heteroeklem yapıdaki inca arayüzey tabakaya atfedilir. $I-V$ ölçümleri, karanlık ve 20 mW, 40 mW, 60 mW, 80 mW and 100 mW ışık şiddetinde alınmıştır. Au/ZnO/p-Si ve Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapılar için normal $I-V$ karakteristikleri Şekil 4.3'de verilmiştir.

Au/ZnO/p-Si ve Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapılar için n and ϕ_b değerleri Denk. (1) ve (2) yardımıyla karanlık ve farklı ışık aydınlatma şiddetleri için hesaplanmış ve Çizelge 1 de verilmiştir. Elde edilen n değerleri 20.08 – 21.65 aralığında bulunmuştur ve ideal diyot karakteristiğinden çok uzaktadır.. İdealite faktörünün elde edilen bu yüksek değerleri PTCDI-C8:ZnO arayüzeyinden kaynaklanan arayüzey durumları ya da bariyer homojensizliğine bağlıdır (Aydoğan, Grilli, Yilmaz, Çaldiran, & Kaçuş, 2017; Kyoung, Jung, & Sung, 2016). Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapısı için bariyer yüksekliği 0.70 – 0.75 eV aralığında hesaplanmış ve genel davranış eğilimine paralel olarak ışık şiddetinin artmasıyla azalmaktadır.

Işık şiddetinin artışı ile bariyer yüksekliği ϕ_b değerlerindeki azalma aydınlanma ile artan yük taşıyıcılarına atfedilmektedir. Bu durumun bariyer yüksekliği artışındaki yönelim diğer araştırma sonuçları ile uyumludur (Li, Shivananju, Zhang, Li, & Bao, 2017). Bu sonuçlar Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapının ışığa duyarlı aygıt olarak tepki verdiğini göstermektedir.

Önemli diyot parametrelerinden olan seri direnç (R_s) Cheung yaklaşımı ile de hesaplanabilir. Bu yaklaşım tekniğinde önceki bahsedilen teoriye benzer şekilde idealite faktörü ve bariyer yüksekliği, $I-V$ karakteristikleri kullanılarak belirlenebilir (Cheung & Cheung, 1986).

Cheung yaklaşımına göre akım aşağıdaki ifade ile verilmektedir:

$$I = I_0 \exp\left(-\frac{q(V-IR_s)}{nkT}\right) \tag{3}$$

burada IR_s seri direnç üzerinde düşen voltaj farkını göstermektedir. Denk. (3) R_s nin değişken olduğu şekilde yeniden düzenlenerek Cheung yaklaşımı için aşağıdaki bağıntılar elde edilebilir:

$$\frac{dV}{d(lnI)} = IR_s + n\frac{kT}{q} \tag{4}$$

$$H(I) = V - n\left(\frac{kT}{q}\right) ln\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) \tag{5}$$

burda $H(I)$ yeniden düzenlenirse:

$$H(I) = IR_s + n\Phi_B \quad (6)$$

Denk. (4) ve (5) akım karşı değişimi çizilirse akım ile yukarıdaki verilen fonksiyonlar lineer bir değişim sağlar. $\frac{dV}{d(lnI)}$ - I değişiminin grafiği çizilirse, bu grafiğin eğim ve y-eksenini kestiği değerlerden sırasıyla R_s ve $n\frac{kT}{q}$ hesaplanabilir. Bu değerler kullanılarak Φ_B ve R_s değeri hesaplanabilir. Bununla birlikte eğer $H(I)$ karşı I grafiği çizilirse bu grafiğin eğim ve y eksenini kestiği noktadan sırasıyla R_s ve $n\Phi_B$ değerleri hesaplanabilir. Böylece , Φ_B ye ek olarak Cheung fonksiyonları olarak tanımlayabileceğimiz. $\frac{dV}{d(lnI)}$ ve $H(I)$ fonksiyonları kullanılarak R_s değerleri elde edilir (Cheung & Cheung, 1986; Şükrü Karataş ve ark., 2013; Taşçıoğlu, Tan, Yakuphanoğlu, & Altındal, 2018).

Çizelge 4.1. Au/ZnO/p-Si ve Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapıların oda sıcaklığında yapılan ölçümleri ile elde edilen diyot parametreleri

Numune	***Doyum Akımı*** (I_0) (A)	***n* (*I-V*)** -	***n* Cheung** -	ϕ_b **(*I-V*)** (eV)	ϕ_b **Cheung** (eV)	R_s **Cheung** H(I) (Ω)	R_s **Cheung** $(dV/d(lnI))$ (Ω)
Katkısız ZnO	1.11 x10^{-8}	11.53	11.52	0.77	0.74	88	80
PTCDI-C8:ZnO	1.25 x10^{-8}	11.58	11.68	0.75	0.69	102	91

Fotoduyarlılık ve fototepki parametreleri ZnO Au/ZnO/p-Si ve PTCDI-C8 katkılı ZnO Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapılar için sırasıyla RR ve R, olarak belirtilebilir. Bu parametreler aşağıdaki ilişkilerle belirlenebilir:

$$RR = \frac{J_{ph}-J_{dark}}{I_{dark}} \; ; \; R = \frac{J_{ph}-J_{dark}}{P_{in}} \quad (7)$$

burada J_{ph} foto-akım yoğunluğu, J_{dark} karanlık akım yoğunluğu, I_{dark} karanlık akım ve P_{in} yüzeye düşen ışığı yoğunluğudur. Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapı

J_{dark} , RR and R değerleri sırasıyla 1.20×10^{-6} A/cm^2, 290 ve 100 mW/cm^2 ışıma şiddetinde 0.01 A/W olarak bulunmuştur.

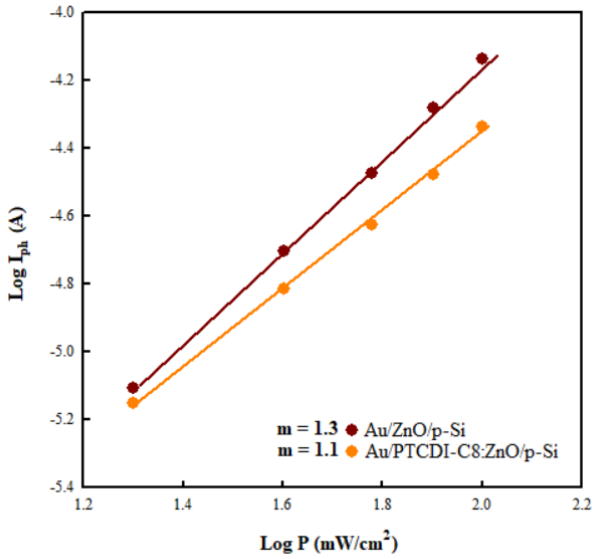
Daha önce yayınlanan benzer çalışmalarda, fototepki ve fotoduyarlılık değerleri açısından Si tabanlı fotodiyotların farklı örnekleri sunulmuştur. Bu çalışmalarda elde edilen sonuçlarla literatüre katkıda bulunulmaktadır. Diyotların fotoiletken davranışı aşağıdaki ilişki ile analiz edilir (Bube, 1960; Yakuphanoglu, 2016),

$$I_{ph} = BP^m \tag{8}$$

burada I_{ph} fotoakım, B sabit, P aydınlatma yoğunluğu m aydınlatma katsayısıdır. Au/ZnO/p-Si ve Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapıların m değerleri $log(I_{ph})$ - $log(P)$ grafiğinin eğiminden belirlenebilir. Diyotların m değeri bu yapıların diyotların fotoiletken mekanizmasının tipini belirler. Sahip olunan m değeri 0.5 ve 1, arasındaysa, fotoiletkenlik mekanizması tuzak düzeyleriyle ilişkilidir. Ancak birlikten daha yüksek değerler, fotoiletkenlik mekanizmanın boş tuzak seviyesinden kaynaklandığını düşündürmektedir (Rose, 1963). Şekil 4.4. Au/ZnO/p-Si ve Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapılar için I_{ph} - P grafiğini göstermektedir. Au/ZnO/p-Si ve Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapıların m değerleri sırasıyla 1.3 ve 1.1, olarak bulunmuştur. Bu değerler Au/ZnO/p-Si ve Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapıların doğrusal bir fotoiletken mekanizma sergilediği göstermektedir.

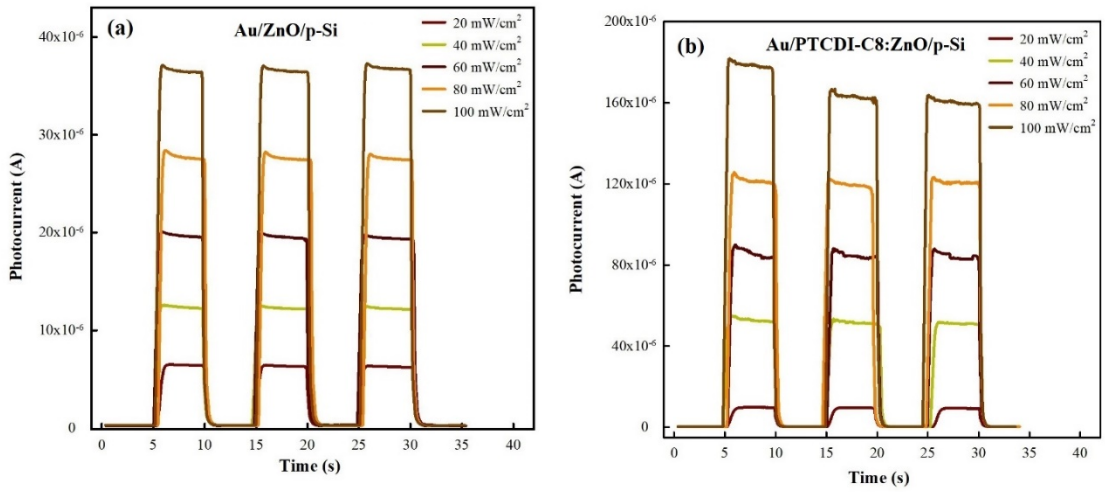
Au/ZnO/p-Si ve Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapıların geçici fotoakım ve fotokapasitans grafiği Şekil 4.4 (a) - (b)'de açık durumda, heteroeklem yapıların akımı 100 mW/cm^2 güç yoğunluğunda 0.05×10^{-3} to 42×10^{-3} A'ya hızla yükselir ve aydınlatma kapatılana kadar neredeyse sabit kalırlar. Heteroeklem yapıların bulunan tuzak merkezlerine aydınlatma bağımlılığı ile yükün arttığını bilinmektedir (Hossein-Babaei, Lajvardi, & Boroumand, 2012; Rose, 1963; Yakuphanoglu, 2016) .

Işığı kapattıktan sonra, serbest elektronların sayısı azalır ve heteroeklem yapının akımı başlangıç değerine geri döner. Bu, üretilen heteroeklem yapının bir fotoiletken davranış sergilediğini gösterir.



Şekil 4.5. Doğrusal bir fotoiletken mekanizma sergileyen Au / ZnO / p-Si ve Au / PTCDI-C8: ZnO / p-Si heteroeklem yapıların m değerlerinin gösterimi. (-3 V'ta).

Gryszel ve diğ. önce H2Pc/PTCDI bağlantısının fotoelektrokimyasal özelliklerini değerlendirerek daha sonra vakumla buharlaştırarak üretmişlerdir. Organik pn ekleminde n-tipi yarı iletken olarak çalışan PTCDI'nın PN/Au/PTCDI fotokatot katmanları literatürde bildirilmiştir (Gryszel, Markov, Vagin, & Głowacki, 2018).



Şekil 4.6. (a) Au/ZnO/p-Si and (b) Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklemleri için çeşitli aydınlatmalarda elde edilen fotoakım değerleri

PN/Au/PTCDI cihazı, darbeli (45 s) 100 mW cm^{-2} ışınlama altında 0.5 V'luk sabit bir sapmada 2 elektrotlu bir düzenlemede çalıştırıldı. PSI tabanlı biyofotovoltaik cihazlar, spektral cevabı genişletmek için yapay bir ışık toplama antenini entegre ettiler.

Bu cihazı imal etmek için, bir yapay anten olarak bir TiO_2 yüzeyine bir perilen di-imid türevi (PTCDI) eklenmiştir. PTCDI/PSI fabrikasyonu TiO_2 elektrodu tarafından oluşturulan fotovoltaik hücrelerde kullanılan PTCDI/PSI fabrikasyonlu TiO_2 elektrodu, gelen foton-akım dönüşüm verimliliği spektrumunun büyüklüğü 450-750 nm aralığında önemli ölçüde artmıştır. 0.47 mA/cm^{2}'ye yükselmiştir (Takekuma ve ark., 2019).

Huang ve diğ. nanofibril kompozitlerin, perilen tetrakarboksilik diimidin (PTCDI) şablon nano fiberlerinden oluştuğunu, verilerinin PTCDI etkisinin hibrid materyallerin, özellikle donör-alıcı kompozitlere veya arayüzlere dayanan foto-iletkenlik üzerindeki moleküler bir yapısal olduğunu göstermiş ve yeni moleküler yüksek fotoiletkenliğe ulaşmak için tasarım kuralları ve malzeme işleme kılavuzları olabileceğini belirtmişlerdir (Huang ve ark., 2013).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında fotodiyot olarak kullanılabilecek, ışık değişimlerine duyarlı bir heteroeklem yapı üretilmeye çalışılmıştır.

Tez çalışmaları genel olarak üç ana grup altında toplanmıştır. Birinci grup çalışmalarda ZnO tabanlı yapının ışık duyarlılığını artırmak için katkılanacak organik yariletkennin kullanımı ile organik katkılı ZnO kompozit malzemesinin üretimi. Bu üreitm aşamasında sol-jel yöntemi kullanılmış ve öncül, çözücü ve karıştırma tipi ile başlangıç konsantrasyonları değiştirilerek kompozit üretimi için optimizasyon sağlanmıştır. Sol-jel yöntemi diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında; toz saflığı yüksektir ve başlangıç malzemeleri distilasyonla, kristallenmeyle ya da elektrolizle kolayca saflaştırılabilir. İşlem sıcaklığı oldukça düşüktür ve kimyasal reaksiyonların kinetiği kolayca kontrol edilir. Ayrıca birincil kolloidal tanelerin çekirdekleşme ve tane büyümesi kontrol edilerek istenilen şekil, tane ve tane boyut dağılımı elde edilebilir. Bu nedenlerden dolayı sol-jel yöntemi bu tez çalışması için uygun bir yöntem olarak seçilmiştir.

İkinci grup çalışmalarda üretilen PTCDI-C8:ZnO kompozit yarıiletken kullanılarak Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapısını oluşturulmuştur. Bununla birlikte organik yarıiletken PTCDI-C8'nin katkısını görmek için katkısız Au/ZnO/p-Si heteroeklem yapısıda üretilmiştir. Üçüncü ve son grup çalışmalarda, üretimi gerçekleştirilen Au/ZnO/p-Si ve Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem fotodiyot yapıların optoelektronik karakterizasyonu için gerekli parametrelerin hesaplanabilmesi için diyotların akım-voltaj ve fotoiletkenlik ölçümleri yapılmıştır. Au/ZnO/p-Si ve Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapılar için n and ϕ_b değerleri karanlık ve farklı ışık aydınlatma şiddetleri için hesaplanmış elde edilen n değerleri 20.08 – 21.65 aralığında bulunmuştur ve ideal diyot karakteristiğinden çok uzakta olduğu değerlendirilmiştir. İdealite faktörünün elde edilen bu yüksek değerleri PTCDI-C8:ZnO arayüzeyinden kaynaklanan arayüzey durumları ya da bariyer homojensizliğine bağlı olduğu değerlendirilmiştir.

Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapısı için bariyer yüksekliği 0.70 – 0.75 eV aralığında hesaplanmış ve genel davranış eğilimine paralel olarak ışık şiddetinin artmasıyla azaldığı belirlenmiştir. Işık şiddetinin artışı ile bariyer yüksekliği ϕ_b değerlerindeki azalma aydınlanma ile artan yük taşıyıcılarına atfedilmiş ve bu durumun

bariyer yüksekliği artışındaki yönelim diğer araştırma sonuçları ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Fotoduyarlılık ve fototepki parametreleri Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapı J_{dark} , RR and R değerleri sırasıyla 1.20×10^{-6} A/cm^2, 290 ve 100 mW/cm^2 ışıma şiddetide 0.01 A/W olarak bulunmuş, daha önce yayınlanan benzer çalışmalarda, fototepki ve fotoduyarlılık değerleri açısından Si bazlı fotodiyot karakteristikleriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Au/ZnO/p-Si ve Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapıların m değeri bu yapıların diyotların fotoiletken mekanizmasının tipini belirler. Sahip olunan m değrei 0.5 ve 1, arasındaysa, fotoiletkenlik mekanizması tuzak düzeyleriyle ilişkilidir. Ancak birden daha yüksek değerler, fotoiletkenlik mekanizmanın boş tuzak seviyesinden kaynaklandığını düşündürmektedir.

Au/ZnO/p-Si ve Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapıların m değerleri sırasıyla 1.3 ve 1.1, olarak bulunmuştur. Bu değerler Au/ZnO/p-Si ve Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapıların doğrusal bir fotoiletken mekanizma sergilediği göstermektedir. Au/PTCDI-C8:ZnO/p-Si heteroeklem yapısında arayüzey ve elektriksel özellikleri katkıya bağlı olarak değişti. Ayrıca Au/ZnO/p-Si heteroeklem yapısındaki diyotun doğrultma ve fotocevap özellikleri organik yarıiletken katkısı ile geliştirildiği değerlendirilmiştir. Hazırlanan katkısız Au/ZnO/p-Si foto diyotların fotocevap özelliklerinin organik katkılar kullanılarak bu özelliklerin geliştirilebileceği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

Aleksic, O., & Nikolic, P. (2017). Recent advances in NTC thick film thermistor properties and applications. *Facta Universitatis - Series: Electronics and Energetics*, *30*(3), 267–284.

Arif, B., El-Nasser, H. M., Dere, A., Al-Ghamdi, A. A., Bin-Omran, S., El-Tantawy, F., & Yakuphanoglu, F. (2015). Optical properties of Zn1−x Al x O:NiO transparent metal oxide composite thin films prepared by sol–gel method. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, *76*(2), 378–385.

Aydoğan, Ş., Grilli, M. L., Yilmaz, M., Çaldiran, Z., & Kaçuş, H. (2017). A facile growth of spray based ZnO films and device performance investigation for Schottky diodes: Determination of interface state density distribution. *Journal of Alloys and Compounds*, *708*, 55–66.

Björström, C. M., Bernasik, A., Rysz, J., Budkowski, A., Nilsson, S., Svensson, M., … Moons, E. (2005). Multilayer formation in spin-coated thin films of low-bandgap polyfluorene:PCBM blends. *Journal of Physics: Condensed Matter*, *17*(50), L529–L534.

Bube, R. H. (1960). *Photoconductivity of Solids*. New York: Wiley.

Cheung, S. K., & Cheung, N. W. (1986). Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics. *Applied Physics Letters*, *49*(2), 85.

Dökme, İ., & Altindal, Ş. (2006). On the intersecting behaviour of experimental forward bias current–voltage (I – V) characteristics of Al/SiO 2 /p-Si (MIS) Schottky diodes at low temperatures. *Semiconductor Science and Technology*, *21*(8), 1053–1058.

Ehrl, M., Kindervater, H. W., Deeg, F. W., Braeuchle, C., & Hoppe, R. (1994). Optical spectroscopy of thiazine and oxazine dyes in the cages of hydrated and dehydrated faujasite-type zeolites: molecular dynamics in a nanostructured environment. *The Journal of Physical Chemistry*, *98*(45), 11756–11763.

Forrest, S. R., Leu, L. Y., So, F. F., & Yoon, W. Y. (1989). Optical and electrical properties of isotype crystalline molecular organic heterojunctions. *Journal of Applied Physics*, *66*(12), 5908–5914.

Gryszel, M., Markov, A., Vagin, M., & Głowacki, E. D. (2018). Organic heterojunction photocathodes for optimized photoelectrochemical hydrogen peroxide production.

Journal of Materials Chemistry A, *6*(48), 24709–24716.

Hiramoto, M., Suezaki, M., & Yokoyama, M. (1990). Effect of Thin Gold Interstitial-layer on the Photovoltaic Properties of Tandem Organic Solar Cell. *Chemistry Letters*, *19*(3), 327–330.

Hossein-Babaei, F., Lajvardi, M. M., & Boroumand, F. A. (2012). Large area Ag–TiO2 UV radiation sensor fabricated on a thermally oxidized titanium chip. *Sensors & Actuators: A.*, *173*(1), 116–121.

Huang, H., Chou, C.-E., Che, Y., Li, L., Wang, C., Yang, X., … Zang, L. (2013). Morphology Control of Nanofibril Donor–Acceptor Heterojunction To Achieve High Photoconductivity: Exploration of New Molecular Design Rule. *Journal of the American Chemical Society*, *135*(44), 16490–16496.

Irimia-Vladu, M., Głowacki, E. D., Troshin, P. A., Schwabegger, G., Leonat, L., Susarova, D. K., … Sariciftci, N. S. (2012). Indigo - A Natural Pigment for High Performance Ambipolar Organic Field Effect Transistors and Circuits. *Advanced Materials*, *24*(3), 375–380.

Jäckle, S., Mattiza, M., Liebhaber, M., Brönstrup, G., Rommel, M., Lips, K., & Christiansen, S. (2015). Junction formation and current transport mechanisms in hybrid n-Si/PEDOT:PSS solar cells. *Scientific Reports*, *5*(1), 13008.

Karataş, Ş., Altındal, Ş., & Çakar, M. (2005). Current transport in Zn/p-Si(100) Schottky barrier diodes at high temperatures. *Physica B: Condensed Matter*, *357*(3–4), 386–397.

Karataş, Ş., Yildirim, N., & Türüt, A. (2013). Electrical properties and interface state energy distributions of Cr/n-Si Schottky barrier diode. *Superlattices and Microstructures*, *64*, 483–494.

Kaya, A., Sevgili, Ö., & Altındal, Ş. (2014). Energy density distribution profiles of surface states, relaxation time and capture cross-section in Au /n-type 4H - SiC SBDs by using admittance spectroscopy method. *International Journal of Modern Physics B*, *28*(17), 1450104.

Kirk-Othmer. (2007). *Encyclopedia of Chemical Technology* (fifth). New York: John Wiley & Sons, Ltd.

Koster, L. J. A., Kemerink, M., Wienk, M. M., Maturová, K., & Janssen, R. A. J. (2011). Quantifying Bimolecular Recombination Losses in Organic Bulk Heterojunction Solar Cells. *Advanced Materials*, *23*(14), 1670–1674.

Kyoung, S., Jung, E.-S., & Sung, M. Y. (2016). Post-annealing processes to improve

inhomogeneity of Schottky barrier height in Ti/Al 4H-SiC Schottky barrier diode. *Microelectronic Engineering*, *154*, 69–73.

Li, P., Shivananju, B. N., Zhang, Y., Li, S., & Bao, Q. (2017). High performance photodetector based on 2D CH 3 NH 3 PbI 3 perovskite nanosheets. *Journal of Physics D: Applied Physics*, *50*(9), 094002.

Mekki, A., Ocaya, R. O., Dere, A., Al-Ghamdi, A. A., Harrabi, K., & Yakuphanoglu, F. (2016). New photodiodes based graphene-organic semiconductor hybrid materials. *Synthetic Metals*, *213*, 47–56.

Mensah-Darkwa, K., Ocaya, R., Dere, A., Al-Sehemi, A. G., Al-Ghamdi, A. A., Soylu, M., … Yakuphanoglu, F. (2017). Dye based photodiodes for solar energy applications. *Applied Physics A*, *123*(10), 622.

Mishra, A., & Bäuerle, P. (2012). Small molecule organic semiconductors on the move: Promises for future solar energy technology. *Angewandte Chemie - International Edition*, *51*(9), 2020–2067.

Mori, D., Benten, H., Okada, I., Ohkita, H., & Ito, S. (2014). Low-Bandgap Donor/Acceptor Polymer Blend Solar Cells with Efficiency Exceeding 4%. *Advanced Energy Materials*, *4*(3), 1301006.

Ocaya, R. O., Dere, A., Al-Sehemi, A. G., Al-Ghamdi, A. A., Soylu, M., & Yakuphanoglu, F. (2017). Analysis of photoconductive mechanisms of organic-on-inorganic photodiodes. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, *93*, 284–290.

Oseni, S. O., Kaviyarasu, K., Maaza, M., Sharma, G., Pellicane, G., & Mola, G. T. (2018). ZnO:CNT assisted charge transport in PTB7:PCBM blend organic solar cell. *Journal of Alloys and Compounds*, *748*, 216–222.

Peumans, P., Yakimov, A., & Forrest, S. R. (2003). Small molecular weight organic thin-film photodetectors and solar cells. *Journal of Applied Physics*, *93*(7), 3693–3723.

Ramo, S. (1939). Currents Induced by Electron Motion. *Proceedings of the IRE*, *27*(9), 584–585.

Rhoderick, EH Williams, R. H. (1998). *Metal-semiconductor contacts* (2nd ed.). Oxford: Clarendon Press.

Rose, A. (1963). *Concepts in Photoconductivity*. New York: Interscience.

Sariciftci, N. S. (1995). Role of Buckminsterfullerene, C60, in organic photoelectric devices. *Progress in Quantum Electronics*, *19*(2), 131–159. hSariciftci, N. S.

(2004). Plastic photovoltaic devices. *Materials Today*, *7*(9), 36–40.

Schulz-Ekloff, G., Wöhrle, D., van Duffel, B., & Schoonheydt, R. A. (2002). Chromophores in porous silicas and minerals: preparation and optical properties. *Microporous and Mesoporous Materials*, *51*(2), 91–138.

Seixas de Melo, J., Moura, A. P., & Melo, M. J. (2004). Photophysical and Spectroscopic Studies of Indigo Derivatives in Their Keto and Leuco Forms. *The Journal of Physical Chemistry A*, *108*(34), 6975–6981.

Shahbazi, M., Bahari, A., & Ghasemi, S. (2016). Studying saturation mobility, threshold voltage, and stability of PMMA-SiO2-TMSPM nano-hybrid as OFET gate dielectric. *Synthetic Metals*, *221*, 332–339.

Shockley, W. (1938). Currents to Conductors Induced by a Moving Point Charge. *Journal of Applied Physics*, *9*(10), 635–636. http://doi.org/10.1063/1.1710367

Sze, S. M. (1981). *Physics of Semiconductor Devices* (2. edition). Newyork: Wiley.

Takekuma, Y., Nagakawa, H., Noji, T., Kawakami, K., Furukawa, R., Nango, M., Nagata, M. (2019). Enhancement of Photocurrent by Integration of an Artificial Light-Harvesting Antenna with a Photosystem I Photovoltaic Device. *ACS Applied Energy Materials*, *2*(6), 3986–3990.

Tang, C. W. (1986). Two-layer organic photovoltaic cell. *Applied Physics Letters*, *48*(2), 183–185.

Taşçıoğlu, İ., Tan, S. O., Yakuphanoğlu, F., & Altındal, Ş. (2018). Effectuality of Barrier Height Inhomogeneity on the Current–Voltage–Temperature Characteristics of Metal Semiconductor Structures with CdZnO Interlayer. *Journal of Electronic Materials*, *47*(10), 6059–6066.

Tataroğlu, A., Dayan, O., Özdemir, N., Serbetci, Z., Al-Ghamdi, A. A., Dere, A., … Yakuphanoglu, F. (2016). Single crystal ruthenium(II) complex dye based photodiode. *Dyes and Pigments*, *132*, 64–71.

Tsujioka, T., & Irie, M. (2010). Electrical functions of photochromic molecules. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, *11*(1), 1–14.

Turut, A., Karabulut, A., Ejderha, K., & Bıyıklı, N. (2015). Capacitance–conductance–current–voltage characteristics of atomic layer deposited Au/Ti/Al2O3/n-GaAs MIS structures. *Materials Science in Semiconductor Processing*, *39*, 400–407.

Virkar, A. A., Mannsfeld, S., Bao, Z., & Stingelin, N. (2010). Organic semiconductor growth and morphology considerations for organic thin-film transistors. *Advanced*

Materials, *22*(34), 3857–3875.

Wang, H., Wang, J., Fan, W., & Wang, W. (2010). Comparison of photochromic, yellow, and clear intraocular lenses in human eyes under photopic and mesopic lighting conditions. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, *36*(12), 2080–2086.

Wöhrle, D., Kreienhoop, L., Schnurpfeil, G., Elbe, J., Tennigkeit, B., Hiller, S., & Schlettwein, D. (1995). Investigations of n/p-junction photovoltaic cells of perylenetetracarboxylic acid diimides and phthalocyanines. *J. Mater. Chem.*, *5*(11), 1819–1829.

Yakuphanoglu, F. (2016). Transparent metal oxide films based sensors for solar tracking applications. *Composites Part B: Engineering*, *92*, 151–159.

Yıldırım, M. (2019). Characterization of the framework of Cu doped TiO2 layers: An insight into optical, electrical and photodiode parameters. *Journal of Alloys and Compounds*, *773*, 890–904.

Yıldırım, M., & Kocyigit, A. (2018). Characterization of Al/In:ZnO/p-Si photodiodes for various In doped level to ZnO interfacial layers. *Journal of Alloys and Compounds*, *768*, 1064–1075.

You, J., Dou, L., Yoshimura, K., Kato, T., Ohya, K., Moriarty, T., … Yang, Y. (2013). A polymer tandem solar cell with 10.6% power conversion efficiency. *Nature Communications*, *4*(1), 1446.

Zahn, D. R. T., Gavrila, G. N., & Gorgoi, M. (2006). The transport gap of organic semiconductors studied using the combination of direct and inverse photoemission. *Chemical Physics*, *325*(1), 99–112.

Zanjanchi, M. A., & Sohrabnezhad, S. (2005). Evaluation of methylene blue incorporated in zeolite for construction of an optical humidity sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*, *105*(2), 502–507.

Zhang, R., Zheng, H., & Shen, J. (1999). Blue light-emitting diodes based on coronene-doped polymers. *Synthetic Metals*, *105*(1), 49–53.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Emrecan EMEKSİZ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara/Altındağ 15.05.1991
Telefon : 05377030063
Faks :
e-mail : emrecanemeksiz@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	Ulus Anadolu Teknik Lisesi, Ankara	2009
Üniversite	S. Ü. Fen Fakültesi Fizik Bölümü, Konya	2014
Yüksek Lisans	S. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji ABD, Konya	2020

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2015-2017	Akdeniz Üniversitesi Nükleer Bilimler Uygulama ve Araştırma Merkezi	Hızlandırıcı Mühendisi Nükleer Fizikçi
2019	-Emniyet Genel Müdürlüğü -Kriminal Daire Başkanlığı -Antalya Kriminal Polis Laboratuvarı Müdürlüğü -Balistik İnceleme Şube Müdürlüğü	Teknisyen

UZMANLIK ALANI

Ülkemizin hızlandırıcı alanında onaylı ilk ekibi olan Akdeniz Üniversitesi Nükleer Bilimler Uygulama ve Araştırma Merkezinin hızlandırıcı ekibinde üye olarak bulundum.

Akdeniz Üniversitesi Nükleer Bilimler Uygulama ve Araştırma Merkezinde Türkiye'de ilk fotonükleer reaksiyonunu gerçekleştiren ekibin içinde yer aldım.

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Proton Hızlandırıcısı Tesisinde hem hızlandırıcı teknolojilerinde çalıştım hem de nükleer fizik anabilim dalında uygulama ve araştırma çalışmaları yaptım.

Nükleer fizik anabilim dalında reaktör fiziği, nükleer enerji, nükleer enerjide güvenlik, radyasyon ve radyasyondan korunma alanlarında ve vakum teknolojilerinde de bilgi sahibiyim.

YABANCI DİLLER

İngilizce, ileri seviye

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

BİLGİSAYAR

ANSYS Spaceclaim – Orta **ANSYS Workbench** – Orta
ANSYS Fluent – Orta
ANSYS Acoustics ACT – Orta **Solidworks** – Orta **MATLAB** – Orta
Simulink – Orta **Linux İşletim Sistemi** – İleri **GF3 Radware** - İleri
Experienced in Static, Dynamic and Nonlinear Structural Analysis, Fatigue, Power Spectral Density Analyses, Thermal and Noise-Vibration-Harshness ana.lysis *(Modal, FRF etc.)*, Dynamic System Modeling and Control, Meshing, Virtual Environment Modeling, etc.

YAYINLAR

Emeksiz, E., & Yıldırım, M. (2019). Investigation Photosensitivity Performance of N,N′-Dioctyl-3,4,9,10-perylenedicarboximide Thin Film Based Photodiode 3. Uluslararası Bilimsel Çalışmalar Kongresi (UBCAK) Full Text Book 1 (1), 392-398

Emeksiz, E., & Yıldırım, M. (2019). Investigation Device Parameters of N,N′-Dioctyl-3,4,9,10-perylenedicarboximide Thin Film Based Photodiode 3. Uluslararası Bilimsel Çalışmalar Kongresi (UBCAK)Full Text Book 1 (1), 399-405