



T.C.
MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMER TABANLI X IŞINI
DEDEKTÖRLERİNİN ÜRETİMİ VE
KARAKTERİZASYONU

Osman KAVAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Dedektör ve Sensör Teknolojileri Anabilim Dalı

Temmuz-2023
MUŞ
Her Hakkı Saklıdır



T.C.
MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMER TABANLI X IŞINI
DEDEKTÖRLERİNİN ÜRETİMİ VE
KARAKTERİZASYONU

Osman KAVAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Dedektör ve Sensör Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Arif KÖSEMEN

Temmuz-2023
MUŞ
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL ve ONAYI

Osman KAVAK tarafından hazırlanan “Polimer Tabanlı X Işını Dedektörlerinin Üretimi ve Karakterizasyonu” adlı tez çalışması .../.../2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dedektör ve Sensör Teknolojileri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet SAZAK

Muş Alparslan Üniversitesi/Varto Meslek Yüksekokulu/
Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü

.....

Danışman

Doç. Dr. Arif KÖSEMEN

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa/Nanoteknoloji ve
Biyoteknoloji Enstitüsü/Nanoteknoloji ABD

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Yalçın KALKAN

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi/Mehmet Tanrıkulu
Sağlık Hizmetleri Yüksekokulu/Tıbbi Hizmetler ve
Teknikler Bölümü

.....

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu/...../2023 Tarih ve/..... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Sedat BOZARI
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Osman KAVAK

Tarih:

ÖZET

POLİMER TABANLI X IŞINI DEDEKTÖRLERİNİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

Osman KAVAK

Muş Alparslan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Dedektör ve Sensör Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Arif KÖSEMEN

Bu çalışmada ara katmanı PEDOT:PSS olan ve aktif katmanı P3HT:PCBM olan polimer tabanlı X-ışını dedektörü üretilmiştir. Bu çalışmada ürettiğimiz radyasyon dedektörünün X-ışınına verdiği tepki analizini ölçebilmek veya yapabilmek için Amptek firmasından alınan MINI-X2 minyatür X-ışın tüpü kullanılmıştır. Bu çalışmada ara katman olarak Sigma-Aldrich firmasından alınmış olan PEDOT:PSS kullanılmıştır. Bu çalışmada ITO'nun üstüne PEDOT:PSS döndürerek kaplama düzeneği kullanarak 40 damla damlatılıp 4000 rpm döndürerek kaplanmıştır. Döndürme sırasında istenilen alanın dışına taşan çözelti kloroform ile dikkatlice temizlenmiştir. Daha sonra kaplanan katman oda sıcaklığında kurutuldu kalan solventlerin ortadan kalkması için 120 °C sıcaklıkta 60 dk boyunca tavlanmıştır. Üretilen X-ışın dedektöründeki P3HT:PCBM çözeltisinde kullanılan regioregular(düzenli) yapıdaki P3HT ile PCBM aktif malzemeleri (1:0), (1:0,5), (1:1), (1:2) ağırlık oranlarında karışımı kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada P3HT:PCBM 1ml kloroform içinde 50 °C sıcaklıkta 1 gece boyunca titreştiricide karıştırılarak çözdürülerek çözelti kullanıma hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan çözelti PEDOT:PSS'nin üzerine 40 damla damlatılıp 4000 rpm döndürerek kaplama tekniği ile kaplanmıştır. Döndürme sırasında istenilen alanın dışına taşan çözelti kloroform ile dikkatlice temizlenmiştir. Daha sonra kaplanan katman oda sıcaklığında kurutuldu kalan solventlerin ortadan kalkması için 120 °C sıcaklıkta 60 dk boyunca tavlanmıştır. Bu çalışmada son yıllarda keşfedilmiş olan ve yüksek iş fonksiyonuna sahip iletken bir malzeme olan grafit sprej kaplama yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Kaplama sırasında maskeleyerek istenilen iki bölge kaplanmıştır. Böylelikle polimer tabanlı X-ışını dedektörümüzü üretmiş olduk. Sonuç olarak, polimer malzeme özelliklerinin iyonlaştırıcı radyasyon ile etkileşimlerini nasıl etkilediğini hem keşfetmeye hem de anlamaya ihtiyaç vardır. Kontrollü laboratuvar ortamlarında ileri karakterizasyon teknikleri aracılığıyla radyasyon tespitine özgü yeni yapı-fonksiyon ilişkileri geliştirmek, bu alanı ilerletmede kritik bir adımdır.

2023, 48 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Doğrudan Radyasyon, X-Işınları, Dedektörler, Organik Yarı İletkenler, Dozimetre, Algılama

ABSTRACT

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF POLYMER-BASED X-RAY DETECTORS

Osman KAVAK

**Muş Alparslan University
Natural and Applied Science
Department of Detector and Sensor Technologies**

Advisor: Assoc. Prof. Arif KÖSEMEN

In this study, a polymer-based X-ray detector with PEDOT:PSS interlayer and active layer P3HT:PCBM was produced. In this study, PEDOT:PSS from Sigma-Aldrich company was used as an interlayer. In this study, 40 drops were dripped onto the ITO by rotating PEDOT:PSS using a coating mechanism and rotated at 4000 rpm. The solution that overflowed outside the desired area during rotation was carefully cleaned with chloroform. The coated layer was then dried at room temperature and annealed at 120 °C for 60 min to remove residual solvents. It was made by using a mixture of regioregular (regular) P3HT and PCBM active materials (1:0), (1:0.5), (1:1), (1:2) weight ratios used in the P3HT:PCBM solution in the produced X-ray detector. . In this study, P3HT:PCBM was dissolved in 1 ml of chloroform at 50 °C for 1 night by stirring in a vibrator, and the solution was made ready for use. The prepared solution was coated with 40 drops of PEDOT:PSS and rotated at 4000 rpm with the coating technique. The solution that overflowed outside the desired area during rotation was carefully cleaned with chloroform. The coated layer was then dried at room temperature and annealed at 120 °C for 60 min to remove residual solvents. In this study, graphite, which has been discovered in recent years and has a high work function, is coated using the spray coating method. During the coating, the two desired areas were covered by masking. Thus, we have produced our polymer-based X-ray detector.

2022, 48 Pages

Keywords: Direct Radiation, X-Rays, Detectors, Organic Semiconductors, Dosimeter, Detection

TEŞEKKÜR

Yapmış olduğum tez çalışmam sırasında, başından sonuna kadar kıymetli zamanımı ayıran, değerli bilgilerini benimle paylaşan, sabır gösteren çok değerli ve kıymetli danşmanım Doç. Dr. Arif KÖSEMEN'e teşekkür ve saygılarımı sunarım. Yüksek lisans çalışmalarım sırasında desteğini esirgemeyen değerli bölüm başkanımız Dr. Öğr. Üyesi Yalçın KALKAN hocama ve diğer tüm hocalarıma. sınıf arkadaşlarım Sedat ARI ve Sinan DEMİR'e teşekkür ve saygılarımı sunarım. Bütün hayatım boyunca maddi ve manevi her konuda yanımda olan başta annem ve babam olmak üzere bütün aileme çok teşekkür ederim.

Osman KAVAK
MUŞ-2023



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. X-IŞINLARI	2
2.1 Fotoelektrik Etki	3
2.2 Compton Saçılması	4
2.3 Thomson - Rayleigh Saçılması	5
2.4 Bremsstrahlung Işıması.....	5
2.5 Çift Oluşum.....	5
3. X-IŞINI DEDEKTÖRLERİ	7
3.1 Radyasyon Dedektörleri	7
3.1.1 Gazlı Dedektörler.....	8
3.1.2 Sintilasyon Dedektörleri	8
3.1.3 Yarıiletken Dedektörler	9
3.2 X-Işını Dedektörünün Çalışma Mekanizması	11
4. ORGANİK YARI İLETKENLER	13
4.1 Konjuge Yarı İletken Polimerler.....	13
4.2 Organik Yarı İletkenlerde Temel Fotofizik	14
4.3 Yük Ayrışımı	16
4.4 Yük Transferi	16
4.5 Organik Yarı İletken Malzemelerde Morfolojinin Kontrolü	18
5. KAPLAMA TEKNİKLERİ	19
5.1 Döndürerek Kaplama Yöntemi	19
5.2 Sprey Püskürtme ile Kaplama Yöntemi.....	19
5.3 Çubuk Destekli Kesme ile Kaplama Yöntemi	20
5.4 Damla ile Kaplama Yöntemi	21
6. MATERYAL	22
6.1 Poly(3hexylthiophene) (P3HT)	22
6.2 Phenyl-C61-Butyric Acid Methyl Ester (PCBM).....	22
6.3 Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) Polystyrene Sulfonate (PEDOT:PSS)	23

6.4 İndiyum Kalay Oksit (ITO)	23
6.5 Grafit	24
6.6 MINI-X2 Miniature X-Ray Tube	25
6.7 KEITHLEY 6487 Picoammeter	25
6.8 Digital Hotplate Stirrer	26
7. DENEYSEL YÖNTEM.....	27
7.1 ITO Elektrotun Hazırlanması.....	28
7.2 PEDOT:PSS Ara Katmanın Hazırlanması.....	28
7.2 P3HT:PCBM Aktif Katmanın Hazırlanması	28
7.3 Grafit Elektrotun Kaplanması	29
8. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA	30
8.1 P3HT ve P3HT:PCBM (1:1) yapıların SEM görüntülerinin incelenmesi.	30
8.1.1 P3HT ve P3HT:PCBM (1:1) polimerleri ile hazırlanmış cihazların akım-voltaj (I-V) ölçümlerinin incelenmesi.....	31
8.1.1.1 Cihazların X ışını altında elektriksel karakteristikleri	32
9. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	36
9.1 Sonuçlar	36
9.2 Öneriler	36
KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ	40

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

Si	Silisyum
Te	Tellür
Cd	Kadmiyum
Zn	Çinko
Ge	Germanyum
a-Se	Amorf Selenyum
Bq	Becquerel, radyoaktivite birimi
E	Enerji (MeV)
μ	cm^{-1}
γ	gamma
CdTe	Kadmiyum Tellür
CdZnTe	Kadmiyum Çinko Tellür

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Elektromanyetik Spektrum.....	2
Şekil 2.2 Fotoelektrik Etki.....	4
Şekil 2.3 Compton Saçılması.....	4
Şekil 2.4 Bremsstrahlung Işıması.....	5
Şekil 2.5 Çift Oluşum ve Annihilasyon.....	6
Şekil 3.1 Doğrudan ve Dolaylı Detektörlerin Şematik Gösterimi.....	7
Şekil 3.1.1 Gazlı Radyasyon Dedektörünün Şematik Gösterimi.....	8
Şekil 3.1.2 Sintilasyon Dedektörü.....	8
Şekil 3.1.3 İletkenlik Bandı.....	9
Şekil 3.1.4 Yarı iletken dedektörlerde sinyalin oluşumu.....	9
Şekil 3.1.5 PN Bağlantısı.....	10
Şekil 3.2 Organik ile İnorganik hücrelerde yük oluşumu ve transfer mekanizması.....	11
Şekil 3.3 Polimer hücrelerde transfer mekanizması.....	11
Şekil 4.1 İletkenlik Durumuna Göre Enerji Diyagramı.....	12
Şekil 4.2 (A) Bir karbon-karbon çift bağında bir σ -bağı ve bir π -bağı oluşturmak üzere birleşen hibritleştirilmiş sp^2 ve hibritlenmemiş $2p_z$ orbitallerinin şematik bir gösterimi. (B) Organik yarı iletkenlerdeki bant yapılarının (VB, değerlik bandı; CB, iletim bandı) kökeni gösteren moleküler orbitallerin uzun konjuge oligomerlere ve polimerlere uzantısı.....	14
Şekil 4.3 (A) Organik yarı iletken (OSC) malzemelerde bir foto-uyarılma olayından sonra serbest yükü çıkarmak için gerekli olan foto-uyarılma, eksiton ayrışması, yük taşıyıcı taşınması ve rekombinasyon ve ekstraksiyon süreçleri ile yük üretiminin bir gösterimi (B) Taşımayı teşvik etmek ve rekombinasyonu kısıtlamak için kullanılan nano yapıları bir ağın şematik bir gösterimi.....	16
Şekil 4.4 Yığın heteroeklem yapıda yük ayrışımı için moleküler düzey ve mezoskopik düzeylerin şematik gösterimi.....	17
Şekil 5.1 Döndürerek Kaplama Yönteminin Şematik.....	18
Şekil 5.2 Sprey püskürtme ile kaplama yönteminin şematik gösterimi.....	19
Şekil 5.3 Çubuk destekli kesme ile kaplama yönteminin şematik gösterimi.....	20
Şekil 5.4 Damlama yönteminin şematik gösterimi.....	20
Şekil 6.1 P3HT moleküler yapısı.....	21

Şekil 6.2 PCBM molekül yapısı.....	22
Şekil 6.3 PEDOT:PSS molekül yapısı.....	22
Şekil 6.4 ITO kaplı cam altlıklar.....	23
Şekil 6.5 Grafit sprej.....	23
Şekil 6.6 MINI-X2 Minyatür X-Işın Tüpü ve Kontrol Cihazı.....	24
Şekil 6.7 KEITHLEY 6487 Piko ampermetre.....	24
Şekil 6.8 JKI Digital Hotplate Stirrer.....	25
Şekil 7.1 X-ışın dedektörünün cihaz yapısı.....	26
Şekil 7.2 X-ışın ölçüm kurulumunun şematik gösterimi.....	26
Şekil 8.1 P3HT tabanlı polimer filmin kesit görüntüsü.....	29
Şekil 8.2 P3HT tabanlı polimer filmin kesit görüntüsü (Netleştirilmiş).....	29
Şekil 8.3 P3HT:PCBM (1:1) tabanlı polimer filmin kesit görüntüsü.....	30
Şekil 8.4 P3HT:PCBM (1:1) tabanlı polimer filmin kesit görüntüsü.....	30
Şekil 8.5 P3HT tabanlı cihazın X ışını altında Akım zaman grafiği.....	31
Şekil 8.6 P3HT:PCBM tabanlı cihazın X ışını altında Akım zaman grafiği.....	32
Şekil 8.7 P3HT:PCBM tabanlı cihazın X ışını altında her bir doz için sensör tepkisi grafiği.....	33
Şekil 8.8 P3HT:PCBM tabanlı cihazın X ışınına bağlı akım-zaman eğrisi.....	34

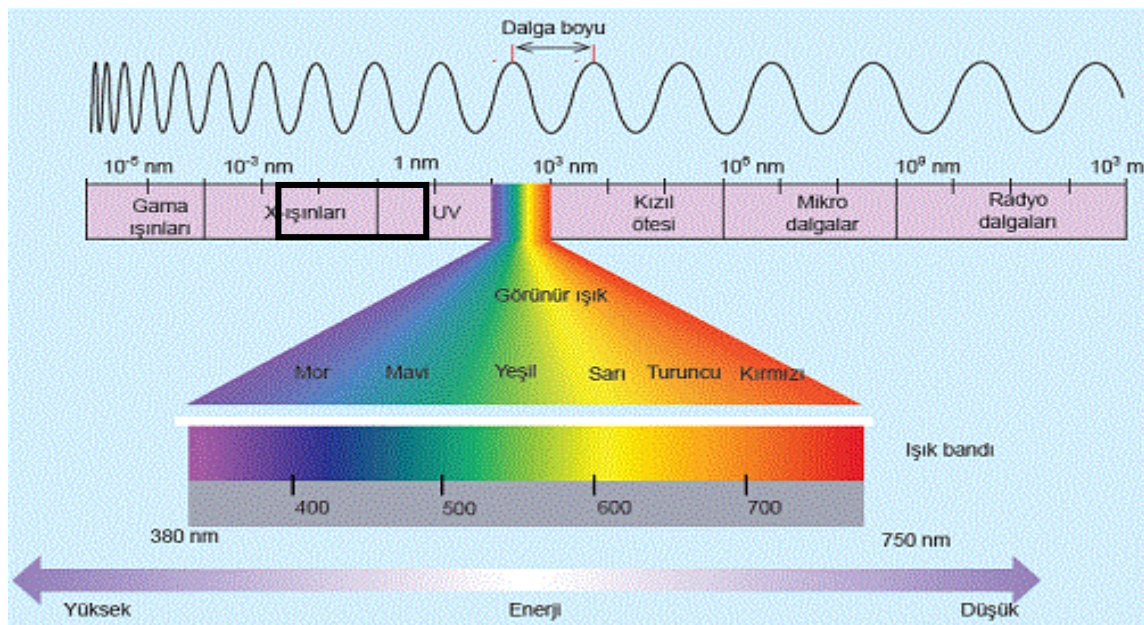
1. GİRİŞ

Modern hayatın birçok alanında iyonlaştırıcı radyasyonun kullanımı, son birkaç on yılda dikkat çekici bir şekilde artmıştır (Griffith ve ark., 2020). Özellikle tıbbi, endüstriyel, bilimsel, nükleer, güvenlik ve savunma araştırma alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Wei ve Huang, 2019). Bu kadar geniş kullanım alanından dolayı radyasyonu tespit etmek büyük önem arz etmektedir. Hâlihazırda mevcut radyasyon dedektörleri, silikon (Si), germanyum (Ge), kadmiyum tellür (CdTe), kadmiyum çinko tellür (CdZnTe) gibi inorganik yarı iletken malzemelerden üretilmektedir. Fakat bu malzemelerin yüksek maliyetli olmaları, esnek cihaz üretimine uygun olmamaları ve üretim zorlukları gibi nedenlerden dolayı daha fazla ticarileşmelerine engel olmaktadır (Kösemen, 2016; Fındık, 2017). Bu tür sınırlamalar, endüstriyel testlerden sivil güvenliğe ve tıbbi tanı ve tedaviye kadar çok çeşitli uygulamalar için yenilikçi ve etkili çözümler sağlayabilecek alternatif malzemeler arayışına yol açtı (Ciavatti ve ark., 2020). Bu nedenle radyasyon tespiti için organik malzemelerin kullanılması tarafından dikkat çekmiştir (6). Böylelikle polimer malzemeler ile üretilen radyasyon dedektörleri, maliyet azaltmayı, üretim kolaylığına ve cihaz esnekliğini arttırmayı mümkün kılmıştır.

Bu tez kapsamında, polimer malzeme olan P3HT:PCBM dedektörün aktif kısmı olarak kullanılarak cihaz üretilmesi ve karakterize edilmesi planlanmaktadır.

2. X-IŞINLARI

X-ışınları veya diğer adıyla Röntgen ışınları, 0,125 ile 125 keV enerji aralığında olan ve 10 ile 0,01 nm dalga boyu aralığında olan elektromanyetik dalgalar veya foton demetidir (Röntgen, 1895). X-ışınlarını belirleyen iki özellik; kısa dalga boyu ve yüksek enerjili olmalarıdır. X-ışınları, elektromanyetik spektrumda gama ışınları ile morötesi ışınları arasında yer almaktadır. X-ışınlarının dalga boyu yaklaşık $1-10^{-3}$ nm arasında olduğundan, x-ışınları insan gözünün spektral hassasiyeti (duyarlık alanı) dışında kaldığından görülemez (Poyraz, 2020). İnsan gözü yaklaşık 380–750 nm arasındaki elektromanyetik dalgaları (renkleri) görür. Şekil 2.1 de elektromanyetik spektrum tablosunda gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Elektromanyetik Spektrum (Aksoy, 2016)

X-ışınlarını 1895 yılında Alman Fizik Profesörü Wilhelm Röntgen tarafından Lenard tüpleri ve Crookes tüpleri ile yaptığı deneysel çalışmalar sırasında bulmuştur (Stanton ve Arthur, 1896). X ışınları günümüzde endüstriyel, astronomi, nükleer, güvenlik, savunma, tıp bilimde önemli ve geniş bir uygulama alanı bulunmaktadır. X-ışınlarının tespiti için dedektörler kullanılmalıdır, kullanılan bu dedektörlere radyasyon dedektörleri veya x-ışın dedektörleri denir.

X-ışınları, iki farklı şekilde oluşur. Bunlar doğal X-ışınları ve yapay X-ışınlarıdır. Doğal X-ışınları, atom çekirdeğinin en düşük enerji kabuğu olan K kabuğundan elektron yakalaması, beta veya alfa bozunumu olaylarıyla meydana gelir. Bir atoma dışarıdan gelen yüksek enerjili elektronlar o atomun en düşük enerjili halkalarından elektronlar

koparır. Bu olay sırasında atom çekirdeğinde bulunan protonlardan bir tanesi en düşük enerjili katmandaki elektron ile etkileşime girip nötrleşmesine neden olur. Nötrleşmeden dolayı elektron boşluğu meydana gelir. Bu elektron boşluğunu daha yüksek enerjili katmanlarındaki elektronlar atlama yaparak doldurur. Bu atlama sırasında doğal X-ışını meydana gelebilirler. Yapay X-ışınları ise maddenin elektron, proton veya hızlandırılmış parçacıklarla etkileşime girmesinden ya da X-ışını tüpünden veya başka radyoaktif kaynağından çıkan fotonlarla etkileşime girmesinden meydana gelir (Arslan, 2011).

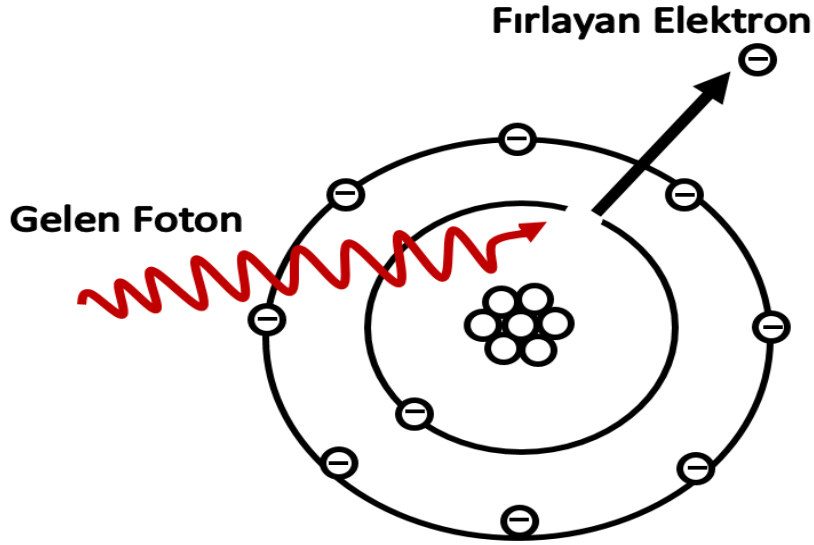
Radyasyon dedektörlerin çalışma prensibi X-ışınlarının madde ile etkileşimi sonucu sinyale çevrilerek elde edilen sinyallerin yorumlanması prensibine dayanır. Bu dedektörlerin çalışma prensibini dedekte edebilecek kadar anlamak için X-ışınlarının madde ile etkileşimi iyi bilinmelidir. X-ışınları beş farklı şekilde etkileşime girer:

1. Fotoelektrik Etki
2. Compton Saçılması
3. Thomson - Rayleigh Saçılması
4. Bremsstrahlung(frenleme) Işınımı
5. Çift Oluşum

2.1 Fotoelektrik Etki

Fotoelektrik etki, üzerine ışık düştüğünde bir malzemenin yüzeyinden fotoelektronların fırlatılması olayıdır. Işığın etkisiyle malzeme yüzeyinden fotoelektronların fırlatıldığı süreç genellikle fotoemisyon olarak adlandırılır. Fotoemisyonun ve koparılan fotoelektronların kinetik enerjisinin, malzeme yüzeyine gelen ışığın frekansına bağlıdır.

Fotoelektrik etkinin meydana gelmesi için, malzemenin yüzeyine gelen fotonların, elektronları metallerin çekirdeklerine bağlayan çekici kuvvetlerin üstesinden gelmek için yeterli enerji taşınması gerekir. Şekil 2.1 de fotoelektrik etki gösterilmiştir.

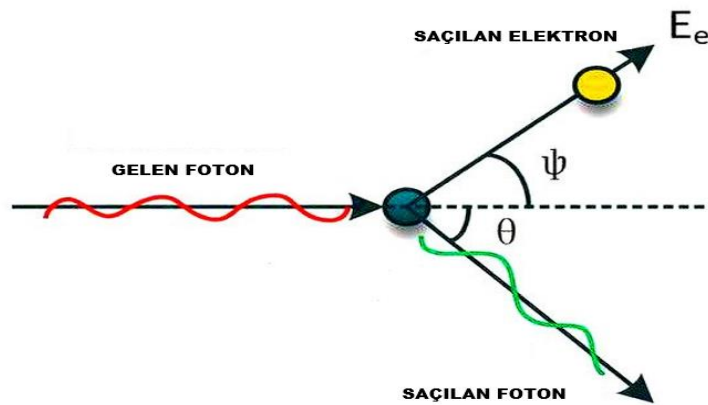


Şekil 2.2 Fotoelektrik Etki

2.2 Compton Saçılması

Compton saçılması, bir fotonun yüklü bir parçacık ile genellikle bir elektronla etkileşimden sonra saçılması olayıdır. Fotonun enerjisinde bir azalmaya neden olması durumunda, bu etkiye Compton etkisi denir. Fotonun enerjisinin bir kısmı geri tepen elektrona aktarılır. Compton saçılması genellikle sadece bir atomun elektronlarını içeren etkileşimi ifade eder (wikipedia, 2011).

Compton saçılmasını kısaca özetlemek gerekirse, yüklü bir parçacık tarafından ışığın esnek olmayan saçılmasının bir örneğidir. Yüksek enerjili bir foton, dış katmanında elektronları olan bir hedefle çarpışır. Çarpıştıktan sonra enerjisinin bir kısmını elektrona aktararak daha yavaş bir biçimde saçılarak devam eder (Helmenstine, 2018). Şekil 2.3 te Compton saçılması gösterilmiştir.



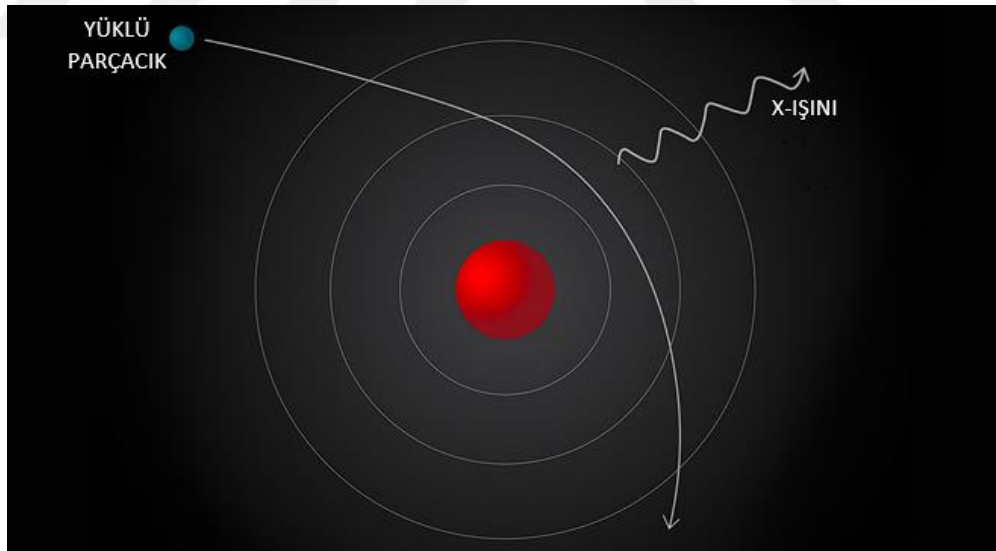
Şekil 2.3 Compton Saçılması

2.3 Thomson - Rayleigh Saçılması

Rayleigh saçılımı, ışığın veya diğer elektromanyetik radyasyonun, ışığın dalga boyundan daha küçük tanecikler tarafından saçılımını ifade eder (vikipedi, 2013). Rayleigh saçılımı, serbest yüklü bir parçacığın foton ile yaptığı etkileşimler sonucu esnek saçılması olarak tanımlanabilir (Szu-Yuan ve ark., 1998; Dinç, 2019).

2.4 Bremsstrahlung Işıması

Yüklü bir parçacığın başka bir yüklü parçacık tarafından saptırılarak yavaşlaması sırasında meydana gelen ışınım, bremsstrahlung ışması denir (Haug ve Nakel, 2004; wikipedia, 2016). Bremsstrahlung ışması, herhangi yüklü iki parçacık arasında meydana gelebileceği gibi genelde çekirdek ile bir elektron arasındaki saptırılmasıyla meydana gelmektedir (Haug ve Nakel, 2004; wikipedia, 2016; Dinç, 2019). Gelen yüklü parçacığı kendisine doğru çekmeye başlayan diğer yüklü parçacık, gelen yüklü parçacığın ivmeli bir hareket yapmasına böylelikle rotasından sapmasına neden olur. Sapan yüklü parçacık enerji kaybedeceği için yavaşlar ve hatta durabilir. Bremsstrahlung ışmasının şematik gösterimi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Kasar, 2020). Şekil 2.4 te Bremsstrahlung Işıması gösterilmiştir.



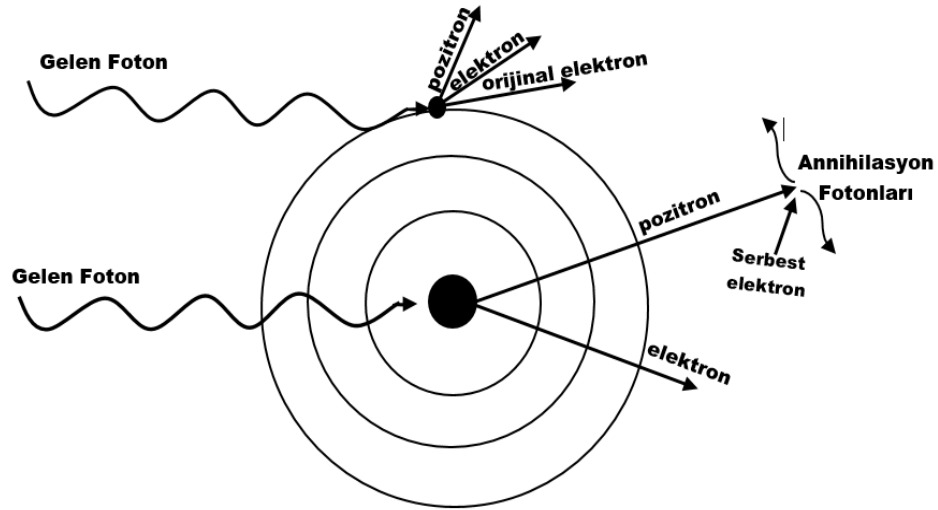
Şekil 2.4 Bremsstrahlung Işıması

2.5 Çift Oluşum

Gerekli enerji seviyesine sahip foton, madde tarafından soğurularak zıt yüklü parçacıklar oluşturur (Şahin Yalçın, 2013). Gerekli enerji seviyesine sahip foton, madde tarafından soğurulması sırasında çekirdek yakınında biri + diğeri - olmak üzere iki

parçacık oluşur. Gerçekleşen bu olay sırasında + olan pozitron, – olan elektrondur ve bu olaya çift oluşum denir (Şahin Yalçın, 2013; Dinç, 2019).

Yüklü parçacıklardan biri veya her ikisi daha büyük miktarda kinetik enerji taşıyorsa, çeşitli başka parçacıklar üretilebilir. Çift oluşum olayının yanı sıra çift annihilasyon(yok olma) olayı vardır. Çift yok olma, bir pozitronun bir elektronla çarpışması sonucu her iki parçacığın da yok olmasına neden olan süreçtir. Şekil 2.5 te Çift Oluşum ve Annihilasyon gösterilmiştir.



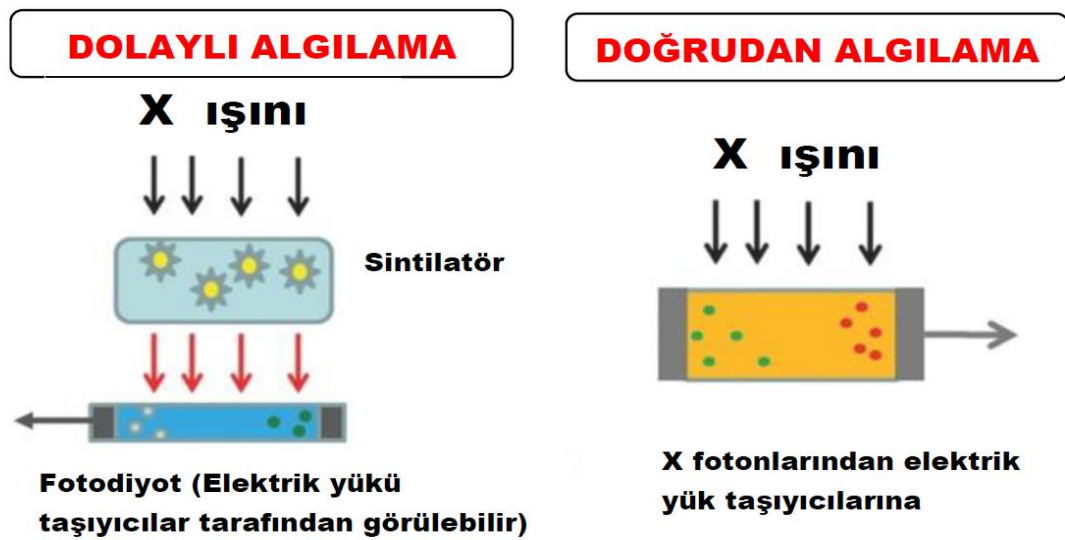
Şekil 2.5 Çift Oluşum ve Annihilasyon

3. X-IŞINI DEDEKTÖRLERİ

X-ışınlarının tespiti için dedektörler kullanılmalıdır, kullanılan bu dedektörlere radyasyon dedektörleri veya x-ışın dedektörleri denir. Bu dedektörlerin çalışma prensibi x-ışınlarının madde ile etkileşimi sonucu sinyale çevrilerek elde edilen sinyallerin yorumlanması prensibine dayanır.

3.1 Radyasyon Dedektörleri

Radyasyon dedektörleri geleneksel olarak İyonlaştırıcı radyasyon algılama alanında iki tipe ayrılabilir: doğrudan dedektörler ve dolaylı dedektörler. Doğrudan dedektörlerde algılamada, yarı iletkenler, A/D devresi (Analog/Dijital çeviriciler, girişlerine uygulanan akım, gerilim, sıcaklık gibi büyüklükleri değerleri ile orantılı olarak çıkışında dijital sinyale çeviren devrelerdir.) tarafından doğrudan elektrik sinyalleri olarak alınan X-ışını radyasyonu altında sinyaller üretir. Dolaylı dedektörlerde algılama, sintilatörler X-ışınlarını görünür fotonlara dönüştürür ve ardından bunları fotodiyotlarla algılar. Görünür ışık fotonları, fotodiyotlar gibi ek optoelektronik cihazlar tarafından elektrik sinyallerine dönüştürülür. Dolaylı dedektörle karşılaştırıldığında, doğrudan dedektör daha yüksek X-ışını absorpsiyon katsayısına ve uzaysal çözünürlüğe sahiptir (Chen ve ark., 2021). Dolaylı detektörler, gelen fotonları doğrudan detektörlere göre daha az verimle işlemektedir (Andor, 2022). Şekil 2.1 de doğrudan ve dolaylı dedektörlerin şematik gösterimleri yapılmıştır.



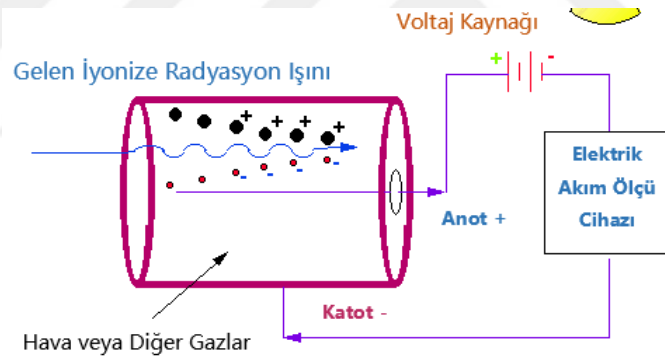
Şekil 3.1 Doğrudan ve Dolaylı Detektörlerin Şematik Gösterimi

Organik yarı iletken teknolojisinin gelişimi, doğrudan X-ışını dedektörlerinin keşfedilmesine ve araştırılmasına yol açmıştır. Organik yarı iletkenler, düşük karanlık akım, iyi doğrultma ve yüksek taşıyıcı hareketliliği özelliklerine sahiptirler. Ayrıca basit uygulama süreci ve ışık yayan diyotlar gibi üretim sürecindeki düşük maliyetleri nedeniyle yavaş yavaş elektronik cihazların tüm alanlarını kapsamaya başlamıştır .

Radyasyon dedektörlerinin üç farklı ana tipi vardır . Bunlar gaz iyonizasyonuna dayalı dedektörler, sintilasyon dedektörleri ve yarı iletken dedektörlerdir.

3.1.1 Gazlı Dedektörler

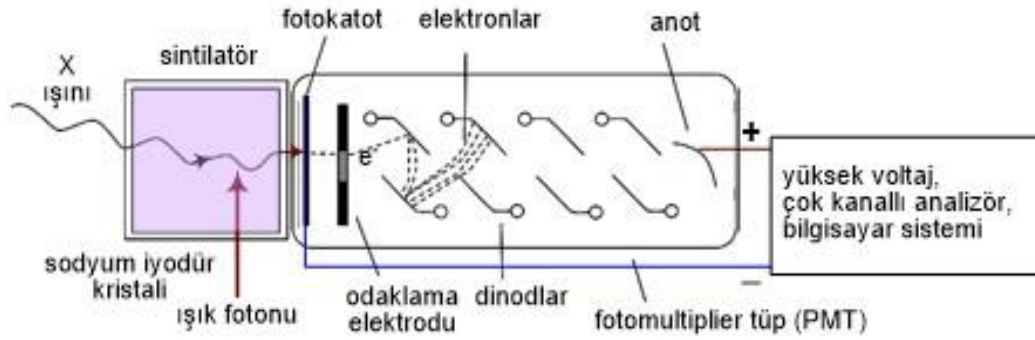
Gazlı dedektörler, radyasyonun meydana getirdiği iyonizasyon akımını ölçmeye yarayan detektörlerdir. Gazlı dedektörlerde genellikle yüksek basınçta argon, hava veya helyum gazları kullanılmaktadır. Bu gaz anod ve katod arasında sıkıştırılarak bir manyetik alan oluşturulur. Radyasyon gaz ile etkileşime girip bir iyonizasyon akımı oluşturur. Oluşan bu akım radyasyonun şiddetine göre doru orantılı olarak değişir ve radyasyonun şiddeti ölçülür (Dönmez, 2017).



Şekil 3.1.1 Gazlı Radyasyon Dedektörünün Şematik Gösterimi

3.1.2 Sintilasyon Dedektörleri

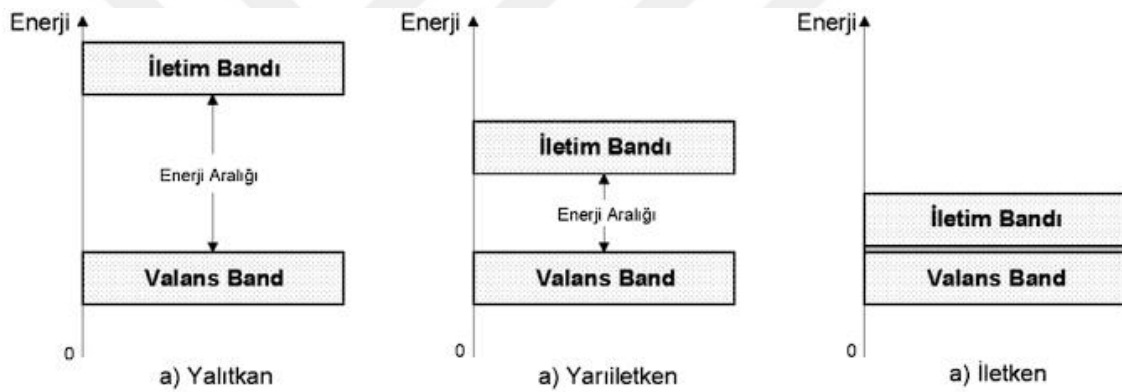
Sintilasyon dedektörleri radyasyonun ışıldamasına dayalıdır. Bazı materyaller, bir radyasyon kuantumunu emerken, bir ışıldama üretecek özel bir özelliğe sahiptir. Işıldamanın yoğunluğu radyasyon enerjisiyle orantılıdır. Bu ışıldama, bir fotoelektron çarpanı ile güçlendirilir. Enerji çözünürlüğü, yarıiletken dedektörleriyle karşılaştırıldığında zayıf olsa da, birçok amaç için yeterlidir. Şekil 3.1.3 te sintilasyon dedektörünün şematik gösterimi yapılmıştır.



Şekil 3.1.2 Sintilasyon Dedektörü (Beşergil)

3.1.3 Yarıiletken Dedektörler

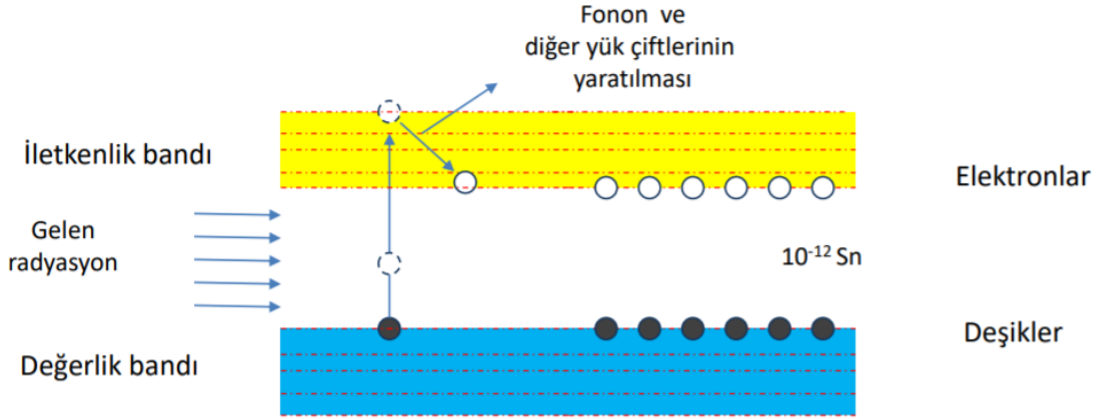
Yarı iletkenler, kimyasal yapıya, sıcaklığa, aydınlatmaya ve katkı maddelerinin varlığına bağlı olarak elektronik iletimini kontrol etme yeteneğine sahip inorganik veya organik malzemelerdir.



Şekil 3.1.3 İletkenlik Bandı

Yarıiletken dedektörler gaz dedektörleri ile benzer şekilde çalışan ancak gaz yerine katı madde kullanılan dedektörlerdir (Dönmez, 2017). İyonizasyon, iki yarı iletken malzemenin p-n bağlantısında gerçekleşir. Genelde Li, Ge veya Si gibi malzemeler kullanılır.

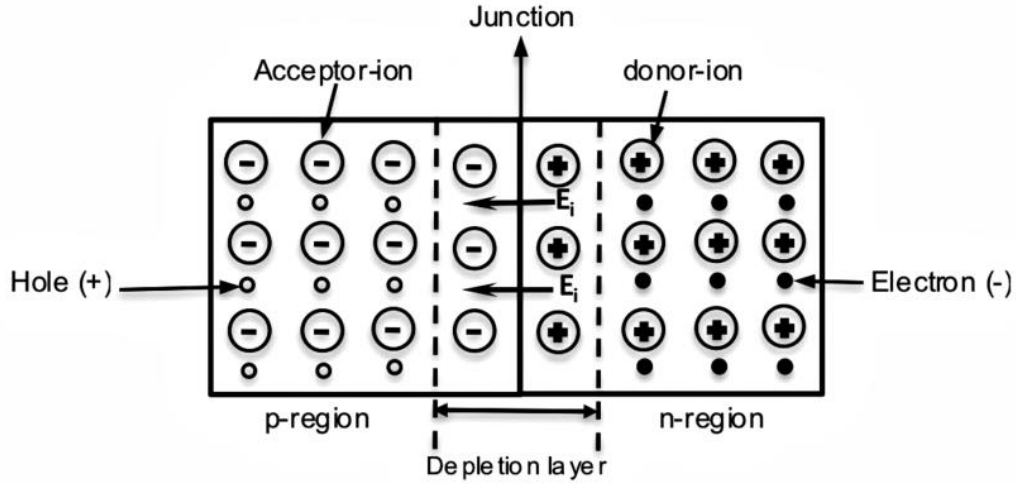
Yarıiletken dedektörlerde yük taşıyıcılar, iyonizasyon odalarında olduğu gibi elektrotlar tarafından üretilir ve toplanır. Bununla birlikte, yük taşıyıcılar, iyonizasyon odalarındaki gibi elektronlar ve iyonlar değil, elektronlar ve hollerdir. Yarı iletken dedektörler yüksek enerjili radyasyona maruz kaldığında, elektron-boşluk çiftleri üretilir ve elektrik akımına dönüştürülür (Silva, 2014).



Şekil 3.1.4 Yarı iletken dedektörlerde sinyalin oluşumu (Bor, 2020)

Bir elektron-iyon çifti oluşturması için, sintilatörlerde 100 eV ve gaz dedektörlerinde 30 eV enerji gerekli iken yarı iletken malzemelerde ise ortalama 3 eV gibi küçük bir enerji gerekir. Buradan yarı iletken dedektörlerin enerji çözünürlüğündeki avantajı daha iyi anlaşılmaktadır (Ouseph, 1975). Yarıiletken dedektörler, tüm detektörlerden farklı olarak; yoğun iyonizasyon ortamı, hızlı zamanlama karakteristiği, yüksek enerji çözünürlüğüne sahip, yüksek taşıyıcı verimlere sahiptirler.

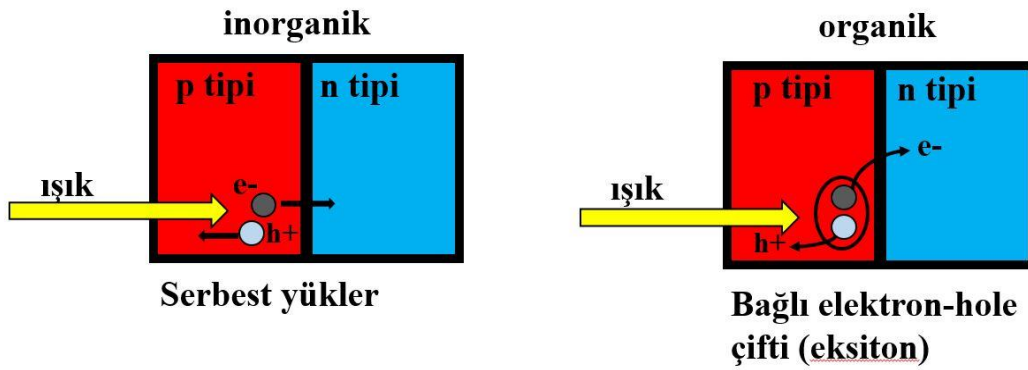
Yarıiletken dedektörler, N tipi ve P tipi olmak üzere ikiye ayrılır. N tipi yarıiletkenler, elektron fazlalığı olan iletkenlerdir. Bir yarıiletkenin radyasyon dedektörü olarak işlev görmesi için, radyasyona maruz kalan aktif alanın aşırı elektrik yüklerinden arındırılmış (tükenme bölgesi) olması gerekir. Tükenme bölgesi elde edilebilmesi için PN bağlantıları gibi yüksek saflıkta malzemelerin kullanılarak oluşturulabilir. PN bağlantıları, n-tipi bir yarı iletken (elektron fazlalığı) bir p-tipi yarı iletkenle (delik fazlalığı) temas ettirildiğinde elde edilir. Ardından, elektronlar ve boşluklar sırasıyla n-bölgesinden p-bölgesine ve p-bölgesinden n-bölgesine yayılır ve arayüz etrafında yeniden birleşirler. Geride elektronlar ve yeniden birleşen boşluklar tarafından bırakılan iyonlar, yeniden birleştirilecek yük taşıyıcı kalmayınca kadar daha fazla elektronu ve deliği çekecek bir elektrik alanı oluşturur (Silva, 2014). Şekil 3.1.5 te PN bağlantısı gösterilmiştir.



Şekil 3.1.5 PN Bağlantısı (Silva, 2014)

3.2 X-ışını Dedektörünün Çalışma Mekanizması

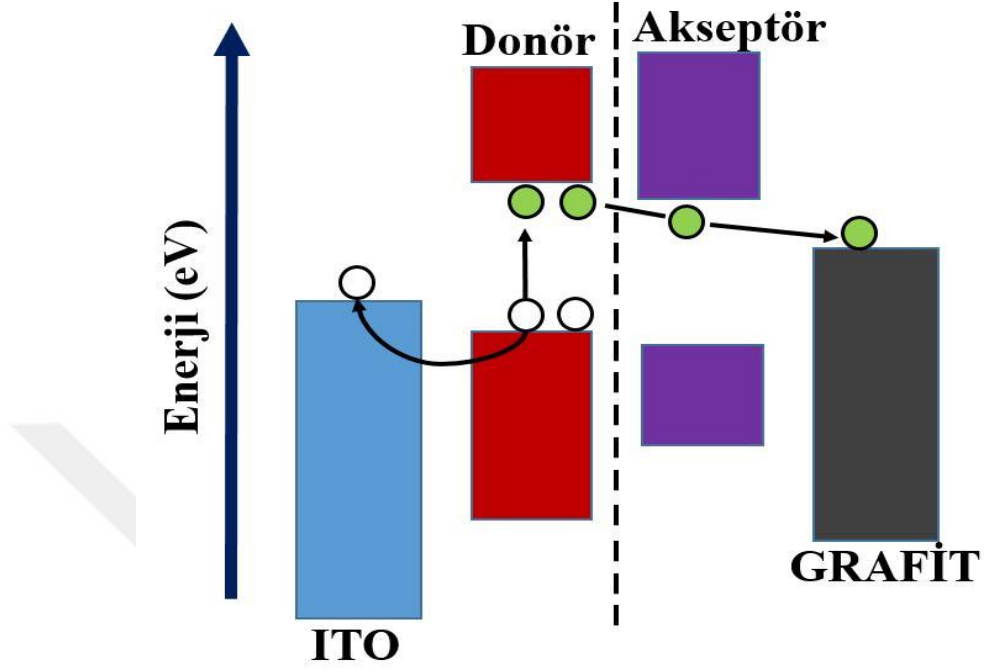
Polimer tabanlı X-ışın dedektörünün inorganik tabanlı dedektörlerin yapılarından çalışma mekanizması tamamen farklıdır. Serbest yüklerin oluşumu ve taşınımı bakımından iki yapıda da farklıdır. İnorganik yapılarda X-ışını altında malzeme içinde serbest elektron boşluk çifti oluşur ve azınlık yük taşıyıcıları sayesinde fotoakım oluşur. Ancak polimer yapılarda X-ışını altında foto-aktif katmanda sıkı bağlı elektron-boşluk çifti (eksiton) oluşur. Oluşan eksiton sadece donör-akseptör bölgesinde ayrışarak yük taşıyıcı elde edilebilir.



Şekil 3.2 Organik ile İnorganik hücrelerde yük oluşumu ve transfer mekanizması

Eksiton oluşumu fotoaktif katman içinde HOMO ve LUMO seviyeleri arasında gelen fotonlar sayesinde gerçekleşir ve bağlı eksitonlar oluşur. Foto-eksiton oluşum hızı ve oranı aktif katmanın kalınlığına, absorpsiyon spektrumuna ve absorpsiyon katsayısına bağlıdır. Eksiton oluşumundan sonra ayrışmaları gerekmektedir. Eksitonlar elektriksel olarak nötr oldukları için elektrik alandan etkilenmezler fakat difüzyon yoluyla

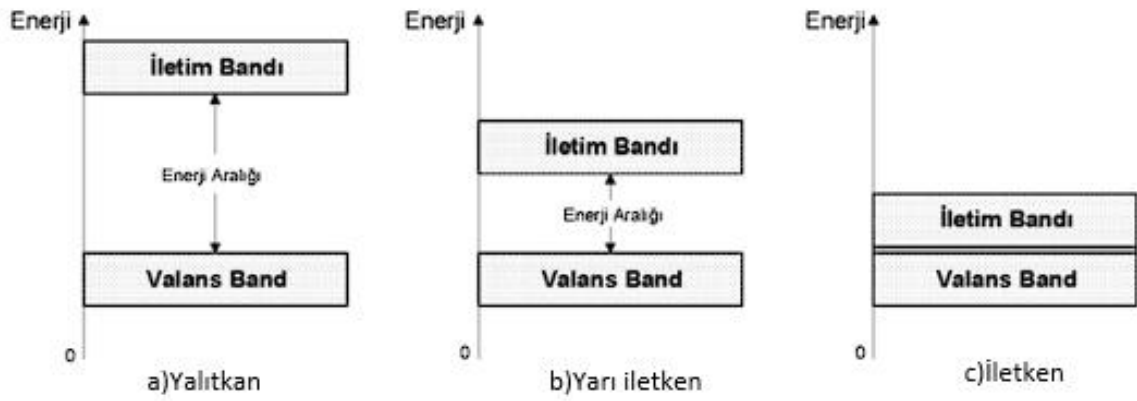
ilerleyebilirler. Organik malzemelerde üretilen bir eksitonun difüzyon mesafesi 10-20nm civarındadır. Eğer bu mesafe içinde eksitonlar ayrışamazlar ise rekombine olarak kaybolurlar ve fotoakımın düşmesi ile verim kaybına sebep olurlar.



Şekil 3.3 Polimer hücrelerde transfer mekanizması

4. ORGANİK YARI İLETKENLER

Organik yarı iletkenler, yapı taşları karbon ve hidrojen atomlarından ve bazen de nitrojen, kükürt ve oksijen gibi heteroatomlardan oluşan pi-bağlı moleküller veya polimerler olan maddelerdir. Genelde kristal veya amorf ince film şeklinde bulunurlar. Film yapısı, çözelti tabanlı biriktirme tekniklerinden, yani geniş alanların düşük maliyetlerle hızlı ve kolay bir şekilde kaplanmaktadır. Organik filmler, X-ışını tespiti için araştırmalar yapılmaya devam etmekte olup esnek elektronik uygulamalarında kullanım alanlarının artacağı öngörülmektedir. Organik yarı iletkenler, elektriksel özellikleri bakımından genelde yalıtkan halde bulunmaktadırlar, ancak uygun dış uyarılma ile uyarıldığında elektrotlardan yük geçişi oluşur ve iletken hale gelirler. Moleküler kristallerde, değerlik bandının tepesi ile alt iletim bandı arasındaki enerjisel ayırım, yani bant aralığı, tipik olarak 2.5-4 eV iken, inorganik yarı iletkenlerde bant boşlukları tipik olarak 1-2 eV'dir.



Şekil 4.1 İletkenlik Durumuna Göre Enerji Diyagramı

4.1 Konjuge Yarı İletken Polimerler

Konjuge yarı iletken polimerler, radyasyon tespiti için kullanılan ana malzemelerdendir. Bununla birlikte genellikle düşük taşıma kapasitesi ve zayıf radyasyon özellikleri gibi nedenlerden dolayı kullanım sınırlamalarına neden olur (Beckerle ve Ströbele, 2000). Bununla birlikte, malzemeler radyasyon sertliği sınırlamaları ile karşı karşıyadır ve yüksek enerjili parçacıkların raf ömürlerinin sınırlı olması nedeniyle tarihsel olarak tek kullanımlık cihazlar olarak incelenmiştir (Owens ve Peacock, 2004).

Genel olarak, organik yarıiletken teknolojilerinde tipik olarak kullanılan malzemelerdeki elementlerin düşük atom numarası, yüksek enerjili radyasyonla sınırlı etkileşime girer (Boroumand ve ark., 2007). Son zamanlarda yapılan çalışmalar,

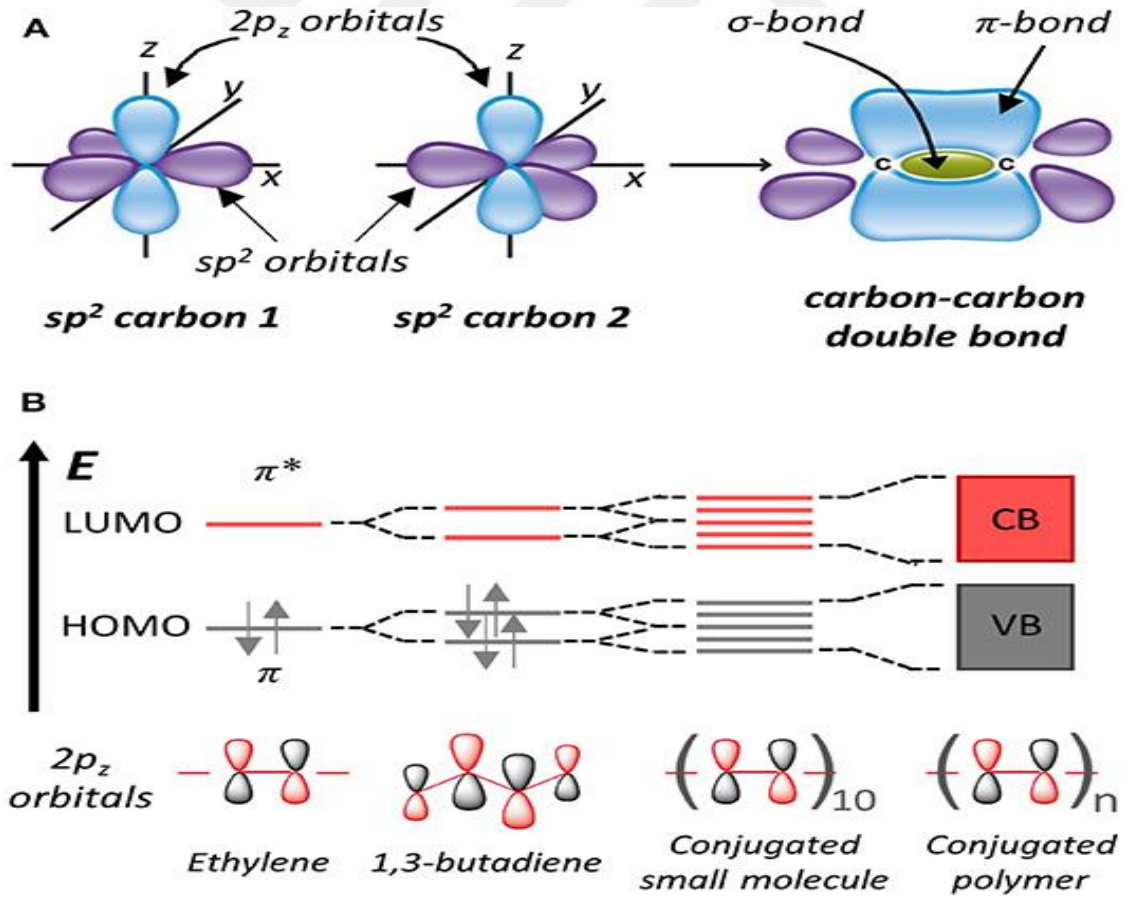
P3HT:PCBM organik fotodiyotun etkileyici hassasiyetleri gösteren çalışmalar yapılmakta olup bu çalışmalara devam edilmektedir. Bu tezde dedektörün aktif ara katmanı olarak P3HT:PCBM kullanılmıştır.

4.2 Organik Yarı İletkenlerde Temel Fotofizik

Bir malzeme sisteminde elektrik iletkenliği için istenilen temel gereklilik, harici bir alandan enerji alabilecek elektronların olmasıdır. Organik yarı iletkenler, kimyasal yapıları ağırlıklı olarak karbon elementine dayalı olan malzemeler olup bu tür delokalizasyonlar, molekülleri organik bir katının alt birimleri olarak birbirine bağlayan π -konjuge bağ aracılığıyla gerçekleştirir. Tek bir karbon atomu, elektronların atomdaki çeşitli atomik orbitallerdeki doluluğu gösteren bir gösterim olan $1s^2 2s^2 2p^2$ elektronik dizilimiyle tanımlanır. Bu elektronik dizilimde, birinci ve ikinci kabukların s-orbitallerinin iki elektron tarafından tamamen dolu olduğu, kalan iki elektron ise üç dejenere p-orbitalinin ikisine dağıtılmış olduğu (p orbitalinde en fazla 6 elektron bulunabilir) açıkça ortaya çıkar. Bir moleküldeki komşu karbon atomları birbiriyle kimyasal bağ oluşturduğunda, Paylaşılan elektron yoğunluğu, C2s ve C2p atomik orbitaller arasındaki etkileşimin oluşturduğu karma orbitlere dağıtılarak, elektronların değerlik kabuk elektron çifti geri tepme teorisine göre birbirinden uzamsal ayrılmasını en üst düzeye çıkarır (Gillespie, 1963).

Bir katıdaki iki karbon atomu arasındaki bir çift bağ için, her bir atomun sadece üç komşusu vardır ve bu nedenle, bir elektron s-orbitali tarafından ve iki elektron p-orbitali tarafından sağlanır, böylece üç yeni sp^2 hibritleştirilmiş orbital oluşturulur. Bu hibrit yörüngeler bir düzlemde yer alır ve bir eşkenar üçgenin geometrisini benimser. Karbon atomundan (2pz) kalan p-orbitali hibritleştirilmemiştir ve ekseni hibritleştirilmiş sp^2 yörüngelerinin bulunduğu düzleme diktir (Şekil 3.1). Karbon atomları daha sonra sp^2 orbitallerindeki elektronların paylaşılması yoluyla komşu karbon atomlarıyla üç σ -bağı ve 2pz orbitallerindeki elektronların paylaşılması yoluyla bir komşu atomla tek bir π -bağı oluşturabilir (Atkins ve ark., 2018). Bu kavram, artan sayıda karbon atomu içeren bir π -konjuge ağa genişletildiğinden, 2pz atomunun orbitalleri, tüm molekül boyunca delokalize elektron yoğunluğuna sahip tek bir moleküler orbital oluşturmak için doğrusal süperpozisyon yoluyla örtüşür. Organik yarı iletkenlerin elektronik özelliklerini belirleyen bu π elektronlarının etkileşimidir. Organik yarı iletkenler, konjugasyon uzunluğu arttıkça enerji seviyeleri birbirine yakın hale gelir ve değerlik bandının analogunun artık en yüksek işgal edilen moleküler orbital (HOMO) olduğu inorganik katı

hal yarı iletkenlerde gözlemlenene benzer "bant" yapıları ile sonuçlanır ve iletim bandının analogu, en düşük boş moleküler orbitaldir (LUMO) (Şekil 2) (Clarke ve Durrant, 2010). Bununla birlikte, inorganik yarı iletkenlerden farklı olarak, birincil ışıkla uyarılmış durum, serbest yük taşıyıcılarından ziyade bağlı elektron-hole çifti (eksiton) olarak meydana gelir. Ayrıca, π -orbitalleri arasındaki zayıf etkileşim nedeniyle yük taşıyıcıların taşınması bir bant taşıma modeli ile anlaşılabilir. Bu özelliklerin her biri, ya organik yarı iletkenlerin ışıkla uyarılmasının kritik olduğu dolaylı iyonlaştırıcı radyasyon algılaması ya da radyasyonun doğrudan iyonlaştırıcı algılaması dikkate alındığında önem kazanır. Bu nedenle, iyonlaştırıcı radyasyon tespiti için bu malzemelerin kullanımının nasıl optimize edileceğini anlamak için organik yarı iletkenlerde hem yük üretiminin hem de yük taşınmasının nasıl benzersiz olduğunu görmek için araştırılmaya değer. Şekil 3.1'de Bir karbon-karbon çift bağında bir σ -bağı ve bir π -bağı oluşturmak üzere birleşen hibritleştirilmiş sp^2 ve hibritlenmemiş $2p_z$ orbitallerinin şematik bir gösterimi ve organik yarı iletkenlerdeki bant yapılarının kökenini gösteren moleküler orbitallerin uzun konjuge oligomere ve polimere uzantısı gösterilmiştir.



Şekil 4.2 (A) Bir karbon-karbon çift bağında bir σ -bağı ve bir π -bağı oluşturmak üzere birleşen hibritleştirilmiş sp^2 ve hibritlenmemiş $2p_z$ orbitallerinin şematik bir gösterimi. (B) Organik yarı iletkenlerdeki bant yapılarının (VB, değerlik bandı; CB, iletim bandı) kökeni gösteren moleküler orbitallerin uzun konjuge oligomere ve polimere uzantısı (Clarke ve Durrant, 2010)

4.3 Yük Ayrışımı

Tüm yarı iletken malzemelerdeki birincil foto-uyarılma süreci, gelen radyasyonun, emici malzemenin uyarılmış durumunda bir elektron-delik çiftine dönüştürülmesini içerir. Gelen radyasyonun verimli tespiti, fotojenere elektron-hole çiftinin, yüksek kuantum verimi ve minimum serbest enerji kaybı ile ayrışmasına bağlıdır. Böyle bir serbest taşıyıcı ayrımı elde etmek için, elektron-boşluk çifti karşılıklı Coulomb çekim potansiyelinin üstesinden gelmelidir. Formülize edilecek olursa:

$$V = e^2/4\pi\epsilon_r\epsilon_0r$$

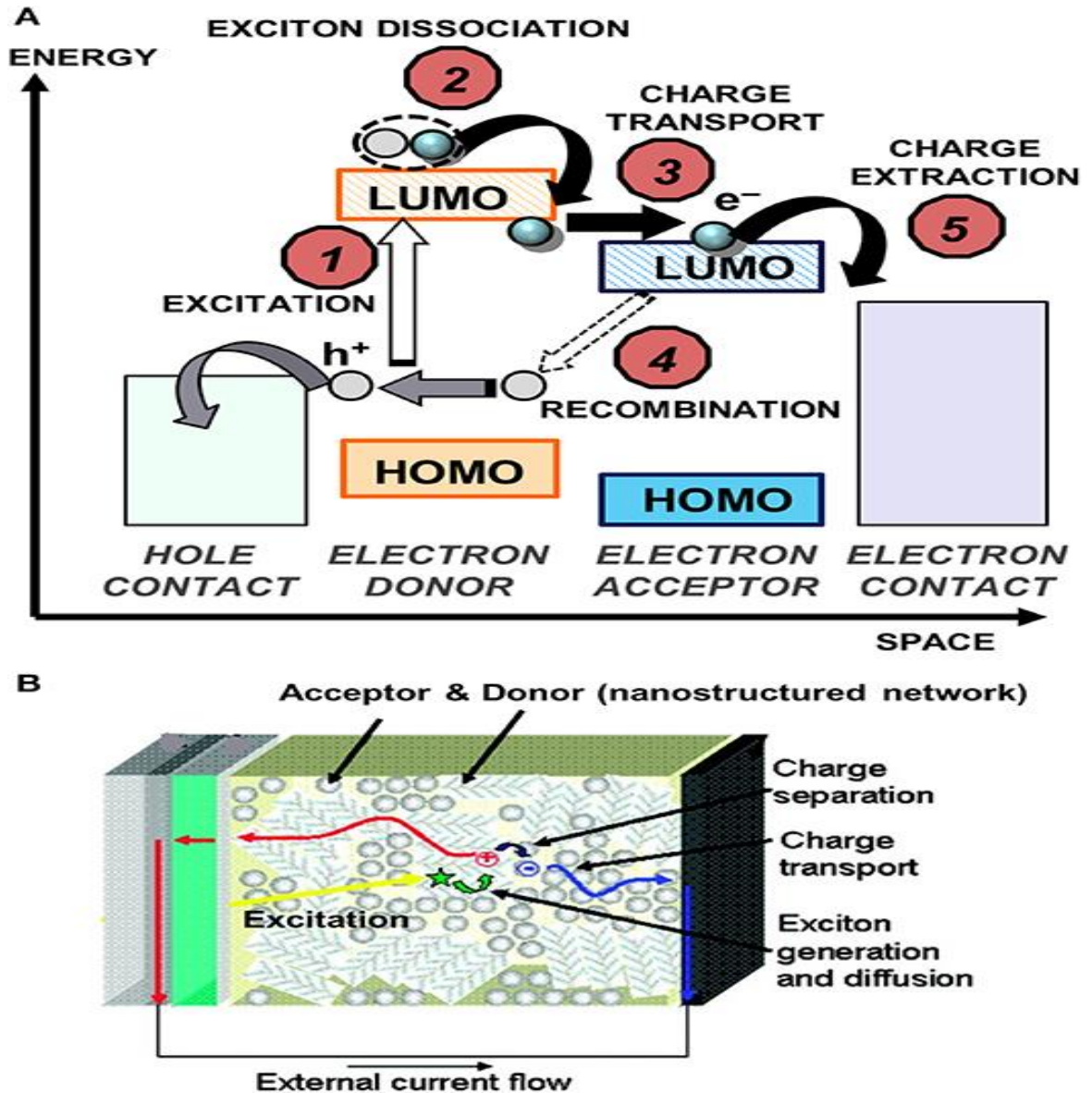
Burada e bir elektronun yüküdür, ϵ_r yarı iletken malzemenin dielektrik sabitidir, ϵ_0 boş alanın geçirgenliğidir ve r elektron-delik ayırma mesafesidir. Bununla birlikte, karbon bazlı organik yarı iletkenler için, fotojenere elektron deliği Coulomb çekimi, hem daha küçük dielektrik sabitleri hem de elektronik durumların tüm organik katı boyunca delokalize edilmek yerine tek tek moleküllere lokalize olması nedeniyle önemli ölçüde daha güçlüdür. Organik yarı iletkenlerde serbest yük taşıyıcı oluşturma mekanizmasının verimliliği, eksitonun kayda değer bir verim ile bölünmesine bağlıdır. Elektriksel olarak nötr yapıları nedeniyle, organik yarı iletkenlerdeki eksitonların hareketi elektrik alanlarından etkilenmez ve bu nedenle malzeme içinden rastgele yayılırlar. Saf organik malzemelerdeki serbest taşıyıcıların zayıf fotojenerasyonu sorunu, iki fazlı elektron verici/elektron alıcı malzeme sisteminin tanıtılmasıyla organik yarı iletkenlere dayalı birçok elektronik cihazda üstesinden gelinmiştir (Tong ve ark., 2010). Böylece iki malzemenin ilgili HOMO ve LUMO bantları arasındaki serbest enerji farkını kullanarak eksitonu ayrıştırır. Bu tür sistemlerde, iki malzemenin nano yapısı kritiktir ve eksiton difüzyon uzunluğundan daha küçük bir boyut ölçeğinde meydana gelen verici/alıcı malzeme arayüzleri oluşturmak için kontrol edilmelidir (Riede ve ark., 2008).

4.4 Yük Transferi

İnorganik moleküllerin kovalent bağlarla güçlü bağlanmasına kıyasla, organik maddeler zayıf Van der Waals bağlarıyla bir arada tutulur. Organik yarı iletkenlerdeki daha zayıf bağların bir sonucu, yük taşıyıcıların ortalama saçılma uzunluğunun ve atomlar arasındaki moleküller arası mesafenin karşılaştırılabilir olmasıdır ve bu nedenle, yük taşınması, inorganik yarı iletkenlere uygulanan bant taşıma teorisi kullanılarak açıklanamaz (Bässler ve Köhler, 2012). Bunun yerine, organik yarı iletkenlerde yük taşımaya tipik olarak, işgal edilmiş bir yerleştirilmiş durumdan yakındaki boş bir

yerleştirilmiş duruma, “atlama” olarak bilinen yük taşıyıcılarının foton destekli tünellemesi hakimdir (Liu ve ark., 2017). Bu atlama işlemi, ek atomik çarpışmalar ve saçılma olayları yaratır ve sonuç olarak, organik yarı iletken malzemelerde yük taşıyıcı taşınması, inorganik yarı iletken muadillerinden daha yavaştır. Cihazdaki taşıyıcı konsantrasyonu, alandaki serbest yüklerin çıkarılması ile başlangıçta eksitonlardan ayrılan elektron-hole çiftlerinin yeniden birleşimi arasındaki dengeye bağlıdır.

Bu temel yük taşıyıcı süreçleri, Şekil 3.4'te tipik bir organik yarı iletken donör/akseptör sistemi gösterilmiştir.

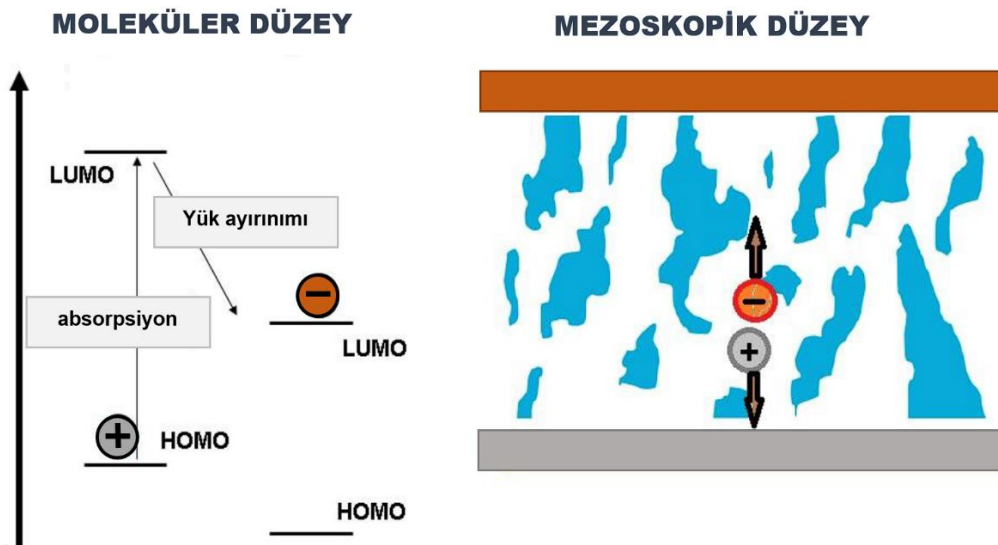


Şekil 4.3 (A) Organik yarı iletken (OSC) malzemelerde bir foto-uyarılma olayından sonra serbest yükü çıkarmak için gerekli olan foto-uyarılma, eksiton ayrışması, yük taşıyıcı taşınması ve rekombinasyon ve ekstraksiyon süreçleri ile yük üretiminin bir gösterimi (B) Taşımayı teşvik etmek ve rekombinasyonu kısıtlamak için kullanılan nano yapı bir ağı şematik bir gösterimi (Clarke ve Durrant, 2010).

4.5 Organik Yarı İletken Malzemelerde Morfolojinin Kontrolü

Işın polimer malzemeye ulaştığında soğurular ve bağlı eksitonlar oluşur. Kısadevre koşulları altında, iki elektrotun farklı çalışma fonksiyonları tarafından üretilen elektrik alanı sayesinde eksitonlar ayrılabilir. Bununla birlikte, düşük güç dönüştürme verimliliği nedeniyle, üst üste binen donör ve akseptör katmanlarla elde edilen bir heteroeklem yapısı kullanılır. Eksiton difüzyon mesafesinin dezavantajını ortadan kaldırarak daha kalın aktif tabakalar elde etmek için, verici ve alıcı malzemelerin aynı çözücü içinde karıştırılmasıyla tek tabakada sıkıca iç içe yapılar oluşturulmaya çalışılmış ve başarı sağlanmıştır. Bu şekilde elde edilen yapılara toplu yığın heteroeklem (BHJ) yapılar denir. Bu yapıların amacı, kullanılan iki malzemenin LUMO seviyeleri arasında bir kimyasal potansiyel oluşturarak verici katmandan alıcı katmana daha hızlı elektron transferini ve verimli eksiton ayrışmasını sağlamaktır. Eksitonlar ayrıldıklarında bile fiziksel olarak ayrılırlar ama çok yakın oldukları için aralarındaki Columb etkisi devam eder. Kullanılan elektrotların farklı iş fonksiyonları nedeniyle birbirlerinden tamamen ayrılarak oluşan elektrik alan nedeniyle elektrotlara doğru hareket ederler. Ancak eksitonda ayrışma olmazsa ya yeniden birleşip rekombine olurlar ya da sıkışıp kalırlar ve akışı kolaylaştıramazlar.

Moleküler düzeyde yük ayrımı, kullanılan malzemelerin moleküler özelliklerine yani enerji seviyelerine bağlıdır. Mezoskopik düzeyde ise aktif katmanın morfolojisine ve mobilitesine bağlıdır (Kösemen, 2016). Yığın heteroeklem yapıda yük ayrışımı için moleküler düzey ve mezoskopik düzeylerin şematik gösterimi şekil 3.5'te gösterilmiştir.



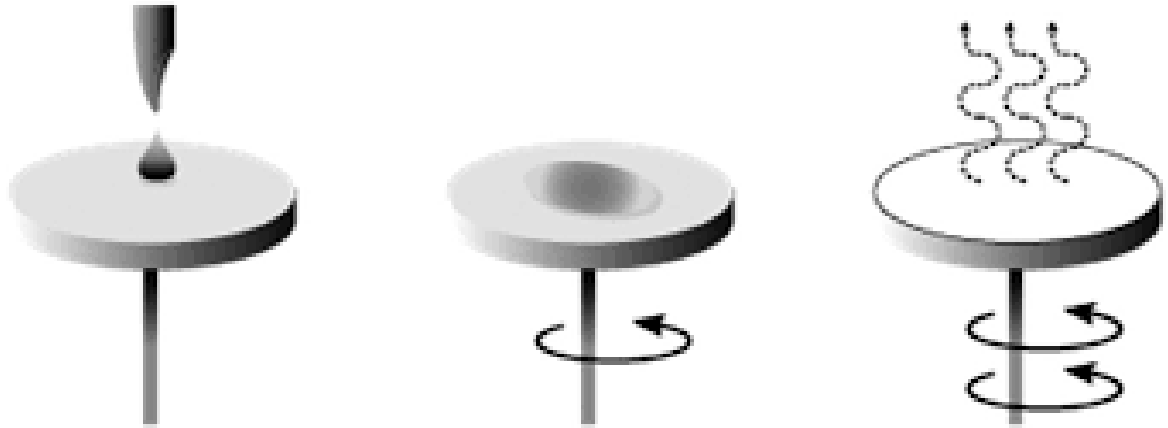
Şekil 4.4 Yığın heteroeklem yapıda yük ayrışımı için moleküler düzey ve mezoskopik düzeylerin şematik gösterimi (Kösemen, 2016)

5. KAPLAMA TEKNİKLERİ

Kalın/ince filmlerin X-ışını tespiti için aktif malzeme olarak kullanabilmek için ITO'nun üzerine kaplanmalıdır. Bazıları kalın filmlerin biriktirilmesi için daha uygundur, bazıları ince filmler için uygun olup farklı kaplama tekniklerini kullanılır. Bunun yanında biriktirme parametrelerini kontrol ederek tabaka kalınlığının ayarlanmasına izin verir.

5.1 Döndürerek Kaplama Yöntemi

Döndürerek kaplama, organik ve perovskite tabanlı elektronikler için çok kolay ve yaygın bir çözüm tabanlı biriktirme teknikleridir. Bu nedenle organik yarı iletken tabanlı X-ışını dedektörlerinin imalatı için de yaygın olarak kullanılmıştır. Özellikle, ince film perovskit bazlı X-ışını dedektörlerinin ilk döndürerek kaplama yöntemi ile yapılan araştırmalarda iyi bir verim elde edildiği gözlemlenmiştir (Basiricò ve ark., 2021). Bu yöntem, istenen altlık üzerine çözeltinin damlatılır, daha sonra dönen bir plaka aracılığıyla yüksek bir açısal hıza hızlandırılır. Çözeltinin yayılması ve çözücünün buharlaşması üzerine, çözelti konsantrasyonuna, yoğunluğa ve döndürme hızına bağlı olarak tipik olarak homojen bir kalınlık sergileyen tek biçimli bir film oluşur. İnce filmlerde yüksek verim elde edilebilmesine rağmen, kalın filmlerde daha düşük verimli filmler elde edilir. Şekil 5.1'de döndürerek kaplama yönteminin aşamaları şematik olarak gösterilmiştir.

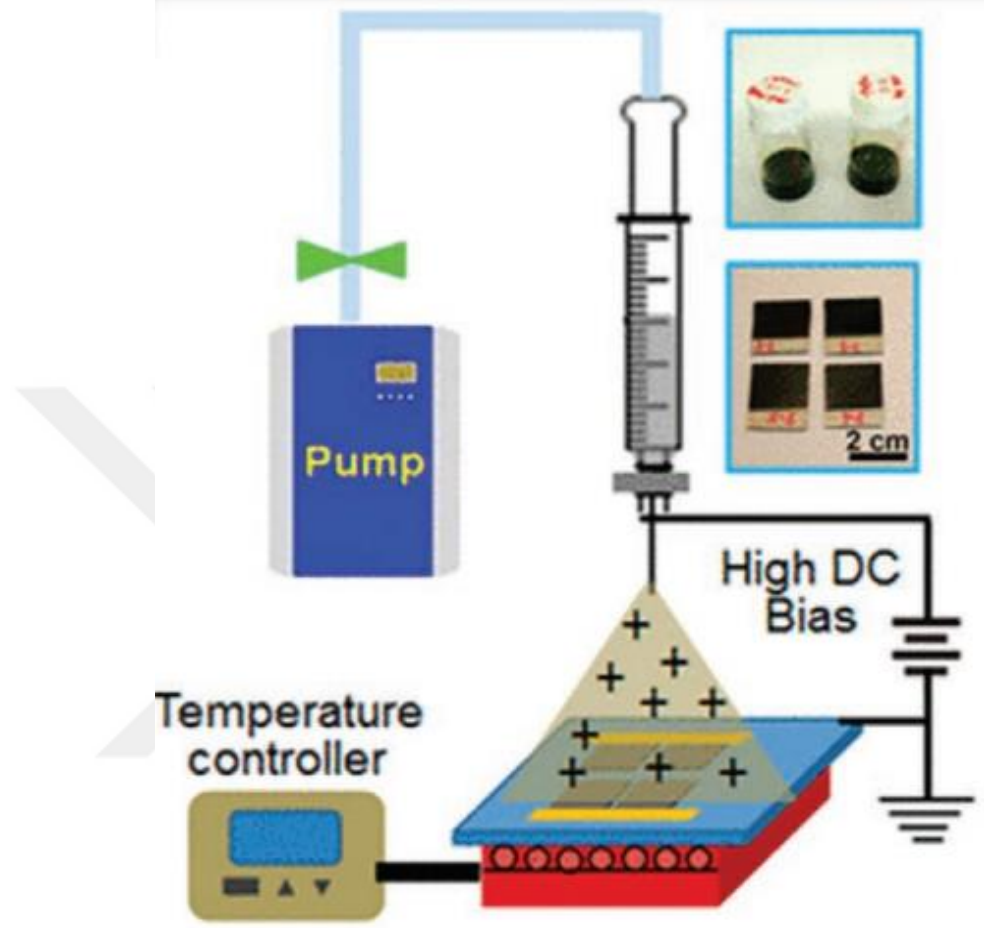


Şekil 5.1 Döndürerek Kaplama Yönteminin Şematik Gösterimi (Ramtani ve ark., 2018)

5.2 Sprey Püskürtme ile Kaplama Yöntemi

Sprey kaplama, asal bir taşıyıcı gaz tarafından çözelti haline getirilen küçük damlacıkların bir başlıktan püskürtülmesi esasına dayanır. Çözelti haline getirilmiş

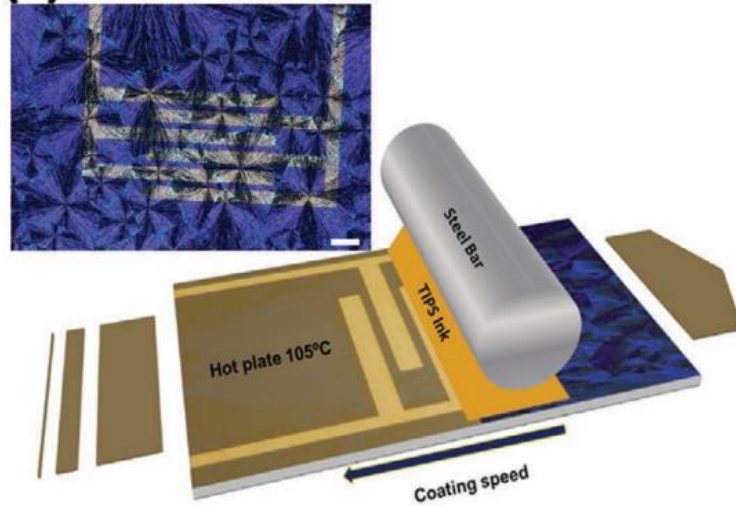
parçacıklar daha sonra alt tabakaya çarpar ve hızla kurur. Biriktirme parametrelerini (basınç, konsantrasyon, yoğunluk) ve süresini değiştirerek ayarlanabilir kalınlıkta homojen filmler oluşturur (Basiricò ve ark., 2021). Şekil 5.2’de sprej püskürtme ile kaplama yönteminin şematik gösterimi yapılmıştır.



Şekil 5.2 Sprej püskürtme ile kaplama yönteminin şematik gösterimi (Xu ve ark., 2019)

5.3 Çubuk Destekli Kesme ile Kaplama Yöntemi

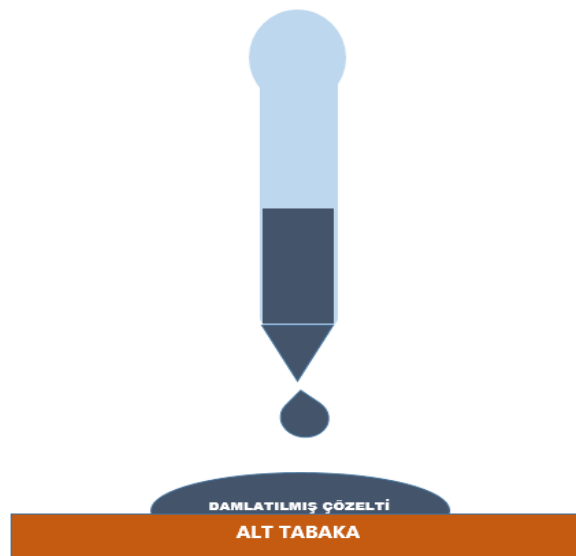
Bu kaplama yönteminde, bir alt tabakaya kaplanan çözelti fazlasını, biriken filmin kristalitlerini hizalamak için çözeltiyi veya kaplama aracını (örneğin çubuk, bıçak vb.) hareketin yönü boyunca lineer olarak hareket ettirildiği bir baskı biriktirme tekniği sınıfını ifade eder (Diao ve ark., 2014). Aslında çözelti fazlası, çözücü buharlaşması üzerine kristalleşme için hava-sıvı arayüzü görevi görerek büyüyen kristalitlerin yönsel hizalanmasına izin verir. Kaplama aracı olarak bir bıçak kullanan sıyrıcı bıçak, rulodan ruloya baskı işlemlerine uyarlandığından ve bu nedenle toplu özelleştirmeyi öngördüğünden, muhtemelen bu teknik sınıfının en yaygın olarak kullanılanıdır (Basiricò ve ark., 2021). Şekil 5.3’te çubuk destekli kesme ile kaplama yönteminin şematik gösterimi yapılmıştır.



Şekil 5.3 Çubuk destekli kesme ile kaplama yönteminin şematik gösterimi (Inés ve ark., 2020)

5.4 Damla ile Kaplama Yöntemi

Bu kaplama yönteminde, hazırlanan çözelti enjektör veya damlalık yardımı ile alt tabaka yüzeyine istenilen miktarda damlatılır. Daha sonra damlalar dış etkenlerden etkilenmeyecek şekilde kendiliğinden veya alt ısıtıcı yardımı ile kurumaya bırakılarak çözücü buharlaştırılıp film elde edilen bir yöntemdir. Damla ile kaplama yöntemi daha çok kalın film elde etmek istenilen yerlerde kullanılır. Kalın filmler, X-ışınları absorpsiyonunu artırmasını sağlar, çalışma voltajının artmasına neden olur ve cihazın bükülebilirliğini sınırlar, ancak esnek ve giyilebilir sensörler için potansiyel avantajlardan ödün verir. Bu tezde deneysel aşamasında damlama ile kaplama yöntemi kullanılmıştır. Şekil 5.4'te damlama ile kaplama yönteminin şematik gösterimi yapılmıştır.



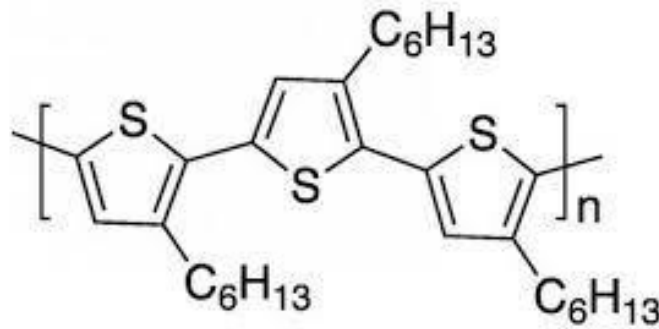
Şekil 5. 4 Damlama yönteminin şematik gösterimi

6. MATERYAL

Bu kısımda deney sırasında kullanılan malzemeler ve materyaller tanıtılmıştır. Bu çalışmada malzeme temizliğinde saf su ve etanol kullanılmıştır. Çözelti hazırlamada çözücü olarak, yüksek uçuculuk özelliğine sahip kloroform kullanılmıştır. X-ışın dedektörünün aktif katman malzemeleri olarak P3HT (poly 3-hexylthiophene) ve PCBM (Phenyl-C61-butyric acid methyl ester) Sigma Aldrich firmasından satın alınmıştır ve kullanılmıştır. Deneyde uygun koşullar olmadığından anot olarak hazır ITO (İndium tin oxide) kaplı cam altlıklar satın alınıp kullanılmıştır. X-ışın dedektöründe katot olarak Kontakt Chemie marka grafit (Graphit33) satın alınmış ve kullanılmıştır.

6.1 Poly(3hexylthiophene) (P3HT)

P3HT, düzenli bir yarı iletken polimerdir. P3HT, donör katman olarak yani ışının absorbe edildiği katman olarak kullanılır ve nötr durumda hidrofobik halde bulunurlar. Regioregular yapıdaki P3HT ile elde edilen filmlerin kristalize özelliği yüksek olduğu için, yani yük transferinde daha verimli oldukları için sıklıkla kullanılmakta olup çalışmamız sırasında da regioregular yapıdaki P3HT kullanılmıştır (Fındık, 2017). P3HT, organik fotovoltaj araştırmalarında ve cihazlarında kullanım için optimize edilmiş ultra yüksek saflıkta kullanılır. P3HT, organik ince film alan etkili transistörler (FET'ler) ve güneş pillerinde yarı iletken aktif katman şeklinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Sigma-Aldrich, 2022b).

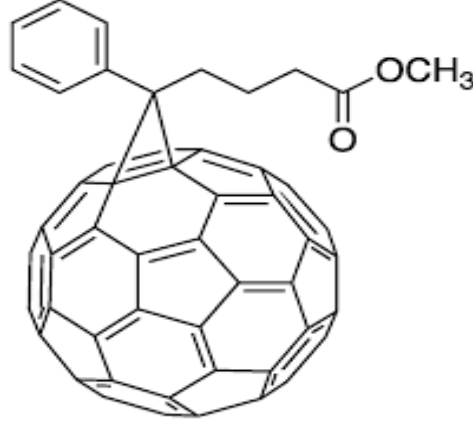


Şekil 6. 1 P3HT moleküler yapısı

6.2 Phenyl-C61-Butyric Acid Methyl Ester (PCBM)

PCBM, büyük elektrokimyasal uygulamalarda elektron alıcısı olarak kullanılan, yüksek elektron hareketliliğine sahip bir metanofullerendir. PCBM, düşük maliyetli sahip n-tipi bir yarı iletkenidir. Organik fotovoltajlar, güneş pilleri, alan etkili transistörler ve

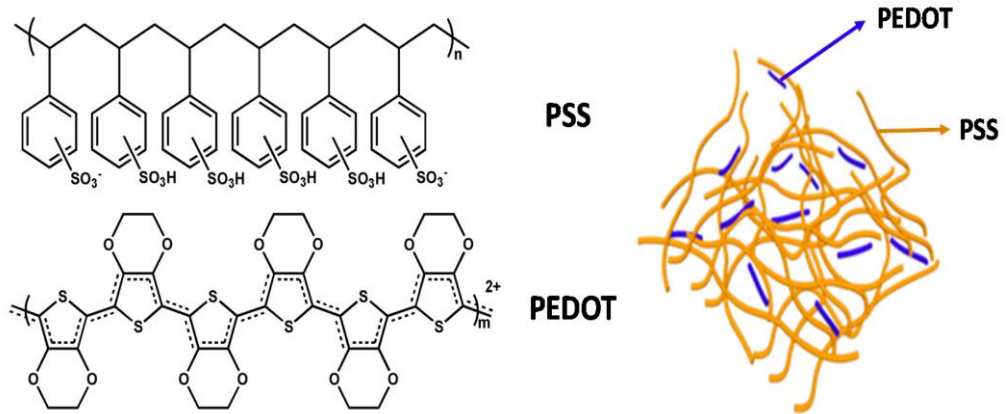
fotodetektörler gibi çeşitli enerji bazlı uygulamalarda elektron taşıma katmanı biçiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Sigma-Aldrich, 2022a). PCBM'in molekül yapısı şekil 6.1.2 de gösterilmiştir.



Şekil 6. 2 PCBM molekül yapısı

6.3 Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) Polystyrene Sulfonate (PEDOT:PSS)

PEDOT:PSS, iki iyonomerden oluşan bir polimer karışımdan oluşur. PEDOT:PSS, iletken organik termoelektrik malzemeler arasında en yüksek verime sahip malzeme olduğu için ince film mimarisinde sıkça kullanılmaktadır. Devrede elektron transfer katmanı ile ITO arasında daha verimli elektron transferine yardımcı olmak amacı ile kullanılmaktadır (vikipedi, 2022). PEDOT:PSS'nin molekül yapısı şekil 6.1.3 te gösterilmiştir.

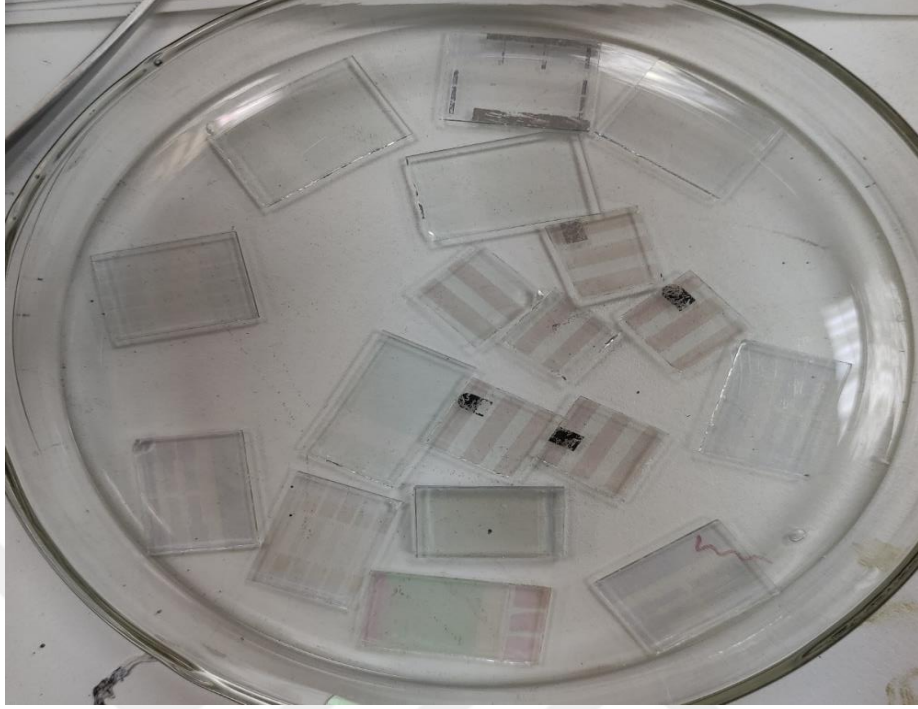


Şekil 6. 3 PEDOT:PSS molekül yapısı

6.4 İndiyum Kalay Oksit (ITO)

ITO, değişen oranlarda indiyum, kalay ve oksijenin üçlü bir bileşiminden meydana gelir. ITO, özellikle optoelektronik uygulamalarda ve ince film uygulamalarında

sıkça kullanılmaktadır. Bu çalışma sırasında ITO kaplı cam altlık anot olarak kullanılacaktır. Şekil 6.1.4'te örnek ITO kaplı camlar gösterilmiştir.



Şekil 6. 4 ITO kaplı cam altlıklar

6.5 Grafit

Grafit, son yıllarda keşfedilmiş carbon oluşumuna sahip iletken bir malzemedir. Çalışmada Kontakt Chemie marka graphit 33 iletken sprej alınıp kullanılmıştır. Bu çalışmada grafit, katot katman olarak kullanılmıştır. Şekil 6.1.5'te grafit sprejin görsel resmi gösterilmiştir.



Şekil 6. 5 Grafit sprej

6.6 MINI-X2 Miniature X-Ray Tube

Bu çalışmada ürettiğimiz radyasyon dedektörünün X-ışınına verdiği tepki analizini yapabilmek için Amptek firmasından alınan maksimum 4W gücünde ve 50kV gerilim değerine sahip olan Mini-X2 kullanılmıştır. Mini-X2, topraklanmış bir anot, akım ve voltajın USB kontrolü, 50kV modellerde basit montajı ve kullanım kolaylığı sağlayarak X-ışını floresan (XRF) sürecini güvenli bir şekilde çalışmada kullanılmasına olanak sağlamıştır (Anonim, 2019).



Şekil 6. 6 MINI-X2 Minyatür X-Işın Tüpü ve Kontrol Cihazı

6.7 KEITHLEY 6487 Picoammeter

Bu çalışmada üretilen radyasyon dedektörünün akım ve gerilim değerlerini test etmemize yarayan KEITHLEY marka 6487 piko ampermetre ve gerilim kaynağı kullanılmıştır. Cihaz, ışın izleme ve radyasyon izleme testinde, izolatörlerde, anahtarlarda, rölelerde ve diğer bileşenlerde kaçak akım testinde, yarı iletken ve optoelektronik cihazlarda IV karakterizasyonu, sensör karakterizasyonu gibi birçok farklı test ve karakterizasyon analizinde kullanılabilir (Anonim, 2022).



Şekil 6. 7 KEITHLEY 6487 Piko ampermetre

6.8 Digital Hotplate Stirrer

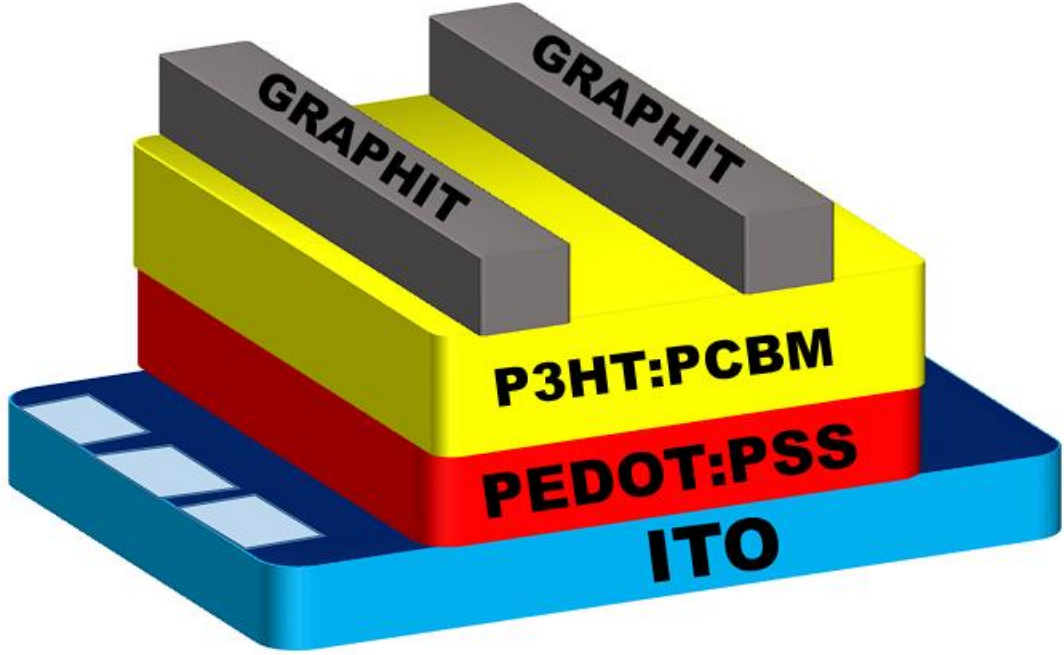
Dijital hotplate karıştırıcılar çözeltiyi veya malzemeyi istenilen sıcaklıkta ısıtılmasına, karıştırılmasına veya hem ısıtılıp hem karıştırılmasına yarayan bir cihazdır. Bu çalışmada JKI marka JK-MSH-Pro model dijital hotplate kullanılmıştır.



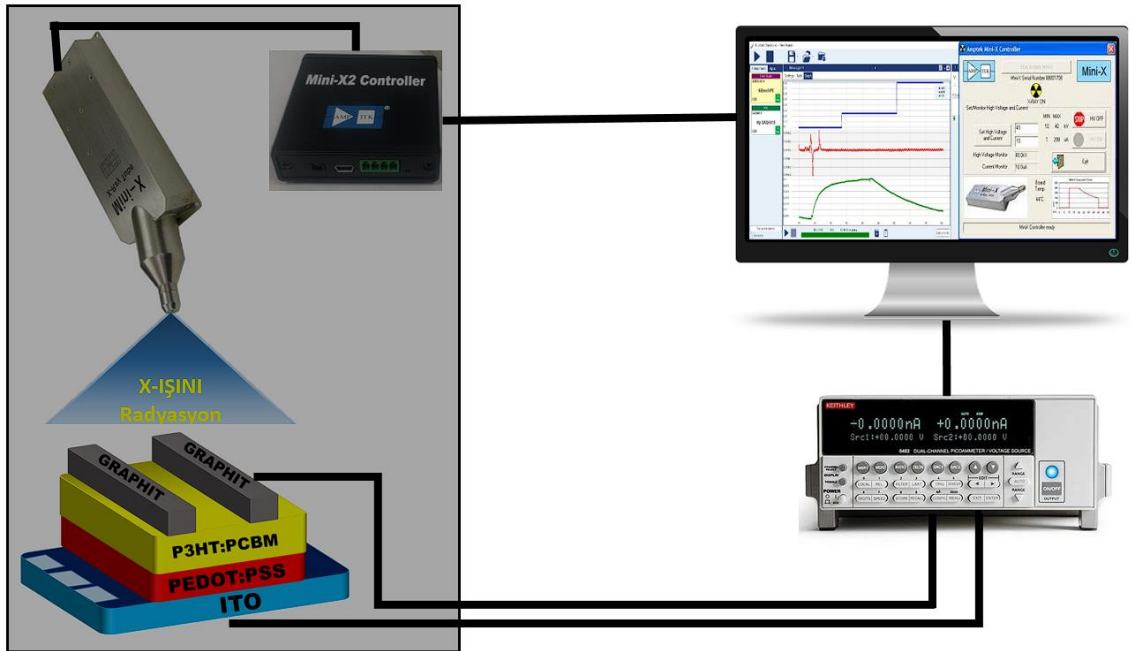
Şekil 6. 8 JKI Digital Hotplate Stirrer (Anonim, 2021)

7. DENEYSEL YÖNTEM

Bu kısımda çalışmanın yapılış aşamaları sırası ile anlatılmıştır. Çalışmamız ITO/PEDOT:PSS/P3HT:PCBM/Karbon elektrot yapısı ile üretilmiştir. Şekil 7.1’de üretilen cihazın yapısı gösterilmiştir. Şekil 7.2’de X-ışın ölçüm kurulumunun şematik gösterimi gösterilmiştir.



Şekil 7. 1 X-ışın dedektörünün cihaz yapısı



Şekil 7. 2 X-ışın ölçüm kurulumunun şematik gösterimi

7.1 ITO Elektrotun Hazırlanması

Organik güneş hücrelerinde ve X-ışın dedektörlerinde ITO kaplı cam altlıklar elektrot olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. ITO kaplı cam altlık kullanılmadan önce iyice temizlenmelidir. Temizlenmediği takdirde üretilen dedektörün verimliliğini önemli ölçüde etkileyecektir. ITO kaplı cam altlık önce deterjan ile yıkayıp normal su ile duruladıktan sonra saf su ile tekrar durulandı. Daha sonra etanol ile yıkayıp fön makinesi ile üzerinde leke kalmayacak şekilde durulanıp kullanıma hazır hale getirilmiştir.

7.2 PEDOT:PSS Ara Katmanın Hazırlanması

PEDOT:PSS ara katmanı yani elektron transfer katmanı olarak da bilinir. ITO kaplı cam altlık hazırlandıktan sonra ITO'nun üstüne kaplanır. Aktif katman ile ITO arasında daha fazla elektron akışı sağlamaya yarar. Yani daha fazla kristalize olmasına yardımcı olur. Bu çalışmada PEDOT:PSS hazır olarak alınıp önceden hazırlanmış olan döndürerek kaplama düzeneği kullanarak 40 damla damlatılıp 4000 rpm döndürerek kaplanmıştır. Döndürme sırasında istenilen alanın dışına taşan çözelti kloroform ile dikkatlice temizlenmiştir. Daha sonra kaplanan katman oda sıcaklığında kurutuldu kalan solventlerin ortadan kalkması için 120 °C sıcaklıkta 60 dk boyunca tavlansmıştır.

7.2 P3HT:PCBM Aktif Katmanın Hazırlanması

Üretilen X-ışın dedektöründe foto aktif katman olarak P3HT:PCBM çözeltisi kullanılmıştır. Çözeltide kullanılan regioregular(düzenli) yapıdaki P3HT (30 mg) ile PCBM (0, 15, 30 ve 60 mg) aktif malzemelerinden ((1:0), (1:0,5), (1:1), (1:2)) ağırlık oranlarında karışımı kullanılmıştır. Bu çalışmada (P3HT:PCBM) 1ml kloroform içinde 50 °C sıcaklıkta 1 gece boyunca titreştiricide karıştırılarak çözdürüldü. Hazırlanan çözelti 40 damla damlatılıp 4000 rpm döndürerek kaplama tekniği ile kaplanmıştır. Döndürme sırasında istenilen alanın dışına taşan çözelti kloroform ile dikkatlice temizlenmiştir. Daha sonra kaplanan katman oda sıcaklığında kurutuldu kalan solventlerin ortadan kalkması için 120 °C sıcaklıkta 60 dk boyunca tavlansmıştır.

7.3 Grafit Elektrotun Kaplanması

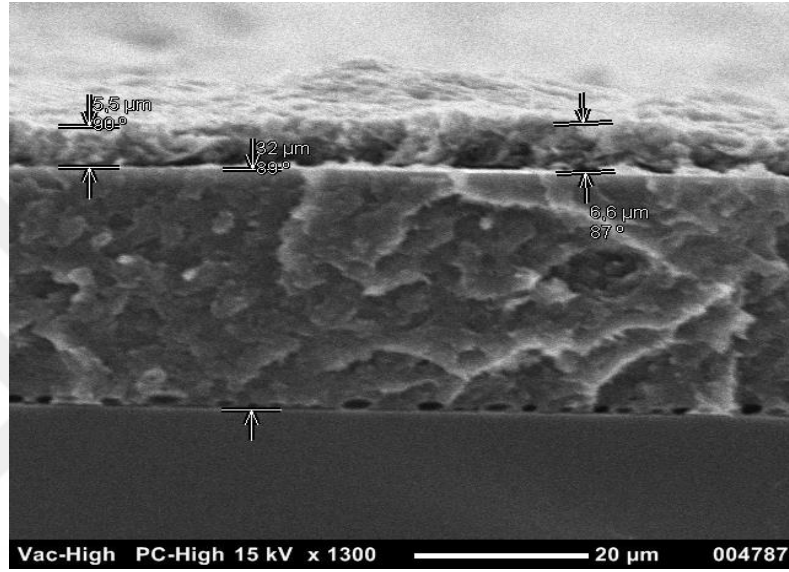
Organik güneş hücrelerinde ve X-ışın dedektörlerinde genelde yüksek iş fonksiyonlu Au ve Ag gibi metaller kullanılır. Ancak bu çalışmada son yıllarda keşfedilmiş olan ve yüksek iş fonksiyonuna sahip iletken bir malzeme olan grafit sprej kaplama yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Kaplama sırasında maskeleyerek istenilen iki bölge kaplanmıştır.



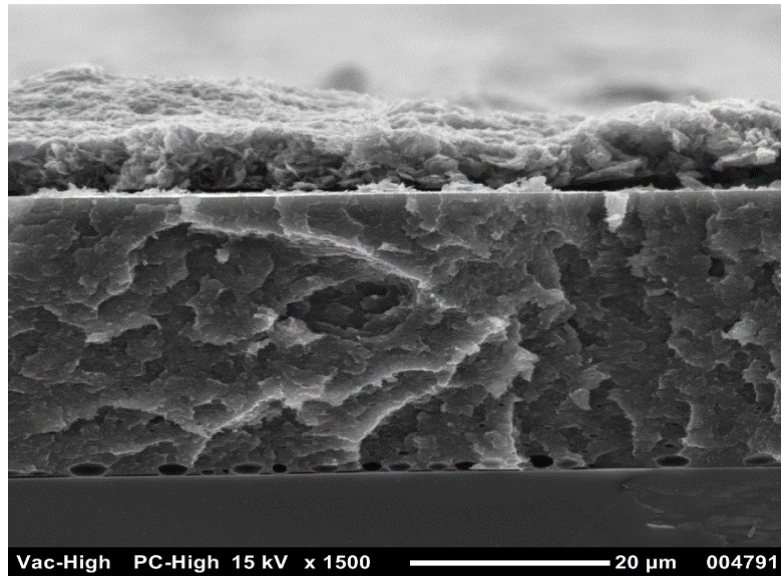
8. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

8.1 P3HT ve P3HT:PCBM (1:1) yapıların SEM görüntülerinin incelenmesi.

Şekil 8.1 ve 8.2 de sadece P3HT filmi ile hazırlanmış filmin SEM görüntüsü kesitten bakılarak verilmiştir. Şekil incelendiğinde polimer kalınlığı yaklaşık 20 μm dir. Polimer üzerine kaplanmış olan grafit elektrotta net olarak görülmekte ve kalınlığı yaklaşık 6 μm dir.



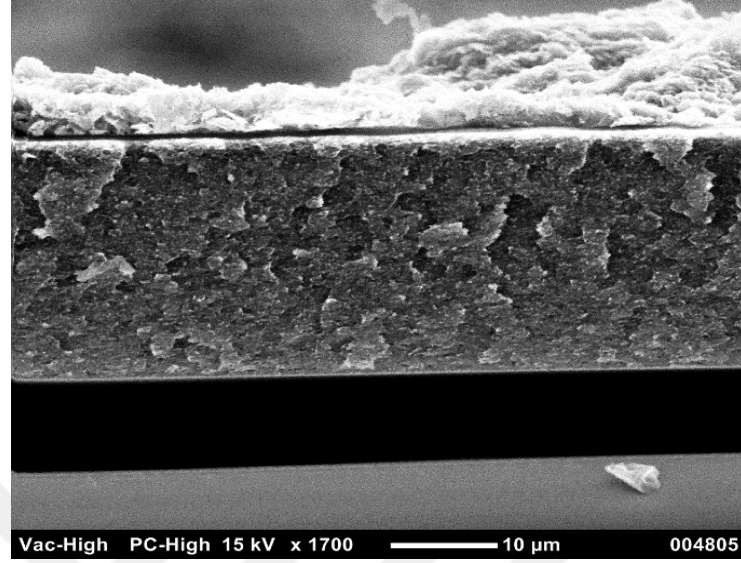
Şekil 8.1 P3HT tabanlı polimer filmin kesit görüntüsü



Şekil 8.2 P3HT tabanlı polimer filmin kesit görüntüsü (Netleştirilmiş)

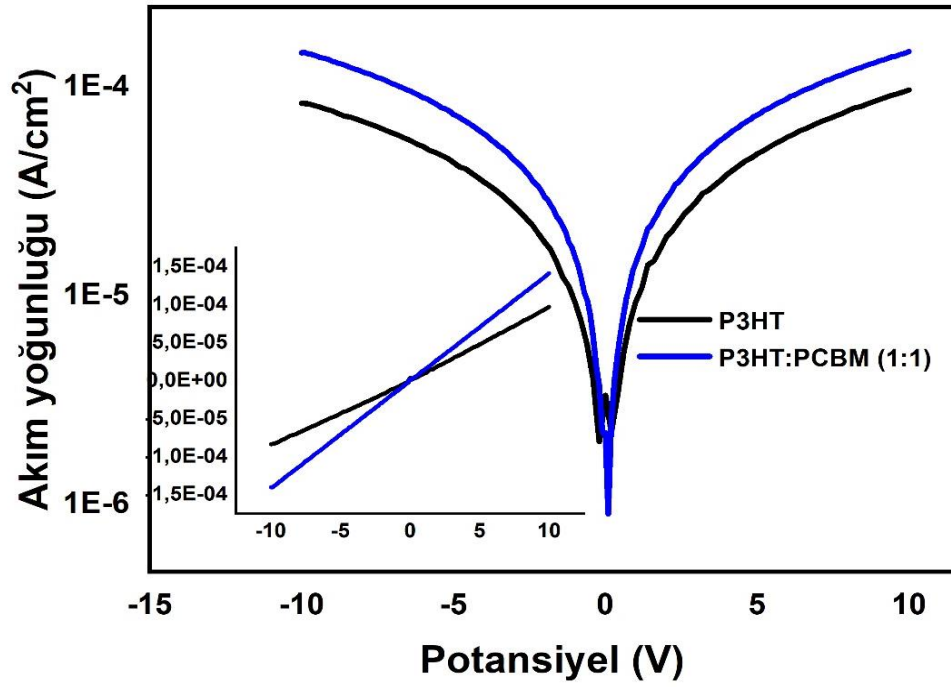
Şekil 8.3 te P3HT:PCBM (1:1) karışımının SEM görüntüsü kesitten verilmiştir. Yine kalınlık yaklaşık 20 μm dir. Grafit elektrotta yine net olarak görülmektedir. İkili

karışımın herhangi bir faz ayrımı olmadan homojen bir şekilde oluştuğu şekilden net olarak görülmektedir.



Şekil 8.3 P3HT:PCBM (1:1) tabanlı polimer filmin kesit görüntüsü

8.1.1 P3HT ve P3HT:PCBM (1:1) polimerleri ile hazırlanmış cihazların akım-voltaj (I-V) ölçümlerinin incelenmesi.

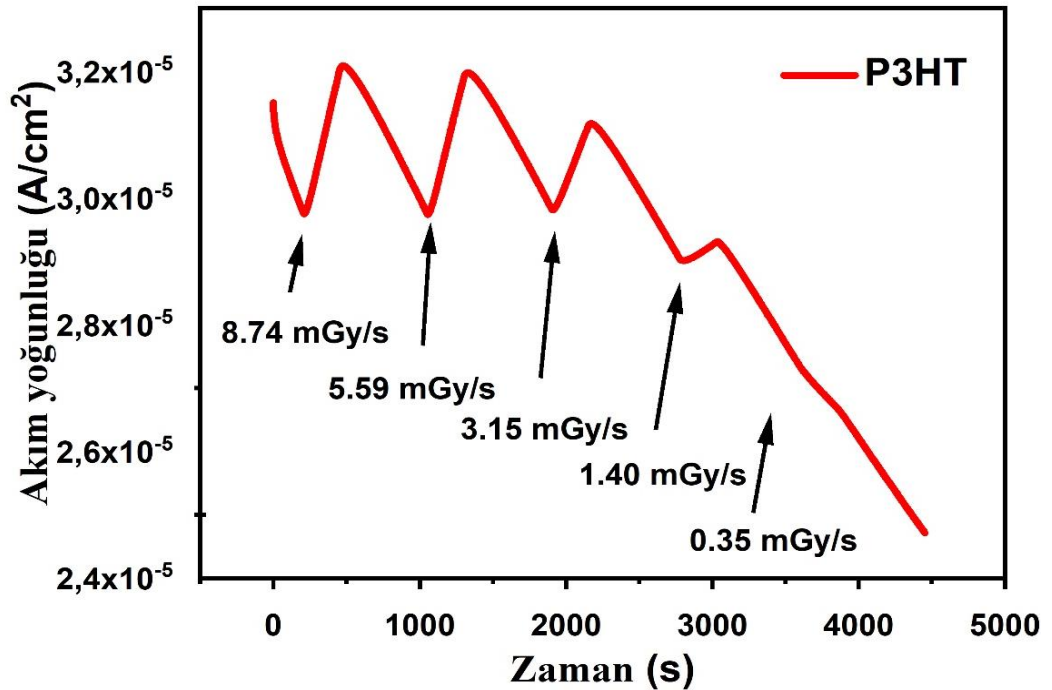


Şekil 8.4 P3HT:PCBM (1:1) tabanlı polimer filmin kesit görüntüsü

Şekil 8.4 te ITO/PEDOT:PSS/P3HT/Grafit ve ITO/PEDOT/P3HT:PCBM/Grafit yapılarında üretilmiş iki cihazın akım voltaj karakteristikleri ortaya konulmuştur. +10 V ve -10V aralığında uygulanan potansiyel ile akım değişimi gözlemlenmiştir. Şekil incelendiğinde her iki yapıda da davranışın omik olduğu açıkça görülmektedir. Bunun sebebi PEDOT:PSS ile Grafit elektrotlarının iş fonksiyonlarının birbirlerine çok yakın olmaları olabilir. Fakat akım yoğunluğu PCBM katkılı cihazda daha fazla çıkmıştır. Buda PCBM katkısının cihazın elektriksel özelliklerinin iyileştirmesinden kaynaklanabilir. Özellikle n tipi bir malzeme olmasından dolayı elektronların taşınmasını hızlandırarak akım yoğunluğunda artışa sebep olmuş olabilir.

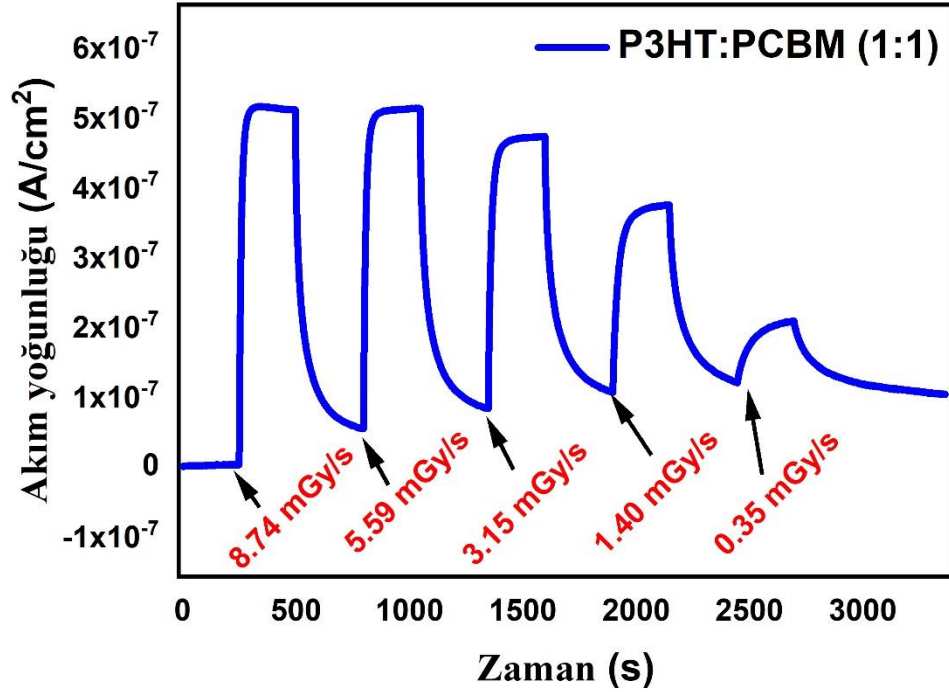
8.1.1.1 Cihazların X ışını altında elektriksel karakteristikleri

Şekil 8.5 te P3HT temelli cihazın Akım-Zaman eğrisi verilmiştir. 500sn X ışını açılmış ve 500 saniye kapatılmıştır. Xışının şiddeti 8.74 mGy/sn den 0.35 mGy/sn ye kadar değiştirilmiştir. X ışını numune üzerine düşürüldüğü zaman direnç değerinde azalma açık bir şekilde görülmekte, cihaz X ışınına tepki vermektedir fakat doyum gözlenmemiştir. X ışını kesildiğinde tekrar direnç değeri yükselmektedir. X ışınına karşı cihazın tepki vermesine rağmen sensör olarak kullanılması çok sağlıklı görülmemiştir.



Şekil 8.5 P3HT tabanlı cihazın X ışını altında Akım zaman grafiği

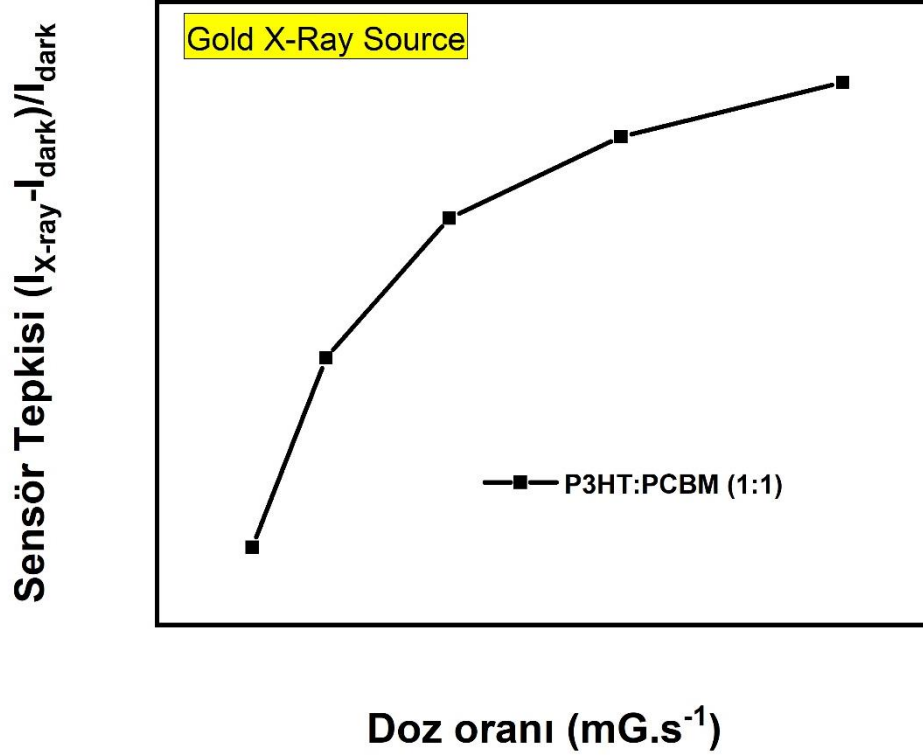
Şekil 8.6 da P3HT:PCBM tabanlı cihazın akım –zaman grafiği verilmiştir. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi X ışını numune üzerine düşüldüğü zaman direnç değeri düşmekte ve akım değeri belli bir noktaya geldiğinde doyuma gitmektedir. Yine X ışını oranı 8.74 mGy/sn den 0.35 mGy/sn değerine kadar değiştirilmiştir. PCBM katkısı cihazın özelliklerini olumlu etkilemiş ve sensör olarak kullanımına olanak sağlayacak kıvama gelmiştir.



Şekil 8.6 P3HT:PCBM tabanlı cihazın X ışını altında Akım zaman grafiği

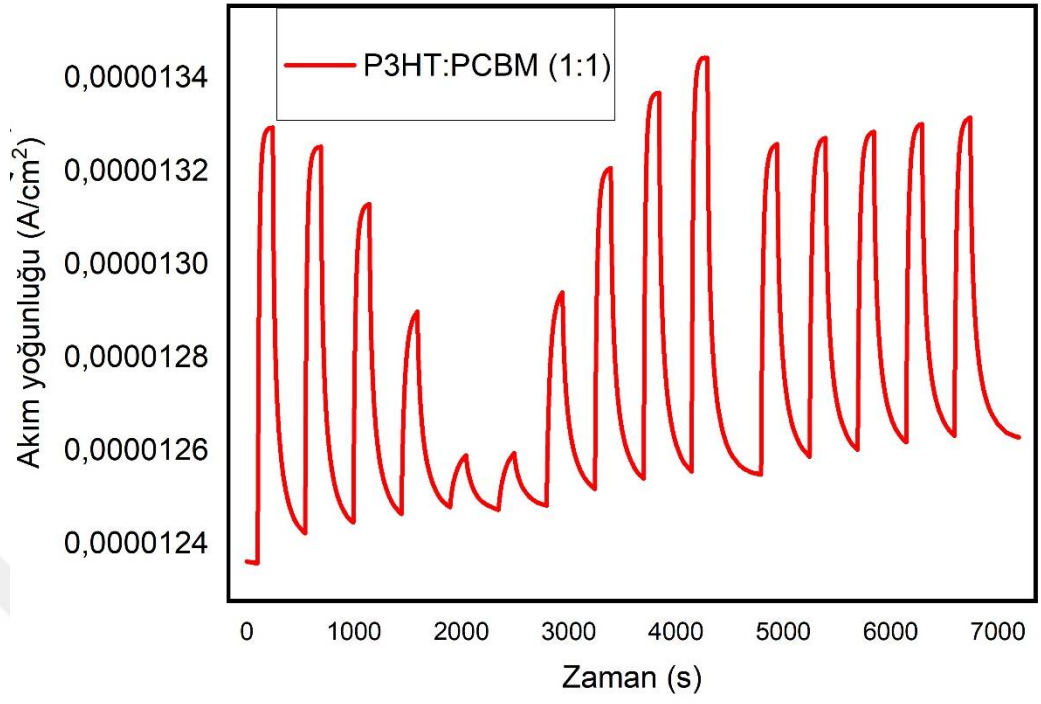
Şekil 8.7 de P3HT:PCBM cihazı için ölçülen her bir doz için sensör tepkisinin doz oranına olan grafik verilmiştir. Sensör tepkisi doz oranı arttıkça exponansiyel olarak azalan bir artış göstermiş ve doyuma doğru gitmiştir. Bu durum, X-ışını kütle zayıflama katsayısına bağlanabilir. X-ışını herhangi bir malzemeye (hava dahil) maruz kaldığında, fotonlar saçılma veya soğurma işlemleriyle atomlar veya moleküller ile etkileşime girer. Foton enerjisi artarsa maddede etkileşim olasılığı azalır. İncelenen kurşunsuz polimer kompozitler, polimer içeriğine ve malzemelerin kalınlığına bağlıdır. Polimer esaslı malzemelerin x-ışınlarını zayıflatma katsayısı, kompozit içeriği ve film kalınlıkları ile artmaktadır. Sonuç olarak, X-ışını enerjisinin artmasıyla doza yanıtın eğimi azalır (Kösemen ve ark., 2022). Yüklü PCBM oranından kaynaklanan yükselme ve azalma süreleri Şekil 9 (b)'de çizilmiştir. Fabrikasyon cihazların yükselme süreleri yaklaşık

olarak çok hızlı bir şekilde azalmaktadır. Öte yandan, bozulma süresi daha yavaş düzeler. Bu nedenle, yükleme oranının geri kazanılmasının yanıt süresinden daha az önemli olduğu söylenebilir.



Şekil 8.7 P3HT:PCBM tabanlı cihazın X ışını altında her bir doz için sensör tepkisi grafiği

Şekil 8.8 de P3HT:PCBM temelli cihazın akım zaman eğrisi X ışını açık ve kapalı olduğu durumlarda verilmiştir. X ışını doz oranını önce azaltılmış daha sonra arttırılmış ve 3.15 mGy/sn oranı 5 kez tekrarlanmıştır. Yapılan ölçüm dinamik olarak gerçekleştirilmiş ve cihaz üzerine 10 V sabit potansiyel uygulanmıştır. Şekilden de açıkça görüleceği gibi cihaz kararlı bir şekilde çalışmış doz artış ve azalış durumlarına verdiği tepkiler neredeyse aynı olmuştur. Son kısımda 5 kez aynı doz oranı tekrarlanmış ve herhangi bir bozulma gözlenmemiştir. Bu üretilen cihazın görece olarak kararlı bir şekilde çalıştığını göstermektedir.



Şekil 8.8 P3HT:PCBM tabanlı cihazın X ışınına bağlı akım-zaman eğrisi

9. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

9.1 Sonuçlar

Yapılan bu tez çalışmasında polimer tabanlı X ışını detektörleri resistive olarak çalışan bir yapıda üretilmiştir. Diyot özelliği bulunmayan cihazlarda iş fonksiyonları birbirine yakın iki elektrot seçilmiş ve dikey mimaride resistive tipi bir detektör üretilmiştir. Üretilen detektörler için P3HT polimeri kullanılmış ve PCBM katkısının detektör özelliklerine etkisi incelenmiştir. Sadece P3HT kullanılarak üretilen cihazların doyuma gitmediği ve X ışını cihaz üzerindeyken sürekli bir direnç değişimi gösterdiği gözlenmiştir. Fakat yapıya PCBM eklendiğinde detektörlerin doyum gösterdiği ve detektör parametrelerinin iyileştiği gözlenmiştir. Burada elektrotlar arası iş fonksiyon farkından kaynaklı bir diyot yapısı olmamasına rağmen cihaz içinde p tipi olan P3HT ile n tipi olan PCBM karışımı p-n eklemlerin yapı içinde oluşmasını sağlamıştır. İçeride oluşan p-n eklem yapısı hem yük ayırımı hızlandırmış hem de pozitif ve negatif yükler için ayrı ayrı oluşmasını sağlamıştır. Bu sebeple yapı daha iyi sonuç vermiştir. Bunun yanında üretilen detektörlerin kararlılıkları için yapılan testte sorunsuz çalıştığı gözlenmiştir.

9.2 Öneriler

Tez çalışmasında ortaya konan sonuç katkı malzemesi ile yapı içinde p-n eklemlerin oluşumunun detektör performansını olumlu etkilemesi olmuştur. İleriki çalışmalarda PCBM yerine X Işını durdurma katsayısı daha yüksek bir malzeme ile yine p-n eklem yapı içinde oluşturulması sağlanırsa daha iyi tepkiler ve hızlı tepki sürelerine ulaşılabileceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aksoy, E., 2016, Elektromanyetik Spektrum, <https://prosafety.com.tr/elektromanyetik-spektrum-radyoaktivite/>[Erişim Tarihi: 17.04.2022].
- Anonim, 2019, Mini-X2 X-Ray Tube, <https://www.amptek.com/products/mini-x2-x-ray-tube>[Erişim Tarihi: 08.06.2022].
- Anonim. 2021. Jki Hotplate Stirrer.
- Andor, 2022, What is Indirect X-ray and Neutron Detection?, <https://andor.oxinst.com/learning/view/article/what-is-indirect-x-ray-and-neutron-detection>[Erişim Tarihi: 08.06.2022].
- Anonim, 2022, 6487/E Picoammeter, <https://tr.farnell.com/keithley/6487-e/meter-picoammeter-with-500v-source/dp/2074763>[Erişim Tarihi: 08.06.2022].
- Arslan, T. 2011. X-IŞINLARI VE KULLANIM ALANLARI, 7.
- Atkins, P., Paula, J., Keeler, J., 2018, Physical Chemistry, 11th ed., Chicago, IL: Oxford University Press
- Basiricò, L., Ciavatti, A., Fraboni, B. 2021. Solution-Grown Organic and Perovskite X-Ray Detectors: A New Paradigm for the Direct Detection of Ionizing Radiation, *Advanced Materials Technologies*, 6 (1), 26.
- Bässler, H., Köhler, A. 2012. Charge transport in organic semiconductors, *Top Curr Chem*.
- Beckerle, P., Ströbele, H. 2000. Charged particle detection in organic semiconductors, *Nuclear Instr Meth A*.
- Beşergil, B. İyon Dedektörleri (ion detectors), 18.
- Bor, D., 2020, Ankara Üniversitesi Açık Ders https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/59940/mod_resource/content/0/Konu%205%20Yar%C4%B1%20iletken%20dedekt%C3%B6rler.pdf[Erişim Tarihi: 04.12.2022].
- Boroumand, F., Zhu, M., Dalton, A., Keddie, J., Sellin, P. 2007. Direct x-ray detection with conjugated polymer devices, *Appl Phys Lett*.
- Chen, H., Li, Y., Hao, Z., Wu, X., Zhang, J., 2021, Thick films of polymer Direct-conversion X-ray detectors, *2021 IEEE 23rd Electronics Packaging Technology Conference (EPTC)*, 7-9 Dec. 2021, Singapore.
- Ciavatti, A., Fraboni, B., Basiricò, L. 2020. Solution-Grown Organic and Perovskite X-Ray Detectors: A New Paradigm for the Direct Detection of Ionizing Radiation, *Advanced Materials Technologies*, 6 (1).
- Clarke, T., Durrant, J. 2010. Charge photogeneration in organic solar cells, *Chem Rev*, 6736–67.
- Diao, Y., Shaw, L., Bao, Z., C. B. Mannsfeld, S. 2014. Morphology control strategies for solution-processed organic semiconductor thin films, Publishing.
- Dinç, V. (2019), "GATE SİMÜLASYONU İLE BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİDE FARKLI DEDEKTÖRLERLE GÖRÜNTÜ ELDE EDİLMESİ", master, *FİZİK ANA BİLİM DALI*, Tokat GaziOsmanPaşa Üniversitesi, Tokat,
- Dönmez, S. 2017. Radyasyon Tespiti ve Ölçümü, *DERLEME*, 6.
- Fındık, Ş. (2017), "EU KATKILI TiO₂ İNCE FİMLERİNİN KARAKTERİZASYONU ve TERS-YÜZ POLİMER GÜNEŞ PİLİNE UYGULANMASI", *İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI*, AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ,
- Gillespie, R. 1963. The valence-shell electron-pair repulsion (VSEPR) theory of directed valency, 295–301.

- Griffith, M.J., Cottam, S., Stamenkovic, J., Posar, S.A., Petasecca, M. 2020. Printable Organic Semiconductors for Radiation Detection: From Fundamentals to Fabrication and Functionality, *Frontiers in Physics*.
- Haug, E., Nakel, W., 2004, The elementary process of bremsstrahlung,
- Helmenstine, A.M., 2018, What the Compton Effect Is and How It Works in Physics, <https://www.thoughtco.com/the-compton-effect-in-physics-2699350>[Erişim Tarihi: 24.04.2022].
- Inés, T., Basiricò, L., Fratelli, I., Tamayo, A., Ciavatti, A., Mas-Torrent, M., Fraboni, B. 2020. Morphology and mobility as tools to control and unprecedentedly enhance X-ray sensitivity in organic thin-films, *Nature Communications*.
- Kasar, T., 2020, Bremsstrahlung Işıması, <https://www.kozmikanafor.com/bremsstrahlung-isisasi/>[Erişim Tarihi: 27.03.2022].
- Kösemen, A. (2016), "YARI İLETKEN METAL OKSİT NANOYAPILARIN ÜRETİMİ, KARAKTERİZASYONU VE TERS HİBRİT GÜNEŞ PİLİNE UYGULAMALARI", *FİZİK ANABİLİM DALI, GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ, GEBZE*,
- Kösemen, A., Kalkan, Y., Öztürk, S. 2022. Effects of PCBM Loading on High Sensitive P3HT Based Vertical Bulk Resistive X-Ray Detector, *Organic Electronics*, 111.
- Liu, C., Huang, K., Park, W., Li, M., Yang, T., Liu, X. 2017. A unified understanding of charge transport in organic semiconductors: the importance of attenuated delocalization for the carriers, *Mater Horiz*.
- Ouseph, P.J. 1975. *Semiconductor Detectors Introduction to Nuclear Radiation Detectors*, 129-167.
- Owens, A., Peacock, A. 2004. Compound semiconductor radiation detectors. *Instrum Methods Phys Res Sect Accel Spectrometers Detect Assoc Equip.*, 18-37.
- Poyraz, A.K., 2020, X-IŞINLARININ ÖZELLİKLERİ, https://abs.firat.edu.tr/upload/user_85/72d4b50575824dfb735e32a16f919e5e326aa321_dosya_85.pdf[Erişim Tarihi: 27.03.2022].
- Ramtani, S., Amokrane, G., Falentin-Daudré, C., Migonney, V., 2018, A Simple Method to Functionalize PCL Surface by Grafting Bioactive Polymers Using UV Irradiation, https://www.researchgate.net/figure/Spin-coating-processes-of-PCL-films_fig1_326537310[Erişim Tarihi: 13.05.2022].
- Riede, M., Mueller, T., Tress, W., Schueppel, R., Leo, K. 2008. Small molecule solar cells - status and perspectives, *Nanotechnology*.
- Röntgen, W. 1895. *Sitzungsberichte der Würzburger Physik-med.*
- Sigma-Aldrich, 2022a, [6,6]-Phenyl C61 butyric acid methyl ester, https://www.sigmaaldrich.com/TR/en/product/aldrich/684449?gclid=Cj0KCQjw4-SBhCgARIsAAlegrUUU7orAO_k-hJILUsOsCjA-V4vwVtWw32UeyDAMu_X3ZXa--atelMaAr-nEALw_wcB[Erişim Tarihi: 30.03.2022].
- Sigma-Aldrich, 2022b, Poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl), https://www.sigmaaldrich.com/TR/en/search/p3ht?focus=products&page=1&perpage=30&sort=relevance&term=p3ht&type=product_name[Erişim Tarihi: 18.06.2022].
- Silva, M.D.R., 2014, *Ionizing Radiation Detectors*, <https://www.intechopen.com/chapters/48796>[Erişim Tarihi: 03.12.2022].
- Stanton, Arthur. 1896. Wilhelm Conrad Röntgen On a New Kind of Rays: translation of a paper read before the Würzburg Physical and Medical Society, 1895, *Nature*, 53 (268 and 276), 274-4.

- Szu-Yuan, C., Anatoly, M., Donald, U., 1998, Thomson scattering, https://en.wikipedia.org/wiki/Thomson_scattering[Erişim Tarihi: 26.03.2022].
- şahin Yalçın, L. 2013. PARÇACIKLAR VE RADYASYONUN MADDE İLE ETKİLEşMESİ.
- Tong, M., Coates, N., Moses, D., Heeger, A., Beaupré, S., Leclerc, M. 2010. Charge carrier photogeneration and decay dynamics in the poly (2:7-carbazole) copolymer PCDTBT and in bulk heterojunction composites with PC70BM.
- wikipedi, 2022, PEDOT:PSS, <https://en.wikipedia.org/wiki/PEDOT:PSS>[Erişim Tarihi: 18.06.2022].
- wikipedi, 2013, Rayleigh saçılması, Wikipedi, https://tr.wikipedia.org/wiki/Rayleigh_sa%C3%A7%C4%B1mas%C4%B1#:~:t_ext=Rayleigh%20sa%C3%A7%C4%B1m%C4%B1%2C%20%C4%B1%20veya%20di%C4%9Fer,Rayleigh%20ad%C4%B1na%20ithafen%20verilmi%C5%9Ftir.[Erişim Tarihi: 27.03.2022].
- Wei, H., Huang, J. 2019. Halide lead perovskites for ionizing radiation detection, Nat Commun, 10 (1), 1066.
- wikipedia, 2016, Bremsstrahlung, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Bremsstrahlung>[Erişim Tarihi: 27.03.2022].
- wikipedia, 2011, Compton scattering, https://en.wikipedia.org/wiki/Compton_scattering[Erişim Tarihi: 25.03.2022].
- Xu, Y., Jiao, B., Song, T.B., Stoumpos, C.C., He, Y., Hadar, I., Lin, W., Jie, W., Kanatzidis, M.G., 2019, Zero-Dimensional Cs₂TeI₆ Perovskite: Solution-Processed Thick Films with High X-ray Sensitivity, <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsphotonics.8b01425> [Erişim Tarihi: 15.05.2022].

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Osman KAVAK

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	BATMAN Mehmet Akif ERSOY ANADOLU LİSESİ	2014
Üniversite	Bitlis Eren Üniversitesi	2018
Yüksek Lisans	Muş Alparslan Üniversitesi	2023

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2020	Boğaziçi Koleji	Elektrik Öğretmeni
2021-Halen	Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş	Tesis Mühendisi

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR