

# Metal-Polimer-Yarıiletken Yapılı Schottky Bariyer Diyotun PCPDTBT:PCBM Arayüz Katmanı Kullanılarak Üretimi ve Farklı Sıcaklık Değerlerinde Karakterizasyonu

Ömer Berkan ÇELİK<sup>1</sup>, Burak TAŞ<sup>1</sup>, Özgün UZ<sup>1\*</sup>, Hüseyin Muzaffer ŞAĞBAN<sup>2</sup>, Özge TÜZÜN ÖZMEN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>İzmir Bakırçay Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

<sup>2</sup>İstanbul Beykent Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup>İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Temel Bilimler, İzmir, Türkiye

Sorumlu yazar; e-posta: ozgunuz@hotmail.com  
6017015@bakircay.edu.tr  
burak.tas@bakircay.edu.tr  
huseyinsagban@beykent.edu.tr  
ozge.ozmen@bakircay.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6752-2861>  
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-0116-766X>  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9928-5004>  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8820-5622>  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5204-3737>

Geliş Tarihi: 7 Ağustos 2023 ; Kabul Tarihi: 30 Kasım 2023

## Öz

### Anahtar kelimeler

Schottky; Organik;  
Metal-polimer; Sıcaklık;  
Karakterizasyon;

Bu çalışmada PCPDTBT{Poli[2,6-(4,4-bis-(2-etilheksil)-4H-siklopenta[2,1-b;3,4-b']ditiyofen)-alt-4,7 (2,1,3-benzotiadiazol)]:PCBM{[6,6]-fenil C61 bütirik asit metil ester} konsantrasyonu 2:1 katkı oranı ile hazırlanarak Schottky bariyer diyot (SBD) ara katmanı olarak kullanılmıştır. Üretilen SBD'in farklı sıcaklıklarda ve vakum altında akım-gerilim değerleri ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucu elde edilen elektriksel parametreler analiz edilerek idealite faktörü, engel yüksekliği ve doyma akımı değerleri hesaplanarak farklı sıcaklık değerlerindeki karakteristik değişimleri izlenmiştir. 1,927 idealite değerine ulaşan SBD'de PCPDTBT:PCBM 2:1 oranındaki karışımın ara katman olarak kullanımının başarılı bir sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

## Production of Metal-Polymer-Semiconductor Schottky Barrier Diode Using PCPDTBT:PCBM Interface Layer and Characterization at Different Temperature Values

### Abstract

#### Keywords

Schottky; Organik;  
Metal-polymer;  
Temperature;  
Characterization;

In this study, PCPDTBT{Poly[2,6-(4,4-bis-(2-ethylhexyl)-4H-cyclopenta[2,1-b;3,4-b']dithiophene)-alt-4,7 (2,1,3-benzothiadiazo)]}:PCBM{[6,6]-phenyl C61 butyric acid methyl ester} concentration was prepared with a 2:1 additive ratio and used as a Schottky barrier diode (SBD) interlayer. The current-voltage values of the produced SBD were measured at different temperatures and under vacuum. By analyzing the electrical parameters obtained as a result of the measurements, the ideality factor, barrier height and saturation current values were calculated and the characteristic changes at different temperature values were monitored. It was observed that the use of a mixture of PCPDTBT:PCBM 2:1 as an interlayer in SBD, which reached an ideality value of 1,927, gave a successful result.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

İnsanlığın teknolojik gelişimine büyük bir ivme kazandıran modern elektronik ve bilgisayar teknolojisinin temelleri yarıiletkenlerin keşfine dayanmaktadır. Sofistike ve çeşitli fiziksel özellikleriyle yeni bir araştırma dalı haline gelen

yarıiletken malzemeler, elektrik akımının kontrol edilmesinde neredeyse tüm elektronik uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Örneğin SiGe, GeSn, Ge/Si ve SiGe:C gibi Grup IV yarı iletken alaşımları ve heteroyapıları, büyük mikroelektronik ve fotonik cihazlardaki uygulamalar için yaygın olarak kullanılmaktadır (Xia, 2019). Yarıiletken

malzemelerin durmaksızın genişleyen kullanım ve uygulama alanlarının yanı sıra günden güne yeni yarıiletken malzemelerin keşfedilmesi, yarıiletken malzeme yapılarının anlaşılmasını da önemli hale getirmiştir. Öneminin fark edilmesiyle birlikte geliştirme çalışmaları ivme kazanan yarıiletken teknolojisi 20.yy. ortalarından itibaren büyük bir gelişim sürecine girmiştir. Gelişim sürecinde atılan adımlar yarıiletkenlerin farklı malzemelerle çeşitlendirilmesini ve yeni yarıiletken malzeme sınıflarının ortaya çıkarılmasını sağlamıştır (Tromer et al. 2021, Tuktarov et al. 2021, Bronovets et al. 2020).

Yarıiletken teknolojisinin ilerleyişi; karbon temelli organik malzemelerin, yarıiletkenlerin geliştirilmesinde kullanılmaya başlamasıyla birlikte yeni bir boyut kazanmıştır. Organik yarıiletken malzemeler, organik malzemelerin sunduğu avantajlar sayesinde daha düşük maliyet, daha geniş malzeme çeşitliliği, daha esnek uygulamalar gibi çeşitli avantajlara sahip olmaktadır.

Organik yarıiletken malzemeleri oluşturan temel yapıtaşları arasında polimerler ve organik-inorganik benzeri yapılar yer almaktadır. Çeşitli organik yapıların ardışık bileşenler oluşturmasıyla uzun moleküler zincir yapısına sahip olan polimerler, moleküler düzeyde tekrar eden birimlere sahiptir. Bu moleküler yapı organik yarıiletken malzemelerin farklı polimerik zincirler oluşturulmasına ve bu sayede sınırsız çeşitlilikte organik yarıiletken malzeme üretimine imkan sağlamaktadır. Bu yüksek çeşitlilik oranı sayesinde organik yarıiletkenler, esnek ince film, fotovoltaik (FV) hücreler, biyosensörler, ekran teknolojileri gibi çeşitli uygulamalarda yer bulabilmiştir (Ta et al. 2022, Pu and Bai 2023, Mustafa and Abid 2022).

Organik malzemelerin yer bulduğu alanlardan biri de yüksek çalışma verimliliği ve yüksek anahtarlama frekansları, 0,25 V gibi düşük gerilim değerlerinde bile gürültüsüz çalışabilmesi gibi avantajları sayesinde dikkat çeken metal-yarıiletken yapıları Schottky Bariyer Diyot (SBD) uygulamalarıdır. SBD'lere adını veren bariyer özelliği, metal-polimer-yarıiletken (MPY) yapısı içindeki, metal ve yarıiletken arasına uygulanan polimer tabakanın, elektronların polimer tabakasından metal anoda geçişini kısıtlayan bir engel oluşturmasından dolayı

ortaya çıkmaktadır. Organik malzemelerin SBD'lerde kullanılması, organik malzemelerin düşük taşıyıcı hareketliliği, enerji bariyerlerinin yüksek olması, yüzey etkilerinin ortaya çıkardığı dezavantajlar gibi bazı zorlukları beraberinde getirmiştir. Bu zorlukların üstesinden gelerek daha verimli ve daha istenilen karakteristik özelliklere sahip MPY SBD'lerin üretilmesi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmaya devam edilmektedir (Lim et al 2016, Demir 2021, Gökçen et al. 2012).

Geliştirilen MPY SBD'lerin üretim aşamasında kullanılan teknikler, malzemelerin çeşitliliği, malzemelerin karışım oranları ve cihazların ayarlandığı parametreler gibi çeşitli faktörler malzemelerin karakteristik özelliklerini etkilemektedir. Aynı zamanda malzemelerin karakteristik özellikleri, organik yapıların çeşitli çalışma sıcaklıklarında farklı özellikler göstermesinden ötürü de değişebilmektedir.

Literatürdeki mevcut çalışmalar göz önüne alındığında PCBM {[6,6]-fenil C61 bütirik asit metil ester} konsantrasyonlarının organik katkılı FV hücrelerde kullanılmış olmasının yanı sıra {Poli[2,6-(4,4-bis-(2-etilheksil)-4H-siklopenta[2,1-b;3,4-b'] ditiyofen)-alt-4,7 (2,1,3-benzotiadiazol)]} ile konstantrasyonlarıyla da başarılı sonuçlar elde edildiği çalışmalar görülmektedir (Boland et al. 2010, Ameri et al. 2013). Literatürdeki veriler PCPDTBT:PCBM konsantrasyonlarının MPY SBD yapısında arayüz olarak kullanılabilmesi fikrinin ortaya çıkmasını sağlamıştır.

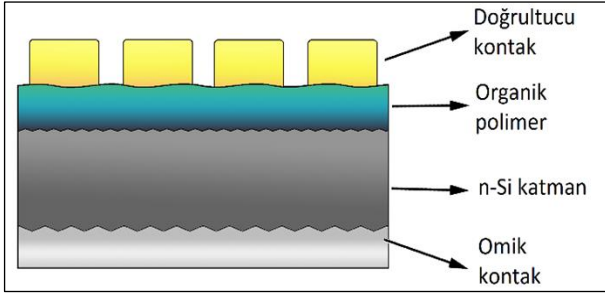
Bu çalışmada, fotovoltaik hücrelerde başarılı sonuçlar veren PCPDTBT:PCBM konsantrasyonu 2:1 katkı oranı ile hazırlanarak MPY SBD'da ara katman olarak kullanılmıştır. Au/PCPDTBT:PCBM/n-Si (MPY) SBD kirojenik ortamdaki farklı sıcaklıklarda ölçülen IV ölçümlerinden elde edilen elektriksel parametreler karşılaştırılarak çalışma sıcaklığının SBD karakterizasyonuna etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. MPY SBD lerin yapısı

Çeşitli organik malzemeler katkılı olarak üretilen MPY SBD'ler organik bir polimer tabakasının bir

yariletken ile metal kontak tabakanın arasına yerleştirilerek üretilmektedirler (Tecimer et al. 2014, Özmen 2014). Şekil 1'de MPY-SBD'lerin basit yapısı yer almaktadır.



Şekil 1. MPY SBD yapısı.

Organik katkı MPY SBD'lerin karakteristik özelliklerini veren en büyük etken organik polimer tabakasıdır. Polimer tabakasının üzerinde bulunan metal anot katman elektronların polimer tabakasına aktarılmasını sağlayarak elektronların yönlendirilmesine katkıda bulunmaktadır. Metal anot tabaka için malzeme seçiminde genellikle altın (Au), gümüş (Ag) gibi yüksek iletkenliklere sahip metaller tercih edilmektedir.

Organik katkı MPY SBD'ler kullanılan organik malzemelerin ulaşılabilirliği ve kolay üretim teknikleriyle işlenebilmesi gibi avantajları sayesinde daha düşük maliyetle üretilebilmelerinin yanı sıra, yüksek hızda çalışabilmeleri ve esnek uygulamalarda kullanılabilmeleri avantajları sayesinde birçok teknolojinin temelini oluşturmuştur.

## 2.2. Organik karışımının hazırlanması

Bu çalışmada kullanılan SBD'lerin polimer tabakasını oluşturan organik karışımın hazırlanması için kullanılan PCPDTBT ve PCBM organik bileşikleri Sigma-Aldrich Company Ltd'den satın alınmıştır. PCPDTBT ve PCBM tozları, 30°C'de 25mg/ml konsantrasyonda ortak çözücüler olan kloroform içinde ayrı ayrı çözdürülerek kapalı bir kap içerisinde 3 saat boyunca manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Bu işlemin sonunda organik karışımlar 2:1 oranında karıştırılarak organik PCPDTBT:PCBM çözeltisi oluşturulmuş ve karışımın homojenliğinin artması için bir gece boyunca manyetik karıştırıcı ile karıştırılmaya bırakılmıştır.

## 2.3. Silisyum pulların Ag kontak kaplaması

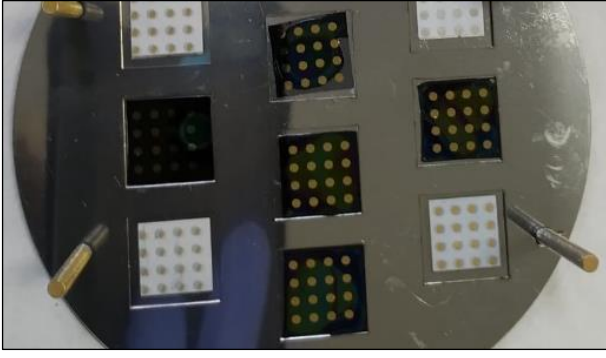
Au/PCPDTBT:PCBM/n-Si üretmek için substrat olarak <100> dizilime sahip, 200±25µm kalınlığa ve 4.8Ω.cm dirençli N-tipi (fosfor katkılı) ve tek yüzeyi parlatılmış mono-kristal silisyum (Si) tabaka kullanılmıştır. Silisyum tabaka, elmas kesici yardımı ile 15mm kenar uzunluğuna sahip kare pullar halinde kesildikten sonra üretimde kirliliğe neden olmaması ve omik kontakın daha iyi kontak oluşturulması için hidroflorik (HF) asit kullanılarak 15 saniye boyunca Radio Corporation of America (RCA) yöntemi ile temizlenmiştir. Saf su ile durulanan silisyum pullar hotplate üzerinde kurutularak Ag kaplama yapılmak üzere kapalı ortama alınmıştır.

## 2.4. Organik kaplaması

Ag kaplama işleminden sonra ısıtılarak tavlanan silisyum pulların parlatılmış yüzeylerinde oksitlenmeler olması ihtimaline karşı, parlatılmış yüzey 50% çözünürlüğündeki HF asit ile temizlenmiştir. Silisyum pullar HF asit çözünürlüğünün yüksek olmasından kaynaklı yüzey aşınmasından kaçınmak için 10'ar saniyelik kısa sürelerle temizlendikten sonra hızlıca saf su ile durulanmıştır. Hotplate üzerinde yüzeyleri kurutulan silisyum pullar PCPDTBT:PCBM karışımları ile kaplanmak üzere spin-coater cihazına yerleştirilmiştir. Silisyum pulların parlatılmış yüzeylerine spin-coater cihazında 6000rpm dönüş hızıyla 30 saniye boyunca kaplama yapılmıştır.

## 2.5. Au kontak kaplaması

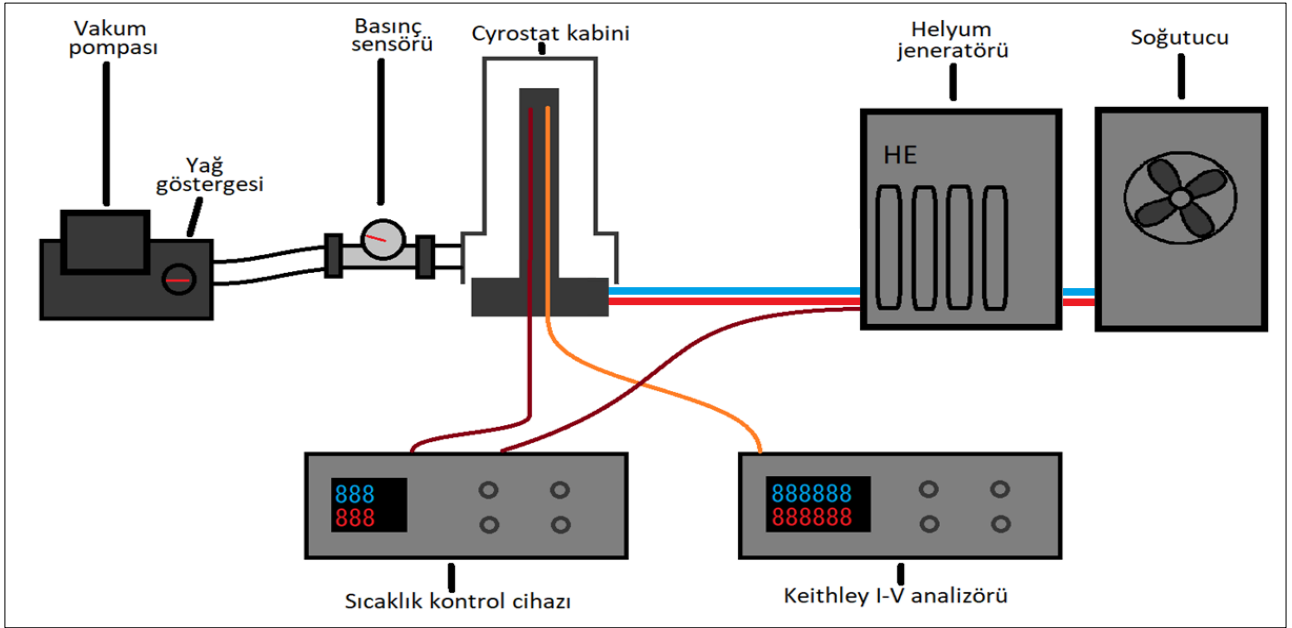
Organik yüzeylerin hazırlanmasından sonra, elektronları yönlendirecek olan anot katmanının oluşturulması için iletkenliği ve korozyon direnci yüksek olan Au kaplama işlemi gerçekleştirilmek üzere, silisyum pullar Şekil 3'te gösterildiği gibi 1'er mm çapında dairesel boşluklara sahip maske kalıplara yerleştirilmiştir. Organik yüzeye yapılacak olan Au kaplama işleminde de termal evaporasyon sistemi kullanılmış ve buharlaştırma işlemi 1x10<sup>-6</sup> Torr basınçta gerçekleştirilmiştir. Au kaplama işlemi sonrası hazırlanan SBD'ler Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Termal evaporatörden çıkarılan maske içerisinde SBD'ler.

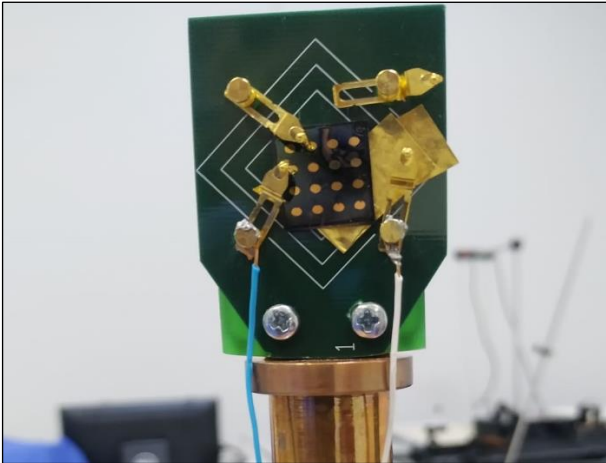
### 3. Bulgular

Hazırlanan SBD'lerin akım-gerilim (I-V) analizlerinin yapılması karakteristik özellikleri hakkında bilgi vermektedir. Farklı sıcaklıklarda I-V analizinin yapılabilmesi için vakumlu ortamda kirojenik sıcaklıklara da ulaşılması gerekmektedir. Düşük sıcaklıklara ve vakum ortamına ulaşmak için kurulan kirostatlı ölçüm sistemi Şekil 3'te şematize edilerek gösterilmiştir.



Şekil 3. I-V analizi için kullanılan kirostat sistemi.

Şekil 3'te görüldüğü üzere ölçümü yapılacak olan SBD, Şekil 4'te gösterildiği üzere kontaklar sağlanarak şekilde kirostat kabine yerleştirilmiştir.

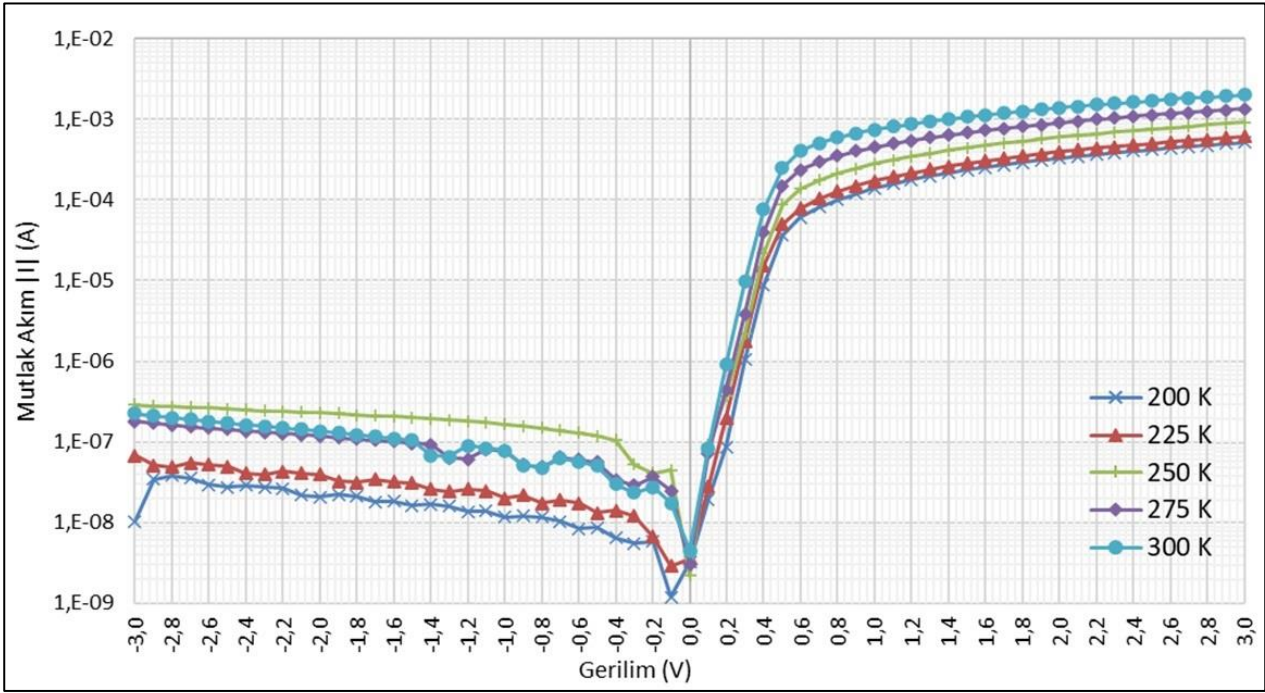


Şekil 4. SBD'in kirostata analiz edilmek üzere yerleştirilmesi.

Kirostat yerleşimi yapıldıktan sonra kirostat kabini kapatılmıştır ve ardından vakum pompası çalıştırılarak istenilen basınç seviyesine ulaşılan kadar kabin basıncı düşürülmüştür. Basınç göstergesinde hedeflenen değere ulaşıldığında vakum pompası durdurulmuş ve basınç vanaları kapatılarak vakum pompası ile kirostatın bağlantısı kesilmiştir.

Uygun basınç seviyesine ulaşılmakla birlikte, kirostat kabininin hedeflenen sıcaklığa ulaşması için helyum jeneratörü çalıştırılarak kirostatın soğuması sağlanmıştır. Helyum jeneratörünün evaporatör sisteminin de soğutulması için harici sıvı soğutucusu çalıştırılmıştır.

Bu çalışmada SBD'in 200-300 K sıcaklık değerleri arasında I-V ölçümleri yapılmıştır. Farklı sıcaklık değerlerine ait I-V ölçümlerinin grafikleri Şekil 5'te yer almaktadır.



Şekil 5.200-300 K sıcaklık değerleri arasında yapılan I-V analizi grafikleri.

Üretilen SBD'in sıcaklığa bağlı I-V analizleri sonucu elde edilen sonuçlar Termo iyonik emisyon teorisine göre incelenmiştir. Termo iyonik emisyon, bir malzemenin sıcaklığından dolayı elektronların yüzeyinden çıkması süreci olarak tanımlanabilmektedir (Rhoderick and Williams 1988). Diyotun idealite faktörü ise termo iyonik emisyon işleminin ideal bir diyotta ne kadar iyi çalıştığını ifade etmektedir. Doyma akımı ise diyotun termo iyonik emisyon olayında ulaştığı maksimum akım miktarıdır. Engel yükseklikleri ise diyotun çıkışını engelleyen potansiyel bariyerler olarak tanımlanır.

Bir diyotun idealite faktörü ve doyma akımı temelde Richardson denklemine dayanan hesaplamalarla elde edilmektedir (Crowell 1965, Rhoderick and Williams 1988). Richardson denklemine göre termo iyonik emisyon olayının temelini oluşturan denklem Eşitlik 1'de verilmiştir.

$$I_0 = A_R A_S * T^2 \exp\left(-\frac{q \varphi_{B_0}}{kT}\right) \quad (1)$$

Burada  $I_0$ , akım yoğunluğu (A/cm<sup>2</sup>);  $A_R$ , Richardson sabiti;  $A_S$ , SBD kontak alanı;  $T$ , diyotun sıcaklığı (K);  $\varphi$ , diyotun engel yüksekliği (eV);  $k$ , Boltzmann sabitini temsil etmektedir.

Diyotun engel yüksekliği Eşitlik 2'de verilen denklem ile hesaplanabilir.

$$\varphi_{B_0} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{A_R A_S * T^2}{I_0}\right) \quad (2)$$

Diyotun idealite faktörü ise Eşitlik 3'te verilen denklem ile hesaplanabilmektedir.

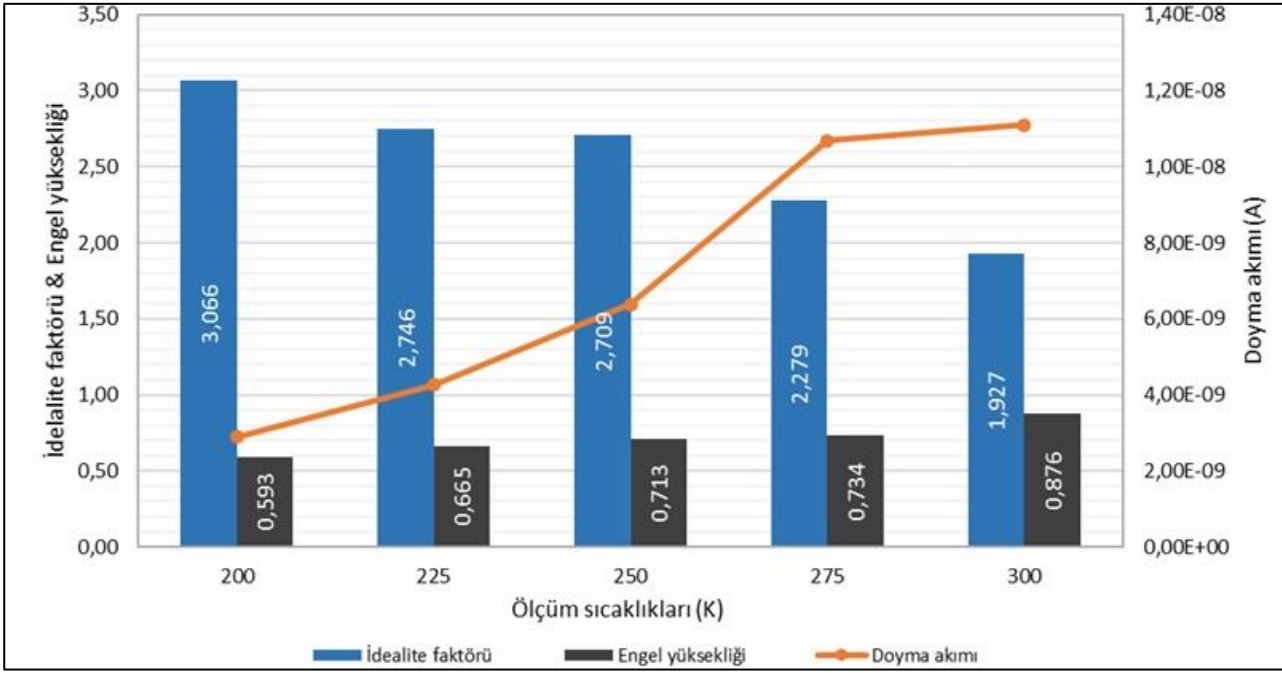
$$n = \frac{q}{kT} \frac{dV}{d(\ln I)} \quad (3)$$

Bu denklemde n ifadesi diyotun ideal özelliklerden ne kadar sapmış olduğunu ifade eden parametreyi temsil etmektedir. Diyotun idealite faktörü ideal diyot için 1 kabul edilir. Doyma akımı ise sıcaklık ve engel yüksekliği gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir.

SBD'in sıcaklığa bağlı olarak idealite faktörü, doyma akımı ve engel yükseklikleri yukarıda verilen denklemlerin ve I-V analizi grafiklerinin kullanılmasıyla hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 1 ve Şekil 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 1. Sıcaklığa bağlı parametreler.

Ölçüm Sıcaklığı (K)	İdealite faktörü (n)	Doyma akımı $I_0$ (A)	Engel yüksekliği ( $\varphi$ )
200	3,066	2,897 E-09	0,593
225	2,746	4,259 E-09	0,665
250	2,709	1,670 E-08	0,713
275	2,206	1,068 E-08	0,800
300	1,927	1,110 E-08	0,876



Şekil 6. 200-300 K sıcaklık değerleri arasında yapılan I-V analizi grafikleri.

Çizelge 1 ve Şekil 6'da yer alan veriler incelendiğinde, sıcaklık değeri arttıkça idealite faktörünün 1'e yaklaştığı, doyma akımının düştüğü ve engel yüksekliğinin arttığı gözlemlenmektedir. SBD'lerin idealite faktörleri, engel yükseklikleri ve doyma akımları kullanıldığı devrelere göre önem göstermektedir. Karakteristik özelliklerin belirlenmesi devre elemanlarının kullanım alanlarını belirleyen önemli bir aşamadır.

MPY yapılarında Metal-yarıiletken arasındaki elektron akışı sıcaklığa bağlı bir işlemdir. Bu çalışma durumunu açıklayan çok sayıda teori ortaya atılmıştır. Bu teorilerden en uygunu kabul edilen Schottky engel modeline göre uygulanan gerilimdeki artış idealite faktöründeki artışı da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle idealite faktörü hesaplanırken düşük ileri besleme bölgesi kullanılmaktadır. Düşük engel yüksekliğine sahip Schottky tipi heteroeklem yapılarında ise düşük sıcaklık değerlerinde kontak akımı düşük enerji seviyesine bağlı engeller tarafından kontrol edileceğinden ötürü idealite faktörünün de artması beklenmektedir. Düşük sıcaklıklarda elektronlar daha düşük seviyelerdeki engelleri aşmayı başarırlar. Diğer bir deyişle sıcaklık değeri yükseldiğinde daha fazla elektron enerji alır ve taşıyıcılarda artış gerçekleşir. Bu durumda daha büyük engel yükseklikleri aşılarak daha fazla

elektron akışı gerçekleşmesi beklenir. Sıcaklık artışına bağlı olarak idealite faktörünün 1'e yaklaşmasının nedeni sıcaklığa bağlı elektron hareketinin yükselmesidir. Sıcaklığa bağlı karakteristik özelliklerindeki bu değişimler, akım iletim mekanizmasının yalnızca termoemiyon ile kontrol edilmediğini göstermektedir. Sıcaklık değeri düştüğünde elektronların yeterli enerjiye sahip olamamaları rekombinasyon mekanizmasının azalmasına ve akım değerlerinin düşmesine sebep olurken, sıcaklık değerleri yükseldiğinde daha yüksek enerjiye sahip olmaları sayesinde bariyer yüksekliğinin de arttığı görülmüştür (Tung 2000, Hudait et al. 2001).

#### 4. Tartışma ve Sonuç

MPY yapılı SBD'lerin çeşitli organik malzemelerle zenginleştirilebilir olması yeni karakteristik özelliklere sahip SBD'lerin kazandırılmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada 2:1 oranında PCPDTBT:PCBM organik karışımı ile hazırlanan MPY SBD'in 200 K ve 300 K değerleri arasında sıcaklığa bağlı karakteristik özellikleri incelenmiştir.

Sıcaklığa bağlı yapılan I-V analizleri sonucunda SBD'lerin idealite faktörünün beklendiği gibi sıcaklık artışıyla birlikte 1'e yaklaştığı görülmektedir. Engel

yüksekliği ise sıcaklık artışı ile aynı yönde artmakta ve doyma akımı yükselmektedir. Analizler sonucu elde edilen değerlerin birbiriyle uyumlu olduğu ve değişim yönlerinin literatürdeki diğer çalışmalarla da benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Sıcaklık değerindeki artışla birlikte MPY içindeki yük taşıyıcılar daha yüksek enerjili hale geçtiklerinden dolayı aşılabilen bariyer engeli de yükselmektedir. Sıcaklık değerleri düştüğünde ise bariyer engelinde de düşüş gözlemlenmektedir. Elde edilen akım, bariyer yüksekliklerinin lokal bölgelerinde baskın olmakla birlikte idealite faktöründe artış gözlemlenmektedir.

### Teşekkür

Bu çalışma, İzmir Bakırçay Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası BBAP.2022.012

### 5. Kaynaklar

- Ameri, T., Li, N., and Brabec, C. J., 2013. Highly efficient organic tandem solar cells: a follow up review. *Energy & Environmental Science*, 6,8, 2390-2413.
- Boland, P., Lee, K., and Namkoong, G., 2010. Device optimization in PCPDTBT:PCBM plastic solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 94,5, 915-920.
- Bronovets, M. A., Volodin, N. M., and Mishin, Y. N., 2020. New materials in semiconductor tensometry. *Materials Letters*, 267, 127467.
- Crowell, C. R., 1965. The Richardson constant for thermionic emission in Schottky barrier diodes. *Solid-State Electronics*, 8, 4, 395-399.
- Demir, G. E., 2021. Investigation on UV photoresponsivity of main electrical properties of Au/CuO-PVA/n-Si MPS type Schottky barrier diodes (SBDs). *Physica B: Condensed Matter*, 604, 412723.
- Gökçen, M., Tunç, T., Altındal, Ş., and Uslu, I., 2012. The effect of PVA (Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-doped) interfacial layer and series resistance on electrical characteristics of Au/n-Si (110) Schottky barrier diodes (SBDs). *Current Applied Physics*, 12, 2, 525-530.
- Hudait M. K., Vankatesvarlu, P., and Krupanidhi, S.B., 2001. Electrical transport characteristics of Au/n-GaAs Schottky diodes on n-Ge at low temperatures", *Solid-State Electron*. 45, 1, 133-141.

- Lim, L. W., Aziz, F., Muhammad, F. F., Supangat, A., and Sulaiman, K., 2016. Electrical properties of Al/PTB7-Th/n-Si metal-polymer-semiconductor Schottky barrier diode. *Synthetic Metals*, 221, 169-175.
- Mustafa, A., and Abid, M. A. 2022. A review: methodologies for the synthesis of anthra [2,3-b] thiophene and naphtho [2,3-b:6,7-b'] dithiophene fragments for organic semiconductor materials. *Tetrahedron Letters*, 154258.
- Özmen, Ö. T., 2014. Effects of PCBM concentration on the electrical properties of the Au/P3HT: PCBM/n-Si (MPS) Schottky barrier diodes. *Microelectronics Reliability*, 54, 12, 2766-2774.
- Pu, X., and Bai, F. Q., 2023. Novel organic semiconductor materials combined by sumanene and corannulene: rational functionalization based on the electronic structures of highly curved bucky bowl. *Journal of Molecular Structure*, 136127.
- Rhoderick, E. H., and Williams, R. H., 1988. *Metal-Semiconductor Contacts*. Oxford: Clarendon press.
- Ta, J., Sun, W., and Lu, L., 2022. Organic small molecule semiconductor materials for OFET-based biosensors. *Biosensors and Bioelectronics*, 114667.
- Tecimer, H., Uslu, H., Alahmed, Z. A., Yakuphanoglu, F., and Altındal, Ş., 2014. On the frequency and voltage dependence of admittance characteristics of Al/PTCDA/P-Si (MPS) type Schottky barrier diodes (SBDs). *Composites Part B: Engineering*, 57, 25-30.
- Tromer, R. M., Machado, L. D., Woellner, C. F., and Galvao, D. S., 2021. Thiophene-Tetrathia-Annulene monolayer (TTA-2D): A new 2D semiconductor material with indirect bandgap. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 129, 114586.
- Tuktarov, A. R., Chobanov, N. M., Sadretdinova, Z. R., Salikhov, R. B., Mullagaliev, I. N., Salikhov, T. R., and Dzhemilev, U. M., 2021. New n-type semiconductor material based on styryl fullerene for organic field-effect transistors. *Mendeleev Communications*, 31, 5, 641-643.
- Tung R.T., 2000. Comment on numerical study of electrical transport in homogeneous Schottky diodes. *Journal of Applied Physics*, 88, 3, 7366-7368.
- Xia, G. M. 2019. Interdiffusion in group IV semiconductor material systems: applications, research methods and discoveries. *Science Bulletin*, 64, 19, 1436-1455.