



## ANALYSIS OF THE ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF PHOTODIODES PRODUCED BY DOPPING VARIOUS METAL OXIDES

Fehmi Aslan<sup>\*1</sup>, Hikmet Esen<sup>2</sup>, Fahrettin Yakuphanoğlu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Rail Systems, Malatya Turgut Özal University, Malatya, Turkey.

<sup>2</sup>Department of Energy Systems Engineering, Faculty of Technology, Fırat University, Elazığ, Turkey.

<sup>3</sup>Department of Physics, Faculty of Science, Fırat University, Elazığ, Turkey.

### Abstract

Review paper

In this study, the studies made in the last 10 years about the devices produced by using different metal oxide nano powders were discussed extensively. The effects of the doping on the electrical properties of photodiodes and photodetectors were investigated. The I-V characteristics of the devices performed under different light intensities were analyzed. In addition, the comparison of electronic parameters such as ideality factor ( $n$ ), barrier height ( $\Phi_b$ ), series resistance ( $R_s$ ) and interface state density ( $D_{it}$ ) of the thin films produced was investigated. The effect of these parameters on devices is emphasized. In addition, it was investigated to what extent the optoelectronic properties of devices are compatible with the current literature.

**Keywords:** Photodiode, Photosensor, Electrical properties, Metal oxide semiconductors

## ÇEŞİTLİ METAL OKSİTLERE KATKILAMA YAPILARAK ÜRETİLMİŞ FOTODİYOTLARIN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ: BİR ARAŞTIRMA

### Özet

Derleme makale

Bu çalışmada farklı metal oksit nano tozlar kullanılarak üretilmiş fotodiyotlar ile ilgili son 10 yılda yapılan çalışmalar kapsamlı olarak ele alındı. Katkılamanın, fotodiyot ve fotodetektörlerin elektriksel özelliklerini ne ölçüde etkilediği araştırıldı. Devre elemanlarının farklı ışık yoğunlukları altında gerçekleştirilen I-V karakteristikleri birbirileri ile mukayese edildi. İnce filmlerin idealite faktörü ( $n$ ), bariyer yüksekliği ( $\Phi_b$ ), seri direnç ( $R_s$ ) ve ara yüz durum yoğunluğu ( $D_{it}$ ) gibi elektronik parametreleri karşılaştırıldı. Bu parametrelerin fotosensörler üzerindeki etkisi vurgulandı. Ayrıca devre elemanlarının optoelektronik özelliklerinin mevcut literatürle ne derece uyumlu olduğu araştırıldı.

**Anahtar kelimeler:** Fotodiyot, Fotosensör, Elektriksel özellikler, Metal oksit yarı iletkenler

### 1 Giriş

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden birisi olarak bilinen güneş enerjisinin önemi gün geçtikçe artmaktadır [1]. Yeşil enerji olarak da bilinen bu enerji temiz, ucuz, kendini yenileyebilen ve fosil yakıt alternatifi enerji olarak kendisini göstermektedir [2]. CdO, ZnO ve TiO<sub>2</sub> gibi yarı iletken metal oksitlerle üretilmiş şeffaf iletken oksit malzemeler (TCO), elektriksel, optik ve fotovoltaik özelliklerinden ötürü yenilenebilir enerji üretimi için önemli bir adaydır [3]. Çeşitli optoelektronik devre elemanlarının çevresel sorunlarla ve enerji çıkmazlarıyla başa çıkabileceği öngörülmektedir [4,5].

Yakın zaman içerisinde birçok organik ve inorganik esaslı bileşik, sahip olduğu kararlılıktan ötürü elektronik devre elemanı yapımında kullanılmaktadır [6]. Organik esaslı bileşiklerin elektriksel özellikleri ile ilgili çalışmalar yapılmaya devam etmektedir. Organik yarı iletken malzemeler sahip oldukları üstün elektriksel ve optik özelliklerden dolayı yeni tip devre elemanı üretiminde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bu

bileşiklerin kolay üretilmesi ve düşük maliyetli olması bir avantaj olarak görülmektedir. Ayrıca organik esaslı yarı iletkenler; solar hücre uygulamalarında, LED, OLED, ince filmlerde, schottky diyotlarda ve sensörlerde aktif bileşen olarak kullanılmaktadır. Yarı iletken esaslı bu bileşiklerin en avantajlı yönlerinden birisi de elektriksel ve optik özelliklerinin katkılama yoluyla değiştirilebilmesidir [7,8]. Organik esaslı yarı iletkenler mükemmel elektriksel özellikler göstermektedir. Bu durum yakın zaman içerisinde geleneksel inorganik yarı iletkenlerin yerini alacağını göstermektedir [9]. Son dönemlerde bilim insanları tarafından yapılan çalışmalar, metal-yarı iletken diyotların duyarlılık ve fototepki özellikleri üzerine yoğunlaşmıştır [10,11]. Organik veya inorganik esaslı birçok katkılama yapılarak, devre elemanlarının fotovoltaik ve fotoduyarlılık özellikleri geliştirilmeye çalışılmaktadır [12,13].

Yakın zamanda yapılan çalışmalar incelendiğinde organik-inorganik hibrit esaslı devre elemanlarının üretimi ön plana çıkmaktadır [14]. Özellikle hibrit esaslı uygulamalarda fotodiyotlar ön plana çıkmaktadır.

\* Corresponding author.

E-mail address: faslan558@gmail.com (F. Aslan) | ORCID Number : 0000-0002-5304-0503

Received 30 June 2020; Received in revised form 16 October 2020; Accepted 27 October 2020

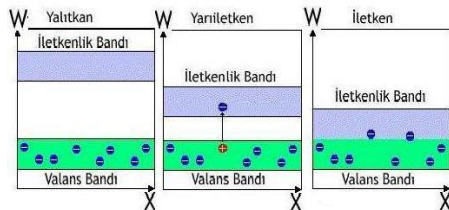
2587-1943 | © 2020 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.760722>

Bu sayede elektronik parametreler, dışarıdan yapıya eklenebilen atomlarla istenilen seviyeye getirmiştir [15].

Işık yayan diyot (LED), organik ışık yayan diyot (OLED), fotodetektör, fotovoltaik sistemler, fototransistör ve fotodiyot optoelektronik cihaz uygulamaları için verilebilecek en iyi örneklerdir. Optoelektronik devre elemanları ışığın bir bölümden başka bir bölüme iletilmesine yardımcı olan, ışık yayan veya ışığa duyarlı olan devre elemanları olarak tanımlanırlar. Optoelektronik cihazların güç elektroniği, kontrol ve iletişim gibi birçok kullanım alanı vardır. Elektronik ve optoelektronik uygulamalar 0.3 mm ile 30 mm arasındaki dalga boyları ile ilgilenir. Bu aralık mor ötesinden başlayıp görünür bölgeden de geçerek kızıl ötesine kadar ulaşır [7].

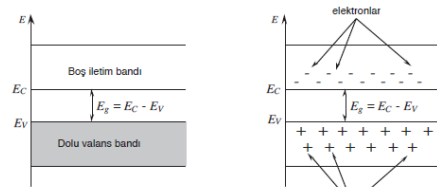
İletkenlikleri metallere yalıtkanlar arasında olan malzemeler yarı iletken olarak tanımlanırlar. Bu maddeler ısı, ışın ve manyetik alan gibi dış etkiler sonucu iletme geçebilirler. Yarı iletkenlerin kristal yapısında oluşabilecek modifikasyonlar yük taşıyıcı konsantrasyonunun değişmesine yol açmaktadır [16]. Ayrıca bu maddelerin iletkenlikleri dışarıdan yapıya eklenebilecek atomlarla değiştirilebilmektedir [17]. Yarı iletkenlerdeki bant teorisi bantların doluluk oranları ile açıklanmaktadır. Elektronlar en alt enerji seviyeden itibaren üst enerji seviyelerini doldururlar. Katılarda bazı enerji seviyeleri yasaktır. Bu nedenle sadece izinli enerji seviyelerinde bant yapısı oluşturabilirler. Yasak enerji aralığının üzerinde kalan bant iletkenlik bantı altında kalan bant ise valans bantı olarak bilinmektedir [18]. Yarı iletken malzemelerin enerji-bant durumu yalıtkanlarla benzerlik gösterse de aslında birbirinden çok farklıdır. Metallerde iletkenlik bandıyla valans bantı arasındaki mesafe yok denecek kadar azdır. Fakat yalıtkanlarda bu aralık çok daha büyüktür. Yarı iletken maddelerin iletkenlikleri artan sıcaklığa bağlı olarak artmaktadır. Sıcaklık mutlak sıfıra ulaştığında ise yalıtkan hale geçmektedir. Maddeleri yasak enerji aralıkları bakımından mukayese ettiğimizde 3.8 eV'den daha küçük olanlar yarı iletken, 4 eV'den büyük olanlar da yalıtkan olarak tanımlanmaktadır [19,20]. Şekil 1'de yalıtkan, yarı iletken ve iletkenlerin enerji bant yapıları verilmiştir.



Şekil 1. Yarı iletken, yalıtkan ve iletken malzemelerin bant durumlarının şematize edilmesi [15].

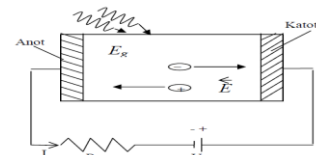
Valans bandında bulunan elektronların çeşitli dış etkenler sonucunda (basınç, sıcaklık, ışın vs.) iletim bandına geçmesiyle cihaz iletme geçer. İletim bandına geçen her bir elektron arkasındaki valans bandında bir boşluk bırakır bu boşluğa hole adı verilmektedir. Bu holler tıpkı pozitif yüklü bir tanecik gibi davranır ve ters yönde elektron hareketine neden olur. Bir yarı iletkende elektron ve boşluk (hole) olmak üzere iki tip yük taşıyıcı bulunmaktadır [21]. Bu elektron-boşluk çiftleri yarı iletken malzemede iletkenliğe katkı sağlarlar. Hollerin

hareket etme özelliği yoktur fakat bu boşluklar komşu elektronlar ile doldurularak arkada yeni boşlukların oluşmasını sağlar [22]. Katkısız yarı iletkenlerde elektriksel veya termal uyarılmayla valans bandında bulunan elektronlar bir boşluk bırakarak iletkenlik bandına atırlar. Bu şekilde yarı iletken iletme geçmiş olur [23]. Katkısız yarı iletkenlerin bilinen en iyi örneği silisyum (Si) ve germanyumdur (Ge). 0 K'de yarı iletken içerisinde herhangi bir elektron hareketi bulunmamaktadır. Fakat sıcaklık 0 K'nin üzerine çıktığında taşıyıcı hareketi ortaya çıkmaya başlar [24]. Bu durum Şekil 2'de şematik olarak görülmektedir. Valans bandında ise sadece boşlukların oluşturduğu durum kendisini gösterecektir. Bu durum elektron hareketine zıt bir hareketin oluşmasına neden olan hollerin tanımlanmasını sağlayacaktır [23]. Yarı iletkenler n-tipi yarı iletken ve p-tipi yarı iletken olarak isimlendirilirler. Eğer iletme elektronlar daha fazla katkı sağlıyorsa n-tipi yarı iletken olarak adlandırılır [25]. İletme boşlukların daha fazla katkı yaptığı yarı iletken p-tipi yarı iletken olarak bilinir. Bu tip yarı iletkenlerde boşlukların sayısı elektronlara nazaran daha fazladır [26].



Şekil 2. Farklı sıcaklıklar için ( $T=0$  ve  $T>0$ ) iletim ve valans bantı diyagramları [23].

Ters polarmada çalışan devre elemanları olarak bilinen fotodiyotlar, üzerlerine gelen ışığı emerek ters yönde akım üretirler. Kısaca fotodiyot ışık enerjisini emerek iletme geçen diyot olarak tanımlanırlar. Aydınlatılmış bir fotodiyotun temsili görüntüsü Şekil 3'de verilmiştir. Bir fotodiyotun jonksiyon bölgesi aydınlatıldığı zaman valans bandında bulunan elektronlar enerji emerek iletim bandına atırlar. Bu şekilde diyottan akım akması sağlanmış olur [27,28]. Bir fotodiyot aydınlatıldığında bazı yükler yasak enerji aralığının üzerine çıkar ve iletkenliğe katkıda bulunur [29]. Fotodiyotlar ışığa çok hassas olduklarından geniş bir kullanım alanına sahiptir. Işık ölçüm cihazlarında, flaşlarda, bilgisayarlarda, fotoğrafçılıkta, ince film transistörlerde ve optokuplatörlerde sıklıkla kullanılmaktadır [30].



Şekil 3. Bir fotodiyotun temsili görüntüsü [24,31].

Fotodiyotlarda iyi bir soğurmanın olması için foton enerjisinin yarı iletkenin bant aralığı enerjisinden büyük olması gerekmektedir. Tipik bir fotodiyotun anot kutbu anottan daha küçük bir potansiyelle beslenirse yarı iletken içerisinde bir elektrik alanı oluşur. Ortaya çıkan elektriksel alan anotta pozitif (+) katotta ise negatif

yüklerin (-) toplanmasına neden olur. Bu durum fotodiyot içerisinde akım akmasına sebep olur [31].

## 2 Schotkky Fotodiyotlarda Elektriksel Parametrelerinin Belirlenmesi

Fotodiyotların elektriksel parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan en yaygın yöntem klasik yöntemdir. Klasik yöntemde  $\ln(I)$ - $V$  eğrisinin lineer bölgesinin eğiminden faydalanarak idealite faktörü ( $n$ ) ve bariyer yüksekliği ( $\Phi_b$ ) gibi elektronik parametrelerin elde edilmesi mümkündür. Lineer bölge için Denklem 1 yazılacak olursa,

$$\ln(I_0) = \ln(AA^*T^2) - \frac{q\Phi_b}{kT} \quad (1)$$

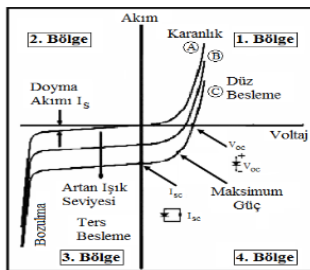
bu denkleme karşılık gelen doğrunun lineer eksenini kestiği noktadan bariyer yüksekliği hesaplanabilir. Bu denklemde  $I_0$  ters doyma akımı,  $A$  diyot alanı,  $A^*$  Richardson sabiti ve  $q$  yükü temsil etmektedir. Ayrıca eğim ise Denklem 2 kullanılarak bulunabilir [32].

$$m = q/nkT \quad (2)$$

Bu denklemde  $n$  idealite faktörünü  $T$  mutlak sıcaklığı göstermektedir.

## 3 Schotkky Fotodiyotlarda Akım-Voltaj (I-V) Karakteristikleri

I-V karakteristikleri fotodiyotların jonksiyon yüzeyindeki akım taşıma mekanizmasıyla belirlenir. Tipik bir fotodiyot için düşük karanlık akımı ve yüksek bozulma voltajı olmak üzere iki önemli parametre vardır. Fotodiyotlarda düşük karanlık akımı yüksek duyarlılığı göstermektedir. Şekil 4’de bir fotodiyotun aydınlık ve karanlık durumdaki I-V karakteristikleri verilmiştir. Verilen grafikte A eğrisi karanlık şartları, C ve B eğrisi ise aydınlık durumdaki I-V karakteristiklerini yansıtmaktadır.



Şekil 4. Tipik bir fotodiyot için karanlık ve aydınlık şartlar altında verilen I-V karakteristikleri [17].

Bir fotodiyot karakteristik olarak 4 bölgede incelenmektedir. Grafikte görülen birinci bölge fotodiyot uygulamalarına uygun değildir. Çünkü bu bölgede diyot normal bir diyot gibi davranmakta ve doğru polarmada çalışmaktadır. 2. bölgede fotodiyot uygulamaları için hiçbir cevap bulunmamaktadır. 3. bölgede ise küçük bir  $I_s$  akımı kendini göstermektedir. Ayrıca bu bölge ışığı en iyi şekilde algılayan ters bozulma bölgesi olarak tanımlanmaktadır. Son bölge olan dördüncü bölge ise diyotun fotovoltaik bölgesidir [17,33].

Bir fotodiyotun doğru akım analizi ile idealite faktörü ( $n$ ), bariyer yüksekliği ( $\Phi_b$ ), seri direnç ( $R_s$ ) ve ters doyma akımı ( $I_0$ ) gibi elektronik parametreleri belirlemek mümkündür. Ters doyma akımı ve bariyer yüksekliği voltajın sıfır olduğu noktada doğru polarmadaki akım fit edilerek hesaplanabilir. İdealite faktörü ise yine doğru beslemede I-V eğrilerinin eğimini ile bulunabilir. Bir fotodiyot çeşidi olan schotkky fotodiyotlarda akım çok yüksek olmadığı zaman Termiyonik Emission teori yardımıyla Denklem 3’den elde edilebilir [18,34].

$$I = I_0 \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{qV}{nkT}\right)\right] \quad (3)$$

$I_0$  aşağıdaki Denklem 4 aracılığı ile hesaplanabilir.

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_b}{kT}\right) \quad (4)$$

Yukarıda verilen denklemde  $k$  Boltzmann sabiti,  $V$  voltajı ve  $q$  yükü işaret etmektedir.  $A$  diyot alanını (bu değer p-Si için  $32 \text{ A/cm}^2\text{K}^2$ ),  $A^*$  Richardson sabitini ve  $T$  ise mutlak sıcaklığı temsil etmektedir.  $n$  değeri  $\ln(I)$ - $V$  eğrisinin lineer bölgesinin eğimi alınarak aşağıdaki Denklem 5 aracılığıyla bulunabilir.  $\Phi_b$  ise Denklem 6 ile hesaplanabilir.

$$n = \frac{q}{kT} \left(\frac{dV}{d(\ln I)}\right) \quad (5)$$

$$(\Phi_b) = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{A^*AT^2}{I_0}\right) \quad (6)$$

Açık devre voltajı ( $V_{oc}$ ) ve kısa devre akımı ( $I_{sc}$ ) değerleri bir fotodiyotun fotovoltaik performansını belirlemek için önemlidir. Açık devre voltajı akımın sıfır olduğu durumda Denklem 7 kullanılarak bulunabilir [35].

$$V_{OC} = \left(\frac{nkT}{q}\right) \ln\left[\left(\frac{I_{sc}}{I_s}\right) + 1\right] \quad (7)$$

Kısa devre akımı seri direnç ve şönt direncinden önemli derecede etkilenir. Bir fotodiyotta jonksiyon bölgesine gelen foton sayısı ile kısa devre akımı arasında doğru orantı vardır [7].

## 4 Fotodiyotlarda İnce Film Kaplama Teknikleri

Kalınlığı birkaç mikrometre ile birkaç  $\text{\AA}$  arasında değişen tabakalar ince film olarak adlandırılır. Ortam değişkenleri ve kaplama metodu ince filmin özelliklerini büyük oranda değiştirebilir. Normalde malzemede bulunmayan bir özellik farklı kaplama teknikleri sayesinde meydana getirilebilir. İnce filmler kontak noktaları, yalıtkan oksit katmanlar ve kontaklar gibi pek çok ara yüzde kullanılabilir. Kaplama tekniklerini şöyle sıralayabiliriz:

### 4.1 Sol-Jel yöntemi

Bu yöntemde ana madde çözücüde çözüldükten sonra hidroliz ve polimerizasyon tepkimeleriyle koloidal bir “sol” yapısına dönüşür. İnce film üretmek için en basit kaplama tekniklerinden birisi bu yöntemdir. Sol jel

sistemi genel tanımı ile sistemin sol olarak bilinen sıvı fazdan jel olarak bilinen katı faza geçmesidir. Bu yöntemle homojen saf bir kaplama yüzeyi elde edilir. Ayrıca bu yöntemle ince film tabakasının mikro yapısını kontrol etmekte mümkündür. Bu yöntemin avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları da vardır. Bu yöntemde malzeme israfı fazladır ve kullanılan bazı kimyasallar sağlığı olumsuz yönde etkileyebilir.

#### 4.2 Spin coating yöntemi

Döndürme ile kaplama yöntemi olarak da bilinir. Düşük maliyetli çok kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde kullanılan taban altlığı daha küçük bir boyuta indirgenir. Yüzeyle kaplamada kullanılacak karışımdan bir miktar döküldükten sonra numune cihazın üzerine yerleştirilerek belirli bir hızda döndürülmeye başlar. Merkezil kuvvet sıvıyı taşıyıcı yüzeyin dışına doğru çeker. Bu sayede fazla olan sıvı dışarı atılır. Film kalınlığı azalır dışarı atılan sıvının miktarı da azalır. Bunun sebebi film incelidikçe akışkanlığa karşı gösterilen direncin büyümesidir. Bu yöntemde film kalınlığı kullanılan çözeltinin viskozitesi ayarlanarak değiştirilebilir. Döndürme tekniğinin en büyük dezavantajı, büyük numuneleri döndürerek kaplamanın zor olmasıdır. Malzeme israfı fazladır ve döndürme sırasında çözeltinin yaklaşık % 95 boşa harcanır.

#### 4.3 Dip coating

Daldırmayla kaplama yöntemi olarak bilinir. Daha çok saydam tabakalar üretilirken kullanılır. Bu yöntemde numune hazırlanan çözeltinin içerisine belirli bir hızla daldırılıp geri çekilir. Bunu daha sonra süzülme ve buharlaşma işlemi takip eder. Daldırma tekniği hemen hemen her türlü örneğin kaplanmasına imkân sağlar. Kullanılan çözeltide israf olmaz. Bu yöntem bazı durumlarda maskeleye gerektirebilir. Çünkü tüm yüzeyin sıvı altında kalması bazı devre elemanlarının yapısını bozabilir.

#### 4.4 Spray pyrolysis

Püskürtmeyle kaplama yöntemi olarak da bilinir. Çözeltinin sıcak bir taban üzerine azot veya hava gazı kullanılarak atomize şekilde püskürtülmesi esasına dayanır. Bu yöntem ince film oluşturmak için en kolay ve en ucuz metottur. Kaliteli düzgün filmler elde etmek mümkündür. Farklı geometriye sahip yüzeyler kolaylıkla kaplanabilir. Proses süreci n-tipi ve p-tipi katkılamaya imkân verir. Püskürtme tekniği ile püskürtülen damlacık film kalitesinde büyük önem arz etmektedir. Kontrol edilemeyen büyük damlacıklar homojen olmayan filmlerin oluşmasına yol açar.

#### 4.5 Drop casting yöntemi

Çözeltinin damlatılması ve çözücünün buharlaştırılması esasına dayanır. Çözelti konsantrasyonu film kalınlığını büyük ölçüde etkilemektedir. Çok basit bir yöntem olmasının yanı sıra malzeme israfı da yoktur. Bu yöntemde film kalınlığını kontrol etmek zordur. Ayrıca

geniş yüzeyli malzemelerin kaplanmasında elverişli bir teknik değildir.

### 5 Farklı metal oksitler ve katkılamalar kullanılarak üretilmiş fotodiyotların elektronik parametrelerinin karşılaştırılması

Fotodiyotların hesaplanan elektronik parametreleri diyot özellikleri hakkında bilgi sahibi olmamıza yardımcı olur. Bu çalışmada tüm fotodiyotlar için kapsamlı bir literatür araştırması yapıldı. Daha sonra çeşitli metal oksitler ve katkı maddeleri kullanılarak üretilmiş bu devre elemanlarının idealite faktörü ( $n$ ), bariyer yüksekliği ( $\Phi_b$ ), seri direnç ( $R_s$ ), fotoduyarlılık ( $RR$ ), fototepki ( $R$ ) ve ara yüz durum yoğunluğu ( $D_{ii}$ ) gibi elektriksel parametreleri mukayese edildi.

#### 5.1 Çeşitli Fotodiyotlarla İlgili Yapılan Literatür Araştırması

Farklı katkılama oranlarına sahip p-Si/AZO:Cu<sub>2</sub>O metal oksit yarı iletken esaslı fotodiyotun ışık yoğunluğunun artmasıyla ters yöndeki akımının arttığı belirlenmiştir. Devre elemanının fototepki özellikleri farklı konsantrasyonlarda Cu<sub>2</sub>O miktarı ile kontrol edilmiş en yüksek fotoiletkenliği % 5 Cu<sub>2</sub>O oranına sahip fotodiyot göstermiştir. İnce filmin bant aralığı 3.4 eV olarak bulunmuştur. Bu durum devre elemanının iyi optik ve elektriksel özellikler gösterdiğini doğrulamıştır. p-Si/AZO:Cu<sub>2</sub>O devre elemanının fototepki özellikleri, bu cihazın güneş paneli takip sistemlerinde fotosensör olarak kullanılabilceğini göstermiştir [36].

Sol-jel yöntemi kullanılarak üretilmiş Al/(Ga<sub>1-x</sub>ln<sub>x</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/p-Si/Al fotodiyotun çeşitli ln konsantrasyonlarında elektriksel özellikleri incelenmiştir. Bu devre elemanının fotodiyot özelliği gösterdiği, optik ve optoelektronik devre elemanı uygulamaları ve solar takip sistemlerinde fotodedyektör olarak kullanılabilceği vurgulanmıştır. İlâveten üretimi yapılan fotodiyotun doğrultucu özellik gösterdiği ve çeşitli oranlarda ln eklenerek ideal olmayan özelliklerin ortadan kaldırıldığı rapor edilmiştir. [37].

Hibrit esaslı p-Si/poly(1,4-diaminoanthraquinone) fotodiyotunun 3500 lx ışık yoğunluğunda oluşan akımının karanlık şartlar altında üretilen akımdan 4.50x10<sup>5</sup> kat daha büyük olduğu görülmüştür. Sonuç olarak bu devre elemanının optoelektronik uygulamalarda fotodiyot olarak kullanılabilceği anlaşılmıştır. [38].

Al/p-Si/phosphotungstic acid (PTA)/Al inorganik fotodiyotun karakterizasyon sonuçları aydınlık şartlardaki fotoakımının karanlık şartlardaki akımdan daha büyük olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak bu devre elemanının fotodiyot özelliği gösterdiği ve solar takip sistemlerinde fotodedyektör olarak çalıştırılabilceği vurgulanmıştır [39].

Grafen:coumarin esaslı organik-inorganik hibrit Au/GO: Coumarin/p-Si/Al fotodiyotunun elektriksel karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Devre elemanındaki GO konsantrasyonları değiştirilerek yüksek duyarlılıkta yeni tip diyotlar üretilmiştir. Coumarin organik yarı iletkeni, düşük levha direnci ve yüksek optik geçirgenliğinden ötürü devre elemanının daha hassas bir yapı kazanmasını sağlamıştır [40].

Hibrit esaslı organik n-Si/borik asit katkılı polyaniline (PANIB) fotodiyotlarının elektriksel ve fotovoltajik parametreleri araştırılmıştır. Ayrıca fotodiyotların I-V karakteristikleri incelenmiştir. Örneklerin 105 mW/cm<sup>2</sup> aydınlatma altında açık devre voltajı ( $V_{oc}$ ) ve kısa devre akımı ( $I_{sc}$ ) sırasıyla 0.280 V ve 6.19 nA olarak bulunmuştur. Devre elemanlarının optoelektronik ve optik uygulamalarda optik sensör olarak kullanılabileceği görülmüştür [8].

Thiourea katkısı ile modifiye edilmiş TiO<sub>2</sub> numunelerinin morfolojik ve elektriksel parametrelerine coumarin organini katkılamının etkisi araştırılmıştır. Örneklerin XRD sonuçlarından thiourea:coumarin katkısının numune kristalizasyon sürecini etkilediği görülmüştür. İlaveten coumarin katkılı TiO<sub>2</sub> numunelerinin fotokatalitik performansı I-V (Akım-Voltaj) ve geçici C-V (Fotokapasite-Voltaj) ölçüleriyle incelenmiştir. Thiourea:coumarin katkısının geçici durumda farklılığa yol açtığı saptanmıştır [41].

Sol-jel spin coating metot kullanılarak çeşitli Cu konsantrasyonlarında üretimi yapılmış Cu<sub>x</sub>Ti<sub>1-x</sub>O<sub>2</sub> ince film numunelerin optik özellikleri incelenmiştir. Oda koşullarında farklı aydınlatma şiddetlerinde bulunan elektronik parametreler, tüm Al/n-Si/Cu<sub>x</sub>Ti<sub>1-x</sub>O<sub>2</sub>/Al fotodiyotlarının fototepki ve doğrultucu özelliklerinin optoelektronik çalışmalar için istenilen seviyede olduğunu doğrulamıştır [42].

Al/p-Si/GO:TiO<sub>2</sub>/Au fotodiyotlarının fototepki özellikleri fotoiletkenlik ve fotoakım mekanizmasıyla araştırılmıştır. Örneklerin ortalama  $\Phi_b$  ve  $n$  değerleri sırasıyla 0.601±0.001 eV ve 17.9±3.9 olarak bulunmuştur.  $n$  değerinin 1'den büyük olması ince filmdeki organik ara yüzeyin düşük taşıyıcı yük mobilitesine dayandırılmıştır. İlaveten en yüksek  $RR$  değerini % 3 grafen oksit (GO) katkılanmış numunenin gösterdiği tespit edilmiştir. Bulunan ölçüm sonuçları diyetotların optik ve optoelektronik uygulamaları için fotosensör olarak kullanılabileceğini doğrulamıştır [43].

Yeni tip çinko oksit (ZnO) katkılı ışık duyarlı amorf:karbon fotodiyot "electrochemical deposition" teknik ile hazırlanmıştır. Devre elemanlarının I-V karakteristikleri farklı aydınlatmalarda I-V ve C-V metot ile analiz edilmiştir. Analiz boyunca aydınlatma şiddeti ile fotoakımın doğru orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. Örneklerin değişik frekanslardaki C-V karakteristiklerinden frekans ve voltajın kapasite üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır.  $\Phi_b$  ve  $n$  değerleri sırasıyla 0.528±0.0069 eV ve 5.24±0.39 olarak bulunmuştur. Sentezlenen Al/ZnO-a:C/p-Si numunelerin çok iyi duyarlılık özelliği gösterdiği ve optik devre elemanı uygulamaları için uygun özelliklere sahip olduğu belirlendi [44].

Au/Coumarin doping Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/p-Si/Al fotodiyotunun değişik aydınlatma yoğunlukları altında fototepki özellikleri araştırılmıştır. Devre elemanının ışığa karşı çok iyi duyarlılık gösterdiği belirlenmiştir. İlaveten devre elemanındaki coumarin konsantrasyonunun % 10 seviyesine kadar artması ile fotokapasitenin düştüğü görülmüştür. Elde edilen elektriksel ve optik karakterizasyon verileri Au/Coumarin katkılı Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/p-Si/Al diyetotunun optik devre elemanı ve fotodiyot olarak çalıştırılabileceğini göstermiştir [45].

Coumarin katkılı CdSe/p-Si diyetotları optoelektronik cihaz uygulamaları için üretilmiştir. Kadmiyum (Cd), selenyum (Se) ve coumarin yapılarının elementer analizi EDX ile gerçekleştirilmiştir. Elementer analiz sonuçları kimyasal kompoziteyi doğrulamıştır. Alınan FE-SEM görüntüleri, coumarin doping:CdSe numunesinin partikül çapının coumarin konsantrasyonuna bağlı olduğu anlaşılmıştır. Üretimi yapılan tüm devre elemanının çok iyi doğrultucu özellik gösterdiği ve fotoakımın lineer bir şekilde değiştiği görülmüştür. Devre elemanları arasında en düşük idealite faktörü ve yüksek akım performansını % 0.03 coumarin konsantrasyonuna sahip diyetot göstermiştir. Elde edilen bulgular devre elemanının optik sensör olarak çalıştırılabileceğini göstermiştir [1].

Sol-jel spin coating teknik kullanılarak üretimi yapılan Al/In:ZnO/p-Si fotodiyotlarının farklı In konsantrasyonlarında ışığı algılama özellikleri incelenmiştir. Örneklerin enerji bant aralıkları katkısız ve katkılı (% 0.1, % 0.5 ve % 1.0 In katkılı) çinko oksit (ZnO) ince film örnekler için sırasıyla 3.293 eV, 3.283 eV, 3.272 eV ve 3.263 eV olarak bulunmuştur. Diyetotların I-V karakteristiklerinden In konsantrasyonunun artmasıyla  $n$  değerlerinin arttığı, doğrultucu özelliğinin ise azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca katkılama konsantrasyonunun artmasıyla  $\Phi_b$  ve  $R_s$  değerlerinin azaldığı görülmüştür. Bunun yanında diyetotların gerçekleştirilen C-V karakterizasyon sonuçları farklı In konsantrasyonları için frekans ve voltajın kapasite değerlerini önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır. Diyetotların endüstride ve optik devre elemanı uygulamalarında fotodedektör ve fotodiyot olarak çalıştırılabileceği tespit edilmiştir [11].

Damla döküm tekniği kullanılarak üretimi yapılan Al/p-Si//GO katkılı MB/Au Schottky fotodiyotlarının çeşitli aydınlatma yoğunluklarında I-V karakteristikleri araştırılmıştır. Işık yoğunluğunun artmasına bağlı olarak devre elemanındaki ters yön akımının arttığı görülmüştür. İlaveten üretimi yapılan diyetotların fotoduyarlılığı incelenmiştir. Devre elemanları içerisinde en yüksek fotoduyarlılığa 100 mW/cm<sup>2</sup> aydınlatma altında 8.67×10<sup>3</sup> değeri ile % 0.03 GO:MB katkılı diyetotun ulaştığı görülmüştür. Bunun yanında örneklerin C-V ve G-V karakteristikleri 10 kHz ile 1 MHz analiz edilmiştir. Frekans arttıkça iletkenliğin arttığı ve kapasitenin azaldığı tespit edilmiştir. Devre elemanının kapasitesinde görülen azalma ara yüz durumlarının varlığına bağlanmıştır. Elde edilen karakterizasyon sonuçları devre elemanlarının optik uygulamalarda fotokapasitör ve fotodiyot olarak kullanılabileceğini göstermiştir [13].

Damla döküm tekniği ile üretilmiş Au/Coumarin:GO katkılı Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/p-Si örneklerinin farklı aydınlatma yoğunluklarında fotodiyot özellikleri incelenmiştir. Diyetotların aydınlık koşullarda karanlık şartlardan daha yüksek fotoakım oluşması, diyetotların fotodiyot özelliği gösterdiğini doğrulamıştır. İlaveten diyetotların aydınlatma altındaki geçici fotoakım ölçümleri, fotokapasite ve fotoiletkenlik özellikleri ile incelenmiştir. Gerçekleştirilen ölçümler sonucunda devre elemanlarının fotoiletkenlik ve fotokapasitans özellik gösterdiği rapor edilmiştir. Ayrıca devre elemanlarının optik sensör uygulamalarında fotodiyot ya da fotokapasitör olarak çalıştırılabileceği anlaşılmıştır [14].

Damla döküm teknik ile üretimi yapılan Al/p-Si/Coumarin katkılı fullerite/Al diyetotlarının fototepki



özelliklerine coumarin katkılanmanın etkisi incelenmiştir. Işık yoğunluğunun artmasıyla devre elemanlarının ters yöndeki akımının arttığı görülmüştür. Bunun yanında devre elemanlarının fotoakımının karanlık akımdan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Hesaplanan m değerleri tüm devre elemanlarının lineer bir fotoiletkenlik özelliği gösterdiğini doğrulamıştır. İlaveten gerçekleştirilen kapasite ölçümleri frekans artışıyla kapasitenin düştüğünü göstermiştir. Ayrıca numunelerin  $D_{it}$  ve  $\Phi_b$  değerlerinin coumarin katkısıyla değiştirilebileceği görülmüştür. Karakterizasyon sonuçları üretimi yapılan diyotların optoelektronik devre elemanı uygulamalarında optik sensör olarak kullanılabilceğini göstermiştir [4].

Yakuphanoglu tarafından yapılan bir çalışmada mikrobalsan nem sensörü üretimi için sol-jel metot kullanılarak sentezlenen  $TiO_2$  yarı iletken metal oksidin yapısal, elektriksel ve optik özellikleri incelenmiştir. Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülen iletkenlik  $10^4$  meV aktivasyon enerjisi ile oda sıcaklığında  $2.55 \times 10^{-6}$  S/m olarak hesaplanmıştır.  $TiO_2$ 'nin elektriksel taşınım mekanizmasının sıcaklıkla aktive edilen mekanizma ile kontrol edildiği görülmüştür. Ayrıca  $TiO_2$ 'nin optik bant aralığı 3.17 eV olarak bulunmuştur. Sonuç olarak bu sensör % 65 oranında nemli havayla temas ettiği zaman iyi bir yinleme özelliği göstermiştir [46].

Farag ve arkadaşları tarafından rapor edilen bir çalışmada sol-jel spin coating yöntem kullanılarak p-Si üzerine oluşturulan CdO ince filminin I-V karakterizasyonuna Çinko (Zn) katkılanmanın etkisi araştırılmıştır. Farklı Zn ağırlık oranlarında üretilmiş Zn katkılı CdO/p-Si diyotlarının doğrultucu özellik gösterdiği belirtilmiştir. Diyotların hesaplanan doğrultma oranı değerlerinin katkılanan ZnO miktarına ve uygulanan voltaja bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Daha düşük voltaj değerleri için ileri yöndeki akım Termiyonik Emisyon teori ile kontrol edilirken daha yüksek voltaj değerlerinde boşluk yük sınırlayıcı iletim mekanizması daha baskın rol oynamıştır. Düzeltilmiş Kapasite-Voltaj ( $C_{ADJ}$ -V) ve düzeltilmiş İletkenlik-Voltaj ( $G_{ADJ}$ -V) karakteristikleri 10 kHz ile 1MHz arasında değişen frekanslarda analiz edilmiştir. ( $C_{ADJ}$ -V) ve ( $G_{ADJ}$ -V) eğrilerinin Zn katkılanmasından ve frekanstan önemli ölçüde etkilendiği görülmüştür. Frekansın bir fonksiyonu olarak verilen ara yüz durum yoğunluğu değerlerinin artan frekans ve Zn katkılanmasıyla azaldığı anlaşılmıştır. CdO/p-Si heterojonksiyon diyotunun elektriksel özelliklerinin Zn katkılanmasıyla değiştirilebileceği sonucuna varılmıştır [2].

Ocaya ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada döküm tekniğiyle hazırlanan coumarin katkılı poly(3-hexylthiophene)/p-Si fotodiyotlarının I-V karakteristikleri karanlıkta ve çeşitli ışık yoğunlukları altında I-V ve C-V metot kullanılarak araştırılmıştır. Al/P3HT: Coumarin /p-Si/Al diyotlarında fotoakımın ışık yoğunluğuna bağlı olduğu ve devre elemanının fototepki özelliklerinin coumarin konsantrasyonuna bağlı olarak değiştirilebileceği anlaşılmıştır. Kapasitenin frekans ve voltaj bağımlılığı ara yüz durumlarının sürekli dağılımı ile açıklanmıştır. Tüm örnekler arasında en iyi fototepki özelliğini % 10 coumarin ağırlık oranına sahip devre elemanının gösterdiği tespit edilmiştir. Al/P3HT: Coumarin/p-Si/Al diyotlarından elde edilen

parametreler, numunelerin fotosensör olarak kullanılabilceğini göstermiştir [47].

Dakheel yapmış olduğu çalışmada p-Si üzerine büyütülen Ge katkılı CdO:Ge ince filmlerin elektriksel ölçüm sonuçlarını incelemiştir. Değişik konsantrasyonlarda Ge katkılanmanın cihazların fototepki ve fotoduyarlılık özelliklerini nasıl etkilediği incelendi. % 0.16 konsantrasyonlu örneğin yaklaşık % 60 fotoduyarlılık gösterdiği tespit edildi. Ayrıca en iyi fototepkiyi 319.4 mA/W ile % 0.25 Ge katkı oranlı cihazın gösterdiği saptandı. Gerçekleştirilen karakterizasyon sonuçları CdO:Ge/p-Si numunelerin yüksek verimli foto dedektörler için uygun olduğunu gösterdi [48].

Karataş ve diğerleri tarafından rapor edilen bir çalışmada Ag/n-CdO/p-Si devre elemanının elektriksel özellikleri C-V ve G-V ölçümleri ile analiz edildi. Frekans arttıkça kapasitenin azalması ara yüz durumlarının varlığını doğruladı. Kapasite-frekans grafiklerinde gözlemlenen pikler ara yüz durumlarının varlığını ile açıklandı. Düşük frekanslar için  $R_s$ -V eğrilerinde görünen pikler daha yüksek frekanslarda ortadan kaybolmuştur. Kapasite-Voltaj/Frekans ve İletkenlik-Voltaj/Frekans analizlerinden ara yüz durum yoğunluğu ve seri direnç değerleri sırasıyla  $1.44 \times 10^{16}$ - $7.59 \times 10^{12}$   $cm^{-2}eV^{-1}$  ve 3.41-49-8.77  $\Omega$  aralığında hesaplanmıştır. Ayrıca Ag/n-CdO/p-Si örneğinin elektriksel parametrelerinin ara yüz durum yoğunluğu ve seri dirençten önemli ölçüde etkilendiği görülmüştür [49].

Orainy ve Hendi yapmış oldukları çalışmada p-Si üzerine sol-jel tekniğiyle büyütülen CdO ince filmlerin yapısal, elektriksel ve optik özelliklerini incelemiştir. CdO ince filmleri için optik bant aralığının Al katkısıyla farklı aralıklara değişebileceği görülmüştür. Devre elemanlarının jonksiyon parametrelerine ışık yoğunluğunun etkisi incelenmiştir. Devre elemanlarının idealite faktörleri katkısız, % 0.1 ve % 1 katkılı diyot için sırasıyla 2.30, 2.95 ve 2.80 olarak hesaplanmıştır. Geçici durum sonuçları ile ışık altındaki akımın karanlık akımdan daha yüksek olduğunu anlaşılmıştır. Frekans arttıkça kapasitedeki azalma ara yüz durumlarıyla açıklanmıştır. Gerçekleştirilen karakterizasyon sonuçları CdO/p-Si numunesinin fototepki özelliklerinin Al katkılanması ile kontrol edilebileceğini göstermiştir [3].

Yakuphanoglu'nun yapmış olduğu çalışmada tek katmanlı olarak üretilmiş organik-inorganik p-Si/C<sub>60</sub>:MEH-PPV sandviç yapıları diyotun I-V ölçümleri yapılmıştır. Bariyer yüksekliği, idealite faktörü, seri direnç ve şönt direnci gibi elektronik parametreleri sırasıyla 0.75 eV, 1.36,  $6.26 \times 10^5$   $\Omega$ ,  $1.40 \times 10^{10}$   $\Omega$  olarak bulunmuştur. Devre elemanının ara yüz durum yoğunluğu ve zaman sabitesi değerleri sırasıyla  $2.55 \times 10^{11}$   $eV^{-1} cm^{-2}$  ve  $1.81 \times 10^{-6}$  s olarak bulunmuştur. Cihazın fotoiletkenlik-fototepki değerleri sırasıyla  $8.16 \times 10^{-6}$  S/m ve  $1.63 \times 10^{-2}$  A/W olarak hesaplanmıştır. İlaveten devre elemanının maksimum açık devre voltajı ( $V_{oc}$ ) ve kısa devre akımı ( $I_{sc}$ ) sırasıyla 130 mV ve 24.5 nA olarak bulunmuştur. Ayrıca diyotun fotoiletkenlik mekanizması tuzak merkezlerinin sürekli dağılımının varlığı ile ifade edilmiştir. Yapılan elektriksel ölçüm sonuçları numunenin fotodiyot olarak çalıştırılabilceğini göstermiştir [50].

Şahin ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada farklı coumarin konsantrasyonlarında SILAR metotla cam malzeme üzerine büyütülen CdO ince filmlerinin yapısal

ve morfolojik özellikleri incelenmiştir. Yapılan analizler CdO XRD pik yoğunluğu, bant aralığı ve yüzey morfolojisinin coumarin içeriğine bağlı olduğunu göstermiştir. Bant aralığının değişmesi numunelerde oluşan yeni kristal yapılar ile açıklanmıştır. Filmlerin XRD analizleri, kristalleşme seviyesinin iyi olduğunu ve poli-kristal bir yapıya sahip olduğunu doğrulamıştır [51].

Ortega ve arkadaşları tarafından rapor edilen bir çalışmada CdO ince filmleri p-Si tabaka üzerine çöktürme metodu ile oluşturuldu. Devre elemanlarının karanlık ve aydınlık şartlardaki I-V karakteristikleri tüm numunelerin ışığa duyarlı olduğunu doğruladı. Ayrıca CdO/p-Si diyotunun spektral duyarlılık eğrileri filmlerin görünür ve kızıl ötesi bölgeye yakın olan bölgelerde yüksek hassasiyete sahip olduğunu göstermiştir [52].

İsmailia ve arkadaşları tarafından rapor edilen çalışmada CdO/Si heterojonksiyon dedektörleri üretilmiştir. Nano yapıları CdO ince filmleri, tek kristalli silikon tabaka üzerine CBD teknik ile büyütülmüştür. Filmler farklı sıcaklık aralıklarında üretilmiştir. Sitokiyometrik sıcaklık açısından en iyi film 90 dakika 400 °C sıcaklıkta üretilmiştir. CdO filmlerinin yapısal özelliklerini araştırmak için gerçekleştirilen AFM ve XRD sonuçları katkılanan tüm numunelerin kübik yapıda olduğunu göstermiştir. İlâveten numunelerin yüzey morfoloji, tüm filmlerin homojene yakın bir yapıda olduğunu doğrulamıştır. İnce filmlerin bant aralıkları artan sıcaklık değerlerine bağlı olarak 2.4 ile 2.5 eV arasında değerler almıştır. Tüm fotodiyotlar iyi doğrultucu özellik göstermiştir. İlâveten örneklerin idealite faktörleri sıcaklığa bağlı olarak 1.56-3.69 arasında değişen değerler almıştır. Numunelerin Kapasite-Voltaj karakteristikleri bilindik diyot özelliklerini doğrulamıştır. Ayrıca CdO/p-Si dedektörün maksimum fototepkisi 0.56 A/W olarak bulunmuştur. Fotodedektörlerin yükselme zamanının sıcaklığa önemli ölçüde bağlı olduğu anlaşılmış ve en kısa yükselme zamanı 2 V gerilim altında 45 ns olarak hesaplanmıştır [53].

Yakuphanoglu ve arkadaşları tarafından rapor edilen bir çalışmada sol-jel tekniikle üretilmiş nano yapıları ZnO/p-Si diyotunun elektriksel ve fotovoltajik özellikleri incelenmiştir. Devre elemanının idealite faktörü ve bariyer yüksekliği değerleri sırasıyla 3.18 ve 0.78 eV olarak bulunmuştur. Diyottaki oksit ara tabaka ve ara yüz durumlarının varlığından dolayı devre elemanı ideal olmayan bir özellik göstermiştir. ZnO nano yapısının cihazdaki ZnO/p-Si ara yüzünün kalitesini arttırdığı saptanmıştır. Ayrıca diyot 100 mW/cm<sup>2</sup> ışık yoğunluğu altında maksimum açık devre voltajı ( $V_{oc}=0.26$  V) ve kısa devre akımı ( $I_{sc}=1.87 \times 10^{-8}$  A) ile fotovoltajik özellik göstermiştir. Elektriksel karakterizasyon sonuçları ZnO/p-Si diyotunun fotodiyot olarak kullanılabilirliğini göstermiştir [54].

Hartomy ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada nano kompozit poly(3,4-ethylene-dioxythiophene):poly(styrene-sulfonate)/ graphene-oxide fotodiyotlarının (PEDOT:PSS-GO) üretimi yapılmıştır. PEDOT:PSS-GO/p-Si jonksiyonunun çeşitli GO içeriklerinde I-V karakteristikleri, karanlıkta ve farklı ışık yoğunluğu altında çalışılmıştır. Devre elemanlarının fotoakımının kompozitteki GO konsantrasyonunun artmasıyla arttığı görülmüştür. Ayrıca numunelerin idealite faktörleri % 0.03, % 0.05 ve % 0.1 GO içerikleri

için sırasıyla 5.43, 5.62 ve 2.49 olarak hesaplanmıştır. Devre elemanları arasında en yüksek fototepki performansını % 0.1 GO katkılı cihaz göstermiştir. PEDOT:PSS-GO kompozitinin fotosensör uygulamalarında yüksek potansiyele sahip olduğu rapor edilmiştir [55].

Yakuphanoglu tarafından rapor edilen bir çalışmada [6.6]-phenyl C61-bütirik asit methyl esterli yapısı ile organik-inorganik fotovoltajik cihazın üretimi yapılmıştır. Diyotun idealite faktörü 2.12 olarak hesaplanmıştır. Cihazın sahip olduğu idealite faktörü, ideal durumda saptığını göstermiştir. İlâveten numune maksimum açık devre voltajı  $V_{oc}=0.12$  V ve kısa devre akımı  $I_{sc}=0.10$   $\mu$ A ile 6 mW/cm<sup>2</sup> ışık yoğunluğu altında fotovoltajik özellik göstermiştir. Devre elemanının parazit dirençleri olarak bilinen seri direnç ( $R_s$ ) ve şönt direnci ( $R_{sh}$ ) sırasıyla  $5.24 \times 10^4$   $\Omega$  ve  $1.95 \times 10^7$   $\Omega$  olarak hesaplanmıştır. Kapasite-Voltaj eğrileri, katkılamadan ve p-Si/PCBM devre elemanının ara yüz kusurlarından ötürü ideal olmayan bir durum göstermiştir. İlâveten cihazın bariyer yüksekliği ( $\phi_b$ ) değeri 0.79 eV olarak bulunmuştur. Elektriksel karakterizasyon sonuçları cihazın fotodiyot olarak kullanılabilirliğini göstermiştir [56].

Tombak ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada coumarin30/p-Si organik-inorganik devre elemanı üretilmiştir. Coumarin30 ince filmi p-Si yarı iletkeni üzerine büyütülmüştür. Elde edilen sonuçlar cihazın mükemmel doğrultucu özelliğe sahip olduğunu doğrulamıştır. Cihazın elektriksel parametreleri 300-380 K sıcaklık aralığında I-V ölçümleri ile incelenmiştir. Artan sıcaklığa bağlı olarak bariyer yüksekliği ( $\phi_b$ ) artarken idealite faktörü ( $n$ ) ve seri direncin ( $R_s$ ) azaldığı tespit edilmiştir. Devre elemanının 59  $\mu$ A kısa devre akımı ve 337 mV açık devre voltajına sahip olduğu görülmüştür. İlâveten Al/Coumarin 30/p-Si diyotunun Kapasite-Voltaj (C-V) ölçümleri çeşitli frekanslarda analiz edilmiştir. C-V değerlerini kullanarak elde edilen bariyer yüksekliği değerleri I-V dataları ile elde edilen bariyer yüksekliği ile mukayese edilmiştir. Karakterizasyon sonuçları devre elemanının optik sensör uygulamaları için istenilen seviyede olduğunu göstermiştir [9].

Yakuphanoglu ve Farooq tarafından rapor edilen bir çalışmada p-Si/1.4-DAAQ inorganik-organik diyotun elektriksel ve fotoduyarlılık özellikleri analiz edilmiştir. Devre elemanının 2.03 idealite faktörü ve 0.85 eV bariyer yüksekliği değeri ile ideal olmayan bir özelliğe sahip olduğu vurgulanmıştır. Cihazın açık devre voltajı ve kısa devre akımı sırasıyla 0.365 V ve 127  $\mu$ A olarak bulunmuştur. Devre elemanının ara yüz durum yoğunluğu farklı ışık yoğunluklarında çalışılmıştır.  $C_{photo}/C_{dark}$  oranının artan frekans ile azaldığı görülmüştür. Al/p-Si/1.4-DAAQ devre elemanının frekansla kontrol edilebilen fotosensör olarak kullanılabilirliği anlaşılmıştır [57].

Farag ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada p-Si/Al ara yüzündeki tris(8-hydroxyquinolino) alüminyum organik yarı iletken tabakanın bu ara yüzdeki elektriksel taşınma nasıl etki ettiği araştırılmıştır. Al/Alq<sub>3</sub>/p-Si devre elemanının iyi doğrultucu özellik gösterdiği görülmüştür. Ayrıca bariyer yüksekliği değerleri Norde metot ve I-V metotla bulunup karşılaştırılmıştır. Norde metotla elde edilen bariyer

yüksekliği değerleri seri direnç etkisinden dolayı I-V metotla elde edilen bariyer yüksekliği değerlerinden daha düşük çıktığı görülmüştür. Al/p-Si diyotunun ara yüzdeki potansiyel bariyer yüksekliği değişimi, Alq<sub>3</sub> organik yarı iletkeni kullanılarak kontrol edilmiştir. Ayrıca bu ara tabakanın efektif bariyer yüksekliğini arttırdığı tespit edilmiştir. Kapasite ve iletkenliğin frekans bağımlılığı seri direnç ve ara yüz durum yoğunluğu değerleri ile yorumlanmıştır. Diyotun seri direncinin artan frekans ile 9 kΩ'dan 1 kΩ'a düştüğü görülmüştür. R<sub>s</sub>-V eğrilerinin dağılımı düşük frekanslarda pikler vermiş ve piklerin artan frekans değerleri ile ortadan kaybolduğu anlaşılmıştır [58].

Aydın ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada Al/poly[2-metoksi-5-(2-ethenol)-1.4-phenylenevinylene] (MEH-PPV)/p-Si schottky diyotunun elektriksel karakterizasyonu Akım-Voltaj ve Kapasite-Voltaj metodu ile araştırılmıştır. Al/MEH-PPV/p-Si Schottky diyotunun hesaplanan idealite faktörü ( $n=1.88$ ) organik yarı iletken üzerindeki yalıtkan tabakadan ötürü ideal olmayan özellik göstermiştir. I-V karakteristiklerinden elde edilen bariyer yüksekliğinin ( $\phi_b=0.80$  eV) C-V karakteristiklerinden elde edilen bariyer yüksekliğinden ( $\phi_b=1.19$ ) daha küçük olduğu anlaşılmıştır. Bu durumun ara yüzdeki doğal oksit tabakalardan ve yarı iletken-schottky kontak arasındaki MEH-PPV organik tabakasından kaynaklandığı rapor edilmiştir. Ara yüz durum yoğunluğu eğrilerinin 0.68 eV ile 0.32 eV arasında değiştiği görülmüştür. Ayrıca ara yüz durum yoğunluğu değerlerinin, p-Si valans bandının tepesine doğru orta aralıktaki gerilim seviyelerinde exponansiyel bir artış göstermiştir [59].

Yakuphanoglu tarafından yapılan bir çalışmada sol-jel dip coating teknik ile boron katkılı CdO ince filmler hazırlanmıştır. Boron katkısının yapıdaki tane boyutunu değiştirdiği görülmüştür. Ayrıca CdO filmlerinin optik bant aralığının boron katkısıyla önemli ölçüde değiştiği tespit edilmiştir. Optik absorbans sonuçları, bant aralığının boron katkısıyla 2.27 ile 2.45 eV arasında değiştirilebileceğini göstermiştir. Hesaplanan en iyi açık devre voltajı  $V_{oc}=0.37$  V ve kısa devre akımı  $I_{sc}=0.81$   $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  olarak hesaplanmıştır. Fakat bu değerlerin literatürde rapor edilen değerlerden daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır [60].

Kahraman ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada ZnO'nun yapısal özelliklerine solüsyon büyütmede coumarin katkılanmanın etkisi araştırılmıştır. Numunenin kristal yapısında ve yüzey morfolojisinde önemli değişiklikler saptanmıştır. Coumarin içeriğinin artmasıyla yapıdaki partiküllerin ortalama yarıçapının küçüldüğü ve rod-rice tipi nano yapı ile üniform bir şekil olduğu görülmüştür. Numunelerin XRD örneklerinden elde edilen piklerin hegzagonal kristal yapıdaki ZnO'nun temel piklerini doğruladığı sonucuna varılmıştır. Numune kristalizasyonunun % 5 coumarin içeriğine kadar yavaş yavaş arttığı bu noktadan sonra kristalizasyonun olumsuz etkilediği anlaşılmıştır. Ayrıca elektriksel öz direnç değerlerinin coumarin içeriğinin artması arttığı gözlemlenmiştir [61].

Yakuphanoglu ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada nano yapıları n-CdO/p-Si heterojonksiyon diyodunun yapısal ve optik özellikleri araştırılmıştır. CdO filmlerin kübik polikristal yapıda olduğu görülmüştür. Örneklerin yüzey morfolojisi filmlerin neredeyse

homojene yakın olduğunu ve birbirine sıkıca paketlenmiş nano yapıları kümelerden oluştuğunu göstermiştir. CdO ince filminin optik bant aralığı optik absorpsiyon metot kullanılarak 2.45 eV olarak hesaplanmıştır. Cd/p-Si diyotunun elektriksel özellikleri Akım-Voltaj ve İletkenlik-Frekans metodu ile analiz edilmiştir. İki yarı iletken arasındaki ara yüz durumları ve seri direncin etkisinden dolayı idealite faktörü ( $n=5.41$ ) 1'den daha büyük bulunmuştur. Devre elemanının maksimum açık devre voltajı ve kısa devre akımı sırasıyla  $V_{oc}=0.12$  V ve  $I_{sc}=0.53 \times 10^{-6}$  A olarak bulunmuştur. Diyotun ara yüz durum yoğunluğu değerleri çeşitli ön gerilim voltajları altında  $7.82 \times 10^{13}$  ile  $3.02 \times 10^{12}$   $\text{cm}^{-2}\text{eV}^{-1}$  arasında değişiklik göstermiştir [62].

Dhole ve arkadaşları tarafından rapor edilen bir çalışmada ZnO nano partikülleri ile doldurulmuş nano kompozit esaslı PANI, kimyasal sentez metodu ile hazırlanmıştır. Hazırlanan nano kompozitin yapısal özelliklerinin araştırılmasında XRD teknik kullanılmıştır. XRD sonuçları ZnO nano partikülünün wurtzite yapıda olduğunu doğrulamıştır. PANI-ZnO nano kompozitinin UV-vis spektrası polimer matrikse ZnO nano partiküllü katlandıktan sonra optik özelliklerinde ne derece değişiklik olduğunu anlamak için yapılmıştır [63].

Ravikumar ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada farklı konsantrasyonlarda (% 0, 1, 3 ve 5) Eu katkılanan kadmiyum oksit (CdO) ince filmler Si tabaka üzerine oluşturulmuştur. Hazırlanan filmlerin yapısal, morfolojik ve optik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca I-V karakteristikleri gibi temel parametreler rapor edilmiştir. Hazırlanan tüm Eu:CdO ince filmlerin kübik yapıda olduğu belirtilmiştir. SEM resimleri numunelerin yüzey görüntülerinin homojen yapıda olduğunu doğrulamıştır. XRD dataları düzlemlerin (200) yöneliminde olduğunu göstermiştir. Enerji bant aralığı değerleri Eu konsantrasyonuna göre 2.42 ile 2.33 eV aralığında değişiklik göstermiştir. % 3 ağırlık oranına sahip CdO ince filmi için öz direnç ( $\rho$ ), yüksek taşıyıcı konsantrasyon ve taşıyıcı mobilitesi sırasıyla  $0.452 \times 10^{-3}$   $\Omega\text{cm}$ ,  $17.82 \times 10^{20}$   $\text{cm}^{-3}$  ve  $7.757$   $\text{cm}^2/\text{V}$  olarak bulunmuştur. Ayrıca nano yapıları Al/Eu-nCdO/p-Si/Al heterojonksiyon devre elemanının Akım-Voltaj ölçümleri bilindik diyot özelliğini doğrulamıştır [64].

Naser ve diğerleri tarafından rapor edilen bir çalışmada 500 nm; 450 nm; 400 nm; 350 nm; 300 nm  $\pm$  30 kalınlığındaki CdO ince filmleri chemical spray metot kullanılarak hazırlanmıştır. İnce filmler mercek camı üzerine çöktürülmüştür. Numunenin optik sonuçları bu filmlerde elektronik geçişin doğrudan geçiş tipinde olduğunu göstermiştir. Katkılanan filmlerin optik bant aralıklarının 2-2.08 eV aralığında olduğu görülmüştür. Farklı sıcaklıklarda (300 K, 523 K, 548 K ve 573 K) katkılanan örneklerin optik bant aralığı değerleri ise 2.08-2.85 eV aralığında olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak optik bant aralığını ısı işlemi ve film kalınlığının önemli ölçüde etkilemediği sonucuna varılmıştır [65].

Gündüz tarafından yapılan bir çalışmada farklı çözücülerden ve malzemelerden oluşan farklı organik yarı iletken Al/p-Si/PCBM-MEH-PPV/Al ve Al/p-Si/PANI/Al fotodiyotlar hazırlanmıştır. Hazırlanan bu organik esaslı yarı iletken diyotların elektriksel ve optik özelliklerini araştırmak için farklı aydınlatmalar altında Akım-Voltaj ve Fotoiletkenlik-Zaman ölçümleri



alınmıştır. Ayrıca elde edilen ölçüm sonuçlarından diyotun elektriksel parametreleri bulunmuş ve mevcut organik yarı iletken fotodiyotların elektronik parametreleri ile mukayese edilmiştir. Diyotlara uygulanan aydınlatma şiddeti arttıkça ters besleme akımının yükseldiği ve diyotların fotovoltajik özellik gösterdiği tespit edilmiştir [7].

Tozlu tarafından yapılan bir çalışmada farklı moleküler yapıdaki perilen ve naftalen organik yarı iletkenlerinin alan etkili transistör (OFET) yapısında farklı yüzey enerjilerine sahip yalıtkan tabakalara bağlı elektriksel parametreleri analiz edilmiştir. Naftalen bis-benzimidazol organik yarı iletkenine foto-OFET uygulaması yapılarak optik sinyalin elektriksel sinyale çevrimi incelenmiştir. Foto-OFET yapının belirlenen aydınlatma altında fotoduyarlılığı tükenim bölgesinde ve yığılma bölgesinde sırasıyla 93.5 ve 1.82 olarak bulunmuştur. Ayrıca foto-OFET'in tükenim ve yığılma bölgesindeki fototepki değerleri ise sırasıyla 14.3 mA/W ve 32.7 mA/W olarak hesaplanmıştır. Ayrıca hidrofobik BCB polimer yalıtkan üzerine kaplanan NBBI ve PBBI organik yarı iletkenlerinden elde edilen transistörün etkili elektron mobilite değerleri sırasıyla  $1.04 \times 10^{-3}$  ve  $1.62 \times 10^4 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  olarak elde edilmiştir. Hidrofilik PVA yalıtkan tabakası üzerine kaplanan NBBI ve PBBI yarı iletkenleri için hesaplanan elektron mobilite değerleri ise sırasıyla  $8.14 \times 10^{-4}$  ve  $9.03 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır [66].

Gündüz tarafından yapılan çalışmada organik alan etkili transistör (OFET)'lerin üretilmesinde aktif tabaka olarak pentasen ve onun türevlerinden olan pentasen (TIPS) organik yarı iletkenleri, termal buharlaştırmayla cam altlık üzerine kaplanarak oluşturulan ince filmlerin yapısal ve optik özellikleri araştırılmıştır. Farklı oksit tipleri kullanılarak hazırlanan organik alan etkili transistörlerin (OFET) elektriksel karakteristikleri karanlıkta ve aydınlık şartlar altında incelenmiştir. n-Si/BaTiO<sub>3</sub>/pentasen OFET'i  $41.171 \text{ cm}^2/\text{V}_s$  ile en yüksek taşıyıcı mobilitiyi göstermiştir. Ayrıca farklı oksit tipleriyle hazırlanan OFET'lerde oksit tipinin çıkış karakteristiklerini önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır. Ayrıca hazırlanan OFET'lerin aydınlatma şiddeti arttıkça kanal akımının ve fotoduyarlılıklarının arttığı belirtilmiştir [67].

Şimşir tarafından rapor edilen bir çalışmada hazırlanan GaAs yarı iletken esaslı Schottky diyotların 75-350 K sıcaklık aralığında akım-gerilim karakterizasyonu yapılmıştır. Elde edilen karakterizasyon sonuçlarından seri direnç, idealite faktörü ve bariyer yüksekliği gibi bazı elektronik diyot parametreleri belirlenmiştir. Hazırlanan Ag/PMI/n-GaAs perylene organigi ile modifiye edilmiş schottky diyotunun belirlenen tüm sıcaklık aralıklarında iyi doğrultucu özellik gösterdiği anlaşılmıştır. Ayrıca taşıyıcı yoğunluğunun kullanılan organigin miktarına bağlı olarak değiştirilebileceği sonucuna varılmıştır [68].

Dere tarafından yapılan çalışmada Hummer metotla sentezlenen grafen oksit (GO) ile MB+GO/p-Si Schottky diyot esaslı fotodedektörler hazırlanmıştır. Hazırlanan dedektörlerin elektriksel karakterizasyonu Kapasite-İletkenlik/Gerilim ve Akım/Gerilim ölçümleri ile analiz edilmiştir. Hazırlanan fotodedektörlerin fototepki özelliklerinin grafen oksit katkısıyla değiştirilebileceği görülmüştür. Ayrıca fotodedektörler için en önemli

performans göstergesi olan fotoakımın karanlık akıma oranı % 0.05 GO katkılı devre elemanında en yüksek değeri ( $4.9 \times 10^{-2} \text{ A/W}$ ) göstermiştir. Yapılan karakterizasyonlar ile MB+GO/p-Si fotodedektörlerinin optoelektronik uygulamalar için uygun olduğu sonucuna varılmıştır [18].

Ülküer tarafından rapor edilen bir çalışmada organik esaslı Al/perylene-diimide/ITO Schottky diyotlarının elektriksel karakterizasyonu I-V metot kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bariyer yüksekliği ve idealite faktörü gibi parametreler I-V metot ve Cheung-Cheung metotla ayrı ayrı hesaplanıp karşılaştırılmıştır [32].

Erkol tarafından yapılan çalışmada inorganik malzemelere alternatif olarak verimli organik malzemenin belirlenebilmesi, FePc, ZnPc, CoPc ve HPC ile yalıtkan tabakaların oluşturularak sağlanmıştır. Metal tabaka olarak ise yüksek saflıkta altın (Au) ve gümüş (Ag) kullanılmıştır. Ayrıca devre elemanı için Si altlık kullanılmıştır. Devre elemanının Akım-Voltaj ve Kapasite-Voltaj karakteristikleri farklı sıcaklıklarda incelenmiştir. Bu sıcaklıklar için empedans, iletkenlik ve sığa ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışmada MIS (Metal-Yarı İletken Schottky Diyotlar) yapıların doğrultucu özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak ftalosiyanın bileşiklerinin MIS yapılarıdaki yalıtkan tabaka için büyük bir potansiyele sahip olduğu ve bu bileşimin moleküler yapısında yapılacak uygun değişimlerin MIS yapıların ara yüzey özelliklerini iyileştirebileceğini göstermiştir [69].

Demir tarafından yapılan bir çalışmada çok cidarlı karbon nano tüp ve TiO<sub>2</sub> tabaka ilavesinin P3HT:PCBM organik güneş pillerinin performansını ne derece etkilediği araştırılmıştır. Güneş pillerinin absorbans ölçümleri alınarak optik özellikleri incelenmiştir. Aktif tabakaya karbon nano tüp ilavesiyle akım yoğunluğu, verim ve doldurma faktöründe artış sağlanmıştır. İlaveten tabaka üzerine kaplanan titanyum dioksitin (TiO<sub>2</sub>) pilin dolum faktörünü arttırdığı tespit edilmiştir. Fakat TiO<sub>2</sub> tabaka verim açısından istenilen etkiyi göstermemiştir. Verimdeki düşüşe TiO<sub>2</sub> tabakasından oluşan çatlakların direnci arttırmasının sebep olabileceği düşünülmüştür [70].

Biçer tarafından rapor edilen bir çalışmada sol-jel metotla hazırlanan TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> nano kompoziti farklı kalınlıktaki camların üzerlerine kaplanmıştır. Bu çalışmada filmlerin camların mukavemetine ne derece etki ettiği ve camın optik özelliklerini ne derece değiştirdiği araştırılmıştır. Örneklerin % 330'a kadar mukavemet artışı gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> içeren inorganik-organik sol-jel kaplamanın spektrofotometre ile yapılan geçirgenlik ve yansıtma değeri istatistikleri kaplamaların cam kadar saydam olmalarının yanında camdan daha geçirgen olduklarını da tespit etmiştir [71].

Çavaş tarafından yapılan çalışmada nano yapı metal oksit yarı iletkenler kullanarak sol-jel spin coating teknikle çeşitli fotodiyotların üretimi yapılmıştır. Hazırlanan CdO ve ZnO ince filmlerin yasak enerji aralıklarını belirlemek için absorbans, transmittans ve reflektans ölçümleri yapılmıştır. Filmlerin yapısal özellikleri XRD ve AFM teknikle kontrol edilmiş ve polikristal yapıya sahip olduğu doğrulanmıştır. Al/p-Si/CdO/Al ve Al/p-Si/ZnO/Al diyotlarının Akım-Voltaj, Kapasite-İletkenlik/Voltaj ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Diyotların ara yüz özellikleri ve elektriksel parametrelerinin Ni ve Al katkısıyla değişebileceği sonucuna varılmıştır. Diyotların fototepki özelliklerinin metal katkılar kullanılarak iyileştirilebileceği vurgulanmıştır [24].

Özden tarafından rapor edilen çalışmada BPW34 ve BPW41 silikon p-i-n fotodiyot aygıtlar ile bilinen bir ZnO/CdS/Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> güneş pilinin elektriksel özellikleri farklı sıcaklıklarda akım-gerilim ve admittans spektroskopisi tekniği ile araştırılmıştır. BPW34 ve BPW41 fotodiyotlarının verimlilik değerleri sırasıyla % 5 ve % 12 olup doğrultma oranları ise 10<sup>6</sup>-10<sup>7</sup> civarında olduğu tespit edilmiştir. Admittans spektroskopisi tekniği ile aktivasyon enerjisi E<sub>a</sub>=1.49 eV ve durum yoğunluğu yaklaşık olarak 2×10<sup>17</sup> cm<sup>-3</sup>eV<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur [72].

Kucur tarafından yapılan çalışmada kızılötesi bölgede çalışan epitaksi yöntemi ile oluşturulan GaSb/GalnAsSb/GaAlAsSb çift hetero yapıli numunenin elektriksel özellikleri araştırılmıştır. Numunenin C-V karakteristiklerinden yük taşıyıcı yoğunluğu 2.01×10<sup>17</sup> cm<sup>-3</sup>eV<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. Farklı sıcaklık aralıklarındaki akım gerilim karakteristikleri 360-160 K aralığında iletim yönünde iki farklı akım mekanizmasının baskın olduğu, 230-160 K aralığında ise yeniden birleşme akımının baskın olduğu görülmüştür [17].

Canlı tarafından rapor edilen çalışmada Alq<sub>3</sub> molekülünün diyot üzerindeki fotovoltaj etkisini anlayabilmek için Al/p-Si/Al ve Al/Alq<sub>3</sub>/p-Si/Al diyotlarının üretimi gerçekleştirilmiştir. Numunelerin yapısal ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. Organik ara yüz malzemeli numunelerin güneş simülatörü altında ve karanlıkta 30'dan 100 mW/cm<sup>2</sup>'ye değişen ışık yoğunluklarında açık devre voltajı, kısa devre akımı, doluluk faktörü ve güneş enerjisi verimi gibi parametreleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında organik ara yüzli numunelerin fotodiyot özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Alq<sub>3</sub>'ün kullanıldığı organik ara yüzli örneğin artan aydınlatma şiddetine bağlı olarak artan ters akımının referans diyota kıyasla daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar fotodiyot üretiminde Alq<sub>3</sub> organik molekülünün diyot özelliklerinin geliştirilmesinde kullanılabilirliğini göstermiştir [16].

Özmen tarafından yapılan çalışmada Y<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>CoO<sub>3</sub> ve Y<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>MnO<sub>3</sub> malzemeleri sol-jel metot kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan örneklerin yapısal ve elektriksel özellikleri araştırılmıştır. Hazırlanan diyotların fotodiyot özelliği gösterdiği ve optik uygulamalarda fotodiyot olarak kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır [25].

## 5.2 Fotodiyotların elektronik parametrelerinin karşılaştırılması

Çalışmanın bu kısmında farklı metal oksitler ve katkı maddeleri kullanılarak üretilmiş devre elemanlarının idealite faktörü (*n*), bariyer yüksekliği ( $\Phi_b$ ), seri direnç (*R<sub>s</sub>*), fotoduyarlılık (*RR*), fototepki (*R*) ve ara yüz durum yoğunluğu (*D<sub>it</sub>*) gibi elektriksel parametreleri mukayese edildi. Elde edilen sonuçların birbirileriyle olan tutarlılıkları incelendi. Tablo 1'de farklı katkılama oranlarında üretilmiş çeşitli fotodiyotların elektriksel parametreleri verilmiştir. Tablodan anlaşılacağı üzere

katkılamanın diyot parametrelerini önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir. Devre elemanları için büyük öneme sahip doğrultma oranı (*R<sub>r</sub>*) değerleri, katkılamanın bir fonksiyonu olarak belirgin bir biçimde değişmektedir. Örneğin Al/ZnO-a:C/p-Si/Al fotodiyotunun sahip olduğu *R<sub>r</sub>* değeri katkılanan madde konsantrasyonuna bağlı olarak 2.7×10<sup>9</sup> ile 4.9×10<sup>9</sup> arasında değişen değerler almaktadır [44]. Ayrıca artan katkılama yoğunluğuna bağlı olarak *R<sub>r</sub>* değerlerinin arttığı saptanmıştır. Farklı coumarin katkı oranları için üretilmiş Al/Coumarin:CdO/p-Si devre elemanı için 1.32×10<sup>4</sup> ile 1.54×10<sup>4</sup> arasında değişen *R<sub>r</sub>* değerleri bulunmuştur [73]. En yüksek *R<sub>r</sub>* değerini % 3 katkılama oranına sahip diyot göstermiştir. Yine yapılan başka bir çalışmada Al/P-Si/Coumarin:TiO<sub>2</sub>/Al fotodiyotu için en yüksek *R<sub>r</sub>* değerini 10<sup>4</sup> mertebesinde % 3 katkı oranına sahip devre elemanı göstermiştir [74]. Bu noktadan sonra katkılama oranı arttıkça *R<sub>r</sub>* değerlerinin düştüğü saptanmıştır. Bu durum ince film tabakasının sahip olduğu kristal yapıyla ilgilidir. Yine doğrultma oranı değerleri Au/coumarin doped Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/p-Si/Al fotodiyotu için 28×10<sup>3</sup>, Au/coumarin-doped TiO<sub>2</sub>/p-Si fotodiyotu için ise 1×10<sup>5</sup> olarak bulunmuştur [41,45]. Doğrultma oranı değerleri araştırılan tüm fotodiyotlar için *R<sub>r</sub>* > 1000 olduğundan iyi doğrultucu özelliğe sahip oldukları söylenebilir [75,76]. Araştırılan diyotlar için idealite faktörü (*n*) ve bariyer yüksekliği ( $\Phi_b$ ) değerlerinin katkılama oranıyla değiştiği görülmektedir. İdealite faktörü ara yüzey durumlarının şekli ve yüzey morfolojisi ile ilgili fikir sahibi olmamızı sağlar [77]. *n* değeri ideal bir diyot için 1 olmalıdır. Fakat yapılan çalışmalarda bu değerlerin 1'den daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum seri direnç ve oksit tabakanın varlığından kaynaklandığı söylenebilir [74].  $\Phi_b$  değeri bir metal ile yarı iletkenin kombinasyonuna bağlıdır. Metal oksit yarı iletkenlerin sahip olduğu, bilinen bir  $\Phi_b$  değeri vardır. Örneğin bu değer ZnO için yaklaşık 0.6 eV civarındadır [78]. Fakat yapılan çalışmalarda bu değerlerin katkılama oranlarına bağlı olarak değişebileceği görülmektedir. Örneğin indiyum (In) katkılı çinko oksit (ZnO) için bu değer 0.6 ile 0.78 eV arasında değişmektedir [11]. Katkılama sayesinde istenilen  $\Phi_b$  değerine sahip fotodiyotlar üretmek mümkündür.

İdeal bir devre elemanı için seri direnç (*R<sub>s</sub>*) her ne kadar ihmal edilse de gerçek bir fotodiyot belirli bir *R<sub>s</sub>* değerine sahiptir [79]. *R<sub>s</sub>* değeri taşıyıcı tuzakların yanı sıra ara yüz durum yoğunluklarından da kaynaklanmaktadır [58]. Yapılan literatür araştırmasında diyotların sahip olduğu seri dirençler Tablo 1'de verilmiştir. Tablodan katkılama oranlarına bağlı olarak *R<sub>s</sub>* değerlerinin azalabileceği görülmektedir. Bu durum daha hassas fotodiyotların elde edilebileceğini göstermektedir. Örneğin Au/coumarin doped Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/p-Si/Al fotodiyotu için katkılama sayesinde *R<sub>s</sub>* değeri 200'den 50 kΩ kadar düşürülmüştür [45]. Farklı bir çalışmada Al/p-Si/GO:TiO<sub>2</sub>/Au fotodiyotu için *R<sub>s</sub>* değeri 6.4'dan 0.36 kΩ'a kadar azalmıştır [43]. İndiyum (In) katkılı çinko oksit (ZnO) ince filmler için *R<sub>s</sub>* değeri 15.7'den 0.63 kΩ'a kadar düşürülmüştür [11].

Işık duyarlılığının bir ölçüsü olarak tanımlanan fotoduyarlılık (*RR*) önemli bir diyot parametresidir. Bu değer başka bir tanımla ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmenin bir ölçüsüdür [33]. Fotodiyotlarla ilgili

yapılan araştırmada bu devre elemanlarının *RR* değerlerinin katkı konsantrasyonu ile büyük ölçüde değişebileceği görülmüştür. Yapılan bir çalışmada Al/ZnO- a:C/p-Si/Al fotodiyotunun *RR* değeri a:C katkı oranıyla  $4.57 \times 10^{-6}$  değerine kadar arttırılmıştır [44]. Yapılan diğer bir çalışmada Au/cou-doped TiO<sub>2</sub>/p-Si heterojonksiyon diyotunun *RR* değeri coumarin katkısıyla  $3.8 \times 10^4$  değerine kadar iyileştirilmiştir [41].

Al/n-Si/CuxTi1-xO<sub>2</sub>/Al fotodiyotu için en yüksek *RR* değeri % 0.05 Cu katkılı devre elemanı için  $1.20 \times 10^6$  olarak bulunmuştur [42]. Aslan ve arkadaşları tarafından yapılan üç farklı çalışmada farklı coumarin konsantrasyonlarındaki üç farklı fotodiyotun *RR* değerleri

hesaplanmıştır. Verilen Al/Coumarin:ZnO/p-Si/Al, Al/Coumarin:TiO<sub>2</sub>/p-Si/Al ve Al/Coumarin:CdO/p-Si/Al devre elemanları için en yüksek *RR* değerlerini % 3, % 1 ve % 5 katkılı devre elemanlarının gösterdiği tespit edilmiştir [73,74,78].

Yapılan araştırmada diyotların göstermiş olduğu fototepki (*R*) değerleri mukayese edilmiştir. Farklı metal oksit ve katkılarla üretilmiş fotodiyotlar için 0.01 ile 0.56 A/W arasında değişen değerlerde fototepki değerleri elde edilmiştir [42,53,64]. Fototepki değerlerinin katkılama yoluyla farklı değerlere kayabildiği Tablo 1'den açıkça görülmektedir.

**Tablo 1.** Farklı çalışmalarda üretilmiş fotodiyotlar için 100 mW/cm<sup>2</sup> ışık yoğunluğu altında hesaplanan elektriksel parametreler

	Katkılanan Madde	İdealite Faktörü ( <i>n</i> )	Bariyer Yüksekliği ( $\Phi_b$ ) (eV)	Seri Direnç ( <i>R<sub>s</sub></i> ) (kΩ)	Foto Duyarlık ( <i>RR</i> )	Foto Tepki ( <i>R</i> ) (A/W)	Ara yüz Durum Yoğunluğu ( <i>D<sub>ii</sub></i> ) (cm <sup>-2</sup> eV <sup>-1</sup> )	Doğrultma Oranı ( <i>R<sub>r</sub></i> )
GO Grafen Oksit [40]	Coumarin	2.7-5.9	0.7-0.9	-	-	-	-	-
Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Bizmut Oksit [45]	Coumarin	3.2-3.8	0.81-0.85	200-54	-	-	-	28×10 <sup>3</sup>
ZnO Çinko Oksit [44]	a:C	3.7-6.3	0.48-0.56	0.10	4.57×10 <sup>-6</sup>	-	-	2.7×10 <sup>9</sup> 4.9×10 <sup>9</sup>
TiO <sub>2</sub> Titanyum Dioksit [43]	Grafen Oksit	14.5- 28.8	0.55-0.66	0.36-6.4	-	-	-	-
TiO <sub>2</sub> Titanyum Dioksit [41]	Coumarin	2.1-3.4	0.72-0.82	-	3.8×10 <sup>-4</sup>	-	2.1×10 <sup>13</sup> -7.9×10 <sup>13</sup>	1×10 <sup>5</sup>
TiO <sub>2</sub> Titanyum Dioksit [42]	Cu Bakır	2.20-2.37	0.68-0.71	0.078-0.010	1.20×10 <sup>-6</sup>	0.01	-	-
Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Bizmut Oksit [14]	Coumarin:GO	2.5-4.8	0.68-0.8	-	-	-	-	-
CdO	-	-	-	-	-	-	3×10 <sup>13</sup> -7×10 <sup>12</sup>	-
Kadmiyum Oksit [2]	Zn Çinko	-	0.45-0.7	-	-	-	-	-
ZnO Çinko Oksit [11]	In İndiyum	14.1-4.21	0.6-0.78	0.63-15.7	-	-	1.31×10 <sup>13</sup> -7.99×10 <sup>13</sup>	-
CdO	-	-	-	-	-	-	-	-
Kadmiyum Oksit [48]	Ge Germanyum	0.41-0.51	3.4-8.3	-	-	-	-	-
CdO	-	-	-	-	-	-	1×10 <sup>12</sup> -9×10 <sup>12</sup>	-
Kadmiyum Oksit [3]	-	2.30-2.95	0.54-0.59	-	-	-	-	-
CdO	-	-	-	-	-	-	-	-
Kadmiyum Oksit [53]	-	1.56-3.69	-	-	-	0.56	-	-
GO Grafen Oksit [55]	-	2.49-5.62	0.54-0.58	-	-	-	-	-
ZnO Çinko Oksit [54]	-	3.18	0.78	-	-	-	-	-
AZO Kompozit metal oksit [36]	Cu <sub>2</sub> O Bakır2 Oksit	3.84-4.52	0.72-0.83	-	-	-	-	-
CdO	-	-	-	-	-	-	-	-
Kadmiyum Oksit [64]	Eu Eropyum	4.03	0.75	-	-	0.18-0.27	-	-
CdO	-	-	-	-	-	-	-	-
Kadmiyum Oksit [62]	-	5.41	0.56	6.41	-	-	7.82×10 <sup>13</sup>	-
ZnO Çinko Oksit [78]	Coumarin	4.04-6.93	0.466-0.490	-	1.19×10 <sup>-4</sup>	-	1×10 <sup>12</sup> -1×10 <sup>14</sup>	-
CdO	-	-	-	-	-	-	-	-
Kadmiyum Oksit [73]	Coumarin	4.39-7.83	0.461-0.487	-	1.04×10 <sup>-4</sup>	-	1×10 <sup>12</sup> -5×10 <sup>12</sup>	1.32×10 <sup>4</sup> 1.54×10 <sup>4</sup>
TiO <sub>2</sub> Titanyum Dioksit [74]	Coumarin	3.1-11.4	0.460-0.471	-	1.81×10 <sup>-4</sup>	-	-	4.79×10 <sup>3</sup> 3.94×10 <sup>4</sup>

Ara yüz durumları ( $D_{it}$ ) yük taşıyıcıların sayısı ile ilgilidir [13,57,80]. Araştırmada farklı metal oksitlerle üretilmiş diyotların  $D_{it}$  değerlerinin katkılama oranından ne ölçüde etkilendiği araştırılmıştır. Ara yüz durumları diyot parametrelerinden kapasiteyi önemli ölçüde etkilemektedir [58]. Bulunan tüm değerler  $10^{12}$  ile  $10^{13}$  arasındadır [2,3,11,41]. Farklı çalışmalarda devre elemanlarının  $D_{it}$  değerlerinin frekans ve katkılama oranından önemli ölçüde etkilendiği anlaşıldı. Aslan ve diğerleri tarafından yapılan çalışmalarda farklı metal oksitlere coumarin katkılanarak üretilmiş fotodiyotların  $D_{it}$  değerleri,  $10^{12}$  civarında hesaplanmıştır [73,74,78].

## 6 Sonuç

Sonuç olarak katkı atomlarının küçük bir yoğunlukta yarı iletkenlere katkılanması iletkenliği önemli ölçüde değiştirmektedir. Bu durum devre elemanlarında elektron-boşluk çifti yoğunluğunun değişimine bağlanmıştır [81]. Kristalin yapısında bulunmayan atomların dışarıdan yapıya eklenmesiyle bu devre elemanlarının elektriksel özellikleri istenilen seviyelerde değiştirilebilmiştir [31,32]. Üretimi yapılmış çok sayıda fotodiyot, farklı katkılama oranlarında doğal bant yapısını bozarak yeni enerji-bant yapıları oluşturmuştur. Bu durum diyotların elektronik parametrelerini değiştirmiştir [82]. Daha sonraki yapılacak çalışmalarda organik ya da hibrit esaslı katkı maddeleri kullanarak fotodiyotların elektriksel ve optik özellikleri iyileştirilebilir. Ayrıca bazı organik esaslı katkı türleri kullanılarak güneş hücrelerinin fotovoltaj performansları artırılabilir [83].

## Açıklamalar

Bu çalışmada etik kurul onay belgesine gerek bulunmamaktadır.

## Kaynaklar

- [1] Yakuphanoglu F., Darkwa-Mensah K., Al-Ghamdi AA., Gupta RK., and Farooq WA.,2016. Novel organic doped inorganic photosensors. *Microelectronic Engineering journal*, 160, 27–33. Elsevier B.V.
- [2] Farag AAM., Cavas M., and Yakuphanoglu F.,2012. Electrical performance and interface states studies of undoped and Zn-doped CdO / p-Si heterojunction devices. *Materials Chemistry and Physics*, 132(2–3), 550–558. Elsevier B.V.
- [3] Al Orainy RH., and Hendi AA.,2014. Fabrication and electrical characterization of CdO/p-Si photosensors. *Microelectronic Engineering*, 127, 14–20.
- [4] Ocaya RO., Al-Ghamdi A., Mensah-Darkwa K., Gupta RK., Farooq W., and Yakuphanoglu F.,2016. Organic photodetector with coumarin-adjustable photocurrent. *Synthetic Metals*.
- [5] Xu J., Sang H., Wang X., and Wang K.,2015. Facile synthesis and photocatalytic properties of ZnO core/ZnS-CdS solid solution shell nanorods grown vertically on reductive graphene oxide. *Dalton Transactions*, 160, 27–33.
- [6] Çavaş M.,2017. Al / P- Si / ZnO / Al Fotodiyotunun Üretimi ve Elektriksel Karakterizasyonu.,2017. Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi 29(1), 325-330.
- [7] Gündüz B.,2007. Organik yarıiletken fotodiyotların hazırlanması ve optoelektronik özelliklerinin araştırılması. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [8] Yakuphanoglu F., Kandaz M., and Senkal BF.,2009. Inorganic-organic photodiodes based on polyaniline doped boric acid and polyaniline doped boric acid:nickel(II) phthalocyanine composite. *Sensors and Actuators, A: Physical*.
- [9] Tombak A., Ocak YS., Asubay S., Kilicoglu T., and Ozkahrman F.,2014. Fabrication and electrical properties of an organic-inorganic device based on Coumarin 30 dye. *Materials Science in Semiconductor Processing*.
- [10] Alkis S., Tekcan B., Nayfeh A., and Okyay AK.,2013. UV/vis range photodetectors based on thin film ALD grown ZnO/Si heterojunction diodes. *Journal of Optics*.
- [11] Yıldırım M., and Kocyigit A.,2018. Characterization of Al/In:ZnO/p-Si photodiodes for various In doped level to ZnO interfacial layers. *Journal of Alloys and Compounds*.
- [12] Wageh S., Farooq WA., Tataroğlu A., Dere A., Al-Sehemi AG., Al-Ghamdi AA., et al.,2017. A photodiode based on PbS nanocrystallites for FYTRONIX solar panel automatic tracking controller. *Physica B: Condensed Matter*.
- [13] Mekki A., Dere A., Mensah-Darkwa K., Al-Ghamdi A., Gupta RK., Harrabi K., et al.,2016. Graphene controlled organic photodetectors. *Synthetic Metals*.
- [14] Khusayfan NM.,2016. Coumarin:GO doped Bi2O3composites/p-type silicon hybrid photodiodes. *Synthetic Metals*.
- [15] Dere A.,2014. Grafen esaslı fotodedyektörlerin üretilmesi ve elektriksel özelliklerinin karakterizasyonu. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- [16] Serdal C.,2018. Silisyum tabanlı Alq3 arayüzeyli fotodiyotların elektriksel ve optiksel özelliklerinin incelenmesi. Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bingöl.
- [17] Banu K.,2011. GaSb yarıiletken temelindeki infrared fotodiyotların karanlık akımlarının incelenmesi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa.
- [18] Dere A.,2014. Grafen esaslı fotodedyektörlerin üretilmesi ve elektriksel özelliklerinin karakterizasyonu. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- [19] Şeftalici M.,2010. A10.47Ga0.53n schottky fotodedyektör yapının optik ve morfolojik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, Ankara.
- [20] Bilgen Y.,2008. Sol-Jel yöntemi ile üretilen nano kristal ZnO:Ga ince filmlerinin optik ve mikro yapısal özelliklerinin incelenmesi. Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
- [21] Türkoğlu A.,2007. GaAs-AlxGa1-xAs heteroyapı ve çoklu kuantum kuyu IR fotodedyektörün elektro-optik özelliklerinin incelenmesi. Cumhuriyet Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sivas.
- [22] Borazan H.,2007. Yarıiletkenlerde kinetik olayların deneysel araştırma yöntemleri. Yüzyüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Van.
- [23] Çolak H., Değişik metal katkılı II-VI tipi yarıiletkenlerin sentezlenmesi, karakterizasyonu ve elektriksel iletkenliklerinin ölçülmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri.
- [24] Çavaş M.,2011. Nano yapıli metal oksit yarıiletkenler kullanarak foto diyotların üretilmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.
- [25] Denizhan Ö.,2015. YMnO3 ve YCoO3 Ferroelektrik Malzeme Esaslı Si Tabanlı Fotodiyotların Elektriksel Özellikleri. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.
- [26] Eren O.,2006. Alüminyum katkılı ZnO ince filmlerinin bazı fiziksel özellikleri. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.

- [27] S.M. Sze KKN.,2007. Physics of Semiconductor Devices. Wiley Interscience, New Jersey.
- [28] Bütün S.,2006. The Growth fabrication and characterization of high performance AlGa1-x N metal-semiconductor-metal photodiodes. Bilkent Ün. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [29] Sze SM.,1981. Physics of semiconductor devices. 2nd Ed. New York: John Wiley.
- [30] Robert Boylestad LN.,2004. Elektronik elemanlar ve devre teorisi. Milli Eğitim Basımevi-İstanbul.
- [31] Yıldırım B.,2007. Al<sub>0.52</sub>Ga<sub>0.48</sub>N schottky fotodedyektör yapının optiksel ve yüzeysel özellikleri. İleri Teknolojiler, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [32] Ülküer F.,2014. Organik yarıiletken kullanılarak üretilen schottky diyotların elektriksel karakteristiklerinin belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- [33] Biyikli N.,2004. High-performance AlxGa 1-x N-based UV photodetectors for visible/solar-blind applications. Bilkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
- [34] İdris K.,2010. Metal-yarıiletken shottky diyotların elektriksel karakteristiklerin frekans ve sıcaklığa bağlı incelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilimdalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [35] Hovel H.,1975. Solar Cells, Semiconductors and semimetals. 11th ed. New York: Academic Press.
- [36] Al-Ghamdi AA., Dere A., Tataroğlu A., Arif B., Yakuphanoglu F., El-Tantawy F., et al.,2015. Composite metal oxide semiconductor based photodiodes for solar panel tracking applications. Journal of Alloys and Compounds.
- [37] Yakuphanoglu F., Gunduz B., Al-Ghamdi AA., Farooq WA., and El-Tantawy F.,2015. Transparent ultraviolet photodiodes based conductive gallium-indium-oxide films/p-type silicon for solar panel tracking systems. Sensors and Actuators, A: Physical, 234, 212–222. Elsevier B.V.
- [38] Yakuphanoglu F., and Senkal BF.,2009. A hybrid p-Si/poly(1,4-diaminoanthraquinone) photoconductive diode for optical sensor applications. Synthetic metals, 159(3–4), 311–314.
- [39] Dere A., Tataroğlu A., Al-Sehemi AG., Al-Ghamdi AA., El-Tantawy FF., Farooq WA., et al.,2017. A functional material based photodiode for solar tracking systems. Physica B: Condensed Matter.
- [40] Mekki A., Ocaya RO., Dere A., Al-Ghamdi AA., Harrabi K., and Yakuphanoglu F.,2016. New photodiodes based graphene-organic semiconductor hybrid materials. Synthetic Metals.
- [41] Soylu M., Al-Ghamdi AA., Farooq WA., and Yakuphanoglu F.,2016. Correlations for coumarin additive on the electrical and photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub>modified by thiourea. Microelectronic Engineering.
- [42] M. Yıldırım.,2018. Characterization of the framework of Cu doped TiO<sub>2</sub> layers: An insight into optical, electrical and photodiode parameters. Journal of Alloys and Compounds.
- [43] Hendi AA., and Yakuphanoglu F.,2016. Graphene doped TiO<sub>2</sub>/p-silicon heterojunction photodiode. Journal of Alloys and Compounds, 665, 418–427. Elsevier Ltd.
- [44] Koç MM., Aslan N., Erkovan M., Aksakal B., Uzun O., Farooq WA., et al.,2019. Electrical characterization of solar sensitive zinc oxide doped-amorphous carbon photodiode. Optik.
- [45] Dere A., Soylu M., and Yakuphanoglu F.,2019. Solar light sensitive photodiode produced using a coumarin doped bismuth oxide composite. Materials Science in Semiconductor Processing, 90(October 2018), 129–142. Elsevier Ltd.
- [46] Yakuphanoglu F.,2012. Semiconducting and quartz microbalance (QCM) humidity sensor properties of TiO<sub>2</sub> by sol gel calcination method. Solid State Sciences, 14(6), 673–676. Elsevier Masson SAS.
- [47] Ocaya RO., Al-Sehemi AG., Al-Ghamdi A., El-Tantawy F., and Yakuphanoglu F.,2017. Organic semiconductor photosensors. Journal of Alloys and Compounds.
- [48] Dakhel AA.,2013. Interfacial modification in Si/CdO heterojunction by Ge doping for optoelectronic applications. Solid State Sciences, 25, 33–38. Elsevier Masson SAS.
- [49] Karataş S., Yakuphanoglu F., and Amanullah FM.,2012. Capacitancevoltage and conductancevoltage characteristics of Ag/n-CdO/p-Si MIS structure prepared by solgel method. Journal of Physics and Chemistry of Solids, 73(1), 46–51.
- [50] Yakuphanoglu F.,2008. Photovoltaic properties of the organic-inorganic photodiode based on polymer and fullerene blend for optical sensors. Sensors and Actuators, A: Physical.
- [51] Sahin B., Bayansal F., Yuksel M., Biyikli N., and Çetinkara HA.,2014. Effect of coumarin concentration on the physical properties of CdO nanostructures. Ceramics International, 40(4), 5237–5243. Elsevier.
- [52] Ortega M., Santana G., and Morales-Acevedo A.,2000. Optoelectronic properties of CdO/Si photodetectors. Solid-State Electronics, 44(10), 1765–1769.
- [53] Ismail RA., Al-Samarai AME., Mohmed SJ., and Ahmed HH.,2013. Characteristics of nanostructured CdO/Si heterojunction photodetector synthesized by CBD. Solid-State Electronics, 82, 115–121.
- [54] Yakuphanoglu F., Caglar Y., Caglar M., and Ilican S.,2010. ZnO/p-Si heterojunction photodiode by solgel deposition of nanostructure n-ZnO film on p-Si substrate. Materials Science in Semiconductor Processing.
- [55] Al-Hartomy OA., Gupta RK., Al-Ghamdi AA., and Yakuphanoglu F.,2014. High performance organic-on-inorganic hybrid photodiodes based on organic semiconductor-graphene oxide blends. Synthetic Metals.
- [56] Yakuphanoglu F.,2007. Photovoltaic properties of hybrid organic/inorganic semiconductor photodiode. Synthetic Metals.
- [57] Yakuphanoglu F., and Farooq WA.,2011. Organic-inorganic photosensor controlled by frequency based on nanostructure 1,4-diaminoanthraquinone and p-silicon. Synthetic Metals.
- [58] Farag AAM., Gunduz B., Yakuphanoglu F., and Farooq WA.,2010. Controlling of electrical characteristics of Al/p-Si Schottky diode by tris(8-hydroxyquinolino) aluminum organic film. Synthetic Metals.
- [59] Aydin ME., Yakuphanoglu F., Eom JH., and Hwang DH.,2007. Electrical characterization of Al/MEH-PPV/p-Si Schottky diode by current-voltage and capacitance-voltage methods. Physica B: Condensed Matter, 387(1–2), 239–244.
- [60] Yakuphanoglu F.,2011. Synthesis and electro-optic properties of nanosized-boron doped cadmium oxide thin films for solar cell applications. Solar Energy, 85(11), 2704–2709. Elsevier Ltd.
- [61] Kahraman S., Çakmak HM., Çetinkaya S., Çetinkara HA., and Güder HS.,2013. The effects of coumarin additive on the properties of ZnO nanostructures. Journal of Physics and Chemistry of Solids.
- [62] Yakuphanoglu F., Caglar M., Caglar Y., and Ilican S.,2010. Electrical characterization of nanocluster n-CdO/p-Si heterojunction diode. Journal of Alloys and Compounds, 506(1), 188–193. Elsevier B.V.

- [63] Dhole SG., Dake SA., Prajapati TA., and Helambe SN.,2018. Effect of ZnO Filler on Structural and Optical Properties of Polyaniiline-ZnO Nanocomposites. *Procedia Manufacturing*.
- [64] Chandramohan R., Ravikumar M., Shkir M., Arun Kumar KD., Kathalingam A., Ganesh V., et al.,2018. Fabrication of Eu doped CdO [Al/Eu-nCdO/p-Si/Al] photodiodes by perfume atomizer based spray technique for opto-electronic applications. *Journal of Molecular Structure*, 1160, 311–318. Elsevier B.V.
- [65] Naser GY., Raja WN., Faris AS., Rahem ZJ., Salih MA., and Ahmed AH.,2013. Some optical properties of CdO thin films. *Energy Procedia*, 36, 42–49. Elsevier B.V.
- [66] Tozlu C.,2010. Yeni perilen ve naftalen türevi organik yarıiletkenlerin alan etkili transistör uygulamalarında karakteristik özelliklerinin analizi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.
- [67] GÜNDÜZ B.,2011. Organik alan etkili transistörlerin üretilmesi ve elektriksel karakteristiklerinin incelenmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.
- [68] Şimşir N.,2012. Metal/organik/inorganik schottky diyodların sıcaklığa bağlı elektriksel karakterizasyonu. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- [69] Erkol A.,2016. Metal-organik-yarıiletken yapıların arayüzey özelliklerinin belirlenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [70] Demir O.,2011. Çok cidarlı karbon nanotüp ve TiO<sub>2</sub> tabaka ilavesinin P3HT:PCBM organik güneş pillerinin performansına etkileri. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- [71] Ezgi Deniz B.,2015. Sol – Jel yöntemi ile hazırlanan TiO<sub>2</sub> – SiO<sub>2</sub> nanokompozit ince filmlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [72] Şadan Ö.,2005. Silikon P-I-N fotodiyotların elektriksel karakterizasyonu. Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Muğla.
- [73] Aslan F., Esen H., and Yakuphanoglu F.,2019. The effect of coumarin addition on the electrical characteristics of Al/Coumarin:CdO/p-Si/Al photodiode prepared by drop casting technique. *Optik*, 197(April), 163203. Elsevier.
- [74] Aslan F., Esen H., and Yakuphanoglu F.,2019. Al/P-Si/Coumarin:TiO<sub>2</sub>/Al Organic-Inorganic Hybrid Photodiodes: Investigation of Electrical and Structural Properties. *Silicon*.
- [75] Kanbur H.,2008. Yalıtkan tabakalı Al/p-Si schottky diyotlarda elektriksel karakteristiklerin sıcaklığa bağlı incelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
- [76] Kim HB., and Lee HS.,2014. Effect of Mg addition on the electrical characteristics of solution-processed amorphous Mg-Zn-Sn-O thin film transistors. *Thin Solid Films*, 550, 504-508. Elsevier.
- [77] Selman AM., and Hassan Z.,2016. Fabrication and characterization of metal-semiconductor-metal ultraviolet photodetector based on rutile TiO<sub>2</sub> nanorod. *Materials Research Bulletin*, 73, 29–37. Elsevier Ltd.
- [78] Aslan F., Esen H., and Yakuphanoglu F.,2019. Electrical and fotoconducting characterization of Al/coumarin:ZnO/Al novel organic-inorganic hybrid photodiodes. *Journal of Alloys and Compounds*, 789, 595–606. Elsevier B.V.
- [79] Kesavan K., Kathalingam A., Kim HS., and Sundari ARU.,2016. Effects of fluorine doping on structural, optical and electrical properties of spray deposited CdO thin films. *Superlattices and Microstructures*, 100, 76–88. Elsevier Ltd.
- [80] Aydoğan Ş., Grilli ML., Yılmaz M., Çaldıran Z., and Kaçuş H.,2017. A facile growth of spray based ZnO films and device performance investigation for Schottky diodes: Determination of interface state density distribution. *Journal of Alloys and Compounds*, 708, 55–66.
- [81] Erol A., and Balkan N.,2015. Yarıiletkenler ve optoelektronik uygulamaları. 2. Baskı. Seçkin Yayıncılık, İstanbul.
- [82] Sarioğlu E.,2008. Bor katkılı silisyumun optik özellikleri. Dumlupınar Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya.
- [83] Aydemir S.,2010. Bazı kumarin türevleri üzerinde teorik ve deneysel çalışmalar. Eskisehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Eskisehir.