



Makale / Research Paper

**Sol-Jel Yöntemiyle Hazırlanan Kobalt Ftalosiyanın
Katkılı TiO₂ Filmlerin Optik ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi**

Hasan SARIGÜL^{1a*}, Mukaddes ÖZÇEŞMECİ^{2b}, İdris SORAR^{1c}

¹Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 31034, Antakya/Hatay

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 34469, Maslak/İstanbul

mkuhasansarigul@gmail.com

Received/Geliş: 15.12.2020

Accepted/Kabul: 20.01.2021

Öz: Bu çalışmada, sol-jel spin kaplama yöntemi kullanılarak mikroskop cam altlıklar üzerine TiO₂, TiO₂/CoPc ve CoPc filmleri hazırlanmış ve CoPc katkı konsantrasyonunun filmlerin optik ve yapısal özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. İnce filmlerin optik geçirgenliğini ölçmek için 300-1100 nm dalgaboyu aralığında bir spektrofotometre kullanılmıştır. Uv-Vis çalışmaları, B ve Q bandı absorpsiyon bölgelerine karşılık gelen aralıklarda artan CoPc konsantrasyonu ile filmlerin geçirgenliğinin azaldığını göstermiştir. İnce filmlerin yüzey morfolojisini karakterize etmek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmış ve homojen olarak kaplandıkları görülmüştür. Tavlanmış filmlerin XRD ölçümlerinde, TiO₂ filmlerde anataz-brookit karışık faz görülürken TiO₂/CoPc filmlerin anataz olduğu tespit edilmiştir. Filmlerin dislokasyon yoğunluğu, kristal boyutu gibi önemli parametreleri hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: TiO₂, CoPc, sol-jel, optik özellikler, yapısal özellikler

**Investigation of Optical and Structural Properties of
Cobalt Phthalocyanine Doped TiO₂ Films Prepared by Sol-Gel Method**

Abstract: In this study, TiO₂, TiO₂/CoPc and CoPc films were prepared on microscope slide substrates using sol-gel spin coating method and the effect of CoPc additive concentration on the optical and structural properties of the films was investigated. A spectrophotometer in the 300-1100 nm wavelength range was used to measure the optical transmittance of thin films. Uv-Vis studies have shown transmittance of films decreases with increasing CoPc concentration in the intervals corresponding to the B and Q band absorption regions. Scanning electron microscopy (SEM) was used to characterize the surface morphology of thin films and it was observed that they were coated homogeneously. In the XRD measurements of annealed films, it was determined that the anatase-brookite mixed phase was observed in TiO₂ films, while TiO₂/CoPc films were anatase. Important parameters such as dislocation density, the crystal size of the films were calculated.

Keywords: TiO₂, CoPc, sol-gel, optical properties, structural properties

1. Giriş

Günümüzde elektronik araç-gereçlerinin ve devrelerin boyutu teknolojinin ilerlemesiyle beraber nanometre boyutlarına inerek Nanoteknoloji olarak adlandırılan ve sürekli gelişimini sürdüren bir bilim dalı olmuştur. Nanoteknoloji; bilimsel yöntemlerin, araştırmaların ve süreçlerinin bir araya gelmesiyle oluşan günümüzün önemli çalışma alanlarından bir tanesidir. Nanoteknolojinin birçok alanda yaygın şekilde kullanılması, karmaşık elektronik ve optoelektronik cihazların gelişimini hızlandırmış ve çeşitliliğini arttırmıştır. Çoğu elektronik aygıt günümüzde ince film katmanlar içerir. Bu katmanların elektrik, optik ve mekanik olarak iyi niteliklere sahip olması istenir. Bu

Bu makaleye atıf yapmak için

Sarıül, H., Özçeşmeci, M., Sorar, İ., "Sol-Jel Yöntemiyle Hazırlanan Kobalt Ftalosiyanın Katkılı TiO₂ Filmlerin Optik ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2021, 8(1); 299-308.

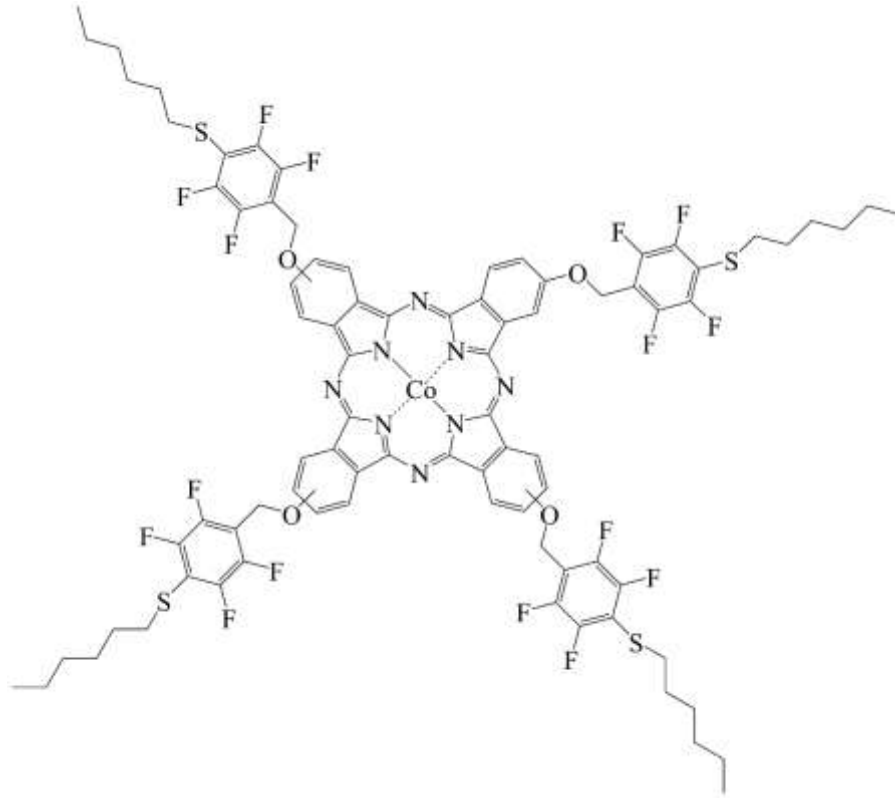
How to cite this article

Sarıül, H., Özçeşmeci, M., Sorar, İ., "Investigation of Optical and Structural Properties of Cobalt Phthalocyanine Doped TiO₂ Films Prepared by Sol-Gel Method," El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2021, 8(1); 299-308.

ORCID ID: *0000-0002-0200-3657; *0000-0002-6723-6902; *0000-0002-1082-7576

yapılara ait özellikler, onu meydana getiren başlangıç malzemelerinin kimyasal yapısının yanı sıra çeşitli fiziksel faktörlerin karmaşık bir kombinasyonu ile değişir. Yeni ince film yapılarının üretilmesi ve karakterize edilmesi mevcut teknolojiyi geliştirebileceği gibi yeni cihaz ve gereçlerin ortaya çıkmasına da vesile olabilmektedir.

Organik ve inorganik bileşenlerin karakteristiğinin istenen fiziksel özelliklerini tek bir yapı içinde birleştirebilen yeni malzeme sınıfına organik-inorganik hibrit yapılar denmektedir. İnorganik malzemeler çok çeşitli manyetik ve dielektrik geçişler, elektronik özellikler, mekanik sertlik ve termal stabilite potansiyeli sunarken; organik moleküller, yüksek flüoresans verimi, plastik mekanik özellikler, büyük oranda polarize edilebilirlik, işleme kolaylığı ve yapısal çeşitlilik sağlayabilmektedir. Organik-inorganik malzemelerin elektronik yapısını nanometre ölçeğine indirmek, onu oluşturan yapı taşlarının karakteristiğini taşımayan benzersiz ve potansiyel olarak üstün elektronik ve optik özellikleri ortaya çıkarabilir. Örneğin, termal buharlaştırılma yöntemi ile hazırlanan amorf çok tabakalı bakır ftalosiyanın (CuPc) ve TiO_x, modüle edilmiş elektronik yapıya sahip hibrit bir malzemeyi meydana getirirler [1]. Böyle bir yapıda, CuPc boşluk (hole) akseptörü olarak önemli bir rol oynar. Bu da elektron-boşluk çifti rekombinasyonunun azalmasına ve güneş pili uygulamalarında fotokatalitik reaksiyon hızının artmasına sebep olur [2]. Bu gibi çalışmalardan, üretilen organik-inorganik hibrit filmlerin güneş pili uygulamalarında önemli bir yer kaplayacak potansiyele sahip oldukları anlaşılmaktadır.



Şekil 1. 2,9/10,16/17,23/24-Tetrakis[(2',3',5',6'-tetrafloro-4'-hekziltiyo-benziloksi)]kobalt(II) ftalosiyanın [11]

Ftalosiyanın (Pc), p-tipi yarı iletken özelliği gösteren, kimyasal ve termal dayanıklılığı yüksek, üstün optik ve kimyasal özelliklere sahip geniş molekül ailesidir [3,4]. Pc'lerin kimyasal ve elektronik özellikleri 16 üyeli halkanın sahip olduğu 18- π elektron sisteminden kaynaklanmaktadır. Genel olarak ftalosiyanınların UV-vis spektrumlarında 600-700 nm arasında şiddetli Q bandı, 300-400 nm arasında genellikle daha düşük şiddette B (SORET) bandı olarak adlandırdığımız karakteristik pikler verirler [5]. Pc'ler pigment ve boya sanayi, gaz sensör, elektrofotografi, optik

veri depolanması, sıvı kristal, kızıl ötesi boyar madde, fotodinamik terapi uygulamaları gibi çeşitli alanlarda yaygın şekilde kullanılmaktadırlar [6,7]. Pc' lerin düşük çözünürlüğe sahip olmaları kullanım alanlarını sınırlayan en büyük etkidir. Pc ana iskeletine aynı anda birkaç farklı molekül bağlanabildiğinden farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip yeni moleküller sentezlenebilir. Bu özellikleri sayesinde farklı çözücülerle çözünürlük sağlanabildiği gibi çözünürlüklerinin de artmasına yardımcı olur [8–10].

TiO₂, düşük maliyetli oluşu, yüksek stabiliteye sahip olması ve çeşitli üretim teknikleri ile hazırlanabilmesi nedeniyle endüstriyel uygulamalarda yaygın kullanılan bir malzemedir. TiO₂, rutil, anataz ve brokit olmak üzere üç kristal fazda bulunan n-tipi metal oksit bir yarıiletkenidir. Literatürde, organik-inorganik hibrit ince filmler arasında sol-jel spin yöntemiyle hazırlanan Pc katkılı TiO₂ yarı iletken ince filmler hakkında az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada kimyasal formülü C₈₄H₇₂F₁₆N₈O₄S₄Co olan 2,9/10, 16/17, 23/24-Tetrakis[(2',3',5',6'-tetrafloro-4'-hekziltiyo-benziloksi)] kobalt (II) ftalosiyanın (CoPc) kullanılmıştır. CoPc' nin molekül şeması (Şekil 1) ve CoPc ile ilgili FT-IR, FAB-MS, UV-Vis ve ¹H-NMR analiz sonuçları daha önce yapılan çalışmada [11] ayrıntılı olarak verilmiştir. CoPc' nin spesifik yan grupları olmasından dolayı çalışmada üretilen bu filmler literatürdeki CoPc katkılanmasıyla üretilen ilk TiO₂ ince filmler olmuştur. Yeni ve ilk kez üretilen filmlerin; optik fiberler, girişim filtreleri, gaz sensörleri, elektrokromik cihazlar gibi potansiyel kullanım alanlarını belirlemek için optik özelliklerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu nedenden dolayı yapılan bu çalışmada CoPc katkısının oluşturulan filmlerin optik ve yapısal özellikleri üzerine etkisi incelemiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. İnce Filmlerin Hazırlanması

TiO₂ çözeltisi hazırlamak için başlangıç malzemeleri olarak titanyum (IV) bütoksit [Ti(OCH₂CH₂CH₂CH₃)₄, 97%, Sigma-Aldrich], asetik asit (CH₃COOH) ve etanol (CH₃CH₂OH) kullanılmıştır. Hacimce 20:1 (etanolün titanyum (IV) bütoksit miktarına hacimce oranı) oranında titanyum (IV) bütoksit çözeltisi için öncelikle 50 mL etanolün 15 mL'si behere aktarıldı. Üzerine 0,5 mL asetik asit yavaşça damlatıldı ve manyetik karıştırıcıda 10 dakika karıştırıldı. Daha sonra, geriye kalan 35 ml etanol bu çözeltinin üzerine eklendi. Karıştırılmakta olan etanol-asetik asit çözeltisinin içine 2,5 mL titanyum (IV) bütoksit yavaşça eklenerek 1 saat boyunca oda sıcaklığında karıştırılmaya devam edildi. 1 saat karıştırma sonunda şeffaf ve berrak bir çözelti elde edildi [12].

CoPc çözeltisi, CoPc' nin farklı konsantrasyonlarda dimetilformamid [(CH₃)₂NC(O)H] (DMF) içinde çözülmesiyle hazırlanır. DMF iyi bir dispersiyon ajanı olarak bilinmektedir [13]. Daha sonra bu iki çözelti, CoPc ve TiO₂, oda sıcaklığında farklı TiO₂/CoPc(x) [x=0,5–10,0 mg] oranlarında 1 saat boyunca karıştırılır. Film hazırlamada kullanılan çözeltilerin içerikleri ve kodları Tablo 1'de özetlenmiştir.

Mikroskop cam altlıklar (2.5cm x 2.5cm), 1/5 seyreltilmiş sülfürik asit, etanol ve deiyonize su ile ultrasonik banyo kullanılarak temizlendi ve kurutuldu. Çözelti taşıyıcılar üzerine damlatıldıktan sonra, 30 saniye boyunca 2000 devir/dakika hızında kaplama işlemi uygulandı. Daha sonra filmler 100 °C' de 5 dakika kurutuldu. Tek katmanlı olarak kaplanan CoPc film haricinde kaplama / kurutma işlemi 5 kez TiO₂ ve TiO₂/CoPc(x) filmleri için tekrarlandı. Her filmin adı, hazırlandığı çözücünün adı ile etiketlendi.

2.2. İnce Filmlerin Karakterizasyonu

Hazırlanan filmlerin kristal yapı analizi için RIGAKU Smart Lab marka XRD cihazı kullanılmıştır ($\lambda=1,54059 \text{ \AA}$ dalga boylu CuK α ışını) ve ölçümler $20^\circ \leq 2\theta \leq 60^\circ$ tarama aralığında oda sıcaklığında

yapılmıştır. Kaplanmış filmlerin yüzey morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Filmlerin optik analizi için, 300-1100 nm dalgaboyu aralığında Thermo Scientific GENESYS 10S UV-Vis spektrofotometre kullanılmıştır.

Tablo 1. Kaplama işlemi için hazırlanan çözeltiler ve adlandırmaları

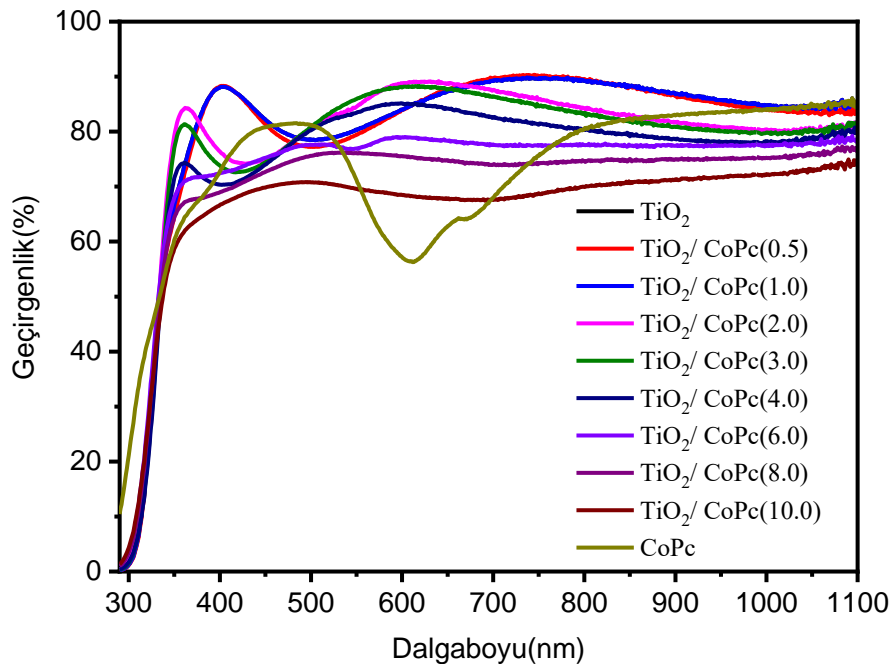
Çözelti Adı	TiO ₂ Çözelti Miktarı (ml)	CoPc Miktarı (mg)	DMF Miktarı (µl)
TiO ₂	5	-	-
TiO ₂ / CoPc(0.5)	5	0.5	100
TiO ₂ / CoPc(1.0)	5	1	100
TiO ₂ / CoPc(2.0)	5	2	100
TiO ₂ / CoPc(3.0)	5	3	100
TiO ₂ / CoPc(4.0)	5	4	100
TiO ₂ / CoPc(6.0)	5	6	100
TiO ₂ / CoPc(8.0)	5	8	100
TiO ₂ / CoPc(10.0)	5	10	100
CoPc	-	4	100

3. Bulgular ve Tartışma

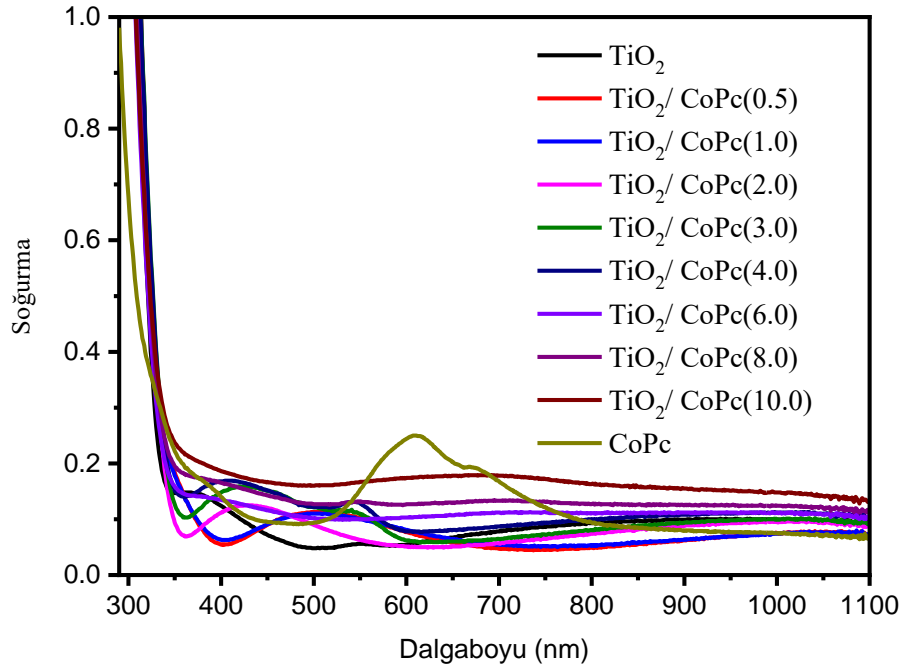
3.1 Filmlerin Optik Özellikleri

İnce filmlerin optik analizi hem kristal hem de amorf yapıların enerji aralığını ve bant yapısını göstermede büyük fayda sağlar [14]. Filmlerin 300 ile 1100 nm arasındaki optik geçirgenlik ve soğurma spektrumları sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3' te verilmiştir.

Tüm numuneler için ~350 nm' nin altındaki dalga boylarında yüksek soğurma gözlenmiştir. TiO₂/CoPc(2.0) ve daha yüksek katkılama oranlarına sahip filmlerde 363 nm' de CoPc miktarının artmasıyla geçirgenliğin pik değeri % 84' den % 63'e düştüğü belirlenmiştir. Yaklaşık 350 nm olan bant, sentezlenmiş moleküler malzemelerle eşleşen orta iyonik dereceli moleküller arasındaki elektronik geçişlerden kaynaklanır.

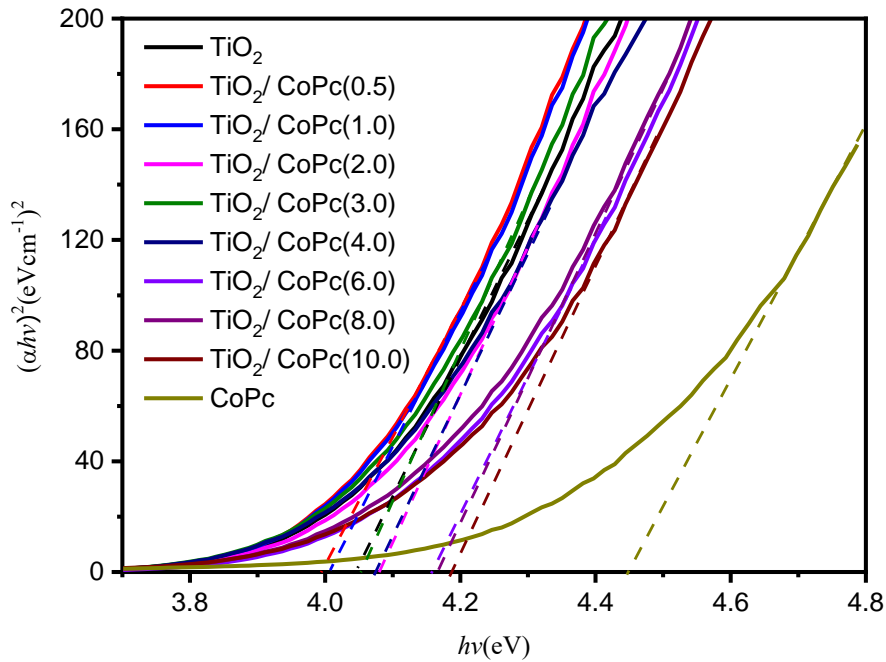


Şekil 2. TiO₂, TiO₂/CoPc(x) ve CoPc filmlerin geçirgenlik spektrumları



Şekil 3. TiO_2 , $\text{TiO}_2/\text{CoPc}(x)$ ve CoPc filmlerin soğurma spektrumları

Ftalosiyanın ince filmler, mavi-yeşil bölgenin her iki tarafındaki ışığı soğurduğundan dolayı fotoiletken olarak kullanılabilir [2]. CoPc filminin Q bandı absorpsiyonu yaklaşık 613 nm ve 675 nm civarında pik göstermiştir. Bu pik değerlerinin literatürle uyumlu olduğu görülmüştür [15]. Ayrıca CoPc'nin Q bandındaki yüksek soğurma göstermesi TiO_2/CoPc filmlerde aynı bölgede geçirgenliğin azalması CoPc miktarıyla ilişkilidir. TiO_2/CoPc filmleri 800 nm ve üzerindeki dalga boylarında, katkılamayla azalan ve yaklaşık %89 ila %70 civarında değerler alan geçirgenliklere sahiptirler. Filmlerin ayrıca kalınlıkları geçirgenlik spektrumu kullanılarak PARAV programıyla hesaplanmıştır [16]. Filmlerin ortalama kalınlığı ortalama 205 nm civarında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. TiO_2 , CoPc ve $\text{TiO}_2/\text{CoPc}(x)$ filmlerin $(\alpha hv)^2$ - foton enerjisi grafiği

MPc filmlerinin optik bant aralığı enerjisi, Tauc denklemi [17] kullanılarak hesaplanmış ve foton enerjisinin $(\alpha hv)^2$ ye karşı grafiği çizilerek Şekil 4' de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre,

TiO₂ filminin doğrudan geçişli yasak enerji bant aralığı 4.04 eV ve CoPc filminin yasak enerji bant aralığı ise 4.45 eV olarak belirlenmiştir (Tablo 2). TiO₂/CoPc filmlerinde ise artan CoPc katkısıyla yasak enerji aralığının arttığı gözlenmiştir. Yapılan çalışmalarda çözelti yaşlanmasına bağlı olarak TiO₂ nin band aralığının yeni hazırlanan çözüldüden yaşlandırılmış çözültüye doğru gidildikçe sırasıyla 3.93/3.82/3.65 eV olarak değiştiği belirtilmiştir [18]. Farklı yöntemlerle hazırladığımız çözültülerden elde ettiğimiz değerler literatür ile uyum içerisindedir. Yapılan bir diğer çalışmada [19] CoPc/TiO₂ filmlerine ait band aralığı 1.86 eV ve saf TiO₂ için 3.22 eV olarak verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan CoPc molekülü farklı bir molekülden diziliminde olup herhangi bir süstitüent grup içermemektedir. Bu çalışmada kullanılan CoPc molekülü Ref [15] te ayrıntılı olarak verilen molekül yapısındadır. TiO₂ ye ait 3.22 eV band aralığı değeri kristal fazdaki filmlere ait olup tavllanmış filmler sadece optik ölçümler ve kristal yapı analizinde kullanılmıştır. Filmler tavlendiğinde katkılanan CoPc'nin yapısı bozulabileceğinden tavlammış filmler tercih edilmiştir.

Tablo 2. TiO₂, CoPc ve TiO₂/CoPc(x) filmlerin yasak enerji aralığı

Film Adı	Yasak Enerji Aralığı (eV) (± 0.02)
TiO ₂	4.04
TiO ₂ / CoPc(0.5)	4.00
TiO ₂ / CoPc(1.0)	4.00
TiO ₂ / CoPc(2.0)	4.08
TiO ₂ / CoPc(3.0)	4.06
TiO ₂ / CoPc(4.0)	4.07
TiO ₂ / CoPc(6.0)	4.16
TiO ₂ / CoPc(8.0)	4.17
TiO ₂ / CoPc(10.0)	4.19
CoPc	4.45

3.2 Filmlerin Yapısal Özellikleri

Daha önce yapılan çalışmadan tavlammayan veya 500 °C' nin altında tavlammayan TiO₂ filmlerinin amorf olduğu bilinmektedir [12]. Bu nedenle numuneler, kristal bir film yapısı elde etmek için 90 dakika boyunca 550 °C' de tavlammıştır. Tavlammış TiO₂ ve TiO₂/CoPc ince filmlerin faz ve kristal yapısını belirlemek için Şekil 5' te gösterildiği gibi XRD spektrumları incelenmiştir. TiO₂ filmlerinin anataz yapıda olduğu ancak bir brokit piki gözlendiği belirlenmiş, anataz yapının tüm pikleri gözlenmiştir (ICDD' nin 01-075-2544 kart numarası). TiO₂' nin brokit-anataz karışık fazı daha önce benzer bir çalışmada da görülmüştür [20]. XRD spektrumlarında hiçbir kirlilik piki yer almamaktadır. TiO₂/CoPc filmlerinde (101), (004), (112), (200), (105) ve (211) tepe düzlemleri belirlenmiştir. Ancak TiO₂/CoPc filmlerde TiO₂' nin brokit fazı (121) düzlemi bulunmamaktadır. Filmlerin anataz yapısının kristal boyutunu (D) belirlemek için Scherrer formülü kullanılmıştır [21]:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

burada; θ Bragg açısını, β ilgili kristal yönü için radyan olarak yarı pik genişliğini (FWHM), λ kullanılan ışının dalga boyunu gösterir. Kristal yapıyı oluşturan en küçük birim hücre olarak adlandırılır. Uzayda bu birim hücrenin periyodik olarak dizilmesi kristal yapıyı oluşturur. Ancak birim hücrenin periyodikliği kirlilikler ve/veya kusurlar tarafından engellenmektedir. Kristalin sahip olduğu kusur yoğunluğu (δ) malzemenin kristallenmesi hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlar ve kusur yoğunluğunun az olması malzemenin kristallenmesinin iyi olduğunu belirten özelliklerden biridir. Dislokasyon yoğunluğu Denklem 2 yardımıyla hesaplanabilir [22].

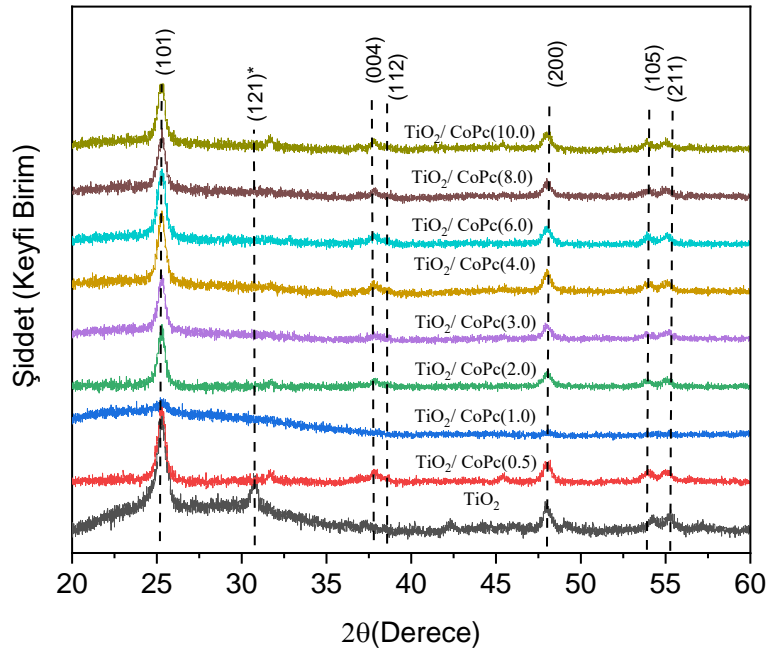
$$\delta = 1/D^2 \quad (2)$$

Bu çalışmada kristal kusurları tarafından oluşan gerilme (ε), Denklem 3 kullanılarak hesaplanmıştır [23].

$$\varepsilon = \beta/4\tan\theta \quad (3)$$

Ayrıca taşıyıcı üzerinde kristal büyürken, ince filmler içinde stres artar. Faz oluşumları nedeniyle oluşan plastik deformasyonlar ve film kaplama işlemindeki termal daralmalar stresin temel nedenleridir [24].

TiO₂/CoPc filmlerin kristal boyutu 13,80 nm ila 20,88 nm arasında değiştiği belirlenmiştir; dislokasyon yoğunlukları ise ortalama $\sim 3.77 \text{ nm}^{-2}$ dir. TiO₂ ve TiO₂/CoPc filmlerinin XRD grafiğinden yapılan hesaplamalardan elde edilen parametreler ayrıntılı olarak Tablo 3 de gösterilmiştir.



Şekil 5. TiO₂ ve TiO₂/CoPc(x) filmlerin XRD grafiği

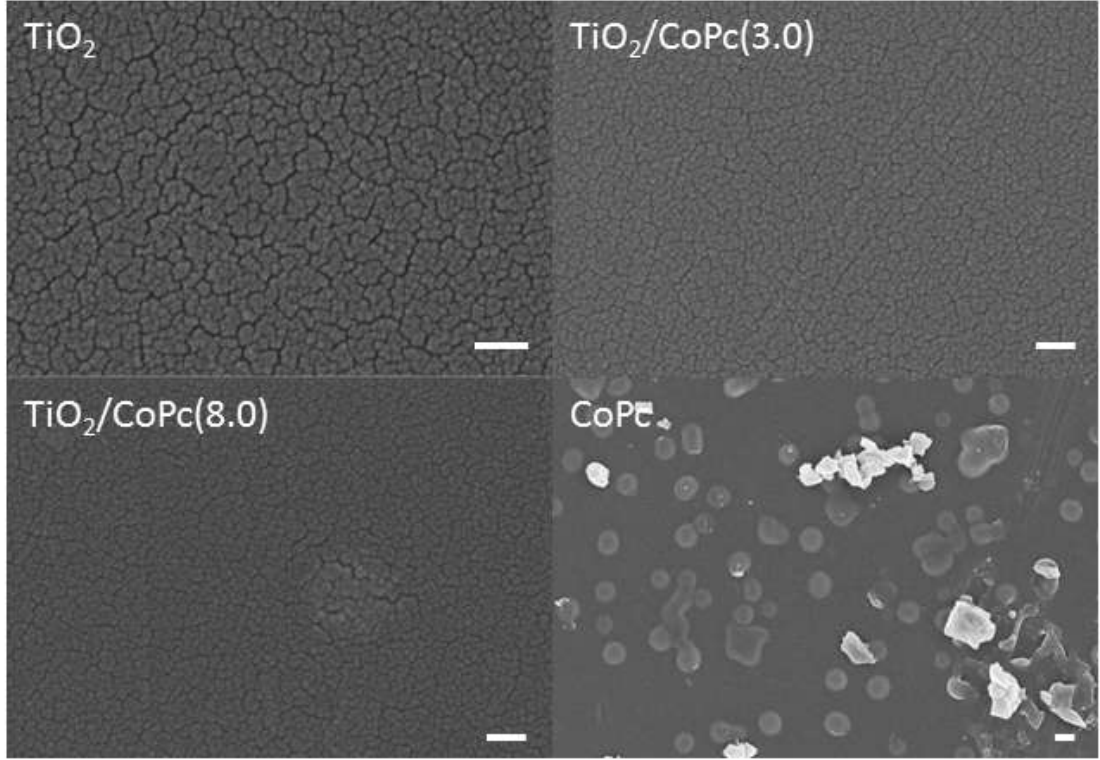
Tablo 3. TiO₂ ve TiO₂/CoPc filmlerinin XRD grafiğinden yapılan hesaplamalardan elde edilen parametreler

İnce Film Adı	2θ (°)	FWHM	D	$\delta \times 10^{-3} (\text{nm}^{-2})$	$\varepsilon \times (10^3)$	d (Å)
TiO ₂	25.32	0.45	18.09	3.05	8.74	3.51
TiO ₂ / CoPc(III)(0.5)	25.3	0.59	13.80	5.25	11.47	3.51
TiO ₂ / CoPc(III)(2.0)	25.29	0.49	16.62	3.62	9.53	3.52
TiO ₂ / CoPc(III)(3.0)	25.3	0.39	20.88	2.29	7.58	3.52
TiO ₂ / CoPc(III)(4.0)	25.3	0.55	14.80	4.56	10.69	3.52
TiO ₂ / CoPc(III)(6.0)	25.29	0.51	15.96	3.92	9.92	3.52
TiO ₂ / CoPc(III)(8.0)	25.29	0.4	20.35	2.41	7.78	3.52
TiO ₂ / CoPc(III)(10.0)	25.29	0.48	16.96	3.47	9.34	3.52

3.3 Filmlerin Morfolojik Özellikleri

TiO₂, TiO₂/CoPc(3.0), TiO₂/CoPc(8.0) ve CoPc filmlerine ait yüksek çözünürlüklü SEM görüntüleri Şekil 6' te gösterilmektedir. Bu görüntüler, filmlerin kümelenmiş TiO₂ parçacıklarını

çevreleyen, homojen olarak dağılmış nano boyutlu gözeneklere sahip yüzey morfolojilerine sahip olduğunu göstermiştir. Filmlere CoPc katkılanması yüzey morfolojisinde belirgin bir değişim meydana getirmemiştir. Saf CoPc filmlerde ise 1-2 µm çapında küresel yapılar göze çarpmaktadır.



Şekil 6. TiO₂, TiO₂/CoPc(3.0), TiO₂/CoPc(8.0) ve CoPc filmlerinin SEM görüntüleri. Filmlerin büyütme oranları TiO₂ filmi için 300 kX, TiO₂/CoPc(3.0) ve TiO₂/CoPc(8.0) filmleri için 200 kX' tir. Sağ alt köşede yer alan ölçek ise TiO₂, TiO₂/CoPc(3.0) ve TiO₂/CoPc(8.0) filmleri için 100 nm' yi, CoPc filmleri için 1µm' yi göstermektedir.

4. Sonuçlar

Özetle, TiO₂, TiO₂/CoPc ve CoPc ince filmleri, sol-jel spin kaplama yöntemi kullanılarak mikroskop cam altlıklar üzerine başarıyla kaplanmıştır. Filmlerin SEM görüntüleri, TiO₂ ve TiO₂/CoPc'nin, kümelenmiş TiO₂ partiküllerini çevreleyen homojen olarak dağıtılmış nano boyutlu gözeneklerle homojen olarak kaplandığını ve CoPc filmlerinin yüzeyinde küresel yapılar olduğu belirlenmiştir. TiO₂/CoPc ince filmlerin optik ölçümleri, Q band bölgesi civarındaki minimum geçirgenlik değerlerinin CoPc katkı miktarına göre önemli ölçüde değiştiğini göstermiştir. TiO₂/CoPc ince filmlerin yasak enerji bandı aralığının 4.00–4.19 eV aralığında, saf CoPc filminin yasak enerji band aralığı değerinin ise 4.45 eV olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, yeni TiO₂/CoPc filmlerinin optoelektronik cihazlar için istenen belirli özelliklere sahip olabileceğini göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, HMKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Kurum Koordinatörlüğü (Proje No: 16780) tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1]. Takada J., Awaji H., Koshioka M., Nakajima A., and Nevin W. A., Organic–inorganic multilayers: A new concept of optoelectronic material, *Appl. Phys. Lett.*, 1992, 61(18): 2184–2186.
- [2]. Pourteimoor S. and Azim-Araghi M. E., Optical studies of TiO₂–lead phthalocyanine nanocomposite thin films prepared by electron beam evaporation, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 2014, 18: 97–104.
- [3]. Miles J. R., Willis M. R., and Jones R. P. O., Photoconduction properties of some monomeric phthalocyanines and dibromoanthrone, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 2012 15(1): 61–72.
- [4]. Ohmukai M., Kubota H., and Tsutsumi Y., The absorption band at 1.128 eV of copper phthalocyanine films, *Appl. Phys. A*, 2007, 88(2): 315–317.
- [5]. Selcukoglu M. and Hamuryudan E., Novel phthalocyanines with pentafluorobenzyloxy-substituents, *Dyes and Pigments*, 2007, 74(2): 17–20, 2007.
- [6]. An H., Bradshaw J. S., Izatt R. M., and Yan Z., Bis- and Oligo(benzocrown ether)s, *Chem. Rev.*, 1994, 94(4): 939–991.
- [7]. Kantar G. K. and Şaşmaz S., Microwave-assisted synthesis and spectral properties of some phthalocyanines containing azo groups, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 2015, 2(3): 0-0.
- [8]. Arslanoğlu Y., Mert Sevim A., E. Hamuryudan, and A. Gül, Near-IR absorbing phthalocyanines, *Dyes and Pigments*, 2006, 68(2): 129–132.
- [9]. Şener M. K., Gül A., and Koçak M. B., Synthesis of tetra(tricarbethoxy)- and tetra(dicarboxy)- substituted soluble phthalocyanines, *Journal of Porphyrins and Phthalocyanines*, 2003, 07(9): 617–622.
- [10]. Yenilmez Y. H., Özçeşmeci İ., Okur A. İ., and Gül A., Synthesis and characterization of metal-free and metallo phthalocyanines with four pendant naphthoxy-substituents, *Polyhedron*, 2004, 23(5): 787–791.
- [11]. Özçeşmeci M., Özkan E., and Hamuryudan E., Synthesis, characterization, and aggregation properties of functionalized polyfluorinated metallo-phthalocyanines, *J. Porphyrins Phthalocyanines*, 2013, 17(10): 972–979.
- [12]. Sarigül H. and Sorar İ., Sol-Jel Yöntemiyle Hazırlanan TiO₂ Filmlerin Optik ve Elektrokromik Özellikleri, *Marmara Fen Bil Dergisi*, 2016, 28(2): 81-88.
- [13]. Haghighi M., Tajabadi F., Mahdavi S. M., Mohammadpour R., and Taghavinia N., Surfactant-free stable SnS₂ nanoparticles dispersion for deposition of device-quality films, *Thin Solid Films*, 2019, 669: 269–274.
- [14]. Özçeşmeci M., Sorar I., Özçeşmeci I., and Hamuryudan E., Synthesis, characterization, and optical studies of pentoxy-substituted tetrakis(pentafluorobenzyloxy)phthalocyanines, *Journal of Coordination Chemistry*, 2018, 71(15): 2281–2292.
- [15]. Özçeşmeci M., Özçeşmeci İ., Sorar İ., and Hamuryudan E., Thin films of fluorinated groups substituted metallophthalocyanines as an optical material, *Inorganic Chemistry Communications*, 2017 86: 209–212.
- [16]. Ganjoo A. and Golovchak R., Computer program PARAV for calculating optical constants of thin films and bulk materials: Case study of amorphous semiconductors, 2008, 10: 1328-1332.
- [17]. Tauc J., *Amorphous and liquid semiconductors*, Plenum London, New York, USA.
- [18]. Verma A., Kar M., and Agnihotry S. A., Aging effect of diethanolamine stabilized sol on different properties of TiO₂ films: Electrochromic applications, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2007, 91(14): 1305–1312.
- [19]. Zhao Z., Fan J., Xie M., and Wang Z., Photo-catalytic reduction of carbon dioxide with in-situ synthesized CoPc/TiO₂ under visible light irradiation, *Journal of Cleaner Production*, 2009, 17(11): 1025–1029.

- [20]. Kayani Z. N., Maria, Riaz S., and Naseem S., Magnetic and antibacterial studies of sol-gel dip coated Ce doped TiO₂ thin films: Influence of Ce contents, *Ceramics International*, 2020,46(1): 381–390.
- [21]. Scherrer P., Bestimmung der Größe und der inneren Struktur von Kolloidteilchen mittels Röntgenstrahlen, *Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse, Inorganic Chemistry Institute Dr.-Ing. University of Göttingen HC Germany*.
- [22]. Klug H. P., *X-ray diffraction procedures: for polycrystalline and amorphous materials*, 1974, 79(6): 553.
- [23]. Stokes A. R. and Wilson A. J. C., The diffraction of X rays by distorted crystal aggregates - I, *Proc. Phys. Soc.*, 1944, 56(3): 174–181.
- [24]. Borgese L., Gelfi M., Bontempi E., Goudeau P., Geandier G., Thiaudière D., Depero L.E., Young modulus and Poisson ratio measurements of TiO₂ thin films deposited with Atomic Layer Deposition, *Surface and Coatings Technology*, 2012, 206(8): 2459–2463.