

GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARI İÇİN CdS İNCE FİLMLERİN OPTİK ÖZELLİKLERİNİN MALTOZ KATKISIYLA GELİŞTİRİLMESİ

*Ersin YÜCEL**

Alınma: 07.11.2016; düzeltme: 25.04.2017; kabul: 02.05.2017

Öz: Kimyasal banyo depolama (CBD) yöntemi kullanılarak nano yapılı kadmiyum sülfür (CdS) ince filmler cam yüzeyler üzerinde üretilmiştir. Farklı konsantrasyonlardaki maltoz ($C_{12}H_{22}O_{11}$, α -D-Glukopiranozil-(1 \rightarrow 4)- α -D-Glukopiranoz), büyüme çözeltilerinde bir katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Maltozun CdS ince filmlerin yapısal, morfolojik ve optik özellikleri üzerindeki etkisi X-Işını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve UV-Vis spektrofotometre kullanılarak incelenmiştir. Analizler, filmlerin kristal büyüklüklerinin maltoz konsantrasyonunun artmasıyla azaldığını ve filmlerin homojenliğinin maltoz konsantrasyonunun artmasıyla arttığını göstermiştir. Ayrıca, hem optik yasak enerji bant aralığı hem de optik geçirgenlik değerleri maltoz konsantrasyonunun artmasıyla artmıştır. Bu sonuçlar büyüme çözeltilerinde maltoz konsantrasyonunun artmasının nano yapılı CdS filmlerin yüzey morfolojilerini, kristal yapılarını, yasak enerji bant aralığını ve optik geçirgenlik değerlerini dikkat çekici bir şekilde etkilediğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: CdS, maltoz, optik özellikler, kimyasal banyo depolama

Improvement of Optical Properties of CdS Thin Films by Maltose Additive for Solar Cell Applications

Abstract: Nanostructured cadmium sulfide (CdS) thin films were fabricated on glass substrates by using chemical bath deposition (CBD) method. Different concentrations of maltose ($C_{12}H_{22}O_{11}$, α -D-Glukopiranozil-(1 \rightarrow 4)- α -D-Glukopiranoz) were used as an additive in the growth solutions. The influence of maltose on structural, morphological and optical properties of CdS films has been investigated by using X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and ultraviolet-visible (UV-Vis.) analysis. The analysis showed that the values of crystallite size of the films decreases with increasing maltose concentration in the bath and the uniformity of the films increases with increasing maltose concentrations. Also, both the optical band gap value and transmission rate increases with increasing maltose concentration. These results show that increasing maltose concentration in the growth solution remarkably affects the surface morphology, crystal structure, band gap and transmittance of the nanostructured CdS films.

Keywords: CdS, maltose, optical properties, chemical bath deposition

1. GİRİŞ

Kimyasal banyo depolama yöntemi kullanılarak çeşitli metal kalkojenit ince filmlerin başarılı bir şekilde üretilmediği literatür incelemesinde görülmüştür. Kalkojenit, en az bir kalkojen anyon ve bir elektropozitif elementten oluşan kimyasal bir bileşiktir. Periyodik tablonun 16. grup elementlerinin tümü kalkojenler olarak tanımlanmasına rağmen kalkojenit terimi daha yaygın olarak oksitler yerine sülfürler, selenürler ve tellürler için kullanılmaktadır

* Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Hatay, 31034
İletişim Yazarı: Ersin Yücel (dr.ersinyucel@gmail.com)

(Pawar ve diğ., 2011). CdS, 2,2 eV ile 2,6 eV arasında direk optik bant aralığına sahip II-VI grup metal kalkojenit yarıiletken olarak bilinmektedir. CdS ince filmler güneş pilleri, optik dedektörler ve optoelektronik cihazlar gibi birçok alanda kullanılmaktadır. CdS ince filmler sahip oldukları optik özellikler sebebiyle, en yaygın olarak CdS/CdTe güneş pillerinde bir pencere tabakası olarak kullanılmaktadır (Pawar ve diğ., 2011; Kim ve diğ., 2010; Han ve diğ., 2011). CdS ince filmler, termal buharlaştırma (Huang ve diğ., 2015), vakum buharlaştırma (He ve diğ., 2005), kimyasal buhar biriktirme (Uda ve diğ., 2003), elektrodepozisyon (Lu ve diğ., 2014), RF sıçratma (Kim ve diğ., 2015), kimyasal püskürtme (İbrahim ve diğ., 2014), ardışık iyonik tabaka adsorpsiyon ve reaksiyonu (SILAR) (Yücel ve diğ., 2016), kimyasal banyo depolama (Yücel ve diğ., 2014) gibi birçok yöntemle üretilebilmiştir. Bu yöntemler arasında kimyasal banyo depolama yöntemi, basit olması, ekonomik olması ve tekrarlanabilirlik özellikleri sebebiyle yaygın olarak kullanılan ince film üretim yöntemidir.

CdS ince filmlerin yüzey morfolojileri, optik özelliklerini etkilemektedir. Buda fotovoltaik cihazların uygulamaları açısından önemli bir faktördür. Bu sebepten dolayı morfoloji kontrollü CdS ince film üretimi teknolojik açıdan önemlidir (Kim ve diğ., 2010; Yücel ve diğ., 2017). İnce filmlerin yüzey morfolojisini, kristal yapısını geliştirmek ve tane boyutunu azaltmak için glukoz, maltoz ve dekstrin gibi katkı maddeleri kullanılmıştır. Katkı maddeleri çözelti içerisinde girdiğinde üretilen malzemenin tane boyutu, parlaklık, iç gerilim, korozyon davranışı gibi fiziksel ve mekaniksel özelliklerini etkilediği bilinmektedir (Safınajafabadi ve diğ., 2012; Mouanga ve diğ., 2007; Mouanga ve diğ., 2006).

Maltoz, maltobios yada malt şeker olarak bilinen bir organik bileşiktir. Maltoz bir karbonhidrat türüdür. Maltoz, çeşitli fermente gıdalarda yaygın olarak mevcut olup, ağırlıklı olarak bir tatlandırıcı ve dispersiyon maddesi olarak kullanılır (Safınajafabadi ve diğ., 2012; Shirokane ve diğ., 2000). Maltoz, bir $\alpha(1\rightarrow4)$ bağı ile birleştirilmiş şekerin iki biriminden oluşan bir disakkarittir. Maltoz, toksik olmayan doğası sebebiyle ilgi çekmiş bir biomoleküldür.

Shakir ve diğ. (2015) CdS nanoparçacıkların üretimi sırasında maltozu bir kaplama malzemesi olarak kullanmışlardır. Çalışmalarında, tek katkı oranı olarak 1M maltoz kullanmışlardır. Katkılanmış CdS nanoparçacıkların görünür ışık altındaki fotokatalitik özelliklerini ve anthelmintik etkisini incelemişlerdir. Attia ve diğ. (2014) $1,10^{-10}$ M ile $1,10^{-4}$ M arasında maltoz katkılanmış nano CdS optik sensör ile insan tükürüğündeki α -amylase enzimi aktivitesinin belirlenmesi ile ilgili bir çalışma yapmışlardır.

Bu çalışmada, Shakir ve diğ. (2015) ile Attia ve diğ. (2014)'nin yaptığı çalışmalardaki katkı oranlarından farklı olarak $1,10^{-3}$ M ile $16,10^{-3}$ M arasındaki maltoz katkısının CdS ince filmlerin morfolojisi, kristalografik yapısı ve optik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

CdS ince filmler (75 x 25 x 1 mm) boyutlarındaki cam yüzey üzerinde kimyasal banyo depolama yöntemi kullanılarak üretildi. Kadmiyum klorür ($CdCl_2$), tiyoüre $[(NH_2)_2CS]$ ve sulu amonyak (NH_4OH) çözeltileri sırasıyla 0,2, 0,2 ve 0,5 M olarak hazırlandı. Tüm çözeltilerde çift damıtılmış su kullanıldı. Depozisyon çözeltisinin pH'ı sulu amonyak kullanılarak 11 değerine ayarlandı. Homojen bir çözelti hazırlamak için tüm çözeltiler 2 saat süre ile manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırıldı. Kimyasal banyo depolama işlemine geçmeden önce kaplama yapılacak tüm cam yüzeyler seyreltik sülfürik asit, aseton ve çift damıtılmış su içinde ultrasonik olarak yıkandı ve temizlendi. Maltoz katkısının etkisini araştırmak için depozisyon çözeltisi içerisinde %1, %2, %4, %8 ve %16 oranlarında maltoz ilave edildi. Tüm filmlerin kaplama işlemi $85^\circ C$ sıcaklıkta gerçekleştirildi. Kimyasal banyo depolama işlemi sonucunda elde edilen filmler çift damıtılmış su içinde ultrasonik olarak yıkandı. Daha sonra üretilen tüm filmlere tüp fırın içerisinde $300^\circ C$ sıcaklıkta 1 saat ısıl işlem yapıldı.

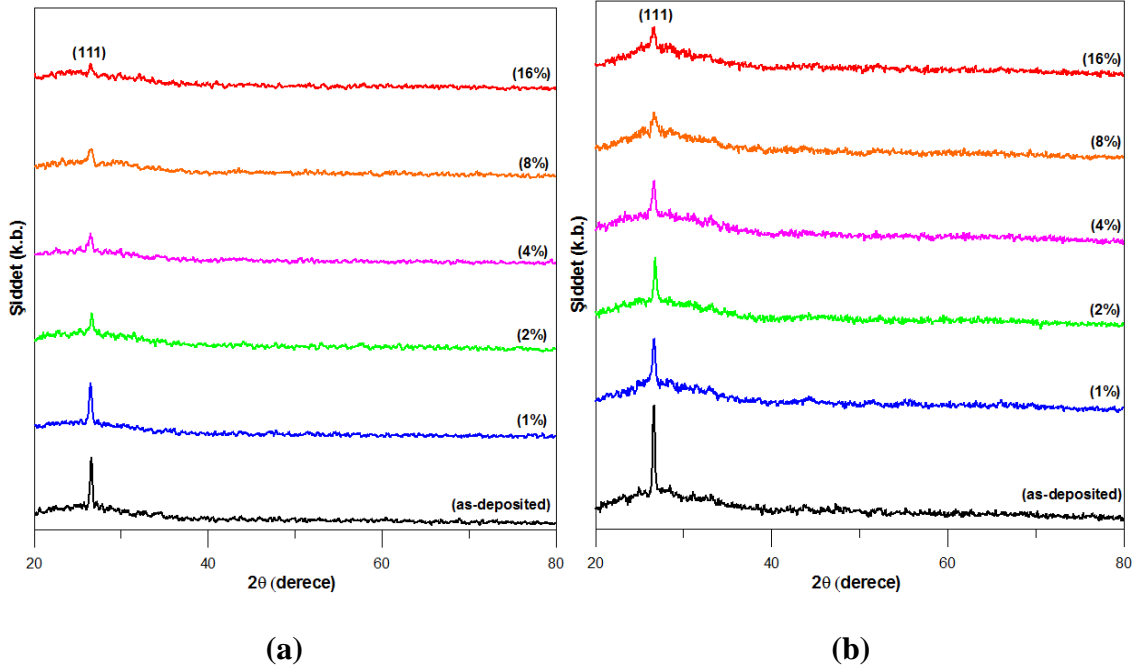
Filmlerin yapısal özellikleri Rigaku Smart Lab X-Işını kırınımı cihazı kullanılarak incelendi. Filmlerin yüzey morfolojilerinin incelenmesinde Jeol 5500/Oxford Inca-X tipi

taramalı elektron mikroskobu kullanıldı. CdS filmlerin optik soğurma spektrumu ölçümleri Thermo Scientific Evolution 160 UV-Vis spektrofotometre kullanılarak gerçekleştirildi.

3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

3.1. XRD Analizleri

CdS ince filmlerin ısıtma işlem öncesi ve sonrasındaki XRD analizleri Şekil 1’de verilmiştir. Şekilden tüm numunelerde (111) düzlemine karşılık gelen tek bir baskın pik ($2\theta = 26,64^\circ$) olduğu görülmektedir. Bu değer kübik CdS’ün standart kartındaki (JCPDS: 10-0454) değer ile uyumludur (Yücel ve diğ., 2014). Isıtma işlem sonrasında, pik şiddetlerinde bir miktar artış olduğu görülmektedir. Pik şiddetlerindeki artış filmlerin kristalleşmesinin ısıtma işlem ile arttığına işaret etmektedir. Bir de, maltoz miktarının %0’ dan %16’ ya kadar artmasıyla pik şiddetinin azaldığı görülmektedir. Film depolama işlemi sırasında, çözeltideki maltoz varlığı Cd^{2+} iyonları ile etkileşerek kristalleşmeyi kötüleştirilmiş olabilir. Bu sonuca göre, çözeltideki maltoz konsantrasyonunun pik şiddetleri üzerinde azaltıcı bir etkiye sahip olduğu ve film oluşumu sırasında numunelerdeki kristalleşmenin maltoz konsantrasyonu ile değiştiği söylenebilir (Butt ve diğ., 2014). Filmlerin ısıtma işlem sonrası kırınım pik şiddetleri Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 1:

CdS ince filmlerin maltoz miktarına göre XRD desenleri (a)ısıtma işlem öncesi (b)ısıtma işlem sonrası

Filmlerin kristal büyüklükleri Debye-Scherrer denklemi kullanılarak hesaplanmıştır (Yücel ve diğ., 2015).

$$D = k\lambda/\beta\cos\theta \quad (1)$$

Burada, D kristal büyüklüğüdür, λ X-Işını radyasyonunun dalga boyudur, β XRD spektrumunun maksimum şiddetinin yarısının tam genişliği (FWHM), θ Bragg açısı ve k Scherrer sabitidir. Şekil 1b’ye baktığımızda, katkı miktarı %0’ dan %16’ ya arttıkça FWHM değerlerinin de arttığı görülmektedir. Bu sonuca göre katkı miktarının artması kristal boyutunu azaltıcı bir etkiye sebep olmuştur diyebiliriz. Çözeltideki maltoz miktarının artması CdS kristallerinin büyüme davranışlarını etkileyip, birbirleri ile birleşmelerini önleyerek daha küçük kristallerin oluşmasına sebep olmuş olabilir. Ayrıca SEM analizleri de bu sonucu desteklemektedir. CdS

ince filmlerin kristal büyüklükleri katkı miktarı arttıkça 27,5 nm (FWHM=0.31°) den 8,3 nm (FWHM=1,06°) değerine azalmıştır. Farklı maltoz konsantrasyonlarına göre kristal büyüklüklerinin değişimi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. CdS ince filmlerin pik şiddetleri, kristal büyüklükleri, mikrogerilme, dislokasyon yoğunluğu ve yasak enerji bant aralığı değerlerinin maltoz miktarına göre değişimi.

Büyüme çözeltilisindeki maltoz miktarı %	Pik şiddetleri	Kristal büyüklükleri (D) (nm)	Mikrogerilme (ε) x 10 ⁻³	Dislokasyon yoğunluğu (ρ) x 10 ¹⁵ (cm ⁻²)	Yasak enerji bant aralığı (eV)
	(111)				
0	152.07	27.5	1.32	1.23	2.22
1	98.02	18.6	1.95	2.71	2.24
2	97.04	14.4	2.50	4.47	2.25
4	88.02	13.1	2.76	5.42	2.27
8	69.02	11.2	3.23	7.41	2.28
16	72.04	8.3	4.50	14.4	2.29

Filmlerin mikrogerilme (ε) ve dislokasyon yoğunluğu (ρ) değerleri aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır (Yücel ve diğ., 2017).

$$\varepsilon = \beta \cos \theta / 4 \quad (2)$$

ve

$$\rho = 15\varepsilon / aD \quad (3)$$

Burada *a* örgü sabitidir. *a* örgü sabiti aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Yücel ve diğ., 2017).

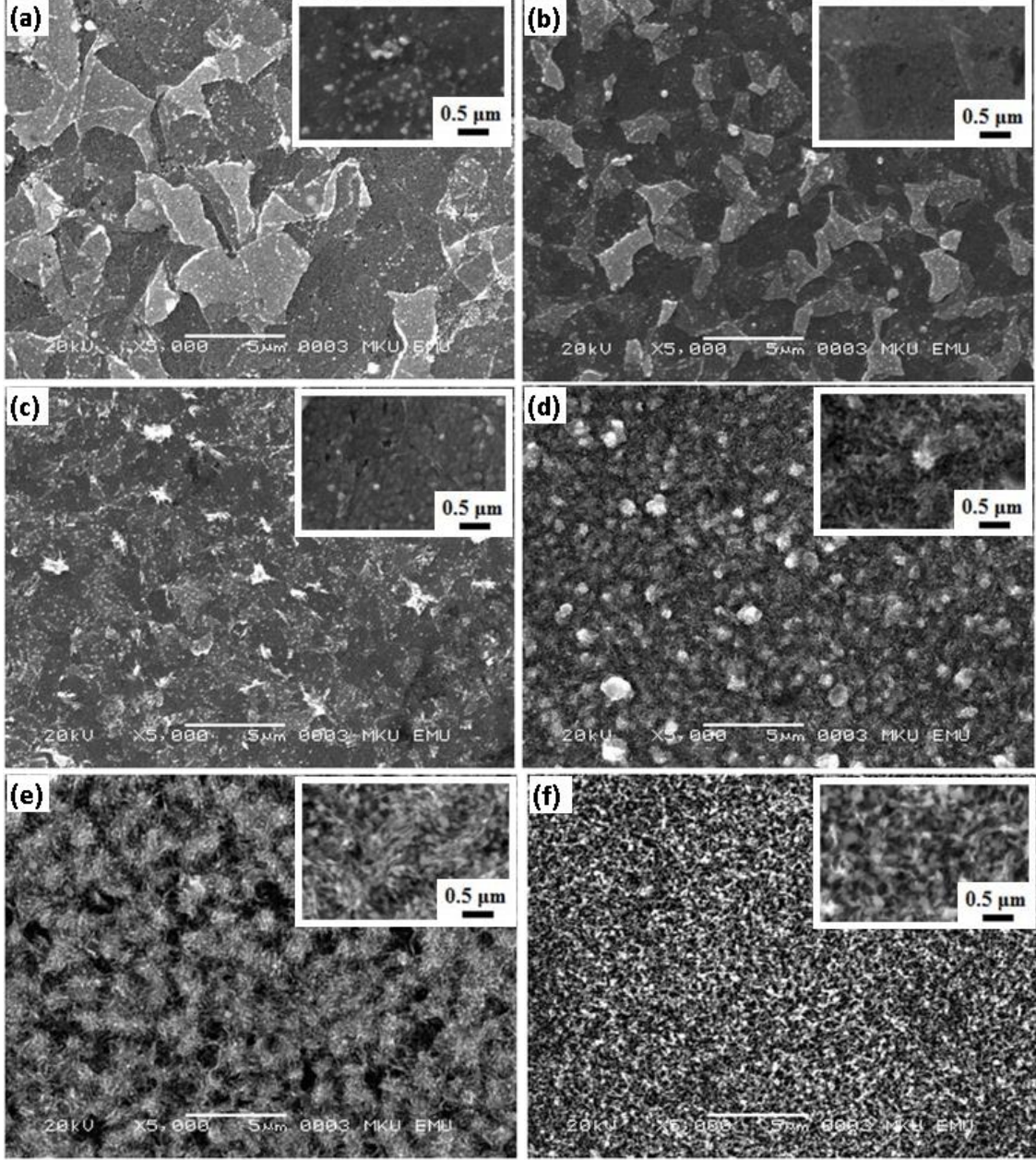
$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \quad (4)$$

Burada, *d* düzlemler arası uzaklık olup Bragg formülüne göre ($2d\sin\theta=n\lambda$) hesaplanmıştır, (*hkl*) değerleri Miller indisleridir. Örgüdeki mikro-gerilme ve santimetrekare başına dilokasyon yoğunluğu değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Tabloda filmlerin mikro-gerilme ve dislokasyon yoğunluğu değerlerinin maltoz miktarının artmasıyla arttığı görülmektedir. Filmlerin farklı katkı miktarlarına göre XRD pik konumları karşılaştırılarak örgü gerilmeleri hakkında bazı bilgiler elde edilebilir. Bragg formülüne göre örgü geriliminin sonucu olarak düzlemler arası aralıktaki (*d*) azalma daha yüksek Bragg açısına doğru bir kayma anlamına gelir. (111) düzlemine karşılık gelen pik pozisyonları incelendiğinde maltoz miktarının %0’ dan %16’ ya artmasıyla piklerin daha yüksek 2θ açısı değerine doğru ($2\theta=26,64^\circ$ (katkısız) < $2\theta=26,69^\circ$ (%16 maltoz katkılı)) az miktarda kaydığı görülmektedir. Bu az miktardaki kayma yapı içinde film üretimi sırasında kirlilikler, örgü kusurları, boşluklar, deformasyon kusurları gibi sebeplerden kaynaklanan örgü gerilmelerinin varlığına işaret eder (Rusu ve diğ., 2010).

3.2. SEM Analizleri

Farklı maltoz konsantrasyonları ile üretilmiş CdS ince filmlerin 5000 ve 30000 büyütme ile alınan SEM görüntüleri Şekil 2’de verilmiştir. SEM resimleri tüm filmlerin cam yüzeyine homojen bir şekilde kaplandığını göstermektedir. Ayrıca, maltoz katkı miktarının %0’ dan %16’ ya artmasıyla film yüzeyinin homojen dağılımının arttığı aynı zamanda tane boyutunun da azaldığı görülmektedir. Bir de, farklı oranlarda maltoz katkısı (%1’ den %16’ ya kadar) ile üretilmiş filmlerin yüzeylerinin maltoz katkısı olmaksızın üretilmiş olan filmde daha düzgün olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi maltoz katkısının CdS ince filmlerin oluşumu sırasında çekirdeklenme hızını etkileyerek film morfolojisini değiştirmesi olabilir (Mouanga ve diğ.,

2007). Sonuç olarak, maltoz katkısı CdS ince filmlerin yüzey morfolojilerini değiştirmiştir. Bu etki, CdS ince filmlerin potansiyel uygulama alanlarındaki performanslarını artırmak için daha düzgün ince filmler elde etmek amacıyla kullanılabilir.

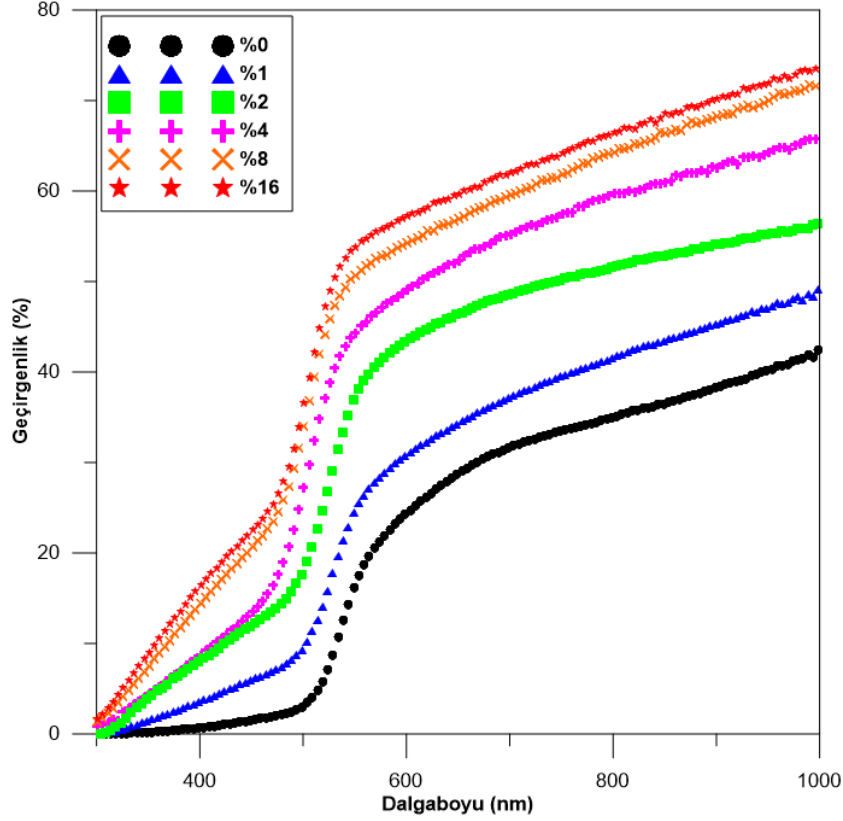


Şekil 2:
CdS ince filmlerin maltoz miktarına göre SEM görüntüleri (a) %0, (b) %1, (c) %2, (d) %4, (e) %8, ve (f) %16

3.3. Optik Ölçümler

CdS ince filmlerin maltoz katkı miktarına bağlı olarak 300-1000 nm dalga boyu aralığındaki optik geçirgenlik spektrumları Şekil 3'te verilmiştir. Şekilden katkısız CdS ince filminin %32 ile görünür bölgedeki en düşük optik geçirgenlik değerine sahip olduğu görülmektedir. Maltoz konsantrasyonunun %0' dan %16' ya artmasıyla filmlerin optik geçirgenlik değerleri hızlı bir

şekilde artmıştır. %1, %2, %4, %8 ve %16 katkı oranına sahip CdS ince filmlerin 400-700 nm aralığındaki optik geçirgenlik değerleri sırasıyla %38, %49, %56, %60 ve %63 olarak elde edilmiştir.



Şekil 3:

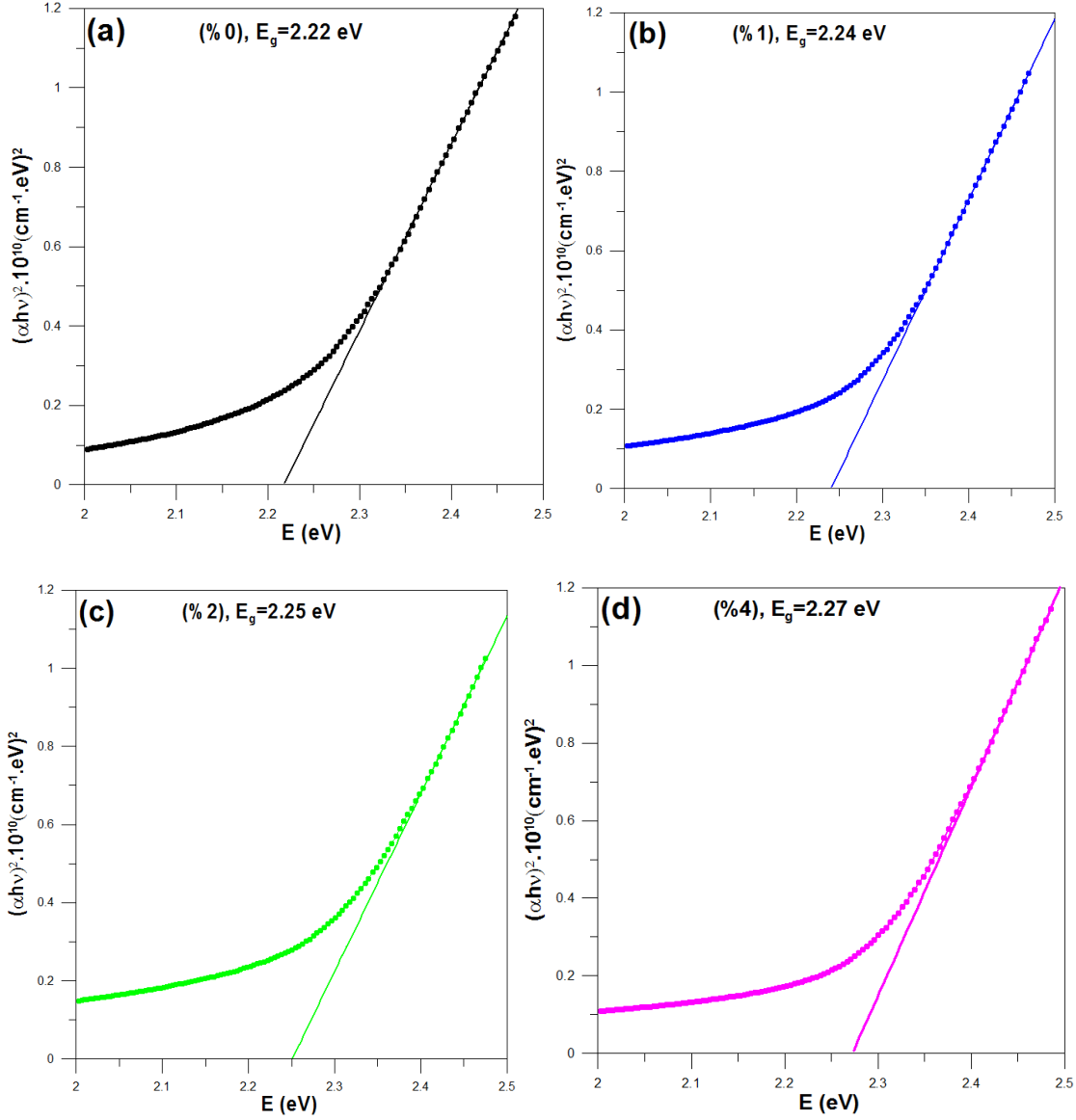
CdS ince filmlerin maltoz miktarına göre 300-1000 nm dalga boyu aralığındaki optik geçirgenlik spektrumları

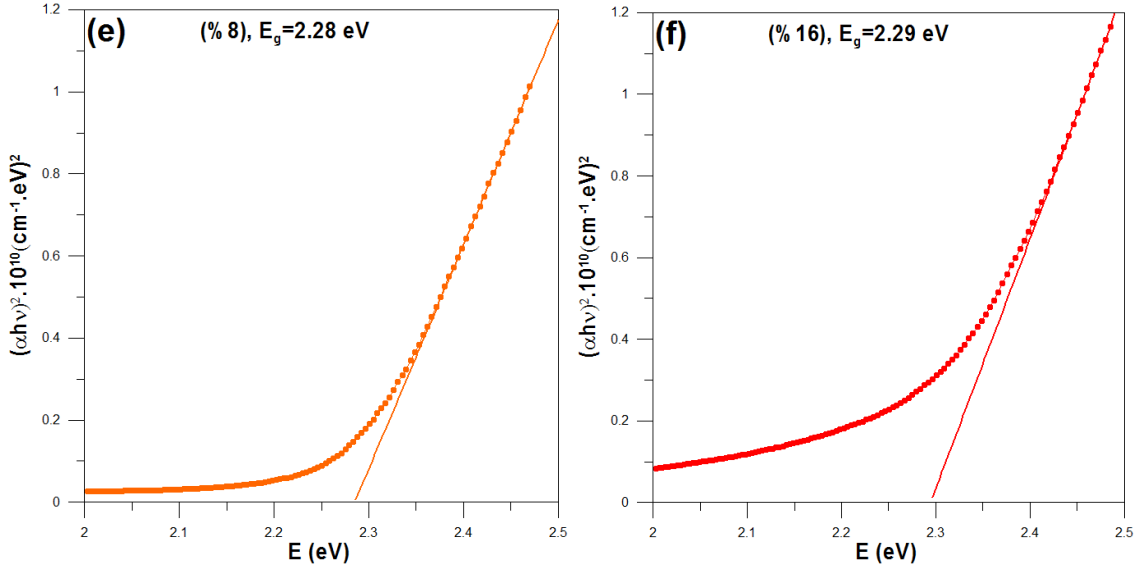
Filmlerin optik soğurma spektrumları 190-1100 nm aralığında elde edilmiştir. Filmlerin yasak enerji bant aralığı değerlerinin belirlenmesi için optik metot kullanılmıştır. CdS ince filmlerin optik yasak enerji bant aralığı değerleri optik soğurma spektrumlarından aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplandı (Yücel ve diğ., 2014).

$$(\alpha hv) = C(hv - E_g)^n \quad (5)$$

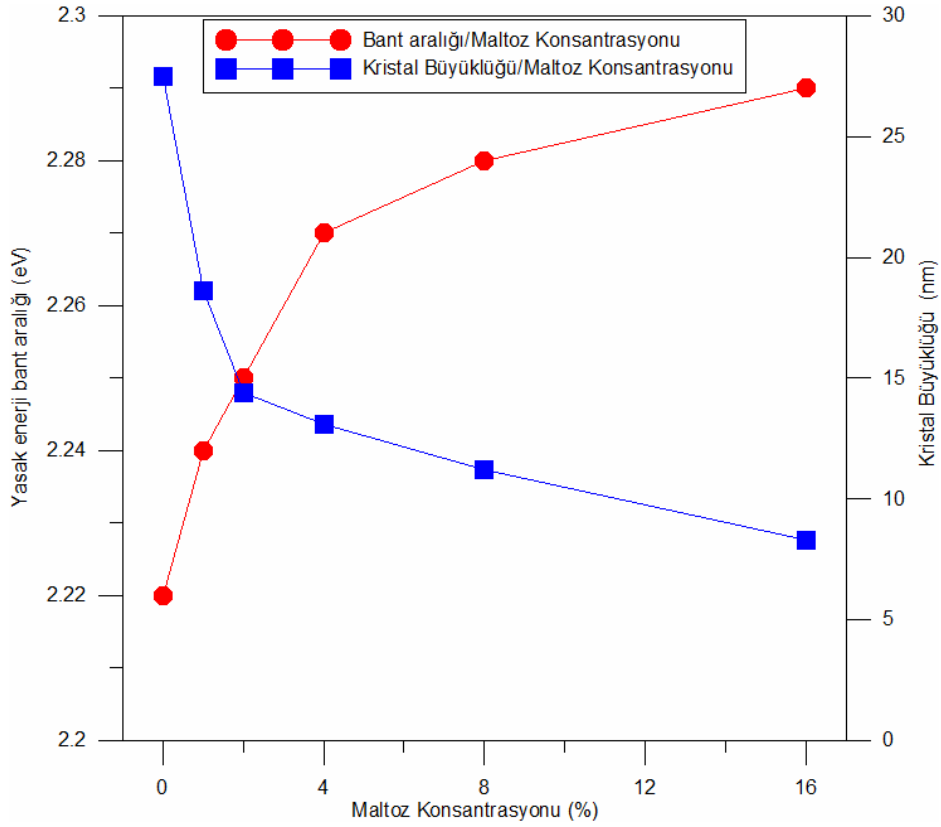
Burada α soğurma katsayısıdır, h Planck sabitidir, ν foton frekansdır, C bir sabittir, E_g yasak enerji bant aralığıdır ve n optik geçiş türüne bağlı olan bir indekstir. CdS doğrudan bant geçişli bir yarıiletken olduğu için $n=1/2$ olarak alındı. Şekil 4'te görüldüğü gibi, filmlerin yasak enerji bant aralığı değerleri $(\alpha hv)^2$ nin foton enerjisi $h\nu$ ' ye göre değişim grafiği çizilerek elde edildi. Grafiklerdeki linear kısımlardan çizilen en uygun fitin $h\nu$ eksenini kestiği nokta yasak enerji bant aralığını vermektedir. %1, %2, %4, %8 ve %16 katkı oranına sahip CdS ince filmlerin yasak enerji bant aralığı değerleri sırasıyla 2,22, 2,24, 2,25, 2,27, 2,28 ve 2,29 eV olarak elde edilmiştir. Maltoz katkı miktarının artmasıyla filmlerin yasak enerji bant aralığı değerleri artmıştır. CdS ince filmlerin maltoz konsantrasyonuna bağlı olarak kristal büyüklükleri ve yasak enerji bant aralığı değerlerinin değişimi Şekil 5'te verilmiştir. Maltoz katkı miktarının %0' dan %16' ya artmasıyla filmlerin kristal büyüklükleri 27,5 nm' den 8,3 nm'ye azalırken yasak enerji bant aralığı değerleri 2,22 eV değerinden 2,29 eV değerine artmıştır. Bu artış kuantum boyut

etkisi ile açıklanabilir. Bu etki sebebiyle kristalin boyutları küçüldükçe enerji seviye uzaklıkları artar, kristal boyutları büyüdüğü azalır. Farklı yöntemler ile yarıiletken nanokristallerin boyutları değiştirilebilirse malzemenin optik yasak enerji bant aralığı değerleri kontrol edilebilir (Yücel ve diğ., 2015; Li ve diğ., 2006; Alamgir ve diğ., 2014). Sonuç olarak, maltoz konsantrasyonunun artmasıyla CdS ince filmlerin yasak enerji bant aralığı değerlerinin artması, bir katkı maddesi olarak maltozun bir yarıiletkende yasak enerji bant aralığı değerlerini düzenleyici olarak kullanılabileceğini göstermektedir.





Şekil 4:
CdS ince filmlerin maltoz miktarına göre $(\alpha h\nu)^2$ nin foton enerjisi $h\nu$ 'ye göre değişimi (a) %0, (b) %1, (c) %2, (d) %4, (e) %8, ve (f) %16



Şekil 5:
CdS ince filmlerin maltoz konsantrasyonuna bağlı olarak kristal büyüklükleri ve yasak enerji bant aralığı değerlerinin değişimi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, CdS/CdTe güneş pillerinde bir pencere tabakası olarak kullanılan CdS ince filmlere yapılan maltoz katkısının etkileri incelenmiştir. Büyüme çözeltisi içinde farklı oranlardaki maltoz varlığı, filmlerin yüzey morfolojilerini, kristal yapılarını, yasak enerji bant aralığı değerlerini ve optik geçirgenlik değerlerini oldukça etkilemiştir. XRD analizleri, artan maltoz konsantrasyonunun CdS ince filmlerin kristalleşme derecelerini etkilediğini ve artan maltoz konsantrasyonu ile filmlerin kristal büyüklüklerinin azaldığını göstermiştir. SEM görüntüleri, maltoz katkısı ile üretilmiş olan filmlerin yüzeylerinin maltoz katkısı olmaksızın üretilmiş olan filmde daha düzgün olduğunu ve maltoz katkısının artmasıyla CdS nanoyapıların büyüklüklerinin azaldığını göstermiştir. Optik analizler, maltoz konsantrasyonunun artmasıyla CdS ince filmlerin 400-700 nm aralığındaki optik geçirgenlik değerlerinin %38'den %63'e hızlı bir şekilde arttığını ve yasak enerji bant aralığı değerlerinin 2,22 eV değerinden 2,29 eV değerine arttığını göstermiştir. Sonuç olarak, bir katkı maddesi olarak maltozun CdS ince filmlerde yasak enerji bant aralığı değerleri üzerinde bir düzenleyici olarak kullanılabileceği söylenebilir. Ayrıca, CdS yarıiletkeninin CdS/CdTe güneş pilleri üretiminde önemli bir ince film malzemesi olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, maltoz katkılı CdS ince filmler güneş pilleri için uygun bir malzeme olabilir ve iyi optik özellikleri sebebiyle CdTe tabanlı fotovoltaik cihazlarda pencere tabakası olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

1. Alamgir, Khan, W., Ahmad, S., Hassan, M.M., Naqvi, A.H. (2014) Structural phase analysis, band gap tuning and fluorescence properties of Co doped TiO₂ nanoparticles, *Optical Materials*, 38, 278-285. doi: 10.1016/j.optmat.2014.10.054
2. Attia, M.S., Zoulghena, H., and. Abdel-Mottaleb, M.S.A. (2014) A new nano-optical sensor thin film cadmium sulfide doped in sol-gel matrix for assessment of α -amylase activity in human saliva, *Analyst*, 139, 793-800. doi:10.1039/c3an01645e
3. Butt, S., Shah, N.A., Nazir, A., Ali, Z., Maqsood, A. (2014) Influence of film thickness and In-doping on physical properties of CdS thin films, *Journal of Alloys and Compounds*, 587, 582-587. doi: 10.1016/j.jallcom.2013.10.221
4. Han, J., Spanheimer, C., Haindl, G., Fu, G., Krishnakumar, V., Schaffner, J., Fan, C., Zhao, K., Klein, A., Jaegermann, W. (2011) Optimized chemical bath deposited CdS layers for the improvement of CdTe solar cells, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95, 816-820. doi:10.1016/j.solmat.2010.10.027
5. He, Z., Zhao, G., Weng, W., Du, P., Shen, G., Han, G. (2005) The difference between the transverse and in-plane resistivity of vacuum evaporated cadmium sulfide (CdS) thin films, *Vacuum*, 79, 14-18. doi:10.1016/j.vacuum.2005.01.004
6. Huang, L., Wei, Z.L., Zhang, F.M., Wu, X.S. (2015) Electronic and optical properties of CdS films deposited by evaporation, *Journal of Alloys and Compounds*, 648, 591-594. doi: 10.1016/j.jallcom.2015.07.041
7. Ibrahim, S.G., Ubale, A.U. (2014) Structural, electrical and optical properties of nanostructured Cd_{1-x}Fe_xS thin films deposited by chemical spray pyrolysis technique, *Journal of Molecular Structure*, 1076, 291-298. doi: 10.1016/j.molstruc.2014.07.065
8. Kim, D., Park, Y., Kim, M., Choi, Y., Park, Y.S., Lee, J. (2015) Optical and structural properties of sputtered CdS films for thin film solar cell applications, *Materials Research Bulletin*, 69, 78-83. doi: 10.1016/j.materresbull.2015.03.024

9. Kim, M.J., Kim, H.T. Kang, J.K., Kim, D.H., Lee, D.H., Lee, S.H., Sohn, S.H. (2010) Effects of the surface roughness on optical properties of CdS thin films, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 532:1, 21/437-28/444. doi: 10.1080/15421406.2010.497099
10. Li, M., Li, J.C. (2006) Size effects on the band-gap of semiconductor compounds, *Materials Letters*, 60, 2526-2529. doi:10.1016/j.matlet.2006.01.032
11. Lu, C., Zhang, L., Zhang, Y., Liu, S., Liu, G. (2014) Fabrication of CdS/CdSe bilayer thin films by chemical bath deposition and electrodeposition, and their photoelectrochemical properties, *Applied Surface Science*, 319, 278-284. doi: 10.1016/j.apsusc.2014.08.158
12. Mouanga, M., Ricq, L., Douglade, G., Douglade, J., Berçot, P. (2006) Influence of coumarin on zinc electrodeposition, *Surface and Coatings Technology*, 201, 762-767. doi:10.1016/j.surfcoat.2005.12.036
13. Mouanga, M., Ricq, L., Ismaili, L., Refouvet, V., Berçot, P. (2007) Behaviour of coumarin in chloride bath: Relationship with coumarin influence on zinc electrodeposition, *Surface and Coatings Technology*, 201, 7143-7148. doi:10.1016/j.surfcoat.2007.01.022
14. Pawar, S.M., Pawar, B.S., Kim, J.H., Joo, O.S., Lokhande, C.D. (2011) Recent status of chemical bath deposited metal chalcogenide and metal oxide thin films, *Current Applied Physics*, 11, 117-161. doi:10.1016/j.cap.2010.07.007
15. Rusu, G.G., Râmbu, A.P., Buta, V.E., Dobromir, M., Luca, D., Rusu, M. (2010) Structural and optical characterization of Al-doped ZnO films prepared by thermal oxidation of evaporated Zn/Al multilayered films, *Materials Chemistry and Physics* 123, 314-321. doi:10.1016/j.matchemphys.2010.04.022
16. Safinajafabadi, A., Sarraf-Mamoory, R., Karimi, Z. (2012) Effect of organic dispersants on structural and mechanical properties of Al₂O₃/ZrO₂ composites, *Materials Research Bulletin*, 47, 4210-4215. doi: 10.1016/j.materresbull.2012.09.001
17. Shakir, M., Faraz, M., Khan, M.S., Al-Resayes, S.I. (2015) The photocatalytic, in vitro anthelmintic activity of biomolecule-inspired CdS nanoparticles, *Comptes Rendus Chimie*, 18, 966-978. doi: 10.1016/j.crci.2015.07.009
18. Shirokane, Y., Ichikawa, K., Suzuki, M. (2000) A novel enzymic determination of maltose, *Carbohydrate Research*, 329, 699-702. doi:10.1016/S0008-6215(00)00232-9
19. Uda, H., Yonezawa, H., Ohtsubo, Y., Kosaka, M., Sonomura, H. (2003) Thin CdS films prepared by metalorganic chemical vapor deposition, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 75, 219-226. doi:10.1016/S0927-0248(02)00163-0
20. Yücel E., Yücel Y., Durak M. (2016) Process optimization for window material CdS thin films grown by a successive ionic layer adsorption and reaction method using response surface methodology, *Journal of Alloys and Compounds*, 664, 530-537. doi: 10.1016/j.jallcom.2016.01.018
21. Yücel, E., Güler, N., Yücel, Y. (2014) Optimization of deposition conditions of CdS thin films using response surface methodology, *Journal of Alloys and Compounds*, 589, 207-212. doi: 10.1016/j.jallcom.2013.11.067
22. Yücel, E., Yücel, Y. (2015) Optimization of zinc sulfide thin film coating process using response surface methodology, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 26, 196-203. doi:10.1007/s10854-014-2383-3
23. Yücel, E., Yücel, Y. (2017) Fabrication and characterization of Sr-doped PbS thin Films grown by CBD, *Ceramics International*, 43, 407-413. doi: 10.1016/j.ceramint.2016.09.173