



Farklı pH Değerlerinde Elde Edilen Kadmiyum Sülfür Filmlerinin Fiziksel Özellikleri

Ahmet Şenol AYBEK^{1}, Hilal RÜZGAR²*

¹Anadolu Üniversitesi, Fen Fakültesi Fizik Bölümü, Eskişehir 26470, TÜRKİYE

²Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir 26470, TÜRKİYE

Received: 02.03.2017; Accepted: 10.05.2017

<http://dx.doi.org/10.17776/csj.340501>

Özet: Bu çalışmada, kimyasal banyo depolama metodu kullanılarak 80 °C banyo sıcaklığında cam tabanlar üzerine farklı pH değerlerinde (10,00; 10,10; 10,20; 10,30) kadmiyum sülfür yarıiletken filmleri elde edilmiştir. Elde edilen filmlerin X-ışını kırınım desenlerinden kübik fazda oluştuğu görülmüştür. Filmlerin soğurma ve geçirgenlik spektrumları UV-Vis spektrofotometre ile alınmıştır. Filmlerin bant aralığı değerleri görünür bölgedeki soğurma spektrumu ölçümlerinden elde edilmiştir. Filmlerin yasak enerji bant aralığı değerlerinin artan pH değerleriyle birlikte azaldığı ve 2,42-2,38 eV arasında değiştiği tespit edilmiştir. Filmlerin görünür bölgedeki optik geçirgenlik değerleri %84-65 arasında değiştiği bulunmuştur. Filmlerin yüzey özellikleri ve pürüzlülük değerleri atomik kuvvet mikroskobu kullanılarak belirlenmiştir. FESEM görüntülerinden filmlerin genellikle küresel yapıda homojen dağılım gösterdiği gözlenmiştir. Filmlerin elemental bileşimini tayini EDX kullanılarak yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: CdS, pH Etkisi, Yapısal Özellikler, Optiksel Özellikler.

Physical Properties of Cadmium Sulphur Films Obtained at Different pH Values

Abstract: Cadmium sulphide films have been deposited onto the glass substrates by chemical bath deposition method at different pH values (10.00, 10.10, 10.20, 10.30) at 80 °C. X-ray diffraction spectra of the films have shown that the films are cubic in structure. To determine the optical properties of the CdS films UV-vis spectrophotometer was used. Optical absorption and transmittance optical values of the films were determined from the absorbance measurements in the visible range. It has been found that the forbidden energy band gap values of the films decrease with increasing pH values and change between 2.42-2.38 eV. The transmission efficiency of CdS films were exhibit about between 84%-65% in the visible region. The surface properties and roughness values of the films were determined using atomic force microscopy. FESEM images show that the films are generally homogeneous distribution in spherical structure. The elemental composition of the films was determined from the EDX study.

Keywords: CdS, pH effect, Structural Properties, Optical Properties.

1. GİRİŞ

Periyodik cetvelin II ve VI. grup yarıiletken bileşiği olan kadmiyum sülfür bileşiği sarı-turuncu renktedir ve son altmış yılın en çok çalışılan yarıiletken malzemelerinden birisidir

[1-3]. CdS görünür bölgede yüksek geçirgenlik ve infrared bölgede yüksek yansımaya özelliği gösterir [4]. CdS kristali yapısında kükürt boşlukları nedeniyle n-tipi iletim özelliğine ve direkt bant aralığına sahip bir yarıiletkendir.

* Corresponding author. Email address: saybek@anadolu.edu.tr
<http://dergipark.gov.tr/csj> ©2016 Faculty of Science, Cumhuriyet University

Ayrıca yüksek soğurma katsayısına sahiptir [5]. Farklı yöntem ve parametrelerde elde edilen CdS filmlerinin yasak enerji bant aralığı değerleri 2,32-2,45 eV arasında değişmektedir [5-7]. CdS sıkı paketlenmiş hekzagonal yapı (wurtzite) ve yüzey merkezli kübik (zinc blende) olmak üzere iki kristal formunda kristalleşmektedir. Genellikle bulk halindeki CdS filmleri hekzagonal yapıda kristalleşme gösterirken, nano-ölçekli CdS filmlerinde kübik yapı baskındır [5]. CdS filmleri, ardışık iyonik tabaka adsorpsiyon ve reaksiyonu [8], vakum buharlaştırma (VE) [9], sputter (saçtırma), close-spaced sublimation ve kimyasal banyo depolama (KBD) [10] gibi çeşitli fiziksel ve kimyasal metotlar kullanılarak elde edilmektedir. Bu metotlardan biri olan KBD oldukça basit bir yöntem olup, bu yöntemle tekrarlanabilen, düzgün ve geniş yüzeylere tutunabilen filmler üretilebilmektedir [7]. KBD ile elde edilen CdS filmlerinde kristalografik ve optiksel özellikleri film banyosunun asitlik derecesi olan pH değerine, Cd tuzunun çeşidine ve kullanılan taban gibi deneysel parametrelere önemli bir şekilde bağlıdır [11]. Özellikle bu metotla düşük sıcaklıklarda (< 100 °C), çeşitli tabanlar üzerine film elde edilebilmektedir [12]. CdS filmi fotovoltaik güneş pillerinde pencere materyali olarak yaygın bir kullanıma sahip önemli bir yarıiletkenidir. Pencere malzemesinin önemli özelliklerinden biri yüksek optiksel geçirgenliğe sahip olmasıdır. CdS filmleri CdTe, Cu (In, Ga)Se₂ (CIGS) ve CuZnSeS bazlı güneş pillerinde yaygın bir şekilde kullanılmakta ve yüksek verim elde edilmektedir [13].

Bu çalışmada, CdS filmleri farklı banyo pH değerleri kullanılarak cam tabanlar üzerine kimyasal banyo depolama metodu kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen CdS filmlerinin yapısal, optiksel ve yüzeysel özellikleri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Deneysel Kısım

Bu çalışmada incelenecek olan CdS filmleri, KBD kullanılarak 80 °C banyo sıcaklığında 40

dakikada 76 mm × 26 mm × 1 mm boyutlarındaki mikroskop cam tabanlar üzerine üretilmiştir. Filmler tabanlar üzerine üretilmeden önce, cam tabanlar deterjanlı suda kaynatılmış ve saf su ile durulanıp bir kompresörden sağlanan basınçlı hava ile kurutulmuştur. Bu tabanlar ultrasonik banyoda saf su içinde 15 dakika yıkanmış ve tekrar bu camlar kurutulmuştur. Son olarak camlar aseton ve propanolden geçirilerek basınçlı havayla tekrar kurutulmuştur. Cam tabanların temizlik işlemleri bittikten sonra bir kutuya konularak muhafaza edilmiştir. CdS filmlerini elde etmek için banyo çözeltisinde 0,02 M CdCl₂·H₂O, 0,5 M KOH, 1,5 M NH₄NO₃ ve 0,2 M CS(NH₂)₂ sulu çözeltileri 1:2,5:1:1 oranlarında deiyonize suda karıştırılarak elde edilmiştir. Kimyasal banyoda kullanılacak çözeltiler 100 ml beher içinde karıştırılmıştır. Banyo çözeltisi, manyetik karıştırıcıda karıştırılmış ve böylelikle homojen bir çözelti elde edilmiştir. Banyo çözeltilerinin pH'ları çözeltilere NH₃ eklenerek sırasıyla 10,00; 10,10; 10,20 ve 10,30 olarak farklı banyo çözeltileri hazırlanmıştır. Belirli bir pH değerine sahip banyo çözeltisinde film elde etmek için, hazırlanan banyo çözeltisi daha büyük bir beher içindeki saf su banyosunun içine daldırılmıştır. Bu işlem, film oluşumu sırasında kimyasal banyo sıcaklığının homojen dağılımını sağlamaya katkıda bulunmaktadır. Hazırlanan çözelti içerisine temizlenmiş cam tabanlar beher duvarıyla yaklaşık 20° açı yapacak şekilde daldırılmıştır. Bu işlem cam tabanlar üzerine film oluşumunu sağlamaktadır. Filmler 80 °C banyo sıcaklığında, 40 dakika depolama süresinde cam tabanlar üzerine elde edilmiştir. Deney süresince kimyasal banyo sıcaklığı dijital termometre kullanılarak kontrol edilmiştir. Depolama süresi sonunda film kaplı cam tabanlar çözeltiden alınmış ve film üzerinde oluşan zayıf bağlı birikimlerden kurtulmak için deiyonize su ile yıkanmıştır. Bu filmler sıcaklığı 80 °C'ye ayarlanmış etüvde kurutulmuştur. Cam tabanın her iki tarafında da film oluşumu gözlenmiştir. Cam tabanın ön yüzeyinde (beherin içine bakan yüzey) filmin daha iyi kaplandığı gözlenmiştir. Bu nedenle cam

tabanların arka yüzeyinde oluşan filmler nitrik asitle temizlenmiştir. Filmlerin sarı-turuncu renkte olduğu gözlenmiştir. Farklı pH değerlerindeki banyolarda (10,00; 10,10; 10,20; 10,30) elde edilen CdS filmleri karakterizasyon çalışmaları için kutularda muhafaza edilmiştir. 10,00; 10,10; 10,20 ve 10,30 pH değerlerinde elde edilen filmler kolaylık olması amacıyla sırasıyla A, B, C, D şeklinde kodlanmıştır.

Filmlerin kalınlık değerleri TT-90 Spektroskopik marka Ellipsometre kullanılarak belirlenmiştir. Film kalınlık değerleri Çizelge 1.'de verilmiştir.

2.2. CdS Filmlerinin Karakterizasyonu

Elde edilen CdS filmlerinin x-ışını kırınım desenleri Bruker D8-X-Ray Difraktometresi kullanılarak $2\theta=10-70^\circ$ açı aralığında alınmıştır.

Filmlerin optik karakterizasyonunu belirlemek için optik soğurma ve geçirgenlik spektrum ölçümleri Shimadzu SolidSpec-3700 UV-VIS-NIR model spektrofotometre cihazı kullanılarak oda sıcaklığında 200-3300 nm dalgaboyu arasında alınmıştır.

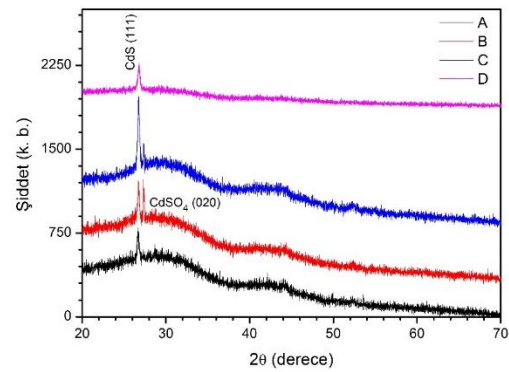
Filmlerin morfolojik karakterizasyonunu belirlemek için AKM görüntüleri ScanAtomic SPM software-2009 (AFM) ve Zeiss Ultra Plus Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) taramalı elektron mikroskobu kullanılarak yapılmıştır. Filmlerin elemental bileşimini tayini için (EDS-EDAX with detector Bruker AXS, software: Genesis) kullanılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. CdS Filmlerinin Yapısal Özellikleri

Kimyasal banyo depolama metodu kullanılarak elde edilen CdS filmlerinin kristal yapı özellikleri x-ışını kırınım desenlerinden yararlanılarak belirlenmiştir. Farklı pH değerlerinde elde edilen filmlerin x-ışını kırınım desenleri Şekil 3.1.'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi sırasıyla A, B, C, D

filmleri için x-ışını kırınım deseninde pikler $2\theta= 26,707; 26,707; 26,758$ ve $26,799^\circ$ (111) *hkl* Miller indislerine sahip kristal düzlemlerine karşılık gelmektedir. CdS filmine ait (International Centre for Diffraction Data) ICDD: 01-089-0440 kartındaki (111) düzlemine ait pikin $26,457^\circ$ 'de meydana geldiği belirlenmiştir. Bu durumda A, B, C, D filmlerinin kristal yapılarında artan pH değerlerine bağlı olarak büyük açı değerlerine doğru kaymalar olduğu düşünülmektedir. CdS filmlerinin yüzey merkezli kübik yapıda kristallendikleri belirlenmiştir. Kırınım deseninde tek bir şiddetli pikin, pik şiddetinin yüksek ve dar olması yapının tek kristal karakterine sahip olduğu anlamına gelir. Buna göre A, C ve D filmlerinin tek kristal yapıya sahip olduğu söylenebilir. Pik şiddetlerinin pH'ı 10,20 olan C filmine kadar arttığı, sonrasında ise azaldığı gözlenmiştir. A, C ve D filmleri içerisinde de en iyi kristallenmenin C filminde olduğu söylenebilir. Ayrıca B kodlu CdS filminde $2\theta= 27,334^\circ$ 'de (ICDD: 00-014-0352) CdSO_4 piki gözlenmiştir. Bu filmde CdS'ler ile ortamda bulunan oksijen atomlarının bağ yaptığı düşünülmektedir. Literatürde yapılan bir çalışmada KBD yöntemiyle elde edilen CdS filminin kübik ve tek kristal karakterinde kristallendiği ifade edilmiştir [14]. Yapılan bir diğer çalışmada nano-ölçekli CdS filmlerinde kübik yapının baskın olduğu ifade edilmiştir [5]. Bu nedenle elde edilen CdS film kalınlıklarının 69-130 nm aralığında değişmesinden filmlerin kübik yapıda kristallendiğini söyleyebiliriz.



Şekil 3.1. Farklı pH değerlerinde elde edilen CdS filmlerinin x-ışını kırınım desenleri.

Kırınım desenlerinde yararlanarak filmlerin kristal yapılarının örgü sabitleri belirlenmektedir [15]. Kübik kristal için, kristal düzlemleri ile örgü sabiti arasındaki bağıntı,

$$\frac{1}{d^2} = \frac{(h^2+k^2+\ell^2)}{a^2} \quad (3.1)$$

denklemini ile verilmiştir. Burada d kristal düzlemleri arasındaki mesafe, (h, k, ℓ) Miller indisleri ve a kristal örgü sabitidir. Çizelge 3.1.'de kübik yapıda kristallenmiş CdS filmlerinin a değerleri verilmiştir. Çizelge incelendiğinde hesaplanan ve standart örgü sabitleri arasında küçük de olsa fark olduğu görülmektedir. Bu fark kristal içinde gerilme ve sıkışma kuvvetlerinin varlığına işaret etmektedir. Kristaldeki sıkışma ve gerilmeler, araya sıkışmış Cd atomları, S atomu boşlukları

ve kristal tane sınırları gibi kristal kusurlarından kaynaklandığı ifade edilmektedir [4]. Filmlerdeki kristalcik büyüklüğü (grain size), x-ışını kırınım spektrumunda gözlenen piklerin yarı genişliklerinden yararlanılarak, Debye-Scherrer eşitliği ile hesaplanabilir [15]. Debye-Scherrer ifadesi;

$$D = \frac{0,9\lambda}{B \cos \theta} \quad (3.2)$$

olarak verilir. Burada D kristalcik boyutunu, λ 1,5406 Å dalgaboylu CuK_α x-ışınlarını, B maksimum yarı pik genişliğini (full width at half maximum, FWHM), θ pikin gözleendiği açıyı gösterir. Farklı pH değerlerinde elde edilen CdS filminin hesaplanan kristalcik boyutları Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

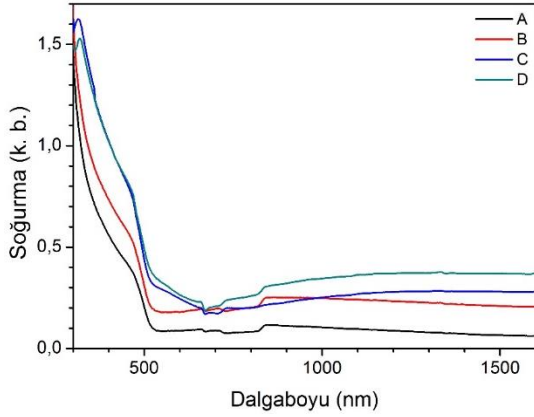
Çizelge 3.1. Farklı pH değerlerinde elde edilen CdS filmlerinin kalınlık, D ve a değerleri.

pH	Kalınlık(nm)	$D(\text{nm})$	$(h k \ell)$	a (Å)	
				Hesaplanan	Standart
A=10,00	77	33		5,777	
B=10,10	69	35	(111)	5,777	5,830
C=10,20	115	30		5,766	
D=10,30	130	27		5,757	

3.2. CdS Filmlerinin Optiksel Özellikleri

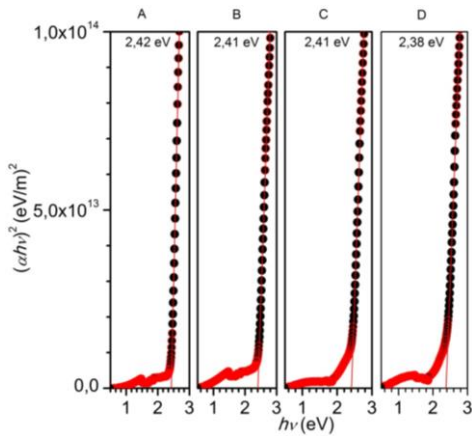
Kimyasal banyo depolama metodu kullanılarak elde edilen CdS filmlerinin optiksel özellikleri oda sıcaklığında UV-VIS-NIR spektrofotometresi ile elde edildi. Farklı pH değerlerinde elde edilen filmlerin soğurma spektrumlarının dalga boyuna göre değişimi Şekil 3.2.'de görülmektedir. Elde edilen CdS filminin soğurma değerleri yaklaşık 520 nm dalgaboyundan başlayarak 300 nm dalgaboyuna kadar hızlı bir şekilde artmıştır. Bu soğurma sınırının dışında 550 nm'den daha büyük dalgaboylarında film geçirgen ve 550 nm'den daha küçük dalgaboylarında ise kuvvetli bir soğurucu davranış göstermektedir. Artan pH değerlerine göre filmlerin soğurma kenarının uzun dalga boylarına doğru kaydığı

görülmüştür. Bu da mor ötesi bölgede soğurma kenarı artış gösterirken kızılötesi bölgede düşüş göstermiştir. Soğurma-dalgaboyu grafiğinde yaklaşık 700 ve 900 nm dalgaboylarında eğride ani değişimler olduğu gözlenmektedir. Bu çalışmada kullanılan Spektrofotometrede 720 nm'de grating, 830 nm'de ise dedektör değişimi olmaktadır. Bu değişimler eğride gürültüleri meydana getirmektedir.



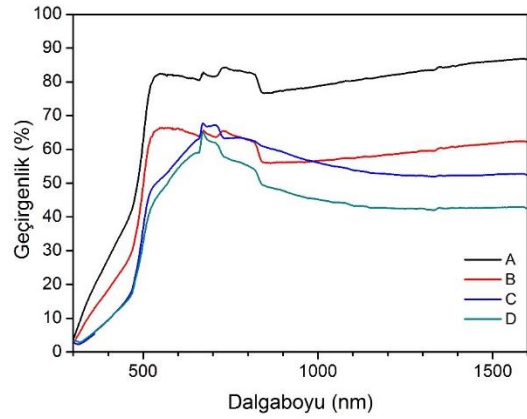
Şekil 3.2. Farklı pH değerlerinde elde edilen CdS filmlerinin optiksel soğurma spektrumları.

Filmlerin yasak enerji aralığını belirlemek için filmlerin soğurma spektrumları kullanılmıştır. Temel soğurma spektrumu verilerinden yararlanılarak CdS filmlere ait $(\alpha h\nu)^{1/n} \sim h\nu$ 'ye göre değişim grafikleri çizilmiştir. Filmlerin soğurma spektrumu verilerinden yararlanılarak CdS filminin $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ eğrisinin doğrusal bölümünden $h\nu$ eksenine çizilen doğrunun $h\nu$ eksenini kestiği nokta yarıiletkenin yasak enerji aralığı değerini vermektedir. Ayrıca $n=1/2$ olması filmde yasak enerji bant aralığının direkt geçişli olduğunun bir kanıtıdır. Filmlerin yasak enerji bant aralıkları Şekil 3.3.'te verilmiştir. Yasak enerji aralıkları değerleri incelendiğinde, artan pH değerlerinin artmasıyla yasak enerji aralıklarında 2,42 eV'tan 2,38 eV'a azaldığı görülmüştür. Literatürde KBD metoduyla elde edilen CdS filmlerinin yasak enerji aralıkları 2,38-2,42 eV olarak verilmektedir [10, 16, 17].



Şekil 3.3. Farklı pH değerlerinde elde edilen CdS filmlerinin yasak enerji bant aralıkları.

Şekil 3.4.'te farklı pH'larda elde edilen CdS filmlerinin optiksel geçirgenliklerinin dalga boyuna bağlı değişim spektrumları görülmektedir. Şekil incelendiğinde pH değeri artıkça filmlerin görünür bölgedeki optiksel geçirgenliği değerleri %84-%65 arasında değişmektedir. Artan pH değerlerine karşılık filmlerin geçirgenlik değerlerinde azalmanın olduğu söylenebilir. Filmlerin üretiminde pH'ın geçirgenlik üzerine belirgin bir etkisi olduğu söylenebilir.



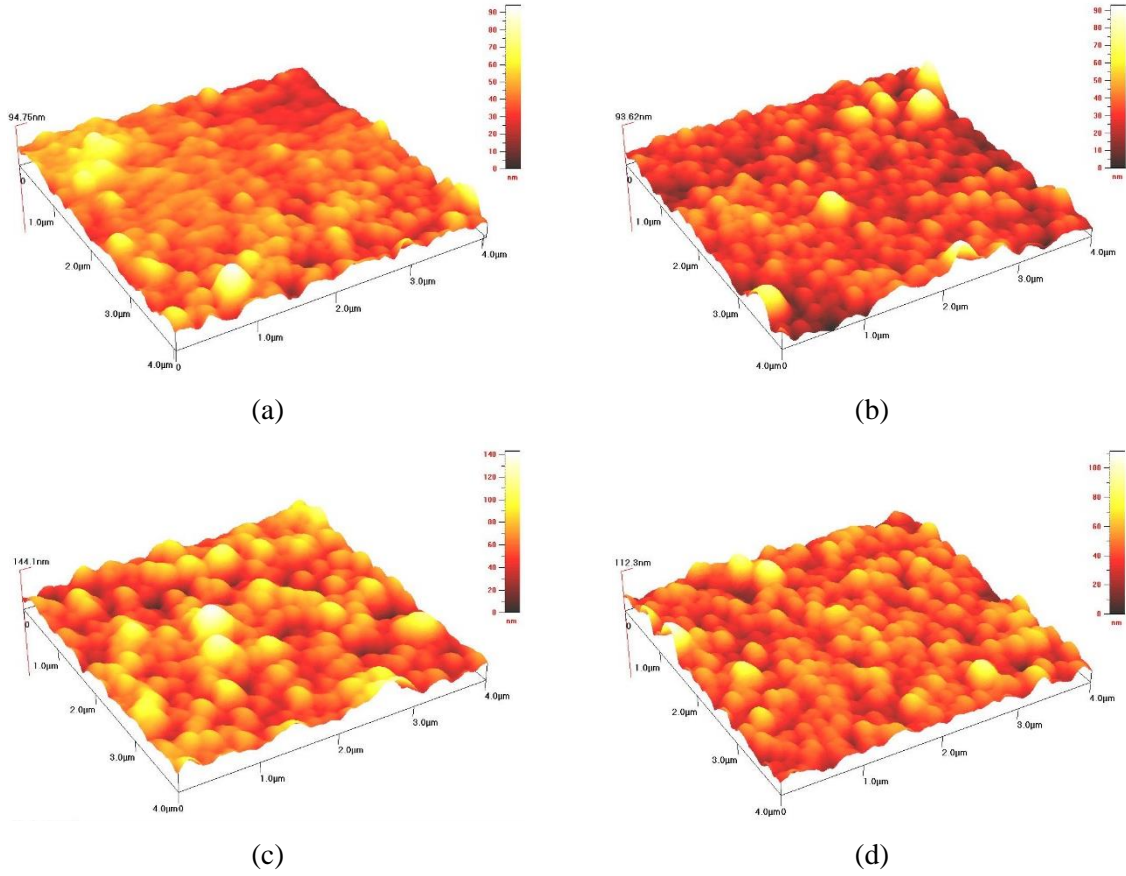
Şekil 3.4. Farklı pH değerlerinde elde edilen CdS filmlerinin geçirgenlik spektrumları.

3.3. CdS Filmlerinin Morfolojik Özellikleri

Kimyasal banyo depolama metodu kullanılarak elde edilen CdS filmlerinin üç boyutlu AKM görüntüleri Şekil 3.5.'te verilmiştir. CdS filmlerinin üç boyutlu yüzey görüntüleri incelendiğinde kristal tanelerinin boyut olarak diğer tanelerle hemen hemen aynı olması filmin homojen olduğunu göstermektedir. Yüzeyde gözlenen açık renkli bölgeler film oluşumu esnasında atomların üst üste yığılmaları sonucunda oluşan kümeleri göstermektedir. Çizelge 3.2.'de filmlerin R_a (ortalama pürüzlülük) ve R_q (root-mean-square, rms pürüzlülük) değerleri verilmiştir. Çizelge 3.2. incelendiğinde tüm filmlerin düşük pürüzlülük değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Düşük pürüzlülük değerleri filmin yüzeyinin düzgün,

homojen ve yoğun olduğuna işaret eder. R_a ve R_q değerlerinin küçük olması film oluşumu sırasında yüzeydeki kusurların az olması anlamı

taşır. Bu durum güneş pili uygulamaları için tercih edilen bir özelliktir.



Şekil 3.5. (a) A, (b) B, (c) C, (d) D değerlerinde elde edilen CdS filmlerinin AKM görüntüleri.

Çizelge 3.2. Farklı pH değerlerinde elde edilen CdS filmlerinin pürüzlülük değerleri.

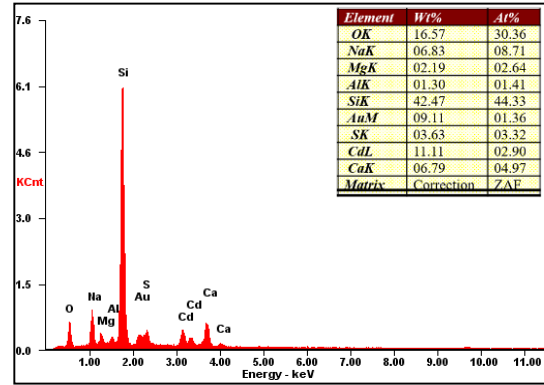
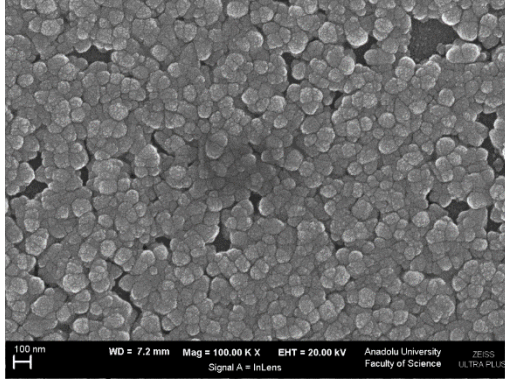
	pH	R_a (nm)	R_q (nm)
CdS	A	7,05	9,13
	B	7,98	10,8
	C	14,9	18,6
	D	8,92	11,5

CdS filmlerinin SEM ve EDX görüntüleri Şekil 3.6.'da verilmiştir. SEM görüntülerinin incelenmesi sonucu yüzey görünümü, tabana tutunması, homojenliği gibi bilgilere ulaşılabilir. Şekilden de görüldüğü gibi filmlerin görüntüleri incelendiğinde genel olarak boşlukların olmadığı, dolayısıyla

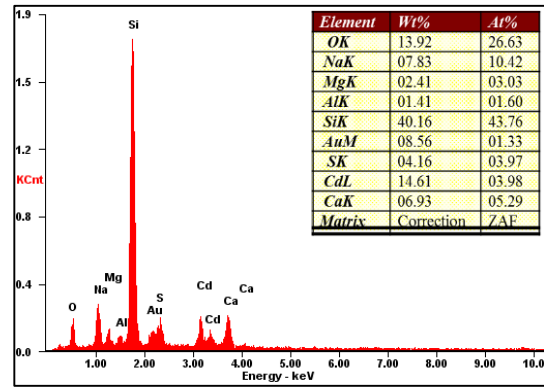
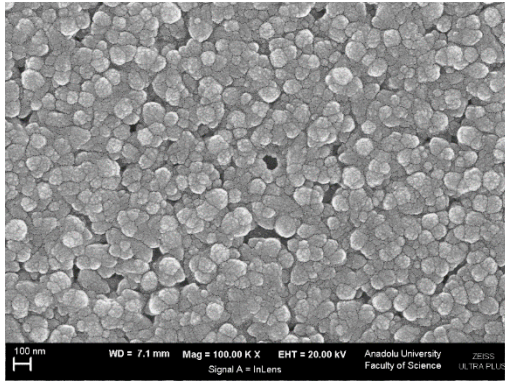
filmlerin tabana tutunmasının iyi olduğu ve genellikle küresel yapıda homojen bir kaplamaya sahip olduğu söylenebilir. Filmlerin tanecikli yapıda ve tanecikler arasındaki tane sınırlarının belirgin olduğu görülmektedir. Literatürde KBD yöntemiyle elde edilmiş CdS filminin benzer SEM görüntüleri bulunmaktadır [6]. Filmlerin genel görünümünden EDX görüntüleri alınmıştır. EDX analizleri incelendiğinde Cd ve S elementlerinden başka O, Na, Mg, Al, Si, Au ve Ca elementlerinin de pikleri görülmektedir. Burada Si, taban olarak camdan kaynaklanmaktadır. Na, Mg ve Ca kadmiyum ve tiyoüre kaynaklarından az miktarda da olsa gelebilmektedir. Ayrıca bu elementler cam tabanın yapısında

bulunabilmektedir. Au elementi, SEM görüntüleri için kullanılan Au kaplamadan kaynaklanmaktadır. Al ise cam tabanın tutturulduğu stick alüminyum olduğundan çizelgelerde verilen (Şekil 3.6. a-d) alüminyumun buradan kaynaklandığı düşünülmektedir. Çizelge 3.2. incelendiğinde filmlerdeki S/Cd oranının yaklaşık bir değerini

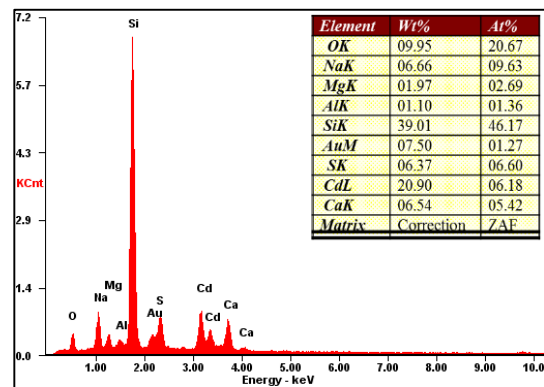
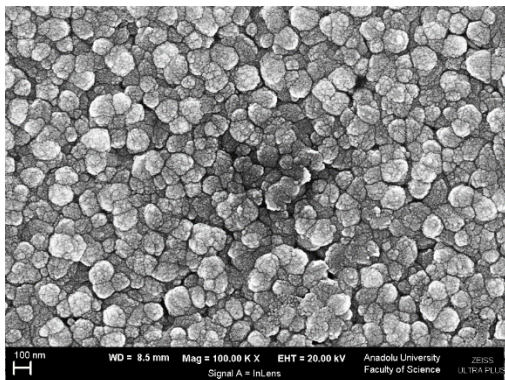
aldığı görülmüş ve CdS filminin oluştuğu belirlenmiştir. Filmlerin banyo pH değerleri arttıkça filmlerin Cd ve S elementlerinin atomik ve yüzde değerleri artarken, S/Cd oranı ideal değeri olan bire yaklaştığı görülmektedir. Buradan banyodaki Cd ve S miktarları arttıkça CdS film oluşumu gerçekleştiği sonucu çıkartılabilir.



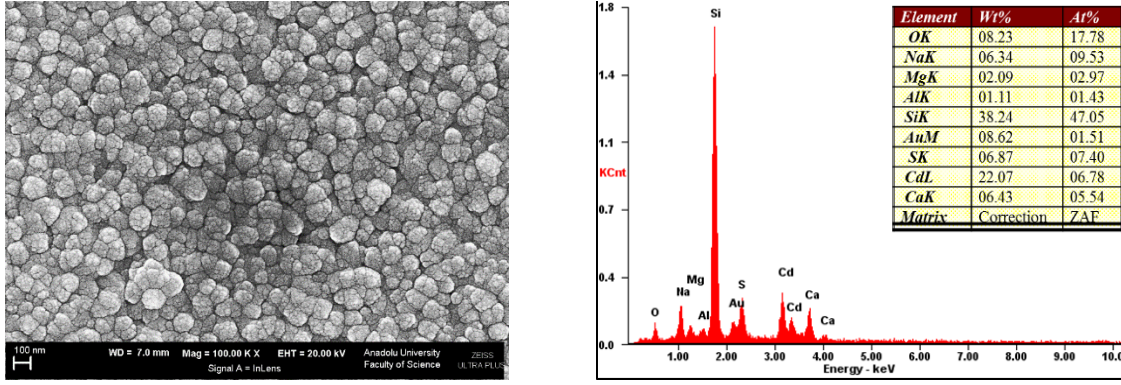
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.6. (a) A, (b) B, (c) C, (d) D değerlerinde elde edilen CdS filmlerinin SEM ve EDX görüntüleri.

Çizelge 3.2. Farklı pH değerlerinde elde edilen CdS filmlerinin elemental analizi.

pH	Element				S/Cd Atomik Oran
	Cd wt%	S wt%	Cd at%	S at%	
A	11,11	03,63	02,90	03,32	1,14
B	14,61	04,16	03,98	03,97	1
C	20,90	06,37	06,18	06,60	1,07
D	22,07	06,87	06,78	07,40	1,09

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Kimyasal banyo depolama metodu kullanılarak 80 °C banyo sıcaklığında farklı pH değerlerinde CdS filmleri elde edildi. Filmlerin x-ışını kırınım desenleri $2\theta=20-70^\circ$ arasında alındı ve filmlerin kübik yapıda büyüdüğü belirlendi. CdS filmlerinin yasak enerji bant aralığı değerleri artan banyo pH değerlerinin artmasıyla yasak enerji aralıklarında 2,42 eV tan 2,38 eV ta azaldığı görülmüştür. Filmlerinin geçirgenliği pH arttıkça filmlerin görünür bölgedeki optiksel geçirgenliği değerleri %84-%65 arasında değişmektedir. Artan pH değerlerine karşılık filmlerinin geçirgenlik değerlerinde azalma gözlenmiştir. Filmlerinin AKM ve SEM görüntülerinden filmlerinin yüzeye iyi tutunduğu, homojen, sıkı, filmlerinin tabana tutunmasının iyi olduğu ve genellikle küresel yapıda tanelerin yüzeyi kaplamıştır. AKM görüntülerinden en düşük pürüzlülük oranına sahip filmin pH 10'da

elde edilmiştir. En iyi stokiometrik orana sahip film pH 10,10 filminde elde edilmiştir. Sonuç olarak geçirgenlik değerlerinin yüksek olması ve yüzey pürüzlülük değerlerinin düşük olması nedeni ile pH 10 filmi güneş pillerinde pencere tabakası olarak kullanımı uygundur.

Teşekkür: Bu çalışma, Anadolu Üniversitesi BAP Komisyonu (Proje no: 1307F291) tarafından desteklenmiştir. AKM görüntülerinin alınmasına izin veren Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Plazma Fiziği ve Teknolojileri Araştırma Laboratuvarı'na ve x-ışını ölçümleri için Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1]. Enríquez, J.P. and Mathew, X. Influence of the thickness on structural, optical and electrical properties of chemical bath deposited CdS thin films. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 2003; 76, 313-322.
- [2]. Kim, D.J., Yu, Y.-M., Lee, J.W., Choi, Y.D. Investigation of energy band gap and optical properties of cubic CdS epilayers. *Appl. Surf. Sci.* 2008; 254, 7522-7526.
- [3]. Pradhan, B., Sharma, A.K., Ray, A.K. Conduction studies on chemical bath-deposited nanocrystalline CdS thin films. *J. Cryst. Growth*. 2007; 304, 388-392.
- [4]. Sivaraman T., Nagarethinam V.S., Balu A.R. CdS thin films Fabricated by a simplified Spray technique from different Substrate Temperatures – Structural, Morphological, Optical and Electrical analysis. *Res. J. Material Sci.* 2014; 2 (2), 6-15.
- [5]. Zyoud, A., Saa'deddin, I., Khudruj, S., Hawash, Z.M., Park, D., Campet, G., Hilal, H.S. CdS/FTO thin film electrodes deposited by chemical bath deposition and by electrochemical deposition: A comparative assessment of photo-electrochemical characteristics. *Solid State Sci.* 2013; 18, 83–90.
- [6]. Kong, L., Li, J., Chen, G., Zhu, C., Liu, W. A comparative study of thermal annealing effects under various atmospheres on nano-structured CdS thin films prepared by CBD. *J. Alloys Compd.* 2013; 573, 112–117.
- [7]. Metin, H., Esen, R. Annealing studies on CBD grown CdS thin films. *J. Cryst. Growth*. 2003; 258 (1–2), 141–148.
- [8]. M. Kundakci, A. Ateş, A. Astam, M. Yildirim. Structural, optical and electrical properties of CdS, Cd_{0.5}In_{0.5}S and In₂S₃ thin films grown by SILAR method. *Physica E*. 2008; 40, 600–605.
- [9]. Lee, J. Comparison of CdS films deposited by different techniques: Effects on CdTe solar cell. *Appl. Surf. Sci.* 2005; 252 (5), 1398–1403.
- [10]. G. Pérez-Hernández, J. Pantoja-Enríquez, B. Escobar-Morales, D. Martinez-Hernández, L.L. Díaz-Flores, C. Ricardez-Jiménez, N.R. Mathews, X. Mathew. A comparative study of CdS thin films deposited by different techniques. *Thin Solid Films*. 2013; 535, 154-157.
- [11]. Kwon, J.-H., Ahn, J.-S. and Yang, H. Chemical bath deposition of CdS channel layer for fabrication of low temperature-processed thin-film-transistors. *Curr. Appl. Phys.* 2013; 13, 84–89.
- [12]. Sam, M., Bayati, M.R., Mojtahedi, M., Janghorban, K. Growth of Cu₂S/CdS nano-layered photovoltaic junctions for solar cell applications. *Appl. Surf. Sci.* 2010; 257, 1449–1453.
- [13]. Huang L., Wei Z.L., Zhang F.M., Wu X.S. Electronic and optical properties of CdS films deposited by evaporation. *J. Alloys Compd.* 2015; 648, 591-594.
- [14]. Yücel, E., Güler, N. Yücel, Y. Optimization of deposition conditions of CdS thin films using response surface methodology. *J. Alloys Compd.* 2014; 589, 207–212.
- [15]. B.D. Cullity, S.R. Stock, *Elements of X-ray Diffraction* Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ (2001).
- [16]. Metin, H., Esen, R. Annealing effects on optical and crystallographic properties of CBD grown CdS films. *Semicond. Sci. Technol.* 2003; 18, 647–654.
- [17]. Aybek, A.S., Rüzgar, H. Effect of The pH on Crystal Structural, Optical and Surface Morphological Properties of The Cds Films Deposited By Chemical Bath Deposition. *Chalcogenide Letters*. 2016; 13 (8), 339–350.