

Ag katkılı CdO ince filmlerinin sıcak püskürtme tekniği ile büyütülmesi ve yapısal incelemesi

Growth and structural characterization Ag doped CdO thin films by spray pyrolysis technique

Serdar AYDIN*^{1,a}

¹Atatürk Üniversitesi, Bilgisayar Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi, 25240, Erzurum

• Geliş tarihi / Received: 07.03.2021

• Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 22.03.2021

• Kabul tarihi / Accepted: 25.03.2021

Öz

Çalışmamızda Ag katkılanmış CdO ince filmlerinin (ITO) altlık üzerine sıcak püskürtme (Spray) tekniği ile altlıklar 400°C sabit sıcaklıkta iken büyütülme işlemi gerçekleştirilmiş ve üretilen ince filmlerin yapısal özellikleri araştırılmıştır. X-Işını Kırınımı (XRD) cihazı ile yapısal inceleme yapılmış, XRD sonuçlarından numunelerin polikristal kübik yapıda olduğu, tercihi yönelimlerinin katkı miktarının değişimiyle değişmeyip (111) düzlemi olduğu ve 23 nm civarında ortalama kristal boyutuna sahip olduğu görülmüştür. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile ince filmlerin görüntüleri incelenmiş, Ag katkı oranı değişiminin yüzey morfolojisinde önemli bir değişime neden olmadığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Ag katkı, CdO, Sıcak püskürtme

Abstract

In the study, Spray pyrolysis technic was used to grow Ag-doped CdO thin films on Indium Tin Oxide (ITO) substrates. Temperatures of ITO substrates were fixed at 400°C. The structural and morphological properties of the thin films were investigated by X-Ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscope (SEM) devices. According to XRD results, the thin films have polycrystalline cubic structure and the average crystal sizes of thin films with Ag dopant are around 23 nm. According to Scanning Electron Microscope (SEM) images, changing of Ag dopant ratio does not effects surface morphology of samples significantly.

Keywords: Ag dopant, CdO, Spray pyrolysis

*^a Serdar AYDIN; serdar@atauni.edu.tr, Tel: (0533) 5561662, orcid.org/0000-0003-4943-3272

1. Giriş

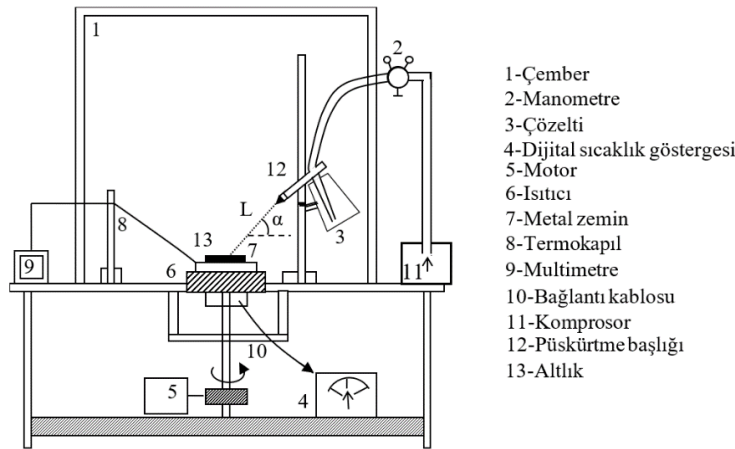
Günümüzde hemen her alanda kullanmakta olduğumuz yarıiletken aygıtlar içerisinde oldukça önemli bir yere sahip olan ince filmlerin optik, elektrik yapısal incelemelerinin yapılması bilimsel açıdan oldukça önem arz etmektedir. Gün geçtikçe ilerleyen teknolojiyle birlikte, ince filmlerin kullanım alanları farklılık göstermektedir. İnce filmler, optoelektronik ve elektronik endüstrisinin ana unsurları arasında yer almaktadır. Son birkaç yılda, gelişmiş elektro-optik özellikleri sayesinde (saydam iletken oksit filmler) TCO'lar yaygın olarak kullanılan yarıiletken filmler arasında kendilerine yer bulmuşlardır. TCO'lar optoelektronik cihazların üretiminde sahip oldukları önem nedeniyle araştırmacıların ilgisini çekmektedir. TCO'lardan biri olan CdO son yıllarda gaz sensör üretimi, güneş pili, fotodiyot uygulamaları, fototransistörler ve optoelektronik uygulamaları gibi uygulamalarda yüksek doğrusal refraktif indeks değeri, yüksek elektrik iletkenliği, taşıyıcı yoğunluğu ve elektromanyetik tayfin görünür bölgesinde yüksek optik geçirgenliği gibi bazı özelliklerinin sayesinde oldukça popüler olmuştur (Ali 2017; Abbas vd., 2018). Katkılı ve katkısız CdO ince filmleri farklı tekniklerle oluşturulabilmektedir. Püskürtme (Ferro ve Rodriguez 1999), SILAR (Salunkhe ve Lokhande 2008; Güney ve İskenderoğlu 2017), termal buharlaşma (Dakhel ve Henari 2003), kimyasal buhar biriktirme (Li vd., 2001), sol-jel (Aksoy vd., 2009), darbeli lazer biriktirme (Gupta vd., 2009) teknikleri bu yöntemler arasında sayılabilir.

Bu çalışmada ekonomik, basit bir yöntem olması ve büyütülmesi planlanan ince filmlerin çözelti

olarak püskürtülmesi, çözeltiye istenen tür ve miktarda katkı maddesi ile filmlerin fiziksel, elektriksel, optiksel v.b. birçok özelliklerini kolayca değiştirebiliyor olmamız sebebiyle Püskürtme tekniği seçilmiş ve gümüş (Ag) katkılı CdO ince filmlerinin İndiyum Kalay Oksit (ITO) altlık üzerine büyütülmesi başarılı olarak gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve metot

B Spray Pyrolysis Yöntemi, kimyasal püskürtme tekniği olarak da bilinen bir yöntemdir. Bu teknikte, üretilmesi planlanan ince filmler için özel olarak hazırlanan kimyasal çözeltiler, hava veya azot gazı yardımıyla bernoulli prensibine uygun olarak atomize edilerek önceden ısıtılmış altlıklar üzerine püskürtülür. Sonuç olarak sıcak altlık üzerine püskürtülerek gönderilen tanecikler film yüzeyine tutunur, tutunamayan tanecikler buharlaşarak gaz formunda ortamdaki çekilir. Bu teknik kullanılarak üretilen filmler polikristal yapıda olmaktadır. Altlık sıcaklığı, büyütülen filmlerin yapısını ve özelliklerini doğrudan etkilediğinden oldukça önemlidir. Püskürtme hızı, püskürtme başlığı ile altlık arasındaki mesafe, başlangıç çözeltisinin etkisi ve sprej başlığının geometrisi gibi birçok parametre oluşturulacak kaplamanın özelliklerinin ayarlanmasında rol oynayan önemli faktörlerdir. Biz de bu çalışma öncesi yukarıdaki parametrelerden bazılarının denemeleri yapılmış ve uygun parametreler belirlenmiştir. Aşağıda laboratuvarımızda bulunan ve deneyleri gerçekleştirdiğimiz el yapımı püskürtme sisteminin şematik bir çizimi bulunmaktadır.



Şekil 1. Kimyasal Püskürtme Sistemi

Bu çalışmada öncelikli amacımız filmleri başarılı bir şekilde büyütebilmek ve sonrasında kristal ve morfolojik yapısını detaylı bir şekilde analiz

etmektir. Bu yüzden de kristal yapısını olumlu bir şekilde etkilemesi için amorf bir altlık yerine kristal geometrisi CdO ya yakın olan bir polikristal

altlık seçmektir. Bu sebepten ötürü yapılan çalışma da daha düzgün kristalleşmesine katkı sağlayacak olan İndiyum kalay oksit (ITO) altlıklar kullanılmıştır. ITO altlık, büyütme işlemi gerçekleştirilmeden önce ultrasonik banyoda sırasıyla etanol ve sonrasında deiyonize su (DI) içerisinde beşer dakika süreyle temizlenmiştir.

Gümüş (Ag) katkılı CdO ince ince filmlerin sprej tekniği ile büyütülmesi sürecinde püskürtme burnu ile altlık arasındaki mesafe 25 cm olarak belirlenmiştir. Nozzle sprej açısı 45° olarak sabitlenerek ince filmlerin büyütülmesi sürecinde büyütme hızı 2,5 ml/ dk olarak ayarlanmıştır. Her bir püskürtme için çözelti miktarının 100 ml olacak şekilde hazırlanmıştır. Filtrelenmiş hava basıncı 1-1.5 bar olarak ayarlanmış ve taşıyıcı gaz olarak kullanılmıştır. Homojen bir film büyütebilmek için altlıkların üzerinde bulunduğu döner levhanın 20 rpm/dk hızla dönmesi sağlanmıştır. Cd kaynağı olarak 0,1M kadmiyum nitrat ve gümüş kaynağı olarak %0,1, %0,5, %1, %2, ve %3 oranlarda 0,1M gümüş nitrat kullanılmıştır. Bu sayede Ag katkılı CdO filmleri ITO altlık üzerine ince film olarak büyütülmüştür. Numuneler en düşük katkı miktarından başlayarak sırasıyla CdOA1(%0.1Ag), CdOA2(%0.5Ag), CdOA3(%1Ag), CdOA4(%2Ag) ve CdOA5(%3Ag) olarak isimlendirilmiştir.

2.1. Analizler

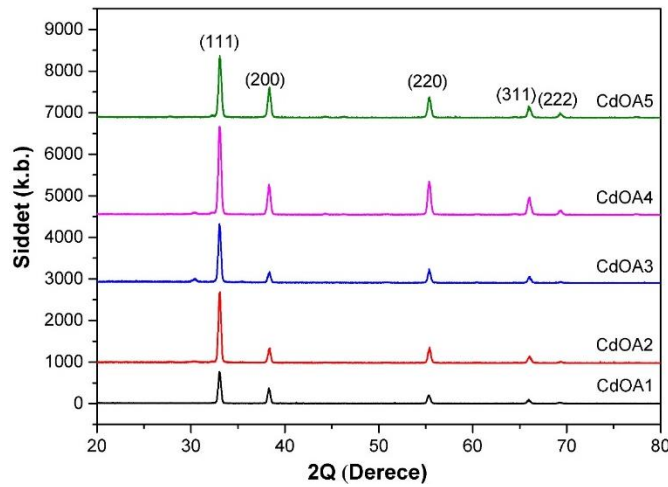
2.1.1. Fiziksel yöntemler

Büyütülen ince filmlerin yapısal özellikleri incelemesinde X-ışını kırınım desenlerinden faydalanılmıştır. Panalytical Empyrean X-Ray

difraktometresi aracılığı ile X-ışını kırınım deseni incelemesi, $20^\circ \leq 2\theta \leq 60^\circ$ açı aralığında, oda sıcaklığında 0.05°'lik adım aralıklarında tarama yapılarak gerçekleştirilmiştir. Yüzey morfolojileri Zeiss-Sigma300 marka SEM ile görüntüleri alınarak incelendi.

3. Bulgular

Büyütülen İnce filmlerin, X-ışını kırınımı ölçümleri oda sıcaklığında alınmış ve Şekil 1 üzerinde gösterilmiştir. Şekil 1 incelendiğinde Ag katkılı olarak büyütülen CdO ince filmlerinin, 20 ve 90 derece arasında gerçekleştirilen 2θ değeri taraması sonucunda 03-065-2908 ICSD kart numarasına göre kübik kristal yapıda olduğu tespit edilmiştir. Şekil 1'den görüldüğü gibi Ag katkılanmış CdO filmlerinin XRD açıları ve düzlemleri yaklaşık olarak sırasıyla; 33° ve (111), 38° ve (200), 55° ve (220), 66° ve (311) ile 69° ve (222) şeklindedir. 03-065-2908 ICSD standardı kart numarasına göre katkılama işlemi yapılmamış olan CdO filmlerinin XRD pikleri ile benzer olan ve Şekil 1'de yer almakta olan pik değerleri bize Ag katkılamanın CdO ince filmlerinin kristal yapısında değişikliğe neden olmadığı ve mevcut yapı ile iyi uyum sağladığını göstermektedir. Bu durum ise yapıda gümüş katkının oksitlenmesi sonucu oluşabilecek istenmeyen yapıların meydana gelmediğini sonucunu göstermektedir. Buna göre Ag katkılama hem ilave bir pik oluşturmamış hem de kübik kristal yapının bozulmasına neden olmamıştır. Ayrıca Tablo 1'den görüldüğü gibi 2θ değerlerinde dahi katkılama artması ile birlikte açı değerlerinde önemli bir değişim olmamıştır yani piklerde farklı miktardaki Ag katkısı ile kayma gerçekleşmemiştir.



Şekil 2. Ag katkılı CdO ince filmlerinin XRD ölçümü grafiği

Baskın pikin olduğu (111) düzlemi kullanılarak numunelerin ortalama kristal boyutu (D) Denklem

1'de yer alan Scherer formülü kullanılarak hesaplanmıştır;

$$D = \frac{0.94\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

Bu denklemde D, kristal boyutu, β maksimumun yüksekliğin yarı genişliği (FWHM), θ yansıma veren düzlemlerin maksimum pikinin açđ değeri ve λ , dalga boyu (0.15406 nm)'dir. Denklem 1 yardımı ile yapılan hesaplamalar sonucunda Ag katkılı CdO ince filmlerinin kristal boyutları Tablo 1'de görüldüğü gibi baskın pik olan (111) düzlemi için ortalama kristal boyutu 23 nm bulunmuş ve Tablo 1 ve Şekil 2' de gösterilmiştir. Numunelerin tercihi yönelimi olan (111) düzlemine göre CdOA1, CdOA2 ve CdOA3 ün kristal boyutu 23nm iken CdOA4 20 nm ve CdOA5 için ise 22 nm olduğu görülmektedir. Böylece Ag katkısı ile CdO ince filmlerinin kristal yapısında ciddi değişim oluşmadığı düşünülebilir. İskenderoğlu ve Güney'in 2018 yılında yaptıkları çalışmada Ag katkılı CdO filmler cam altlık üzerine başka bir yöntem kullanarak filmleri büyütmeşler onlarda ortalama olarak filmlerin tanecik boyutlarını 24 nm

olarak bulmuşlardır. Buradan hareketle farklı tekniklerle büyütülen filmlerin tanecik boyutunda önemli bir katkısının olmadığını söyleyebiliriz (İskenderoğlu ve Güney, 2018).

Tablo 1'de gösterilmiş olan büyütülen ince filmlerin düzlemler arası uzaklığı (d) Denklem 2'de gösterilen Bragg kanunu kullanılarak hesaplanmıştır.

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (2)$$

Hesaplamalar sonucunda çıkan d değerlerinin 03-065-2908 numaralı ICSD standart kartı ile benzerlik gösterdiği görülmüştür. Bu sonuçlar püskürtme tekniği ile büyütülen Ag katkılı CdO numunelerinin literatürde yer alan diğer çalışmalarda yer alan değerlerle uyuşmakta olduğunu ve üretilen ince filmlerin yüksek kalitede olduğu anlaşılmaktadır.

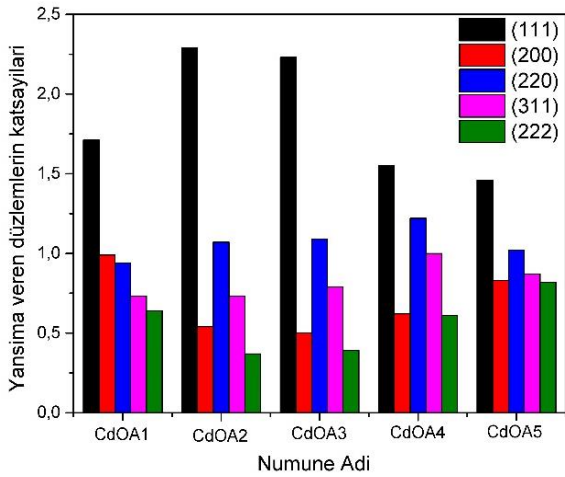
Tablo 1. Ag katkılı CdO filmlerin hkl, 2 θ , FWHM, I, TC, D, d, a, V, değerleri

Numune Adı	Düzlem (hkl)	2 θ (°)	FWHM (°)	I _o	Şiddet	I	I/I _o	Tc	D (nm)	δ x10 ¹²	ϵ	d ₀ (Å)	d (Å)	a (Å)	a _{avg} (Å)	V (Å) ³
CdAg1	(111)	33.01	0.333	100	751	100	1.00	1.71	23	1.91	0.00409	2.712	2.711	4.69625	4.695	103.510
	(200)	38.30	0.323	86	374	50	0.58	0.99	23	1.85	0.00398	2.349	2.348	4.69634		
	(220)	55.27	0.344	48	198	26	0.55	0.94	20	2.39	0.00477	1.661	1.661	4.69720		
	(311)	65.96	0.388	31.2	100	13	0.43	0.73	17	3.39	0.00604	1.416	1.415	4.69333		
	(222)	69.30	0.339	13.6	38	5	0.37	0.64	19	2.69	0.00550	1.355	1.355	4.69324		
CdAg2	(111)	33.05	0.336	100	1683	100	1.00	2.29	23	1.95	0.00413	2.712	2.708	4.69072	4.689	103.093
	(200)	38.33	0.300	86	340	20	0.23	0.54	25	1.60	0.00370	2.349	2.346	4.69281		
	(220)	55.44	0.303	48	378	22	0.47	1.07	23	1.86	0.00421	1.661	1.656	4.68393		
	(311)	66.05	0.391	31.2	168	10	0.32	0.73	17	3.45	0.00610	1.416	1.413	4.68766		
	(222)	69.36	0.278	13.6	37	2	0.16	0.37	23	1.81	0.00451	1.355	1.354	4.68969		
CdAg3	(111)	33.05	0.332	100	1432	100	1.00	2.23	23	1.90	0.00408	2.712	2.708	4.69072	4.689	103.097
	(200)	38.36	0.330	86	275	19	0.22	0.50	23	1.94	0.00407	2.349	2.345	4.68927		
	(220)	55.36	0.323	48	336	23	0.49	1.09	22	2.11	0.00448	1.661	1.658	4.69017		
	(311)	66.07	0.390	31.2	157	11	0.35	0.79	17	3.43	0.00608	1.416	1.413	4.68640		
	(222)	69.38	0.264	13.6	34	2	0.17	0.39	25	1.63	0.00429	1.355	1.353	4.68851		
CdAg4	(111)	33.05	0.376	100	2123	100	1.00	1.55	20	2.44	0.00462	2.712	2.708	4.69072	4.690	103.152
	(200)	38.32	0.390	86	734	35	0.40	0.62	19	2.70	0.00481	2.349	2.347	4.69399		
	(220)	55.36	0.390	48	801	38	0.79	1.22	18	3.08	0.00541	1.661	1.658	4.69017		
	(311)	66.05	0.433	31.2	429	20	0.65	1.00	15	4.23	0.00675	1.416	1.413	4.68766		
	(222)	69.41	0.418	13.6	114	5	0.39	0.61	16	4.10	0.00679	1.355	1.353	4.68673		
CdAg5	(111)	33.06	0.342	100	1484	100	1.00	1.46	22	2.02	0.00420	2.712	2.707	4.68934	4.690	103.165
	(200)	38.37	0.394	86	730	49	0.57	0.83	19	2.76	0.00486	2.349	2.344	4.68810		
	(220)	55.41	0.385	48	497	33	0.70	1.02	18	3.00	0.00534	1.661	1.657	4.68627		
	(311)	65.97	0.354	31.2	275	19	0.59	0.87	19	2.82	0.00552	1.416	1.415	4.69270		
	(222)	69.29	0.360	13.6	114	8	0.56	0.82	18	3.04	0.00584	1.355	1.355	4.69383		

Ag katkılı CdO ince filmlerin texture coefficient (TC(hkl)) değerleri XRD sonuçlarından aşağıdaki formül kullanarak hesaplanmış ve tablo 1 de verilmiştir.

$$TC(hkl) = \frac{I(hkl)/I_0(hkl)}{N^{-1} \sum_N I(hkl)/I_0(hkl)} \quad (3)$$

Bu denklemde I (hkl) değeri ölçülen pik şiddeti, I₀ (hkl) ise ICSD data karttan alınan standart şiddet ve N is yansıma veren düzlem sayısıdır [1]. Ag katkısının artmasıyla numunelerin tercihi yönelimi değişmemekte ve (111) olarak görülmektedir. Güney ve İskenderoğlunun 2021 yılında yaptıkları çalışmada da Ag katkılı CdO filmler optik cam üzerine büyütülmüş ve tercihi yönelimlerinin (200) olduğunu bulmuşlardır (Güney ve İskenderoğlu, 2021). Buradan hareketle altlık seçiminin tercihi yönelimi belirleme de önemli bir parametre olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca Aşağıdaki Şekil 3'de de görüldüğü üzere bütün ince filmlerin tercihi yönelimi olan (111) düzleminin TC değeri olması gerektiği gibi 1 den büyüktür.



Şekil 3. Ag katkılı CdO filmlerin TC değişimi

Numunelerin önemli kristal parametlerinden biri olan ince filmlerin düzlemler arası mesafesi (d) Bragg yasası ile hesaplanmış ve Tablo 1'de gösterilmiştir. Table 1 de hesaplanan d değerleri ile ICSD kart numarası 03-065-2908 olan standart karttaki değerleri ile karşılaştırılmıştır. Kübik CdO yapısının Latis sabiti (a) ve birim hücrenin hacmi (V) aşağıda verilen formüller yardımıyla hesaplanmıştır.

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

$$V = a^3 \quad (5)$$

Tablo 1'de görülebildiği üzere, a' nin ortalama değerleri sırasıyla 4.695, 4.689, 4.689, 4.690 ve 4.690 Å and V' nin ortalama değerleri 103.510, 103.093, 103.097, 103.152 ve 103.162 Å³ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, ICSD kartındaki kübik CdO yapıları için standart verilerle uyumludur. Bütün bu hesaplamalar CdO in başarılı bir şekilde büyütüldüğünü de göstermektedir.

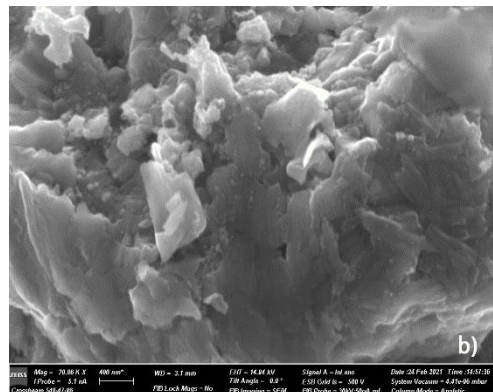
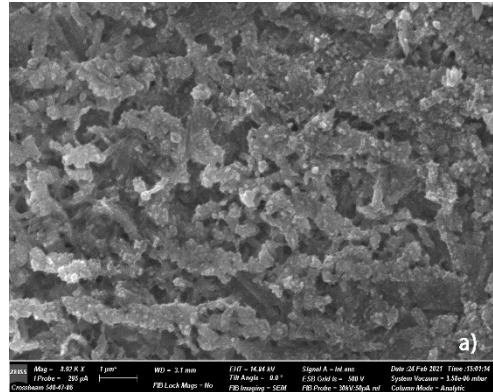
Filmlerin dislokasyon yoğunluk (δ) değerleri ile mikrozorlanma (ε) değerleri aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanmış ve Tablo 1 de paylaşılmıştır.

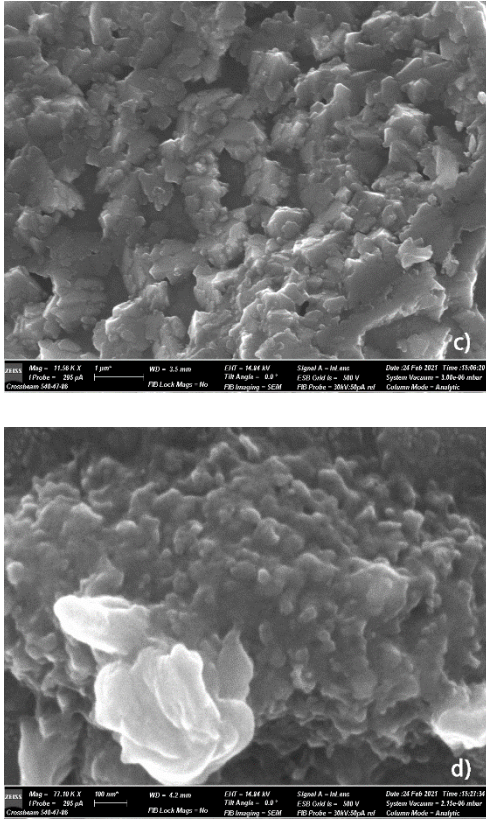
$$\delta = \frac{1}{D^2} \quad (6)$$

$$\varepsilon = \left(\frac{1}{\sin\theta} \right) \left[\left(\frac{\lambda}{D} \right) - (\beta \cos\theta) \right] \quad (7)$$

bu denklemde D kristal boyutu, β radyan olarak yansıma veren düzlemin pik şiddetinin maksimum yüksekliğinin yarısının genişliği ve λ ise X ışınının dalga boyudur (λ=1.5418 Å).

Tablo 1'i incelediğimizde en düşük dislokasyon yoğunluğu değerleri için CdOA1 ve CdOA2 filmlerinde (200) düzlemine ait olduğu CdOA3 filmi için (222) düzleminde ve CdOA4 ve CdOA5 için ise (111) düzlemlerine ait olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, farklı Ag katkısının CdO'nun kristallik derecesinde önemli bir farklılaşmaya neden olmadığını da gösterir.





Şekil 4. a) ve b) CdOA1, c) ve d) CdOA5 numunelerinin SEM görüntüleri

İnce filmlerin birçok özelliğinde önemli etken olan SEM görüntüleri, Ag katkı miktarının değişiminin etkisini gözlemlemek için alınmış ve Şekil 4'de gösterilmiştir. Yüzey morfolojisinin Ag katkı oranına göre değişimini araştırmak için farklı büyütmelerdeki CdO: Ag ince filmlerin SEM görüntüleri analiz edilmiş ve en az katkı miktarı ile en fazla katkı miktarının görüntüleri Şekil 4'de gösterilmektedir. Şekil 4'de Ag katkısı arttıkça numunelerde yüzey morfolojilerinin değişiminde de XRD sonuçlarını doğrulayan şekilde önemli bir değişiklik olmadığı da açıkça görülmektedir. Şekli 4'de Ag katkılanmış ince filmlerin XRD verilerine göre CdO yapısı içerisinde Ag miktarının değişimine rağmen kübik yapılarının olduğu fakat SEM görüntülerinde bu kübik yapılar tetragonal bir kristal yapısına sahip olan ito altlıklar üzerinde bir araya geldiklerinden köşeli yapıları oluşturduğu gözlenmektedir. Ayrıca bu yapıların da Ag katkısı ile birlikte daha küçük parçalara ayrıldığı düşünülmektedir.

4. Tartışma ve sonuçlar

Bu çalışmamızda gümüş (Ag) katkılı CdO filmleri püskürtme tekniği ile ince film olarak başarılı bir şekilde büyütülmüş, XRD ve SEM aracılığı ile morfolojik ve yapısal özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar analiz edildiğinde püskürtme tekniği ile

büyütülen numuneler kübik kristal yapıda olduğu ve yüzey morfolojisinin de Ag katkı miktarının değişimi ile önemli ölçüde değişmediği sergilenmiştir. Ayrıca XRD verilerinden yaptığımız hesaplamalarla numuneye ait birçok özelliğin detaylı olarak incelenmesi sağlanmış ve katkı miktarının değişiminin etkisi incelenmiştir.

Kaynaklar

- Aksoy, S., Caglar, Y., Ilcan, S. and Caglar, M. (2009). Effect of heat treatment on physical properties of CdO films deposited by sol-gel method. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(12), 5191-5195, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.09.057>
- Ali, O. (2017). Study of Structural, morphological and optical properties of pure CdO and Ag: CdO doped thin films on glass substrates with high relatively Ag concentrations (2.5%, 5% 10% and 15%) prepared by Sol-Gel method, *Journal of Applied Physics*, 9, 1-8. <https://doi.org/10.9790/4861-0901030108>
- Dakhel, A. A. and Henari, F. Z. (2003). Optical characterization of thermally evaporated thin CdO films. *Crystal Research and Technology*, 38(11), 979-985, <https://doi.org/10.1002/crat.200310124>
- Ferro, R., Rodriguez, J. A. (1999). Some physical properties of F-doped CdO thin films deposited by spray pyrolysis, *Thin solid films*, 347(1-2), 295-298.
- Gupta, R. K., Ghosh, K., Patel, R. and Kahol, P. K. (2009). Highly conducting and transparent Ti-doped CdO films by pulsed laser deposition, *Applied Surface Science*, 255(12), 6252-6255, <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2009.01.091>
- Güney, H. ve İskenderoğlu, D. (2017). SILAR yöntemi ile büyütülen katkısız ve Zn katkılı CdO yar iletken ince filmlerinin yapısal, optik ve morfolojik özelliklerinin incelenmesi, *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(6), 1-1. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.312291>
- Güney, H. and İskenderoğlu, D. (2021). CdO: Ag semiconductor nanowires grown by spray method, *Journal of Alloys and Compounds*, 865 158924, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.158924>
- İskenderoğlu, D. ve Güney H. (2018). CdO: Ag ince filmlerinin SILAR tekniği ile büyütülmesi ve karakterizasyonu, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* (2019), 9 (1), 128-135, <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.360478>

Li, X., Young, D. L., Moutinho, H., Yan, Y., Narayanswamy, C., Gessert, T. A. and Coutts, T. J. (2001). Properties of CdO thin films produced by chemical vapor deposition, *Electrochemical Solid-State Letters*, 4(6), C43-C46.

Salunkhe, R. R. and Lokhande, C. D. (2008). Effect of film thickness on liquefied petroleum gas (LPG) sensing properties of SILAR deposited CdO thin films, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 129(1), 345-351, <https://doi.org/10.1016/j.snb.2007.08.035>