



Farklı molaritede $Pb(NO_3)_2$ çözeltisi kullanılarak kimyasal banyo depolaması yöntemi ile elde edilen Pbs filmlerin bazı fiziksel özellikleri

Some physical properties of the Pbs films obtained by chemical bath deposition using different molarity $Pb(NO_3)_2$ solution

Ayça Kıyak Yıldırım¹, Barış Altıokka¹

¹Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Bilecik

MAKALEBİLGİSİ

Geliş Tarihi: 10.02.2018
Revizyon Tarihi: 24.04.2018
Kabul Tarihi: 30.04.2018
Elektronik Yayın Tarihi: 30.04.2018
Basım: 15.05.2018

Ö Z E T

Kimyasal banyo depozisyon metot kullanılarak üretilen nanokristal PbS ince filmler incelenmiştir. Tüm deneylerde, $Pb(NO_3)_2$ ve $CS(NH_2)_2$ çözeltisi kullanılmıştır. Depozisyon sıcaklığı depozisyon boyunca $20^{\circ}C$ 'de tutulmuştur. Depozisyon çözeltisinin pH değeri 11,5 olarak ayarlanmıştır. Nanokristal PbS ince filmlerin karakterizasyonu X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. XRD sonuçlarına göre, tüm filmlerin kübik PbS yapısında olduğu anlaşılmıştır. $Pb(NO_3)_2$ konsantrasyonunun molarite değeri arttıkça filmlerin kalınlığının arttığı gözlenmiştir. $Pb(NO_3)_2$ molaritesi 0,011 M olarak üretilen ince filmin , üretilen diğer ince filmlere göre daha yüksek XRD pik şiddetine sahip olduğu gözlenmiştir. Fakat SEM görüntüleri incelendiğinde $Pb(NO_3)_2$ molaritesi 0,009 M olarak üretilen ince filmin daha az pinhole sahip olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: PbS, Kimyasal banyo depozisyonu, $Pb(NO_3)_2$, $CS(NH_2)_2$

A B S T R A C T

Nanocrystalline PbS thin films produced using the chemical bath deposition method have been investigated. In all experiments, $Pb(NO_3)_2$ solution and $CS(NH_2)_2$ solution were used and the deposition temperature was maintained at $20^{\circ}C$ throughout the deposition. The pH value of the deposition solution is set to 11,5. Characterization of nanocrystalline PbS thin films was performed using X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) methods. XRD results show that all films are in the cubic PbS structure. As the molarity value of the $Pb(NO_3)_2$ concentration increases, the thickness of the films increases. It has been observed that the thin film produced as $Pb(NO_3)_2$ molarity 0,011 M has a higher XRD peak intensity than the other thin films produced. However, when SEM images are examined, it is observed that the thin film produced as 0,009 M of $Pb(NO_3)_2$ molarity has less pinhole.

Key Words: PbS, Chemical Bath Deposition, $Pb(NO_3)_2$, $CS(NH_2)_2$

1. Giriş

Son yıllarda, yarıiletken nanoyapılı materyallerin geliştirilmesine olan ilgi, eşsiz fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak hızla büyümüştür [1]. Güneş pilleri, optoelektronik cihazlar, fotokondüktörler, sensör ve kızılötesi dedektör cihazları gibi alanlardaki potansiyel uygulamaya sahip olmaları bunun sebebidir [2]. Çekiciliği, sentetik maliyetinin düşük olması, çözelti işleme yeteneği, boyut, şekil, katkılama ve yüzey kimyasına gibi optoelektronik özelliklerine bağlılığından kaynaklanmaktadır [3-4]. Bu nedenle, farklı nanoyapılara sahip yarı iletken nanokristallerin şekil kontrollü sentezi üzerine birçok çalışma bildirilmiştir [5-6].

Son zamanlarda, nanokristal PbS ince filminin büyümesi üzerine yapılan araştırmalar, luminans cihazlar, fotokimyasal hücre, optoelektronikler, güneş pili, diyot lazer gibi gelecekteki uygulamaları nedeniyle tercih edilmektedir [7]. PbS, 300 K'de 0,41 eV'lik dar yasak bant aralığına sahip IV-VI yarı iletken malzemelerden olup nispeten büyük Bohr uyarım yarıçapına (18 nm) sahiptir [8]. PbS, kuantum noktalar uygulaması için umut verici bir adaydır [9] yasak bant aralığı, nanokristal oluşturarak görünür bölgeye genişletilebilir [10]. PbS'nin yasak bant aralığı, bulk malzemelerden nanokristal yapılara kadar şekil ve boyut değiştirilerek 0.39 eV'den 5.2 eV değerine kadar değişebilir [11].

Birçok araştırmacı, elektrodepozisyon [12], SILAR [13], püskürtme piroliz [14], vakum buharlaştırma [15], kimyasal banyo depolaması [16,17] gibi farklı tekniklerle PbS ince filmlerinin üretimini rapor etmiştir. Bu yöntemler arasında, kimyasal banyo depolanması, geniş alan depozisyonu için uygun, ucuz, düzgün film depozisyonu gibi diğer tekniklerle karşılaştırıldığında birkaç avantaja sahiptir, ayrıca gelişmiş cihazlar gerektirmez [18,19]. pH değeri, depozisyon sıcaklığı, kurşun ve kükürt iyonlarının konsantrasyonu gibi depozisyon parametreleri, iyi kalitede film elde etmek için optimize edilir [20]. Bu çalışmada, kimyasal banyo depolaması ile nanokristal PbS ince filmler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu filmlerin yapısal ve yüzey morfolojik özellikleri incelenmiştir.

2. Gereç ve Yöntem

Nanokristal PbS ince filmler kimyasal depozisyon metot kullanılarak temizlenmiş cam alt katman üzerine depolanmıştır. Cam yüzeyler nitrik asit ve izopropil alkol kullanılarak temizlenmiş ve bundan sonra damıtılmış su ile birkaç kez yıkanmıştır. PbS ince filmlerinin hazırlanması için dört farklı molarite de $Pb(NO_3)_2$ çözeltisi ayrı ayrı hazırlanmış ve $CS(NH_2)_2$ çözeltisi eklenerek 600 rpm'de döndürülerek birlikte karıştırılmıştır. Banyo çözeltisinin pH değeri damla damla NH_3 eklenerek 11,5 olarak ayarlanmıştır. Depozisyon parametreleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Cam yüzeyler çözeltiye dikey olarak daldırılmıştır. Karışım çözeltisi 70 mL olarak ayarlanmıştır ve oda sıcaklığı olan $20^{\circ}C$ 'de 30 dakika tutulmuştur. Depozisyonundan sonra, her iki tarafında PbS ile kaplanan cam alt tabanlar çıkarılmıştır, damıtılmış suyla iyice yıkanarak hava ortamında kurutulmuştur. Depozisyon sırasında banyo duvarına bakan alt tabaka yüzeyi incelemek için kullanılmıştır, ancak diğer yüzey, %10 seyreltik hidroklorik asit ile temizlenmiştir.

Üretilen PbS incefilmlerinin kalınlıkları, gravimetrik yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. PbS ince filmlerin yapısal özelliklerini analiz etmek için PANalytical Empyrean XRD (X-ışını kırınım ölçeri) kullanılmıştır. PbS ince filmlerin yüzey morfolojisini analiz etmek için ise Zeiss SUPRA 40VP SEM (taramalı elektron mikroskopu) kullanılmıştır.

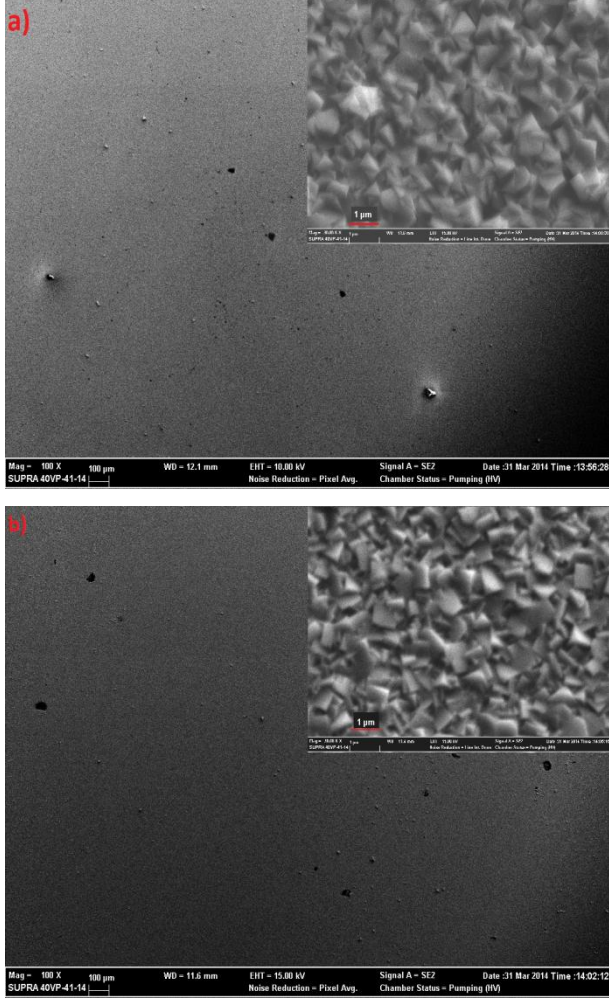
Tablo 1 Depozisyon parametreleri

Deneyler	$Pb(NO_3)_2$ (M)	$CS(NH_2)_2$ (M)	Depozisyon Süresi dk	Çözelti Hacmi mL	Depozisyon Sıcaklığı $^{\circ}C$	pH
SET I	0.0070	0.0510	30	70	20	11.5
SET II	0.0080	0.0510	30	70	20	11.5
SET III	0.0090	0.0510	30	70	20	11.5
SET IV	0.0100	0.0510	30	70	20	11.5
SET V	0.0110	0.0510	30	70	20	11.5

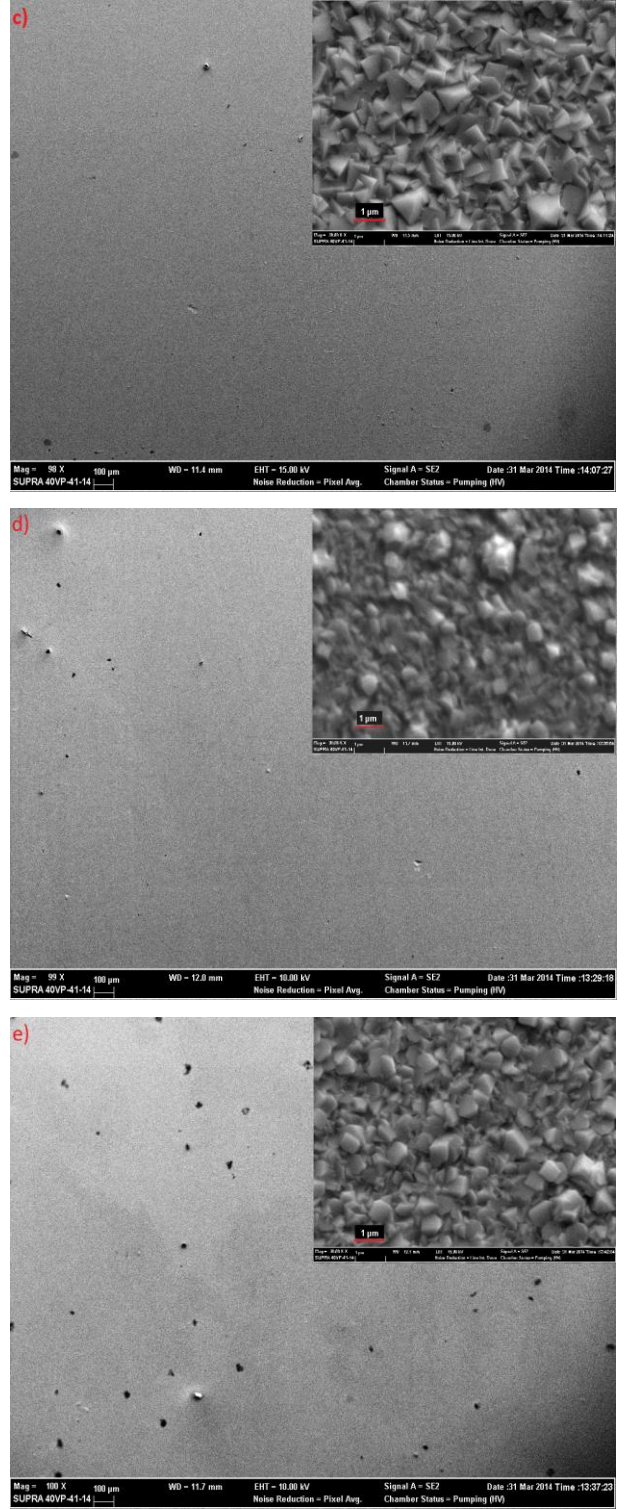
2.1 Elde Edilen PbS ince Filmlerinin SEM Analizleri

Kimyasal banyo depolaması ile elde edilen PbS ince filmlerinin yüzey morfolojileri JEOL SM-5600LV elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Set I'den Set V kadar elde edilen PbS ince filmlerinin 100 büyütmedeki ve 30000 büyütmedeki SEM görüntüleri. Şekil 2.1'de verilmektedir. Şekil 2.1'de yer alan bütün PbS ince filmlerinin 100 kat

büyütmeleri incelendiğinde yüzeylerinde pinhol olduğu görülmektedir. Üretilen PbS ince filminin Şekil 2.1 c’de görülen SEM görüntüsünden, tanelerin pramite benzer yapıda olduğu gözlenmektedir ve pinhollerin daha az ve daha küçük olduğu gözlenmiştir. Şekil 2.1 d ve Şekil 2.1 e incelendiğinde üretilen PbS ince filmlerinin tanelerin pramite benzer yapıda olduğu gözlenmektedir ancak pramit yapının uç kısımları bozulmuştur ve pinholler daha fazladır.



Şekil 2.1 a) Set I’den b) Set II’den elde edilen PbS ince filmlerinin 100 büyütmeki ve 30000 büyütmeki SEM görüntüleri.

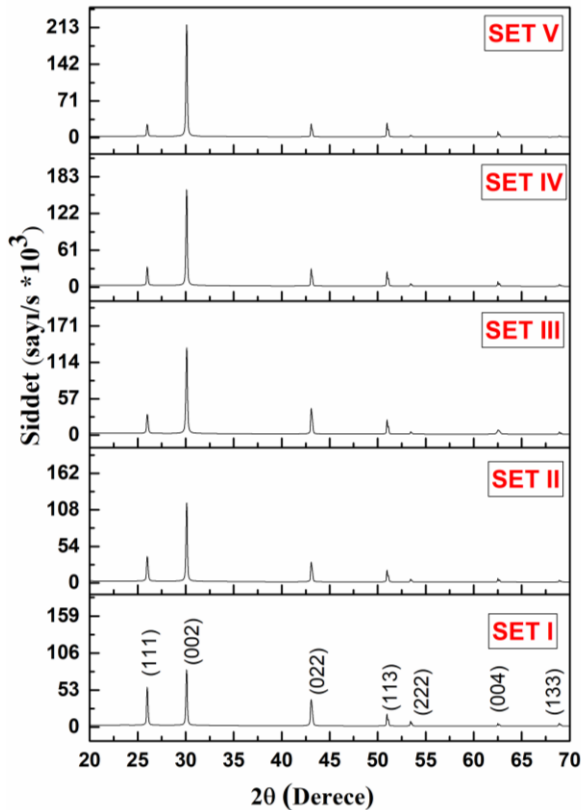


Şekil 2.1 c) Set III’den d) Set IV’den e) Set V’den elde edilen PbS ince filmlerinin 100 büyütmeki ve 30000 büyütmeki SEM görüntüleri.

2.2. Elde Edilen PbS ince Filmlerinin X-ışını Analizleri

XRD tekniği ile maddenin kristal yapısı, kristalit büyüklüğü, tercihli yönelimi, deformasyonu (strain) ve birim yüzeye etki eden kuvvet gerilimi (stres) gibi özellikleri belirlenebilir. Şekil 2.2’de elde edilen PbS ince filmlerinin XRD sonuçlarını görülmektedir.

Set I, Set II, Set III, Set IV ve Set V’de üretilen PbS ince filmlerin XRD analizleri Şekil 2.2’de verilmiştir. Bu filmlerde 25,9° civarında gözükten pik PbS’nin (111) düzlemine ait pikidir. 30° civarında gözükten pik PbS’ye ait (002) düzleminin pikidir. 43° civarındaki pik PbS’nin (022) düzlemine aittir. 50,9°; 53,4° 62,5° ve 68,9°’de gözükten pikler ise PbS’nin sırasıyla (113), (222) (004) ve (133) düzlemlerine aittir. Bu pikler incelenerek (98-060-0243) numaralı ASTM kartı ile uyumlu oldukları belirlenmiştir. XRD analizlerinde, bütün filmlerin kübik yapıda oldukları belirlenmiştir. Gravimetrik analiz kullanarak PbS ince filmleri için hesaplanan film kalınlıkları ise Tablo 2’de yer almaktadır.



Şekil 2.2 Set I, Set II, Set III, Set IV ve Set V’de üretilen PbS ince filmlerin XRD analizleri

PbS ince filmlerin tercihli yönelimini belirlenmesi amacıyla yapılanma katsayısı TC (Texture coefficient) kullanılmaktadır. Yapılanma katsayısı, üretilen filmin yansıma şiddetinin, bu filmdeki bağıl değeri olarak tanımlanır. Herhangi bir (hkl) yansıma düzlemi için denklem (1)’den hesaplanmaktadır. Eğer yapılanma katsayısı değeri 1’den büyük bir den fazla yansıma düzlemi mevcut ise, tercihli yönelimden bahsedilemez [21-24]. Bu çalışmada elde edilen filmlerin yapılanma katsayısı değeri denklem (1) kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 2’de verilmiştir.

$$TC = \frac{I_{(hkl)}/I_{0(hkl)}}{\frac{1}{N} \sum_N \left(\frac{I_{(hkl)}}{I_{0(hkl)}} \right)} \quad (1)$$

X-ışınlarının kırınım deseninden yararlanarak tane büyüklüğü hesaplanabilir. Tane büyüklüğü arttıkça, elde edilen kırınım deseninde yansıyan ışınların şiddetini gösteren piklerin de daraldığı görülür. Tane büyüklüğü kristal yapı tayini için çok önemlidir ve denklem (2)’de verilen Scherrer formülü ile hesaplanabilmektedir [25]. Bu çalışmada elde edilen filmlerin tane büyüklüğü denklem (2) kullanılarak hesaplanmıştır ve Tablo 3 de verilmiştir.

$$D = \frac{0,9\lambda}{B(\text{radyan})\cos(\theta_B)} \quad (2)$$

Burada D tane büyüklüğü, λ kırınımında kullanılan x-ışınının dalga boyu, B dikkate alınan pikin yarı maksimumundaki genişliği, θ_B dikkate alınan pikin Bragg yansıma açısıdır [25].

Kübik kaya tuzu yapısının örgü sabiti denklem (3) kullanılarak hesaplanmıştır,

$$a = d\sqrt{(h^2 + k^2 + l^2)} \quad (3)$$

burada h , k ve l Miller indisleri, d ise düzlemler arası mesafedir [26]. Ayrıca mikro gerginlik ve ortalama gerilme sırasıyla denklem (4) ve denklem (5) kullanılarak

$$\varepsilon = (a_0 - a)/a_0 \quad (4)$$

$$S = \varepsilon Y / (2\sigma) \quad (5)$$

tüm düzlemler için hesaplanmıştır ve Tablo 3'te verilmektedir. Burada a_0 ve a sırasıyla, bulk örneğinin örgü parametresi ve ince film numunelerinin örgü parametresinin düzeltilmiş değeridir. σ ve Y ise sırasıyla, bulk kristalinin Poisson oranı ve Young modülüdür. PbS için Y 'nin değeri 70.2 GPa alınır ve σ değeri ise 0.28 olarak alınmaktadır. Düzeltilmiş değerler Şekil 2.3'de verilen Nelson-Riley grafikleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 2. Elde edilen PbS ince filmlerin XRD şiddetleri, hesaplanan yapılanma katsayısı değerleri ve gravimetrik analiz kullanarak hesaplanan film kalınlıkları

DENEY	2 θ	ŞİDDET (SAYI/SANİYE)	I/I ₀	TC	(hkl)	FİLM KALINLIĞI (nm)
SET I	25,993	57029,45	63,99	1,71	(111)	510
	30,075	82289,79	100	2,68	(002)	
	43,075	39371,96	49,52	1,33	(022)	
	50,979	18698,71	25,83	0,69	(113)	
	53,423	8548,019	10,49	0,28	(222)	
	62,523	5226,319	5,67	0,15	(004)	
68,893	5156,189	5,74	0,15	(133)		
SET II	25,995	39125,75	17,90	2,74	(111)	568
	30,080	116639,2	100	1,67	(002)	
	43,071	30995,79	20,29	1,37	(022)	
	51,021	19013,51	17,97	0,57	(113)	
	53,450	5087,784	3,04	0,40	(222)	
	62,530	6511,484	5,97	0,09	(004)	
68,927	3611,427	2,25	0,17	(133)		
SET III	26,001	32306,29	21,47	2,62	(111)	620
	30,084	132115,9	100	1,67	(002)	
	43,077	42162,21	34,70	1,42	(022)	
	51,024	23932,22	21,05	0,60	(113)	
	53,457	4596,631	3,57	0,40	(222)	
	62,537	7793,249	5,27	0,10	(004)	
68,933	4219,222	3,33	0,19	(133)		
SET IV	25,998	33527,27	28,33	2,97	(111)	692
	30,082	161688,8	100	1,45	(002)	
	43,076	30412,39	27,38	1,36	(022)	
	51,026	25639,13	18,02	0,55	(113)	
	53,457	5467,675	4,08	0,41	(222)	
	62,534	9336,732	5,50	0,08	(004)	
68,931	3889,449	2,88	0,18	(133)		
SET V	28,984	26359,73	10,09	2,52	(111)	755
	30,067	217897,6	100	1,64	(002)	
	43,058	26985,23	13,10	1,49	(022)	
	50,977	28638,22	14,78	0,68	(113)	
	53,443	4543,308	1,76	0,41	(222)	
	62,519	11974,92	5,89	0,09	(004)	
68,917	3387,762	1,28	0,18	(133)		

Herbir yansımanın pik konumlarından hesaplanan örgü parametreleri denklem (6) da verilen $F(\theta)$ 'ya karşılık çizilmiştir.

$$F(\theta) = (\cos^2\theta/2) * (\frac{1}{\sin^2\theta} + \frac{1}{\theta}) \quad (6)$$

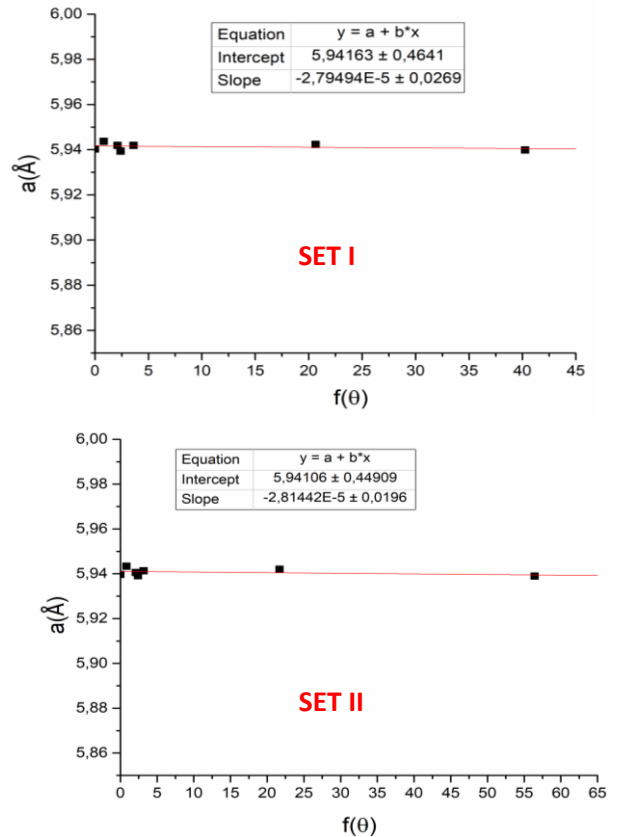
ve doğrusal çizgiyi kestiği nokta olan denklem (7)

$$(\cos^2\theta/2) * (\frac{1}{\sin^2\theta} + \frac{1}{\theta}) = 0 \quad (7)$$

düzeltilmiş kafes sabitinin bulunmasını sağlamıştır ve Tablo 3'te verilmektedir [27]. Hesaplanan örgü parametresinin (a) geriniminin bulk örneğin yüzeyinden ($a_0 = 5.936$ nm) sapması, elde edilen filmlerin gerinim altında olduğunu göstermektedir [27]. Dislokasyon yoğunluğu, denklem (8) verildiği gibi

$$\delta = \frac{1}{(cs)^2} \quad (8)$$

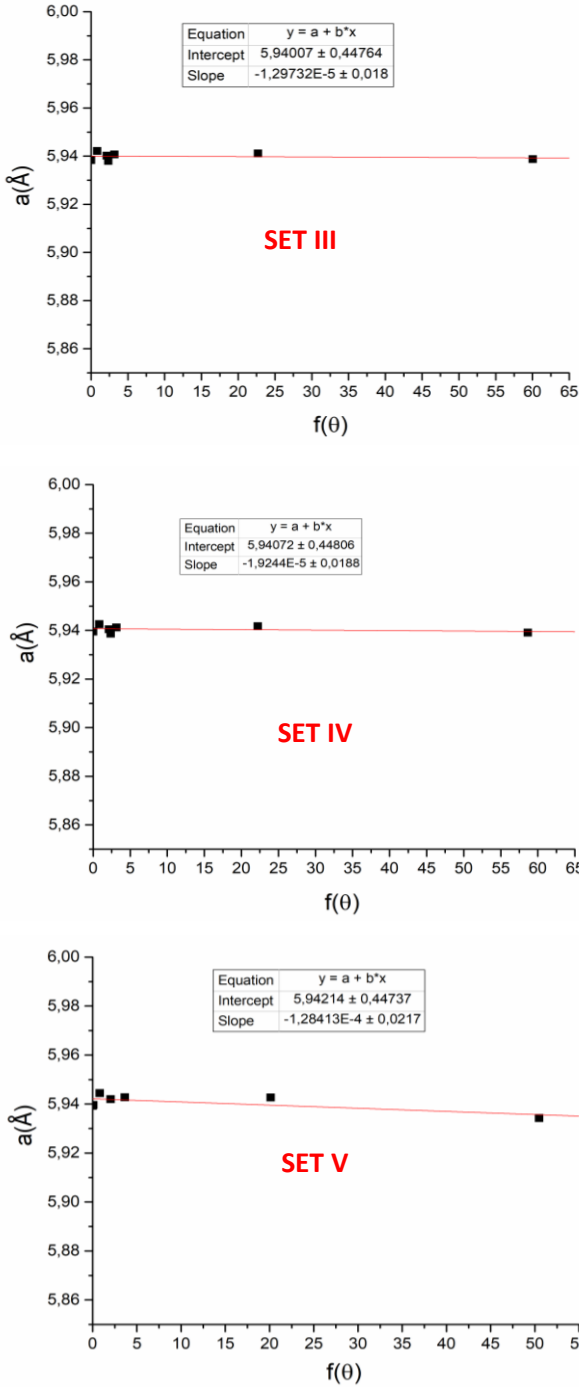
tane boyutundan türetilbilir ve Tablo 3'te verilmektedir [28].



Şekil 2.3 Set I ve Set II'de üretilen PbS ince filmlerin Nelson-Riley grafikleri

Tablo 3. Set I, Set II, Set III, Set IV ve Set V’de üretilen PbS ince filmlerin tane büyüklükleri, dislokasyon yoğunlukları, doğrulanan örgü parametreleri, mikro gerginlik değerleri ve ortalama gerilme değerleri

DENEY	TANE BÜYÜKLÜĞÜ (nm)	ÖRGÜ PARAMETRESİ a (DOĞRULANAN) (Å)	MİKRO STRAIN *10 ⁻⁴	DİSLOKASYON YOĞUNLUĞU (lines/m ²)*10 ¹⁴	ORTALAMA STRESS (10 ⁷ N/m ²)	
SET I	25,993	63,02	5,939341	5,63	2,52	7,06
	30,075	63,58	5,94372	13,01	2,47	16,3
	43,075	55,00	5,941931	9,99	3,31	12,5
	50,979	85,04	5,941932	9,99	1,38	12,5
	53,423	85,94	5,940311	7,26	1,35	9,10
	62,523	89,80	5,94236	10,71	1,24	13,4
	68,893	74,45	5,939872	6,52	1,80	8,18
SET II	25,995	63,02	5,939081	5,19	2,52	6,51
	30,080	63,58	5,94338	12,43	2,47	15,6
	43,071	82,53	5,940517	7,61	1,47	9,54
	51,021	42,51	5,941335	8,99	5,53	11,3
	53,450	85,94	5,939722	6,27	1,35	7,86
	62,530	44,88	5,942	10,11	4,96	12,7
	68,927	93,11	5,938913	4,91	1,15	6,15
SET III	26,001	63,01	5,93799	3,352	2,52	4,20
	30,084	63,58	5,94218	10,41	2,47	13,1
	43,077	54,99	5,940178	7,038	3,31	8,82
	51,024	85,06	5,940738	7,982	1,38	10,0
	53,457	85,95	5,938302	3,877	1,35	4,86
	62,537	89,81	5,94116	8,693	1,24	10,9
68,933	74,47	5,938782	4,686	1,80	5,87	
SET IV	25,998	63,02	5,9387	4,548	2,52	5,70
	30,082	63,58	5,9426	11,12	2,47	13,9
	43,076	82,53	5,940489	7,562	1,47	9,48
	51,026	42,51	5,941203	8,765	5,53	11,0
	53,457	85,95	5,939549	5,978	1,35	7,49
	62,534	35,92	5,94172	9,636	7,75	12,1
68,931	93,11	5,939087	5,200	1,15	6,52	
SET V	28,984	63,42	5,939635	6,124	2,49	7,68
	30,067	63,58	5,94448	14,29	2,47	17,9
	43,058	54,99	5,94196	10,04	3,31	12,6
	50,977	85,04	5,942728	11,33	1,38	14,2
	53,443	85,94	5,939272	5,511	1,35	6,91
	62,519	89,80	5,94268	11,25	1,24	14,1
68,917	76,31	5,934292	-2,877	1,72	-3,61	



Şekil 2.3 Set III, Set IV ve Set V’de üretilen PbS ince filmlerin Nelson-Riley grafikleri

3. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, PbS ince filmleri kimyasal banyoda büyütme tekniği ile cam tabanlar üzerine üretilmiştir. Film üretmek için $Pb(NO_3)_2$ ve $CS(NH_2)_2$ sulu çözeltileri kullanılmıştır. $CS(NH_2)_2$ miktarı sabit tutulurken $Pb(NO_3)_2$ molaritesi 0,007 ile 0,011 M arasında değiştirilmiştir. Üretilen tüm PbS filmlerin yapısal özellikleri XRD kullanılarak incelenmiştir.

XRD sonuçlarına göre üretilen bütün filmlerin kübik PbS olduğu anlaşılmıştır. Tüm filmlerin farklı düzlemlere ait 1'den büyük 3 adet yapılanma katsayısı değerlerinin bulunduğu tespit edilmiştir. Üretilen bütün filmler için tercihli yönelimin rastgele olduğu düşünülmektedir.

Pb(NO₃)₂ konsantrasyonunun molarite değeri arttıkça filmlerin kalınlığının arttığı gözlenmiştir. Pb(NO₃)₂ molaritesi 0,011 M olarak üretilen ince filmin, üretilen diğer ince filmlere göre daha yüksek XRD pik şiddetine sahip olduğu gözlenmiştir. Bu durumun film kalınlığıyla ilgili olduğu düşünülmektedir. Fakat SEM görüntüleri incelendiğinde Pb(NO₃)₂ molaritesi 0,009 M olarak üretilen ince filmin daha az pinhole sahip olduğu gözlenmiştir. Bu durumun Pb(NO₃)₂ molaritesi ile ilişkili olan reaksiyon hızına bağlı olduğu düşünülmektedir [29].

Üretilen bütün filmlerin dislokasyon yoğunlukları, mikro strain ve ortalama stress değerleri tüm Bragg açıları (2θ) için hesaplanmıştır. Elde edilen tüm filmler içerisinde 2θ değeri yaklaşık olarak 30° için tüm filmlerin dislokasyon yoğunluğunun aynı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca belirtilen bu 2θ değeri için Pb(NO₃)₂ molaritesi 0,011 M olarak üretilen ince filmin ortalama stress ve mikro strain değerlerinin üretilen tüm filmler içerisinde en büyük değerlere sahip olduğu görülmüştür. Bu durum doğrulanan örgü parametresinin (a) geriniminin bulk örneğin yüzeyinden (a₀ = 5.936 nm) sapma miktarı sonucunda elde edilen filmin gerinimin altında olduğu [27] sonucuyla ilişkilendirilmiştir.

4. KAYNAKLAR

[1] Y.N. Xia, P.D. Yang, Y.G. Sun, Y.Y. Wu, B. Mayers, B. Gates, Y.D. Yin, F. Kim, H.Q. Yan, 2003, One-dimensional nanostructures: synthesis, characterization, and applications, *Advanced Materials*, 15 (5), 353-359.

[2] H.K arami, M. Ghasemi, S. Matini, 2013, Synthesis, Characterization and Application of Lead Sulfide Nanostructures as Ammonia Gas Sensing Agent, *International Journal of electrochemical science*, 8, 11661– 11679

[3] A. P. Alivisatos, 1996, Perspectives on the physical chemistry of semiconductor nanocrystals, *Journal of Physical Chemistry*, 100, 13226–13239.

[4] C. E. Steven, Z. Lijun, M. Haftel, L. E. Alexander, A. K. Thomas, J. N. David, Doping semiconductor nanocrystals, 2005, *Nature*, 436, 91-94

[5] X. Peng, L. Manna, W. Yang, J. Wickham, E. Scher, A. Kadavanich, A. P. Alivisatos, 2000, Shape control of CdSe nanocrystals, *Nature*, 404, 6773, 59

[6] Y. Peng, A. W. Xu, B. Deng, M. Antonietti, H. Cölfen, 2006, Polymer-controlled crystallization of zinc oxide hexagonal nanorings and disks, *Journal of Physical Chemistry B*, 110, 2988-2993

[7] A. Hussain, A. Begum, A. Rahman, 2012, Characterization of Nanocrystalline Lead Sulphide Thin Films Prepared by Chemical Bath Deposition Technique, *King Fahd University of Petroleum and Minerals*

[8] Y.B. Zhao, J.H. Zou, W.F. Shi, 2005, In situ synthesis and characterization of lead sulfide nanocrystallites in the modified hyperbranched polyester by gamma ray irradiation, *Journal of Physical Chemistry B*, 121,20, 1–2

[9] M. Takahashi, Y. Ohshima, K. Nagata, S. Furuta, 1993, Electrodeposition of PbS films from acidic solution. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 281, 359

[10] D. Kumar, G. Agarwal, B. Tripathi, D. Vyas, V. Kulshrestha, 2009, Characterization of PbS nanoparticles synthesized by chemical bath deposition. *Journal of Alloys and Compounds*, 484, 463–466

[11] L.F. Koa, F. B. Dejene and H.C. Swart, 2014, Synthesis of PbS Nanostructures by Chemical Bath Deposition Method, *International journal of electrochemical science*, 147, 85-89

[12] S. Lindross, T. Kannianen, J. Ihanus, M. Leskela, 1996, ZnS thin films grown by SILAR on poly (vinyl chloride) and polycarbonate substrates, *Journal of Materials Chemistry*, 6, 1497–1500

[13] B. Thangaraju, P. Kaliannan, 2000, Spray pyrolytically deposited PbS thin films, *Semiconductor Science and Technology*, 15, 849–853

[14] D.L. Partin, J. Heremans, T.S. Moss, S. Mahajan, 1994, Handbook on Semiconductors, *Elsevier*, 3, 369

[15] P. O'Brien and J. McAleese, 1998, Developing an understanding of the processes controlling the chemical bath deposition of ZnS and CdS, *Journal of Materials Chemistry*, 8, 2309-2314

[16] P.K. Nair, M.T.S Nair, 1989, Versatile solar control characteristics of chemically deposited PbS-Cu_xS thin film combinations, *Semiconductor Science and Technology*, 4, 807

[17] K.M. Gadave, S.A. Jodgudri, C.D. Lokhande, 1994, Chemical deposition of PbS from acidic bath, *Thin Solid Films*, 245, 7-9

[18] S. Bhushan, M.Mukharjee and P. Bose, 2002, Electro-optical studies in chemically deposited La/Nd doped (Cd-Pb) S films, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 13, 581-584

[19] A. Hussain, A. Begum and A. Rahman, 2012, Electrical and optical properties of nanocrystalline lead sulphide thin films prepared by chemical bath deposition, 86, 8, 697–701

- [20] J. P. Nair, R. Jayakrishnan, C. B. Nanduve, R. K. Pandley, 1998, In situ Sb-doped CdTe Films, *Semicond. Science and Technology*, **13**(3), 340
- [21] S. B. Park, S. W. Moon and I. S. Woo, 2000, Preparation and characterization of lead zirconate titanate thin films, *Thin Solid Films*, **339**, 77-81
- [22] P. K. Manoj, K. G. Gopchandran, P. Koshy, V. K. Vaidyan and B. Joseph, 2006, Growth and characterization of indium oxide thin films prepared by spray pyrolysis, *Optical Materials*, **28**(12), 1405-1411
- [23] M. Saleem, L. F. Liang, A. Wakeel, M. Rashad and C. Y. Kong, 2012, Simple preparation and characterization of nano-crystalline zinc oxide thin films by sol-gel method on glass substrate, *World Journal of Condensed Matter Physics*, **2**, 10-15
- [24] Cullity B.D., X-Işınlarının Difaksiyonu, Çeviren; Sümer A., İTÜ Fizik Profesörü, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası Gümüşsuyu, (1966).
- [25] A. Hussain, A. Begum, and A. Rahman, 2013, Characterization of Nanocrystalline Lead Sulphide Thin Films Prepared by Chemical Bath Deposition Technique, *Arabian Journal for Science and Engineering*, **38**, 1, 169–174
- [26] S. Rajathi, K. Kirubavathi, and K. Selvaraju, 2015, Structural, morphological, optical, and photoluminescence properties of nanocrystalline PbS thin films grown by chemical bath deposition, *Arabian Journal of Chemistry*
- [27] A. N. Fouda, M. Marzook, H. M. Abd El-Khalek, S. Ahmed, E. A. Eid, A. B. El Basaty, 2017, Structural and Optical Characterization of Chemically Deposited PbS Thin Films, *Silicon*, **9**, 6, 809–816
- [28] A. Hussain, A. Begum, A. Rahman, 2013, Characterization of nanocrystalline lead sulphide thin films prepared by chemical bath deposition technique, *Arabian Journal for Science and Engineering*, **38**, 169–174
- [29] B. Altıokka, M. C. Baykul, M. R. Altıokka, 2013, Some physical effects of reaction rate on PbS thin films obtained by chemical bath deposition, *Journal of Crystal Growth*, **384**, 50-54