

N-Tipi SnS₂ Yarıiletken İnce Filmlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu

Cebrail GÜMÜŞ^{*1}, Gülay ALTINDEMİR¹

¹Çukurova Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 05.01.2016

Kabul tarihi: 16.05.2016

Özet

SnS₂ yarıiletken ince filmleri, kimyasal depolama yöntemi (KDY) kullanılarak 50-80°C'de cam alttabanlar üzerine elde edildi. X-ışını kırınım spektrumu filmlerin amorf yapıda olduklarını göstermiştir. SnS₂ filmlerin optik özelliklerini belirlemek için UV-vis spektrofotometresi kullanılmıştır. Filmlerin oda sıcaklığındaki optik geçirgenlik (%T) ve optik soğurma (A) değerleri 400-1100 nm dalga boyu aralığında belirlenmiştir. Elde edilen veriler ile filmlerin optik parametreleri olan soğurma katsayısı (α), kırılma indisi (n), sönüm katsayısı (k), reel, imajiner dielektrik sabitleri (\mathcal{E}_1 , \mathcal{E}_2) ve enerji bant aralığı (E_g) değerleri hesaplandı. Hall etkisi ölçümlerinden SnS₂ filmleri n-tipi iletkenliğe sahip olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: KDY, SnS₂ ince film, Yapısal özellikler, Optiksel özellikler

Preparation and Characterization of N-Type SnS₂ Semiconductor Thin Films

Abstract

SnS₂ semiconductor thin films were prepared by the chemical bath deposition (CBD) technique onto glass substrates deposited at 50–80°C. X-ray diffraction spectra of the films have shown that the films are amorphous in structure. To determine the optical properties of the SnS₂ films UV-vis spectrophotometer was used. Optical transmittance (%T) and optical absorption (A) values of the films were determined in the wavelength range 400-1100 nm at room temperature. The obtained data with optical parameters of the films absorption coefficient (α), refractive index (n), extinction coefficient (k), real, imaginary dielectric constants (\mathcal{E}_1 , \mathcal{E}_2) and the energy band gap (E_g) values were calculated. From the Hall effect measurement, it was found that SnS₂ thin films exhibits n-type conduction.

Keywords: CBD, SnS₂ thin film, Structural properties, Optical properties

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Cebrail GÜMÜŞ, Çukurova Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Adana. cgumus@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Yarıiletkenler, elektrik-elektronik mühendisliğinde yaygınca kullanılan malzemelerdir. Yarıiletken malzeme olan SnS₂ ince filmleri, iyi optiksel özelliklere sahip olmaları, 0.8–2.88 eV kadar değişen enerji bant aralığı değerleri alması ve n veya p-tipi elektriksel özellik göstermelerinden dolayı güneş pillerinde soğurucu ve pencere tabakası olarak kullanılmaktadır [1–3]. S-Sn-S sandwich katmanları kristal yapıda, kimyasal anlamda doymuş, iki boyutlu kovalent bağlı olarak oluşur. Tek tek katmanlar arasında zayıf van der Waals bağı vardır. Bunun sonucunda film katmanlarına yerleşen ideal atomlar sayesinde bu katmanları düzgün yüzeyli olarak ikiye ayırır. Bundan dolayı SnS₂ de oluşan arayüzler üzerine yapılacak kontaklar için çok iyi elektronik geçişler yapmasına olanak sağlar [4]. Kalay ve kükürdün doğada bol olması ve toksik olmaması da önemli avantajlarından [5,6]. SnS₂ ince filmleri fotodetektörlerde [7], gaz sensörlerinde [8], güneş pillerinde [9], lityum iyon bataryalar için elektrot olarak [10], transistörlerde [11], diyotlarda [12] süperiletken aygıtlarda [13] vs. gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

SnS₂ yarıiletken ince filmleri birçok yöntemle elde edilebilmektedir bu yöntemler arasında hidrotermal [14], ardışık iyonik tabaka adsorpsiyon ve reaksiyon yöntemi (SILAR) [15], plazma destekli kimyasal buhar biriktirme (PECVD) [16], spray pyrolysis tekniği [17], fiziksel buhar biriktirme yöntemi [18], sol-jel tekniği [19] ve kimyasal depolama yöntemi [20] sayılabilir. Kimyasal depolama yöntemi bu yöntemler arasında en basit ve ekonomik olması nedeniyle diğer yöntemlere göre daha avantajlıdır. Bu yöntem ile polikristal yada amorf malzeme üretilebilmektedir. Depo edilen ince filmin fiziksel özellikleri; çözeltilerin molaritesi, pH ve sıcaklığa bağlı olarak değiştirilebilmektedir. Ayrıca bu parametrelerin rahatça kontrol edilebilmesi açısından son yıllarda kimyasal depolama yöntemi en çok tercih edilen yöntemlerden biri olmuştur. Dahası düşük sıcaklıklarda farklı alttabanlar üzerine depolama yapılmasına olanak vermesi ve hazırlanan çözeltinin içine daldırılan alttaban

yüzeyinin her yerinde film oluşması yönüyle bu yöntemle geniş bir yüzeye film oluşturulur.

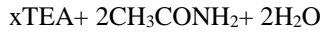
Bu çalışmada, film üretim sıcaklığının kimyasal depolama yöntemi ile cam alttabanlar üzerinde elde edilen SnS₂ ince filmlerin yapısal, optiksel ve morfolojik özelliklerine etkisi araştırıldı.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Deneysel Kısım

SnS₂ ince filmleri değişen sıcaklıklarda (50–80°C) 4 saat de 76 mm × 26 mm × 1 mm boyutlarındaki ticari cam alttabanlar üzerine kimyasal depolama yöntemiyle hazırlanıldı. Depolama öncesinde, cam alttabanlar deterjanla yıkandı sonra çeşme suyu ile durulandı daha sonrada kromik asitten geçirildi tekrar çeşme suyu ile durulandı ve son olarak da etil alkolden geçirilip saf suyla durulandı. Alttabanların temizlik işlemleri bittikten sonra etüvde 1 saat 100°C de kurutuldu. SnS₂ ince filmleri, 1 M'lık 5 ml SnCl₂·2H₂O, 3,75 M 15 ml lik trietanolamin, pH=10,7 tampon (amonyak /amonyum klorür), 1 M 5 ml tioasetamid, 0,66 M 0,8 ml trisodyum sitrat ve son olarak 70 ml saf su eklenerek kimyasal çözelti banyosu hazırlandı. Toplam çözelti hacmi 100 ml dir. Hazırlanan çözelti içerisine daldırılan filmler etüvde farklı sıcaklıklarda 4 saat bekletildi. Daha sonra çözeltilerden dışarı alınıp saf suyla yıkandı ve hava ortamında kurutuldu. Cam alttabanın iki yüzeyinde oluşan filmler kromik asitle temizlendi. Saf suyla yıkandı ve hava ortamında kurutuldu. Oluşan filmlerin açık kahverengi olduğu gözlemlendi. Çözelti içinde iyon-iyon veya kümeleşme yada kompleks mekanizması şeklinde reaksiyon gerçekleşme ihtimalleri vardır. Çözelti içerisinde büyük olasılıkla iyon iyon reaksiyonu gerçekleşmektedir. SnS₂ filmleri oluşurken çözelti içindeki sulu alkalin kalay tuzları ve kompleks öncüler bağlı olarak Sn⁺² yoğunluğu çözelti içerisinde yayılır. TEA ve TSS, Sn⁺⁴ için kompleks öncü ve S⁻² için ise amonyak kompleks öncü olarak davranır. Kompleks öncüler yardımı ile Sn⁺⁴ ve S⁻² iyonlarını yavaş yavaş sulu ortama bırakılmasını sağlar. Bu da çözelti içindeki cam üzerine dengeli bir şekilde iyon-iyon veya

kümeleşme yada kompleks mekanizması yoluyla SnS₂ ince filminin oluşmasını sağlar. Çözelti içindeki kimyasal reaksiyonun aşağıdaki gibi gerçekleştiği düşünülebilir.



Depolamanın ilk aşamasında Sn⁴⁺ iyon ile TEA arasında Sn[TEA]_x bağı olduğu kabul edilmektedir. Daha sonra diğer aşamalarda bozunarak Sn⁴⁺ iyonun dönüşür ve SnS₂ filmini oluşturur [21,22].

2.2. SnS₂ İnce Filmlerin Karakterizasyonu

Elde edilen filmlerin X-ışını analizleri Rigaku RadB difraktometre sistemi (CuKα₁, 1.5405 Å, 30 kV, 15 mA, tarama hızı 6 derece/dakika) ile otomatik veri hafızası kullanılarak 2θ=10°–80° aralığında yapıldı.

Filmlerin elektriksel özelliklerinin belirlenmesi için Hall Effect Measurement System HS-3000 Manual Ver 3,5 sistemi kullanıldı. Omik kontaklar, kare şeklinde kesilen örneklerin dört köşesine indiyum lehimleyerek yapıldı.

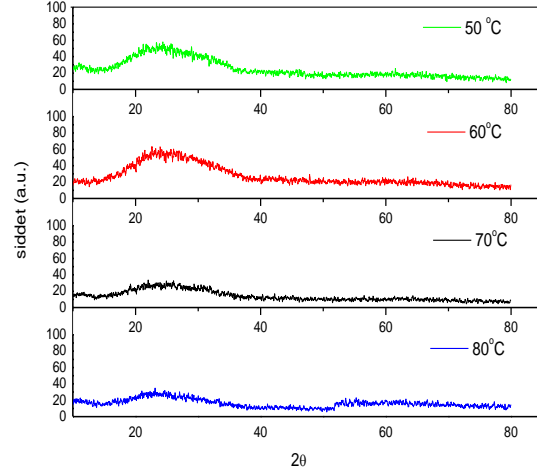
SnS₂ ince filmlerin optik karakterizasyonunu belirlemek için oda sıcaklığındaki optik geçirgenlik spektrum ölçümleri Perkin Elmer UV/VIS Lamda 2S spektrofotometresi kullanılarak λ=190–1100 nm dalga boyu arasında alındı.

Örneklerin SEM görüntüleri LEO440 bilgisayar kontrollü taramalı elektron mikroskobu kullanılarak yapıldı.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Yapısal Özellikler

Kimyasal depolama yöntemiyle elde edilen SnS₂ ince filmlerin yapısal özellikleri X-ışını kırınım deseninden yararlanarak yapıldı.



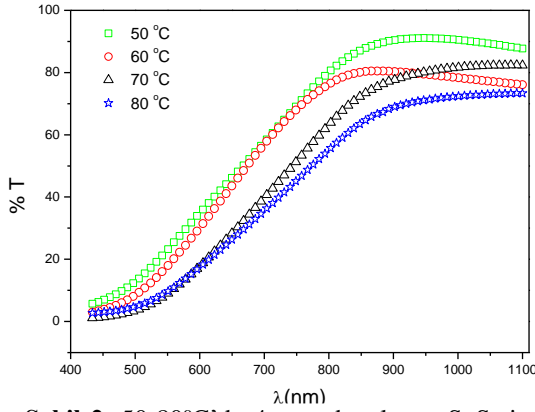
Şekil 1. Farklı sıcaklıklarda 4 saat depolanan SnS₂ ince filmlerin kırınım deseni

Farklı sıcaklıklarda elde edilen filmlerin XRD kırınım deseni Şekil 1’de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi geniş tepe yaklaşık 2θ=20° ve 2θ=40° arasında ve filmlerin amorf olduğu görülmektedir bu tepenin oluşmasında cam alttabanında katkısı olduğu literatürde belirtilmiştir [23]. 50°C ve 60°C de kırınım şiddetinin bir miktar yükseldiği ve 70°C ve 80°C düştüğü görülmüştür. Sıcaklık artışı ile filmlerin hızlı bir şekilde oluşması buda filmlerin düzensiz yığılmalar şeklinde oluşmasına neden olduğu ve bundan dolayı filmlerin amorf yapıda olduğu görülmektedir.

3.2. Optik Özellikler

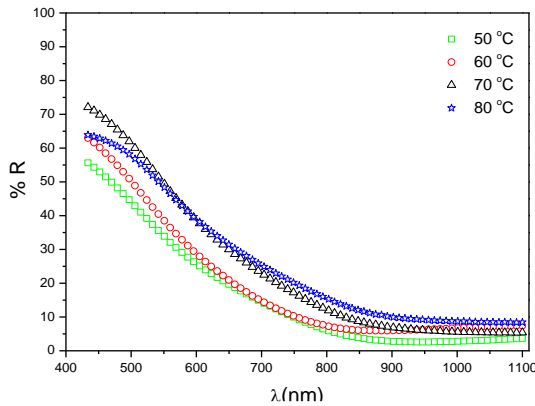
İnce filmlerin optik karakterizasyonu, geçirgenlik, yansımaya, enerji bant aralık ve bant yapısı gibi fiziksel özellikleri hakkında bilgi verir. Kimyasal depolama yöntemi ile amorf cam alttabanlar üzerine depo edilen katkısız SnS₂ yarıiletken ince filmlerin optiksel karakterizasyonu oda sıcaklığında spektrofotometre yardımı ile yapıldı. İnce filmlerin oda sıcaklığındaki geçirgenlik katsayısı değerleri (%T) aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplandı. Burada R yansımaya katsayısı (% R), A ise soğurmadır.

$$T = (1 - R^2) \exp(-A) \quad (1)$$



Şekil 2. 50-80°C'de 4 saat depolanan SnS₂ ince filmlerin oda sıcaklığındaki optik geçirgenlik eğrisi

Şekil 2'de 50°C, 60°C, 70°C ve 80°C'de 4 saatte depolanan SnS₂ ince filmlerin oda sıcaklığındaki optik geçirgenliklerinin dalga boyuna bağlı değişimi görülmektedir. Şekle göre depolama sıcaklığı arttıkça filmlerin görünür bölgedeki oda sıcaklığındaki optik geçirgenliği azalmaktadır. Bu azalmanın sebebi olarak depolama sıcaklığının artmasıyla birlikte tepkime hızının artması ve alt tabana tutunan tanecik sayısının artması dolayısıyla film kalınlığındaki artış gösterilebilir. 60°C'deki oda sıcaklığındaki optik geçirgenlik değeri litaretürle uyumludur [24].



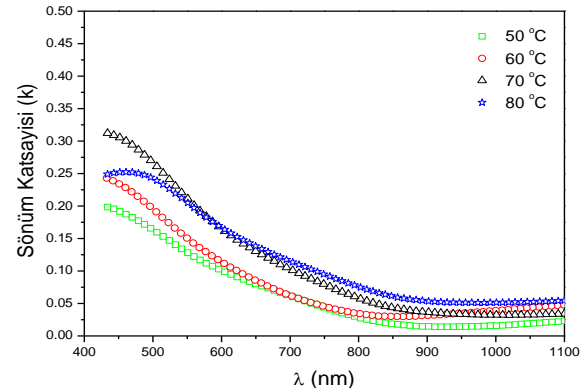
Şekil 3. 50-80°C'de 4 saatte depolanan SnS₂ ince filmlerin optik yansımaya eğrisi

Şekil 3'de 50°C, 60°C, 70°C ve 80°C'de 4 saatte depolanan SnS₂ ince filmlerin optik yansımalarının oda sıcaklığında dalga boyuna bağlı değişimi

verilmiştir. Burada da depolama sıcaklığı arttıkça filmlerde yansımaların arttığı tespit edildi.

Sönüm katsayısının, soğurma katsayısı ve fotonun dalgaboyuna bağlı eşitliği aşağıda verilmiştir [25].

$$k = \frac{\alpha\lambda}{4\pi} \quad (2)$$



Şekil 4. 50-80 °C'de 4 saat depolanan SnS₂ ince filmlerin sönüm katsayısı eğrileri

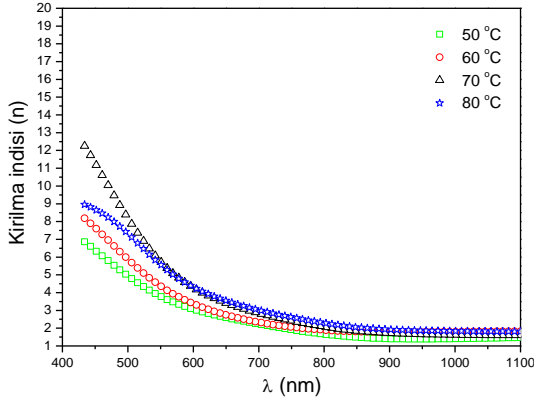
Şekil 4'te 50°C, 60°C, 70°C ve 80°C'de 4 saatte depolanan SnS₂ ince filmlerinin sönüm katsayısı değerinin artan dalgaboyuna karşı azaldığı görülmüştür. 550 nm'de sıcaklığa bağlı olarak (50-80°C) sönüm katsayısı değerleri 0,13-0,22 aralığında değiştiği görülmüştür.

Kırılma indisinin, yansıma ve sönüm katsayısına bağlı olarak hesaplanması Eşitlik-3'te verilmiştir [26].

$$n = \frac{1+R}{1-R} + \sqrt{\frac{4R}{(1+R)^2} - k^2} \quad (3)$$

Şekil 5'te 50-80°C'de 4 saatte depolanan SnS₂ ince filmlerin kırılma indisinin (n) foton dalga boyuna (nm) göre değişimi Şekil 5'te görülmektedir. Filmlerin kırılma indisi değeri filmin sıcaklığı ve kalınlık değerleri ile arttığı görülmektedir.

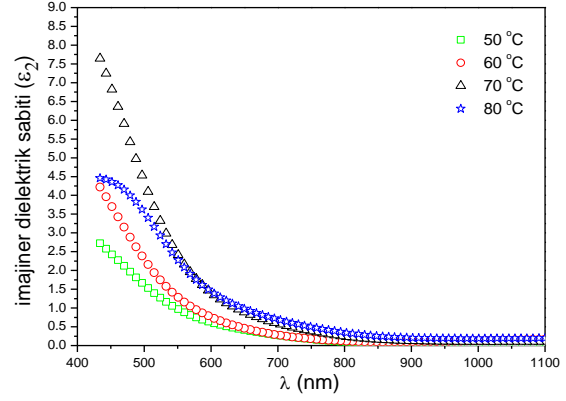
Real (ε₁) ve imajiner dielektrik (ε₂) sabitlerinin sönüm katsayısına ve kırılma indisine bağlı eşitlikleri aşağıda görülmektedir.



Şekil 5. 50-80°C'de 4 saatte depolanan SnS₂ ince filmlerin kırılma indisinin eğrileri

$$\varepsilon_1 = n^2 - k^2 \quad (4)$$

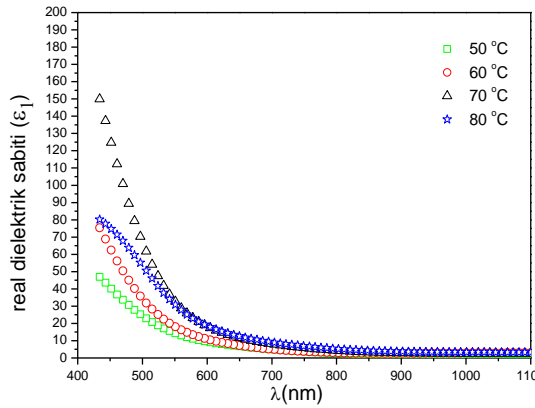
$$\varepsilon_2 = 2nk \quad (5)$$



Şekil 7. 50-80°C'de 4 saatte depolanan SnS₂ ince filmlerin imajiner dielektrik sabiti eğrileri

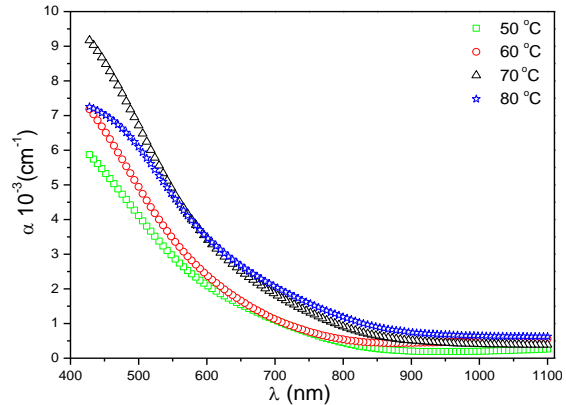
$$\alpha = -\frac{1}{t} \ln(T) \quad (6)$$

Burada, T optik geçirgenlik, t film kalınlığıdır.



Şekil 6. 50-80°C'de 4 saatte depolanan SnS₂ ince filmlerin real dielektrik sabiti eğrileri

Şekil 6 ve Şekil 7'de 50-80°C aralığında 4 saatte depolanan SnS₂ ince filmlerin real (ε_1) ve imajiner dielektrik (ε_2) sabitlerinin foton dalgaboyuna göre değişimi verilmiştir. Her iki grafikte de depolama sıcaklığı arttıkça reel ve imajiner sabit değerlerinin arttığı görülmektedir. SnS₂ filmlerinin 550 nm de real dielektrik sabitleri 16-37 ve imajiner dielektrik sabitleri 1,1-2,7 bulunmuştur. SnS₂ ince filmlerinin oda sıcaklığındaki soğurma katsayısının hesaplanması Eşitlik 6 ile yapılmıştır.



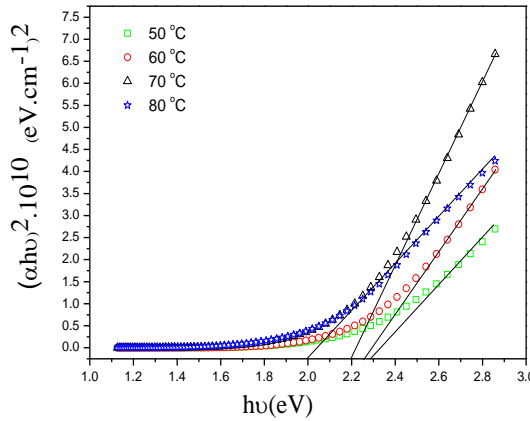
Şekil 8. 50-80 °C'de 4 saatte depolanan ince filmlerin optik soğurma eğrileri

Şekil 8 incelendiğinde depolama sıcaklığı arttıkça filmlerin soğurma kenarının kısa dalga boylarına doğru kaydığı görülebilir. Mor ötesi bölgede soğurma kenarı artış gösterirken kızılötesi bölgede düşüş göstermiştir.

SnS₂ ince filmlerin yasak enerji aralığını bulmak için aşağıdaki temel eşitlik göz önüne alınmıştır [27]

$$\alpha h\nu = K(h\nu - E_g)^{n/2} \quad (7)$$

Burada, α soğurma katsayısı, K sabit bir sayı, $h\nu$ foton enerjisi, E_g yarıiletkenin enerji bant aralığı ve n sabit bir sayıdır. Doğrudan bant aralıklı yarıiletkenler için $n=1$, dolaylı bant aralıklı yarıiletkenler için $n=4$ 'tür.

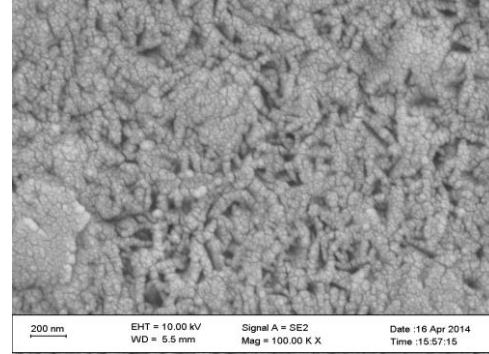


Şekil 9. 50-80°C'de 4 saat depolanan SnS₂ ince filmlerin $(\alpha h\nu)^2$ ifadesinin foton enerjisine ($h\nu$) göre değişimi

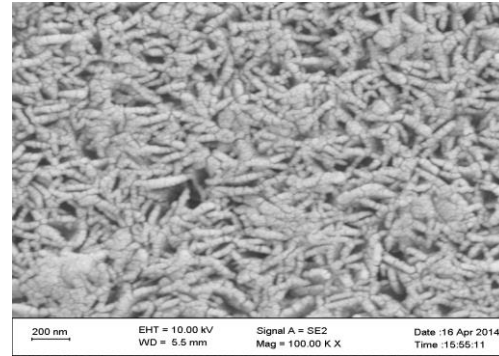
50°C, 60°C, 70°C ve 80°C'de 4 saatte depolanan SnS₂ ince filmlerin $(\alpha h\nu)^2$ ifadesinin foton enerjisine ($h\nu$) göre değişimi Şekil 9'da gösterildi. Eğrilere yapılan lineer fitler sonucunda filmlerin direk enerji bant aralığı değerinin sıcaklık artıka 2,29 eV tan 1,99 eV ta azaldığı hesaplanmıştır. Bulunan bu değerler literatürde verilen değerlerle uyum içinde bulunmuştur [28–30].

3.3. Morfolojik Özellikler

Elde edilen SnS₂ filmlerin SEM görüntülerinin incelenmesi sonucu; yüzey görünümü, tabana tutunması, homojenliği ve yüzey kusurları hakkında bilgilere ulaşılabilir. 50°C'de 4 saatte depolanan SnS₂ ince filmin SEM görüntüsü Şekil 10'da görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi tanecikler iğneli yapıda biraz daha düzensiz yapıda oluşmasına rağmen 60°C'de üretilen filmin tanecik yapısı iğneli bir dokuya sahip olup daha düzenli bir yapıda oluşmuştur (Şekil 11).

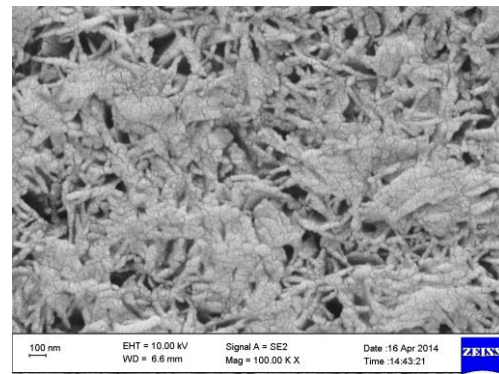


Şekil 10. 50°C'de 4 saat depolanmış SnS₂ ince filmin SEM görüntüsü

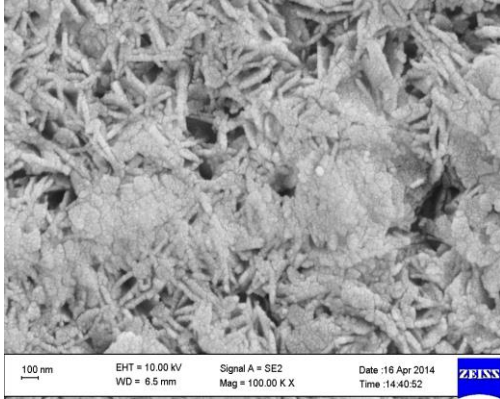


Şekil 11. 60°C'de 4 saat depolanmış SnS₂ ince filmin SEM görüntüsü

70 ve 80 °C'de 4 saatte depolanmış SnS₂ ince filmin SEM görüntüsü Şekil 12-13'de verilmiştir.



Şekil 12. 70°C'de 4 saat depolanmış SnS₂ ince filmin SEM görüntüsü



Şekil 13. 80°C’de 4 saat depolanmış SnS₂ ince filmin SEM görüntüsü.

Bu filmlerin tanecik şekli ve alttabana tutunma biçimi 50°C ve 60°C’de depolanmış SnS₂ ince filmlerin SEM görüntüleriyle benzerlik göstermektedir. Üretim sıcaklığı arttıkça filmlerin hızlı oluşması nedeni ile düzensiz büyük kümeler şeklinde alttaban üzerine yığılmalar gerçekleşir ve filmlerin amorf yapıya dönüşmesine neden olur. Bu benzerlik filmlerin XRD kırınım desenleriyle de uyumludur.

4. SONUÇLAR

SnS₂ ince filmlerinin 50, 60, 70 ve 80°C’deki X-ışını kırınım desenleri 2θ=10°-80° arasında alındı. Elde edilen filmlerin amorf yapıda büyüdüğü gözlemlendi. Hall ölçümleri sonucunda filmlerin n-tipi iletkenliğe sahip olduğu bulundu. SnS₂ ince filmlerinin geçirgenliği %70-90 arasında bulundu. Geçirgenlik değerlerinin yüksek olması nedeni ile güneş pillerinde pencere tabakası olarak kullanımı uygundur. SnS₂ ince filmlerin enerji bant aralığı değerleri 1,99–2,29 eV bulundu.

5. KAYNAKLAR

1. Shi C, Yang P, Yao M, Dai X, Chen Zhu., 2013. Preparation of SnS₂ Thin Films by Close-Spaced Sublimation at Different Source Temperatures. *Thin Solid Films*, 534, 28–31.
2. Kiruthigaa G, Manoharan C, Raju C, Dhanapandian S, Thanikachalam V., 2014. Synthesis and Spectroscopic Analysis of

Undoped and Zn doped SnS₂ Nanostructure by Solid State Reaction Method. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 26, 533–539.

3. Khelia C, K. Boubaker, T. Ben Nasrallah, M. Amlouk, Belgacem S., 2009. Morphological and Thermal Properties of β-SnS₂ Sprayed Thin Films Using Boubaker Polynomials Expansion. *Journal of Alloys and Compounds*, 477, 461–467.
4. Schlaf R, Armstrong N. R, Parkinson B. A, Pettenkofer C, Jaegermann W., 1997. Van der Waals Epitaxy of the Layered Semiconductors SnSe₂ and SnS₂: Morphology and Growth Modes. *Surface Science*, 385, 1–14.
5. Reddy, N. K, Reddy, K. T. R., 1998. Growth of Polycrystalline SnS Films by Spray Pyrolysis. *Thin Solid Films*, 325,4–6.
6. Koteswara Reddy N, Ramakrishna Reddy K T, Fisher G, Best R, Dutta P K., 1999. The Structural Behaviour of Layers of SnS Grown by Spray Pyrolysis. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 32, 988–990.
7. Sokolov I. A., 2000. Adaptive Photodetectors: Novel Approach for Vibration Measurements. *Measurement*, 27, 13–9.
8. Shi W, Huo L, Wang H, Zhang H, Yang J, Wei P., 2006. Hydrothermal Growth and Gas Sensing Property of Flower Shaped SnS₂ Nanostructures. *Nanotechnology*, 17, 2918–2924.
9. Tan F, Qu S, Zeng X, Zhang C, Shi M, Wang Z, Jin L, Bi Y, Cao J, Wang Z, Hou Y, Teng F, Feng Z., 2010. Photovoltaic Effect of Tin Disulfide with Nanocrystalline/ Amorphous Blended Phases. *Solid State Communications*, 150, 58–61.
10. Seo J-W, Jang J-T, Park S-W, Kim C, Park B, Cheon J., 2008. Two-Dimensional SnS₂ Nanoplates with Extraordinary High Discharge Capacity for Lithium Ion Batteries. *Advanced Materials*, 20, 4269–4273.
11. De D, Manongdo J, See S, Zhang V, Guloy A., 2013. Haibing Peng. High on/off Ratio Field Effect Transistors Based on Exfoliated Crystalline SnS₂ Nano-membranes. *Nanotechnology* 24-025202 (6pp).
12. Sanchez-Juarez A, Tiburcio-Silver A, Ortiz A., 2005. Fabrication of SnS₂/SnS

- Heterojunction Thin Film Diodes by Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition. *Thin Solid Films* 480–481:452 – 456.
13. Kutchinsky J, Taboryski R, Sorensen C. B, Hansen J. B, Lindelof P. E., 2001. Experimental Investigation of Supercurrent Enhancement in S-N-S Junctions by Non-Equilibrium Injection into Supercurrent-Carrying Bound Andreev States. *Physica C*, 352- 4–10.
 14. Gajendiran J, Rajendran V., 2011. Synthesis of SnS₂ Nanoparticles by a Surfactant-Mediated Hydrothermal Method and their Characterization. *Nanosci. Nanotechnol.* 2 - 015001 (4pp).
 15. Deshpande N.G, Sagade A. A, Gudage Y. G, Lokhande C. D., 2007. Ramphal Sharma. Growth and Characterization of Tin Disulfide (SnS₂) Thin Film Deposited by Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction (SILAR) technique. *Journal of Alloys and Compounds*, 436, 421–426.
 16. Cheng L. L, Liu M H , Wang S. C, Wang M. X, Wang G. D, Zhou Q. Y, Chen Z. Q., 2013. Nano-flower and Nano-wall SnS₂ Films Fabricated with Controllable Shape and Size by the PECVD Method. *Semicond. Sci. Technol.* 28-015020 (8pp).
 17. Khelia C, Boubaker K, Ben Nasrallah T., Amlouk M, Belgacem S, Saadallah F, Yacoubi N., 2009. Morphological and Thermal Properties of b-SnS₂ Crystals Grown by Spray Pyrolysis Technique. *Journal of Crystal Growth*, 311, 1032–1035.
 18. George J, Valsala Kumari C. K., 1983. Growth and Characterization of Tin Disulphide Crystals Grown by Physical Vapour Transport Method. *Journal of Crystal Growth*, 63, 233-238.
 19. Gupta R. K, Yakuphanoglu F., 2012. Photoconductive Schottky Diode Based on Al/p-Si/SnS₂/Ag for Optical Sensör Applications. *Solar Energy*, 86, 1539–1545.
 20. Sreedevi G, Ramakrishna Reddy K. T., 2013. Dependence of Optical Properties of Chemical Bath Deposited SnS₂ Films on Deposition Time. *Solid State Physics*, 1512, 688–689.
 21. Guneri E, Ulutas C, Kirmizigul F, Altindemir G, Gode F, Gumus C., 2010. Effect of Deposition Time on Structural, Electrical, and Optical Properties of SnS Thin Films Deposited by Chemical Bath Deposition. *Applied Surface Science*, 257, 1189–1195.
 22. Bar M, Ennaoui A, Klaer J, Saez-Araoz R, Kropp T, Weinhardt L, Heske C, Schock H. W, Fischer C. H, Lux-Steiner M. C., 2006. The Electronic Structure of the [Zn(S,O)/ZnS]/CuInS₂ Heterointerface- Impact of Post-Annealing. *Chemical Physics Letters*, 433, 71–74.
 23. Panda A, Antonakos E, Liarokapis S, Bhattacharya S. Chaudhuri. S., 2007. Optical Properties of Nanocrystalline SnS₂ Thin Films. *S.K. Materials Research Bulletin*, 42, 576–583.
 24. Ramakrishna Reddy K. T, Sreedevi G, Ramyaan K , Miles R.W., 2012. Physical Properties of Nano-Crystalline SnS₂ Layers Grown by Chemical Bath Deposition. *Energy Procedia*, 15, 340 – 346.
 25. Kariper A, Güneri E, Göde F, Gümüş C, Özpozan T., 2011. The Structural, Electrical and Optical Properties of CdS Thin Films as a Function of pH. *Materials Chemistry and Physics*, 129, 183–188.
 26. Kirmizigül F, Güneri E, Gümüş C., 2012. Effects of different deposition conditions on the Properties of Cu₂S thin films, 93,511-523.
 27. Gümüş C, Ulutaş C, Esen R, Özkendir O. M, Ufuktepe Y., 2005. Preparation and Characterization of Crystalline Mns thin Films by Chemical Bath Deposition. *Thin Solid Films*, 492, 1–5.
 28. Schlaf R, Armstrong N. R, Parkinson B. A, Pettenkofer C, Jaegermann W., 2007. Vander Waals Epitaxy of the Layered Semiconductors SnSe₂ and SnS₂: Morphology and Growth Modes. *Journal of Alloys and Compounds*, 436, 421–426.
 29. Zhang Y. C, Du Z. N, Li S. Y, Zhang M., 2010. Novel Synthesis and High Visible Light Photocatalytic Activity of SnS₂ Nanoflakes from SnCl₂·2H₂O and S powders. *Applied Catalysis B: Environmental*, 95, 153–159.
 30. Geng H, Su Y, Wei H, Xu M, Wei L, Yang Z, Zhang Y., 2013. Controllable Synthesis and Photoelectric Property of Hexagonal SnS₂ Nanoflakes by Triton X–100 Assisted

Hydrothermal Method. *Materials Letters*, 111,
204-207.

