

Farklı Alt Tabanlar Üzerinde Büyütülen Galyum Selenit (GaSe) İnce Filmlerinin Yapısal, Morfolojik ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi

Hüseyin ERTAP^{1*} Yunus ALKAN¹ Mevlüt KARABULUT²

ÖZET: Modifiye Kimyasal Banyo Depolama (M-CBD) yöntemi ile cam ve Galyum Selenit (GaSe) tek kristal alt tabanlar üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin yapısal, morfolojik ve optik özellikleri XRD, AFM ve UV-Vis teknikleri ile araştırıldı. XRD ölçümleri cam ve GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin sırasıyla rombohedral ve hekzagonal yapıda olduğunu gösterdi. AFM görüntülerinden cam ve GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin ortalama parçacık boyutlarının sırasıyla 33.2 nm ve 35.3 nm olduğu hesaplandı. Ayrıca, cam ve GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinde büyütülerek tavlanan GaSe ince filmlerinin ortalama parçacık boyutları tavlama ile artarken yasak enerji aralıkları ise tavlama ile azalmaktadır. Cam alt tabanlar üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin Urbach enerjilerinin GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin Urbach enerjilerinden daha büyük olduğu bulundu.

Anahtar Kelimeler: M-CBD, Galyum Selenit, ince film, cam ve tek kristal alt tabanlar.

Investigation of Structural, Morphological and Optical Properties of Gallium Selenide (GaSe) Thin Films Grown on Different Substrates

ABSTRACT: Structural, morphological and optical properties of (Gallium Selenide) GaSe thin films grown on glass and gallium selenide single crystal substrates with Modified Chemical Bath Deposition (M-CBD) method have been investigated by using XRD, AFM and UV-Vis techniques. XRD measurements showed that GaSe thin films grown on glass and GaSe single crystal substrates were at rhombohedral and hexagonal structures, respectively. The average particle sizes of GaSe thin films grown on glass and GaSe single crystal substrates were determined from AFM images as 33.2 nm and 35.3 nm, respectively. It was observed that the particle sizes of films grown on both glass and GaSe substrate increased while the band gaps decreased with annealing. Urbach energies of GaSe thin films grown on glass substrates were found to be bigger than Urbach energies of GaSe thin films grown on GaSe single crystal substrates.

Keywords: M-CBD, Gallium Selenide, thin film, glass and single crystal substrates.

¹ Hüseyin Ertap (Orcid ID:0000-0003-3896-6188), Yunus Alkan (Orcid ID:0000-0002-6247-7950), Kafkas Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Kars, Türkiye

² Mevlüt Karabulut (Orcid ID:0000-0002-0227-318X), Gebze Teknik Üniversitesi, Temel Bilimler Fakültesi, Fizik Bölümü, Gebze, Türkiye

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Hüseyin Ertap, e-mail: huseyinertap@kafkas.edu.tr

GİRİŞ

Galyum Selenit (GaSe) tek kristali A^{III}B^{VI} yarıiletken bileşik ailesinin önemli bir üyesidir. GaSe yarıiletken kristali Se-Ga-Ga-Se atomlarının iki boyutlu tabakalar halinde üst üste yığılması ile oluşmaktadır. Tabakalar içindeki atomlar birbirlerine güçlü kovalent bağlarla bağlı iken tabakalar birbirlerine zayıf van der Waals bağları ile bağlıdır. GaSe tek kristali tabakalı yapısından dolayı oldukça anizotropik bir materyaldir. Bu anizotropi tabaka içindeki bağlanmaların tabakalar arası bağlanmalardan oldukça güçlü olmasından kaynaklanmaktadır. Tabakalar arası etkileşiminin oldukça zayıf olmasından dolayı GaSe tek kristali tabakalar boyunca kolaylıkla yarılabılırler (Augelli ve ark., 1978; Capozzi ve Minafra, 1981; Capozzi, 1981; Capozzi, 1982; Gousskov ve ark., 1982; Taylor ve Ryan, 1987; Fernelius, 1994; Micocci ve ark., 1997; Gürbulak B, 1997; Shigetomi ve ark., 2000; Kim ve ark., 2004; Shigetomi ve ark., 2004; Seyhan ve ark., 2005; Karabulut ve ark., 2006; Mamedov ve ark., 2009; Ertap ve ark., 2011). GaSe tek kristali 300 K'de 2.02 eV'luk geniş bir yasak bant aralığına sahiptir (Fernelius, 1994; Karabulut ve ark., 2006). GaSe tek kristali özellikle görünür bölgede fotoelektronik ve optoelektronik cihazlarda uygulama alanına sahip olmakla birlikte lineer olmayan optik özelliklerinden dolayı son yıllarda oldukça geniş olarak araştırılmaktadır (Augelli ve ark., 1978; Capozzi ve Minafra, 1981; Capozzi, 1982; Gousskov ve ark., 1982; Anis ve Piercy, 1984; Fernelius, 1994; Micocci ve ark., 1997; Shigetomi ve ark., 2000; Kim ve ark., 2004; Shigetomi ve ark., 2004; Seyhan ve ark., 2005; Karabulut ve ark., 2006; Allahverdiev ve ark., 2006; Karatay ve ark., 2016; Yuksek ve ark., 2017). Büyütme koşulları ve parametrelerine bağlı olarak GaSe tek kristali p ve n tipi olarak elde edilebilmektedir. (Shigetomi ve ark., 2000).

GaSe yarıiletken bileşiği tek kristal olarak büyütülebildiği gibi ince film olarak da büyütülebilmektedir (Karabulut ve ark., 2006;

Ueno ve ark., 2002). GaSe ince filmleri elde etmede vakum buharlaştırma (Blasi ve ark., 1989), kimyasal buhar depolama (Gillan ve Barron, 1997), Moleküler Demet Epitaksi (Ueno ve ark., 2002), püskürtme tekniği (Ohyama ve Fujita, 2003) ve termal buharlaştırma tekniği (Sakr, 2007) gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır. Literatürde Modifiye Kimyasal Banyo Depolama (M-CBD) yöntemi ile büyütülmüş GaSe ince filmleri üzerine çalışmalar bulunmamaktadır. M-CBD yöntemi, farklı konfigürasyonlarda geniş alt tabanlar üzerinde ince film büyütmeyle olanak sağlayan basit ve ucuz bir yöntemdir. M-CBD yöntemi, alt taban yüzeyindeki katyonik ve anyonik bileşenlerin ardışık reaksiyonlarına dayanarak ince filmlerin kimyasal olarak biriktirildiği aşamalı bir süreçtir.

Bu çalışmada, ilk defa M-CBD yöntemi ile cam ve GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerine tavlamanın etkisi araştırıldı. Cam ve GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin yapısal, morfolojik ve optik özellikleri XRD, AFM ve UV-Vis teknikleri ile araştırıldı.

MATERYAL VE YÖNTEM

GaSe ince filmlerini büyütme için, Bridgman yöntemi ile külçe kristal olarak büyütülen GaSe tek kristalinden 1 cm x 3 cm x 80 µm boyutlarında alt tabanlar hazırlandı. GaSe tek kristali doğal ayna yüzeyine sahip olduğundan GaSe tek kristallerine büyütme işleminden önce hiçbir kimyasal işlem uygulanmadı. GaSe tek kristallerine ek olarak, GaSe ince filmleri cam alt tabanlar üzerinde de büyütüldü. Cam alt tabanlar ince film büyütme işleminden önce kromik asit ile iyice temizlendi ve daha sonra distile sudan geçirildi. Ga ve Se kaynağı olarak sırasıyla GaCl₃ ve Na₂SeSO₃ çözeltileri kullanıldı. GaCl₃ çözeltisinin pH değerini ~ 2'ye ayarlamak için çözeltiye tartarik asit eklendi. Dört cam beher 1, 2, 3 ve 4 olarak numaralandırıldı. 1 ve 3 numaralı beherlere sırasıyla 20 ml GaCl₃ ve 20 ml Na₂SeSO₃ ilave

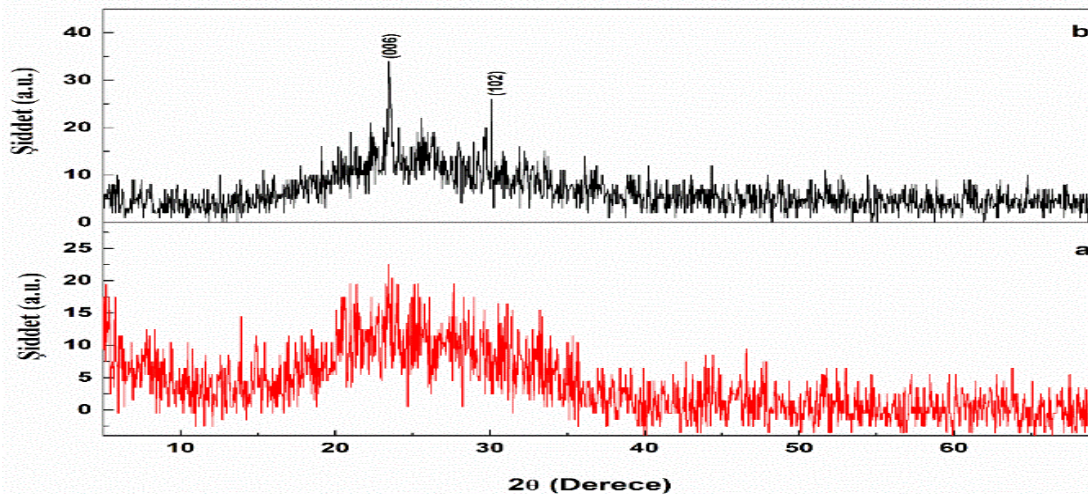
edilirken 2 ve 4 numaralı beherlere ise ayrı ayrı 20 ml distile su dolduruldu. Cam ve GaSe tek kristallerden hazırlanan alt tabanlar sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 nolu beherlere dikey olarak yerleştirildi. Bu alt tabanlar 1, 2, 3 ve 4 nolu beherlerde sırasıyla 20 s, 10 s, 15 s ve 10 s bekletildi ve bu işlemin her biri bir döngü olarak adlandırıldı. Cam ve GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinde GaSe ince filmlerinin büyütülmesi için 60 döngüden oluşan deneyler yapıldı. Bu döngü sayısından sonra büyütülen ince filmlerin cam ve GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinden ayrışmaya başladığı görüldü. M-CBD ile büyütülen ince filmlerin kalınlıkları, döngü sayıları ve kullanılan malzemenin yoğunluğu ile hesaplanabilmektedir (Mane ve ark., 2000). Cam alt tabanlar üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin kalınlıklarının yaklaşık olarak ~ 90 nm olduğu belirlendi. Cam ve GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinde büyütülen ince filmlerin açık kırmızıya yakın mat renklerde olduğu görüldü. Tavlamanın etkisini görmek için elde edilen ince filmler ısıtılma tabi tutuldular. Her

iki taban üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin 40°C ve üzerinde ısıtılma tabi tutulduklarında buharlaştığı gözlemlendi. Bu nedenle tavlama sıcaklığı olarak 35°C seçildi ve büyütülen ince filmler bu sıcaklıkta birer saat hava ortamında tavlандılar.

Cam ve GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin yüzey morfolojisi PSIAXE-100E model Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ile araştırılırken yapı analizleri X-ışını difraktometresi (XRD) (Rigaku D/max-2200) ile gerçekleştirildi. Cam ve GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin optik soğurma ölçümleri ise Perkin-Elmer Lambda 25 UV-Vis spektrofotometre ile gerçekleştirildi.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 1 a'da cam alt taban üzerinde büyütülen GaSe ince filminin, Şekil 1 b'de ise cam alt taban üzerinde büyütülerek 35 °C'de tavllanmış GaSe ince filminin XRD spektrumları verilmektedir.



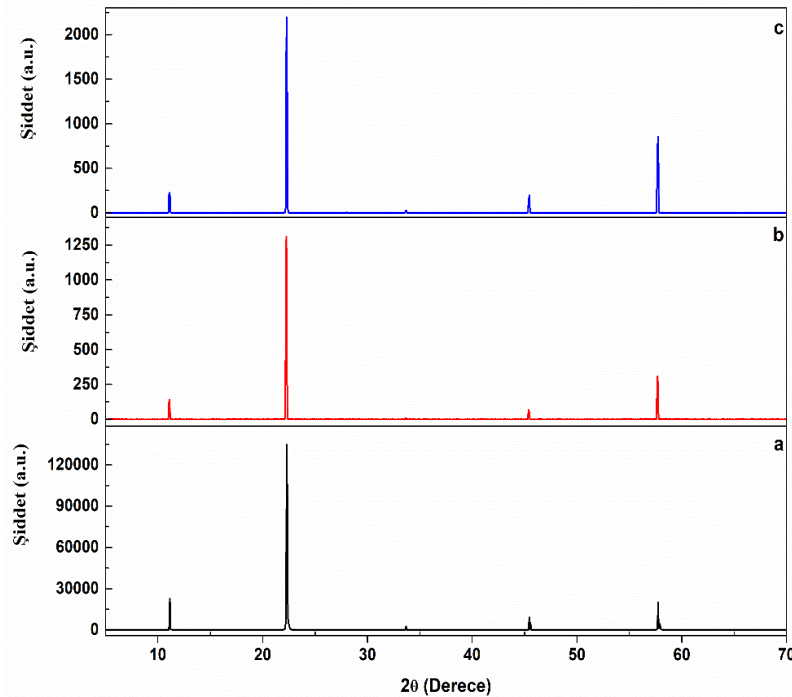
Şekil 1: Cam alt taban üzerinde büyütülmüş (a) tavlansız ve (b) 35 °C'de tavllanmış GaSe ince filmlerinin XRD spektrumları.

XRD analizlerinden elde edilen sonuçlar cam alt taban üzerinde büyütülen ve 35 °C'de tavlanan GaSe ince filmlerinin rombohedral örgüye sahip olduklarını göstermektedir. Bu ince filmlerin örgü sabitlerinin $a = 3.730 \text{ \AA}$, $c = 23.860 \text{ \AA}$ ve $z = 6$ (z her bir tabakadaki atom

sayısı) olan rombohedral yapıda ve uzay grubunun R3m olduğu görülmektedir (PDF No: 081-1971). XRD spektrumlarından elde edilen veriler rombohedral yapıdaki GaSe yarıiletken bileşiği için literatürde verilen verilere uygundur (Schubert ve ark., 1953). Tavlansız ve

tavlanmamış GaSe ince filmlerinin XRD spektrumundaki geniş kambur, cam alt tabandan kaynaklanmaktadır ve spektrumlar birbirlerine benzemektedir. Tavlanmamış GaSe ince filminin XRD spektrumundaki kamburun tavlanmış GaSe ince filmdeki kambura göre biraz daha geniş olduğu görülmektedir. Ayrıca, Şekil 1 a-b'den görüldüğü gibi cam alt taban üzerinde büyütülen

GaSe ince filmi 35 °C'de tavlandığında (006) ve (102) pikinin belirginleştiği görülmektedir. Şekil 2 a-c'de sırasıyla GaSe tek kristal alt taban, GaSe tek kristal alt taban üzerinde büyütülmüş GaSe ince filmi ve GaSe tek kristal alt taban üzerinde büyütülerek 35 °C'de tavlanmış GaSe ince filminin XRD spektrumu verilmektedir.



Şekil 2: (a) GaSe tek kristali, (b) GaSe tek kristal alt taban üzerinde büyütülmüş GaSe ince filmi ve (c) GaSe tek kristal alt taban üzerinde büyütülerek 35 °C'de tavlanmış GaSe ince filminin XRD spektrumları.

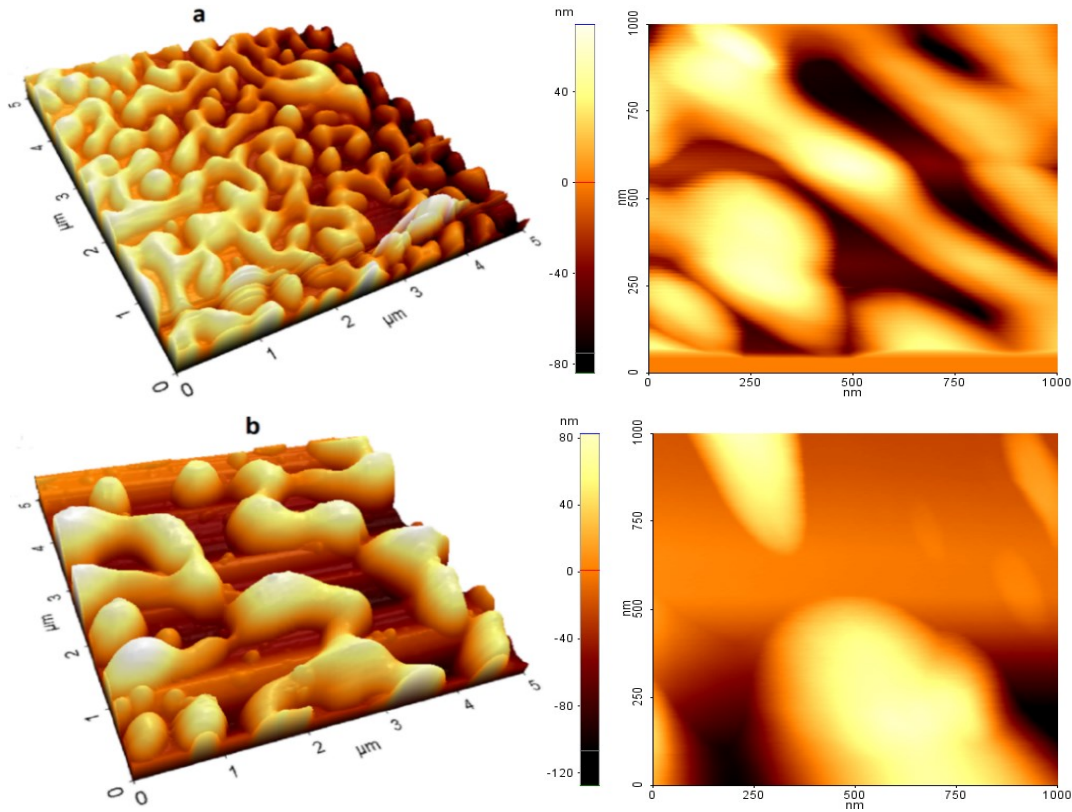
XRD analizlerinden elde edilen sonuçlar GaSe tek kristal alt taban üzerinde büyütülen ve 35 °C'de tavlanan GaSe ince filmlerinin örgü sabitlerinin $a = 3.750 \text{ \AA}$, $c = 15.950 \text{ \AA}$ ve $z = 4$ olan P63/mmc uzay grubuna ait hegzagonal yapıda büyüdüklerini göstermektedir (PDF No: 37-0931). XRD spektrumlarından elde edilen veriler hegzagonal yapıdaki GaSe tabakalı yarıiletken bileşiği için literatürde daha önce bulunmuş verilere uygundur (Anis ve Nazar, 1983). GaSe tek kristal alt taban üzerinde büyütülen ve 35 °C'de tavlanan GaSe ince filmlerinin hegzagonal yapıyı ve örgü parametrelerini devam ettirdikleri görüldü. Ayrıca, GaSe tek kristalinin XRD spektrumu ile bu alt taban üzerinde büyütülen ve 35 °C'de tavlanmış GaSe ince filmlerinin XRD

spektrumları karşılaştırıldığında (Şekil 2 a-c) pik konumlarının yaklaşık olarak 0.26° - 0.76° daha düşük açılara kaydığı ve pik şiddetlerinin de zayıfladığı görülmektedir. Büyütülen GaSe ince filmlerinden dolayı GaSe tek kristal tabanın pik konumları devam etmiştir ancak pik konumları ve şiddetlerinde değişimler gözlemlenmiştir. Şekil 1 ve Şekil 2'nin analizlerinden, büyütülen GaSe ince filmlerinin yapısının kullanılan alt tabanlara bağlı olduğu görüldü.

Cam ve GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinde büyütülen ve 35 °C'de tavlanan GaSe ince filmlerinin yüzey morfolojisi AFM tekniği ile araştırıldı. Cam ve GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin parçacık boyutları Şekil 3 a-b ve Şekil 4 a-b'de verilen resimlerden XEI 1.6.1 yazılımı

kullanılarak hesaplandı. Cam alt tabanlar üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin tavlamadan önceki ve 35 °C'deki tavlama

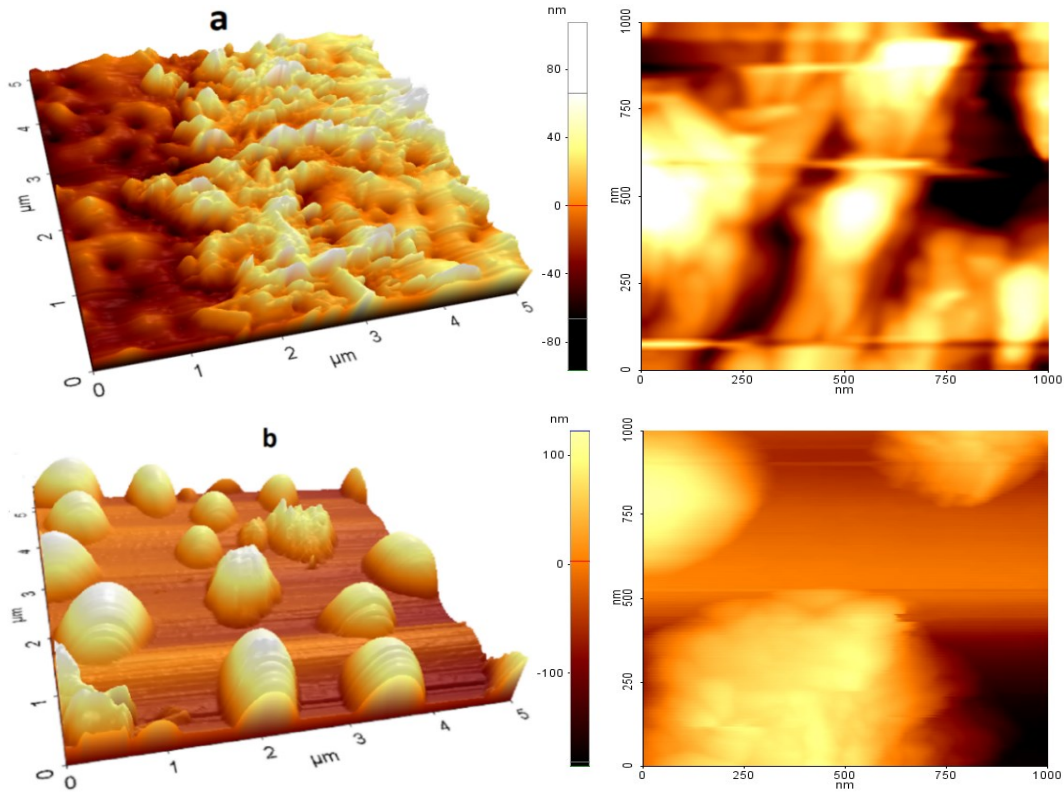
işlemindeki sonraki AFM görüntüleri sırasıyla Şekil 3 a-b'de verilmektedir.



Şekil 3: Cam alt taban üzerinde büyütülmüş (a) GaSe ince filmi ve (b) 35 °C'de tavllanmış GaSe ince filminin AFM görüntüleri.

AFM görüntülerinin analizlerinden GaSe ince filmlerin parçacık boyutları ve parçacık boyutlarının tavlama ile değişimi incelendi. Bu analizlerden cam alt taban üzerinde büyütülen GaSe ince filminin parçacık boyutunun yaklaşık olarak 33.2 nm olduğu hesaplandı. Cam alt taban üzerinde büyütülerek 35 °C'de tavlanan GaSe ince filminin parçacık boyutunun yaklaşık olarak 40.1 nm olduğu hesaplandı. Cam alt tabanlar üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerine benzer olarak GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin tavlamadan önceki ve 35 °C'deki tavlama işleminden sonraki AFM görüntüleri sırasıyla Şekil 4 a-b'de verilmektedir.

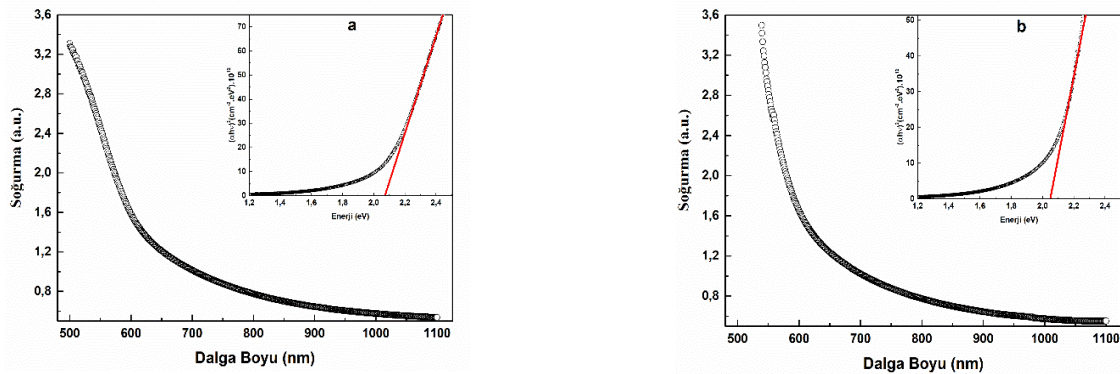
AFM görüntülerinin analizlerinden GaSe ince filmlerin parçacık boyutları ve parçacık boyutlarının tavlama ile değişimi incelendi. Bu analizlerden GaSe tek kristal alt taban üzerinde büyütülen GaSe ince filminin parçacık boyutu yaklaşık olarak 35.3 nm olarak hesaplanırken aynı alt taban üzerinde büyütülen ve 35 °C'de tavlanan GaSe ince filminin parçacık boyutu ise yaklaşık olarak 63.7 nm olarak hesaplandı. Buradan ortalama parçacık boyutlarının GaSe ince filmlerinin büyütüldüğü alt tabana bağlı olduğu açıkça görülmektedir. Ayrıca, tavlamanın parçacık boyutu üzerindeki etkisine benzer sonuçlar daha önce gerçekleştirilen çalışmalarda da gözlemlenmiştir (Matheswaran ve ark., 2011; Vidhya ve ark., 2015).



Şekil 4. GaSe tek kristal alt taban üzerinde büyütülmüş (a) GaSe ince filmi ve (b) 35 °C’de tavllanmış GaSe ince filminin AFM görüntüleri.

Cam ve GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinde büyütülen ve 35 °C’de tavlanan GaSe ince filmlerinin optik soğurma ölçümlerinden yasak enerji bant aralığı değerleri hesaplandı. Cam alt

tabanlar üzerinde büyütülen ve 35 °C’de tavlanan GaSe ince filmlerinin optik soğurma spektrumları sırasıyla Şekil 5 a-b’de verilmektedir.



Şekil 5: Cam alt taban üzerinde büyütülmüş (a) GaSe ince filmi ve (b) 35 °C’de tavllanmış GaSe ince filmi.

Cam alt taban üzerinde büyütülen ince filmlerin yasak enerji bant değerleri;

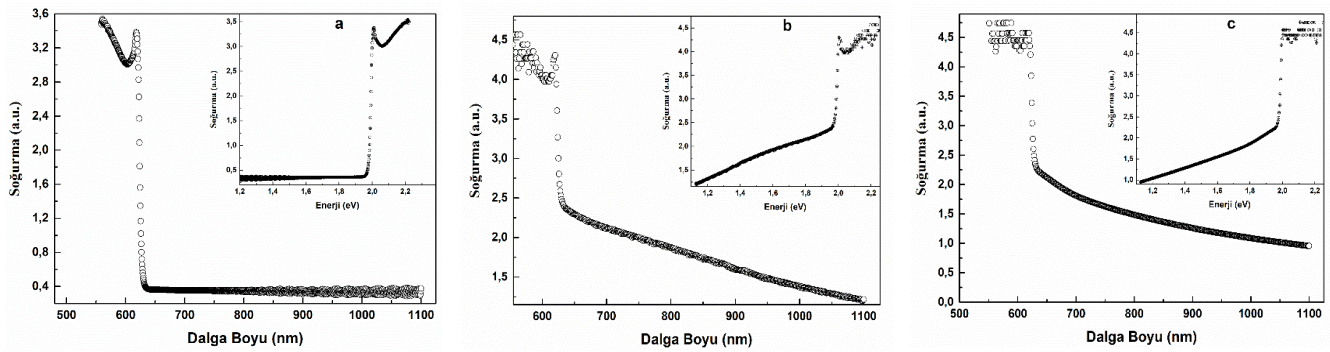
$$(\alpha h\nu)^{1/n} = A(h\nu - E_g) \quad (1)$$

eşitliği kullanılarak hesaplandı. Burada A bir sabit, $h\nu$ numune üzerine düşürülen fotonun

enerjisi, E_g yasak enerji aralığıdır. Bu eşitlikte n , malzemenin direk ve indirek olmasına bağlı olarak 2, 3, 1/2 ve 3/2 gibi değerler alır. Cam alt tabanlar üzerinde büyütülen ve 35 °C’de tavlanan GaSe ince filmlerinin yasak enerji bant değerleri yukarıdaki eşitlik kullanılarak bulunurken direk aralıklı yarıiletkenler için

kullanılan $n = 1/2$ değeri kullanıldı. Soğurma spektrumlarının lineer olduğu kısmın enerji eksenini kestiği nokta incelenen numunenin yasak enerji bant değerini vermektedir (Yüksek, 2010). Şekil 5 a-b’de grafiklerin analizinden cam alt tabanlar üzerinde büyütülen ve $35\text{ }^\circ\text{C}$ ’de tavlanan GaSe ince filmlerinin yasak enerji bant aralıkları sırasıyla 2.07 eV ve 2.04 eV olarak hesaplandı. Buradan cam alt taban üzerinde büyütülen GaSe ince filminin tavlamaya bağlı olarak parçacık boyutunun büyüdüğü ve parçacık boyutuna bağlı olarak yasak enerji aralığı değerinin düştüğü görülmektedir.

Gözlenen bu sonuç daha önce ince filmlerde tavlamanın etkisine bağlı olarak parçacık boyutunun büyüdüğünü ve yasak enerji bant aralığının azaldığını gösteren çalışmalarla uyumludur (Garadkar ve ark., 2010; Matheswaran ve ark., 2011; Vidhya ve ark., 2015). Cam alt tabanlar üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerine benzer olarak GaSe tek kristal alt taban, GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin tavlama öncesi ve $35\text{ }^\circ\text{C}$ ’deki tavlama işleminden sonraki optik soğurma spektrumları sırasıyla Şekil 6 a-c’de verilmektedir.



Şekil 6: (a) GaSe tek kristal alt taban, GaSe tek kristal alt taban üzerinde büyütülmüş (b) GaSe ince filmi ve (c) $35\text{ }^\circ\text{C}$ ’de tavllanmış GaSe ince filminin optik soğurma spektrumları.

Cam alt taban üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinden farklı olarak GaSe tek kristal alt taban üzerinde büyütülen ince filmlerin soğurma spektrumlarında şekilden de görüldüğü gibi serbest eksiton piki gözlenmektedir. Ancak, GaSe tek kristal alt tabanına oranla bu alt taban üzerinde büyütülen ve $35\text{ }^\circ\text{C}$ ’de tavlanan GaSe ince filmlerinin serbest eksiton piklerinde genişleme ve enerji konumlarında değişimler gözlemlendi. Literatürde GaSe tek kristalinin direkt serbest eksiton bağlanma enerjisi 20 meV (Kamimura ve Nakao, 1968; Kyazym-zade ve ark., 2007) olarak rapor edilmiştir. Direkt serbest eksiton bağlanma enerjisi için bu değer dikkate alındığında GaSe tek kristal alt tabanın oda sıcaklığındaki (300 K) yasak enerji bant değeri 2.03 eV olarak hesaplandı. Benzer şekilde GaSe tek kristal alt taban üzerinde büyütülüp $35\text{ }^\circ\text{C}$ ’de tavlanan GaSe ince filmlerinin 300 K’deki yasak

enerji bant aralıkları sırasıyla 2.02 eV ve 2.01 eV olarak bulundu. Bu sonuçlar beraber değerlendirildiğinde tavlamanın etkisiyle parçacık boyutunun arttığı ve az da olsa yasak enerji bant aralığının azaldığı görülmektedir.

Kristal ve amorf yarıiletkenlerde soğurmanın foton enerjisi ile eksponansiyel değişimi Urbach-Martienssen kuralı ile verilmektedir ve $\alpha(h\nu) = A_0 \exp[(h\nu)/E_u]$ formülü ile ifade edilmektedir. Bu formülde E_u Urbach parametresi olup yapıdaki düzensizliği gösterirken A_0 ise sabittir (Urbach, 1953; Ruiz-Fuertes ve ark., 2012). Bundan dolayı düzensizlik arttıkça Urbach enerjisinin (E_u) artacağı söylenebilir. Cam alt tabanlar üzerinde büyütülen ve $35\text{ }^\circ\text{C}$ ’de tavlanan GaSe ince filmlerinin Urbach enerjileri sırasıyla 804 meV ve 738 meV olarak hesaplandı. Benzer şekilde GaSe tek kristal, GaSe tek kristal alt taban üzerinde büyütülen ve

35 °C’de tavlanan GaSe ince filmlerinin Urbach enerjileri sırasıyla 12.47 meV, 45.80 meV ve 39.07 meV olarak hesaplandı. Hesaplanan Urbach enerjilerinden de görüldüğü gibi hem cam hem de GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin Urbach enerjileri tavlamanın etkisine bağlı olarak azalmaktadır. Hem cam hem de GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinde büyütülen GaSe ince filmlerinin tavlamaya bağlı olarak parçacık boyutu arttığından dolayı düzensizlikleri azalmıştır ve bundan dolayı da Urbach enerjilerinin değeri azalmıştır. Literatürde de ince filmlerin Urbach enerjilerinin bulk kristallerin Urbach enerjilerinden daha büyük olduğunu rapor eden çalışmalar bulunmaktadır (Pejova, 2008; Yüksek ve ark., 2009; Pejova, 2010).

SONUÇ

Cam ve GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinde GaSe ince filmleri M-CBD yöntemi ile büyütüldü. Bu alt tabanlar üzerinde büyütülen ve 35 °C’de tavlanan GaSe ince filmlerinin yapısal, morfolojik ve optik özellikleri XRD, AFM ve UV-Vis ölçümleri ile araştırıldı. Cam alt tabanlar üzerinde büyütülen ve 35 °C’de tavlanan GaSe ince filmleri rombohedral yapıda iken GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinde büyütülen ve 35 °C’de tavlanan GaSe ince filmlerinin hekzagonal yapıda olduğu belirlendi. Cam alt tabanlar ve GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinde büyütülen ve 35 °C’de tavlanan GaSe ince filmlerinin parçacık boyutlarının kullanılan alt tabana ve tavlama sıcaklığına bağlı olarak değiştiği görüldü. Optik soğurma ölçümlerinden büyütülen GaSe ince filmlerinin yasak enerji bant aralıkları hesaplandı. Tavlama sıcaklığına bağlı olarak cam ve GaSe tek kristal alt tabanlar üzerinde büyütülen ince filmlerin yasak enerji bant aralıklarının azaldığı görüldü. Tavlamanın etkisine bağlı olarak bulunan değerlerin daha önce ince filmler üzerinde yapılan çalışmalarla uyumlu olduğu görüldü.

KAYNAKLAR

- Allakhverdiev K, Baykara T, Ellialtıoğlu Ş, Hashimzade F, Huseinova D, Kawamura K, Kaya AA, Kulibekov AM, Onari S, 2006. Lattice vibrations of pure and doped GaSe. *Materials Research Bulletin*, 41: 751-763.
- Anis MK, Nazar FM, 1983. X-ray and Electron Diffraction Analysis of GaSe Crystals. *Journal of Materials Science Letters*, 2: 471-474.
- Anis MK, Piercy AR, 1984. Electrical conduction in p-GaSe. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 17: 1229-1232.
- Augelli V, Manfredotti C, Murri R, Vasaneli L, 1978. Hall-mobility anisotropy in GaSe. *Physical Review B*, 17(8): 3221-3226.
- Blasi CDe, Manno D, Micocci G, Tepore A, 1989. Optical absorption and structure of thermally annealed gallium selenide thin films. *Journal of Applied Physics*, 65: 1164-1167.
- Capozzi V, 1981. Direct and Indirect Excitonic Emission in GaSe. *Physical Review B*. 23(2): 836-840.
- Capozzi V, Minafra A, 1981. Photoluminescence properties of Cu-doped GaSe. *Journal of Physics C: Solid State Physics*, 14: 4335-4346.
- Capozzi V, 1982. Kinetics of radiative recombinations in GaSe and influence of Cu doping on the luminescence spectra. *Physical Review B*, 28 (8): 4620-4627.
- Ertap H, Mamedov GM, Karabulut M, Bacıođlu A, 2011. Pool-Frenkel thermoelectric modulation of exciton photoluminescence in GaSe crystals. *Journal of Luminescence*, 13: 1376-1379.
- Fernelius NC, 1994. Properties of gallium selenide single crystal. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, 28(4): 243-249.
- Garadkar KM, Pawar SJ, Hankare PP, Patil AA, 2010. Effect of annealing on chemically deposited polycrystalline CdTe thin films. *Journal of Alloys and Compounds*, 491: 77-80.
- Gillan EG, Barron AR, 1997. Chemical vapor deposition of hexagonal gallium selenide and telluride films from cubane precursors: Understanding the envelope of molecular control. *Chemistry of Materials*, 9: 3037-3048.
- Gousskov A, Camassel J, Gousskov L, 1982. Growth and characterization of III-VI layered crystals like GaSe, GaTe, InSe, GaSe_{1-x}Te_x and Ga_xIn_{1-x}Se. *Progress in Crystal Growth and Characterization*, 5: 323-413.
- Gürbulak B, 1997. İkili (InSe:Er, GaSe, GaSe:Gd) ve Üçlü (TlGaSe₂, TlGaSe₂:Gd) Tek Kristallerinin Büyütülmesi Soğurma ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi.
- Kamimura H, Nakao K, 1968. Band structures and properties of semiconducting layer compounds GaS

- and GaSe. *Journal of the Physical Society of Japan*, 24: 1313-1325.
- Karabulut O, Parlak M, Turan R, Serincan U, Akınoğlu BG, 2006. Influence of ion implantation on structural and photoconductive properties of Bridgman grown GaSe single crystals. *Crystal Research Technology*, 41(3): 243-249.
- Karatay A, Yüksek M, Ertap H, Mak AK, Karabulut M, Elmali A, 2016. Influence of boron concentration on nonlinear absorption and ultrafast dynamics in GaSe crystals. *Optical Materials*, 64: 74-80.
- Kim C, Jang K, Lee Y, 2004. Optical properties of Tm-doped GaSe single crystals. *Solid State Communications*, 130: 701-704.
- Kyazym-zade AG, Agaeva AA, Salmanov VM, Mokhtari AG, 2007. Optical detectors on GaSe and InSe layered crystals. *Technical Physics*, 52(12): 1611-1613.
- Mamedov GM, Karabulut M, Ertap H, Kodolbaş O, Öktü Ö, Bacioğlu A, 2009. Exciton photoluminescence, photoconductivity and absorption in GaSe_{0.9}Te_{0.1} alloy crystals. *Journal of Luminescence*, 129: 226-230.
- Mane RS, Sankapal BR, Lokhande CD, 2000. A chemical method for the deposition of Bi₂S₃ thin films from a non-aqueous bath. *Thin Solid Films*, 359: 136-140.
- Matheswaran P, Kumar RS, Sathyamoorthy R, 2011. Effect of annealing on the structural and optical properties of InSe bilayer thin films. *Vacuum*, 85: 820-826.
- Micocci G, Serra A, Tepore A, 1997. Impurity Levels in Sn-Doped GaSe Semiconductor. *Physica Status Solidi (a)*, 162: 649-659.
- Ohyama M, Fujita Y, 2003. Electrical and optical properties in sputtered GaSe thin films. *Surface and Coating Technology*, 169-170: 620-623.
- Pejova B, 2008. Analysis of the shape of spectral dependence of absorption coefficient and stationary photoconductivity spectral response in nanocrystalline bismuth(III) sulfide thin films. *Materials Research Bulletin*, 43: 2887-2903.
- Pejova B, 2010. The Urbach–Martienssen absorption tails in the optical spectra of semiconducting variable-sized zinc selenide and cadmium selenide quantum dots in thin film form. *Materials Chemistry and Physics*, 119: 367-376.
- Ruiz-Fuertes J, Lopez-Moreno S, Lopez-Solano J, Errandonea D, Segura A, Lacomba-Perales R, Muñoz A, Radescu S, Rodríguez-Hernández P, Gospodinov M, Nagornaya LL, Tu CY, 2012. Pressure effects on the electronic and optical properties of AWO₄ wolframites (A = Cd, Mg, Mn, and Zn): The distinctive behavior of multiferroic MnWO₄. *Physical Review B*, 86: 125202-9.
- Sakr GB, 2007. Optical and electrical properties of GaSe thin films. *Materials Science and Engineering B*, 138: 1-6.
- Schubert K, Doerre E, Kluge M, 1953. *Z. Metallkunde*, 46: 216.
- Seyhan A, Karabulut O, Akınoğlu BG, Aslan B, Turan R, 2005. Optical Anisotropy in GaSe. *Crystal Research Technology*, 40(9): 893-895.
- Shigetomi S, Ikari T, Nakashima H, 2004. Characterization of phosphorus in layered semiconductor GaSe. *Journal of Luminescence*, 79: 79-84.
- Shigetomi S, Ikari T, Nakashima H, 2000. Electrical properties of p- and n-GaSe doped with As and Ge. *Japan Journal of Applied Physics*, 39: 5083-5084.
- Taylor RA, Ryan JF, 1987. Time resolved exciton photoluminescence in GaSe and GaTe. *Journal of Physics C: Solid State Physics*, 20: 6175-6187.
- Ueno K, Tokuchi S, Saiki K, Koma A, 2002. Epitaxial growth of a vacancy-ordered Ga₂Se₃ thin film on a vicinal Si(001) substrate. *Journal of Crystal Growth*, 237-239: 1610-1614.
- Urbach F, 1953. The long-wavelength edge of photographic sensitivity and of the electronic absorption of solids. *Physical Review*, 92(5): 1324.
- Vidhya SN, Balasundaram ON, Chandramohan M, 2015. The effect of annealing temperature on structural, morphological and optical properties of CdZnTe thin films. *Optics*, 126: 5460-5463.
- Yüksek M, Elmali A, Karabulut M, Mamedov GM, 2009. Switching from negative to positive nonlinear absorption in p type 0.5 at% Sn doped GaSe semiconductor crystal. *Optical Materials*, 31: 1663-1666.
- Yüksek M, 2010. Selenyum Bileşikli Bazı Yarıiletkenlerin Çizgisel Olmayan Optik Özellikleri. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi.
- Yüksek M, Karatay A, Ertap H, Elmali A, Karabulut M, 2017. Frequency conversion, nonlinear absorption and carrier of GaSe:B/Er crystals. *Optical Materials*, 66: 137-141.