

AKÜ FEMÜBİD 16 (2016) 031101 (507-517)  
DOI: 10.5578/fmbd.34282

AKU J. Sci. Eng. 16 (2016) 031101 (507-517)

Araştırma Makalesi / Research Article

## Farklı Oranlarda PbO İçeren Borat Cam Alttaşlar Üzerine ZnO Filmlerinin Üretilmesi ve İncelenmesi

Sadiye Çetinkaya Çolak, Ferhunde Atay, İdris Akyüz

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, 26480 Eskişehir, Türkiye  
scolak@ogu.edu.tr

Geliş Tarihi: 08.06.2016 ; Kabul Tarihi: 18.11.2016

### Özet

#### Anahtar kelimeler

ZnO ince film;  
Borat cam;  
Optik özellikler;  
Spektroskopik  
Elipsometri Tekniği.

Saydam İletken Oksit (SİO) ailesine ait olan ZnO filmleri, kendine has özellikleriyle güneş pili teknolojilerinde dikkat çeken malzemelerdir. Bu malzemelerin uygun alttaşlar üzerine ekonomik bir teknik ile üretilmesi aygıtların üretim maliyetini ve verimini önemli derecede etkileyecektir. Bu çalışmada, alttaş olarak sıklıkla kullanılan mikroskop camlarına alternatif olarak farklı oranlarda PbO içeren borat cam yapıları üzerine ultrasonik kimyasal püskürtme tekniği ile ZnO filmleri çöktürülmüştür. Üretilen filmlerin yapısal, elektriksel ve optik özellikleri incelenerek, alttaş olarak kullanılan cam yapılarının film özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Tüm bu araştırmalar sonucunda; alttaş olarak kullanılan cam yapılarıdaki Pb miktarının artması ile kristal yapılarında değişme olduğu gözlenmiştir. PbO içeren alttaşlar üzerine üretilen filmlerin elektriksel özdirenç değerleri, PbO içermeyen camlara kıyasla daha yüksektir. Görünür bölgedeki en yüksek geçirgenlik %5 PbO içeren cama aittir ve alttaş yapısına PbO ilavesi üretilen filmlerin kırılma indisi değerlerini artırmıştır.

## Formation and Investigation of ZnO Films on the Borate Glass Structures Containing Different Amounts of PbO

### Abstract

#### Keywords

ZnO thin film;  
Borate glass;  
Optical properties;  
Spectroscopic  
Ellipsometry  
Technique.

ZnO films which belong to transparent conducting oxide (TCO) family are materials taking attention with their unique properties in solar cell technologies. Deposition of these materials on suitable substrates by an economic technique affects the production costs and efficiency of devices. In this study, as an alternative to commonly used microscope slides, ZnO films have been deposited on the borate glass structures containing different amounts of PbO by ultrasonic chemical spray pyrolysis (UCPS) technique. The effect of substrate structures on the structural, electrical and optical properties of ZnO films has been investigated. As a result of all this research; it was observed that a change in the crystal structure with the increase of the amount of Pb at substrate glass structures. Electrical resistivity values of the films produced on substrates containing PbO is higher as compared to PbO-free glasses. High transmittance in the visible region belongs to the glass that contains 5% of PbO. The addition of PbO the substrate increased the values of the refractive index.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Günümüz teknolojik ve bilimsel araştırmalarında önemli bir yere sahip olan saydam iletken oksit (SİO) malzemeler, hem görünür bölgede yüksek geçirgenlik hem de iyi elektriksel iletkenlik sergileyen malzemeler olarak tanımlanabilir. Bu malzemelerin büyük bir çoğunluğu n-tipi yarıiletkenlerdir (Arier, 2007). SİO ailesinde bilinen

en önemli malzeme indiyum kalay oksit (ITO) tir. Ancak, indiyumun gün geçtikçe tükenmesi ve daha pahalı olmaya başlaması çalışmaları kısıtlamaktadır (Xu *et al.*2016). Bu nedenle alternatif SİO malzemelere ihtiyaç vardır. Bu malzemeler içerisinde ZnO kendisine has özellikleriyle ön plana çıkmaktadır. Doğada bol bulunması, kimyasal kararlılığı ve çevre dostu olmasıyla da dikkat

çekmektedir (Chen *et al.*2016). Ayrıca diğer malzemeler arasında ZnO bileşiğini üstün kılan bir başka özelliği 60 meV'luk eksiton bağlanma enerjisidir. ZnO bileşiği elektriksel özellikleri ve yüksek elektron-hall mobilitesiyle de önem arz etmektedir (Mandal *et al.* 2008). Alternatif ZnO filmlerinin üretimi için kullanılan teknik, katkılama, üretim sonrası ısıtma işlemi gibi değişkenlerle film yapısında iyileştirmeler yapılmaya çalışılmaktadır. SiO<sub>2</sub> üretiminde kullanılan alttaş da film özellikleri üzerinde etkin bir rol oynayarak, umut vaat eden ZnO filmlerinin üretimi için bir parametre olmaktadır. Kullanılacak alttaş, filmlerin kristal yapısını önemli derecede etkilemesinin yanında oluşturulan kaplamanın tutunmasında da önemli bir rol oynar. Ayrıca, alttaş özellikleri çekirdeklenme, tane büyümesi ve yapılanma için de önemlidir. Bugüne dek ince film üretiminde Si (Kamerski, 1980), kuartz cam (Demirselçuk, 2010), GaAs (Kucheyev *et al.* 2003), Ge (Jerng *et al.* 2012), plastik (Zhao *et al.* 2006) ve safir (Matsubara *et al.* 2011) gibi alttaşlar kullanılmıştır. Kimyasal püskürtme tekniği ile film üretiminde filmlerin soğuması esnasında alttaş ile kaplanan malzemenin ısıtma katsayıları arasındaki fark filmlerin yapısal ve elektriksel özelliklerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bu durumun ticari olarak satılan alttaşlarla giderilmesi mümkün değildir. Bu nedenle ihtiyaca uygun alttaşlar üretilerek ZnO filmlerinin bu alttaşlar üzerine kaplanması, umut vaat eden ZnO malzemeleri üretimi için araştırmaya değer bir konudur. Üretilen alttaşta bulunması gereken önemli özelliklerden birisi de yansıma yoluyla olan ışık kayıplarının minimuma indirilmesidir. Böylece alttaşlar mümkün olduğunca geçirgen olarak elde edilebilecektir. Bu açıdan filmlerin büyütülmesi için uygun cam alttaşın seçimi önemli bir faktördür. Cam teknolojisi uzun bir geçmişe sahiptir. Yüzyıllardır cam kompozisyonun kontrolüyle ve analiz yöntemlerinin gelişmesiyle her teknolojik ihtiyaca uygun cam yapıları oluşturulmuştur. Son yıllarda değişik geçiş ve toprak alkali iyonu katkılı borat camlar, elektrik, optik, mekanik ve manyetik özelliklerinden dolayı kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır (Kocabağ, 2002). Alkali borat camlar yüksek geçirgenliği, düşük erime noktası, yüksek

termal kararlılığı ve geçiş metal çözünürlüğü ile tanınırlar. Bu camlar elektronik ve optik teknolojilerde yaygın olarak kullanılırlar ve non-lineer optik ve manyeto-optik cihazlar için mükemmel malzemelerdir (Misra and Andronenko 2000). Özellikle PbO içeren borat cam yapıları görünür bölgede sahip oldukları yüksek ışık geçirgenlikleri ile dikkat çekicidir.

Bu çalışmada, ekonomik bir yöntem olan erime-söndürme tekniği ile farklı oranlarda PbO içeren borat cam yapıları üretilmiş ve bu cam alttaşlar üzerine ekonomik olmasıyla dikkat çeken Ultrasonik Kimyasal Püskürtme tekniği ile ZnO filmleri üretilmiştir. Üretilen filmlerin yapısal, elektrik ve optik özellikleri incelenerek, alttaş olarak kullanılan cam yapılarının film özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Cam yapıların üretimi

Cam üretiminde klasik erime-söndürme tekniği kullanılmıştır. PbO içermeyen ve farklı oranlarda (%0, %5, %10 ve %15) PbO içeren borat cam yapıların detaylı kompozisyonları Tablo 2.1.'de verilmektedir. Camı oluşturacak oksitler gerekli miktarda hassas terazide tartılarak, temiz bir kap içerisinde karıştırılmış ve platin kroze içerisine konmuştur. Kroze içerisindeki kimyasallar, 1350 °C sıcaklığa ayarlanmış yüksek sıcaklık fırınında 3 saat tutularak eritilmiştir. Bu süre sonunda eriyik haline gelmiş cam, silindirik şeklindeki kalıba dökülerek camın kalıbın şeklini alması sağlanmıştır. Hızlı bir şekilde kalıptan çıkartılan katı durumdaki cam, daha önceden 350°C' ye ayarlanmış tavlama fırınına konmuştur. Tavlama fırınında yaklaşık 1 saat bekletilen cam numuneler daha sonra oda sıcaklığına dek soğutulmaya bırakılmıştır. Elde edilen cam bloklar kesme ve parlatma işlemlerinin ardından, üzerlerine film kaplanması için hazırlanmıştır.

Tablo 2.1. PbO içeren borat cam yapıların kodları ve kompozisyonları.

| Cam Kodu | Cam Kompozisyonu   |
|----------|--|
| BP0      | %1 TiO <sub>2</sub> - %3 CaO - %1 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - %15 Na <sub>2</sub> O - %80 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>           |
| BP5      | %1 TiO <sub>2</sub> - %3 CaO - %1 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - %15 Na <sub>2</sub> O - %5 PbO - %75 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  |
| BP10     | %1 TiO <sub>2</sub> - %3 CaO - %1 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - %15 Na <sub>2</sub> O - %10 PbO - %70 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| BP15     | %1 TiO <sub>2</sub> - %3 CaO - %1 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - %15 Na <sub>2</sub> O - %15 PbO - %65 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |

## 2.2. ZnO filmlerinin üretimi

Bu çalışmada ZnO filmleri, erime-söndürme tekniği ile üretilmiş 4 adet cam alttaş (BP0, BP5, BP10, BP15) üzerine Ultrasonik Kimyasal Püskürtme (UKP) tekniği kullanılarak 415±5°C taban sıcaklığında çöktürülmüş ve 4 adet ZnO filmi elde edilmiştir (BP0F, BP5F, BP10F, BP15F). Kimyasal püskürtme tekniği, elde edilecek malzemenin elementlerini içeren tuzlarından belirli konsantrasyonlarda hazırlanan sulu çözeltisinin, önceden ısıtılmış alttaşlar üzerine belirli bir akış hızında belirli bir süre püskürtülmesine dayanan bir tekniktir. Filmlerin elde edilmesi için Zn kaynağı olarak Zn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O kimyasalı kullanılmıştır. ZnO filmlerinin üretilmesinde kullanılan deney parametreleri Tablo 2.2' de verilmektedir.

Tablo 2.2. ZnO filmlerinin üretim parametreleri.

|                          |   |
|--------------------------|---|
| Numune                   | ZnO   |
| Kullanılan Çözelti       | Zn(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O |
| Alttaş sıcaklığı         | 415±5°C   |
| Çözelti Molaritesi       | 0.1 M   |
| Püskürtme Hızı ve süresi | ~5 ml/dk ve 16 dk                                       |
| Toplam Çözelti Miktarı   | 80 ml   |
| Taşıyıcı Gaz             | Basınçlı hava (1bar)                                    |

Üretilen ZnO filmlerinin yapısal, elektrik ve optik özellikleri incelenerek, alttaş olarak kullanılan cam yapıların film özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Filmlerin yapısal analizleri Rikagu X-ışını difaktometresi (CuK $\alpha$  ışınması,  $\lambda=1.5406 \text{ \AA}$ ) cihazı ile incelenmiştir. Elektriksel öz dirençleri Keithley 2601A LUCAS Labs PRO4 dört-uç sistemi kullanılarak belirlenmiştir. ZnO filmlerinin optiksel özelliklerini incelemek için her bir filmin Shimadzu UV-VIS 2550 Spektrofotometre cihazı ile geçirgenlik spektrumları alınmış ve optik metot ile optik bant aralığı değerleri belirlenmiştir. OPTO S9000 Spektroskopik Elipsometre cihazı ile filmlerin optik sabitleri belirlenerek, alttaş yapısının film özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır.

## 3. Bulgular

### 3.1. Yapısal özellikler

PbO ilave edilmiş borat cam alttaşlar üzerine üretilen ZnO filmlerinin XRD desenleri Şekil 3.1'de verilmektedir. Bu desenler incelendiğinde farklı şiddetlere sahip piklerin varlığı, filmlerin polikristal yapıda oluştuğunu işaret etmektedir. XRD desenleri incelendiğinde BP5F numunesinde BPOF'a göre pik şiddetlerinin azaldığı, buna rağmen iki numunenin benzer yapısal karakteristikler sergilediği söylenebilir. Ancak, alttaş yapısına daha fazla PbO ilave edildiğinde bu alttaşlar üzerine üretilen filmlerin kristal yapılarında dikkate değer bir bozulma olduğu ve hatta BP15 numunesi için amorf yapıya doğru bir kayma olduğu açıkça görülmektedir. Özellikle BP10F numunesinde (002) pikinin BP15F numunesinde ise (100) ve (002) piklerinin yok oluşu oldukça dikkat çekicidir. Ayrıca XRD desenlerinin incelenmesi sonucunda ZnO filmlerinin hekzagonal yapıda oluştuğu belirlenmiştir.

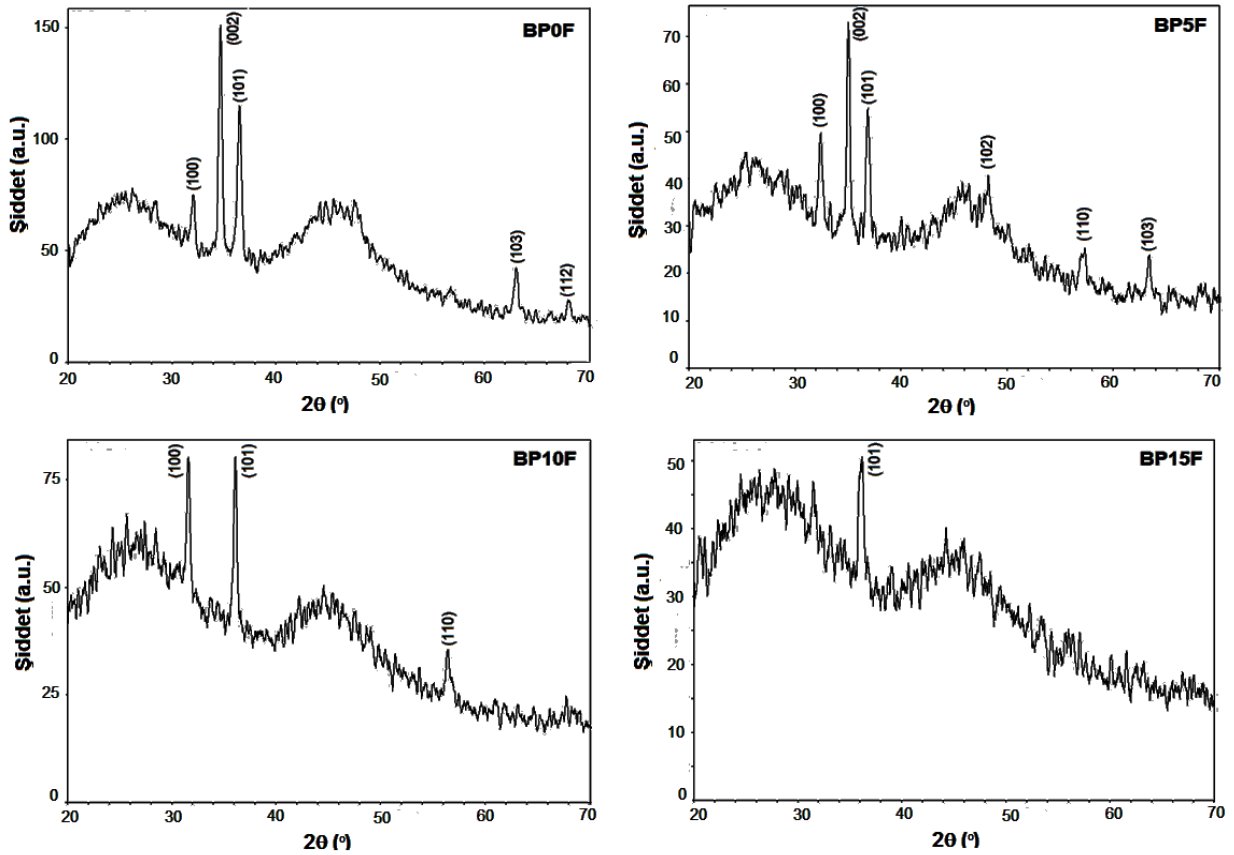
ZnO filmlerinin yapısal özellikleri hakkında ayrıntılı bilgiye ulaşabilmek amacı ile tane büyüklüğü ve makro gerilme değerleri hesaplanmıştır. Tane büyüklüklerinin belirlenmesinde Scherrer bağıntısı olarak bilinen,

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

$$\langle e \rangle = \frac{d - d_0}{d_0} \quad (2)$$

ifadesi kullanılmıştır. Burada  $D$  tane büyüklüğü (çapı),  $B$  maksimum şiddetli pikin radyan olarak yarı pik genişliği,  $\theta$  Bragg açısı ve  $\lambda$  kullanılan X-ışınının dalgaboyudur ( $\text{CuK}\alpha = 1.54060 \text{ \AA}$ ) (Benramdane *et al.* 1997; Hammond, 1997). Kırınım piklerindeki kaymayı ifade eden makro gerilmeler ise

denklemleri ile hesaplanmıştır. Burada  $\langle e \rangle$  malzemedeki makro gerilmeleri,  $d$  düzlemler arası mesafeyi ve  $d_0$  ise deformasyon olmadığı durumdaki düzlemler arasındaki mesafeyi göstermektedir (Vigil *et al.* 2001). ZnO filmlerinin yapısal parametreleri Tablo 3.1'de verilmektedir. Makro gerilme değerlerinin negatif çıkması yapıdaki sıkışmayı; pozitif çıkması ise genişlemeyi ifade etmektedir.



Şekil 3.1. ZnO filmlerinin X-ışını kırınım desenleri.

### 3.2. Elektriksel Özellikler

ZnO filmlerinin elektriksel özdirenç değerlerini belirlemek amacıyla dört uç tekniği kullanılmıştır. BPF filmlerine ait özdirenç değerleri Tablo 3.2'de verilmektedir. PbO içeren borat tabanlı alttaşılar üzerine üretilen ZnO filmlerinin özdirenç değerlerinin PbO içermeyen alttaş üzerine üretilen filme göre yaklaşık 10 kat fazla olduğu

görülmektedir. Bu durumun mobilite kavramıyla ilgili olduğunu düşünmekteyiz. Daha önce yapısal özellikler bölümünde BP5F, BP10F ve BP15F numunelerinde pik şiddetlerinde bir azalma, alttaştaki PbO miktarının artmasıyla beraber bazı yönelimlere ait piklerin yok olması ve amorf bir kayma olduğu vurgulanmıştı. Bu durumda azalan kristal kalitesiyle birlikte film yapısında

oluşan deformasyon, elektronlar için saçılma merkezlerinin sayısının artmasına ve mobilite değerlerinde bir azalmaya sebep olabilir (Thimsen et al.2014) (Soylu, 2006). Buradan yola çıkarak bu

numunelerde yüksek özdirenç değerlerinin gözlenmesinin beklenen bir durum olduğunu düşünmekteyiz.

Tablo 3.1. ZnO filmlerinin yapısal parametreleri.

| Numune | (hkl) | B (rad)              | D (nm) | <e>                   |
|--------|-------|----------------------|--------|-----------------------|
| BP0F   | (100) | $1.2 \times 10^{-2}$ | 12     | $-3.5 \times 10^{-3}$ |
|        | (002) | $6.6 \times 10^{-3}$ | 23     | $-6.9 \times 10^{-3}$ |
|        | (101) | $7.4 \times 10^{-3}$ | 20     | $-6.8 \times 10^{-3}$ |
| BP5F   | (100) | $8.8 \times 10^{-3}$ | 17     | $-2.2 \times 10^{-2}$ |
|        | (002) | $6.2 \times 10^{-3}$ | 24     | $-1.7 \times 10^{-2}$ |
|        | (101) | $7.9 \times 10^{-3}$ | 19     | $-1.6 \times 10^{-2}$ |
| BP10F  | (100) | $6.0 \times 10^{-3}$ | 25     | $5.6 \times 10^{-3}$  |
|        | (002) | -                    | -      | -                     |
|        | (101) | $7.0 \times 10^{-3}$ | 22     | $4.0 \times 10^{-3}$  |
| BP15F  | (100) | -                    | -      | -                     |
|        | (002) | -                    | -      | -                     |
|        | (101) | $9.0 \times 10^{-3}$ | 17     | $1.2 \times 10^{-3}$  |

### 3.3 Optik Özellikler

ZnO filmlerinin görünür bölgede optik geçirgenlikleri ve optik bant aralığı değerleri teknolojik uygulamalarda kullanım potansiyelini belirleyen önemli parametreler arasındadır. Bu bölümde borat tabanlı cam alttaşlar üzerine çöktürülen ZnO filmlerinin optiksel özelliklerini incelemek için her bir filmin UV/VIS spektrofotometre cihazı ile geçirgenlik spektrumları alınmış ve optik metot ile optik bant aralığı değerleri belirlenmiştir. Ayrıca Spektroskopik Elipsometri (SE) tekniği ile film kalınlıkları ve optik sabitleri saptanmıştır.

PbO ilave edilmiş borat cam alttaşlar üzerine üretilen ZnO filmlerinin geçirgenlik spektrumları Şekil 3.2' de verilmektedir. Şekil 3.2 incelendiğinde, BP0F filminin geçirgenlik değerlerinin borat alttaş yapısına PbO ilave edilmesi ile birlikte değiştiği

dikkati çekmektedir. Bilindiği gibi optik geçirgenlik numunelerin kalınlığına, yansıma/saçılma olaylarından kaynaklanan kayıplara, kristallenme seviyelerine ve yüzey morfolojilerine güçlü bir şekilde bağlıdır. PbO ilave edilmiş borat cam alttaşlar üzerine üretilen ZnO filmlerinin XRD

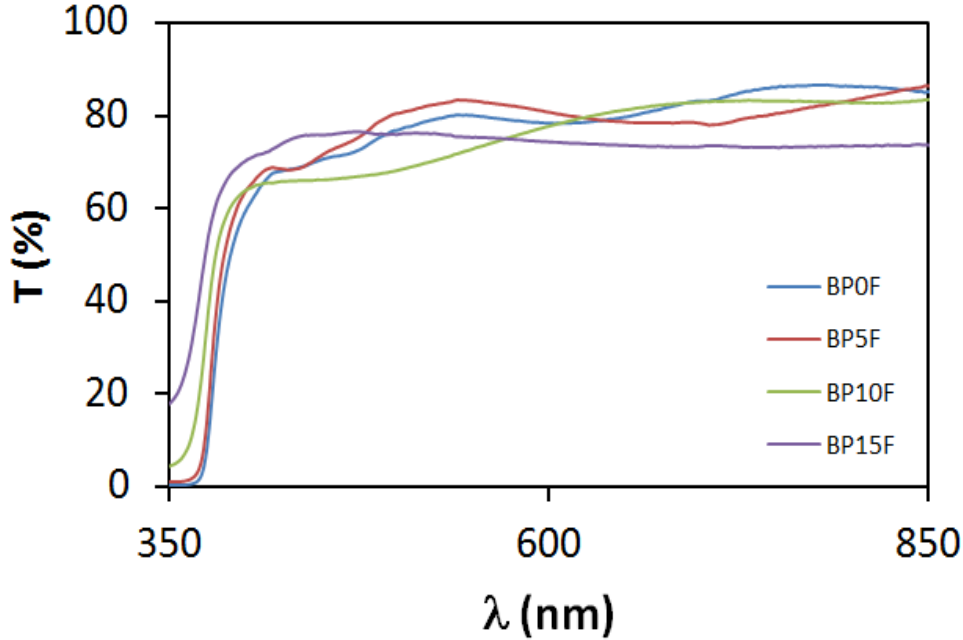
Tablo 3.2. BPF filmlerine ait özdirenç değerleri.

| NUMUNE | Özdirenç ( $\Omega.cm$ ) |
|--------|--------------------------|
| BP0F   | $3.78 \times 10^4$       |
| BP5F   | $3.37 \times 10^5$       |
| BP10F  | $1.53 \times 10^5$       |
| BP15F  | $1.34 \times 10^5$       |

desenlerinin incelenmesi sonucunda yüksek oranlarda PbO içeren borat cam alttaşlar üzerine

büyütülen ZnO filmlerinin kristallenme seviyelerinin bozularak BP15F numunesinin amorf yapıya doğru kaydığı belirlenmişti. Buradan yola çıkarak BP15F filminin düşük kristallenme seviyesine sahip olmasından dolayı saçılmalardan kaynaklanan kayıpların geçirgenlik değerlerinde azalma etkisi

yarattığını düşünmekteyiz. Ayrıca Şekil 3.2' de verilen geçirgenlik spektrumlarının incelenmesi sonucunda, BP10F ve BP15F filmlerinde bant kenarlarının kısa dalgaboylarına doğru kaydığı ve böylece optik bant aralığı değerlerinde az da olsa bir artış olacağı belirlenmiştir.



Şekil 3.2. ZnO filmlerinin geçirgenlik spektrumları.

ZnO filmlerinin optik bant aralıklarının belirlenmesi için optik metot kullanılmıştır. Bu metotta, yasak enerji aralığı, temel absorpsiyon spektrumu kullanılarak çizilen  $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$  değişim grafiğinden belirlenir. Bu değişimin lineer kısmının doğrultusunun  $h\nu$  eksenini  $(\alpha h\nu)^2=0$  'da kestiği noktanın enerji değeri, yarıiletkenin yasak enerji aralığını vermektedir (Silva and Zaniquelli 1999). Şekil 3.3'te PbO içeren borat yapıları cam alttaşlar üzerine çöktürülen ZnO filmlerinin  $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$  değişim grafikleri verilmektedir. Tüm filmlerin optik metot kullanılarak hesaplanan optik bant aralığı değerleri ise Tablo 3.3' te verilmektedir. Tablo 3.3' ten PbO içermeyen BPOF filminin optik bant aralığı değerinin borat cam alttaşlara eklenen PbO miktarına bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Özellikle %10 ve %15 oranlarında PbO ilave edilerek oluşturulan borat alttaşlar üzerine büyütülen BP10F

ve BP15F filmlerinin optik bant aralığı değerlerinde az da olsa bir artış olduğu saptanmıştır.

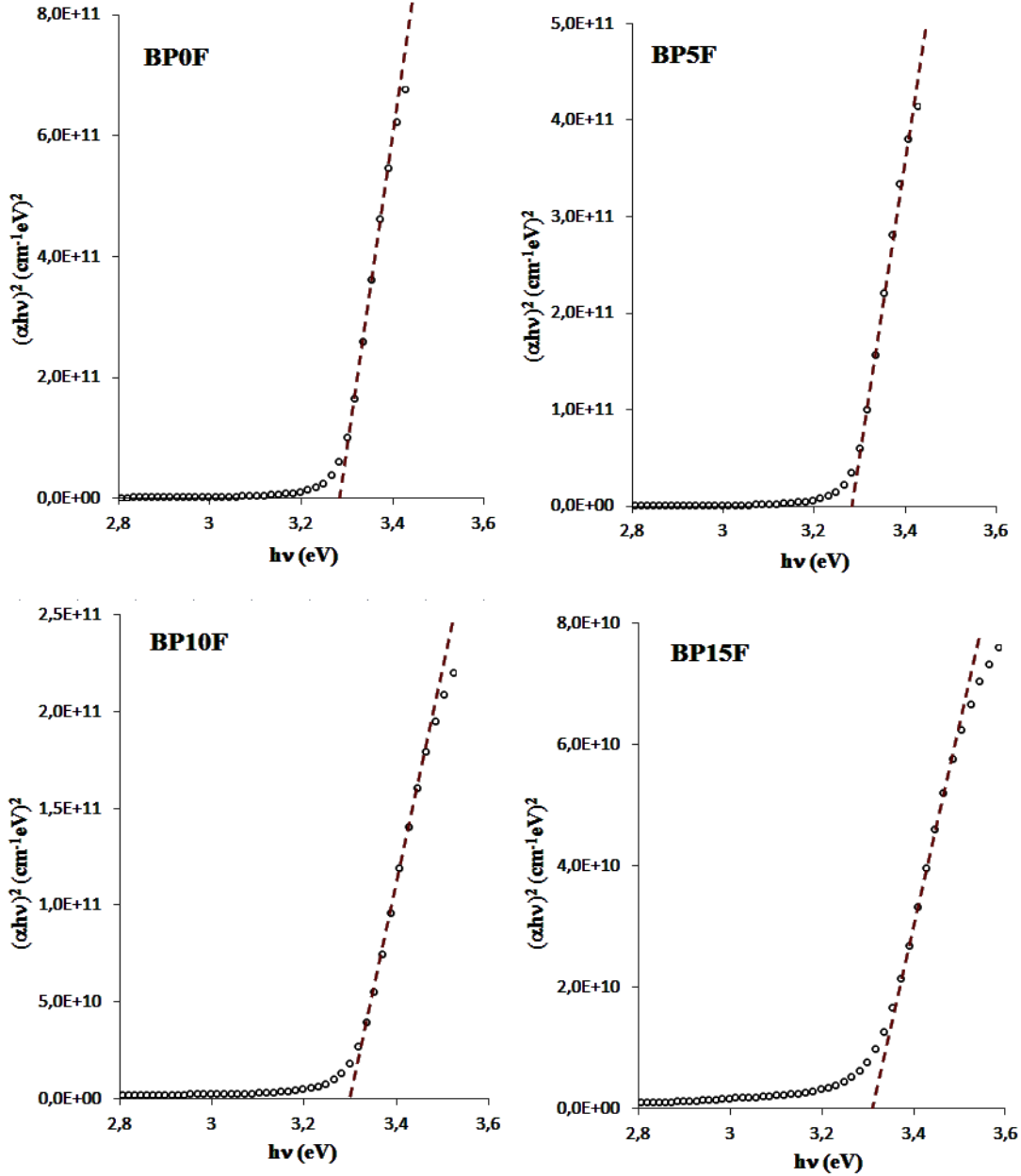
Tablo 3.3. BPF filmlerinin optik bant aralığı değerleri.

| NUMUNE | $E_g$ (eV) |
|--------|------------|
| BPOF   | 3.284      |
| BP5F   | 3.282      |
| BP10F  | 3.298      |
| BP15F  | 3.311      |

ZnO filmlerinin optik sabitlerini belirlemek amacıyla spektroskopik elipsometre cihazı kullanılmıştır. Tüm filmler için kalınlık değerleri ve optik sabitler (kırılma indisi ve sönüm katsayısı) soğurmanın az

olduğu bölgelerde sağlıklı sonuçlar veren Cauchy-Urbach modeli ile belirlenmiştir. Bu nedenle, filmlerin soğurma spektrumları da göz önüne alınarak elipsometre ölçümleri 1200-1600 nm dalgaboyu aralığında alınmıştır. En uygun gelme açısı  $75^\circ$  olarak belirlenmiş ve her bir film için  $\Psi$  spektrumları alınmıştır. Ölçülen ve Cauchy-Urbach

modeli ile belirlenen veriler için en iyi uyum (fitting) sağlanarak film kalınlıkları ve optik sabitler belirlenmiştir.



Şekil 3.3. BPF filmlerinin  $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$  değişim grafikleri

Şekil 3.4'te PbO içeren borat alttaşlar üzerine büyütülen filmlerin  $\Psi$  spektrumları verilmektedir. Tüm filmler için deneysel veri ve teorik model arasındaki uyumun iyi olduğu söylenebilir. Ancak

BP5F numunesinde deneysel verilerin diğer filmlere göre biraz daha dağınık oluşu dikkat çekmektedir. XRD analizleri bu durumun kristal yapıyla ilgili olmadığını işaret etmektedir. Bu durumda ilgili film

yüzey morfolojisinin böyle bir ölçüme neden olduğu söylenebilir.

ZnO filmlerinin kalınlıklarını ve optik sabitlerini belirlemek amacı ile Cauchy-Urbach dispersiyon modeli kullanılmıştır. Kırılma indisi için Cauchy modeli;

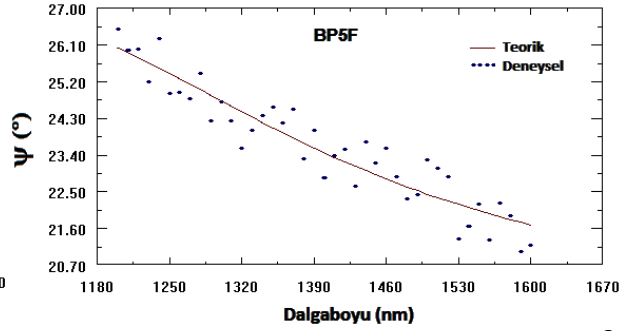
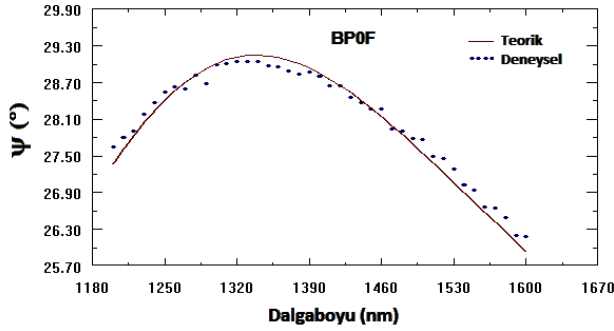
$$n(\lambda) = A_n + \frac{B_n}{\lambda^2} + \frac{C_n}{\lambda^4} \quad (3)$$

bağıntısı ile verilir. Burada  $A_n$ ,  $B_n$  ve  $C_n$  Cauchy parametreleridir. Sönüm katsayısının sıfır olduğu bölgelerde Cauchy modelinin kullanımı uygundur. Ancak spektrumda sönüm katsayısının sıfır olmadığı ve az da olsa soğurmanın olduğu bölgelerde bulunabilir. Bu durumda Cauchy modeline sönüm katsayısını tanımlayan Urbach denklemini de

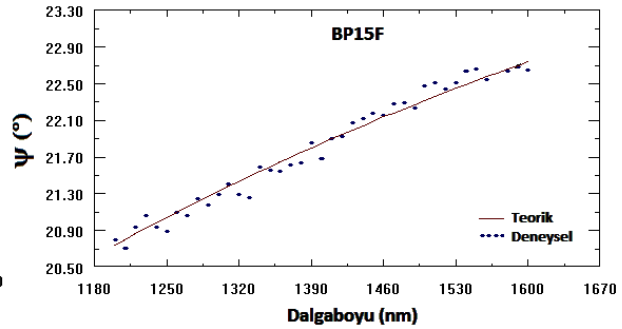
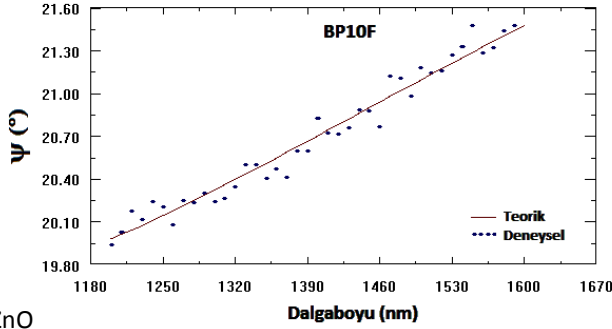
eklemek gerekir. Urbach denkleminin malzemenin soğurmaya sahip olduğu bölgelerde sönüm katsayısını temsil eder ve

$$k(\lambda) = A_k e^{B_k(E-E_b)} \quad (4)$$

ifadesi ile verilir. Burada  $A_k$  ve  $B_k$  ise Urbach parametreleridir (Gençyılmaz *et al.* 2012). ZnO filmleri için Cauchy-Urbach model parametreleri Tablo 3.4' te verilmiştir ve bu tablo incelendiğinde alttaş yapısındaki Pb elementinin kırılma indisi değerlerinde artışa neden olduğu görülmektedir.



Şekil



3.4.

ZnO

filmlerinin  $\Psi$  spektrumları.



Tablo 3.4. ZnO filmlerinin Cauchy-Urbach model parametreleri ve optik sabitleri.

| NUMUNE | $A_n$ | $B_n \text{ (nm)}^2$ | $C_n \text{ (nm)}^4$ | $A_k$ | $B_k \text{ (eV)}^{-1}$ | $d \text{ (nm)}$ | MSE  | $n_{ort}$ | $k_{ort}$ |
|--------|-------|----------------------|----------------------|-------|-------------------------|------------------|------|-----------|-----------|
| BPOF   | 1.697 | 0.002                | 0.003                | 0.068 | 1.11                    | 476              | 0.02 | 1.699     | 0.005     |
| BP5F   | 1.715 | 0.009                | 0.118                | 0.112 | 1.13                    | 369              | 0.26 | 1.757     | 0.008     |
| BP10F  | 1.737 | 0.008                | 0.008                | 0.102 | 1.13                    | 179              | 0.01 | 1.744     | 0.008     |
| BP15F  | 1.786 | 0.007                | 0.005                | 0.147 | 1.18                    | 120              | 0.01 | 1.792     | 0.010     |

**Not:** Bu çalışma V. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresinde sözlü olarak sunulmuş ve özet kitapçığında özeti basılmıştır.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, optoelektronik aygıtların üretiminde önemli bir yeri olan ZnO filmlerinin farklı oranlarda PbO içeren borat alttaşlar üzerine üretilmesiyle, alttaş yapısının üretilen filmlerin yapısal, elektriksel

ve optik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Üretilen filmin kalitesinin ince film kaplanacak alttaşın cinsine ve kaplama yapılacak sıcaklığa son derece bağlı olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada üretilen borat alttaşlar ile  $415 \pm 5^\circ\text{C}$  lik kaplama sıcaklığında çalışılmıştır. Filmin üretildiği alttaş cam yapılarındaki PbO miktarı değişimi ile film kalitesinin değiştiği gözlenmiştir. Kendi ürettiğimiz borat cam alttaşlar üzerine üretilen ZnO filmlerinin incelenmesinden sonra; %5 PbO içeren borat cam yapılar üzerine üretilen ZnO filmlerinin, diğer numunelere kıyasla yüksek kristalleşme düzeyi, yüksek kırılma indisi, yüksek optik geçirgenliği ve düşük bant aralığı değerlerine sahip olmasından dolayı, elektronik aygıt teknolojisinde kullanımının daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

#### Teşekkür

Bu çalışma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi BAP komisyonu tarafından desteklenmiştir (Proje No: 201319013).

## Kaynaklar

- Akkaya Arier, Ö., 2007. Relation of the optical and electrical parameters with process parameters in transparent conductor coatings. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 4 (1), 32- 47.
- Benramdane, N., Murad, W.A., Misho, R.H., Ziane, M. and Kebbab, Z., A., 1997. Chemical method for the preparation of thin films of CdO and ZnO. *Materials Chemistry and Physics*, 48, 119-123.
- Chen, Y., Lan, W., Wang, J., Zhu, R., Yang, Z., Ding, D., Tang, G., Wang, K., Su, Q. and Xie, E., 2016. Highly flexible, transparent, conductive and antibacterial films made of spin-coated silver nanowires and a protective ZnO layer. *Physica E*, 76, 88-94.
- Demirselcuk, B., 2010. ZnO ince filmleri: Co katkısının etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Canakkale OnSekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Canakkale, 87s.
- Gencyılmaz O., Karakaya S., Atay, F., Akyuz I., 2012. Co Katkılı ZnO İnce Filmlerinin Üretimi ve Karakterizasyonu. *BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi*, Cilt 14(2) 15-24.
- Hammond, C., 1997. The basics of crystallography and diffraction, School of Materials, University of Leeds, 249 p.
- Jerng, S.K., Yu, D.S., Lee, J.H., Kim, Y.S., Kim, C., Yoon, S., Chun, S.H., 2012. Carbon molecular beam epitaxy on various semiconductor substrates. *Materials Research Bulletin*, 47, 2772-2775.
- Kamerski, L.L., 1980. Polycrystalline and Amorphous Thin Films and Devices, Academic press.
- Kocabağ, D., 2002. Cam kimyası, özellikler, uygulaması, Birsen yayınevi, İstanbul, 2002.
- Kucheyev, S.O., Williams, J.S., Jagadish, C., Zou, J., Evans, C., Nelson, A.J., Hamza, A.V., 2003. Ion-beam-produced structural defects in ZnO. *Physical Review B*, 67, 094115.
- Mandal, S., Goswami, M.L.N., Das, K., Dhar, A. and Ray, S.K., 2008. Temperature dependent photoluminescence characteristics of nanocrystalline ZnO films grown by sol-gel technique. *Thin Solid Films*, 516, 8702-8706.
- Matsubara, K., Ohtale, M., Tobarı, K., Futamoto, M., 2011. Structure and magnetic properties of Fe epitaxial thin films prepared by UHV rf magnetron sputtering on GaAs single-crystal substrates. *Thin Solid Films*, 519, 8299-8302.
- Misra, S.K., Andronenko, S.I., 2000. Single-crystal EPR of the  $\text{Eu}^{2+}$  ion in pentacalcium-oxide trialuminate,  $5\text{CaO}\cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ . *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 61, 1913-1917.
- Silva, R.F. and Zaniquelli, M.E.D., 1999. Aluminium doped zinc oxide films: formation process and optical properties. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 247, 248-253.
- Soylu, M., 2006. Atmalı katodik vakum ark depolama sistemiyle üretilen ZnO'nun elektriksel iletkenliği ve ısıtma işlemi değişimi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 115.
- Thimsen, E., Johnson, M., Zhang, X., Wagner, A.J., Andre Mkhoyan, K., Kortshagen, U.R. and Aydil, E.S. 2014. High electron mobility in thin films formed via supersonic impact deposition of nanocrystals synthesized in nonthermal plasmas. *Nature Communications*, 5, 5822-5830.
- Vigil, O., Cruz, F., Acevedo, A.M., Puente, G.C., Vaillant, L., Santana, G., 2001. Structural and optical properties of annealed CdO thin films prepared by spray pyrolysis. *Materials Chemistry and Physics*, 68, 249-252.
- Xu, K., Xie, Y., Ma, H., Du, Y., Zeng, F., Ding, P., Gao, Z., Xu, C. and Sun, J., 2016. ZnO nanorods/graphene/Ni/Au hybrid structures as transparent conductive layer in GaN LED for low work voltage and high light extraction. *Solid-State Electronics*, 126, 5-9.
- Zhao, L., Lian, J., Liu, Y., Jiang, Q., 2006. Structural and optical properties of ZnO thin films deposited on quartz glass by pulsed laser deposition. *Applied Surface Science*, 252, 8451-8455.