T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI BOR BİLEŞİKLERİ KULLANARAK BOR KATKILI ÇİNKO OKSİT (BZO) FİLMLERİN HAZIRLANMASI VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Songül DEMİRÖZÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2015

Yrd. Doç. Dr. Ferhat ASLAN danışmanlığında, Songül DEMİRÖZÜ' nün hazırladığı **"Farklı bor bileşikleri kullanarak bor katkılı çinko oksit (BZO) filmlerin hazırlanması ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi"** konulu bu çalışma 19/02/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Ferhat ASLAN ……

Üye : Prof. Dr. Ahmet KILIÇ ……

Üye : Yrd. Doç. Dr. Abdullah GÖKTAŞ ……

Bu tezin Fizik Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Prof. Dr. Sinan UYANIK
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma HÜBAK ve SANTEZ tarafından desteklenmiştir.
Proje No: 13029 ve 0128.STZ.2013-1

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ vi
SİMGELER DİZİNİ vii
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 2
2.1. Yarıiletkenler 5
2.1.1. Saf yarıiletkenler 5
2.1.2. Katkılı yarıiletkenler 7
2.1.3. Yarıiletkenlerin elektriksel özellikleri 9
. 2.1.3.1. Mobilite 9
2.1.3.2. Özdirenç 10
2.1.4. Yarıiletkenlerin optiksel özellikleri 11
2.2. Saydam İletken Oksit Malzemeler 13
2.2.1. Saydam iletkenler 13
2.2.1.1. Bor elementi 14
2.2.1.2 Çinko oksit (ZnO) 14
2.2.1.3. Bor katkılı çinko oksit (BZO) 15
2.3. Saydam İletken Oksitlerin Üretim Yöntemleri 16
2.3.1. Aniden (Flash) buharlaştırma 16
2.3.2. Lazerle buharlaştırma (LPD) 16
2.3.3. Saçtırma yöntemi (Sputtering) 17
2.3.4. Kimyasal buhar yöntemi (CVD) 18
2.3.5. Püskürtme yöntemi 18
2.3.6. Sol jel yöntemi 19
2.3.6.1. Sol jel yönteminin avantajları 20
2.3.6.2. Sol jel yönteminin dezavantajları 20
3. MATERYAL ve YÖNTEM 21
3.1. Giriş 21
3.2. Sol Jel Çözeltilerinin Hazırlanması 21
3.2.1. Katkısız çinko oksit (ZnO) çözeltisinin hazırlanması 21
3.2.2. Bor katkılı çinko oksit (BZO) çözeltisinin hazırlanması 22
3.3 Cam Altlıkların Temizlenmesi 23
3.4. İnce Filmlerin Kaplanması 23
3.5. Karakterizasyon İşlemlerinde Kullanılan Teknikler 25
3.5.1. X- ışını kırınımı (XRD) 25
3.5.2. UV-Vis spektrometresi 26
3.5.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) 26
3.5.4. Hall etkisi ölçümü 27
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 29
4.1. Giriş 29
4.2. Filmlerin Yapısal Özellikleri 29
4.2.1.XRD sonuçları 29
4.3. Filmlerin Morfolojik Özellikleri 35
4.3.1.Taramalı elektron mikroskobu (SEM) sonuçları 35
4.4. Filmlerin Elektriksel Özellikleri 39
4.4.1. Hall etkisi sonuçları 39
4.5 Filmlerin Optiksel Özellikleri 43
4.5.1. UV-Vis sonuçları 43

5. SONUÇ ve ÖNERİLER..... 51
KAYNAKLAR..... 54
ÖZGEÇMİŞ 57

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI BOR BİEŞİKLERİ KULLANARAK BOR KATKILI ÇİNKO OKSİT (BZO) FİLMLERİN HAZIRLANMASI VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Songül DEMİRÖZÜ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ferhat ASLAN
Yıl: 2015, Sayfa:57

Bu çalışmada trimetil bor, butil boronik asit ve Harran Üniversitesi Kimya bölümünde sentezlenen yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2) kullanılarak % 0.5, % 1, % 1.5 ve % 2 oranında bor katkılı çinko oksit (BZO) filmler sol-jel yöntemiyle cam altlıklar üzerine kaplandı. Elde edilen ince filmler 450 ^oC, 475 ^oC, 500 ^oC, 525 ^oC ve 550 ^oC sıcaklıklarda 45 dakika süre ile argon ortamında tavlandı. B/Zn oranının ve tavlama sıcaklığının BZO filmlerin yapısal, optiksel ve elektriksel özelliklerine etkisi X-ışını kırınımı (XRD), UV-Vis spektrometresi, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve Hall etkisi ölçüm sistemleriyle incelendi. XRD sonuçları ZnO filmlerin % 0.5 oranında butil boronik asit ve yarı sabun bor kompleksi (L_2BPh_2) katkılandırılmasıyla (002) miller indisli pik şiddetinin arttığını göstermektedir. UV-vis ölçümlerine göre % 1 oranında L_2BPh_2 ve % 1.5 ve % 2 oranında butil boronik asit katkılı filmlerde de 500 nm ve 1100 nm dalga boyu aralığında optiksel geçirgenlikte önemli artış gözlenmiştir. Elektriksel ölçümlere göre en düşük özdirenç 4.85 x 10^{-2} Ω cm olarak % 0.75 oranında butil boronik asit katkılı filmlerde gözlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: sol-jel metodu, saydam iletken oksit, BZO, ince film

ABSTRACT

MSc Thesis

PREPARATION AND PHYSICAL INVESTIGATION OF BORON DOPED ZINC OXIDE (BZO) FILMS USING DIFFERENT BORON PRECURSORS

Songul DEMIROZU

Harran University
Graduate school of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Ferhat ASLAN
Year:2015, Page: 57

In this study, boron doped ZnO (BZO) thin films were prepared by sol-gel dip-coating method on glass substrates in B/Zn ratios of 0.5 %, 1 % , 1.5 % and 2 % by using trimethyl borate, butyl boronic acid and hemi salan boron complex (L_2BPh_2) which was synthesized in department of chemistry in Harran University. The prepared thin films were annealed at 450, 475, 500, 525 and 550 ^oC for 45 min. under argon environment. The effect of B/Zn ratio and annealing temperature on the structural, optical and electrical properties of BZO films were investigated by X-ray diffraction (XRD), UV–Vis spectroscopy, scanning electron microscope (SEM) and Hall effect measurement system. XRD results showed that intensity of (002) peak of ZnO films increase for butyl boronic acide and hemi salan boron complex (L_2BPh_2) doped ZnO films. Significant increase in the optical wavelength range of 500 nm and 1100 nm in transmittance were observed for % 1 L_2BPh_2 and % 1.5 and % 2 butyl boronic acid doped ZnO films. The lowest 4.85 x 10^{-2} Ω cm electrical resistivity was observed for 0.75 % butyl boronic acid doped ZnO films.

KEY WORDS: Sol-gel method, Transparent Conducting Oxide, BZO, Thin film

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamın gerçekleşmesinde bana her anlamda destek veren, kendisi ile çalışmaktan onur duyduğum değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ferhat ASLAN' a, gösterdiği ilgi, hoşgörü ve yardımları için teşekkür ederim.
Yaşamım boyunca beni her konuda destekleyen değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa No
Şekil 2.1.	Metal (a), yarıiletken (b) ve yalıtkan (c) bant diyagramı ……	6
Şekil 2.2.	Silisyum kristalinin arsenik atomuyla (a) ve bor atomuyla (b) katkılandırılması...	7
Şekil 2.3.	Yarıiletkenlerde doğrudan (a) ve dolaylı (b) bant geçişleri ……...	12
Şekil 2.4.	Bor elementinin kristal yapısı ……	14
Şekil 2.5.	Wurtzite ZnO yapı …….	14
Şekil 2.6.	Çinkoblend ZnO yapısı ……...	15
Şekil 2.7.	Aniden buharlaştırma yöntemiyle çökertme ……..…	16
Şekil 2.8.	Lazerle buharlaştırtma ……	17
Şekil 2.9.	Saçtırma yöntemi ……..	17
Şekil 2.10.	Püskürtme yönteminin şematik gösterimi …….....	18
Şekil 2.11.	Sol- Jel yönteminin genel şeması ……..…….....	19
Şekil 3.1.	BZO ince filmlerin sol-jel yöntemiyle hazırlanma şeması ……	22
Şekil 3.2.	Dip coater cihazı …….....	24
Şekil 3.3.	Rigaku Ultima III x-ışını difraktometresi ……..	25
Şekil 3.4.	UV-Vis spektrometresi (Perkin Elmer 45 UV-VIS) ……...	26
Şekil 3.5.	Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ……	26
Şekil 3.6.	Elektriksel kontak şekilleri ……	27
Şekil 3.7.	Hall etkisi ölçümü için kontak oluşturulması ……	27
Şekil 3.8.	Ecopia HMS 3000 Hall etkisi ölçüm sistemi ……..	28
Şekil 4.1.	Trimetil bor ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre XRD spektrumları ……...	30
Şekil 4.2.	% 0.5 Trimetil bor ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara göre XRD spektrumu ……..	30
Şekil 4.3.	525 ^{o}C'de tavlanmış ve L_2BPh_2 ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre XRD spektrumu …….	31
Şekil 4.4.	% 0.75 L_2BPh_2 ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara göre XRD spektrumu ……	32
Şekil 4.5.	Butil boronik asit ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre XRD spektrumu ……	33
Şekil 4.6.	% 1oranında Butil boronik asit ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara göre XRD spektrumu…….....	33
Şekil 4.7.	Farklı bor türlerine göre ZnO filmlerin XRD spektrumları ……	34
Şekil 4.8.	Katkısız ZnO filmlerin a) üstten 100 K büyütmeyle çekilmiş, b) yandan çekilmiş SEM görüntüleri ……..……	35
Şekil 4.9.	(a) % 0.5, (b) % 1, (c) %1.5 ve (d) % 2 oranında Trimetil bor ile katkılandırılmış ve 525 ^{o}C tavlanmış ZnO filmlerin SEM görüntüleri…….....	36
Şekil 4.10.	(a) % 0.5, (b) % 1, (c) %1.5 ve (d) % 2 oranında L_2BPh_2 ile katkılandırılmış ve 525 ^{o}C tavlanmış ZnO filmlerin SEM görüntüleri ……..	37
Şekil 4.11	(a) % 0.5, (b) % 1, (c) %1.5 ve (d) % 2 oranında Butil boronik asit ile katkılandırılmış ve 525 ^{o}C 'de tavlanmış ZnO filmlerin SEM görüntüleri …….	38
Şekil 4.12.	% 0.75 oranında Butil boronik asit ile katkılandırılmış ve (a) 450 ^{o}C, (a) 475 ^{o}C, (a)500^{o}C ve (a) 525 ^{o}C' de tavlanmış ZnO filminin SEM görüntüleri ……..	39
Şekil 4.13.	Trimetil bor ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre Hall etkisi sonuçları ……..	40
Şekil 4.14.	% 0.5 oranındaTrimetil bor ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara göre Hall etkisi sonuçları ……...	40
Şekil 4.15.	L_2BPh_2 ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre Hall etkisi sonuçları ……..	41
Şekil 4.16.	% 0.5 oranında L_2BPh_2 ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara göre Hall etkisi sonuçları ……...	41
Şekil 4.17.	Butil boronik asit ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre Hall etkisi sonuçları ……...	42

Şekil 4.18. % 0.75oranında Butil boronik asit ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara göre Hall etkisi sonuçları……. 42
Şekil 4.19. % 0.5 oranındaTrimetil bor ile katkılandırılmış ve 525 ºC'de tavlanmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre UV spektrumu ……. 44
Şekil 4.20. % 0.5 oranında Trimetil bor ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara göre UV spektrumu ……..... 44
Şekil 4.21. L_2BPh_2 ile katkılandırılmış ve 525 ºCde tavlanmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre UV spektrumu ……..... 45
Şekil 4.22. % 0.75 oranında L_2BPh_2 ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara göre UV spektrumu…….. 46
Şekil 4.23. Butil boronik asit ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre UV spektrumu …… 46
Şekil 4.24. % 0.75 oranında Butil boronik asit ile katkılandırılmış .ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara UV spektrumu ……. 47
Şekil 4.25. 525 ºC' de tavlanmış katkılandırılmamış ZnO filmlerin yasak bant aralığı …… 47
Şekil 4.26. 525 ºC' de tavlanmış farklı oranlarda Trimetil bor ile katkılandırılmış ZnO filmlerin yasak bant aralığının gösterimi …… 48
Şekil 4.27. 525 ºC' de tavlanmış farklı oranlarda L_2BPh_2 ile katkılandırılmış ZnO filmlerin yasak bant aralığı ……. 49
Şekil 4.28. 525 ºC' de tavlanmış Butil boronik asit ile katkılandırılmış ZnO filmlerin yasak bant aralığının katkı oranı ile değişimi …… 50

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa No
Çizelge 2.1.	Bazı element ve bileşik yarıiletkenler (Sze, 1985) ……	5
Çizelge 2.2.	Saydam iletken oksit malzemeler ……...	13
Çizelge 3.1.	ZnO çözeltilerinin başlangıç kimyasalları ……..	21
Çizelge 3.2.	Bor katkılı ZnO çözeltilerinin başlangıç kimyasalları……	22
Çizelge 3.3.	Hazırlanan örneklerin kodları ……..……	24
Çizelge 4.1.	Bazı örneklerin Debye scherrer formülü ile hesaplanmış tanecik boyutları …..	35
Çizelge 4.2.	Çalışmada elde edilen filmlerin Hall etkisi sonuçları ……..	43

SİMGELER DİZİNİ

ρ	Özdirenç
σ	Elektriksel iletkenlik
E_g	Yasak enerji aralığı
E_c	İletim bandı enerji seviyesi
E_v	Valans bandı enerji seviyesi
E_a	Katkılı yarıiletkenlerde akseptor enerji seviyesi
E_d	Katkılı yarıiletkenlerde donor enerji seviyesi
E_f	Fermi enerji seviyesi
E_h	Hidrojen için iyonlaşma enerjisi
p	Hol yoğunluğu
n	Elektron yoğunluğu
V_e	Elektronun sürüklenme hızı
V_h	Holün sürüklenme hızı
m_e	Elektronun kütlesi
m_e^*	Elektronun etkin kütlesi
E	Elektrik alan
J	Akım yoğunluğu
H	Plank sabiti
n_i	İntiristik elektron hol yoğunluğu
V	Volt
S	Saniye
K	Boltzman sabiti
T	Sıcaklık
N_d	Değerlik bandındaki etkin durum yoğunluğu
N_c	İletkenlik bandındaki etkin durum yoğunluğu

1.GİRİŞ

Son zamanlardaki teknolojik gelişmelere bağlı olarak saydam iletken oksit filmler oldukça önemli bir yere gelmiştir. Özellikle, saydam iletken oksitlerin ince film ve organik fotovoltaikler (PV sistemleri), akıllı pencereler, sıvı kristal ekranlar (LCD), plazma ve organik ışık yayan diyot (OLED) ekranları uygulamalarında kullanımının hızlı bir şekilde yaygınlaşması, bu tür malzemelere olan ihtiyacın artmasına neden olmuştur.

Günümüzde, en çok kullanılan saydam iletken oksitler arasında kalay katkılı indiyum oksit (ITO) ve alüminyum katkılı çinko oksit (AZO) yer almaktadır. ITO filmler, gösterdikleri üstün elektriksel ve optiksel performanstan dolayı yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Yakın zamanda, dünya genelinde indiyum rezervinde yaşanacak problemlerin öngörülmesi, katkılı-ZnO gibi düşük maliyetli ve bol kaynaklı malzemeleri ön plana çıkarmaktadır. ITO ve katkılı-ZnO filmlerin üretimi için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlar arasında, başlıca dc veya rf Magnetron Saçtırma, Lazer Atması (PLD), Kimyasal Buhar (CVD) ve Moleküler Demet Epitaksi (MBE) yöntemleri örnek verilebilir. Özellikle, günümüz teknolojisinde en çok kullanılan yöntemler Magnetron Saçtırma ve CVD'dir. Bu yöntemlerin, yüksek maliyetli ve karmaşık sistemlere dayalı olmalarından dolayı, vakum ortamı gerektirmeyen alternatif yöntemlerin araştırılması ve teknolojiye kazandırılması önem taşımaktadır. Sol-jel yöntemi, geniş yüzeyli ince film üretim teknolojisine katkıda bulunabilecek vakuma dayalı olmayan bir yaş kaplama tekniğidir.

Bu tez çalışmasının amacı bor katkılı çinko oksit (BZO) filmlerini cam altlıklar üzerine sol-jel yöntemiyle üretmektir. Bor katkı maddesi olarak üç farklı kimyasal kullanılmıştır. Ayrıca farklı sıcaklıklarda ve oranlarda filmler hazırlanmıştır. Filmlerin yapısal, optiksel ve elektriksel özelliklerini X-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), UV spektrometresi (UV-Vis) ve Hall etkisi ölçüm yöntemleriyle karakterize edilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İlk saydam oksit malzeme saçtırma (sputter) yöntemiyle kadmiyum metalinin ince filminin oluşturulmasıyla elde edilmiştir (Badeker, 1907). Kadmiyum ince filmin açık havada ısıtılarak oksitlenmesi sağlanmış ve saydam kadmiyum oksit (CdO) film oluşturulmuştur (Badeker, 1907). CdO, n-tipi yarıiletken özellik göstermektedir. CdO' ya indiyum (In) (Metz, 2004), kalay (Sn) (Zhao, 2002) ve flor (F) (Ghosh, 2004) katkılandırılarak yüksek iletkenlik özelliği kazandırılmıştır. Tipik bir katkılı CdO filmin elektriksel özdirenci ~ 10^{-4} Ω cm ve görünür bölgedeki optiksel geçirgenliği ~ % 85 civarındadır. Katkılı CdO, iyi elektriksel ve optiksel özelliklerinden dolayı her ne kadar optoelektronik uygulamalar için uygun görülse de, Cd gibi zehirli element içermesi bu tür filmlerin kullanımını kısıtlamıştır.

İndiyum kalay oksit (ITO) filmlerde yüksek elektriksel iletkenlik ve optiksel geçirgenliğin gözlenmesi, bu alanda çalışmaların artmasına neden olmuştur (Holland, 1953). In_2O_3-tabanlı ikili saydam iletken oksitlerde başlıca kullanılan katkı elementleri kalay (Sn), germanyum (Ge), molibden (Mo), titanyum (Ti), zirkonyum (Zr), hafniyum (Hf), niyobyum (Nb) ve talyum (Ta) örnek olarak verilebilir. Kalay katkılı In_2O_3 (ITO) filmlerde laboratuar koşullarında en düşük elektriksel özdirenç 7,7 x 10^{-5} Ω cm olarak kaydedilmiştir (Ohta, 2000). Katkılı SnO_2 malzemelerde de optiksel geçirgenlik ve elektriksel iletkenlik mümkün olmaktadır. Bu amaçla kullanılan bazı katkı elementlerine, flor (F), kurşun (Sb) ve niyobyum (Nb) örnek olarak verilebilir. Flor katkılı SnO_2 (FTO) malzemeler ITO' ya kıyasla daha iyi termal kararlılığa sahiptirler (Kawashima, 2004). Ayrıca indiyum yerine flor kullanılmasından dolayı daha düşük maliyetlidirler. FTO özellikle güneş hücrelerinde yüksek sıcaklıklardaki kararlılığından dolayı, ITO' dan sonra en çok kullanılan saydam iletken oksitlerdendir. Tipik bir FTO' nun optiksel geçirgenliği % 80 civarındadır (Boe, 2007). Bununla birlikte, FTO' nun elektriksel direnci ITO' ya göre daha yüksek olmaktadır, bu da güneş hücrelerinde seri direncin artmasına ve verimin azalmasına neden olmaktadır. Diğer önemli saydam iletken oksit, katkılı-ZnO dur. Bu tür malzemelerde katkı elementi olarak kullanılan başlıca elementler;

alüminyum (Al), galyum (Ga), bor (B), indiyum (In), itriyum (Y), skandiyum (Sc), germanyum (Ge) ve titanyum (Ti) örnek olarak verilebilir. Katkılı-ZnO filmlerin en önemli avantajı kullanılan elementlerin kaynak probleminin olmaması ve dolayısıyla düşük maliyetli olmasıdır. Ayrıca, zehirli element içermemektedirler. Lazer atması (PLD) yöntemiyle Al-katkılı ZnO (AZO) filmlerde 8.54 $x10^{-5}$ Ω cm gibi oldukça düşük elektriksel özdirenç elde edilmiştir (Agura, 2003). Galyum katkılı ZnO (GZO) filmlerde de PLD yöntemiyle yaklaşık olarak 8,1 x 10^{-5} Ω cm civarında özdirenç elde edilmiştir (Park, 2006). Bu değerler, ITO için elde edilen değerlere çok yakındır. AZO ve GZO filmlerin tipik optiksel geçirgenlikleri % 90 civarındadır. AZO ve GZO filmlerin bu yüksek optiksel geçirgenlikleri ZnO' nun geniş bant aralığından kaynaklanmaktadır. ZnO filmlerde diğer bir katkı elementi de Bor'dur. Bor katkılı çinko oksit (BZO) filmlerde saçtırma yöntemiyle ~ 10^{-4} Ω cm civarında düşük özdirenç ve görünür bölgede % 85 gibi yüksek optiksel geçirgenlik elde edilmiştir (Huang, 2012).

ITO filmler her ne kadar günümüzde en çok kullanılan saydam iletken oksitlerden olsa da, indiyum elementinin dünya genelindeki rezervinin oldukça kısıtlı olmasından dolayı, ITO filmler yakın bir gelecekte maliyet açısından önemli problemlerle karşı karşıyadır. Özellikle, LCD panellerde ITO filmler büyük oranda kullanılmaktadır. Minami ve Miyata sadece Japonya'da 2007 yılında 800 ton indiyum kullanıldığını belirtmiştir (Minami, 2008). Amerika Birleşik Devletlerinin 2007 yılındaki jeolojik anket sonuçları dünyadaki indiyum rezervinin sadece 6000 ton olduğunu göstermektedir (Huiyong, 2010). Bu durum, çok yakın zamanda indiyum sıkıntısının oluşacağını ve ülkeler için indiyumun stratejik bir kaynak haline geleceğini göstermektedir. Sonuç olarak, ITO' ya alternatif olabilecek saydam iletken oksitlerin araştırılması önem kazanmaktadır. Yapılan araştırmalar, katkılı-çinko oksit malzemelerin önemli bir alternatif olduğunu göstermektedir.

Saydam iletken oksitlerin başlıca kullanım alanlarına, sırasıyla düz panel ekran elektrotları (Paine, 2005), polimer elektroniği (Deibel, 2008), gaz sensörleri (Mitra, 1998), varistörler (Mahmood, 1995), güneş hücreleri (Calnon, 2010) ve ısı yalıtımında cam yüzeyinin emisyon değerini düşüren düşük emisyonlu yüzey (low-

E) uygulamaları örnek olarak verilebilir. Özellikle, güneş hücrelerinde, fotonların soğrulmadan p-n eklem bölgesine ulaşmasını sağlamak için ön yüzeyde yüksek optiksel geçirgenliğe sahip malzemeler kullanılmalıdır. Ayrıca, ön yüzeyde kullanılan saydam malzemenin akım taşıyıcıları toplayabilmesi için metal gibi iyi bir iletken olması gerekir. Bu da, ancak saydam iletken oksit malzemelerle mümkündür.

Saydam iletken oksit filmler birçok yöntemle üretilebilmektedir. ITO, FTO, AZO ve GZO filmler için kullanılan yöntemler arasında püskürtme (spray pyrolysis) (Sawada, 2002; Martinez, 2006) saçtırma (sputter) (Tuna, 2010; Ruske, 2010; Sheu, 2008) lazer atmasıyla büyütme (PLD) (Suzuki, 2002;1996) kimyasal buhar yöntemi (CVD) (Ataev, 1999; Lu, 2007), moleküler demet epitaksi (MBE) (Ohgaki, 2003; Nakahara, 2004) ve Sol-jel (Rydzek, 2011; Wang, 2010) teknikleri örnek olarak verilebilir.

Saçtırma, PLD, CVD ve MBE gibi tekniklerle yüksek kalitede film üretmek mümkün olmakla birlikte, bu yöntemlerin yüksek maliyetli ve vakuma dayalı sistemler olması geniş yüzeyli film üretimini kısıtlamaktadır. Saydam iletken oksit filmlerin vakum ortamına gerek kalmadan üretimi ile ilgili araştırmalar sürmektedir. Rydzek ve ark. 2011'de sol-jel daldırma yöntemiyle yapmış oldukları çalışmada ITO ve AZO filmler için sırasıyla 3,0 x 10^{-4} Ω cm ve 1,6 x 10^{-3} Ω cm elektriksel özdirenç elde etmişlerdir. Lee ve ark. 2009'da sol-jel daldırma yöntemiyle AZO filmlerde 4,2 x 10^{-3} Ω cm elektriksel özdirenç elde etmişlerdir. Bununla birlikte Hang ve arkadaşlarının 2010'da sol-jel yöntemiyle AZO filmlerde 1,2 x 10^{-4} Ω cm gibi düşük direnç elde etmeleri umut vericidir. Çinko oksit malzemelerde kullanılan diğer bir katkı elementi de bor'dur. Özellikle, Hagiwara ve ark. tarafından 2001'de rf saçtırma yöntemiyle üretilmiş BZO filmlerin $Cu(In,Ga)Se_2$ (CIGS) tabanlı güneş hücrelerinde kullanılmasıyla % 18 gibi yüksek verim elde edilmesi, bu tür filmlere de ilgi duyulmasını sağlamıştır. Bu çalışmada, rf magnetron saçtırma yöntemiyle elde edilen bor katkılı çinko oksit (BZO) filmlerde en düşük elektriksel özdirenç 4.5 x 10^{-4} Ω cm olarak kaydedilmiştir (Hagiwara, 2001).

2.1. Yarıiletkenler

2.1.1. Saf yarıiletkenler

Katı haldeki malzemeler; yalıtkanlar, yarıiletkenler ve iletkenler olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Kuartz ve cam gibi yalıtkanlar 10^{-18} ile 10^{-8} S/cm arasında çok düşük iletkenliğe sahipken; alüminyum ve gümüş gibi iletkenler 10^4 ile 10^6 S/cm arasında yüksek iletkenliğe sahiptirler. Yarıiletkenler ise yalıtkanlarla iletkenler arasında iletkenliğe sahip malzemelerdir. Yarıiletkenlerin iletkenliği genellikle sıcaklığa, ışığa, manyetik alana ve yapılarındaki yabancı atom miktarına duyarlıdır. İletkenliklerindeki bu özellik yarıiletkenleri elektronik uygulamalarda önemli bir malzeme haline getirmiştir. Çizelge 2.1.' de bazı element ve bileşik yarıiletkenler verilmiştir.

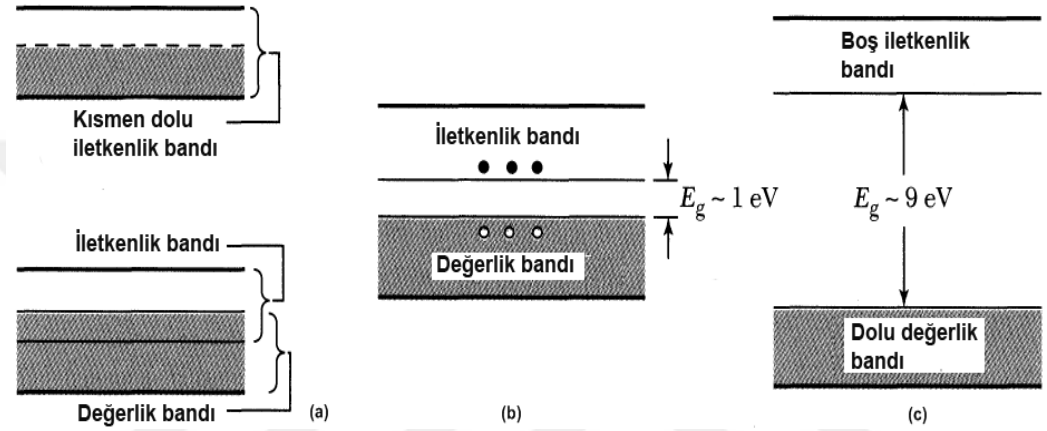
Çizelge 2.1. Bazı element ve bileşik yarıiletkenler (Sze, 1985)

Element	**IV-IV bileşikleri**	**III-V bileşikleri**	**II-VI bileşikleri**	**IV-VI bileşikleri**
Si	SiC	AlAs	CdS	PbS
Ge		AlSb	CdSe	PbTe
		BN	CdTe	
		GaAs	ZnS	
		GaP	ZnSe	
		GaSb	ZnTe	
		InAs		
		InP		
		InSb		

Diğer katılarda olduğu gibi yarıiletkenlerde de elektronlar sadece belirli bantlardaki enerjilere sahip olabilirler. Enerji bantlarının her biri farklı kuantum durumları ile ilgilidir ve yüksek enerjili (çekirdeğe yakın olan) durumların çoğu doludur. Bu durumlara valans bandı denir. Atomlardaki valans elektronlarının uyarılma düzeylerinden oluşan bant serbest veya iletim bandı olarak adlandırılır. İletim ve valans bantlarının arasında yasak bant bulunmaktadır. Ec, iletim bandındaki elektronların en küçük enerjisidir. Bu enerji düzeyine iletim bandının dibi denir. Ev,

valans bandındaki elektronların en büyük enerjisidir ve bu enerji düzeyi valans bandının tavanı olarak adlandırılır. İletim bandının dip ve valans bandının tavan enerjilerinin farkı Ec - Ev = Eg yarıiletkenin yasak enerji bant genişliğini karakterize eder.

Şekil 2.1'de iletkenlerin, yarıiletkenlerin ve yalıtkanların enerji bant diyagramları görülmektedir.



Şekil 2.1. Metal (a), yarıiletken (b) ve yalıtkan (c) bant diyagramı

Yarıiletkenlerde atomlar arasındaki bağlar kısmen güçlüdür. Bu yüzden termal titreşim bazı bağları kırabilir. Bir bağ kırıldığında serbest bir elektronla birlikte serbest bir boşluk oluşur. Şekil 2.1b' de görüldüğü gibi yarıiletkenin bant aralığı yalıtkanın ki kadar geniş değildir (örneğin silisyum için bant aralığı 1.12 eV dur). Bundan dolayı bazı elektronlar geride boşluklar bırakarak değerlik bandından iletkenlik bandına geçebilirler. Bir elektrik alan uygulandığında elektronlar ve boşluklar kinetik enerji kazanarak elektrik iletimini sağlarlar.

Saf yarıiletkenlerde termal titreşim sonucu elektronlar değerlik bandından iletkenlik bandına uyarılırlar ve değerlik bandında eşit miktarda boşluk bırakırlar. İletkenlik bandındaki elektron yoğunluğu;

$$n = N_C \exp\left[-\frac{E_C - E_F}{kT}\right] \tag{2.1}$$

ile verilmektedir. Burada E_C iletkenlik bandının enerji seviyesi, E_F Fermi seviyesi, k Boltzman sabiti, T sıcaklık ve N_C iletkenlik bandındaki etkin durum yoğunluğudur. Değerlik bandındaki boşluk yoğunluğu ise;

$$p = N_V \exp\left[-\frac{E_F - E_V}{kT}\right] \tag{2.2}$$

ile verilmektedir. Burada ise E_V değerlik bandının enerji seviyesi, N_V ise değerlik bandındaki etkin durum yoğunluğudur. Elektronların yoğunluğu n ve boşlukların yoğunlu p olmak üzere saf yarıiletkenlerde,

$$n = p = n_i \tag{2.3}$$

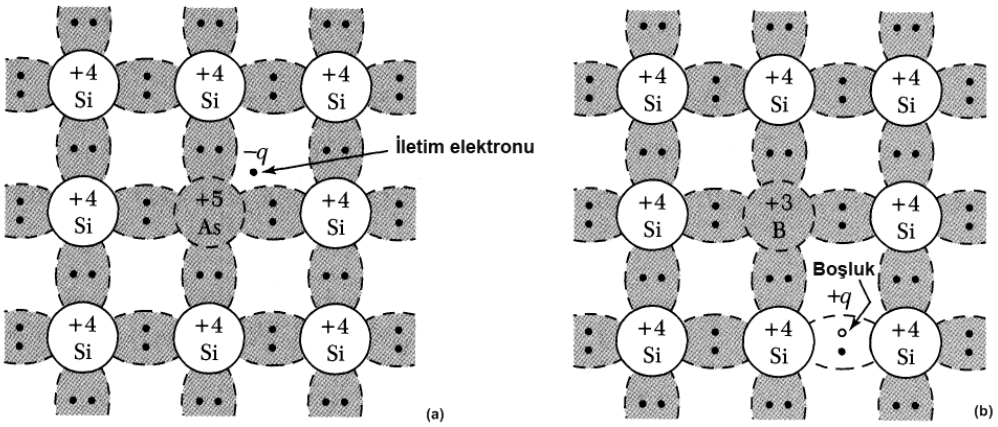
yazılabilir. Buradaki n_i saf taşıyıcı yoğunluğudur. Saf yarıiletkenlerin Fermi seviyesi denklem 2.1 ve 2.2 den;

$$E_F = E_i = \frac{E_C + E_V}{2} + \frac{kT}{2}\ln\left[\frac{N_V}{N_C}\right] \tag{2.4}$$

şeklinde yazılabilir. Burada E_i saf yarıiletkenin Fermi seviyesidir ve oda sıcaklığında yasak bant aralığının ortasına çok yakındır (Sze, 1985).

2.1.2. Katkılı yarıiletkenler

Bir yarıiletken yabancı atomlarla katkılandırıldığında, yarıiletken katkılı duruma gelmekte ve safsızlık enerji seviyeleri oluşmaktadır.



Şekil 2.2. Silisyum kristalinin arsenik atomuyla (a) ve bor atomuyla (b) katkılandırılması

Şekil 2.2a'da bir silisyum atomunun bir arsenik atomuyla yer değiştirmesi gösterilmektedir. Beş değerliğe sahip arsenik atomu, dört elektronunu komşu dört silisyum atomu ile paylaşarak kovalent bağ oluşturur. Beşinci elektron serbest halde kalır ve iletkenlik bandına geçerek iletim elektronu olur. Arsenik atomuyla katkılandırılmış silisyum yarıiletkeni n-tipi yarıiletken olur. Arsenik atomuna verici denir. Öte yandan silisyum yarıiletkeni üç değerlikli boron atomuyla katkılandırıldığında Şekil 2.2b'de görüldüğü gibi boron atomu dördüncü kovalent bağını oluşturmak için bir elektronu silisyum atomundan almakta ve bir boşluğun oluşmasına neden olmaktadır. Bu durumda boron atomu elektron aldığı için alıcı olarak; boron ile katkılandırılmış silisyum yarıiletkende p-tipi yarıiletken olarak adlandırılır. Verici atomları genellikle oda sıcaklığında tamamen iyonlaşacak enerjiye sahip olmaktadırlar. Bu duruma komple iyonlaşma denmektedir. Komple iyonlaşma durumunda elektron yoğunluğu;

$$n = N_D \tag{2.5}$$

olarak yazılabilir. Burada N_D verici yoğunluğudur. Fermi seviyesi iletkenlik bandındaki etkin durum yoğunluğu N_C ve verici konsantrasyonu N_D cinsinden yazılabilir.

$$E_C - E_F = kT \ln\left[\frac{N_C}{N_D}\right] \tag{2.6}$$

aynı şekilde boşluk konsantrasyonu

$$p = N_A \tag{2.7}$$

olarak yazılabilir. Burada N_A alıcıların konsantrasyonudur. Bu durum için Fermi seviyesi

$$E_F - E_C = kT \ln\left[\frac{N_V}{N_A}\right] \tag{2.8}$$

olur. Denklem 2.8' den anlaşıldığı gibi yüksek verici konsantrasyonu ve $E_C - E_F$ enerji farkının küçük olması durumunda Fermi seviyesi iletkenlik bandına yakın olacaktır. Benzer şekilde yüksek alıcı konsantrasyonu Fermi seviyesini değerlik bandına doğru kaydıracaktır.

2.1.3. Yarıiletkenlerin elektriksel özellikleri

2.1.3.1. Mobilite

Bir ε elektrik alanı altında elektronlar -qε kuvveti altında bir hız kazanırlar. Bu hıza sürüklenme hızı denir ve v_n ile gösterilir. Net termal hız rastgele çarpışmalardan dolayı sıfırdır. Dolayısıyla bir elektrik alan altında sadece net bir sürüklenme hızı vardır. Sürüklenme hızı;

$$v_n = -\left[\frac{q\tau_c}{m_n}\right]\varepsilon \tag{2.9}$$

şeklinde yazılabilir. Burada

$$\mu_n = \frac{q\tau_c}{m_n} \tag{2.10}$$

olmak üzere, μ_n elektronun mobilitesi olarak adlandırılır. Bu durum da elektronların sürüklenme hızı;

$$v_n = -\mu_n \varepsilon \tag{2.11}$$

olur. Benzer şekilde boşluklar için sürüklenme hızı;

$$v_p = -\mu_p \varepsilon \tag{2.12}$$

şeklinde ifade edilebilir. μ_p ise boşlukların mobilitesidir.

2.1.3.2. Özdirenç

Kesit alanı A, uzunluğu L ve taşıyıcı yoğunluğu n olan bir yarıiletkene bir elektrik alan uygulandığında örnekten geçen elektron akım yoğunluğu J_n ,

$$J_n = \frac{I_n}{A} = \sum_{i=0}^{n}(-qv_i) = -qnv_n = qn\mu_n\varepsilon \tag{2.13}$$

şeklinde yazılabilir. Burada I_n elektron akımıdır. Benzer şekilde boşluklar için akım yoğunluğu;

$$J_p = qnv_p = qn\mu_p\varepsilon \tag{2.14}$$

yazılabilir. Yarıiletkenin elektrik alan altındaki toplam sürüklenme akım yoğunluğu;

$$J = J_n + J_p = (qn\mu_n + qn\mu_p)\varepsilon \tag{2.15}$$

olur. Burada

$$\sigma = qn\mu_n + qn\mu_p \tag{2.16}$$

iletkenlik katsayısı olarak adlandırılır. Yarıiletkenin özdirenci ρ ise iletkenlik cinsinden,

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{q(n\mu_n + p\mu_p)} \tag{2.17}$$

şeklinde yazılır. Genellikle saf yarıiletkenlerde iki taşıyıcı arasındaki büyük farktan dolayı Denklem 2.16 veya 2.17' deki bileşenlerden sadece biri kullanılır. Bu yüzden denklem 2.17' deki özdirenç,

$$\rho = \frac{1}{qn\mu_n} \tag{2.18}$$

n-tipi yarıiletken için ve

$$\rho = \frac{1}{qn\mu_p} \tag{2.19}$$

p-tipi yarıiletken için yazılabilir.

2.1.4. Yarıiletkenlerin optik özellikleri

Temel soğurma işleminde, bir foton bir elektronu değerlik bandından iletkenlik bandına uyarır. Bu işlemde enerji ve momentumun her ikisi de korunmalıdır. Foton momentumu kristal momentumuna göre küçükken, soğurma işlemi elektron momentumunu koruması gerekir. İletkenlik bandının minimumu ile değerlik bandının maksimumu aynı k dalga vektörüne sahip olduklarında doğrudan geçiş gerçekleşir ve malzeme doğrudan-bant yapılı bir yarıiletken olur (Şekil 2.3a). Eğer bant uçları aynı dalga vektörüne sahip değillerse geçişler dolaylı olur ve malzeme dolaylı-bant yapılı bir yarıiletken olur (Şekil 2.3b). Böyle yarı iletkenlerde momentum korunumu için fonon gibi ekstra bir parçacığın sisteme katılması gerekir. Böyle bir işlemin oluşma olasılığı doğrudan geçişlere göre daha azdır.

Optiksel soğurma, geçirme (transmission) ölçümleriyle türetilebilen bir α soğurma katsayısı ile belirlenir. I_0 gelen ışığın şiddeti, I geçen ışığın şiddeti ve R yansıma olmak üzere geçirme $T=I/I_0$ aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$T = \frac{(1-R)^2 \exp(-\alpha d)}{1-R^2 \exp(-2\alpha d)} \tag{2.20}$$

Burada d malzemenin kalınlığıdır. αd'nin büyük değerleri için bu denklem,

$$T = (1-R)^2 \exp(-\alpha d) \tag{2.21}$$

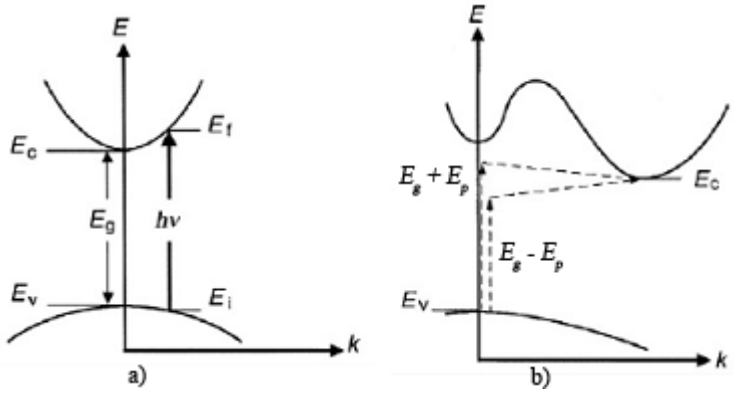
şeklinde yazılabilir ve daha indirgenerek,

$$I = I_0 \exp(-\alpha d) \tag{2.22}$$

ifadesi elde edilir.
Soğurma katsayısı doğrudan geçişler için

$$\alpha(h\nu) = A(h\nu - E_g)^{1/2} \tag{2.23}$$

bağıntısı ile verilir. Burada A, 10^4 mertebesinde bir sabittir. E_g enerji aralığı ve $h\nu$, eV cinsindedir ve α, cm^{-1} dir (Tauc, 1968).



Şekil 2.3. Yarıiletkenlerde doğrudan (a) ve dolaylı (b) bant geçişleri

Dolaylı geçişlerde, momentum korunumu karakteristik E_p değerli bir fononun soğrulması veya salınmasıyla sağlanır. Fonon soğrulmasını içeren bir geçişteki soğurma katsayısı aşağıdaki bağıntı ile verilir.

$$\alpha_a(h\nu) = \frac{A(h\nu - E_g + E_p)^2}{\exp(E_p / k_B T) - 1} \tag{2.24}$$

2.2. Saydam İletken Oksit Malzemeler

2.2.1. Saydam iletkenler

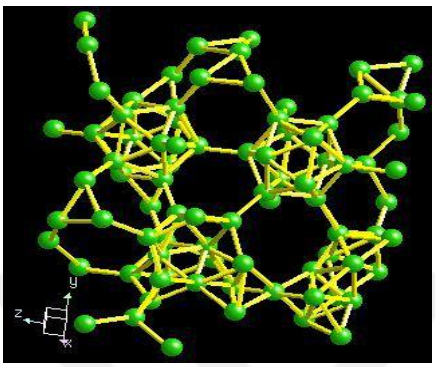
Saydam iletkenlerle ilgili ilk çalışma, 1907 yılında kadmiyum oksitin incelenmesi ile başlamıştır. Bugün bilinen saydam iletkenler, atomik düzeni belli olmayan kalay, indiyum, çinko vb. oksitler ve onların çeşitli alaşımlarıdır. Alüminyum çinko oksit, indiyum kalay oksit, kalay oksit gibi metal oksitler düşük elektrik direncine, metalik iletkenliğe yakın bir iletkenliğe, 400 ile 700 nm arası görünür bölgede yüksek optik geçirgenliğe sahip yarıiletkenlerdir. Saydam iletken malzemeler optik geçirgen yapıya sahiptirler. Genelde iletkenler saydam değildir, saydamlar da iletken değildir. Enerji skalasında, fotonların soğurulabileceği düşük yasak bant enerji aralığına sahip olan maddelere iletken, yasak bant enerji aralığı geniş olan fotonların soğurulmadan geçtiği maddelere ise saydam denir. Saydam iletkenlerde iletkenlik $\left(>10^{3}\Omega^{-1}cm^{-1}\right)$ ve geçirgenlik, katkılama yapıldığında yerine geçen vericilerle ya da mevcut girişler sayesinde dejenere olan, geniş bant aralıklı $\left(>3eV\right)$ yarıiletken oksitlerin seçimiyle sağlanmaktadır. Çizelge 2.2'de bazı saydam iletken oksit malzemeler verilmiştir.

Çizelge 2.2. Saydam iletken oksit malzemeler

MALZEME	KATKI OLARAK KULLANILAN ELEMENT YADA BİLEŞİK
In_2O_3	Sn; Ge;Mo; F; Ti;Zr;Hf;Nb; Ta;W; Te
SnO_2	Sb; F; As;Nb; Ta
ZnO	Al; Ga;B; In; Y; Sc; F; V; Si; Ge; Ti;Zr;Hf
CdO	In; Sn
$ZnO – SnO_2$	Zn_2SnO_4;$ZnSnO_3$
$ZnO - In_2O_3$	$Zn_2\ In_2O_5$;$Zn_3In_2O_3$
$In_2O_3 – SnO_2$	$In_4Sn_3O_{12}$
$CdO – SnO_2$	$Cd_2\ SnO_4$;$CdSnO_3$
$CdO - In_2O_3$	$CdIn_2O_4$
$GaInO_3$; $(Ga; In)_2O_3$	Sn; Ge
$CdSb_2O_6$	Y
$ZnO - In_2O_3 - SnO_2$	$Zn_2\ In_2O_5$; $In_4Sn_3O_{12}$;
$CdO - In_2O_3 - SnO_2$	$CdIn_2O_4$; Cd_2SnO_4
$CuXO_2$	X = Al; Ga; In
$ZnXO_4$	X = Al; Ga;Co;Rh; Ir

2.2.1.1. Bor elementi

Bor, ametal sınıfında B harfi ile gösterilen bir kimyasal elementtir. Periyodik cetvelin 3A grubunun ilk ve en hafif üyesidir. Bor elementinin rombohedral kristal yapısı şekilde gösterildiği gibidir.

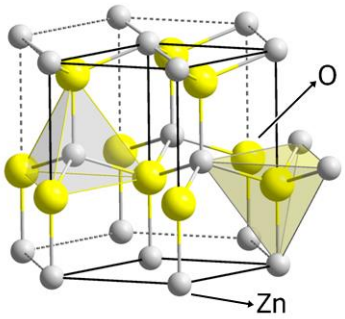


Şekil 2.4. Bor elementinin kristal yapısı

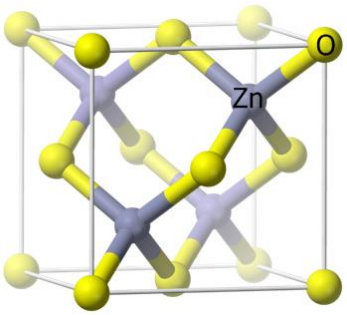
Doğada saf halde ve bol bulunması, maliyetinin düşük olması, Türkiye‘ de rezervinin fazla olması ve bununda ülkemiz açısından avantajlı olması bu çalışmada bor elementini kullanmamızda önemli etkenlerdendir.

2.2.1.2. Çinko oksit (ZnO)

Çinko oksit (ZnO) hekzagonal wurtzite ve kübik çinko blend olmak üzere iki biçimde kristalleşir. Çevre şartlarında wurtzite yapı daha kararlıdır. Çinko blend yapı ise ZnO’in kübik alttaş üzerine oluşturulmasıyla sağlanır. Her iki durumda da çinko ve oksijen merkezleri tetrahedraldır. ZnO geniş bir yasak bant aralığına sahiptir (~ 3. 3 eV) ZnO’in kristal yapıları Şekil 2.5 ve Şekil 2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.5. Wurtzite ZnO yapı



Şekil 2.6. Çinko blend ZnO yapısı

ZnO n-tipi bir yarıiletkendir ve elektriksel özellikleri ısıl işlemle veya uygun katkı ile tamamen değiştirilebilmektedir. Katkı atomu olarak genelde Al^{+3}, In^{+3}, Ga^{+3},B^{+3} kullanılmaktadır.

ZnO bileşiği görünür bölgede yaklaşık %80-%90 optik geçirgenliğe ve $10^{-3} - 10^{+2}$ Ω cm bölgesinde bir elektriksel dirence sahiptir.

2.2.1.3. Bor katkılı çinko oksit (BZO)

Çinko oksitin borla katkılanmasıyla bor atomu, çinko ile yerdeğiştirip, oksijenle bağlanır ve iletkenliği sağlayan bir elektron ortaya çıkar. Diğer iletkenlik elektronları, kristal içinde oksijen atomu yokluğundan dolayı çinkonun, oksijenle bağ yapmayıp taşıyıcı olarak elektron oluşturmasıyla ve çinko yada bor atomlarının kristal içinde ara bir bölgeye (interstitial) sıkışmasıyla oluşmaktadır.

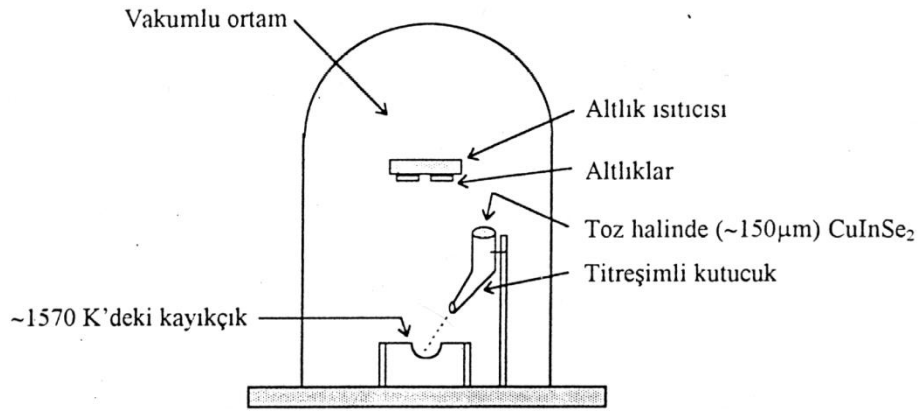
Çinko oksit katıksız olduğunda, hazırlama şartlarına göre n veya p tipi olabilir. Çinko oksitin borla katkılanmasıyla bor, iletim bandının hemen altında verici düzeyler oluşturur.

Çinko oksitin borla katkılanması sonucu, elektrik iletkenliği büyük ölçüde iyileştirilir. Bunun nedeni, katkılanma yapıldığında çinko örgü yapısı üzerinde, alüminyumla yapılan birleşme sonucu oluşan serbest elektronlardır.

2.3. Saydam İletken Oksitlerin Üretim Yöntemleri

2.3.1. Aniden (Flash) buharlaştırma

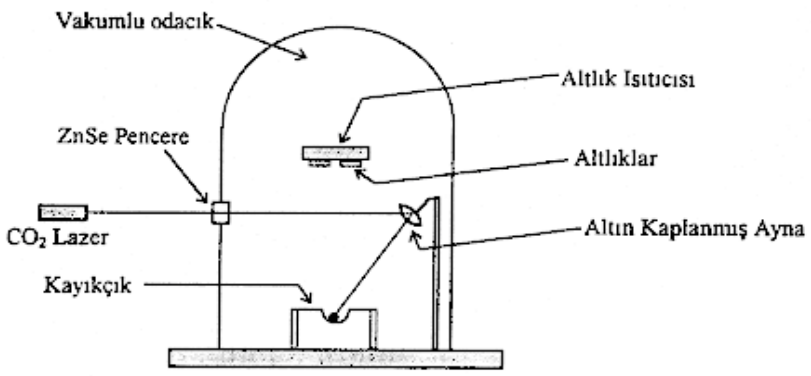
Bu yöntemde buharlaştırılacak malzeme büyüklüğü yaklaşık olarak 150 μm olacak şekilde, toz haline getirilir. Toz haline getirilmiş malzeme, önceden içinden akım geçirilerek yüksek sıcaklığa çıkarılmış buharlaştırma potasının üzerine, küçük miktarlarda düşürülerek, buharlaştırma işlemi aniden yapılır. Bu yöntemde, saflık ve gaz çıkışı gibi nedenlerden dolayı, katı malzemenin kimyasal ve metalurjik kalitesi çökeltilen film kalitesini büyük ölçüde etkiler. Ayrıca film oluşturma hızı çok düşük ve malzeme kaybı çok fazla olur.



Şekil 2.7. Aniden buharlaştırma yöntemiyle çökertme

2.3.2. Lazerle buharlaştırma (LPD)

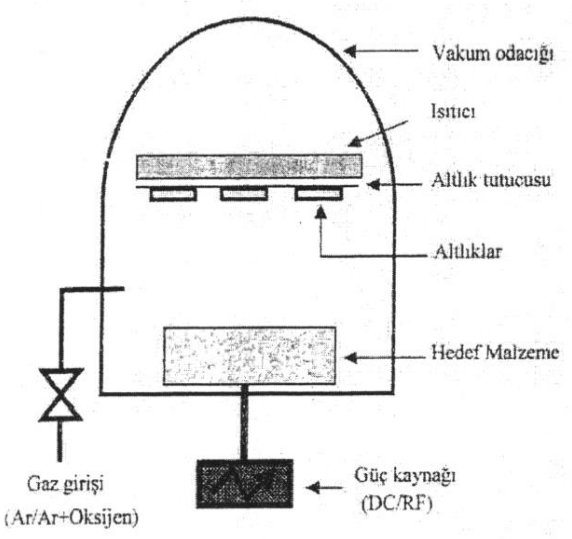
Lazer kullanılarak çökeltme yöntemi son yıllarda önemli gelişmelere yol açmıştır. Lazerle buharlaştırma yönteminde; lazer ışın demeti, vakum odacığına bir pencereden girer ve buharlaştırılacak malzemenin üzerine odaklanır. Lazer demetinin enerjisi ile buharlaştırma esnasında, malzemeden çıkan parçacıklar bir yük bulutu şeklini alır ve buharlaşan madde altlığa taşınmış olur. Bu düzenek yüksek vakumda veya oksijen ortamında da çalışır.



Şekil 2.8. Lazerle buharlaştırma

2.3.3. Saçtırma yöntemi (Sputtering)

Saçtırma yönteminde, bir yük boşalmasındaki pozitif iyonlar, hızlandırıldıktan sonra, hedef maddesine çarparlar ve buradan nötr atomların, iyonların ve ikincil elektronların, momentum transferi yapılarak, ayrılmalarına sebep olurlar. Buradaki yük boşalması, birkaç yüz militorr basınç civarında, argon gibi asal püskürtme gazının basıncı ayarlanarak gerçekleştirilir. Altlığın üst yüzü, hedef malzemeden çıkan parçacıkların ve ek olarak konulan reaksiyon gazlarının doğrudan kendisine gelmesi ve ince filmin büyütülmesi için hedef malzemeye doğru yönlendirilir.



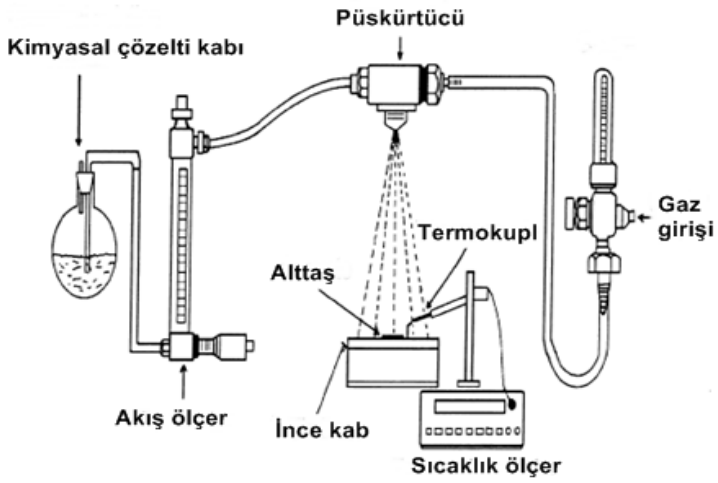
Şekil 2.9. Saçtırma yöntemi

2.3.4. Kimyasal buhar yöntemi (CVD)

Kaplama malzemesi yüksek sıcaklıklarda gaz veya buhar fazına geçirilir ve bir taşıyıcı gaz ile reaksiyon odasına taşınır. Kaplanacak yüzey önceden ısıtılır. Reaktanlar buhar fazında kimyasal reaksiyona girerek ince bir film şeklinde cam yüzeyinde yoğunlaşırlar. Reaksiyon cam yüzeyine çok yakın ya da camın üzerinde olmalıdır. Reaksiyonun gerçekleşmesi için kaplama yüzeyine, ısı, yüksek frekanslı elektriksel alan, X ışınları, elektrik arkı, elektron bombardımanı uygulanabilir. Kaplanacak yüzey sıcaklığı, gaz basıncı, reaktanların konsantrasyonu ve akış hızı kaplama kalitesini etkilemektedir.

2.3.5. Püskürtme yöntemi

Bu yöntemde solüsyon ısıtılmış tabakaya püskürtülür. Sprey damlacıkları tabakaya çarptığında çözünen madde tabaka üzerinde yoğunlaşırken çözelti buharlaşır. Bir süre sonra yüzeyde ince film oluşur.

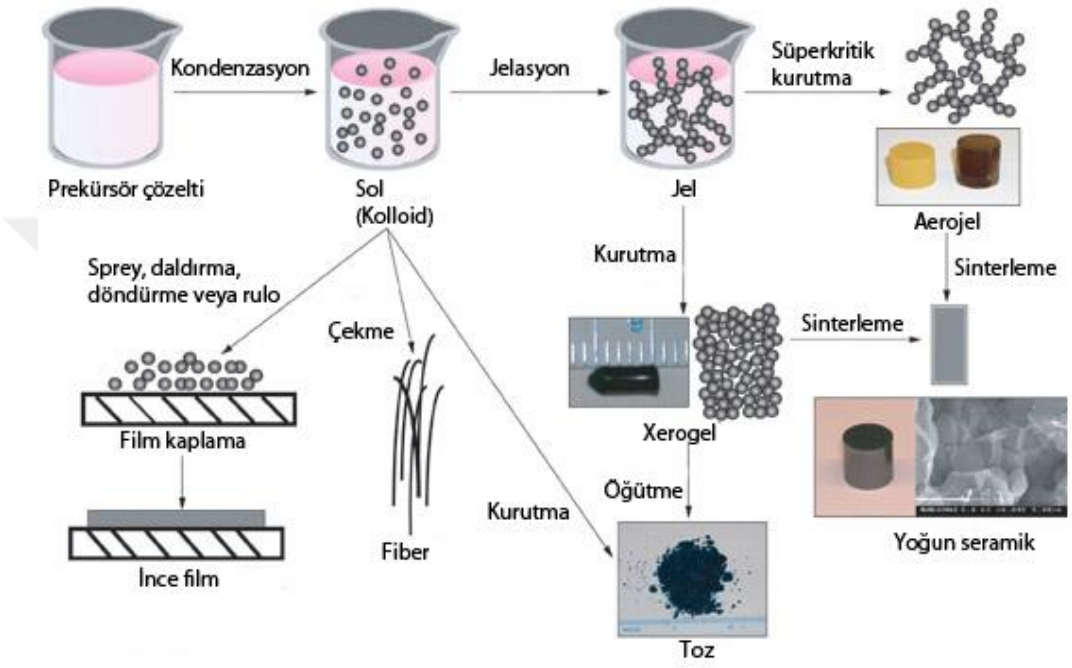


Şekil 2.10. Püskürtme yönteminin şematik gösterimi

Püskürtme yönteminde ısıtılmış bir alttaş üzerine kaplanmak istenen kimyasal bileşik püskürtülerek elde edilir (Şekil 2.10). Bu yöntem daha çok oksit içerikli filmler için idealdir.

2.3.6. Sol-Jel yöntemi

Bu yöntemde, elementlerin alkoksit veya tuzları kullanılarak cam, seramik ve cam-seramikleri, çok bileşenli oksit karışımları şeklinde elde etmek mümkündür. Sol jel yönteminin genel şeması şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.11. Sol- Jel yönteminin genel şeması

Yöntem basit olarak kompleks oluşturma, hidroliz ve polikondensasyon olarak üç kimyasal reaksiyon kademesinden meydana gelir. İlk kademede oksit karışımını oluşturacak olan bileşiklerin başlangıç maddeleriyle bir çözelti hazırlanır, daha sonra, çözeltide gelişen hidroliz ve polikondensasyon reaksiyonları sonucunda elde edilen ürüne ısıl işlem uygulayarak oksit yapıya ulaşır. Ürün, kütle, ince film, elyaf, düzcam vb. yapılarından biri olabilir. Bu yöntemle hazırlanan ürünler çok homojen ve saf olmaktadır. Başlangıç maddeleri çözelti oluşturan bütün maddeler bu yöntemde kullanılabilir. Başlangıç maddelerinin özelliğine göre jel elde etmede çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.

2.3.6.1. Sol-jel yönteminin avantajları

1) Klasik eritmeyle üretimi zor olan, erime sıcaklıkları yüksek ve soğuma sırasında kristallenme eğilimi gösteren maddelerden düşük sıcaklıklarda camlar elde edilir.
2) Çok çeşitli elementlerin katılımıyla yeni ve değişik türde seramik ve camlar yapılır.
3) Ürünler yüksek saflıkta elde edilir. Ortamdan gelen safsızlıklar ve reaksiyon kabıyla etkileşim oldukça düşüktür. Bu özellikten dolayı optik ürünlerde önemli avantajlar sağlar.
4) İşlem sırasındaki karıştırma moleküler düzeyde olduğundan üretilen seramik ve camlar homojen bir yapıya sahiptir. Bu özellikten yine optik malzemeler üretiminde faydalanılır.
5) Polimerizasyon sırasında jel içinde değişik zincir uzunluğunda polimer moleküllerinin bulunması ve işlem sırasında bunların kısmen faz ayrımına uğramaları nedeniyle seramik yapıda bileşim farklılığı göstermeden yapısal değişiklikler gösteren bölgelerin oluşabilmesi mümkündür.

2.3.6.2. Sol-jel yöntemin dezavantajları

1) Hammadde fiyatları yüksek olduğundan uygulamalar bazı özel seramikler ve kaplama üretimi ile sınırlıdır.
2) İşlem süresinin uzunluğu üretim miktarını kısıtlayıcı bir faktördür. Yürüyen hat üzerinde kaplama mümkün değildir.
3) Kullanılan organik hammadelerin sağlığa zararlı olmaları uygulamalarda özel koruyucu tedbirler alınmasına neden olduğundan maliyet artar.
4) Jel içinde kalan porlar, hidroksil iyonları ve karbon atomları bazı özel amaçlı seramiklerde hataya neden olur.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Giriş

Bu tez çalışmasında; üç farklı kimyasal yapıya sahip bor elementi kullanılmıştır. Bunlar Trimetil bor, Butil boronik asit ve Yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2) 'dir. Bu elementler sol-jel ince film kaplama yöntemlerinden daldırarak kaplama (dip coating) yöntemi kullanılarak; katkısız, % 0,5, % 1, % 1,5 ve % 2 oranlarında bor katkılı ZnO ince filmler üretilmiştir.

Bu çalışmada dip coater cihazı kullanılarak ince filmler hazırlanmıştır. Hazırlanan ince filmlerin optik özellikleri UV-Vis spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. Yüzey özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile örneklerin kristal yapıları XRD cihazı ile ve elektriksel yapıları Hall Etkisi yöntemiyle belirlenmiştir. Kullanılan cihaz ve uygulanan yöntem ile ilgili detaylı bilgiler aşağıda verilmektedir.

3.2. Sol- Jel Çözeltilerinin Hazırlanması

3.2.1 Katkısız çinko oksit (ZnO) çözeltisinin hazırlanması

Çözelti için; 1.646 gr Çinko asetat iki su [$Zn(CH_3COO)2.2H_2O$] tartılmıştır. Üzerine 37 ml 2-metoksi etanol ($CH_3OCH_2CH_2OH$) eklenmiş ve çözeltinin içine magnet atılarak oda sıcaklığında 5 dk karıştırılmaya bırakılmıştır. Çözeltiye 0.460 gr ethanolamin damlatılmış ve bir gün süre ile karıştırılmaya bırakılmıştır. Çizelge 3.1'de ZnO çözeltilerinin başlangıç kimyasalları verilmiştir.

Çizelge 3.1. ZnO çözeltilerinin başlangıç kimyasalları

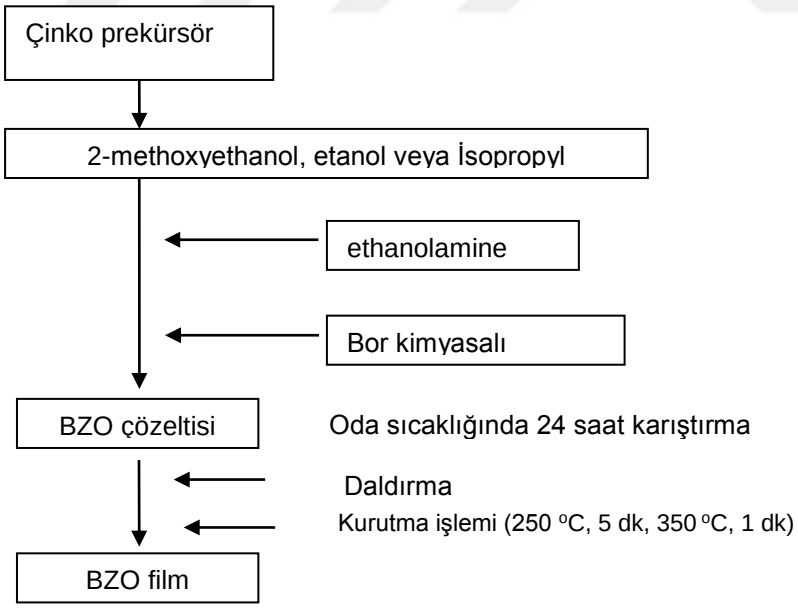
Kimyasal	Formülü
Çinko asetat iki su	[Zn(CH3COO)2·2H2O]
2-methoksi etanol	$CH_3OCH_2CH_2OH$
Etanolamin	$NH_2CH_2CH_2OH$

3.2.2. Bor katkılı çinko oksit (BZO) çözeltilerinin hazırlanması

Üç farklı bor kimyasalı kullanılarak farklı oranlarda çözeltiler hazırlanmıştır. BZO çözeltisinin hazırlanmasında kullanılacak kimyasalların listesi Çizelge 3.2'de verilmiştir. Bu çalışmada bor kimyasalı ticari olarak satılan Trimetil bor ve Butil boronik asit Aldrich firmasından temin edilmiştir. Üçüncü bir bor kimyasalı olarakta Harran Üniversitesi Kimya bölümünde sentezlenen Yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2) kimyasalı kullanılmıştır (Kılıç, 2015). Şekil 3.1'de bor katkılı çinko oksit filmlerin hazırlanma şeması verilmiştir.

Çizelge 3.2. Bor katkılı ZnO çözeltilerinin başlangıç kimyasalları

Kimyasal	Formülü
Çinko asetat iki su	[Zn(CH3COO)2·2H2O]
2-metoksi etanol	$CH_3OCH_2CH_2OH$
Ethanolamin	$NH_2CH_2CH_2OH$
Trimetil bor	$B(OCH_3)_3$
Yarı salan bor kompleksi	L_2BPh_2
Butil boronik asit	$CH_3(CH_2)_3B(OH)_2$



Şekil 3.1. BZO ince filmlerin sol-jel yöntemiyle hazırlanma şeması

3.3. Cam Altlıkların Temizlenmesi

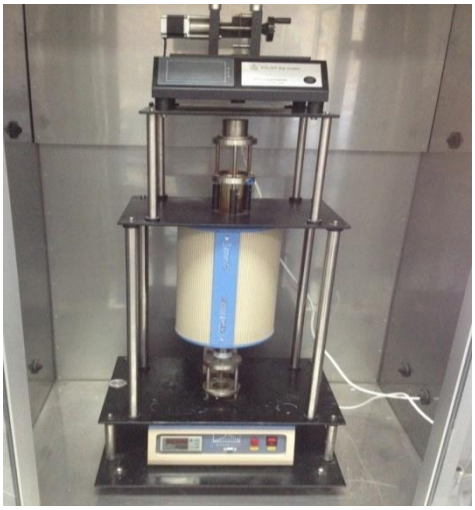
Cam altlık temizliği üretilen ince filmlerin özelliklerinin etkilediğinden dolayı oldukça önemlidir. Alt tabaka olarak kullanılan malzeme ne kadar temiz olursa o kadar kaliteli ince film elde edilir. Bu çalışmada altlık olarak yüzey kusuru çok az olan mikroskobik camlar kullanılmıştır. Altlıklar istenilen boyutlarda elmas kalem kullanılarak kesilmiştir.

Kullanılacak olan cam altlıklar; kirden arındırılması için ilk önce deterjanlı su ile temizlenmiştir. Bir süre saf suda bekletilmiştir. Sonra ultrasonik banyoda 10 dk aseton ve 10 dk 2-propanol ile temizlenmiştir. Ayrıca her ultrasonik banyo işlemi sonunda cam altlıklar hava kompresörü ile kurutulmuştur. Temizlenmiş olan cam altlıklar artık kaplama işlemine hazırdır.

3.4. İnce Filmlerin Kaplanması

Öncelikle ince film oluşturulacak olan cam altlıklar uygun boyutlarda kesilmiş ve yukarıda anlatıldığı gibi temizlik işlemlerinden geçirildikten sonra ince film oluşturulmaya hazır hale getirilmiştir. Altlıklar üzerine sol jel daldırarak kaplama (dip coating) metodu kullanılarak BZO ince filmlerinin oluşturulması aşamasına geçilmiştir. Kaplanan BZO ince filmler 450 ^{o}C, 475 ^{o}C, 500 ^{o}C, 525 ^{o}C ve 550 ^{o}C sıcaklıklarındaki fırında argon ortamında 45 dakika ısıl işleme tabi tutulmuştur.

Hazırlanan çözeltilerin her biri daldırarak kaplama (dip coating) yöntemi kullanılarak 350 ^{o}C'de 20 cm/dk hızda dokuz kez kaplanmıştır. Şekil 3.2' de bu çalışmada kullanılan plc kontrollü dip coater cihazı görülmektedir.



Şekil 3.2. Dip coater cihazı

Çizelge 3.3'te bu çalışmada hazırlanan örneklerin kodları verilmiştir.

Çizelge 3.3. Hazırlanan örneklerin kodları

Örnek	**Katkı türü**	**Katkı oranı (%)**	**Tavlama Sıcaklığı (^{o}C)**
S1	--------	0	525
S2	Trimetyl borate	0.50	450
S3	Trimetyl borate	0.50	475
S4	Trimetyl borate	0.50	500
S5	Trimetyl borate	0.50	525
S6	Trimetyl borate	0.50	550
S7	Trimetyl borate	1	525
S8	Trimetyl borate	1.5	525
S9	Trimetyl borate	2	525
S10	L2BPh2	0.5	450
S11	L2BPh2	0.5	475
S12	L2BPh2	0.5	500
S13	L2BPh2	0.5	525
S14	L2BPh2	0.5	550
S15	L2BPh2	1	525
S16	L2BPh2	1.5	525
S17	L2BPh2	2	525
S18	Butylboronic acid	0.75	450
S19	Butylboronic acid	0.75	475
S20	Butylboronic acid	0.75	500
S21	Butylboronic acid	0.75	525
S22	Butylboronic acid	0.75	550
S23	Butylboronic acid	0.5	525
S24	Butylboronic acid	1	525
S25	Butylboronic acid	1.5	525
S26	Butylboronic acid	2	525

3.5. Karakterizasyon İşlemlerinde Kullanılan Teknikler

3.5.1. X-ışını kırınımı (XRD)

X-ışını kırınımı kristallerin yapı tayininde kullanılan bir yöntemdir. Bu cihazlar malzemenin kristal yapıda olup olmadığı, kristal yönelimleri, ortalama tanecik boyutları, kristal kusurları gibi malzeme hakkında bilgi verir. Bu bilgi yapı üzerine gönderilen ışın demetlerinin malzemenin örgü düzlemlerinden karakteristik açılarla saçılması yardımı ile oluşan spektrumdan elde edilir Sol-jel yöntemiyle hazırladığımız filmlerin kristalik yapılarını inceleye bilmek için X-ışını kırınım analizi, Rigaku Ultima III difraktometresinde CuK_α (λ = 1,5418 Å) ışınımı kullanılarak 40 kV, 30 mA altında yapılacaktır. Ölçümler, oda sıcaklığında, $20^o \leq 2\theta \leq 70^o$ aralığında 0,02°' lik adımlarla elde edilecektir.



Şekil 3.3. Rigaku Ultima III x-ışını difraktometresi

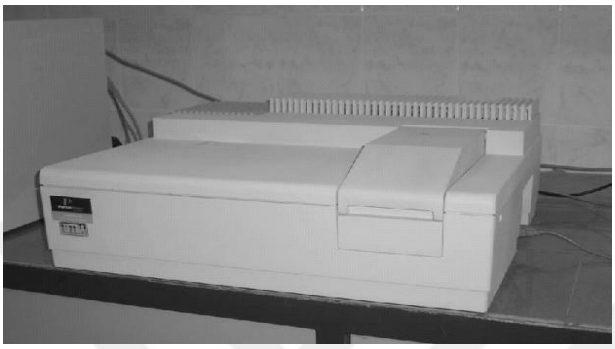
Bu çalışmada elde edilen filmlerin tanecik boyutları XRD sonuçları kullanılarak aşağıdaki Debye Scherrer formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos\theta} \tag{3.1}$$

Burada; D kristalit boyutu, λ X-ışını dalga boyu, β Full Width at Half Maximum (FWHM), θ Bragg açısıdır.

3.5.2. UV- Vis spektrometresi

İnce filmlerin optiksel geçirgenlikleri 200 ile 1100 nm dalga boyu aralığında Perkin Elmer 45 UV-Vis adlı ultraviyole spektrometresi ile incelenmiştir. İnce filmlerin yasak bant değerleri denklem 2.23'e göre belirlenmiştir. Şekil 3.4'te deneylerimizde kullandığımız UV-Vis spektrometre cihazının resmi görülmektedir.



Şekil 3.4. UV-vis spektrometresi (Perkin Elmer 45 UV-Vis)

3.5.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Optoelektronik uygulamalarda saydam iletken oksit tabakaların yüzey yapılarının homojen ve çatlaksız olması beklenir. Tavlama ortamının ve sıcaklığının, kullanılan kimyasalların molar oranlarının filmlerin yüzey yapılarına etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada tüm filmlerin yüzey yapılarını incelemek için Zeiss Evo 50 taramalı elektron mikroskobu **(**SEM) kullanılmıştır**.** Şekil 3.5'te bu çalışmada kullanılan SEM cihazının resmi görülmektedir.

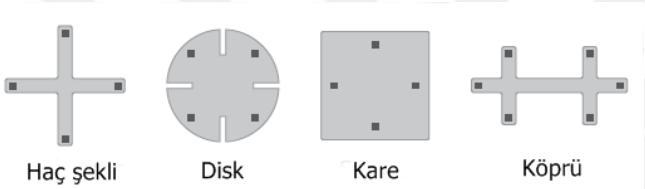


Şekil 3.5. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

3.5.4. Hall etkisi ölçümü

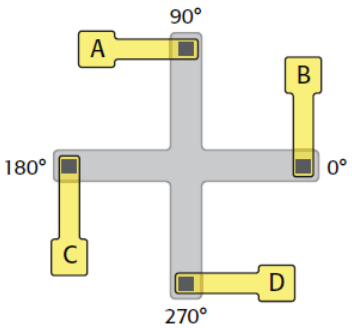
Bu çalışmada üretilen filmlerin elektriksel özellikleri Van der Pauw tekniği kullanılarak Ecopia HMS 3000 Hall etkisi cihazı ile belirlenmiştir. Elektriksel ölçümler yapılmadan önce kare şeklinde kesilmiş filmlerin köşelerine termal buharlaştırma cihazı ile uygun maske yardımıyla indiyum kontaklar yapılmıştır.

Yarıiletkenlerde özdirenç ölçümlerinde en çok kullanılan tekniklerden biri van der Pauw yöntemidir. Van der Pauw yöntemiyle elektriksel özdirenç ölçümü gerçekleştirmek için örneklerin aşağıdaki şekillerden biri gibi hazırlanması ve uygun omik kontakların yapılması gerekir.



Şekil 3.6. Elektriksel kontak şekilleri

Şekil 3.6'daki gibi hazırlanmış örneklere uygun kontaklar yapıldıktan sonra Hall etkisi yöntemiyle, yarıiletken filmlerin öz direnci, katkı türü, taşıyıcı yoğunluğu ve taşıyıcı mobilitesi belirlenebilir. Bu tez çalışmasında Hall etkisi ölçümü için örneklere Şekil 3.7'deki gibi kontaklar yapılmıştır.



Şekil 3.7. Hall etkisi ölçümü için kontak oluşturulması

Van der Pauw filmlerin R_s yüzey direncinin aşağıdaki bağıntıyı ile ölçülebileceğini göstermiştir.

$$e^{-\pi R_{AB,CD}/R_S} + e^{-\pi R_{BC,AD}/R_S} = 1 \quad (3.2)$$

Ohm yasasına göre AB uçları arasına I_{AB} akımı uygulandığında ve BC uçları arasında V_{BC} gerilimi ölçüldüğünde $R_{AB,CD} = V_{CD}/I_{AB}$ olur. Aynı şekilde $R_{BC,AD} = V_{AD}/I_{BC}$ olur. Eğer filmler homojen kalınlıklarda ise $R_{AB,CD} = R_{BC,AD} = R$ yazılabilir. Bu durumda yüzey direnci;

$$R_s = \frac{\pi R}{\ln(2)} \quad (3.3)$$

olur. Şekil 3.8' de bu çalışmada kullanılan Hall etki cihazının resmi verilmiştir.



Şekil 3.8. Ecopia HMS 3000 Hall etkisi ölçüm sistemi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

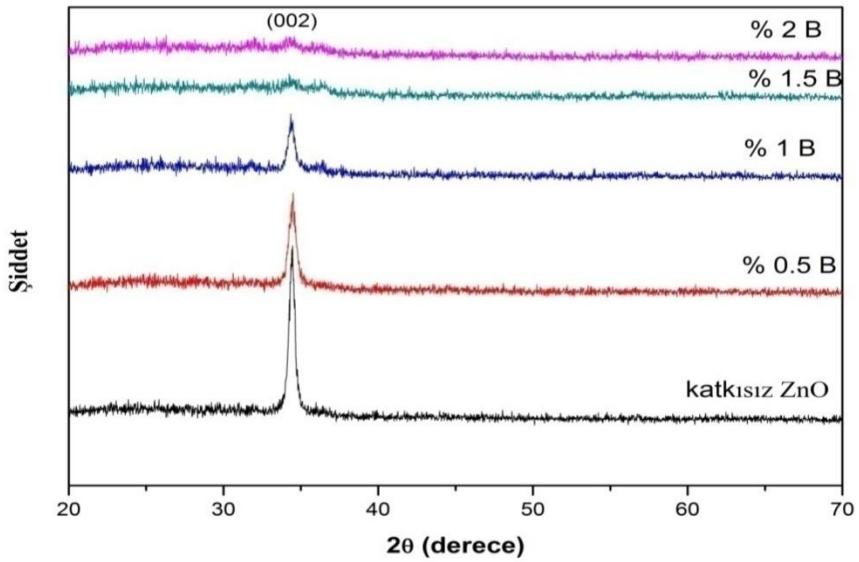
4.1. Giriş

Bu bölümde sol-jel yöntemi ile hazırlanan farklı oranlarda ve sıcaklıklarda bor katkılı ZnO ince filmlerin yapısal, optiksel ve elektriksel özellikleri hakkında elde edilen araştırma bulguları verilmiştir. İnce filmlerin katkılandırmaya bağlı yapısal özelliklerindeki değişim X-ışını kırınımı, taramalı elektron mikroskobu tekniklerinden elektriksel ölçümleri ise Hall etkisi yöntemiyle incelenmiştir. Katkılamanın optiksel özelliklere etkisi, UV-Vis bölgede optiksel geçirgenlik spektrumları yardımı ile incelenmiştir.

4.2. Filmlerin Yapısal Özellikleri

4.2.1. XRD sonuçları

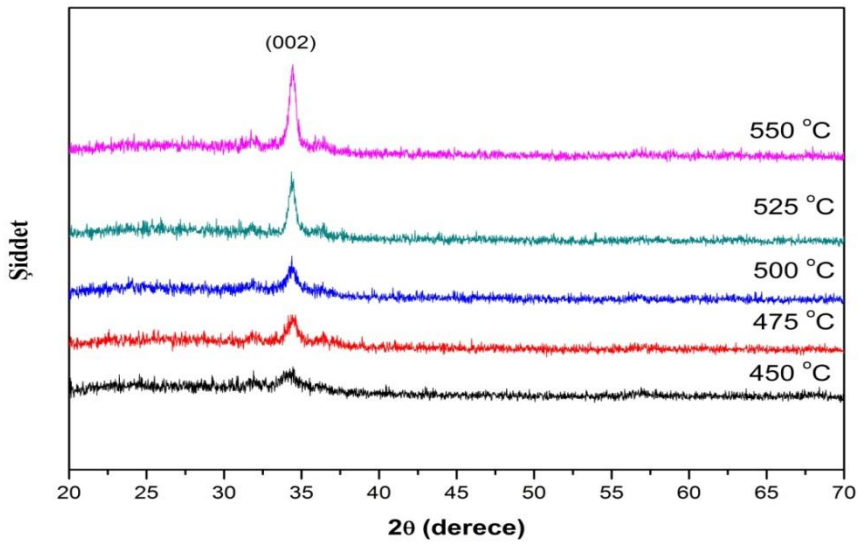
Sol-jel yöntemiyle hazırladığımız filmlerin kristalik yapılarını inceleyebilmek için X-ışını kırınım analizi, Rigaku Ultima III difraktometresinde CuK_α (λ = 1,5418 Å) ışınımı kullanılarak 40 kV, 30 mA altında yapılmıştır. Ölçümler, oda sıcaklığında, $20^o \leq 2\theta \leq 70^o$ aralığında 0,02^o' lik adımlarla elde edilmiştir. Dikey eksen kırınım ışık şiddetini, yatay eksen θ Bragg kırılma açısı olmak üzere 2θ' yı göstermektedir. Şekil 4.1'de Trimetil bor ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre XRD sonuçları gösterilmiştir. Şekil 4.1'de 2θ 34.1^o' de çıkan pik 01-071-3830 PDF kart numaralı Çinko oksitin yapısına uymaktadır. Filmler wurtzite yapıda kristalleşmektedir. Şekil 4.1'deki grafikte oluşan pik (002) miller indisli pike aittir.



Şekil 4.1. Trimetil bor ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre XRD spektrumları

Şekil 4.1' deki XRD sonuçlarına göre Trimetil bor oranı % 0.5 olduğunda 2θ =34.1º' deki (002) miller indisli pik şiddeti azalmaktadır. Bor oranı % 0.5 ve üstü olduğu zaman pik şiddetinin azaldığı görülmektedir.

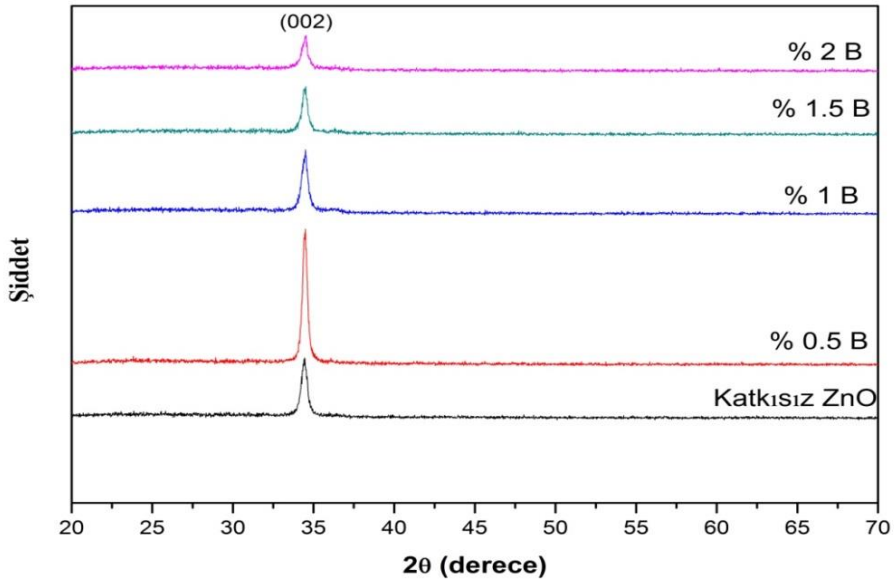
Şekil 4.2'de Trimetil bor ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara göre XRD sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.2. % 0.5 Trimetil bor ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara göre XRD spektrumu

Şekil 4.2' de % 0.5 oranında Trimetil bor ile katkılandırılmış ve farklı sıcaklıklarda üretilmiş ZnO filmlerinin XRD sonuçları verilmiştir. Şekil 4.2' ye göre sıcaklık 450 ^{o}C' den 550 ^{o}C' ye artırıldığında 2θ =34.1^{o}'' deki (002) miller indisli pik şiddeti artmaktadır. Pik şiddetindeki bu artış filmlerin kristalik yapılarının daha düzenli hale geldiğini göstermektedir. Bu sonuç ince filmler ile ilgili daha önceki çalışmalarla uyum içerisindedir (Lee, 2009).

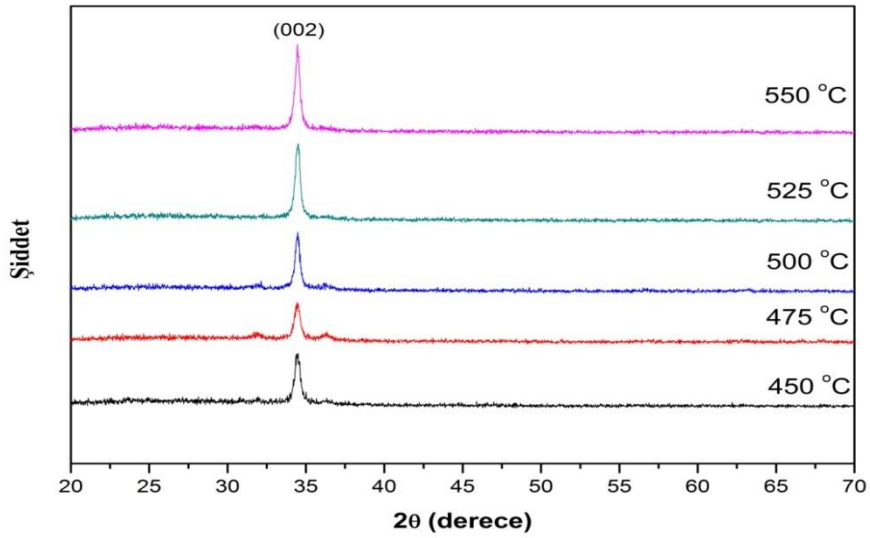
Şekil 4.3'te Yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2) ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre XRD sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.3. 525^{o} C'de tavlanmış ve L_2BPH_2 ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre XRD spektrumu

Şekil 4.3'teki XRD sonuçlarına göre bor oranı % 0.5 olduğunda 2θ =34.1' deki (002) miller indisli pik şiddeti artmaktadır. Bor oranı % 0.5 ve üstü olduğu zaman pik şiddetinin azaldığı görülmektedir. Bu sonuçlara göre ZnO' ya % 0.5 oranında Yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2) katkılandırıldığında kristalleşme artmaktadır.

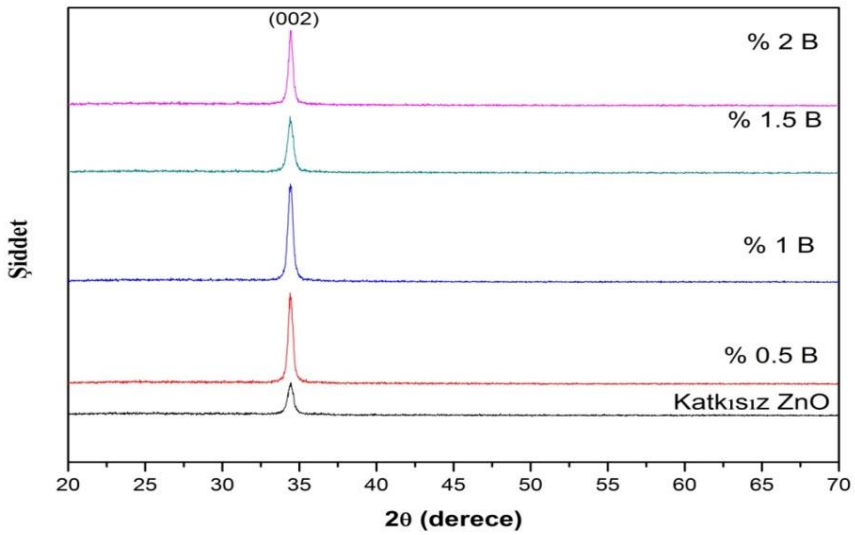
Şekil 4.4'te Yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2) ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara göre XRD sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.4. % 0.75 L_2BPh_2 ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara göre XRD spektrumu

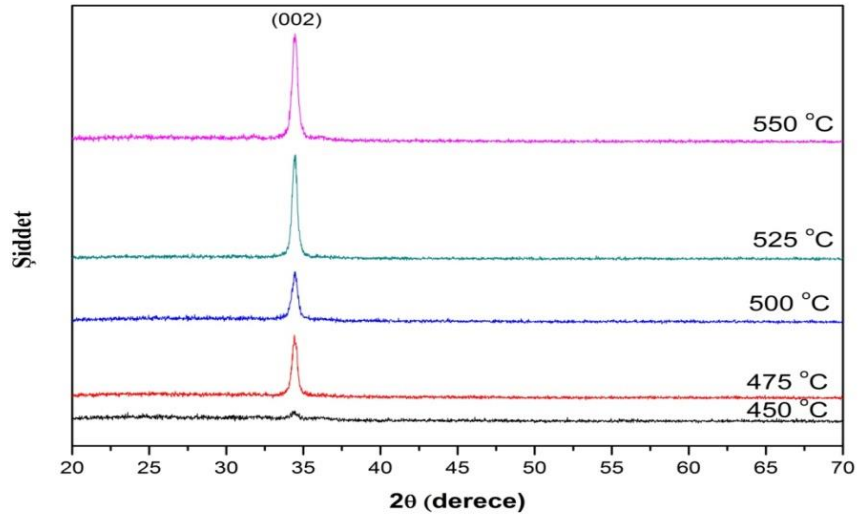
Şekil 4.4' te % 0.75 oranında Yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2) ile katkılandırılmış farklı sıcaklıklarda üretilmiş ZnO filmlerinin XRD sonuçları verilmiştir. Şekil 4.4' e göre sıcaklık 450 ºC' den 550 ºC' ye artırıldığında 2θ =34.1º' deki (002) miller indisli pik şiddeti artmaktadır. Pik şiddetindeki bu artış filmlerin kristalik yapılarının daha düzenli hale geldiğini göstermektedir.

Şekil 4.5'te Butil boronik asit ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre XRD sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Butil boronik asit ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre XRD spektrumu

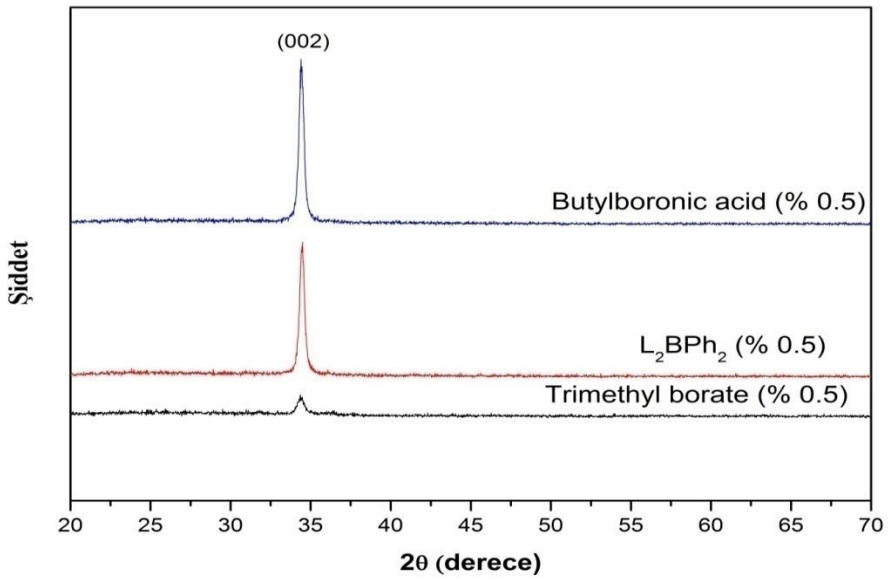
Şekil 4.5'teki XRD sonuçlarına göre bor oranı % 0.5 olduğunda 2θ =34.1' deki (002) miller indisli pik şiddeti artmaktadır. Bor oranı % 0.5 ve üstü olduğu zaman pik şiddetinin azaldığı görülmektedir. Bu sonuçlara göre ZnO' ya % 0.5 oranında Butil boranik asit katkılandırıldığında kristalleşme artmaktadır. Şekil 4.6'da Butil boronik asit ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara göre XRD sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.6. % 1 oranında Butil boronik asit ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara göre XRD spektrumu

Şekil 4.6'da % 1 oranında Butil boronik asit ile katkılandırılmış ve farklı sıcaklıklarda üretilmiş ZnO filmlerinin XRD sonuçları verilmiştir. Şekil 4.6' ya göre sıcaklık 450 ^{o}C' den 550 ^{o}C' ye artırıldığında 2θ =34.1^{o}'' deki (002) miller indisli pik şiddeti artmaktadır. Sıcaklığın artmasıyla XRD pik şiddetinin artması literatürdeki birçok malzemede görülmüştür (Sawada, 2002; Martinez, 2006). Buna göre sıcaklık attıkça atomların titreşimi artmakta ve tekrar soğumaya geçince ideal denge noktalarına yerleşmektedirler. Bu şekilde de o kristal yapı için olması gereken ideal örgü sabitleri sağlanmış olacaktır ve kristal kalitesinin artışından dolayı pik şiddeti de artacaktır.

Şekil 4.7'de farklı bor türlerine göre ZnO filmlerin XRD sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Farklı bor türlerine göre ZnO filmlerin XRD spektrumları

Şekil 4.7' ye göre Trimetil bor ile katkılandırılmış ZnO filmlerin (002) miller indisli pik şiddetleri en düşük olmaktadır. Bununla birlikte % 0.5 oranında Butil boronik asit ve Yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2) katıldığında ZnO pik şiddeti artmaktadır. Buradan da Butil boronik asit'in ve Kimya Bölümünde sentezlenen Yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2) kimyasalının ZnO için uygun katkı kimyasalları olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.1'de bu çalışmada elde edilen bazı örneklerin Debye scherrer formülü ile hesaplanmış tanecik boyutları verilmiştir.

Çizelge 4.1. Bazı örneklerin Debye scherrer formülü ile hesaplanmış tanecik boyutları

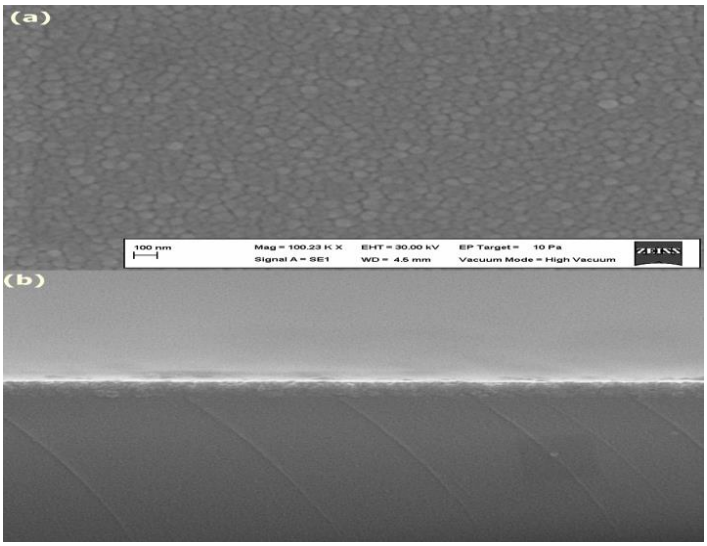
Örnek	kristalit boyutu (nm)	Örnek	Kristalit boyutu (nm)
S1	17	S15	26
S2	10	S16	22
S3	13	S17	22
S4	17	S18	23
S5	17	S23	25
S10	23	S25	26
S11	21	S26	21
S12	26	S27	30
S13	24		

Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi tanecik boyutları katkı türüne, oranlarına ve tavlama sıcaklığına göre değişmektedir.

4.3. Filmlerin Morfolojik Özellikleri

4.3.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) sonuçları

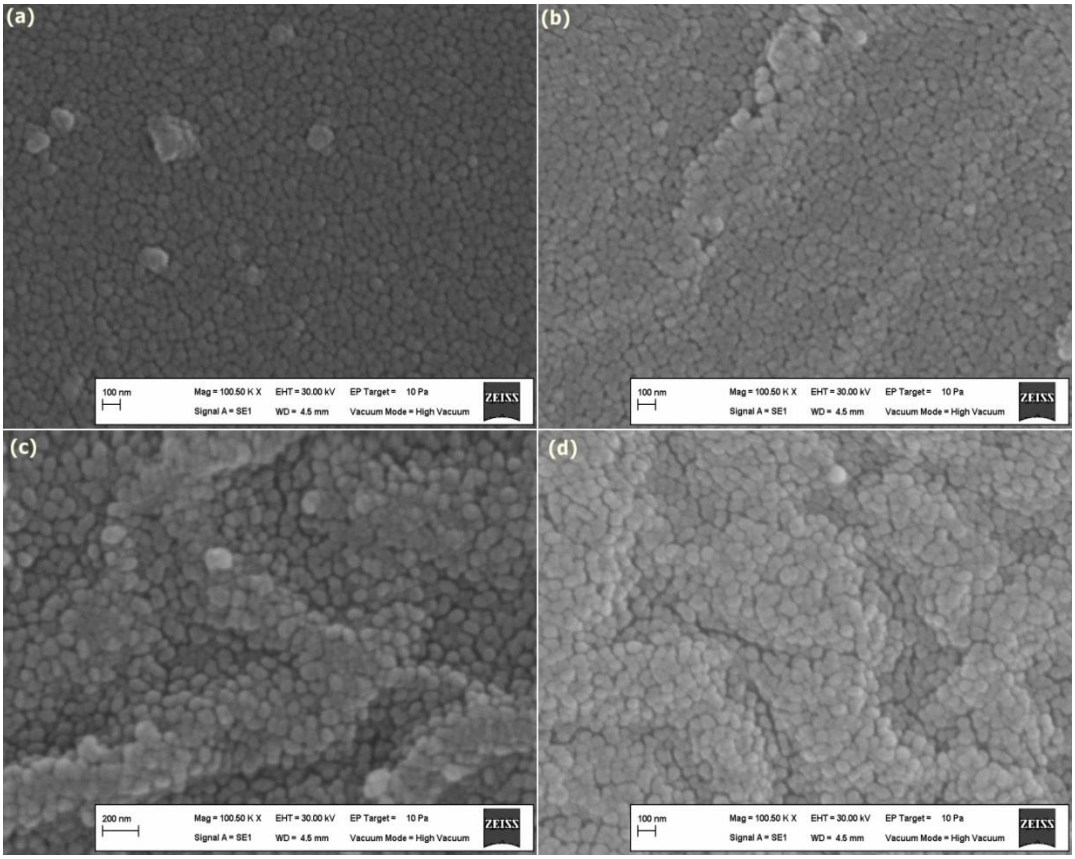
Şekil 4.8' de katkısız ZnO filmlerin SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.8. Katkısız ZnO filmlerin a) üstten 100 K büyütmeyle çekilmiş, b) yandan çekilmiş SEM görüntüleri

Şekil 4.8a'ya göre film yüzeyi homojen dağılımlı ve çatlaksızdır. Ayrıca Şekil 4.8b' deki yandan çekilmiş SEM görüntüsüne göre film kalınlığı yaklaşık olarak 220 nm olarak ölçülmüştür.

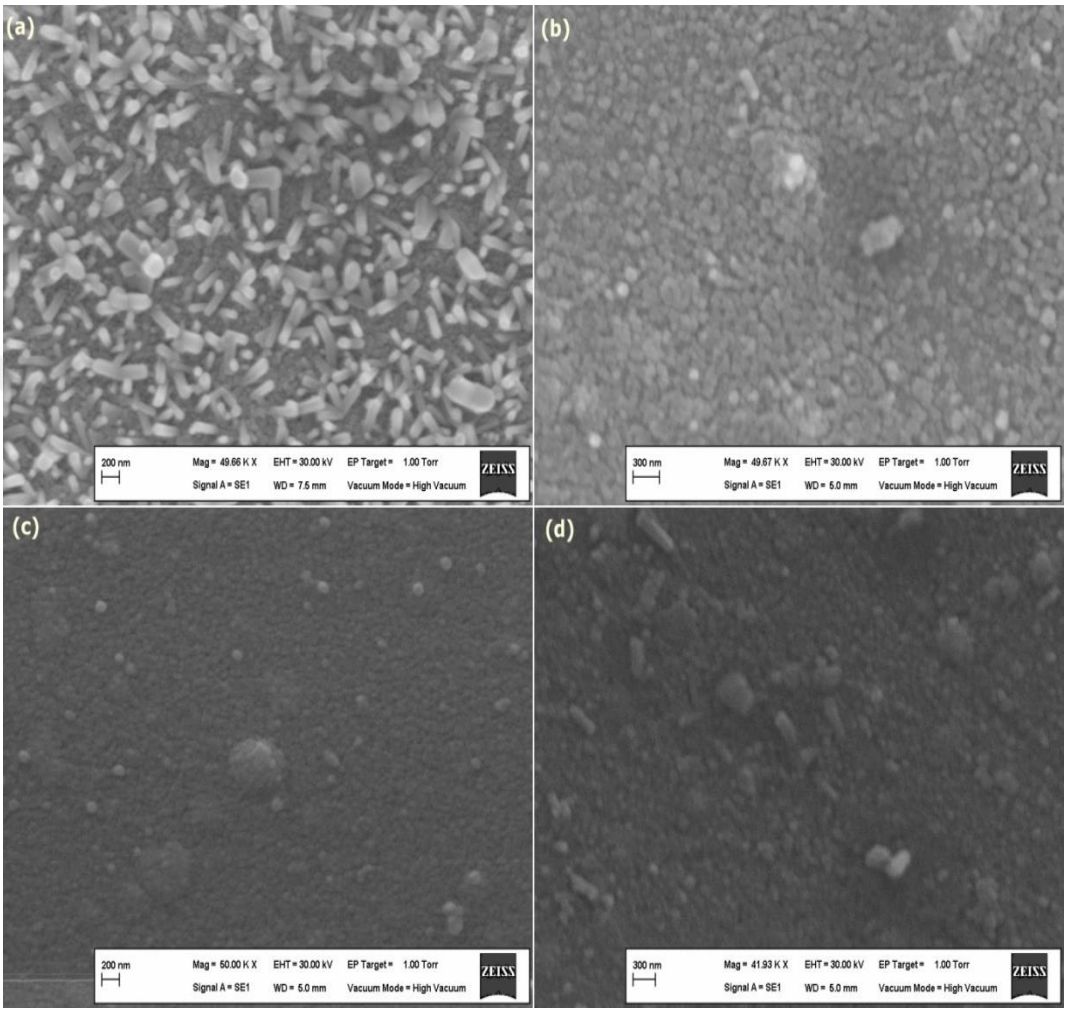
Şekil 4.9'da Trimetil bor ile farklı oranlarda katkılandırılmış ve 525 ^{o}C'de tavlanmış ZnO filmlerin SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.9. (a) % 0.5, (b) % 1, (c) %1.5 ve (d) % 2 oranında Trimetil Bor ile katkılandırılmış ve 525 ^{o}C'de tavlanmış ZnO filmlerin SEM görüntüleri

Şekil 4.9'daki SEM görüntülerine göre çözeltideki bor oranı artırıldıkça film yüzeyindeki homojenlik bozulmaktadır. Bununla birlikte bütün oranlar için film yüzeylerinde çatlak gözlenmemiştir. Optoelektronik uygulamalarda kullanılan saydam iletken filmlerin çatlaksız olması üretilecek cihazda meydana gelebilecek elektriksel kısa devreleri önlemek için oldukça önemlidir.

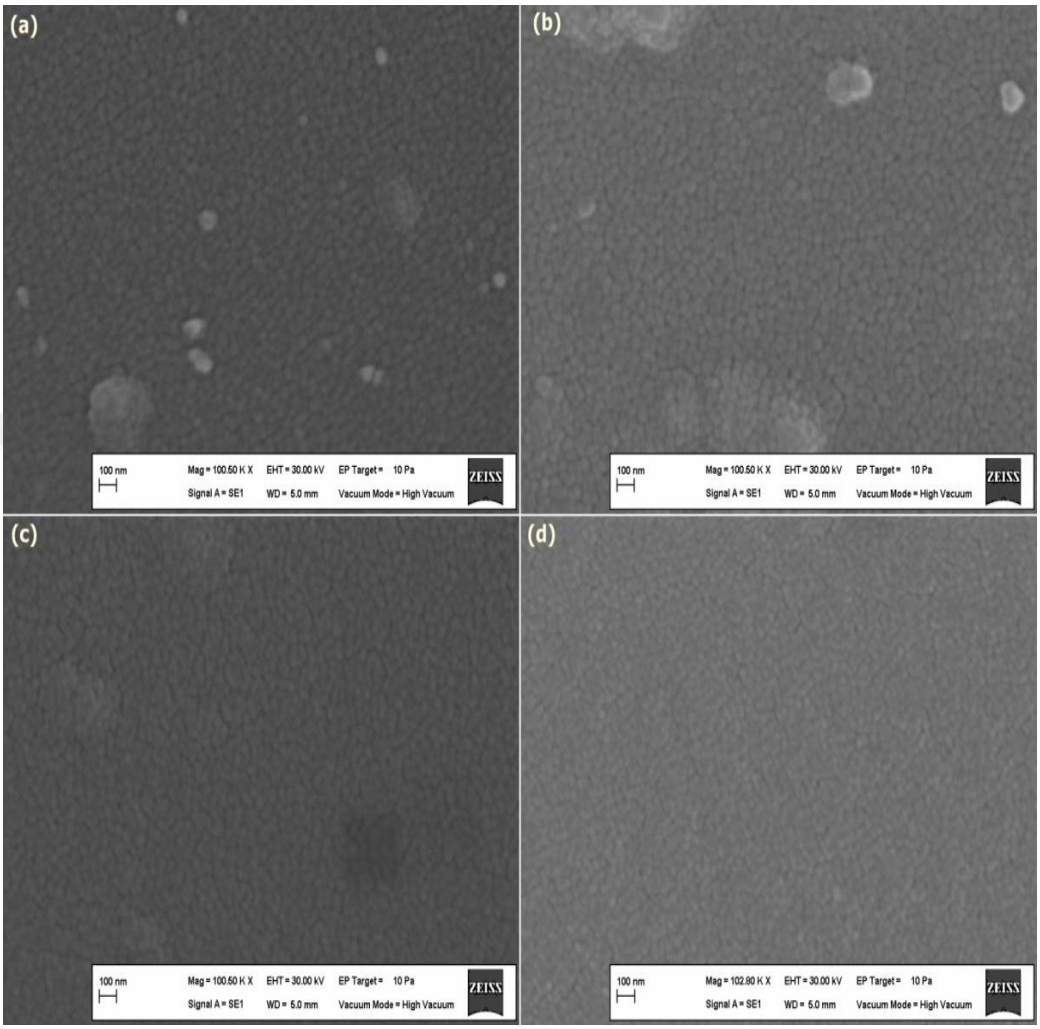
Şekil 4.10'da Kimya bölümünde ilk kez sentezlenen Yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2**)** ile farklı oranlarda katkılandırılmış ve 525 ^oC'de tavlanmış ZnO filmlerin SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.10. (a) % 0.5, (b) % 1, (c) %1.5 ve (d) % 2 oranında L_2BPh_2 ile katkılandırılmış ve 525 ^oC'de tavlanmış ZnO filmlerin SEM görüntüleri

Şekil 4.10'daki SEM görüntülerine göre % 0.5 oranında Yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2) katkılı ve 525 ^oC'de tavlanmış ZnO filmlerin yüzeyinde diğer farklı bor bileşiklerine göre hekzagonal nano çubuklar oluşmaktadır. Buradan da kullanılan başlangıç kimyasalının filmlerin morfolojik özelliklerine önemli ölçüde etkilediği anlaşılmaktadır.

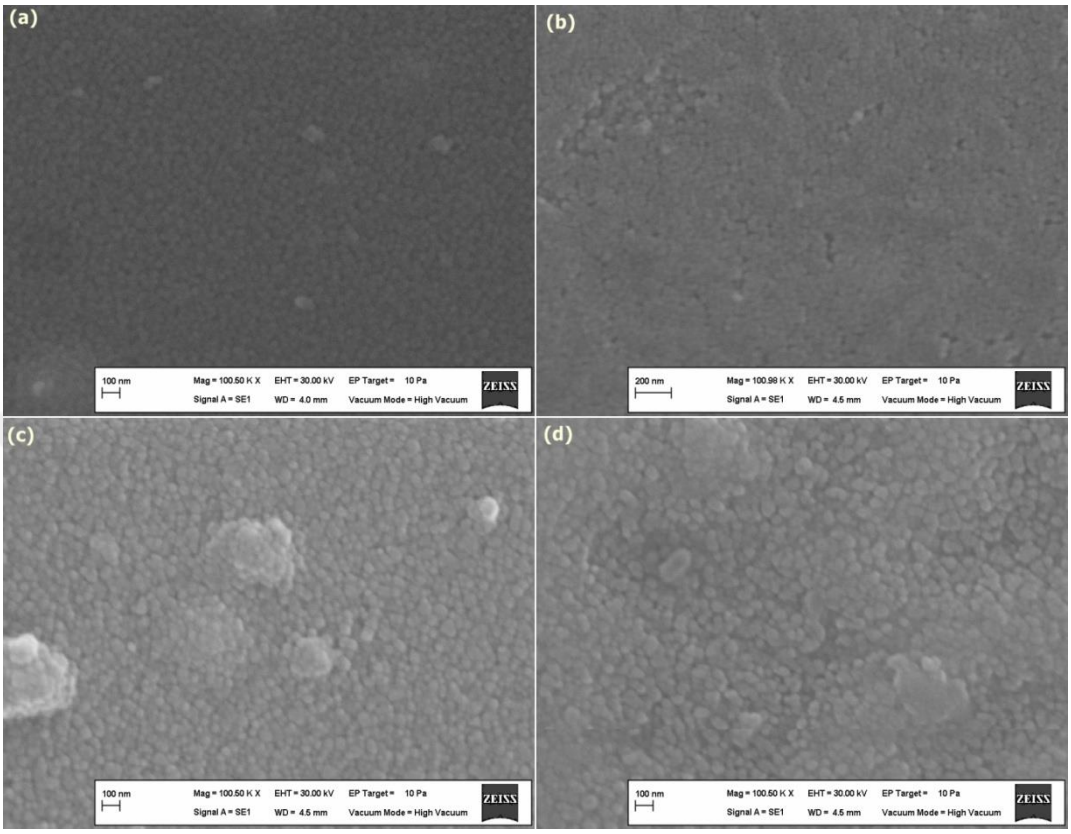
Şekil 4.11'de Butil boronik asit ile farklı oranlarda katkılandırılmış ve 525 ºC' de tavlanmış ZnO filmlerin SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.11. (a) % 0.5, (b) % 1, (c) %1.5 ve (d) % 2 oranında Butil boronik asit ile katkılandırılmış ve 525 ºC 'de tavlanmış ZnO filmlerin SEM görüntüleri

Şekil 4.11'deki SEM görüntüleri Butil boronik asit ile katkılandırılmış ZnO filmlerin yüzeylerinin homojen dağılımlı ve çatlaksız olduğunu göstermektedir. Ayrıca şekil 4.11a'ya göre % 0.5 oranında katkılı ZnO filmlerin tanecik boyutları daha büyüktür. Bu sonuç XRD sonuçları ile uyum içindedir. XRD sonuçlarına göre % 0.5 oranında Butil boronik asit katkılı ZnO filmlerin pik şiddetleri en yüksektir.

Şekil 4.12'de Butil boronik asit ile % 0.75 oranında katkılandırılmış ve farklı sıcaklıklarda tavlanmış ZnO filmlerin SEM görüntüleri verilmiştir.



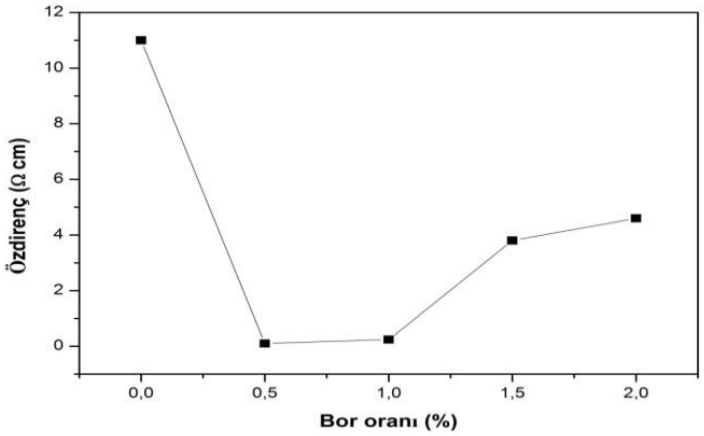
Şekil 4.12. % 0.75 oranında Butil boronik asit ile katkılandırılmış ve (a) 450 ^{o}C, (a) 475 ^{o}C, (a) 500^{o}C ve (a) 525 ^{o}C' de tavlanmış ZnO filminin SEM görüntüleri

Şekil 4.12'deki SEM görüntülerine göre tavlama sıcaklığı 450 ^{o}C'den itibaren 25 ^{o}C' lik artışlarla 525 ^{o}C'ye çıkarıldığında filmlerdeki tanecik boyutlarının arttığı gözlenmiştir. Bu sonuçta XRD verileriyle uyum içindedir. XRD sonuçlarına göre sıcaklık arttıkça pik şiddetleri artmaktadır.

4.4. Filmlerin Elektriksel Özellikleri

4.4.1. Hall etkisi sonuçları

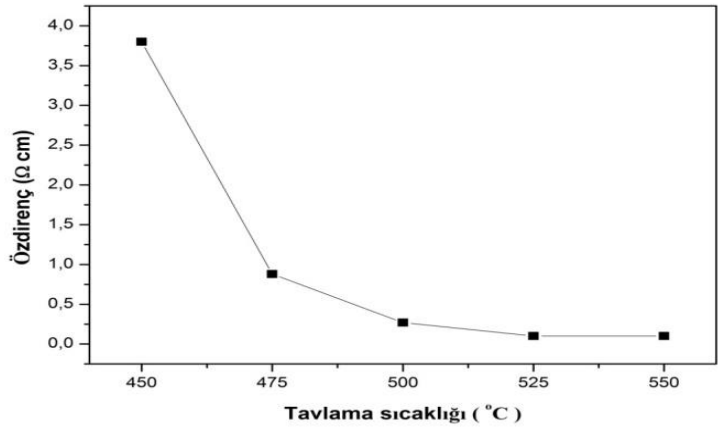
Şekil 4.13'te Trimetil bor ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre Hall etkisi sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Trimetil bor ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre Hall etkisi sonuçları

4.13' teki Hall etkisi sonucuna bakıldığında en düşük özdirenç olan 0.1 Ω cm olarak bor oranı % 0.5 olan filmlerde gözlenmiştir.

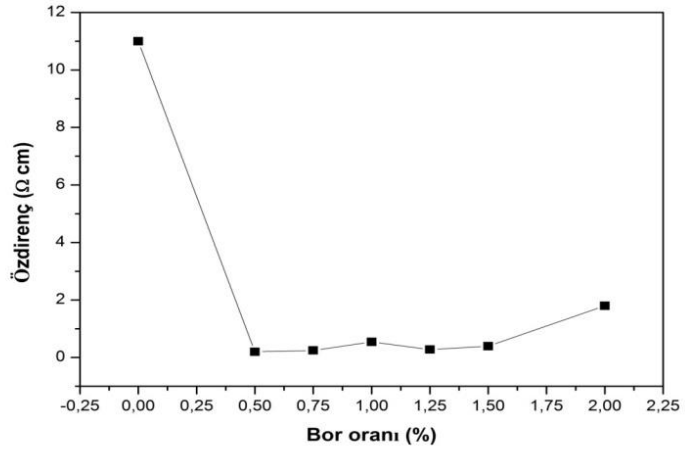
Şekil 4.14' te Trimetil bor ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara göre Hall etkisi sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.14. % 0.5 oranında Trimetil bor ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara göre Hall etkisi somuçları

4.14' teki Hall etkisi sonuçlarına bakıldığında en düşük özdirenç 0.1 Ω cm olarak 525 ^{o}C ve 550 ^{o}C sıcaklıklarda tavlanan filmlerde görülmektedir.

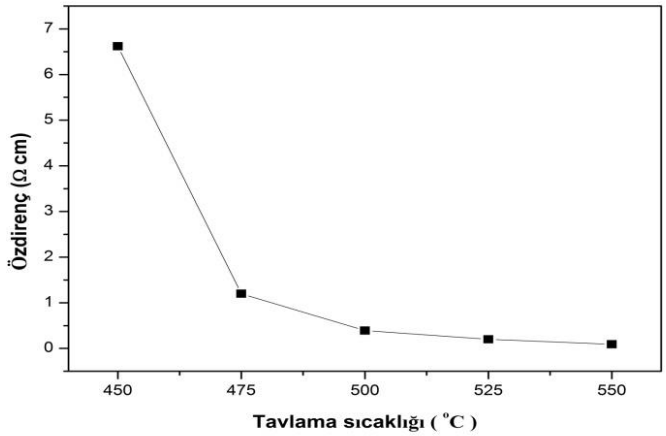
Şekil 4.15'te Yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2) ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre Hall etkisi sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.15. L_2BPh_2 ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre Hall etkisi sonuçları

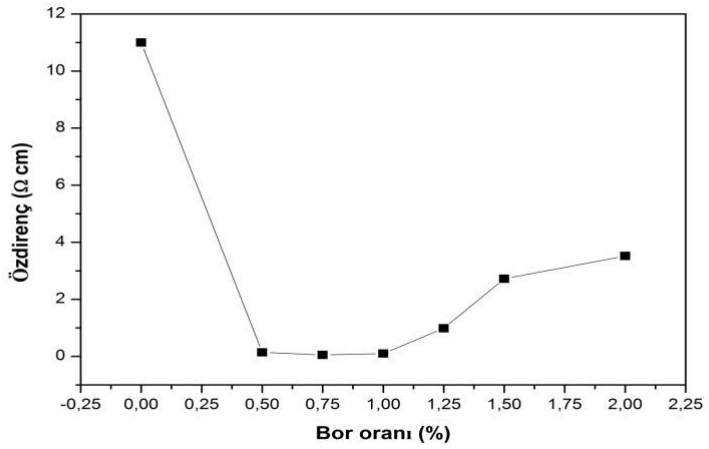
4.15'teki Hall etkisi sonuçlarına bakıldığında en düşük özdirenç $1.9x10^{-1}$ Ω cm olarak bor oranı % 0.5 olan filmlerde gözlenmiştir.

Şekil 4.16'da % 0.5 oranında L_2BPh_2 ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara göre Hall etkisi sonuçları gösterilmiştir.



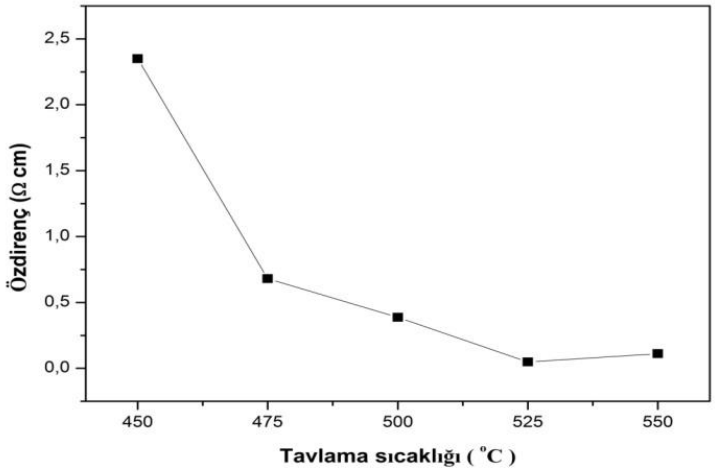
Şekil 4.16. % 0.5 oranında L_2BPh_2 ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara göre Hall etkisi sonuçları

4.16'daki Hall etkisi sonuçlarına bakıldığında en düşük özdirenç $9x10^{-2}$ Ω cm olarak 550 ^oC ' de tavlanmış filmlerde gözlenmiştir. Şekil 4.17'de Butil boronik asit ile katkılandırılmış ve 525 ^oC'de tavlanmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre Hall etkisi sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Butil boronik asit ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre Hall etkisi sonuçları

Şekil 4.17'deki Hall etkisi sonuçlarına bakıldığında en düşük özdirenç 4.85×10^{-2} Ω cm olarak % 0.75 oranında katkılandırılmış filmlerde gözlenmiştir. Şekil 4.18'de Butil boronik asit ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara göre Hall etkisi sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.18. % 0.75 oranında Butil boronik asit ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara Hall etkisi sonuçları

Şekil 4.18'deki Hall etkisi sonuçlarına bakıldığında en düşük özdirenç 4.85×10^{-2} Ω cm olarak 525 ^{o}C' de tavlanmış filmlerde görülmektedir.

Çizelge 4.2'de elde edilen filmlerin Hall etkisi sonuçları verilmiştir.

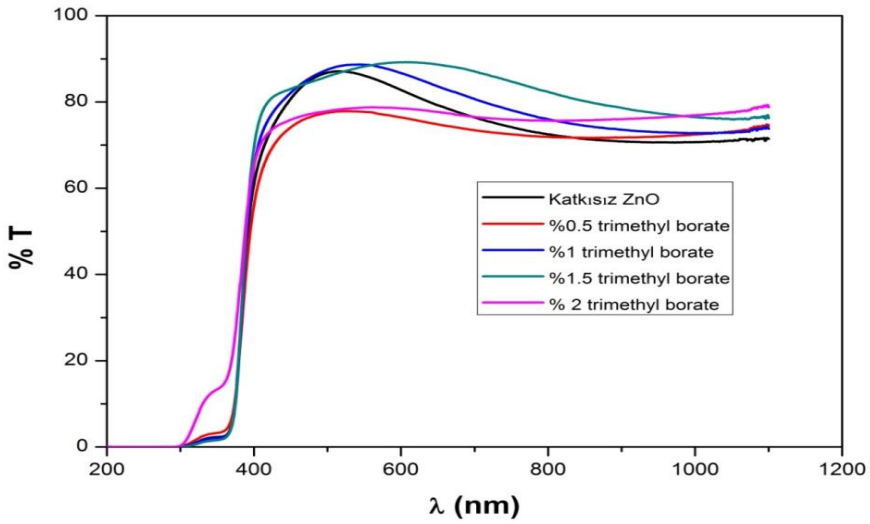
Çizelge 4.2. Çalışmada elde edilen filmlerin Hall etkisi sonuçları

Örnek	Özdirenç (Ω cm)	Mobilite (cm2/Vs)	Taşıyıcı yoğunluğu (cm^3)
S1	11	1.6	3.6 x 1017
S2	3.8	0.36	4.5 x1018
S3	0.88	0.82	8.5 x1018
S4	0.27	0.78	2.8 x1019
S5	0.10	1.15	5.4 x1019
S6	0.10	1	5.9 x1019
S7	0.24	0.48	5.3 x1019
S8	3.80	0.61	2.6 x1018
S9	4.63	0.26	5.11x1018
S10	6.62	2.2	4.3 x1017
S11	1.21	2.2	2.3 x1018
S12	0.39	0.61	2.62 x1019
S13	0.19	1.86	1.68 x1019
S14	0.09	1.88	3.44x1019
S15	0.54	0.2	5.6 x1019
S16	0.39	0.32	4.8 x1019
S17	1.82	0.07	4.7 x1019
S18	2.35	3.51	7.5 x1017
S19	0.68	6.99	1.3 x1019
S20	0.38	1.26	1.27 x1019
S21	0.048	4.94	2.59 x1019
S22	0.11	3.51	1.58 x1019
S23	0.23	1.02	2.57 x1019
S24	0.11	2.35	2.39 x1019
S25	2.72	0.96	2.37 x1018
S26	3.52	0.71	2.48 x1018

4.5. Filmlerin Optiksel Özellikleri

4.5.1. UV-Vis sonuçları

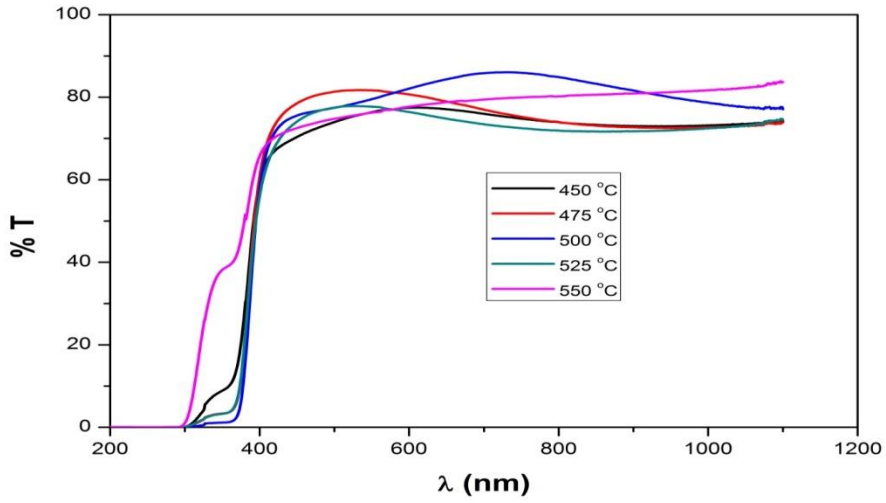
Şekil 4.19'da % 0.5 oranında Trimetil bor ile katkılandırılmış ve 525 ºC'de tavlanmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre UV sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.19. % 0.5 oranındaTrimetil bor ile katkılandırılmış ve 525 ^{o}C'de tavlanmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre UV spektrumu

Şekil 4.19'a göre % 1 ve % 1.5 oranında Trimetil bor ile katkılandırılmış ZnO filmlerin 400 nm ile 600 nm dalgaboyu aralığında optiksel geçirgenlikleri % 80'in üzerindedir. Bununla birlikte % 0.5 ve % 2 oranında bor katkılı filmlerde optiksel geçirgenlik % 80'e yakındır.

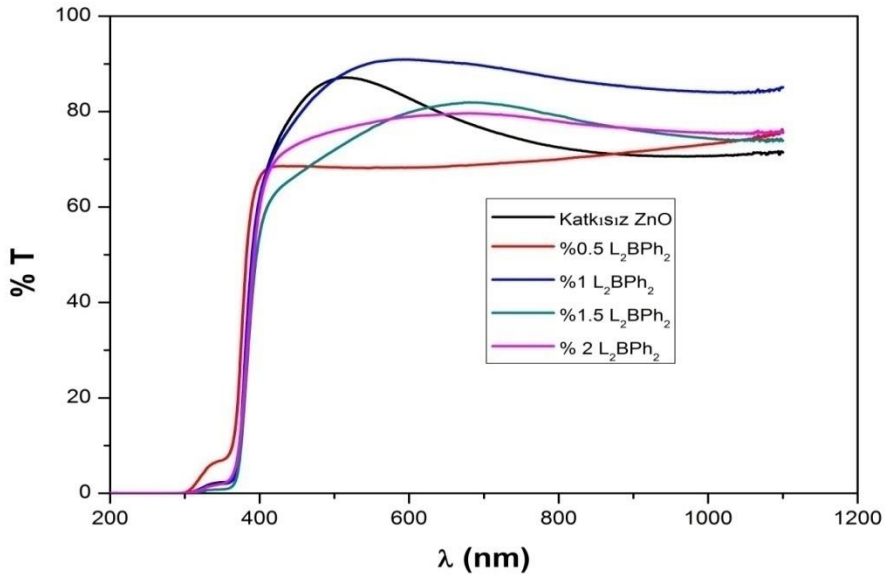
Şekil 4.20'de % 0.5 oranında Trimetil bor ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara göre UV sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.20. % 0.5 oranında Trimethl borate ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara göre UV spektrumu

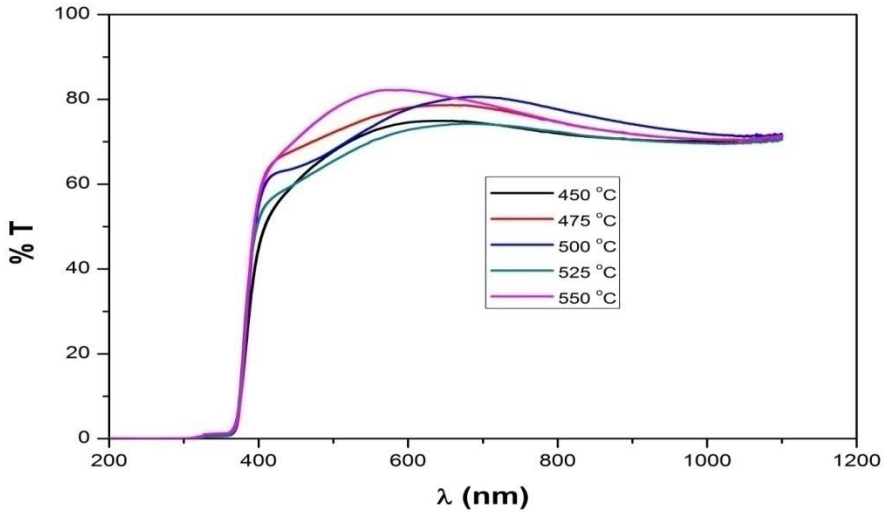
Şekil 4.20' ye göre % 0.5 oranında Trimetil bor katkılı ZnO filmlerde 400 nm ile 500 nm dalgaboyu aralığında en yüksek optiksel geçirgenlik 475 ^{o}C'de tavlanmış filmlerde gözlenmiştir. Öte yandan 600 nm ve 900 nm dalgaboyu aralığında en yüksek optiksel geçirgenlik ise 500 ^{o}C'de tavlanmış filmlerde oluşmaktadır.

Şekil 4.21'de Yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2) ile farklı oranlarda katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre UV sonuçları gösterilmiştir.



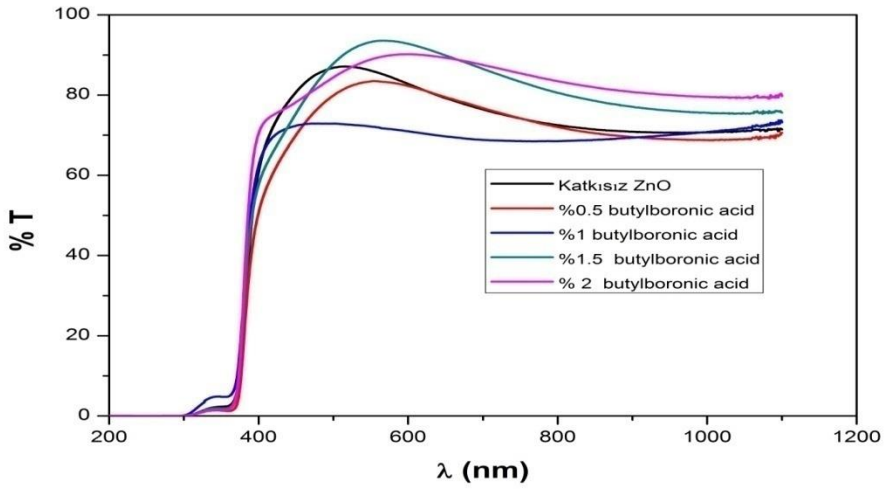
Şekil 4.21. L_2BPh_2 ile katkılandırılmış ve 525 ^{o}Cde tavlanmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre UV spektrumu

Şekil 4.21'e göre 525 ^{o}C'de tavlanmış ve farklı oranlarda kimya bölümünde sentezlenen Yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2) kimyasalı ile katkılandırılmış filmlerde % 1 oranında bor katkılandırıldığında optiksel geçirgenlik 500 nm ile 1100 nm aralığında geniş bir bölgede % 90'a yakındır. Ayrıca şekilde görüldüğü gibi % 1 oranında Yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2) katkılı ZnO filmlerin optiksel geçirgenliği katkısız ZnO filmlere göre artmaktadır. Bu sonuç görünür bölgede saydam iletken oksit filmlerde katkı ile optiksel geçirgenliğin artırılabileceğini göstermektedir. Şekil 4.22'de % 0.75 oranında Yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2) ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara göre UV sonuçları gösterilmiştir.



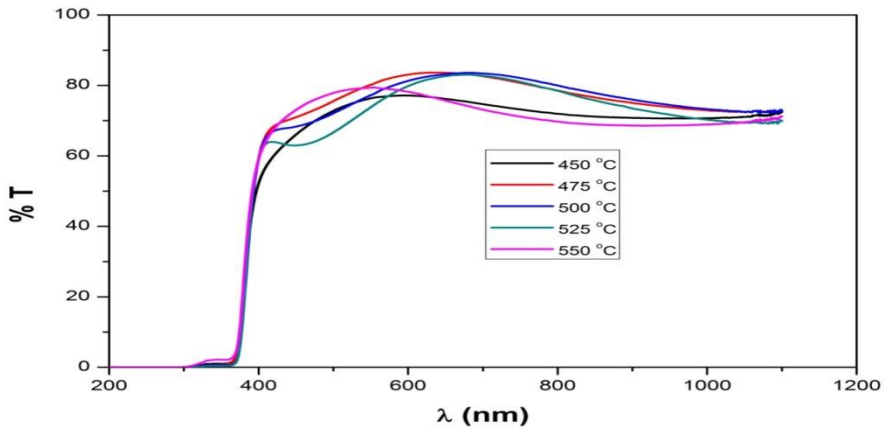
Şekil 4.22. % 0.75 oranında L_2BPh_2 ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara göre UV spektrumu

Şekil 4.22'ye göre % 0.75 oranında Yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2) katkılı ZnO filmlerde 400 nm ile 650 nm aralığında en yüksek optiksel geçirgenlik 550 ^oC'de tavlanmış numunelerde gözlenmiştir. Şekil 4.23' te farklı Butil boronik asit ile katkılandırılmış ve 525 ^oC'de tavlanmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre UV sonuçları gösterilmiştir.



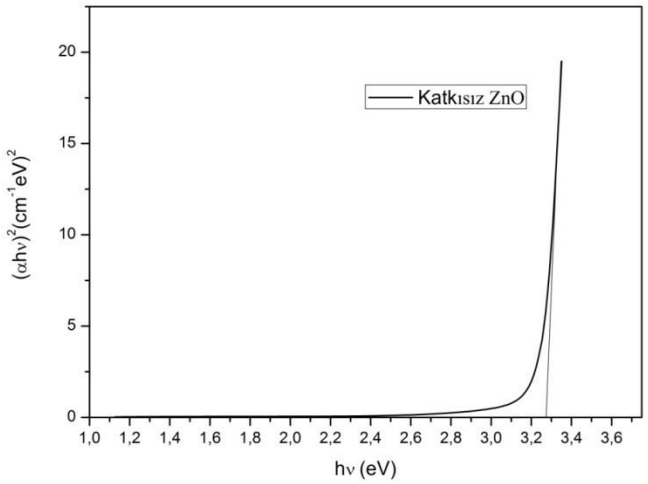
Şekil 4.23. Butil boronik asit ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı oranlara göre UV spektrumu

Şekil 4.23' e göre farklı Butil boronik asit ile katkılandırılmış ZnO filmlerde en yüksek optiksel geçirgenlik 500 nm ile 1100 nm aralığında % 1.5 ve % 2 oranında katkılı filmlerde gözlenmiştir. Bu iki oranda hazırlanan filmlerin optiksel geçirgenlikleri katkısız ZnO'ya göre artmaktadır. Şekil 4.24'te % 0.75 Butil boronik asit ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara göre UV sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.24. % 0.75 oranında Butil boronik asit ile katkılandırılmış ZnO filmlerin farklı sıcaklıklara UV spektrumu

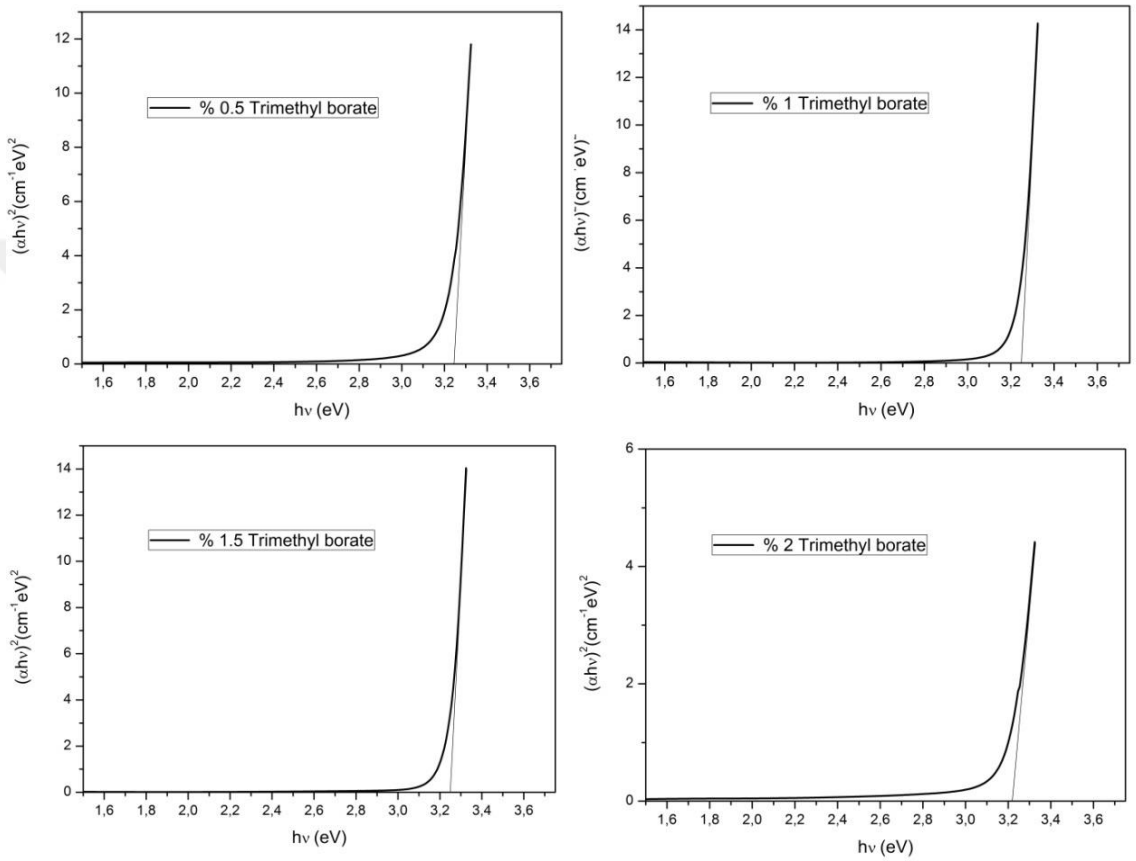
% 0.75 Butil boronik asit ile katkılandırılmış ZnO filmlerin optiksel geçirgenliklerine sıcaklığın etkisini incelediğimizde 475 ^{o}C, 500 ^{o}C ve 525 ^{o}C'de artış olduğu fakat 550 ^{o}C'de tekrar düştüğü gözlenmiştir. Şekil 4.25' te 525 ^{o}C'de tavlanmış katkılandırılmamış ZnO filmlerin yasak bant aralığı grafiği verilmiştir.



Şekil 4.25. 525 ^{o}C' de tavlanmış katkılandırılmış ZnO filmlerin yasak bant aralığı

Şekil 4.25'e göre katkısız ZnO filmlerin yasak bant aralıkları 3.27 eV civarındadır. Bu sonuç diğer çalışmalarla uyum içerisindedir (Kumar, 2011).

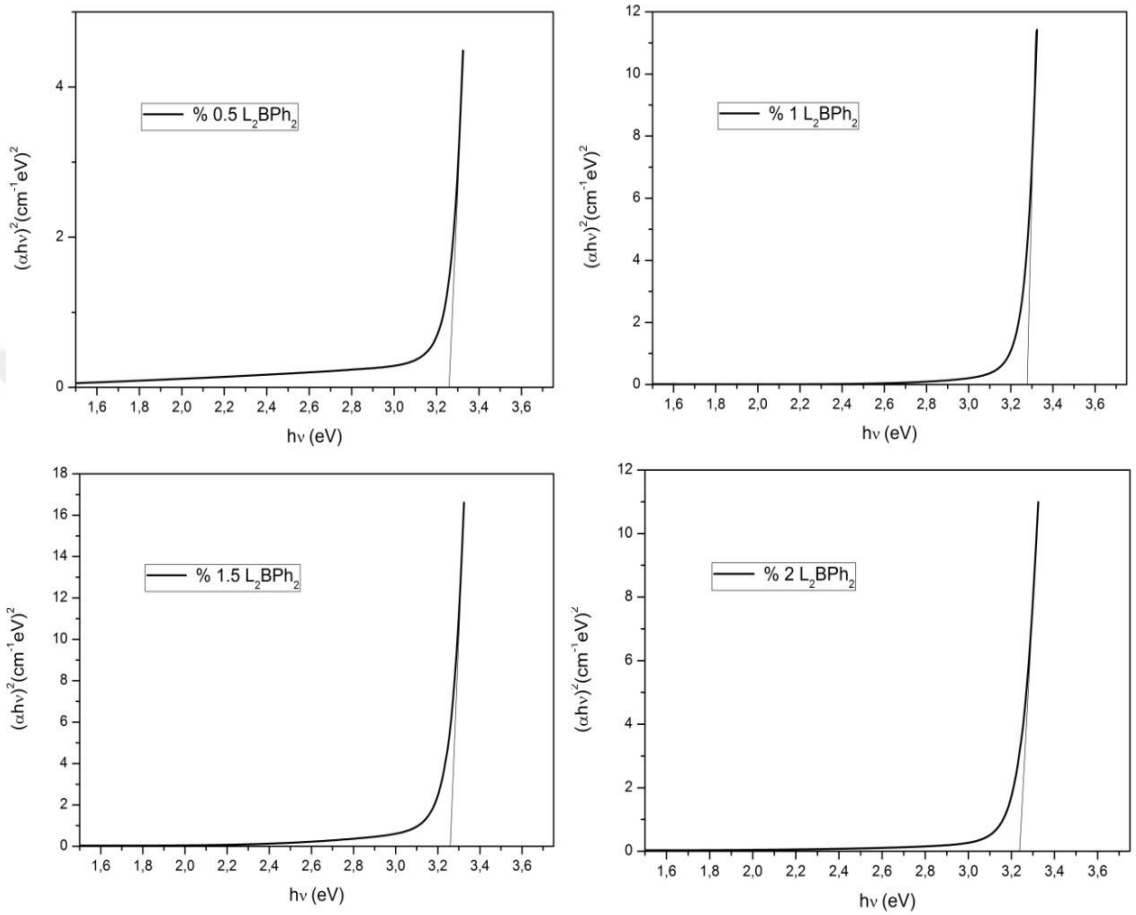
Şekil 4.26'da 525 ºC' de tavlanmış Trimetil bor ile katkılandırılmış ZnO filmlerin yasak bant aralığının katkı oranı ile değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.26. 525 ºC' de tavlanmış farklı oranlarda Trimetil bor ile katkılandırılmış ZnO filmlerin yasak bant aralığının gösterimi

Şekil 4.26'da göre Trimetil bor ile katkılandırılmış ZnO filmlerin yasak bant aralıkları 3.25 eV civarındadır. Bu sonuç literatürdeki önceki çalışmalarla uyum içindedir. Bor oranı % 0.5 ile % 1.5 aralığında değiştirildiğinde band aralığında önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Bununla birlikte bor oranı % 2 olduğunda yasak bant aralığı 3.25 eV'den 3.22 eV'ye düşmüştür. Bu sonuç katkı oranının artmasıyla kristalleşmedeki düşüş ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Benzer sonuçlar literatürde gözlenmiştir.

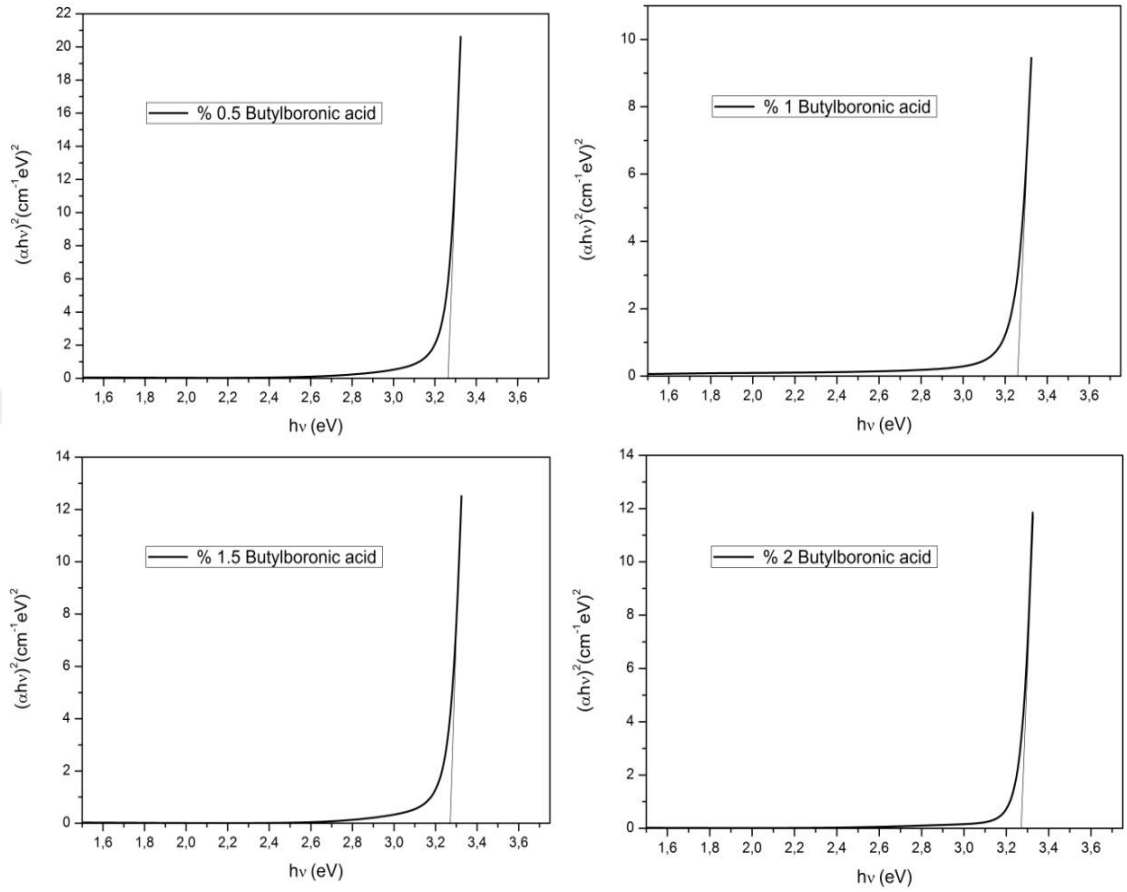
Şekil 4.27'de 525 ºC' de tavlanmış Yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2) ile katkılandırılmış ZnO filmlerin yasak bant aralığının katkı oranı ile değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.27. 525 ºC' de tavlanmış farklı oranlarda L_2BPh_2 ile katkılandırılmış ZnO filmlerin yasak bant aralığının gösterimi

Şekil 4.27'ye göre Yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2) ile katkılandırılmış ZnO filmlerin yasak bant aralıkları da 3.25 eV civarındadır. Yasak bant aralığında katkı oranının değişmesiyle önemli bir değişiklik gözlenmemiştir.

Şekil 4.28'de 525 ºC' de tavlanmış Butil boronik asit ile katkılandırılmış ZnO filmlerin yasak bant aralığının katkı oranı ile değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.28. 525 ºC' de tavlanmış Butil boronik asit ile katkılandırılmış ZnO filmlerin yasak bant aralığının katkı oranı ile değişimi

Şekil 4.28'e göre Butil boronik asit ile katkılandırılmış ZnO filmlerin yasak bant aralıkları da 3.25 eV civarındadır. Yasak bant aralığında katkı oranının değişmesiyle önemli bir değişiklik gözlenmemiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, katkısız ve % 0.5, % 1, % 1.5 ve % 2 Bor katkılı ZnO ince filmler sol-jel yönteminin daldırma ile kaplama (dip coating) metodu kullanılarak elde edilmiştir. Bor kimyasalı olarak Trimetil bor, Butil boronik asit ve Harran Üniversitesi Kimya bölümünde sentezlenen Yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2) kimyasalı kullanılmıştır. Elde edilen filmler 450 °C, 475 °C, 500 °C, 525 °C ve 550 °C tavlama sıcaklıklarına tabi tutulmuştur. Katkılı ve katkısız ZnO filmlerin yapısal, optiksel, elektriksel ve morfolojik özellikleri incelenmiştir.

Çalışmamızda doğada ucuz elde edilmesinden ve zehirsiz olmasından dolayı ZnO ve düşük maliyetli, istenilen homojenlikte ve kalınlıkta, vakum ortamı gerektirmeden oldukça kaliteli film elde etmek mümkün olan, özellikle geniş ve karmaşık yüzeyli uygulamalar için çok avantajlı olan sol jel daldırma yöntemi tercih edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca belirtilmiştir.

1) Oranlara göre yaptığımız XRD çalışmasında trimetil bor ile katkılandırılmış filmlerde bor oranı arttıkça 2θ = 34.1º' deki (002) miller indisli pik şiddeti azalmaktadır. Bu sonuç Trimetil borun ZnO filmlerin kristallenmesini olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir. Diğer taraftan % 0.5 oranında Butil boronik asit ve Yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2) ile katkılandırılmış ZnO filmlerde kristalleşmede önemli bir artış gözlenmektedir. Bor oranı bur tür kimyasallar içinde artırıldığında ZnO' nun kristalleşmesinde tekrar azalma görülmektedir.

2) Sıcaklıklara göre yaptığımız XRD çalışmasında ise; sıcaklık 450 ºC' den 550 ºC' ye artırıldığında 2θ =34.1º' deki (002) miller indisli pik şiddeti tüm bor kimyasalları için artmaktadır. Katkı türüne bağlı olmadan sıcaklıkla kristalleşmenin artması literatürle uyum içerisindedir.

3) Sol jel yöntemi ile hazırlanan farklı oranlarda ve sıcaklıklarda bor katkılı çinko oksit (BZO) ince filmlerin morfolojik özellikleri SEM yöntemi ile ölçülmüştür. Optoelektronik uygulamalarda saydam iletken oksit tabakaların yüzey yapılarının homojen ve çatlaksız olması beklenir. Tavlama ortamının ve sıcaklığının, kullanılan kimyasalların molar oranlarının filmlerin yüzey yapılarına etkisi araştırılmıştır.

Katkısız Çinko oksit filmlerin SEM görüntülerinde film yüzeyinin homojen ve çatlaksız olduğu görülmüştür.

Trimetil bor ile katkılandırılmış Çinko oksit filmlerin SEM görüntülerinde çözeltideki bor oranı artırıldıkça film yüzeyindeki homojenliğin bozulduğu, bununla birlikte bütün oranlar için film yüzeylerinde çatlak gözlenmemiştir. Optoelektronik uygulamalarda kullanılan saydam iletken filmlerin çatlaksız olması üretilecek cihazda meydana gelebilecek elektriksel kısa devreler için oldukça önemlidir.

Yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2) ile katkılandırılmış Çinko oksit filmlerin SEM görüntülerinde % 0.5 Yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2) katkılı ve 525 ^oC' de tavlanmış ZnO filmlerin yüzeyinde diğer farklı bor bileşiklerine göre hekzagonal nano çubuklar oluşmuştur. Buradan da kullanılan başlangıç kimyasalının filmlerin morfolojik özelliklerine önemli ölçüde etkilediği anlaşılmıştır.

Butil boronik asit ile katkılandırılmış çinko oksit filmlerin SEM görüntülerinde ZnO filmlerin yüzeylerinin homojen dağılımlı ve çatlaksız olduğunu görülmüştür.

4) Sol jel yöntemi ile hazırlanan farklı oranlarda ve sıcaklıklarda bor katkılı çinko oksit (BZO) ince filmlerin elektriksel özellikleri Hall etkisi sistemi ile ölçülmüştür.
Hall etkisi ölçümü sonuçlarına göre Trimetil bor ile katkılandırılmış filmlerde en düşük özdirenç 0.1 Ω cm olarak % 0.5 oranında katkılı ve 525 ^oC ile 550 ^oC' de tavlananlarda gözlenmiştir. Yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2) bor kimyasalı ile katkılandırılmış filmlerde ise en düşük elektriksel özdirenç 9×10^{-2} Ω cm olarak 550 ^oC'de tavlanmış ve % 0.5 oranında katkılandırılmış filmlerde gözlenmiştir. Butil boronik asit katkılı ZnO filmlerde ise en düşük özdirenç 4.85×10^{-2} Ω cm olarak 525 ^oC' de tavlanmış ve % 0.75 oranında katkılandırılmış filmlerde gözlenmiştir.

5) Optiksel ölçümlere göre Trimetil bor ile katkılandırılmış filmlerde optiksel geçirgenlik % 1 ve % 1.5 oranında katkılı filmlerde % 80 ‘ nin üzerindedir. % 1 oranında Yarı salan bor kompleksi (L_2BPh_2) bor kimyasalı ile katkılandırılmış ZnO filmlerde 500 nm ve 1100 nm aralığında optiksel geçirgenlik katkılandırılmamış ZnO filmlere göre önemli biçimde artmaktadır. Bu sonuç ZnO filmlerin görünür bölgedeki optiksel geçirgenliğinin bu kimyasallar ile artırılabileceğini göstermektir. % 1.5 ve % 2 Butil boronik asit katkılı filmlerde de 500 nm ve 1100 nm aralığında optiksel geçirgenlikte önemli artış gözlenmiştir. Bununla birlikte filmlerin yasak bant aralıkları 3.25 eV civarındadır. Yapılan katkı oranlarında (% 0.5- % 2) yasak bant aralığında önemli bir değişim gözlenmemiştir.

KAYNAKLAR

AGURA, H., SUZUKI, H., MATSUSHITA,T., AOKI, T., and OKUDA, M., 2003. Low Resistivity Transparent Conducting Al-doped ZnO Films Prepared by Pulsed Laser Deposition. Thin Solid Films, 445: 263–267.

ATAEV, B.M., BAGAMADOVA, A.M., and MAMEDOV, V.V., 1999. Highly Conductive and Transparent Thin ZnO Films Prepared In Situ in A Low Pressure System. Journal of Crystal Growth, 1222: 198–199.

BADEKER, K., 1907. Cadmium Oxide(CdO) Thin Films Grown by The Thermal Oxidation of Sputtered Cadmium. Annals of Physisc, 22: 749-766.

BAE, J.W., LEE, S.W., and YEOM, G.Y., 2007. Doped-Fluorine on Electrical and Optical Properties of Tin Oxide Films Grown by Ozone-Assisted Thermal CVD. Journal of The Electrochemical Society, 154: 34–37.

CALNAN, S., and TIWARI, A.N., 2010. High Mobility Transparent Conducting Oxides For Thin Film Solar Cells. Thin Solid Films, 518: 1839–1849.

DEIBEL, C., WAGENPFAHL, A., and DYAKONOV, V., 2008. Influence of Charge Carrier Mobility on The Performance of Organic Solar Cells. Physics Status Solidi, 2: 175–177.

GHOSH, P.K., MAITY, R., and CHATTOPADHYAY, K.K., 2004. Electrical and Optical Properties of Highly Conducting CdO:F Thin Film Deposited by Sol–gel Dip Coating Technique. Solar Energy Materials and Solar Cells, 81: 279–289.

HAGIWARA, Y., NAKADA, T., and KUNIOKA, A., 2001. Improved J_{sc} in CIGS Thin Film Solar Cells Using a Transparent Conducting ZnO:B Window Layer. Solar Energy Materilas and Solar Cells, 67: 267-271.

HOLLAND, L., and SIDDALL, G., 1953. The Properties of Some Reactively Sputtered Metal Oxide Films. Vacuum, 3: 375–391.

ZHANG, X., WANG, Y., WANG, S., ZHANG, D., ZHAO, Y., and ZHANG, X., 2012. Transparent Conductive ZnO:B Films Deposited by Magnetron Sputtering. Thin Solid Films, 520: 5960–5964.

KANNEWURF, K.R., POEPPELMEIER, T.J., and MARKS, J., 2004. Transparent Conducting Oxides, Texture and Microstructure Effects on Charge Carrier Mobility in MOCVD-Derived CdO Thin Films Grown with a Thermally Stable, Low-Melting Precursor. Journal of the American Chemical Society, 126: 8477-8492.

KAWASHIMA, T., EZURE, T., OKADA, K., MATSUI, H., GOTO, K., and TANABE, N., 2004. FTO/ITO Double-Layered Transparent Conductive Oxide For Dye-Sensitized Solar Cells. Journal of Photochemistry and Photobiology A, 164: 199–202.

KILIÇ, A., ALCAY, F., AYDEMiR, M., DURGUN, M., KELEŞ, A., and BAYSAL, A., 2015. Synthesis, Spectroscopic and Catalytic Properties of Some New Boron Hybrid Molecule Derivatives by BF_2 and BPh_2 Chelation. Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc, 142: 62-72.

KIM, S., YOON, H., and KIM, D. Y., 2013. Sung-O Kim, Jae-Young Leem Optical Properties and Electrical Resistivity of Boron-Doped ZnO Thin Films Grown by Sol–gel Dip-Coating Method, Optical Materials, 35: 2418–2424.

KUMAR, V., SINGH, R.G., PUROHIT, L.P., and MEHRA, R.M., 2011. Structural, Transport and Optical Properties of Boron-doped Zinc Oxide Nanocrystalline Journal of Materials Science & Technology, 27: 481-488

LEE, K. E., WANG, M., KIM, E. J., and HAHN, S.H., 2009. Structural, Electrical and Optical Properties of Sol–gel AZO Thin Films Current Applied Physics. 9: 683–687

LIU, H., AVRUTIN, V., IZYUMSKAYA, N., OZGUR, U., and MORKOÇ, H., 2010. Transparent Conducting Oxides for Electrode Applications in Light Emitting and Absorbing Devices, Superlattices and Microstructures 48: 458–484

LU, J.G., and FUJITA, S., 2007. Carrier Concentration Dependence of Band Gap Shift in n -type ZnO:Al Films, APPL J., Phys. 101: 083705-083707.

MAHMOOD, F.S., GOULD, R.D., HASSAN, A.K., and SALIN, H.M., 1995. D.c. Properties of ZnO Thin Films Prepared by r.f. Magnetron Sputtering Thin Solid Films, 270: 376-379.

MARTINEZ, A.I., HUERTA, L., RUEDA DE LEON, J.M.O., ACOSTA, A., MALIK, O., and AGUILAR, M., 2006. Physicochemical Characteristics of Fluorine Doped Tin Oxide Films. PHYS, J., D: Appl. Phys. 39: 5091–5096.

MATSUBARA, K., IWATA, A., and YAMADA, S., 2004. Niki, Improved External Efficiency InGaN-Based Light-Emitting Diodes with Transparent Conductive Ga-Doped ZnO as p-Electrodes, Japan. J. Appl. Phys. 43: L180–L182.

METZ, A.W., IRELAND, J.R., ZHENG, J.G., LOBO, R.P.S.M., YANG, Y., STERN, J. Ni.C.L., DRAVİD, V.P., BONTEMPS,N.C.R., MINAMI, T., and MIYATA, T., 2008. Presentation Given at SPIE

MITRA, P., CHATTERJEE, A.P., and MAITI, H.S., 1998. Chemical Deposition of ZnO Films for Gas Sensors. The Journal of Materials Science 9-441.

NAKAHARA, K., TAMURA, K., SAKAI, M., NAKAGAWA, D., ITO, N., SONOBE, M., TAKASUBEL, H., TAMPO, H., FONS, P., OHGAKI, T., KAWAMURA, Y., KURODA, T., OHASHI, N., ADACHI, Y., TSURUMI, T., MINAMI, F., and HANEDA, H., 2003. Optical Properties of Heavily Aluminum-Doped Zinc Oxide Thin Films Prepared by Molecular Beam Epitaxy. Key Engineering Materials, 248: 91–94.

OHTA, H., ORITA, M., HIRANO, M., TANJI, H., KAWAZOE, H., and HOSONO, H., 2000. Highly Electrically Conductive Indium-Tin-Oxide Thin Films Epitaxially Grown on Yttria-Stabilized Zirconia (100) by Pulsed-Laser Deposition Appl. Phys. Lett. 76: 2740–2742.

PAINE, D.C., YEOM, H.Y., YAGLIOGLU, B., CRAWFORD, G.P., 2005. (Ed.), Flexible Flat Panel Displays, John Wiley & Sons 79ff

PARKS. M., ILEGAMI, T., and EBIHARA, K., 2006. Effects of Substrate Temperature on the Properties of Ga-Doped ZnO by Pulsed Laser Deposition.Thin Solid Films, 513: 90–94.

RUSKE, F., ROCZEN, M., LEE, K., WIMMER, M., GALL, S., HUPKES, J., HRUNSKI, D., and RECH, B.,APPL, 2010. Improved Electrical Transport in Al-Doped Zinc Oxide by Thermal Treatment. Journal of Applied Physics, 107: 013708-8.

RYDZEK, M., REIDINGER, M., M. Arduini-Schuster, J. Manara, RYDZEK, M., REIDINGER, M., ARDUINI, SCHUSTER,M., and MANARA, J., 2011. Comparative Study of Sol-gel Derived Tin-Doped İndium- and Aluminum-Doped Zinc-Oxide Coatings for Electrical Conducting and Low-Emitting Surfaces Progress in Organic Coatings, 70: 369-375.

SAWADA, Y., KOBAYASHI, C., SEKI, S., and FUKUBO, H., 2002. Highly-Conducting Indium Tin-Oxide Transparent Films Fabricated by Spray CVD Using Ethanol Solution of Indium (III) Chloride and Tin (II) Chloride. Thin Solid Films, 409: 46-50.

SHEU, J.K., LEE, M.L., LU, Y.S., and SHU, K.W., 2008. Ga-Doped ZnO Transparent Conductive Oxide Films Applied to GaN-Based Light-Emitting Diodes for Improving Light Extraction Efficiency, IEEE J. Quantum Electron, 44: 1211–1218.

SUZUKI, A., MATSUSHITA, T., AOKI, T., MORI, A., and OKUDA, M., Highly Conducting Transparent Indium Tin Oxide Films Prepared by Pulsed Laser Deposition. Thin Solid Films, 411: 23–27.

SUZUKI, A., MATSUSHITA, T., WADA, N., SAKAMOTO, Y., and OKUDA, M., 1996. APPL, Transparent Conducting Al-Doped ZnO Thin Films Prepared by Pulsed Laser Deposition J., Phys, 35: 56–59.

SZE, S.M., 1985. Semiconductor Devices, Physics and Technology,Wiley.

TAUC, J., 1968. Optical Properties and Electronic Structure of Amorphous Ge and Si. Materials Research Bulletin, 3: 37–46

TUNA, O., SELAMET, Y., AYGUN, G., and OZYUZER, L., 2010. High Quality ITO Thin Films Grown by dc and RF Sputtering Without Oxygen PHYS, J., D: Appl. Phys, 43: 055402-7.

WANG, H., XU, M,. XU, J., and REN, L., 2010. YANG, Low Temperature Synthesis of Sol gel Derived Al-Doped ZnO Thin Films with Rapid Thermal Annealing Process J., Mater. Sci., Mater. Electron, 21: 589–594.

ZHAO, Z., MOREL, D.L., and FEREKIDESC, S., 2002. Electrical and Optical Properties of Tin-Doped CdO Films Deposited by Atmospheric Metalorganic Chemical Vapor Deposition.Thin Solid Films, 413: 203-211.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Songül DEMİRÖZÜ

Uyruğu : T. C.

Doğum Yeri ve Tarihi : Şanlıurfa/ 17.07.1988

Telefon : 05428052355

Faks :

e-mail : songul_777@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Şanlıurfa Kız Lisesi/Merkez/Şanlıurfa	2006
Üniversite	: Harran Üniversitesi/Fizik Bölümü/Şanlıurfa	2011
Yüksek lisans	: Harran Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı/Şanlıurfa	2015

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2012	MEB	Öğretmen

UZMANLIK ALANI : Katıhal Fiziği

YABANCI DİLLER : İngilizce