T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fe ve Al ORTAK KATKILI $Zn_{0.95}Mn_{0.05}O$ İNCE FİLMLERİN BÜYÜTÜLMESİ ve KARAKTERİZASYONU

Mehmet YILDİRİM

FİZİK ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2019

Prof. Dr. Yunus BABUR danışmanlığında, Mehmet YILDİRİM ‘ın hazırladığı ‘’ **Fe ve Al Ortak Katkılı $Zn_{0.95}Mn_{0.05}$ O İnce Filmlerin Büyütülmesi ve Karakterizasyonu ’’** bu çalışma 02/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı ‘ında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman: Prof. Dr. Yunus BABUR ……

Üye: Doç. Dr. Ömer ÇELİK …….

Üye: Doç. Dr. Ferhat ASLAN ……..

Bu Tezin Fizik Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım

Doç. Dr. İsmail HİLALİ

Enstitü Müdürü

Bu çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: 15156

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……..…… v
SİMGELER DİZİNİ……..…… vi
1. GİRİŞ...…….. 1
2. KURAMSAL TEMELLER..……...3
2.1.Yarıiletkenler ve Genel Özellikleri……... 3
2.2.Katkısız Yarıiletkenler…….. 3
2.3.Katkılı Yarıiletkenler…….4
2.3.1.N-tipi yarıiletkenler…… .4
2.3.2.P-tipi yarıiletkenler…… .5
2.4.Çinko Oksit(ZnO) Bileşiğinin Özellikleri……..6
3. MATERYAL ve YÖNTEM…….8
3.1.Kullanılan Malzemeler ve Yöntemler……8
3.2. Daldırma İle Kaplama Yöntemi (Dip Coating)…… 8
3.3. X-Işını Kırınımı Ölçümleri…...……...10
3.4.Optiksel Özelliklerin Ölçülmesi……...……10
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.…… 12
4.1.Giriş……....12
4.2. Al/Mn/Fe Katkılı ZnO İnce Filmlerin Yapısal Özellikleri..…….. 12
4.3.Al/Mn/Fe Katkılı ZnO İnce Filmlerin Yüzey ve EDX Analizleri ……15
4.4. Optiksel Özellikleri……..21
4.5. Elektriksel özellikleri……...……25
4.6. Manyetik özellikler……...…...27
5. SONUÇLAR……...…….31
KAYNAKLAR…….....33
ÖZGEÇMİŞ……...36

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Fe ve Al ORTAK KATKILI $Zn_{0.95}Mn_{0.05}O$ İNCE FİLMLERİN BÜYÜTÜLMESİ ve KARAKTERİZASYONU

Mehmet YILDİRİM

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yunus BABUR
Yıl:2019 Sayfa: 36

Bu çalışmada, kimyasal olarak türetilmiş $Zn_{0.90-x}Mn_{0.05}Fe_{0.05}Al_xO$(x=0.0-0.05) malzeme ince film haline getirilmiş(ZMFO: Al_x) ve bu malzemenin x=0.0-0.05 oranındaki Al katkısının malzemenin yüzey morfolojisi, optik ve dielektrik sabitleri, elektriksel ve manyetik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar, ZnO wurtzite yapısı içinde Mn^{2+}, Fe^{2+} ve Al^{3+} katkılarından oluşan bileşenlerin herhangi bir ikincil faz oluşturmadığını göstermiştir. İnce filmlerin kristalik özelliği x=0.01 'e kadar sistematik olarak azalmış ve daha sonra x=0.03 ve 0.05 Al ilave seviyeleri için yeniden artmıştır. Yüzey morfolojisi analizi sonucunda, filmler homojen ve pürüzsüz bir yüzey özelliği göstermekle birlikte küresel taneciklerin Mn^{2+}, Fe^{2+} ve Al^{3+} katkılandırılma seviyeleri üzerinden kristalleşme kalitesi ile aynı eğim özelliği gösterir. ZnO yerleşik yapısında Mn^{2+}, Fe^{2+} ve Al^{3+} iyonlarının başarılı oluşumu XPS analizi sonucunda gözlendi. Optik analizler sonucunda, ZnO kristali içindeki Mn^{2+}, Fe^{2+} ve Al^{3+} katkılandırılmasına uygun olarak optik band da maviye kayma olduğu tespit edildi. Yaptığımız ZnO tabanlı Al_x katkılı $Zn_{0.95}Mn_{0.05}O$ (ZMO) ve $Zn_{0.90}Mn_{0.05}Fe_{0.05}O$ (ZMFO) ince filimlerin kırılma indeksi, sönüm katsayısı ve dielektrik sabitleri önceden elde edilen ZMFO filmlerden nispetten büyük çıktı. Hall ölçümleri, tüm film örneklerinin n tipi iletkenliğe sahip olduğunu gösterdi ve bu iletkenlik kristalit büyüklük/tanecik boyutlarına göre değişmektedir. Manyetik ölçümler, oda sıcaklığından yüksekte, ZMFO filmleri için ferromanyetik tepki gösterir. Bunun nedeni ZMO ve ZMFO: Al_x ince filmlerde oda sıcaklığından yüksek sıcaklıklarda Al katkısının x=0.03 den büyük olduğu seviyelerde farklı oksijen boşluk konsantrasyonun oluşumundan dolayı meydana gelir.

ANAHTAR KELİMELER: ZMFAO filmler, bant aralığı, kırılma indisi, dielektrik sabiti, oda sıcaklığı, ferromanyetizma

ABSTRACT

MSc Thesis

GROWTH AND CHARACTERIZATION OF Fe AND Al CO-DOPED $Zn_{0.95}Mn_{0.05}O$ THIN FILMS

Mehmet YILDİRİM

Harran University
Science Institute
Department Of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Yunus BABUR
Year:2019, Page: 36

In this work, the effect of Al substitution (x=0.0 – 0.05) on the structural, optical, morphological, dielectric, magnetic, and electrical properties of solution processed $Zn_{0.90-x}Mn_{0.05}Fe_{0.05}Al_xO$ (ZMFO: Al_x) samples were studied. The results show the adding of, Fe^{2+}, Mn^{2+} and Al^{3+} in ZnO crystal structure without any impurity phases. The crystalline property of thin films was decreased systematically until x=0.01 and then increased again for x=0.03 and 0.05 Al adding levels. The surface morphology study demonstrated homogeneous surface with spherical grains showed the same trend with the crystalline quality in size upon on the Fe^{2+}, Mn^{2+} and Al^{3+} adding levels. The verification of the Fe^{2+}, Mn^{2+} and Al^{3+} ions added to ZnO structure was successfully viewed by XPS study. The optical study verified the blue shift of the band gap edge depended on the adding of Fe^{2+}, Mn^{2+} and Al^{3+} in the ZnO structure. Analogously, the higher refractive index, dielectric constants, extinction coefficient was achieved for the ZMFO: Al_x samples than those of $Zn_{0.95}Mn_{0.05}O$, ZnO and $Zn_{0.90}Mn_{0.05}Fe_{0.05}O$ samples. Hall effect measurements indicated that all the thin films have n-type electrical property and it changes depends on the crystallite size/grain ratio. Magnetic studies indicated higher room temperature ferromagnetic properties for the ZMFO: Al_x samples than those of ZMFO and ZMO samples because of having different oxygen vacancy concentrations. The highest room temperature value was detected for the Al adding level of x=0.03 samples.

KEY WORDS: ZMFAO films, dielectric constant, refractive index, ferromagnetism, band gap, room temperature

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamın gerçekleşmesi süresince bilimsel katkılarını gördüğüm, tecrübelerinden yararlandığım ve öğrencisi olmaktan onur duyduğum, her anlamda destek olan ve ilgisini hiçbir zaman esirgemeyen, değerli hocam Sayın Prof. Dr. Yunus BABUR 'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Aynı zamanda değerli hocam Doç. Dr. Abdullah GÖKTAŞ ' a ve Harran Üniversitesinde yapmış olduğum XRD ve SEM ölçümlerinde değerli vaktini ayırıp yardımcı olan, Öğr. Gör. Dr. Ahmet TUMBUL 'a şükranlarımı sunarım. Ayrıca yüksek lisans dönemlerinde destek olan değerli hocalarımın bana öğretmiş olduğu değerli bilgilerinden dolayı hepsine ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım. Bugünlere gelmemi sağlayan aileme de teşekkürü borç bilirim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1.Katkısız yarıiletkenlerde farklı sıcaklıklarda enerji bant diyagramı a)T=0 K,b) T>0 K……..4
Şekil 2.2.(a) n tipi yarıiletken için kovalent bağ oluşumu, b) n tipi için safsızlık enerji düzeyi(Polat 2009)…….. 5
Şekil 2.3. a) p tipi yarıiletken için kovalent bağ oluşumu, b) p tipi için safsızlık enerji düzeyi(Polat 2009)..... 6
Şekil 2.4 Çinko Oksit birim hücresi…… 6
Şekil 3.1. Daldırma İle Kaplama Yöntemi (Dip Coating)……..... 9
Şekil 3.2. Sol-jel daldırarak kaplama cihazı……..... 9
Şekil 3.3. Bilgisayar kontrollü Rigaku Ultima-III difraktometresi…….…….. 10
Şekil 3.4. Perkin Elmer 45 UV-VIS cihazı..…….. 11
Şekil 4.1 (a) ZnO, ZMO, ZMFO ve ZMFO için XRD desenleri: Al_x (x=0.0-0.05)...……... 12
Şekil 4.1 (b) ZMFO: Al_x (x=0.0-0.05) ince filmler…….. 13
Şekil 4.2. (a) ZnO, (b) ZMO, (c) ZMFO, (d) ZMFO:$Al_{0.01}$ (e) ZMFO:$Al_{0.03}$ ve (f) ZMFO İnce filmler için SEM görüntüleri…… 16
Şekil 4.3. ZnO, ZMO, ZMFO ve ZMFO: Al_x için EDX spektrumları (x=0.0-0.05) ince filmler……17
Şekil 4.4 (a) ZMFO:$Al_{0.03}$ ince filmlerinin XPS spektrumları..……..…. 18
Şekil 4.4 (b) Zn 2p, (c) Mn 2p, (d) Fe 2p, elementlerinin geniş tarama XPS spektrumları……..…..19
Şekil 4.4. (e) Al 2p ve (f) O1 ve O2 elementlerinin geniş tarama XPS spektrumları..……..... 20
Şekil 4.5 ZnO, ZMO, ZMFO ve ZMFO: Al_x (x=0.0-0.05) ince filmler için optik iletim (a) ve absorpsiyon (b) spektrumları..…….. 22
Şekil 4.6 ZnO, ZMO, ZMFO ve ZMFO:Al_x (x=0.0-0.05) için $(\alpha h\upsilon)^2$ ve (hυ) grafikleri ince filmler (iç kısım: ZnO ince filmi için $(\alpha h\upsilon)^2$ 'ye karşı (hυ) alanları)……..…. 23
Şekil 4.7 ZnO, ZMO, ZMFO ve ZMFO:Al_x ince filmler için kırılma indeksinin (a) ve sönme katsayısının değişimi……..... 24
Şekil 4.8 Optik makara dielektrik sabitinin ZnO, ZMO, ZMFO ve ZMFO:Al_x (x=0.0-0.05) ince filmler için dalgaboyunun bir fonksiyonu olarak değişimi……..…. 25
Şekil 4.9 ZnO, ZMO, ZMFO ve ZMFO:Al_x (x=0.0-0.05) ince filmler için oda sıcaklığı M-H eğrileri (a) yüksek manyetik alanlarda, 0-104 Oe ve (b) düşük manyetik alanlarda 0- 2.5 kOe……...27
Şekil 4.10 ZnO, ZMO, ZMFO ve ZMFO:Al_x (x=0.0-0.05) ince filmler için M-T eğrileri 500 Oe sabit uygulamalı manyetik alanda…… 29

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 4.1.ZMFO ve ZMFO:Al_x (x=0.0-0.05) ince filmler.
Kristal boyutu (D (nm) 002,% +1), FHWM (+% 1), kafes parametresi,
c (+2%) ve ZnO, ZMO 'nun kırınım açıları (2θ (derece), + +% 4)…….…… 14
Çizelge 4.2.ZnO, ZMO ve ZMFO: Al_x (x = 0.0-0.05) ince filmleri Zn, Zn, Fe, Mn,
Al ve O elementlerinin EDX nominal atomu (%) (deneysel hata +% 2 ile)……..……....17
Çizelge 4.3.ZMO, ZMFO ve ZMFO:Al_x (x=0.0-0.05) ince filmler için mıknatıslanma
(M_s,%+3), kalıcılık (M_r,%+3) ve zorlama (H_c,+%3) değerleri……..……28
Çizelge 4.4.ZnO, ZMO, ZMFO ve ZMFO:Al_x (x=0.0-0.05) ince filmlerinin iletkenlik
(σ, +% 1), taşıyıcı konsantrasyonu (n_c, +% 1) Hall mobilitesi (μ_H, +% 1)…….……..28

SİMGELER DİZİNİ

n	Elektron Konsantrasyonu
p	Boşluk Konsantrasyonu
Ei	Saf Yarıiletkenin Fermi Seviyesi
α	Soğurma Katsayısı
A	Soğurma
d	Optik Yol Mesafesi
N	Taşıyıcı Konsantrasyonu
rD	Debye mesafesi
µH	Mobilite
EH	Hall Alanı
RH	Hall Katsayısı
B	Manyetik alan
EC	İletkenlik Bandının Enerji Seviyesi,
EF	Fermi Seviyesi
T	Sıcaklık
EV	Değerlik Bandının Enerji Seviyesi,
me	Elektronun Etkin Kütlesi
mh	Holün Etkin Kütlesi
g	Yerçekimi İvmesi
k	Sönme Katsayısı
ε	Dielektrik Sabiti
n	Kırılma İndisi
c	Kafes Parametresi
K	Biçim Faktörü
n_c	Yük Taşıyıcı Konsantrasyonu
R	Yansıma
µ	Film Örneklerinin Kalınlığı
β	Kırınım Piklerinin Yarı Maksimumunun Tam Genişliği
Θ	Bragg Kırınım Açısı
σ	İletkenlik

1. GİRİŞ

Son yıllarda, ZnO bazlı saydam oksit malzemelerin düşük maliyetli bol miktarda üretilebilmesi, toksik olmayışı, bant aralığının genişliği ve yüksek kimyasal kararlılık gibi avantajları nedeniyle dikkat çekmiştir (Göktaş ve ark. 2013). ZnO II-VI grubu bileşenleri içerisinde önemi geniş optik band aralığı (3,37 eV) ve oda sıcaklığında eksiton bağ enerjisinin(60 MEV) büyük olması ile bilinir. Bu özellikler, ZnO saydam malzemesinin iletken filmlerin yanı sıra sıvı kristal ekranlar, spintronik, ultraviyole ve görünür bölge yarı iletken lazerlerde, güneş pili bileşenlerinde gerekli gaz sensörlerinde ve varistörlerde kullanılan saydam iletken ince filmler için sıradışı bir malzemedir (Antonio ve ark. 2016). Ayrıca, seyreltilmiş manyetik yarı iletkenler (DMS 'ler) de kullanılan en önemli malzemelerden biridir.

Son zamanlarda, geçişli metalleri katkılı ve ZnO tabanlı DMS özellikli malzemeler hazırlamak için büyük çaba harcanıyor (Göktaş ve ark. 2017). Mn katkılı ZnO malzemeler elektriksel ve manyetik özelliklerinin olası uygulamaları için geliştirilmişlerdir (Ravichandran ve ark. 2014). Mn katkılı ZnO nanopartiküllerinin ferromanyetik bir yapıya sahip olduğu öne sürülmektedir (Dietl ve ark. 2000). Mn katkılı ZnO 'nun yapısal, optik ve manyetik özelliklerini ayarlamak için Fe, Co, Cu, Al, vb. gibi farklı elementler ZnO 'da Mn ile birlikte katkılandırılmıştır (Ashraf ve ark. 2014, Shafig ve ark. 2016). Fe ve Mn ortak katkılı oda sıcaklığı ferromanyetizm(RFT) özelliğinin ZnO ince filmlerinde yapı ve mikro yapılarında değişim gösterdiğini ortaya koymuşlardır (Saleem ve ark. 2012). RTF 'nin aracılık ettiği taşıyıcılar, Ni ve Al ortak katkılı ZnO nanokristalitleri için öne sürülmüş, Co-Cu ortak katkılı ZnO nanoparçacıkların dielektrik ve manyetik özelliklerini ayarlanması Ashokkumar ve diğ. ark. tarafından araştırılmıştır (Ashokkumar ve ark. 2015).

Son zamanlarda, Al katkılı ZnMnO nanoparçacıklarında Al katkı seviyesinin azalması ile RTF artışını gözlemlemişlerdir (Atiq ve ark. 2013). Son zamanlarda, Al ve Fe ortak katkılı ZnO nanopartiküllerinin sinterleme ortamına bağlı olarak yapısal, optik ve manyetik özelliklerini yükseldiğini ileri sürmüşlerdir (Göktaş ve ark. 2012).

RTM 'nin değişim kaynağı olarak geçiş metalleri (TM; Mn, Fe, Co, Ni, vs.) ile ZnO katkılandırılması/ortak katkılandırılması ile katkı malzemesi hazırlama yöntemi

ve sinterleme koşullarına bağlı olarak değiştiğini gösterir. RTF 'nin olası orijini şu şekilde takip edilebilir: TM 'nin (1) katkısına bağlı ikincil faz oluşumu, içsel ferromanyetizma (2); GM kümeleri (3); ZnO sistemindeki GM (4) ile etkileşimde olan kusurlar ve % 10 'a kadar olan GM katkı seviyeleri için GM ile elektron veya deşik etkileşimi ve süper etkileşim veya çift değişim etkileşimidir (Göktaş ve ark. 2013).

Yarıiletken cihazların hazırlanmasında direkt parametreler olan malzemelerin optik özellikleri esas optik sabitler olarak; soğurma katsayısı (α), kırılma endeks sabiti (n), sönme katsayısı (k) ve dielektrik sabiti (ε), cihaz üretimi için hassas parametrelerdir. Bu parametreler optik geçirgenlik spektrumu, absorblama spektrumu ve optik yansıma spektrumu aracılığıyla belirlenebilir. ZnO yüksek kırılma indisine (2.4) ve görünür bölgesinde saydamlığa sahip olması nedeni ile iyi bir yansıtıcı ve dielektrik filtredir (Güngör ve Saka, 2004). Birkaç araştırmacı, optik ve dielektrik özelliklerin metal katkılarının. ZnO ince filmlerinde ve nanopartiküllerinde konsantrasyonları ile belirlemişlerdir (Göktaş ve ark. 2017). Örneğin,yakın zamanda Na katkılı ZnO 'nun kırılma indisi (n) nin kademeli olarak arttığını belirtmiş Wang ve diğ. ark. 2015). Katkılı ZnO ince filmlerin a, n, k ve ε gibi optik sabitlerin, La katkılandırma yoluyla önemli ölçüde arttığını belirtmişlerdir (He ve ark. 2015). Çok yakın zamanda, Mn ve Co katkılı ZnO ince filmleri için n ve k değerlerinin arttığını bulmuşlardır (Göktaş ve ark. 2017).

Yukarıdaki teorik ve deneysel çalışmaları dikkate alarak, Yapısal, mikro yapısal, optik, dielektrik ve manyetik özelliklerinin ZnO ortak katkılandırılması katkı türünün yoğunluğuna bağlı olduğu görülür. Bu amaç doğrultusunda $Zn_{0.90}Mn_{0.05}Fe_{0.05}O$ (ZMFO) ince filmlerinin Al katkısının örgü içinde ana malzeme atomu ile yer değişmesi kimyasal yol (sol-gel gibi) bilinen yöntemlerle ve daldırma kaplama tekniği ile sentezlenmiştir. ZMFO ince filmlerinin optik, dielektrik ve manyetik özelliklerinin sistematik ve daha detaylı olarak, Al, Fe ve Mn ortak katkılarının ZnO 'da katkı seviyesini değiştirerek, manyetik özellikleri araştırılmıştır. Bu ferromanyetikliği araştırmak için yapısal ve optik özellikleri detaylı olarak incelenmiştir. Günümüzde, bu teknik, basitlik, düşük maliyet, tepkimeye giren malzemelerin kolayca kontrol edilmesi, moleküler seviyede karıştırılabilir olması ve çevre dostu olması gibi avantajları nedeniyle geleneksel tekniklerin yanı sıra, çok

kullanılan yöntemlerden biridir. Ayrıca, farklı tür oksit / sülfit malzemelerinin karıştırılmasına ve diğer yüksek kristalleşme ve istenen nanoyapı fazlarının oluşmasına yardımcı olur (Göktaş ve ark. 2015).

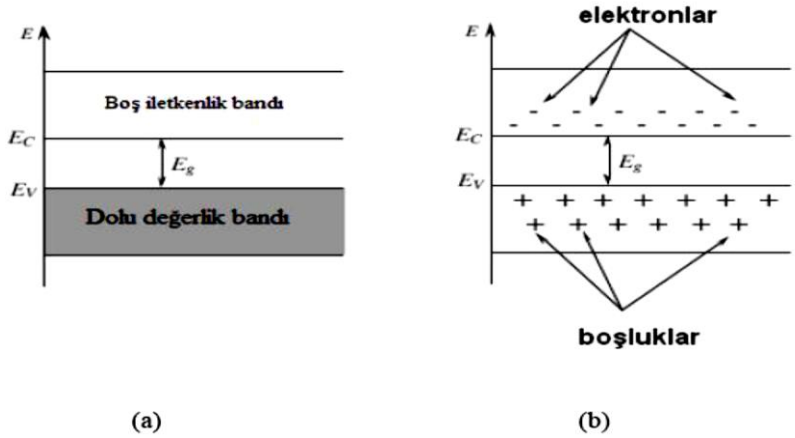
2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Yarıiletkenler ve Genel Özellikleri

Katı cisimler elektriksel özelliklerine (özdirencine) göre üçe ayrılırlar: iletkenler, yarıiletkenler ve yalıtkanlar şeklindedir. Yarıiletkenler, oda sıcaklığında özdirençleri ρ=10^{-2}
den 10^{9} ohm.cm olan malzemelerdir. Yarıiletkenlerin elektriksel özellikleri optiksel uyarılma, katkılandırma, ısıl işlem uygulama gibi tekniklerle değiştirilebilir. Bundan dolayı yarıiletkenler trasistör, anahtar, diyot, dedektör, termistör ve sensör gibi birçok aygıt yapımında kullanılır.

2.2. Katkısız Yarıiletkenler

Mutlak sıfırda (0^{0} K) yarıiletkende, iletkenlik bandı boş olup dolu değerlik bandından Eg yasak enerji seviyesi ile ayrılmıştır. Yarıiletkenler bu sıcaklıkta tam bir yalıtkan gibi davranır. Sıcaklık 0^{0} K ‘den itibaren yükseldiğinde elektronların ısıl enerjileri artar ve bu enerji yasak enerji aralığına ulaşırsa elektronlar değerlik bandından iletkenlik bandına geçer. Bu şekilde yer değiştiren elektronlar geride boşluklar (hole) bırakır. Boşluk elektronun yüküyle zıt işaretli fakat aynı değerlidir. Değerlik bandında olan bu boşluklar aynı banttaki başka elektronlar tarafından doldurulur ve yer değiştiren elektronlar yeni boşluklar oluşturmuş olur. Böylece boşluk hareket etmiş olur. Elektron ve boşluklar bu şekilde serbest taşıyıcı gibi davranarak elektriksel iletkenliğe katkı sağlamış olur. Şekil 2.1 ’de katkısız bir yarıiletkende enerji bant diyagramını göstermektedir.



Şekil 2.1. Katkısız yarıiletkenlerde farklı sıcaklıklarda enerji bant diyagramı
a) T=0 K, b) T>0 K

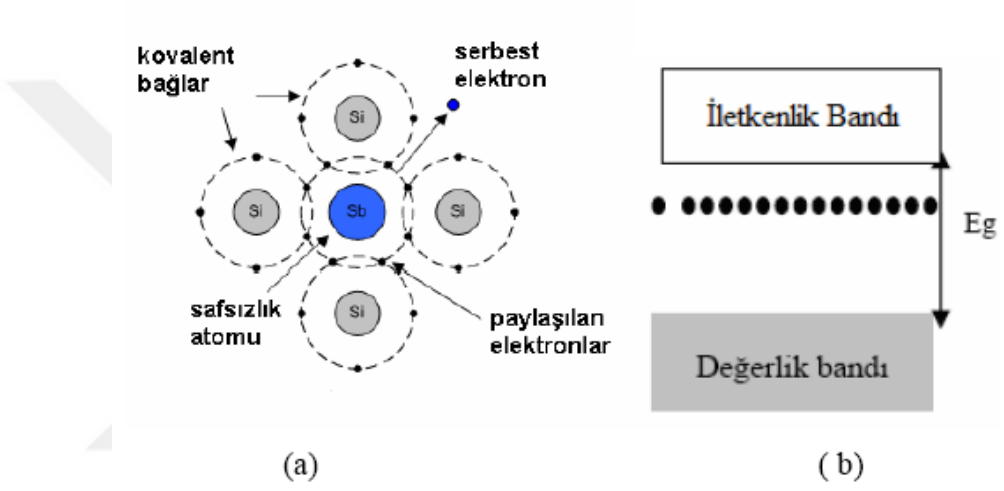
2.3. Katkılı Yarıiletkenler

Katkısız yarıiletkenlerin elektriksel özelliklerini değiştirmek için periyodik tablonun 5. ve 3. Grubundaki atomlarla katkılandırılma yapılmaktadır. Yarıiletkenleri, iletkenlerden ayıran en önemli özelliklerden biri elektron ve boşlukarın iletime katkıda bulunmasıdır. Katkısız yarıiletkenlerde iletim bandındaki elektronlarla, değerlik bandındaki boşlukların yoğunluğu bir birine eşit kabul edilir. Periyodik tablonun 5. ve 3. grubundaki atomlarla katkılandırılmasıyla bu konsantrasyonlar değiştirilebilir. 5. Grup atomlarla katkılandırılma sonucu n-tipi yarıiletken, 3. Grup katkılandırılma sonucunda da p-tipi yarıiletken elde edilir.

2.3.1. N-tipi Yarıiletkenler

Periyodik cetvelin IV-A grubunda bulunan silisyum (Si) ve germanyum (Ge) dört değerlik elektronuna sahip yarıiletkenlerdir. Silisyum kristalindeki atomlar birbirlerine kovalent bağla bağlıdırlar. P ve As gibi V-A grubundaki atomlar silisyum kristali içerisinde safsızlıklar meydana getirirler. Beş değerlikli bu atomlar silisyum yapısına katıldığında dört elektronları silisyum atomlarıyla kovalent bağ yaparlar. Beş değerlikli atomun bağ yapmayan beşinci elektronun bağlanma enerjisi çok düşük olduğu için kristal içinde serbest elektron haline gelir. Kristal içerisindeki bağ yapmayan elektronlar enerji seviyesi meydana getirir. Bu ek seviye yasak bant

aralığında iletkenlik bandının hemen altında bulunur. Her uyarılmayla bir elektron iletkenlik bandına geçer. Bu tip safsızlıklara verici (donör) denir. Her bir verici elektronu safsızlık seviyesinden uyarılır ve böylece değerlik bandında hiçbir boşluk meydana gelmez. Oda sıcaklığındaki ısı enerjisi, çok sayıda elektronu verici seviyeden uyarmak için yeterlidir. Buna ek olarak değerlik-iletim bandı arasında saf atomun oluşturduğu geçişler meydana gelir fakat bu ihmal edilir. Böylece değerlik bandındaki boşlukların sayısından fazla iletkenlik bandında elektronlar bulunur. Bu tip malzemelere n-tipi yarıiletkenler denir.

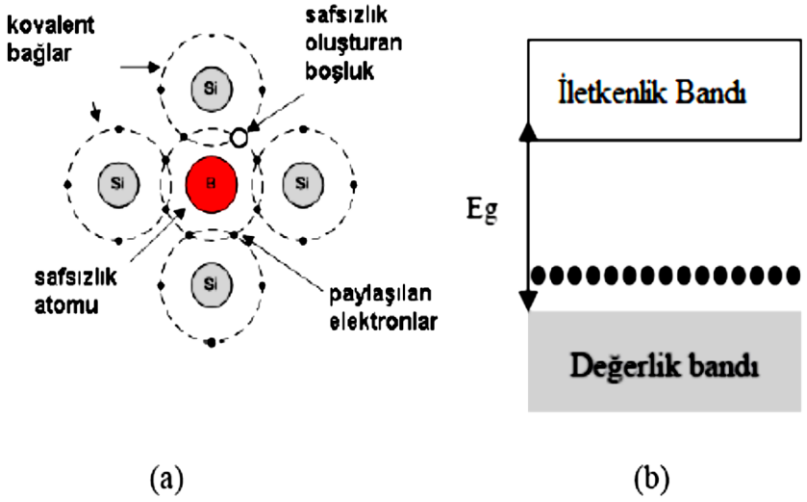


Şekil 2.2. **(a)** n tipi yarıiletken için kovalent bağ oluşumu, **b)** n tipi için safsızlık enerji düzeyi (Polat, 2009).

2.3.2. P-tipi Yarıiletkenler

Al ve Ga gibi üç değerlikli bir atom silisyum kristaline katıldığında kristal içerisinde bir boşluk oluşur. Bu atomlar birer safsızlık atomu gibi davranırlar. Böyle bir safsızlık atomu değerlik bandının üstünde bir enerji seviyesi oluşturur. Boşluğun bir elektronun değerlik bandından safsızlık seviyesine ısısal uyarılması sonucunda oluştuğu düşünülebilir. Böyle bir geçiş ile sadece değerlik bandı içinde bir boşluk yani bir taşıyıcı olur. Bu tip safsızlıklar alıcı (akseptör) olarak adlandırılır ve bant aralığında meydana gelen ek seviyeye ise alıcı seviyesi adı verilir. Bu tip yarıiletkenlerde

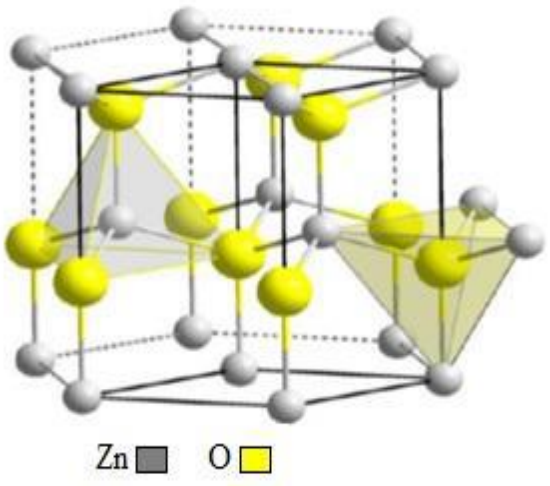
boşlukların sayısı elektronların sayısından fazla olduğu için p-tipi yarıiletken olarak adlandırılır (Şener, 2006).



Şekil 2.3. **a)** p tipi yarıiletken için kovalent bağ oluşumu, **b)** p tipi için safsızlık enerji düzeyi (Polat, 2009).

2.4. Çinko oksit (ZnO) Bileşiğinin Özellikleri

Çinko oksit doğada zincite minerali olarak bulunur. Çinko oksit hexagonal wurtzite kristal örgüsüne sahiptir. Çinko atomlarının konumu hemen hemen hexagonal (altıgen) sıkı paket yapısındadır. Her oksijen atomu, dört çinko atomundan oluşan tetragonal (dörtgen) grubun arasında bulunur. Bütün bu dört köşeli noktalar kristale polar simetrisini kazandıran hexagonal eksenlerle aynı doğrultudadır. Çinko oksit 'in Wurtzite örgüsü Şekil 2.4 'de görülmektedir. Örgü sabitleri a = 3.24 Å ve c = 5.19 Å 'dır.



Şekil 2.4 Çinko Oksit birim hücresi

Çinko oksit ince filmlerin de Wurtzite yapısında olduğu birçok çalışmada belirtilmistir. Tanecik büyüklüğü 50–300 Å arasında değisir. ZnO 'da donör seviyesi taşıyıcı konsantrasyonuna bağlı olarak 0.02–0.05 eV aralığındadır. Bu donör seviyeleri ya oksijen boşlukları nedeniyle ya da hidrojen, indiyum, lityum veya çinkonun yapıya girmesinden dolayı ortaya çıkmış olabilir. Ga katkılı çinko oksit filmlerde, 30, 60 ve 150 meV 'de üç donör seviyesi ve iletkenlik bandının altında 0.72 eV 'de bir akseptör seviyesi gözlenmiştir. Bu derin akseptör seviyesine muhtemelen oksijen kemisorpsiyonu sebep olmaktadır (Schmindt ve Macmanus, 2007).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Kullanılan Malzemeler ve Yöntemler

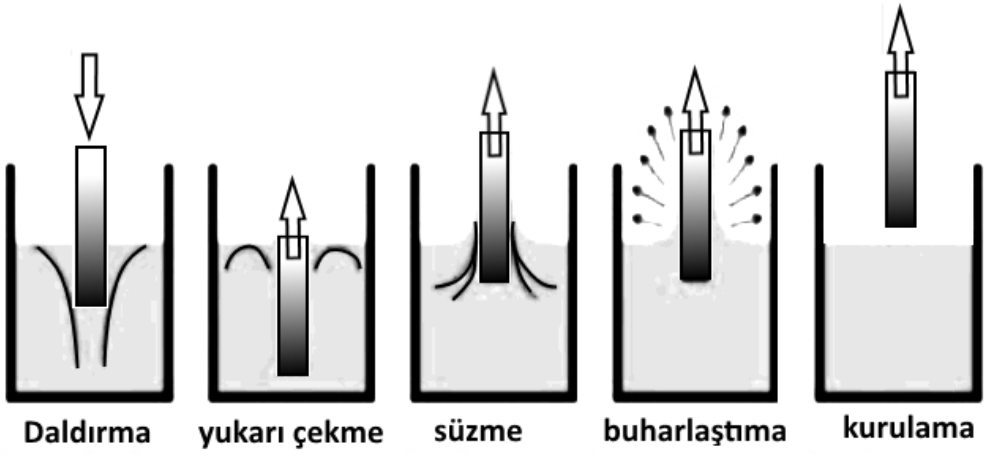
Katkısız, ZnO, $Zn_{0.95}Mn_{0.05}O$ (ZMO), $Zn_{0.90}Fe_{0.05}Mn_{0.05}O$ (ZFMO) ve $Zn_{0.90-x}Fe_{0.05}Mn_{0.05}Al_xO$ (x=0.0–0.05) ince filmeler ıslak kimyasal işlem ve daldırma kaplama tekniği ile sentezlendi. Bu ince filmler öncü kimyasal maddeler sırasıyla saf olarak çinko asetat dihidrat (%99.99), alüminyum nitrat nonahidrat (%99), demir nitrat monohidrat (%99.95) ve manganez nitrat tetrahidrat (99.98) ve sırasıyla çözücü ve stabilizatör olarak 2-metoksietanol ve etanolamin ile hazırlandı.

Öncü kimyasallarla istenilen çözeltiyi elde etmek için 2-metoksietanol içinde oda sıcaklığında eritildi ve herhangi bir damıtma/saflaştırma olmadan 1 saat boyunca sürekli olarak manyetik karıştırıcılar ile karıştırıldı. Herhangi bir toz kimyasalin ve 2-metoksietanolün molar oranı çözeltilerde 0.1 ve 1 M 'ye sabitlendi. Zn/Mn ve Zn/Mn/Fe 'nin oranları, Mn katkılı ZnO ve Mn ve Fe ortak katkılı ZnO için 95/5 ve 90/5/5 'de tutuldu. Bununla birlikte Fe, Mn ve Al 'nin katkılı olması durumunda Al ve Zn için % 0 'dan % 5 'e ve %89-85 'e değiştirilirken, ZnO için ortak katkısı sırasıyla elde edilen homojen ve saydam çözeltilerin pH 'ı 0.05 M etanolamin damla damla ilave edilerek ayarlandı ve 4.6 'ya sabitlendi. Nihai çözeltileri daha stabil hale getirmek ve istenen jelleşmeyi elde etmek için 24 saat boyunca bekletildi. Bu son çözeltiler cam alt tabakalar 773 K 'da kaplama yöntemi ile kaplandı. Kaplanmış filmlerin kristalleşmesini sağlamak için 823 K 'da ve hava ortamında bir saat boyunca tavlama işlemi gerçekleştirildi.

3.2. Daldırma İle Kaplama Yöntemi (Dip Coating)

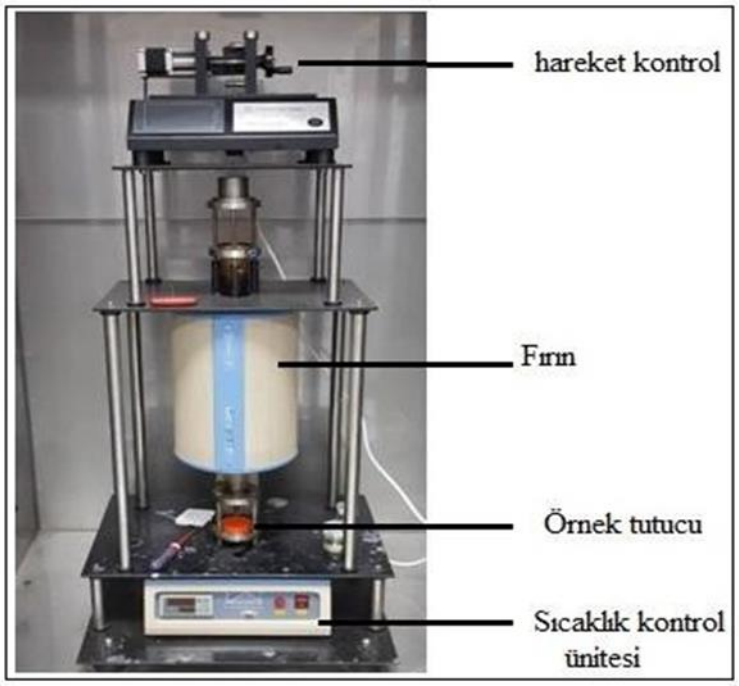
Bu metot genelde saydam tabakalar üretmek için kullanılır. Daldırarak kaplama metodu, hazırlanan çözelti içine kullanılan altlık malzemesinin belirli bir hızla daldırılıp ve yine aynı

hızla geri çekilmesi esasına dayanır. Daldırma ile kaplama metodu beş aşamada gerçekleşir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Daldırma İle Kaplama Yöntemi (Dip Coating)

Daldırma aşamasında cam alttaş sabit bir hızla solün içine daldırılır, yukarı çekme aşamasında ise, daldırıldığı hızla beklenmeden yukarı çekilir. Daldırma sonunda, fazla olan sol damlacıkları alttaş kenarlarından süzülerek yüzeyi terk ederken süzülme işlemi ile yüzeyi terk edemeyen sol damlacıkları buharlaşarak uçar. Son safha olan kaplama işleminde ise, taşıyıcının sol ile temasa giren kısımları kaplanmış olur. Bu aşamada yer çekimi kuvveti, sol ile cam alttaş arasındaki taşıyıcı kuvveti ile yüzey gerilim kuvvetleri etkilidir. Tüm bu aşamaların ardından cam alttaş üzerinde kalan sol tavlama işlemi sonucunda film haline dönüşmektedir.



Şekil 3.2. Sol-jel daldırarak kaplama cihazı

Daldırarak kaplamanın avantajı, her şekilde ve boyutta cam alttaşların kaplanmasının mümkün olmasıdır. Bu işlem ile düzgün ve kontrol edilebilen bir kalınlık elde edilebilir. Bunun sonucu olarak da film kalınlığı, yüzey boyunca homojen bir özellik göstermektedir.

3.3. X-Işını Kırınımı Ölçümleri

Filmleri yapısal karakterize etmek için Rigaku ultima III (CuKα , 40 kV, 40 mA, 1.54 A) x-ışını difraktometresi (XRD) kullanıldı (şekil 3.3). Zn, Fe, Mn, Al ve O atomlarının kimyasal bağ durumu x-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) (PHI-5000 versaprobe) ile analiz edildi. Tüm film özelliklerinin morfolojisi ve bileşimi FESEM vasıtasıyla bağlı enerji dağıtıcı x-ışını (EDX) spektrometresi (QUANTA 400F) ile 20 kV çalışma voltajında incelenmiştir.



Şekil 3.3. Bilgisayar kontrollü Rigaku Ultima-III difraktometresi

3.4. Optiksel Özelliklerin Ölçülmesi

Bu çalışmada üretilen ince filmlerin optik özellikleri, 800-900 nm dalga boyu aralığında ultraviyole görünür (UV) spektrometre Şekil 3.4 'te gösterilen Perkin Elmer 45 UV-VIS ile araştırıldı.



Şekil 3.4. Perkin Elmer 45 UV-VIS cihazı

Film özelliklerinin iletkenliği dört terminal Van Der Pauw konfigrasyonu kullanılarak hall ölçüm sistemiyle analiz edildi. 2-300 K sıcaklık aralığında örnek manyetometre VSM (kriyojenik sınırlı PPMS, XL-5T) üzerinde mıknatıslanma çalışmaları yapıldı.

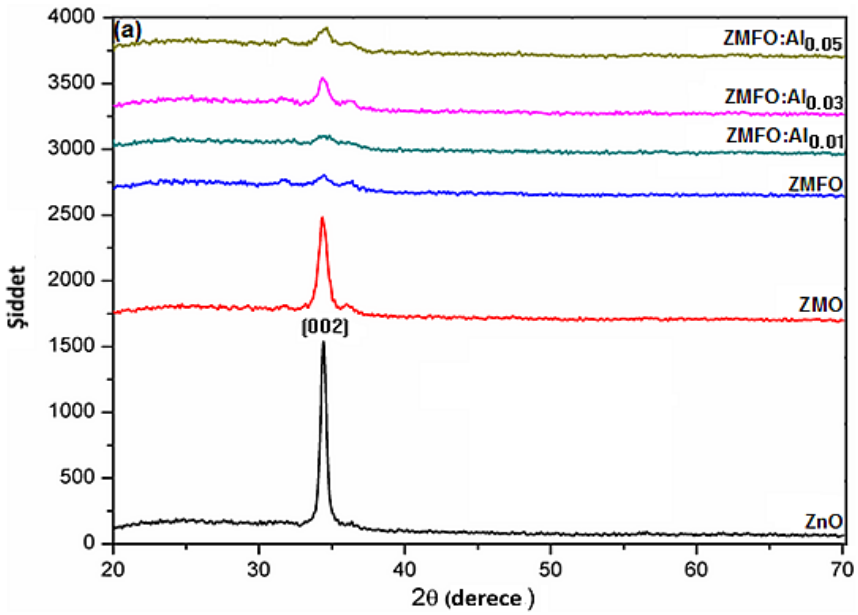
4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1 Giriş

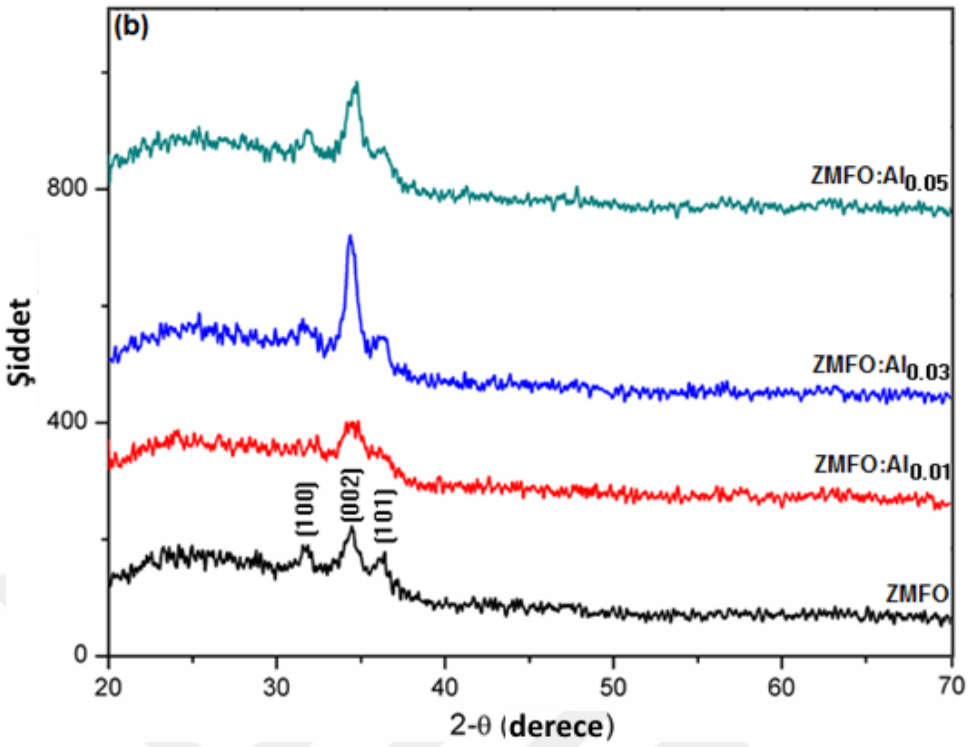
Bu bölümde, malzemenin yapısı üzerinde Al katkı seviyelerinin (x=0.0-0.05) rolü yani kimyasal olarak türetilmiş $Zn_{0.90-x}Mn_{0.05}Fe_{0.05}Al_xO$(ZMFO: Al_x) ince filmin yüzey morfolojisi, optik sabitleri, dielektrik, elektriksel ve manyetik özellikleri sistematik olarak incelenmiştir.

4.2. Al/Mn/Fe Katkılı ZnO İnce Filmlerin Yapısal özellikleri

Çeşitli katkı seviyeleri (x=0.0-0.05) için ZnO, ZMO, ZFMO ve $Zn_{0.90-x}Mn_{0.05}Fe_{0.05}Al_xO$ (ZMFO:Al_x) ince filmlerinin XRD desenleri, Şekil 4.1a 'da görüldüğü gibidir. İnce filmlerin XRD desenlerinde, metalik Mn, Fe, Al gibi ikincil fazların olmadığı, tipik altıgen Wurtzite ZnO yapısını (JCPDS kart no. 01-071-5959) belirten (002) düzlem boyunca yoğun pik difraksiyonuna sahip olduğu gösterilmiştir ve bunların oksitleri, tek fazlı altıgen Wurtzite ZnO yapısında bir değişiklik olmadığı doğrulanmıştır. Şekil 4.1b 'de (100) ve (101) zayıf kırınım düzlemlerinin varlığı görülür. Bu kırınım düzlemleri, Şekil 4.1a 'daki polikristal yapıyı gösteren filmlerden çok daha belirgindir.



Şekil 4.1 (a) ZnO, ZMO, ZMFO ve ZMFO için XRD desenleri: Al_x (x=0.0-0.05)



Şekil 4.1 (b) ZMFO: Al_x (x=0.0-0.05) ince filmler.

ZnO 'da Al, Mn ve Fe 'nin katkılı olduğunu belirten (002) kırınım çizgisinin tepe konumunda küçük bir kayma olduğu şekilden görülür. Bu küçük kayma altıgen Wurtzite yapısını değiştirmez. Bu yapı türü daha önce Al ve Ni / Co katkılı ZnO için de rapor edilmiştir.

(002) kırınım çizgisinin tepe konumu kademeli olarak Çizelge 4.1 'de gösterildiği gibi ZMFO: $Al_{0.05}$ hariç, arttırılmış kafes parametresi, c, ZMFO:$Al_{0.05}$ hariç, daha düşük olan 2θ değerleri, bu göreceli olarak büyük iyonik boyutlu Mn^{2+}(0,83A°) değişiminden kaynaklanmaktadır. Beklendiği gibi Zn^{2+}(0.72 A°) ile Fe^{2+}, Zn^{2+} 'ya kıyasla daha yüksek bir iyonik yarıçapa (0.74 A °) sahip olduğundan Mn ve Fe ortak katkılı durumunda da aynıdır.

Çizelge 4.1 ZMFO ve ZMFO:Al_x (x=0.0-0.05) ince filmler. Kristal boyutu (D (nm) 002,% +1), FHWM (+% 1), kafes parametresi, c (+ 2%) ve ZnO, ZMO 'nun kırınım açıları (2θ (derece), + +% 4).

Kimyasal bileşeni	FWHM (β_{002}°)	2θ (deg.)	D(nm)$_{002}$	c (nm)
ZnO	0.16	33.46	42	0.535
ZMO	0.28	33.32	25	0.537
ZMFO	0.87	33.36	8	0.536
ZMFO:Al$_{0.01}$	1.40	33.36	5	0.536
ZMFO:Al$_{0.03}$	0.38	33.24	18	0.539
ZMFO:Al$_{0.05}$	0.58	33.48	15	0.534

Bu eğilim, ZnO kafesinde Mn^{2+}, Fe^{2+} ve Al^{3+} 'in ortak katkılısına bağlanan Mn, Fe ve Al ortak katkısı için de geçerlidir. Ek olarak bu artış aynı zamanda, farklı iyonik yarıçaplara sahip kafes nokta kusurlarının oluşumu ve ayrıca filmlerin termal genleşme katsayısı ile numune tutucu arasındaki fark olarak düşünülmelidir (Göktaş ve ark. 2013).

Çizelge 4.1 'den görüldüğü gibi, filmin ortalama kristalit boyutu (Dhkl) Debye-Scherrer denklemi.

$$D_{hkl} = {K\lambda}/{\beta cos\theta} \quad (4.1)$$

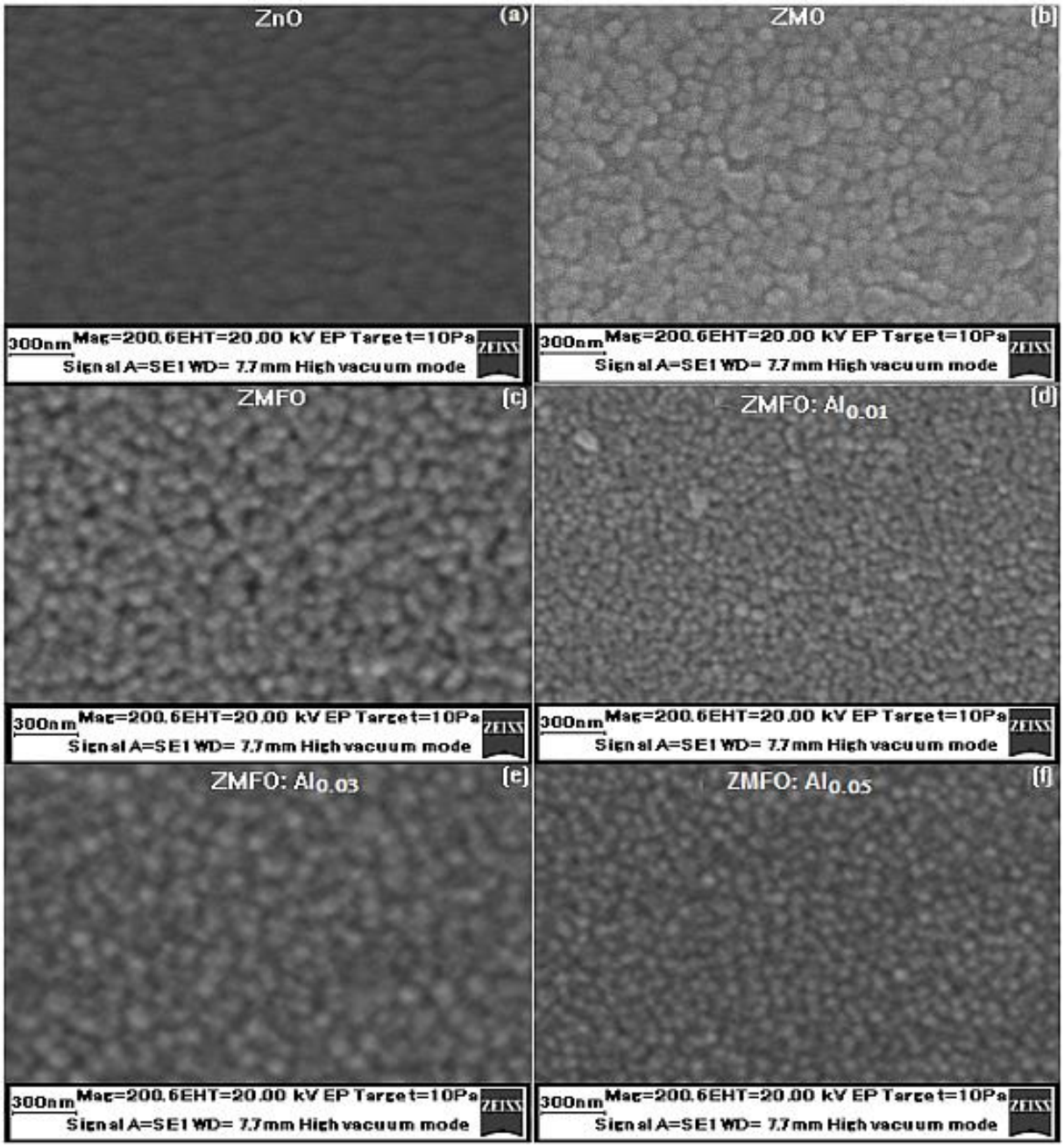
kullanılarak örnekler belirlenmiştir. Burada K biçim faktörü olup değeri 0,9, λ Bakırın X-ışınları dalga boyu (K_α =1.5406 Å), θ Bragg kırınım açısı ve β kırınım piklerinin yarı maksimumunun tam genişliğini gösterir. Dhkl 'nin başlangıçta Fe ve Mn ortak katkısı ile belirli bir Al katkı seviyesine (x=0.01) kadar Mn ve Fe ortak katkı ile azaldığı bulunmuştur. Ancak, Al katkısında daha fazla artış için tekrar Dhkl 'ın gelişmesini sağlayan içerikler gözlemlenen azalan, muhtemelen maksimum değere ulaşan maksimum yarı genişlikte, FWHM (β_{002}°) artan tam genişliğe bağlanabilir (Göktaş ve ark. 2016). Katkılandırıcı ve yerleşik eleman arasında farklı iyonik boyut

ve ayrıca yerleşik ZnO 'nun kafes yapısının kusurlarının oluşumu ve deformasyonu, Dhkl 'nin Al katkı içeriği ile artışı, Şekil 4.1 ve Çizelge 4.1 'de görüldüğü gibi FWHM (β_{002}°) değerlerindeki değişiklikten kaynaklanmaktadır.

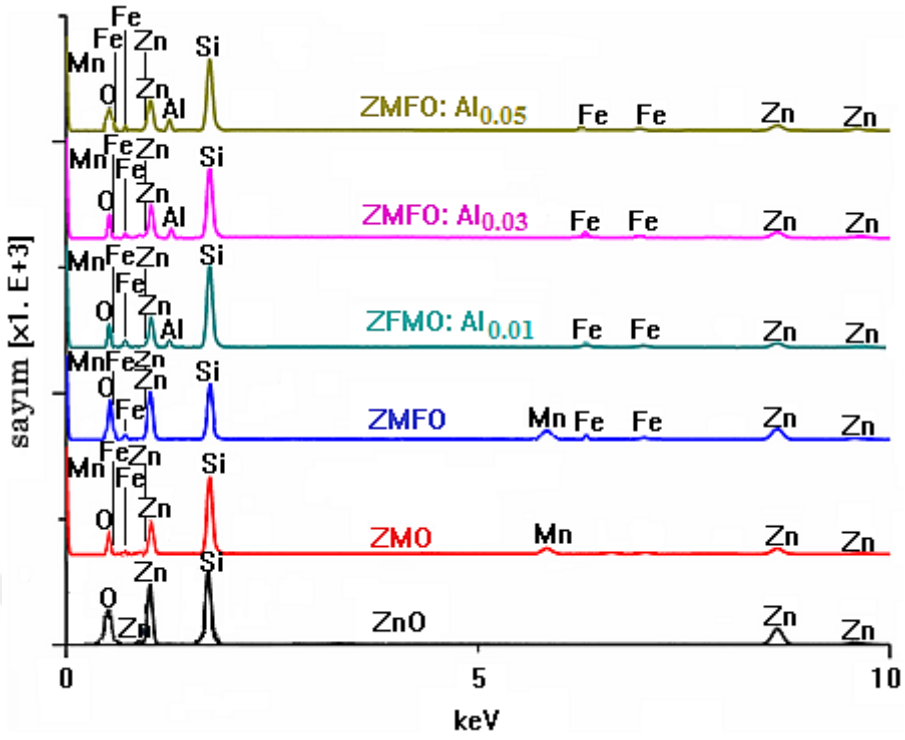
4.3. Al/Mn/Fe Katkılı ZnO İnce Filmlerin Yüzey ve EDX Analizleri

Numunelerin yüzey morfolojisi elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelendi. Şekil 4.2 a-f, ZnO, ZMO, ZMFO ve ZMFO:Al_x ince filmlerinin SEM mikrograflarını gösterir. Şekiller ZnO 'nun tek biçimli en büyük tanecik boyutuna sahip olduğu ve tanelerin film yüzeyine rasgele yönlendiği gözlenmiştir. Mn katkısı ile tane büyüklüğü azaldığı ve aynı eğilimin Mn-Fe ortak katkılarında da gözlemlenir. Ancak ZMFO örneği için :$Al_{0.03}$ tane büyüklüğü tekrar artar. Tüm numuneler arasında en küçük tane büyüklüğü ZMFO:$Al_{0.01}$ ince filmde gözlenir. Aynı davranış, numunelerin kristal boyutu için de geçerlidir. Ancak, kristallerin birçok kristalitten oluşması nedeniyle büyüklükleri farklıdır.

Numunelerin elementel bileşimi tespiti için EDX spektrumları incelendi. Şekil 4.3, numune bileşenlerinin Zn, Fe, Mn, Al ve O elementlerini doğruluğunu gösterir. Gözlenen Si pikinin nedeni örnek tutucudan kaynaklanır. Çizelge 4.2, numunelerde bulunan Zn, Zn, Fe, Mn, Al ve O elementlerinin nominal atomların % değerlerini göstermektedir. Tablodan, katkı sayısına bağlı olarak Zn ve O 'nun atomik yüzdesindeki (%) artış gözlenir ve Fe, Mn ve Al içeriği azalır. Bu sonuçlar, ZnO yerleşik kristalinin element konsantrasyonunu bozmadan, katkı sevilerinin ZnO sistemi ile bir araya gelmesini etkili bir şekilde göstermektedir.



Şekil 4.2. (a) ZnO, (b) ZMO, (c) ZMFO, (d) ZMFO:$Al_{0.01}$ (e) ZMFO:$Al_{0.03}$ ve (f) ZMFO:$Al_{0.05}$ ince filmler için SEM görüntüleri.



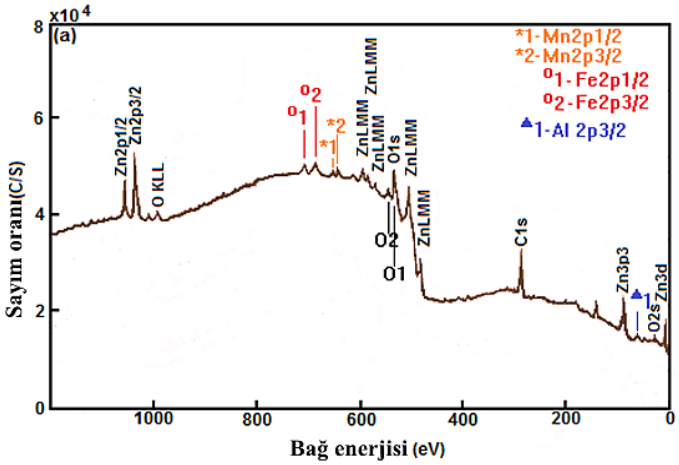
Şekil 4.3. ZnO, ZMO, ZMFO ve ZMFO: Al_x için EDX spektrumları (x=0.0-0.05) ince filmler.

Çizelge 4.2 ZnO, ZMO ve ZMFO: Al_x (x = 0.0-0.05) ince filmleri Zn, Zn, Fe, Mn, Al ve O elementlerinin EDX nominal atomu (%) (deneysel hata +% 2 ile).

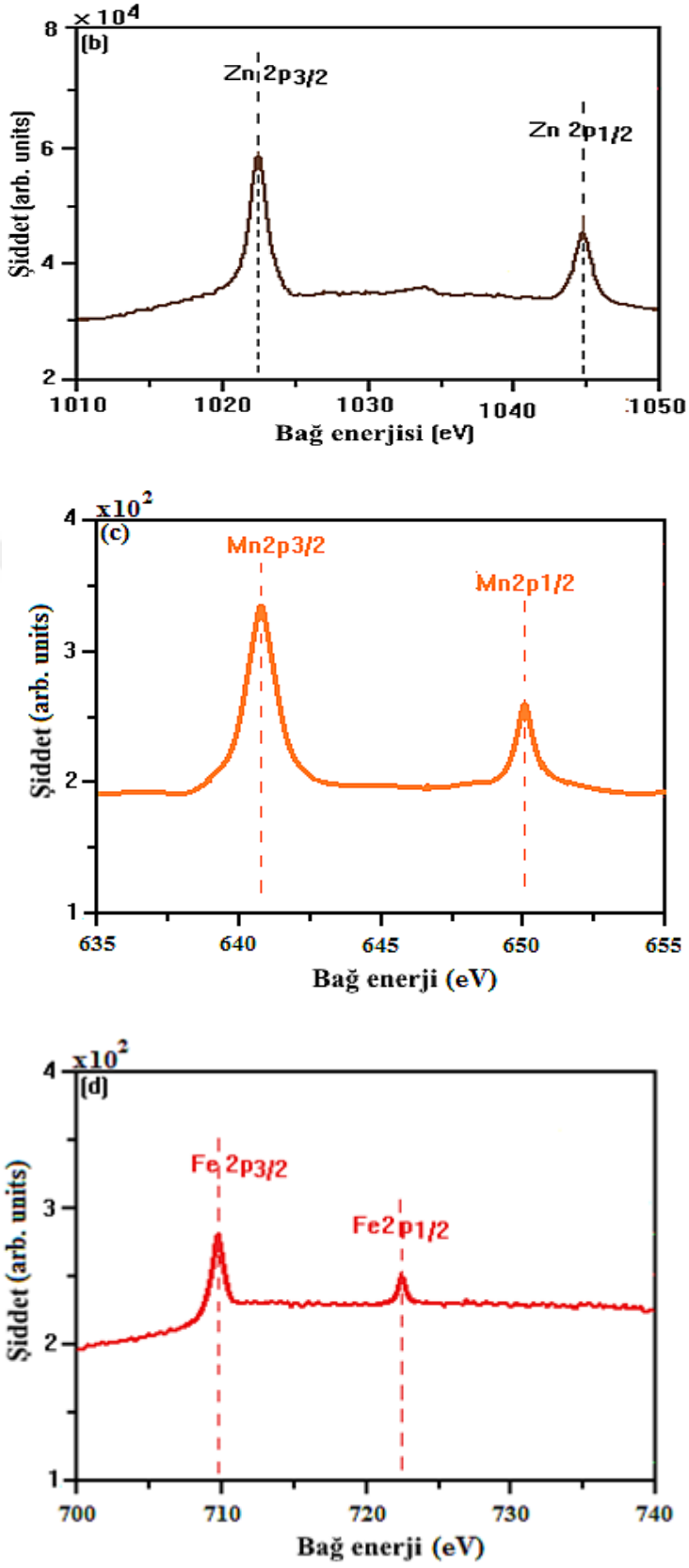
Kimyasal Bileşen	Atomik (%)						
	Zn	Mn	Fe	O	Al	Total	Spektrum Çizgisi
ZnO	48.67	----	----	51.33	----	100	K
ZMO	44.96	4.72	----	50.32	----	100	K
ZMFO	41.65	4.65	4.85	48.85	----	100	K
ZMFO:$Al_{0.01}$	41.40	4.70	4.90	48.05	0.95	100	K
ZMFO:$Al_{0.03}$	40.01	4.56	4.70	47.93	2.80	100	K
ZMFO:$Al_{0.05}$	38.30	4.50	4.60	48.00	4.60	100	K

XPS analizi vasıtası ile yerleşik ve yer değiştiren elementlerin değerlik durumları elde edildi açıkça, ZMFO: $Al_{0.03}$ numunesi için Zn, Fe, Mn, Al ve O kurucu elementlerine karşılık gelen zirveleri göstermektedir (Şekil 4.4a). Zn^{2+} 'nın güçlü kanıtı, Şekil 4.4b 'de verilen 1021.5 (Zn 2p3/2) ve 1044.5 eV 'de (2p1/2) bulunan tepe konumlarıyla doğrulanır. Zn2p enerji pozisyonları, ZnO 'un standart verileri etrafında olduğu için ZnO konakçı kafesinde Mn^{2+} 'nın varlığı, sırasıyla 641.6 eV ve 653.4 eV (Şekil 4.4c) civarında bulunan Mn 2p3/2 ve Mn 2p1/2 piklerinin bağlanma enerjileri ile doğrulanır (Şekil 4c) (Kumar ve ark. 2010). Fe2p1/2 ve 2p3/2 'ye atfedilen 722.7 ve 709.4 eV 'nin (Şekil 4.4d) karşılık gelen enerjilerinde gözlenen tepe pozisyonları, Fe^{2+} 'ın varlığını gösteren Fe-katkılı ZnO ince filmlerle iyi bir şekilde oluşturulmuştur[9]. ZFMO sisteminde. ZMFO içindeki Al^{3+} 'ın varlığı, 74.2 eV 'ye karşılık gelen 2p3/2 tepe pozisyonu ile doğrulanır (Şekil 4.4e), çünkü bu enerji değeri Al_2O_3 bileşiğinin bağlayıcı enerjisinden farklıdır (Cao ve ark. 2011).

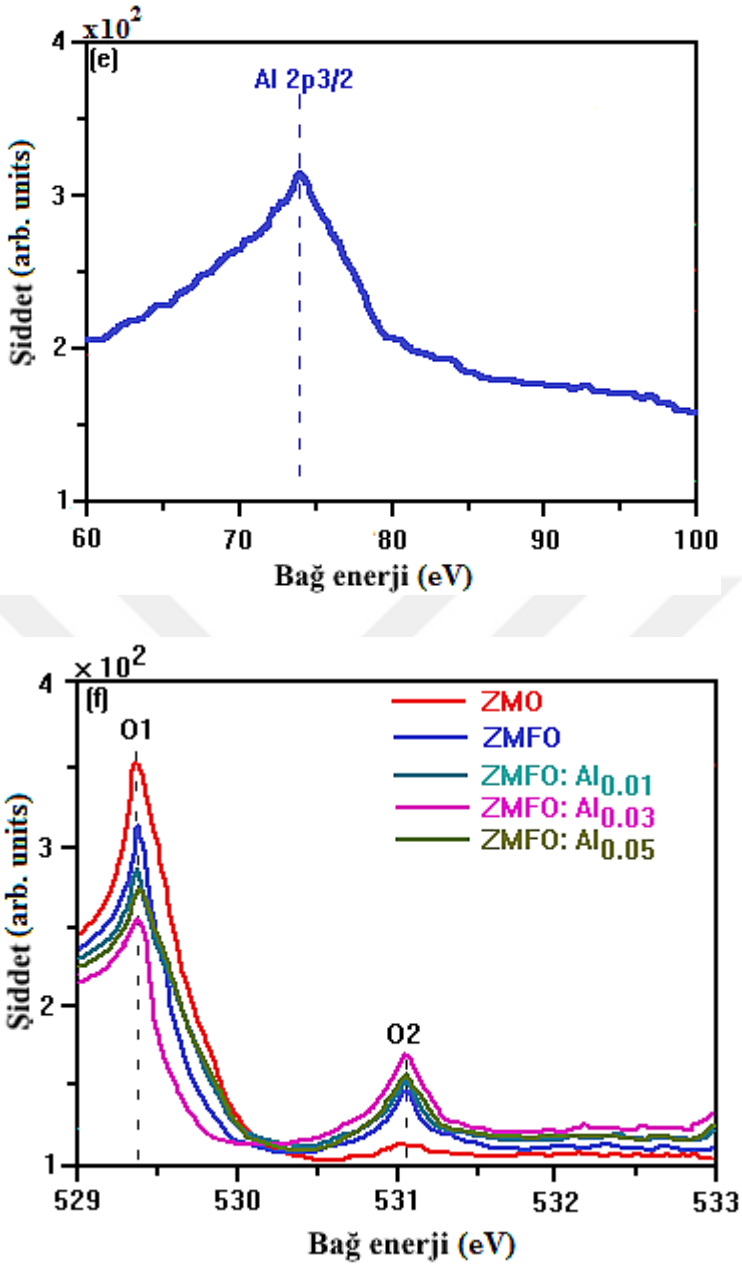
Asimetrik oksijenin varlığı, iki tepenin noktalarına karşılık gelen 530.7 ve 531.3 eV enerjileri ile uyumludur (Şekil 4.4f). Bahsedilen sabit ZnO yapısında O2- (O1) ve O2- (O2) iyonlarına birincisi Zn-O bağına bağlanırken (Kumar ve ark. 2013), ikincisi ZnO veya Zn-OH sistemi içindeki oksijenden kaynaklanıyor (Hsieh ve ark. 2008). ZMFO:$Al_{0.03}$ 'ün tüm örnekler arasında en yüksek oksijen eksikliğine sahip olduğu gözlendi. Oksijen boşluğu miktarı açıkça Fe katkılı ve ayrıca Al katkı seviyeleri ile arttırılır (Şekil 4.4f).



Şekil 4.4 (a) ZMFO:$Al_{0.03}$ ince filmlerinin XPS spektrumları.



Şekil 4.4 (b) Zn 2p, (c) Mn 2p, (d) Fe 2p, elementlerinin geniş tarama XPS spektrumları.

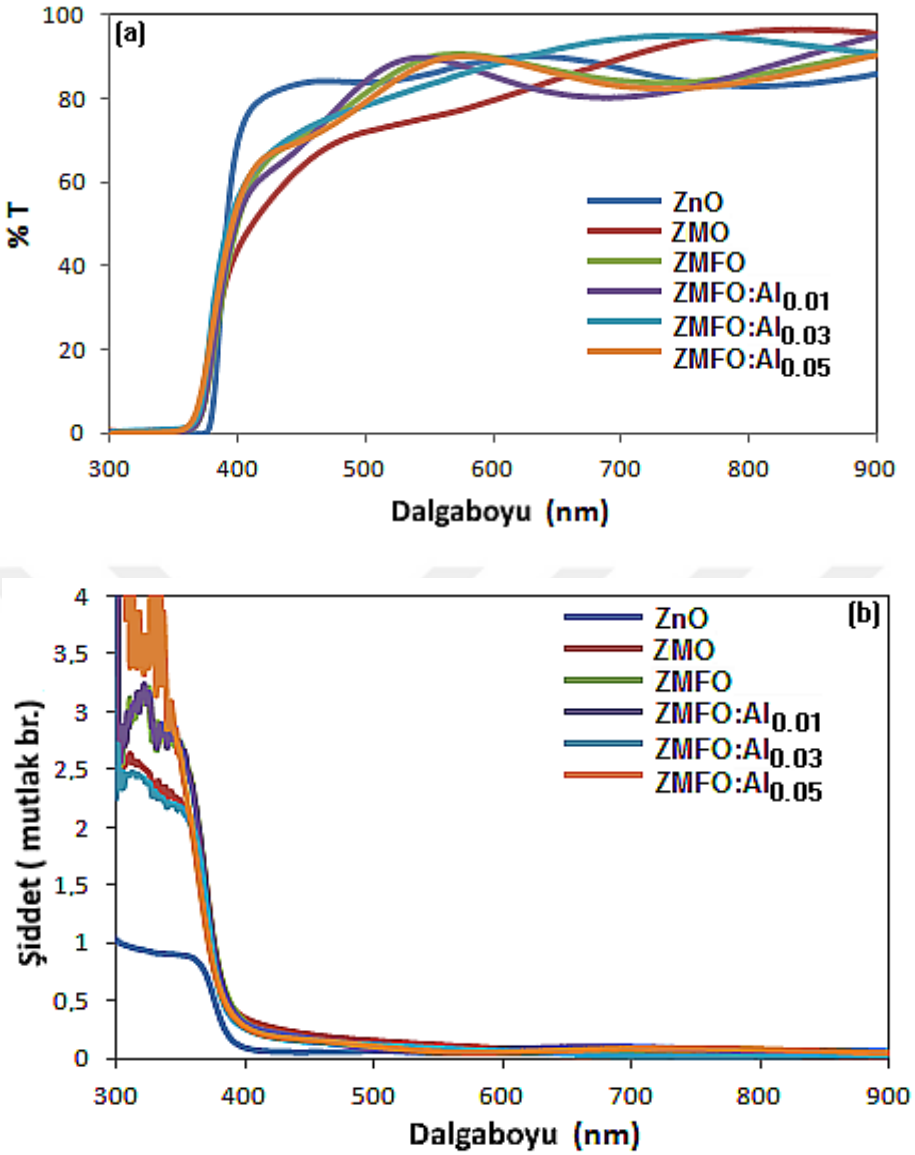


Şekil 4.4. (e) Al 2p ve (f) O1 ve O2 elementlerinin geniş tarama XPS spektrumları.

4.4. Optiksel Özellikleri

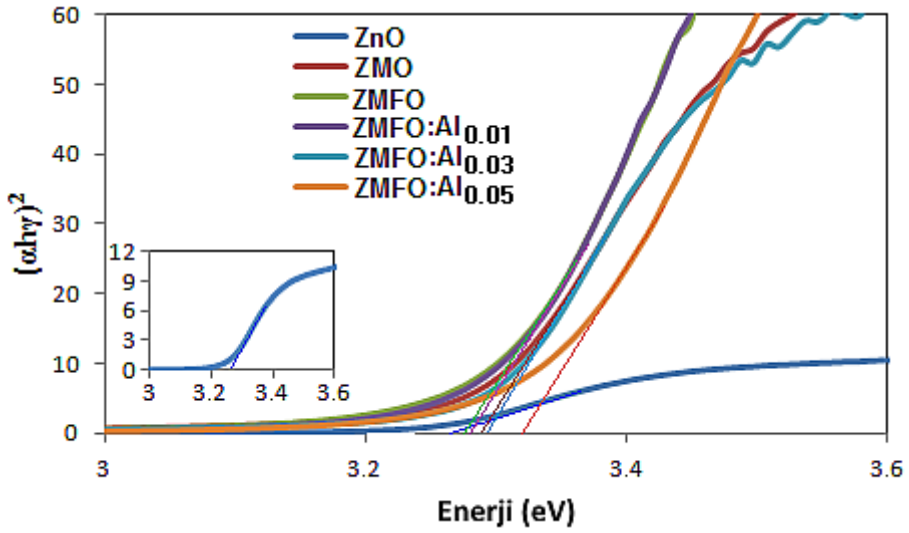
ZnO, ZMO, ZMFO ve ZMFO: Al_x ince filmlerine ait geçirgenlik ve soğurma spektrumları çeşitli Al katkı seviyelerine bağlı olarak (x=0.0-0.05) 300-900 nm dalga boyu aralığında elde edilmiştir. ZMO örneği için geçirgenliğin azaldığı gözlendi; bununla birlikte, ZnO ince filmine kıyasla, Mn ve Fe ortak katkılı örneklerde ise geçirgenliğin tekrar arttığı gözlemlendi (Göktaş ve ark. 2013). ZMFO:Al_x filmlerinin geçirgenliğinin ZMO filmlerinden daha yüksek olduğu da gözlenmiştir. Tüm Al-katkılı ZMFO filmleri arasında, ZMFO:$Al_{0.01}$ görünür bölgede en yüksek geçirgenliğe sahiptir.

Şekil 4.5b, ZnO, ZMO, ZMFO 'nun optik absorpsiyon spektrumlarını göstermektedir. Şekil 4.5b 'den görüldüğü gibi ZMO, ZMFO ve ZMFO:Al_x ZnO ince filmleri ZnO ince filmlerine göre daha fazla ışığı soğurmaktadır. ZMO numunesinin absorpsiyonun ultraviyole (UV) bölgesine yakın kısa dalga boylarında ZMFO numunesinden daha düşük olduğu gözlendi. Genel olarak Al katkı oranı arttıkça, UV bölgesi yakınındaki ince filmlerin soğurma özelliği artmıştır. UV bölgesinde en yüksek soğurma ZMFO:$Al_{0.05}$ ince filmi için bulunmuştur. Katkı içeriği arttıkça, soğurma kenarının ZnO 'ya kıyasla daha düşük dalga boylarına kaydığı gözlenmiştir.



Şekil 4.5. ZnO, ZMO, ZMFO ve ZMFO: Al_x (x=0.0-0.05) ince filmler için (a)optik iletim ve (b) absorpsiyon spektrumları.

Hazırlanan ince filmlerin optik bant aralığı Tauc formülü kullanılarak hesaplandı (Göktaş ve ark. 2017). Şekil 4.6 'da verilen ince filmlerin yasak enerji aralığı ZMO (3.29 eV), ZMFO (3.27 eV) ve ZMFO: Al (0.01, 0.03 ve 0.05 Al katkı oranları için sırasıyla 3.28, 3.29 ve 3.32 eV) değerlerindedir. Katkı oranlarına ve katkı atomlarına bağlı olarak gözlemlenen yasak enerji değerlerinin maviye kayması muhtemelen Burstein - Moss etkisinden kaynaklanmaktadır.



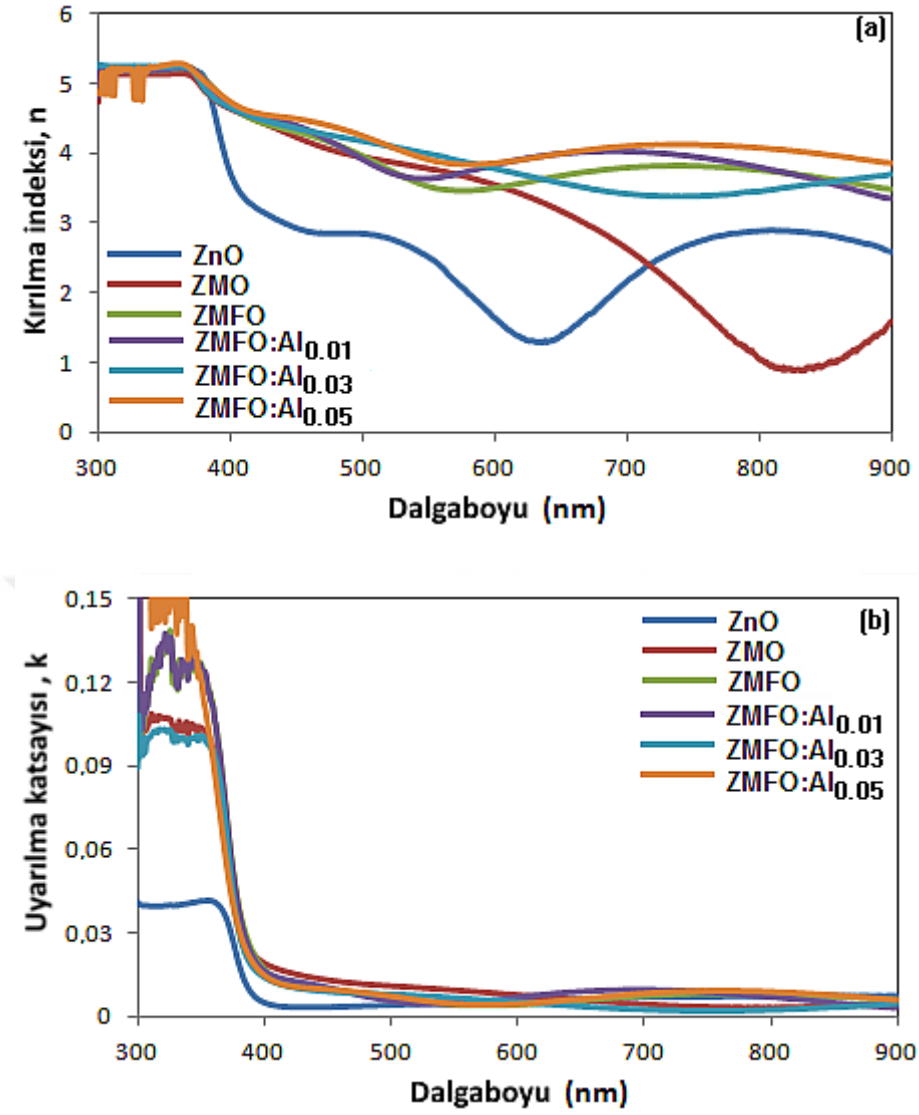
Şekil 4.6. ZnO, ZMO, ZMFO ve ZMFO:Al_x (x=0.0-0.05) için $(\alpha h\upsilon)^2$ ve (hυ) grafikleri ince filmler (iç kısım: ZnO ince filmi için $(\alpha h\upsilon)^2$ 'ye karşı (hυ) alanları).

En önemli optik parametrelerden biri kırılma indisidir. Optik uygulama ve malzemeler için kırılma indisi aşağıdaki denklem tarafından belirlenir.

$$n = \frac{1+R}{1-R} = \sqrt{\frac{4R}{(1-R)^2} - k^2} \quad (4.2)$$

$$k = \frac{\alpha\lambda}{4\pi} \quad (4.3)$$

Burada, R yansımayı, k sönüm katsayısını, λ gelen fotonunun dalga boyunu, α absorbsiyon katsayısı film kalınlığına(t) ve absorbsiyonuna bağlı olarak değişimini gösterir. 300–900 nm dalga boyu aralığında n ne k değişimi Şekil 4.7a ve Şekil 4.7b 'de verilmiştir. Şekil 4.7a 'da görüldüğü gibi, ince filmlerin kırılma indisi n değeri ZMO, ZMFO ve ZMFO: Al_x için artmıştır. Bu artışın nedeni geçirgenlik analizi ile de desteklenen filmlerin optik kalitesindeki artıştan kaynaklanmaktadır. En yüksek n değeri, Al 'un 0,05 katkı oranı için gözlendi. Bu, Al^{3+} 'ın durumundan Zn^{2+} 'dan daha yüksek değere sahip olan filmlerin polarize edilebilirliğinin artmasından kaynaklanmaktadır. Artma eğilim ZnO ince filminkinden daha düşük yüzey pürüzlülüğü ile nispeten daha yoğun filmler gösterir. Bu bulgular önceki çalışmalarla uyumludur (Mimouni ve ark. 2015).



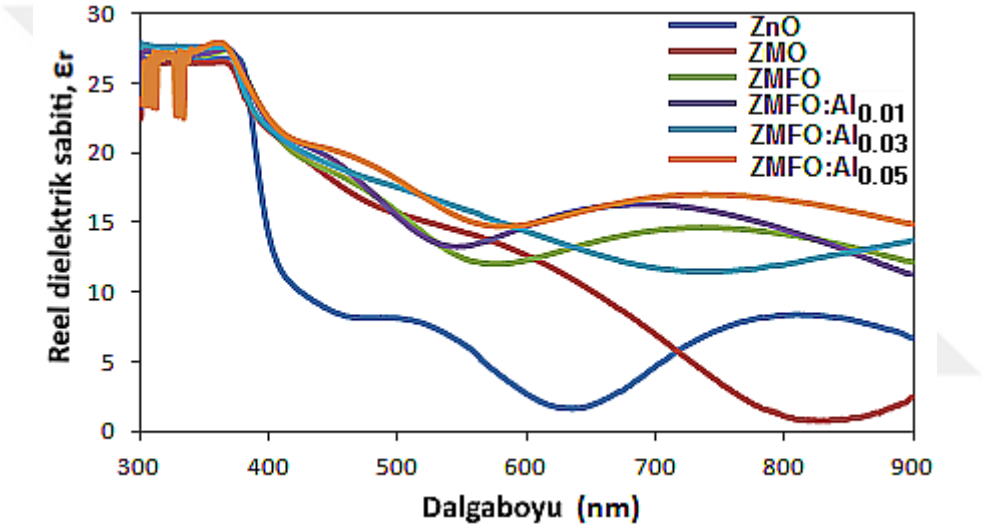
Şekil 4.7. ZnO, ZMO, ZMFO ve ZMFO:Al_x ince filmler için (a) kırılma indeksinin ve (b) sönme katsayısının değişimi.

Dalga boyu ile k soğurma katsayısının değişimi, Şekil 4.7b 'de gösterilmiştir. n ile aynı davranışı göstermiştir. Katkı atomları (Mn, Fe ve Al) ve Al_x katkı miktarı içerikleri (x=0.0-0.05) değiştikçe malzemenin optik sabitleri de değişmektedir. Tüm örnekler arasında en yüksek k soğurma katsayısının artışı ZMFO:Al_x(x=0,05) ince filmi için gözlemlendi. Bu sonuçla çinko oksit yarıiletken malzemesine farklı katkı atomları eklendiği takdirde çinko oksitin optik özelliklerinin manipüle edilebileceği gösterilmiş oldu. Bu bulgular, ZnO ince filmleri için katkı edilmiş Mn, Co ve Fe ile ilgili farklı çalışmalar uyum içerisindedir (Göktaş ve ark. 2017).

Dielektrik sabiti (ε) malzemenin kırılma indisi ve soğurma katsayısı yardımıyla hesaplandı (Göktaş ve Mutlu 2016).

$$\varepsilon = n^2\text{-}k^2 \tag{4.4}$$

Şekil 4.8 'de açıkça görülmektedir ki, ince filmlerin reel dielektrik sabiti 390 nm civarında keskin bir şekilde azalmaktadır. Diğer taraftan görünür bölgede Mn katkısı arttıkça saf ZnO 'ya göre reel dielektrik sabitinde artış gözlenmektedir. Benzer şekilde diğer katkı atomları da reel dielektrik sabitini arttırmaktadır. Tüm örnekler içinde en yüksek dielektrik sabitine sahip olan örnek ZMFO:Al_x(x=0,05) dir. Bu artışın sebebi Al^{+3} oksidasyon seviyesinin Zn^{+2} 'den yüksek olmasıdır.



Şekil 4.8. Optik reel dielektrik sabitinin ZnO, ZMO, ZMFO ve ZMFO:Al_x (x=0.0-0.05) ince filmler için dalgaboyunun bir fonksiyonu olarak değişimi.

4.5. Elektriksel özellikleri

ZnO, ZMO, ZMFO ve ZMFO: Al_x ince filmlerine ait iletkenlik (σ), yük taşıyıcı konsantrasyonu (n_c) ve Hall mobilitesi (μ_H) oda sıcaklığında van der Pauw dört nokta tekniği kullanılarak elde edildi. Sonuçlar açıkça tüm numunelerin n tipi iletkenliğe sahip olduğunu ve yarı iletken davranış gösterdiğini ortaya koymaktadır (Khan ve ark. 2017). Ɛ değerleri ZnO ince filmlere kıyasla ZMO ve ZMFO ince filmlerde azaldığı görülmektedir. (Çizelge 4.4). Bununla birlikte, ZMFO:$Al_{0.03}$ ince film için, Çizelge 4.4 'te görüldüğü gibi katkılandırılmamış ZnO ince filmlere göre daha yüksektir. İletkenlikteki bu değişim muhtemelen kristal büyüklüğü / tane büyüklüğü ve tanecik

sınırlarının büyüklüğü ile ilişkilidir (Göktaş ve ark. 2018). Ɛ değişiminin ZnO kristal boyutlarına ve katkılı ZnO ince filmlerin tane boyutlarına kesinlikle bağlı olduğu görülmüştür.

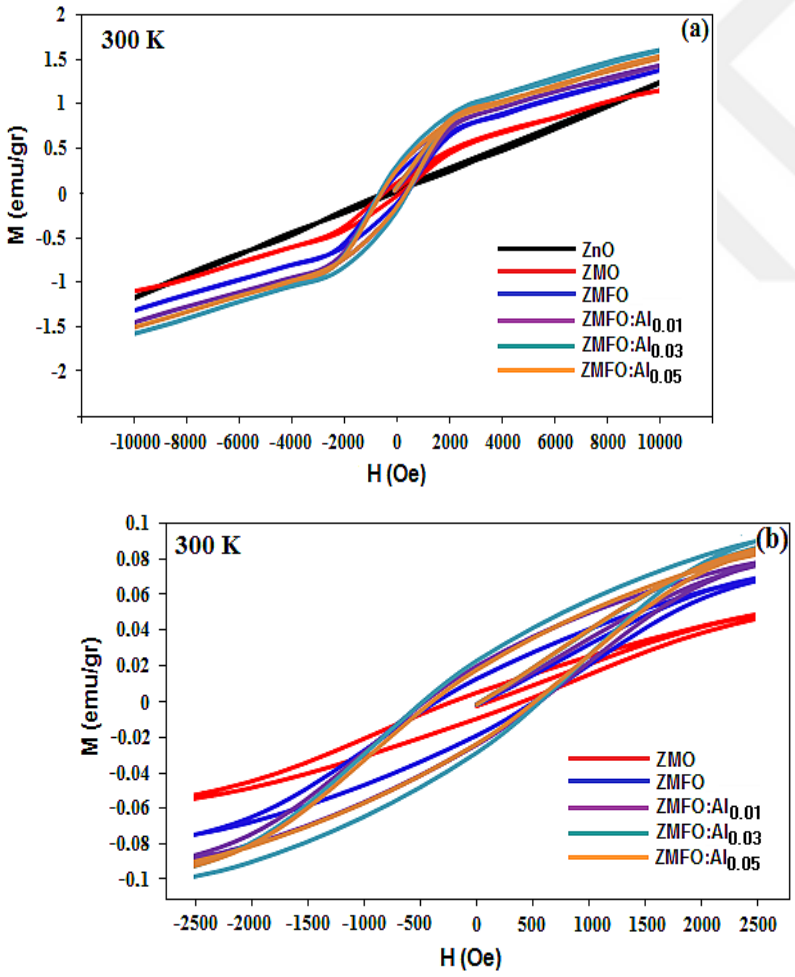
İnce film numunelerinin mobilitesi (μ) Mn katkı atomlarının katkı oranına göre başlangıçta artmış daha sonra azalmıştır. Ayrıca ZnO 'da Mn, Fe ve Al katkıları ile mobilite arttırılmıştır. Hall ölçümleri ayrıca taşıyıcı konsantrasyonunun (n_c) Fe, Mn ve Al katkıları ve Al katkı seviyelerine miktarına göre değiştiğini de ortaya koymuştur Saf ZnO ile karşılaştırıldığında, x=0.03 Al katkılı örnek hariç miktarı arttıkça taşıyıcı konsantrasyonunun azaldığı görülmüştür. Bunun sebebi tanecik sınırlarında Al_2O_3 safsızlık seviyelerinin meydana gelmesi olabilir. Düşük elektriksel iletkenlik (σ) ve mobilitenin (μ) 'nin, oluşturulan ince film örneklerinin hem hava tavlama ortamında tavlanmaya bağlı olarak oksitlenmesinden hem küçük kristalit / tane boyutundan kaynaklandığını bildirmiştir (Sharma ve Mehra, 2008)

Al ve ortak katkılı ZnO ince filmlerin yüzeyinden gelen ışığın saçılmasının artışını esas olarak filmlerin yüzey pürüzlülüğünden kaynaklandığını bildirmişlerdir (Sindhu ve ark. 2017). Şekil 4.5b 'ye göre saf ZnO ince filmlerin soğurması katkılandırılmış ZnO ince filmlere göre nispeten düşüktür. ZnO içinde Mn, Mn ve Fe ve Mn, Fe ve Al ile katkılandırıldığı, ZMFO:$Al_{0.03}$ hariç soğurma kademeli olarak artar. Bu bize ZMFO:$Al_{0.03}$ince filminin nispeten düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar ince filmlerin iletkenliği (σ) ile desteklenmiştir. Hall ölçümlerinden görülebileceği gibi (Çizelge 4.4) ZnO ve ZMFO: $Al_{0.03}$ ince film örnekleri, ZMO, ZMFO, ZMFO:$Al_{0.01}$, ZMFO: $Al_{0.05}$ ince filmlerinden daha yüksek iletkenliğe sahiptir.

Bu gibi ince filmlerin çözelti işlemesi için pürüzlülüğün yüksek olması beklenir. Film kalınlığı arttıkça pürüzlülüğü de artacaktır[30]. Sunulan ince filmler, kalınlıkları yaklaşık olarak 900 nm 'dir (Göktas ve ark.2018). Bu nedenle, bu kalın filmler için pürüzlülüğün nispeten yüksek olması beklenir. Yüksek pürüzlülük nedeniyle bu ince filmler için, elektrik özelliklerini ölçmek için uygun temasları sağlamak zordur. Bu nokta göz ardı edilemez. Bununla birlikte, SEM ölçümlerinden sunulan ince filmlerin elektriksel özelliklerini ölçmek için çok zor değildir.

4.6. Manyetik özellikler

ZnO, ZMO, ZMFO ve örnek ZMFO 'nun mıknatıslanması (M): Manyetik alana (H) ve sıcaklığa (T) bağlı olarak çeşitli Al katkı seviyeleri (ZMFO:Al_x) için Al_x ince filmler, 0-10 kOe uygulanan alan ve 5–300 K sıcaklık aralığında ölçüldü. Kesin mıknatıslanmanın değerlendirilmesi için diamagnetik katkısı hazırlanan cam alt tabaka tüm örneklerden çıkarıldı. İnce filmlerin oda sıcaklığı (RT) M-H grafikleri, Şekil 4.9a ve b 'de gösterilmiştir. ZnO hariç tüm örneklerin ferromanyetik davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. Yerleşik ZnO 'da oda sıcaklığında ferromanyetizma halde bulunmadığı daha önce bildirilmişti (Göktaş ve ark. 2013). ZMFO numunesinin ferromanyetik tepkisinin ZMO numunesininkinden daha yüksek olduğu da gözlemlemiştir.



Şekil 4.9. ZnO, ZMO, ZMFO ve ZMFO:Al_x (x=0.0-0.05) ince filmler için oda sıcaklığı M-H eğrileri (a) yüksek manyetik alanlarda, 0-104 Oe ve (b) düşük manyetik alanlarda 2.5 kOe.

Çizelge 4.3. ZMO, ZMFO ve ZMFO:Al_x (x=0.0-0.05) ince filmler için mıknatıslanma (M_s,%+3), kalıcılık (M_r,%+3) ve zorlama (H_c,+%3) değerleri.

Kimyasal Bileşeni	***Ms*** (emu/gr)	***Mr*** (emu/gr)	***Hc*** (Oe)
ZMO	$52x10^{-2}$	$7x10^{-2}$	357
ZMFO	$69x10^{-2}$	$16x10^{-2}$	492
ZMFO:$Al_{0.01}$	$78x10^{-2}$	$20x10^{-2}$	500
ZMFO:$Al_{0.03}$	$84x10^{-2}$	$24x10^{-2}$	512
ZMFO:$Al_{0.05}$	$80x10^{-2}$	$22x10^{-2}$	500

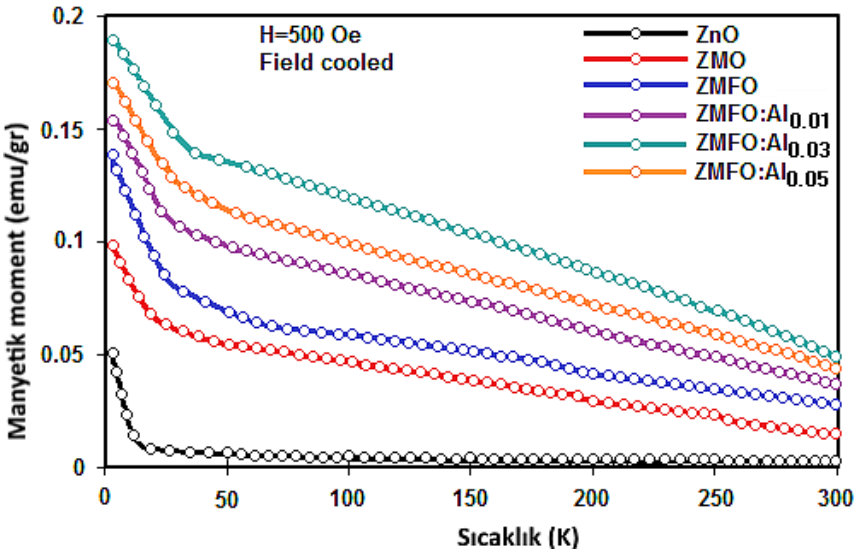
Çizelge 4.4. ZnO, ZMO, ZMFO ve ZMFO:Al_x (x=0.0-0.05) ince filmlerinin iletkenlik (σ, +% 1), taşıyıcı konsantrasyonu (n_c, +% 1) Hall mobilitesi (μ_H, +% 1).

Kimyasal bileşeni	**Taşıyıcı konsantrasyonu (n_c) (cm^{-3})**	**iletkenlik (σ) $(\Omega.cm)^{-1}$**	**İletkenlik (σ) $(\Omega.cm)^{-1}$**	**Taşıyıcı tipi**
ZnO	$4.62x10^{15}$	$3.90x10^{-4}$	$0.53x10^{0}$	n
ZMO	$1.12x10^{15}$	$1.90x10^{-5}$	$1.06x10^{-1}$	n
ZMFO:$Al_{0.01}$	$6.29x10^{14}$	$0.75x10^{-5}$	$0.07x10^{0}$	n
ZMFO:$Al_{0.03}$	$2.70x10^{15}$	$7.55x10^{-4}$	$1.74x10^{0}$	n
ZMFO:$Al_{0.05}$	$1.18x10^{14}$	$8.32x10^{-5}$	$4.40x10^{0}$	n

Çizelge 4.3 ana doygunluk değerlerini göstermektedir (doygunluk mıknatıslanma (M_s), histerezis eğrilerinin kalıcılığı (M_r) ve zorlama (H_c)). Mevcut örnekler x=0.03 Al katkı seviyesi olan numunenin tüm numuneler arasında en yüksek (M_s) olduğu açıktır. Bu, % 3 'lük Al-katkı ZnMnO ince filmlerinde belirtilen çalışma ile iyi bir uyum içindedir (Kayani ve ark. 2017). Ni ve Al katkılı ZnO nanopartiküllerindeki benzer sıkıntı daha önce bulunmuştu (Khan ve ark. 2017). Bu durum, yerel spin polarize elektronlar (Ni^{2+} iyonlarının elektronları gibi) ve iletken elektronlar arasındaki değişim etkileşimi ile ilişkilendirilmiştir. ZFMO numunesinin ferromanyetik tepkisi, ZMO numunesininkinden daha yüksektir. Bu, daha yüksek

manyetik momente bağlanabilir. Mn^{2+} iyonundan Fe^{2+} ve ZnO 'da Mn ve Fe 'nin birlikte katkılı durumunda daha fazla oksijen boşluğu oluşumu (bakınız Şekil 4f), ZnO 'da Mn katkısından daha büyük olasılıkla Fe ve Mn koordinasyonu Zn 'den daha yüksek olabilir. Bu durumda O, Mn ve Fe 'ye karşı Zn 'den daha fazla yakınlığa sahiptir ve bu, ZnO sisteminde Mn ve Fe 'nin birlikte katkı edilmesi için daha fazla oksijen boşluğu sağlar. Bu noktadan itibaren, Al ‘nin ZMFO sisteminde katlandırılması muhtemelen tüm örnekler arasında en yüksek oksijen boşluğu konsantrasyonunun oluşmasına yol açar (Şekil 4f' de görüldüğü gibi XPS çalışmaları tarafından desteklenmiştir), bu da x=0,03 'ü Al katkı oranı ZMFO sistemindeki, en yüksek ferromanyetik düzeyde olduğu açıklamaktadır. Bununla birlikte, küçük Al_2O_3 oluşumu, ferromanyetik etkileşimin harmanlanması nedeniyle x=0.03 Al katkı oranı için ferromanyetik tepki azalır ve XRD, SEM ve XPS analizinde belirlenemedi (Göktaş ve ark. 2018).

Numunelerin H_c 'si, Mn, Mn ve Fe 'nin yanı sıra Mn, Fe ve Al 'in katkılandırılması / birlikte-katkı edilmesi üzerine arttırılır. ZMFO:$Al_{0.03}$ için en yüksek H_c kuruldu. Bu, ZMFO:$Al_{0.03}$, tüm ince film örnekleri arasında manyetik olarak en zor ince filmler olduğu anlamına gelir. Bu gerçek, ZMFO:$Al_{0.03}$ ince filmlerinin en yüksek ferromanyetik tepkisi ile desteklenmiştir.



Şekil 4.10. ZnO, ZMO, ZMFO ve ZMFO:Al_x (x=0.0-0.05) ince filmler için M-T eğrileri 500 Oe sabit uygulamalı manyetik alanda.

Numunelerin ferromanyetik sırasını doğrulamak için, numunelerin M-T eğrileri ayrıca 500 Oe sabit manyetik alanda ve 5-300 K sıcaklık aralığında da incelenmiştir (Şekil 4.10). Sıcaklıktaki bir düşüşün, belirli bir düşük sıcaklığa (yaklaşık 20 K) kadar değişmeyen bir mıknatıslanma yarattığı ve daha sonra, ZnO ince filminin paramanyetik doğasını ve Curie-Weiss ortalama alan teorisini düşünerek aniden arttığı gözlenmiştir. ZMO, ZFMO ve ZMFO: Al_x numuneleri için mıknatıslanma, ZnO 'ninkinden nispeten yüksektir ve numunelerin ferromanyetik doğasını gösteren S şeklindeki eğriyi sıcaklığın düşürülmesiyle arttığı gözlenmiştir. Ayrıca, 5-300 K sıcaklık aralığında ferromanyetik faza geçiş olmadığı gözlenmiştir. Ferromanyetik numunelerin curie sıcaklığının 300 K 'nın oldukça üzerinde olduğu açıktır (Şekil 4.10).

Ferromanyetik davranışın gözlemlenen kökeni için takip edilebilecek çok sayıda nedensellik vardır: XRD, XPS, Uv görünürlüğü ve manyetik ölçümlerle dışlanmış olan TM oksitlere ve TM kümelerine ait ikincil fazlar(1); Ruderman Kittel Kasuya Yoshida (RKKY) teorisi (2), sunulan çalışmada kullanılan Mn, Fe ve Al katkı seviyelerinin daha yüksek konsantrasyonlarında çalıştığı için gözlemlenen ferromanyetizmadan sorumlu değildir (Kuo ve ark. 2006); bağlı oksijen polaron (BMP) modeli (Göktaş, 2018), bu, oksijen boşluğu tarafından tutulan sığ donör elektronlarının aracılık ettiği TM iyonlarının ferromanyetik eşleşmesini önerir(3); ve Zn çatlaklar, boşluklar ve oksijen boşlukları gibi nokta kusurları (4) Oksijen boşluğu XPS tarafından açıklığa kavuştuğundan, BMP modelini oluşturmak için temel sebep budur (Motaunga ve ark. 2014). Bu oksijen boşlukları, elektronlarla birleştirilmiş F-merkezleri (BMP) olarak davranan Al^{3+}iyonlarını hapseder, Mn^{2+} ve Fe^{2+} 'nın ferromanyetik eşleşmesi ile sonuçlanır. Bu nedenle, oda sıcaklığında gözlenen ferromanyetizma temel olarak oksijen boşlukları yoluyla F- merkezlerinin (bağlı manyetik polaron) oluşumuna bağlanır.

5. SONUÇLAR

Yaptığımız çalışma, kimyasal olarak elde edilmiş $Zn_{0.90-x}Mn_{0.05}Fe_{0.05}Al_x$O (x=0.0-0.05) ince filmlerin kristalit / tane büyüklüklerini, optik özelliklerini, dielektrik sabitlerini, elektrik ve ferromanyetik özelliklerini ilk defa araştıran ve sistematik olarak tanımlayan bir çalışmadır. XRD ve XPS analizine göre, Mn^{2+}, Fe^{2+} ve Al^{3+}, ZnO katkılandırmalarının başarılı olduğunu ve ZnO kristalinin wurtzit yapısında da bir değişiklik olmadığı görülür. Bu analize ek olarak, EDS ve UV görünür analizi de hiçbir şekilde çökelti veya ikincil fazın olmadığını göstermiştir.

Optik analiz sonucu da, ZnO bant boşluğunun Al katkı seviyelerinin yanı sıra Mn ve Fe katkıları üzerindeki artışını doğruladı. Genel olarak Al katkı oranı arttıkça, UV bölgesi yakınındaki ince filmlerin soğurma özelliği artmıştır. UV bölgesinde en yüksek soğurma ZMFO:$Al_{0.05}$ ince filmi için bulunmuştur. Katkı içeriği arttıkça, soğurma kenarının ZnO 'ya kıyasla daha düşük dalga boylarına kaydığı gözlenmiştir. Katkı atomları (Mn, Fe ve Al) ve Al_x katkı miktarı içerikleri (x=0.0-0.05) değiştikçe malzemenin optik sabitleri de değişmektedir. Optik parametrelerden biri olan kırılma indisi (n) en yüksek değeri, Al 'un 0,05 katkı oranı için gözlendi. Bu, Al^{3+} 'ın durumundan Zn^{2+} 'dan daha yüksek değere sahip olan filmlerin polarize edilebilirliğinin artmasından kaynaklanmaktadır.. Tüm örnekler arasında en yüksek k soğurma katsayısının artışı ZMFO:Al_x(x=0,05) ince filmi için gözlemlendi. ZnO ile karşılaştırıldığında, geliştirilmiş kırılma indisi, sönme katsayısı ve $Zn_{0.95}Mn_{0.05}$O, $Zn_{0.90}Mn_{0.05}Fe_{0.05}$O ve $Zn_{0.90-x}Mn_{0.05}Fe_{0.05}Al_x$O ince filmlerinin optik dielektrik içerikleri gözlendi.

Yaptığımız çalışmada elde ettiğimiz ince filmlerin elektiksel özellikleri incelendiğinde tüm numunelerin n tipi iletkenliğe sahip olduğunu ve yarı iletken davranış gösterdiğini ortaya koymaktadır. N-tipi elektriksel iletkenlik ve iletkenlikteki değişkenlik, kristalite/tane büyüklüğünün yanı sıra katkı seviyesine ve tipine (Mn, Fe ve Al) bağlı olarak bulunmuştur. Ferromanyetik tepkide gözlenen artış, Mn, Fe ve Al 'nin katkılandırılmasına bağlı olarak, F merkezli manyetik bağ polaron 'una yol açan oksijen boşluk konsantrasyonlarına bağlandı.

Numunulerin manyetik özellikleri incelendiğinde en yüksek mıknatıslanma özelliğini x=0.03 Al katkı seviyesi olan numunenin gösterdiği gözlenmiştir. ZFMO numunesinin ferromanyetik tepkisi, ZMO numunesininkinden daha yüksektir. Bu, daha yüksek manyetik momente bağlanabilir. Mn^{2+} iyonundan Fe^{2+} ve ZnO 'da Mn ve Fe 'nin birlikte katkılı durumunda daha fazla oksijen boşluğu oluşumu (bakınız Şekil 4f), ZnO 'da Mn katkısından daha büyük olasılıkla Fe ve Mn koordinasyonu Zn 'den daha yüksek olabilir. Al 'nin ZMFO sisteminde katlandırılması muhtemelen tüm örnekler arasında en yüksek oksijen boşluğu konsantrasyonunun oluşmasına yol açar, bu da x=0,03 'ü Al katkı oranı ZMFO sistemindeki, en yüksek ferromanyetik düzeyde olduğu açıklamaktadır

Gözlenen sonuçlar, daha önce çalışılmış olan $Zn_{0.90-x}Mn_{0.05}Fe_{0.05}Al_x$O (x=0.01, 0.03 ve 0.05) yapının, kırılma indisi, soğurma katsayısı, dielektrik sabiti ve oda sıcaklığı ferromanyetizması ile uyumluluk görtermiştir. Bu sonuçlar, çalışmamızın en önemli kısmını teşkil eder ve endüstriyel olarak optoelektronik, spintronik ve bellek uygulamaları için çok ilgi çekicidir.

KAYNAKLAR

ANTONİO, T., NOUSHİN, N., HONGJUN, C., ANNA, S.W. and MARCO, R. 2016. Ultra- rapid synthesis of highly porous and robust hierarchical ZnO films for dye sensitized solar cells, Sol. Energy 136:553–559.

ASHRAF, R., RİAZ, S., BASHİR, M., KHAN, U. and NASEEM, S. 2014. Structural and magnetic properties of Mn/Fe co-doped ZnO thin films prepared by sol–gel technique, IEEE Trans.Magn. 50:2401204.

ASHOKKUMAR, M. and MUTHUKUMARAN, S. 2015. Electrical, dielectric, photoluminescence and magnetic properties of ZnO nanoparticles co-doped with Co and Cu, J. Magn. Magn. Mater. 374:61–66.

ATİQ, S., SİDDİQİ, S.A., ABBAS, F., SALEEM, M. and RAMAY, S.M. 2013. Carriers- assisted enhanced ferromagnetism in Al-doped ZnMnO nano-crystallites, Chin. J. Chem. Phys. 26(2013) 457–461.

CAO, P., BAİ, Y., ZHAO, D.X. and SHEN, D.Z. 2011. The effect of Al3+ co-doping on the structural, magnetic and optical properties of ZnCoO thin films, Mater. Sci. Semicond. Proc. 14:73–77.

GÖKTAS, A., MUTLU, I.H. and YAMADA, Y. 2013. Influence of Fe-doping on the structural, optical, and magnetic properties of ZnO thin films prepared by sol–gel method, Superlattice Microstruct. 57:139–149.

GÖKTAŞ, A., TUMBUL, A. and ASLAN, F. 2016. Grain size-induced structural, magnetic and magnetoresistance properties of Nd0.67Ca0.33MnO3 nanocrystalline thin films, J. Sol-Gel Sci. Technol. 78:262–269.

GÖKTAS, A., ASLAN, F., TUMBUL, A. and GUNDUZ, S.H. 2017.Tuning of structural, optical and dielectric constants by various transition metal doping in ZnO:TM (TM=Mn, Co, Fe) nanostructured thin films: a comparative study, Ceram. Int. 43:704-713.

GÖKTAS, A., MUTLU, I.H., YAMADA, Y. and CELİK, E. 2013. Influence of pH on the structural optical and magnetic properties of Zn1−xMnxO thin films grown by sol–gel method, J.Alloy. Compd. 553:259–266.

GÖKTAS, A., ASLAN, F., YASAR, E. and MUTLU, I.H. 2012. Preparation and characterisation of thickness dependent nano-structured ZnS thin films by sol–gel technique, J. Mater. Sci: Mater. Electron. 23:1361–1366.

GÖKTAS, A. and MUTLU, İ.H. 2016. Structural, optical, and magnetic properties of solutionprocessed co-doped ZnS thin films, J. Elect. Mater. 45:5709–5720.

GÖKTAS, A., ASLAN, F. and TUMBUL, A. 2015. Nanostructured Cu-doped ZnS polycrystalline thin films produced by a wet chemical route: the influences of Cu doping and film thickness on the structural, optical and electrical properties, J. Sol-Gel Sci. Technol. 75:45–53.

GÖKTAS, A., ASLAN, F., YEŞİLATA, B. and BOZ, İ. 2018. Physical properties of solution processable ntype Fe and Al co-doped ZnO nanostructured thin films: role of Al doping levels and annealing, Mater. Sci. Semicond. Proc. 75 :221–233.

GÖKTAS, A. 2018. High-quality solution-based Co and Cu co-doped ZnO nanocrystalline thin films: comparison of the effects of air and argon annealing environments, J. Alloy. Compd. 735:2038–2045.

GÜNGÖR, T. and SAKA, B. 2004 Fast and interference fringe independent optical

characterization of zinc oxide nano thin films using model-based genetic algorithm for optoelectronic applications, Thin Solid Films 467:319–325.

HE, H.-Y., HUANG, J.-F., FEİ, J. and LU, J. 2015. La-doping content effect on the optical and electrical properties of La-doped ZnO thin films, J. Mater. Sci: Mater. Electron. 26:1205–1211.

HSİEH, P.T., CHEN, Y.C., KAO, K.S. and WANG, C.M. 2008. Luminescence mechanism of ZnO thin film investigated by XPS measurement, Appl. Phys. A 90:317–321.

KAYANİ, Z.N., KAUSAR, T., RİAZ, S. and NASEEM, S. 2017. Effect of aluminum doping concentration on optical, magnetic and microstructural properties of MnZnO thin films, Optik 144:172–179.

KHAN, R., FASHU, S. and REHMAN, Z.U. 2017. Structural, dielectric and magnetic properties of (Al, Ni) co-doped ZnO nanoparticles, J. Mater. Sci: Mater. Electron. 28:4333–4339.

KUMAR, V., SİNGH, F., NTWAEABORWA, O.M. and SWART, H.C. 2013. Effect of Br+6 ions on the structural, morphological and luminescent properties of ZnO/Si thin films, Appl. Surf. Sci. 279:472–478.

KUO, S.-Y., CHEN, W.-C., LAİ, F.-I., CHENG, C.-P., KUO, H.-C., WANG, S.-C. and HSİEH, W.-F. 2006. Effects of doping concentration and annealing temperature on properties of highlyoriented Al-doped ZnO films, J. Cryst. Growth 287:78–84.

MİMOUNİ, R., KAMOUN, O., YUMAK, A., MHAMDİ, A., BOUBAKER, K., PETKOVA, P. and AMLOUK, M. 2015. Effect of Mn content on structural, optical, opto-thermal and electrical properties of ZnO:Mn sprayed thin films compounds, J. Alloy. Compd. 645:100–111.

MOTAUNGA, D.E., KORTİDİSE, I., PAPADAKİE, D., NKOSİB, S.S., MHLONGOA, G.H., WESLEY-SMİTHA, J., MALGASC, G.F., MWAKİKUNGAA, B.W., COETSEED, E., SWARTD, H.C., KİRİAKİDİSE, G. and RAYA, S.S. 2014. Defect- induced magnetism in undoped and Mn-doped wide band gapzinc oxide grown by aerosol spray pyrolysis, Appl. Surf. Sci. 311:14–26.

POLAT, E.G. 2009. Sol-Jel Yöntemi İle Bakır Ve Kalay Katkılı Zno İnce Filmlerin Üretilmesi, Optik Ve Mikroyapısal Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

RAVİCHANDRAN, K., KARTHİKA, K. and SAKTHİVEL, B.2014. Tuning the combined magnetic and antibacterial properties of ZnO nanopowders through Mn doping for biomedicalapplications, J. Magn. Magn. Mater. 358:50–55.

SAJİD SHAFİQ, M., FURQAN, M., ATİQ, S., SALEEM, M., RİAZ, S. and NASEEM, S. 2016.Carriers mediated magnetic and impedance spectroscopic analysis of sol–gel synthesized Zn0.95-xMnxFe0.05O ($0 \leq x \leq 0.05$) DMSs, J. Sol-Gel Sci. Technol. 79:535–542.

SALEEM, M., SİDDİQİ, S.A., RAMAY, S.M., ATİQ, S. and NASEEM, S. 2012. Origin of ferromagnetism in Al and Ni co-doped ZnO based DMS materials, Chin. Phys. Lett. 29 (10):106103.

SARATH KUMAR, S.R., NEJİP HEDHİLİ, M., ALSHHAREEF, H.N., ASİVİSWANATHAN, S.K. 2010. Correlation of Mn charge state with the electrical resistivity of Mn doped indium tin oxide thin films, Appl. Phys. Lett. 97:111909 – 111911.

SCHMIDT, L., and MACMANUS, J.L., 2007. ZnO – Nanostructures, Defects and Devices. Materials today, 10:40-48.

SHARMA, M. and MEHRA, R.M. 2008. Effect of thickness on structural, electrical, optical and magnetic properties of Co and Al doped ZnO films deposited by sol–gel route, Appl. Surf. Sci. 255:2527–2532.

SİNDHU, H.S., SUMANTH JOİSHY, RAJENDRA, B.V., ASHOK RAO, MADHUSOODAN GAONKAR, KULKARNİ, SURESH D. and BABU, P.D. 2017. Tuning optical, electrical and magnetic properties of fiber structured ZnO film by deposition temperature and precursor concentration, Mater. Sci. Semicond. Proc. 68:97–107.

ŞENER, D. 2006. Sol-gel Yöntemiyle Hazırlanan Metal Oksit İnce Filmlerin Elektriksel, Yapısal Ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi.

WANG, L.W., WU, F., TİAN, D.X., Lİ, W.J., FANG, L., KONG, C.Y. and ZHOU, M. 2015.Effects of Na content on structural and optical properties of Na-doped ZnO thin films prepared by sol–gel method, J. Alloy. Compd. 623:367–373.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı **:** Mehmet YILDİRİM

Uyruğu : T.C

Doğum Yeri ve Tarihi : Ş.URFA/HİLVAN 03/03/1989

Telefon : 05538639663

E-mail : mehmetfzk@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı,	İlçe,	İl,	Bitirme Yılı
Lise	: Şanlıurfa	Haliliye	Şanlıurfa	2007
Üniversite	: Harran Üniversitesi	Haliliye	Şanlıurfa	2013
Yüksek Lisans	: Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Fizik Anabilim Dalı)		Şanlıurfa	2019

UZMANLIK ALAN: Katıhal Fiziği

YABANCI DİLLER: İngilizce

YAYINLAR

Uluslararası hakemli dergilerde yayınlanan makaleler

Y. BABUR, A.TUMBUL, M.YILDİRİM, ‘’Chemically derived $Zn_{0.90-x}Mn_{0.05}Fe_{0.05}Al_x$O thin films: Tuning of crystallite/grain size, optical and dielectric constants and ferromagnetic properties through Al substitutions.’’ Materials Science in Semiconductor Processing 84 (2018) 1–9.