



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**NANOYAPILARIN FOTOVOLTAİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Mehmet DAĞ

Fizik Anabilim Dalı

Katıhal Fiziği Programı

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Namık AKÇAY

Ocak, 2015

İSTANBUL

Bu çalışma 28/01/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı Katı Hal Fizîği programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi:



Yard. Doç. Dr. Namık AKÇAY (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Deniz DEĞER ULUTAŞ
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Ayşe EROL
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Serap GÜNEŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen Fakültesi



Yard. Doç. Dr. Gökhan ALGÜN
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliđinin 37239 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca göstermiş olduğu her türlü destek ve yardımlarından dolayı danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Namık AKÇAY'a en içten dileklerle teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarım boyunca yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Gökhan ALGÜN ve Araş. Gör. Dr. Neslihan ÜZAR KILIÇ'a teşekkür ederim. Yüksek lisans öğrenimim boyunca bana destek olan Prof. Dr. Nurten ÖNCAN ve Doç. Dr. Bayram DEMİR'e teşekkür ederim. Tez çalışmalarım yardımcı olan arkadaşlarım İsmail Fırat ARIKAN ve Recep Barış DALMAN'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca desteklerini benden esirgemeyen ve her zaman yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak, 2015

Mehmet DAĞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ	vii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	viii
ÖZET.....	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	3
2.1. FOTOVOLTAİK TEKNOLOJİ	3
2.1.1. Giriş.....	3
2.1.2. Güneş Enerjisi	4
2.1.3. Güneş Pilleri.....	6
2.1.3.1. Yarıiletkenler	6
2.1.3.2. <i>n</i> Tipi Yarıiletkenler	7
2.1.3.3. <i>p</i> Tipi Yarıiletkenler	8
2.1.3.4. <i>p-n</i> Ekleme	9
2.1.3.5. Gözenekli Silisyum ve Özellikleri.....	11
2.1.3.6. Metal Yarıiletken Kontaklar	13
2.1.4. Güneş pili çeşitleri	17
2.1.4.1. Kristal Silisyum Güneş Pilleri.....	17
2.1.4.2. İnce Film Güneş Pilleri	17
2.1.4.3. Çok Eklemlili Güneş Pilleri.....	18
2.1.4.4. Boya Duyarlı Güneş Pilleri.....	18
2.1.4.5. Organik Güneş Pilleri	18
2.1.4.6. Nanofotovoltaik Güneş Pilleri.....	19
2.2. NANOYAPILAR	21
2.3. SOL-JEL YÖNTEMİ.....	24

2.3.1. Sol-Jel ile İnce film Kaplama Metotları.....	26
2.3.1.1. Daldırma Kaplama.....	26
2.3.1.2. Döndürme Kaplama	27
2.3.1.3. Püskürtme ile Kaplama	28
2.3.1.4. Damlatma Kaplama	28
2.4. NANOYAPILARIN YAPISAL KARAKTERİZASYONU	29
2.4.1. Giriş.....	29
2.4.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	29
2.4.3. Enerji Dağılımlı Spektrometre (EDS).....	30
2.4.4. UV-Visible Spektrofotometre	31
2.4.5. X- Işını Kırınımı (XRD)	32
3. MALZEME VE YÖNTEM	34
3.1. ÇİNKO OKSİT VE ÇİNKO SÜLFÜR'ÜN ÖZELLİKLERİ.....	34
3.2. SOL-JEL YÖNTEMİ İLE NANOYAPILARIN SENTEZİ.....	35
3.3. GÖZENEKLİ SİLİSYUM ALTLIKLARIN HAZIRLANMASI.....	38
3.4. METAL / NANOYAPI / pSi / METAL EKLEMLERİN HAZIRLANIŞI	39
3.5. ELEKTRİKSEL VE FOTOVOLTAİK ÖLÇÜM DÜZENEGİ	40
4. BULGULAR	42
4.1. ZnO VE ZnS NANOYAPILARIN SEM, EDS, XRD SONUÇLARI.....	42
4.2. GÖZENEKLİ SİLİSYUM ALTLIKLARIN SEM ANALİZİ.....	48
4.3. ZnO VE ZnS NANOYAPILARIN ABSORBSİYON SONUÇLARI.....	50
4.4. METAL / NANOYAPI / pSi / METAL EKLEMLERİN ELEKTRİKSEL VE FOTOVOLTAİK KARAKTERİZASYONU	53
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	62
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ.....	72

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Güneş spektrumu.....	4
Şekil 2.2: Air Mass temsili gösterimi	5
Şekil 2.3: Yalıtkan (a), yarıiletken (b) ve iletkenlerde (c) enerji bant şeması.	7
Şekil 2.4: Antimon (Sb) katkılı silisyum.	8
Şekil 2.5: n tipi yarıiletkenin bant yapısı.	8
Şekil 2.6: Bor (B) katkılı silisyum.	9
Şekil 2.7: p tipi yarıiletkenin bant yapısı.	9
Şekil 2.8: p-n eklemi bant yapısı.	10
Şekil 2.9: Silisyumun anodizasyonu sırasında gerçekleşen tepkime adımları.....	12
Şekil 2.10: Metal / n tipi yarıiletken kontak öncesi bant diyagramı.	13
Şekil 2.11: Metal / n tipi yarıiletken doğrultucu kontağın enerji bant diyagramı.....	14
Şekil 2.12: Metal / n tipi yarıiletken omik kontağın enerji bant diyagramları, a) kontak öncesi, b) kontak sonrası.....	14
Şekil 2.13: Metal / p tipi yarıiletken kontak öncesi bant diyagramı.	15
Şekil 2.14: Metal / p tipi yarıiletken kontak sonrası bant diyagramı.....	16
Şekil 2.15: Metal / p tipi yarıiletken kontak öncesi bant diyagramı.	16
Şekil 2.16: Metal / p tipi yarıiletken kontak sonrası bant diyagramı.....	17
Şekil 2.17: Güneş hücresi eşdeğer devresi.	19
Şekil 2.18: Durum yoğunluğunun enerjiye göre değişiminin farklı boyutlardaki görünümü.....	23
Şekil 2.19: Sol-jel yöntemi ile farklı özelliklere sahip malzemelerin üretim adımları.	25
Şekil 2.20: Daldırma kaplama yönteminin şematik gösterimi.....	26
Şekil 2.21: Döndürme kaplama yönteminin şematik gösterimi.....	27
Şekil 2.22: Püskürtme ile kaplama yönteminin şematik gösterimi.....	28

Şekil 2.23: Damlatma kaplama yönteminin şematik gösterimi.	28
Şekil 2.24: Taramalı elektron mikroskopunun şematik gösterimi.	30
Şekil 2.25: Ardışık iki düzlemden X- Işınlarnın saçılması.	32
Şekil 3.1: (a) kübik zinc blende tipi örgü (b) hegzagonal wurtzite tipi örgü. (Wurtzite örgüde, molekülün temel birim atomları kırmızı dolu halkalarla ve primitif birim hücresi de yeşil hatlarla gösterilmiştir.)	34
Şekil 3.2: Elektrokimyasal işleminin deney düzeneği.	39
Şekil 3.3: Nanoyapılı film kaplı pSi.	40
Şekil 3.4: Alt ve üst kontaklı nanoyapılı film kaplı pSi.	40
Şekil 3.5: Elektriksel ve fotovoltaiik ölçüm düzeneği.	41
Şekil 4.1: Birinci sentez yoluyla üretilen ZnO nanoyapılarının farklı büyütmelede SEM görüntüleri.	42
Şekil 4.2: Birinci sentez yoluyla üretilen, bir yıl eskitilmiş ZnO nanoyapılarının SEM görüntüsü.	43
Şekil 4.3: Birinci sentez yoluyla üretilen ZnO nanoyapılarının EDS analizi.	44
Şekil 4.4: İkinci sentez yoluyla üretilen ZnO nanoyapılarının SEM görüntüsü.	45
Şekil 4.5: ZnS nanoyapılarının SEM görüntüsü.	46
Şekil 4.6: ZnS nanoyapılarının EDS analizi.	47
Şekil 4.7: ZnO çiçekli nanoyapıların XRD analizi.	48
Şekil 4.8: Gözenekli silisyumun SEM görüntüleri (a) üstten, (b) kesitten.	49
Şekil 4.9: Birinci sentez yoluyla üretilen ZnO nanoyapıların absorpsiyon grafiği.	50
Şekil 4.10: Birinci sentez yoluyla üretilen ZnO nanoyapıların absorpsiyon katsayılarının enerjiye bağıli değişimi.	51
Şekil 4.11: İkinci sentez yoluyla üretilen ZnO nanoyapıların absorpsiyon grafiği.	51
Şekil 4.12: İkinci sentez yoluyla üretilen ZnO nanoyapıların absorpsiyon katsayılarının enerjiye bağıli değişimi.	52
Şekil 4.13: ZnS nanoyapıların absorpsiyon grafiği.	52
Şekil 4.14: ZnS nanoyapıların absorpsiyon katsayılarının enerjiye bağıli değişimi.	53
Şekil 4.15: 2 kat ZnO küresel nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnO / pSi / Al ekleminin aydınlık (kırmızı) ve karanlıkta (siyah) J-V karakteristiği.	54
Şekil 4.16: 4 kat ZnO küresel nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnO / pSi / Al ekleminin aydınlık ve karanlıkta J-V karakteristiği.	54

Şekil 4.17: 8 kat ZnO küresel nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnO / pSi / Al eklemine aydınlık ve karanlıkta J-V karakteristiği.....	55
Şekil 4.18: Farklı kalınlıkta ZnO küresel nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnO / pSi / Al eklemine açık devre gerilimi kısa devre akım karakteristiği (2 kat ve 8 kat için Jx100 alınmıştır.).....	55
Şekil 4.19: 2 kat ZnO çiçekli nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnO / pSi / Al eklemine aydınlık ve karanlıkta J-V karakteristiği.....	56
Şekil 4.20: 4 kat ZnO çiçekli nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnO / pSi / Al eklemine aydınlık ve karanlıkta J-V karakteristiği.....	57
Şekil 4.21: 8 kat ZnO çiçekli nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnO / pSi / Al eklemine aydınlık ve karanlıkta J-V karakteristiği.....	57
Şekil 4.22: Farklı kalınlıkta ZnO çiçekli nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnO / pSi / Al eklemine açık devre gerilimi kısa devre akım karakteristiği.....	58
Şekil 4.23: 2 kat ZnS nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnS / pSi / Al eklemine aydınlık ve karanlıkta J-V karakteristiği.....	59
Şekil 4.24: 4 kat ZnS nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnS / pSi / Al eklemine aydınlık ve karanlıkta J-V karakteristiği.....	59
Şekil 4.25: 8 kat ZnS nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnS / pSi / Al eklemine aydınlık ve karanlıkta J-V karakteristiği.....	60
Şekil 4.26: Farklı kalınlıkta ZnS nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnS / pSi / Al eklemine açık devre gerilimi kısa devre akım karakteristiği. (8 kat için Jx5 alınmıştır.).....	60
Şekil 5.1: (a) ve (b) eskitme işlemi öncesi, (c) ve (d) eskitme işlemi sonrası örnekler.....	62
Şekil 5.2: İkinci sentez yoluyla üretilen ZnO çiçekli nanoyapılar.....	63
Şekil 5.3: ZnS nanoyapılar.....	63

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1: Gözenek boyutunun sınıflandırılması	12
Tablo 3.1: Birinci sentez aşamasıyla ZnO nanoyapıların üretim şeması.	36
Tablo 3.2: İkinci sentez aşamasıyla ZnO nanoyapıların üretim şeması.	37
Tablo 3.3: ZnS nanoyapıların üretim şeması.	38
Tablo 4.1: ZnO küresel nanoyapılı ince filmlerin güneş pili karakteristikleri.	56
Tablo 4.2: ZnO çiçekli nanoyapılı ince filmlerin güneş pili karakteristikleri.	58
Tablo 4.3: ZnS nanoyapılı ince filmlerin güneş pili karakteristikleri.	61

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
A	: Sabit
A_C	: Güneş Hücresi Yüzey Alanı
D(E)	: Durum Yoğunluğu
E	: Enerji
E_C	: İletkenlik Bandı
E_F	: Fermi Seviyesi
E_{Fm}	: Metalin Fermi Seviyesi
E_g	: Bant aralığı
E_V	: Valans Bandı
eV	: Elektron Volt
FF	: Dolum Faktörü
g	: Yerçekimi İvmesi
h	: Planck Sabiti
I	: Akım
I_D	: Diyot Akımı
I_O	: Ters Doyma Akımı
I_{SC}	: Kısa Devre Akımı
j	: Joule
J	: Akım Yoğunluğu
K	: Kelvin
nm	: Nanometre
P	: Güç
Pa	: Pascal
pSi	: p tipi Silisyum
q	: yük
R	: Direnç
V	: Potansiyel
V_{OC}	: Açık Devre Gerilimi
W	: Watt
W_a	: Arınmış Bölge Genişliği
Φ_m	: Metalin İş Fonksiyonu
Φ_s	: Yarıiletkenin İş Fonksiyonu
α	: Absorbsiyon Katsayısı
ρ	: Yoğunluk
Ω	: Ohm
°C	: Santigrad Derece
η	: Güneş Pili Verimi
ν	: Frekans

Kısaltmalar	Açıklama
AM	: Hava Kütlesi (Air Mass)
EDS	: Enerji Dağılımlı Spektrometre (Energy Dispersive Spectroscopy)
EPIA	: Avrupa Fotovoltaik Endüstri Birliği
HF	: Hidroflorik Asit
GW	: Gigawatt
PV	: Fotovoltaik (Photovoltaic)
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
UV	: Morötesi (Ultraviole)
VIS	: Görünür (Visible)
XRD	: X-Işını Kırınımı (X-Ray Diffraction)

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NANOYAPILARIN FOTOVOLTAİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mehmet DAĞ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Namık AKÇAY

Bu çalışmada Çinko sülfür (ZnS) ve n tipi Çinko oksit (ZnO) nanoyapılar sentezlenmiştir ve gözenekli p tipi silisyum (gözenekli-pSi) üzerine kaplanarak fotovoltaik özellikleri incelenmiştir.

Sentezlenen yapıların morfolojisi Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscopy, SEM) ile incelenerek nanoyapıda oldukları belirlenmiştir. Enerji Dağılım Spektroskopisi (Energy Dispersive Spectroscopy, EDS) analizi ile nanoyapıların bileşimi incelenmiş ve kusurlu yapıda oldukları anlaşılmıştır. UV-VIS Spektrofotometre (Ultraviole-Visible Spectrophotometer) ile absorpsiyon ölçümleri yapılmış ve bu ölçümleri kullanarak nanoyapıların yasak bant aralığının küresel ZnO için 3.11 eV, çiçekli ZnO için 3.12 eV ve ZnS için 3.64 eV olduğu hesaplanmıştır. Nanoyapılar, gözenekli p tipi silisyum altlık üzerine döndürme kaplama yöntemi ile farklı kalınlıklarda ince film olacak şekilde kaplanmıştır. Kaplandıktan sonra elektriksel ve fotovoltaik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçların karşılaştırılmasıyla, örneklerin fotovoltaik özelliklerinin film kalınlığına bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir.

Sonuç olarak ZnS ve n tipi ZnO nanoyapıları sol-jel metoduyla sentezlenip, fotovoltaik özellikler gösterdikleri belirlenmiştir.

Ocak 2015, 84 Sayfa.

Anahtar kelimeler: Nanoyapılar, güneş pili, sol-jel.

SUMMARY

M. Sc. THESIS

INVESTIGATION OF PHOTOVOLTAIC PROSPERTIES FOR NANOSTRUCTURES

MEHMET DAĞ

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Physics

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Namık AKÇAY

In this study, zinc sulphide (ZnS) and n type zinc oxide (ZnO) nanostructures have been synthesized and have been deposited on p type porous silicone to investigate the photovoltaic properties.

The morphology of the synthesized structures has been investigated via Scanning Electron Microscopy (SEM) and it is determined that the structures are in nanoscale. Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) has been used to investigate composition of the synthesized structures, and it is determined that they have defects. The absorption measurements have been performed by UV-VIS Spectrophotometer. Based on these absorption measurements, the band gaps of the nanostructures have been calculated 3.11 eV for spherical ZnO, 3.12 eV for flowers ZnO and 3.64 eV for ZnS. Nanostructures have been deposited to get thin films in different thicknesses by using spin coating method on porous p type silicone substrate. Thereafter, photovoltaic and electrical properties have been investigated. According to the obtained experimental results, it is determined that the photovoltaic properties of the sample depend on the film thickness.

Consequently, ZnS and n type ZnO nanostructures have been synthesized by Sol-gel method and then it is found that they have photovoltaic properties.

January 2015,84 Pages.

Keywords: Nanostructures, solar cell, sol-gel.

1. GİRİŞ

Çağımızdaki bilimsel ve teknolojik gelişmelerle beraber enerji ihtiyacı da hızla artmaktadır. Günümüzde ihtiyacımız olan enerjinin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtların kullanılması insan sağlığına ve çevreye zarar vermekle birlikte rezervleri de gün geçtikçe azalmaktadır. Bu sebeplerle birlikte artan enerji talebini de karşılamak amacıyla alternatif enerji kaynaklarına yönelim başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak da tanımlanan bu kaynakların başında güneş enerjisi gelmektedir. Güneş, temiz ve sürekli bir enerji kaynağıdır.

Güneş enerjisinden yararlanmak için kullanılan yöntemlerin başında fotovoltaik (PV) sistemler gelmektedir. PV sistemleri güneş enerjisinden elektrik üreten sistemler olarak tanımlayabiliriz. Bir PV sistemin en önemli elemanı genellikle güneş pili olarak isimlendirilir. Güneş pilleri üretiminde verime bağlı olarak maliyet büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple güneş pili üretiminde kullanılan yöntemler ve malzemeler çeşitlilik göstermektedir [1,2].

Güneş pili yapımında kullanılan malzemelerden biri de nanoyapılardır. Nanoteknolojinin gelişmesiyle nanoyapılar üzerinde yapılan araştırmalar da hızla artmaktadır. Nanoteknoloji maddenin yapısının, kullanılışlı ve özgün özelliklere sahip yeni malzeme ve cihazlar üretmek için kontrol edilmesine yönelik gelişmekte olan teknolojilere verilen isimdir. Nanoteknoloji, nano boyutlardaki yapıların ve bileşenlerinin fiziksel, kimyasal, biyolojik özellikleri değişen malzeme ve sistemlerle ilgilenir [3,4]. Birçok nanoyapılı malzeme fotovoltaik potansiyel uygulamaları için araştırılmaktadır. Nanoyapılı ince filmler fotovoltaik aygıtlarda geçirgen elektrot olarak, güneş pillerinde, akustik dalga cihazlarında ve boyaya duyarlı güneş pillerinde olmak üzere geniş bir uygulama alanı bulunmaktadır [2,5].

Bu tez çalışmasında II-VI grubu yarıiletken bileşiklerinden ZnS ve ZnO nanoyapıları sentezlenmiş ve sentezlenen ZnO ve ZnS nanoyapılar, gözenekli pSi üzerine döndürme kaplama yöntemiyle kaplanarak p-n eklemi oluşturulmuştur. Oluşturulan bu yapının fotovoltaik özellikleri incelenmiştir. Bu bileşiklerin sahip olduğu fiziksel özelliklerinden

dolayı çok geniş bir uygulama alanı vardır. Bu uygulamalara güneş pilleri, alan etkili transistörler, sensörler ve ledler örnek olarak verilebilir [6-12].

Kullanım alanlarının geniş olmasından dolayı bu tez çalışmasında II-VI grubu yarıiletken bileşiklerinden ZnS ve ZnO seçilmiştir.

ZnS ve ZnO nanoyapıları sentezlemek için birçok yöntem geliştirilmiştir [13]. Sol-jel, yaş kimyasal sentez, elektrokimyasal depolama, hidrotermal sentez, kimyasal buhar depolama, mikro emülsiyon, termal buhar biriktirme bu yöntemlerden bazılarıdır. Bu yöntemler arasında sol-jel, işlem kolaylığı, işlem maliyetinin kabul edilebilir olması, heterojen çekirdeklenme ve büyütme sürecinin daha kontrollü olması, oda sıcaklığında nanoyapıların sentezlenebilmesi gibi bir takım avantajlara sahiptir [14-16]. Bu tez çalışmasında ZnS ve ZnO nanoyapılar kimyasal bir yöntem olan sol-jel yöntemiyle sentezlenmiştir.

ZnS ve ZnO nanoyapıların sol-jel yöntemiyle sentezleme işlemi, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Nanoteknoloji Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Sentezlenen yapılar, taramalı elektron mikroskobu ile nanoyapıda olduğu belirlenmiş ve absorpsiyon ölçümleri yapılarak bant aralıkları hesaplanmıştır. Gözenekli pSi üzerine nanoyapılar kaplanarak oluşturulan örneklerden alüminyum (Al) kontaklar alınarak elektriksel ve fotovoltaik özellikleri belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasının Genel bilgiler kısmında fotovoltaik teknolojisi, güneş enerjisi, güneş pilleri, yarıiletkenler, Nanoyapılar, sol-jel yöntemi, sol-jel yöntemi ile ince film kaplama yöntemleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-Işını kırınımı (XRD) ve UV-VIS spektrofotometresi mekanizmaları hakkında genel bilgi verilmiştir.

Malzeme ve yöntem kısmında ZnS ve ZnO bileşiklerinin fiziksel özellikleri, sol-jel yöntemi ile nanoyapıların sentezi, elektrokimyasal aşındırma işlemi, elektriksel ve fotovoltaik ölçüm düzeneği hakkında bilgi verilmiştir.

Bulgular kısmında sol-jel yöntemi ile sentezlenen nanoyapıların SEM, EDS ve XRD ölçüm sonuçları verilmiştir. Absorpsiyon ölçümü yapılarak nanoyapıların bant aralığı hesaplanmıştır. Nanoyapılar ile kaplanan pSi örneklerinin elektriksel ve fotovoltaik ölçüm sonuçları verilmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. FOTOVOLTAİK TEKNOLOJİ

2.1.1. Giriş

Fotovoltaik teknoloji, üzerine foton düşürülerek aydınlatılan yarıiletkenlerden doğrusal akım üretilmesidir [17]. Fotovoltaik dönüşümle güneş enerjisinden doğrudan elektrik üreten sistemler fotovoltaik sistemler olarak adlandırılır. Bir PV sistemin en önemli elemanı olan fotovoltaik eleman (güneş hücresi, göze gibi) genel olarak güneş pili adı ile tanınır. Güneş pilleri birer dönüştürücüdür. Güneş pilleri, güneş enerjisini veya herhangi bir kaynaktan gelen ışığı anında elektrik enerjisine dönüştürür, enerjiyi depolamaz. Güneş pilleri ışığın taşıdığı enerjiyi fotovoltaik dönüşümle elektrik enerjisine çevirir [17,18].

Günümüzde PV pazarı, her yıl % 35-40 gibi, yüksek bir hızda ilerlemektedir. Güneş enerjisinin daha fazla yaygınlaşmasının önündeki en önemli engel üretim maliyetleridir. Ancak üretim hacmindeki büyüme, Ar-Ge çalışmaları sonucunda artan verim ve düşen üretim maliyetleri, fotovoltaik sistemlerin fiyatında düzenli bir düşüşe neden olmaktadır.

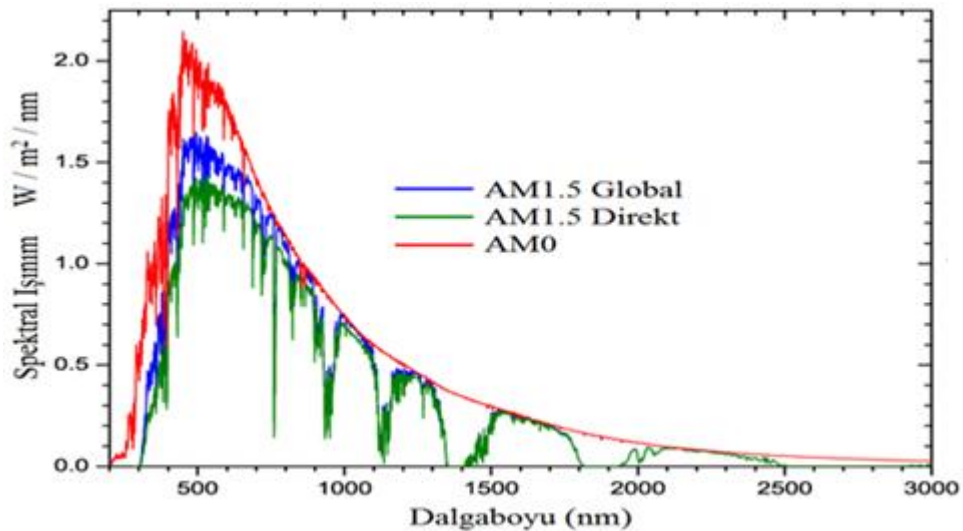
Avrupa Fotovoltaik Endüstri Birliği (EPIA) verilerine göre 2012 yılında panel kurulumuyla Almanya 7,6 GW ile fotovoltaik pazarda dünya lideridir. Onun ardından Çin (5 GW), İtalya (3,4 GW), ABD (3,3 GW) ve Japonya (2 GW) gelmektedir.2009'da 24 GW olan panel kurulumu 2011'de 71,1 GW'a ulaşmış ve 2012'de 100 GW'ı geçmiştir. Sadece 2012 yılında 31,1 GW fotovoltaik sistem kurulumu gerçekleştirilmiştir [19].

Fotovoltaik teknolojilerin önemi, fosil yakıtlarının, sonsuz enerji kaynağı olarak görüldüğü zamanlarda kuşkulu bir soru olmuştur. Ancak, petrol ve gaz fiyatlarındaki değişikliklerden kaynaklanan ekonomik düzensizlik ve çevreye olan zararın algılanmasındaki artışla birlikte, hemen hemen bütün sektörlerin fotovoltaik gelişmeye olan ilgisi artmıştır [1].

2.1.2. Güneş Enerjisi

Dünyadaki tüm enerji kaynakları doğrudan veya dolaylı olarak güneş kaynaklıdır. Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışıma enerjidir. Doğal ve sürekli bir füzyon reaktörü olan güneşin enerjisi 4 hidrojen atomunun 1 helyum atomuna dönüşmesi sırasında oluşan kütle farkından açığa çıkar. Güneşte her saniyede 564 milyon ton hidrojen 560 milyon ton helyuma dönüşmekte ve kaybolan 4 milyon ton kütlede ise 38×10^{22} kJ enerji açığa çıkmakta ve bu enerji ışınım şeklinde uzaya yayılmaktadır [17-19].

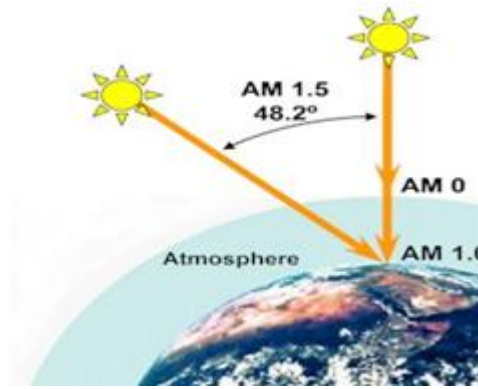
Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, yaklaşık olarak 1370 W/m^2 değerindedir. Diğer bir deyişle hava kürenin dışında, güneş ışınlarına dik bir metrekare alana saniyede gelen güneş enerjisi 1370 W/m^2 değerindedir. Bu sayı güneş sabiti olarak bilinir. Ancak yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferden dolayı $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişmektedir [17-19]. Dünya ile güneş arasındaki mesafe yaklaşık 150 milyon km'dir. Dünyaya güneşten gelen enerji, Dünyada bir yılda kullanılan enerjinin 20 bin katıdır. Dünyaya gelen güneş enerjisi, farklı dalgalı boylarında ışınlardan oluşur. Bu ışınların dağılımına şekil 2.1'deki grafikten bakıldığında % 9'u mor ötesi bölgede, % 45'i görünür bölgede ve % 46'sı da kırmızı altı bölgesinde yer alır.



Şekil 2.1: Güneş spektrumu¹.

¹<http://pveducation.org/pvcdrom/appendices/standard-solar-spectra>.

Dünya yüzeyine gelen güneş ışığına atmosferik koşullar etki eder. Atmosferik koşulların dünya yüzeyine gelen güneş ışığını etkileme oranı şekil 2.2’de gösterilen hava kütle (Air Mass-AM) koşulu ile tanımlanır. Dünya atmosferi dışındaki güneş ışığı spektrumu AM0 olarak adlandırılır. Güneş tam tepede iken dünya atmosferinden geçerek yeryüzüne ulaşan güneş ışığı spektrumu AM1, güneşin dünyanın tepesi ile 48° lik açı yapmasıyla yeryüzüne ulaşan güneş ışığının spektrumu da AM1.5 olarak adlandırılır [17,20-22]. AM(X), $X>0$ için $X=(\cos\theta)^{-1}$ ile tanımlanır.



Şekil 2.2: Air Mass temsili gösterimi¹

AM koşullarındaki farklar güneş ışığının atmosfere farklı açılarda gelmesi dolayısıyla ışığın farklı yollar kat etmesiyle ışınların farklı oranlarda saçılması ve soğurulmasından kaynaklanmaktadır. Güneş enerjisinin kullanımında ışınım verileri büyük önem taşımaktadır [17,22].

Güneş enerjisinden yararlanmak için kullanılan teknolojiler yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte iki ana gruba ayrılabilir. Bunlardan birincisi dolaylı yöntemde diyebileceğimiz güneşten ısıl yöntemle elektrik üretimidir. Bu yöntemde, mercekler vasıtasıyla toplama ya da parabolik aynalar vasıtasıyla yansıtma yoluyla, suyun yoğunlaştırılmış güneş ışınlarıyla ısıtılıp buhar elde edilmesine dayanmaktadır. Fotovoltaik sistemlerden farklı olarak, ek donanıma yani elektrik üretimi gerçekleştiren bir buhar türbinine ihtiyaç vardır. Bu sebeplerle maliyeti fotovoltaik sistemlerinkinden yüksektir. Buna karşın verimi ortalama bir kat daha fazladır [17,22].

¹http://solarwiki.ucdavis.edu/The_Science_of_Solar/Solar_Basics/B._Basics_of_the_Sun/V._Air_Mass.

İkinci grup ise doğrudan yöntem olarak adlandırılan fotovoltaik yapılar (güneş pilleri) kullanarak güneş ışığından elektrik üretimidir [17-19,22]. Bu tez çalışmasında güneş ışığından doğrudan elektrik üretimi için fotovoltaik yapılar üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

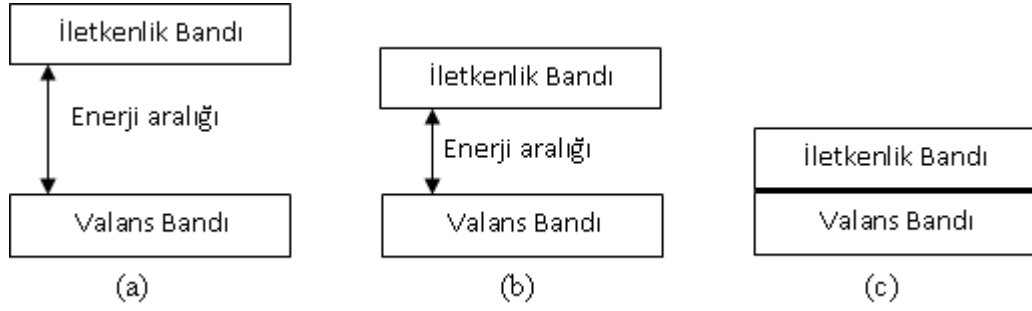
2.1.3. Güneş Pilleri

Güneş pilleri, genel olarak yüzeylerine gelen güneş ışınımını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerden tasarlanan yapılardır. Güneş pillerinin çalışması fotovoltaik ilkeye dayanır, yani üzerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. İlk kez 1839 yılında Becquerel, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğunu gözlemleyerek fotovoltaik etkiyi bulmuştur. Benzer etkilerin 1877'de Adams ve Day tarafından selenyumda gözlemlenmiştir. Güneş pillerinin çalışmalarının gelişimi özellikle 1970'li yıllarda hız kazanmıştır [17-22].

Güneş pillerinin yapısı p tipi ve n tipi iki yarıiletkenin bir araya getirilmesiyle oluşturulan p-n eklemi, yani diyot şeklindedir [22]. Yarıiletkenlere giren ışığın yeterli düzeyde enerji taşıyan fotonlarının, kristalin n ve p bölgelerinde serbestleştirdikleri yük taşıyıcılar, diyotun p-n kavşağında oluşan elektrik alanı etkisiyle ayrılarak diyot uçları arasında bir gerilim oluştururlar. Diyot uçları herhangi bir elektrik tüketicisiyle (ampül gibi) yüklendiğinde ise diyottan akım çekilir ve böylece ışık olarak kristalde soğurulan enerji elektrik enerjisine dönüşerek kullanılır [17,22].

2.1.3.1. Yarıiletkenler

Yarıiletkenler, öz dirençleri bakımından yalıtkanlar ile iletkenler arasındaki maddelerdir. Oda sıcaklığında iyi bir metalin öz direnci $10^{-6} \Omega\text{cm}$ mertebesinde olmasına rağmen, yarıiletkenlerin, oda sıcaklığında öz dirençleri $10^{-3} \Omega\text{cm}$ ile $10^6 \Omega\text{cm}$ arasındadır. Yalıtkan maddelerin öz dirençleri ise $10^{12} \Omega\text{cm}$ mertebesinde [23]. Mutlak sıfırda saf yarıiletkenlerde serbest yük taşıyıcısı bulunmamaktadır, yani valans bandı elektronlarla tam olarak doldurulmuştur ve iletkenlik bandında serbest elektron bulunmamaktadır. Bant aralığının büyüklüğüne göre şekil 2.3'de de görüldüğü gibi maddeleri iletken, yalıtkan ve yarıiletken olarak sınıflandırılır [23-25].



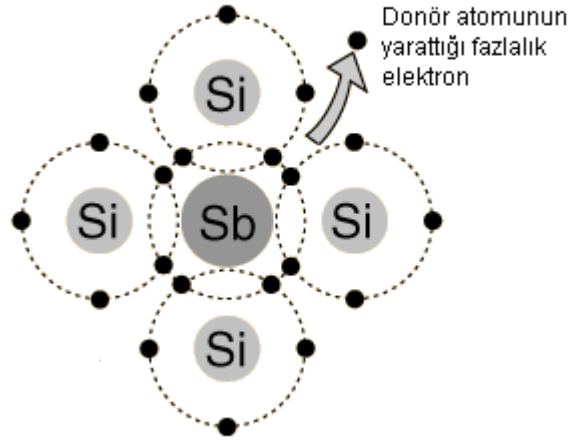
Şekil 2.3: Yalıtkan (a), yarıiletken (b) ve iletkenlerde (c) enerji bant şeması.

Yarıiletken malzeme içerisine, az miktarda ve uygun olarak seçilmiş yabancı atom katılanması ile yarıiletkenin elektriksel özellikleri önemli ölçüde değiştirilebilir. Saf yarıiletkenin yapısal özelliklerini bozmayacak miktarda ve denetimli bir biçimde yarıiletken kristale yabancı atom yerleştirilmesi işlemine *katılama* adı verilir [23-25]. Katılama n tipi ve p tipi olmak üzere iki çeşittir.

2.1.3.2. n Tipi Yarıiletkenler

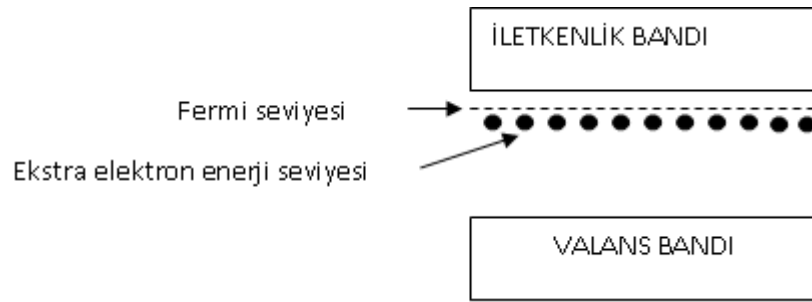
Saf silisyum kristalinde en dış yörüngedeki dört elektron, komşu atomlarla olan durumunu belirler. Değerlik elektronları da denilen bu dört elektronun her biri, en yakındaki dört silisyum atomu ile bağ yaparak silisyum kristalindeki temel yapıyı oluşturur.

Saf silisyum kristali içerisine değerlik elektron sayısı beş olan antimon (Sb) atomu katılınırsa, antimon atomunun dört elektronu silisyum atomu ile bağ yapacak ve bir elektronu açıkta kalacaktır. Antimon atomuna çok zayıf bağlı olan bu elektron çok küçük bir enerji ile atomundan ayrılarak silisyum kristalinin iletkenlik bandına çıkacaktır. Katıldığı kristal yapıya elektron veren safsızlık atomlarına *donör (verici)* denir. Bu şekilde katılanmış yarıiletkenlerde elektriksel yük, iletkenlik bandında taşınır ve bu nedenle bu tür yarıiletkenler, *n tipi yarıiletken* olarak adlandırılır [23-27].



Şekil 2.4: Antimon (Sb) katkılı silisyum¹.

n tipi yarıiletkende çoğunluk taşıyıcıları elektronlar ve azınlık taşıyıcıları boşluklardır.

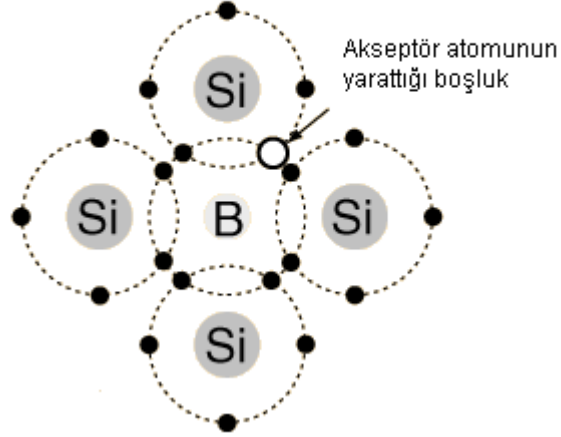


Şekil 2.5: n tipi yarıiletkenin bant yapısı.

2.1.3.3. p Tipi Yarıiletkenler

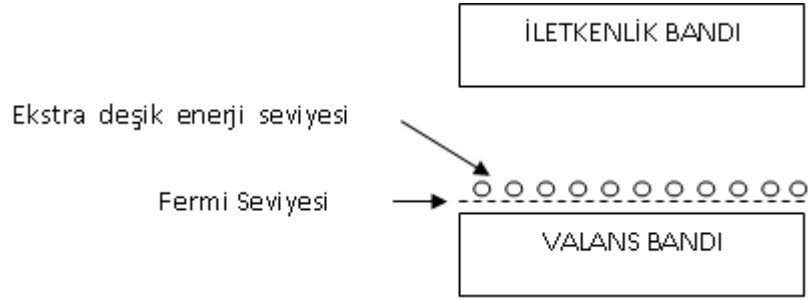
Saf silisyum kristali içerisine değerlik elektron sayısı üç olan bor (B) atomu katkılı olduğunda bor atomu silisyum kristalindeki üç atomla bağ yaparken dördüncü atomla paylaşacağı elektronu olmadığı için, bir eksik bağ ortaya çıkacaktır. Eksik olan bu bağı tamamlamak için kristalden bir elektron alacağından bu tür atomlara *akseptör* (*alıcı*) atomlar denir. Her alıcı atom kristalden bir elektron aldığı için kristalde artı yüklü boşlukların yoğunluğu artmış olur. Boşlukların çoğunlukta olduğu bu tür malzemeler *p tipi yarıiletken* olarak adlandırılır [23-27].

¹<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/solids/dope.html>.



Şekil 2.6: Bor (B) katkı silisyum.¹

p tipi yarıiletkende çoğunluk taşıyıcıları boşluklar ve azınlık taşıyıcıları elektronlardır.

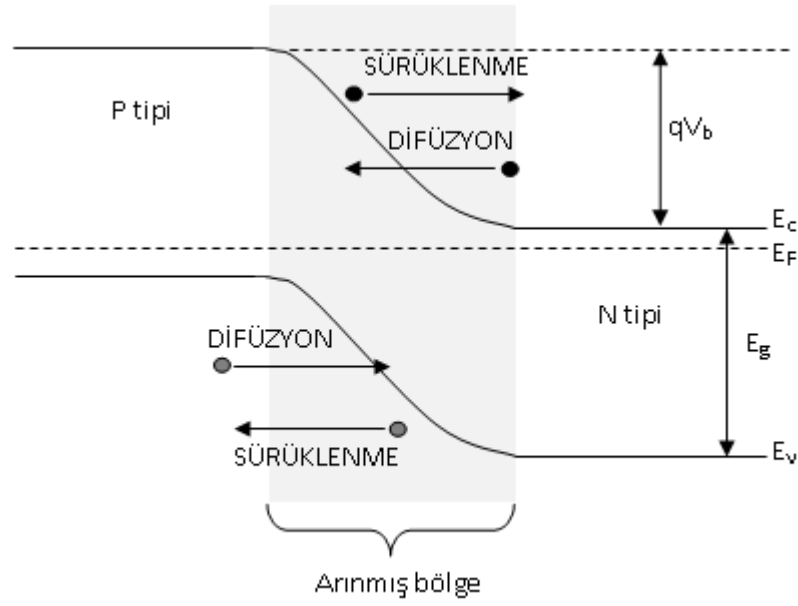


Şekil 2.7: p tipi yarıiletkenin bant yapısı.

2.1.3.4. p-n Eklemi

Güneş pili p-n eklemine dayalı bir aygıttır. Bir p-n eklemi tek kristalde iki farklı bölge oluşturularak elde edilir. Kristalin bir bölgesi alıcı atomlarla katkılandırılarak çoğunluk taşıyıcılarının boşluk türü olduğu bir p bölgesi oluşur. Diğer bölge verici atomlarla katkılandırılıp elektron türü taşıyıcıların çoğunlukta olduğu bir n bölgesi oluşur. Kesişim bölgesinden uzakta ve p tarafında eksi yüklü alıcı katkı iyonları ve buna eşit yoğunlukta boşluklar bulunur. n tarafında artı yüklü verici iyonlar ve buna eşit yoğunlukta serbest elektronlar vardır. Kısaca, p tarafındaki yük taşıyıcıları boşluklar ve n tarafında yük taşıyıcıları elektronlardır [23,25-26].

¹<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/solids/dope.html>.



Şekil 2.8: p-n eklemi bant yapısı.

p tarafında yoğunlaşmış olan boşluklar, kristal içinde düzgün bir dağılım oluşturmak için diğer bölgeye difüzyon yoluyla sızmak isterler. Benzer şekilde elektronlarda n tarafından sızmak isterler. Boşlukların p tipi bölgeyi terk etmesi ile geride eksi yükler kalırken elektronların n tipi bölgeden ayrılması ile geride artı yükler kalacaktır. Çoğunluk taşıyıcılarının eklem üzerindeki akışları, eklem hemen çevresindeki bölgeyi etkileyecektir. Geride kalan eksi ve artı yükler eklem geçiş bölgesinde bir iç elektrik alan oluşturur. İç elektrik alan azınlık taşıyıcıları eklem bir tarafından diğer tarafına süpürür, böylece p tipi yarıiletken n tipi yarıiletkene doğru elektronların, n tipi yarıiletken p tipi yarıiletkene doğru da boşlukların sürüklenme akımı oluşur.

Difüzyon süreci çoğunluk taşıyıcılarına etki ederken, iç elektrik alan azınlık taşıyıcılarına etki etmektedir. Difüzyon akımlarıyla sürüklenme akımları eşit ve birbirine zıt doğrultuda olduğundan termodinamik dengeye ulaşıldığında, eklemden geçen net akım sıfırdır. Termodinamik dengeye ulaşıldığında, şekil 2.8'de görüldüğü gibi p ve n bölgeleri boyunca Fermi seviyeleri aynı hizaya gelir. Elektrik alan taşıyıcıların her bir tipi için difüzyon akımına zıt yöndedir [25-27].

Termal dengede net bir akım olmayacağından, elektrik alandaki taşıyıcıların hareketin kaynaklanan sürüklenme akımı ile difüzyon akımı toplamı sıfır olmalıdır.

$$J_{p,n}(\text{sürüklenme}) + j_{p,n}(\text{difüzyon}) = 0 \quad (2.1)$$

2.1.3.5. Gözenekli Silisyum ve Özellikleri

Bu tez çalışmasında p-n eklemının p tipi bölgesi için elektrokimyasal olarak pSi'nin aşındırılmasıyla elde edilen gözenekli silisyum kullanılacaktır. Gözenekli Silisyum (GS), ilk kez 1956 yılında Bell laboratuvarlarında Uhlir tarafından tesadüfen hidroflorik (HF) asit içinde anodik gerilim altında silisyum yüzeyinde oluşturulmuştur [28,29].

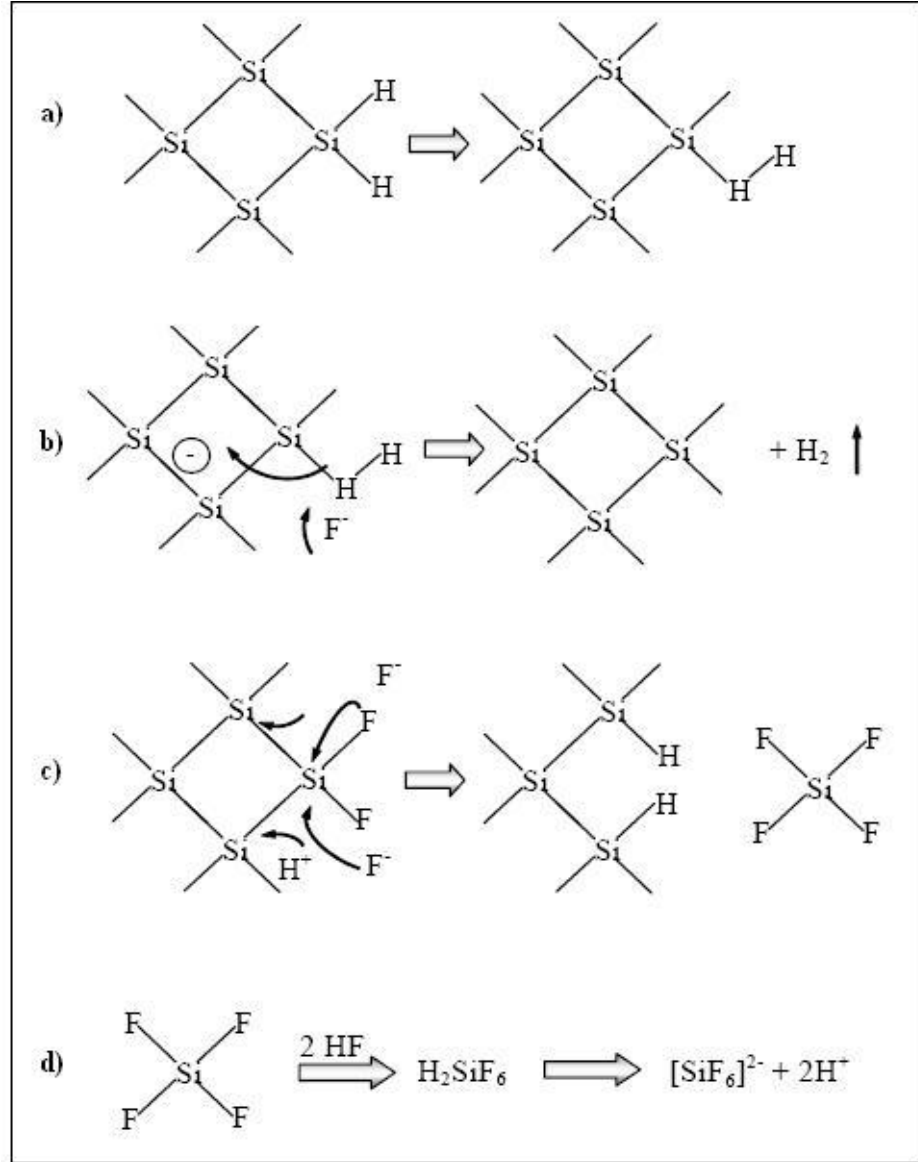
Gözenekli silisyum, tek kristal silisyuma HF asit içeren çözeltileri kullanarak Elektrokimyasal anodizasyon işlemi ile elde edilir. En önemli özelliği oda sıcaklığında görünür bölgede lüminesansa sahip olmasıdır. Yani gözenekli yapıda elde edildiğinde bant aralığının direkt olmasıdır. Gözenekli silisyum, hem n tipi hem de p tipi silisyumda üretilebilmektedir [28-31]. Gözenekli silisyum, $500 \text{ m}^2/\text{cm}^3$ gibi yüksek yüzey alanı / hacim oranına sahip olabilir [32].

Elektrokimyasal yöntem ile gözenekli silisyum oluşum mekanizmasında, anot olarak silisyum, katot olarak platin (Pt) elektrot, elektrolit olarak HF asit çözeltisi kullanılmaktadır. Potansiyel farkın uygulanmasıyla aşındırma işlemi gerçekleşmeye başlar. Bu anodizasyon işlemi sırasında silisyum yüzeyine uygulanan ışığın gözenekliliğe etkisi olduğu bilinmektedir [23,30,33].

Bir boşluğun silisyum yüzeyine ulaşmasıyla F^- (Flor) iyonları Si-H bağlarını kırarak Si-F bağı oluştururlar (şekil 2.9 (a),(b)), Si-F bağındaki Florun polarize etkisinden dolayı F^- iyonları da diğer Si yüzeylerine gelir ve H_2 gazı açığa çıkar (şekil 2.9 (c)). Si-F bağlarının oluşturduğu indüklenmiş polarizasyondan dolayı Si-Si bağlarındaki elektron yoğunluğu azalır ve Si-F yoğunluğu artar ve $\text{SiF}_6^{2-} + 2\text{H}^+$ tepkimesi oluşur (şekil 2.9 (d)) [34].

Silisyum direnci ve tipi, HF konsantrasyonu, aydınlatma, akım yoğunluğu ve işlem süresi gözenek oluşumunu etkileyen faktörlerdir. Akım yoğunluğunun belli bir değerin üstüne çıkması durumunda silisyum yüzeyinde oluşan GS tabakası kaldırılabilir.

Bu çalışmada ZnS ve n tipi ZnO nanoyapıların, silisyum üzerinde oluşan gözeneklere doldurularak nanoyapı - gözenekli pSi ara kesit yüzeylerinin arttırılması amaçlanmaktadır. Ayrıca gözenekli pSi, p-n eklemının p tipi kısmını oluşturacaktır.



Şekil 2.9: Silisyumun anodizasyonu sırasında gerçekleşen tepkime adımları [34].

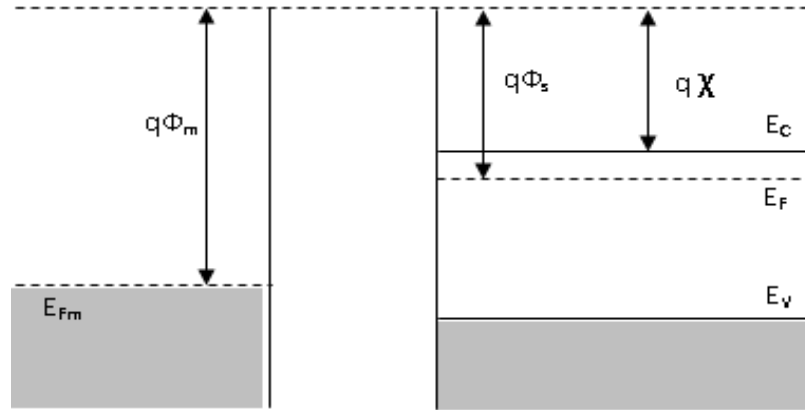
GS gözenek boyutuna göre sınıflandırılması tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Gözenek boyutunun sınıflandırılması [35].

Gözenek Genişliği (nm)	Gözenek Tipi
≤ 2	Mikro
2-50	Mezo
>50	Makro

2.1.3.6. Metal Yarıiletken Kontaklar

Tez çalışmasında p-n ekleminden Al metali ile kontak alınacaktır. Metal ile yarıiletkenin bir araya getirilmesiyle doğrultucu ve omik olmak üzere iki türde kontak elde edilir. Kontakların iki türde olmasının nedeni metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarının farklı değerlere sahip olmasıdır. Eğer Φ_m metalin iş fonksiyonu, Φ_s 'de yarıiletkenin iş fonksiyonu olarak ifade edilirse, metal ile n tipi yarıiletken kontaklar için $\Phi_s < \Phi_m$ olması durumunda *doğrultucu kontak* ve $\Phi_s > \Phi_m$ olması durumunda *omik kontak* oluşur. Metal ile p tipi yarıiletken için ise $\Phi_s < \Phi_m$ olması durumunda omik kontak ve $\Phi_s > \Phi_m$ olması durumunda doğrultucu kontak oluşur [26]. Metal ile n tipi yarıiletken kontaklar için $\Phi_m > \Phi_s$ olması durumunda metal / n tipi yarıiletken doğrultucu kontağı oluşur. Şekil 2.10'da kontak öncesi ve şekil 2.11'de kontak sonrası bant diyagramları gösterilmiştir. $q\chi$ ifadesi iletkenlik bandından bir elektronu vakum seviyesine çıkarmak için gerekli enerjidir.



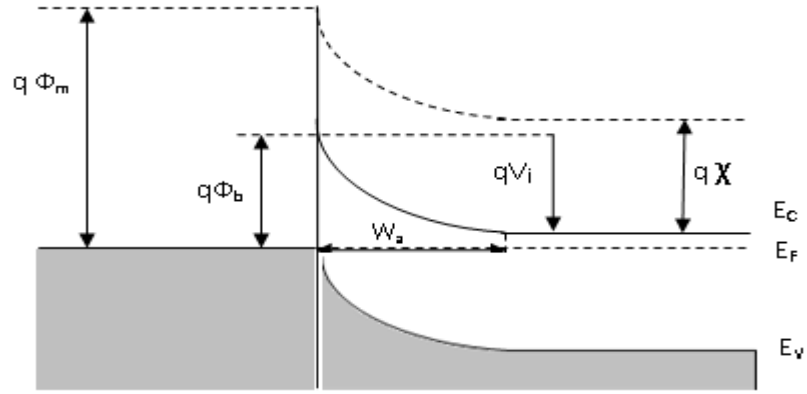
Şekil 2.10: Metal / n tipi yarıiletken kontak öncesi bant diyagramı.

Metal ve yarıiletken kontak haline getirildiğinde yarıiletkenin iletkenlik bandından elektronların metale geçmesiyle termodinamik denge kurulmuş olur ve Fermi seviyeleri eşitlenir. Bu elektronlar geride yarıiletken içerisinde pozitif yüklü donör safsızlık atomları bırakırlar. Bu yüzden elektronlardan temizlenmiş bölgeye karşılık gelen uzay yükü bölgesi metal yarıiletken ara yüzeyine yakın ve yarıiletken içerisinde meydana gelir. Bu arınmış bölgenin genişliği W_a ile gösterilir. Bu bölgedeki yükün büyüklüğüne eşit bir elektron yükü, metal-yarıiletken ara yüzeyinde metal tarafta oluşur. Böyle bir yük dağılımı genellikle *yüzey yükü* olarak adlandırılır. Uzay yükü bölgesinin varlığında ve Fermi seviyelerinin eşitlenmesinden dolayı yarıiletken taraftaki bant bükülmesi aşağıdaki ifade ile verilir.

$$qV_i = q(\Phi_m - \Phi_s) \quad (2.2)$$

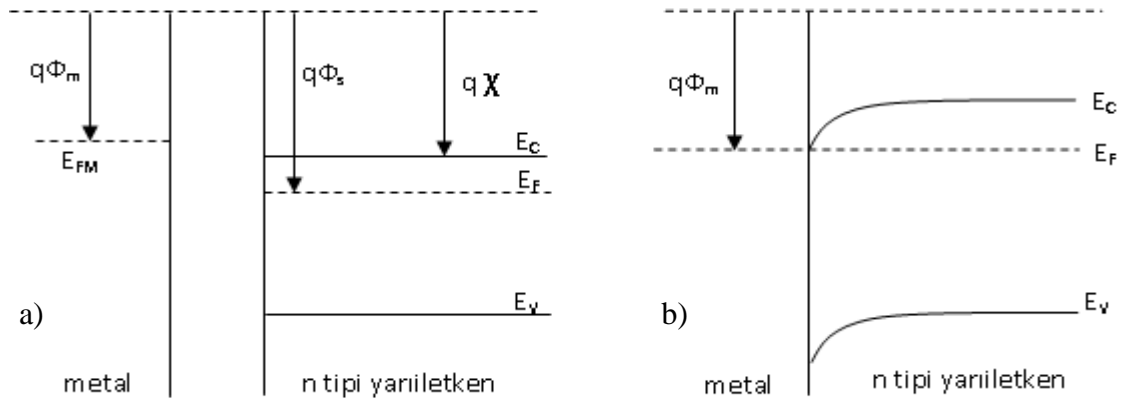
Bu bükülme daha fazla elektronun metale geçmesini engelleyen bir potansiyel engele “ V_i ” karşılık gelir. Diğer yandan metaldeki elektronlar Φ_b potansiyel engeliyle karşılaşır. Bu potansiyel engelin büyüklüğü aşağıdaki ifade ile verilir [26].

$$q\Phi_b = q(\Phi_m - \chi) = qV_i + (E_C - E_F) \quad (2.3)$$



Şekil 2.11: Metal / n tipi yarıiletken doğrultucu kontakın enerji bant diyagramı.

Metalin iş fonksiyonu Φ_m , yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s olmak üzere, metal ile n tipi yarıiletken kontaklar için $\Phi_m < \Phi_s$ olması durumunda metal / n tipi yarıiletken omik kontak oluşur. Kontakın akım – gerilim karakteristiği Ohm kanununa ($V = IR$) uymalıdır ve kontakın direnci mümkün olduğu kadar düşük olmalıdır. Şekil 2.12’de metal / n tipi yarıiletken, kontak öncesi ve kontak sonrası bant diyagramları gösterilmektedir.

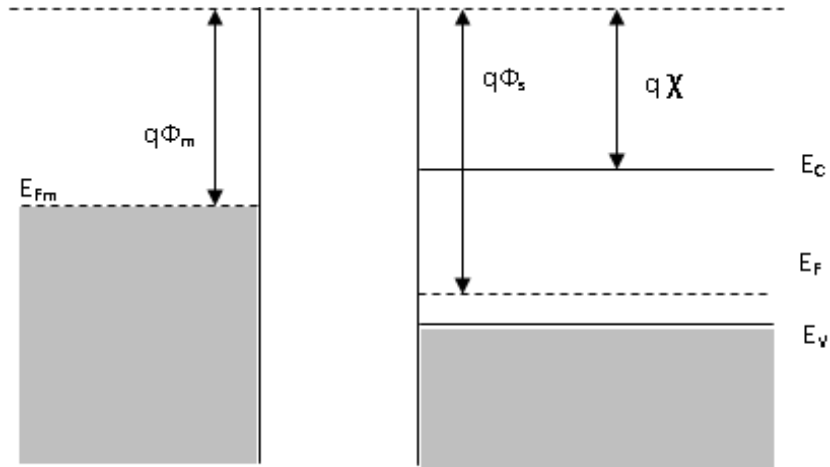


Şekil 2.12: Metal / n tipi yarıiletken omik kontakın enerji bant diyagramları, a) kontak öncesi, b) kontak sonrası.

$E_{FM} > E_F$ olup n tipi yarıiletkenin enerji bantları kontak civarında aşağı bükülür. Bant bükülmesinin büyüklüğü ve yarıiletken içerisinde uzanımı çok küçüktür. Sonuç olarak aslında metal ve yarıiletken arasında herhangi bir potansiyel engel yoktur ve elektronlar kontak boyunca serbestçe geçerler. Böyle bir kontak omik kontak türüdür [26,27,36].

Kontakt malzemesi olarak kullanılacak metalin seçiminde, metal ile yarıiletkenin iş fonksiyonlarına bakarak karar verilmelidir. Bu çalışmada üst kontakt yapımında, ZnS ve n tipi ZnO nano yapılarla omik kontakt yaptığı bilinen Al metali kullanılmıştır [37,38].

Metalin iş fonksiyonu Φ_m , yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s olmak üzere, metal ile p tipi yarıiletken kontaktlar için $\Phi_m < \Phi_s$ olması durumunda metal / p tipi yarıiletken doğrultucu kontaktı oluşur. Kontakt gerçekleştirilmeden önce yarıiletkenin Fermi seviyesi, metalin Fermi seviyesinden $\Phi_s - \Phi_m$ kadar aşağıdadır. Şekil 2.13’de kontakt öncesi ve şekil 2.14’de kontakt sonrası bant diyagramları gösterilmiştir.

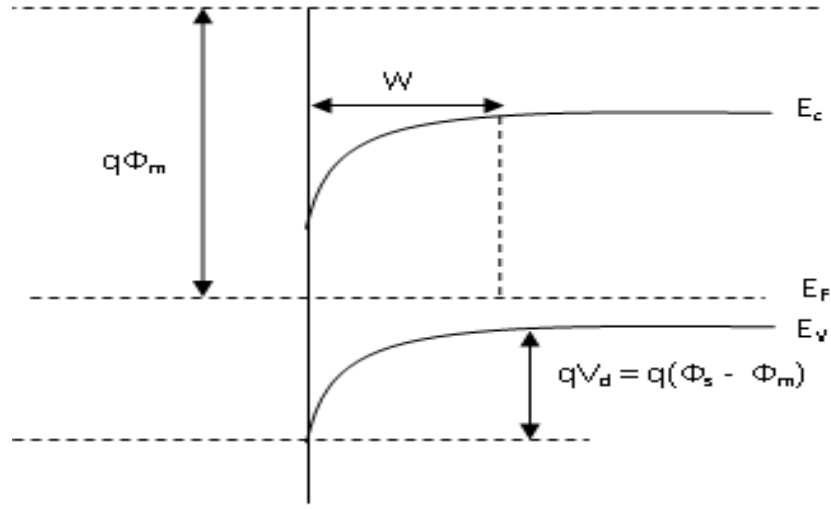


Şekil 2.13: Metal / p tipi yarıiletken kontakt öncesi bant diyagramı.

Kontakt yapıldıktan sonra yük alış-verişi meydana gelir. Metalin Fermi seviyesi ile yarıiletkenin Fermi seviyesi aynı seviyeye gelinceye kadar elektronlar metalden yarıiletkene doğru geçiş yaparlar. Bunun sonucunda yarıiletkenin yüzey tabakası negatif olarak yüklenir. Bu negatif yük tabakası iyonlaşmış alıcılar tarafından oluşturulur ve yük W kalınlığındaki uzay yük tabakası boyunca yayılır. Yarıiletken tarafındaki boşluklar için yüzey engeli;

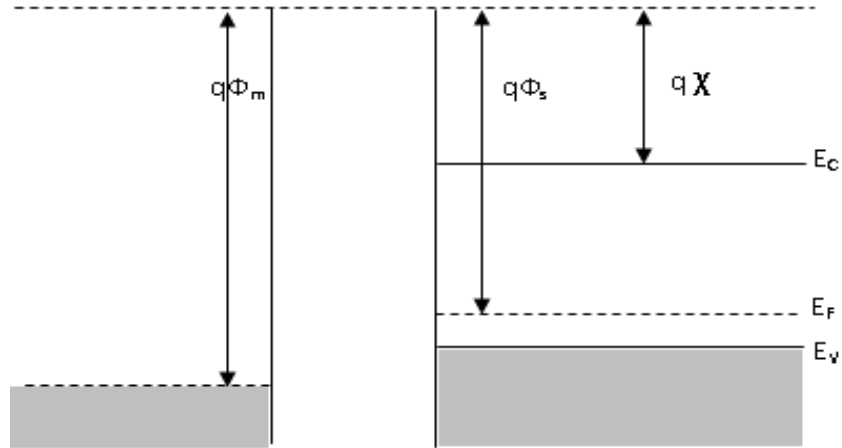
$$qV_d = q(\Phi_s - \Phi_m) \quad (2.4)$$

olur. Burada V_d difüzyon potansiyelidir.



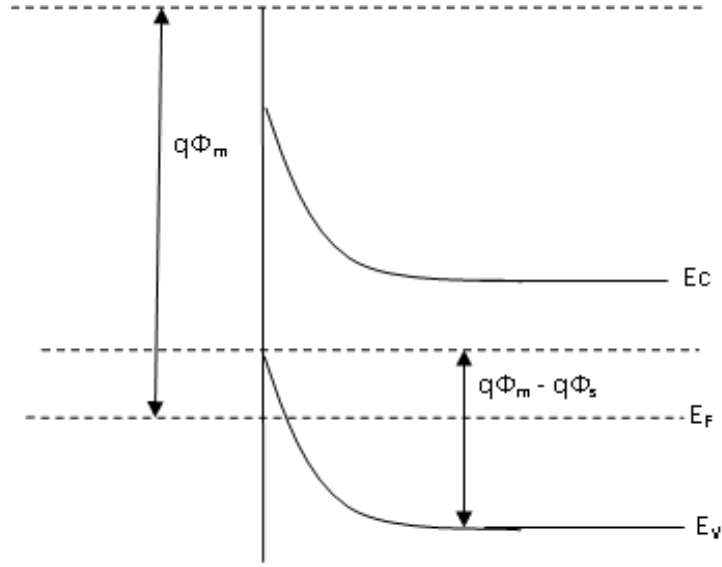
Şekil 2.14: Metal / p tipi yarıiletken kontak sonrası bant diyagramı.

Metal ile p tipi yarıiletken kontaklar için $\Phi_m > \Phi_s$ olması durumunda metal / p tipi yarıiletken omik kantağı oluşur. Yarıiletkenin Fermi seviyesi, metalin Fermi seviyesinden $\Phi_m - \Phi_s$ kadar üzerindedir. Şekil 2.15'de kontak öncesi ve şekil 2.16'da kontak sonrası bant diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 2.15: Metal / p tipi yarıiletken kontak öncesi bant diyagramı.

Kontak yapıldıktan sonra yük alış-verişi meydana gelir. Fermi seviyeleri eşit oluncaya kadar elektronlar, yarıiletkenden metale, yarıiletken tarafında boşluk bırakarak geçerler. Yarıiletkenden metale geçen elektronlar geride boşluk bıraktıkları için yarıiletken tarafında pozitif yüzey yüküne, metal tarafında ise negatif yüzey yüküne neden olurlar. Bu olay sonucunda yarıiletkendeki Fermi seviyesi $\Phi_m - \Phi_s$ kadar düşer [26,27,36,39].



Şekil 2.16: Metal / p tipi yarıiletken kontak sonrası bant diyagramı.

Bu çalışmada alt kontak yapımında pSi ile omik kontak yaptığı bilinen Al metali kullanılmıştır [40].

2.1.4. Güneş pili çeşitleri

2.1.4.1. Kristal Silisyum Güneş Pilleri

Güneş pili yapımında en çok kullanılan malzeme olan silisyum, yerkabuğunun %27'sini oluşturmaktadır. Silisyumu güneş pili olarak kullanabilmek için önce, silisyum saf kristal haline getirilmeli, sonra katkılama yapılarak p-n eklemi yani diyot yapısı elde edilmelidir. Katkılamanın ardından güneş pilinin üzerine yansıma engelleyici kaplama uygulanır. Bundan sonra yapılması gereken ön ve arka yüzeyden elektrik kontaklar olarak, pil tarafından üretilen akımı kullanmaktır. Kristal silisyum güneş piller 2009 yılında mevcut pazarın %80'nini oluşturan, güneş enerjisi pazarında önemli bir yeri olan teknolojilerdir. Kristal silisyum güneş pillerin verimi, yaklaşık %15 düzeyinden başlayıp, %23 düzeyine kadar ulaşır [17,19,22].

2.1.4.2. İnce Film Güneş Pilleri

İnce film güneş pilleri, üst üste yerleştirilen çok ince yarıiletken katmanlardan oluşur. İnce film güneş pilleri, farklı malzemeler bir araya getirilerek üretilir. Bu teknikte üretilen pillerde 100 kat daha az malzeme kullanılır ve üretilmeleri kolaydır. Malzeme olarak daha çok amorf silisyum, kadmiyum sülfür (CdS), kadmiyum tellür (CdTe), bakır indiyum galyum ve selenyum kullanılır. İnce film güneş pillerinde, gelen ışığın

sadece % 8-12'si elektriğe dönüştürülebilir. Bununla birlikte, ince film pillerin tasarımı oldukça ucuzdur. Bu durum sistem maliyeti olarak düşünüldüğünde oldukça büyük bir üstünlüktür [17,19,22].

2.1.4.3. Çok Eklemlı Güneş Pilleri

Çok eklemlı güneş pilleri, farklı bant aralıklarına sahip iki veya daha fazla yapı birleştirilerek, güneş ışınımının içerdiği farklı dalgalıboylarını kullanabilmesine dayanır. En iyi şekilde tasarlanmış çok eklemlı yapıların verimi günümüzde yaklaşık %43 seviyesine ulaşmıştır. Ancak bu yöntemle üretilen yapıların maliyeti yüksektir. Günümüzde, bu tip güneş pilleri daha çok uzay uygulamalarında kullanılır [17,19,22].

2.1.4.4. Boya Duyarlı Güneş Pilleri

1991 yılında Michael Gratzel tarafından geliştirilmiş, günümüze kadar meydana gelen gelişmelerle %11 laboratuvar verimliliğine ulaşılmıştır. Bu tip yapılar, genellikle silikon gibi, bir yarıiletken ve su gibi bir çözücü sıvı içerisinde eriyen tuzla oluşturulmuş bir iletim çözeltisi olan elektrolit sıvı içerir. Yarıiletken ve elektrolit, güneş ışınımı yapının üzerine ulaştığında, üretilen yakın bağılı elektron-boşluk çiftlerini ayırmaya çalışır. Yaygın olarak kullanılan boya rutenyumdur. Ayrıca, çoğunlukla titanyum dioksit (TiO₂) gibi nano malzemeler, boya moleküllerini iskelet gibi bir yapıda tutmak için kullanılır [17,19,22]. Boya duyarlı güneş pillerinin tasarım teknolojisi basit ve maliyetleri düşüktür.

2.1.4.5. Organik Güneş Pilleri

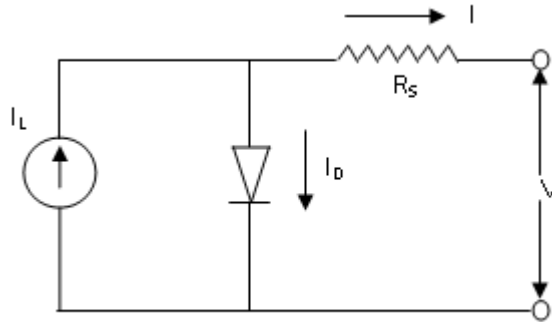
Yarıiletken polimerlerin kullanıldığı organik güneş pilleri Heeger, MacDiarmid ve Shirakawa'nın iletken polimerleri keşfinden ve geliştirmesinden sonra önemli bir araştırma konusu olmuştur. Organik güneş pillerinde, yeterli enerjiye sahip fotonlar, aktif katmanda bulunan elektron verici (donör) ve elektron alıcı (akseptör) malzemeler tarafından soğurular. Kullanılan donör malzemenin soğurma katsayısı daha yüksek olduğu için fotonların büyük bölümü bu malzeme yani polimer tarafından soğurular. Soğurulan fotonlar eksitonları oluşturur. Bu eksitonlar serbest yüklere dönüşerek ilgili elektrotlara ulaşır ve elektrik akımını oluşturur. Organik malzemelerden iletken polimer kullanılarak ulaşılan güncel en yüksek verim %11 civarındadır¹.

¹http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg.

Organik malzemelerin maliyetinin düşük olması ve işlenebilirliği sayesinde çok farklı yüzeylerde kullanılabilirler. Ancak verimleri ve kararlılıkları inorganik malzemelerden düşüktür. Ticari uygulamalarda kullanılabilmesi için, organik hücreler ve yapım malzemelerinin özelliklerinin iyileştirilmeleri gerekmektedir [17,19,22].

2.1.4.6. Nanofotovoltaik Güneş Pilleri

Nanofotovoltaik, ileri bir teknoloji ve 21. Yüzyılın fotovoltaik teknolojisidir. Nanomateryallerin; optik, elektronik ve kimyasal özelliklerinin çok iyi olması, pil veriminin artırılmasına olanak sağlar. Nanoparçacıklarının ve nanotellerin güneş pillerinde kullanılmasının birçok avantajı vardır. Bilindiği gibi güneş pillerinin verimliliğini azaltan unsurlardan biri, güneş ışığının hayli büyük bir kısmının güneş pillerini oluşturan yarıiletken tarafından soğurulmadan yansımadır. Bu sorunu çözmek için yansıma önleyici ince film kaplamalar geliştirilmiştir. Altlık yüzeyine dik hizalanmış nanoteller, yansıma kayıplarını en aza indirmek için yansıma önleyici kaplamalara bir alternatif olabilir. Silisyum altlıklar üzerine nanoteller üretildiğinde optik yansımaların %95 oranında azaldığı gözlenmiştir. Nano silikon yapıları güneş pilleri teknolojileri ile elektrik üretim verimi, diğer silikon yapıları teknolojilere göre %8-10 oranında artacaktır [17,19,22]. Bir güneş hücresi eşdeğer devresi şekil 2.17'de gösterilmiştir.



Şekil 2.17: Güneş hücresi eşdeğer devresi.

Bu devrede diyot akımı (I_D),

$$I_D = I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V + IR_S)}{nkT_C} \right) - 1 \right] \quad (2.5)$$

I_D diyot akımı, I_0 ters akım, I dış akım, I_L foton üretim akımı, k Boltzmann sabiti (1.38×10^{-23} J/K), T_c mutlak sıcaklık (K), q elektron yükü, n idealite faktörü, R_s seri direnç ve V oluşan gerilimdir.

Ters doyma akımı (I_0) ise,

$$I_0 = DT_c^3 \exp \frac{qE_g}{AkT_c} \quad (2.6)$$

A kesit alanı, D diyot yayma faktörü ve E_g malzemenin bant aralığı enerjisidir.

Bir fotovoltaik hücrenin, açık devre gerilimi (V_{oc}) ve kısa devre akımı (I_{sc}) olmak üzere sınırlayıcı iki bileşeni vardır. Bu iki bileşenin değeri, hücrenin yapıldığı maddeye ve güneş ışınım şiddetine bağlı olarak değişebilir. Kısa devre akımını belirleyebilmek için $V_g = 0$ ve $I_{sc} = I_{ph}$ olarak alınır. Açık devre gerilimini belirleyebilmek için, hücre akımı $I_g = 0$ alınır ve gerilimin aşağıdaki gibi elde edilir.

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left[\frac{I_{sc}}{I_0} \right] \quad (2.7)$$

$V_{mp} \times I_{mp}$ çarpımı en yüksek değerde olduğunda, bir fotovoltaik hücresi, en yüksek güç noktasıyla tanımlanabilir. En yüksek güç çıkışı aşağıdaki eşitliklerden türetilir.

$$\frac{d(V_g \times I_g)}{dt} = 0 \quad (2.8)$$

$$V_{mp} = V_{oc} - \frac{kT}{q} \ln \left[\frac{V_{mp}}{kT/q} + 1 \right] \quad (2.9)$$

$V_{mp} \times I_{mp}$ çarpımı, $V_{oc} \times I_{sc}$ çarpımına bağlı olan dolun faktörü (FF) ile orantılıdır. FF değeri, eklem kalitesi ve seri direncin bir ölçüsüdür. Fotovoltaik hücrenin daha kaliteli olması anlamına gelir.

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (2.10)$$

Fotovoltaik hücreler için en önemli nokta, hücrenin güç dönüştürme etkinliği olarak tanımlanan verim değeridir ve aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\eta = \frac{FF \times V_{oc} \times I_{sc}}{P_{in}} \quad (2.11)$$

Fotovoltaik hücre üzerine gelen ışık spektrumuna bağlı olarak gelen güç değeri, P_{in} olarak ifade edilmiştir. Fotovoltaik bir hücreden elde edilecek güç miktarı açık devre gerilimine (V_{oc}), kısa devre akımına (I_{sc}) ve dolum faktörü (FF) değişkenlerine bağlı olarak belirlenir.

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{\eta \times I_{sc} \times A_c}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (2.12)$$

Bir güneş pili, geniş bir gerilim (V_{max}) ve akım (I_{max}) aralığından çalışabilir. Güneş pillerinin en yüksek çıkış gücü (P_{max}), 2.12 eşitliğindeki değişkenlere bağlı olarak hesaplanabilir.

$$P_{max} = V_{max} \times I_{max} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (2.13)$$

Bir güneş pilinin verimi, güneş pilinin elektrik devresine bağlandığında, üzerine düşen güneş ışınımını, elektriksel güce dönüştürme etkinliği olarak tanımlanır. Verim ifadesi, P_{max} ifadesini kullanarak 2.11 eşitliğindeki gibi yazabiliriz.

$$\eta = \frac{P_{max}}{I_s \times A_c} \quad (2.13)$$

Bu eşitlikte A_c , güneş hücresi yüzey alanı ve I_s , güneş ışınım gücü (W/m^2) dür. Güneş pili verimi, standart test koşullarına bağlı olarak belirlenmelidir. Standart test koşulları, güneş pili sıcaklığı $25^\circ C$, $AM = 1.5$ güneş spektrumuna ve $1000 W/m^2$ güneş gücü olarak tanımlanır [17,18,22].

2.2. NANOYAPILAR

Nano Yunanca bir kelime olup, cüce anlamına gelmektedir ve herhangi bir fiziksel büyüklüğün bir milyarda biridir. Örneğin, nanometre, metrenin milyarda biri olup, bir nanometre yaklaşık 2-3 atomun yan yana dizilmesiyle elde edilen uzunluktur. Yaklaşık 100-1000 atom bir araya gelerek nano-ölçeklerde bir nesneyi oluşturur. Nano-ölçekli yapılan bilimsel çalışmalar nanobilim olarak adlandırılır. Uygulamaya dönük

nanobilime de nanoteknoloji denmektedir. Nanoteknoloji için daha kapsamlı bir tanım yaparsak, ‘malzemelerin, cihazların ve sistemlerin nano ölçekte şeklini ve ebatlarını kontrol ederek tasarımının, karakterizasyonunun, imalatının ve uygulamasının yapılmasına’ verilen isimdir [3,4,40,41].

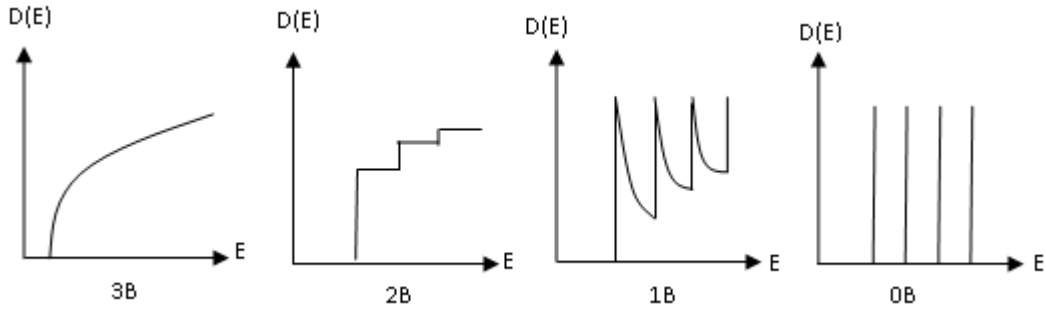
Nanoteknolojinin tarihçesi söz konusu olduğunda Richard Feynmann’ın 1959’da yaptığı bir konuşmaya atıfta bulunulur. Richard Feynmann ‘Aşağıda daha çok yer var’ başlıklı konuşmasında, eğer atom ve molekül büyüklüklerinde imalat yapılabilirse birçok yeni keşiflerin olabileceğini söylemiş, ayrıca böyle bir şeyin gerçekleşmesi için ilk başta nano ölçekte özel ölçme ve üretim yöntemlerinin gerçekleştirilmesi gerektiğini belirtmiştir [4,40,41]. Nanoteknoloji terimi ilk kez 1974 yılında Norio Taniguchi tarafından yayınlanan makalede “Nanoteknoloji temelde bir molekül ve atom yardımıyla maddelerin biçimini bozma, birleştirme ve ayırma işlemlerini içerir” ifadesiyle tanımlanmıştır [40-42].

Nanoteknoloji, nano ölçeklerde malzeme tasarlayıp üretmek, bu malzemelerden yeni yöntemlerle işlevlerini ve özelliklerini belirleyecek aygıt yapabilmek ve bu aygıtları günlük hayatımızda kullanılabilir hale getirmeyi amaçlar [40].

Nanoyapıların fiziksel davranışları daha büyük boyutlardaki yapılara kıyasla farklı özellikler gösterir. Boyutlar nanometre ölçeklerine yaklaştığında malzemenin fiziksel özellikleri kuantum mekaniğinin kontrolüne girmesiyle, elektron durumlarının fazı ve enerji spektrumunun kesikli yapısı daha belirgin hale gelmektedir. Malzemeyi oluşturan atom sayıları 100’ler düzeyine inince, atomsal yapının geometrisi, hatta atom sayısının kendisi bile fiziksel özelliklerin belirlenmesinde etken olmaktadır.

Nano-ölçeklerdeki bir yapıya yeni eklenen her atomun fiziksel özelliklerde neden olduğu değişiklikler, bu atomun cinsine, nanoyapıların türüne ve geometrisine bağlı olarak belirginleşir. Nano-ölçeklerde atomlar arası bağ yapısı değişikliğe uğrayabilmekte; mekanik olarak malzeme güçlenirken ya da zayıflarken, elektronik olarak iletkenlik özelliği tümüyle değişebilmektedir. Örneğin, yarıiletken olarak bilinen ve yeryüzünde en çok bulunan ikinci element olan silisyumdan yapılan bir telin çapı nanometreye yaklaşırken tel iletken bir karakter göstermektedir [40,41].

Malzemelerin boyutları serbest elektronların hareket sınırlamaları ile ilgilidir. Eğer serbest elektronlar üç yönde de hareket edebiliyorsa o zaman malzeme üç boyutlu (3B) yapı olarak adlandırılır. Katı maddeler ve bütün kristaller bu sınıftadır. Eğer serbest elektronlar sadece iki yönde hareket edebiliyorsa o zaman malzeme iki boyutlu (2B) yapıya sahip demektir. Kuantum kuyusu gibi yapılar iki boyutludur. Serbest elektronları tek yönde hareket kabiliyetine sahip olan malzemeler de bir boyutlu (1B) yapılar olarak adlandırılır. Nanotel, nanotüp gibi yapılar bu gruba girer. Serbest elektronların bulunduğu, ama yapının üç boyutlu sınırlı olması sebebi ile hareket kabiliyeti olmadığı yapılara da sıfır boyutlu (0B) yapılar denir. Nanotop ve kuantum noktalar bu sınıftadır. Malzemelerin boyutlarına göre durum yoğunluklarındaki değişme şekil 2.18’de görülmektedir.



Şekil 2.18: Durum yoğunluğunun enerjiye göre değişiminin farklı boyutlardaki görünümü [40].

Durum yoğunluğu kavramı taşıyıcıların yerleşebilecekleri mümkün durumların sayısını ifade eder. Malzemenin boyutu, taşıyıcıların dalgaboyu olan De Broglie dalgaboyu ile kıyaslanabilecek kadar küçüldüğünde kuantum etkisi ortaya çıktığından, durum yoğunluğu ifadesi değişir ve enerji kesikli değerler alır [43].

Nanoboyutta malzeme ‘yukarıdan-aşağıya’ ve ‘aşağıdan-yukarıya’ olmak üzere iki yöntemle üretilir. Yukarıdan-aşağıya yönteminde, malzeme makro boyuttayken çeşitli işlemlerden geçerek nanoboyuta indirgenir. Litografi, kuru aşındırma teknikleri ve anodizasyon gibi teknikler yukarıdan-aşağıya yöntemine örnek olarak verilebilir. Aşağıdan-yukarıya yönteminde ise atomlar veya moleküllerin dizilmesiyle nanoyapılar oluşturulur. Sol-jel, kimyasal çöktürme, kimyasal buhar biriktirme, kendiliğinden organize olma yöntemi ve moleküler ışın epitaksisi gibi teknikler aşağıdan-yukarıya yöntemine örnek olarak verilebilir [4,44].

Bu çalışmada ZnS ve n tipi ZnO nanoyapılar aşağıdan-yukarıya üretim yöntemlerinden olan sol-jel yöntemiyle sentezlenmiştir.

2.3. SOL-JEL YÖNTEMİ

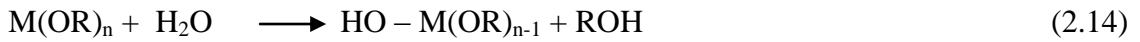
Sol, bir sıvı içerisinde katı parçacıkların koloidal süspansiyon halinde bulunması durumudur. Koloit, yer çekimi kuvvetinin ihmal edildiği ve Van Der Waals çekimlerinin ve yüzey yükleri gibi kısa aralıklı kuvvetlerin etkili olduğu, içinde dağılmış fazın çok küçük olduğu (1-1000nm) bir süspansiyondur.

Aerosol, gaz içerisinde parçacıkların koloidal süspansiyon olarak bulunması iken, emülsiyon ise sıvı damlacıkların bir başka sıvı içerisinde süspansiyon halinde bulunmasıdır. Tanımları yapılan bu koloit çeşitleri, polimer ve seramik malzemelerin üretilebileceği parçacıkların oluşturulmasında kullanılabilirler. Sol-jel yönteminde koloit hazırlanması için kullanılan başlangıç malzemeleri, çevreleri, çeşitli atom, iyon ve moleküllerle sarılmış olan metal veya metaloit elementleridir.

Bir molekül çözelti boyunca genişleyerek makroskobik boyutlara ulaştığında jeli oluşturmuş olur. Jel, katı ile sıvı faz arasında bir ara fazdır. Jelleşme noktası, dev molekülün tamamlanmasıyla son bağın oluşma zamanıdır. Bu nedenle jel, sürekli bir sıvı fazı çevreleyen sürekli bir katı iskeleti kapsayan sistemdir. Jele elastikliğini veren bu katı yapının sürekliliğidir. Jelin karakteristik özelliği belli bir bağ türüne sahip olmamasıdır. Polimerik jeller kovalent bağlarla, jelatin jeller zincirlerin dolanmasıyla ve parçacık jeller Van Der Waals kuvvetleri ile kurulur. Bağlar parçacık sistemlerde olduğu gibi tersinir, polimerik sistemlerde olduğu gibi kalıcı olabilir [45].

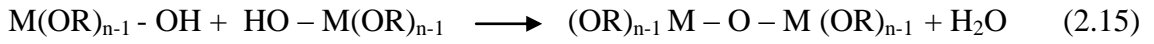
Sol-jel tekniğinde genel olarak metal alkoksit, su ve alkol içeren çözeltiler kullanılır. Metal alkoksitlerin genel formülü $M(OR)_n$ dir. M metali, O oksijeni, R alkil grubunu (CH_3 gibi) ve n metalin değerliğini temsil etmektedir.

Sol-jel tekniğinde ilk olarak hidroliz reaksiyonu gerçekleşir. Bu reaksiyonda metal alkoksit su ile tepkimeye girer. Reaksiyonun denklemdeki gibi gerçekleşir.

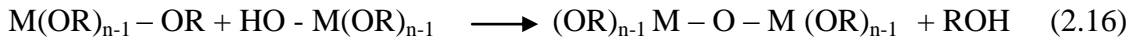


Burada negatif yüklü OH grubu metal alkoksit'e eklenir. Ayrıca ROH alkol bileşiği açığa çıkar. H₂O ve katalizör durumuna göre OR grupları OH olana kadar reaksiyon devam eder. Hidroliz reaksiyonu sonucu oluşan OH bağlı iki alkoksitin veya biri hidrolize uğramış diğeri uğramamış iki alkoksitin birleşmesiyle yoğunlaştırma reaksiyonu gerçekleşir.

İki alkoksitte hidrolize uğramış ise;

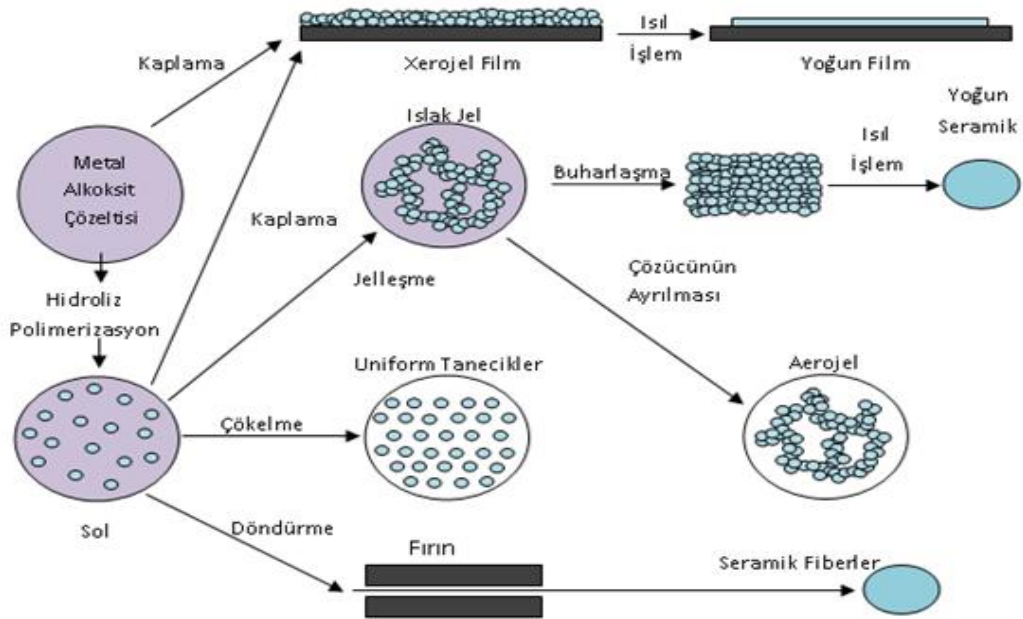


Bir alkoksitin hidrolize uğramış diğeri uğramamış ise;



şeklinde gerçekleşir. Bu durumda reaksiyon ürünleri hidrolize uğrarlar. Bu hidrolize uğramış ürünler tekrar birleşerek yoğunlaşma reaksiyonu gerçekleştirirler. Yoğunlaştırma reaksiyonu ile büyük silikon bazlı moleküller elde etmek mümkündür. Bu olaya polimerizasyon denir [45-46].

Sol-jel yöntemi ile farklı özelliklere sahip malzemelerin üretimi gerçekleştirilebilir. Bunlardan bazılarının üretim adımları şekil 2,19'da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.19: Sol-jel yöntemi ile farklı özelliklere sahip malzemelerin üretim adımları.

Sol-jel yöntemi diğer yöntemler ile kıyaslandığında bir takım avantajları olduğu görülür. Bunlar:

- Düşük sıcaklıklarda üretim yapılabilmesi,
- Enerji tasarrufu sağlaması,
- Üretim maliyetinin düşük olması,
- Hava kirliliğine sebep olmaması,
- Farklı geometrilere sahip taşıyıcılara uygulanabilmesi,
- Çok katlı kaplama yapılabilmesidir.

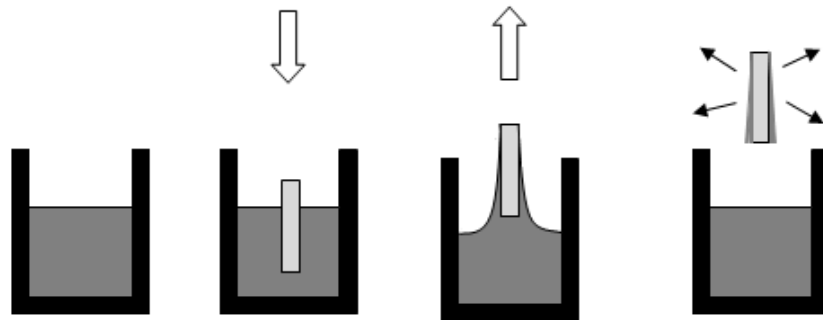
Sol-jel yönteminin bu kadar avantajlı bir teknik olmasının yanı sıra bazı dezavantajları da vardır, bunlar:

- Kullanılan kimyasalların maliyetinin yüksek olabilmesi,
- Sentezlenen yapıda karbon (C) atomu kalabilmesi,
- Kullanılan kimyasalların sağlığa zararlı olabilmesi,
- İşlem süresinin çok uzun zaman alabilmesi,
- Yapıda küçük (ince) gözenekler kalabilmesidir [45,47].

2.3.1. Sol-Jel ile İnce film Kaplama Metotları

2.3.1.1. Daldırma Kaplama

Bu yöntem kaplanacak taşıyıcının hazırlanmış olan solüsyona belirli bir hızda daldırılıp çıkarılması esasına dayanır ve beş aşamadan oluşur. Bu aşamalar şekil 2.20’de gösterildiği gibi sırasıyla daldırma, yukarı çekme, kaplama, süzülme ve buharlaşmadır [45].



Şekil 2.20: Daldırma kaplama yönteminin şematik gösterimi.

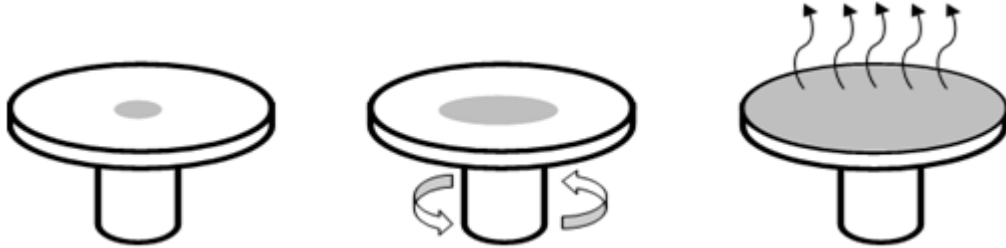
Alkol gibi uçucu çözücüler kullanıldığında yukarı çekme, kaplama ve süzülme aşamalarında da buharlaşma gerçekleşir. Kaplanan taşıyıcının film kalınlığını Landau-Levich eşitliğini kullanarak hesaplayabiliriz [45,48].

$$h = 0.94 \cdot \frac{(\eta \cdot v)^{2/3}}{\gamma_{LV}^{1/6} (\rho \cdot g)^{1/2}} \quad (2.17)$$

Burada h film kalınlığı, η sıvı viskozitesi, v taşıyıcı hızı, γ_{LV} sıvı-buhar yüzey gerilimi, g yerçekimi ivmesi ve ρ yoğunluktur [45,49].

2.3.1.2. Döndürme Kaplama

Bu tez çalışmasında döndürme kaplama yöntemi kullanılmıştır. Döndürme kaplama yönteminde, altlık üzerine solüsyonun damlatılmasından sonra döndürülmesine ve merkezkaç kuvvetinin etkisiyle solüsyonun altlık üzerinde yayılmasıyla gerçekleşir. Döndürme kaplama dört aşamada gerçekleşir. Bu aşamalar sırasıyla damlatma (kaplama), döndürme başlangıcı, döndürme sonu ve buharlaştırmadır. Şekil 2.21'de döndürme kaplama aşamaları gösterilmektedir.

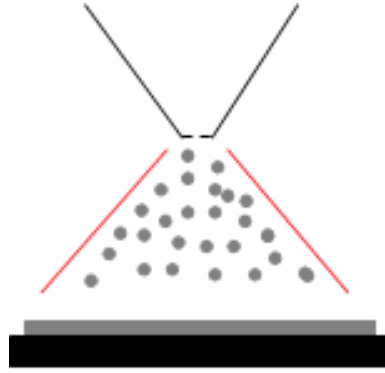


Şekil 2.21: Döndürme kaplama yönteminin şematik gösterimi.

Başlangıçta, dönecek yüzeye sabitlenmiş olan altlığın üzerine solüsyon damlatılır. Sistemin dönmeye başlamasıyla solüsyon merkezkaç kuvvetinin etkisiyle altlığın üzerinde olarak yayılmaya başlar. Filmin kalınlığının düzgün olması dönme hızının sabit kalmasıyla ilgili olduğundan sistemin kısa sürede istenilen dönme hızına ulaşması gerekmektedir. Başlangıçta solüsyon fazla damlatılırsa, fazla solüsyon altlık yüzeyinden savrulur. Dönme sonunda altlık üzerindeki film kalınlığı her yerde aynı olur. Bu aşamadan sonra buharlaşma gerçekleşir. Altlık bu işlemten sonra fırınlanır [45,49].

2.3.1.3. Püskürtme ile Kaplama

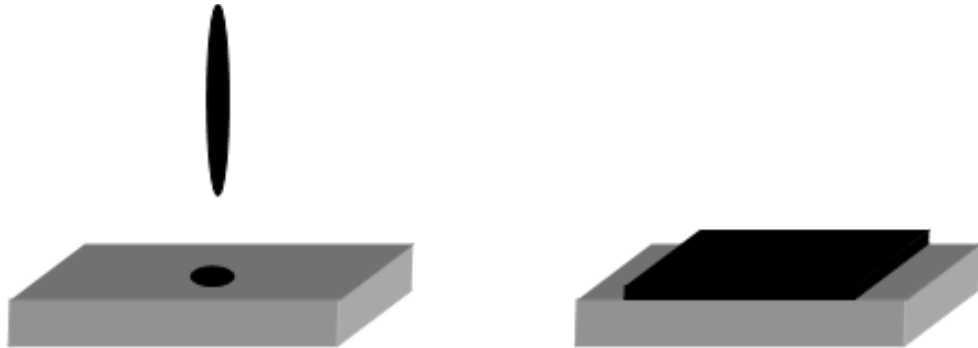
Püskürtme yöntemi, düzensiz şekillerine sahip yüzeyler (cam kaplar, lambalar vb.) kolaylıkla kaplanabilmektedir. Organik boya ve cilalar için sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem bir püskürtme tabancası veya sistemi ile solüsyonun kaplanacak malzeme üzerine püskürtülmesi esasına dayanır. Kaplama kalınlığı, kullanılan tabancanın ağız genişliği, çözelti viskozitesi, atış hızı ve mesafesine bağlı olarak değişmektedir. Kaplanacak malzeme üzerinde maske kullanarak farklı desenlerde kaplama da kolayca yapılabilmektedir [45,49,50].



Şekil 2.22: Püskürtme kaplama yönteminin şematik gösterimi.

2.3.1.4. Damlatma Kaplama

Bu yöntemde, hazırlanmış olan solüsyon kaplanacak olan malzemenin üzerine pipet yardımıyla damlatılır. Damlatma sonucu solüsyon malzemenin üzerinde yayılması ve ısıtılması sonucunda kaplama gerçekleşmiş olur. Şekil 2.23’de damlatma kaplama yöntemi şematik olarak gösterilmiştir [47].



Şekil 2.23: Damlatma kaplama yönteminin şematik gösterimi.

2.4. NANOYAPILARIN YAPISAL KARAKTERİZASYONU

2.4.1. Giriş

Sentezlenen ZnO ve ZnS'nin yapısal karakterizasyonunda SEM ve EDS ölçümleri kullanılmıştır, kristal yapıları XRD ile incelenmiştir. Bant aralıkları UV-VIS spektrometre ile belirlenmiştir. Bu bölümde kısaca bu teknikler hakkında bilgi verilecektir.

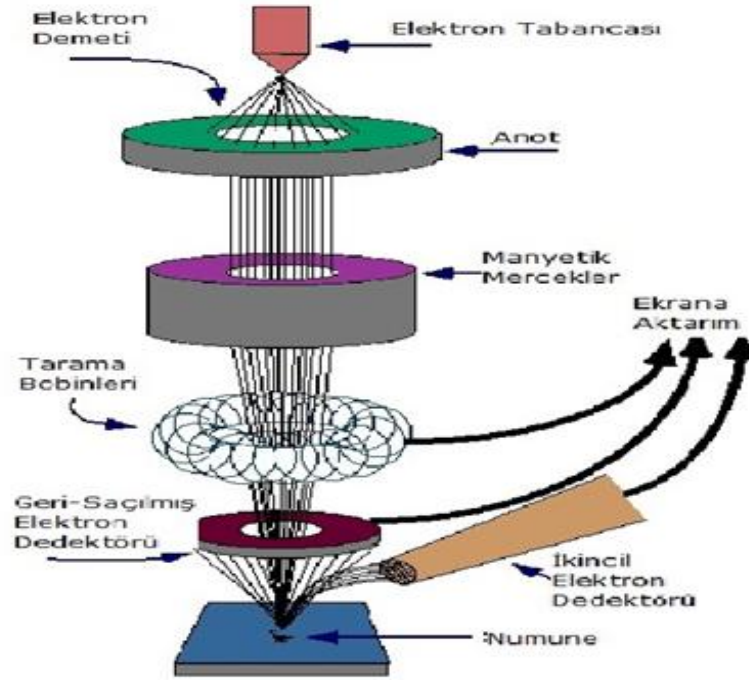
2.4.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların örnek üzerine odaklanması, bu elektron demetinin örnek yüzeyini taraması sırasında elektron ile örneğin atomları arasında oluşan etkileşimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir.

Taramalı Elektron Mikroskobu Optik Kolon, Numune Hücresi ve Görüntüleme Sistemi olmak üzere üç temel kısımdan oluşmaktadır.

Optik kolonda, elektron demetinin kaynağı olan elektron tabancası, elektronları örneğe doğru hızlandırmak için yüksek gerilimin uygulandığı anot plakası, ince elektron demeti elde etmek için yoğunlaştırıcı mercekler, demeti örnek üzerinde odaklamak için objektif merceği, bu merceğe bağlı çeşitli çapta aparatlar ve elektron demetinin örneğin yüzeyini taraması için tarama bobinleri yer almaktadır. Mercek sistemleri elektromanyetik alan ile elektron demetini inceltmekte veya numune üzerine odaklamaktadır. Tüm optik kolon ve örnek yüksek vakumda (yaklaşık 10^{-4} Pa) tutulmaktadır [51,52]. Görüntü sisteminde ise elektron demeti ile örneğin etkileşimi sonucunda oluşan çeşitli elektron ve ışınları toplayan dedektörler, bunların sinyal çoğaltıcıları ve örneğin yüzeyinde elektron demetini görüntü ekranıyla senkronize tarayan manyetik bobinler bulunmaktadır¹ [51].

¹<http://www.istanbul.edu.tr/eng/metalurji/sem.htm#C>.



Şekil 2.24: Taramalı elektron mikroskobunun şematik gösterimi.¹

Elektron demetinin örnek yüzeyi üzerinde taratılması ile elektron demetleri örnek ile etkileşerek geri saçılmış elektronlar, ikincil elektronlar, X-ışınları ve fotonlar gibi çeşitli sinyallerin oluşmasına neden olmaktadır. SEM analizinde görüntü elde edilmesinde ikincil elektronlar ile yüzeyden yansıtılan geri saçılmış elektronlar kullanılmaktadır. İkincil elektronlar örnek şeklini gösterirken, geri saçılmış elektronların örnek bileşimi hakkında bilgi verir [44]. Bu çalışmada SEM analizi İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliğinde bulunan FEI QUANTA FEG 450 Taramalı Elektron Mikroskobu cihazıyla gerçekleştirilmiştir.

2.4.3. Enerji Dağılımlı Spektrometre (EDS)

EDS, genellikle SEM ve TEM gibi mikroskopların içinde bir parça olarak bu cihazlarla beraber kullanılır. EDS, incelenen malzemenin element analizini yapan ve elementlerin hangi oranlarda bulduklarını tespit eden analiz cihazıdır. İncelenecek malzeme üzerine elektron demeti gönderilerek elektronların malzeme elementleriyle etkileşime girmeleri sağlanır. Bu durumun sonucunda uyarılmış malzeme yüzeyinden X-ışınları çıkmaktadır. Bu X-ışınları algılayıcı üzerine düşürülür. Algılayıcı ve buna bağlı ön

¹<http://www.purdue.edu/epps/rem/rs/sem.htm>.

güçlendiricide X-ışınının enerjisine göre bir gerilim atımı (puls) oluşur. Bu gerilim atımı ara güçlendiricide yükseltildikten ve bazı işlemlerden geçirildikten sonra ölçme ve sayma işlemini yapan çok kanallı analizöre gelir.

Burada X-ışınının enerjisine orantılı olan atım yüksekliği ölçülür, bellekte o enerjinin sayısı bir artırılır. Bellekte toplanan veriler spektrum adı verilen grafiklerle gösterilirler. Spektrumlar belli zaman süresi içinde gelen farklı enerjilerdeki X-ışınları fotonlarının sayısını gösterirler. Numunenin etkileşim hacminde hangi element varsa o elementin karakteristik enerjisine sahip fotonların sayısı daha fazla olacağından, spektrumda bu enerjilerde birbirinden ayrı pikler oluşur. Oluşan pik şiddetlerinden de elementlerin ağırlıkça ve atomal bulunma yüzdeleri hesaplanarak kantitatif olarak analiz yapılmaktadır [44,52,53]. Bu çalışmada EDS analizi İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliğinde bulunan FEI QUANTA FEG 450 Taramalı Elektron Mikroskobu cihazıyla gerçekleştirilmiştir.

2.4.4. UV-Visible Spektrofotometre

UV-Visible spektrofotometre bir malzemenin ultraviyole ve görünür ışık absorpsiyon dalgaboyu ve yoğunluğunu ölçer. UV ölçümleri için döteryum lambası ve görünür ışık ölçümleri için de tungsten-halojen lambası kullanılır. İki ışınlı spektrofotometrelerde, eşit yollar alacak şekilde kaynaklardan belirli dalgaboylarına sahip iki ışın gönderilir. Gönderilen bu iki ışından biri örnek üzerine gönderilirken diğeri referans numunesine gönderilir. Referans numunesinden ve örnekten geçen ışınlar dedektörle analiz edilerek örneğin absorpsiyon ve geçirgenlik ölçümleri gerçekleştirilmiş olur¹.

Bu çalışmada absorpsiyon ölçümleri Shimadzu UV 1800 ve Varian Series 634 spektrofotometre cihazlarıyla yapılmıştır.

Absorpsiyon katsayılarının foton enerjisine bağlılığını veren 2.18 eşitliğindeki Tauc denklemini kullanarak yasak bant aralığı belirlenebilir.

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^n \quad (2.18)$$

¹<http://merlab.metu.edu.tr/uv-vis-spektrofotometre>.

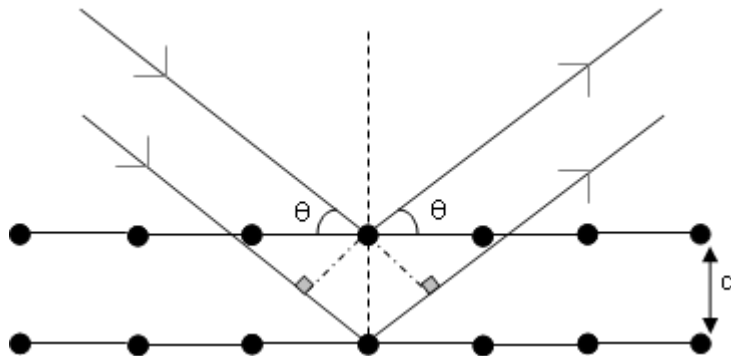
Burada, yasak bant aralığı E_g , α absorpsiyon katsayısı, $h\nu$ foton enerjisi, A bir sabit, n ise numunenin direkt geçişli bant yapısında olması durumunda $1/2$ indirekt geçişli ise 2 değerini alan bir ifadedir [54,55].

2.4.5. X- Işını Kırınımı (XRD)

X-ışınları, dalgaboyu $0.01-10$ nm ve enerjileri 100 eV – 100 keV aralığında olan elektromanyetik dalgalarıdır. Atomlar arası mesafeyle karşılaştırılabilir dalgaboyuna sahip olduğundan kırınım olayında X-ışınları kullanılır [51,52].

X-ışınları iki farklı şekilde oluşturulur. Birincisi hızlandırılmış elektron demetinin yönlendirildiği malzemenin atomlarının çekirdeğine yakın bölgede yavaşlaması sonucu oluşan frenleme radyasyonu, diğeri ise elektron demetinin atomun iç yörüngelerinden bir elektrona çarpmasıyla bu elektronu yörüngeden kopması, kopan bu elektronun yerine daha yüksek enerjili bir üst yörüngeden bir elektronun geçmesi ve seviyeler arasındaki enerji farkı kadar karakteristik X-ışınlarının oluşması şeklindedir [51].

Kristallerde Bragg kanunu kullanarak X-ışını kırınımını açıklanır. Kristal, aralarında eşit mesafeler olan paralel düzlemlere yerleşen atomlardan oluşan yapıdır. Şekil 2.25’ de görüldüğü gibi kristal içerisindeki ardışık iki düzleme θ açısıyla gelen λ dalgaboylu X-ışını gönderildiğinde, saçılmalar arasındaki yol farkı dalgaboyunun tam katı olduğunda yapıcı bir girişim meydana gelir.



Şekil 2.25: Ardışık iki düzlemden X- Işınlarının saçılması.

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

$$(2.19)$$

2.19'deki bağıntı Bragg kanunu olarak bilinir. Eşitlikte θ , gelen X-ışını demetinin kristal düzlemiyle yaptığı açığı, d düzlemler arası mesafeyi, λ kullanılan ışığın dalgaboyunu ve n bir tamsayıyı ifade etmektedir. Yol farkı θ ve d 'ye bağlıdır. Gelen X-ışını ile kırınıma uğramış X-ışını arasında oluşan 2θ açığa difraksiyon açısı denir.

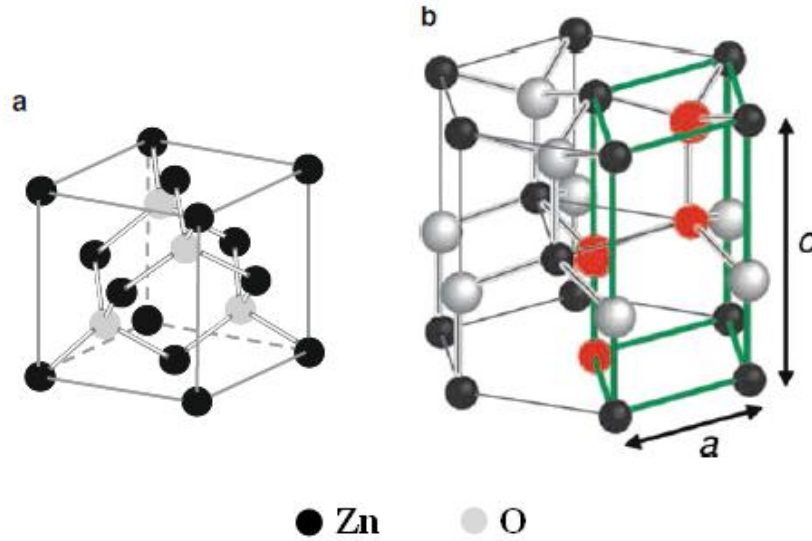
Bu yöntemle malzemenin kristal yapısı, birim hücre parametreleri, kristal yönelimi, ortalama tanecik büyüklükleri gibi bilgilere ulaşılabilir [44,47,51,54].

Bu çalışmada XRD analizi İstanbul Üniversitesi Teknoloji Transfer Merkezi Merkez Laboratuvarında bulunan Rigaku D/Max-2200/PC marka cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. ÇİNKO OKSİT VE ÇİNKO SÜLFÜR'ÜN ÖZELLİKLERİ

Çinko oksit (ZnO) II grubu elementi çinko (Zn) ve VI grubu elementi oksijenin (O) oluşturduğu, sahip olduğu kusurlardan dolayı n tipi bir yarıiletken bileşiktir [56]. ZnO bileşiğinin bant aralığı T=0 K de 3,94 eV oda sıcaklığında 3,37 eV dir. II-VI grubu bileşikler kübik, hekzagonal wurtzite ya da zinc blende yapıda bulunabilirler. Şekil 3.1'de kübik zinc blende ve hekzagonal wurtzite yapıları görülmektedir. ZnO, hekzagonal wurtzite tipi yapıya sahiptir. ZnO'da eksiton bağlanma enerjisi 60meV, yoğunluğu yaklaşık olarak 5,6 g/cm³'tür. ZnO kusurlar açısından zengin bir yapıya sahiptir. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi Zn atomları tetrahedral kısımların yarısını işgal ettiği ve tüm oktahedral kısımların boş olduğu görülmektedir [50,57].



Şekil 3.1: (a) kübik zinc blende tipi örgü (b) hekzagonal wurtzite tipi örgü [49]. (Wurtzite örgüde, molekülün temel birim atomları kırmızı dolu halkalarla ve primitif birim hücresi de yeşil hatlarla gösterilmiştir.)

ZnO'nun örgü sabitleri $a = b = 0,3249$ nm ve $c = 0,52042$ nm'dir [57-59].

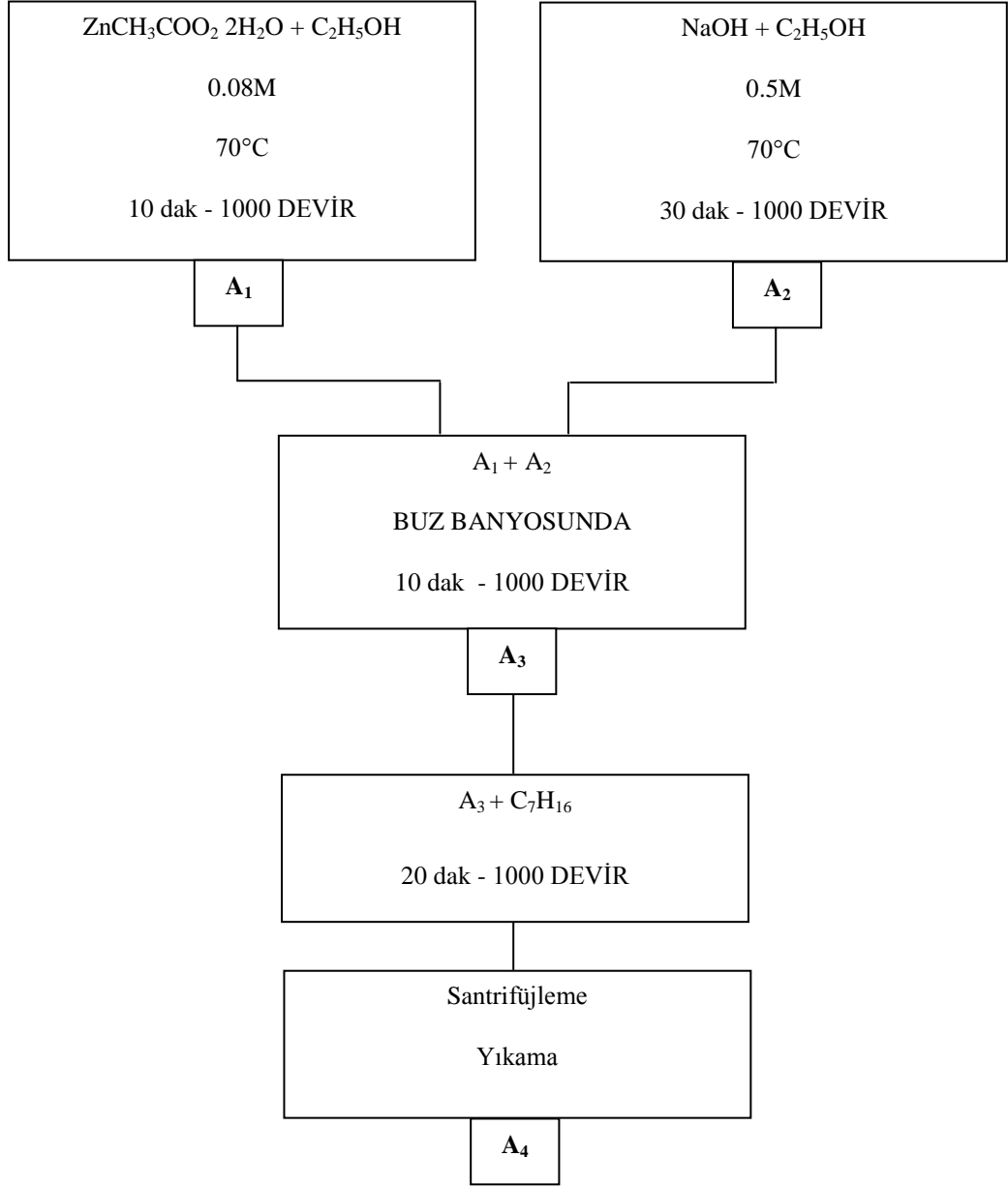
II-VI grubu bileşiklerinden olan çinko sülfür'ün kimyasal formülü ZnS şeklindedir. Çinko sülfür doğada zinc blende minerali halinde bulunur. ZnS, şekil 3.1 (a) şeklindeki kübik zinc blend yapıya sahiptir. Bu şekilde siyah atomlar Zn ve gri atomlar S atomlarını göstermektedir. ZnS, ZnO gibi direkt bant yapısına sahiptir ve bant aralığı 3,68 eV dir [27,60].

3.2. SOL-JEL YÖNTEMİ İLE NANOYAPILARIN SENTEZİ

ZnO ve ZnS nanoyapıların sentezinde sol-jel yöntemi kullanılmış ve tüm deneylerde Merck kimyasalları tercih edilmiştir. Deneysel çalışmalar başlangıç kimyasallarını değiştirerek iki farklı şekilde ZnO sentezi gerçekleştirilmiştir. Birinci sentez aşamasında $ZnCH_3COO_2 \cdot 2H_2O$ (Çinko asetat dehidrat, ekstra saf) ve NaOH (Sodyum hidroksit, pelet) kimyasalları kullanılmıştır.

Başlangıçta NaOH ve C_2H_5OH (Etanol, % 99.9 saflıkta) $70^\circ C$ de ve belirli bir süre manyetik karıştırıcıda karıştırılarak A1 solüsyonu elde edildi. Aynı anda $ZnCH_3COO_2 \cdot 2H_2O$ ve C_2H_5OH $70^\circ C$ ve belirli bir süre manyetik karıştırıcıda karıştırılarak A2 solüsyonu elde edildi. A1 ve A2 solüsyonları buz banyosunda manyetik karıştırıcıda karıştırılarak A3 solüsyonu hazırlandı. A3 solüsyonu içinde bulunan atıkları ve iyonları solüsyondan uzaklaştırmak için A3 solüsyonu n-heptan (C_7H_{16} , %99 saflıkta) ile belirli hacim oranlarında karıştırılarak atıklar ve iyonlar n-heptan içerisinde dağıtıldı. Oluşturulan karışıma santrifüjleme işlemi yapılarak ZnO nanoyapıları dibe çöktürülerek karışımdan ayrılması sağlandı. Elde edilen ZnO nanoyapıları etanol ile yıkanarak A4 solüsyonu elde edildi. A4 solüsyonu da ağzı kapalı bir kaptaki eskitilmeye bırakıldı.

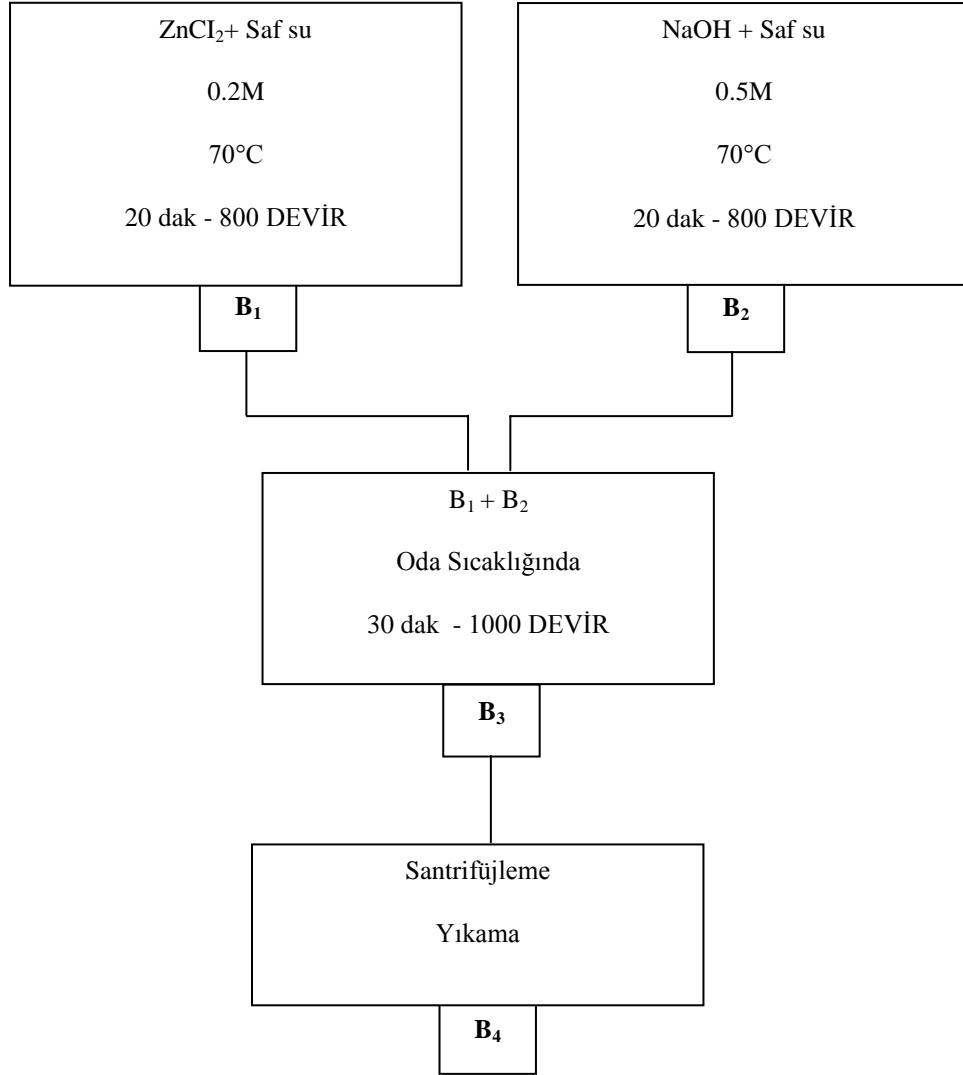
Birinci sentez aşaması ile hazırlanan solüsyondan elde edilen ZnO nanoyapıların üretim şeması tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Birinci sentez aşamasıyla ZnO nanoyapıların üretim şeması.

İkinci sentez aşamasında $ZnCl_2$ (Çinko klorür) ve NaOH kimyasalları kullanılmıştır. Başlangıçta NaOH ve saf su $70^\circ C$ de ve belirli bir süre manyetik karıştırıcıda karıştırılarak B1 solüsyonu elde edildi. Aynı anda $ZnCl_2$ ve saf su $70^\circ C$ ve belirli bir süre manyetik karıştırıcıda karıştırılarak B2 solüsyonu elde edildi. B1 ve B2 solüsyonları oda sıcaklığında karıştırılarak B3 solüsyonu hazırlandı. Oluşturulan karışıma santrifüjleme işlemi yapılarak ZnO nanoyapıları dibe çöktürülerek karışımdan ayrılması sağlandı. Elde edilen ZnO nanoyapıları etanol ile yıkılarak B4 solüsyonu elde edildi. B4 solüsyonu da ağzı kapalı bir kapta eskitilmeye bırakıldı [61-64].

İkinci Sentez aşaması ile hazırlanan solüsyondan elde edilen ZnO nanoyapıların üretim şeması tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3.2: İkinci sentez aşamasıyla ZnO nanoyapıların üretim şeması.

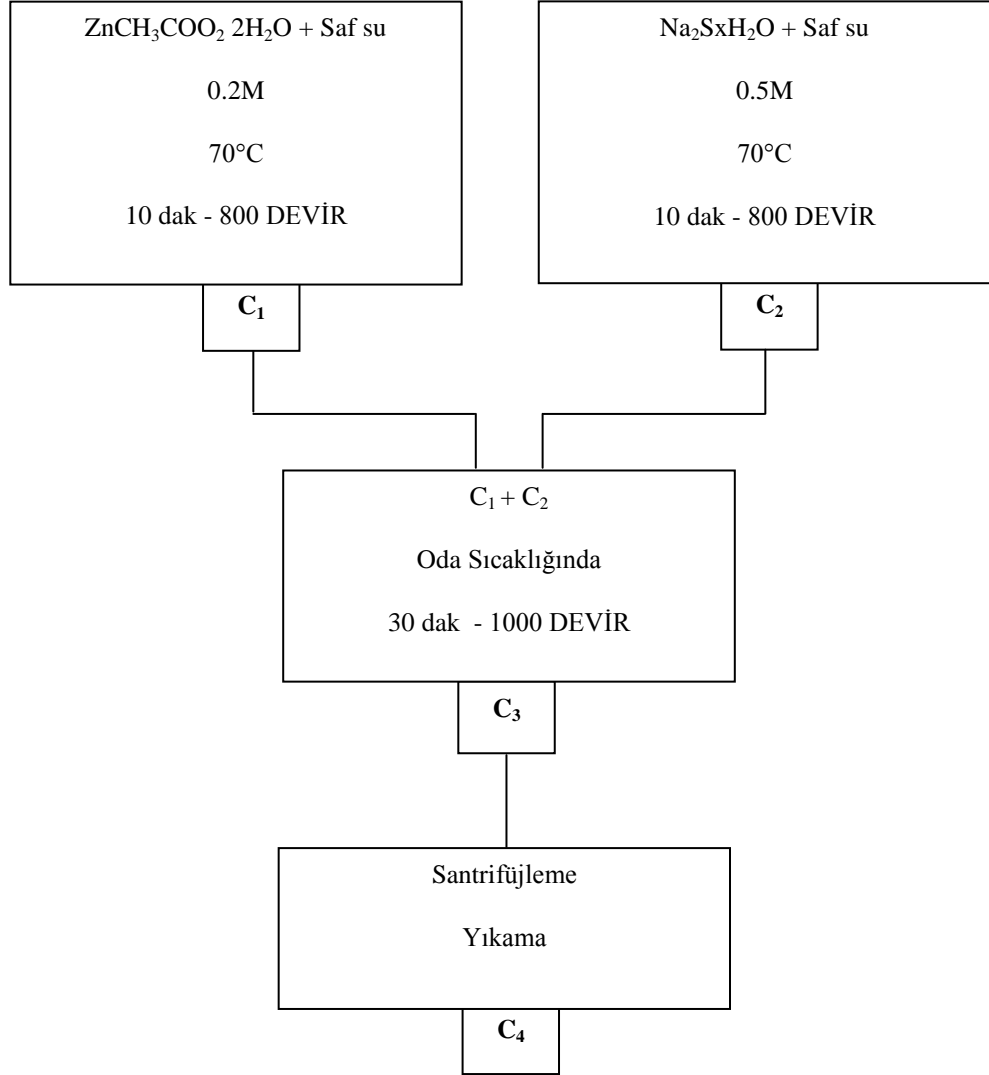


ZnS nanoyapıların sentez aşamasında $ZnCH_3COO_2 \cdot 2H_2O$ ve $Na_2S_xH_2O$ (Sodyum sülfür hidrat, x burada su oranıdır) kimyasalları kullanılmıştır. $ZnCH_3COO_2 \cdot 2H_2O$ ve saf su $70^\circ C$ ve belirli bir süre manyetik karıştırıcı da karıştırılarak C1 çözeltisi elde edildi. Aynı anda $Na_2S_xH_2O$ ve saf su $70^\circ C$ ve belirli bir süre karıştırılarak C2 çözeltisi elde edildi. Oda sıcaklığında C1 çözeltisi C2 çözeltisinin üzerine damlatılarak manyetik karıştırıcıda karıştırılır ve C3 solüsyonu elde edilir. C3 solüsyonuna santrifüjleme işlemi yapılarak iyonların çözeltiden uzaklaştırılması sağlanır. Elde edilen ZnS nanoyapıları

saf su ile yıkanarak C4 solüsyonu elde edildi ve ağzı kapalı bir kaptaki beklemeye alındı [65,66].

ZnS nanoyapıların hazırlanması aşamasında sol-jel yöntemi ile hazırlanan solüsyondan elde edilen nanoyapıların üretim şeması tablo 3.3'de gösterilmiştir.

Tablo 3.3: ZnS nanoyapıların üretim şeması.



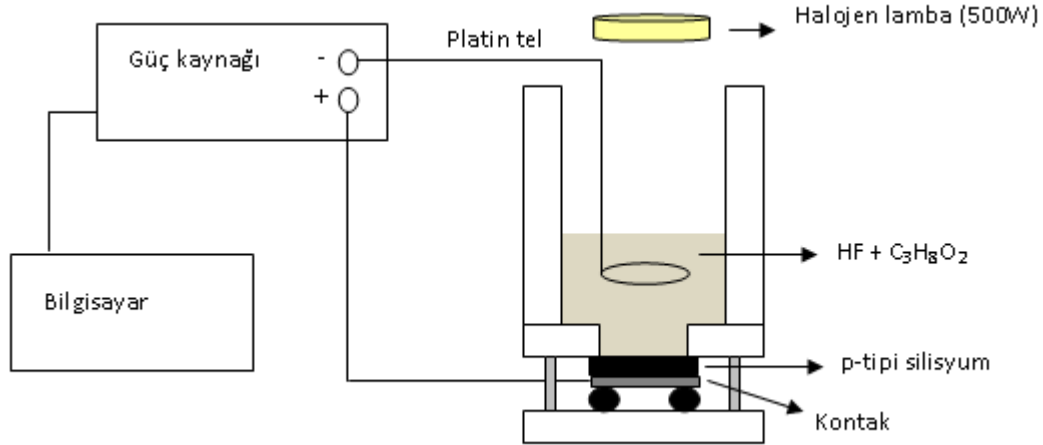
3.3. GÖZENEKLİ SİLİSYUM ALTLIKLARIN HAZIRLANMASI

Kullanılan silisyumların kalınlığı 508 μm , öz direnci 10,5-19,5 Ωcm , (111) doğrultusunda ve bor (B) katkılı olup, p tipidir. Silisyum kristal 1,2cmx1,2cm boyutlarında kesildi. Kesilen silisyumlar 1HF (Merck, %48): 1 Saf su oranındaki karışım ile temizlenerek yüzeylerindeki SiO_2 tabakası kaldırılmıştır. Silisyum üzerine

nanoyapıların kaplaması yapılmadan önce silisyum yüzeyine elektrokimyasal anodizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Buradaki amaç gözenekli silisyumun sahip olduğu yüksek yüzey alanı / hacim oranı nedeniyle, nanoyapı / silisyum ara kesit alanının artırılmasıdır.

Kristal pSi üzerinde aşındırma işlemi oluşturmak için HF ve Ethylene Glycol Monomethyl Ether ($C_3H_8O_2$, Merck, %99.5 saflıkta) kullanılmıştır. 1HF(%48):1 $C_3H_8O_2$ oranlarında işlem gerçekleştirilmiştir. Elektrokimyasal işleminin deney düzeneği şekil 3.2’de gösterilmiştir. Literatürde daha önce bu kimyasal karışım kullanılarak gözenekli pSi üretilmesine ait çalışma bulunmamaktadır.

Oluşturulan gözeneklerin, sentezlenen nanoyapılarla doldurulabilmesi için gözenek çapı nanoyapılardan daha büyük olmalıdır. Bu amaçla, Elektrokimyasal anodizasyon işlemi uygulanırken farklı akım değerleri ve süreleri denenmiş ve en uygun gözenek çapını sağlayan parametreler kullanılmıştır.



Şekil 3.2: Elektrokimyasal işleminin deney düzeneği.

Şekil 3.2’deki deney düzeneği kullanılarak 45 dakika boyunca 15 mA uygulanarak anodizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Anodizasyon işleminden sonra etanol ve saf su ile temizleme işlemi yapıp silisyumlar kaplama işlemine hazır hale getirildi [29,67,68].

3.4. METAL / NANOYAPI / pSi / METALEKLEMLERİN HAZIRLANIŞI

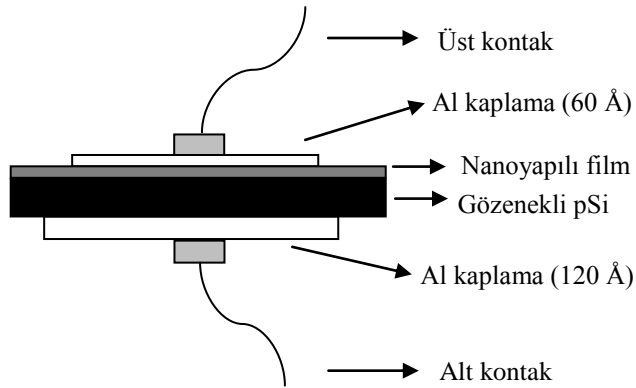
Hazırlanan nanoyapıların etkisinin incelenebilmesi için Metal / Nanoyapı / pSi / Metal örnekler hazırlanmıştır. Gözenekli pSi yüzeyi üzerine sentezlenen çözeltiler döndürme yöntemi ile kaplandı. Döndürme kaplama işleminde gözenekli pSi üzerine ZnO ve ZnS

çözeltileri 5000 rpm özelliğine sahip sistem (motor) yardımıyla şekil 3.3’de görüldüğü gibi kaplama yapılmıştır. Kaplama işleminden sonra 350 °C’de tavlanma işlemi gerçekleştirmiştir. Kaplamalar, birer dakika aralıklarla oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3: Nanoyapılı film kaplı pSi.

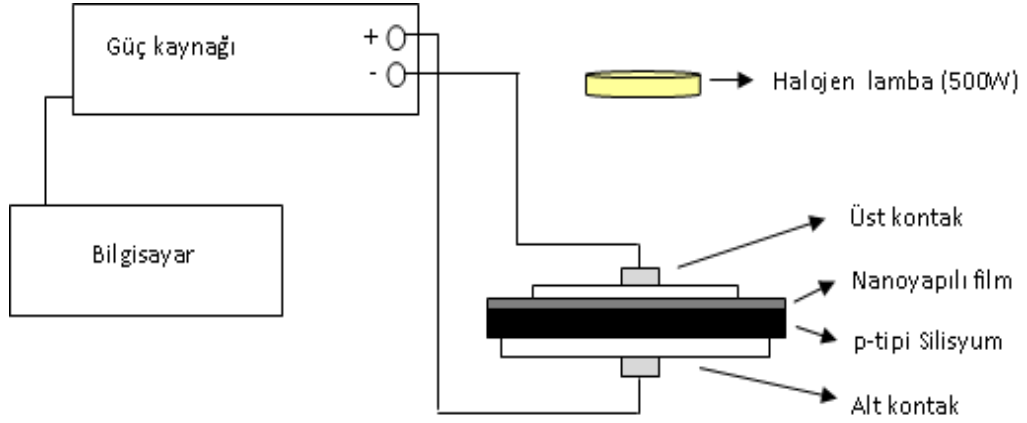
Hazırlanan örneklerin elektriksel ve fotovoltaik özelliklerinin incelenmesi için Edwards High Vacuum cihazı kullanılarak termal buharlaştırma yöntemi ile ön ve arka kontaklar Al (% 99.999 saflıkta) kaplanmıştır. Ön yüzey yaklaşık 60 Å ve arka yüzey 120 Å kalınlığında Al kaplanmıştır. Böylelikle üst yüzeydeki yansımının düşük, alt yüzeydeki yansımının da yüksek olması sağlanmıştır. Daha sonra gümüş pasta kullanılarak kontak alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Ancak yine de üst kısmın tamamen Al ile kaplanmış olması fotonların bir kısmının yüzeyden yansımaya neden olur.



Şekil 3.4: Alt ve üst kontaklı nanoyapılı film kaplı pSi.

3.5. ELEKTRİKSEL VE FOTOVOLTAİK ÖLÇÜM DÜZENEGİ

Metal / Nanoyapı / pSi / Metal şeklinde hazırlanan örneklerin elektriksel ve fotovoltaik ölçüm düzeneği şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5: Elektriksel ve fotovoltaik ölçüm düzeneği.

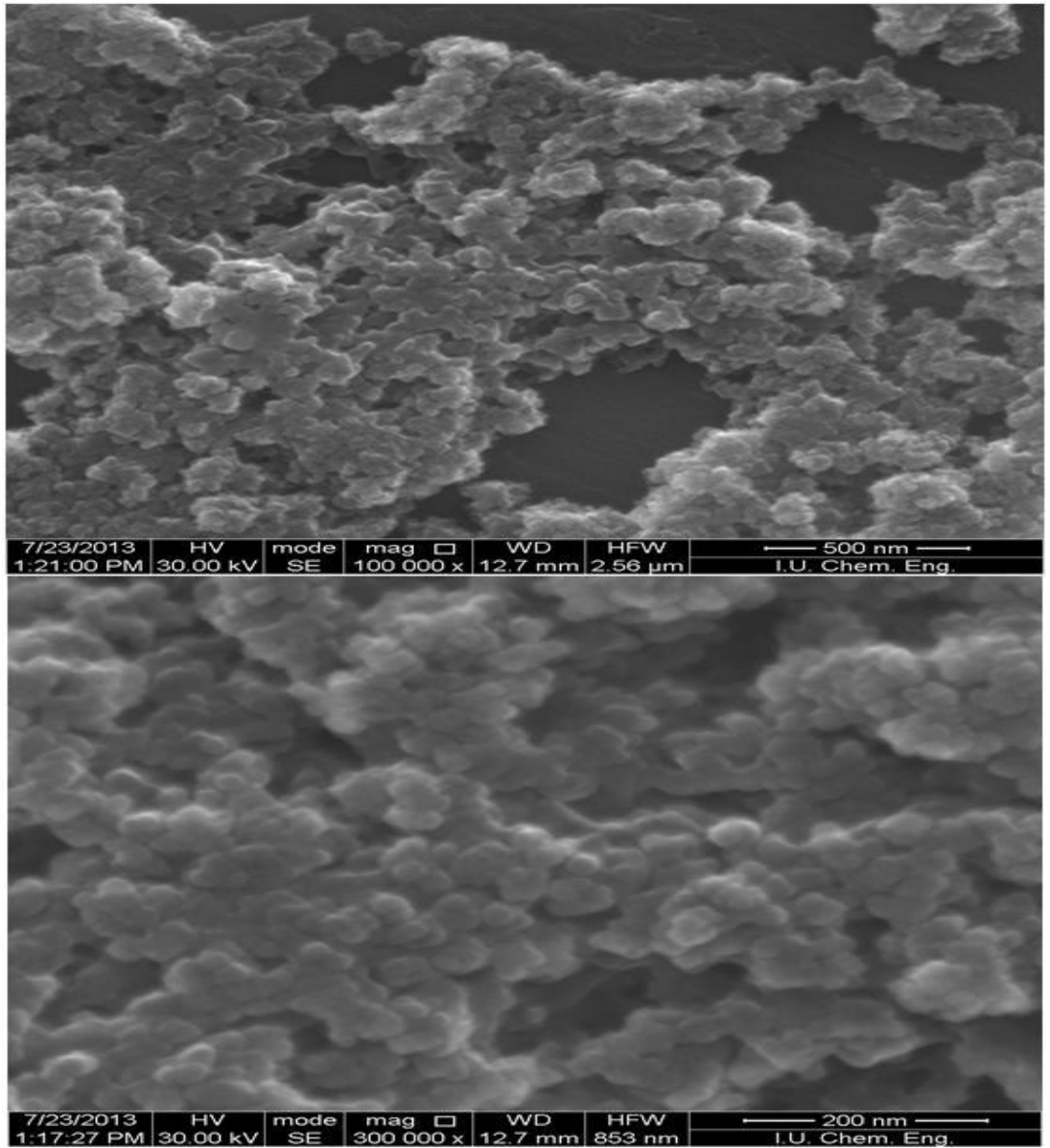
Metal / Nanoyapı / pSi / Metal örneklerin akım-gerilim karakteristikleri oda sıcaklığında, karanlıkta ve 500 W halojen lamba kullanılarak ölçülmüştür. Halojen lambadan örneklere gelen ışığın şiddeti Luxmetre ile ölçülmüştür. Ölçümlerde örnekler üzerine düşen ışınım şiddeti 1000 W/m^2 olacak şekilde halojen lamba ile örnekler arası mesafe sabit tutularak, AM1.5 standart ölçüm koşulları sağlanmaya çalışılmıştır.

Ölçümlerde voltaj kaynağı ve aynı zamanda ampermetre olarak Keithley marka 2400 model akım/voltaj kaynağı ve ölçü aleti (SourceMetre) kullanılmıştır. Labview programını kullanarak sistemin bilgisayar kontrolüyle çalışması sağlanmıştır.

4. BULGULAR

4.1. ZnO VE ZnS NANOYAPILARIN SEM, EDS, XRD SONUÇLARI

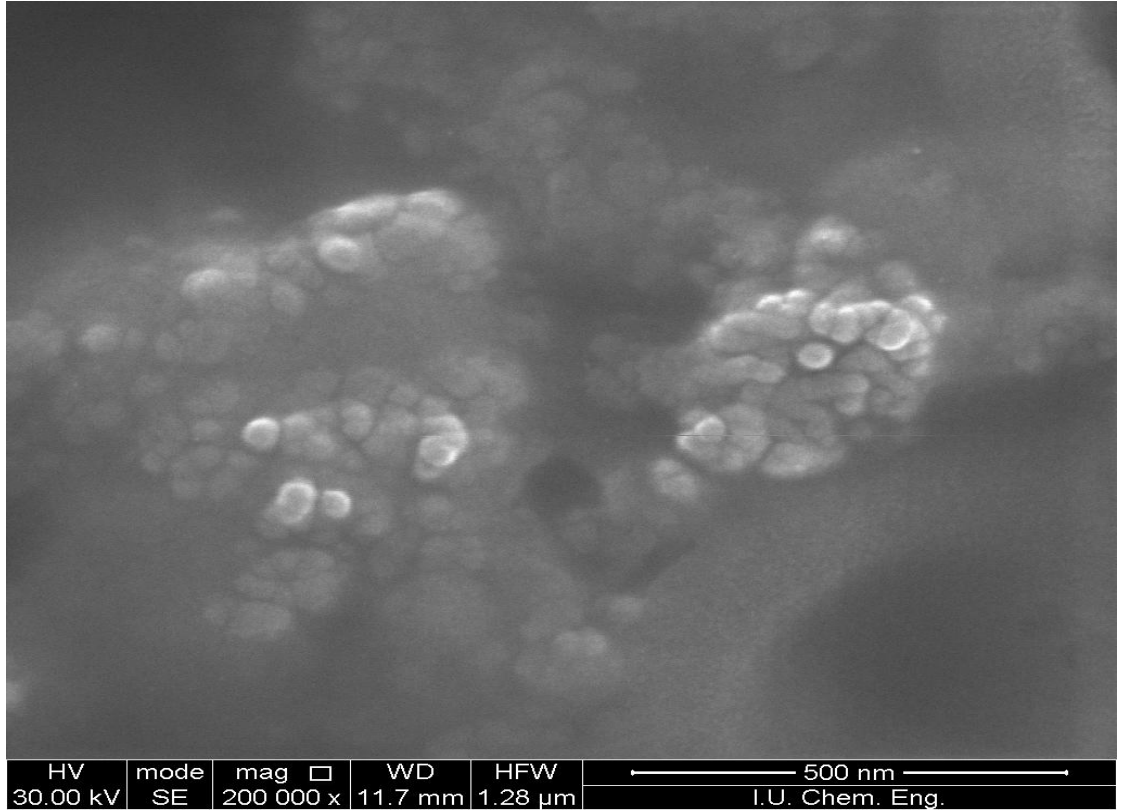
Şekil 4.1’de birinci sentez yöntemiyle üretilen ZnO yapılarının SEM görüntüleri farklı büyütülme oranları ile verilmiştir.



Şekil 4.1: Birinci sentez yoluyla üretilen ZnO nanoyapılarının farklı büyütmelerde SEM görüntüleri.

SEM görüntüleri sonucunda ZnO'nun 20-25 nm çaplarında olduğu ve benzer morfolojiye sahip yapılardan oluştuğu tespit edildi. Nanoyapılar görüntülerinden dolayı küresel olarak isimlendirildi.

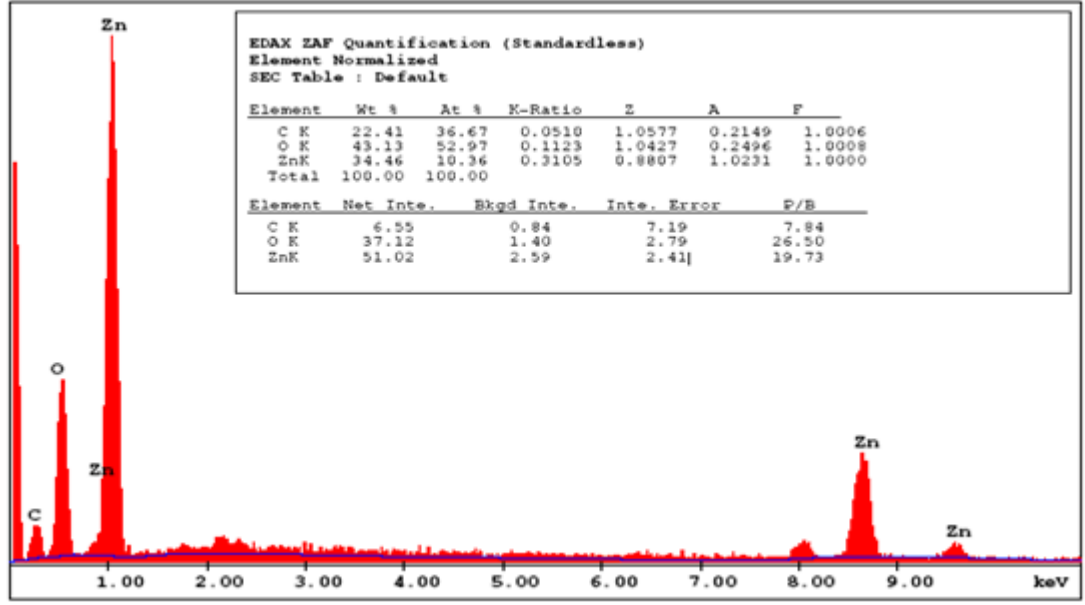
Eskitme süresinin etkisini incelemek için sentezlenen ZnO nanoyapılar bir yıl süreyle etanol içerisinde bekletilmiştir. Şekil 4.2'de bu örneklerin SEM görüntülerine yer verilmiştir.



Şekil 4.2: Birinci sentez yoluyla üretilen, bir yıl eskitilmiş ZnO nanoyapılarının SEM görüntüsü.

Şekil 4.2'deki SEM görüntüleri sonucunda bir yıl eskitme süresinin sentezlenen ZnO yapıların çaplarının 35-40 nm civarında olduğu ve benzer morfolojiye sahip yapılardan oluştuğu tespit edildi.

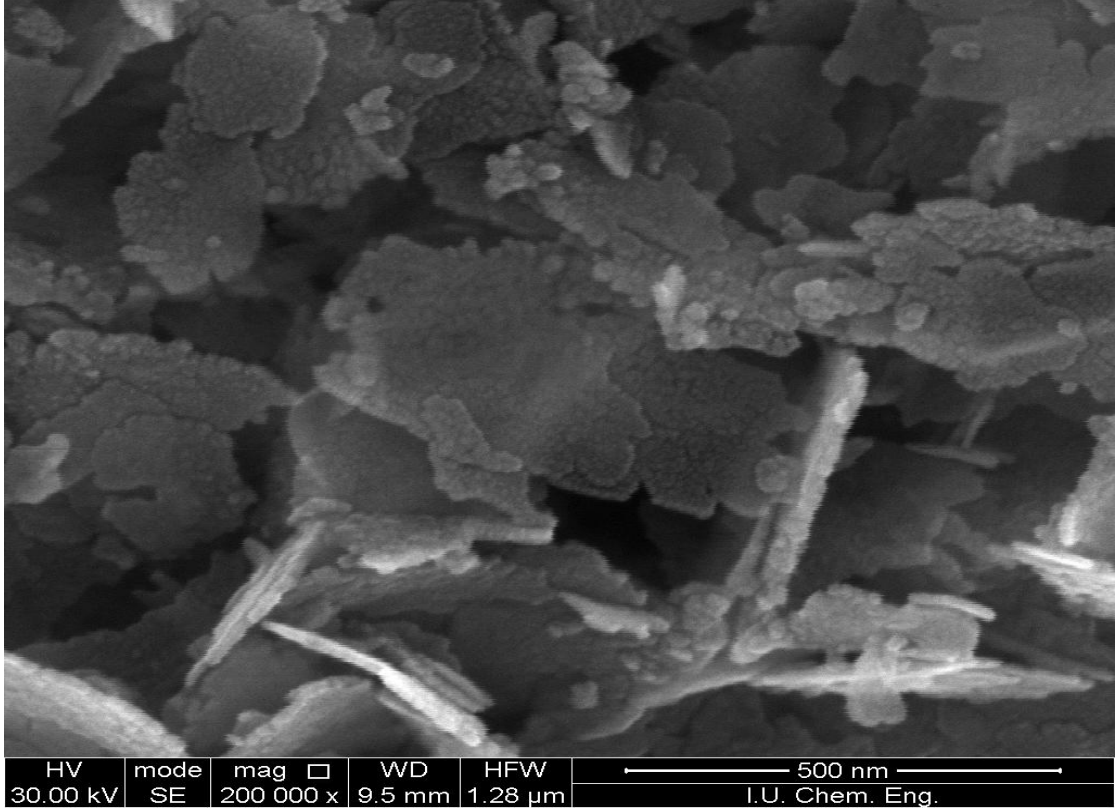
Şekil 4.3'de birinci sentez yoluyla üretilen ZnO nanoyapılarının EDS analizi sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.3: Birinci sentez yoluyla üretilen ZnO nanoyapılarının EDS analizi.

EDS sonuçlarına göre atomik olarak O atomlarının Zn atomlarına oranı yaklaşık 5 civarındadır. Sentezlenen nanoyapıların oksijen fazlalığından dolayı kusurlu ZnO bileşiği oluşturduğu düşünülmektedir. Analiz sonuçlarında C atomuna rastlanmıştır. Bu durumun sebebinin nanoyapıların sol-jel yöntemi ile sentezlenmesi sürecinde kullanılan etanoldan kaynaklandığı düşünülmektedir.

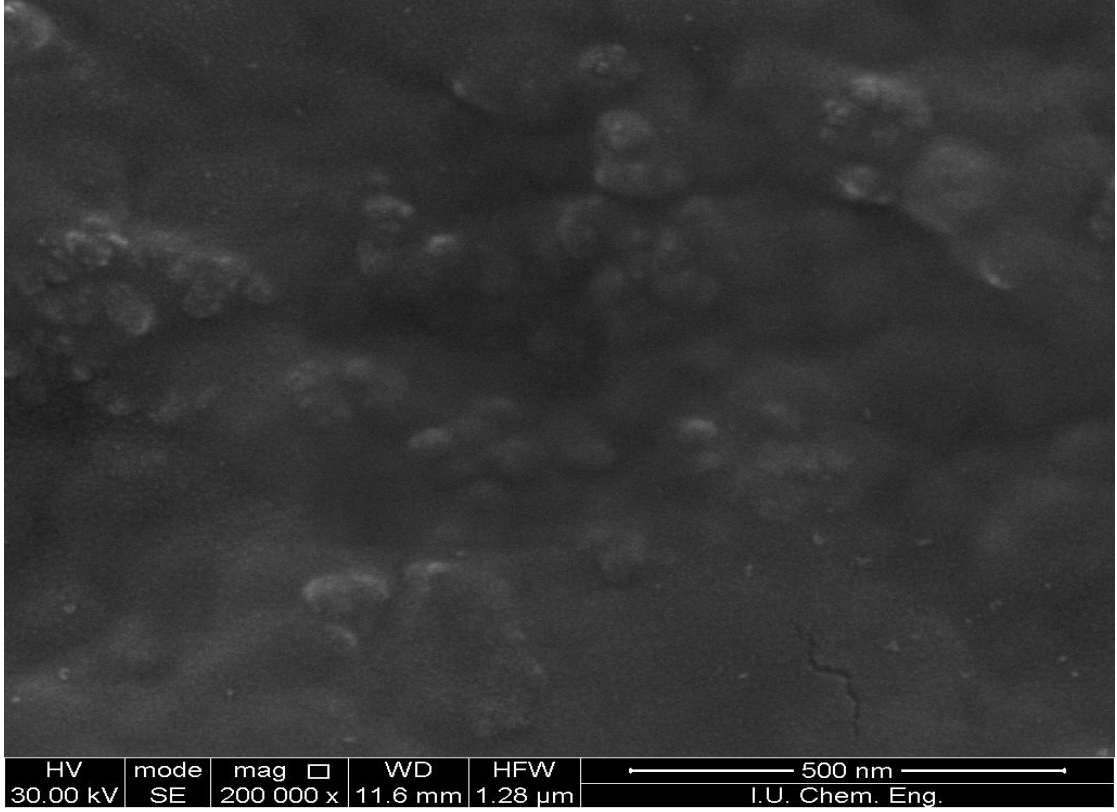
Şekil 4.4'de ikinci sentez yöntemiyle üretilen ZnO yapılarının SEM görüntüleri farklı büyütülme oranları ile verilmiştir.



Şekil 4.4: İkinci sentez yoluyla üretilen ZnO nanoyapılarının SEM görüntüsü.

Şekil 4.4'deki SEM görüntüleri sonucunda birinci sentez yoluyla üretilen ZnO nanoyapılardan farklı olarak yaklaşık 10nm kalınlığında ve 100nm genişliğinde, çiçeğe benzer olduğu için çiçekli nanoyapılar olarak adlandırılan yapılar tespit edilmiştir.

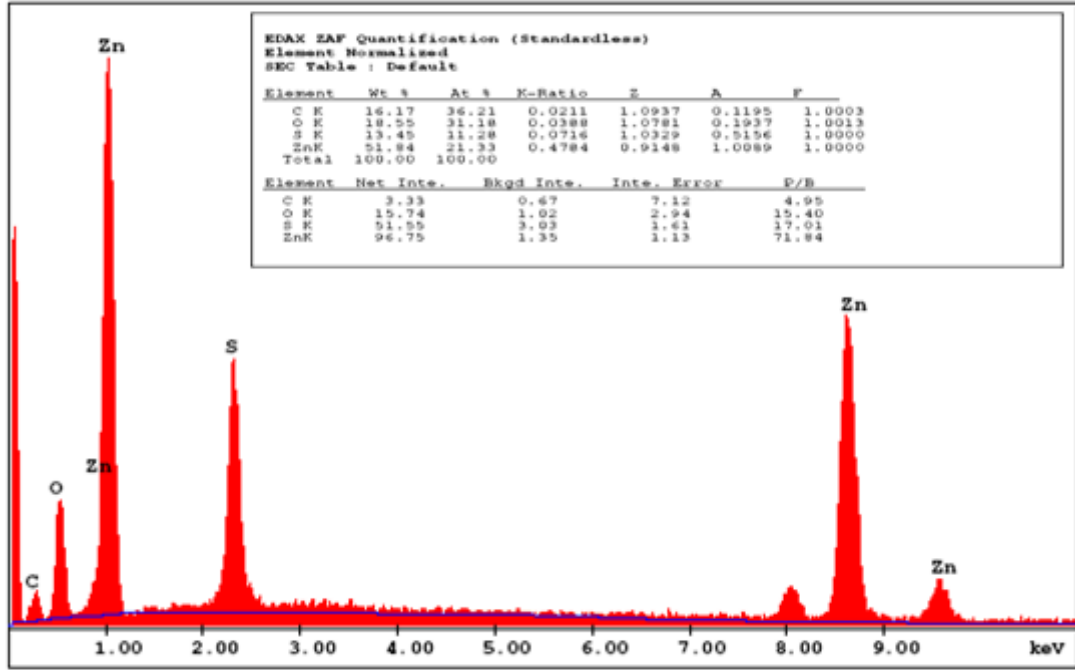
Şekil 4.5'de sol-jel yöntemiyle üretilen ZnS nanoyapılarının SEM görüntüleri farklı büyütülme oranları ile verilmiştir.



Şekil 4.5: ZnS nanoyapılarının SEM görüntüsü.

Şekil 4.5'deki SEM görüntülerine göre sentezlenen ZnS örneklerinin 40-45 nm çaplarında nanoyapıların bir araya gelmesiyle külçe yapıya yakın bir görünüm sergileyen yapılar meydana geldiği tespit edilmiştir. ZnS nanoyapılar için eskitme işlemi yapılmamıştır.

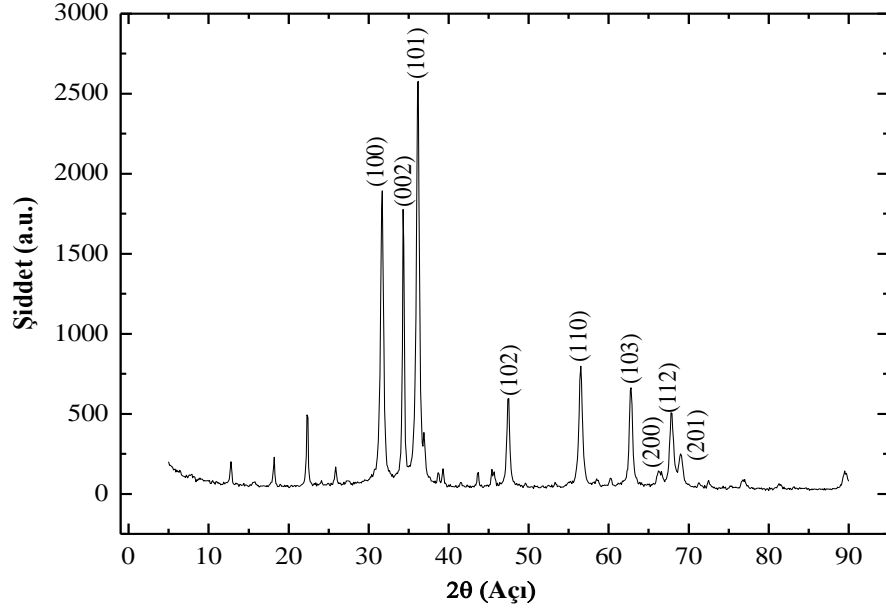
Şekil 4.6'da sentezlenen ZnS nanoyapılarının EDS analizi sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.6: ZnS nanoyapılarının EDS analizi.

EDS sonuçlarına göre atomik olarak S atomlarının Zn atomlarına oranı yaklaşık 0,5 civarındadır. Analiz sonuçlarında C ve O atomlarına rastlanmıştır. Bu durumun sebebinin nanoyapıların sol-jel yöntemi ile sentezlenmesi sürecinde kullanılan etanoldan kaynaklandığı düşünülmektedir. O ve C atomlarının varlığından dolayı sentezlenen nanoyapıların kusurlu ZnS bileşiği oluşturduğu düşünülmektedir.

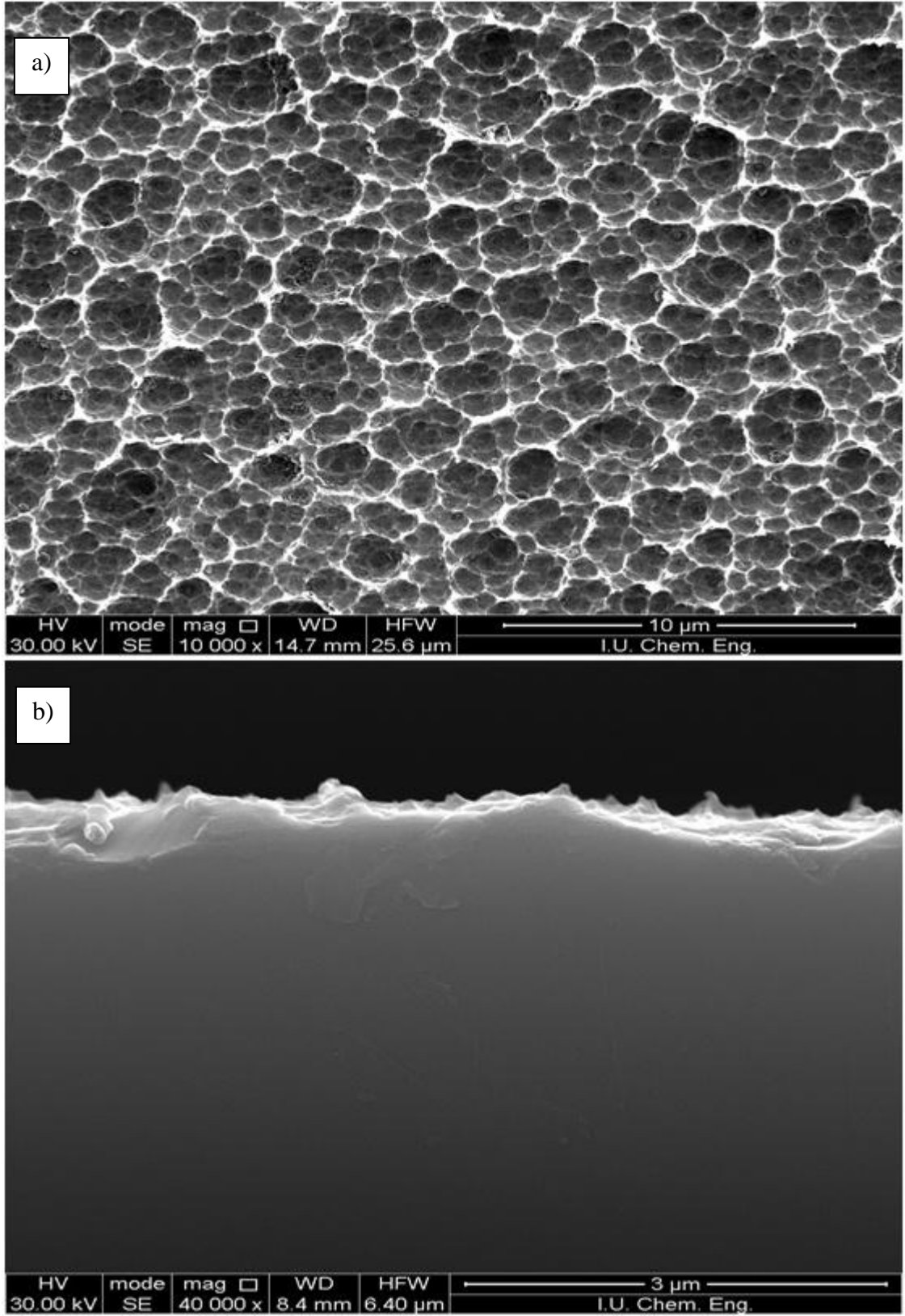
Toz halindeki ZnO çiçekli nanoyapıların kristal yapısını belirlemek için kullanılan XRD ölçümü sonuçları şekil 4.7’de verilmiştir. Buna göre elde edilen yapı $a=b=0.32\text{nm}$, $c=0.52\text{nm}$ olan hekzagonal wurtzite kristal ZnO yapı olarak indekslenmiştir. Yapılarda ZnO’ya ait (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), (201) pikleri gözlenmiştir. ZnO küresel nanoyapıların ve ZnS nanoyapıların XRD ölçümü yapılmamıştır.



Şekil 4.7: ZnO çiçekli nano yapıların XRD analizi.

4.2. GÖZENEKLİ SİLİSYUM ALTLIKLARIN SEM ANALİZİ

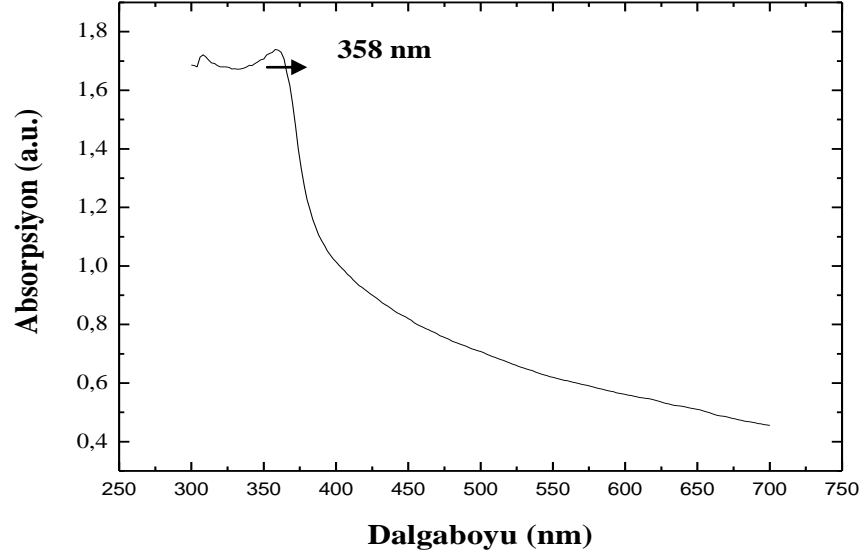
Elektrokimyasal aşındırma işlemi ile hazırlanan pSi altlıklara ait SEM görüntüleri şekil 4.8'de gösterilmiştir. Üsten ve kesitten yapılan SEM analizinden gözenekli yapının ortalama çapı 200-500 nm ve ortalama derinliği 400-500 nm dir. Şekil 4.8'deki üstten yapılan SEM analiz görüntüsünde, aydınlık yerler gözenekli silisyum yapılarına, karanlık yerler ise gözeneklere karşılık gelmektedir. Gözeneklerin homojen bir şekilde dağıldığı ve iç içe geçmiş yapılar şeklinde olduğu gözükmemektedir.



Şekil 4.8: Gözenekli silisyumun SEM görüntüleri (a) üstten, (b) kesitten.

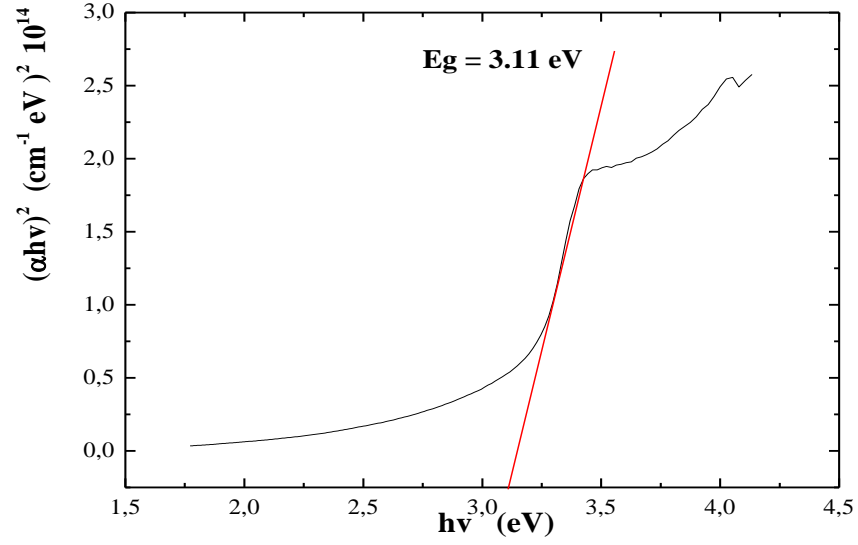
4.3. ZnO VE ZnS NANOYAPILARIN ABSORBSİYON SONUÇLARI

Absorbsiyon ölçümleri Shimadzu UV 1800 Spektrofotometre cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.9'da birinci sentez yoluyla üretilen ZnO nanoyapıların absorpsiyon grafiği verilmektedir.



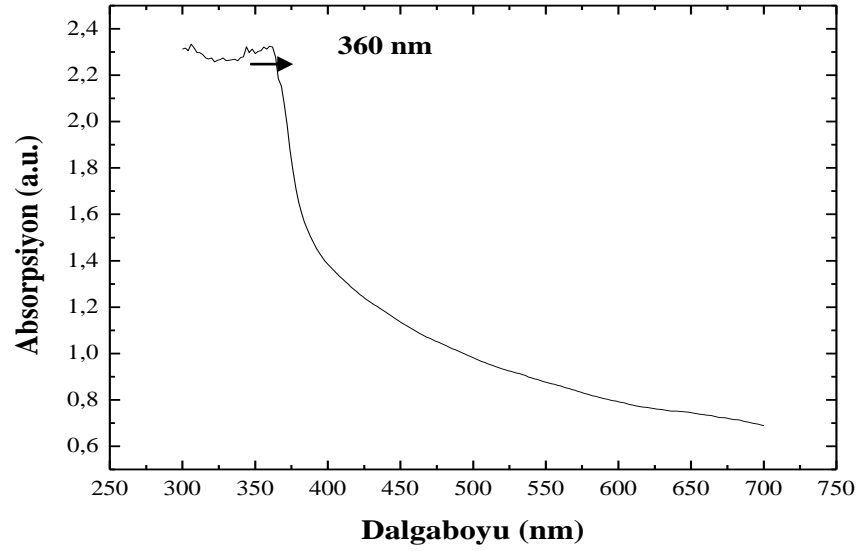
Şekil 4.9: Birinci sentez yoluyla üretilen ZnO nanoyapıların absorpsiyon grafiği.

Absorpsiyon katsayılarının foton enerjisine bağlılığını veren 2.18'deki Tauc formülünü kullanarak yasak bant aralığı belirlenebilir. Şekil 4.10'da Tauc formülü kullanarak çizilen grafiğin eğiminden birinci sentez yoluyla üretilen nanoyapıların yaklaşık olarak 3.11 eV bant aralığına sahip olduğunu belirlenmiştir.



Şekil 4.10: Birinci sentez yoluyla üretilen ZnO nanoyapıların absorpsiyon katsayılarının enerjiye bağlı değişimi.

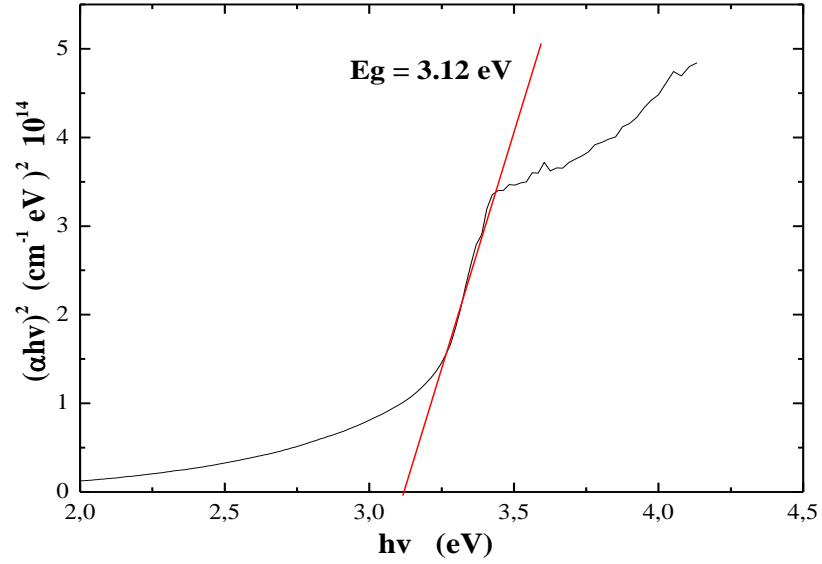
Şekil 4.11’de ikinci sentez yoluyla üretilen ZnO nanoyapıların absorpsiyon grafiği verilmektedir.



Şekil 4.11: İkinci sentez yoluyla üretilen ZnO nanoyapıların absorpsiyon grafiği.

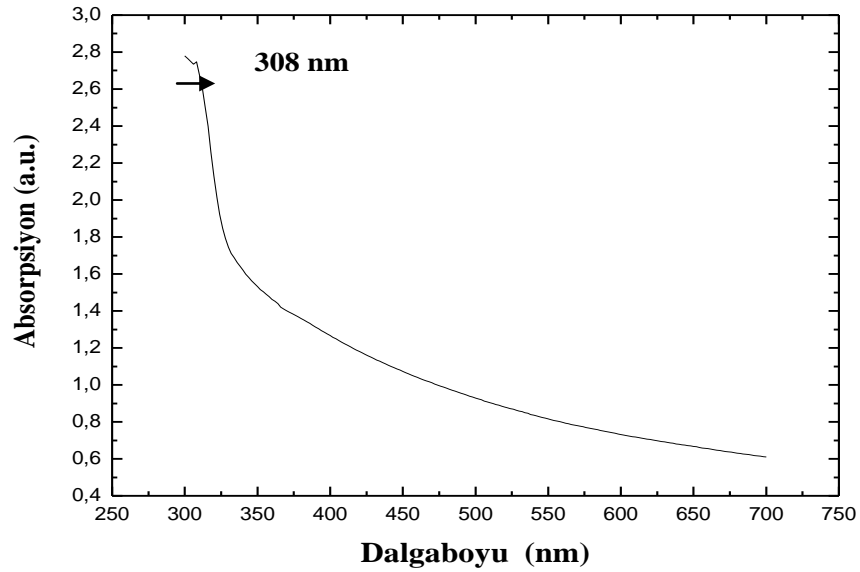
Şekil 4.12’de 2.18 deki Tauc formülü kullanarak çizilen grafiğin eğiminden ikinci sentez yoluyla üretilen ZnO nanoyapılarının yaklaşık 3.12 eV bant aralığına sahip olduğunu belirlenmiştir. Görüldüğü gibi sentezlenen iki farklı ZnO nanoyapıların bant

aralıkları külçe ZnO'ya (3.34 eV) göre küçülmüştür. Bant aralığındaki bu küçülme örneklerin yapısal özellikleri ile ilişkilidir.



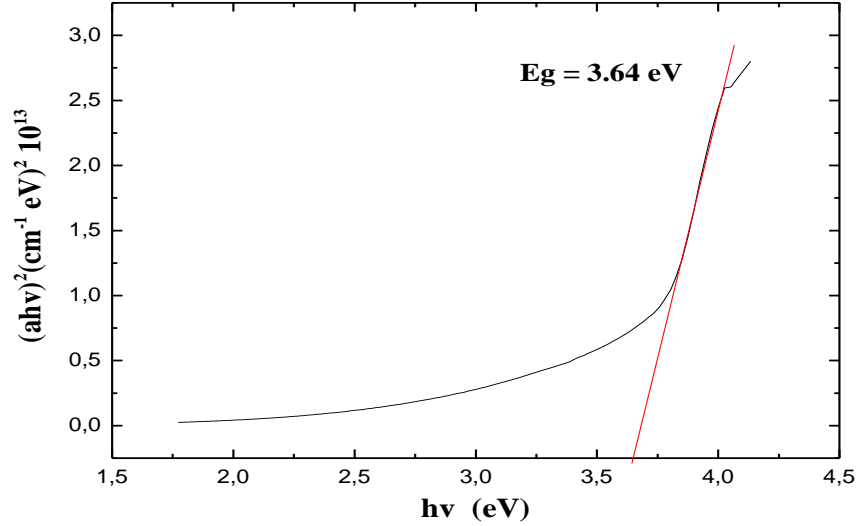
Şekil 4.12: İkinci sentez yoluyla üretilen ZnO nanoyapıların absorpsiyon katsayılarının enerjiye bağlı değişimi.

Şekil 4.13'de sol-jel yöntemiyle üretilen ZnS nanoyapıların absorpsiyon grafiği verilmektedir. Elde edilen pik değeri literatürdeki değerlere oldukça yakındır.



Şekil 4.13: ZnS nanoyapıların absorpsiyon grafiği.

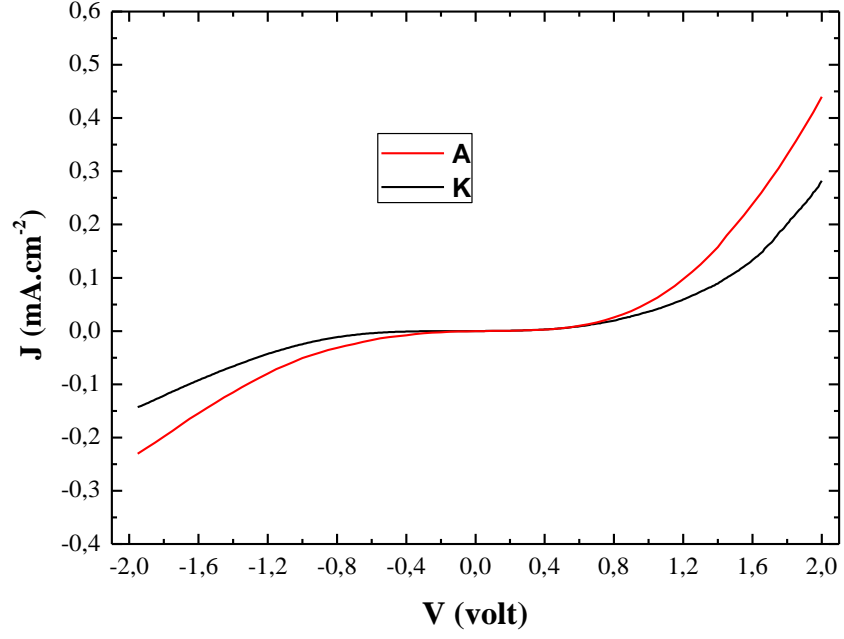
Şekil 4.14'de 2.18'deki tauc formülü kullanarak çizilen grafiğin eğiminden sol-jel yöntemiyle üretilen ZnS nanoyapılarının yaklaşık olarak 3.64 eV bant aralığına sahip olduğunu belirlenmiştir. Bu değer külçe ZnS'nin bant aralığına yakındır.



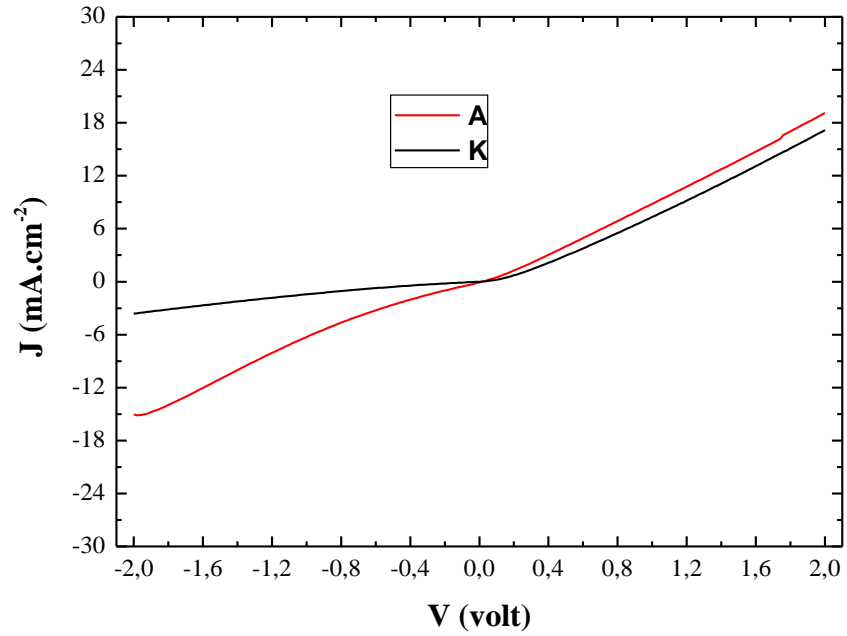
Şekil 4.14: ZnS nanoyapıların absorpsiyon katsayılarının enerjiye bağlı değişimi.

4.4. METAL / NANOYAPI / pSi / METAL EKLEMLERİN ELEKTRİKSEL VE FOTOVOLTAİK KARAKTERİZASYONU

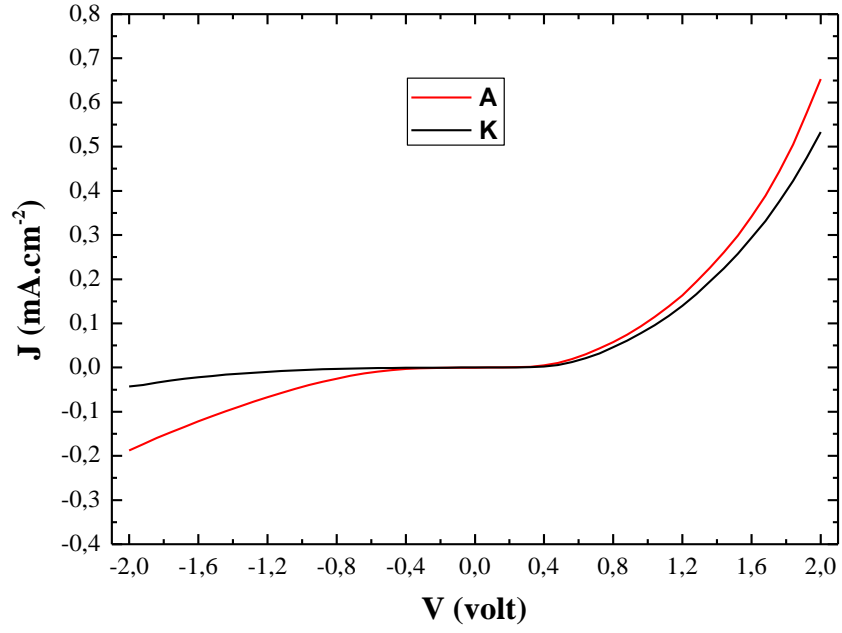
Bölüm 3.5'de bahsedildiği şekilde hazırlanan Metal / Nanoyapı / pSi/ Metal örneklerin bölüm 3.5'deki deney düzeneği kullanılarak elektriksel ve fotovoltaik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. ZnO ve ZnS nanoyapılarının, Al / ZnO-ZnS/ pSi / Al eklemlerinin elektriksel özelliklerine etkisinin incelenmesi için farklı katlarda (2-4-8) kaplama yapılmıştır. Birinci sentez yöntemiyle üretilen ZnO küresel nanoyapılarının karanlık ve aydınlıktaki J-V grafikleri sırasıyla şekil 4.15, şekil 4.16 ve şekil 4.17'de gösterilmiştir. Şekil 4.18'de farklı kalınlıkta ZnO küresel nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnO / pSi / Al ekleminin açık devre gerilimi - kısa devre akım karakteristiği görülmektedir.



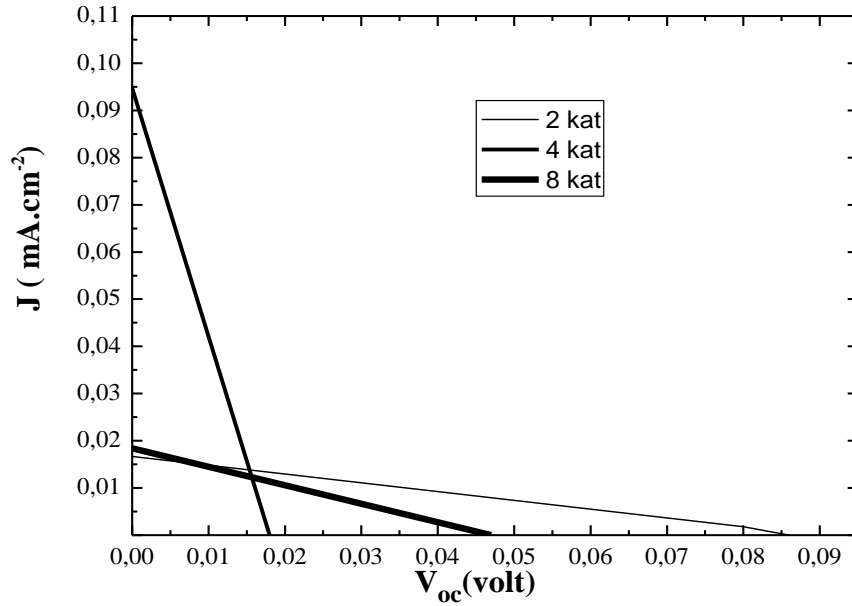
Şekil 4.15: 2 kat ZnO küresel nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnO / pSi / Al eklemının aydınlık (kırmızı) ve karanlıkta (siyah) J-V karakteristiği.



Şekil 4.16: 4 kat ZnO küresel nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnO / pSi / Al eklemının aydınlık ve karanlıkta J-V karakteristiği.



Şekil 4.17: 8 kat ZnO küresel nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnO / pSi / Al eklemının aydınlık ve karanlıkta J-V karakteristiği.



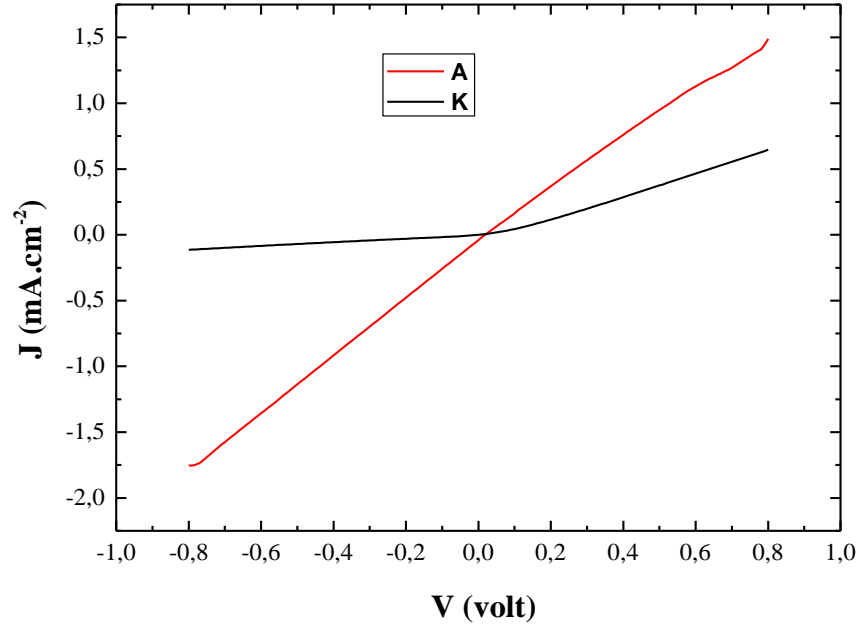
Şekil 4.18: Farklı kalınlıkta ZnO küresel nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnO / pSi / Al eklemının açık devre gerilimi kısa devre akım karakteristiği (2 kat ve 8 kat için Jx100 alınmıştır.)

Tablo 4.1'de ZnO küresel nanoyapılı ince filmlerin güneş pili karakteristikleri gösterilmiştir.

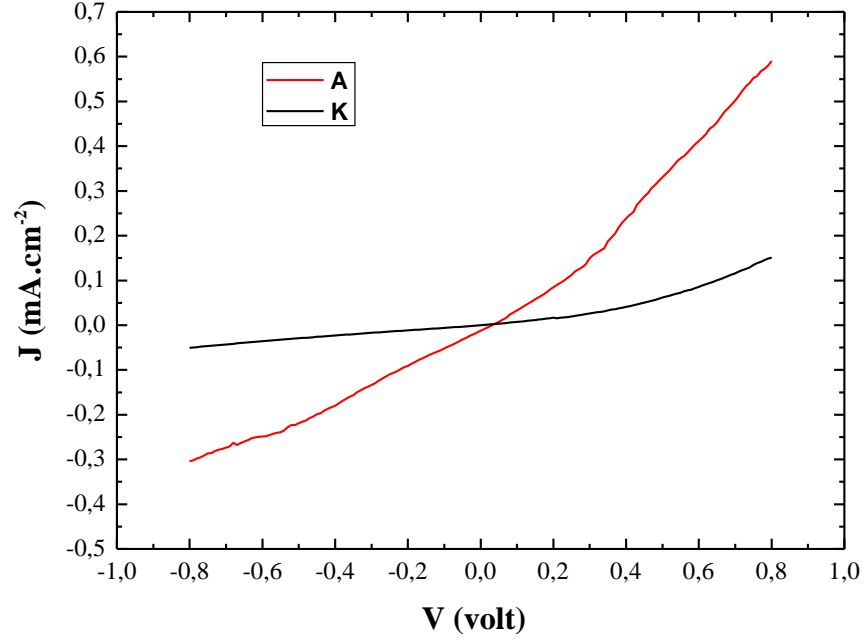
Tablo 4.1: ZnO küresel nanoyapılı ince filmlerin güneş pili karakteristikleri.

Kat Sayısı	V_{oc} (mV)	J_{cs} ($mA\ cm^{-2}$)	FF	η %
2	48	$1,83 \cdot 10^{-4}$	0,240	$0,21 \cdot 10^{-5}$
4	18,7	$9,47 \cdot 10^{-2}$	0,239	$0,42 \cdot 10^{-3}$
8	86,5	$1,66 \cdot 10^{-4}$	0,257	$0,37 \cdot 10^{-5}$

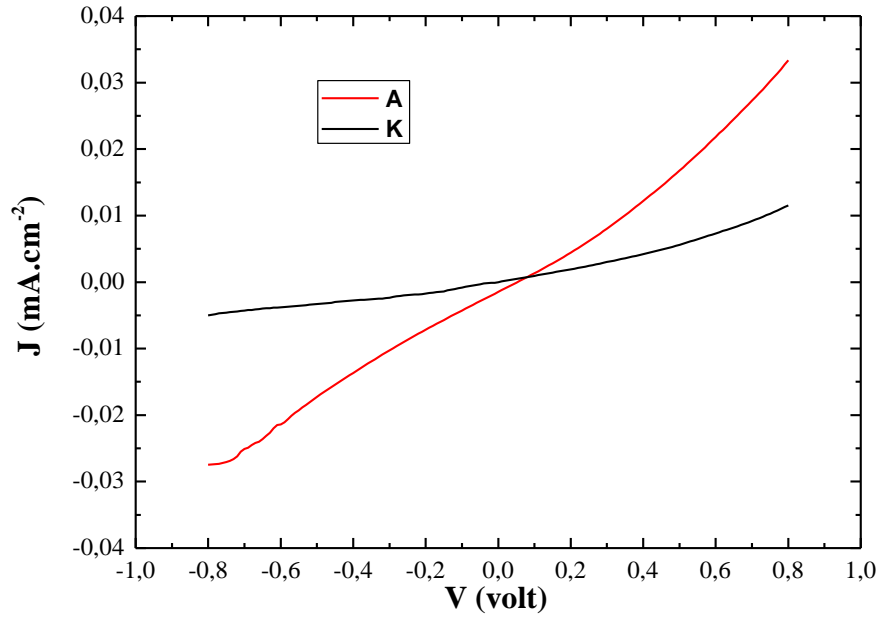
İkinci sentez yöntemiyle üretilen ZnO çiçekli nanoyapıların karanlık ve aydınlıktaki J-V grafikleri sırasıyla şekil 4.19, şekil 4.20 ve şekil 4.21’de gösterilmiştir. Şekil 4.22’de farklı kalınlıkta ZnO çiçekli nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnO / pSi / Al eklemine açık devre gerilimi kısa devre akım karakteristiği görülmektedir.



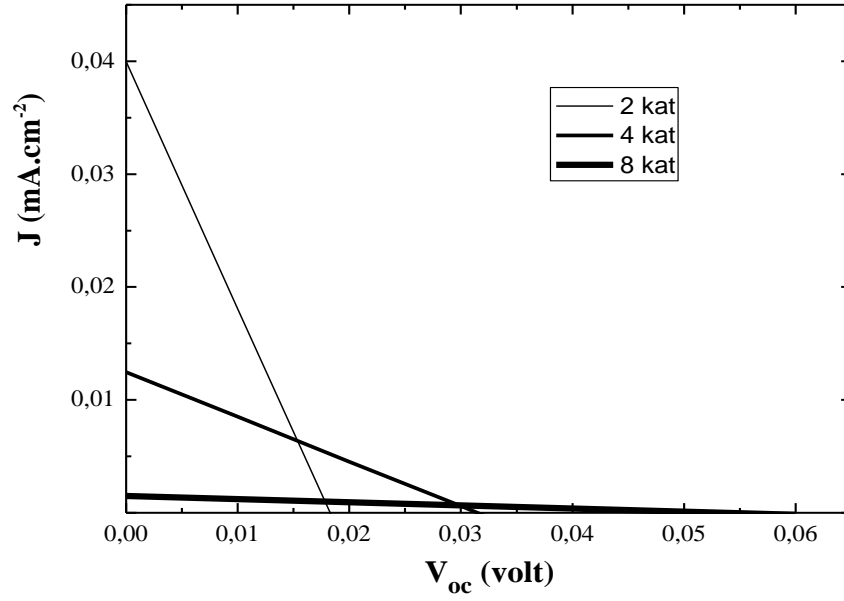
Şekil 4.19: 2 kat ZnO çiçekli nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnO / pSi / Al eklemine aydınlık ve karanlıkta J-V karakteristiği.



Şekil 4.20: 4 kat ZnO çiçekli nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnO / pSi / Al eklemının aydınlık ve karanlıkta J-V karakteristiği.



Şekil 4.21: 8 kat ZnO çiçekli nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnO / pSi / Al eklemının aydınlık ve karanlıkta J-V karakteristiği.



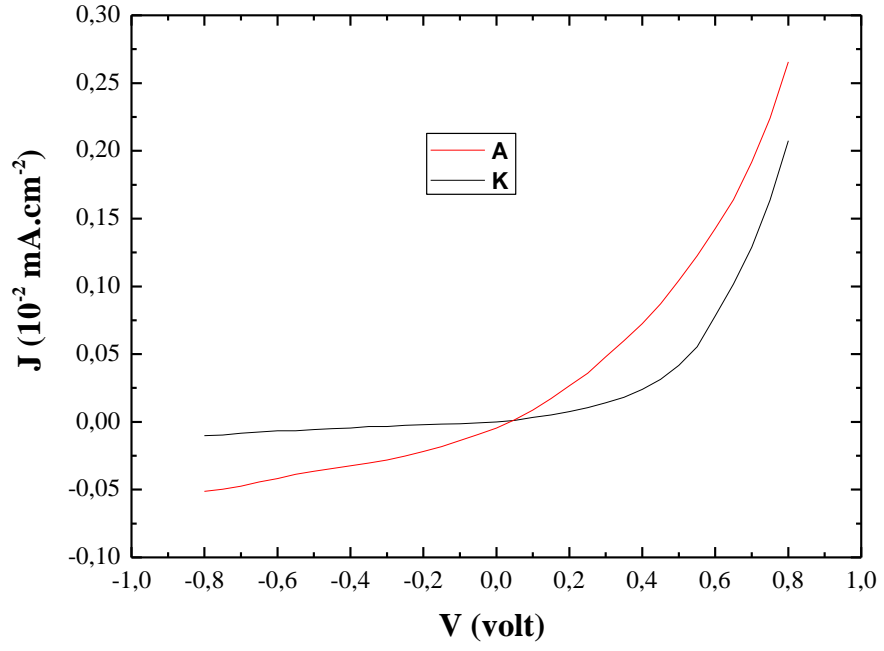
Şekil 4.22: Farklı kalınlıkta ZnO çiçekli nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnO / pSi / Al ekleminin açık devre gerilimi kısa devre akım karakteristiği.

Tablo 4.2'de ZnO çiçekli nanoyapılı ince filmlerin güneş pili karakteristikleri gösterilmiştir.

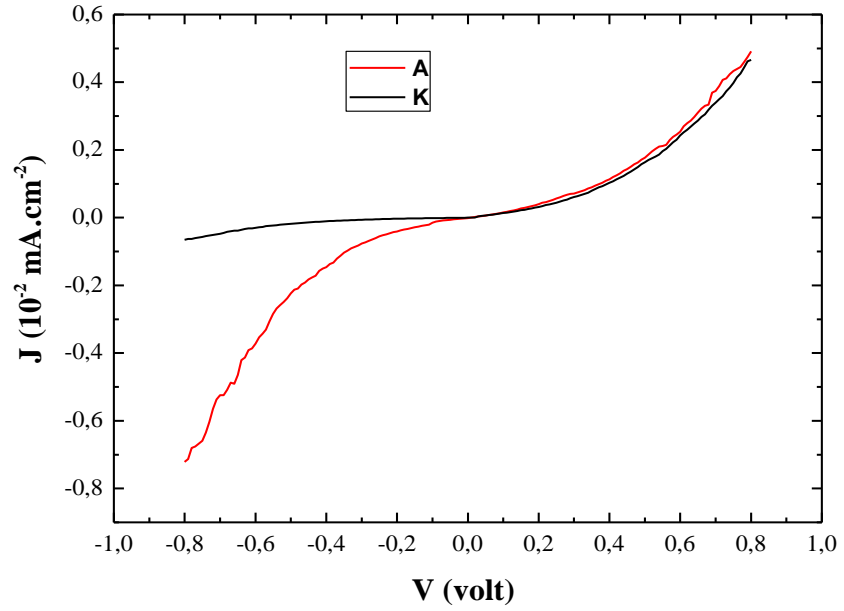
Tablo 4.2: ZnO çiçekli nanoyapılı ince filmlerin güneş pili karakteristikleri.

Kat Sayısı	V _{oc} (mV)	J _{cs} (mA cm ⁻²)	FF	η %
2	18,56	3,9.10 ⁻²	0,246	0,15.10 ⁻³
4	31,55	1,2.10 ⁻²	0,249	0,97.10 ⁻⁴
8	53,65	1,48.10 ⁻³	0,244	0,19.10 ⁻⁴

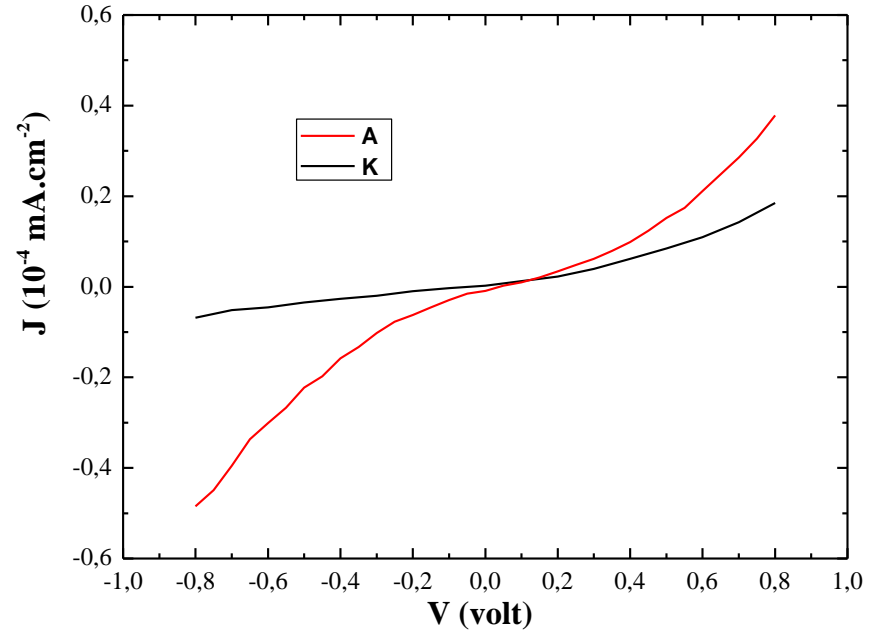
Sol-jel yöntemiyle sentezlenen ZnS nanoyapıların karanlık ve aydınlıktaki J-V grafikleri sırasıyla şekil 4.23, şekil 4.24 ve şekil 4.25'de gösterilmiştir. Şekil 4.26'da farklı kalınlıkta ZnS nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnS/ pSi / Al ekleminin açık devre gerilimi kısa devre akım karakteristiği görülmektedir.



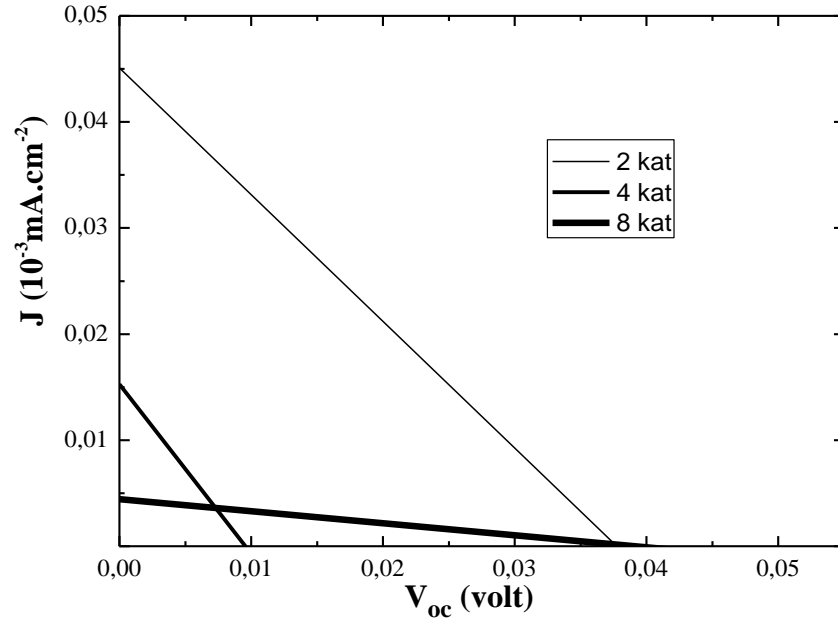
Şekil 4.23: 2 kat ZnS nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnS/ pSi / Al eklemının aydınlık ve karanlıkta J-V karakteristiği.



Şekil 4.24: 4 kat ZnS nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnS/ pSi / Al eklemının aydınlık ve karanlıkta J-V karakteristiği.



Şekil 4.25: 8 kat ZnS nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnS / pSi / Al eklemının aydınlık ve karanlıkta J-V karakteristiği.



Şekil 4.26: Farklı kalınlıkta ZnS nanoyapılı film ile hazırlanan Al / ZnS/ pSi / Al eklemının açık devre gerilimi kısa devre akım karakteristiği. (8 kat için Jx5 alınmıştır.)

Tablo 4.3'de ZnS nanoyapılı ince filmlerin güneş pili karakteristikleri gösterilmiştir.

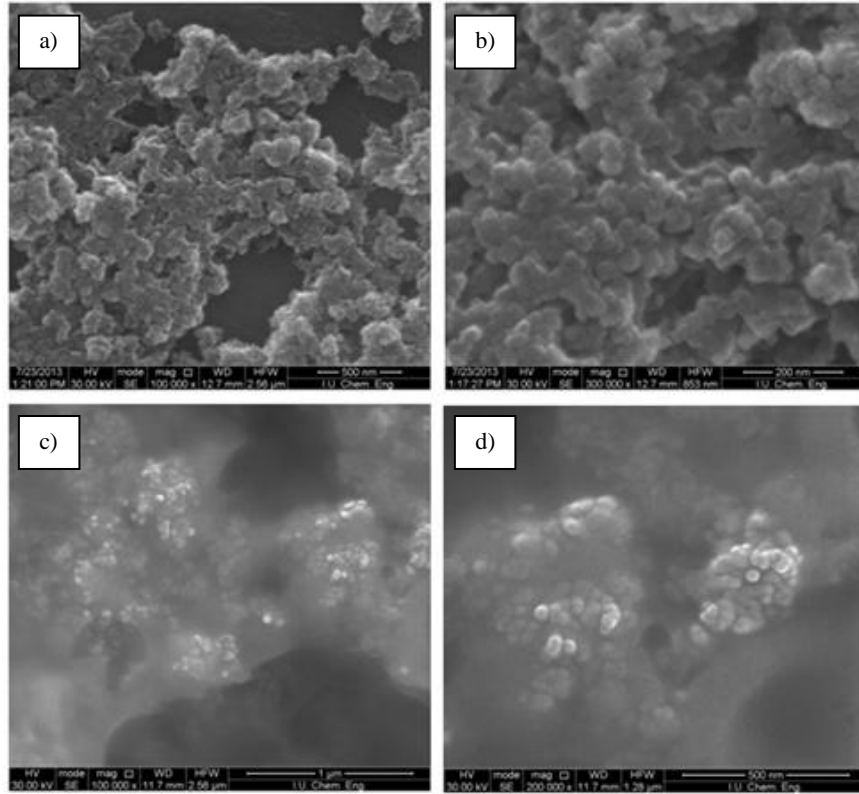
Tablo 4.3: ZnS nanoyapılı ince filmlerin güneş pili karakteristikleri.

Kat Sayısı	V_{oc} (mV)	J_{cs} ($mA\ cm^{-2}$)	FF	η %
2	37,7	$4,5 \cdot 10^{-5}$	0,296	$0,5 \cdot 10^{-6}$
4	9,2	$1,52 \cdot 10^{-5}$	0,258	$0,36 \cdot 10^{-7}$
8	39,13	$18,87 \cdot 10^{-7}$	0,245	$0,85 \cdot 10^{-8}$

Tüm örnekler incelendiğinde en iyi fotovoltaiik özellik gösteren örneklerin ZnO küresel nanoyapılar için 4 kat, ZnO çiçekli nanoyapılar 2 kat ve ZnS nanoyapılar 2 kat film kaplama ile hazırlanan eklemler olduğu belirlenmiştir. Kaplama sayısı arttıkça örneklerin ışığa duyarlılığı genel olarak azalmaktadır. Küresel ve çiçekli nanoyapılı ZnO ile kaplanmış örneklerin fotovoltaiik özellikleri kıyaslandığında değerlerin farklı olduğu gözükmemektedir. Buradan ZnO nanoyapılarının morfolojik özelliklerinin ölçüm sonuçlarına tesir ettiği anlaşılmaktadır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

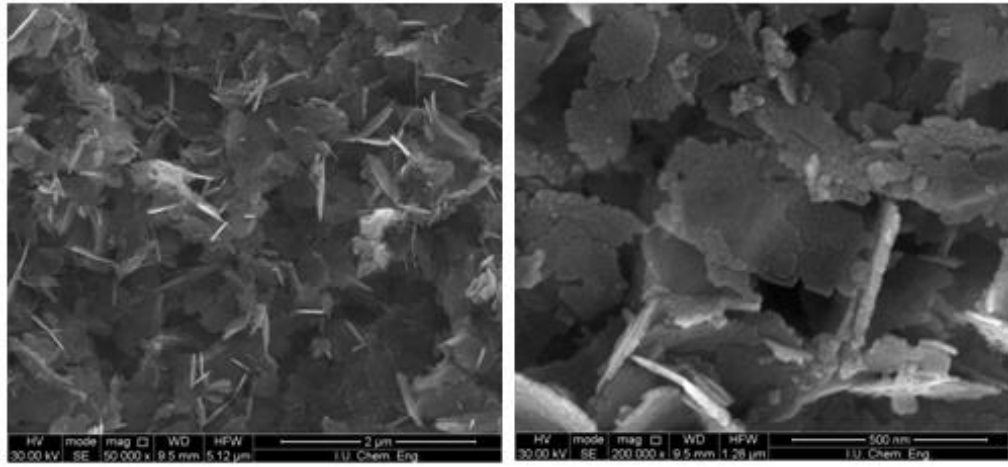
Bu çalışmada, sol-jel yöntemi kullanılarak, ZnS ve ZnO nanoyapıları sentezlenmiştir. ZnS nanoyapılar, tek sentezleme süreci kullanılarak üretilmiştir. ZnO nanoyapılar, iki farklı sentezleme süreci kullanılarak, farklı şekil ve büyüklüklerde üretilmiştir. Altlık olarak, Elektrokimyasal anodizasyon işlemi ile elde edilen gözenekli p-tipi silisyum kullanılmıştır. Sentezlenen nanoyapılar, gözenekli pSi altlıklar üzerine, döndürme kaplama yöntemi ile kaplanmış ve oluşturulan p-n eklemelinin fotovoltaik özellikleri incelenmiştir. Şekil 5.1 (a ve b)'deki SEM görüntülerinden, birinci sentez yoluyla üretilen ZnO örneklerinin küresel nanoyapılara benzediği görülmektedir. Bir yıl etanol de bekletilerek eskitme yapılan nanoyapıların parçacık büyüklüklerinin biraz arttığı ancak şekillerinin değişmediği tespit edilmiştir (şekil 5.1 c ve d). Literatürde yaşlandırma zamanının artmasının boyutların büyümesini etkilediği bilinmektedir [70].



Şekil 5.1: (a) ve (b) eskitme işlemi öncesi, (c) ve (d) eskitme işlemi sonrası örnekler.

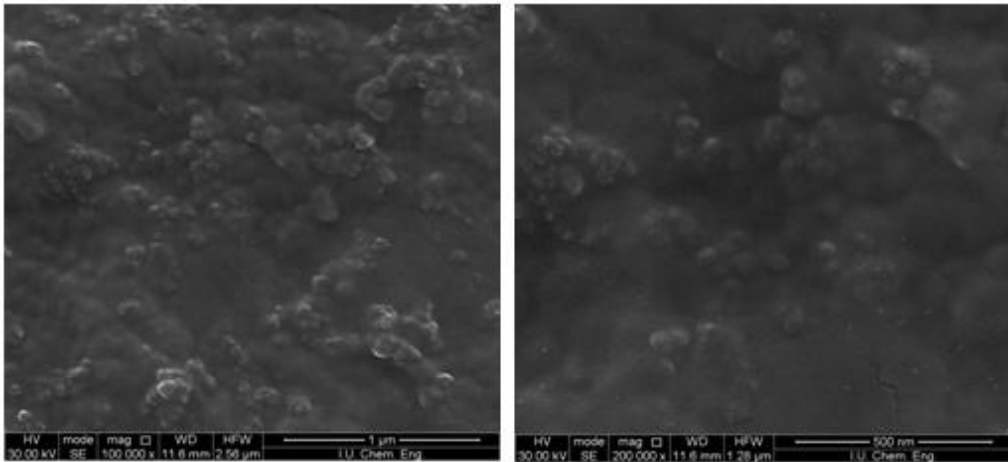
EDS analizi sonuçlarında, birinci sentez yoluyla üretilen örneklerde, C atomuna rastlanmıştır. Bu durumun, sentezleme sürecinde kullanılan çinko asetat dehidrat ve etanoldan kaynaklandığı düşünülmektedir [45].

Şekil 5.2'deki SEM görüntüleri incelendiğinde, ikinci sentez yoluyla üretilen ZnO örneklerinin çiçekli nanoyapılara benzediği görülmektedir. Sentezlenen nanoyapıların şekil ve büyüklüklerinin farklı olması, sentezleme sürecindeki parametrelerin değiştirilmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.2: İkinci sentez yoluyla üretilen ZnO çiçekli nanoyapılar.

Şekil 5.3'deki SEM görüntüleri incelendiğinde, sol-jel yöntemiyle sentezlenen ZnS örneklerinde, nanoyapıların kümeleşmesinden dolayı, külçe görünüme benzeyen yapıların meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 5.3: ZnS nanoyapılar.

EDS analizleri sonucunda ZnS nanoyapılarında da, C ve O atomlarına rastlanmıştır. Bu durumun, ZnO nanoyapılarında olduğu gibi sentezleme sürecinde kullanılan çinko asetat dehidrat ve etanoldan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu çalışmada, sol-jel yöntemiyle üretilen nanoyapıların SEM analizleri sonucunda, ZnS nanoyapıların büyüklüğü 40-45 nm, birinci sentez yoluyla elde edilen küresel ZnO nanoyapıların büyüklüğü 20-25 nm, ikinci sentez yoluyla üretilen çiçeksi ZnO nanoyapıların büyüklüğü 10-100 nm olarak bulunmuştur. Birinci sentez yoluyla elde edilen küresel ZnO nanoyapılar, bir yıl etanol içerisinde bekletilerek eskitme yapıldığında büyüklüklerinin 35-40 nm olduğu tespit edilmiştir.

ZnO nanoyapılar için kuantum boyut etkisi 10 nm altında başladığından [69], bu çalışmada kullanılan ZnO nanoyapılarda kuantum boyut etkisi beklenmemektedir. Bunun yanında, bu çalışmada gözeneklerin tamamen doldurularak daha çok sayıda p-n eklemleri oluşturabilmek için nanoyapılar kullanılmıştır. Oluşan p-n eklemlerinin fotovoltajik özelliklere katkısı incelenmiştir. Ancak yapıda hem boyuna hem de enine p-n eklemi oluşturur. Bunun için elde edilen fotovoltajik sonuçların yorumu karmaşıktır.

Absorbsiyon ölçüm sonuçları kullanılarak yapılan hesaplamalardan bant aralıkları, ZnO küresel nanoyapılar için 3.11 eV ve ZnO çiçekli nanoyapılar için 3.12 eV bulunmuştur. Her iki sentezleme yöntemiyle elde edilen ZnO nanoyapıların bant aralığı değerleri, deneyler ve hesaplamalardaki hata payları göz önüne alındığında eşit kabul edilebilir. Literatürde aynı yöntemle elde edilen 35-40 nm büyüklüğündeki ZnO nanoyapılar için bant aralığı 3.14 eV – 3.25 eV olarak bulunmuştur. Dolayısıyla elde edilen bant aralığı değerleri literatürdeki değerler ile uyushmaktadır. [71].

Absorbsiyon ölçüm sonuçları kullanılarak yapılan hesaplamalardan, ZnS nanoyapıların bant aralığı 3.64 eV olarak bulunmuştur.

Toz halindeki ZnO çiçekli nanoyapıların XRD ölçüm sonuçlarından, sentezlenen yapının, örgü sabitleri $a=b=0.32\text{nm}$, $c=0.52\text{nm}$ olan hekzagonal wurtzite olduğu belirlenmiştir.

Singh ve arkadaşlarının ZnO ince film kaplı gözenekli pSi örnekleri üzerinde yaptıkları fotoluminesans çalışmalarından, argon gazı ortamında, tavlama sıcaklığının 500 °C'ye

çıkartılması ile optik özelliklerinin iyileştiği bilinmektedir [72]. Bu tez çalışmasında ise örnekler, atmosfer ortamında, 350 C'ye kadar tavlana bilmiştir. Tavlama sıcaklığının yükseltilmesiyle örneklerin verimleri arttırılabileceği düşünülmektedir.

Elektrokimyasal anodizasyon işlemi ile elde edilen gözenekli pSi altlıklara ait SEM görüntülerinden, gözenek çapının 200-500 nm ve gözenek derinliğinin 400-500 nm arasında olduğu belirlenmiştir. Gözenek çapı ve derinliğinin sentezlenen nanoyapılardan daha büyük olması sağlanarak, nanoyapıların gözenekleri doldurması amaçlanmıştır.

Sol-jel yöntemiyle sentezlenen ZnO ve ZnS nanoyapılar gözenekli pSi üzerine döndürme kaplama yöntemi ile ince film olarak kaplanmış ve elde edilen yeni yapıların elektriksel ve fotovoltaiik özellikleri incelenmiştir. Farklı sayılarda kaplama yapılarak kaplama kalınlığının etkisi belirlenmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda, ZnO küresel nanoyapılar 4 kat kaplamada, ZnO çiçekli nanoyapılar 2 kat kaplamada ve ZnS nanoyapılar 2 kat kaplamada en iyi fotovoltaiik özellikler göstermişlerdir. Örnekler karşılaştırıldığında, en küçük boyutlara sahip ZnO nanoyapıların 4 kat kaplandığında, daha büyük nanoyapıların (ZnO ve ZnS) ise 2 kat kaplandığında en iyi sonuçları vermesi nanoyapı kalınlığı arttıkça ışığın p-n eklemesinde soğurulmasının artmasından kaynaklanabilir.

Fotovoltaiik ölçümler sırasında örneklerin yüzey sıcaklığının artması, akım yoğunluğunun biraz artmasına, buna karşılık açık devre voltajının daha fazla azalmasına sebep olmakta, sonuç olarak verimi azaltmaktadır.

Bu tezde, sol-jel yöntemiyle hazırlanan örneklerin morfolojik, optik ve fotovoltaiik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. İlerideki çalışmalarda, yapılan bu çalışmalara ilaveten, sol-jel yöntemiyle hazırlanan nanoyapılara katkılama yapılarak ve farklı kontak metalleri kullanılarak bu yapıların, fotovoltaiik özelliklerinin geliştirilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1]. Öztürk, H.H., Kaya, D., 2013, *Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi: Fotovoltaik Teknoloji*, Umuttepe, Kocaeli, ISBN: 9786055100001.
- [2]. Singha, R., Rangarib, V., Sanagapallia, S., Jayaramana, V., Mahendraa, S., Singha, V., 2004, Nano-structured CdTe, CdS and TiO₂ for thin film solar cell applications, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 82, 315-330.
- [3]. Ramsden, J., 2011 , *Nanoteknolojinin Esasları*, Odtü Yayıncılık, Ankara, ISBN: 9786054362486.
- [4]. Erkoç, Ş., 2010, *Nanobilim ve Nanoteknoloji*, Odtü Yayıncılık, Ankara, ISBN: 9789944344289.
- [5]. Al-Kahlouta, A., 2012, ZnO nanoparticles and porous coatings for dye-sensitized solar cell application:Photoelectrochemical characterization, *Thin Solid Films*, 520, 1814–1820.
- [6]. Rao, C.N.R., Müller, A., Cheetham, A.K., 2007, *Growth of Nanocrystals in Solution, in Nanomaterials chemistry: recent developments and new directions*, Wiley-Vch Verlag GmbH & Co., Weinheim, Germany, ISBN: 9783527611362.
- [7]. Chandran,A., Francis, N., Jose, T. and George, K.C., 2010, Synthesis, structural characterization and optical band gap determination of ZnS nanoparticles, *Academic Review*, 1, 17-21.
- [8]. Zhu, Y.C., Bando, Y. and Xue, D.F., 2003, Spontaneous growth and luminescence of Zinc Sulfide nanobelts, *Applied physics letters*, 82, 1769-1771.
- [9]. Janotti, A., Walle, C.G.V., 2009, Fundamentals of zinc oxide as a semiconductor, *Rep. Prog. Phys.* 72, 126501.
- [10]. Pearton, S.J., Norton, D.P., Ip, K., Heo, Y.W., Steiner, T., 2004, Recent advances in processing of ZnO, *Journal of Vacuum Science & Technology*, B 22, 932.
- [11]. Chowdhury, A.R., Rao, V.P., Ghosh, B., Banerjee, S., 2012, Antireflection Coating On Solar Cell Using ZnO Nanostructure, *AIP Conference Proceedings* 1447, 777.
- [12]. Minemoto, T., Mizuta, T., Takakura, H., Hamakawa, Y., 2007, Antireflective coating fabricated by chemical deposition of ZnO for spherical Si solar cells, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 91, 191-194.

- [13]. Ikono, R., Akwalia, P.R., Siswanto., Wahyu, B.W., Sukarto, A., Rochman, N.T., 2012, Effect of PH Variation on Particle Size and Purity of Nano Zinc Oxide Synthesized by Sol-Gel Method, *International Journal of Engineering & Technology Ijet-Ijens*, Vol:12, 06.
- [14]. Bera, D., Qian, L., Sabui, S., Santra, S., Holloway, P.H., 2008, Photoluminescence of ZnO quantum dots produced by a sol-gel process, *Optical Materials*, 30, 1233-1239.
- [15]. Kumar, S.S., Venkateswarlu, P., Rao, V.R., Rao, G.N., 2013, Synthesis characterization and optical properties of zinc oxide nanoparticles, *Kumar et al. International Nano Letters*, 3:30.
- [16]. Khan, W., Khan, Z.A., Saad, A.A., Shervani, S., Saleem, A., Naqvi, A.H., 2013, Synthesis and characterization of Al doped ZnO nanoparticles, *International Journal of Modern Physics: Conference Series*, Vol. 22, 630–636.
- [17]. Luque, A., Hegedus, S., 2003, *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., ISBN:0471491969.
- [18]. Çolak, M., 2009, *Bilim ve Teknik Dergisi*, Tübitak, 32-35.
- [19]. Özcan, E.S., 2013, *Bilim ve Teknik Dergisi*, Tübitak, 34-39.
- [20]. Tercan, M.B., 2000, *Güneş pili karakterizasyon yöntemleri*, Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [21]. Karamanav, M., 2007, *Güneş enerjisi ve güneş pilleri*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [22]. Pagliaro, M., Palmisano, G., Ciriminna, R., 2008, *Flexible solar cells*, Wiley-Vch Verlag GmbH & Co. KGaA, ISBN: 9783527323753.
- [23]. Smith, R. A., 1978, *Semiconductors*, Cambridge University Press, Cambridge, ISBN: 0521293146.
- [24]. Tüzün, Ö., 2005, *metal-yalıtkan-yarıiletken yapıdaki gözenekli silisyum güneş pillerinin elektriksel karakteristikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [25]. Kittel, C., 2005, *Introduction to solid state physics*, John wiley & Sons, Inc., Danvers, ISBN: 0471680575.
- [26]. Colinge, J.P., Colinge, C.A., 2002, *Physics of semiconductor devices*, Springer, Dordrecht, ISBN: 1402070187.
- [27]. Sze, S.M., Ng, K.K., 2007, *Physics of semiconductor devices*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, ISBN:0471143235.
- [28]. Uhlir, A., 1956, Electrolytic Shaping of Germanium and Silicon, *Bell System Tech. J.*, 35:333-347.

- [29]. Sailor, M. J., 2012, *Porous Silicon in Practice: Preparation, Characterization and Applications*, Wiley-VCH Verlag GmbH&Co,KGaA, ISBN: 9783527313785.
- [30]. Yüksel, S. A., 2010, *Gözenekli sisilyum esaslı sensörlerin incelenmesi*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [31]. Hong, K. and Lee, C., The Structure And Optical Properties of n-Type and p-Type Porous Silicon, 2003, *Journal of the Korean Physical Society*, Vol. 42, 671-675.
- [32]. Bisi, O., Ossicini, S., Pavesi, L., 2000, Porous silicon: a quantum sponge structure for silicon based optoelectronics, *Surface Science Reports*, 38, 1-126.
- [33]. Kanemitsu, Y., 1995, Light emission from porous silicon and related materials, *Physics Reports Volume*, 263, Issue 1, 1–91.
- [34]. Lehmann, V. and Gösele, U., 1991, Porous Silicon Formation: A Quantum Wire Effects, *Appl. Phys. Lett.*, 58: 856-858.
- [35]. Rouquerol, J. , Avnir, D. , Fairbridge, C.W. , Everett, D.H. , Haynes, J.H. , Pernicone, N. , Ramsay, J.D.F. , Sing, K.S.W. , and Unger, K.K., 1994, Recommendations for the characterization of porous solids, *Pure Appl. Chem.*, 66 (8), 1739 – 1758.
- [36]. Dökme, İ., 2002, *Al/p-Si ve Au/n-Si schottky diyotlarda I-V ve C-V karakteristiklerinin geniş bir sıcaklık aralığında analizi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [37]. Turgut, G., Keskenler, E. F., Aydın, S., Doğan, S., Duman, S., Sönmez, E., Esen, B., Düzgün, B., 2013, A study on characterization of Al/ZnS/p-Si/Al heterojunction diode synthesized by sol-gel technique, *Materials Letters*, 102–103, 106–108.
- [38]. Coskun, C., Gedik, N., Balcı, E., 2006, The effect of high-energy electron irradiation on ZnO-based ohmic and Schottky contacts, *Semicond. Sci. Technol*, 21, 1656–1660.
- [39]. Öztürk, S., 2011, *TiO₂ ince filmlerin üretilmesi ve fotovoltaik özelliklerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [40]. Çıracı, S., 2005, *Bilim ve Teknik Dergisi Yeni Ufuklar Eki*, Tübitak, 5-10.
- [41]. Özbay, E., 2008, *Çerçeve Dergisi*, Müsiad, 54-57.
- [42]. Avcıata, O., 2009, *Nano Tozların Sentezi ve Karakterizasyonu*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [43]. Arıkan, İ.F., 2011, *InAs/GaAs ve GaSb/GaAs kuantum noktaları içeren yapıların elektriksel özelliklerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [44]. Üzar, N., 2006, *Katalitik büyütme ile elde edilen II-VI grubu nanotellerin fiziksel özelliklerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [45]. Brinker, C.J., 1990, *Sol-Gel Science The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*, London, ISBN: 1001213449705.
- [46]. Evcin, A., 2014, *Kaplama teknikleri ders notları*, <http://www.kimmuh.com/evcin/com/evcin/coating/coating8.pdf>, [Ziyaret tarihi: 25 Eylül 2014].
- [47]. Comba, B., 2009, *Sol-gel yöntemi ile ZnO kuantum noktalarının sentezlenmesi ve karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [48]. Phalippou, J., 2014, *Sol-gel temperature process for the materials of the new millennium*, <http://www.solgel.com/articles/June00/phalip/phalippou.htm>, [Ziyaret tarihi: 25 Eylül 2014].
- [49]. Mennig, M., Schmidt, H., 2014, *Wet Coating Technologies for Glass*, <http://www.solgel.com/articles/Nov00/oating.htm>, [ziyaret tarihi: 25 eylül 2014].
- [50]. Kobayashi, M., Olding, T.R., Sayer, M., Jen, C.K., 2002, Piezoelectric thick film ultrasonic transducers fabricated by a sol–gel spray technique, *Ultrasonics* 39, 675-680.
- [51]. Goldstein, J., Newbury, D.E., Echlin, P., Joy, D.C., Fiori, C.E., Lifshin, E., 2003, *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*, Springer, USA, ISBN: 0306472929.
- [52]. Egerton, R.F., 2005, *Physical Principles of Electron Microscopy : AnIntroduction to TEM, SEM, and AEM*, Springer, USA, ISBN: 9780387260167.
- [53]. Leng, Y., 2008, *Materials Characterization: Introduction to Microscopic and Spectroscopic Methods*, John Wiley- Song, Singapore, ISBN: 9780470822982.
- [54]. Pankove, J.I., 1971, *Optical Processes in Semiconductors*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, Nj, ISBN: 0486602753.
- [55]. Caglar, M., Ilıcan, S., Caglar, Y., Yakuphanoglu, F., 2009, Electrical conductivity and optical properties of ZnO nanostructured thin film, *Applied Surface Science*, 255, 4491–4496.
- [56]. Özgür, Ü., Alivov, Y, I., Liu, C., Teke, A., Reshchikov, M, A., Doğan, S., Avrutin, V., Cho, S, J, and Morkoç, H., 2005, A comprehensive review of ZnO materials and devices, *Journal of Applied Physics* 98, 041301.

- [57]. Klingshirn, C.F., Meyer, B.K., Waag, A., Hoffmann, A., Geurts, J., 2010, *Zinc Oxide From Fundamental Properties Towards Novel Applications*, Springer, Berlin, ISBN: 9783642105760.
- [58]. Schmidt, L., Macmanus, J.L., 2007, ZnO – nanostructures, defects, and devices, *Materials Today*, 10, 40-48.
- [59]. Morkoç, H., Özgür, U., 2009, *Zinc Oxide Fundamentals, Materials and Device Technology*, Wiley-Vch Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, ISBN: 9783527408139.
- [60]. Borah, J.P., Sarma, K.C., 2008, Optical and Optoelectronic Properties of ZnS Nanostructured Thin Film, *Acta Physica Polonica A* No. 4, Vol. 144.
- [61]. Jyotia, M., Vijayb, D., Radhac, S., 2013, To Study the Role of Temperature and Sodium Hydroxide Concentration in the Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles, *International Journal of Scientific and Research Publications*, Volume 3, Issue 11.
- [62]. Bera, D., Qian, L., Sabui, S., Santra, S., Holloway, P.H., 2008, Photoluminescence of ZnO quantum dots produced by a sol–gel process, *Optical Materials*, 30, 1233-1239.
- [63]. Meulenkamp, E. A., 1998, Synthesis and Growth of ZnO Nanoparticles, *J.Phys.Chem. B*, 102, 5566-5572.
- [64]. Chen, Z., Li, X. X., Du, G., Chen, N., Suen, Y.M., 2001, A sol-gel method for preparing ZnO quantum dots with strong blue emission, *Journal of Luminescence*, 131, 2072-2077.
- [65]. Biggs, M. M., Ntwaeaborwa, O. M., Terblans, J. J., Swart, H.C., 2009, Characterization and luminescent properties of SiO₂:ZnS:Mn²⁺ and ZnS:Mn²⁺ nanophosphors synthesized by a sol–gel method, *Physica B* 404, 4470–4475.
- [66]. Rani, G., Sahare, P. D., 2013, Spectroscopy of Nickel-Doped Zinc Sulfide Nanoparticles, *Spectroscopy Letters*, 46:391–396.
- [67]. Chiboub, N., Gabouze, N., Chazalviel, J.N., Ozanam, F., Moulay, S., Manseri, A., 2010, Nanopore formation on low-doped p-type silicon under illumination, *Applied Surface Science*, 256, 3826–3831.
- [68]. Algün, G., 1996, *Gözenekli silisyum'da elektriksel olayların incelenmesi*, Yüksek Lisans tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [69]. Lin, K-F., Cheng, H-S., Hsu, H-G., Lin, L-J., Hsieh F-H., 2005, Band gap variation of size-controlled ZnO quantum dots synthesized by sol–gel method, *Chemical Physics Letters*, 409, 208–211.

- [70]. Vaseem, M., Umar, A., Hahn, Y-B., 2010, *Metal Oxide Nanostructures and Their Applications, ZnO Nanoparticles: Growth, Properties, and Applications*, American Scientific Publishers, ISBN: 1588831701.
- [71]. Alias, S, S., Ismail, A, B., Mohamad, A, A., 2010, Effect of pH on ZnO nanoparticle properties synthesized by sol-gel centrifugation, *Journal of Alloys and Compounds*, 499, 231–237.
- [72]. Singh, R, G., Singh, F., Agarwal, V., Mehra, R, M., 2007, Photoluminescence studies of ZnO/porous silicon nanocomposites, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 3090–3093.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı	Mehmet DAĞ
Uyruğu	T.C.
Doğum tarihi, Yeri	01.08.1988, İstanbul
Telefon	0534 218 92 23
E-mail	mehmetdag69@gmail.com

Eğitim

Derece	Kurum/Anabilim Dalı/Programı	Yılı
Yüksek Lisans	İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü/ Fizik Anabilim Dalı / Katıhal Fiziği Programı	
Lisans	İ.Ü. Fen Fakültesi, Fizik Bölümü	2010
Lise	Kocasinan Lisesi	2005

Bildiriler

- [1]. **Dağ, M.**, Akçay, N., Algün, G., Üzar Kılıç, N., 21-24 July 2014, Structural Properties of Nano Zinc Oxide Synthesized By Sol-Gel Method, Turkish Physical Society, *31th International Physics Congress*, Bodrum, Turkey.(Sözlü Bildiri)
- [2]. **Akçay, N.**, Algün, G., **Dağ, M.**, Üzar Kılıç, N., 21-24 July 2014, Electrical Properties of ZnO Nanoparticles on Porous Silicon, Turkish Physical Society, *31th International Physics Congress*, Bodrum, Turkey. (Sözlü Bildiri)

- [3]. Algün, G., Akçay, N., Üzar Kılıç, N., **Dağ, M.**, 21-24 July 2014, The Effect of ZnO Nanoparticles on Sensing Properties of Porous Silicon, Turkish Physical Society, *31th International Physics Congress*, Bodrum, Turkey. (Sözlü Bildiri)
- [4]. Üzar Kılıç, N., Akçay, N., Algün, G., **Dağ, M.**, Abudayyak, M., Özhan, G., 21-24 July 2014, Synthesis and Toxicity Profiles of ZnO Nanoparticles, Turkish Physical Society, *31th International Physics Congress*, Bodrum, Turkey. (Sözlü Bildiri)