

**CdS ÜZERİNE MgF₂ TEMELLİ YANSIMA ÖNLEYİCİ İNCE
FİLM KAPLAMALARIN ÜRETİLMESİ VE
KARAKTERİZASYONU**

AYBARS ÖZTATLI



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**CdS ÜZERİNE MgF₂ TEMELLİ YANSIMA ÖNLEYİCİ İNCE FİLM
KAPLAMALARIN ÜRETİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU**

Aybars ÖZTATLI
0000-0002-5760-8880

Prof. Dr. Sertan Kemal AKAY
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Aybars ÖZTATLI tarafından hazırlanan “CdS ÜZERİNE MgF₂ TEMELLİ YANSIMA ÖNLEYİCİ İNCE FİLM KAPLAMALARIN ÜRETİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Sertan Kemal AKAY

- Başkan** : Prof . Dr. Sertan Kemal AKAY İmza
0000-0002-7597-1528
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Fen Edebiyat Fakültesi,
Genel Fizik Anabilim Dalı
- Üye** : Prof. Dr. Ahmet PEKSÖZ İmza
0000-0001-5730-9541
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Fen Edebiyat Fakültesi,
Atom ve Molekül Fiziği Anabilim Dalı
- Üye** : Prof. Dr. Suat PAT İmza
0000-0001-9301-8880
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,
Fen Fakültesi,
Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü
.././.....

B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

.../.../.....

Aybars ÖZTATLI

TEZ YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Sertan Kemal AKAY

Aybars ÖZTATLI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

CdS ÜZERİNE MgF₂ TEMELLİ YANSIMA ÖNLEYİCİ İNCE FİLM KAPLAMALARIN ÜRETİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU

Aybars ÖZTATLI

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sertan Kemal AKAY

Optoelektronik uygulamalarda yansımaya kayıplarını önlemek için ince film kaplama çalışmalarından yararlanıldığı bilinmektedir.

Bu tez çalışmasında, farklı kırılma indislerine sahip malzemeler kullanılarak yansımaya önleyici ince film yapıların geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) yöntemi kullanılarak, cam alttaşılar üzerine II-IV grubu yarıiletken bileşiği olan Kadmiyum Sülfür (CdS) ve bir toprak alkali metal florürü olan Magnezyum Florür (MgF₂) ince filmlerinin büyütülmesi gerçekleştirilmiştir. İnce film yapıların yansımaya önleyici özelliklerinin belirlenebilmesi için, cam alttaştan daha yüksek kırılma indisine sahip CdS üzerine, cam alttaştan daha düşük kırılma indisine sahip MgF₂ kaplama malzemesi olarak tercih edilmiştir. Farklı kalınlıklarda üretilen çift katmanlı yansımaya önleyici ince film kaplamaların yapısal, optik ve morfolojik özellikleri, X-Işınları Kırınımı (XRD), UV-vis spektrofotometre, Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi (EDS) ve Alan Etkili Taramalı Elektron Mikroskobu (FESEM) yardımıyla incelenmiştir. Analizler sonucunda, CdS ince filmler üzerine ikinci katman olarak büyütülen MgF₂ ince film yapının optik yansımaya kayıplarını görünür bölgede %30'a kadar azalttığı ve buna bağlı olarak geçirgenliği arttırdığı gözlenmiştir. Ayrıca yapılar ayrı ayrı tavllanmış ve tavlamanın optik kayıpları azaltmada etkisinin olup olmadığı araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: CdS, MgF₂, İnce Film, Termal Buharlaştırma, Yansımaya Önleyici Kaplama, Tavlama

2022, viii + 43 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION of MgF₂ BASED ANTI-REFLECTIVE THIN FILM COATINGS on CdS

Aybars ÖZTATLI

Bursa Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physic

Supervisor: Prof. Dr. Sertan Kemal AKAY

It is known that thin film coating studies are used to prevent reflection losses in optoelectronic applications.

In this thesis, it is aimed to develop anti-reflective thin film structures by using materials with different refractive indices. For this purpose, Cadmium Sulfide (CdS) thin film, an II-IV group semiconductor compound, and Magnesium Fluoride (MgF₂) thin film, an alkaline earth metal fluoride, are grown on glass substrates using the Physical Vapor Deposition (PVD) method. In order to determine the anti-reflective properties of the thin film structures, MgF₂, which has a lower refractive index than the glass substrate, is preferred as the coating material on CdS thin film, which has a higher refractive index than the glass substrate. The structural, optical and morphological properties of double-layer anti-reflective thin film coatings produced in different thicknesses are investigated with X-Ray Diffraction (XRD), UV-vis spectrophotometer, Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS) and Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM), respectively. As a result of the analyzes, it is observed that MgF₂ structure grown as a second layer on CdS thin films is reduced optical reflection losses up to 30% in the visible region and accordingly increased the transmittance. Moreover, the structures are annealed separately and it is investigated whether or not annealing has an effect on reducing optical losses.

Key words: CdS, MgF₂, Thin Film, Thermal Evaporation, Anti-Reflective Coating, Annealing

2022, viii + 43 pages.

TEŞEKKÜR

FYL-2021-324 proje nolu bu tez çalışmasını destekleyen Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım da daimi yol gösterici olan, akademik kariyerim boyunca beni en doğru şekilde yönlendiren, her zaman gelişmemi teşvik eden danışman hocam Bursa Uludağ Üniversitesi Fizik Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Sertan Kemal AKAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarım da laboratuvar ekipmanları konusunda bana imkanlarını sunan Bursa Uludağ Üniversitesi Fizik Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Ahmet PEKSÖZ'e teşekkürlerimi sunarım.

İnce Film Karakterizasyon Laboratuvarı'ndaki çalışma arkadaşlarım, Hüseyin Kaan KAPLAN, Ali OLKUN, ve Serhat SARSICI'ya çalışmalarım da desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan, bana sonsuz güven duyan annem Suna Füsün ÖZTATLI ve babam Özkan ÖZTATLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Aybars ÖZTATLI
.../.../.....

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	4
2.1. Yarıiletkenler.....	4
2.1.1. N-Tipi ve P-Tipi Yarıiletkenler.....	8
2.2. Yarıiletken Türleri.....	11
2.2.1. Elementel Yarıiletkenler.....	11
2.2.2. Bileşik Yarıiletkenler.....	12
2.2.2.1. III-V Grubu Yarıiletkenler.....	14
2.2.2.2. II-VI Grubu Yarıiletkenler.....	14
2.3. Yarıiletkenlerin Karakterizasyonu.....	15
2.3.1. Elektriksel Karakterizasyon.....	16
2.3.2. Optik Karakterizasyon Yöntemleri.....	16
2.3.2.1. Optik Absorbsiyon.....	17
2.3.2.2. Optik Modülasyon Teknikleri.....	18
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	19
3.1. Materyal.....	19
3.1.1. Magnezyum Florür (MgF ₂).....	19
3.1.2. Kadmiyum Sülfür (CdS).....	19
3.2. Termal Buharlaştırma Yöntemi.....	20
3.3. Deneysel Çalışmalar.....	21
3.3.1. CdS/MgF ₂ Yapısının Üretimi.....	21
3.3.2. Ölçüm ve Analizler.....	26
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	28
4.1. Optik Özellikler.....	28
4.2. Yapısal ve Morfolojik Özellikler.....	34

5. SONUÇ	40
KAYNAKLAR.....	41
ÖZGEÇMİŞ	43

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
E_g	Yasak enerji bant genişliği
n	Kırılma indisi
eV	Elektron volt
μm	Mikrometre
nm	Nanometre
α	Optik soğurma katsayısı
E	Elektron enerjisi
k	Dalga vektörü
T	Mutlak sıcaklık
K	Kelvin
Si	Silisyum
Ge	Germanyum
f(E)	Fermi-Dirac dağılım fonksiyonu
k_B	Boltzmann sabiti
E_f	Fermi enerjisi
m	Mili
C	Karbon
Sn	Kalay
As	Arsenik
B	Bor
P	Fosfor
In	İndiyum
m_0	Serbest elektron kütlesi
ϵ^0	Boşluğun elektriksel geçirgenliği
h	Planck sabiti
E_v	Valans bandının maksimum enerjisi
E_c	İletim bandının minimum enerjisi
λ	Dalga boyu

Kısaltmalar	Açıklama
AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
CdS	Kadmiyum Sülfür
MgF ₂	Magnezyum Florür
PVD	Fiziksel Buhar Biriktirme
XRD	X-Işınları Kırınımı
EDS	Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi
FESEM	Alan Etkili Taramalı Elektron Mikroskobu
UV-VIS	Ultraviyole - Görünür Bölge
QDSC	Kuantum Nokta Duyarlı Güneş Pilleri
AR	Yansıma Önleyici
FTO	Flor Katkılı Kalay Oksit
DLAR	Çift Katmanlı Yansıma Önleyici

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1.	Elektriksel özelliklerine göre sınıflandırılan malzemelerin enerji bant diyagramları (a) İletken (b) Yarıiletken (c) Yalıtkan 4
Şekil 2.2.	Germanyum bağ yapısının temsili kovalent bağ gösterimi 5
Şekil 2.3.	Si atomunda rekombinasyon ve jenerasyon olaylarının şematik gösterimi (a) Bir hol ile bir elektronun rekombinasyon olayı (b) Bir elektron-hol çiftinin oluşması..... 7
Şekil 2.4.	Bant geçişleri E-k grafiği (a) Doğrudan geçişler (b) Dolaylı geçişler..... 8
Şekil 2.5.	Bir yarıiletkenin p tipi ve n tipi katkılanması, bağ modeli ile gösterilmiştir. a) Verici atom (b) Alıcı atom (Hu, 2009) 9
Şekil 2.6.	Gerçek uzayda valans ve iletkenlik bandı..... 11
Şekil 2.7.	Optik karakterizasyon teknikleri..... 17
Şekil 3.1.	Termal buharlaştırma sistemi şematik gösterimi..... 20
Şekil 3.2.	Kaplama sırasında vakum çemberinin iç yapısı..... 21
Şekil 3.3.	Cam alttaş temizleme çalışmaları..... 23
Şekil 3.4.	Cam alttaş üzerine biriktirilmiş farklı kalınlıkta CdS + MgF ₂ çift katmanlı İnce filmler..... 24
Şekil 3.5.	Üretilen ince filmin şematik gösterimi..... 24
Şekil 3.6.	Tavlama çalışmalarında kullanılan ısıl işlem fırını..... 25
Şekil 3.7.	FESEM, EDS ve XRD ölçümleri için silikon alttaş üzerine kaplanan MgF ₂ ve CdS numuneleri..... 25
Şekil 3.8.	UV-vis spektrofotometre cihazının genel görüntüsü..... 26
Şekil 3.9.	AFM cihazında CdS numunesi incelenirken..... 27
Şekil 4.1.	CdS ve CdS/MgF ₂ ince filminin yansıma yüzdelерinin karşılaştırılması..... 29
Şekil 4.2.	CdS ve CdS/MgF ₂ ince filminin geçirgenlik yüzdelерinin karşılaştırılması..... 30
Şekil 4.3.	CdS ve CdS/MgF ₂ ince filminin soğurmalarının karşılaştırılması..... 30
Şekil 4.4.	CdS ince filmin yansıma yüzdesinin teorik değerle karşılaştırılması..... 31
Şekil 4.5.	Tavlanmış ve tavlınmamış CdS numunelerinin soğurmalarının karşılaştırılması..... 31
Şekil 4.6.	Tavlanmış ve tavlınmamış CdS numunelerinin yansıma yüzdelерinin karşılaştırılması..... 32
Şekil 4.7.	Tavlanmış ve tavlınmamış CdS numunelerinin geçirgenlik yüzdelерinin karşılaştırılması..... 32
Şekil 4.8.	Tavlanmış ve tavlınmamış MgF ₂ numunelerinin soğurmalarının karşılaştırılması..... 33
Şekil 4.9.	Tavlanmış ve tavlınmamış MgF ₂ numunelerinin yansıma yüzdelерinin karşılaştırılması..... 33
Şekil 4.10.	Tavlanmış ve tavlınmamış MgF ₂ numunelerinin geçirgenlik yüzdelерinin karşılaştırılması..... 34
Şekil 4.11.	CdS ve CdS üzerine MgF ₂ büyütülen ince filmin yüzey görüntüsü... 35
Şekil 4.12.	Silikon alttaş üzerine büyütülen CdS/MgF ₂ ince filmin yan

	kesit görünümü.....	35
Şekil 4.13.	Tavlanmış CdS ve CdS üzerine tavlanmış MgF ₂ büyütülen ince filmin yüzey görüntüsü.....	36
Şekil 4.14.	Si üzerine büyütülen CdS /MgF ₂ ince filminin XRD grafiği.....	37
Şekil 4.15.	~2.5x2.5µm ölçeğinde CdS ince filmin 2 boyutlu AFM görüntüsü...	38
Şekil 4.16.	~2.5x2.5µm ölçeğinde CdS ince filmin 3 boyutlu AFM görüntüsü...	39
Şekil 4.17.	CdS ince filmin histogram grafiği.....	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 2.1.	İkili bileşik yapıli yarıiletken malzemeler	13
Çizelge 2.1.	İkili bileşik yapıli yarıiletken malzemeler (devam).....	14
Çizelge 3.1.	MgF ₂ -CdS yarıiletkenlerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri...	19
Çizelge 3.2.	Termal buharlaştırma sisteminde üretilen ince film parametreleri ...	23
Çizelge 4.1.	CdS üzerine büyütülen MgF ₂ ince filminin EDS verileri - Atomik yoğunluk yüzdeleri.....	36
Çizelge 4.2.	Tavlanmış CdS üzerine büyütülen tavlanmış MgF ₂ ince filminin EDS verileri - Atomik yoğunluk yüzdeleri	37

1. GİRİŞ

Günümüzde yaşadığımız endüstriyel gelişmeler, verimliliği artırıcı hedefler üzerine kurulmuştur. Verimlilik dediğimizde aklımıza öncelikle enerji verimliliği gelmektedir. Enerji ihtiyacını karşılayabilmek için kullanılan petrol ve türevlerinin ve hammadde ihtiyacının azalması çevresel etkiler gibi maliyetlerinde artmasına neden olmaktadır. Bu sebeplerden ötürü insanoğlunun alternatif oluşturabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi kaçınılmaz olmuştur.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan güneş enerjisi, üzerinde verimlilik artırma çalışmalarının yapıldığı alanlardandır (Arslan ve ark. 2017 – Altun ve ark. 2018). Güneş panellerindeki optik yansıma kayıpları, sistemin verimliliğini düşüren en büyük etmendir (Sayın ve ark. 2011).

Literatür incelendiğinde optik yansıma kayıpları üzerine birçok çalışmanın gerçekleştirildiği görülmektedir. Optik yansıma kayıpları ile ilgili olan çalışmalardan bazıları bu kısımda incelenmiştir. Farahani ve ark. (2020) çalışmalarında, kuantum nokta duyarlı güneş pillerinde (QDSC), MgF_2 yansıma önleyici (AR) katmanının etkisi araştırmışlardır. 20 nm'lik baskın boyuta sahip MgF_2 nano parçacıkları, termal buharlaştırma yöntemiyle büyütülmüş ve flor katkılı kalay oksit (FTO) alttaşın üst yüzünde ince bir tabaka halinde kaplanmışlardır. Oluşturdukları bu yapı ile % 3'lük maksimum güç dönüştürme verimliliği elde etmişlerdir. Bu verimlilik, AR katmanı olmayan referans hücreye kıyaslandığında yaklaşık % 47 oranında bir artışa karşılık gelmektedir. Araştırmacılar elde ettikleri sonuçları, AR tabakasının varlığına ve güneş pilinin yüzeyinden yansıyan gelen ışığın azalmasına bağlamaktadır.

Raut ve ark. (2013), polimer bazlı sol-jel yöntemi kullanarak MgF_2 yansıma önleyici kaplamaları geniş alanlı yüzeyler üzerine üretimini gerçekleştirmişler ve çeşitli optoelektronik cihazlarda uygulamalarına sahip olabileceklerini ileri sürmüşlerdir. Araştırmacılar, polivinil asetat ve magnezyum trifloroasetat'tan yapılmış bir sol-jel başlatıcısını kullanarak cam yüzeyler üzerinde tek tip mezo gözenekli (küçük gözenekli) MgF_2 yansıma önleyici ince film yapıları üreterek, 1,23'lük bir kırılma indisi hesaplamışlardır. Gözenekli MgF_2 AR kaplamalı cam kalınlığının hassas kontrolü ile

hedef dalga boyunda cam yüzeyinden yansımayı neredeyse tamamen ortadan kaldırarak, sadece % 0,1'lik bir yansıma ile sonuçlandığını belirtmişlerdir.

Kuo ve ar. (2012), geniş bir spektrumda cam altlığın düşük yansıtıcılığını geliştirmek için hava ve cam arasındaki süper tabaka tipi silikon bazlı art arda dizili hücrelerden oluşan gözenekli bir $\text{SiO}_2/\text{MgF}_2$ çift katmanlı yansıma önleyici (DLAR) ince film yapısı elde etmişlerdir. Deneysel gözenekli $\text{SiO}_2/\text{MgF}_2$ DLAR ince filmin geleneksel silikon bazlı birden fazla katmanlı güneş pillerine uygulanması, kısa devre akım yoğunluğunun % 6,82 oranında iyileştirilmesiyle sonuçlandığından bahsetmişlerdir. Üretilen yapı ile güneş pili verimliliği % 7,14 oranında arttığını hesaplamışlardır. Bununla birlikte, sunulan deneysel gözenekli $\text{SiO}_2/\text{MgF}_2$ DLAR ince film yapısı, yakın kızılötesi dalga boylarında yüksek yansıtma olmaksızın geniş bir görünür ışık aralığında yansıma önleyici sonuçlar sağladığı sonucuna varmışlardır.

Güneş enerjisinden fotovoltaik yöntemle elektrik enerjisi üretimi son 20 yılda dünya genelinde giderek yaygınlaşmıştır. Fotovoltaik enerji sistemi, güneş piline ulaşan güneş ışığı miktarına bağlı olarak elektrik üretir ve güneş panelinde güneş pillerine ulaşan güneş ışığı miktarı toprak ve organik kir gibi etkenlerden dolayı azalmaktadır. Aynı zamanda, fotovoltaik panelin yüzeyi temiz olsa bile, kapak cam yüzeyinin yansıtıcı etkisi nedeniyle güneş ışığı kırılır ve yansıtılır. Kalan güneş ışınları kırılarak güneş hücresine ulaşır. Güneş ışığının azalması da elektrik gücü çıkışında bir azalmaya neden olur. Yansıma önleyici kaplamalarda SiO_2 , MgF_2 , TiO_2 , Si_3N_4 ve ZrO_2 malzemeleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanılan yaygın yöntemler sol-jel döndürerek kaplama veya daldırma kaplama, püskürtme, DC ve RF magnetron yöntemleridir. Çok katmanlı yansıma önleyici kaplamalarda, düşük ve yüksek kırılma indisli malzemelerin uygulandığı çalışmalarda yansıma azaltılmış ve ışık geçirgenliği artırılmıştır (Sarkın ve ark. 2020).

Kadmiyum Sülfür (CdS) ince filmler, güneş pilleri ve diğer optoelektronik cihazların üretiminde verimli kullanımları nedeniyle büyük ilgi görmektedir. Tekrarlanabilir ve güvenilir güneş pillerinin hazırlanması için CdS katmanının elektriksel özelliklerinin kontrol edilmesi önemlidir. Sonuç olarak, CdS filmlerinin hazırlanması ve özellikleri ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Vakumlu buharlaştırma, püskürtme, kimyasal

buhar biriktirme ve sprej piroliz gibi farklı biriktirme teknikleriyle CdS ince filmler biriktirilmiştir. Genel olarak, bu tekniklerle biriktirilen filmler doğada polikristaldir. Ayrıca, düşük bant aralığı bölgesindeki optik sabitlerin incelenmesi, bu malzemenin güneş pillerinde ve diğer optoelektronik cihaz tasarımlarında kullanılması için genellikle ilgi çekicidir. Çeşitli optoelektronik cihazların tasarımı ve analizi için yarıiletkenlerin kırılma indisi ve absorpsiyon katsayısının doğru bilgisi vazgeçilmezdir. Çalışmada sonuçların analizi, film kalınlığının hem termal olarak üretilen elektron konsantrasyonuna hem de yakalama faktörüne önemli ölçüde bağlı olduğunu ortaya koymaktadır (Mahmoud ve ark. 2000).

Çok katmanlı sistemlerde, yansımaya önleyici kaplama olarak MgF_2 'nin en dıştaki düşük indisli katman şeklinde kullanılması, yansımaya kayıplarını önemli ölçüde azaltabileceği gösterilmiştir. Bu tür çok katmanlı hibrit sistemler, fotovoltaik hücrelerin ön yüzeyinde, optoelektronik cihazlarda ve lazer için ön ayna olarak değerlendirilmesi son derece kullanışlıdır (Waqar ve ark. 2017).

Çok eklemli III–V grubu yarıiletken güneş pillerinde kullanılan ince film yansımaya önleyici yapılar için geniş bir dalga boyu aralığında emici olmayan yüksek ve düşük kırılma indisli malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır (Reuna ve ark. 2019). Kırıcılık indisi görünür bölgede $\sim n=2,58$ olan CdS, tek başına cam alttaşı üzerinde optik soğurma ve yansımaya kayıplarını gidermede yetersiz kalmaktadır. Bu kayıp, CdS kaplama kalınlığının en aza indirilmesi ile zayıflasa da yapılması gereken, yansımaya önleyici kaplama uygulanmasıdır. Camın kırıcılık indisinden ($n=1,52$) düşük, görünür bölgede $\sim n=1,38$ 'lik kırıcılık indisine sahip yansımaya önleyici MgF_2 malzemesi, bu kaybın azalmasına gereken katkıyı sağladığı belirtilmektedir (Kaminski ve ark. 2014).

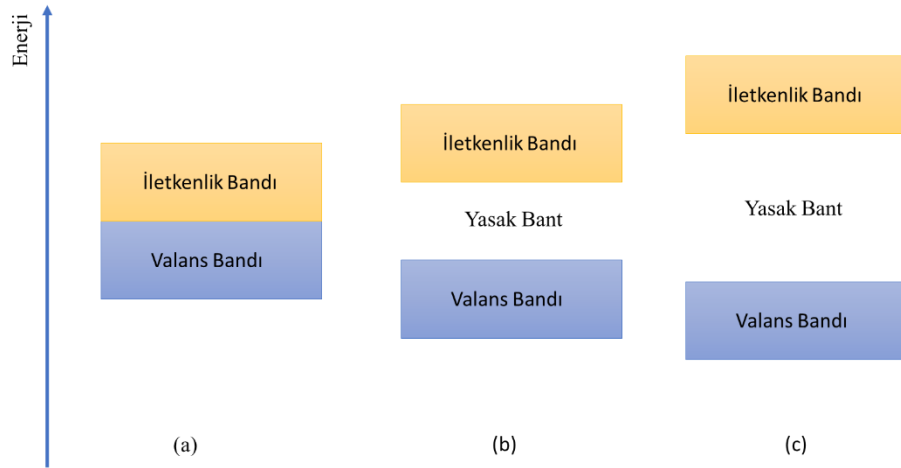
Bu tez çalışmasında, yansımaya önleyici ince film katmanlar elde etmek amacıyla cam alttaşlar üzerine Termal Buhar Biriktirme (PVD) yöntemi kullanılarak farklı kalınlıklarda ve farklı kırılma indislerine sahip sırasıyla Kadmiyum Sülfür (CdS) ve Magnezyum Florür (MgF_2) ince film kaplamalar büyütüldü. Üretilen çift katmanlı ince filmlerin optik özellikleri (yansımaya, geçirgenlik ve soğurma değerleri) UV-vis spektrofotometre, morfolojik ve yapısal özellikleri ise FESEM ve XRD analizleri ile incelendi.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Yarıiletkenler

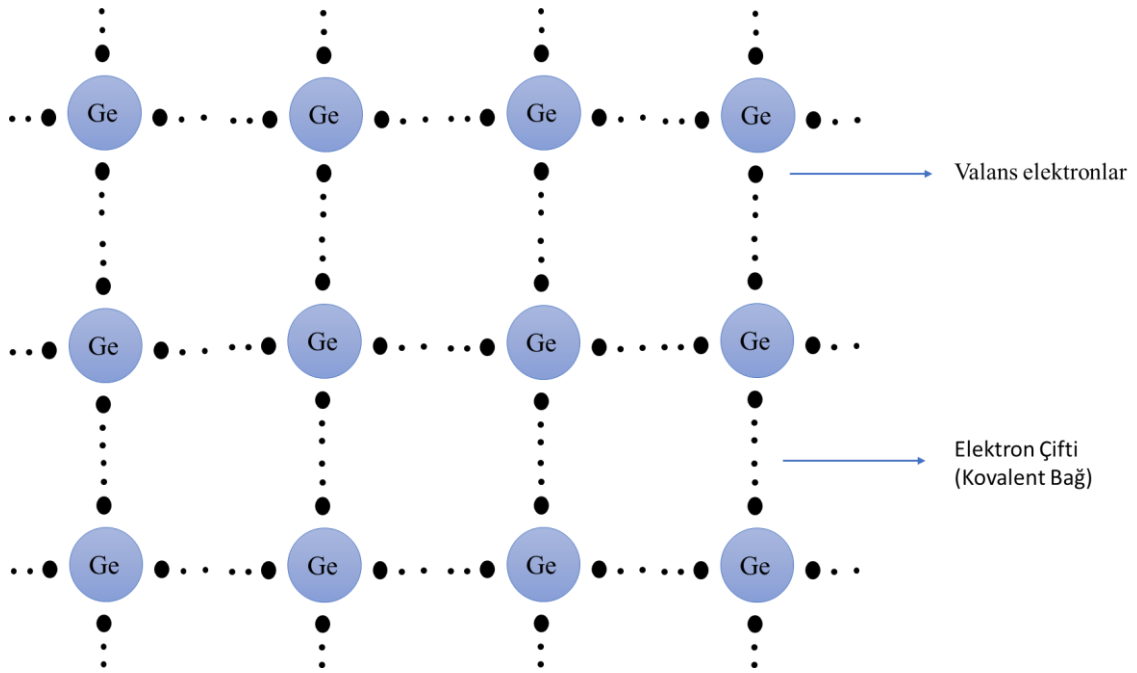
Malzemelerin elektriksel iletkenlikleri, onları sınıflandırmada ayrı bir öneme sahiptir. Katılar elektriksel iletkenliklerine göre temel olarak üç gruba ayrılırlar. Bunlar iletkenler, yalıtkanlar ve yarıiletkenlerdir. İletkenlik malzemeye özgül bir büyüklüktür. Yarıiletkenlerde iletkenlik sıcaklık ile doğru orantılıdır. Isı ya da ışık altında bir yarıiletken iletken hale geçebilmektedir. Yarıiletkenin dışarıdan aldığı enerji, valans bandındaki elektronların serbest hale gelmesine ve bu elektronların iletkenlik bandını uyararak serbest elektron-hol çiftleri oluşturmasına olanak tanır ve böylece bir yarıiletken iletken hale geçmiş demektir.

Bir elektronun valans bandından iletkenlik bandına termal olarak uyarılması, fiziksel olarak bir örgüdeki kovalent bağ çiftinden bir elektronun uzaklaşmasına karşılık gelir. O zaman elektron artık kovalent bağın dışında serbest bir elektron olur ve kristal boyunca bir yük taşıyıcısı rolü üstlenir. Valans ve iletkenlik bandı arasındaki (E_g) yasak bant aralığının büyüklüğü, bir katının elektriksel ve optik özelliklerinin belirlenmesinde rol oynar (Erol 2015).



Şekil 2.1. Elektriksel özelliklerine göre sınıflandırılan malzemelerin enerji bant diyagramları (a) İletken (b) Yarıiletken (c) Yalıtkan.

Uyarılan bir elektron, kristalde kovalent bağda yerel bir kusur oluşturmasına neden olur. Bu kusur bir elektronla doldurulabilir, ancak boştur. Bu boşluğa hol (deşik) adı verilir. Hem elektronlar hem de holler kristal yapıda hareket edebilme yeteneğine sahiptirler. Kristal yapıdaki serbest bir elektron, kristalden alacağı termal enerji ile kristal içinde rastgele yönelimde hareket edebilir. Benzer şekilde bir hol de kristalde hareket edebilir. Çünkü kovalent bağı terk eden elektronlardan birinin yerine komşu elektronlardan biri bağı tamamlamak için geçebilir. Bu durumda da elektronun boşalttığı yerde hol oluşur. Böylece hol de elektrona göre zıt yönde hareket etmiş gibi olur. Sonuç olarak kristal boyunca makroskobik akım akışı yaşanmış olur. Şekil 2.2’de Germanyum atomunun bağ yapısı temsili olarak gösterilmiştir (Aydoğan 2014).



Şekil 2.2. Germanyum bağ yapısının temsili kovalent bağ gösterimi.

Güneş ışığı, çoğunlukla kızılötesinden ultravioleeye kadar bir dizi dalga boyunu veya foton enerjisini kapsar. Foton enerjisi ve dalga boyu, λ şu şekilde ilişkilidir,

$$\text{Foton enerjisi(eV)} = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1,24}{\lambda}(\mu\text{m}) \quad (2.1)$$

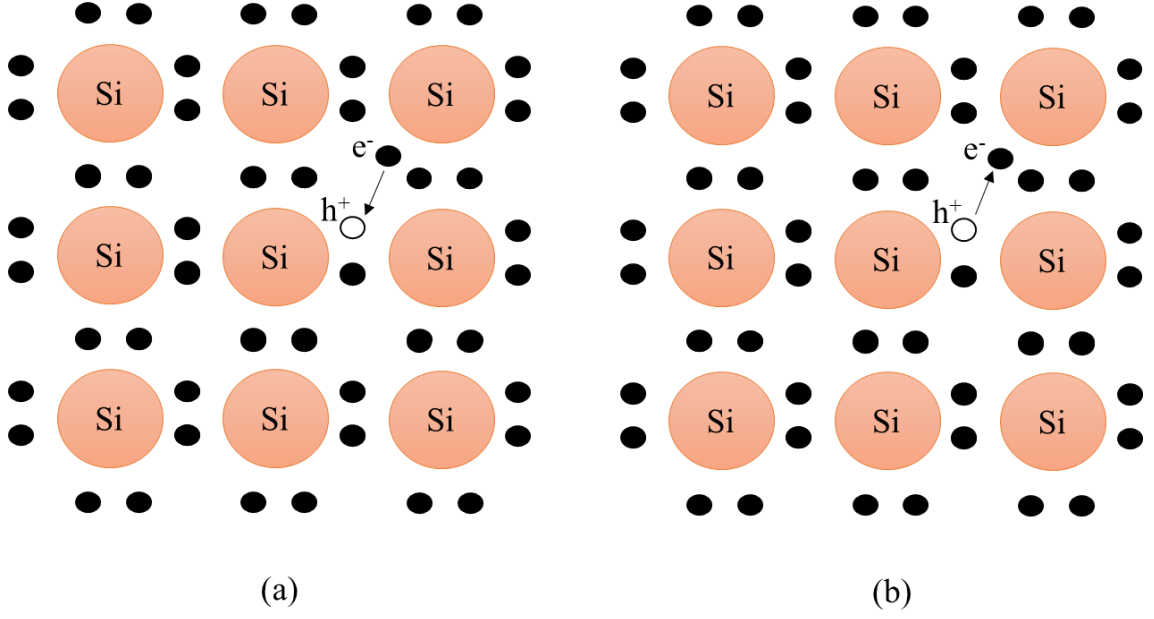
Eg'den daha az enerjiye sahip fotonlar yarıiletken tarafından emilmez. Eg'den daha büyük enerjiye sahip fotonlar soğurulur, ancak bazı fotonlar soğurulmadan önce yarıiletkende önemli bir mesafe kat edebilir. Işık yoğunluğu seyahat mesafesi x ile katlanarak azalır,

$$\text{Işık yoğunluğu}(x) \propto e^{-\alpha x} \quad (2.2)$$

α optik soğurma katsayısı olarak adlandırılır. $1/\alpha$ ışık nüfuziyet derinliği olarak adlandırılabilir. Bir güneş pili, neredeyse tüm fotonları yakalayabilmesi için, ışık nüfuziyet derinliğinden önemli ölçüde daha büyük bir kalınlığa sahip olmalıdır (Tilley 2011).

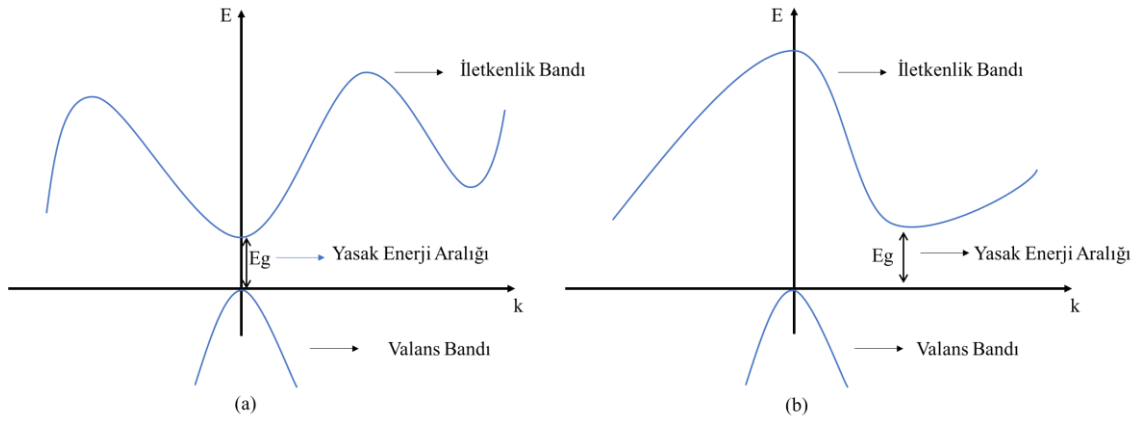
Elektronlar hem parçacık hem de dalga özelliklerine sahiptir. Bir elektronun enerjisi E ve dalga vektörü k'dir. k, elektron dalgasının yönünü ve dalga boyunu temsil eder ($k = 2\pi/\text{elektron dalga boyu}$).

$T = 0$ K mutlak sıcaklığın üstündeki sıcaklıklarda bir yarıiletkende, valans bandında holler ve iletkenlik bandında elektronlar bulunur. Kristaldeki bir elektron iletkenlik bandında serbest şekilde hareket etmek için bulunur. Bu elektron kovalent bağ yapısındaki bir boşluğa (hole/deşiğe) da atlayabilir. Bu durum gerçekleştiğinde elektron enerjisini yaymaktadır. Bir serbest elektronun hol ile birleşmesi olayına rekombinasyon adı verilir. Tersine durumda, yeterli enerji alan bir elektron, kovalent bağdan koparak serbest hale geçebilir. Bunu yaparak elektron, valans bandından iletkenlik bandına atlayarak kristal içerisinde serbest hale geçer. Elektron-hol çiftinin oluşması (jenerasyon) olarak adlandırılan bu işlem sonucunda bir hol de oluşur. Şekil 2.3 a ve b 'de rekombinasyon ve jenerasyon olayları şematik olarak gösterilmiştir (Aydoğan 2014).



Şekil 2.3. Si atomunda rekombinasyon ve jenerasyon olaylarının şematik gösterimi (a) Bir hol ile bir elektronun rekombinasyon olayı (b) Bir elektron-hol çiftinin oluşması.

Yarıiletkenlerde bant yapıları direkt ve indirekt bant olarak ikiye ayrılmaktadır. Enerji – dalga vektörü uzayında, valans bandının maksimum noktası ile iletkenlik bandının minimum noktasında k değeri sıfıra eşit ise direkt (doğrudan) bant aralıklı yarıiletken olması mümkün iken, valans bandının maksimum noktası ile iletkenlik bandının minimum noktası farklı k değerinde ise indirekt (dolaylı) bant aralıklı yarıiletken olmaları mümkündür. Galyum Arsenik (GaAs) gibi bir yarıiletkenlerde valans bandının maksimumu ile iletkenlik bandının minimumu aynı k dalga vektörü değerindedir, yani direkt bant aralığına sahip yarıiletkenlere örnek olurken, Silisyum (Si) ve Germanyum (Ge) valans bandının maksimumu ile iletkenlik bandının minimumu aynı k değerinde oluşmaz. Bu durumdaki bir yarıiletken indirekt bant geçişine sahiptir. Şekil 2.4'te k değerleri gösterilmektedir. Yarıiletken malzemelerin direkt veya indirekt bant yapısına sahip olması optik uygulamaları için oldukça önemlidir (Hu 2009).



Şekil 2.4. Bant geçişleri E-k grafiği (a) Doğrudan geçişler (b) Dolaylı geçişler.

Bir yarıiletkeni elektriksel ve optik özellikleriyle ilgili olarak tanımlamanın en önemli amaçlarından biri, hem taşıyıcı konsantrasyonlarını hem de enerji dağılımlarını belirlemektir. Taşıyıcıların enerji seviyelerinin işgal istatistikleri, Fermi-Dirac işgal istatistikleri ile tanımlanır. Fermi-Dirac dağılım fonksiyonu $f(E)$, belli sıcaklıkta yarıiletkenin valans ve iletkenlik bantlarında elektronların denge durumu dağılımını enerjinin bir fonksiyonu olarak olasılık ya da başka bir deyişle istatistiksel olarak verir.

$$f_n(E) = \frac{1}{\exp[(E-E_F)/k_B T]+1} \quad (2.3)$$

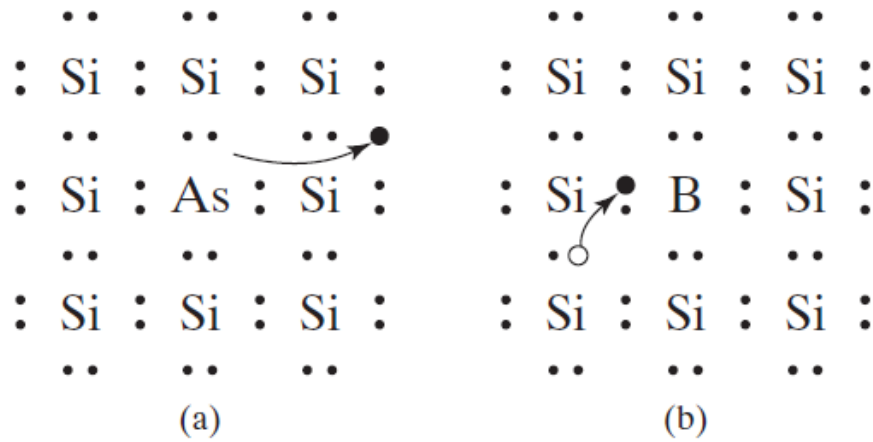
Burada, E_f enerjisine, $f(E) = 1/2$ olan enerji olarak tanımlanan, yani işgal olasılığının $1/2$ olduğu enerji olarak tanımlanan Fermi enerjisi (Fermi seviyesi olarak da adlandırılır) denir (Yacobi 2003). Burada E_F Fermi enerji seviyesi, k_B Boltzmann sabiti ve T 'de mutlak sıcaklıktır. Belli bir E enerjisinde $f(E)$ 'nin değeri, izinli bir E enerji seviyesinin belli bir sıcaklıkta bir elektron tarafından işgal edilme olasılığıdır (Erol 2015).

2.1.1. N-Tipi ve P-Tipi Yarıiletkenler

Yarıiletkenlerde, mutlak sıfır sıcaklığında elektrik akımını iletmek için serbest halde elektron bulunmaz. Mutlak sıfırın dışındaki sıcaklıklarda, termal enerji, kovalent elektronların bir bölümünün kopmasına ve Şekil 2.5 a'da gösterildiği gibi iletim elektronları haline gelmesine neden olur. Elektronun serbest kalması arkasında bir boşluk

yaratır ve boşluk, Şekil 2.5 b’de gösterildiği gibi kolayca yeni bir elektronu kabul eder. Bu sayede elektronlar boşluklar üzerinden ilerleyerek akım iletimini sağlamış olur.

Yarıiletkenlerde, holler yoluyla akım iletimi, elektron iletimi kadar önemlidir. İletim elektronlarının negatif yük taşıyan hareketli parçacıklar olması gibi, holleri de pozitif yük taşıyan hareketli parçacıklar olarak düşünebiliriz. Bir iletim elektronu ve bir boşluk oluşturmak için bir kovalent elektronu serbest bırakmak yaklaşık 1,1 eV enerji gerektirir. Bu enerji, örneğin bir foto iletkenlik deneyi ile belirlenebilir. Bir ışık demeti Si örneğine gönderildiğinde, hareketli elektronların ve hollerin oluşumu nedeniyle iletkenliği artar. Foto iletkenliği indüklemek için gereken minimum foton enerjisi 1,1 eV olduğunu dikkate almalıyız. Yarıiletkenlerdeki termal olarak üretilen elektronların ve hollerin yoğunlukları, termal enerjinin ($k_B T$) oda sıcaklığında ~ 26 meV olduğu göz önüne alındığında, oldukça düşüktür. İstendiği takdirde, uygun safsızlık atomları eklenerek çok daha fazla sayıda iletim elektronu oluşturulabilir. Bu işleme yarıiletkene katkılama adı verilir.



Şekil 2.5. Bir yarıiletkenin p tipi ve n tipi katkılanması, bağ modeli ile gösterilmiştir. (a) Verici atom. (b) Alıcı atom (Hu 2009).

Şekil 2.5. a’da görüldüğü üzere son yörüngesinde 5 değerlik elektronu bulunan Arsenik (As), 4 değerlik elektrona sahip Silisyum ile kovalent bağ yapmış ve elektron fazlalığı oluşturmuştur. Buna n tipi katkılama denir. As ve P, Si en sık kullanılan verici atomlardır. Şekil 2.5. b’de ise 3 değerlik elektronuna sahip Bor (B) atomu katkılandığında bir hol oluşur. Elektronları kabul ettikleri için bu tür katkı maddelerine alıcı denir. Bu p tipi

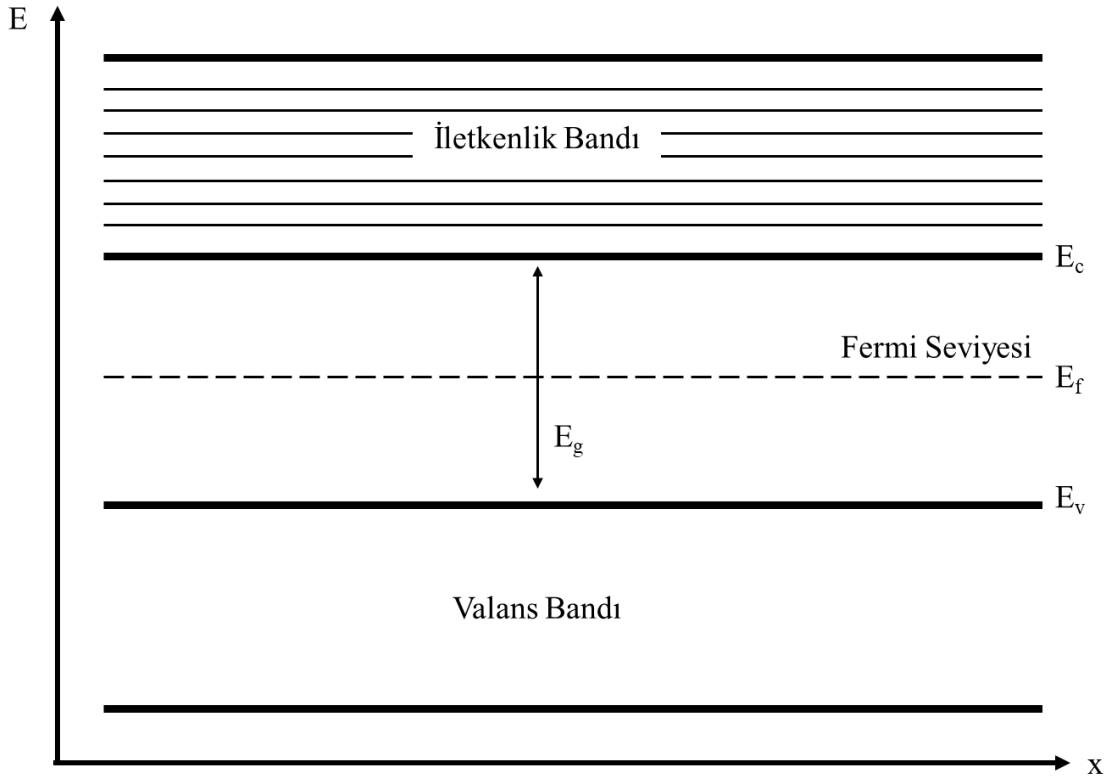
katkılamaya örnektir. Bor, Silisyumda en yaygın olarak kullanılan alıcıdır. Ayrıca p tipi katkılamada In ve Al'de kullanılmaktadır.

Hidrojen atomunun iyonlaşma enerjisi teorisini değiştirerek bir verici atomu iyonize etmek (yani, fazladan elektronu serbest bırakmak ve pozitif bir iyonu geride bırakmak için) için gereken enerji tahmin edilebilir,

$$E_{\text{ion}} = \frac{m_0 q^4}{8\epsilon_0^2 h^2} = 13,6 \text{ eV} \quad (2.4)$$

burada m_0 serbest elektron kütlesi, ϵ^0 ise boşluğun elektriksel geçirgenliği ve h , Planck sabitidir (Hu 2009).

Fermi seviyesini tanımlamak, yarıiletkenlerin anlatımında atlanacak bir konu değildir. Fermi seviyesi (E_f), malzemedeki bir elektronun sıfır Kelvin (0 K) değerindeki maksimum enerjisini temsil eder. Bu sıcaklıkta, Fermi seviyesinin altındaki izin verilen tüm enerji seviyeleri dolu ve üzerindeki tüm enerji seviyeleri boştur. Bir yalıtkan veya yarıiletkende, valans bandının elektronlarla dolu olduğunu ve iletim bandının 0 K' de boş olduğunu biliyoruz. Bu nedenle, Fermi seviyesi bant aralığında, E_v ve E_c arasında bir yerde bulunur. Bir metalde ise Fermi seviyesi bir enerji bandı içinde yer alır. Ayrıca n tipi yarıiletkende E_f iletkenlik bandına yakınken, p tipi yarıiletkende E_f valans bandına yakındır. Şekil 2.6'da gösterildiği gibi valans bandının maksimum enerjisi E_v olarak, iletim bandının minimum enerjisi E_c olarak ve enerji bant aralığının genişliği E_g olarak belirtilir (Colinge 2002).



Şekil 2.6. Gerçek uzayda valans ve iletkenlik bandı.

2.2. Yarıiletken Türleri

2.2.1. Elementel Yarıiletkenler

Yarıiletken malzemelerin incelenmesi 19. yüzyılın başlarında başladı. Silisyum (Si) ve Germanyum (Ge) gibi tek tür atomlardan oluşan element yarıiletkenleri, periyodik tabloda IV. grupta yer alır. 1950'lerin başında, Ge temel yarıiletken malzemeydi. 1960'ların başından beri Si kullanımı yaygın yarıiletken bir malzeme haline geldi ve şimdi Ge'un yerini aldı. Si kullanmamızın ana nedenleri, Si cihazların oda sıcaklığında daha iyi özellikler sergilemesi ve yüksek kaliteli SiO_2 'nin termal olarak büyütülebilmesidir. Ekonomik açıdan diğer tüm yarıiletken malzemelerden çok daha düşük maliyetli olması Si'ü tercih etmemizi zorunlu kılar. Silika ve silikat formundaki silisyum, yerkabuğunun % 25'ini oluşturur ve silikon, yeryüzünde en çok bulunan elementler arasında bol miktarda oksijenden sonra ikinci sıradadır. Şu anda silikon, periyodik tabloda en çok çalışılan elementlerden biridir ve silikon teknolojisi, tüm yarıiletken teknolojileri arasında açık ara en gelişmiş olanıdır (Sze 2012).

Silisyum (Si), Germanyum (Ge) ve Karbon (C) gibi IV. grup malzemeler en önemli temel yarıiletkenlerdendir. IV. grup elementlerin tümü elmas kristal yapıya sahiptir, yani her atom en yakın dört atomla tetrahedral biçimde yapılanmıştır. Böyle bir yapıya sahip olan bir diğer IV. grup temel yarıiletken, Kalay (Sn) ($E_g=0,08\text{eV}$)'dir. Elmas yapısından farklı yapılara sahip olan diğer elementel yarıiletkenler, III. grup elementi Bor (B), V. grup elementlerinden Fosfor (P) ve VI. grup Kükürt (S), Selenyum (Se) ve Tellür (Te) gibi malzemeleri içerir. Elektronik cihazlarda (örneğin entegre devreler) kullanılan en önemli malzeme şu an için Silisyum'dur. Si'un, yüzeyi kontrollü bir şekilde oksitlendirilerek ve yüzey rekombinasyon hızını önemli ölçüde azaltarak kararlı bir doğal oksit tabakası oluşturması, pasifleştirmede nispi kolaylık sağlarken, sertliği, büyük alttaşların güvenli bir şekilde işlenmesini sağlar. Devamında difüzyon, oksidasyon ve tavlama ile ilgili yüksek sıcaklıkta işlenebilme kabiliyeti, 1100°C 'ye kadar termal kararlılığı ve nispeten düşük maliyetli olması, diğer yarıiletkenlere göre önemli avantajlarındandır. Si'nin temel sınırlamaları, enerji bant aralığının büyüklüğü (yani, $E_g=1,12\text{eV}$ değeri ve bu malzemenin optoelektronik uygulamalarını sınırlayan dolaylı bir enerji boşluklu malzeme olması) ve nispeten daha düşük taşıyıcı hareketliliği (örneğin GaAs ile karşılaştırıldığında) gerçeğinden kaynaklanmaktadır.

Prensipinde birçok yarıiletken, Si alttaşlar üzerinde büyütülebilir. Örneğin, III-V bileşiklerinin Si alttaşlar üzerinde büyümesi ilgi çekicidir, çünkü bu tür heteroyapılar, III-V bileşiklerindeki optik cihazları, tek yongalı bir çip üzerinde Si devresi ile entegre etmeyi mümkün kılacaktır. III-V bileşikleri, optoelektronik cihazlarda geniş bir uygulama yelpazesi sunarken, Si hem uygun bir elektronik cihaz teknolojisi hem de örneğin GaAs 'dan mekanik olarak daha güçlü olan ve ayrıca daha büyük bir termal iletkenliğe sahip olan geniş bir alan alttaşı sunar. Genel olarak, Si alt katmanı üzerinde çeşitli yarıiletkenlerin büyümesi, tek yongalı bir tasarımda farklı cihazlar ve işlevler arasında tam optoelektronik entegrasyona izin verebilir (Yacobi 2003).

2.2.2. Bileşik Yarıiletkenler

Son yıllarda bir dizi bileşik yarıiletken, çeşitli cihazlarda uygulanmaya konulmuştur. İki elementli yarıiletkenlerin yanı sıra önemli bileşik yarıiletkenler Çizelge 2.1' de

listelenmiştir. İkili bileşik yarıiletken, periyodik tablodaki iki elementin birleşimidir. Örneğin, Galyum Arsenit (GaAs), III. gruptaki Galyum (Ga) ile V. gruptaki Arsenik (As)'nin bir kombinasyonu olan bir III-V bileşiğidir. İkili bileşiklere ek olarak, üçlü bileşikler ve dördüncül bileşikler özel amaçlar için yapılır. III. gruptan Al ve Ga' a ve V. gruptan As' a sahip yarıiletken $Al_xGa_{1-x}As$ alaşımı, üçlü bileşiğe bir örnektir. Elementel yarıiletkenler ile karşılaştırıldığında, tek kristal formda bileşik yarıiletkenlerin hazırlanması genellikle çok daha karmaşık süreçleri içerir. Bileşik yarıiletkenlerin çoğu, silikondan farklı elektriksel ve optik özelliklere sahiptir. Bu yarıiletkenler, özellikle GaAs, esas olarak yüksek hızlı elektronik ve fotonik uygulamalar için kullanılır. Bileşik yarıiletken teknolojisi hakkında silikon hakkında bildiğimiz kadar bilgi sahibi olmasak da, silikon teknolojisindeki gelişmeler bileşik yarıiletken teknolojisinde ilerlemeye de yardımcı olmuştur (Sze 2012).

Çizelge 2.1. İkili Bileşik Yapılı Yarıiletken Malzemeler

İkili Bileşik	Sembol	Ad
III-V	AlP	Alüminyum Fosfat
	AlAs	Alüminyum Arsenik
	AlSb	Alüminyum Antimonid
	GaN	Galyum Nitrit
	GaP	Galyum Fosfat
	GaAs	Galyum Arsenit
	GaSb	Galyum Antimonid
	InP	İndiyum Fosfat
	InAs	İndiyum Arsenit
	InSb	İndiyum Antimonid

Çizelge 2.1 İkili Bileşik Yapılı Yarıiletken Malzemeler (devam)

II-VI	ZnO	Çinko Oksit
	ZnS	Çinko Sülfür
	ZnSe	Çinko Selenit
	ZnTe	Çinko Tellür
	CdS	Kadmiyum Sülfür
	CdSe	Kadmiyum Selenit
	CdTe	Kadmiyum Tellür
	HgS	Civa Sülfür

2.2.2.1. III-V Grubu Yarıiletkenler

III–V grubu bileşikler (örneğin: GaAs, GaP, GaN, AlAs, InSb, InAs ve InP), çeşitli cihaz uygulamalarında kullanılan önemli yarıiletkenlerdir. Genel olarak, bu malzemeler nispeten yüksek bir stokiometri derecesi ile kristalleşir ve n ve p tipi yapı kolaylıkla elde edilebilir. Bu bileşiklerin birçoğunun (örneğin: GaAs, InAs, InP ve InSb) doğrudan enerji bant aralıkları ve yüksek taşıyıcı hareketlilikleri vardır, bu nedenle, bu yarıiletkenlerin ortak uygulama alanları, elektromanyetik radyasyonun hem tespiti hem de üretilmesi için çeşitli optoelektronik cihazlar ve ayrıca yüksek hızlı elektronik cihazlardır. Optoelektronik uygulamalar için yararlı olan bu bileşiklerin enerji aralığı E_g (oda sıcaklığında) InSb için 0,17 eV ile GaN için 3,44 eV arasında değişir ve dalga boyu aralığını yaklaşık 7,29 ila 0,36 μm , yani kızılötesinden görünür bölgeye ve görünür bölgeden ultraviyole spektral aralıklara kadar kapsar. GaAs ve InP gibi malzemeler de çok çeşitli elektronik ve optoelektronik cihazlar için alttaş olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır (Yacobi 2003).

2.2.2.2. II-VI Grubu Yarıiletkenler

Zn ve Cd kalkojenitler (yani, O, S, Se ve Te içeren bileşikler), enerji boşluklarındaki geniş farklılıklar nedeniyle çok çeşitli elektronik ve optik özellikleri kapsar. Bu bileşikler, aynı zamanda, çeşitli özelliklerin sürekli bir "ayarına" izin veren, nispeten kolay karışabilir. Bununla birlikte, yüksek kaliteli malzemelerin hazırlanması ve işleme teknolojileri, Si ve

bazı III-V bileşikleri ile ilgili olanlara kıyasla yeterince gelişmemiştir. II-VI bileşikleri, (p-tipi olan ZnTe hariç) tipik olarak büyütüldüğü gibi n-tipidir. Bu bileşiklerden CdTe' de katkılama yapılarak iletkenlik tipi değiştirilebilmekte ve böylece n ve p tipi malzemeler elde edilebilmektedir. ZnSe, ZnS ve CdS gibi diğerleri, hollerin (deşiklerin) küçük bir çoğunluğunu üretmek için katkılanabilir. Cihaz uygulamaları için, bağlantının n- ve p-yanlarının farklı II-VI bileşik yarıiletkenlerden olduğu heteroeklemler oluşturmak ve metal-yarıiletken ve metal-yalıtkan-yarıiletken yapılarını kullanmak mümkündür. (Yacobi 2003).

2.3. Yarıiletkenlerin Karakterizasyonu

Çeşitli malzemelerin ve cihaz karakterizasyon tekniklerinin geliştirilmesi ve uygulamaları, yarıiletken teknolojisindeki devam eden ilerlemelere büyük katkı sağlamıştır. Bir yarıiletkenin yeterli şekilde tanımlamak için prensipte şunlar bilinmelidir: Elektronik bant yapısı, kimyasal bileşim, kristalografik yapı, elektriksel ve optik özellikler ve çeşitli kusurların olası varlığı olarak verilebilir. Bu özelliklerin detaylı analizleri için çok çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bu teknikler, malzemenin fiziksel, yapısal ve cihaz özellikleri ile ilgili tamamlayıcı bilgiler sağlar ve aynı numuneden elde edilen farklı bilgi türleri, sentez ve işleme, malzemenin özellikleri ve uygulamaları arasındaki ilişkiyi yorumlamak için kullanılabilir.

Yarıiletkenler ve yarıiletken cihazlar üzerindeki elektriksel ölçümler, çok çeşitli yarıiletken özelliklerinin analizi için gerçekleştirilir. Yarıiletkenlerin taşıma özellikleri, özdirenç (iletkenlik), Hall etkisi ve kapasitans-voltaj ölçümleri gibi teknikler kullanılarak karakterize edilir. Optik karakterizasyon yöntemleri, emilim, yansıma, yayılım ve saçılma gibi süreçlerden kaynaklanan çeşitli sinyallerin oluşumuna yol açan elektromanyetik radyasyonun katı ile etkileşimini kullanır. Yarıiletkenlerin karakterizasyonu için hem ışık kaynaklarının hem de optik aletlerin çok çeşitli olası konfigürasyonları mevcuttur. Optik tekniklerin, yüklü parçacık uyarma ışınlarını kullananlara kıyasla ana avantajları, örnekleri havada analiz etme yeteneğini ve yalıtkan malzemelerde şarj olmamasını içerir. Kısaca özetlemek gerekirse, bir yarıiletkenin uyarılması, belirli bir değişkeni izleyen bir dedektör sistemi tarafından analiz edilebilen ikincil bir etki üretir. Uyarılma ve ikincil

etkiye bazı örnekler foton, elektron, iyon, X-ışını, atom, alan, ses ve ısıdır, izlenen değişkenler ise yoğunluk, enerji (veya dalga boyu), zaman, açı, kütle, konum ve sıcaklıktır (Yacobi 2003).

2.3.1. Elektriksel Karakterizasyon

Yarıiletkenlerde malzeme kalitesi değerlendirilirken, hızlı, tahribatsız, doğru ve kullanımı kolay elektriksel karakterizasyon tekniklerinin mevcut olması önemlidir. Bu sayede, taşıyıcı katkılama yoğunluğu, taşıyıcıların tipi ve hareketliliği, arayüz kalitesi gibi önemli parametreler, oksitlenme yoğunluğu, yarıiletken yığın kusur yoğunluğu, temas ve diğer parazitik dirençler ve oksit elektriksel bütünlüğü belirlenebilir.

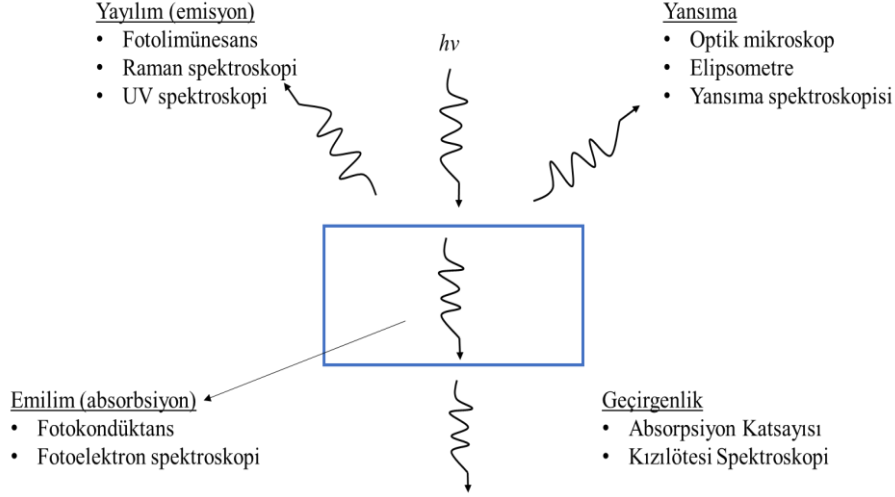
Elektriksel karakterizasyonun önemli bir yönü, uygun test bileşenlerinin mevcudiyetidir. Bu bileşenler; özdirenç ölçümü (dört nokta prop tekniği ve van der Pauw metodu), hall etkisi ölçümü, kapasitans-gerilim ölçümleri, akım-gerilim ölçümleri, şarj pompalama tekniği ölçümü, düşük frekanslı gürültü ölçümü ve derin seviye geçiş spektroskopisi tekniğidir (Kasap 2017).

Çeşitli elektriksel ölçümler kullanılarak elde edilebilecek önemli yarıiletken malzeme ve cihaz özellikleri şunlardır; elektriksel özdirenç (veya iletkenlik), çoğunluk taşıyıcı konsantrasyonu, elektronların ve hollerin (boşluk) hareketliliği ve derin safsızlık seviyelerinin yanı sıra cihaz parametreleri, örneğin, bariyer yüksekliği, temas direnci, arayüz durum yoğunlukları, bağlantı derinliği ve kanal uzunluğu ve genişliği olarak verilebilir (Yacobi 2003).

2.3.2. Optik Karakterizasyon Yöntemleri

Optik ölçümler ilgi çekicidir, bunun nedeni neredeyse her zaman minimum numune hazırlama ile temassız olarak gerçekleşmesi ve bu sebeple avantaj sağlamasıdır. Birçok optik teknik için aygıtlar ticari olarak mevcuttur ve genellikle otomatiktir. Ölçümler çok yüksek hassasiyete sahip olabilir. Optik ölçümler üç ana bölüme ayrılır. Bunlar; fotometrik ölçümler (yansıyan veya iletilen ışığın genliği ölçülür), girişim ölçümleri

(yansıyan veya iletilen ışığın fazı ölçülür) ve polarizasyon ölçümleri (yansıyan ışığın eliptikliği) ölçülür (Schroder 2005).



Şekil 2.7. Optik karakterizasyon teknikleri.

Ana optik karakterizasyon teknikleri Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Optik ölçümler, elektromanyetik spektrumun ultraviyolede uzak kızılötesi bölgesine kadar bir aralıkta çalışır. Parametreler, dalga boyu (λ), enerji (E), Planck sabiti (h), fotonun frekansı (ν) ve ışık hızıdır (c). Enerji ve dalga boyu arasındaki ilişki (Schroder 2005);

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1.2397 \times 10^4}{\lambda(A^\circ)} = \frac{1.2397}{\lambda(\mu m)} = [eV] \text{ 'dir.} \quad (2.5)$$

2.3.2.1. Optik Absorpsiyon

Optik absorpsiyon spektroskopisi, kızılöttesinden ultraviyole aralıklarına kadar gerçekleştirilebilir. Yakın-ultraviyole, görünür ve yakın-kızılötesi aralıklarda, yarıiletkenler (enerji aralığına bağlı olarak), temel enerji aralığından daha büyük foton enerjilerinde elektron-hol çiftleri üretme mekanizması aracılığıyla elektromanyetik radyasyonu güçlü bir şekilde emer. Bu nedenle, temel absorpsiyon kenarının ölçümü, bir yarıiletkenin enerji boşluğunun belirlenmesini kolaylaştırır. Çeşitli safsızlıklar, kusurlar

ve titreşim bağları nedeniyle çeşitli enerjilerde (temel enerji aralığından daha düşük) optik absorpsiyon da meydana gelebilir (Yacobi 2003).

2.3.2.2. Optik Modülasyon Teknikleri

Optik modülasyon spektroskopisi, önemli yarıiletken özelliklerinin hem yerinde hem de yerinde olmayan analizi için güçlü bir yöntem sağlar. Modülasyon spektroskopisinin temel prensibi, bir yarıiletkenin optik spektral tepkisini (yani optik yansıma veya geçirgenliği) ölçmektir. Optik tepki, spektrumun türevini almaya benzer keskin spektral özelliklerle sonuçlanan tekrarlayan bir pertürbasyon uygulanarak değiştirilir. Bu, bir elektrik alanı (dolayısıyla elektromodülasyon) veya stres (piezomodülasyon) veya ısı (termomodülasyon) gibi tekrarlayan bir pertürbasyon uygulanarak gerçekleştirilir. Modülasyon spektroskopisi tekniklerinin başlıca avantajları, oda sıcaklığında çalışma ve yerinde izleme ve ince film büyümesinin ve işlenmesinin kontrolü için potansiyel faydalarıdır (Yacobi 2003).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu tez çalışmasında, cam alttaş üzerine çift katmanlı yansıma önleyici ince film yapısı oluşturulmuştur. Bu yapı için kullanılan CdS ve MgF₂ yarıiletken bileşenlerinin özelliklerinden bahsedilmiştir.

3.1.1. Magnezyum Florür (MgF₂)

Çok az katı düşük kırılma indisine sahiptir ve genel olarak kabul gören malzeme magnezyum florürdür. MgF₂ görünür bölgenin orta noktasında (500nm) n=1,37'dir. Kamera lenslerinde özellikle yaygın olarak bu yansıma önleyici malzeme kullanılır (Tilley 2011). Çizelge 3.1'de malzeme özelliklerinin ayrıntılarına yer verilmiştir.

3.1.2. Kadmiyum Sülfür (CdS)

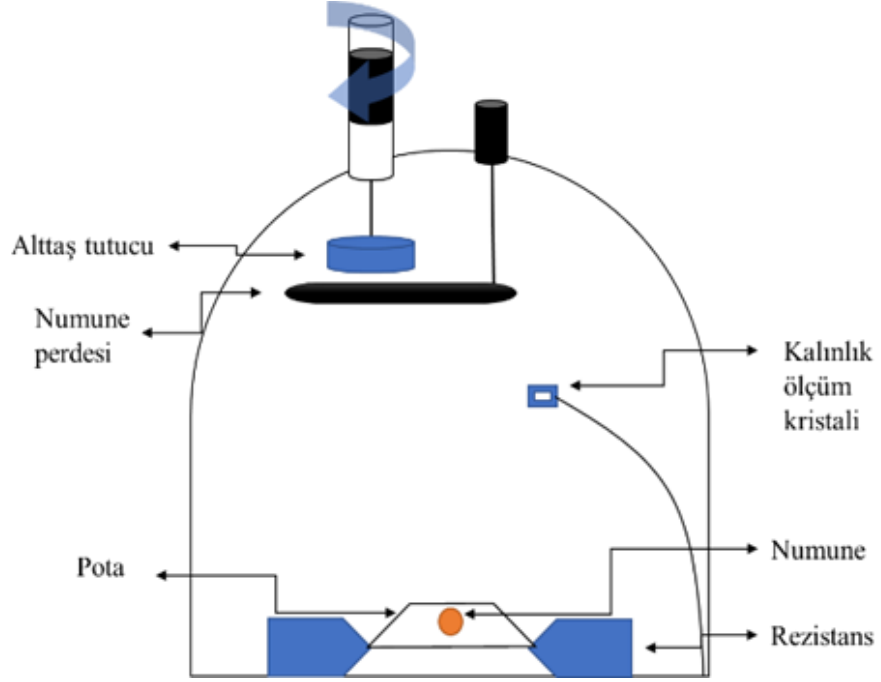
Kadmiyum sülfür, oda sıcaklığında 2,4 eV orta düzey yasak enerji bant aralığına ve aynı zamanda fotovoltaik enerji dönüşümü alanında uygulanabilir kılan yüksek soğurma katsayısı ve ışığa karşı yüksek hassasiyete sahiptir (Abdel-Galil 2014). Çizelge 3.1'de malzeme özelliklerinin ayrıntılarına yer verilmiştir.

Çizelge 3.1. MgF₂-CdS yarıiletkenlerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Bileşik Formül	MgF ₂	CdS
Molekül Ağırlığı	62.3 g/mol	144.48 g/mol
Görünüm	Beyaz kristal	Sarı-turuncu katı
Erime Noktası	1260 °C	1750 °C
Yoğunluk	3,2 g/cm ³	4,82 g/cm ³
Suda çözünürlük	Yok	Yok
Kırılma indisi	1.38	2.58
Kristal Yapısı	Tetragonal	Hegzagonal, Kübik

3.2. Termal Buharlaştırma Yöntemi

Termal buharlaştırma sistemini oluşturan temel kısımlar Şekil 3.1’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Termal buharlaştırma sistemi şematik gösterimi.

Termal buharlaştırma sistemi genel olarak vakum kazanı, difüzyon pompası, turbo moleküler pompa, güç kaynağı, rezistans, kalınlık ölçüm kristali, numune perdesi ve alt taş tutucu kısımlarından oluşmaktadır.

Termal buharlaştırma yönteminde, kaplama malzemesine uygun pota seçilmek bir gerekliliktir. Potalar ısıya dayanıklıdır ve malzemenin buharlaşma sıcaklığının çok üstünde bir yapıya sahiptirler. Uygun pota seçildikten sonra potaya kaplama malzemesi eklenir ve vakum kazanı kapatılır. Difüzyon ve turbo moleküler pompa yardımıyla vakum odası istenilen basınç değerine getirilir. Basınç değeri $\sim 1 \times 10^{-5}$ Torr’dur. Basınç bu değere geldiğinde vakuma alma işlemi tamamlanmış olur. Termal güç kaynağı açılarak rezistans yavaş yavaş ısıtılmaya başlanır. Kalınlık artışı gözlemleninceye (kaplama malzemesi buharlaşmaya kadar) kadar akım değeri artırılır. Kaplama malzemesi, vakum ortamında

alttaş tutucuda bulunan kaplanmak istenen alttaşın üzerinde birikmeye başlar. Homojen bir film elde etmek için alttaş tutucu kendi eksenini etrafında sabit hızda dönmektedir. Sistemde yer alan kuartz kristal yardımıyla kalınlık ölçümü takibi yapılarak istenilen kalınlık elde edilmektedir. Kalınlık ler, sistemin hem kaplama hızını hem de kaplanan malzemenin kalınlığını göstermektedir. İnce filmde istenilen kalınlık elde edildikten sonra numune perdesi kapatılır ve rezistans üzerindeki potasya verilen akım değeri sıfıra getirilir. G kesildikten sonra sistem vakumdan çıkarılır ve alttaş, kaplama malzemesi ile kaplanmış olur.



Şekil 3.2. Kaplama sırasında vakum çemberinin içyapısı.

3.3. Deneysel alıřmalar

3.3.1. CdS/MgF₂ Yapısının Üretimi

Kaplama öncesi, lam boyutundaki cam alttaş elmas uçlu kalem yardımıyla ortadan ikiye bölünerek, izopropil alkol ile dolu beher içerisine yerleştirildi ve ultrasonik banyoda 10 dakika bekletildi. Ardından saf su ile beher ve alttaş durulandı ve 10 dakika ultrasonik banyoda saf suda bekletilerek durulama işlemi tekrarlandı, sonrasında ultrasonik banyoda

10 dakika aseton ile bekletildi ve son kez durulama işlemi tekrarlandı. Son aşama olarak cam alttaş azot gazı ile kurutuldu. Alttaş temizleme işlemi ardından Fiziksel Buhar Biriktirme Cihazı (PVD) çalıştırıldı. PVD cihazındaki rezistansa, Molibden (Mo) pota ve üzerine pellet haline getirilmiş Kadmiyum Sülfür (CdS) numuneleri yerleştirildi. Alttaşlardan 3 tanesi vakum çemberinde alttaş tutucuya yerleştirildi. Vakum çemberi ve vakum kırma tıpası kapatıldı. Harici hava pompasının (kompresör) vanası açık konuma getirildi. PVD cihazının ön yüzünde bulunan kaçak akım rölesi şalteri ON konumuna getirildi. Ana şalter açıldı ("1" konumuna getirildi). Sistem "Başlat" butonuna basıldı. Sırasıyla kontrol şalteri, mekanik pompa şalteri, difüzyon pompası şalteri ve termal buharlaştırma şalteri açıldı. Cihaz bilgisayarı açıldı ve Vaksis programı başlatıldı. Harici su soğutucu açıldı ve Vaksis programından su akış vanası aktif hale getirildi. Ardından soğutucunun su pompası açıldı ve sistem göz ile kontrol edildi. Malzemenin yerleştirildiği rezistansa göre (cihazda ön yüzeyine yakın olan pota 1 arka yüzeyine yakın olan 2 numaralı rezistans olmak üzere) malzeme adı ve kaynak adı programa kaydedildi. Kalınlığı belirleyebilmek için programda malzeme seçimi yapıldı ve yoğunluk, z faktörü, oransal faktör girildi. Alttaş döndürme, deneme amaçlı kısa süreliğine çalıştırıldı. Tüm bu aşamaların ardından vakum alma işlemi başlatıldı. Cihaz vakum alma işlemini tamamladıktan sonra alarm sesi duyuldu ve kaplama aşamasına geçildi. Buharlaştırma kaynağı aktif hale getirildi. Termal güç, kontrollü bir şekilde arttırılarak program üzerinde kalınlık artışının varlığına bakıldı. Güç %1'lik aralıklarla 1'er dakikada bir arttırıldı ve her % 5'lik dilimde 5 dakika bekletilerek ilerlendi. Bu işlem, açık potada bulunan CdS'lerin kaplama sırasında potadan sıçramasını engellemek için yürütüldü. Termal güç % 40'a getirildiğinde 97Amperde 7 Å/s düzeyinde kalınlık artışı gözlemledik ve homojen bir kaplama için alttaşı döndürerek 72 nm kalınlık elde ettik. Daha sonra CdS kaplı alttaşlar çıkartılmadan üzerine Magnezyum Florür (MgF₂) kaplanmak üzere, tanecik boyutu 4mm olan amorf halde bulunan 0.1237 gram ağırlığında MgF₂ granülleri bir başka Molibden potaya yerleştirildi. PVD kaplama cihazı aynı şekilde başlatıldı. Termal güç % 30'a getirildiğinde 79Amperde 15 Å/s düzeyinde kalınlık artışı gözlemlendi ve güç sabit tutularak alttaş döndürme homojen bir kaplama için aktif hale getirildi. Kaplama, pota kapağı kaldırılarak başlatıldı ve 80 nm kalınlık elde edilene kadar pota kapağı açık bırakıldı. Tersine prosedür ile sistem kapatıldı.

FESEM, EDS ve XRD ölçümleri için kaplama çalışması silikon alttaş kullanarak yinelenmiştir. Silikon alttaş, cam alttaş temizliğine ek olarak, son aşamada % 10 Hidroflorik Asit (HF) çözeltisine daldırıldı ardından 2 kez saf suya daldırıldı ve azot gazı ile kurutulup alttaş tutucuya yerleştirildi.

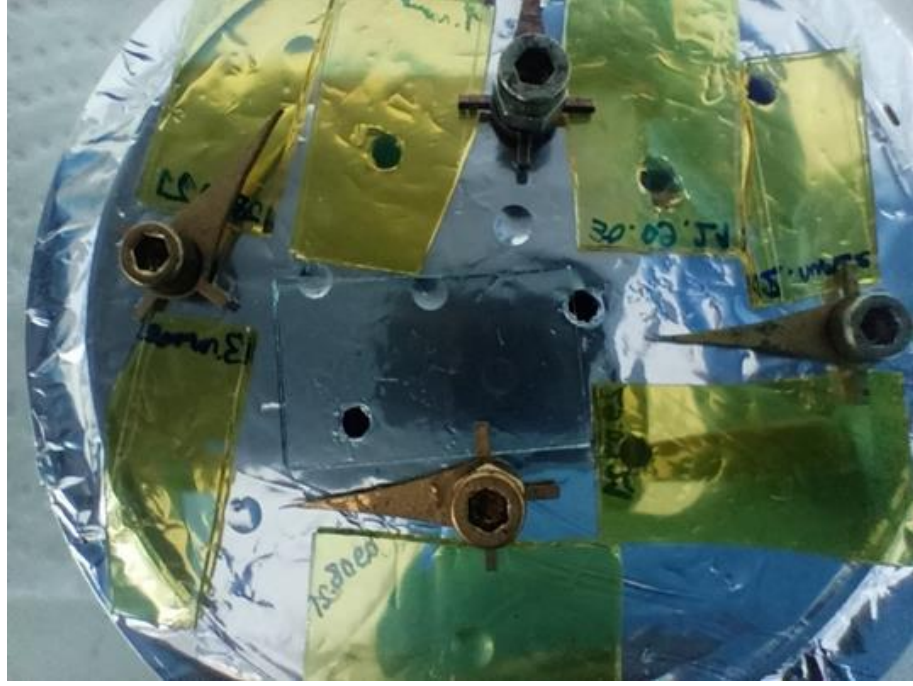
Ayrı bir çalışma olarak, Thermnevo ısıtma fırını yardımıyla azot ortamında 300C⁰'de 20 dakika boyunca CdS ve MgF₂ numuneleri tavlandı.

Çizelge 3.2. Termal buharlaştırma sisteminde üretilen ince film parametreleri.

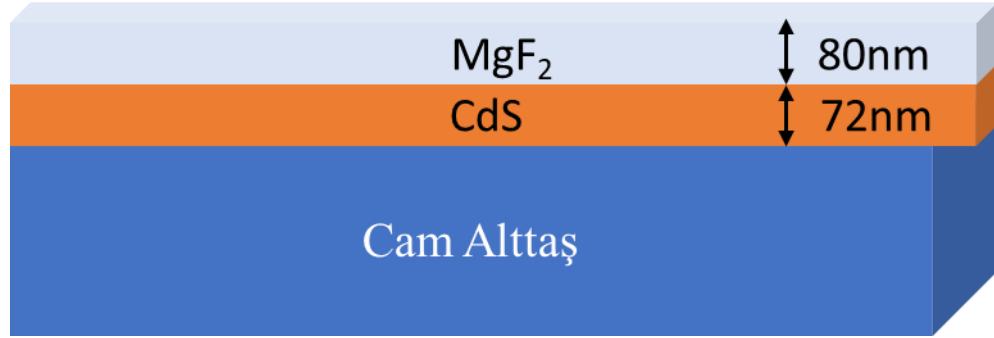
Parametreler	MgF ₂	CdS
Biriktirme Kalınlığı (nm)	80	72
Buharlaştırma Akımı (A)	79	97
Biriktirme Hızı (Å/s)	15	7
Vakum Ortamı (Torr)	1×10 ⁻⁵	1×10 ⁻⁵
Kullanılan Pota	Mo	Mo



Şekil 3.3. Cam alttaş temizleme çalışmaları.



Şekil 3.4. Cam alttaş üzerine biriktirilmiş farklı kalınlıkta CdS + MgF₂ çift katmanlı ince filmler.



Şekil 3.5. Üretilen ince filmin şematik gösterimi.



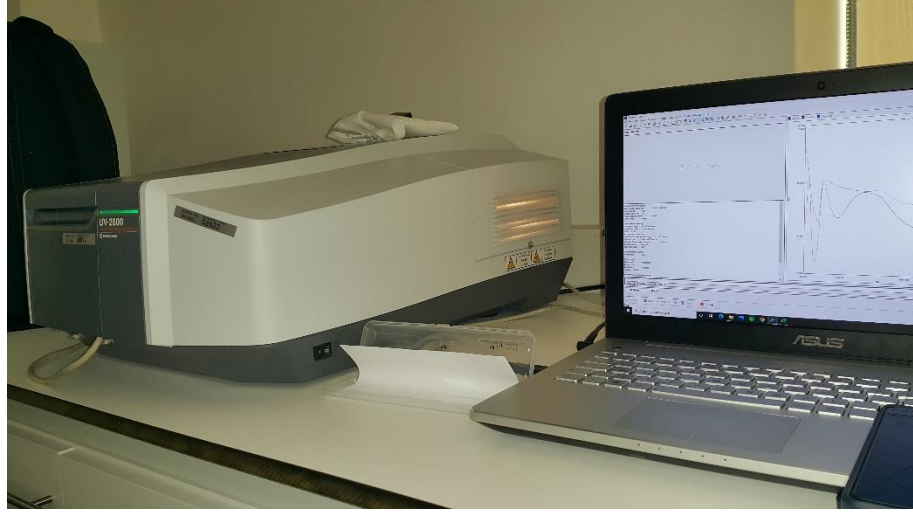
Şekil 3.6. Tavlama çalışmalarında kullanılan ısıtım fırını.



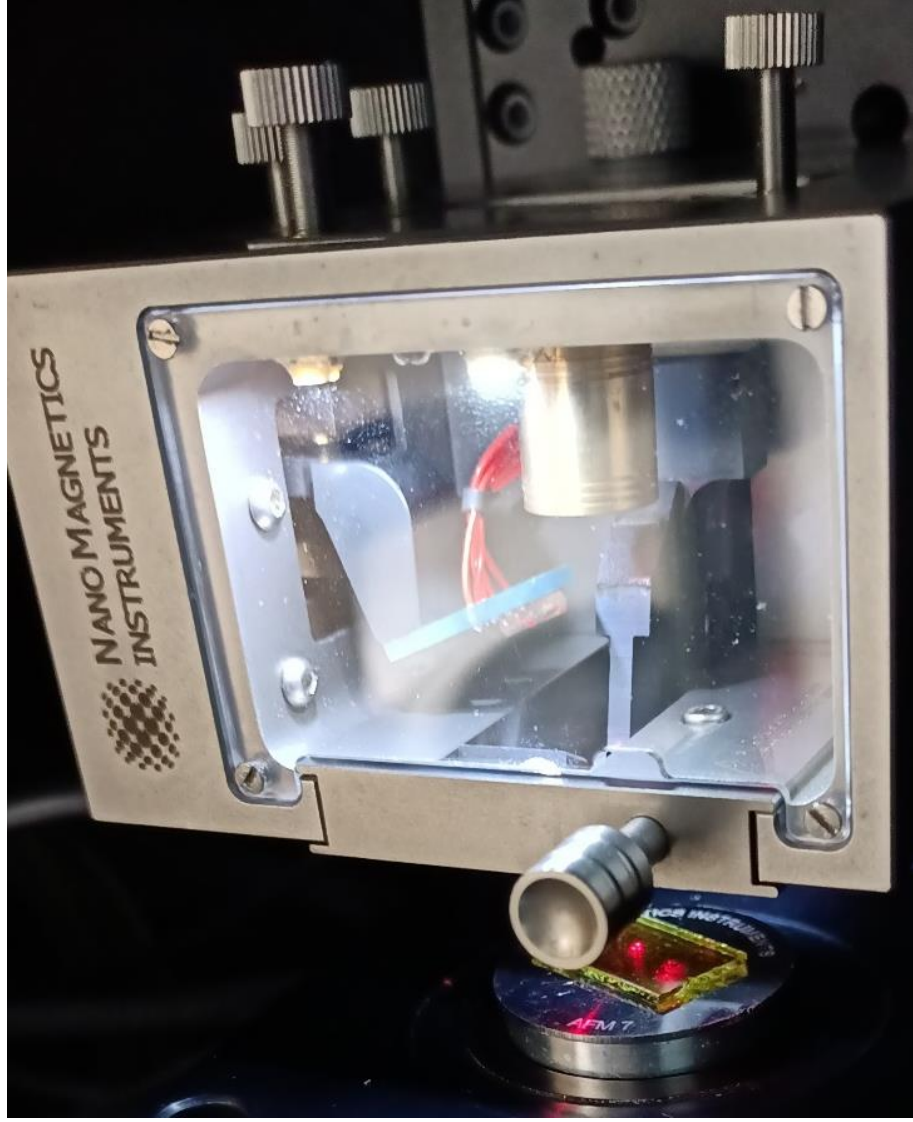
Şekil 3.7. FESEM, EDS ve XRD ölçümleri için silikon alttaş üzerine kaplanan MgF_2 ve CdS numuneleri.

3.3.2. Ölçüm ve Analizler

CdS/MgF₂ ince filmin, yansımaya, geçirgenlik ve soğurma değişimleri UV-vis spektrofotometre (2700 Shimadzu) kullanılarak incelendi. Yüzey morfolojisi hakkında bilgi edinmek için alan etkili taramalı elektron mikroskobu (FESEM, Carl Zeiss / Gemini 300) kullanıldı. Kristal özelliklerini incelemek için x-ışınları difraksiyonu (XRD, Malvern Panalytical X'Pert Pro Multi Purpose Diffractometer) kullanıldı. CdS kaplı ince film numunesinin morfolojik özelliklerine, Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM, Nano Magnetic Instruments) cihazından bakıldı.



Şekil 3.8. UV-vis spektrofotometre cihazının genel görüntüsü.



Şekil 3.9. AFM cihazında CdS numunesi incelenirken.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Optik Özellikler

Tek katmanlı CdS ince film ile çift katmandan oluşan CdS üzerine MgF₂ ince film yapıların 300 ile 800 nm dalga boyu aralığında yansımaya, geçirgenlik ve soğurma değişimleri UV-vis spektrofotometre (2700 Shimadzu) kullanılarak incelendi ve Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'deki değişimler elde edildi. Yapılan incelemeler sonunda, görünür bölgede 550 nm dalga boyunda % 30 oranında yansımaya kaybının önlenildiği sonucuna varıldı. Şekil 4.4'de CdS' nin dalga boyuna bağlı yansımaya yüzdesinin teorik ve deneysel verileri karşılaştırıldı. Çift katmanlı yapının geçirgenlik yüzdesinde % 8 oranında artış saptandığı görüldü.

Yaklaşık aynı kalınlıklarda (140 nm) büyütülen CdS ve MgF₂ ince filmleri 300⁰ C'de 20 dakika boyunca tavllanmış ve optik özelliklerindeki değişim UV-vis spektrofotometre ile incelenmiştir. Yapılan çalışmada, tavlamanın, görünür bölgede yansımaya kayıplarını azaltıcı etki göstermediği gözlenmemiştir.

Optik değerlerin ölçümünde bazı hesaplamalar kullanılmıştır; Soğurma ölçümü için,

$$\alpha = \frac{2,303}{t} Abs \quad (4.1)$$

denkleminde yararlanılmıştır. Burada, α soğurma katsayısı, t filmin kalınlığı ve Abs filmin Absorbans (soğurma) değeridir (Rai 2013).

Tek katmanlı ince filmin optik yansımalarının teorik hesaplaması,

$$r_1 = \frac{n_0 - n_1}{n_0 + n_1} \quad (4.2)$$

$$r_2 = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \quad (4.3)$$

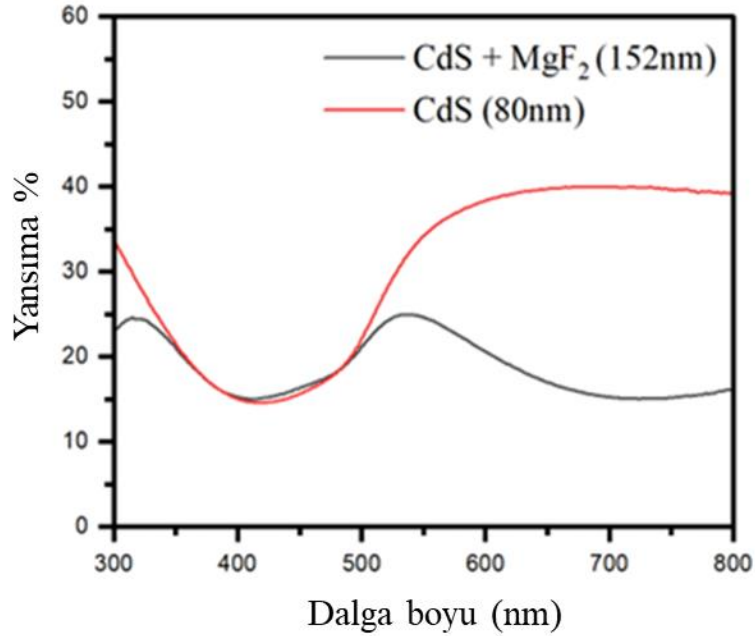
ve,

$$\theta = \frac{2\pi n_1 t_1}{\lambda} \quad (4.4)$$

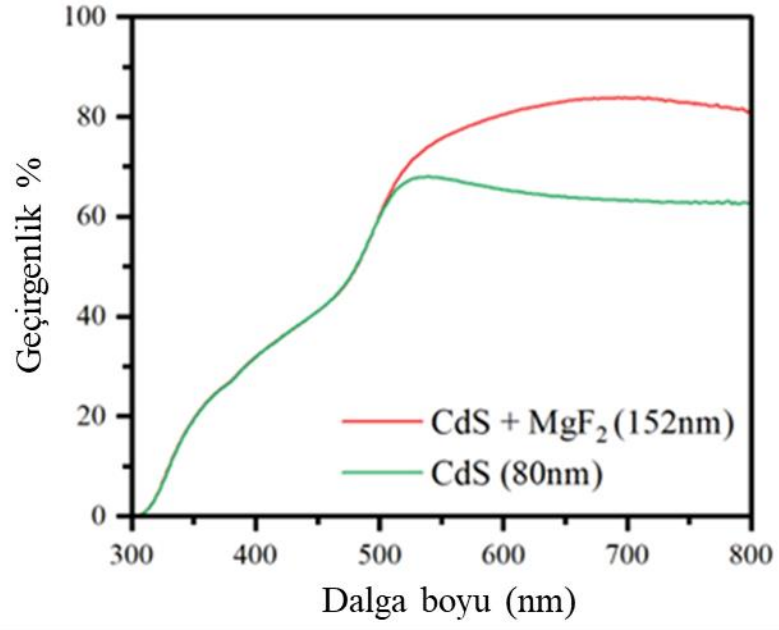
denklemleri (4.2), (4.3), (4.4) yardımıyla türetilen,

$$R = |r^2| = \frac{r_1^2 + r_2^2 + 2r_1 r_2 \cos 2\theta}{1 + r_1^2 r_2^2 + 2r_1 r_2 \cos 2\theta} \quad (4.5)$$

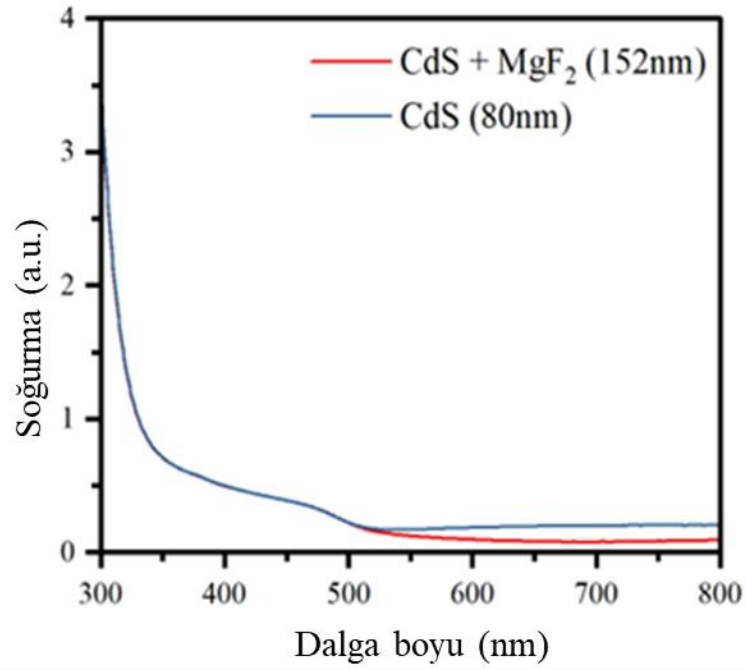
denklemleriyle elde edilmiştir. Burada, n_0 havanın kırılma indisi, n_1 ince filmin kırılma indisi, n_2 alttaşın kırılma indisi, t_1 ince filmin kalınlığı ve λ dalga boyudur (Tilley 2011).



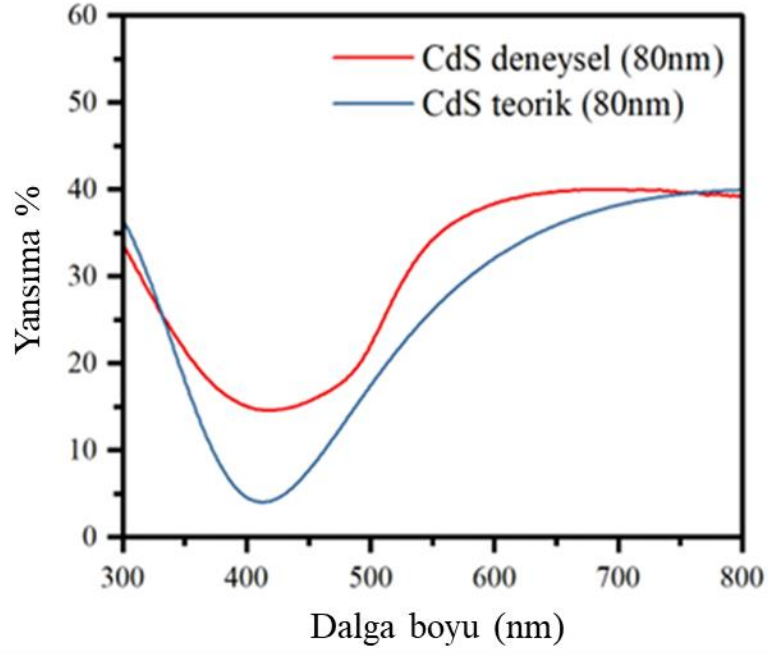
Şekil 4.1. CdS ve CdS/MgF₂ ince filminin yansıtma yüzdelerinin karşılaştırılması.



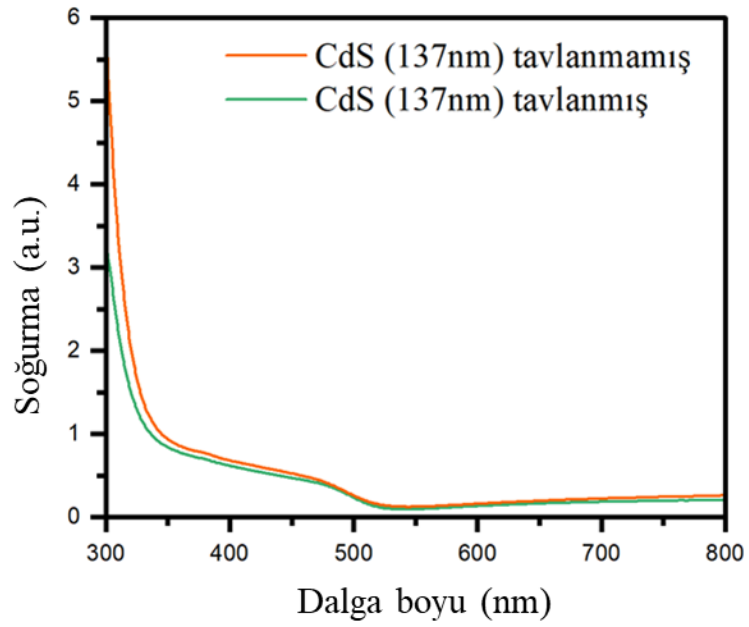
Şekil 4.2. CdS ve CdS/MgF₂ ince filminin geçirgenlik yüzdelerinin karşılaştırılması.



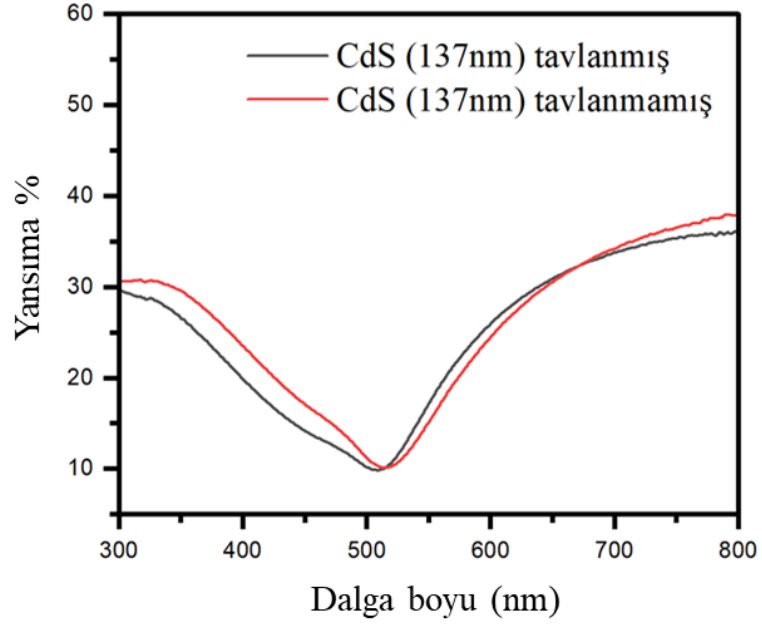
Şekil 4.3. CdS ve CdS/MgF₂ ince filminin soğurmalarının karşılaştırılması.



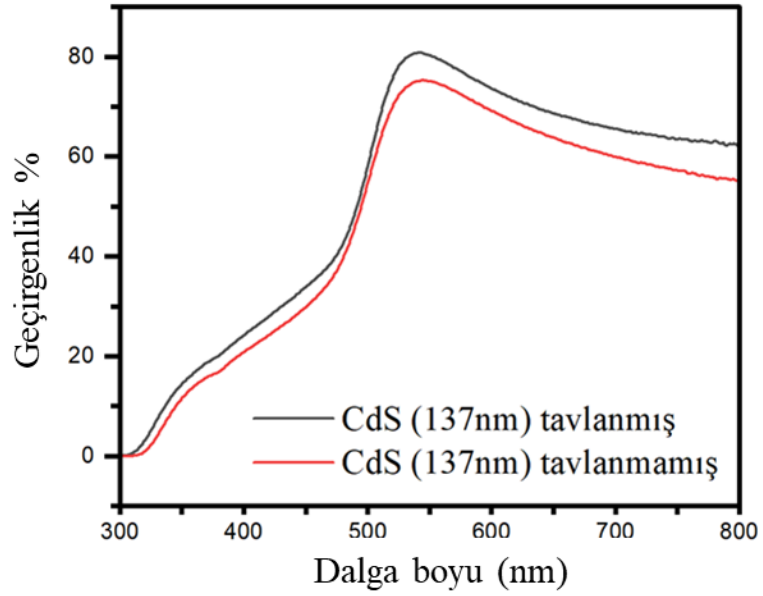
Şekil 4.4. CdS ince filmin yansıtma yüzdesinin teorik değerle karşılaştırılması.



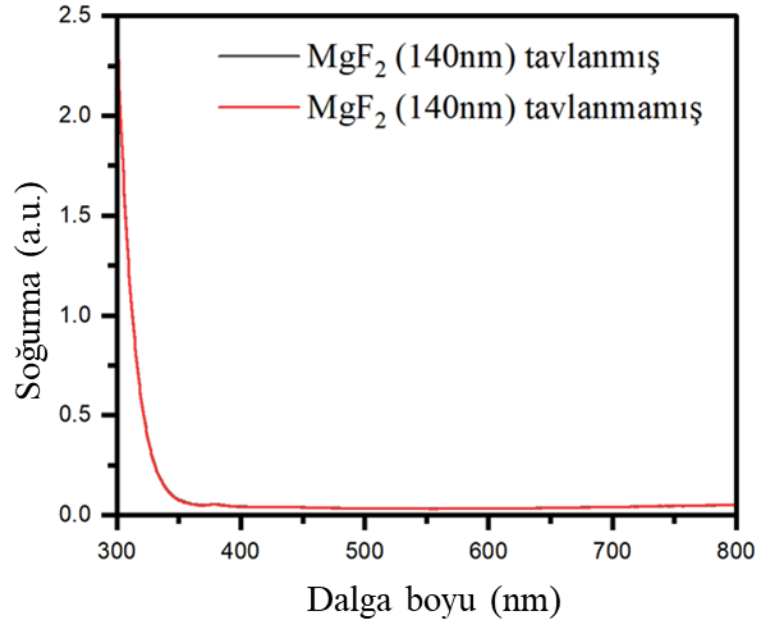
Şekil 4.5. Tavlannmış ve tavlannmamış CdS numunelerinin soğurmalarının karşılaştırılması.



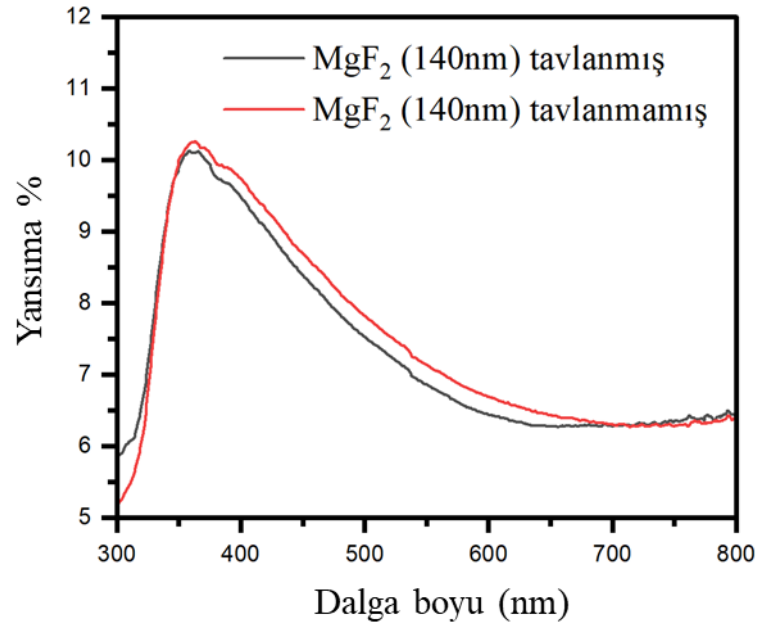
Şekil 4.6. Tavlammış ve tavlannmamış CdS numunelerinin yansımaya yüzdelерinin karşılaştırılması.



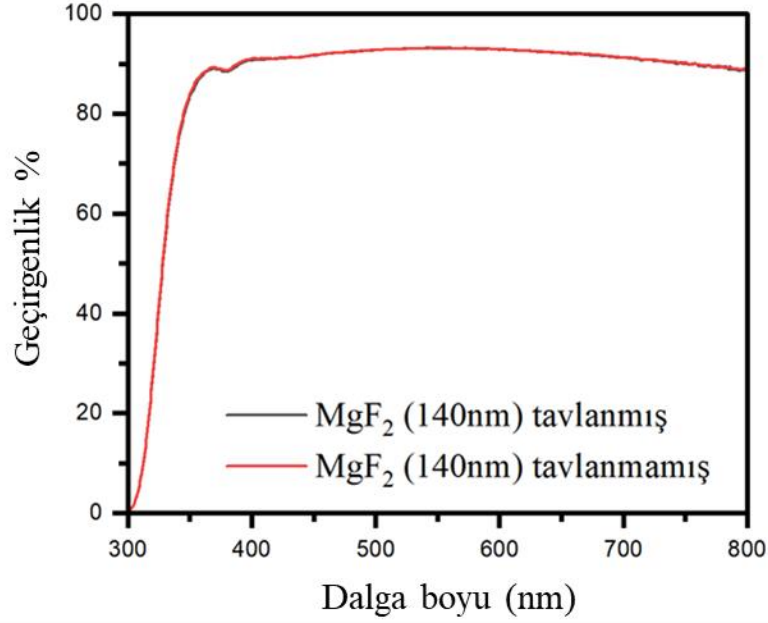
Şekil 4.7. Tavlammış ve tavlannmamış CdS numunelerinin geçirgenlik yüzdelерinin karşılaştırılması.



Şekil 4.8. Tavllanmış ve tavlansmamış MgF_2 numunelerinin soğurmalarının karşılaştırılması.



Şekil 4.9. Tavllanmış ve tavlansmamış MgF_2 numunelerinin yansımaya yüzdelerinin karşılaştırılması.



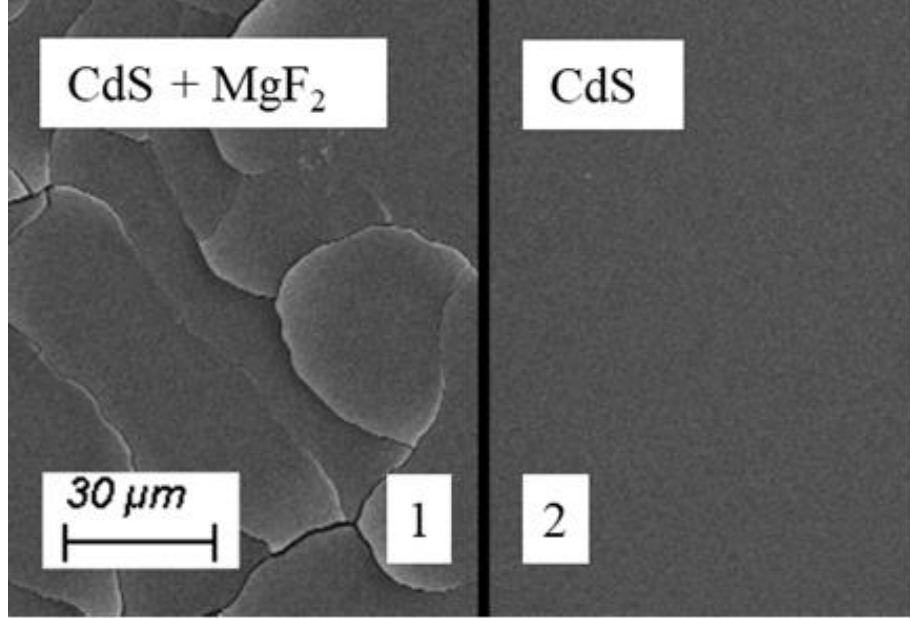
Şekil 4.10. Tavlammış ve tavlammamış MgF₂ numunelerinin geçirgenlik yüzdelerinin karşılaştırılması.

4.2. Yapısal ve Morfolojik Özellikler

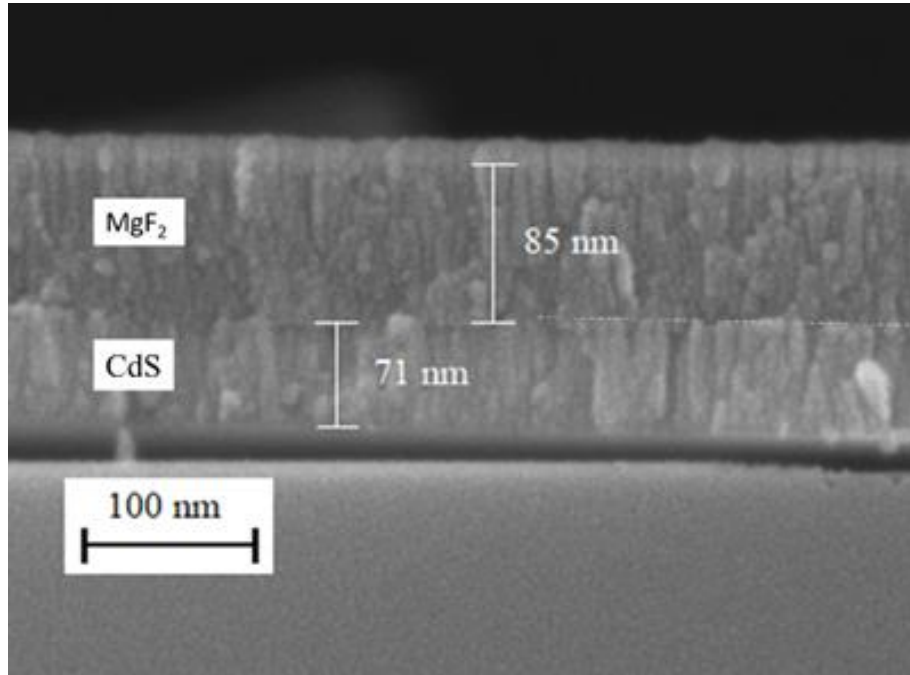
Alan Etkili Taramalı Elektron Mikroskobu (FESEM, Carl Zeiss / Gemini 300) ile üretilen yapıların yüzey morfolojisi incelendi. Şekil 4.11’de bir tarafı maskelenmiş yapının analizi görülmektedir. CdS üzerine MgF₂ ince filminde büyütülmesinde kaplamanın plakalar şeklinde gerçekleştirildiği gözlemlendi (1 numaralı bölge). Diğer yüzeyde ise homojen bir dağılım olduğu tespit edildi (2 numaralı bölge). İncelenen kaplamaların yüzey yapısı, 15 kV potansiyel altında, 250 X büyütmede ve 30 µm ölçeğinde gerçekleştirildi. Kalınlık ölçümü için numunenin kesit alanları incelenmiş ve buradan katmanların kalınlık ölçümleri 15 kV potansiyel altında, 35 KX büyütmede ve 100 nm ölçeğinde 85 nm ve 71 nm olduğu ölçüklendirildi (Şekil 4.12).

Şekil 4.11’deki yapıya benzer olarak Şekil 4.13’te 300 °C’ de tavlammış yapının analizi görülmektedir. Tavlammış olan bu numunede CdS’ ün olduğu tarafta kaplamanın plakalar şeklinde gerçekleştirildiği gözlemlendi (1 numaralı bölge). Diğer yüzeyde ise MgF₂ yapısında katmanlı yapıların olduğu tespit edildi (2 numaralı bölge). İncelenen

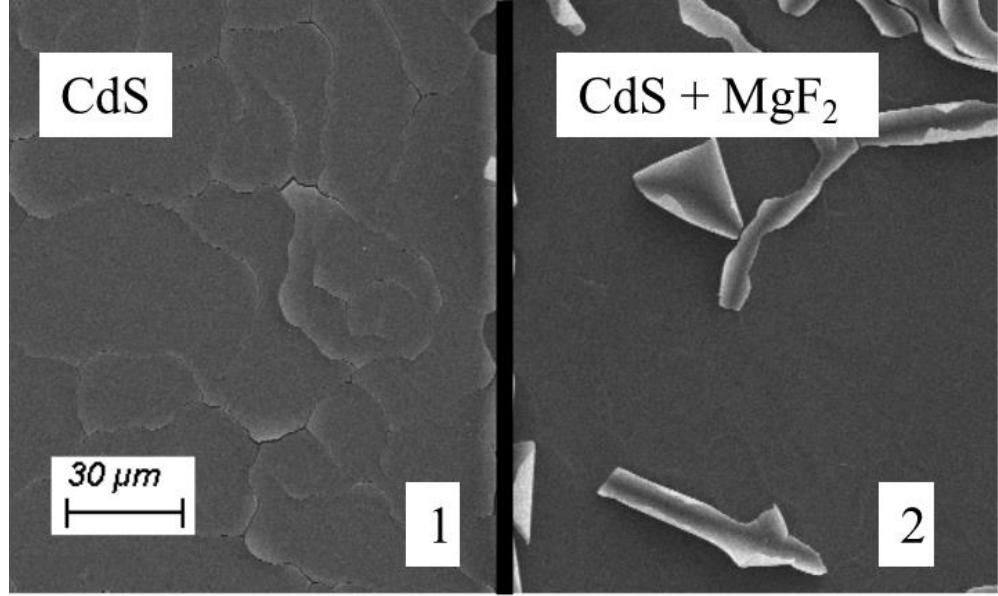
kaplamaların yüzey yapısı, 15 kV potansiyel altında, 250 X büyütmede ve 30 μm ölçeğinde gerçekleştirildi.



Şekil 4.11. CdS ve CdS üzerine MgF₂ büyütülen ince filmin yüzey görüntüsü.



Şekil 4.12. Silikon alttaş üzerine büyütülen CdS/MgF₂ ince filmin yan kesit görünümü.



Şekil 4.13. Tavlanmış CdS ve CdS üzerine tavlanmış MgF₂ büyütülen ince filmin yüzey görüntüsü.

FESEM cihazı kullanılarak EDS elementel analizleri gerçekleştirildi. Ölçümler 2 ayrı bölgeden (Şekil 4.11 1 ve 2'den) alındı. Kaplamaların yüzeylere homojen dağıldığı saptandı. Gözlemlenen atomik yoğunluk yüzdeleri ile gerçekleştirilen kaplama oranlarının birbirine yakın olduğu gözlemlendi.

Benzer şekilde tavlanmış numune için de EDS elementel analizleri gerçekleştirildi. Ölçümler 2 ayrı bölgeden (Şekil 4.13 1 ve 2'den) alındı.

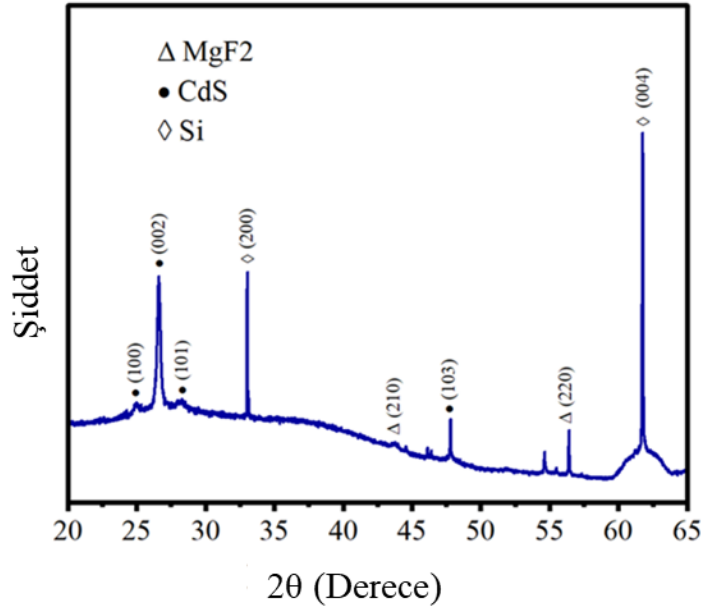
Çizelge 4.1 CdS üzerine büyütülen MgF₂ ince filminin EDS verileri - Atomik yoğunluk yüzdeleri.

C	O	F	Mg	Si	S	Cd	Toplam %
18.31	1.67	25.01	12.23	33.80	4.61	4.37	% 100
26.59	0.00	0.00	0.00	61.00	6.79	5.62	% 100

Çizelge 4.2. Tavlanmış CdS üzerine büyütülen tavlanmış MgF₂ ince filminin EDS verileri - Atomik yoğunluk yüzdeleri.

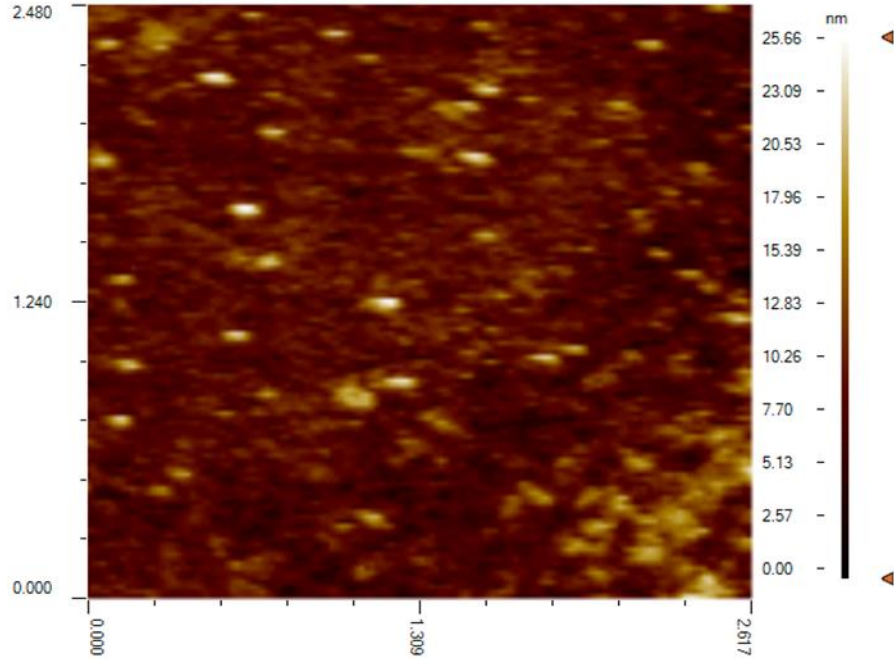
C	O	F	Mg	Si	S	Cd	Toplam %
25.14	0.43	0.00	0.00	61.82	6.39	5.42	% 100
26.59	1.43	6.30	2.41	65.82	0.00	0.14	% 100

CdS/MgF₂ çift katmanlı ince filmin XRD (Malvern Panalytical X'Pert Pro Multi Purpose Diffractometer) sonuçları Şekil 4.14'te görülmektedir. Elde edilen XRD deseninden görüldüğü gibi, CdS ve MgF₂ ince filmler farklı düzlemler ve farklı yönelimlere sahip polikristallerden oluşmaktadır. CdS ince filmin kristal boyutu en baskın yönelimin (002) iken, MgF₂ ince filmin (220) olduğu belirlenmiştir. Çift katmanlı ince filmlere ait kristal yapılara ait sonuçlar 0.01 tarama hızında, 45 kV ve 40 mA de gerçekleştirilmiştir. Diğer pikler, Si altına ait yönelimlerdir.

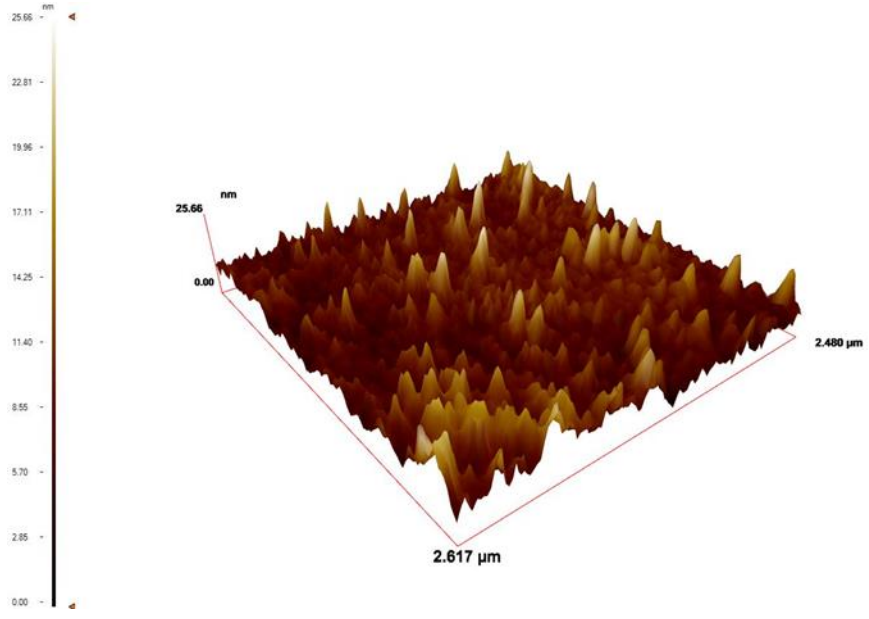


Şekil 4.14. Si üzerine büyütülen CdS /MgF₂ ince filminin XRD grafiği.

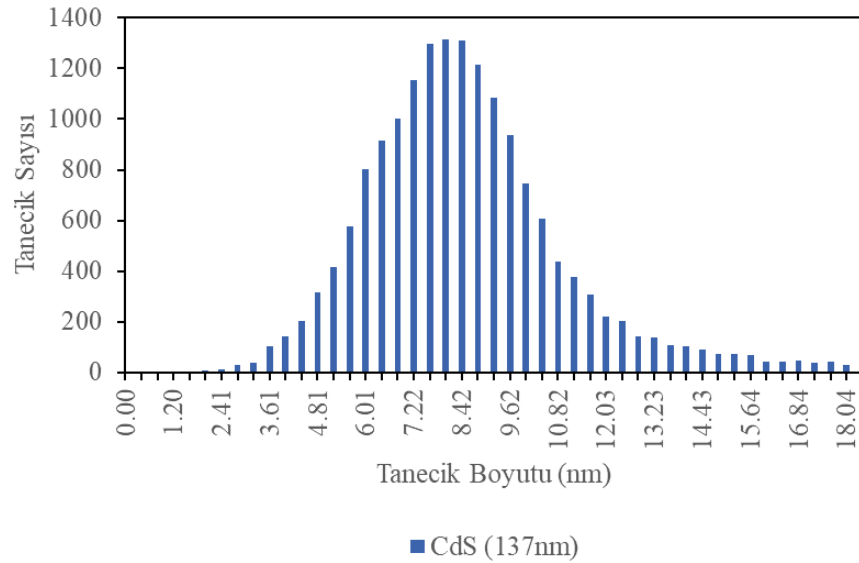
137 nm kalınlığında cam alttaş üzerine kaplı CdS ince film, AFM (Nano Magnetic Instruments) cihazın yardımıyla tarandı. İki ve üç boyutta yaklaşık 2,5 mikron ölçeğinde görüntü elde edildi, ayrıca tanecik boyutu-sayısı içeren histogram grafiği çizildi (Şekil 4.15- 4.17).



Şekil 4.15. ~2.5x2.5µm ölçeğinde CdS ince filmin 2 boyutlu AFM görüntüsü.



Şekil 4.16. ~2.5x2.5µm ölçğinde CdS ince filmin 3 boyutlu AFM görüntüsü.



Şekil 4.17. CdS ince filmin histogram grafiği.

5. SONUÇ

Yansıma önleyici kaplamalar, iletilen ışığın yoğunluğunu önemli ölçüde azaltan Fresnel yansımaları nedeniyle sorunun üstesinden gelmek için uzun zamandır kullanılmaktadır. Fotovoltaik hücrelerin veya optoelektronik cihazların ön yüzeyine tek veya çok katmanlı yansıma önleyici kaplamaların uygulamasının, cihaz verimliliğini arttırarak, geçen ışığın yansımalarını azalttığı tespit edilmiştir. Bu kaplamalar, güneş pillerinde, lenslerde, lazerler için optik pencerelerde ve ekran camlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, CdS üzerine MgF₂ çift katmanlı yansıma önleyici ince film yapısı cam alttaş üzerine Termal Buhar Biriktirme yöntemi ile başarılı bir şekilde büyütülmüştür. Üretilen CdS üzerine MgF₂ ince filmi karakterizasyon ölçümleri için cam alttaş ve silikon alttaş üzerine ayrı ayrı kaplanmıştır.

Optik ölçüm için cam alttaş 152 nm kalınlıkta ince film büyütülmüştür. Yapısal ve morfolojik özelliklerin tespiti ise Silisyum alttaş üzerine 156 nm kalınlığındaki kaplama ile gerçekleştirilmiştir. Büyütülen kaplamanın yüzeyde homojen dağıldığı gözlemlenmiştir.

Karakterizasyon aşamasında, UV-vis ölçümü sonucu elde edilen değerlerden yansıma kayıplarına bakıldığında, $\lambda=550$ nm dalga boyunda, kırılma indisi $n=2,58$ olan CdS ile üzerine ikinci katman olarak kırılma indisi $n=1,38$ olan MgF₂ kaplandığında, tek katmanlı CdS'e kıyasla, % 30 oranında azalma gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır. Geçirgenlikte ise, görünür bölgede % 20'ye yakın bir artış gözlenmiştir.

Bu çalışmada büyütülen CdS üzerine MgF₂ ince filminin, optoelektronik alanında kullanımını doğrultusunda, yansıma kayıplarını önleyici katkı sağlayacağı ve bu sayede de cihazların hassasiyetini arttırıcı etki göstereceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Arslan, F., & Uzun, A. (2017). Yenilenebilir enerji yatırımlarının sosyal kabul boyutu, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Sayı 51, 95 – 116. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/dpusbe/issue/27739/294759>
- Altun, Y., & İşleyen, Ş. (2018). Bazı OECD ülkelerinde yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimine yönelim üzerine ampirik bir çalışma, *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22(3), 1577-1590. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ataunisobil/issue/39594/413159>
- Sayın, S., & Koç, İ. (2011). Güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaik (Pv) sistemler ve yapılarda kullanım biçimleri, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26 (3), 89-106. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sujest/issue/23235/248069>
- Farahani, F. A., Poro, A., Rezaee, M., & Sameni, M. (2020). Enhancement in power conversion efficiency of CdS quantum dot sensitized solar cells through a decrease in light reflection: *Optical Materials* 108, Article 110248. doi: <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2020.110248>
- Raut, H. K., Dinachali, S. S., Ansah-Antw, K. K., Ganesh, V. A., & Ramakrishna, S. (2013). Fabrication of highly uniform and porous MgF₂ anti-reflective coatings by polymer-based sol-gel processing on large-area glass substrates. *Nanotechnology* 24, Article 505201 (8pp). Doi: 10.1088/0957-4484/24/50/505201
- Ting-Wie, K., Ping-Kuan, C., Yu-Shuang, Y., Mau-Phon, H., Na-Fu, W., & Yu-Zen, T. (2012). Simple broadband anti-reflective coatings for superstrate-type silicon-based tandem cells, *11th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, (2012), pp. 394-396. Doi: 10.1109/EEEIC.2012.6221409.
- Sarkin, A. S., Ekren, N., & Sağlam, Ş. (2020). A review of anti-reflection and self-cleaning coatings on photovoltaic panels: *Solar Energy* 199, 63–73. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.01.084>
- Mahmoud, S.A., Ibrahim, A.A., & Riad, A.S. (2000). Physical properties of thermal coating CdS thin films using a modified evaporation source: *Thin Solid Films*, 372, 144-148. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0040-6090\(00\)01053-1](https://doi.org/10.1016/S0040-6090(00)01053-1)
- Hu, C.C. 2009. *Modern semiconductor devices for integrated circuits* (2nd ed.). Pearson Education. 6,120 pp
- Syed, W. A. A., Rafiq, N., Ali, A., Din, R., & Shah, W. H. (2017). Multilayer AR coatings of TiO₂/MgF₂ for application in optoelectronic devices. *Optik*, 136, 564–572. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2017.02.085>

- Reuna, J., Polojärvi, V., Pääkkönen, P., Lahtonen, K., Raappana, M., Aho, T., Isoaho, R., Aho, A., Valden, M., & Guina, M. (2019). Influence of ex-situ annealing on the properties of MgF₂ thin films deposited by electron beam evaporation. *Optical Materials*, 96. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2019.109326>
- Kaminski, P. M., Lisco, F., & Walls, J. M. (2014). Multilayer broadband antireflective coatings for more efficient thin film CdTe solar cells. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 4(1), 452–456. <https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2013.2284064>
- Erol, A., & Balkan, N. (2015). *Yarıiletkenler ve optoelektronik uygulamaları* (2. baskı). Seçkin Yayınları.
- Aydoğan, Ş. (2014). *Katıhal Fiziği* (2. baskı). Nobel Yayınları.
- Tilley (2011). *Colour and the Optical Properties of Materials: An Exploration of the Relationship Between Light, the Optical Properties of Materials and Colour* (2nd ed.). Wiley Books.
- Abdel-Galil, A., Balboul, M. R., Atta, A., Yahia, I. S., & Sharaf, A. (2014). Preparation, structural and optical characterization of nanocrystalline CdS thin film. *Physica B: Condensed Matter*, 447, 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.physb.2014.04.064>
- Schroder, D. K. (2005). Frontmatter. In *Semiconductor Material and Device Characterization* (3rd ed.). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/0471749095.fmatter>
- Yacobi, B. G. (2003). *Semiconductor materials: an introduction to basic principles*. Springer US.
- Colinge, J. P., & Colinge, C. A. (2002). *Physics of semiconductor devices*. Springer New York.
- Sze, S. M., & Lee, M. K. (2012). *Semiconductor Devices Physics and Technology* (3rd ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Kasap, P.C. (2017). *Electronic and photonic materials* (2. baskı). Springer International Publishing. 453-479. Doi: 10.1007/978-3-319-48933-9
- Rai, R., & Singh, B.K. (2013). *Absorbance and Transmittance measurement of CsI thin films*. Proceedings of the DAE Symp. on Nucl. Phys. 58 10 Mayıs 2022 tarihinde <http://www.symppnp.org/proceedings/> adresinden erişildi.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Aybars ÖZTATLI
Doğum Yeri ve Tarihi : Üsküdar / 26.01.1990
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Turhan Tayan Anadolu Lisesi
Lisans : Uludağ Üniversitesi
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Ermaksan Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş.

İletişim (e-posta) : aybarsoztatli@gmail.com

Yayınları :