



**p TİPİ Si ve İLETKEN TABANLI CdS
HETEROEKLEMLERİN KİMYASAL DEPOLAMA
YÖNTEMİYLE ELDE EDİLMESİ ve KARAKTERİZASYONU**

DOKTORA TEZİ

EMEL YILDIRIM

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
AĞUSTOS - 2023**

**p TİPİ Si ve İLETKEN TABANLI CdS
HETEROEKLEMLERİN KİMYASAL DEPOLAMA
YÖNTEMİYLE ELDE EDİLMESİ ve KARAKTERİZASYONU**

DOKTORA TEZİ

**EMEL YILDIRIM
ORCID ID: 0000-0002-1540-9664**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. HÜLYA METİN GÜBÜR
ORCID ID:0000-0002-5796-5028**

**İKİNCİ DANIŞMAN
DOÇ. DR. ALİ KEMAL HAVARE
ORCID ID:0000-0002-9272-9223**

**MERSİN
AĞUSTOS-2023**

ÖZET

p TİPİ Si ve İLETKEN TABANLI CdS HETEROEKLEMLERİN KİMYASAL DEPOLAMA YÖNTEMİYLE ELDE EDİLMESİ ve KARAKTERİZASYONU

Bu tez çalışmasında kimyasal depolama (CBD) yöntemi ile farklı molaritede çözeltiler kullanılarak 3 grup CdS yarıiletken ince film elde edildi. 1. grup CdS film; cam, cam/ITO, cam/FTO ve p-tipi Si alttabanlar üzerine CBD yöntemi ile 85 °C'de 25 dakikada, 2. grup CdS filmleri ise 1. gruptaki ile aynı alttabanlara 85 °C'de 40 dakikada depolandı. 3. grup filmler ise cam alttaban üzerine 2. grup film çözeltisi kullanılarak 35 dakikada iki film elde edildi. Filmlerden biri azot ortamında 623 K'de tavlandı. Filmlerin, UV-Visible Spektrofotometresi, taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını kırınımı (XRD), enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS), Raman spektroskopisi, Hall etkisi ölçüm sistemi ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FT-IR) spektroskopisi, Doğrusal Taramalı Voltmetri (LSV) ve amperometrik ölçüm ile karakterizasyonları incelendi. 1. grup CdS filmlerin yüzey morfolojisinin küre gibi nano tanecikli yapıda, 2 ve 3. grup filmlerde yapının nanoduvar (NW) olduğu gözlemlendi. Filmlerin hepsi polikristal yapıda ve n tipidir. 1. grup filmlerin öz direnci cam/CdS 10^4 , cam/ITO/CdS 10^4 , cam/FTO/CdS 10^4 ve p-Si/CdS 10^{-6} ; 2. grup filmlerinki cam/CdS 10^5 , cam/ITO/CdS 10^3 , cam/FTO/CdS 10^4 ve p-Si/CdS 10^5 Ω -cm mertebesindedir. 3. grup filmlerin öz direnci tavlama ile 10^4 mertebesinden 10^5 mertebesine yükselmiştir. 1. grup filmlerin optik band aralığı (E_g) cam/CdS 2,33, cam/ITO/CdS 2,36 ve cam/FTO/CdS 2,39 eV; 2. grup filmlerinki cam/CdS 2,21, cam/ITO/CdS 2,12 ve cam/FTO/CdS 2,29 eV'tur. 3. grup filmlerin optik band aralığı tavlama ile 2,31'den 2,19 eV'a düşmüştür. 1. ve 2. grup filmlerin LSV analiz sonuçlarına göre 1. grupta en büyük akım değeri ITO alttabanda, 2. grupta FTO alttabanda çıkmıştır. Bu sonuçlar amperometrik ölçüm sonuçları ile uyumludur. 1. grup filmler yüksek iletkenlikleri, 2. ve 3. grup filmler NW özellikleriyle güneş hücreleri ve optoelektronik aletlerde kullanılabilir iyi bir malzeme adaydır.

Anahtar Kelimeler: CdS, Kimyasal Depolama Yöntemi (CBD), p Tipi Si, İletken Taban, Heteroeklem.

Danışman: Prof. Dr., Hülya METİN GÜBÜR, Mersin Üniversitesi, Fizik Anabilim Dalı, Mersin.

İkinci Danışman: Doç.Dr., Ali Kemal HAVARE, Toros Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin.

ABSTRACT

OBTAINING AND CHARACTERIZATION OF p TYPE Si AND CONDUCTIVE SUBSTRATED CdS HETEROJUNCTIONS BY CHEMICAL BATH DEPOSITION METHOD

In this thesis study, 3 groups of CdS semiconductor thin films were obtained by using the chemical bath deposition (CBD) method with solutions of different molarity. The 1st group CdS films were deposited on glass, glass/ITO, glass/FTO, and p-type Si substrates using the CBD method at 85 °C for 25 minutes, while the 2nd group CdS films were deposited on the same substrates as the 1st group at 85 °C for 40 minutes. On the other hand, the 3rd group films were obtained using the 2nd group film solution on the glass substrate in 35 minutes. One of the films was annealed at 623 K in a nitrogen environment. The films were characterized by UV-Visible Spectrophotometer, scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS), Raman spectroscopy, Hall effect measurement system and Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy, Linear Scanning Voltammetry (LSV) and amperometry measurement. It was observed that the surface morphology of the 1st group CdS films was in the nanoparticle structure like a sphere, while the 2nd and 3rd group films were in the nanowall structure. All of the films are polycrystalline and n-type. The rank of the resistivities of the 1st group films are 10^4 on glass/CdS, 10^{-4} on glass/ITO/CdS, 10^{-4} on glass/FTO/CdS, 10^{-4} and 10^{-6} on p-Si/CdS. The 2nd group films of the resistivities are in the order of glass/CdS 10^5 , glass/ITO/CdS 10^3 , glass/FTO/CdS 10^4 and p-Si/CdS $10^5 \Omega\text{-cm}$. The rank of the resistivity of 3rd group films increased from 10^4 to 10^5 by annealing. The optical band gaps (E_g) of 1st group films are 2.33 eV on glass/CdS, 2.36 eV on glass/ITO/CdS and 2.39 eV on glass/FTO/CdS eV. The optical band gaps of 2nd group films are 2.21 eV on glass/CdS, 2.12 eV on glass/ITO/CdS and 2.29 eV on glass/FTO/CdS. The optical band gap of the 3rd group films decreased from 2.31 eV to 2.19 eV by annealing. According to the LSV analysis results of the 1st and 2nd group films, the highest current value was found in the ITO substrate in the 1st group and in the FTO in the 2nd group. These results are consistent with the amperometry measurement ones. The 1st group films are good candidates for solar cells and optoelectronic devices with their high conductivity, while 2nd and 3rd group films show promise with their nanowall properties.

Keywords: CdS, Chemical Bath Deposition (CBD), p Type Si, Conductive Substrate, Heterojunction.

Advisor: Prof. Dr., Hülya METİN GÜBÜR, Department of Physics, Mersin University, Mersin.

Second Advisor: Assoc. Prof. Dr., Ali Kemal HAVARE, Department of Electrical and Electronics Engineering, Toros University, Mersin.

TEŞEKKÜR

Değerli danışmanım Prof. Dr. Hülya METİN GÜBÜR'e bir öğretmenle çalışmayı kabul ederek sabır ve şefkatle çalışmalarımı yönlendirdiği, engin tecrübeleri ve bilgisiyle hem iş hem de akademik hayatıma verdiği paha biçilemez katkıları için çok teşekkür ederim.

Değerli Hocam, ikinci danışmanım Doç. Dr. Ali Kemal HAVARE'ye yönlendirmeleri, özverili çalışmaları ve desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Tez İzleme Kurulu üyeleri Prof. Dr. Nurten AKMAN ve Dr. Öğr. Üyesi Birsen ZEYREK KESİK hocalarıma değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Taramalı elektron mikroskopu (SEM), Enerji Dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) ve X ışını kırınımı (XRD) ölçümleri için Mersin Üniversitesi İleri Teknoloji Eğitim Araştırma ve Uygulama Merkezi (MEİTAM)'ne teşekkürlerimi sunarım.

SEM, EDS, XRD, Raman analizi ve FT-IR ölçümü için Çukurova Üniversitesi Merkezi Laboratuvarı'na teşekkürlerimi sunarım.

X-ışını kırınım deseni (XRD), Raman, FT-IR ve foto elektrokimyasal ölçüm analizlerinde yardımcı olan Öğr. Görevlisi Dr. Sevda İLDAN ÖZMEN'e çok teşekkür ederim.

Sevgili kardeşim, annem ve babam Elif, Emine ve Nejmi YILDIRIM'a, büyük ailemin en büyükten en küçüğe tüm üyelerine, son yazım aşamasında yanıbaşımda olan Junior'uma, arkadaşlarıma ve öğrencilerime sevgilerinden ve desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Ve en büyük teşekkürü Yüce Atam Mustafa Kemal ATATÜRK'e sunarım. Bu çalışma; güzel ülkemizin güzel geleceğine, Cumhuriyet'e ve Cumhuriyet'in güzel çocuklarına armağanımdır.

Bu tez çalışması, Mersin Üniversitesi tarafından 2020-1-TP3-4032 numaralı proje ile desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|--|-------|
| İÇ KAPAK | i |
| ONAY | ii |
| ETİK BEYAN | iii |
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT | v |
| TEŞEKKÜR | vi |
| İÇİNDEKİLER | vii |
| TABLOLAR DİZİNİ | viii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | ix |
| SİMGELER VE KISALTMALAR | x |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI | 3 |
| 3. MATERYAL ve YÖNTEM | 13 |
| 3.1. Kimyasal Depolama Yöntemi | 13 |
| 3.1.1. CdS Yarıiletken İnce Filmlerinin Kimyasal Depolama Yöntemiyle Elde Edilmesi | 14 |
| 3.1.2. 1. Grup Filmlerinin Kimyasal Depolama Yöntemiyle Elde Edilmesi | 15 |
| 3.1.3. 2. ve 3. Grup Filmlerin Kimyasal Depolama Yöntemiyle Elde Edilmesi | 16 |
| 3.2. UV-visible Spektroskopisi | 17 |
| 3.2.1. Film Kalınlığının Hesaplanması | 17 |
| 3.2.2. Soğurma Katsayısının Hesaplanması | 17 |
| 3.2.3. Yasak Enerji Aralığının Hesaplanması | 17 |
| 3.2.4. Mor Ötesi-Görünür (UV-Visible) Spektrofotometre | 18 |
| 3.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope, SEM) ve Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi (Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy, EDS) | 19 |
| 3.4. X-ışını Kırınımı (X-Ray Diffraction, XRD) Spektroskopisi | 20 |
| 3.5. Hall Etkisi Analizi | 20 |
| 3.6. Raman Analizi | 22 |
| 3.7. Doğrusal Taramalı Voltmetri (Linear Sweep Voltammetry, LSV) | 23 |
| 3.8. Amperometri | 23 |
| 3.9. Elektrokimyasal Ölçme Sistemi | 24 |
| 3.10. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (Fourier Transformed Infrared, FT-IR) | 25 |
| 4. BULGULAR ve TARTIŞMA | 26 |
| 4.1. CdS Filmlerin Optiksel Özellikleri | 26 |
| 4.1.1. 1. Grup Filmlerin Optiksel Özellikleri | 26 |
| 4.1.2. 2. Grup NW Filmlerin Optiksel Özellikleri | 28 |
| 4.1.3. 3. Grup NW Filmlerde Tavlamanın Optiksel Özellikleri Üzerine Etkisi | 29 |
| 4.2. CdS Filmlerin Yapısal Özellikleri | 31 |
| 4.2.1. 1. Grup Filmlerin Yapısal Özellikleri | 32 |
| 4.2.1.1. 1. Grup Filmlerin XRD Analizi | 32 |
| 4.2.1.2. 1. Grup Filmlerin SEM ile İncelenmesi ve EDS Analizi | 35 |
| 4.2.1.3. 1. Grup Filmlerin Raman Analizi | 37 |
| 4.2.2. 2. Grup NW Filmlerin Yapısal Özellikleri | 39 |
| 4.2.2.1. 2. Grup NW Filmlerin XRD Analizi | 39 |
| 4.2.2.2. 2. Grup Filmlerin SEM ile İncelenmesi ve EDS Analizi | 40 |
| 4.2.2.3. 2. Grup NW Filmlerin Raman Analizi | 45 |
| 4.2.3. 3. Grup NW Filmlerin Yapısal Özellikleri | 46 |
| 4.2.3.1. 3. Grup NW Filmlerin XRD Analizi | 47 |
| 4.2.3.2. 3. Grup NW Filmlerin SEM ile İncelenmesi ve EDS Analizi | 48 |
| 4.2.3.3. 3. Grup NW Filmlerin Raman Analizi | 51 |
| 4.2.3.4. 3. Grup NW Filmlerin FT-IR Analizi | 52 |
| 4.3. CdS Filmlerin Elektriksel Özellikleri | 52 |
| 4.3.1. 1. Grup Filmlerin Elektriksel Özellikleri | 53 |

| | Sayfa |
|---|--------------|
| 4.3.2. 2. Grup NW Filmlerin Elektriksel Özellikleri | 54 |
| 4.3.3. 3. Grup NW Filmlerin Elektriksel Özellikleri | 55 |
| 4.3.4. 1., 2. ve 3. grup Cam/CdS Nano Filmlerin Elektriksel Özellikleri | 56 |
| 4.4. CdS Filmlerinin Foto Elektrokimyasal Özellikleri | 56 |
| 4.4.1. 1. Grup Filmlerin Foto Elektrokimyasal Analiz Sonuçları | 56 |
| 4.4.1.1. Doğrusal Taramalı Voltametri (LSV) Sonuçları | 56 |
| 4.4.1.2. Amperometrik Ölçüm Sonuçları | 57 |
| 4.4.2. 2. Grup NW Filmlerin Foto Elektrokimyasal Analiz Sonuçları | 59 |
| 4.4.2.1. Doğrusal Taramalı Voltametri (LSV) Sonuçları | 59 |
| 4.4.2.2. Amperometrik Ölçüm Sonuçları | 60 |
| 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER | 62 |
| KAYNAKLAR | 64 |
| ÖZGEÇMİŞ | 76 |



TABLolar DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|-------|
| Tablo 4.1. 1. grup filmlerin enerji aralığı ve kalınlık değerleri. | 26 |
| Tablo 4.2. 2. grup NW filmlerin enerji aralığı ve kalınlık değerleri. | 28 |
| Tablo 4.3. 1. grup filmlerin FWHM, D, δ , N ve ϵ değerleri. | 34 |
| Tablo 4.4. 2. grup filmlerin FWHM, D, δ , N ve ϵ değerleri. | 40 |
| Tablo 4.5. 3. grup filmlerin FWHM, D, δ , N ve ϵ değerleri. | 48 |
| Tablo 4.6. 1. grup filmlerin Hall ölçümü değerleri. | 53 |
| Tablo 4.7. 2. grup NW filmlerin Hall ölçümü değerleri. | 55 |
| Tablo 4.8. 3. grup filmlerin Hall ölçümü değerleri. | 55 |
| Tablo 4.9. 1, 2 ve 3. grup Cam/CdS nano yarıiletken ince filmlerinin Hall ölçümü değerleri. | 56 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|---|-------|
| Şekil 2.1. İnce film market payları. | 4 |
| Şekil 3.1. CdS yarıiletken ince filmlerinin kimyasal depolama yöntemiyle elde edilmesi. | 14 |
| Şekil 3.2. UV-Visible Shimadzu UV-1700 Spektrofotometresi | 18 |
| Şekil 3.3. UV-Visible Spektrofotometre kısımları. | 18 |
| Şekil 3.4. SEM ve EDS cihazı. | 19 |
| Şekil 3.5. SEM çalışma prensibi. | 19 |
| Şekil 3.6. XRD cihazı. | 20 |
| Şekil 3.7. XRD kırınımı. | 20 |
| Şekil 3.8. Hall etkisi deney düzeneği. | 21 |
| Şekil 3.9. Hall etkisi prensibi. | 21 |
| Şekil 3.10. Raman Analizi cihazı. | 22 |
| Şekil 3.11. Raman spektroskopisi çalışma prensibi. | 22 |
| Şekil 3.12. LSV ile elde edilen (a) potansiyel – zaman grafiği, (b) akım – potansiyel voltamogramı. | 23 |
| Şekil 3.13. Amperometri yöntemi ile de akım – zaman grafiği. | 24 |
| Şekil 3.14. Elektrokimyasal ölçme düzeneği. | 24 |
| Şekil 3.15. FT-IR cihazı (FT-IR Spektrometresi Marka: Jasco Model: FT/IR-6700) | 25 |
| Şekil 3.16. Çift-ışın demetli FT-IR çalışma prensibi | 25 |
| Şekil 4.1. 1. grup ince filmlerin (a)-(c) geçirgenlik - dalgaboyu ve (d)-(f) α^2 - enerji grafiği. | 27 |
| Şekil 4.2. 2. grup NW ince filmlerin (a)-(c) geçirgenlik - dalgaboyu ve (d)-(f) α^2 - enerji grafiği. | 29 |
| Şekil 4.3. 3. grup NW ince filmlerin (a) tavlınmamış (b) tavlınmış geçirgenlik- dalgaboyu ve (c) tavlınmamış (d) tavlınmış α^2 - enerji grafiği. | 31 |
| Şekil 4.4. 1. grup filmlerin sırasıyla ikişerli gruplar halinde Cam, ITO, FTO ve p-Si üzerine kaplanmış CdS yarıiletken ince filmlerin film kaplı yüzey yönünden görüntüsü. | 32 |
| Şekil 4.5. (a)-(d). 1. grup filmlerin XRD grafiği. | 33 |
| Şekil 4.6. (a)-(d). 1. grup filmlerin 50.00 KX büyütme SEM görüntüsü. | 36 |
| Şekil 4.7. (a)-(d). 1. grup filmlerin 200.00 KX büyütme SEM görüntüsü. | 36 |
| Şekil 4.8. 1. grup filmlerin EDS grafiği. | 37 |
| Şekil 4.9. (a)-(d). 1. grup filmlerin Raman Kayması. | 38 |
| Şekil 4.10. 2. grup NW filmlerin sırasıyla halinde Cam, ITO, FTO ve p-Si üzerine kaplanmış CdS yarıiletken ince filmlerin film kaplı yüzey yönünden görüntüsü. | 39 |
| Şekil 4.11. 2. grup NW filmlerin XRD grafiği. | 40 |
| Şekil 4.12. (a)-(c). 2. grup sırasıyla Cam, ITO ve FTO üzerine kaplanmış CdS NW filmlerin 500 büyütme SEM görüntüsü. | 42 |
| Şekil 4.12. (d). 2. grup p-Si üzerine kaplanmış CdS NW filminin 500 büyütme SEM görüntüsü. | 42 |
| Şekil 4.13. (a)-(d). 2. grup NW filmlerin 5.000 büyütme SEM görüntüsü. | 43 |
| Şekil 4.14. (a)-(d). 2. grup NW filmlerin 25.000 büyütme SEM görüntüsü. | 43 |
| Şekil 4.15. (a)-(d). 2. grup NW filmlerin 10.000 büyütmede enine kesit yüzeylerinin SEM görüntüsü. | 44 |
| Şekil 4.16. 2. grup filmlerin NW EDS grafiği. | 45 |
| Şekil 4.17. (a)-(d). 2. grup NW filmlerin Raman Kayması. | 46 |
| Şekil 4.18. 3. grup NW yarıiletken ince filmlerin a) Film kaplı yönünden b) Cam yüzey yönünden görüntüsü. | 46 |
| Şekil 4.19. 3. grup tavlınmamış ve 623 K'de azot ortamında tavlınmış NW filmlerin XRD grafiği. | 47 |
| Şekil 4.20. (a)-(c). Tavlınmamış ve (d)-(e) 623 K'de tavlınmış 3. grup Cam/CdS NW filmlerinin sırasıyla 1.000, 10.000 ve 25.000 büyütmede SEM görüntüsü. 200.000 ve 100.000 büyütmede görüntüler sırasıyla (c) ve (f)'de ek olarak verilmiştir. | 49 |
| Şekil 4.21. 25.000 büyütmede, 3. grup (a) tavlınmamış ve (b) 623 K'de tavlınmış NW filmlerin enine kesit yüzeylerinin SEM görüntüsü. | 50 |

| | Sayfa |
|---|--------------|
| Şekil 4.22. 3. grup tavlınmamış ve 623 K'de tavlınmış NW filmlerin EDS grafiği. | 50 |
| Şekil 4.23. 3. grup tavlınmamış ve 623 K'de tavlınmış NW filmin Raman Kayması. | 51 |
| Şekil 4.24. 3. grup (a) tavlınmamış ve (b) 623 K'de tavlınmış NW filmin FT-IR spektrumları. | 52 |
| Şekil 4.25. İletken, yarıiletken ve yalıtkanların elektriksel özellikleri. | 54 |
| Şekil 4.26. LSV tekniği ile 1. grup filmlerin (a)-(c) karanlık ve aydınlık koşullarda (d) aydınlık koşullarda karşılaştırmalı akım-potansiyel eğrisi. | 57 |
| Şekil 4.27. (a)-(c) 1. grup filmlerin ışık aydınlatmasına bağlı akım-zaman eğrisi. | 58 |
| Şekil 4.28. LSV tekniği ile 2. grup NW filmlerin (a)-(c) karanlık ve aydınlık koşullarda (d) aydınlık koşullarda karşılaştırmalı akım-potansiyel eğrisi. | 59 |
| Şekil 4.29. (a)-(c) 2. grup NW filmlerin ışık aydınlatmasına bağlı akım-zaman eğrisi. | 61 |



SİMGELER VE KISALTMALAR

| Kısaltma/Simge | Tanım |
|-----------------------------------|---|
| CBD | Kimyasal Depolama |
| Si | Silisyum |
| FTO | Flor Katkılı Kalay Oksit |
| ITO | İndiyum Katkılı Kalay Oksit |
| CdS | Kadmiyum Sülfür |
| p-Si | p-tipi Silisyum |
| UV | Ultra Viyole |
| SEM | Taramalı Elektron Mikroskobu |
| EDS | Enerji Dağılımlı X-ışını spektroskopisi |
| XRD | X-Işını Kırınımı |
| FT-IR | Fourier Dönüşümlü Kızılötesi |
| FV | Fotovoltaik |
| c-Si | Kristal Silisyum |
| CIGS | Bakır-İndiyum-Galyum-Selenyum |
| CdTe | Kadmiyum Tellür |
| CdSe | Kadmiyum Selenür |
| CuInSe | Bakır İndiyum Selenür |
| a-Si | Amorf Silisyum |
| Cd | Kadmiyum |
| S | Kükürt |
| SnO | Kalay Oksit |
| E _g | Yasak Enerji Aralığı |
| EDTA | Etilendiamin Tetraasetik Asit |
| Vfb | Elektron Afinite |
| PL | Fotoluminesans |
| AAO | Anodik Alüminyum Oksit |
| TEM | Geçirmeli Elektron Mikroskobu |
| XPS | X-ışını Fotoelektron Spektroskopisi |
| ECD | Elektrokimyasal Depolama |
| PEC | Foto-elektrokimyasal |
| λ | Dalgaboyu |
| NW | Nanoduvar |
| SILAR | Sıralı İyonik Tabaka Adsorpsiyonu ve Reaksiyonu |
| CdSO ₄ | Kadmiyum Sülfat |
| CdCl | Kadmiyum Klorür |
| SC(NH ₂) ₂ | Tiyoüre |
| NH ₂ -NH ₂ | Hidrazin |
| NH ₃ | Amonyak |
| FWHM/ β | Yarı Maksimum Genişlik |
| μ | Mobilite |
| σ | İletkenlik |
| δ | Dislokasyon Yoğunluğu |
| ϵ | Gerilim/Örgü Gerilimi |
| α | Soğurma Katsayısı |
| LSV | Doğrusal Taramalı Voltametri |

1. GİRİŞ

Yıldızımız Güneş; sessiz, temiz ve çevre dostu mükemmel bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneş hücreleri ilk defa uzay çalışmalarında kullanılmaya başlandıktan sonra yarıiletken teknolojisindeki gelişmelerle yeryüzünde daha geniş kullanım alanı bulmuştur. Güneş hücreleri araştırmalarında amaç, verimli hücreleri üretmek olmakla beraber elementlerin Dünya'daki rezervleri ve maliyetleri göz önüne alındığında; farklı elementlerle çalışmanın gerekliliği de görülmektedir. Güneş pili üretiminde hammaddenin ve insan kaynağının en aza indirgenmesi, basit teknolojiyle üretim ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmaları, yarıiletken ince film kaplama yöntemini cazip kılmaktadır. Bu yöntemle yarıiletken malzemeler cam, metal ve farklı yapılarıdaki esnek alttabanlar üzerine geniş yüzeylere düşük maliyetlerle kaplanabilmektedir. Sadece 1µm kalınlığındaki yarıiletken malzeme güneş ışınlarının neredeyse tamamını soğurabilir. Dolayısıyla yarıiletken ince film fotovoltaik malzemenin kalınlığı, doğal yarıiletken (silisyum, germanyum) fotovoltaik malzemeye göre çok daha azdır. Buna ek olarak doğal yarıiletken hücreler büyütülen kristalin boyutları ile sınırlıdır. Oysa yarıiletken ince filmler istenen biçimde birçok farklı malzeme üzerine ve geniş yüzeylere kaplanabilir. Saymakla bitmeyecek üstün özellikleriyle yarıiletken ince film kaplama yöntemi fotovoltaik pil yapımında kullanılan çok uygun ve az maliyetli bir yöntemdir. Ancak uzunca bir süredir araştırma geliştirme çalışmalarının konusu olan ince film güneş hücreleri, öngörülen üretim hedeflerinin gerisinde kalmıştır.

Dünya'daki tüm dengelerin enerji kaynaklarına bağlı olduğu düşünüldüğünde medeni bir yaşam için ülkelerin daha ucuz enerji elde etme yönündeki anlamlı yarışında ülkemizin çabası çok değerlidir. Her alanda olduğu gibi gelişen teknoloji güneş hücreleri çalışmalarını da olumlu yönde etkilemektedir. Bu bağlamda farklı alttabanlar üzerine CdS (Kadmiyum Sülfür) fotovoltaik hücrelerden oluşturulan ince film güneş hücrelerinin ayrıntılı bir karakterizasyonunun yapılarak hücrelerin veriminin artırılması önemlidir. Güneş hücrelerinde pencere materyali ya da tampon tabaka olarak kullanılan CdS yarıiletken ince filmleri literatürde pek çok farklı yöntemle elde edilmektedir. Bu yöntemler arasında basit ve ekonomik bir yöntem olması; geniş yüzeylere rahatlıkla uygulanabilmesi sebebiyle kimyasal depolama (CBD) yöntemi öne çıkmaktadır. Ancak CBD yöntemine hak ettiği değer verilmemektedir. Bu nedenle Si (Silisyum), FTO (flor katkılı kalay oksit) ve ITO (indiyum katkılı kalay oksit) alttabanlar üzerine CBD yöntemi ile depolanan CdS ince filmleriyle ilgili ve bu heteroeklem malzemeye metal kontak yapılarak elde edilen güneş hücreleriyle ilgili çalışmalar yok denecek kadar az sayıdadır.

Fotovoltaik güneş hücreleri üzerine çalışan araştırmacıların amacı hammaddesi bulunabilen, yapımı kolay, ucuz ve verimli piller üretmektir. Güneş hücreleri halen pahalı ve verimleri de oldukça düşüktür. Bu çalışmanın amacı, uygulaması basit ve ekonomik bir yöntem olan CBD yöntemi ile güneş hücrelerinde kullanılan p tipi Si ve iletken tabanlar (FTO ve ITO) üzerine CdS heteroeklemi oluşturulmasıdır. Elde edilecek direk bandaralıklı CdS yarıiletken malzemelerin yasak enerji band aralıklarının değeri güneş enerjisini en fazla soğuran bölgededir. p-Si (p-tipi Silisyum), FTO ve ITO ile oluşturulan heteroeklemin güneş hücrelerinin verimini oldukça arttıracığı düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında, laboratuvarında CBD yöntemi kullanılarak elde edilen heteroeklem malzemenin karakteristik özellikleri Ultra Viyole (UV)-Visible spektrometresi, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), X-Işını Kırınımı (XRD), Enerji Dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS), Hall etkisi ölçüm cihazlarıyla alınan sonuçlar kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca 1. ve 2. grup filmlerin foto elektrokimyasal (LSV ve amperometrik) ve 3. grup filmlerin Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) analizleri yapılmıştır.

Bu çalışmada elde edilen CdS yarıiletkeninin güneş pilinde kullanımına ek olarak transistör, ışık yayan diyot, lazer, fotokatalizör, biyosensör, biyoetiket vb. pek çok alana da katkı sağlayacağı, ayrıca nanodüvar (NW) CdS yapıların CBD yöntemiyle elde edilmesinin yanı sıra farklı alttabanlar üzerine depolanması ve NW filmlere tavlama etkisinin incelenmesiyle de literatüre önemli bir katkı sunulacağı düşünülmektedir.

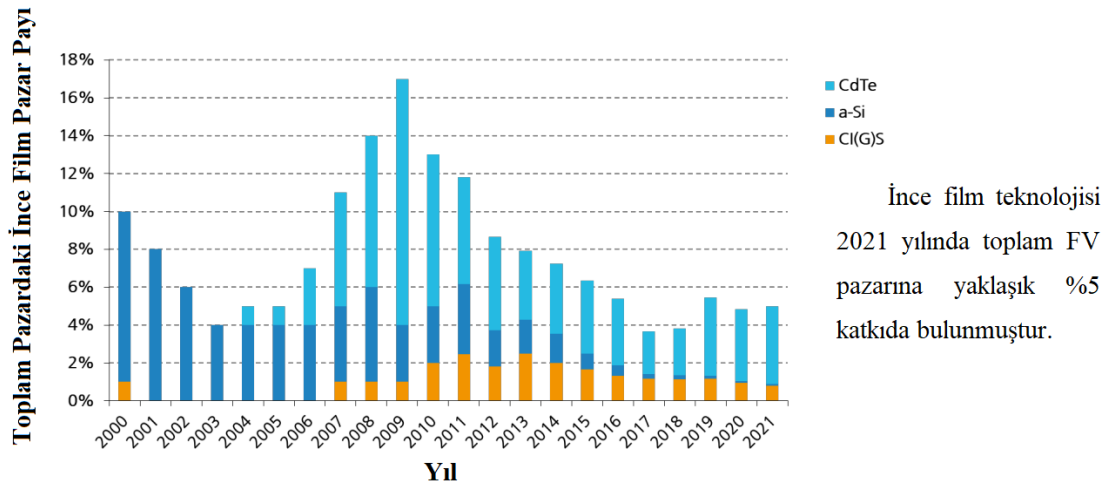


2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

Enerji, bir ülkenin ekonomik ve sosyal ilerlemesinde oldukça etkili olan bir unsurdur. 2008 yılında fosil yakıt fiyatlarındaki aşırı artış, bu yakıtların kullanımı sonucu ortaya çıkan zehirli gazların atmosfere ve insan sağlığına zararlı etkileri ve fosil yakıtların sürdürülebilir olmamasından dolayı yaşanması muhtemel olan enerji krizi senaryoları dünya çapında gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeleri yenilenebilir enerji konusuna odaklamıştır. Dünya nüfusunun gelecekte enerji gereksinimini karşılayabilmek için geleneksel olmayan enerji kaynaklarını keşfetmek için girişimde bulunulduğunda, güneş hücreleri yoluyla enerji elde etme diğer yenilenebilir enerji kaynakları arasında ön plana çıkmaktadır. Dünya'nın Güneş'ten belirli bir günde aldığı enerji, toplam dünya nüfusunun bir yıl boyunca tükettiği toplam enerjiden daha fazladır. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi, yüksek kapasitesi ile diğer enerji kaynakları arasında en ekonomik ve en etkili yenilenebilir enerji kaynağıdır. Fotovoltaik (FV) sistemler güneş ışığı enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken sistemlerdir. FV sistemlerin çalışma prensibi, güneş hücresi içindeki üç temel olaya dayanır. Bunlardan ilki, p-tipi yarıiletken özellikli soğurucu katman tarafından güneş ışınlarının soğurulup elektron-deşik çiftlerinin oluşturulmasıdır. İkincisi, oluşan bu elektron-deşik çiftlerinin, p-n eklem içerisinde birbirinden ayrılmasıdır. Üçüncüsü, güneş hücresinin ön ve arka yüzlerinde oluşan akımın, iletken kontaklar sayesinde dış devre boyunca akışıdır. FV teknolojisinde güneş hücresi sistemleri, hücre içerisinde kullanılan yarıiletkenlere göre; kristal silisyum (c-Si) ya da yarıiletken bileşiklerden oluşan ince film güneş hücreleri olmak üzere 2 ayrı grup oluştururlar. Günümüzde silikon tabanlı güneş hücreleri toplam fotovoltaik endüstrisinin yaklaşık %85'ini oluşturmaktadır (Kumar ve ark., 2015). Bunun nedeni yeryüzünde yüksek miktarda silisyumun bulunması ve yarıiletken endüstrisinde kaliteli Si ince filmlerin büyütülmesi için kullanılan tekniklerin seri üretimde kullanılacak kadar gelişmiş olması olabilir. c-Si tabanlı güneş hücrelerinin günümüze ulaşmış en yüksek enerji çevirim verimliliği %26.3 olsa da (Yoshikawa, 2017) dolaylı yasak band genişliği bu güneş hücrelerinin düşük emilimine neden olur. Bu nedenle, c-Si güneş hücreleri, yüksek verimlilik için 150 nm'den daha fazla kalınlığa ve üretim maliyetlerini arttıran mükemmel bir kristal yapıya sahip olmalıdırlar. FV teknolojisinde pazarlamanın başlıca zorluğu yüksek üretim maliyetleridir. Güneş hücrelerinin maliyetinin %40'ını kullanılan malzeme oluşturmaktadır ve bu nedenle malzeme miktarındaki herhangi bir azalma güneş hücresi maliyetinde ciddi düşüşe yol açmaktadır. FV teknolojisindeki pazarlamada diğer kaygılar ise hücre verimliliğini artırmak için elverişli tekniklerin bulunmaması, verimsiz ışık toplanması ve güneş hücresinin aktif katmanındaki yük taşıyıcı kayıplarının hücre veriminde düşüşe yol açmasıdır. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda, c-Si tabanlı güneş hücrelerinin oldukça yüksek maliyet gerektirmesi, endüstride daha düşük maliyetli yarıiletken güneş hücresi malzemesi arayışını başlatmış olup, 2000'li yılların başında ince film güneş hücresi çalışmalarına yoğunluk verilmiştir. Yüksek foton soğurma katsayılarına bağlı olarak sadece 1-2 µm kalınlığında yarıiletken malzeme içerisinde gerekli fotonun soğurulması yani az miktarda malzeme kullanımı sonucu çok daha düşük maliyet, yüksek enerji

çevirim verimi, geniş çapta üretime uygunluk gibi avantajlarından dolayı ince film güneş hücrelerinin FV endüstrisindeki önemi ise yıl geçtikçe artmaktadır. İnce film güneş hücreleri, kullanılacak yarıiletken malzemenin istenen yöntemle, çeşitli geniş yüzey alttaban üzerine kaplanabilmesi, üretim kolaylığı ve kullanım alanı genişliği bakımından büyütülen kristalin boyutları ile sınırlı kalan güneş hücrelerine kıyasla birçok avantaj sağlamaktadır. Günümüzde güneş enerjisi, güneş hücreleri (FV pil) ile doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülebilir. En yaygın kullanılan güneş hücreleri Si, bakır-İndiyum-galyum-selenyum (CIGS), ve kadmiyum tellür (CdTe) tabanlı olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Güneş hücrelerinden üretilen enerjinin dünyadaki dağılımına bakıldığında silikon tabanlı güneş hücrelerinin fotovoltaik piyasasına hakim olduğu açıkça görülmektedir. Silikon en gelişmiş fotovoltaik malzeme olarak gösterilmesine rağmen, ince film güneş pili teknolojisinin düşük maliyetle yüksek güneş enerjisi verimini vaat etmesi, son yıllarda bu alana yönelik araştırmaların ve ticari faaliyetlerin önemli oranda artmasına neden olmuştur. İnce film teknolojileri pazar payı grafiği, Şek.2.1.'de gösterilmektedir.

İnce Film Teknolojilerinin Pazar Payı Toplam Küresel FV Üretimine Yüzdesi



Data: from 2000 to 2009: Navigant; from 2010 to 2021 IHS Markit; from 2022 IEA. Graph: PSE 2022. Date of data: July 2022

Şekil 2.1. İnce film market payları (Fraunhofer ISE, 2023).

Laboratuvarımızda güneş hücrelerinde kullanılan CdS (Metin ve ark., 2010a; Metin ve ark., 2010b; Metin ve ark., 2008; Metin ve Esen, 2003a; Metin ve ark., 2010c; Metin ve Esen, 2003b) ince filmleri üzerine çalışılmıştır.

CdS yarıiletkeni; güneş pili (Dolai ve ark., 2019; Majumder ve ark., 2019), transistör (Saha ve Alam, 2019), ışık yayan diyot (Zhang ve ark., 2019), lazerler (Zhuang ve ark., 2019), fotokatalizör (Kavil, Alshahrie ve Periyat, 2018), biyosensör (Rathinamala, Jeyakumaran ve Prithivikumaran, 2019), biyoetiket (Tabrizi ve ark., 2019) gibi pek çok alanda kullanılmaktadır.

Güneş hücrelerinin günümüze kadar olan teknolojik gelişimini göz önüne alarak sınıflandıracak olursak, birinci nesil (kristal silisyum, galyum arsenik güneş hücreleri), ikinci nesil [ince filmler: Bakır

İndiyum Selenür (CuInSe), CdTe, amorf Silisyum(a-Si) güneş hücreleri], üçüncü nesil (boya duyarlı güneş hücreleri, organik güneş hücreleri) olmak üzere üç başlık altında inceleyebiliriz (Akman, 2013).

CdS, ikinci nesil pillerde pencere ve tampon malzeme olarak, üçüncü nesil organik tabanlı pillerde (Yağci, 2011) inorganik tabaka olarak kullanılmaktadır.

CdS yarıiletken ince filmleri CBD (Metin ve ark., 2010a; Metin ve ark., 2010b; Metin ve ark., 2008; Metin ve Esen, 2003a; Metin ve ark., 2010c; Metin ve Esen, 2003b), elektrodepolama (Shen ve ark., 2019), termal buharlaştırma (Dey ve ark., 2019), RF Magnetron püskürtme (Akçay, Zaretskaya ve Özcelik, 2019), kimyasal sprej pirolizi (Saleh, 2019) gibi çeşitli yöntemlerle elde edilmektedir.

Metal kalkojenit filmler için CBD yöntemini etkileyen faktörler (Hone ve Abza, 2019); çözeltinin pH'ı, kompleks ajanlar, banyo sıcaklığı, depolama süresi, katyon ve anyon kaynaklarının konsantrasyonları, öncü kaynak çeşitleri, mevcut çözeltinin bekletilmesi/eskitilmesi, alttabanların doğası ve seçimidir.

Pawar ve arkadaşlarının (2011) çalışması, çeşitli metal kalkojenit ve metal oksit ince filmlerin CBD yöntemi kullanılarak depolanmasıyla ilgilidir. Ayrıntılı hazırlık koşulları ve özellikleri tablo halinde sunmuşlardır. Referanslarıyla beraber 48 CdS filmine ait bilgiler yer almaktadır. Si, FTO ve ITO alttabanlar üzerine yapılan çalışmalar da bulunmaktadır.

Metin ve arkadaşları (2010a)'nın çalışmasında, CdS yarıiletken ince filmleri 60° C sıcaklıkta cam alttabanlar üzerine depolanmış, azot ortamında farklı sıcaklıklarda tavlansmıştır. Tavlansmamış filmlerin polikristal yapıda, tavlansmış filmlerin ise baskın olarak hekzagonal yapıda olduğu bulunmuştur. Tavlama sıcaklığının artması ile tanecik büyüklüğünün arttığı, geçirgenliğin azaldığı, yasak enerji aralığının 2,44 eV'tan 2,28 eV'a düştüğü görülmüştür. 423 K'de tavlansan filmlerin yüksek iletkenlik gösterdiği, elektriksel iletkenliklerinin sıcaklık artışına bağlı olarak arttığı, depolama süresindeki artış ile film kalınlığının arttığı ve termoluminesans ölçümlerinden hesaplanan tuzak derinliğinin 383 K'de 0,257 eV, 473 K'de 0,372 eV ve 608 K'de 0,752 eV olduğu tespit edilmiştir.

Metin ve arkadaşlarının (2010b) bir çalışmasında CdS filmleri 70 °C sıcaklıkta 9,4 pH'lık çözeltiyle CBD yöntemiyle depolanmış, azot ortamında farklı sıcaklıklarda tavlansmıştır. Tavlama sıcaklığının artması ile tanecik büyüklüğünün arttığı, geçirgenliğin azaldığı, yasak enerji aralığının 2,42 eV'tan 2,28 eV'a düştüğü görülmüştür. Depolama süresinin artması ile film kalınlığının arttığı tespit edilmiştir. 623 K'e kadar tavlansan filmlerde yasak enerji aralığının azaldığı ve buna paralel Urbach enerjisinin azaldığı 623 K'den sonra yasak enerji aralığının artma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca filmlerin 623 K'de kübik yapıdan hekzagonal yapıya geçtiği ve aktivasyon enerjisinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Metin ve arkadaşlarının (2008) bir çalışmasında, CdS yarıiletken ince filmleri üretilirken kadmiyum sülfat kadmiyum (Cd) iyon kaynağı olarak, tiyoüre ise kükürt (S) iyon kaynağı olarak kullanılmış, filmler CBD yöntemi ile cam alttabanlar üzerine depolanmıştır. Filmler farklı sıcaklıklarda hava ortamında tavlansmıştır. Tavlama sıcaklığının artması ile yasak enerji aralığı, aktivasyon enerjisi ve elektriksel direnç azalmıştır. Ancak elektriksel direnç 573 K ile 773 K sıcaklıkları arasında artmıştır.

Metin ve Esen (2003a) tarafından yapılan çalışmada, CdS yarıiletken ince filmleri 60 °C sıcaklıkta CBD yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen CdS yarıiletken ince filmleri hava ortamında tavlama sıcaklığının artması ile yasak enerji aralığının azaldığı, tanecik büyüklüğünün arttığı, kırılma indisinin azaldığı görülmüştür. CdS yarıiletken ince filmleri için en iyi tavlama sıcaklığının 300 °C olduğu belirtilmiştir.

Metin ve arkadaşları (2010c) tarafından yapılan bir çalışmada, CdS yarıiletken ince filmleri CBD yöntemi kullanılarak Cam/kalay oksit (SnO₂) üzerine depolanmıştır. Üretilen CdS yarıiletken ince filmleri azot ortamında tavlama sıcaklığının artması ile yasak enerji aralığı azaldığı gözlemlenmiştir. 623 K’de tavlama sıcaklığının artması ile yasak enerji aralığının 2,36 eV’den 2,45 eV’ye düştüğü tespit edilmiştir. Filmlerin aktivasyon enerjisi tavlama sıcaklığı 395 K ile 515 K arasında iken 0,114 eV, 515 K ile 585 K arasında iken, 0,033 eV’dir. Tavlama sıcaklığının artması ile aktivasyon enerjisi azalmıştır.

Metin ve Esen (2003b) tarafından yapılan bir çalışmada, CdS yarıiletken ince filmleri 60 °C sıcaklık altında CBD yöntemi ile üretilmiştir. En iyi tavlama sıcaklığının 350 °C olduğu belirlenmiştir. Tavlama sıcaklığının artması ile filmlerin tanecik büyüklüğünün arttığı gözlemlenmiştir. Kalınlığın artmasının ise yasak enerji aralığının ve geçirgenliğin azalmasına neden olduğu görülmüştür.

Sanap ve Pawar’ın (2010) çalışmasında CdS filmi, kükürt öncüsü olarak tiyoüre kullanılarak kontrol edilen CBD yöntemi ile imal edilmiştir. Kadmiyum klorür, kadmiyum sülfat (CdSO₄), kadmiyum nitrat (Cd(NO₃)₂) ve kadmiyum iyodürün (CdI₂) kadmiyum öncüleri olarak, Cd iyonlarını yavaşça ortama serbest bıraktığı görülmüştür. Tiyoüre, bir alkaline hidroliz işlemi vasıtasıyla iyonlarını ortama serbest bırakılmasını sağlamıştır. Her bir Cd kaynağı için elde edilen band aralığı enerjisi (E_g) farklıdır. CdCl₂ tabanlı film en düşük band aralığına (2,4 eV) ve CdSO₄ bazlı film en yüksek band aralığına (2,68 eV) sahip olduğu bulunmuştur. CdCl₂ bazlı filmlerin diğer filmlerden daha iyi bir geçirgenliğe ve daha düzgün, pürüzsüz bir yüzeye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Filmlerin optik band aralığı CdCl₂, Cd(NO₃)₂, CdI₂ ve CdSO₄ sıralamasıyla artarken, kalınlık CdI₂, CdCl₂, Cd(NO₃)₂, CdSO₄ sıralamasıyla artmıştır. Tüm Cd kaynakları için filmlerin yapısal olarak kübik olduğu bulundu. Tüm filmlerin, ~ 500 nm’den itibaren yüksek geçirgenlik %75, düşük soğurma ve düşük yansıma sergilediği bulunmuştur. Bu özellikleri ile filmlerin, güneş hücrelerinde pencere katmanları gibi optoelektronik cihazlar için uygun olduğu görülmüştür.

Lee ve arkadaşları (2015) tarafından yapılan çalışmada, CIGS güneş hücrelerinin verimi, CdS tampon tabakasının kalınlığı 60 nm’de sabitlendiğinde reaksiyon sıcaklığı ve hızından bağımsız olarak benzer olduğu gösterilmiş ve verimin esas olarak CdS’nin kalınlığına bağlı olduğu doğrulanmıştır. Düşük sıcaklıkta üretilen CdS filmlerinin, yüksek sıcaklıkta üretilenlere göre tavlama sıcaklığından daha çok etkilendiği bulunmuştur.

Kale, Jadhav ve Lokhande (1996), 9–10 pH’a sahip çözelti ile 0–85°C’de 30 dakikalık daldırmalarla 65 saat süreyle CBD yöntemiyle depolanan filmlerin depolama sıcaklığındaki artışla tane

boyutu 30'dan 70 Å'a çıktığını, elektrik öz direncinin, 800'den 2000 Å'a kalınlık artışıyla 9×10^8 'den 2×10^8 'e düştüğünü belirtmişlerdir.

Etilendiamin tetra asetik asit (EDTA) kullanılarak CBD CdS'nin imal edilmesinde yeni bir yöntem kullanılmıştır. EDTA ile edilmiş CdS filmleri, geleneksel CBD-CdS'ye kıyasla gelişmiş etkili yüzey alanıyla sıkı yapıdadır ve geliştirilmiş VOC, ISC düz band değerleri göstermektedir. Daha yüksek E_g , VOC, ISC ve ayarlanabilir Vfb (elektron afinite) değerleri, bu yüksek kaliteli düzgün ince filmlerin fotoaktivitesinin EDTA ile ayarlanabileceğini ortaya koymuştur. Artan çoğunlukta taşıyıcı konsantrasyonu ve yüksek yüzey pürüzlülüğü sayesinde, 80°C banyo sıcaklığında 2×10^{-4} mol dm^{-3} EDTA konsantrasyonu ile üretilmiş CdS ince filmler üstün ISC performansı göstermiştir (Kumarage ve ark., 2017).

Kumar ve arkadaşlarının (2009) çalışmasında, kimyasal olarak parlatılmış (parlak) p-Si alttabanlar üzerindeki filmler parlatılmamış (mat yüzey) p-Si alttabanlar üzerindeki gibi hemen hemen altıgen kristal şekli, daha iyi kristallenme, sıkı paketlenmiş yüzey morfolojisi, 52:48 S: Cd oranı ve oda sıcaklığında yoğun fotoluminesans (PL) emisyonu göstermiştir.

Yönlü CdS nanotelleri CBD ve gözenekli anodik alüminyum oksit (AAO) plaka kullanılarak imal edilmiştir. AAO plakasındaki gözeneklerin çapı azaltılarak CdS nanotellerinin çapının daha da minimuma indirilmesi beklenmiştir. Ayrıca, CBD yönteminin diğer yarıiletken nanotellerin büyümesi için uygun olduğuna inanılmıştır (Zhang, 2002).

Cao ve arkadaşlarının (2010) çalışmasında, CdS ince filmleri, Cam/FTO alttabanlar üzerine asidik kimyasal banyo depolama (CBD) işlemi kullanılarak farklı kadmiyum tuzlarından depolanmıştır. Filmlerin kristal özelliği 380°C'de CdCl ortamında tavlanaarak artırılmıştır. CdCl tuzu kullanılarak hazırlanan filmler diğerleriyle karşılaştırıldığında daha sıkı yapıda, nispeten daha büyük band aralıklarına ve daha iyi niteliklere sahip olduğu görülmüştür. Oda sıcaklığında kuvvetli PL spektrumları, CdS ince filmlerin kalitesini doğrulamıştır.

Enríquez ve Mathew'in (2003) çalışmasında, kadmiyum asetat, amonyum asetat, tiyoüre ve amonyum hidroksit içeren bir çözelti kullanılarak CBD yöntemiyle kaliteli, yapışık, düzgün, deliksiz ve altıgen yapıda farklı kalınlıklarda CdS ince filmleri elde edilmiştir. Tuzak merkezlerinin çok ince filmler için daha az olduğu görülmüştür. Işığa duyarlılık daha kalın filmlerde daha az bulunmuştur.

Bu çalışma, esnek yüzeylerde ve çeşitli depolama sıcaklıklarında CBD yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Görünür aralıkta yüksek geçirgenliğe sahip yüksek kristalli film üretimi için en düşük ve en uygun banyo sıcaklığı 65 °C olarak görülmüştür. Filmlerin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (SEM) homojen, sıkı ve pürüzsüz bir yüzey göstermiştir. UV-görünür ışık ölçümleri en yüksek geçirgenliğin ~%90 olduğunu ve yasak enerji aralığının 2,42 eV civarında bir band aralığına sahip olduğu bulunmuştur. Bu nedenle, bu çalışmada geliştirilen süreç, gömülü sistemlerdeki esnek alttabanlar üzerine ince CdS katmanları biriktirmeye bir aday olarak düşünülmektedir (Ouafi, Jaber ve Laânab, 2019).

Yao ve Chen (2015) tarafından yapılan çalışmada, CdS yarıiletken ince filmlerinin cam alttabanlara kaplanmasında alkolün rolü araştırılmış, alkol olarak etanol kullanılmıştır. Alkol banyosunda depolanan filmlerde CdS tanecikleri birbirine daha çok yapışmıştır. Filmler yüksek oranda kristalite özelliği göstermiştir. %10 ve %20'lik alkol banyosunda üretilen filmlerden %10'luk olanın geçirgenliğinin daha yüksek olduğu bulunmuştur.

CdS nanotellerinin cam yüzeylerde herhangi bir kaplama maddesi kullanılmadan sentezlenmesi için ıslak kimyasal sentez işlemi başarıyla geliştirilmiştir. X ışını kırınımı çalışmaları, sentezlenen CdS nanotellerinin kübik yapıya sahip olduğunu ortaya koymuştur. Geçirmeli Elektron Mikroskobu (TEM) ölçümü nanotellerin ve 25-30 nm çap ve 0.1–1.5 µm uzunluğa sahip olduğunu göstermiştir. CdS nanokristalin enerji band aralığı değeri (2,42 eV) 3,25 eV'a yükselmiştir. Tavlama sıcaklığı oda sıcaklığından (30 °C) 200 °C'ye yükseltilecek band aralığı değeri 3,25 eV'tan 2,96 eV'a düşürülmüştür. Yüzey durumlarından dolayı 567 nm etrafında merkezlenmiş geniş bir PL pik gözlenmiştir (Maity ve Chattopadhyay, 2006).

Kadmiyum sülfür filmleri kimyasal banyo depolama yöntemi ile cam alttabanlar üzerine biriktirilmiştir. Elde edilen filmler azot gazında 1 saat boyunca 200-400°C sıcaklık aralığında tavlama yapılmıştır. Filmlerin kristal yapısını X-ışını kırınım (XRD) desenlerinden belirlemişlerdir. XRD verileri, tavlama etkisiyle CdS (FCC) yapısından αCdS (Hawleyite) formuna geçiş olduğunu göstermiştir. Elde edilen CdS filmlerinin optiksel band aralığı değerleri optiksel absorbans spektrumlarından yararlanılarak 2,33 ve 2,39 eV olarak belirlenmiştir. Band sarkmaları değerlerinin 120-350 meV arasında olduğu hesaplanmıştır. Filmlerin görünür bölgede %45-92 arasında geçirgenlik değerlerine sahip olduğu görülmüştür (Aybek ve Rüzgar, 2017).

Salih (2019), kimyasal spreli pirolizi yöntemiyle yaptığı çalışmada, alttaban sıcaklığı arttıkça yasak enerji band aralığının arttığını bulmuştur.

Katkısız sitokiyometrik SnO filmler düşük taşıyıcı yoğunluğu ve mobilitelerinden dolayı yüksek elektriksel özdirence sahip olduğundan sorunun çözümünü stokiyometrik olmayan katkılı ince filmler hazırlamakta bulmuşlardır. Kalay katkılı indiyum oksit, flor katkılı kalay oksit, antimon katkılı kalay oksit, alüminyum katkılı çinko-oksit ve galyum katkılı çinko-oksit gibi geçirgen iletim oksitleri özellikle görünür bölgede yüksek optiksel geçirgenlik, iyi elektriksel iletim ve yüksek kızılötesi yansımaya özelliklerinden dolayı oldukça ilgi çekmişlerdir. Bunlar arasında flor katkılı SnO (FTO) oldukça geniş band aralığı ($\geq 3\text{eV}$), görünür bölgede yüksek iletimi, kızılötesinde yüksek yansımaya oranı, mükemmel elektriksel iletimi, daha büyük taşıyıcı mobilitesi ve iyi mekanik sağlamlığı ile geçirgen olarak güneş hücrelerinde, koruyucu elektrotlarda, spektral duyarlı camlar için düz panel kolektörlerde, sodyum lambalarında, gaz sensörlerinde ve varistorlarda kullanılabileceğini söylemişlerdir (Tatar, 2015).

Zhang ve arkadaşlarının (2018) çalışmasında, tanecik büyüklüğü depolama süresinin artışıyla artmış, pH 11,8 ve 11,9'da 25 dakika kaplanmış filmlerde 550-1100 nm aralığında geniş dalgaboyunda ve Güneş hücreleri için oldukça yüksek bir değer olan %81 geçirgenlik elde edilmiştir. pH (11,7- 11,9)

değerinin artmasıyla geçirgenliğin arttığı yasak enerji band aralığının 2,42' den 2,31 eV değerine düştüğü ve filmlerin kübik yapıda olduğu belirtilmiştir.

Lazos ve arkadaşlarının (2018) çalışmasında, CdS ince filmler 37 Hz'de salınan bir elektrikli diş fırçasına bağlanmış bir teflon kanadın kimyasal banyoda salınmasıyla depolanmıştır. 65 °C'den 85°C'ye kadar 5°C aralıkla farklı depolama zamanlarında elde edilen filmler hekzagonal yapıdadır ve filmlerin yasak enerji aralığını ortalama 2,38 eV olarak elde etmişlerdir.

CdS ince filmleri, başlangıç büyüme aşamasında reaktanların ve bileşik stokiometrinin kimyasal etkileşimini tahmin etmek için CBD tekniği kullanılarak cam alttabanlar üzerine depolanmışlar. İnce filmler, sabit sıcaklık banyosu kullanılarak farklı depolama sürelerinde hazırlanmışlardır. CdS çekirdeği oluşumu, çözeltideki ilk dakikadan itibaren başlar, ancak alttabanda 3 dakika sonra algılandığını gözlemişlerdir. 3 ila 6 dakikalık çökeltme arasındaki kalınlık ve stokiometrik orandaki değişiklik, doğrudan çözeltideki CdS konsantrasyonu ile ilişkilidir. Bu değişiklik çekirdeklenmenin sonu ve CdS büyümesinin başlangıcı ile ilişkilendirilebilir olduğunu ve 10 dakika sonra CdS stokiometrik oranına yakın bir filme ulaşıldığı belirtilmiştir. Filmlerin 0,5 ila 13,9 nm arasında değişen kalınlıkları XPS (X-ray Photoelektron Spektroskopisi- X-ışını fotoelektron spektroskopisi) analizinden tahmin edilmiştir. Büyüme mekanizmaları depolama süresi boyunca değişir: İlk 6 dakikaya kadar hidroksit ve daha sonra kompleks bir ayrışma, hepsi dağıtım türleri diyagramı ve XPS tarafından desteklenen reaksiyon mekanizmasının, hidroksit ve sülfür iyonlarından oluşan sitrat gruplarının anyon değişimine dayandığı bulunmuştur (Garza-Hernández ve ark., 2019).

FTO/CdS ince filmler hem elektrokimyasal depolama (ECD) hem de kimyasal depolama (CBD) teknikleriyle hazırlanmıştır. ECD filmi CBD elektrodundan daha ince ve daha homojen olduğu gözlenmiştir. CBD filmi, foto-elektrokimyasal (PEC) süreçlerinde ECD muadilinden daha iyi özellikler göstermiştir. İki filmin tavlanması, homojenlik ve kristalliklerini arttırdığı, ancak CBD sistemi durumunda etkinin daha iyi olduğu ve tavlanmış CBD elektrodu, ECD elektrodundan daha iyi PEC özellikleri gösterdiği görülmüştür (Zyoud ve ark., 2013).

Yarı iletken nanoyapıları, Si tabanlı nano-elektronik gelişimini engelleyen Si alttabanları ile entegre etmek için iki ciddi sınırlama vardır. İlk olarak, Si, 3,42'lik yüksek bir kırılma indisine sahiptir. Nanoyapılardaki ışığın hapsi, heterojonksiyonun yakınında önemli ölçüde yok edilecektir ve yayılma kaybı önemlidir. İkincisi, Si, 1,12 eV band aralığına sahip dolaylı bir band aralıklı yarı iletken ve bu, Si alttabanının güçlü bir şekilde emilmesi ve son derece düşük emisyon verimliliğinden kaynaklanan Si/CdS heteroeklemlerli görünür LED'lerin verimliliğini ciddi şekilde azaltır. Bu çalışmada, ciddi bağlantı, emilim ve kayıpların önündeki bariyerin üstesinden gelmek için güçlü Si alttaban üzerine CdS mikro-/nanoşerit basit ama sağlam bir yapı önerilmiştir. Deneylemlerden ve simülasyondan elde edilen tüm sonuçların, optimize edilmiş yapı tasarımından kaynaklanan son derece iyileştirilmiş performansı desteklediği görülmüştür (Huang ve ark., 2018).

ITO alttaban salınımının kimyasal banyoya bırakılan CdS filmler üzerindeki etkisi üç farklı çökeltme koşulu altında incelenmiş ve karşılaştırılmıştır: Alttaban salınımı + manyetik çalkalama, sadece

alttaban salınımı ve çalkalama olmadan yapılmıştır. CBD-CdS depolama için bir salınım cihazı vasıtasıyla alttabanları çalkalamak için yeni bir mod önerilmiştir. Yüzey morfolojisi, yasak enerji band aralığı, film kalınlığı ve depolama oranı elde edilmiş ve farklı depolama durumlarının bir fonksiyonu olarak tartışılmıştır. Ana sonuçlardan, sadece alttaban 37 Hz'de salındığında, düşük ve sabit oranlı depolanan CdS filmler elde edilmiştir. Ayrıca, kimyasal banyo, çökeltme işleminden sonra koloidal çökeltiler göstermemiş ve temiz CdS film üretilmiştir. Alttaban ve kimyasal banyo çalkalandığında birikim hızının arttığı ve kimyasal banyoda kolloidler ve çökeltilerin oluştuğu görülmüştür (Salazar ve ark., 2006).

Yarıiletkenler, 10 milyonda bir atom bile kristal yapıya bir elektron ekleyen veya uzaklaştıran bir safsızlıkla değiştirildiğinde mükemmel iletkenler haline gelirler (Hewitt, 2002).

Yücel'in (2017) çalışmasında, CBD yöntemiyle pH'ı 11 olan banyo çözeltisine 85°C'de cam alttabanlar daldırılarak depolanan CdS yarıiletken film XRD analizinde tek bir baskın pik vermiştir ki bu kübik yapıdadır. Filmin 400-700 nm aralığındaki optik geçirgenlik değeri %38 ve yasak enerji band aralığı 2,20 eV'tur. Maltoz katkısıyla hazırlanan filmlerde ise katkı ile orantılı olarak filmlerin geçirgenliği ve yasak enerji band aralığı artmıştır.

Kaur, Pandya ve Chopra (1980), CBD yöntemi ile pH'ı 8-12 çözelti ile 80-90°C'de 30-40 dakikada paslanmaz çelik, kalay oksit kaplı cam, titanyum cam alttabanlar üzerine sarı-kırmızımsı renkli CdS filmleri elde etmiştir.

Bedir'in (2015) çalışmasında, CBD yöntemiyle elde edilen yarıiletken ince filmlerinin yasak enerji band aralığı 2,62 eV olarak bulunmuştur. Taşıyıcı yoğunluğu $6,3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 'tür. Sodyum katkısıyla hazırlanan filmlerde ise katkı ile orantılı olarak filmlerin geçirgenliği ve yasak enerji band aralığı artmıştır.

Güneş hücrelerinin verimi temasta bulunan yarıiletkenlerin örgü parametrelerine bağlıdır. Verimli bir güneş pilinin elde edilmesi için örgü parametreleri arasındaki fark %4'ten küçük olmalıdır. CdS ile Si örgü parametreleri arasındaki uyumsuzluk ise yaklaşık %7'dir (Dzhafarov ve ark., 2009).

Anwar ve arkadaşlarının (2017) çalışmasında, nanotel CdS/CdTe güneş hücresi simülasyon ve performans çalışmasında sırasıyla Ag, Fe, N, Cu-grafit alaşımı, Ni ve Pt metal arka kontaktları kullanıldığında verimin Ag'ten Pt'e doğru artış gösterdiği gözlenmiştir.

Aybek ve Rüzgar'ın (2017) çalışmasında, artan pH değerleriyle filmlerin geçirgenlikleri ve yasak enerji band aralıkları azalmıştır. 80° C'de ve 40 dakika süresince CBD yöntemiyle elde edilen filmler, XRD ölçümlerinde tek bir keskin pik vermiştir. Filmler kübik yapıdadır. pH'ın 10 olduğu filmlerin yüksek geçirgenlik ve düşük yüzey pürüzlülüğünden dolayı güneş hücrelerinde pencere tabakası olarak kullanıma uygun olduğu görülmüştür.

Pencere materyallerinin geçirgenliği yüksek ve öz direnci düşük olmalıdır. Karakaya (2014)'nın çalışmasında, CBD yöntemiyle elde edilen CdS:In filmlerinin öz dirençlerinin tavlama etkisiyle 10 kat azaldığı görülmektedir. Uzun dalga boylarında (λ) tavlamanın etkisiyle filmlerin kırılma indisi zayıf bir değişimle azalmıştır. Tavlama ile pürüzlülük değerlerinin azalmış olması filmlerin kalınlığının azalmış

olmasıyla açıklanmıştır. Tavlamayla yasak enerji band aralığı değerleri azalmıştır. Filmlerin elektriksel, optiksel ve yüzey özellikleri olumlu yönde etkilenmiştir.

Moreno-Regino ve arkadaşlarının (2019) çalışmasında, tiyoüre damlama hızı ve damlama süresine göre film büyümeleri izlenmiştir. 90 °C'de elde edilen filmlerde 20 dakikanın altında depolama oranı düşük olup 20-40 dakika aralığında lineer büyüme göstermiş, 40-60 dakika aralığında doygunluğa ulaşmış ve film büyümesi durmaya başlamıştır. Filmlerin yasak enerji band aralığı 40 dakikaya kadar 2,35 eV, 40-60 dakika aralığında 2,15 eV'tur.

NW CdS yapısındaki film CBD yöntemi ile 75 °C'de en az 45 dakika FTO üzerine depolanmıştır. 100 ml'lik çözelti hazırlanırken sırasıyla 0,05 M kadmiyum nitrat ve 0,1 M tiyoüre ve çözeltinin pH'ını 10 olarak ayarlamak için damla damla 1 M amonyum asetat ile hazırlanan %28'lik amonyak çözeltisi eklenmiştir. Filmde hekzagonal ve kübik faz yapısı görülmekte olup film çinko blend yapısındadır. Filmin kalınlığı 725 nm ve optik band aralığı 2,51 nm'dir. Gözenekli CdS/boya, boyaya duyarlı güneş hücreleri Rhodamine B, Malakit yeşili, Eozin metilen mavisive Cresyl menekşe boyları kullanılarak hazırlanmıştır. Malakit yeşili boya kullanılarak elde edilen boyaya duyarlı güneş hücreleri %0,88 yüksek bir dönüşüm verimliliği göstermiştir. CdS/Rhodamine B ise diğer boylarla karşılaştırıldığında %0,38 ile en düşük verimi göstermektedir ve 185 °C'de 30 dakika tavlendiğinde verimlilik %0,88'e çıkmıştır. Tavlama tüm boylarda hücrelerin verimliliğini artırmıştır. Ancak maksimum verim 130 °C'de tavlanan Cresyl menekşe güneş hücresinde %1,25 olarak elde edilmiştir. Aydınlıkta güneş hücrelerinin akım-voltaj değerleri ölçülmüştür. En yüksek açık devre voltajı CdS/Cresyl menekşe hücresinde ve 500,3 mV ikenen düşük açık devre voltajı CdS/Rhodamine B hücresinde 245,5 mV'tur (Abdullah ve ark., 2017).

Wilson ve Ahamed'in (2019) çalışmasında CdS NW filmler, CBD yöntemi ile cam alttabanlar en az 40 dakika 27,45 ve 65 °C sıcaklıklarda çözeltide bekletilerek elde edilmiş yıkandıktan sonra kuruması için 80 °C'de 20 dakika tavlannmıştır. Banyo çözeltisi pH'ı $11.5 \pm 0,1$ 'dir. Filmlerin iletkenliği 10^{-4} mertebesinde. Tüm numuneler belirtilen sıcaklık sıralamasıyla daha düşük enerji (E_{g1}) 2,33; 2,17; 2,31 ve daha yüksek enerji (E_{g2}) 2,41; 2,53; 2,48 seviyelerinde iki değer gösterir.

Hekzagonal yapılu CdS malzemesi, bilgi algılama ve enerji toplamada yaygın olarak kullanılmaktadır. CdS'nin piezoelektrik özelliğine dayanarak, üç boyutlu yapılu CdS NW dizilerine sahip esnek bir piezoelektrik nanojeneratör yapılmıştır. Yavaş hızda işaret parmağı salınımları altında, maksimum açık devre voltajı ve kısa devre akımı sırasıyla 1,2 V ve 6 nA'dir. (Zhang ve ark., 2020).

Vanalakar ve arkadaşları (2014), CBD yöntemi ile 90 °C depolama sıcaklığında iyonik olmayan yüzey aktif madde Triton-X 100 kullanarak Cam/FTO üzerine NW yapılu CdS ince filmlerini oluşturmuşlardır. Banyo çözeltisi, kadmiyum kaynağı olarak kadmiyum sülfat, kükürt kaynağı olarak tiyoüre ve kompleks ajan olarak amonyak içermektedir. XRD analizleri filmlerin CdS kübik fazından oluşan polikristal yapıda olduğunu ortaya koymuştur. Filmler, 2,39 eV enerji ile direk band aralığını göstermiştir. Filmlerin yüzey morfolojisinin NW yapıda olduğu görülmüştür. NW kalınlığı ~70 nm'dir. Ayrıca, Triton-X 100 ile ve Triton-X 100 olmadan sentezlenen CdS ince filmleri üretilerek Triton-X

100'ün CdS'nin büyümesi üzerine etkileri incelenmiştir. Triton-X 100 kullanılmadan üretilen CdS filminin yasak enerji aralığı 2,42 eV'tur. Son olarak Triton-X aracılı CdS ince film numunelerinin foto elektrokimyasal performansı çalışılmıştır. Triton-X 100 aracılı CdS'nin foto elektrokimyasal performansı, saf CdS ince filmlerden daha yüksektir. Numune, güneş hücreleri gibi daha geniş alan için (1cm²) maksimum kısa devre akımı 1,71 mA/cm² olan foto elektrokimyasal performans göstermiştir.

Li ve arkadaşları (2015) dikey olarak CdS NW dizilerini hidrotermal yöntemle doğrudan Cd alttabanı üzerinde hazırlamışlardır. Bu yöntemle CdS nanoduvarlarının yoğunluğu, kalınlığı ve yüksekliğini, çözelti konsantrasyonu değiştirilerek kontrol edilebilir. XRD analizlerinde alınan altıgen hegzagonal yapılı CdS ve Cd metali pikleri ile $a = 4.14 \text{ \AA}$ ve $c = 6.72 \text{ \AA}$ CdS örgü parametreleri ile iyi indekslendiğini belirtmişlerdir. CdS/CdSe çekirdek/kabuk NW dizileri, foto elektrokimyasal sensörlerde kullanılmak üzere iki aşamalı bir kimyasal çözelti yöntemiyle üretilmiştir.

Dhawale ve arkadaşları (2010), polivinil alkol destekli; basit, kolay ve ucuz bir yöntem olan CBD yöntemi ile CdS ince filmleri üretmişlerdir. Yüzey yapısı bal peteği ağını andıran filmler hidrofobiktir. Çünkü petek ağının gözeneklerinde hava hapsi, suyun içeri girmesini engeller. Suyun filme yapışma temas açısının 141° olması hidrofobikliğe neden olur. Bu açı, çalışmada CdS filmleri farklı açılarda konumlandırılıp su damlatılarak belirlenmiştir. Filmler, cam alttabanlar üzerine oda sıcaklığında 18-24 saat bekletilerek oluşturulmuştur. Banyo çözeltisinde, belli aşamalardan geçirilerek oluşturulan %2'lik polivinil alkol çözeltisinin yanı sıra 0,1 M'lık kadmiyum sülfat, 0,1 M'lık tiyoüre ve çözeltinin pH'ını 11 yapacak şekilde yavaş yavaş eklenen amonyak çözeltisi (NH₄OH) kullanılmıştır. Ardından 2 saat süresince 423 K'de hava ortamında tavlansmıştır. Filmin yasak enerji aralığı 2,5 eV olarak bulunmuştur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada CdS yarıiletken ince filmlerinin oluşturulması için uygun çözelti derişimi ve hacmi belirlenmeye çalışıldı. Farklı molarite, hacim ve sıcaklık değerlerinde CBD yöntemiyle filmler elde edildi. UV spektrometre ile ölçümleri alındı. Yasak enerji aralığı en uygun görülen filmlerin Hall analizi yapıldı. n-tipi olan filmlerin SEM görüntüleri alındı ve XRD deseni belirlendi. Küresel ve NW yapıdaki üç film grubu üzerinden çalışma ilerledi. Küresel yapıdaki 1. grup filmler ve NW yapıdaki 2. grup filmler farklı alttabanlar (cam, ITO, FTO, p-Si) üzerine kaplandı. Cam alttabanlar üzerine büyütülen NW 3. grup filmlerden biri azot ortamında 623 K'de tavlandı.

Filmlerin optiksel özellikleri UV-Visible spektrometresi ile incelenerek yasak enerji aralığı, kalınlığı ve soğurma katsayısı hesaplandı. SEM ile yüzey morfolojisi ve yapısı, EDS ile kimyasal bileşimi, XRD ile kristal yapısı ve kristal boyutu, Raman ve FT-IR analizi ile yapısal özellikleri incelendi. Hall ölçümleri ile yarıiletkenlik tipi (n ve p), Doğrusal Taramalı Voltametri (LSV) ve amperometrik ölçüm sonuçlarından foto elektrokimyasal analiz sonuçları elde edilerek filmlerin elektriksel özellikleri bulundu.

3.1. Kimyasal Depolama Yöntemi

Kimyasal depolama yöntemi (CBD) metal sülfür, selenür ve oksit filmleri bazı çeşitli bileşiklerle birlikte depolamak için yaklaşık 150 yıl önce kullanılmaya başlanmıştır. Birkaç spesifik alanda (özellikle fotoiletken kurşun tuz dedektörleri, fotoelektrotlar ve daha yakın bir zamanda ince film güneş hücreleri) iyi bilinen bir teknik olsa da yeterince takdir edilmeyen bir tekniktir (Hodes, 2007).

CBD yöntemi çözeltilerdeki filmi oluşturacak iyonların reaksiyonunun yavaşlatılması esasına dayanmaktadır. Bu yöntem, uygun stokiometriye sahip sulu çözeltisi hazırlanan kimyasal maddeleri kullanarak uygun sıcaklıkta uygun altlıklar üzerinde film elde etme yöntemi olarak tanımlanabilir. Bu yöntem ilk kez 1869 da tanımlanmış ve birçok yarıiletken maddenin ince film olarak üretilmesinde kullanılmıştır (Kavgacı, 2007). Temizlenmiş cam alttabanlar, hazırlanmış çözelti içerisinde belirli bir zaman daldırılarak ince filmler oluşturulur. İnce filmi hazırlamak için kullanılan teknikler arasında Isıl Buharlaşması, Vakum Buharlaşması, Art Arda İyonik Tabak Soğurma Reaksiyonu, Kimyasal Püskürtme, Elektro Depolama ve Püskürtme Tekniği vb. vardır. Tüm metodlar arasında CBD Yöntemi basit olması, karmaşık araçlara ihtiyaç duyulmaması, minimum materyal israfı, geniş depolama alanının en ekonomisi olması ve zehirli gazlara elle dokunma ihtiyacı olmaması gibi birçok avantajı olan bir yöntemdir. CBD yöntemi sırasında pH, sıcaklığı ve çözeltilerdeki konsantrasyon ilişkileri kontrol edilebilir (Metin, 2002). Bu yöntem özellikle bazı sülfütlü ve selenidli filmlerin üretilmesinde başarı ile kullanılmıştır (Zor,1991).

CBD yönteminin genel reaksiyonlarına (Levy ve Castellón, 2018) uygun olarak CdS yarıiletken ince filmleri farklı kimyasallarla depolanabilir. CBD yöntemi ile CdS yarıiletken ince filmi elde etmek

için hazırlanan çözeltide, kadmiyum sülfat (CdSO_4) / kadmiyum klorür (CdCl_2) gibi kadmiyum tuzları, amonyak (NH_3), tiyüüre $\text{SC}(\text{NH}_2)_2$, hidrazin $\text{NH}_2 - \text{NH}_2$ vb. ve ultra saf su bulunur. Hidrazin ortamda kadmiyumla kompleks oluşturur ve oluşan kadmiyum kompleksi kontrollü bir şekilde ortama Cd^{+2} iyonu verir. NH_3 , ortamda hidroksit iyonu oluşturarak tiyüüreden S^{-2} iyonunu açığa çıkarır. Açığa çıkan Cd^{+2} ve S^{-2} iyonları kadmiyum sülfürü (CdS) oluşturur.

3.1.1. CdS Yarıiletken İnce Filmlerinin Kimyasal Depolama Yöntemiyle Elde Edilmesi

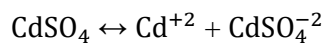
CBD yöntemiyle kadmiyum sülfat CdSO_4 , tiyüüre $\text{SC}(\text{NH}_2)_2$, hidrazin $\text{NH}_2 - \text{NH}_2$, amonyak NH_3 ve ultra saf su kullanılarak farklı molarite, hacim ve sıcaklıklarda filmler üretildi. Uygun yasak enerji aralığında n-tipi CdS yarıiletken ince filmleri elde edilmeye çalışıldı. Seçilen 1., 2. ve 3. grup olarak adlandırdığımız filmler için üretim işlemlerine devam edildi.

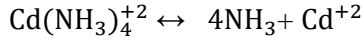
Şekil 3.1’de çeker ocağın içinde basit bir ısıtıcı, iç içe beherler ve termometreden oluşan CBD yöntemi ile film elde ettiğimiz sistemimiz görülmektedir.



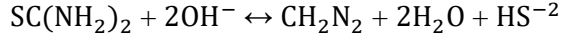
Şekil 3.1. CdS yarıiletken ince filmlerinin kimyasal depolama yöntemiyle elde edilmesi.

Film oluşumu sırasında meydana gelen kimyasal tepkimeler aşağıda gösterilmiştir (Metin, 2002).

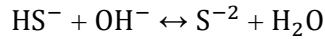




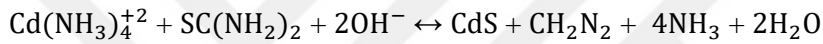
Hidrazin Cd ile kompleks oluşturup, oluşan kompleksten kontrollü bir şekilde Cd ayrılmasını sağlar.



Amonyak ise sulu ortamda OH^- iyonu oluşturarak, tiyoüreden S^{-2} iyonu açığa çıkarmak için kullanılmıştır.



Oluşan OH^- iyonları, tiyoüreden bazik ortamda S^{-2} iyonlarının açığa çıkmasını; S^{-2} ve Cd^{+2} iyonları ise CdS 'nin çözeltide yavaş ve düzenli olarak çöktürülmesini sağlar.



3.1.2. 1. Grup CdS Yarıiletken İnce Filmlerinin Kimyasal Depolama Yöntemiyle Elde Edilmesi

1. grup filmlerde CdS ince film eldesi için 100 ml'lik bir çözelti;

0.2 M Kadmiyum sülfat (CdSO_4)

0.3 M Tiyöüre $\text{SC}(\text{NH}_2)_2$

0.45 M Hidrazin ($\text{NH}_2 - \text{NH}_2$)

%25 Amonyak (NH_3)

Ultra saf su

bileşenlerinden oluşturulmuştur. Kadmiyum sülfat, tiyoüre, hidrazin, amonyak ve ultra saf su; 100 ml'lik temiz bir behere temiz bir cam çubukla sürekli karıştırılarak sırasıyla konulmuştur. Bu beher, ısıtıcının üzerinde bulunan 500 ml'lik beherin içindeki sıcak su banyosuna yerleştirilmiştir. Alttaban olarak 76 mm x 26 mm boyutlarındaki cam lamel kullanılmıştır. Bu lameller deterjan ve suyla yıkandıktan sonra kromik asitle dağlanarak saf suyla durulanmıştır. Kurutulan lameller üçer dakika kadar propanol, etanol ve metanol içinde bekletilmiş ve hava ortamında kurutulmuştur. Film eldesi için iyice temizlenen lamel, çözeltinin sıcaklığı 85°C 'ye ulaştığında dik olacak şekilde beherdeki çözeltiliye daldırılmıştır. Böylece film üzerinde düzensiz parçacık çökmesi ile film kalitesinin bozulması önlenmiştir. Filmler 85°C 'de 25 dakika bekletilerek oluşturulmuştur. Hazırlanan CdS ince filmlerinin optik özelliklerinin ölçülebilmesi için cam alttabanların iki yüzeyinde oluşan filmlerin üst tarafı %38'lik

hidroflorik asit (HF) kullanılarak elde edilen seyreltik çözelti ile temizlenmiştir. Filmler saf su ve ultra saf su ile durulanıp soğuk hava ile kurutulup ardından propanol ile durulanıp tekrar kurutulmuştur.

Cam/ITO ve Cam/FTO temizleme: Alttabanlar sırasıyla üçer dakika propanol, metanol ve etanolde bekletilmiştir. Her işlem sonunda kurutularak diğer alkole daldırılmıştır.

Dairesel bir şekilde olan Silisyum (Si) alttabanlar temizlenmeden önce lamelden daha ince ve uzun bir şekil alacak biçimde kesilmiştir. Temizleme işlemi 3 aşamada gerçekleştirilmiştir:

1. Organik temizleme: 1:1:5 oranında sırasıyla amonyum hidroksit, hidrojen peroksit ve ultra saf su temiz bir beherde karıştırılmıştır. Si alttabanlar beherin içerisine konularak 60 °C-70 °C sıcaklıkta 10 dakika kaynatılmıştır.

2. Oksit temizleme: 1:10 oranlarında hidroflorik asit ve ultra saf su temiz bir beherde karıştırılmıştır. Si alttabanlar beherin içerisine konulmuş ve beher ultrasonik karıştırıcıda 30 saniye bekletilmiştir.

3. İyonik temizleme: 1:1:6 oranında sırasıyla hidroklorik asit, hidrojen peroksit ve ultra saf su bir beherde karıştırılmıştır. Si alttabanlar beherin içerisine konulmuş ve beher 60°C-70 °C sıcaklıkta 10 dakika kaynatılmıştır.

Her bir işlem sonucunda Si alttaban ultra saf su ile durulanmış ve hava ortamında kurutulmuştur.

Temizlenen Cam/ITO, Cam/FTO ve p-Si alttabanlar, her biri ayrı ayrı beherlerde çözeltilere daldırılarak CdS yarı iletken ince filmler ile kaplanmıştır. Film eldesi aşamaları cam alttabanlarda olduğu gibidir.

3.1.3. 2 ve 3. Grup CdS Yarıiletken İnce Filmlerinin Kimyasal Depolama Yöntemiyle Elde Edilmesi

2 ve 3. grup filmlerde CdS film eldesi için 100 ml'lik bir çözelti;

0.2 M Kadmiyum sülfat,

0.3 M Tiyoüre,

1 M Hidrazin,

%25 Amonyak,

Ultra saf su,

bileşenlerinden oluşturulmuştur. Aralarındaki tek fark CBD sırasında depolama süresinin, 2. grupta 40 dakika ve 3. grupta 35 dakika olmasıdır. 2. grup filmler 1. gruptakiler gibi farklı alttabanlar üzerine depolandılar. 3. grup filmler diğer iki gruptan farklı olarak sadece cam alttaban üzerine depolandı. Üretilen Cam/CdS filmlerinden biri 623 K'de azot ortamında tavlandı.

3.2. UV-Visible Spektroskopisi

UV-Visible spektroskopisi yarıiletken malzemelerde yasak enerji aralığının hesaplanmasında kullanılır ve band geçişi yapısı hakkında bilgi verir. CdS yarıiletken ince filmlerinin geçirgenlik ölçümleri Shimadzu UV-1700 spektrometresi kullanılarak yapıldı. Ölçümler sonucunda, geçirgenliğe (%T) karşı dalgaboyu (λ) grafikleri elde edildi. Grafiklerin analizinden film kalınlıkları belirlendi. Kalınlık değerleri Matlab programında denklemlerde kullanılarak soğurma katsayısı (α) – enerji ve soğurma katsayısının karesi α^2 – enerji grafikleri elde edildi. α^2 – enerji grafiklerinden E_g belirlendi.

3.2.1. Film Kalınlığının Hesaplanması

Film kalınlığı (d), geçirgenlik (%T)-dalgaboyu grafiğinden ardışık iki tepe noktasındaki dalgaboyu değerleri kullanılarak,

$$d = \lambda_1 \lambda_2 / 2n(\lambda_1 - \lambda_2) \quad (3.1.)$$

denklemleri ile hesaplanır.

3.2.2. Soğurma Katsayısının Hesaplanması

d ince bir tabakanın kalınlığı, α soğurma katsayısı, I_0 tabakaya gelen ışık şiddeti, I geçen ışık şiddeti olmak üzere Beer-Lambert Yasası,

$$I = I_0 \exp(-\alpha d) \quad (3.2.)$$

olarak verilir. I/I_0 . % T (geçirgenlik) olmak üzere gerekli düzenlemeler yapıldığında soğurma katsayısı,

$$\alpha = -\ln(\%T)/d \quad (3.3)$$

olarak bulunur.

3.2.3. Yasak Enerji Aralığının Hesaplanması

Yarıiletkenlerin soğurma katsayısı (α) ile yasak enerji aralığı (E_g) arasında;

$$\alpha = A(hv - E_g)^n/hv \quad (3.4.)$$

bağıntısı vardır. Burada A bir sabit, $h\nu$ foton enerjisini, E_g yasak enerji aralığını göstermektedir. n ; $1/2$, 2 , $3/2$, 3 gibi değerler olarak, direk veya indirek yasak enerji band aralığını belirler. $n = 2$, indirek band geçişli fakat band aralığında safsızlık ya da katkı seviyelerinin olması, $n = 3$, indirek band geçişli ve yasak enerji aralığında herhangi bir seviyenin olmaması, $n = 1/2$, direk band geçişli olup yasak enerji aralığında safsızlık veya katkı seviyelerinin olması, $n = 3/2$, direk band geçişli olup yasak enerji aralığında herhangi bir seviyenin olmaması durumlarını temsil eder.

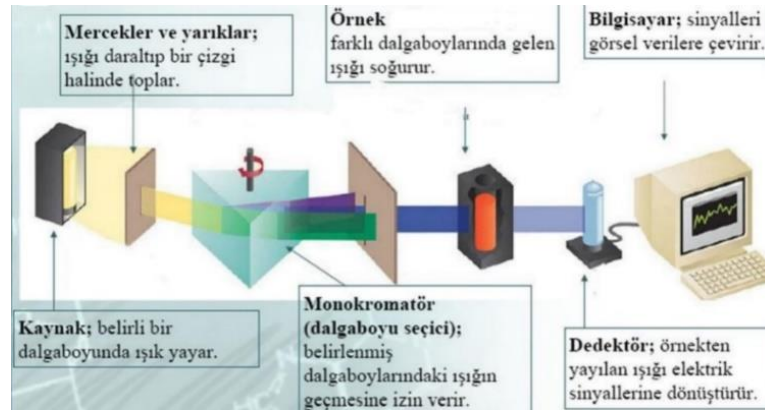
Denklem 3.4 kullanılarak filmlerin yasak enerji aralığı hesaplanabilir. Yasak enerji aralığını bulmak için α^2 - enerji grafiği çizilir. Çizilen grafiğin eğiminin enerji eksenini kestiği ($\alpha^2 = 0$) noktanın değeri filmin yasak enerji aralığını verir.

3.2.4. Mor Ötesi-Görünür (UV-Visible) Spektrofotometre

UV- Visible spektrofotometresi ile örnekten geçen ya da yansıyan ışın demetinin şiddetinin azalması ölçülür. Farklı moleküller farklı dalgaboyundaki ışığı soğururlar. Örneklerin soğurma spektrumu molekülün yapısını gösterir. Aynı zamanda ışık şiddetlerinden yararlanılarak yasak enerji band aralığı hesaplanabilir. Şekil 3.2’de laboratuvarımızda bulunan UV-Visible Shimadzu UV-1700 Spektrofotometresi ve Şekil 3.3’te spektrofotometrenin kısımları görülmektedir.



Şekil 3.2. UV-Visible Shimadzu UV-1700 Spektrofotometresi.



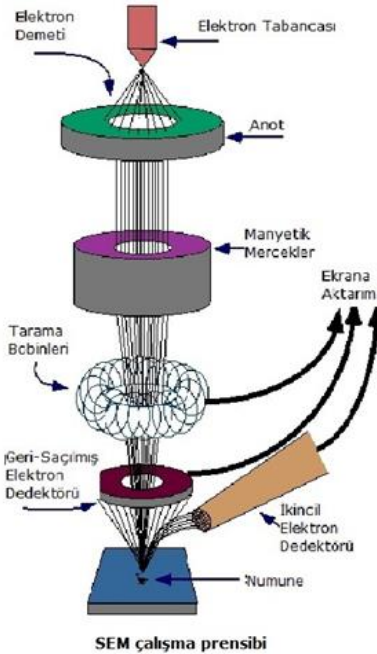
Şekil 3.3. UV-Visible Spektrofotometre kısımları (Enstrumantal Analiz Spektroskopik Yöntemler).

3.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope, SEM) ve Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi (Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy, EDS)

SEM'in çalışma prensibi örneğe gönderilen elektron demetinin örneğin yüzeyi ile yaptığı fiziksel etkileşim sonucu ortaya çıkan sinyallerin incelenmesi prensibine dayanmaktadır. SEM ve EDS cihazı Şekil 3.4'te görülmektedir. EDS, numunelerin elementel analizinde kullanılan bir yöntemdir. X ışınlarının numune ile etkileşimi esasına dayanan bu teknikte her bir element atomik yapısına göre elektromanyetik emisyon spektrumunda farklı piklerde görülür. EDS sistemleri, SEM cihazlarına entegre olarak kullanılır (SEM). Şekil 3.5'te SEM çalışma prensibi görülmektedir.



Şekil 3.4. SEM ve EDS cihazı (FEI Quanta 650 Field Emission SEM ve EDS) (SEM).



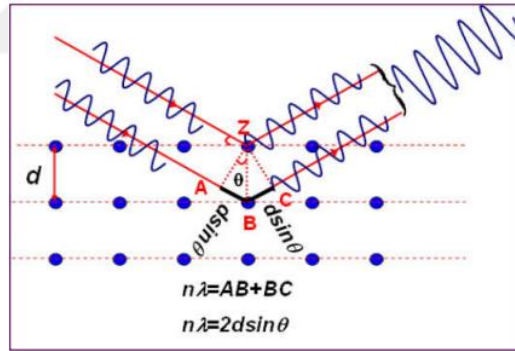
Şekil 3.5. SEM çalışma prensibi (Daha yakın olmak için elektron mikroskopları, 2014).

3.4. X-Işını Kırınımı (X-Ray Diffraction, XRD) Spektroskopisi

Şekil 3.6’da XRD cihazı görülmektedir. Kristal çeşitleri, kristalin fazındaki atomik dizilimlere bağlı olarak X-ışınlarını karakteristik bir düzende kırar. Kırınım sonuçları o kristalin fazına ait parmak izleri gibidir. Analiz numuneyi tahrip etmez. Kayaçlar, kristal malzemeler, ince filmler ve polimerlere ait az miktardaki numunenin bile nitel ve nicel analizi yapılabilir. XRD kırınımı Şekil 3.7’de görülmektedir.



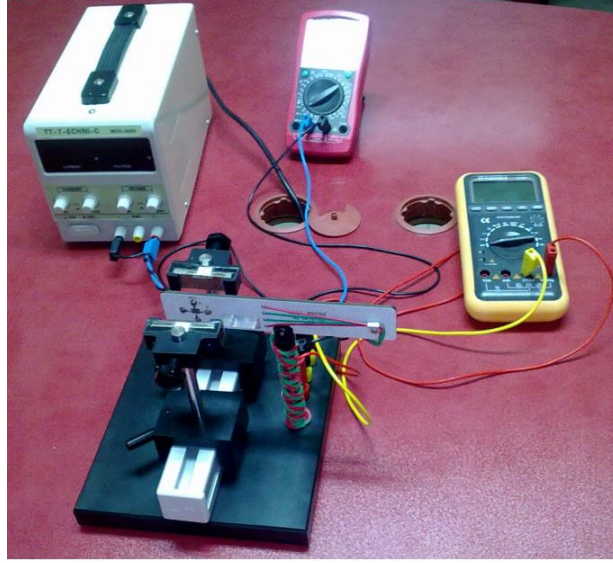
Şekil 3.6. XRD cihazı (Bruker AXS Advance D8) (X-ray-diffractometers D8 Advance).



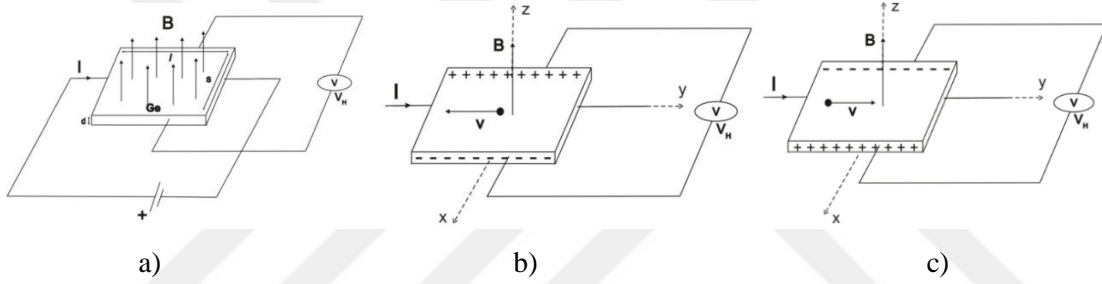
Şekil 3.7. XRD kırınımı, Bragg Yasası (Tanıtım Broşürleri).

3.5. Hall Etkisi Analizi

Hall etkisi cihazı, yarıiletken bileşiklerin Hall katsayısı, öz direnç, direnç, manyeto direnç, I/V eğrileri, taşıyıcı konsantrasyonu ve mobilite ölçümlerini yapabilmektedir. Ayrıca metaller, transparan oksitler, doygun manyetik yarıiletkenler ve düşük öz dirençli materyaller ile yarı-yalıtkan GaAs ve GaN, CdTe ve fotodedektörler gibi yüksek öz dirençli materyallerin ölçümlerini yapmaktadır (Fotonik, 2023).



Şekil 3.8. Hall etkisi deney düzeneği (Kuantum laboratuvar deneyleri, 2019).



Şekil 3.9. Hall etkisi prensibi (Hall Etkisi).

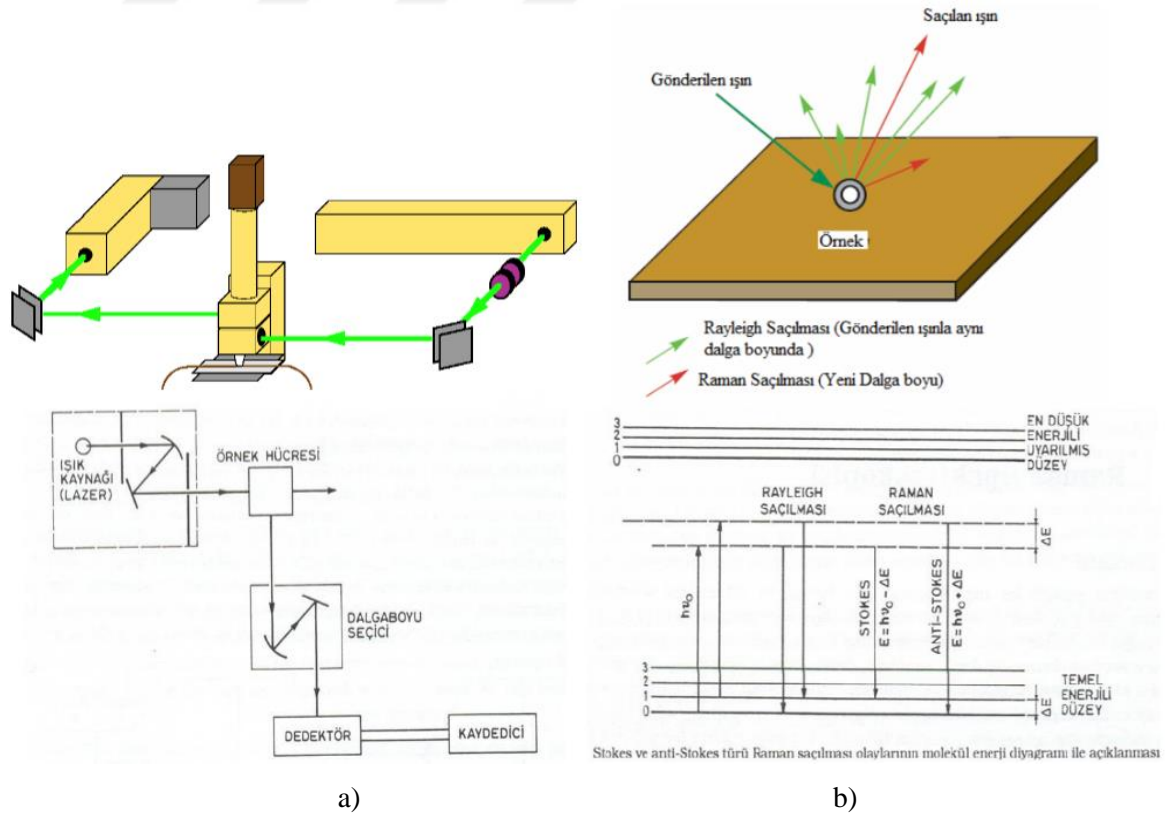
Şekil 3.8’de Hall-Etkisi analizi için düzenek görülmektedir. Şekil 3.9.a’da görüldüğü gibi Manyetik alan etkisi altındaki yarıiletken maddeye voltaj uygulanarak akım verilir, Lorentz Kuvveti ($F = q(v \times B)$, “q” elektronun ya da holün yükü ve “V” ise hızı.)’nin etkisi altında kalan hareketli yükler, yük taşıyıcının cinsine bağlı olarak yarıiletken maddenin bir kenarında toplanırlar. n-tipi bir yarıiletken maddede yük taşıyıcılar akımın ters yönünde hareket eden negatif yüklü elektronlardır ve x-yönünde bir kuvvetin etkisinde kalıp yarı iletken maddeye Şekil 3.9.b’de görüldüğü gibi dağılırlar.Yük dağılımı devam ettikçe elektrik alan çoğalır ve manyetik kuvvetin tersine bir kuvvet uygular. Elektrik alan manyetik kuvveti dengelediğinde yük dağılımı durur. Denge anında yarıiletken maddedeki yük farkından dolayı oluşan voltaj, Hall Voltajı (V_H) olarak adlandırılır. p-tipi yarıiletkende yük taşıyıcılar pozitif yüklü hollerdir. +x yönünde bir kuvvetin etkisinde kalan yük taşıyıcılar Şekil 3.9. c’de görüldüğü gibi dağılırlar. Hol ve elektron hareketi sonucunda oluşan Hall Voltajı’nın işareti birbirine zıttır (Hall Etkisi).

3.6. Raman Analizi

Şekil 3.10'da Raman Analizi cihazı görülmektedir. Raman spektroskopisi, katı, toz ve sıvı örneklerin; inorganik, organik ve biyolojik sistemlerin analizlerinde, silikat cam ve eriyiklerin yapısal incelemesinde kullanılmaktadır. Kızılötesi ve Raman Spektroskopileri, alüminyum silikat eriyikleri ve camlarda H₂O, CO₂ ve H₂ gibi uçucuların erime mekanizmalarını incelemeye ve gıda mühendisliği, mineraloji, çevresel izleme, yüzey analizi, malzeme bilimi, kimya, doğa bilimleri, nanoteknoloji, adli tıp, eczacılık, biyolojik bilimler, arkeoloji, sanat ve mirası değerler alanlarında kullanılır (Raman).



Şekil 3.10. Raman Analizi cihazı (Marka: Renishaw Model: In Via Qontor) (Raman).

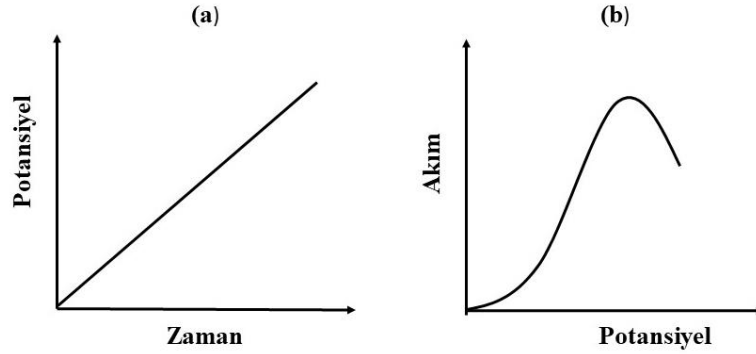


Şekil 3.11. Raman spektroskopisi çalışma prensibi (Raman).

Şekil 3.11’de Raman spektroskopisi çalışma prensibi görülmektedir. Bir molekül üzerine monokromatik bir ışın demeti gönderildiği zaman, gönderilen ışın geliş yönüne göre çeşitli açılarla her yöne saçılır. Bu saçılma olayına Rayleigh saçılması denir. Ancak ortamda, gönderilen ışın dışında sınırlı sayıda molekül ile etkileşerek saçılan farklı ışınlar da rastlanmıştır ve bu ışınlar ilk defa Hintli fizikçi C. V. Raman tarafından 1928 yılında keşfedilmiştir. Raman saçılması olarak adlandırılan inelastik saçılma ile gözlenen bu ışınlar Raman ışınları, gelen ışın frekansı ile Raman ışınının frekansı arasındaki frekans kaymasına da Raman kayması denilmiştir. Raman kayması, moleküldeki titreşimsel ve dönme geçişleri hakkında bilgi sağlar ve her bir molekül için karakteristiktir yani parmak izi gibidir. Raman spektroskopisi, Raman saçılımına dayanan bir spektroskopi tekniğidir. Raman spektrometresi, organik ve inorganik örneklerin nitel ve nicel analizinde kullanılabilen hızlı ve tahribatsız bir spektroskopik yöntemdir (Akçe ve Kadioğlu, 2020; Gündüz, 1997).

3.7. Doğrusal Taramalı Voltametri (Linear Sweep Voltammetry, LSV)

Doğrusal taramalı voltametri (LSV) basit bir elektrokimyasal tekniktir. Doğrusal taramalı voltametri ile, potansiyel bir başlangıç potansiyelinden (V_1), bitiş potansiyeline (V_2) kadar sabit bir hızla doğrusal olarak değiştirilir ve değişen potansiyele karşı akım değişimleri incelenir. Uygulanan potansiyele karşı, ölçülen akım değerlerinin gösterildiği grafiğe voltamogram denir. Şekil 3.12’de doğrusal taramalı voltametri ile elde edilen (a) potansiyel – zaman grafiği, (b) akım – potansiyel voltamogramı gösterilmektedir (Bontempelli, Dossi ve Toniolo, 2016).

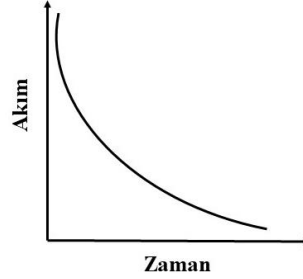


Şekil 3.12. LSV ile elde edilen (a) potansiyel – zaman grafiği, (b) akım – potansiyel voltamogramı.

3.8. Amperometri

Amperometri yöntemi ile, elektro aktif türlerin sabit potansiyelde indirgenmesi veya yükseltgenmesi sonucu oluşan akım ölçülmektedir. Sabit potansiyelde çalışılan bu yöntemle, 10^{-9} M gibi düşük konsantrasyonlarda dahi cevap alabilmek mümkündür. Amperometri yöntemi ile sabit potansiyelde, zamanla elektrot yüzeyinde oluşan indirgenme veya yükseltgenme reaksiyonları tamamlanıncaya kadar sürekli bir akım geçişi olmaktadır. Bu reaksiyonlar yüzeydeki madde

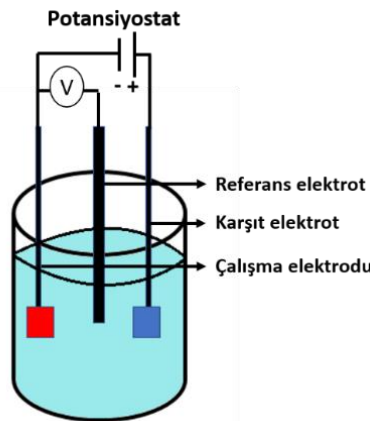
konsantrasyonun sifira yaklaşması ile tamamlanmaktadır. Elektrot yüzeyinde madde konsantrasyonun azalması, zamanla akımda da azalmaya neden olmaktadır (Bard, Faulkner ve White, 2001). Şekil 3.13 amperometri yöntemi ile de akım – zaman grafiğini göstermektedir.



Şekil 3.13. Amperometri yöntemi ile de akım – zaman grafiği.

3.9. Elektrokimyasal Ölçme Sistemi

Tüm elektrokimyasal işlemler bir elektrokimyasal ölçme sistemi yardımıyla gerçekleştirilir. Basit bir elektrokimyasal ölçme sistemi; bir potansiyostat (elektrokimyasal çalışma ünitesi) ve bir çalışma elektrodu, bir referans elektrot, bir karşı elektrot ve elektrolit iletkenliğinin sağlandığı bir çözelti içeren üçlü hücreden oluşmaktadır. Bu sistem, Şekil 3.14'te gösterildiği gibidir. Elektrokimyasal ölçme sisteminde kullanılan elektrotlar şekilde gösterilmektedir. Referans elektrot; potansiyeli sabittir ve daldırıldığı çözülden etkilenmez, ancak sıcaklıkla bir miktar değişebilir. Referans elektrot genellikle Ag/AgCl veya Hg/HgCl'den yapılır. Çalışma elektrodu; yüzeyinde çözüldeki maddelerin indirgendigi veya yükseltgendigi elektrottur. Karşı elektrot (yardımcı elektrot), çalışma elektrodu kadar büyük öneme sahiptir. Dış devreden gelen elektronların hücre içerisindeki akımı iletmesini sağlayan karşı elektrot olarak çoğunlukla iletkenlik değeri yüksek Au ya da Pt kullanılır ve çalışma elektrodu ile bir çift oluşturur. Potansiyostat ise, referans elektrot ve çalışma elektrodu arasındaki potansiyel farkı kontrol eden elektronik bir aygıttır (Sönmezoğlu, Koçve Akın, 2012).



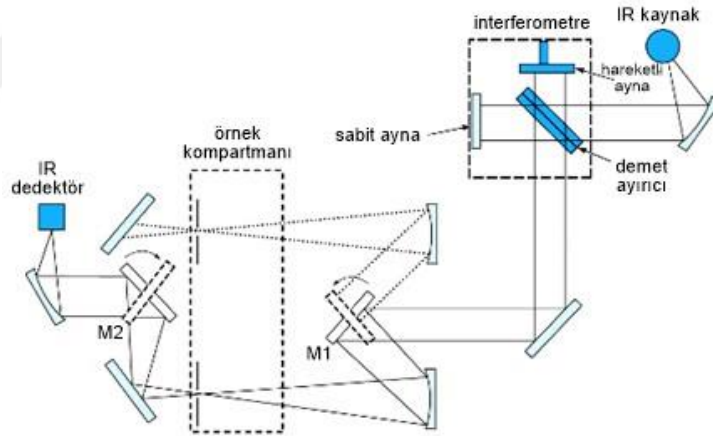
Şekil 3.14. Elektrokimyasal ölçme düzeneği.

3.10. Fourier Dönüştümlü Kızılötesi Spektroskopisi (Fourier Transformed Infrared, FT-IR)

Şekil 3.15 ve 3.16’da FT-IR Spektrometresi ve çalışma prensibi görülmektedir. Bir tür titreşim spektroskopisi olan FT-IR spektroskopisinde IR ışınları moleküller tarafından soğrulur, hızlı ve yüksek çözünürlükte spektrumlar elde edilir. Az miktarda örnek bile rahatlıkla analiz edilebilir. Ziraat, çevre, biyokimya, gıda ve içecek, toksikoloji, materyal analizleri, optik materyaller ve polimerler gibi alanlarda kullanılır (FT-IR).



Şekil 3.15. FT-IR cihazı (FT-IR Spektrometresi Marka: Jasco Model: FT/IR-6700) (FT-IR).



Şekil 3.16. Çift-ışın demetli FT-IR çalışma prensibi (FT-IR Absorpsiyon Spektroskopisi).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. CdS Filmlerin Optiksel Özellikleri

4.1.1. 1. Grup Filmlerin Optiksel Özellikleri

Bu çalışmada, 85 °C' de 25 dakikada farklı alttabanlar üzerine 1. grup CdS filmler elde edildi. Bu filmlerin optiksel özelliklerini belirleyebilmek için filmler öncelikle cam alttabanlar üzerine depolandı. Cam alttabanlarla aynı depolama sürelerinde Cam/ITO, Cam/FTO ve p-Si, farklı alttabanlar üzerine CBD yöntemiyle CdS filmler depolanarak heteroeklemler elde edildi. p-Si/CdS ince filmlerinin optiksel ölçümü yapılmadı. Diğer alttabakalardaki optiksel özelliklerinden yararlandı. p-Si hariç elde edilen ince filmlerin geçirgenlikleri (%T) oda sıcaklığında, 300–1100 nm dalgaboyu aralığında UV-visible spektrofotometre ile ölçüldü. UV ölçümlerinde cam, Cam/ITO ve Cam/FTO alttabanların her birinde sırasıyla camdan cama, Cam/ITO'dan Cam/ITO'ya Cam/FTO'dan Cam/FTO'ya yapılan geçirgenlik ölçümleriyle zemin ölçümü yapıldı. Zemin ölçümüyle filmlerin alttaban soğurmasından bağımsız olması sağlandı.

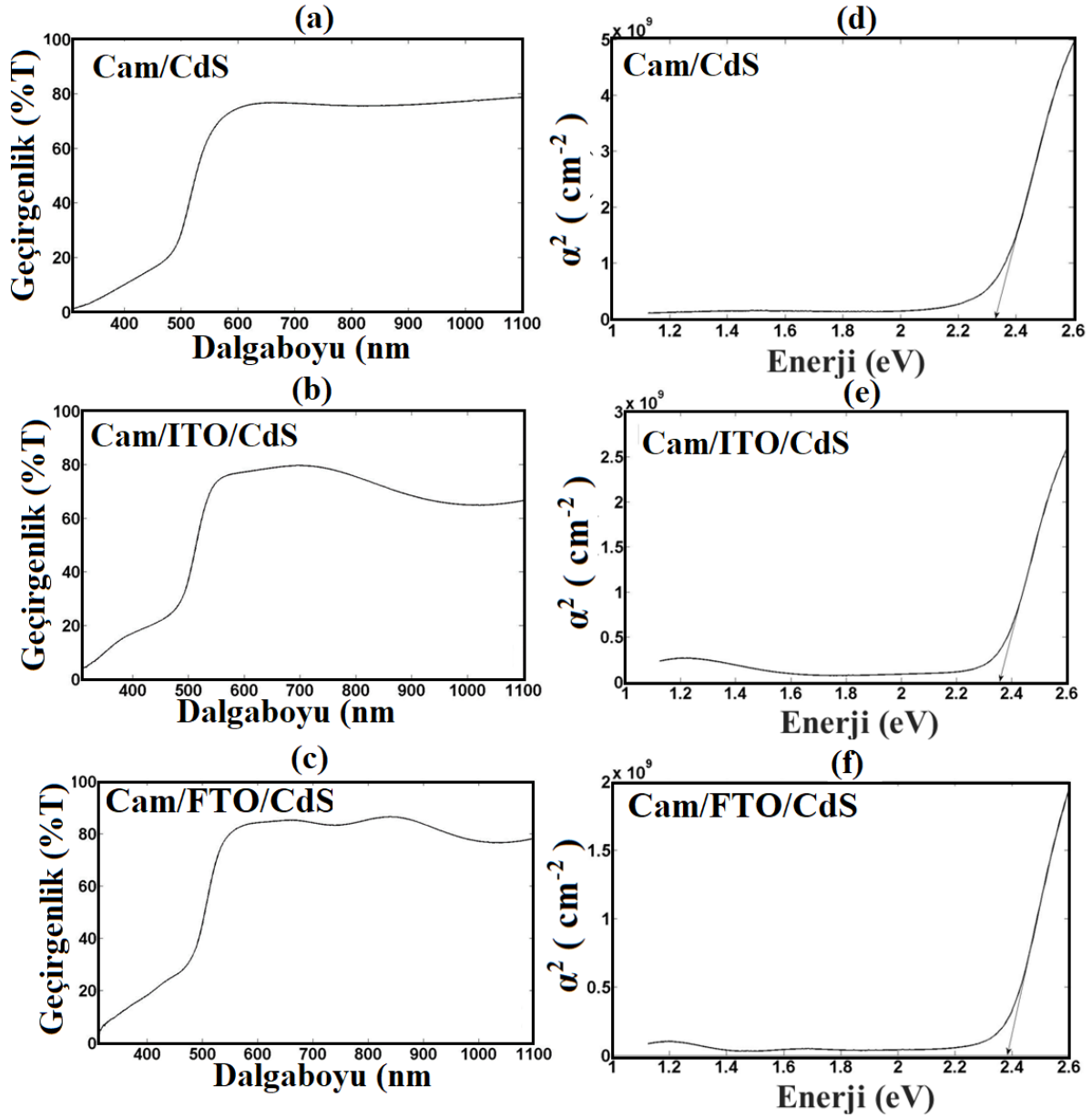
Farklı alttabanlarda depolanan CdS ince filmlerinin geçirgenliğe karşı dalgaboyu grafiği Şekil 4.1 (a) – (c)'de verildi. Filmlerin soğurma kenarı, Cam/CdS filmlerde yaklaşık 500 nm ile 550 nm arasında, Cam/ITO/CdS ve Cam/FTO/CdS'de 500-530 nm arasında ölçüldü. Cam/CdS filminde 550-1100 nm dalgaboyu aralığında geçirgenlik neredeyse stabil bir şekilde yaklaşık %80 civarında, Cam/ITO/CdS filminde yaklaşık 550-750 nm aralığında %80 civarında iken 750-1100 nm aralığında geçirgenliğin %65-70'e kadar düştüğü görüldü. Cam/FTO/CdS filminde ise geçirgenlik 550-950 nm'de %80-88, 950-100 nm'de yaklaşık %77 civarındadır.

Tablo 4.1. 1. grup filmlerin enerji aralığı ve kalınlık değerleri.

| 1. Grup | Enerji Aralığı E_g (eV) | Kalınlık (nm) |
|-------------|------------------------------|------------------|
| Cam/CdS | 2,33 | 230 |
| Cam/ITO/CdS | 2,36 | 265 |
| Cam/FTO/CdS | 2,39 | 265 |

Filmlerin kalınlığı Denklem 3.1. ile hesaplanan sonuçlar Tablo 4.1'de verildi. Kalınlık, Cam/ITO/CdS ve Cam/FTO/CdS'de aynı olup, Cam/CdS'de ise çok az farklılık göstermektedir. CdS ince filmi, güneş hücrelerinde n-tipi pencere materyali olarak kullanıldığı için oldukça ince ve geçirgenliği yüksek olmalıdır, elde edilen değerler bu bakımdan uygun ve önemlidir. Filmlerin soğurma katsayısı ise Denklem 3.3 kullanılarak belirlendi. CdS yarıiletkenince filmlerinin soğurma katsayısı (α) ile yasak enerji aralığı (E_g) arasında Denklem 3.4. kullanılarak filmlerin yasak enerji aralığı belirlendi.

Bu denklemde n direkt band aralığına sahip yarıiletkenler için $\frac{1}{2}$ alınarak α^2 - enerji grafikleri elde edildi.



Şekil 4.1. 1. grup ince filmlerin (a)-(c) geçirgenlik - dalgaboyu ve (d)-(f) α^2 - enerji grafiği.

Farklı alttabanlarda depolanan CdS filmlerinin α^2 - enerji grafiği Şekil 4.1. (d) – (f)'de gösterilmektedir. Bu grafiklerin eğiminin enerji eksenini kestiği ($\alpha^2 = 0$) yer filmin yasak enerji aralığı olarak belirlendi. Literatürdeki CdS yasak enerji aralığı 2,42 eV'tur. Örneklerimizde belirlenen optiksel yasak enerji aralıkları Tablo 4.1'de görüldüğü gibi hemen hemen aynı bulundu. Benzer sonuçlar 2,33 eV (Aybek ve Rüzgar, 2017; Chichan, 2021), 2,35 eV (Moreno-Regino ve ark., 2019) ve 2,39 eV (Aybek ve Rüzgar, 2017) ile literatürde rapor edilmiştir. Sonuç olarak, filmlerin geçirgenlik grafiklerinde görülen soğurma band kenarlarıyla, kalınlıkları ve enerji band aralıklarıyla hemen hemen özdeş yapıya sahip oldukları görülmektedir. Dolayısıyla p-Si için de tüm bu özellikleri taşıdığını söyleyebiliriz.

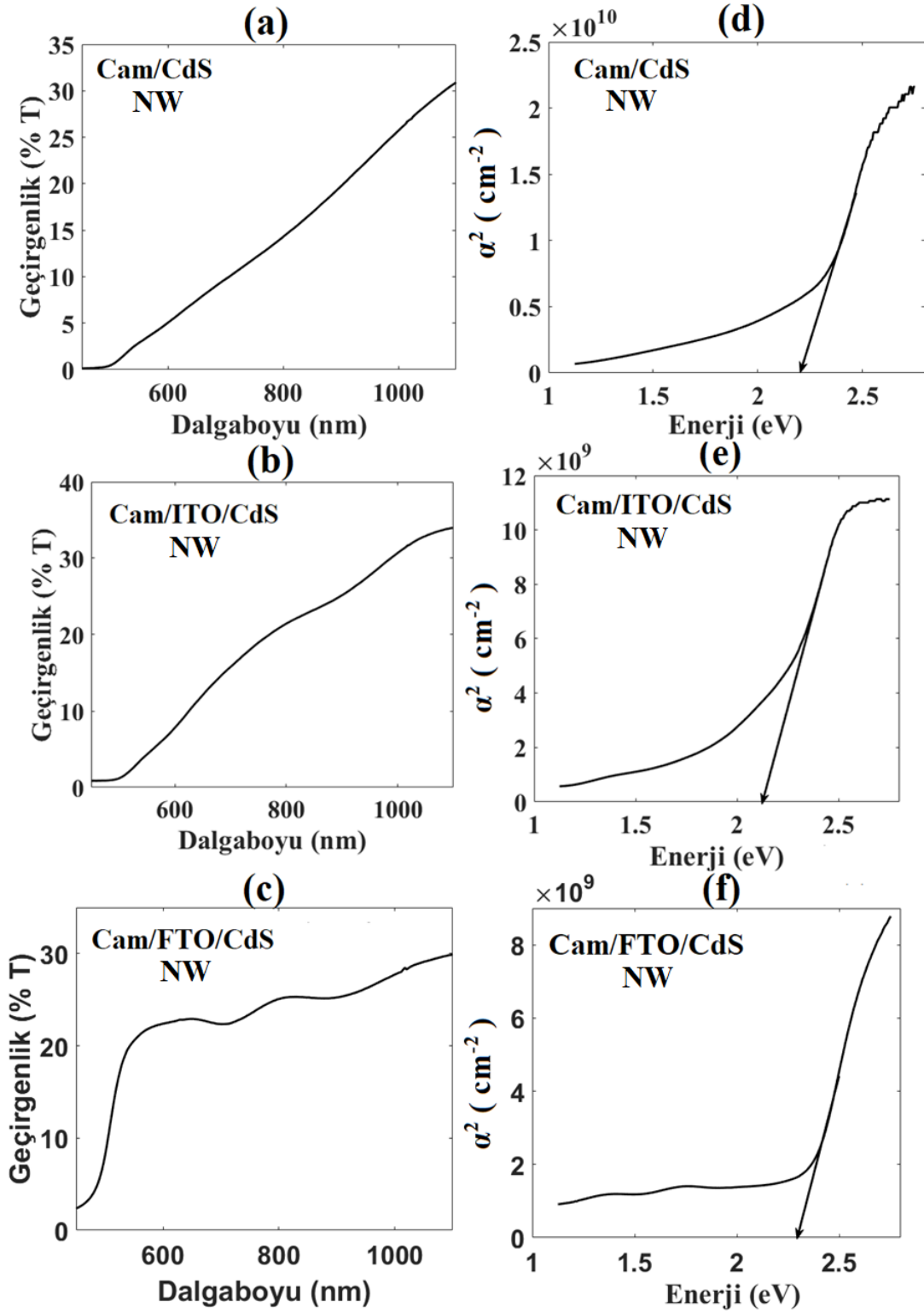
4.1.2. 2. Grup NW Filmlerin Optiksel Özellikleri

Bu çalışmada, 85 °C’de 40 dakikada farklı alttabanlar üzerine aynı depolama sürelerinde Cam/CdS, Cam/ ITO/CdS, Cam/FTO/CdS ve p-Si/CdS, farklı alttabanlar üzerine CBD yöntemiyle 2. grup NW heteroeklemlerin elde edilişleri kesim 3.2.3’te anlatıldı. 1. grup filmde belirtildiği gibi p-Si/CdS ince filmleri optiksel ölçüm yapılmadı. Diğer alttabakalardaki ölçümlerden yararlandı. Sonuç olarak, 2. grup örnekler için belirtilen filmlerin geçirgenlik grafiklerinde görülen soğurma band kenarlarıyla, kalınlıkları ve enerji band aralıklarıyla hemen hemen özdeş yapıya sahip olduklarından, p-Si/CdS filminin de bu özellikleri taşıdığını belirtebiliriz. Cam/CdS, Cam/ ITO/CdS ve Cam/FTO/CdS ince filmlerinin geçirgenliğe karşı dalgaboyu grafiği Şekil 4.2 (a) – (c)’de, α^2 - enerji grafiği de Şekil 4.2 (d) – (f)’de verildi.

Tablo 4.2. 2. grup NW filmlerin enerji aralığı ve kalınlık değerleri.

| 2. Grup | Enerji Aralığı E_g (eV) | Kalınlık (nm) |
|-------------|------------------------------|------------------|
| Cam/CdS | 2,21 | 450 |
| Cam/ITO/CdS | 2,12 | 400 |
| Cam/FTO/CdS | 2,29 | 450 |

Filmlerin kalınlığı ve E_g değerleri 1. grupta belirtildiği gibi hesaplanarak sonuçlar Tablo 4.2’de verildi. Kalınlıkların Cam/CdS ve Cam/FTO/CdS’de aynı olduğu, Cam/ITO/CdS’de ise çok az farklılık gösterdiği görülmektedir. Literatürde benzer şekilde E_g değerlerinin 2,15 (Moreno-Regino ve ark., 2019), 2,20 (Yücel, 2017), 2,21 (Moualkia ve ark., 2009) ve 2,28 (Metin ve arkadaşları, 2010) eV olduğunu görmekteyiz.

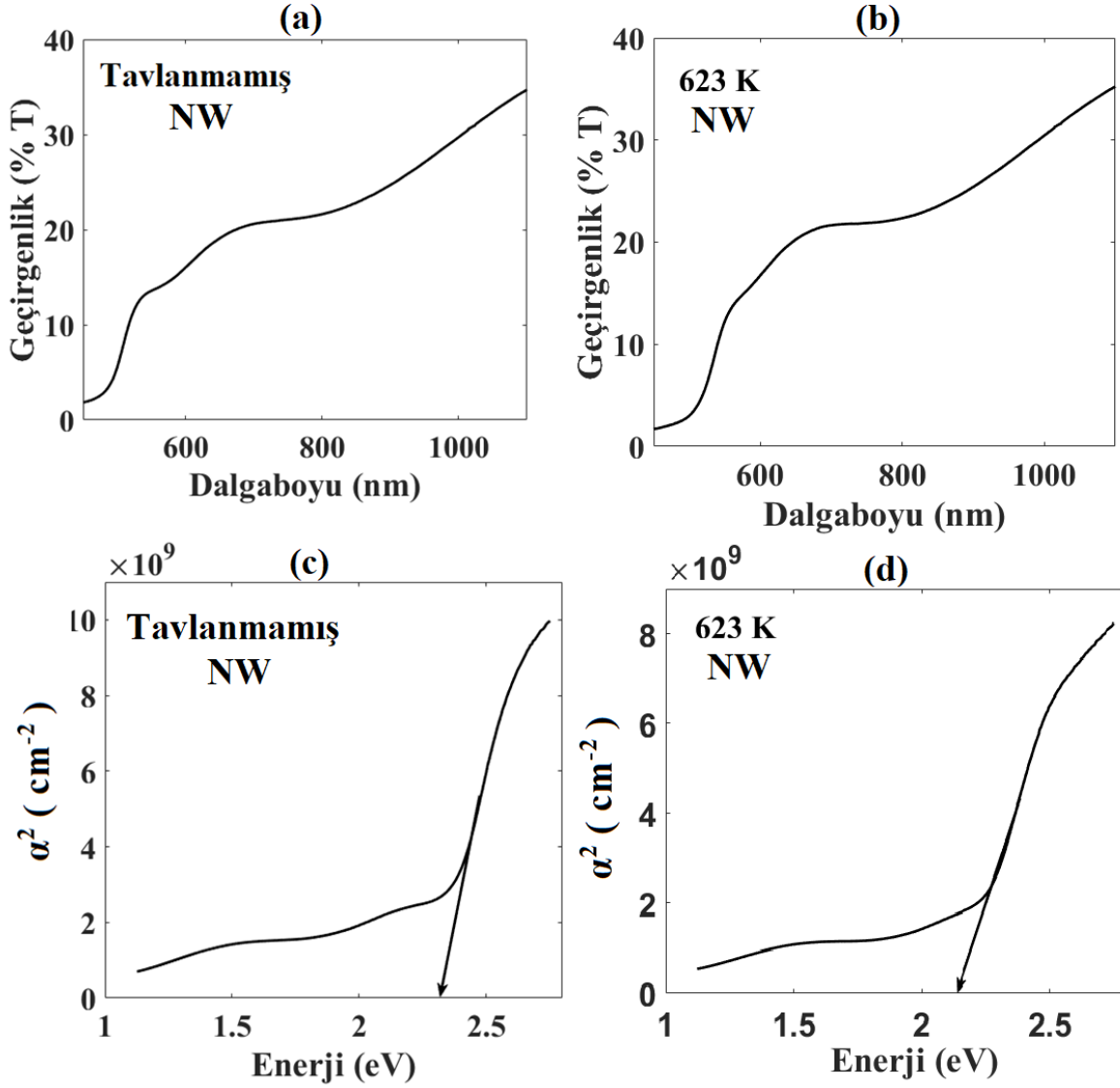


Şekil 4.2. 2. grup ince filmlerin (a)-(c) geçirgenlik - dalgaboyu ve (d)-(f) α^2 - enerji grafiği.

4.1.3. 3. Grup NW Filmlerde Tavlamamanın Optiksel Özellikler Üzerine Etkisi

Bu çalışmada, 85 °C'de 35 dakikada cam alttaban üzerine 3. grup CdS filminden 2 adet özdeş film, kesim 3.2.2'de belirtildiği gibi elde edildi. 2. gruptan farkı depolama süresinin 40 dakika yerine 35

dakika olmasıdır. Filmlerden bir tanesi 623 K’de azot ortamında tavlandı. Tavlanmamış ve tavlanmış filmlerin geçirgenlikleri (%T) oda sıcaklığında, 300–1100 nm dalgaboyu aralığında UV-visible spektrofotometre ile ölçüldü. Tavlanmamış ve tavlanmış Cam/CdS ince filmlerinin geçirgenliğe karşı dalgaboyu grafiği Şekil 4.3.(a) – (b)’de, α^2 - enerji grafiği de Şekil 4.3.(c) – (d)’de verildi. Filmlerin kalınlığı ~400 nm olarak ve yasak enerji aralıkları tavlanmamış Cam/CdS filmi için 2,31 eV ve tavlanmış Cam/CdS filmi için ise 2,19 eV olarak belirlendi. Tavlamayla yasak enerji aralığının azaldığı görüldü. Optik band aralığı, yarı iletken malzeme tarafından emilebilen fotonların enerji aralığını belirler. Güneş hücreleri için, gelen fotonların enerjisinin (Güneş ışığı) soğurucu malzemenin (CdS ince film) band aralığı enerjisiyle eşleştirilmesi esastır. CdS, elektromanyetik spektrumun görünür ve ultraviyole yakın bölgesine karşılık gelen 2,3 ila 2,9 eV (Azmi ve ark. 2020; Herrera-Molina ve ark.,2021; Chandekar ve ark., 2020) aralığında nispeten geniş bir band aralığına sahiptir. Bu aralık, güneş ışığının verimli bir şekilde emilmesini sağlayarak genel güneş pili verimliliğini artırır. CdS ince filmlerin optik band aralığı değerleri, ışık emilimini, fotovoltaj dönüşüm verimliliğini ve etkili cihaz entegrasyonunu etkilediği için güneş pili uygulamaları için çok önemlidir. Band aralığının uygun aralık içinde doğru bir şekilde seçilmesi, CdS ince filmlerin güneş pili performansını ve genel enerji dönüşüm verimliliğini artırmasını sağlar. Sonuçlarımıza göre CdS'nin geniş band aralığı nedeniyle, CdS nanoduvarları ışığı yaklaşık 500 nm dalgaboyunda soğurdu. Şekil 4.3.(c)-(d)'de $\alpha^2 = 0$ için enerji değeri, optik band aralığı enerjisidir (E_g). Tavlama, CdS NWlarının optik band aralığı enerjisinin 2,31’den 2,19 eV’a düşmesine neden oldu. Literatürde sıcaklık, pH ve zaman kontrolüne dayalı CBD yöntemi ile farklı alttabanlar üzerinde CdS filmler üretilmiştir (Kaur, Pandya ve Chopra, 1980). Bu çalışmalara göre yasak enerji aralığı yaklaşık 2,40 eV olan çok kristalli n-tipi filmler elde edilmiştir. Çalışmamızda da benzer şekilde NW yapılı CdS yarı iletken ince filmler CBD ile 85°C’de 35 dakika ve 40 dakika gibi kısa bir sürede üretildi. Bu çalışmanın olumlu yönlerinden biri de kadmiyum molaritesinin Vanalakkar ve arkadaşları (2014)’nın çalışmasına göre oldukça düşük olmasıdır. Çözeltinin pH’ı 9,4’tür.



Şekil 4.3. 3. grup NW ince filmlerin (a) tavlanmamış (b) tavlanmış geçirgenlik - dalgaboyu ve (c) tavlanmamış (d) tavlanmış α^2 - enerji grafiği.

4.2. CdS Filmlerin Yapısal Özellikleri

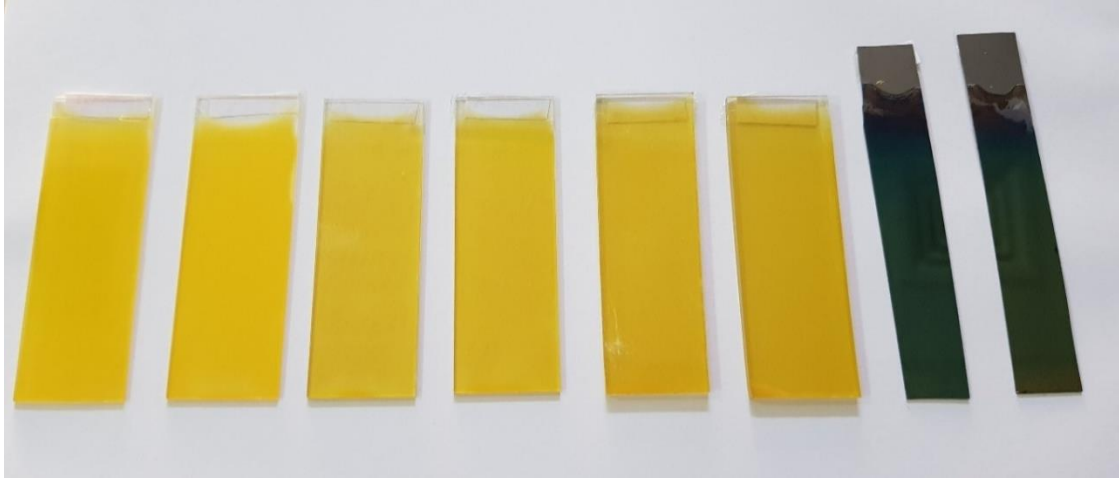
Filmlerin XRD ölçümleri Mersin Üniversitesi İleri Teknoloji Eğitim ve Araştırma Laboratuvarı'nda Bruker AXS Advance D8 marka difraktometre ile EVA ve Win indeks yazılımı ile $20^\circ \leq 2\theta \leq 80^\circ$ aralığındaki kırınım açılarında $0,01^\circ$ adımlarla 40 kV ve 30 mA ile CuK_α radyasyonunda yapıldı ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$). SEM görüntüsü ve EDS ölçümü Çukurova Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda FEI-Quanta 650 Field Emission marka enerji dağılımlı bir X-ışını (EDX) spektrometresi ve bilgisayar kontrollü bir görüntü analiz cihazı ile donatılmış olan taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak yapıldı. SEM ve EDS analizinin bir kısmı (2. grup filmler) Mersin Üniversitesi'nde yapıldı. Raman spektroskopisi, Çukurova Üniversitesi Araştırma Laboratuvarı'nda 785 nm dalgaboyunda bir Renishaw inVia Qontor Raman mikroskobu kullanılarak CdS filmlerinin yapısal

özelliklerini daha iyi anlamak için gerçekleştirildi. 3. grup filmlerin FT-IR analizleri Jasco Model: FT/IR-6700 cihazı kullanılarak Çukurova Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda yapıldı.

CdS filmlerinin tamamının XRD ve EDS analizleri yapılmıştır. Filmlerin XRD verileri değerlendirilirken PDF Card No.: 01-077-2306 Quality: I Hexagonal, PDF Card No.: 01-089-0440 Quality:S Cubic, PDF Card No.: 00-047-1179 Quality: I Orthorhombic, PDF Card No.: 01-074-9664 Quality:S Hexagonal, PDF Card No.: 1011251 Quality: C Hawleyite JPDS kartları kullanıldı. Kadmiyum sülfür, çinko sülfür gibi genellikle iki kristal forma sahiptir. Daha kararlı altıgen wurtzite yapısı (Greenockite mineralinde bulunur) ve kübik çinko blend yapısı (Hawleyite mineralinde bulunur). Bu formların her ikisinde de kadmiyum ve kükürt atomları dört koordinatlıdır. Aynı zamanda yapılan analizlerde filmlerimiz ortorombik yapıya sahip olduğu da bulundu.

pH, Hanna Instruments HI 2211 pH/ORP Meter ile ölçüldü. 1. grup filmlerin çözeltisinin pH'ı 10,5, 2. ve 3. grup NW filmlerin çözelti pH'ı 9,4'tür. Bu tez çalışmasında filmler 85 °C'de çözeltiye tek daldırma ile 25, 35 ve 40 dakikada üretildi.

4.2.1. 1. Grup Filmlerin Yapısal Özellikleri



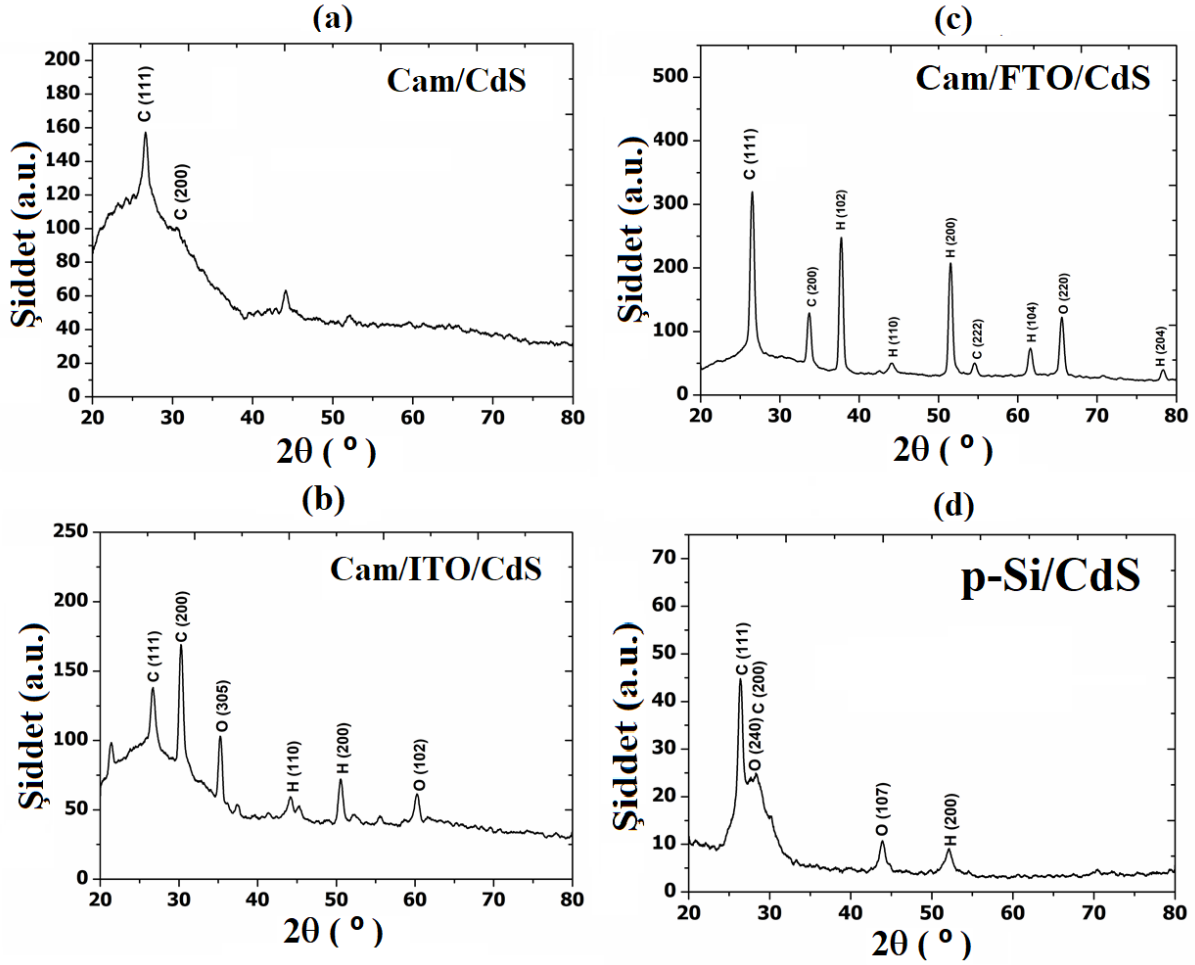
Şekil 4.4. 1. grup filmlerin sırasıyla ikişerli gruplar halinde Cam, ITO, FTO ve p-Si üzerine kaplanmış CdS yarıiletken ince filmlerin film kaplı yüzey yönünden görüntüsü.

Şekil 4.4'te 1. grup filmlerin farklı alttabanlara bağlı olarak renkleri görülmektedir.

4.2.1.1. 1. Grup Filmlerin XRD Analizi

Şekil 4.4'te görüldüğü gibi elde edilen 1. grup filmlerin sırasıyla Cam, ITO, FTO ve p-Si üzerine kaplanmış CdS yarıiletken ince filmlerin XRD grafiği Şekil 4.5. (a)-(d)'de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde hegzagonal, kübik ve ortorombik pikler görüldü. Cam/CdS yapısında keskin pikler

görülmemesine rağmen diğer alttabanlarda daha şiddetli ve keskin çok sayıda pik bulundu. Bütün alttabanlarda ortak olan C(111) pikidir.



Şekil 4.5. (a)-(d). 1. grup filmlerin XRD grafiği.

Filmlerdeki kristallerin tanecik büyüklüğü X-ışını kırınım verilerinden hesaplanabilir. X-ışını kırınım desenlerinin pik genişlikleri tanecik büyümesine paralel olarak genişlemektedir. Debye-Scherrer denklemi kullanılarak tanecik yapısı hesaplanabilmektedir. Formüle göre tanecik büyüklüğü,

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

ile verilir. Burada K bir sabit, λ kullanılan X-ışınının dalgaboyunu, θ Bragg yansıma açısını, β ise radyan olarak yansımaların yarı maksimum genişliğini (FWHM) gösterir. Hesaplamalar için K sabiti 0,9 alınmıştır. Tanecik büyüklüğü hesabı için denklem 4.1 kullanıldı. $2\theta=26,61^\circ$ 'de C(111) yansımasını standart olarak, 1. grup CdS filmlerinin tanecik büyüklüğü hesaplanarak sonuçlar Tablo 4.3'e kaydedildi. Filmlerdeki kristallerin dislokasyon yoğunluğu tanecik büyüklüğü kullanılarak hesaplanır. Dislokasyon yoğunluğu (δ), bir malzemenin belli bir kısmında (örneğin bir tanesinde) bulunan dislokasyonların sayısının bir ölçüsüdür. Kristalin çizgisel diziliminin düzenliliği olarak da adlandırılan

δ , dislokasyon yoğunluğu çizgisel bir kusur olduğundan birim alanı kesen çizgisel düzensizliğin sayısı olarak da tanımlanabilir. Dislokasyon yoğunluğu

$$\delta = \frac{1}{D_{hkl}^2} \quad (4.2.)$$

bağıntısı kullanılarak hesaplanır.

$$N = \frac{d}{D_{hkl}^3} \quad (4.3.)$$

$$\epsilon = \frac{\beta \cos \theta}{4} \quad (4.4.)$$

Denklem 4.3.'deki d değeri filmin kalınlığını göstermektedir. N ; birim yüzey alanındaki kristallerin sayısını, Denklem 4.4'te ϵ ise gerilmeyi/(örgü) gerilimini gösterir. Burada β , yarı maksimum genişliktir. 1. grup filmlerinin β açısı değerlerine karşılık gelen FWHM, tanecik büyüklüğü (D), dislokasyon yoğunluğu (δ), birim yüzeye düşen kristal sayısı (N) ve gerilim (ϵ) değerleri gibi yapısal özellikleri Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. 1. Grup filmlerin FWHM, D , δ , N ve ϵ değerleri.

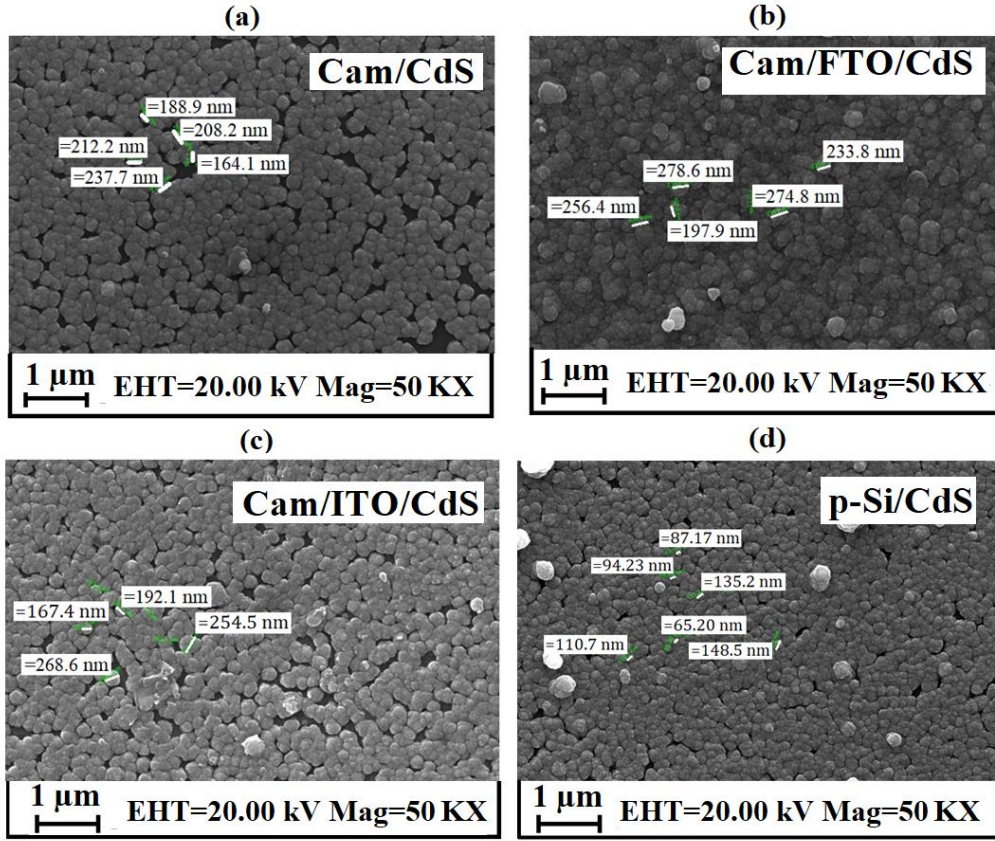
| | FWHM (rad) | D (nm) | δ (10^{15} çizgi/m ²) | N (10^{18} m ⁻²) | ϵ (10^{-3}) |
|---------------|---------------|-----------|--|------------------------------------|-----------------------------|
| Cam/CdS | 0,0557 | 2,67 | 140,27 | 12,08 | 13,54 |
| Cam/ITO/CdS | 0,0073 | 20,10 | 2,65 | 0,036 | 1,78 |
| Cam/FTO/CdS | 0,0059 | 25,10 | 1,59 | 0,017 | 1,48 |
| p tipi-Si/CdS | 0,0059 | 25,00 | 1,60 | 0,017 | 1,44 |

Yapılan çalışmalarda başlıca kristal kusurları; kristali oluşturan iyonların çaplarının birbirine yakın olduğu durumlarda meydana gelen antisite kusurları, bileşik kristallerinin doğasında bulunan boşluk kusurları, sitokiyometrik kusurlar vb. şeklinde sıralanabilir. XRD deseninde keskin pikler kristal yapının iyi bir göstergesidir. Piklerin keskin olmaması ise materyal içinde yabancı atomların olduğunu ya da kristal kusurlarının olduğunu gösterir (Aybek, 1989). Çalışmada en keskin piklerin Cam/FTO/CdS grafiklerinde olduğu görülmektedir. Bu iyi bir kristal yapının ve kusurun en az olduğu durumun bir göstergesidir. C(111) piki göz önüne alınarak yapılan Tablo 4.3'te görülen dislokasyon yoğunluğu değeri ($1,59 \times 10^{15}$ çizgi/m²) bu bilgiyi desteklemektedir. Az sayıda ve belirgin pikleriyle Cam/FTO/CdS ile hemen hemen aynı büyüklükteki ($1,60 \times 10^{15}$ çizgi/m²) dislokasyon yoğunluğuyla p-Si/CdS filmi en az kusurludur. Ancak şunu da eklemek gerekir ki tüm pikler göz önüne alınarak minimum ve maksimum dislokasyon yoğunluklarına bakıldığında en az kusurlu film Cam/FTO/CdS filmidir. Cam/CdS filmi en

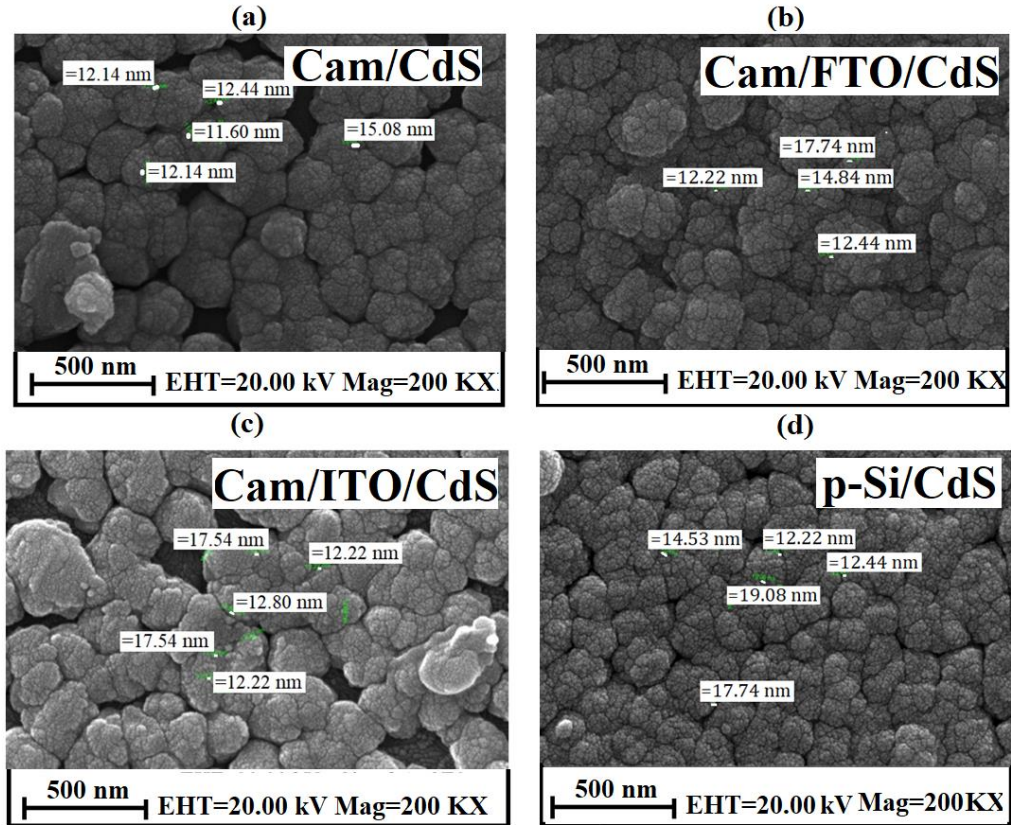
fazla kusura sahip olarak görülmektedir. Bu sonuç yaptığımız çalışmada filmlerimizi kendi arasında kıyaslamamızın sonucudur. Literatürle karşılaştırıldığında en kusurlu görünen Cam/CdS filminin bile çok mükemmel sonuçlar verdiğini dislokasyon yoğunluğunun oldukça düşük olduğunu rahatlıkla söyleyebiliriz.

4.2.1.2. 1. Grup Filmlerin SEM ile İncelenmesi ve EDS Analizi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri 1. grup filmlerin CdS kristallerinin açıklanmasında bize yardımcı olur. 1. grup CdS filmleri yüzeye homojen olarak dağılmıştır. Şekil 4.6. (a)-(d) ve Şekil 4.7. (a)-(d) CdS yarıiletken ince filmlerin 50.00 KX ve 200.00 KX büyütmede SEM görüntülerini göstermektedir. Bu filmler; Kim, M., Kim, C. ve Sohn (2018), Choubey ve arkadaşları (2016) ve Ikhmayies (2012)'in çalışmalarıyla uyumlu olarak küreye benzeyen tanecikli yapılardan oluşmaktadır. Bu görünümle yarıiletken ince film çalışmalarında sıklıkla karşılaşılır. Laboratuvarımızda CdS yarıiletken filmleriyle ilgili yapılan çalışmalarda (Şahan, 2016; Alpdoğan, 2019) SEM görüntüleri ile filmin yüzeye homojen yayıldığı ve küreye benzer tanecikli yapıda olduğu bulunmuştu. Yüzey morfolojisinin pürüzsüzlüğünün oldukça iyi olduğu söylenebilir. Elektriksel özelliklerde ölçülen sonuçlara göre taşıyıcı yoğunluğu miktarının fazla olması ve geçirgenliğin buna nazaran oldukça yüksek olması bu durumu desteklemektedir.

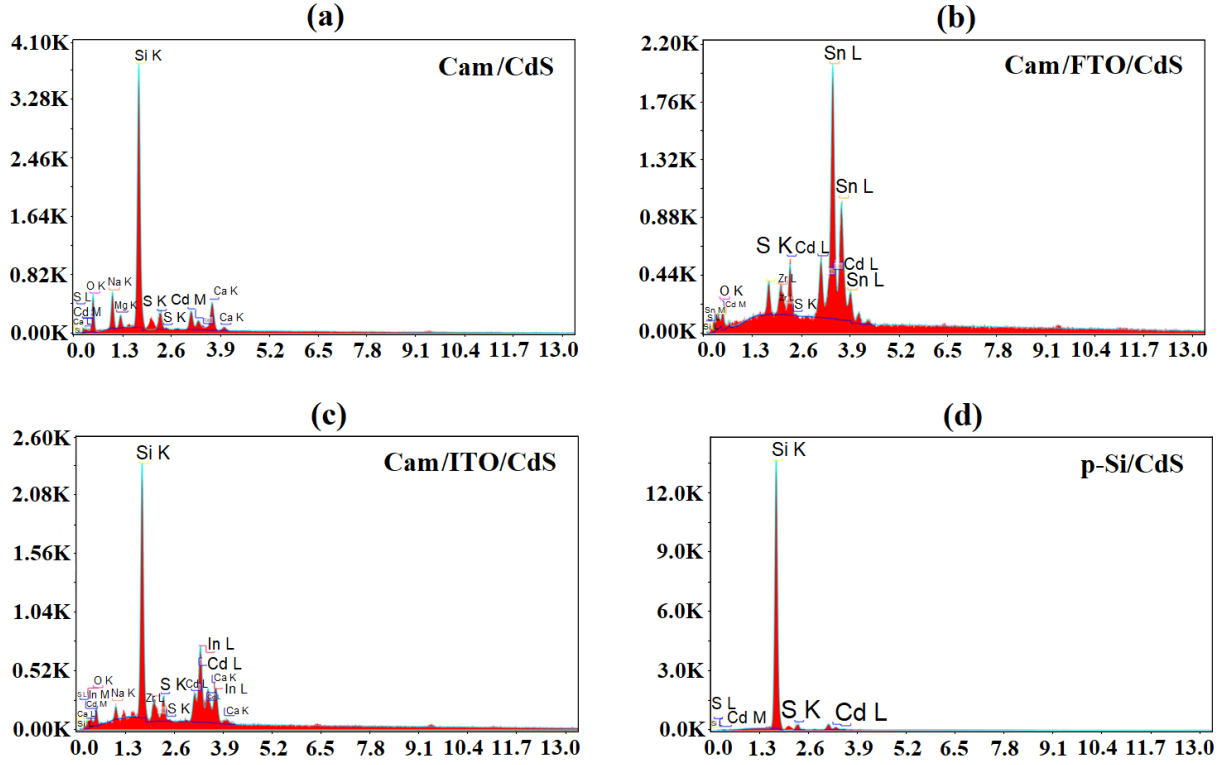


Şekil 4.6. (a)-(d). 1. grup filmlerin 50.00 KX büyütme SEM görüntüsü.



Şekil 4.7. (a)-(d). 1. grup filmlerin 200.00 KX büyütme SEM görüntüsü.

1. grup filmlerin EDS analizleri, element atomları yüzdesine göre Şekil 4.8’de verilmiştir. Cd:S atomik oranları Cam/CdS için 0,51; Cam/ITO/CdS için 0,7; Cam/FTO/CdS için 0,75 ve p Si/CdS için 0,42’dir. Filmin bir enerji dağılımlı spektroskopik (EDS) analizi Cd ve S’ün varlığını doğrular ve Cd’un molar oranı, CdS’ün stokiometriyle eşleşen S’ten biraz daha büyüktür.

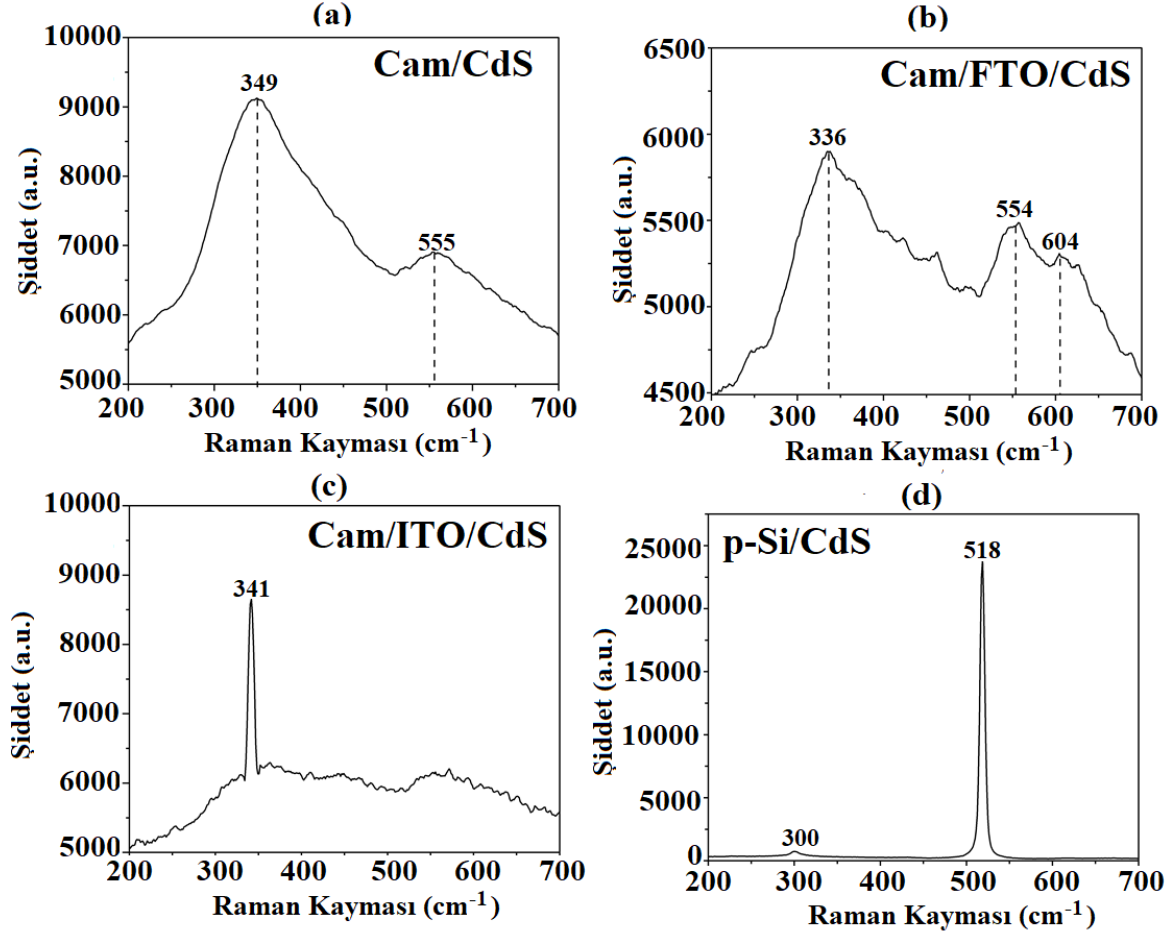


Şekil 4.8. 1. grup filmlerin EDS grafiği.

4.2.1.3. 1. Grup Filmlerin Raman Analizi

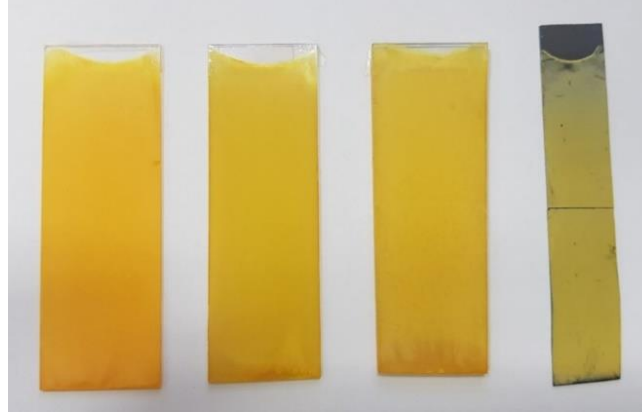
Raman spektroskopisi, malzemelerin titreşimsel ve yapısal özelliklerini belirlemek için kullanılan tahribatsız bir yöntemdir. Raman spektroskopisi, 785 nm dalgaboyunda bir Renishaw inVia Qontor Raman mikroskobu ile CdS filmlerinin Raman spektrumları elde edilmiştir. CBD yöntemiyle elde edilen 1. grup CdS filmlerinin 200-700 cm^{-1} aralığında elde edilen Raman spektrumları Şekil 4.9. (a)-(d)’de gösterilmiştir. Cam/CdS filminde 349 cm^{-1} ve 555 cm^{-1} merkezli iki adet geniş Raman aktif piki görülmektedir. Geniş pikler amorf veya polikristalin yapı ile ilgilidir (Ahmed ve ark. 2016; Senthil ve ark., 2001; Azmi ve ark., 2020) ve XRD analizi ile de filmlerin polikristal yapıda olduğu tespit edilmiştir. Cam/CdS filminde gözlenen pikler CdS’ün çoklu fonon saçılma modları ile ilişkilidir. Cam/CdS filminde 349 cm^{-1} ’de görülen pikin ITO alttabanında 341 cm^{-1} ’e, FTO alttabanında ise 336 cm^{-1} ’e kaydığı görülmektedir. CdS’nin birinci dereceden boyuna optik (1LO) fonon modunun $\sim 300 \text{ cm}^{-1}$ ’de ve ikinci dereceden boyuna optik (2LO) fonon modunun $\sim 600 \text{ cm}^{-1}$ ’de pik verdiği literatürde bildirilmiştir (Orlianges ve ark., 2011; Renve ark., 2006; Saleem ve ark., 2017; Kumar ve ark., 2012), Cam/FTO/CdS filminde farklı olarak 604 cm^{-1} ’de görülen Raman piki CdS’e ait 2LO fonon modu ile

ilişkilidir. p-Si/CdS filminde 300 cm^{-1} 'de görülen Raman piki CdS'e ait 1LO fonon modudur, 518 cm^{-1} 'de görülen pik ise Si kristali titreşimlerine aittir (Narayanan, Kalidindi ve Schadler, 1997; De Wolf, Jian ve van Spengen, 2001; Borowicz ve ark., 2012). CdS'ün Raman spektrumlarında görülen kaymalar, yüzey optik fonon modu etkisi ile ilgilidir (Trajić ve ark, 2015; Gilic ve ark, 2013; Rahman ve ark., 2020).



Şekil 4.9. (a)-(d). 1. grup filmlerin Raman Kayması.

4.2.2. 2. Grup NW Filmlerin Yapısal Özellikleri

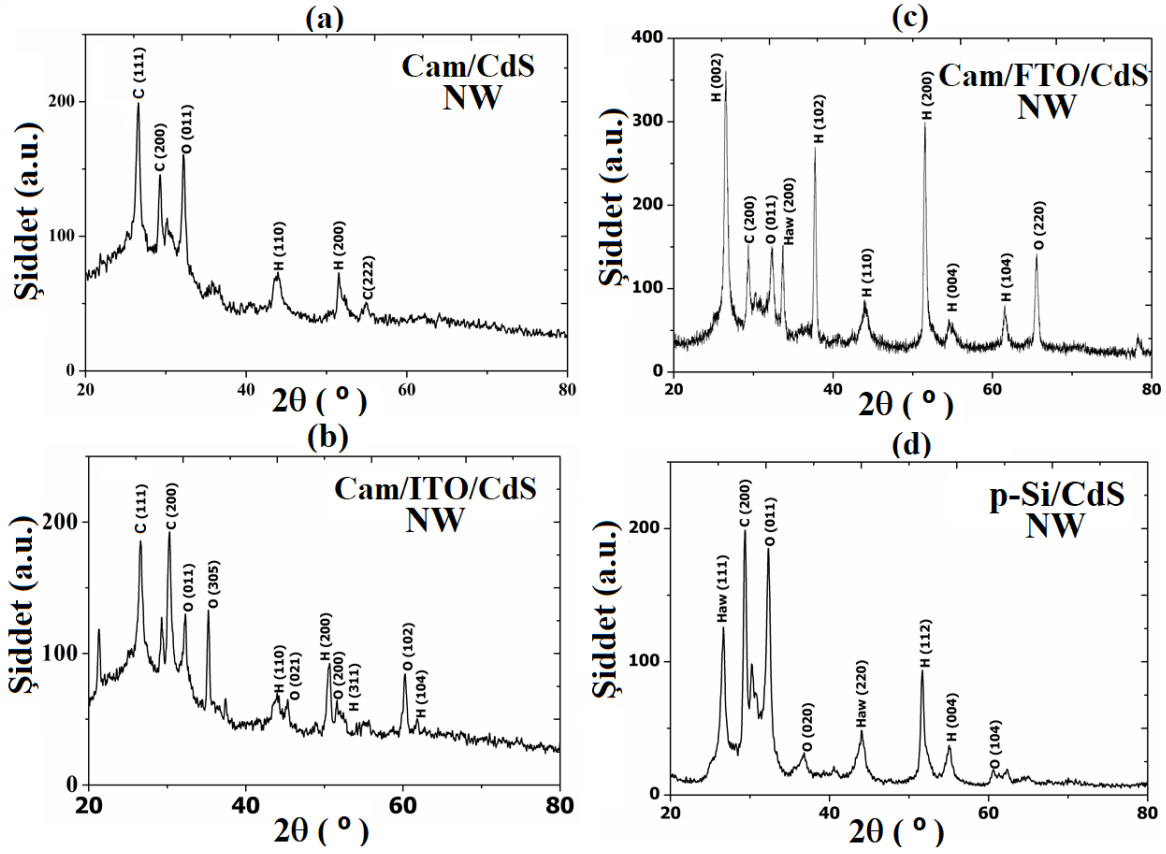


Şekil 4.10. 2. grup NW filmlerin sırasıyla halinde Cam, ITO, FTO ve p-Si üzerine kaplanmış CdS yarıiletken ince filmlerin film kaplı yüzey yönünden görüntüsü.

Şekil 4.10'da 2. grup filmlerin farklı alttabanlara bağlı olarak renkleri görülmektedir.

4.2.2.1. 2. Grup NW Filmlerin XRD Analizi

Yaklaşık 450 nm kalınlıklı, optiksel özellikleri belirlenen 2. grup NW filmlerinin pik atamaları 1. ve 3. grup filmlerde kullanılan PDF kartlar kullanılarak belirlendi. 2. grup NW filmlerin sırasıyla Cam, ITO, FTO ve p-Si üzerine kaplanmış CdS NW ince filmlerin kristal yapısı XRD grafiği Şekil 4.11'da gösterildi. Şekil 4.11'da piklerden görüldüğü gibi 2. grup filmler, 1. grup filmlerden çok daha keskin polikristal bir yapıya sahiptir. 1.gruptaki Cam/CdS filmi neredeyse amorf yapıya sahipken 2. grupta hem kübik hem de hegzagonal yapılar görülmektedir. 2. grubun tamamında kübik yapı görülür ve cam ile ITO alttaban üzerindeki filmin C(111) yapısının şiddeti hemen hemen aynıdır. FTO alttabanında pik şiddeti çok yüksek olmasına rağmen FWHM'leri birbirine yakın değerlere sahiptir. Bu gruptaki NW filmlerin hesaplanan β açısı değerlerine karşılık gelen FWHM, D, δ , N ve ϵ değerleri gibi yapısal özellikleri Tablo 4.4'te verilmiştir. Bu değerler, tüm 2. grup filmlerde ortak olan $2\theta=32,15'$ teki O(011) pikler kullanılarak belirlenmiştir. 2. gruptaki tüm filmlerde kübik, ortorombik ve hegzagonal yapı bulunur iken FTO ve p-Si alttabanında bunlara ek olarak hawleyite yapı da görülmektedir.



Şekil 4.11. 2. grup NW filmlerin XRD grafiği.

Tablo 4.4. 2. grup NW filmlerin FWHM, D, δ , N ve ϵ değerleri.

| | FWHM (rad) | D (nm) | δ (10^{15} çizgi/m ²) | N (10^{18} m ⁻²) | ϵ (10^{-3}) |
|---------------|---------------|-----------|--|------------------------------------|-----------------------------|
| Cam/CdS | 0,0075 | 19,9 | 2,525 | 0,057 | 1,80 |
| Cam/ITO/CdS | 0,0098 | 15,5 | 4,162 | 0,107 | 2,35 |
| Cam/FTO/CdS | 0,0086 | 17,6 | 3,228 | 0,083 | 2,05 |
| p tipi-Si/CdS | 0,0099 | 15,0 | 4,444 | 0,133 | 2,39 |

4.2.2.2. 2. Grup NW Filmlerin SEM ile İncelenmesi ve EDS Analizi

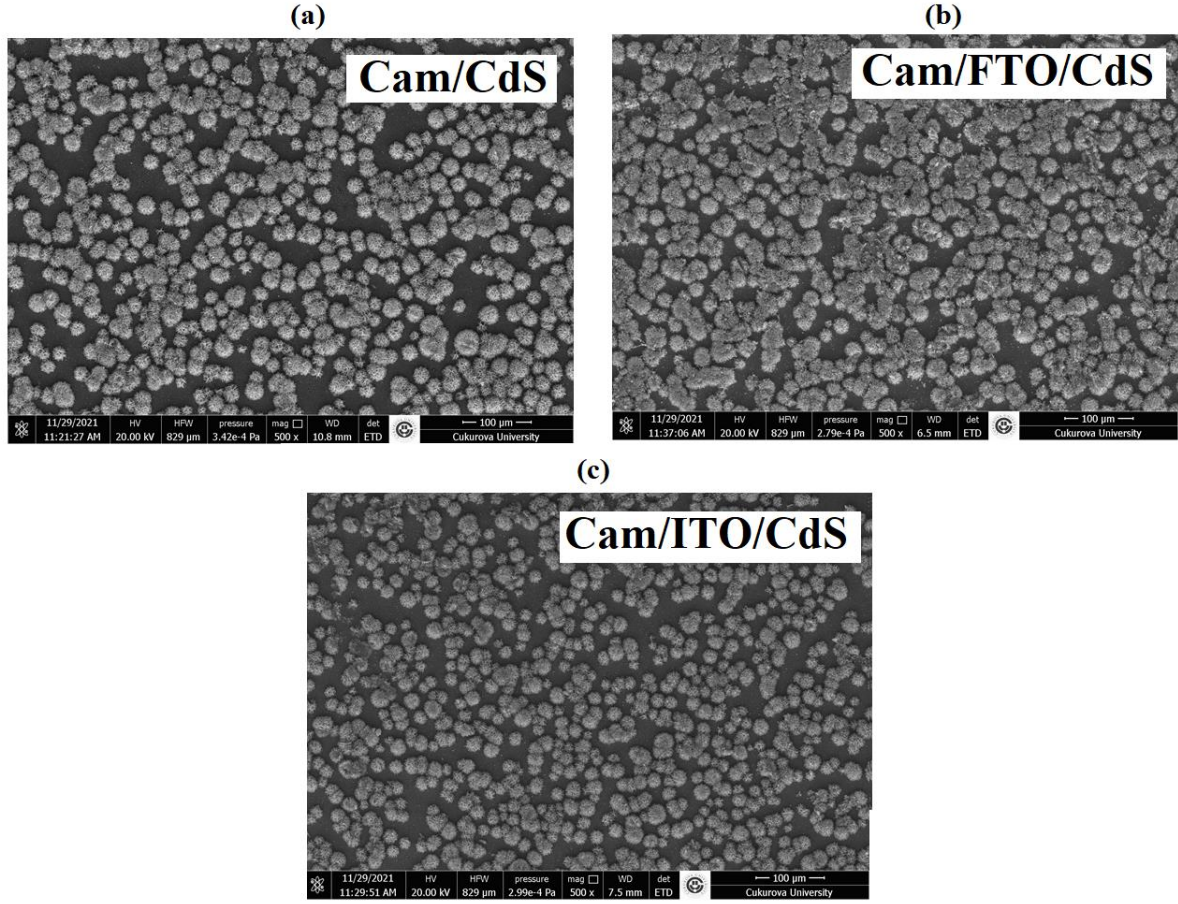
NW yapılar, NW oluşumlarının (Kausar, 2022) bileşimine ve kimyasal yapısına bağlı olarak polimer NWlar (Gong ve ark.,2011), grafen NWlar (Zhang ve ark., 2018) ve karbon NWlar (Ng ve ark., 2003; Park ve ark., 2011; Hiramatsu ve Hori, 2010) dahil olmak üzere hem organik hem de inorganik kimyasal yapılara sahiptir. İnorganik NWlar ayrıca karbon bazlı ve karbon bazlı olmayan nanomalzemelere ayrılabilir. Grafen ve karbon NW yapıları, karbon tabanlı NWları temsil edebilecek örnekler arasındadır. Metal oksit ve metal sülfid bazlı NWlar, karbon bazlı olmayan NWların çoğunluğunu oluşturur. Bu tez çalışmasında elde edilen CdS NW filmler de bilindiği üzere metal sülfid bazlı NWlardır.

Genel olarak, NW yapıları benzersiz bir şekle, geniş yüzey alanına ve iki veya üç boyutlu bir yapıya sahip olabilir. Literatürde NW oluşturmak için öncelikle hangi tekniklerin kullanıldığına odaklanıldığında, kimyasal buhar biriktirme, plazma destekli yaklaşım, mikrodalga bazlı yöntem, çözelti büyütme yöntemi ve hidrotermal yol yöntemleri ön plana çıkmaktadır. Ancak, tüm bu teknikler arasında CBD, nanoduvlar elde etmek için çok daha basit bir tekniktir.

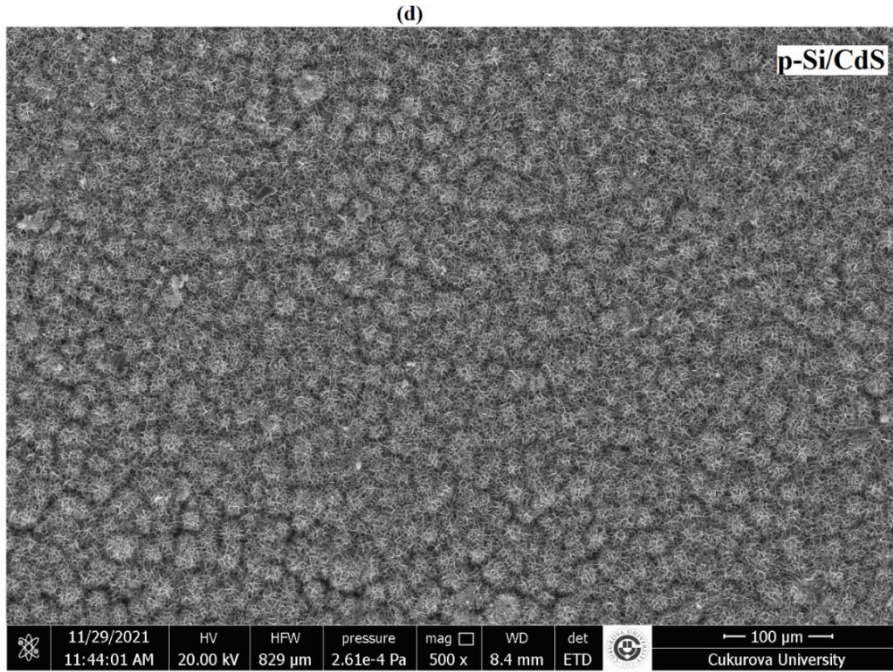
Şekil 4.12.-15., CBD yöntemiyle elde edilen 2. grup Cam/CdS, Cam/ITO/CdS, Cam/FTO/CdS ve p-Si/CdS filmlerin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntülerini gösterir. 2. grup CdS filmleri, SEM görüntülerinde gösterildiği gibi NW yapısı olarak oluşmuştur.

Şekil 4.12. (a)-(d)'de filmlerin düşük boyuttaki görüntüsü incelendiğinde, Şekil 4.12.(a)-(c)'deki Cam/CdS, Cam/ITO/CdS, Cam/FTO/CdS film yüzeyi gözenekli iken Şekil 4.12.(d) p-Si/CdS alttabanın üzeri çok iyi kaplı, düzgün ve birbirine bağlı NW ağlardan oluşmuştur. Ayrıca, bu nanoduvlar alttabaka üzerinde herhangi bir boşluk, iğne deliği, çatlak veya aşırı büyüme olmaksızın alttabakaya iyi kaplanmışır. Dahası, CdS ince filmlerinin birbirine bağlı nanoduvları nanoağ benzeri yapıyı doğrulamaktadır. Şekil 4.13. (a)-(d) 5.000 büyütmesi incelendiğinde, çiçek benzeri nanoduvlar görülmektedir. Bu görüntüler keskin kenarlı ince CdS nanoduvları sergiliyor. Şekil 4.14. (a)-(d) 25.000 boyuttaki görüntüsü incelendiğinde, nano kanalları oluşturan birbirleriyle bağlantılı CdS NWları görülmektedir. Açıkçası bu büyütmeyle de NW ağının birbirine bağlı olduğunu göstermektedir. Şekil 4.14. (a)-(d) içine yerleştirilen 50.000 büyütmedeki görüntüler incelendiğinde cam, FTO, ITO ve p-Si alttabanlar üzerinde oluşturulan CdS NWların kalınlığının sırasıyla ~150, 125, 100 ve 50 nm olduğu bulundu. Daha önceki çalışmalarda CdS NWların ~70 nm kalınlığa sahip olduğu rapor edilmiştir (Vanalakar ve ark., 2014).

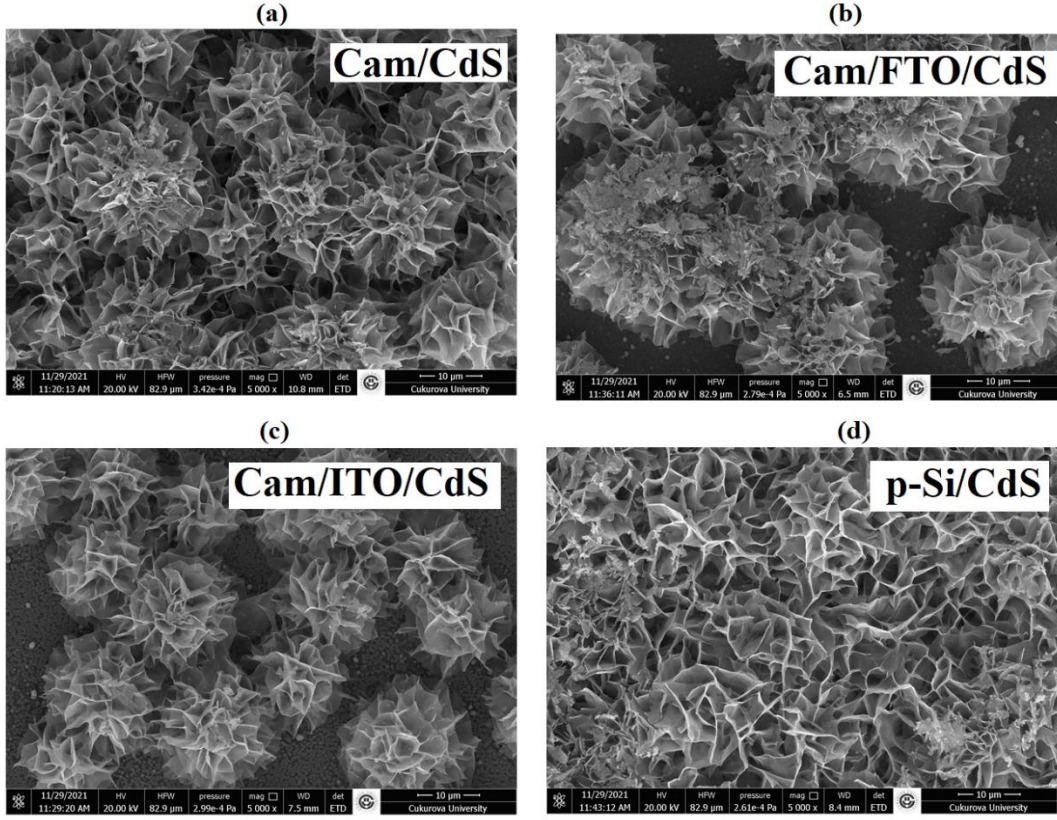
Bu filmlerin 1. gruptaki yapıdan farklı olmasının sebebi alttaban malzemeleri değildir. Farklılığın sebebi depolama sıcaklığından ziyade esas olarak kimyasal depolamada banyo çözeltisinde kullanılan hidrazin molaritesinin farklı olmasının yanısıra aynı molaritede fakat farklı hacimlerde kadmiyum sülfat, tiyoüre ve amonyak çözeltileri kullanılmasıdır. Böylece her iki çözeltide kullanılan tüm maddelerin miktarları birbirinden farklı olmuştur. Elbette banyo çözeltisinde kullanılan ultra saf su miktarı da sonucu etkileyen koşullar arasındadır.



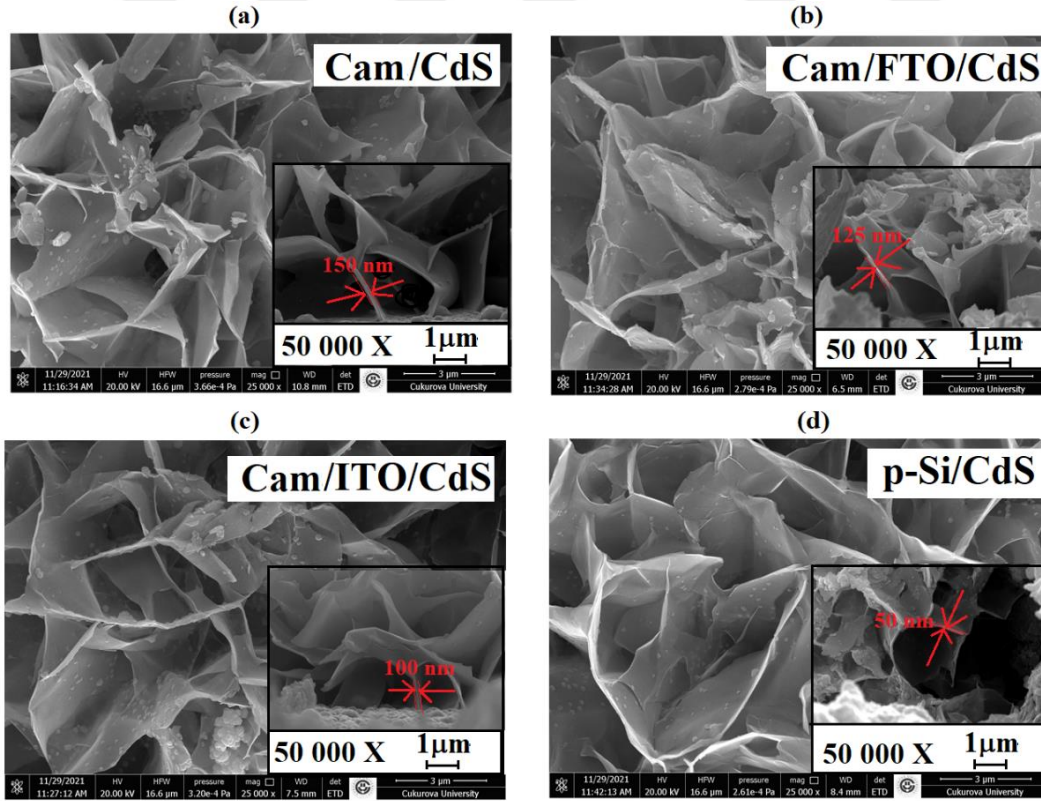
Şekil 4.12. (a)-(c). 2. grup sırasıyla Cam, ITO ve FTO üzerine kaplanmış CdS NW filmlerin 500 büyütme SEM görüntüsü.



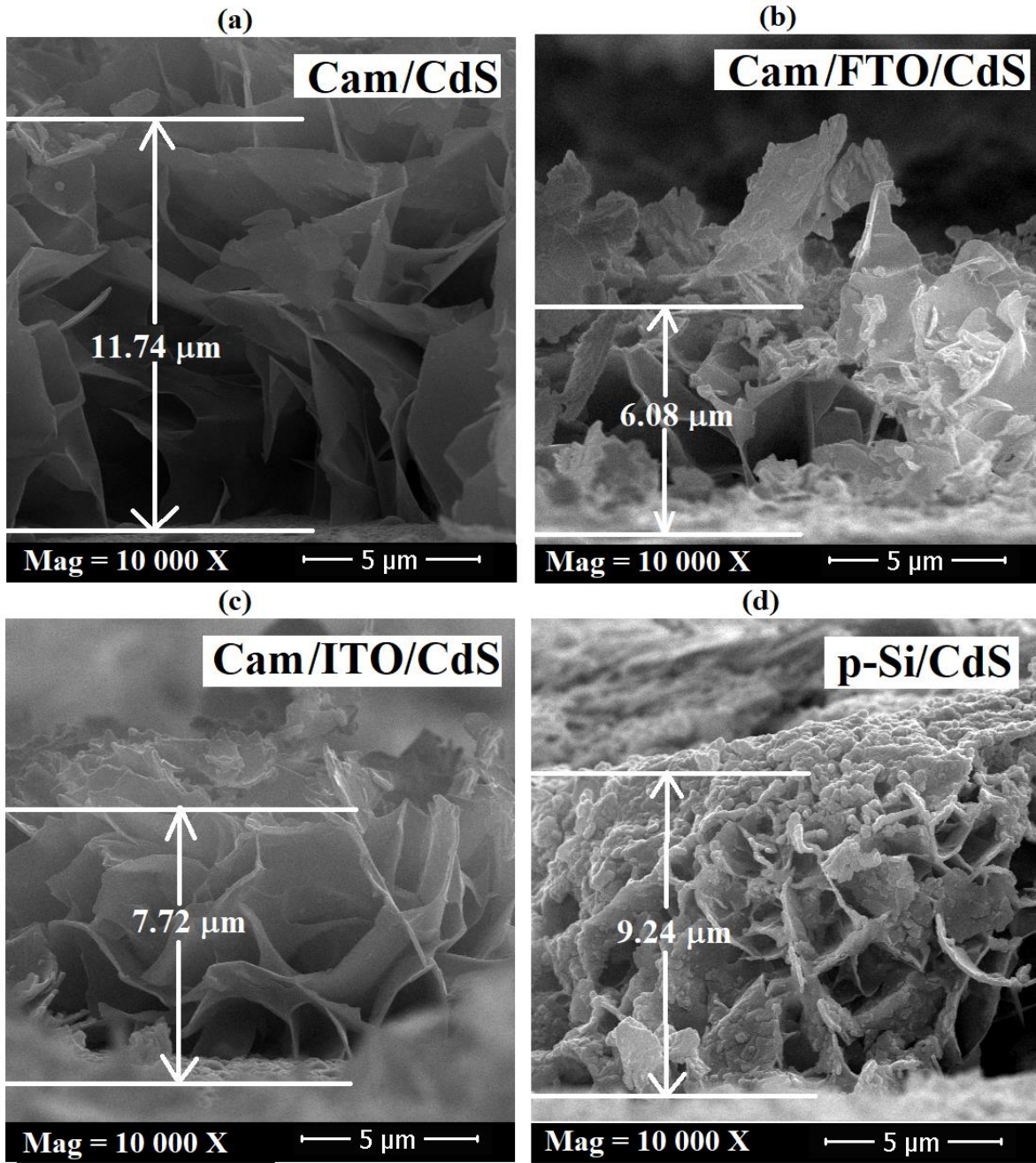
Şekil 4.12. (d). 2. grup p-Si üzerine kaplanmış CdS NW filminin 500 büyütme SEM görüntüsü.



Şekil 4.13. (a)-(d). 2. grup NW filmlerin 5.000 büyütme SEM görüntüsü.

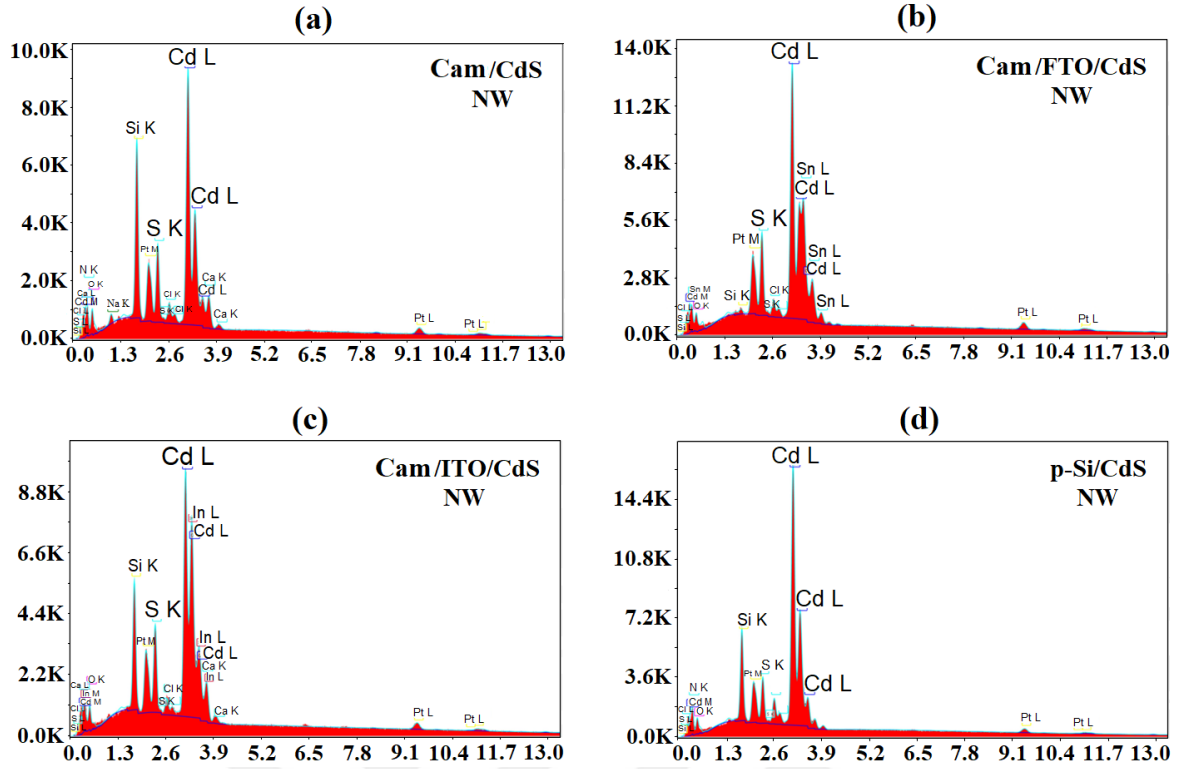


Şekil 4.14. (a)-(d). 2. grup NW filmlerin 25.000 büyütme SEM görüntüsü.



Şekil 4.15. (a)-(d). 2. grup NW filmlerin 10.000 büyütmede enine kesit yüzeylerinin SEM görüntüsü.

Şekil 4.15. (a)-(d) 10.000 X büyütmede 2. grup NW CdS filmlerinin enine kesit SEM görüntülerini göstermektedir. Kesit görüntülerine karşılık gelen NWların uzunlukları sırasıyla 11,74; 6,08; 772 ve 9,24 μm olduğu görülmektedir. Benzer uzunluklar Dhawale ve arkadaşları (2010)'nın çalışmasında belirtilmiştir. Bu tez çalışmasından farklı olarak, SEM görüntüsünde düz NW yapılı olarak görülen, altın üzerine büyütülen CdS'nin tabanda bulunan altın ile birlikte yüksekliği 557 nm'dir (Ilango ve Ramasesha, 2018).

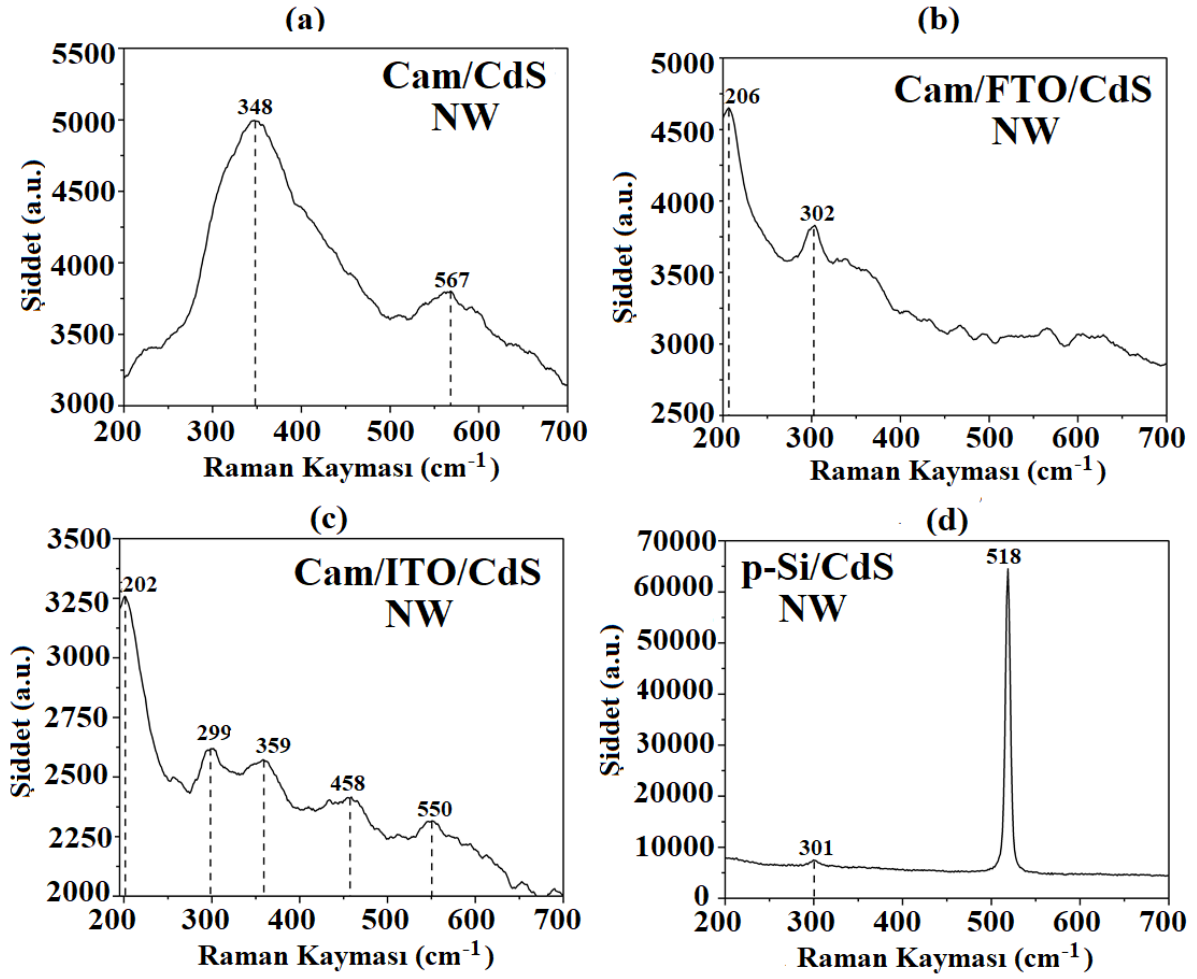


Şekil 4.16. 2. grup NW filmlerin EDS grafiği.

2. grup filmlerin EDS analizleri, element atomları yüzdesine göre Şekil 4.16.'da verilmiştir. Cd:S atomik oranları NW Cam/CdS için 2,44.; NW Cam/ITO/CdS için 1,99; NW Cam/FTO/CdS için 2,27 ve p Si/CdS için 4,37'dir.

4.2.2.3. 2. Grup NW Filmlerin Raman Analizi

2. grup Cam/CdS, Cam/ITO/CdS, Cam/FTO/CdS ve p-Si/CdS filmlerinin 200-700 cm^{-1} aralığında elde edilen Raman spektrumları Şekil 4.17.(a)-(d)'de gösterilmiştir. Cam/CdS filminde 348 cm^{-1} ve 567 cm^{-1} merkezli iki adet geniş Raman aktif piki görülmektedir. Bu pikler CdS'e ait çoklu fonon saçılma modları ile ilişkilidir. Cam/CdS filminde 348 cm^{-1} ve 567 cm^{-1} 'de görülen piklerin ITO alttabanı kullanıldığında 359 cm^{-1} ve 550 cm^{-1} 'e kaydığı görülmektedir. Cam/ITO/CdS, Cam/FTO/CdS ve p-Si/CdS filmlerinde sırasıyla 302 cm^{-1} , 299 cm^{-1} ve 301 cm^{-1} merkezli Raman pikleri CdS'ün 1LO fonon moduna aittir. Cam/ITO/CdS ve Cam/FTO/CdS filmlerinde 206 cm^{-1} ve 202 cm^{-1} 'de görülen pikler B_2 simetrisi ile ilişkili fonon modlarıdır. Cam/ITO/CdS filminde 458 cm^{-1} merkezli görülen Raman piki CdS'ye ait 2TO fonon modu ile ilişkilidir. p-Si/CdS filminde 518 cm^{-1} 'de görülen pik ise Si kristaline aittir.



Şekil 4.17. (a)-(d). 2. grup NW filmlerin Raman Kayması.

4.2.3. 3. Grup NW Filmlerin Yapısal Özellikleri



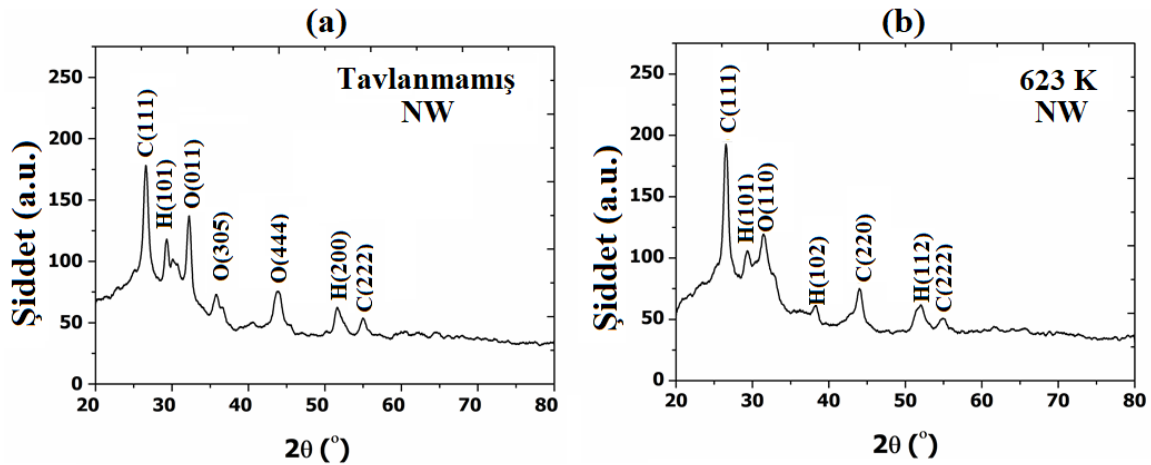
Şekil 4.18. 3. grup NW yarıiletken ince filmlerin a) Film kaplı yönünden b) Cam yüzey yönünden görüntüsü.

Şekil 4.18. a) ve b)'de görülen tavllanmış filmin rengi turuncuya kaçan koyu sarı, tavllanmış filmin rengiyse turuncudur.

4.2.3.1. 3. Grup NW Filmlerin XRD Analizi

3. grup NW filmlerinin 400 nm kalınlıklı, optiksel özellikleri belirlenen pik atamaları yapısal özelliklerde belirtilen PDF kartları kullanılarak belirlendi. Şekil 4.19. (a)-(b) 3. grup NW Cam/CdS filmlerin tavlınmamış ve 623 K'de azot ortamında tavlınmış NW filmlerinin X-ışını kırınım desenlerini göstermektedir. CdS filmlerinin XRD kırınım desenleri incelendiği zaman tavlınmamış ve 623 K'de tavlınmış filmlerin desenlerinin çok fazla değişmediği gözlemlenmiştir. Kübik (C) (PDF Kart No: 01-089-0440, 01-080-4441), altıgen (H) (PDF Kart No: 01-077-2306, 01-074-9664, 01-074-9665) atamaları), ortorombik (O) (PDF Kart No: 01-082-4658, 00-047-1179) standart JPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) kartları kullanılarak oluşturulmuştur. Gözlenen "d" ve "2θ" değerleri ile kartlardaki değerler karşılaştırılarak düzlem indeksleri elde edildi. Tavlınmamış ve tavlınmış CdS NW filmleri, altıgen, ortorombik ve kübik karışık fazları gösterir. Şekil 4.19.(a) ve (b)'de gösterilen XRD grafiklerine göre 2θ açılarına karşılık gelen her pik değeri karşılaştırılmış ve C(111)-C(111), H(101)-H(101) ve C(222)-C(222)'de kübik ve altıgen yapıların korunduğu bulunmuştur. Ancak O(011)-O(110), O(305)-H(102), O(444)-C(220) ve H(200)-H(112) piklerinin tümü faz geçişleri gösterdi.

1. gruptaki Cam/CdS filmi neredeyse amorf yapıya sahipken 2. grupta hem kübik hem de hegzagonal, 3. grup filmlerde ise hem tavlınmış hem de tavlınmamış yapılarda kübik, hegzagonal ve ortorombik yapılar görülmektedir. 3. gruptaki NW filmlerin $2\theta=26,60^\circ$ deki C(111) yapısına karşılık gelen yarı maksimum genişlik (FWHM) kullanılarak tanecik büyüklüğü (D), dislokasyon yoğunluğu (δ), birim yüzeye düşen kristal sayısı (N) ve gerilim (ϵ) değerleri yukarıda belirtilen denklemlerle hesaplanarak Tablo 4.5'te verilmiştir. Tablo incelendiğinde tavlama ile birlikte tanecik boyutunun arttığı dolayısıyla dislokasyon yoğunluğu, birim yüzey alanındaki kristallerin sayısı ve gerilimin azaldığı bulunmuştur. Bu da bize NW CdS filmlerinin kristalleşmesinin daha iyi olduğunu göstermektedir. CBD yönteminde farklı kadmiyum kaynakları ve banyo sıcaklıkları, fazı ve tanecik büyüklüğünü etkilemektedir (Khallaf ve ark., 2008).



Şekil 4.19. 3. grup tavlınmamış ve 623 K'de azot ortamında tavlınmış NW filmlerin XRD grafiği.

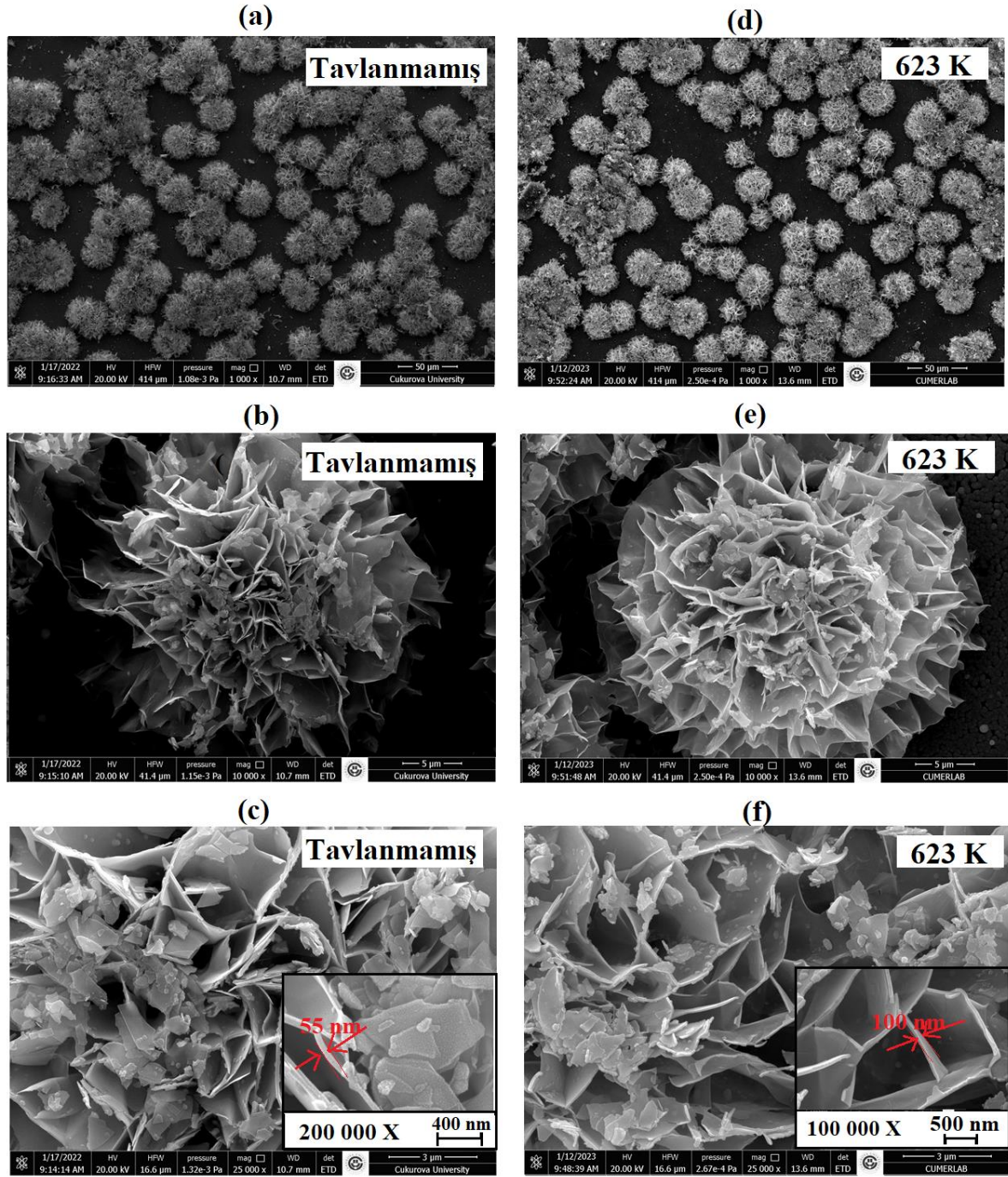
Debye-Scherrer formülünü kullanarak (Denklem 4.1) kübik faz için (111) pikinin FWHM'sinde CdS nanoduvarlarının kristalit boyutu belirlendi. CdS nanoduvarları için bulunan kristal boyutu kullanılarak, dislokasyon yoğunlukları δ , N ($d = 400$ nm), ve ε belirlenerek tavlammış ve azot ortamında 623 K'de tavlammış CdS NW filmleri için Tablo 4.5'te verilmiştir. $2\theta = 26.60^\circ$ 'deki C(111) piki baz alınarak hesaplanan tablodaki verilere göre tavlama ile $2\theta/\text{FWHM}$ 'nin azaldığı, tanecik boyutunun arttığı, birim alandaki kristal sayısının, dislokasyon yoğunluğunun ve gerilimin azaldığı gözlemlendi (Khallaf ve ark., 2008). CdS filminin nanoparçacık boyutu XRD verilerine göre C(111) için 16,56 nm iken, CdS filminin nanoparçacık boyutu 15,15 nm'dir ve bu sonuçlar CdS'ün hesaplanan kristalit boyutunun 20 nm olarak bulunduğu (111) düzlemi için (Vanalakar ve ark., 2014) literatür ile uyumludur. Yüksek sıcaklıkta tavlama, ince film biriktirme sırasında oluşan kusurları ortadan kaldırmak ve kristal kalitesini iyileştirmek için araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılan bir tekniktir (Can, Havare ve Akan, 2021; Tabrizi ve ark., 2019). Tavlama sırasında yüksek sıcaklıklara maruz bırakma, filmdeki su moleküllerini uzaklaştırır (FT-IR analizi ile desteklenir). Ek olarak, küçük kristaller ısıyı emer ve daha büyük kristaller oluşturmak için birleşir ve yeniden kristalleşir. Bu nedenle, FWHM azaldıkça kristal boyutu (D) artar (Can, Havare ve Akan, 2021; Metin ve ark., 2010).

Tablo 4.5. 3. grup NW filmlerin FWHM, D, δ , N ve ε değerleri.

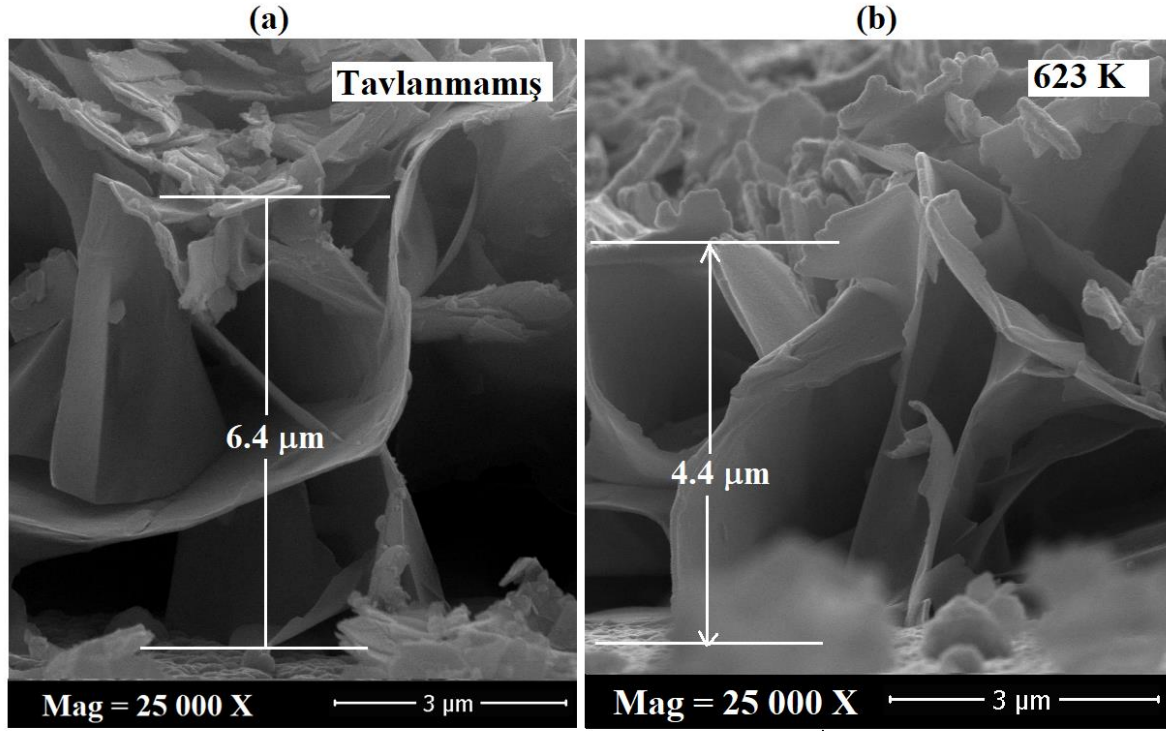
| | FWHM (rad) | D (nm) | δ (10^{15} çizgi/m²) | N (10^{18} m⁻²) | ε (10^{-3}) |
|---------|-----------------------------|-------------------------|---|--|--|
| Cam/CdS | 0,0094 | 15,70 | 4,05 | 0,10 | 2,29 |
| 623 K | 0,0086 | 17,60 | 3,23 | 0,073 | 2,08 |

4.2.3.2. 3. Grup NW Filmlerin SEM ile İncelenmesi ve EDS Analizi

Şekil 4.20. (a)-(f) CBD yöntemiyle elde edilen 3. grup NW Cam/CdS tavlammamış ve 623 K'de azot ortamında tavlammış filmlerin farklı büyütmelelerdeki SEM görüntülerini gösterir. Tavlammamış filmin özellikleri 2. gruptaki Cam/CdS NW filminin hemen hemen bütün özelliklerini sergilerken tavlama ile yapının özelliklerinde (NW kalınlığında azalma gibi) meydana gelen değişim Şekil 4.20. (d)-(f)'de belirgin olarak görülmektedir. Şekil 4.20. (c)'de tavlammamış film içine yerleştirilen sağ alt köşedeki şekil incelendiğinde bu duvarların yaklaşık olarak 55 nm kalınlığa sahip olduğu, Şekil 4.20. (f)'de tavlammış filmde ise yaklaşık olarak 100 nm kalınlığa sahip olduğu bulundu.



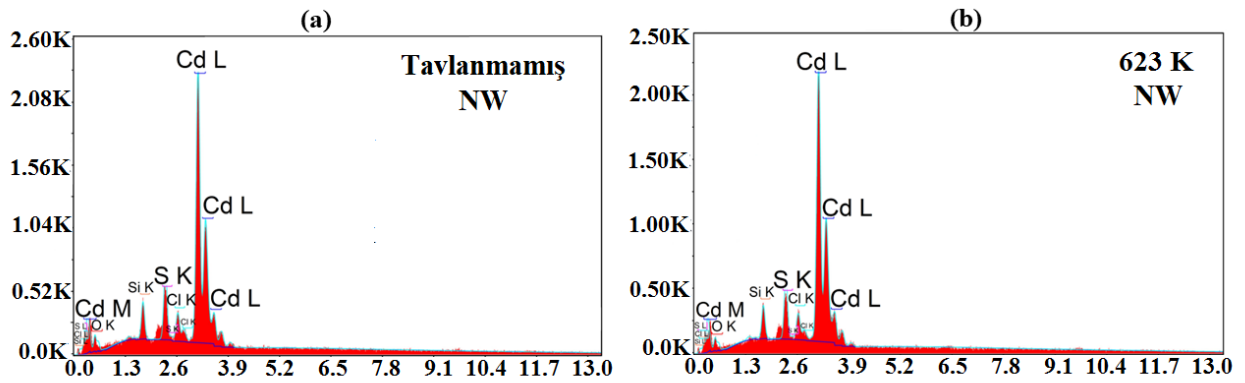
Şekil 4.20. (a)-(c). Tavlansmamış ve (d)-(e) 623 K'de tavlansmış 3. grup NW filmlerin sırasıyla 1.000, 10.000 ve 25.000 büyütmede SEM görüntüsü. 200.000 ve 100.000 büyütmede görüntüler sırasıyla (c) ve (f)'de ek olarak verilmiştir.



Şekil 4.21. 25.000 büyütmede, 3. grup (a) tavlansız ve (b) 623 K’de tavlansız NW filmlerin enine kesit yüzeylerinin SEM görüntüsü.

Şekil 4.21, 25.000 X büyütmede CdS NWlarının (a) tavlansız ve (b) 623 K’de tavlansız enine kesit yüzeylerinin SEM görüntülerini göstermektedir. Kesit görüntülerine karşılık gelen, tavlansız ve tavlansız NWların uzunlukları sırasıyla 6,4 μm ve 4,4 μm olduğu görülmektedir. Önceki çalışmalarda benzer uzunluklar bildirilmiştir (Dhawale ve ark., 2010).

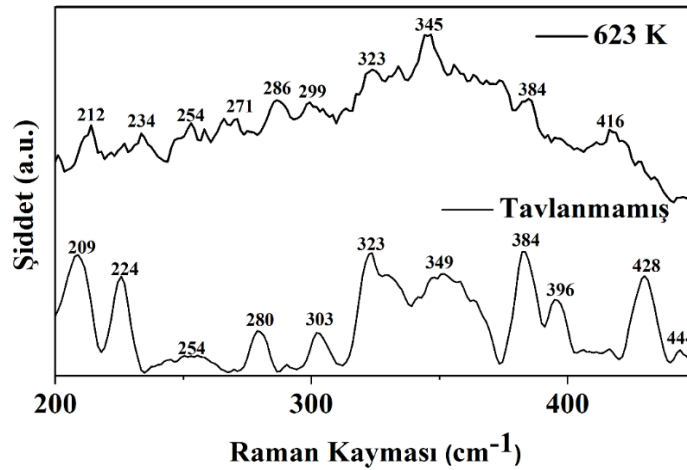
EDS analizlerine göre element atomları oranları Şekil 4.22’de gösterilmiştir. NW Cam/CdS filminde Cd:S oranı 2,95 ve tavlansız NW Cam/CdS filminde bu oran 3,44’tür.



Şekil 4.22. 3. grup tavlansız ve 623 K’de tavlansız NW filmlerin EDS grafiği.

4.2.3.3. 3. Grup NW Filmlerin Raman Analizi

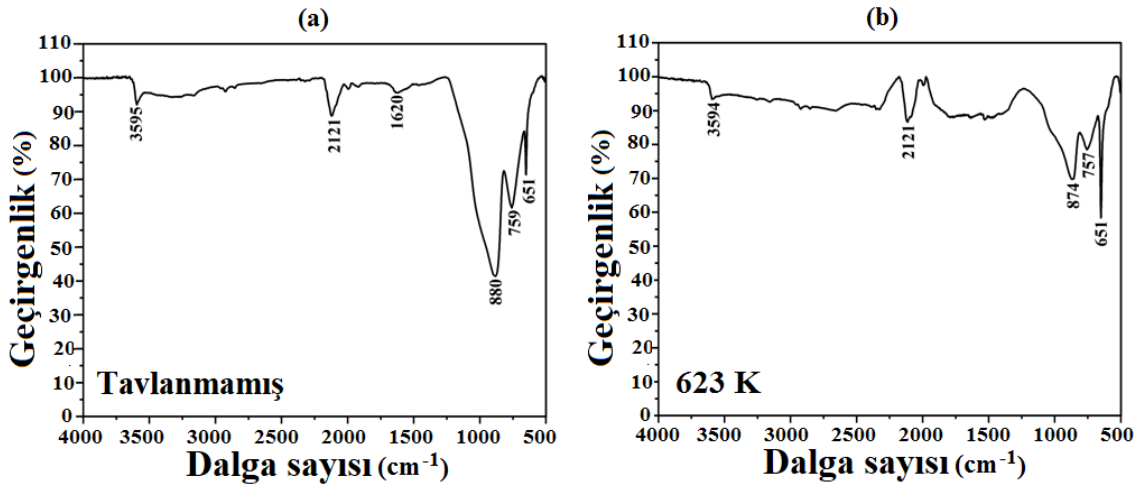
3. grup Cam/CdS NW ince filmlerinin Raman spektrumu Şekil 4.23'te gösterilmektedir. Piklerin spektrumda geniş olduğu görüldü. Amorf veya polikristal malzemeler için geniş pikler gözlemlenebilir (Dhawale ve ark., 2010; Azmi, Chelvanathan ve Yusoff, 2020). XRD analizi ile tavllanmış ve tavlınmamış filmlerin polikristal yapıda olduğu tanımlandı. Tavlınmamış CdS ince filmin spektrumu 209, 224, 254, 280, 303, 323, 349, 384, 396, 428 ve 444 cm^{-1} civarında pikler sergiler. 280 cm^{-1} (Ballipinar ve Rastogi, 2017; Ahmed ve ark., 2016) ve 303 cm^{-1} (Isik ve ark., 2018; Chun ve ark., 2011)'daki Raman pikleri, CdS'ün A_1 boyuna optik fonon (LO) modlarına karşılık gelir. Pikler, 209 cm^{-1} 'de B_2 fonon kipi (Isik ve ark., 2018; Guo ve ark., 2017; Trajić ve ark., 2015), 224 cm^{-1} 'de A_1 fonon kipi (Orlianges ve ark.,2011), 254 cm^{-1} 'de E_2 simetri kipi (Trajić ve ark., 2015; Gilic ve ark., 2013) ile ilişkilidir. 428 cm^{-1} dışındaki diğer pikler, CdS'nin çoklu fonon saçılma kipleridir (Ahmed ve ark., 2016; Saleem ve ark. 2017). 428 cm^{-1} 'deki Raman piki, CdO fonon kipine atfedilir (Ballipinar ve Rastogi, 2017). Tavllanmış Cam/CdS NW ince filmin spektrumu 212, 234, 254, 271, 286, 299, 323, 345, 384, 416 cm^{-1} civarında titreşimler sergiler. CdS'ün A_1 boyuna optik fonon (LO) kipleri, tavllanmış filmde 286 cm^{-1} ve 299 cm^{-1} 'de görülmektedir. Tavlınmamış CdS ince filminde görülen fonon kipleri, tavllanmış CdS ince filminde 209 cm^{-1} 'den 212 cm^{-1} 'e, 280 cm^{-1} 'den 286 cm^{-1} 'e, 303 cm^{-1} 'den 299 cm^{-1} 'e, 349 cm^{-1} 'den 345 cm^{-1} 'e kaymıştır. Raman spektrumundaki kaymalar, boyut ya da yüzey optik fonon (SOP) kipi etkisine atfedilir. Parçacıkların içindeki uyarıcı lazer ışığının dalgaboyundan daha küçük parçacık boyutları için yüzey fonon kipleri gözlemlenir (Trajić ve ark., 2015; Gilic ve ark., 2013; Saxena ve ark., 2018; Ren, Lei ve Luan, 2006). 234 cm^{-1} 'deki Raman kayması, CdS'nin enine optik (TO) A_1 (Isik ve ark., 2018; Gilic ve ark., 2013) ve E_1 fonon kiplerine (Orlianges ve ark., 2011) karşılık gelir. 271 cm^{-1} 've 416 cm^{-1} dışındaki diğer kaymalar, tavlınmamış ve tavllanmış filmlerde aynıdır. 271 cm^{-1} 'deki Raman kayması TO kipiyle ve 416 cm^{-1} 'deki Raman kayması ise çoklu fonon saçılma kipiyle ilgilidir (Saleem ve ark. 2017).



Şekil 4.23. 3. grup tavlınmamış ve 623 K'de tavllanmış NW filmin Raman Kayması.

4.2.3.4. 3. Grup NW Filmlerin FT-IR Analizi

Şekil 4.24, tavlınmamış ve tavlınmış CdS filmlerinin FT-IR spektrumlarını göstermektedir. Tavlınmamış CdS film spektrumunda altı pik noktası ve tavlınmış CdS film spektrumunda beş pik noktası gözlenmiştir. 3595(4) cm^{-1} 'deki pik, molekül içi hidrojen bağları nedeniyle OH^- band germe titreşimleri ile ilişkilidir (Dolai ve ark., 2019). 2121 cm^{-1} 'deki pik, tiyoürenin hidrolizi sırasında oluşan izotiyosiyana (-NCS) aittir (Kavil, Alshahrie ve Periyat, 2018). 1620 cm^{-1} 'deki pik, tavlınmamış CdS filmde görülür, tavlama ile kaybolur ve 880 cm^{-1} 'deki pik yoğunluğu tavlama ile azalır (874 cm^{-1}). Bu pikler, düzlem dışı H_2O moleküllerinin bükülme titreşimleri ile ilişkilidir (Kavil, Alshahrie ve Periyat, 2018; Rathinamala, Jeyakumaran ve Prithivikumaran, 2019). Son olarak, 759 (757) cm^{-1} ve 651 cm^{-1} 'deki pikler Cd-S germe titreşimlerine atfedilir (Kavil, Alshahrie ve Periyat, 2018; Rathinamala, Jeyakumaran ve Prithivikumaran, 2019).



Şekil 4.24. 3. grup (a) tavlınmamış ve (b) 623 K'de tavlınmış NW filmin FT-IR spektrumları.

4.3. CdS Filmlerin Elektriksel Özellikleri

CdS ince filmlerin elektriksel karakterizasyonu için iki hayati parametre olan hareketlilik ve iletkenlik sonuçlarının güneş hücrelerinin performansı üzerinde etkisi vardır. Bunlar, yük taşıyıcı taşınmasını, doldurma faktörünü, verimliliği, temas direncini ve film tekdüzeliğini etkilerler. CdS ince filmlerin hareketliliğini ve iletkenliğini optimize ederek güneş hücreleri, gelişmiş güç dönüştürme verimliliği, güvenilir çalışma ve gelişmiş genel performans elde edebilir. CdS ince filmlerin hareketlilik ve iletkenlik özellikleri, güneş hücrelerinin uzun vadeli kararlılığını ve dayanıklılığını etkileyebilir. CdS ince filmlerinin özelliklerini optimize ederek, güneş hücreleri gelişmiş kararlılık ve uzun ömür sergileyebilir. CdS filmlerinin elektriksel özellikleri, Van der Pauw geometrisine sahip bir Hall etkisi ölçüm düzeneği kullanılarak oda sıcaklığında araştırılır. Deneysel prosedürler aşağıdadır: İndiyum metali, kare şeklindeki CdS filmlerin dört köşesine takılan omik kontaklar kullanılarak lehimlenir. Manyetik alanın büyüklüğü ve tipik akım taşıma değerleri sırasıyla 0,54 Tesla ve 1 mA idi. CdS

filmlerinin Hall ölçümleri, sonuçların belirli bir güvenilirliğini sağlamak için tekrar tekrar gerçekleştirilir. Tüm filmler, n-tipi yarı iletkenlerdir.

4.3.1. 1. Grup İnce Filmlerin Elektriksel Özellikleri

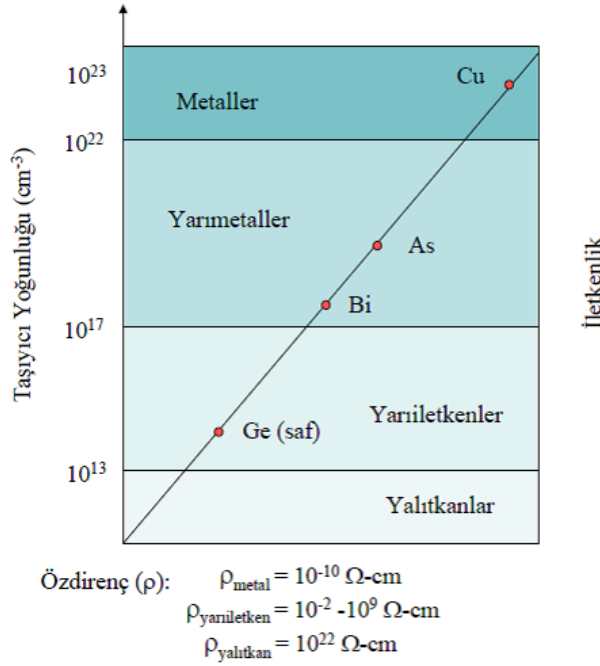
1. grup ince filmlerinin taşıyıcı konsantrasyonu, mobilitesi, özdirenci ve taşıyıcı tipi gibi elektriksel özellikleri oda sıcaklığında Hall ölçüm sistemi kullanarak belirlendi. Hall ölçümlerinde güvenilir sonuçlar elde etmek için her bir numune ölçümü birkaç kez tekrar edildi. Yapılan ölçümler sonucunda oda sıcaklığında Hall katsayısının negatif değerine yani negatif yük taşıyıcılarına karşılık gelen filmlerin tamamının n-tipi iletkenliğe sahip olduğu bulundu.

Tablo 4.6, 1. grup farklı alttabanlarda depolanan CdS filmlerinin, taşıyıcı konsantrasyonunu, mobilitesini, özdirencini, iletkenliğini ve taşıyıcı tipini göstermektedir. Taşıyıcı konsantrasyonu Cam/CdS filmi için 10^{13} cm^{-3} , Cam/ITO/CdS ve Cam/FTO/CdS için 10^{20} , p-Si/CdS'de 10^{22} mertebesinde iken, ölçülen elektriksel özdirenç, Cam/CdS filminde $10^4 \Omega\text{-cm}$, Cam/ITO/CdS'de ve Cam/FTO/CdS'de 10^4 , p-Si/CdS'de 10^6 mertebesinde dir. Bu tabloda taşıyıcı konsantrasyonu ve mobilite artarken iletkenliğin arttığı dolayısıyla özdirencin azaldığı görülmektedir. Bu davranış, kristallığın iyileştirilmesinin yanı sıra kübik fazdan tekrar altıgen faza geçişe atfedilebilir (Liu ve ark., 2010). 85 °C gibi yüksek sıcaklıkta elde edilen polikristal yapıda olan CdS filmlerindeki hegzagonal fazlar için bu durum düşünülebilir.

Tablo 4.6. 1. grup filmlerin Hall ölçümü değerleri.

| | Taşıyıcı Yoğunluğu (cm^{-3}) | Mobilite (cm^2/Vs) | Özdirenç ($\Omega\text{-cm}$) | İletkenlik ($\Omega\text{-cm}$) ⁻¹ | Taşıyıcı Tipi |
|---------------|---|--------------------------------------|---------------------------------|---|---------------|
| Cam/CdS | $6,05 \times 10^{13}$ | 7,49 | $1,37 \times 10^4$ | $7,26 \times 10^{-5}$ | n |
| Cam/ITO/CdS | $4,25 \times 10^{20}$ | 29,09 | $5,05 \times 10^4$ | $1,98 \times 10^3$ | n |
| Cam/FTO/CdS | $9,73 \times 10^{20}$ | 25,55 | $2,51 \times 10^4$ | $3,98 \times 10^3$ | n |
| p-tipi Si/CdS | $1,44 \times 10^{22}$ | 84,93 | $5,09 \times 10^6$ | $1,96 \times 10^5$ | n |

İletken, Yarıiletken, Yalıtkan



Şekil 4.25. İletken, yarıiletken ve yalıtkanların elektriksel özellikleri (Elektrik enerjisi bakımından maddelerin sınıflandırılması).

Yarıiletkenlerin özdirenci Şekil 4.25'te görüldüğü gibi 10^{-2} – 10^9 aralığındadır. 1. grup filmlerin cam alttabandaki özdirenç değeri yarıiletkenler için belirtilmiş sınırın (10^{-2} – 10^9) ortalama değerlerinde (10^4) olmakla birlikte; Tablo 4.6'da görüldüğü gibi FTO ve ITO'da 10^{-4} p-Si alttabanda (10^{-6}) ise yarıiletkenler için belirtilmiş en düşük özdirenç sınırının (10^{-2}) sırasıyla 100 kat ve 10.000 kat üzerinde düşük özdirenç göstermektedir. En iyi iletken metal olan gümüşün özdirencinin $1,59 \times 10^{-8} \Omega\text{-cm}$ olduğu düşünülürse özellikle Si alttaban üzerine depolanmış yarıiletken ince filmin iletkenliğinin ne kadar yüksek olduğu net bir şekilde görülür. Literatürde CdS filminin FTO üzerine depolanmış filmde iletkenliği 10^0 ve $10^1 (\Omega\text{-cm})^{-1}$ (Hussain, Chowdhury ve Faruq, 2019), cam alttaban üzerinde özdirenci 10^1 - $10^5 \Omega\text{-cm}$ (Vigil ve ark., 1998) ve $10^5 \Omega\text{-cm}$ (Alpdoğan, 2019) ve özdirenci 10^3 - $10^4 \Omega\text{-cm}$ (Lokhande, 1990), karanlıkta iletkenlik (dark conductivity) değeri $10^9 (\Omega\text{-cm})^{-1}$ (Nair, Campos ve Sansores, 1987) mertebesindedir.

4.3.2. 2. Grup NW Filmlerin Elektriksel Özellikleri

2. grup NW ince filmlerin taşıyıcı yoğunluğu, mobilitesi, özdirenci ve taşıyıcı tipi gibi elektriksel özellikleri Tablo 4.7'de verildi. Bu filmlerden Cam/ITO/CdS'nin taşıyıcı yoğunluğu, mobilitesi ve iletkenliği diğer Cam/CdS, Cam/FTO/CdS ve p-Si/CdS ince NW filmlerinkinden daha iyi olduğu tablodan görülmektedir. Özdirenç değerleri Şekil 4.25'te görüldüğü gibi yarıiletkenler için belirtilen aralığın ortalarındadır.

Tablo 4.7. 2. grup NW filmlerin Hall ölçümü değerleri.

| | Taşıyıcı Yoğunluğu (cm⁻³) | Mobilite (cm²/Vs) | Özdirenç (Ω-cm) | İletkenlik (Ω-cm)⁻¹ | Taşıyıcı Tipi |
|---------------|---|-------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| Cam/CdS | 2,70 x 10 ¹¹ | 64,44 | 3,57 x 10 ⁵ | 2,80 x 10 ⁻⁶ | n |
| Cam/ITO/CdS | 1,36 x 10 ¹² | 822,80 | 5,57x 10 ³ | 1,80 x 10 ⁻⁴ | n |
| Cam/FTO/CdS | 1,10 x 10 ¹¹ | 801,60 | 7,08 x 10 ⁴ | 1,41 x 10 ⁻⁵ | n |
| p-tipi Si/CdS | 1,82 x 10 ¹¹ | 160,00 | 2,15 x 10 ⁵ | 4,65 x 10 ⁻⁶ | n |

NW yapıları, pürüzsüz ince filmlere kıyasla yüzey alanını önemli ölçüde artırır (Abdulelah ve ark., 2017). Bu, ışık veya diğer parçacıklarla etkileşimin önemli olduğu güneş hücreleri ve fotodedektörler gibi uygulamalarda avantajlı olabilir. NW yapılarının benzersiz morfolojisi, ışık emilimini artırarak onları optoelektronik uygulamalar için mükemmel adaylar haline getirebilir. NW yapıları, yük rekombinasyonunun azaltılmasına ve cihazda verimli yük taşıyıcı taşınmasıyla cihazların verimliliğinin artırılmasına yardımcı olabilecek yüksek kaliteli kristal yapılarından dolayı yük taşıyıcı taşınmasını potansiyel olarak geliştirebilir (Yuan ve ark., 2014; Zhang ve ark., 2020; Kumar ve ark., 2023). NWların boyutları (kalınlık, yükseklik vb.) fabrikasyon sürecinde ayarlanabiliyor ve bu da onların optik ve elektronik özellikleri üzerinde kontrol sağlıyor. CBD, geniş alanlarda ve farklı yüzeylerde ince filmler biriktirebilen basit, ucuz ve ölçeklenebilir bir tekniktir. Bu, CdS NW yapılarını ticari uygulamalar için potansiyel olarak uygun bir seçim haline getirir.

4.3.3. 3. Grup NW Filmlerin Elektriksel Özellikleri

Tablo 4.8’de Cam/CdS ve 623 K’de azot ortamında tavllanmış Cam/CdS NW ince filmlere ait Hall analizi sonuçları görülmektedir. Tavlama ile birlikte taşıyıcı yoğunluğunun arttığı buna bağlı olarak mobilitenin azaldığı, bu sonuçlarla ters orantılı olarak özdirençin arttığı görüldü.

Tablo 4.8. 3. grup NW filmlerinin Hall ölçümü değerleri.

| Tavlama Sıcaklığı (K) | Taşıyıcı Yoğunluğu (cm⁻³) | Mobilite (cm²/Vs) | Özdirenç (Ω-cm) | İletkenlik (Ω-cm)⁻¹ | Taşıyıcı Tipi |
|------------------------------|---|-------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| Tavlansız | 5,91 x 10 ¹⁰ | 9,62 x 10 ³ | 1,10 x 10 ⁴ | 9,11 x 10 ⁻⁵ | n |
| 623 | 5,60 x 10 ¹¹ | 51,67 | 2,15 x 10 ⁵ | 4,63 x 10 ⁻⁶ | n |

Tavlansız NW filminin iletkenliği, tavlansız NW filminin iletkenliği ile karşılaştırıldığında iletkenliğin $9,11 \times 10^{-5} (\Omega\text{-cm})^{-1}$ ’den $4,63 \times 10^{-6} (\Omega\text{-cm})^{-1}$ ’e düştüğü gözlemlendi. Bunun nedeni, tavlama ile ortaya çıkan ve kapana kısılmış taşıyıcıya hakim olan NWlardan kaynaklanan tuzakların yoğunluğunun kritik seviyeye gelmesi olabilir. Ayrıca, CdS ince filmlerindeki yük taşıyıcılarının hareketliliği, kafes saçılması ve safsızlık saçılması gibi çeşitli saçılma mekanizmaları yoluyla sıcaklıktan etkilenir. Sıcaklık

artıkça, bu saçılma mekanizmaları daha belirgin hale gelir ve hareketliliğin azalmasına neden olur. CdS ince filmin iletkenliği, fotovoltaik enerji dönüşümü sırasında üretilen yük taşıyıcılarını etkili bir şekilde ayırmaya yardımcı olur; bu, CdS ince filmi ince film güneş hücrelerinde bir tampon tabakası olarak kullanıldığında güneş pilinin verimliliğini artırır.

4.3.4. 1., 2. ve 3. Grup Cam/CdS Nano Filmlerin Elektriksel Özellikleri

Tablo 4.9’da verilen 1., 2. ve 3. gruptaki Cam/CdS filmleri Hall ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında 1’den 3’e taşıyıcı yoğunluğunun azalmakta, mobilitenin artmakta olduğu görüldü. İletkenliklerin ise 1. ve 3. grupta hemen hemen aynı iken 2. grupta bir miktar azaldığı belirlendi. Tüm Cam/CdS yarıiletken ince filmlerinin özdirenç değerleri, yarıiletkenler için belirtilmiş aralığın orta değerlerine karşılık gelmektedir.

Tablo 4.9. 1, 2 ve 3. grup Cam/CdS nano yarıiletken ince filmlerinin Hall ölçümü değerleri.

| Cam/CdS | Taşıyıcı Yoğunluğu (cm ⁻³) | Mobilite (cm ² /Vs) | Özdirenç (Ω-cm) | İletkenlik (Ω-cm) ⁻¹ | Taşıyıcı Tipi |
|---------|--|--------------------------------|------------------------|---------------------------------|---------------|
| 1. grup | 6,05 x 10 ¹³ | 7,49 | 1,37 x 10 ⁴ | 7,26 x 10 ⁻⁵ | n |
| 2. grup | 2,70 x 10 ¹¹ | 64,44 | 3,57 x 10 ⁵ | 2,80 x 10 ⁻⁶ | n |
| 3. grup | 5,91 x 10 ¹⁰ | 9,62 x 10 ³ | 1,10 x 10 ⁴ | 9,11 x 10 ⁻⁵ | n |

4.4. CdS Filmlerinin Foto Elektrokimyasal Özellikleri

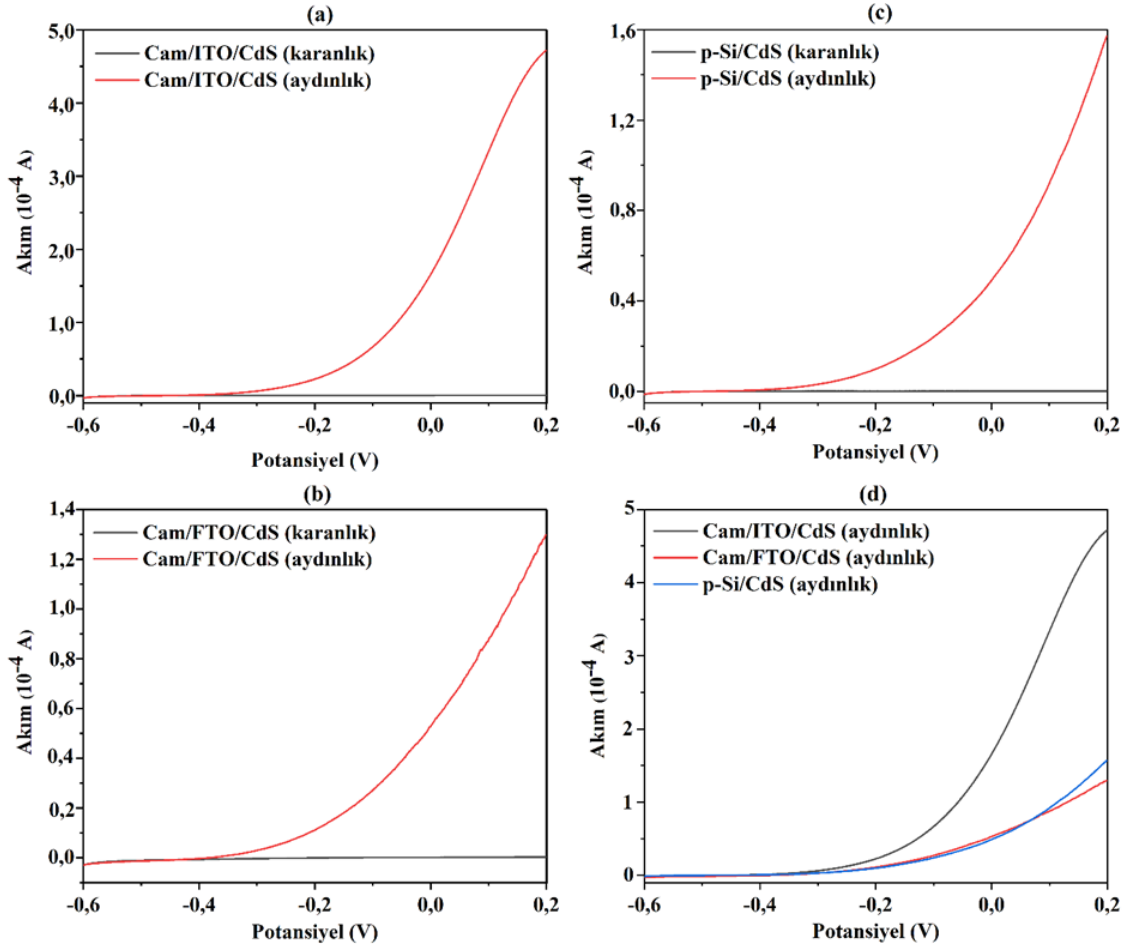
CdS filmlerinin elektrokimyasal ölçümleri CHI-660 D elektrokimyasal çalışma ünitesi kullanılarak üç elektrotlu sistemde gerçekleştirilmiştir. Karşı elektrot olarak platin levha, referans elektrot olarak Ag/AgCl (3 M KCl) ve çalışma elektrodu olarak da CdS kaplı Cam/ITO, Cam/FTO ve p-Si alttabanlar kullanılmıştır. Tüm elektrokimyasal ölçümler 0,1 M KCl çözeltisi kullanılarak aydınlık ve karanlık koşullarda yapılmıştır. Aydınlatma için Kessil H150 model mavi bir ışık kaynağı kullanılmıştır. Doğrusal taramalı voltametri ölçümleri -0,6 V ile 0,2 V potansiyel aralığında 10 mV/s tarama hızı ile gerçekleştirilmiştir. Fotoakım-zaman grafikleri ışığın açılıp kapatılmasıyla elde edilmiştir.

4.4.1. 1. grup Filmlerin Foto Elektrokimyasal Analiz Sonuçları

4.4.1.1. Doğrusal Taramalı Voltametri (LSV) Sonuçları

Cam/ITO/CdS, Cam/FTO/CdS ve p-Si/CdS filmlerinin doğrusal taramalı voltametri sonuçları aydınlık ve karanlık koşullarda sırasıyla Şekil 4.26 (a)-(c)’de gösterildiği gibidir. Tüm alttabanlarda ışık

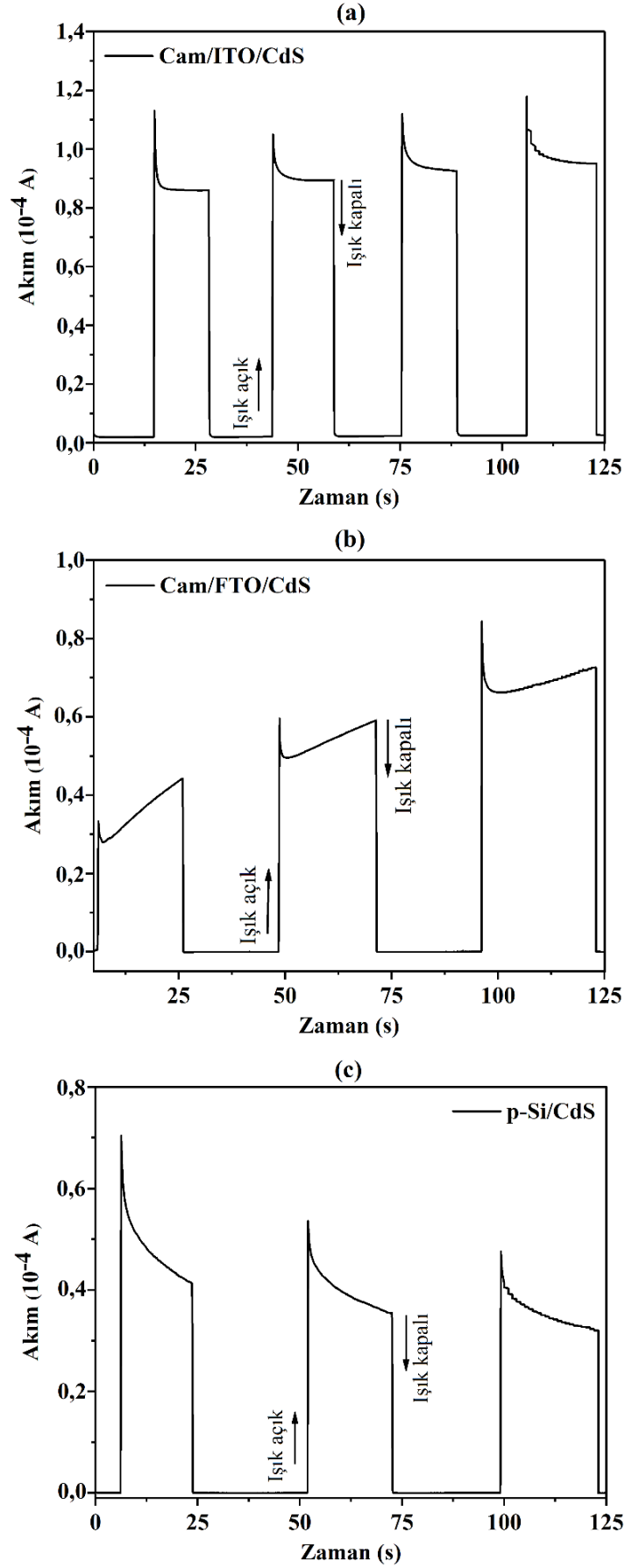
ile aydınlatma sonucu akımda artış olduğu görülmektedir. Farklı alttabanlarda elde edilen CdS filminin ışık aydınlatması altında elde edilen akım-potansiyel eğrileri karşılaştırılmalı olarak Şekil 4.26. (d)'de gösterildi. CdS filminin ışık aydınlatması ile 0,1 V'de Cam/ITO üzerinde 333,6 μ A, Cam/FTO üzerinde 87,88 μ A, p-Si üzerinde 92,25 μ A'lık akım elde edildiği belirlenmiştir. En yüksek akım değeri Cam/ITO/CdS filminde, en düşük akım değeri Cam/FTO/CdS filminde elde edilmiştir. Işık, elektron hareketliliğini arttırdığından, Cam/ITO/CdS'nin ışık aydınlatmasıyla en iyi fotoakım gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4.26. LSV tekniği ile 1. grup filmlerin (a)-(c) karanlık ve aydınlık koşullarda (d) aydınlık koşullarda karşılaştırmalı akım-potansiyel eğrisi.

4.4.1.2. Amperometrik Ölçüm Sonuçları

CdS filmlerinin foto elektrokimyasal özellikleri, amperometrik ölçümler ile -0,05 V'de ışığın açılıp kapatılmasıyla zamana karşı fotoakımın kaydedilmesi ile incelendi. Cam/ITO/CdS, Cam/FTO/CdS ve p-Si/CdS filmlerinin amperometrik ölçüm sonuçları sırasıyla Şekil 4.27. (a)-(c)'de gösterilmiştir. Işığa maruz kaldığında tüm filmlerin akımında artış olmuştur. CdS filmlerinin fotoakım cevapları incelendiğinde LSV ölçümleriyle uyumlu olarak en yüksek akım değeri Cam/ITO/CdS filmi ve en düşük akım değeri de Cam/FTO/CdS filmi için elde edilmiştir.

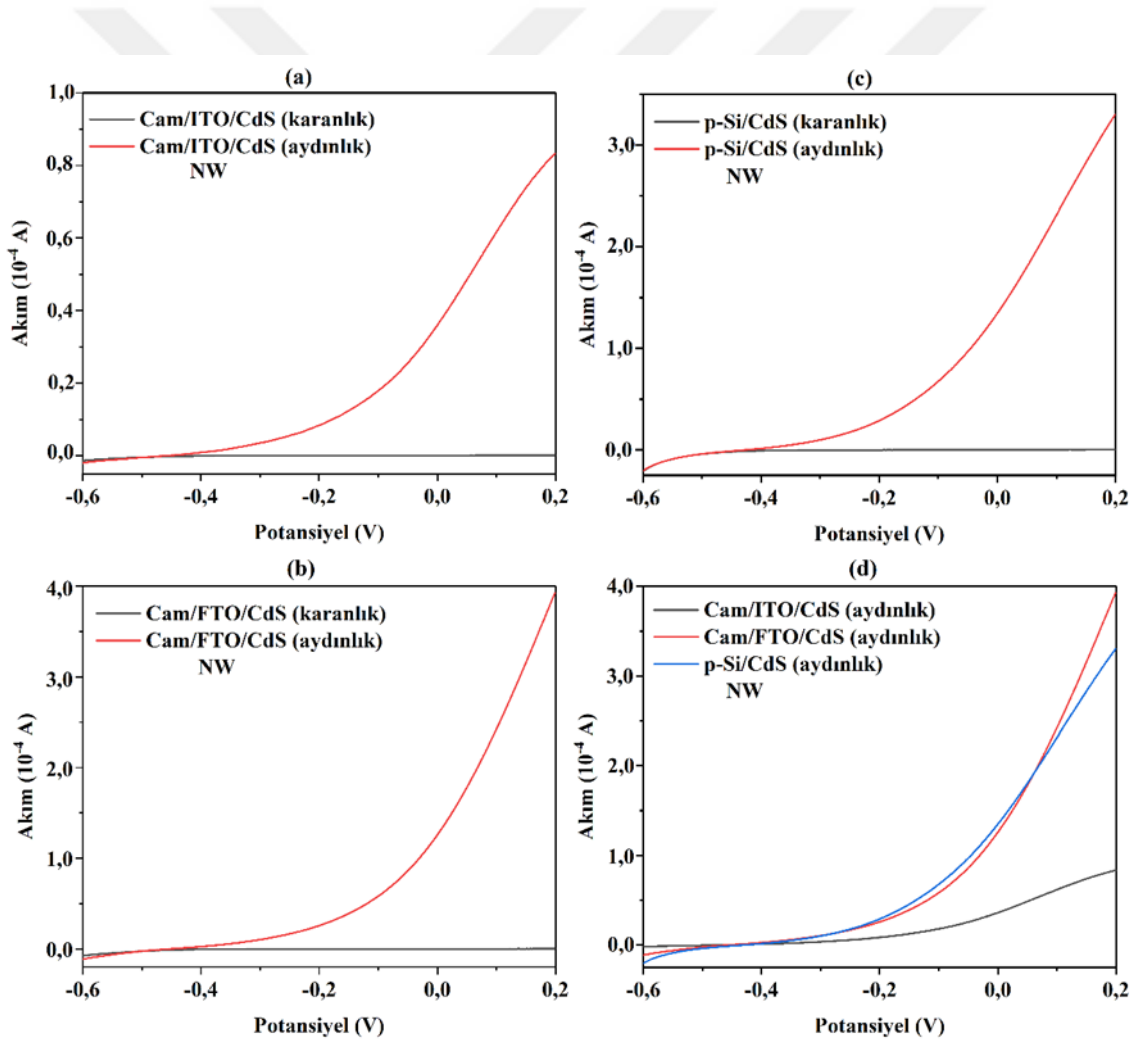


Şekil 4.27. (a)-(c) 1. grup filmlerin ışık aydınlatmasına bağlı akım-zaman eğrisi.

4.4.2. 2. Grup NW Filmlerin Fotolektrokimyasal Analiz Sonuçları

4.4.2.1. Doğrusal Taramalı Voltametri (LSV) Sonuçları

Şekil 4.28 (a)-(c)'de sırasıyla LSV ile elde edilen Cam/ITO/CdS, Cam/FTO/CdS ve p-Si/CdS NW filmlerinin karanlık ve aydınlık koşullarda akım-potansiyel eğrileri göstermektedir. CdS NW filmlerinin ışık aydınlatması altında elde edilen karşılaştırmalı akım-potansiyel eğrileri Şekil 4.28 (d)'de verilmiştir. Bu gruptaki CdS NW filmlerinin de ışık ile aydınlatma sonucu akımında artış olduğu görülmektedir. CdS filminin ışık aydınlatması ile 0,1 V'ta Cam/ITO üzerinde 61,64 μ A, Cam/FTO üzerinde 243,0 μ A, p-Si üzerinde 230,6 μ A'lık fotoakımlar elde edildiği belirlenmiştir. NW filmleri için en yüksek akım değeri Cam/FTO/CdS filminde, en düşük akım değeri ise Cam/ITO/CdS filminde görülmektedir.

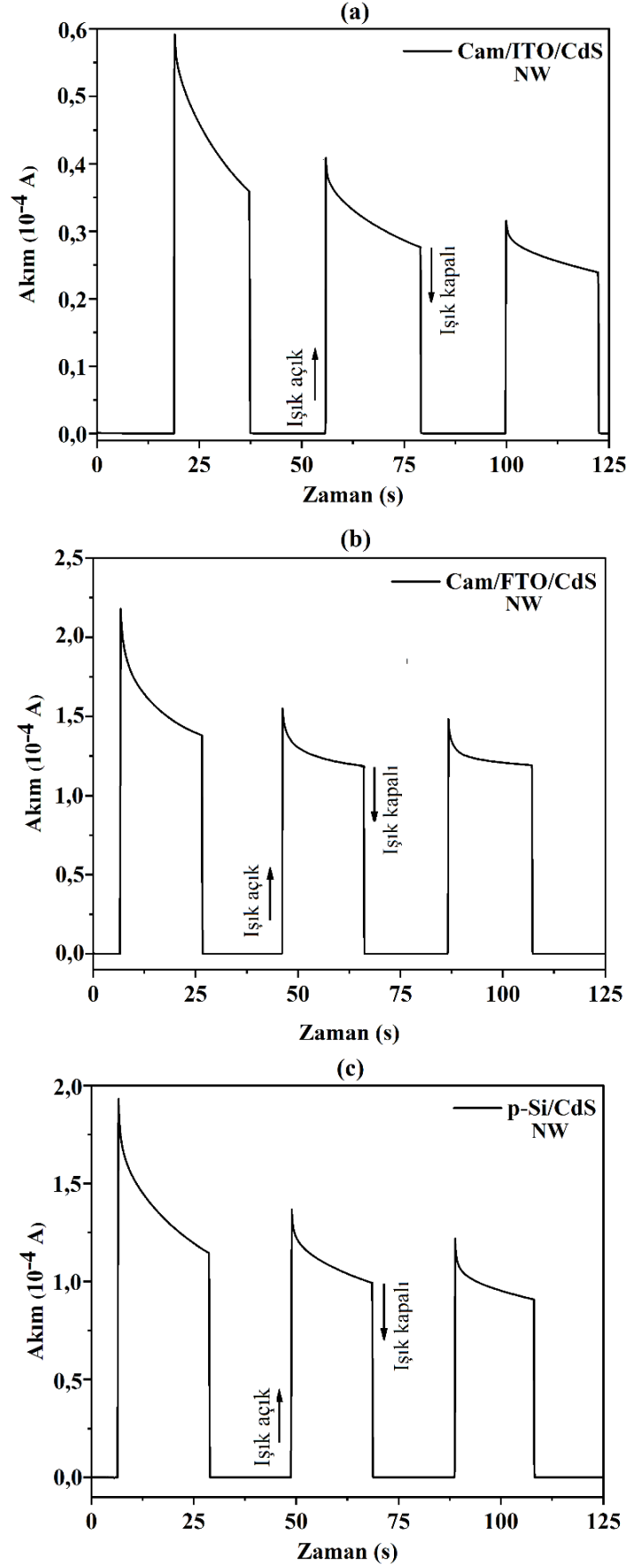


Şekil 4.28. LSV tekniği ile 2. grup NW filmlerin (a)-(c) karanlık ve aydınlık koşullarda (d) aydınlık koşullarda karşılaştırmalı akım-potansiyel eğrisi.

4.4.2.2. Amperometrik Ölçüm Sonuçları

CdS NW filmlerinin amperometrik ölçümleri $-0,05$ V'ta ışığın açılıp kapatılmasıyla zamana karşı fotoakımın kaydedilmesi ile gerçekleştirildi. Cam/ITO/CdS, Cam/FTO/CdS ve p-Si/CdS NW filmlerine ait amperometrik ölçüm sonuçları sırasıyla Şekil 4.29 (a)-(c)'de gösterilmiştir. Işığın etkisiyle elektron hareketliliği artmış ve tüm filmlerin akımında artış olmuştur. CdS NW filmlerinin fotoakım değerlerine bakıldığında LSV ölçümleriyle uyumlu olarak en yüksek akım değeri Cam/FTO/CdS filmi ve en düşük akım değeri de Cam/ITO/CdS filmi için elde edilmiştir.





Şekil 4.29. (a)-(c) 2. grup NW filmlerin ışık aydınlatmasına bağlı akım-zaman eğrisi.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada üç grup CdS filmi CBD yöntemi ile elde edildi ve karakterizasyonu yapıldı. 1. grup filmler küresel yapıda, 2. ve 3. grup filmler NW yapıdadır. 1. ve 2. grup filmler cam, Cam/ITO, Cam/FTO ve p-tipi Si alttabanlar üzerine depolandı. Elde edilen heteroeklemlerin optiksel, yapısal ve elektriksel karakterizasyonu yapıldı. 3. grup filmler cam alttabanlar üzerine depolandı ve filmlerden biri azot ortamında 623 K'de tavlandı. Aynı şekilde 3.grup tavlınmamış ve tavlınmış filmlerin karakterizasyonu yapıldı.

1. grup filmler 25 dakika, 2. grup filmler 40 dakika ve 3. grup filmler 35 dakika süresince depolandı. Tüm filmler hem tek daldırma ile kısa sürede hem oldukça az miktarda malzeme kullanılarak hem de basit ve ekonomik bir yöntem olan CBD yöntemi ile üretildi.

1. grup filmlerin geçirgenlikleri absopsiyon kenarından sonra ortalama %80 civarlarında, 2. grup NW filmlerin geçirgenlikleri ise maksimum %30 ve 3. grup NW filmlerin maksimum %35 civarındadır.

Filmlerin geçirgenlik-dalgaboyu grafikleri verilerine göre hesaplanan 1. grup cam alttaban üzerine depolanan CdS filmlerin kalınlığı 230 nm, Cam/ITO ve Cam/FTO üzerine depolananların 265 nm'dir. Çözeltinin pH'ı 10,5'tir. 2. grup NW filmlerin kalınlığı 450, 400 ve 450 nm'dir. 3. grup NW filmlerin kalınlığı 400 nm ve çözeltinin pH'ı 9,4'tür.

XRD analiz sonuçlarına göre 1., 2. ve 3. grup filmlerde filmlerin XRD tanecik büyüklüğü verileri, FWHM kullanılarak Debye-Scherrer yöntemi ile elde edilen tanecik büyüklüğü verileri ve SEM görüntülerinden elde edilen tanecik büyüklüğü verileri birbiriyle örtüşmektedir. 1. ve 3. grup filmlerin tanecik büyüklükleri C(111), 2. grup NW filmlerinki ise O(011) fazı temel alınarak hesaplandı. 1. grup CdS filmlerinin tanecik büyüklükleri, Cam/CdS 2,67; Cam/ITO/CdS 20,10; Cam/FTO/CdS 25,10; p-Si/CdS 25,00 nm'dir. 2. grup NW filmlerinin tanecik büyüklükleri, Cam/CdS 19,90; Cam/ITO/CdS 15,50; Cam/FTO/CdS 17,60; p-Si/CdS 15,00 nm'dir. 3. grup tavlınmamış ve tavlınmış Cam/CdS filmin tanecik büyüklüğü sırasıyla 15,70 ve 17,60 nm'dir.

Ayrıca, 3. grup filmlerde tavlama ile FWHM değerlerinin azalması ile kristal boyutları da arttı. Filmler tavlamanın etkisiyle daha iyi kristallik gösterdi. Aynı zamanda dislokasyon yoğunluğu, birim alandaki kristal sayısı ve örgü gerilimlerinde azalma kaydedildi.

Optik band aralığı enerjisi 1. grup filmde Cam/CdS 2,33 eV, Cam/ITO/CdS 2,36 eV, Cam/FTO/CdS 2,39 eV'tur. Filmlerin yapısı kübik, ortorombik ve hegzagonaldir. SEM görüntüleri filmlerin tamamının yüzey morfolojisinin küre benzeri tanecik olduğunu gösterdi. Filmlerin iletkenliği oda koşullarında Cam/CdS $7,26 \times 10^{-5}$, Cam/ITO/CdS $1,98 \times 10^3$, Cam/FTO/CdS $3,98 \times 10^3$ ve p-Si/CdS filmde $1,96 \times 10^5 (\Omega\text{-cm})^{-1}$ 'dir. ITO, FTO ve p-Si alttabanlı filmlerin iletkenliğinin çok iyi ve p-Si alttabanda maksimum performansta olduğunu söyleyebiliriz. Cam/FTO XRD analizine göre polikristalin kristal boyutunun 25,10 nm olduğu ve dislokasyon yoğunluğunun $1,59 \times 10^{15}$ çizgi/m²

olduğu belirlendi ve grup içinde bu değerlerle ilk sırayı aldı. p-Si/CdS ince filmin Cd:S element oranı 0,42'dir.

2. grup filmlerin iletkenliği Cam/CdS $2,80 \times 10^{-6}$, Cam/ITO/CdS $1,80 \times 10^{-4}$, Cam/FTO/CdS $1,41 \times 10^{-5}$ ve p-Si /CdS $4,65 \times 10^{-6} (\Omega\text{-cm})^{-1}$ 'dir. Bu iletkenlik değerleri genel olarak CdS filmleri ve CdS NW filmleri için iyi değerlerdir. Ancak 1. grup filmlerin iletkenliğinin çok iyi olduğu aşıkardır.

3. grup CdS ince filmleri de diğerleri gibi CBD tekniği ile fakat sadece cam yüzeyler üzerine kaplanmıştır. XRD sonuçlarına göre, depolanan CdS filmin tanecik boyutu tavlansamış 15,70 ve azot ortamında 623 K'de tavlansamış olanda 17,60 nm olarak elde edilmiştir. Tavlansamış ve tavlansamış CdS filmlerin SEM görüntülerinden filmlerin NW yapıda olduğu gözlemlendi. UV ölçümleri, tavlansamış CdS NWların optik band aralığı enerjilerinin 2,31'den 2,19 eV'a düştüğünü gösterdi. Ayrıca tavlansamış ve tavlansamış filmler için Hall etkisi yöntemiyle öz direnç ve iletkenlik gibi iletkenlik ölçümleri yapıldı. Raman spektroskopisi 785 nm dalgaboyunda gerçekleştirildi. FT-IR analizi yapıldı.

Sonuç olarak elde edilen elde edilen film gruplarının birbirinden farklı ve üstün özellikleri görüldü. Filmlerin tek daldırma ile kısa sürede ve son derece ekonomik olan CBD yöntemi ile yapılması (buna bağlı olarak minimum kimyasal malzeme kullanımı ve düşük maliyet), oldukça iyi iletkenlik özellikleri, heteroeklem yapıya uygun geçirgenlik değerleri, filmlerin kusursuzluğu, küresel ve NW yapı çeşitlilikleri optiksel, yapısal ve elektriksel özellikleri ile pek çok çalışmaya ışık tutacaktır. Sonuçlar CdS NWlarının foto katalizörler için umut verici aday malzemeler olduğunu ve görünür ışıkta fotodedyektörler, optik anahtarlar ve sensörler olarak uygulanabileceğini göstermektedir.

Çalışmanın sonucunda elde edilen yarıiletken p-Si/CdS heteroeklemler üzerine yapılan metal kontaklarla güneş hücresi haline getirilerek verimi incelenebilir. Cam/ITO/CdS, Cam/FTO/CdS filmlerin üzerine p-tipi yarıiletken ince filmler depolanarak güneş piline uygun heteroeklemler elde edilebilir. CdS NW filmler farklı alttabanlar ve yarıiletken ince filmler üzerine depolanıp heteroeklemler elde edilerek karakterizasyonu yapılabilir ve bu heteroeklemlerden elde edilen güneş hücrelerinin verimi araştırılabilir. 1. ve 2. grup filmler farklı kalınlıkları ve farklı grup metal kontaklar gibi veri değişikliklerine dayalı güneş pili verimini artırma çalışmaları yapılabilir. 2. ve 3. grup NW filmlerde birden fazla daldırma ile yapılan depolamanın sonuçlarına bakılabilir. Belli aralıklarla daldırma yapılarak CBD yöntemi ile NW oluşumu aşamaları çalışılabilir. Daha düşük sıcaklıklarda çalışılarak esnek alttabanlar üzerine filmler depolanarak araştırma süreci ilerletilebilir. 2. ve 3. grup filmlerde güneş panellerinde pencere materyali kullanımına daha uygun geçirgenlik değerleri için 35 dakikadan daha kısa depolama sürelerinde çalışılabilir.

KAYNAKLAR

Abdullelah, H., Ali, B., Mahdi, M. A., Hassan, J. J., Al-Taay, H. F., and Jennings, P. (2017). "Fabrication and characterization of nanowalls CdS/dye sensitized solar cells." *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, Vol. 90, pp. 104-108.

Ahmed, B., Kumar, S., Kumar, S., and Ojha, A. K. (2016). "Shape induced (spherical, sheets and rods) optical and magnetic properties of CdS nanostructures with enhanced photocatalytic activity for photodegradation of methylene blue dye under ultra-violet irradiation." *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 679, pp. 324-334.

Akçay, N., Zaretskaya, E. P., and Özcelik, S. (2019). "Development of a CZTS solar cell with CdS buffer layer deposited by RF magnetron sputtering." *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 772, pp. 782-792.

Akman, E., Akın, S., Karanfil, G. ve Sönmezoğlu, S. (2013). "Organik Güneş Pilleri." *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Vol. 14, No. 1., pp. 1-30.

Alpdoğan, S. (2019). p-SnS/n-CdS yarıiletken heteroeklemin karakterizasyonu, Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye.

Anwar, F., Afrin, S., Satter, S. S., Mahbub, R., and Ullah, S. M. (2017). "Simulation and performance study of nanowire CdS/CdTe solar cell." *Int. J. Renewable Energy Research*, Vol. 7, No.2, pp. 885-893.

Aybek, A. Ş. (1989). X-ışını toz kırınım deseni ile materyal tayini, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.

Aybek, A. S. and Rüzgar, H. (2017). "Influence of the annealing treatment on structural, optical and morphological properties of CdS films obtained by chemical bath deposition." *Sakarya University Journal of Science*, Vol. 21, No. 6, pp. 1229-1236.

Aybek, A. Ş., ve Rüzgar, H. (2017). "Farklı pH Değerlerinde Elde Edilen Kadmiyum Sülfür Filmlerinin Fiziksel Özellikleri." *Cumhuriyet Sci. J.*, Vol. 38, No. 3, pp. 507-515.

Akçe, M. A., and Kadioğlu, Y. K. (2020). "Raman spektroskopisinin ilkeleri ve mineral tanımlamalarında kullanılması." *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Vol. 9, No. 2, pp. 99-115.

Azmi, N., Chelvanathan, P., Yusoff, Y., Shahahmadi, S. A., Tiong, S. K., Sopian, K., and Amin, N. (2020). "A comprehensive study on the effects of alternative sulphur precursor on the material properties of chemical bath deposited CdS thin films." *Ceramics International*, Vol. 46, No. 11, pp. 18716-18724.

Ballipinar, F., and Rastogi, A. C. (2017). "High transmittance cadmium oxysulfide Cd (S, O) buffer layer grown by triton X-100 mediated chemical bath deposition for thin-film heterojunction solar cells." *Journal of Applied Physics*, Vol. 121, No. 3, pp. 035302.

Bard, A. J., Faulkner, L. R., and White, H. S. (2001). *Electrochemical methods: fundamentals and applications*, John Wiley and Sons, Hoboken, USA.

Bedir, A. (2015). Sodyum katkili Cds ince filmlerinin ve nCdS/pSi güneş pillerinin bazı karakteristik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, Türkiye.

Bontempelli, G., Dossi, N., and Toniolo, R. (2016). "Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering/Linear Sweep and Cyclic."

Borowicz, P., Latek, M., Rzodkiewicz, W., Łaszcz, A., Czerwinski, A., and Ratajczak, J. (2012). "Deep-ultraviolet Raman investigation of silicon oxide: thin film on silicon substrate versus bulk material." *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, Vol. 3, No. 4, pp. 045003.

Can, M., Havare, A. K., and Akan, E. (2021). "Dye-sensitized solar cell (DSSC) applications based on Cyano functional small molecules Dyes." *Int J Opt Photonic Eng*, Vol. 6, No. 040, pp. 4-11.

Cao, M., Sun, Y., Wu, J., Chen, X., and Dai, N. (2010). "Effects of cadmium salts on the structure, morphology and optical properties of acidic chemical bath deposited CdS thin films." *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 508, No. 2, pp. 297-300.

Chandekar, K. V., Shkir, M., Khan, A., and AlFaify, S. (2020). "An in-depth study on physical properties of facilely synthesized Dy@ CdS NPs through microwave route for optoelectronic technology." *Materials Science in Semiconductor Processing*, Vol. 118, pp. 105184.

Chichan, O. A., Rasheed, K. J., Saleh, A. M., Chiad, S. S., and Habubi, N. F. (2021). "Synthesis of CdS and CdS: V Films via Spray Pyrolysis Technique: Morphology and Optical Properties." *Design Engineering*, No.5, pp. 356-365.

Chun, S., Jung, Y., Kim, J., and Kim, D. (2011). "The analysis of CdS thin film at the processes of manufacturing CdS/CdTe solar cells." *Journal of Crystal Growth*, Vol. 326, No. 1, pp. 152-156.

Choubey, R. K., Desai, D., Kale, S. N., and Kumar, S. (2016). "Effect of annealing treatment and deposition temperature on CdS thin films for CIGS solar cells applications." *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Vol. 27, No. 8, pp. 7890-7898.

Daha yakın olmak için elektron mikroskopları, <http://www.acikbilim.com/2014/02/dosyalar/daha-yakin-olmak-icin-elektron-mikroskoplari-2.html> [Erişim 20 Haziran 2023].

De Wolf, I., Jian, C., and van Spengen, W. M. (2001). "The investigation of microsystems using Raman spectroscopy." *Optics and Lasers in Engineering*, Vol. 36, No. 2, pp. 213-223.

Dhawale, D. S., Dubal, D. P., Deokate, R. J., Gujar, T. P., Sun, Y. K., and Lokhande, C. D. (2010). "PVA assisted growth of hydrophobic honeycomb network of CdS thin films." *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 503, No. 2, pp. 422-425.

Dey, M., Das, N. K., Gupta, A. S., Dey, M., Hossain, M. S., Matin, M. A., and Amin, N. (2019). "Deposition of CdS Thin Film by Thermal Evaporation." In 2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering, ECCE, IEEE, Cox's Bazar, Bangladesh, pp. 1-5.

Dolai, S., Dey, R., Hussain, S., Bhar, R., and Pal, A. K. (2019). "Photovoltaic properties of F: SnO₂/CdS/CuO/Ag heterojunction solar cell." *Materials Research Bulletin*, Vol. 109, pp. 1-9.

Dzhafarov, T. D., Ongul, F., and Yuksel, S. A. (2009). "Effect of indium diffusion on characteristics of CdS films and nCdS/pSi heterojunctions." *Vacuum*, 84(2), 310-314.

Enríquez, J. P., and Mathew, X. (2003). "Influence of the thickness on structural, optical and electrical properties of chemical bath deposited CdS thin films." *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 76, No. 3, pp. 313-322.

Elektrik enerjisi bakımından maddelerin sınıflandırılması, <https://elektronikhobi.net/elektrik-enerjisi-bakiminda-maddelerin-siniflandirilmesi/> [Erişim 20 Haziran 2023].

Enstrümental Analiz Spektroskopik Yöntemler, <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Favys.omu.edu.tr%2Fstorage%2Fapp%2Fpublic%2Fbehiccey%2F133411%2FSpektroskopik%2520Y%25C3%25B6ntemler.pdf&psig=AOvVaw33>

[XRfvJgaQZVf_j6zWSiXl&ust=1681920142424000&source=images&cd=vfe&ved=0CAQQjB1qFwoTCOiC9_bms_4CFQAAAAAdAAAAABAE](https://www.fotonik.gazi.edu.tr/view/page/292820) [Erişim 20 Haziran 2023].

Fotonik, <https://fotonik.gazi.edu.tr/view/page/292820> [Erişim 20 Haziran 2023].

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE (Fraunhofer ISE). (2023). “Photovoltaics Report”. (<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>) [Erişim 5 Ağustos 2023].

FT-IR, <https://cumerlab.cu.edu.tr/cu/laboratuvarlar/ cihazlar-listesi/ft-ir> [Erişim 20 Haziran 2023].

FT-IR Absorpsiyon Spektroskopisi (FTIR absorption spectroscopy), http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/8_44.html [Erişim 20 Haziran 2023].

Garza-Hernández, R., Carrillo-Castillo, A., Martínez-Landeros, V. H., Martínez-Puente, M. A., Martínez-Guerra, E., and Aguirre-Tostado, F. S. (2019). “In-situ X-ray photoelectron spectroscopy analysis of the initial growth of CdS thin films by chemical bath deposition.” *Thin Solid Films*, Vol. 682, pp. 142-146.

Gilic, M., Trajic, J., Romcevic, N., Romcevic, M., Timotijevic, D. V., Stanisic, G., and Yahia, I. S. (2013). Optical properties of CdS thin films. *Optical Materials*, Vol. 35, No.5, pp. 1112-1117.

Guo, H. T., Zhang, M. J., Xu, Y. T., Xiao, X. S., and Yang, Z. Y. (2017). “Structural evolution study of additions of Sb₂S₃ and CdS into GeS₂ chalcogenide glass by Raman spectroscopy.” *Chinese Physics B*, Vol. 26, No. 10, pp. 104208.

Gündüz, T. (1997). *İnstrümental Analiz*, Bilge Yayıncılık Tercüme ve Dağıtım, Ankara, Türkiye.

Gong, J., Zhang, W., Liu, T., and Zhang, L. (2011). “Facile fabrication of chitosan–calcium carbonate nanowall arrays and their use as a sensitive non-enzymatic organophosphate pesticide sensor.” *Nanoscale*, Vol. 3, No. 8, pp. 3123-3131.

Hall Etkisi, <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/mctufan/61476/8-Hall-Etkisi.pdf> [Erişim 20 Haziran 2023].

Herrera-Molina, D., Dioso, J. E., Fernández-Pérez, A., and Mosquera-Vargas, E. (2021). “Influence of aluminum doping on structural, morphological, vibrational, and optical properties of CdS thin films

obtained by chemical bath deposition.” *Materials Science and Engineering: B*, Vol. 273, pp. 115451.

Hewitt, P. G. (2002). *Conceptual physics*, Pearson Educación, London, United Kingdom.

Hiramatsu, M., and Hori, M. (2010). *Using Carbon Nanowalls as Templates*, In *Carbon Nanowalls*, Springer, Vienna, Austria.

Hodes, G. (2007). “Semiconductor and ceramic nanoparticle films deposited by chemical bath deposition.” *Physical Chemistry Chemical Physics*, Vol. 9, No. 18, pp. 2181-2196.

Hone, F. G., and Abza, T. (2019). “Short Review of Factors Affecting Chemical Bath Deposition Method for Metal Chalcogenide Thin Films.” *Int. J. Thin. Fil. Sci. Tec*, Vol. 8, No. 2, pp. 43-52.

Huang, S., Wu, Y., Ma, X., Yang, Z., Liu, X., and Yang, Q. (2018). “Improving performance of Si/CdS micro-/nanoribbon pn heterojunction light emitting diodes by trench structure.” *AIP Advances*, Vol. 8, No. 5, pp. 055231.

Hussain, K. M. A., Chowdhury, M. S. S., and Faruq, T. (2019). “Study of CdS/AZO/FTO, CdS/FTO and CdS Thin Films Deposited by Modified Double Layer Thermal Evaporation.” *Journal of Nanoscience, Nanoengineering and Applications*, Vol. 9, No. 2, pp. 56-53.

Ikhmayies, S. J. (2012). “The influence of the substrate temperature on the properties of solar cell related thin films.” *Modern aspects of bulk crystal and thin film preparation*, InTech, No. 14, pp. 337-356.

Ilango, M. S., and Ramasesha, S. K. (2018). “Novel patterning of CdS/CdTe thin film with back contacts for photovoltaic application.” *Pramana*, Vol. 90, pp. 1-8.

Isik, M., Gullu, H. H., Delice, S., Parlak, M., and Gasanly, N. M. (2019). “Structural and temperature-dependent optical properties of thermally evaporated CdS thin films.” *Materials Science in Semiconductor Processing*, Vol. 93, pp. 148-152.

Kaur, I., Pandya, D. K., and Chopra, K. L. (1980). “Growth kinetics and polymorphism of chemically deposited CdS films.” *Journal of the Electrochemical Society*, Vol. 127, No. 4, p. 943.

Kale, S. S., Jadhav, U. S., and Lokhande, C. D. (1996). “Preparation and characterization of chemically deposited CdS films.” *Indian journal of pure and applied physics*, Vol. 34, No. 5, pp. 324-327.

Kausar, A. (2022). "State-of-the-art of polymer/nanowall nanocomposite: fundamental to leading-edge application." *Polymer-Plastics Technology and Materials*, Vol. 61, No. 6, pp. 665-681.

Kavgacı, M. (2007). Kimyasal Banyo Yöntemi ile Üretilen XSe (X=Zn, Cu, Mn) İnce filmlerinde XRF Ölçümleri. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye.

Kavil, J., Alshahrie, A., and Periyat, P. (2018). "CdS sensitized TiO₂ nano heterostructures as sunlight driven photocatalyst." *NanoStructures and Nano-Objects*, Vol. 16, pp. 24-30.

Khallaf, H., Oladeji, I. O., Chai, G., and Chow, L. (2008). "Characterization of CdS thin films grown by chemical bath deposition using four different cadmium sources." *Thin Solid Films*, Vol. 516, No. 21, pp. 7306-7312.

Kim, M. J., Kim, C., and Sohn, S. H. (2018). "Effects of chemical bath deposition conditions on the growth of CdS thin-films." *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, Vol. 677, No. 1, pp. 81-90.

Kuantum laboratuvar deneyleri, (2019). https://fizik.cu.edu.tr/storage/anamenu_icerikleri/February2019/Kuantum%20Fizi%C4%9Fi%20Laboratuvar%C4%B1%20Deneyleri.pdf [Erişim 20 Haziran 2023].

Kumar, T. P., Sherwood, D., Emmanuel, B., and Sankaranarayanan, K. (2009). "Crystal shape determination in thin films and studies on the substrate influence on the crystal shape in CBD-CdS thin films." *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures (DJNB)*, Vol. 4, No. 4., pp. 769-773.

Kumar, M., Dubey, A., Adhikari, N., Venkatesan, S., and Qiao, Q. (2015). "Strategic review of secondary phases, defects and defect complexes in kesterite CZTS–Se solar cells." *Energy and Environmental Science*, Vol. 8, No. 11, pp. 3134-3159.

Kumar, D., Krishnan N, S. and Ramasesha, S. K. (2023). Device Simulation of Nanopillar-based n-CdS/p-CdTe Solar Cell with Enhanced and Efficient Carrier Collection. *Silicon*, Vol. 15, No. 5, pp. 2037-2043.

Kumar, P., Saxena, N., Chandra, R., Gupta, V., Agarwal, A., and Kanjilal, D. (2012). "Nanotwinning and structural phase transition in CdS quantum dots." *Nanoscale research letters*, Vol. 7, pp. 1-7.

Kumarage, W. G. C., Wijesundera, R. P., Seneviratne, V. A., Jayalath, C. P., Varga, T., Nandasiri, M. I., and Dassanayake, B. S. (2017). "Growth and characterization of EDTA assisted CBD-CdS." *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 200, pp. 1-8.

Lazos, C. G., Rosendo, E., Juárez, H., Salgado, G. G., Diaz, T., Falfán, M. R., ... and Ortega, M. (2008). "Hexagonal phase of CdS thin films obtained by oscillating chemical bath." *Journal of the Electrochemical Society*, Vol. 155, No. 2, pp. D158-D162.

Lee, S., Lee, E. S., Kim, T. Y., Cho, J. S., Eo, Y. J., Yun, J. H., and Cho, A. (2015). "Effect of annealing treatment on CdS/CIGS thin film solar cells depending on different CdS deposition temperatures." *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 141, No. 299-308.

Levy, D. and Castellón, E. (2018). "Transparent Conductive Materials: Materials, Synthesis, Characterization, Applications." Wiley VCH, Weinheim, Germany.

Li, X., Yang, Q., Hua, H., Chen, L., He, X., Hu, C., and Xi, Y. (2015). "CdS/CdSe core/shell nanowall arrays for high sensitive photoelectrochemical sensors. *Journal of Alloys and Compounds*", Vol. 630, pp. 94-99.

Liu, F., Lai, Y., Liu, J., Wang, B., Kuang, S., Zhang, Z., ... and Liu, Y. (2010). "Characterization of chemical bath deposited CdS thin films at different deposition temperature." *Journal of alloys and compounds*, Vol. 493, No. 1-2, pp. 305-308.

Lokhande, C. D. (1990). "Chemical deposition of CdS thin films from an acidic bath." *Materials chemistry and physics*, Vol. 26, No. 3-4, pp. 405-409.

Maity, R. and Chattopadhyay, K. K. (2006). "Synthesis and optical characterization of CdS nanowires by chemical process." *Journal of Nanoparticle Research*, Vol. 8, No. 1, pp. 125-130.

Majumder, S., Mendhe, A. C., and Sankapal, B. R. (2019). "Nanoheterojunction through PbS nanoparticles anchored CdS nanowires towards solar cell application." *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 44, No. 14, pp. 7095-7107.

Metin, H. (2002). Çok Tabanlı Yarıiletken İnce Film Aygıtların Üretimi ve Modellemesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.

Metin, H., Erat, S., Emen, F. M., Kafadar V., Yazici, A. N., Ari, M., Kulcu, N. (2010a). "Thermoluminescence properties of CdS films under nitrogen atmosphere." *Journal of Luminescence*, Vol. 130, No. 8, pp. 1531-1538.

Metin, H., Ari, M., Erat, S., Durmuş, S., Bozoklu, M., Braun, A. (2010b). "The effect of annealing temperature on the structural, optical, and electrical properties of CdS films." *Journal of Materials Research*, Vol. 25, No. 01, pp. 189-196.

Metin, H., Sat, F., Erat, S., Ari, M. (2008). "Cadmium sulphide thin films grown by CBD: The effect of thermal annealing on the structural, electrical and optical properties." *Journal of Optoelectronic and advance Materials*, 10(10), 2622-30.

Metin, H., Esen, R. (2003a). "Annealing studies on CBD grown CdS thin films." *Journal of Crystal Growth*, Vol. 258, No. 1, pp. 141-148.

Metin, H., Erat, S., Durmuş, S., Ari, M. (2010c). "Annealing effect on CdS/SnO₂ films grown by chemical bath deposition." *Applied Surface Science*, Vol. 256 No. 16, pp. 5076-5081.

Metin, H., Esen, R. (2003b). "Annealing effects on optical and crystallographic properties of CBD grown CdS films." *Semiconductor science and technology*, Vol. 18, No. 7, pp. 647.

Moualkia, H., Hariech, S., Aida, M. S., Attaf, N., and Laifa, E. L. (2009). Growth and physical properties of CdS thin films prepared by chemical bath deposition. *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 42, No. 13, pp. 135404.

Moreno-Regino, V. D., Torres-Castanedo, C. G., Arias-Cerón, J. S., Badillo-Ávila, M. A., Márquez-Marín, J., Castanedo-Pérez, R., ... and Torres-Delgado, G. (2019). "Effect of the thiourea incorporation velocity and RTA post-deposit treatments, on the properties of CdS films deposited by CBD." *Journal of Alloys and Compounds*, 803, pp. 1168-1177.

Nair, P. K., Campos, J., and Sansores, L. E. (1987). "A critical discussion of the very high photoconductivity in chemically deposited cadmium sulfide thin films: Implications for solar cell technology." *Solar cells*, Vol. 22, No. 3, pp. 211-227.

Narayanan, S., Kalidindi, S. R., and Schadler, L. S. (1997). "Determination of unknown stress states in silicon wafers using microlaser Raman spectroscopy." *Journal of applied physics*, Vol. 82, No. 5, pp. 2595-2602.

Ng, H. T., Li, J., Smith, M. K., Nguyen, P., Cassell, A., Han, J., and Meyyappan, M. (2003). "Growth of epitaxial nanowires at the junctions of nanowalls." *Science*, Vol. 300, No. 5623, pp. 1249-1249.

Orlianges, J. C., Champeaux, C., Dutheil, P., Catherinot, A., and Mejean, T. M. (2011). "Structural, electrical and optical properties of carbon-doped CdS thin films prepared by pulsed-laser deposition." *Thin Solid Films*, Vol. 519, No. 21, pp. 7611-7614.

Ouafi, M., Jaber, B., and Laânb, L. (2019). "Low temperature CBD growth of CdS on flexible substrates: Structural and optical characterization." *Superlattices and Microstructures*, Vol. 129, pp. 212-219.

Park, W. I., Lee, C. H., Lee, J. M., Kim, N. J., and Yi, G. C. (2011). "Inorganic nanostructures grown on graphene layers." *Nanoscale*, Vol. 3, No. 9, pp. 3522-3533.

Pawar, S. M., Pawar, B. S., Kim, J. H., Joo, O. S., and Lokhande, C. D. (2011). "Recent status of chemical bath deposited metal chalcogenide and metal oxide thin films." *Current Applied Physics*, Vol. 11, No. 2, pp. 117-161.

Rahman, M. F., Hossain, J., Kuddus, A., Tabassum, S., Rubel, M. H., Shirai, H., and Ismail, A. B. M. (2020). "A novel synthesis and characterization of transparent CdS thin films for CdTe/CdS solar cells". *Applied Physics A*, Vol. 126, pp. 1-11.

Raman, <https://cumerlab.cu.edu.tr/cu/laboratuvarlar/cihazlar-listesi/raman> [Erişim 20 Haziran 2023].

Rathinamala, I., Jeyakumaran, N., and Prithivikumaran, N. (2019). "Sol-gel assisted spin coated CdS/PS electrode based glucose biosensor." *Vacuum*, Vol. 161, pp. 291-296.

Ren, T., Lei, Z., Luan, G., Jia, G., Zhang, J., Yu, R., and Li, C. (2006). "Fabrication of CdS–ZnS layered thin films by hydrothermal seeded growth method." *Thin Solid Films*, Vol. 513, No. 1-2, pp. 99-102.

Saha, U., and Alam, M. K. (2019). "A heterojunction bipolar transistor architecture-based solar cell using CBTSSe/CdS/ACZTSe materials." *Solar Energy*, Vol. 184, pp. 664-671.

Salazar, Y. A., Patiño, R., Peña, J. L., Cauich, W., and Oliva, A. I. (2006). "Physical properties of CdS/ITO thin films growth by CBD technique with substrate oscillating agitation." *Brazilian Journal of Physics*, Vol. 36, No. 3B, pp. 1058-1061.

Saleh, K. M. (2019). "Study Influence of Substrate Temperature on Optical Properties of CdS Thin Films Prepared by Chemical Spray pyrolysis." *Ibn AL-Haitham Journal For Pure and Applied Science*, Vol. 32, No. 1, pp. 7-16.

Saleem, M. F., Zhang, H., Deng, Y., and Wang, D. (2017). "Resonant Raman scattering in nanocrystalline thin CdS film." *Journal of Raman Spectroscopy*, Vol. 48, No. 2, pp. 224-229.

Sanap, V. B., and Pawar, B. H. (2010). "Optical study of the effect of cadmium sources on nanocrystalline CdS thin films." *Chalcogenide Lett*, Vol. 7, pp. 227-231.

Saxena, N., Kalsi, T., Uttam, P. and Kumar, P. (2018). "Morphological evolution in nanocrystalline CdS thin films from flowers to salt rock like structures." *Opt. Mater. (Amst)*, Vol. 84, No. July, pp. 625–630.

SEM, <https://cumerlab.cu.edu.tr/cu/laboratuvarlar/cihazlar-listesi/sem> [Erişim 20 Haziran 2023].

Senthil, K., Mangalaraj, D., Narayandass, S. K., Kesavamoorthy, R., and Reddy, G. L. N. (2001). "Raman scattering and XRD analysis in argon ion implanted CdS thin films prepared by vacuum evaporation." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, Vol. 173, No. 4, pp. 475-482.

Shen, S., Zhang, X., Mubeen, S., Soriaga, M. P., and Stickney, J. L. (2019). "Optimization of the nucleation-site density for the electrodeposition of cadmium sulfide on indium-tin-oxide." *Electrochimica Acta*, Vol. 316, pp. 105-112.

Sönmezoğlu, S., Koç, M., ve Akın, S. (2012). "İnce film üretim teknikleri." *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, Vol. 28, No. 5, pp. 389-404.

Tabrizi, M. A., Ferré-Borrull, J., Kapruwan, P., and Marsal, L. F. (2019). "A photoelectrochemical sandwich immunoassay for protein S100 β , a biomarker for Alzheimer's disease, using an ITO electrode modified with a reduced graphene oxide-gold conjugate and CdS labeled secondary antibody." *Microchimica Acta*, Vol. 186, pp. 1-9.

Tanıtım Broşürleri, <https://merlab.metu.edu.tr/tr/system/files/Belgeler/TanitimBrosurleri/XRDL.pdf> [Erişim 20 Haziran 2023].

Tatar, D. (2015). Spray Pyrolysis Yöntemi ile Farklı Altlık Sıcaklığında Elde Edilen Zn ve SnO₂: F İnce Filmlerin Bazı Fiziksel Özelliklerine, Altlık Sıcaklığının Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye.

Trajić, J., Gilić, M., Romčević, N., Romčević, M., Stanišić, G., Hadžić, B., ... and Yahia, Y. S. (2015). "Raman spectroscopy of optical properties in CdS thin films." *Science of Sintering*, Vol. 47, No. 2, pp. 145-152.

Wilson, K. C. and Ahamed, M. B. (2019). "Influence of bath temperature on surface modification and optoelectronic properties of chemical bath deposited CdS thin film nanostructures." *Materials Science and Engineering: B*, Vol. 251, pp. 114444.

X-ray-diffractometers D8 Advance, <https://www.bruker.com/en/products-and-solutions/diffractometers-and-x-ray-microscopes/x-ray-diffractometers/d8-advance-family/d8-advance.html> [Erişim 20 Haziran 2023].

Vanalakar, S. A., Mali, S. S., Jo, E. A., Kim, J. Y., Kim, J. H., and Patil, P. S. (2014). "Triton-X mediated interconnected nanowalls network of cadmium sulfide thin films via chemical bath deposition and their photoelectrochemical performance." *Solid state sciences*, Vol. 36, pp. 41-46.

Vigil, O., Rodriguez, Y., Zelaya-Angel, O., Vazquez-Lopez, C., Morales-Acevedo, A., and Vazquez-Luna, J. G. (1998). "Properties of CdS thin films chemically deposited in the presence of a magnetic field." *Thin Solid Films*, Vol. 322, No. 1-2, pp. 329-333.

Yağci, Ö. (2011). Organik tabanlı güneş pillerinin üretimi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

Yao, P. C. and Chen, C. Y. (2015). "Effect of protic solvents on CdS thin films prepared by chemical bath deposition." *Thin Solid Films*, Vol. 579, pp. 103-109.

Yoshikawa, K., Kawasaki, H., Yoshida, W., Irie, T., Konishi, K., Nakano, K., ... and Yamamoto, K. (2017). "Silicon heterojunction solar cell with interdigitated back contacts for a photoconversion efficiency over 26%." *Nature energy*, Vol. 2, No. 5, pp. 1-8.

Yuan, K., Chen, L., Li, F., and Chen, Y. (2014). "Nanostructured hybrid ZnO@ CdS nanowalls grown in situ for inverted polymer solar cells." *Journal of Materials Chemistry C*, Vol. 2, No. 6, pp. 1018-1027.

Yücel, E. (2017). "Güneş pili uygulamaları için CdS ince filmlerin optik özelliklerinin maltoz katkısıyla geliştirilmesi." *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, Vol. 22, No. 2, pp. 1-10.

Zhang, H., Ma, X., Xu, J., Niu, J., Sha, J., and Yang, D. (2002). "Directional CdS nanowires fabricated by chemical bath deposition." *Journal of Crystal Growth*, Vol. 246, No. 1-2, pp. 108-112.

Zhang, G., Deng, C., Shi, H., Zou, B., Li, Y., Liu, T., and Wang, W. (2017). "ZnO/Ag composite nanoflowers as substrates for surface-enhanced Raman scattering." *Applied Surface Science*, Vol. 402, pp. 154-160.

Zhang, L., Jiang, J., Wang, W., Huang, X., Yuan, Q., Hong, R., and Cha, L. (2018). "Growth process and properties of CdS thin films prepared by chemical bath deposition at different pH values." *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Vol. 29, No. 9, pp. 7637-7643.

Zhang, Y., Zhang, F., Wang, H., Wang, L., Wang, F., Lin, Q., ... and Li, L. S. (2019). "High-efficiency CdSe/CdS nanorod-based red light-emitting diodes." *Optics express*, Vol. 27, No 6., pp. 7935-7944.

Zhang, W., Yang, H., Li, L., Lin, S., Ji, P., Hu, C., ... and Xi, Y. (2020). "Flexible piezoelectric nanogenerators based on a CdS nanowall for self-powered sensors." *Nanotechnology*, Vol. 31, No. 38, pp. 385401.

Zhuang, X., Ouyang, Y., Wang, X., and Pan, A. (2019). "Multicolor Semiconductor Lasers." *Advanced Optical Materials*, Vol. 7, No. 17, pp. 1900071.

Zor, M. (1991). *Maddenin Elektriksel İletkenlik Özellikleri*. Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, Türkiye.

Zyoud, A., Saa'deddin, I., Khudruj, S., Hawash, Z. M., Park, D., Campet, G., and Hilal, H. S. (2013). "CdS/FTO thin film electrodes deposited by chemical bath deposition and by electrochemical deposition: a comparative assessment of photo-electrochemical characteristics." *Solid State Sciences*, Vol. 18, pp. 83-90.

ÖZGEÇMİŞ





