

T.C.

TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ELEKTROBİRİKTİRME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN n-CdTe VE p-CdTe
YARIİLETKENLERİN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Bengi BİNGÖL

FİZİK

ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DOÇ.DR. KADİR ERTÜRK

TEKİRDAĞ-2019

Her hakkı saklıdır

Doç. Dr. Kadir ERTÜRK danışmanlığında, Bengi BİNGÖL tarafından hazırlanan “Elektrobiriktirme Yöntemi ile üretilen n-CdTe ve p-CdTe Yarıiletkenlerin Özelliklerinin İncelenmesi” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Juri Başkanı : Prof. Dr. Vildan BİLGİN

İmza :

Üye : Doç. Dr. Beyhan TATAR

İmza :

Üye : Doç. Dr. Kadir ERTÜRK

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Bahar UYMAZ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTROBİRİKTİRME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN n-CdTe VE p-CdTe YARIİLETKENLERİN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Bengi BİNGÖL

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kadir ERTÜRK

Solar hücre uygulamalarında kullanılan CdTe yarı iletken ince filmler, 1.45 eV'luk ideal bir bant boşluğuna ve yüksek foton soğurma katsayısına ($5.1 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$) sahiptir. Solar hücre uygulamalarında p-CdTe / n-CdS yapısı kullanılmaktadır. Diğer yandan, n-CdTe ince filmlerin üretimi, daha verimli p-CdTe / n-CdTe / n-CdS yapısına sahip güneş pilini yapmak için önemlidir. Üç elektrotlu elektrokimyasal biriktirme yöntemi ile indiyum kalay oksit (ITO) kaplı cam yüzeylerde n ve p tipi CdTe ince filmleri üretilmiştir. 10 mM CdCl₂, 20 mM Na₂TeO₃ ve 200 mM LiCl sulu çözeltileri kullanılmış ve HCl ile elektrolitin pH'ı ~2.0'a ayarlanmıştır. Döngüsel voltammetri kullanılarak Cd ve Te'un kaplanma potansiyelleri tespit edilmiştir. Biriktirme, n-tipi CdTe için -0,8 V'ta 120 sn yapılmıştır. p-tipi CdTe için biriktirme önce -0,4V'ta 40s daha sonra -0,6V'ta 100s süreyle yapılmıştır. ITO (indiyum kalay oksit) kaplı cam yüzey üzerinde üretilen CdTe (kadmiyum tellürid) ince filmlerinin elektrodepozisyonu oda sıcaklığında yapılmıştır. CdTe ince filmler elektron mikroskobu (SEM), Ultraviyole Görünür (UV-Vis) spektroskopisi, Mott-Schottky ölçümleri gibi bazı teknikler kullanılarak incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Elektrokimyasal biriktirme, CdTe yarıiletkeni, Mott-Schottky analizi

2019, 40 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF n-CdTe AND p-CdTe SEMICONDUCTORS

PRODUCED BY ELECTRODEPOSITION METHOD

Bengi BİNGÖL

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kadir ERTÜRK

CdTe semiconductor thin films used in solar cell applications have an ideal band gap of 1.45 eV and a high photon absorption coefficient ($5.1 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$). In solar cell applications, p-CdTe / n-CdS structure is used. On the other hand, the production of n-CdTe thin films is important for making the solar cell with more efficient p-CdTe / n-CdTe / n-CdS structure. Thin films of n and p type CdTe were produced on indium tin oxide (ITO) coated glass surfaces by three electrode electrochemical deposition method. Aqueous solutions of 10 mM CdCl₂, 20 mM Na₂TeO₃ and 200 mM LiCl were used and the pH of the electrolyte was adjusted to ~ 2.0 using HCl acid. Using cyclic voltammetry, Cd and Te'un coating potentials were determined. The deposition was performed for 120 sec at -0.8 V for n-type CdTe. For p-type CdTe, deposition was first performed at -0.4V for 40s and then at -0.6V for 100s. ITO were performed at room temperature CdTe thin films is investigated by means of some techniques such as scanning electron microscopy (SEM), Ultraviolet-Visible (UV-Vis) spectroscopy, Mott-Schottky measurements.

Keywords: Electrodeposition, CdTe Semiconductor, Mott-Schottky Analyze

2019, 40 pages

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL DİZİNİ	v
KISALTMALAR	vii
TEŞEKKÜR	viii
1. GİRİŞ	1
2.KURAMSAL TEMELLER	3
2.1. Enerji İhtiyacı ve Güneş Enerjisi	3
2.1. Yarı iletken kavramları	4
2.2.1. Saf Yarıiletkenler.....	6
2.2.2. Katkılı Yarıiletkenler	6
2.3. p-n Eklemi	7
2.4. Fotovoltaik.....	9
2.5. İnce Film güneş pilleri	10
2.6. CdTe Yarıiletkeni	11
2.7. Elektrokimyasal Biriktirme	13
2.7.1. Çalışma elektrodu	16
2.7.2. Referans elektrodu	17
2.7.3 Karşıt elektrodu	17
2.8. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	18
2.9. Metal Yarıiletken Eklem	19
2.10. Foton Soğurulması.....	23
3. MATARYEL YÖNTEM	25
3.1. CdTe İnce Film Yarıiletkenin Büyütülmesi	25
3.2. Dönüşümlü Voltametre (CV)	27
3.3. Taramalı Elektron Mikroskobu	28

3.4. Mott- Schottky Analizi	29
3.5. UV-VIS Spektrometre Analizi	30
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	31
4.1. CdTe Yarıiletken Üretimi.....	31
4.2. n-tipi CdTe Yarıiletkenin Üretimi ve Analizi.....	32
4.3. p-tipi CdTe Yarıiletkenin Üretimi ve Analizi.....	34
5. SONUÇ	37
KAYNAKLAR.....	38
ÖZGEÇMİŞ	40

ŞEKİL DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Güneş enerjisinin diğer enerji kaynakları ile karşılaştırılması (Oktik, 2011)	3
Şekil 2.2 Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli (Anonim 2011)	4
Şekil 2.3. Şematik enerji bant gösterimleri a) İletkenin iki olasılığı: üst kısımda gösterilen kısmen doldurulmuş iletken bant, alt kısımda gösterilen üst üste binen bantlar b) yarıiletken c) yalıtkan	5
Şekil 2.4. (Eg) Direk bant aralığı olan bir yarıiletkenin enerji bant diyagramı (Yıldırım H 2007).....	6
Şekil 2.5. p-n yapının şematik gösterimi	8
Şekil 2.6 Bir p-n eklem tükenim bölgesinin şematik gösterimi (Demirtürk, 2019).	8
Şekil 2.7. CdTe'ün atomik yapısı.....	12
Şekil 2.8. Üç elektrotlu sistem.....	14
Şekil 2.9. ITO (İndiyum katkılı kalay oksit) kaplı cam.....	16
Şekil 2.10. Bir gümüş/gümüş klorür referans elektrot.....	17
Şekil 2.11. Karşıt elektrot platin tel örnekleri	17
Şekil 2.12. SEM'in şematik diyagramı	18
Şekil 2.13. Bir metal ve n-tipi yarı iletken (a) ile temastan önce ve (b) temastan sonra Schottky engelinin oluşumu	19
Şekil 2.14. (a) Bir metal ve p-tipi yarı iletkenin temastan önce ve (b) bir temastan sonra yeniden üretilmiş Schottky engelinin oluşumu	20
Şekil 2.15. Metal ve p-CdTe arasındaki arayüzde oluşan Schottky bariyer.....	20
Şekil 2.16. Metal yarı iletken bir eklem için a) yük ve b) alan dağılımları.....	21
Şekil 2.17. Doğrudan geçişli bant aralıklı yarıiletkenlerin foton soğurulması.....	23
Şekil 3.1. Ultrasonik banyo	25
Şekil 3.2. CdTe ince film yarıiletkenlerinin büyütülmesinde kullanılan sistem	26
Şekil 3.3. (a) Dönüşümlü voltaj tekniğinde çalışma elektrotuna zamanla uygulanan potansiyel (b) uygulanan potansiyel sonucu oluşan akım-potansiyel eğrisi (Alanyalıoğlu M 2006).....	27
Şekil 3.4. NABİLTEM'de kullanılan SEM.....	28
Şekil 3.5. SEM cihazında görüntü oluşumu için parametrelerin ayarlanması.....	28
Şekil 3.6. Eğimin eksi veya artı olması durumunda yarıiletkenin tipi	29
Şekil 37. UV-VIS spektrometre sistemi	30

Şekil 4.1. CdTe 'ün dönüşümlü voltametri grafiği	31
Şekil 4.2. n-tipi CdTe yarıiletkeninin -0,8V'ta büyütülmesi	32
Şekil 4.3. n-tipi CdTe yarıiletkeninin SEM görüntüsü	32
Şekil 4.4. n-tipi CdTe yarıiletkeninin Mott-Schottky eğrisi	33
Şekil 4.5. $(\alpha hv)^2$ 'nin hv 'ye göre grafiği	33
Şekil 4.6. p-tipi CdTe yarıiletkeninin -0,4V'ta büyütülmesi	34
Şekil 4.7. p-tipi CdTe yarıiletkeninin -0,6V'ta büyütülmesi	34
Şekil 4.8. p-tipi CdTe yarıiletkeninin SEM görüntüsü	35
Şekil 4.9. p-tipi CdTe yarıiletkeninin Mott-Schottky eğrisi	36
Şekil 4.10. $(\alpha hv)^2$ 'nin hv 'ye göre grafiği	36
Şekil 4.11. Üretilen n-tipi CdTe ve p-tipi CdTe yarıiletken ince filmler	36

KISALTMALAR

ED	: Elektrokimyasal biriktirme
UV-VIS	: Ultraviyole-görünür ışık
VC	: Dönüşümlü voltmetri
WE	: Çalışma elektrot
CE	: Karşıt elektrot
RE	: Referans elektrot
SEM	: Taramalı elektron mikroskop
İTO	: İndiyum katkılı Kalay oksit
a-SiAmorf	: Silisyum

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐmasını gerçekleŐtirmemi sağlayan danıŐmanım Sayın Doç. Dr. Kadir ERTÜRK'e, deneylerin yapımı ve analizinde büyük desteği olan Uludağ Üniversitesi Fizik Bölümü'nden sayın hocam Prof. Dr. Ahmet PEKSÖZ'e ve aileme teşekkür ederim.

Bengi BİNGÖL

17/05/2019

1. GİRİŞ

Bugün dünyamızın karşı karşıya olduğu en büyük sorunlarından biri enerji ihtiyacıdır. Dünyadaki ülkelerin ekonomileri büyüdükçe ve sanayileştikçe enerji talepleri artmıştır. Enerji kullanımındaki artış, esas olarak, hızla büyüyen dünya nüfusunun, onu sürdürmek için daha fazla miktarda enerji gereksinimi ve daha fazla teknoloji kullanımının bir sonucudur. Mevcut enerji talebinin büyük bir kısmı, sonlu yani fosil bazlı yakıtlar olan enerji kaynakları tarafından karşılanmaktadır. Fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğalgaz) son iki yüzyıl boyunca ana enerji kaynağı olmuştur. Ancak, bu rezervler hızla tükenmektedir. Fosil yakıtların yakılması, karbondioksitin (CO₂) atmosfere salınmasına ve buda çevre kirliliğine neden olmaktadır.

International Panel on Climate Change (IPCC) (Anonim, 2019) tarafından yayınlanan rapora göre son elli yıldaki iklim değişikliğinin insan etkinliğine bağlı olma oranının % 90 olduğu bildirilmiştir (Cummings, 2012). Rapora göre atmosferdeki CO₂'in ani artışı, büyük ihtimalle iklim değişikliğinin en büyük nedeni olacaktır (Cummings, 2012). İklim değişikliği kaynaklı bir yıkımdan kaçınmak için, dünya enerji ihtiyacının 10 Tera Watt kadarlık kısmının 2050 yılına kadar temiz yenilenebilir kaynaklardan gelmesi gerektiği öngörülmüştür (Cummings, 2012).

Bu nedenlerle insanlığın, elektrik enerjisi üretmek için farklı kaynakları araştırması son derece önemlidir.

Yeşil enerji birçok gelişmiş ülkede her geçen gün daha popüler hale geliyor. Son yıllarda, birçok ülke paralarını güneş, rüzgar ve jeotermal tesisler gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırıyor. Çin ve ABD başta olmak üzere Brezilya, Almanya ve Rusya dünyada yenilenebilir enerji kullanan başlıca ülkelerdir.

Biyoenjerji, jeotermal enerjerji, hidroelektrik, okyanus enerjerjisi, güneş enerjerjisi ve rüzgar enerjerjisi yenilenebilir enerjerji türleridir. CO₂ emisyonu gibi çevresel etkileri geleneksel enerjerji teknolojilerinden çok daha düşük olan temiz enerjerji kaynaklarıdır. Çevresel faydaların yanı sıra, yenilenebilir enerjerji yeni iş olanakları sağlar. Hidroelektrik teknolojisi eskiden beri kullanılıyor. Öte yandan rüzgar ve güneş enerjerjisi teknolojisi gün geçtikçe gelişiyor.

Güneş enerjisi, enerji üretimi ihtiyacını karşılamak için büyük bir potansiyele sahip yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisinden yararlanmak için geliştirilen teknolojiler sadece güneş enerjisi kullanım miktarını artırmakla kalmamakta aynı zamanda altyapı maliyetlerini de düşürmektedir. Yatırımını kısa sürede yüksek verimlilikle karşılayan güneş enerjisi ekonomik ve çevre dostu bir enerji kaynağı olmaktadır.

Güneş pilleri ilk olarak 1960'larda ortaya çıktı, ancak amaç sadece çeşitli yarı iletkenlerin fotovoltaiik özellikleriyle ilgilenildi (Bhardwaj, 2015). 1980'lerde güneş pilleri üretimi ile ilgili çalışmalar yapıldı (Bhardwaj, 2015). Güneş pilleri, uydularda önemli bir kullanım alanı buldu. Üretilen güneş pillerinin çoğunda p-n eklemli kristal silikon (c-Si) esas alındı. c-Si temelli güneş teknolojisi, güneş pili üretiminin yaklaşık % 90'ını kapsamaktadır (Bhardwaj, 2015).

Cd-Te ideal enerji bant aralığı ve yüksek ışık soğurma katsayısı ile ışığı elektrığe dönüştüren II-VI bileşikleri arasında uygun bir aday ve gelecek vaadeden malzeme olarak kabul edilmiştir. Cd-Te ince filmlerini büyütmek için çeşitli teknikler kullanılmıştır. Bu teknikler, kapalı-alan süblimleştirme, atom sökme yöntemi, siprey piroliz yöntemi, vakum buharlaştırma ve elektrodepozisyon gibi yöntemleri içermektedir. Tüm bu tekniklerin kendi avantajları vardır, bununla birlikte sulu çözelti kullanılan elektrodepozisyonun düşük maliyetli ve yüksek enerji verimli yöntem olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmada, Cd-Te ince filmlerinin elektrodepozisyonu için basitleştirilmiş ve düşük maliyetli 3 elektrotlu sistem kullanılmıştır. Bu basitleştirilmiş teknik, yüksek kaliteli ince film güneş pillerinin üretiminin güvenilir ve uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

Tez çalışmasında daha verimli CdTe güneş pillerinin üretilebilmesi için n tipi ve p-tipi CdTe ince film yarıiletkeni üretilmeye çalışılmıştır. Ayrıca üretilen CdTe ince film yarıiletkenlerin bant yapısı analizi, morfolojik, optik, ve elektriksel özellikleri incelenmiştir

2.KURAMSAL TEMELLER

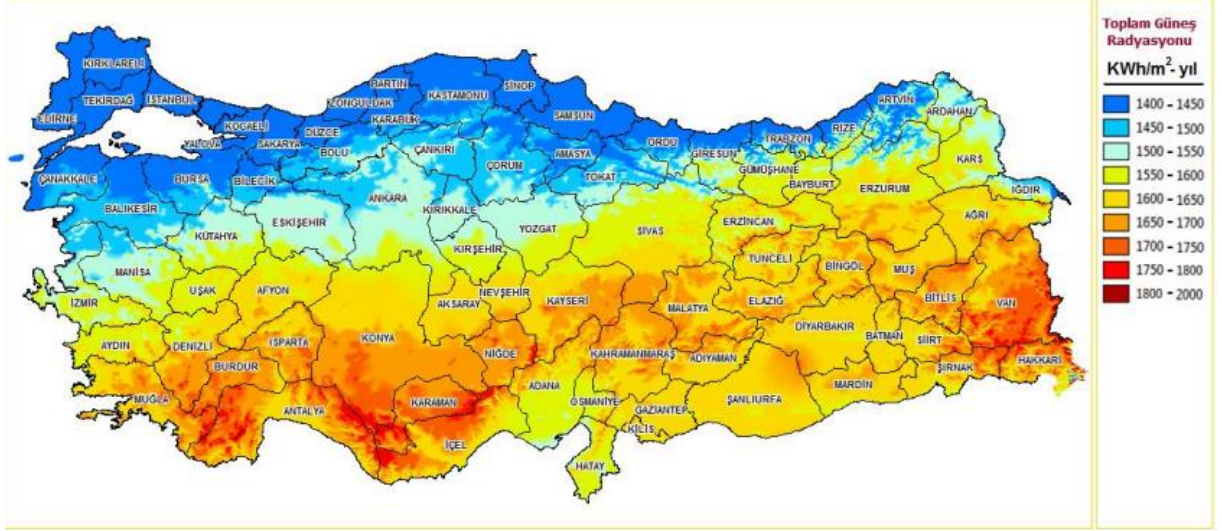
2.1. Enerji İhtiyacı ve Güneş Enerjisi

Dünya nüfusunun gün geçtikçe artması, büyüyen ekonomilerin ihtiyaçlarının artması, yüksek yaşam standartları, enerji tüketimini artırmakta ve daha fazla enerji ihtiyacına yol açmaktadır. Dünyadaki enerjinin büyük kısmı karbon bazlı yakıtlardan oluşmasından dolayı, CO₂ emisyonları 20. yüzyılın başlarından bu yana önemli ölçüde artmaktadır. Bunun sonucundan CO₂ emisyonu sera etkisi oluşturmakta ve gezegenin ikliminde ciddi sorunlara yol açacağı düşünülmektedir. CO₂ emisyonunu azaltmak için alternatif (yenilenebilir) enerji kaynakları kullanılmalıdır. 2013 itibariyle yenilenebilir enerji kaynakları (rüzgar, güneş, hidro vb.) küresel enerji üretiminin sadece% 5,3'ünü oluşturuyordu (Anonim, 2014). Alternatif enerji pazar payı az olsa da, hızla büyümektedir ve 2012-2013 yılları arasında yenilenebilir kaynaklarından üretilen elektrik miktarı % 16,3 artmıştır (Anonim, 2014). Alternatif enerji kaynakları arasında %33'lük büyümeyle Güneş enerjisi ön plana çıkmaktadır (Kondrotas, 2015).

Güneş enerjisi, tükenmekte olan fosil kaynaklarına, alternatif enerji kaynağı olarak görülen doğal enerji kaynaklarının en başında gelmektedir. Şekil 1'den de görüldüğü gibi güneş enerjisinden elde edilebilecek enerji miktarı diğer enerji kaynaklarına göre çok fazladır.



Şekil 2.1. Güneş enerjisinin diğer enerji kaynakları ile karşılaştırılması (Oktik, 2011)



Şekil 2.2 Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli (Anonim, 2011)

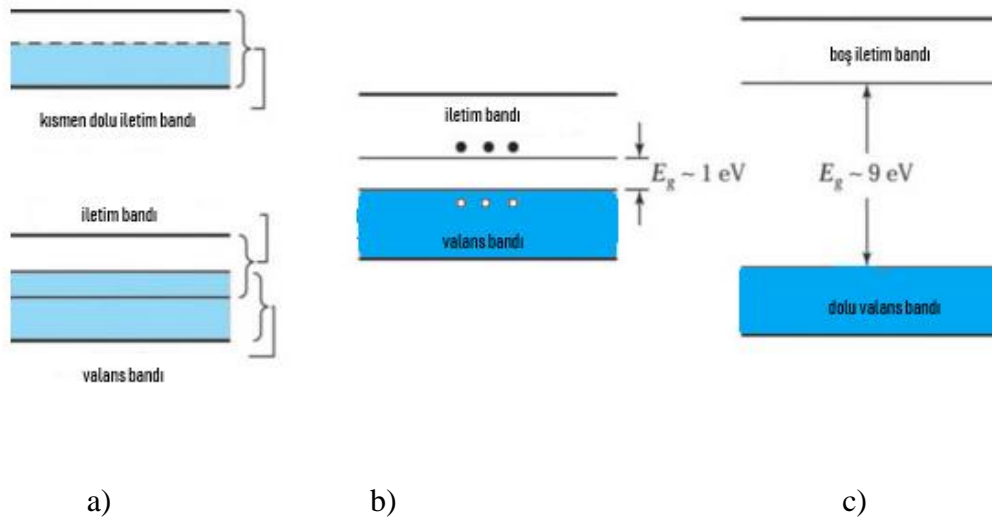
Şekil 2.2'de Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) verilmiştir. Atlas oluşturulurken Elektrik İşleri Etüt İdaresi ve Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün 22 yıllık güneş ölçümleri temel alınmıştır. Türkiye'nin güneş enerjisinden yıllık elektrik üretim potansiyeli 380 milyar kWh'tir. Güneş radyasyonu yıllık metrekare başına 1650 kWh'den fazla olan yerler en iyi alanlar olarak belirtilmiş, 4 bin 600 kilometrekare kullanılabilir alan belirlendiği vurgulanmıştır.

Coğrafi konumu nedeniyle ülkemiz, sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık güneşlenme süresi 2640 saat (günlük 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²yıl (günlük 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir (Anonim, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2011).

2.1. Yarı iletken kavramları

Katıhal malzemeleri, yalıtkan, yarıiletken ve iletken olarak 3 grupta sınıflandırılır (Şekil 2.3). Metallerin elektrik ve ısı iletkenlikleri, yük taşıyıcı yoğunlukları çok yüksek olduğundan çok iyidir, bu sebeple iletken sınıfını oluştururlar. Metallerin değerlik elektronlarının sayısı az ve boş orbitalleri fazladır bu sebeple birbiriyle etkileşime giren atom sayısı fazladır. Her bir atomun değerlik elektronu, komşu atomların boş yörüngelerinde

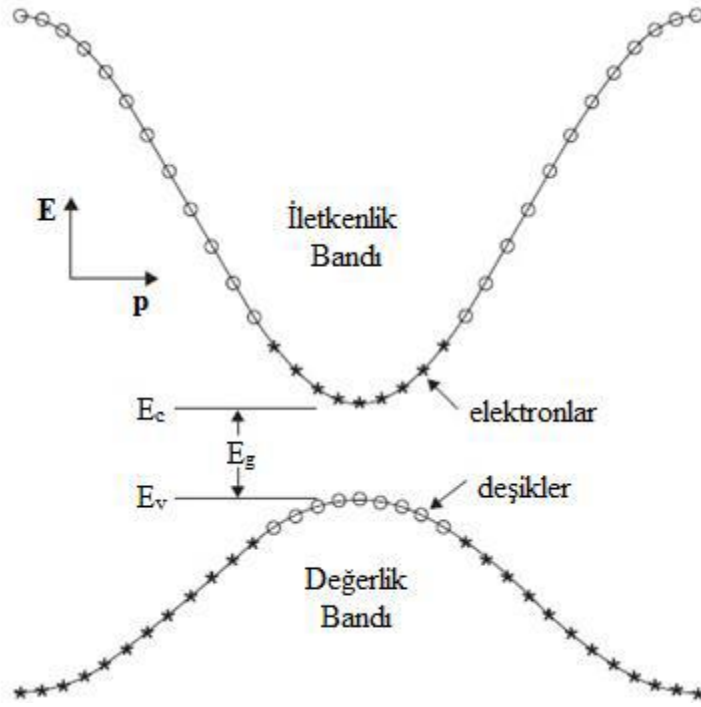
dolaşarak atomları birbirine metalik bağla bağlarlar. Metal atomlarının etkileşimi sonucu, bağlama enerjisi düşük orbitaller yani değerlik bandı ve enerjisi yüksek itici orbitaller yani iletkenlik bandı oluşur. Metallerde yan yana gelebilen atomlar fazla olduğu için bantlar birbirine girer ve sürekli bir bant oluşur. Bu süreklilik serbest elektronların düşük sıcaklıklarda bile enerji düzeylerini kolaylıkla geçmesini sağlar. Metallerin iletkenliği sıcaklık arttıkça azalır. Sebebi, örgü noktalarındaki atomların titreşme genliklerinin sıcaklık ile artması sonucu aralarından geçmeye çalışan elektronların hareketinin kısıtlanmasıdır.



Şekil 2.3. Şematik enerji bant gösterimleri a) İletkenin iki olasılığı: üst kısımda gösterilen kısmen doldurulmuş iletken bant, alt kısımda gösterilen üst üste binen bantlar b) yarıiletken c) yalıtkan (Sze & Kwok, 2007)

Yalıtkanlarda yük taşıyıcı yoğunluğu sıfıra yakındır. Yalıtkan maddelerde enerji düzeyleri elektronlarla doludur ve iletkenlerdeki gibi bant aralıkları örtüşmez. Bu sebeple elektronlar valans bandında kolaylıkla hareket edemez ve yasak enerji aralığı yüksek olduğundan bir üst düzeydeki banda geçemezler.

İletkenliği sıcaklığın ve katkı atomlarının yoğunluğu ile değişebilen maddelere yarıiletken madde denmektedir. Yarıiletkenlerde bulunan yasak enerji aralığı yaklaşık 1-3eV arasındadır. Yarıiletkenlerde yasak enerji aralığı doğrudan geçişli (Şekil 2.4) ve dolaylı geçişli olabilir. Malzemelerde yük taşıyıcılarının yoğunluğu sıcaklıkla değişkenlik göstermekle birlikte yalıtkan ve iletkenlerin arasında bir değere sahiptir. Dış etkenlerle öz direnci (ρ) değişebilen yarıiletkenlerin öz direnci $10^{-1} \Omega \cdot \text{cm}$ ile $10^{+4} \Omega \cdot \text{cm}$ aralığındadır. Metallerin öz direnci sıcaklık arttıkça artan bir özellik gösterirken, yarıiletkenlerin öz direnci sıcaklık arttıkça eksponansiyel olarak azalır. Yarıiletkenler mutlak sıfır sıcaklığında yalıtkan özellik gösterirler. Öz direnç iletkenlikle ters orantılıdır.



Şekil 2.4. (E_g) Direk bant aralığı olan bir yarıiletkenin enerji bant diyagramı (Yıldırım, 2007).

Yarıiletkenler saf ve katkılı olarak ikiye ayrılır.

2.2.1. Saf Yarıiletkenler

Asal ve özden yarıiletkenlerde denir. Saf bir yarıiletkende iletkenlik bandında ki elektronların sayısı ile valans bandında ki boşlukların sayısı birbirine eşittir. Bu durumda, mutlak sıfır sıcaklığında, valans bandı elektronlarla tam olarak doludur ve iletim bandında serbest elektronlar bulunmaz. Sıcaklığın artmasıyla valans bağlarında kırılmalar başlar ve serbest elektrolarla boşlukların konsantrasyonu artar.

2.2.2. Katkılı Yarıiletkenler

İki tür katkılı yarıiletken vardır. n-tipi ve p-tipi. n-tipi yarıiletkenlerde çoğunluk yük taşıyıcıları elektronlardır, p-tipi yarıiletkenlerde ise boşluklardır. Beş değerlikli bir atom, son yörüngesinde 4 elektron olan silisyum veya germanyum kristalinde atomların yerleştiği örgü noktalarından birine yerleşirse son yörüngesinde 5 elektron bulunan katkı atomu en yakın komşuları olan dört atomla kovalent bağ oluşturduktan sonra geriye bir değerlik elektronu kalır. Katkı atomunun beşinci değerlik elektronu atoma zayıf bir bağla bağlı olduğundan küçük bir enerji ile serbest hale gelir ve iletim elektronu olarak kristalin içinde serbest hareket

edebilir. Bu şekilde katkılanan yarı iletken n-tipidir. Yarıiletkene bir elektron verdiği için katkı atomuna verici (donör) denir. Aynı şekilde son yörüngesinde 3 elektron bulunan bir atom Si ve Ge ile kovalent bağ yapması durumunda bir bağda elektron eksikliği olacaktır. Üç değerlikli katkı atomu bağı tamamlayabilmek için bir elektron almak zorunda olduğundan, bu atoma alıcı (akseptör) denir ve *p*-tipi yarıiletken olarak tanımlanır.

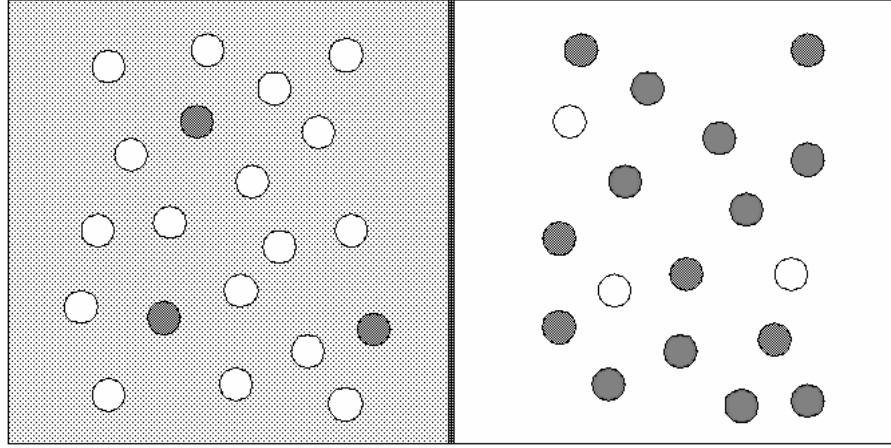
Fermi dağılım fonksiyonu ile yarıiletken termal denge durumunda iken her bir enerji düzeyindeki dolu durumların, girilebilir durumlara oranı belirlenir. Yarıiletkenlerin izinli bant aralıkları (0.40 - 4.00) eV aralığındadır. Saf yarı iletken bir malzeme $T = 0^\circ \text{K}$ sıcaklıkta bir yalıtkan haline gelir ve bu durumda iletken bant (E_c) tamamen boştur ve değer bandı (E_v) tamamen elektronlarla doldurulur. Enerji durumu E 'de bir elektron bulma olasılığı $F(E)$, Fermi-Dirac dağılım ilişkisi tarafından verilmektedir (Sze & Kwok, 2007)

$$F(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_F}{kT}\right)} \quad (1)$$

Burada k , Boltzmann sabitidir, T mutlak sıcaklıktır ve E_f , Fermi enerji seviyesidir.

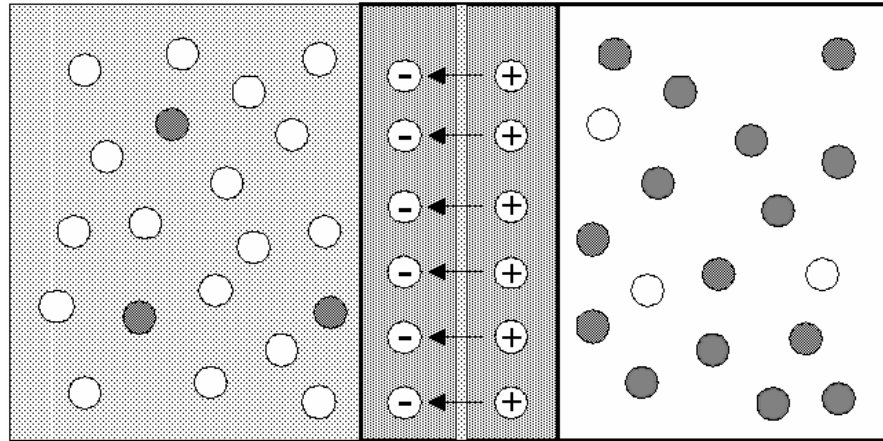
2.3. p-n Ekleme

Yarı iletkenlerin iletkenliği büyük ölçüde yabancı maddelerin cinsine ve konsantrasyonuna bağlıdır. Bir yarıiletkenin yasak enerji aralığındaki konumuna göre, iki tür safsızlık vardır: donörler ve akseptörler. Donörler yarıiletkenin iletkenlik bandına bir elektron veririrken, akseptörler valans bandından bir elektron alırlar ve bu şekilde valans bandında boşluk oluşur. Bu nedenle, iyonlaşan safsızlık atomları ile yarıiletken katkılanmış olur ve serbest yük taşıyıcıları oluşur. İyonize donörler yarı iletkende fazladan serbest elektron sağlar, bu durumda donörler ile katkılanan yarıiletken n tipi yarı iletken olarak adlandırılır, iyonize bir akseptör serbest boşluklar sağlar ve akseptör atomları ile katkılanan yarıiletken p-tipi yarı iletken malzeme olur (Şekil2.5).



Şekil 2.5. p-n yapının şematik gösterimi (Demirtürk, 2019). Yukarıdaki şekilde beyazla gösterilenler boşlukları (hole), gri ile gösterilenler elektronları temsil ediyor. p-tipi malzemede boşluk yoğunluğu, n-tipi malzemede elektron yoğunluğu fazladır.

Eklem olduğunda n-tipi ve p-tipi bölgelerde elektron ve boşlukların yoğunluk farkından dolayı difüzyon olayı gerçekleşir ve n-tipi yarıiletkendeki serbest elektronlar, p-tipi yarıiletkendeki boşluklarla birleşirler. Aynı şekilde p-tipi yarıiletkendeki boşluklarda n-tipi yarıiletkendeki elektronlarla birleşirler. Bu durumda p-tipi yarıiletkenin eklem bölgesine yakın akseptörler elektron aldıklarından dolayı iyonlaşarak negatif yüklü ve n-tipi yarıiletkenin eklem bölgesine yakın donör atomları da elektron vererek pozitif yüklenirler. Eklemde, bir elektron bir delikle karşılaştığında rekombinasyon gerçekleşir ve sonuç olarak tükenir.



Şekil 2.6 Bir p-n eklemde rekombinasyon bölgesinin şematik gösterimi (Demirtürk, 2019).

Elektronların difüzyonu n- tarafında pozitif yüklü iyonize donörler bırakır ve p- tarafında negatif yüklü iyonize akseptörler boşlukların difüzyonundan sonra geride kalır. Böylece eklem bölgesinde n-tipi yarıiletken p-tipi yarıiletkene doğru bir elektrik alan oluşur (yükten arındırılmış veya tükenim bölgesi) ve difüzyonla hareket eden serbest taşıyıcıların hareket yönüne ters yönde kuvvet etki eder (Şekil 2.6). Bu durumda serbest taşıyıcılar sürüklenirler. Termal denge durumunda difüzyon ile hareket eden serbest taşıyıcı sayısı sürüklenen serbest taşıyıcı sayısına eşittir yani difüzyon akımı sürüklenme akımına eşit olur. Bir p-n eklem, eklem her iki tarafının aynı malzemedan yapıldığı bir homoeklem veya iki farklı malzemedan oluşan bir heteroeklem olabilir.

2.4. Fotovoltaik

Günümüzde güneş pilleri olarak adlandırdığımız fotovoltaikler yenilenebilir enerji kaynaklarının önemli bir unsuru haline gelmiştir. 1839'da Edmund Becquerel ((Honsberg & Bowden, 2019) asidik çözeltiye batırılmış platin elektrotlar aydınlatıldığında elektriğin üretildiğini gözlemleyerek fotovoltaik etkiyi keşfetmiştir. GaAs ve silisyumdan yapılan güneş pillerinde % 20 lere varan verim elde edilmiştir.

Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürme işlemine fotovoltaik olay denir. Güneş pilleri yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çeviren p-n eklem yapısındaki yarıiletkenlerdir.

Fotonlar yarı iletkenle iki şekilde etkileşir; yarıiletken malzemenin yasak enerji aralığından daha büyük enerjili foton soğurulabilir ve bir elektron boşluk çifti oluşur. Bir elektron boşlu çifti yeniden birleşebilir ve yarıiletkenin yasak enerji aralığına eşit enerjide fotonu yayabilir.

Güneş pillerinin çalışma prensibi fotovoltaik etkiye dayanır. Fotovoltaik etkilerin arkasındaki temel olaylar,

- n-tipi bir yarı iletken ile bağlantıyı oluşturan p-tipi bir yarı iletken malzemedan ışığın soğurulmasıyla serbest elektron-boşluk çiftlerinin üretilmesi,
- Eklem bölgesinde oluşan elektron-boşluk çiftlerinin tükenim bölgesindeki elektrik alandan dolayı ayrılması,
- Arka ve ön elektrotlarda, üretilen serbest yük taşıyıcıların toplanması.

Işığın soğurulması ve serbest yük taşıyıcılarının oluşturulması için yarıiletken malzemeler kullanılmaktadır. Bilim insanları çok çeşitli özelliklere sahip birçok yarı iletken malzemeyi araştırmaktadır. Güneş pili çalışmalarında, ışığı etkin bir şekilde absorbe eden ve güneş enerjisi dönüşümünde yük taşıyıcıları oluşturan en uygun yarıiletkenler araştırılmaktadır. Yarıiletkenlerin dolaylı geçişli bant aralığı yerine doğrudan geçişli bant aralığına, yüksek optik soğurma ve düşük yoğunluklu rekombinasyon merkezlerine, mekanik mukavemete sahip olması fotovoltaik malzemeler için istenen özelliklerden bazılarıdır.

Fotovoltaik teknolojisinde hedef, düşük maliyetli ve yüksek verimliğe sahip güneş pilleri üretmektir. Fotovoltaik pazarı günümüzde, CdTe, Si, CIGS ve III-V bileşiklerinin oluşturduğu güneş pilleri üzerine kurulmuştur. 1.50 eV luk doğrudan geçişli bant aralığına sahip CdTe, yüksek foton soğurma katsayısına sahip olmasından ötürü, maliyet avantajı göz önünde bulundurulduğundan önemli bir fotovoltaik çeşididir.

CIGS tabanlı, küçük ölçekli güneş pilleri, laboratuvarında % 20,3 ve modülde % 15 rekor verimliliğe ulaştı. CdTe tabanlı güneş pilleri % 17.3 laboratuvar ve % 13.4 modül verimine ulaşmışlardır (Garba, 2011).

2.5. İnce Film güneş pilleri

Oluşturuldukları yarı iletkenin türüne ve işlenme tekniğine göre çeşitli verim ve maliyetlerde üretilmektedir. Bunları sınıflandıracak olursak;

1. Birinci Nesil (kristal silisyum, galyum arsenik güneş pilleri): Silisyum, yarı iletken özelliklerini tipik olarak gösteren, güneş pili yapımında en çok kullanılan elementlerden biridir ve uzun yıllar da bu konumunu koruyacak gibi görünmektedir. Fotovoltaik özellikleri daha üstün olan başka elementler de bulunmakla birlikte, silisyum gerek teknolojisinin üstünlüğü nedeniyle gerekse de ekonomik nedenlerle tercih edilmektedir
2. İkinci Nesil (ince filmler: CuInSe₂, CdTe, a-Si güneş pilleri): Soğurma özelliği daha iyi olan maddeler kullanılarak daha az kalınlıkta güneş pilleri yapılır. Örneğin amorf silisyum güneş pillerinin soğurma katsayısı kristal silisyum güneş pillerinin katsayısından daha fazladır. Dalga boyu katsayısı 0.7 mikrondan küçük bir bölgedeki güneş radyasyonu 1000 mikron kalınlığında amorf silisyum ile soğurulabilirken, kristal silisyumda ise aynı radyasyonu emmek için 500 mikron kalınlıkta malzeme

kullanılması gerekmektedir. Bu yüzden amorf yapılı güneş pillerinde daha az malzeme kullanılır ve montaj kolaylığı nedeniyle bir avantaj sağlar.

3. Üçüncü Nesil (boya duyarlı güneş pilleri, organik güneş pilleri): İnce Film güneş pilleri, ikinci nesil güneş pilleri olarak da adlandırılabilir. İçerdiği dört gruba ayrılır: a-Si, CdS / Cu₂S, CdTe ve CIGS. CdTe ve CIGS ince film güneş hücreleri şu anda dünya çapında yoğun bir araştırma altındadır. Bu teknolojilerin avantajlarından bazıları, daha düşük malzeme gereksinimleri, çeşitli işleme yöntemleri ve hafif modüller içeriyor olmasıdır. Işık absorpsiyonu için ~ 2-4 nm ince film güneş pilleri kalınlığı yeterlidir, oysa tüm radyasyonları etkili bir şekilde absorbe etmek için c-Si'nin ~ 180-300 nm kalınlığında olması gerekir. Üretilen daha ince tabaka nedeniyle, bu daha hızlı işlem adımlarına ve sermaye maliyetinin düşürülmesine neden olmaktadır.

2.6. CdTe Yarıiletkeni

Yüz yılın son çeyreğinde düşük maliyetli ve yüksek verimlilikli fotovoltaik ince film güneş panellerini geliştirmek için inorganik ikili bileşikler kullanan ince film yarı iletkenlerin geliştirilmesine büyük önem verilmektedir.

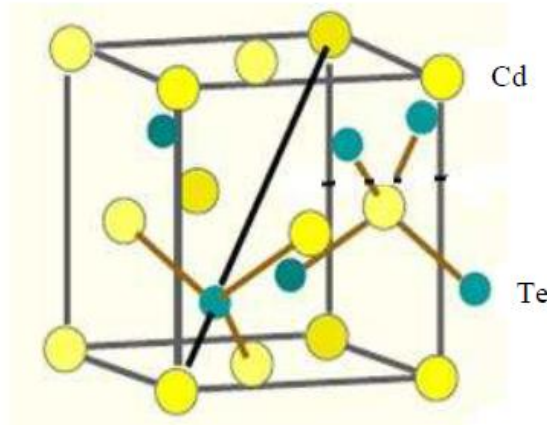
CdTe ideal enerji bant aralığı ve yüksek ışık soğurma katsayısı ile ışığı elektrığe dönüştüren II-VI bileşikleri arasında gelecek vadeden malzeme olarak kabul edilmiştir. CdTe'e dayanan ince film güneş pilleri çok popülerdir çünkü çeşitli basit yöntemlerle hazırlanabilirler. Ayrıca CdTe filmler çok kararlıdır.

CdTe, özellikleri nedeniyle ince film güneş pillerinde soğurucu tabaka olarak kullanılacak optimum bir malzemedir: CdTe, 1.45 eV' luk bir enerji bant aralığına sahiptir ve güneş ışığı spektrumunu emmek için çok uygundur. Görünür ışık aralığında CdTe için absorpsiyon katsayısı $> 10^5 \text{ cm}^{-1}$ 'dir (Hill, 1978). Ayrıca, CdTe'deki iletim ve valans seviyeleri arasındaki bant aralığı doğrudandır. İnce film CdTe yarıiletkenin kalınlığı ~ 1 µm olsa bile gelen ışıktaki fotonların çoğunluğunu absorbe etmek için yeterlidir.

Bu çalışmada, CdTe ince filmlerinin elektrodepozisyonu için basitleştirilmiş ve düşük maliyetli 3 elektrotlu sistem kullanılmıştır. Bu basitleştirilmiş teknik, yüksek kaliteli ince film güneş pillerinin üretiminin güvenilir ve uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

Burda biz n-tipi CdTe üretmek bant yapısı analizini, morfolojik, optik, topolojik ve elektriksel özelliklerinin tayinini yapmayı hedefliyoruz. CdTe ince film güneş pili temel olarak iki yarı iletken katmandan oluşur. Bir CdS katmanı, enerji bant aralığı, $E_g = 2.42$ eV ve üstüne $E_g = 1.45$ eV ile biriktirilmiş bir CdTe katmanı (emici) olan n-tipi pencere malzemesi olarak işlev görür.

CdTe'nin atomik yapısı Şekil 2.8'de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. CdTe'nin atomik yapısı

Kadmiyum tellürür (CdTe) ince film özel avantajları nedeniyle fotovoltaik enerji dönüşümü alanındaki başlıca adaylardan biridir. Teorik hesaplama, 1.00 - 2.00 eV bant aralığı enerjisine sahip yarı iletkenlerin, 1.40 eV optimum bant aralığı değerine sahip güneş enerjisi dönüşümleri için uygun olduğunu göstermektedir (Goerzberger & ark., 2003) .

Kadmiyumun bir element olarak toksik doğası nedeniyle bazı pazarlama sorunları olmuştur. Yıllık yaklaşık 20.000 ton Cd elementi, Zn ve Cu madenciliğinin yan ürünü olarak üretilir. Cd büyük bir oranda Ni / Cd pillerde kullanılır, gerisi çöplükte kalır, ancak CdTe güneş pilleri Cd'yu bileşik olarak yapısında barındırdığından dolayı zararsızdır. (KAYNAK)

Cd bilindiği üzere toksik bir maddedir. Maruz kalınan doz ile ilişkili olarak vücutta fizyolojik ve psikolojik patolojiler oluşturur. Normal şartlar altında, CdTe güneş pilleri kullanılırken ve yangın, kırılma vb. gibi kazalar esnasında hiçbir şekilde emisyon (yayılma) yapmaz. Yeni çalışmalar kanıtlamıştır ki cam-cam modüllerde yangın sırasında CdTe salınmaz çünkü Cd eritilmiş cam içinde çözünür ve orada muhafaza edilir (tutulur).

Birde Ni-Cd bataryalar ile CdTe fotovoltaik modülü elektrik üretimi açısından kıyaslayacak olursak 1kW CdTe güneş pili sistemi boyut olarak 10 kat Ni-Cd bataryadan daha az Cd içerir. Üstelik CdTe, bataryalarda kullanılan kadmiyum bileşenlerinden daha kararlı ve çözünürdür.

CdTe un elektrokimyasal kaplanması aşağıdaki reaksiyonlarla açıklanabilir (Garba, 2011):



2.7. Elektrokimyasal Biriktirme

Metallerin ve metal oksitlerin elektrokimyasal depolanması tipik olarak bir çözeltideki türlerin yükseltgenmesi veya indirgenmesi ile ilerlemektedir. Elektrokimyasal reaksiyon için standart elektrot potansiyeli, indirgenme oranının ve yükseltgenme reaksiyonlarının, standart konsantrasyon, basınç ve sıcaklık koşullarında eşit olduğu potansiyeldir. Nernst denklemi standart elektrot potansiyelini E^0 , elektrot potansiyeli E ile ilişkilendirir (Pandey & ark., 1996):

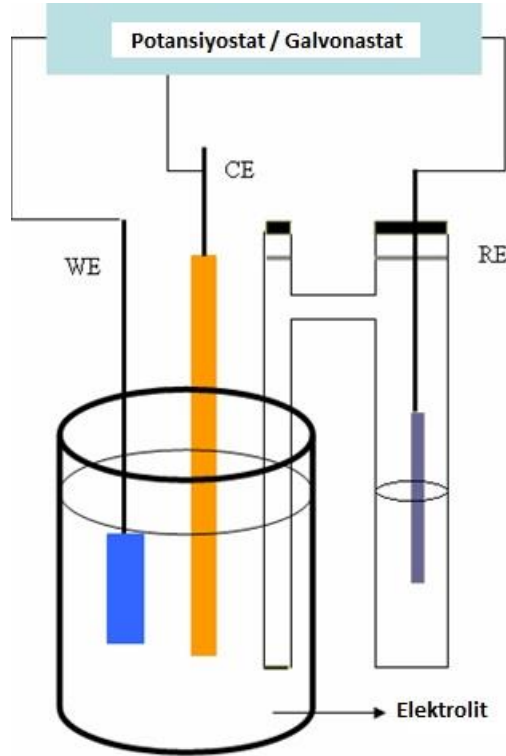
$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{(yük)}{(ind)} \quad (5)$$

burada R , standart gaz sabitini ($8.314510 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$), T mutlak sıcaklığı Kelvin cinsinden, n sayısı aktarılan elektron sayısını ve F Faraday sabitini ($96485.309 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$) göstermektedir. Potansiyel, yükseltgenmiş ve indirgenmiş türlerin aktivitelerinin doğal logaritmasının oranına da bağlıdır.

Elektrolit dolu bir elektroliz kabı içerisinde, iki veya üç elektrotlu bir sistemden oluşan hücreden elektrik akımı geçirilerek hedeflenen elektrota istenilen malzemenin kaplanması olayına elektro biriktirme denir.

İki elektrotlu hücrede reaksiyon, çalışma elektrotu ve karşı elektrot arasında uygulanan akım tarafından kontrol edilir. Üç elektrotlu hücredeki çalışma elektrotunun potansiyelini kontrol etmek veya ölçmek için bir referans elektrotu kullanılır ve biriktirme, potansiyelin izlenmesi sırasında akımın kontrol edilmesiyle veya akımı ölçerken potansiyeli kontrol ederek gerçekleştirilir. Referans elektrotu çalışma elektrotuna olabildiğince yakın tutulmalıdır. Biriktirme sabit potansiyelde akım ölçülerek veya sabit akımda potansiyel ölçülerek gerçekleştirilir.

Bir ED sistemi bir elektrolit, iki elektrot ve bir güç kaynağından oluşur (iki elektrot sistemi için). Elektrolit, elektriksel olarak iletken olmalı ve sulu, susuz veya erimiş olabilir ve uygun metal tuzları içermelidir. Elektrotlar en az katot (çalışma elektrotu) ve anottan (karşı elektrot) oluşmalıdır. Karşı elektrot, yüksek saflıkta bir grafit plakadır; çalışma elektrotu, yarı iletken malzemenin biriktirildiği iletken bir altlıktır. Üç elektrot sistemi için bir referans elektrot eklenir.



Şekil 2.8. Üç elektrotlu sistem

Bir elektro biriktirme hücresinde bulunanlar:

- Alt tabaka olarak kullanılan, filmin kaplandığı çalışma elektrodu (WE)
- Gümüş, platin, altın gibi bir materyalden oluşan karşı elektrot (CE)
- Çalışma elektrodunun potansiyelini ölçen referans elektrodu (RE)
- Kaplanacak malzemenin, katkı maddelerinin ve iletimi sağlayacak iyonların bulunduğu elektrolit.

ED vakumsuz bir tekniktir ve biriktirme potansiyeli, banyo sıcaklığı, pH, biriktirme süresi ve elektrolit konsantrasyonu gibi parametrelerin etkisi ile ince filmlerin özellikleri üzerinde mükemmel kontrol sağlar (Pandey & ark., 1996). Diğer yaygın sıvı faz biriktirme tekniği olan CBD ile karşılaştırıldığında, ED daha kolay kontrol edilir ve öncül çözeltiler kararlıdır. ED, Cd içeren atık miktarını azaltan kimyasalların çok yüksek bir şekilde kullanılmasının ek avantajlarına sahiptir. İnce film yarıiletkenler, altlıkların istenen alanına biriktirilebilir ve elektrolit uzun süre kullanılabilir. ED'nin ana dezavantajlarından biri, altlıkların iletken olması ve tabaka direncinin düşük olmasıdır.

Genel anlamda, elektrodepozisyonda yer alan sulu ortamdaki reaksiyon Faraday'ın iki yasasına tabidir. Bu yasalar 1843 yılında Michael Faraday tarafından keşfedilmiştir (Pandey & ark., 1996).

Faraday'ın 1. Elektroliz Yasası: Elektroliz sırasında bir elektrotta değiştirilen bir maddenin kütlesinin, elektrotta aktarılan elektrik miktarı ile doğrudan orantılı olduğunu belirtir. “Elektrik miktarı”, tipik olarak Coulombs cinsinden ölçülen elektriksel yükü ifade eder.

Faraday'ın 2. Elektroliz Yasası: Elektrolizde serbest kalan farklı maddelerin kütlelerinin kimyasal eşdeğer ağırlıkları ile orantılı olduğunu belirtir.

Eşitlik 2.10'da Faraday yasaları verilmiştir (Pandey & ark., 1996).

$$m = \left(\frac{Q}{F}\right) \left(\frac{M}{z}\right) \quad (6)$$

Faraday yasasından elde edilen Eşitlik (7), yarıiletken ince filmlerin teorik kalınlığını hesaplamak için kullanılır:

$$T = \frac{1}{nFA} \left(\frac{itM}{\rho} \right) \quad (7)$$

m bir elektrotta değiştirilen maddenin kütlesi, Q maddenin içinden geçen toplam elektrik yüküdür, $F = 96,485 \text{ Cmol}^{-1}$ Faraday sabitidir, M maddenin molar kütlesidir, ρ kaplanan filmin yoğunluğu, i ortalama akım yoğunluğu, A alan, T kalınlık, t zamandır ve z maddenin iyon değerlerinin sayısıdır (iyon başına transfer edilen elektronlar).

Sulu çözeltilerden elektrodpozisyon 100°C 'yi geçmez, çünkü bu sıcaklıkta elektrolit kaynamaya başlar. Etilen glikol gibi sulu olmayan ortamlar, sıcaklıkta $\sim 170^\circ\text{C}$ bir artışa izin verir (Premaratne & ark., 2004).

2.7.1. Çalışma elektrodu

Çalışma elektrotu üzerinde elektrokimyasal tepkimenin olduğu elektrotur. Çalışma elektrotunun seçiminde, iyon aktivitelerinin değişimine hızlı bir şekilde karşılık vermesi önemli bir faktördür. Çalışma elektrotu seçiminde diğer bir etken, yüzey morfolojisidir. Çalışma elektrotu platin, altın, gümüş gibi iletkenlerden veya iletken camlar seçilir.



Şekil 2.9. ITO (İndiyum katkılı kalay oksit) kaplı cam

2.7.2. Referans elektrodu

Referans elektrotu, çalışma elektrotunun potansiyelini belirlemek için referans alınan elektrottur. Bu elektrotun potansiyeli, sıcaklık değişmedikçe sabittir. Elektrolizin bileşenleriyle tepkimeye girmez. En sık kullanılan referans elektrotu, Ag/AgCl' dür.



Şekil 2.10. Bir gümüş/gümüş klorür referans elektrot

2.7.3 Karşıt elektrodu

Karşıt elektrot, çalışma elektrotunda meydana gelen akımı dengelemek için aksi yönde elektron transferi oluşturarak devreyi tamamlamak için kullanılır. Çalışma elektrotunda oluşan reaksiyona bir etkisi bulunmaz. Karşıt elektrot olarak platin, altın, grafit gibi metaller kullanılır. Bu çalışmada platin tel kullanıldı.

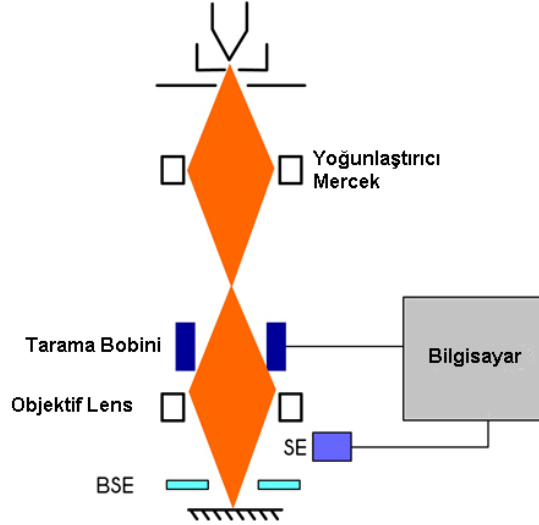


Şekil 2.11. Karşıt elektrot platin tel örnekleri (Ali N.H. 2018).

2.8. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Numuneyi oluşturan malzemelerin yüzey morfolojisi, tane büyüklüğü ve dağılımını incelemek için SEM çalışmaları yapılmıştır. Şekil 2.12, SEM'in şematik diyagramını göstermektedir. Elektron demetinin yüksek gerilimle hızlandırılıp, örnek yüzeyinin taratılmasında örnekteki atom ve elektronlar arası etkinin algılayıcı tarafından toplanıp, sinyal güçlendiriciden geçmesinden sonra katot ışın tüpüne aktarılarak taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü elde edilir.

SEM örneklerini 100 000 kat büyütülebilme gücüne sahip güçlü bir mikroskop olarak lif kesiti, kaplanmış yüzey karakterizasyonu, nano ölçekli katı malzeme analizinde kullanılmaktadır. Optik mikroskoplar da ise büyütme 1000 kattır ve ışık kırınımı çözünürlüğü sınırlamaktadır. Ayrıca ışık kırınımı 400 ile 700nm arasında olduğundan boyutları küçük nesnelere bazı özellikleri görünür ışıkta görünmemektedir (Goldstein & ark., 2003; Zhou & Wang, 2007).

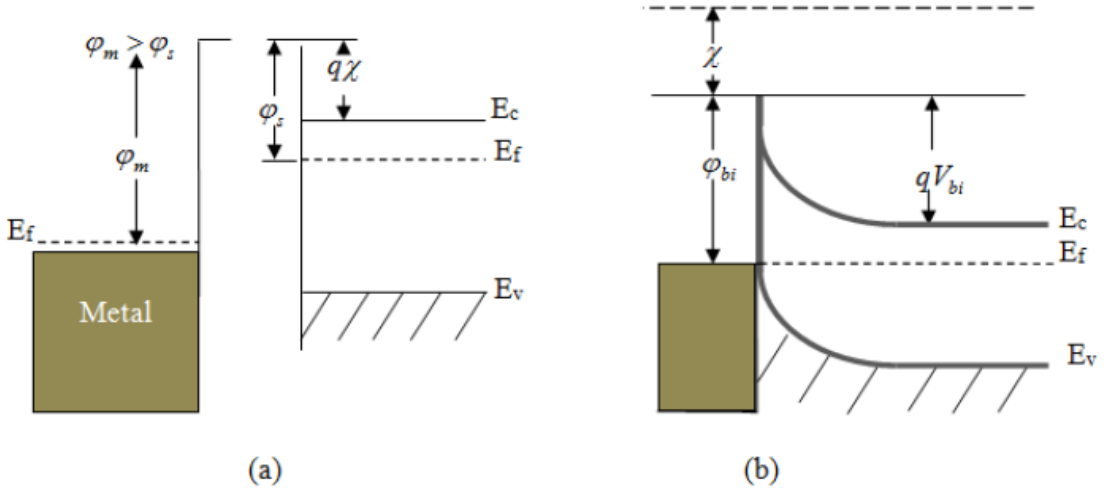


Şekil 2.12. SEM'in şematik diyagramı (Goldstein & ark., 2003; Zhou & Wang, 2007).

Numune hakkında kimyasal bilgi, numuneden yayılan x-ışınlarının özelliklerinden elde edilebilir. Enerji dağıtıcı bir x-ışını (EDX) spektrometresi, SEM bölümüne monte edilmiş bir katı hal x-ışını detektöründen oluşur (Goldstein & ark., 2003).

2.9. Metal Yarıiletken Eklem

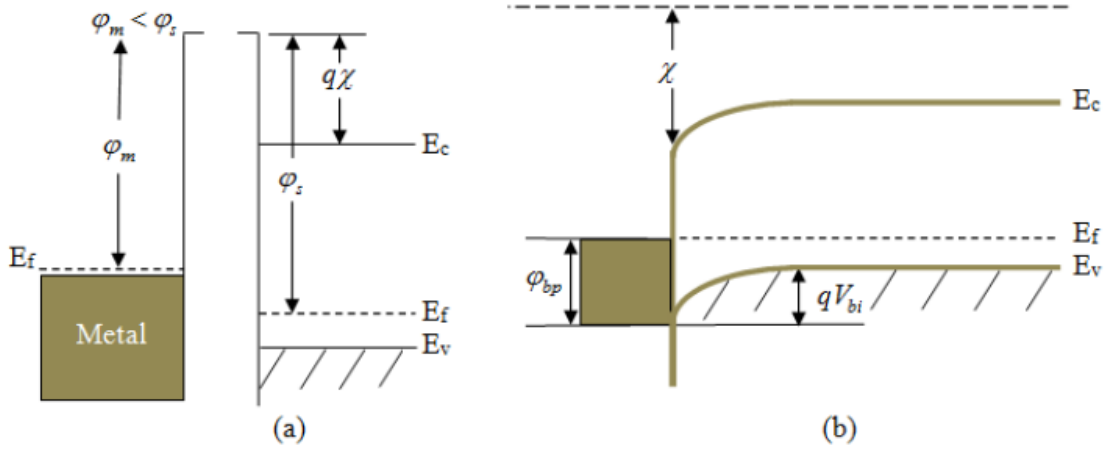
Şekil 2.13’de görüldüğü gibi metalin iş fonksiyonu n-tipi yarıiletkenin iş fonksiyonundan daha büyükse (yani $\phi_m > \phi_s$), yarıiletkenin Fermi seviyesi eklem olmadan önce metalinkinden daha yüksektedir. İş fonksiyonu ϕ_m olan bir metal ve çalışma fonksiyonu ϕ_s olan bir yarı iletken, temas ettiğinde, iki malzemenin Fermi seviyeleri eşitlenene kadar ara yüzey boyunca yük transferi gerçekleşir ve potansiyel bir bariyer oluşur. Ters durumda yani metalin iş fonksiyonu n-tipi yarıiletkenin iş fonksiyonundan daha küçükse bariyer oluşmaz ve bu tür eklemlere omik eklem denir. Metal / yarı iletken ara yüzeyindeki potansiyel bariyer boyunca yük transferi termiyonik emisyon, rekombinasyon veya yeniden üretim, alan emisyonu ve termiyonik alan emisyonu ile olabileceği bilinmektedir (Tyagi, 1991).



Şekil 2.13. Bir metal ve n-tipi yarı iletken (a) ile temastan önce ve (b) temastan sonra Schottky engelini oluşumu (Neumann, 2003).

Şekil 2.13’de görülen χ yarı iletkenlerin elektron ilgisidir. Oluşan bariyer metalin iş fonksiyonu ile yarıiletkenin elektron ilgisi arasındaki farktır (Sharma, 1984).

$$\phi_{bi} = \phi_m - \chi \quad (8)$$

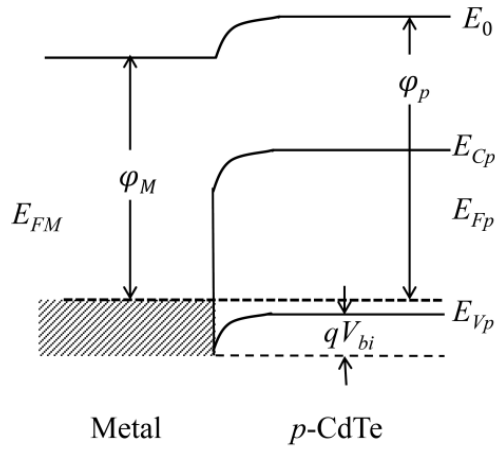


Şekil 2.14. (a) Bir metal ve p-tipi yarı iletkenin temastan önce ve (b) bir temastan sonra yeniden üretilmiş Schottky engelinin oluşumu (Neumann, 2003).

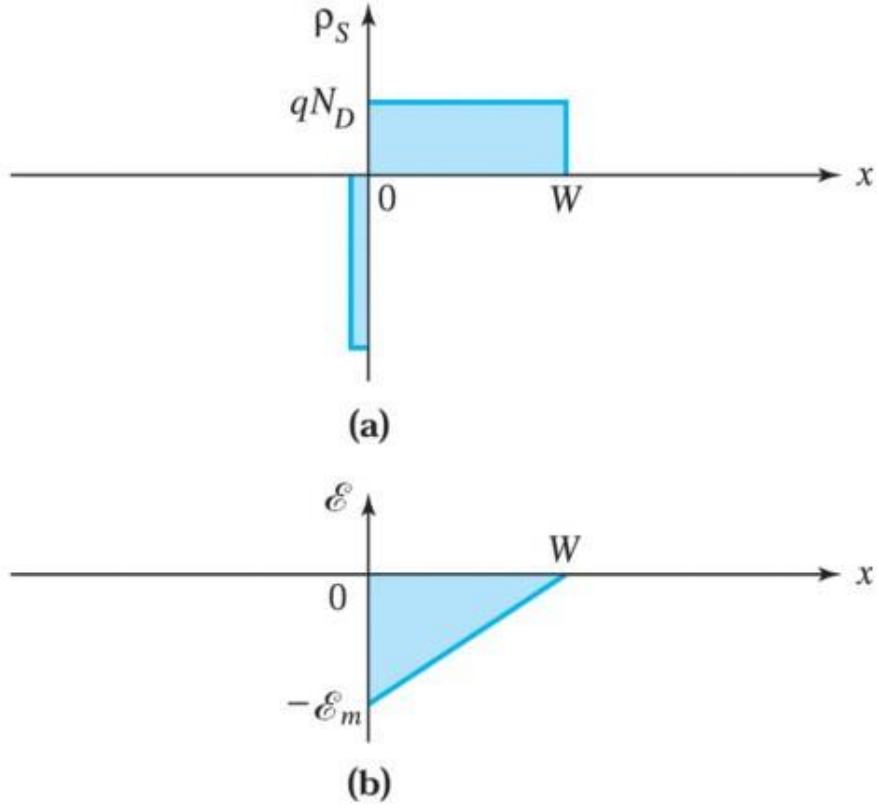
Benzer durum, Şekil 2.14 ve 2.15'de gösterildiği gibi p-tipi yarı iletken içinde geçerlidir. Şekilde de görüldüğü gibi metalin iş fonksiyonu yarıiletkenin iş fonksiyonundan daha küçüktür $\varphi_m < \varphi_s$ ve boşluklar için bariyer yüksekliği φ_{bp} aşağıdaki eşitlikte verilmiştir (Sze, 1981).

$$\varphi_{bp} = E_g - (\varphi_m - \chi) \quad (9)$$

Şekillerdeki qV_i eklem potansiyeli veya eklem yapı potansiyeli olarak tanımlanır.



Şekil 2.15. Metal ve p-CdTe arasındaki arayüzde oluşan Schottky bariyer (Garba, 2011)



Şekil 2.16. Metal yarı iletken bir eklem için a) yük ve b) alan dağılımları (Sze & Kwok, 2007)

Metal yarı iletken bir eklem için yük ve alan dağılımları sırasıyla Şekil 2.16a ve 2.16b'de gösterilmektedir. Metalin mükemmel bir iletken olduğu ve yarı iletkenden metale aktarılan yüklerin metal yüzeyinde çok dar bir bölgede bulunduğu göz önüne alınmıştır (Sze, 1981). W , yarıiletkendeki uzay yük bölgesinin genişliğidir ve $x < W$ için $\rho_s = qN_D$ olmakta iken $x > W$ için $\rho_s = 0$ olduğu Şekilde de görülmektedir.

Elektrik alanın maksimum değeri ara yüzeyde olmakta ve büyüklüğü mesafe ile doğrusal olarak azalmaktadır. Elektrik alan dağılımı aşağıdaki gibi yazılabilir (Sze & Kwok, 2007).

$$|E(x)| = \frac{qN_D}{\epsilon_s}(W - x) = E_m - \frac{qN_D}{\epsilon_s}x \quad (10)$$

$$E_m = \frac{qN_D W}{\epsilon_s} \quad (11)$$

Yukarıdaki eşitliklerde ϵ_s yarıiletkenin dielektrik geçirgenliğidir. Şekildeki alan Elektrik alan eğrisinin altındaki alanla temsil edilen uzay yük bölgesi boyunca potansiyel (Sze & Kwok, 2007);

$$V_i - V = \frac{E_m W}{2} = \frac{q N_D W^2}{2 \epsilon_s} \quad (12)$$

eşitliği ile verilir. Tükenim bölgesi genişliği de aşağıdaki gibidir.

$$W = (2 \epsilon_s (V_i - V) / q N_D)^{1/2} \quad (13)$$

Yukarıdaki eşitlik kullanılarak yarıiletkendeki uzay yük yoğunluğu Q_{SC} ,

$$Q_{SC} = q N_D W = (2 q \epsilon_s N_D (V_i - V) / q N_D)^{1/2} \quad (14)$$

elde edilir. Bu eşitlikte V ileri beslemede V_F 'ye veya geri beslemede $-V_R$ olur. Eşitlik 14'ten birim alan başına tükenim bölgesi kapasitansı hesaplanabilir (Sze & Kwok, 2007).

$$C = \left| \frac{\partial Q_{SC}}{\partial V} \right| = \left(\frac{q \epsilon_s N_D}{2(V_i - V)} \right)^{1/2} = \frac{\epsilon_s}{W} F / cm^2 \quad (15)$$

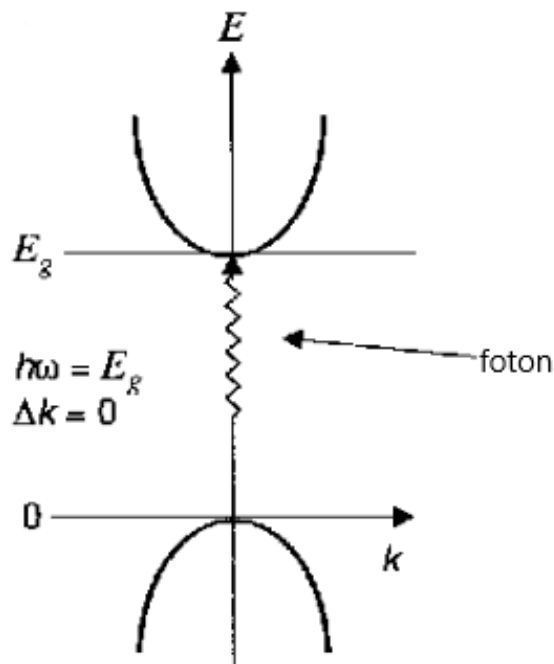
Eşitlik 16'dan görüldüğü gibi $1/C^2$ 'nin uygulanan potansiyel ile değişiminden taşıyıcı yük yoğunluğu bulunabilir.

$$N_D = \frac{2}{q \epsilon_s} \left[\frac{-1}{d(1/C^2)/dV} \right] \quad (16)$$

2.10. Foton Soğurulması

Soğurma olayında yarıiletkenin değerlik bandından iletkenlik bandına uyarılan elektron geride değerlik bandında bir boşluk bırakır. Bu durumda foton soğuran yarıiletkende elektron-boşluk çifti meydana gelir.

Şekil 2.16'da görüldüğü gibi CdTe gibi doğrudan geçişli bir yarıiletkende foton soğurulduğunda elektronun iletkenlik bandına geçişinde hem momentum hem de enerji korunur.



Şekil 2.17. Doğrudan geçişli bant aralıklı yarıiletkenlerin foton soğurulması

Enerji korunduğu için soğurulan foton enerjisi (Pankove, 1971);

$$h\nu = E_2 - E_1 > E_g \quad (17)$$

şeklinde yazılabilir. Bantların parabolik olduğu düşünülürse,

$$E_d - E_1 = \frac{p^2}{2m_p^*} \quad (18)$$

$$E_2 - E_i = \frac{p^2}{2m_n^*} \quad (19)$$

bağıntıları yazılabilir. Eşitlik 29 ve 30 kullanılarak aşağıdaki eşitlik elde edilir (Pankove, 1971).

$$h\nu - E_g = \frac{p^2}{2} \left(\frac{1}{m_p^*} + \frac{1}{m_n^*} \right) \quad (20)$$

Doğrudan geçişlerde soğurma katsayısı;

$$\alpha(h\nu) \sim A^* (h\nu - E_g)^{1/2} \quad (21)$$

Eşitliği ile verilir. Bu eşitlikte A^* bir sabittir.

3. MATARYEL YÖNTEM

3.1. CdTe İnce Film Yarıiletkenin Büyütülmesi

Deneyde kullanılan kimyasallar CdCl_2 , Na_2TeO_3 LiCl ve HCl Sigma-Aldrich'den sağlanmıştır. Kimyasalların saflığı %99'dan fazladır.

İletken cam 1x2 cm ebatında kesilmiştir, daha sonra ultra derecede saf su kullanılarak yıkanmıştır. Şekil 3.1'deki ultrasonik banyoda Sırasıyla 10 dk asetonda, 10 dk isopropanolda, 10 dk'da saf suda temizlenip, azot gazı ile kurutulmuştur. Yapılan çalışmalarda elektrokimyasal depozisyonda kullanılan çözeltilerin Ph değeri hidroklorik asit kullanılarak istenen değere ulaşılmıştır. Kullanılan çözeltiler 25° C oda sıcaklığında, 50 ml hacme sahip kaplarda yapılmıştır. CdTe ince film yarıiletkenin büyütülmesinde 10 mM CdCl_2 , 20 mM Na_2TeO_3 ve 200 mM LiCl sulu çözeltileri kullanıldı.



Şekil 3.1. Ultrasonik banyo

Şekil 3.2’de CdTe ince film yarıiletkenlerinin büyütülmesinde kullanılan sistem görülmektedir. Sistem potentiostat/galvanostat, elektrokimyasal hücre ve deneysel çalışmaların kontrol edildiği ve verilerin işlenip kaydedildiği bilgisayardan oluşmaktadır.



Şekil 3.2. CdTe ince film yarıiletkenlerinin büyütülmesinde kullanılan sistem

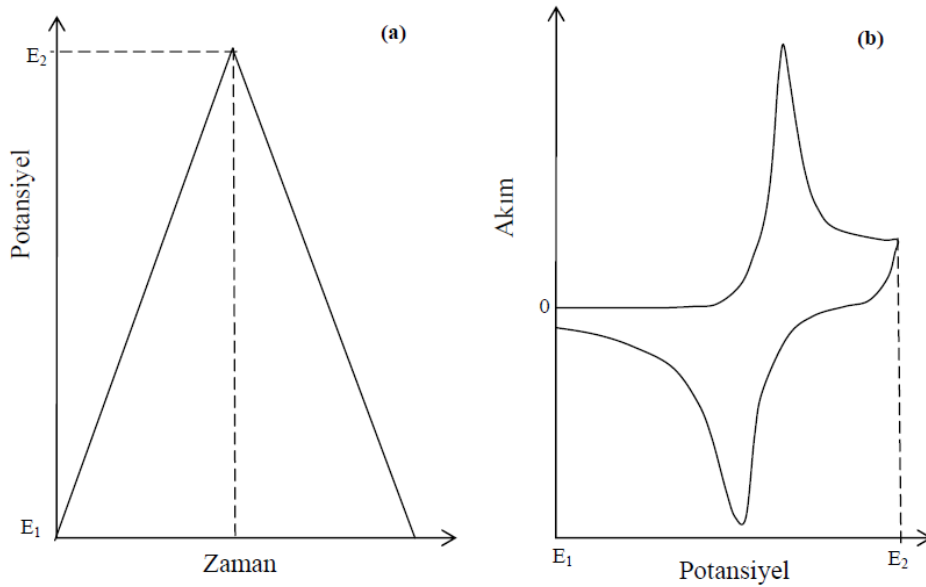
Çalışma elektrodu olarak indiyum katkılı kalay oksit (indium tin oxide, ITO) kaplı iletken camlar, referans elektrodu olarak Ag/AgCl ve karşıt elektrot olarak da platin tel kullanılmıştır. Potansiyostat sisteminde, karşıt elektrotlara çeşitli potansiyeller uygulanıp referans elektrot ile çalışma elektrotundaki potansiyel kontrol edilerek çalışma ve karşıt elektrotlar arasındaki akım kaydedilir.

CdTe ince film yarıiletkenlerinin büyütüleceği ITO kaplı iletken camın çözelti içindeki alanı $1 \times 1 \text{ cm}^2$, çalışma ve referans elektrotun arasındaki mesafe 1,5 cm, referans ve karşıt elektrot arasındaki mesafe 2 cm olarak ayarlanmıştır.

3.2. Dönüşümlü Voltametre (CV)

Bu teknik, ince film malzemenin birikmesinin gerçekleştiği bölgeleri tanımlamak için kullanılır. Elektrot ve elektrolit ara yüzeyinde türlerin elektriksel özellikleri dönüşümlü voltametre kullanılarak incelenebilir.

Dönüşümlü voltametrede bir başlangıç potansiyeli ile belli bir potansiyel arasında istenen tarama hızlarında potansiyeller uygulanır. İleri taramada dönüş potansiyeline ulaşıldığında tekrar aynı tarama hızıyla başlangıç potansiyeline geri dönülür. Bu şekilde birçok tarama yapılabilir.



Şekil 3.3. (a) Dönüşümlü voltametri tekniğinde çalışma elektrotuna zamanla uygulanan potansiyel (b) uygulanan potansiyel sonucu oluşan akım-potansiyel eğrisi (Alanyalıoğlu, 2006).

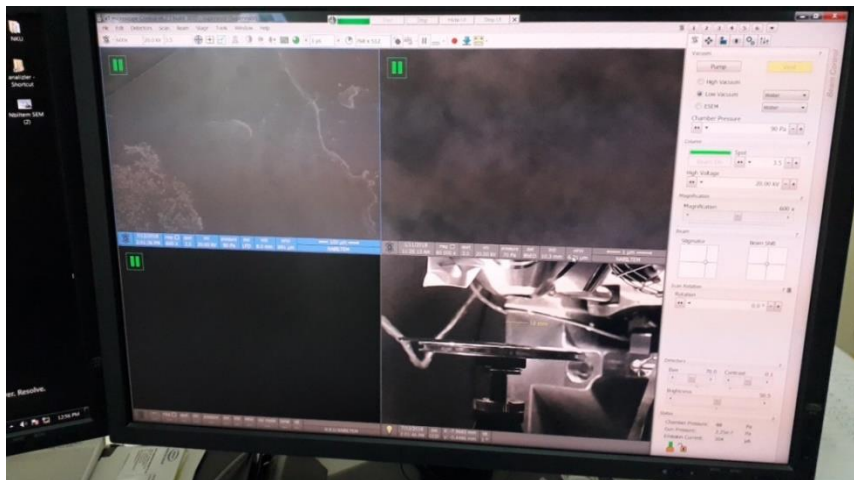
Dönüşümlü voltametre büyütülecek malzeme içindeki türlerin indirgenme potansiyelleri ile ilgili bilgi vermektedir. .

3.3. Taramalı Elektron Mikroskobu

CdTe ince film yarıiletkenlerin yüzey görüntülerinin alındığı SEM cihazı Şekil 3.4'te görülmektedir SEM cihazının markası FEİ, cihazın modeli QUANTA FEG 250'dir. Cihazda bulunan detektörler, Everhardt Thornley ETD (ikincil elektron detektörü), STEM Detektörü, EDS Detektörü, Geniş Alan Düşük Vakum ikincil elektron detektörü (LFD), Gaz ikincil elektron detektörü (GSED) Ayrıca sulu örnekler için WETSTEM kiti bulunmaktadır. Şekil 3.5'de SEM cihazında görüntü oluşumu için parametreler görülmektedir. ([http://merkezlab.nku.edu.tr/atomik kuvvet mikroskopi](http://merkezlab.nku.edu.tr/atomik_kuvvet_mikroskopi)).



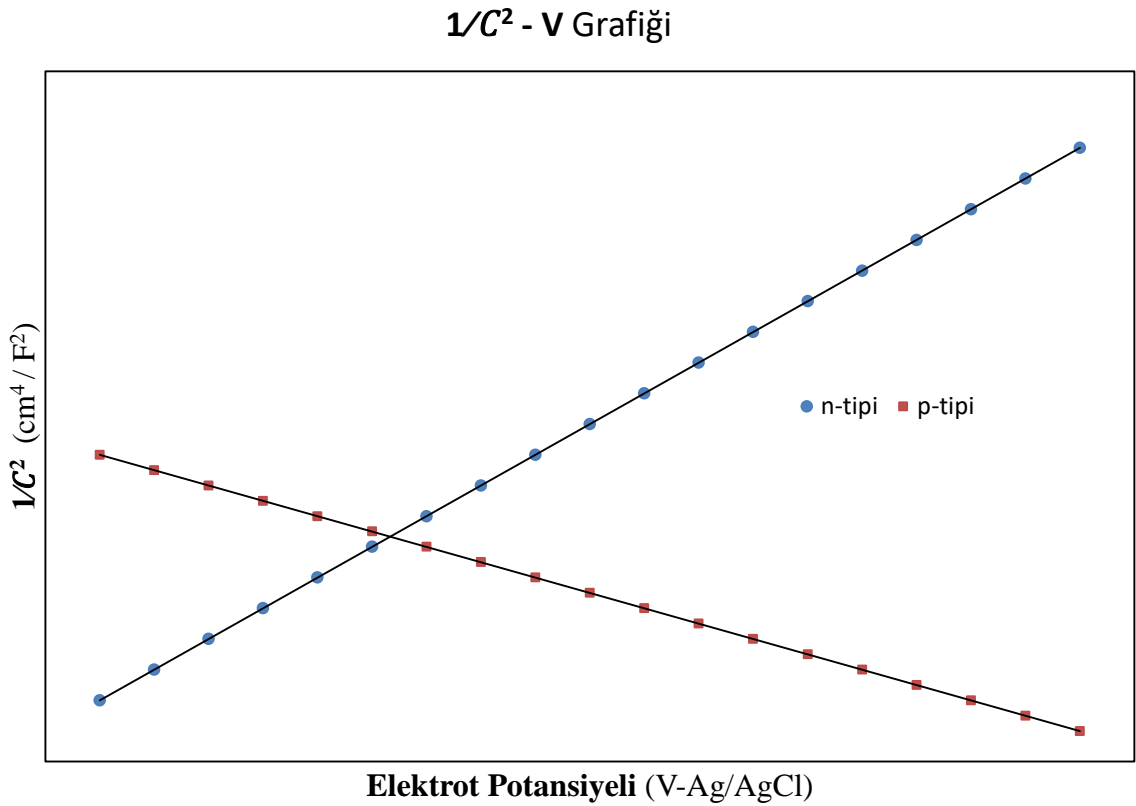
Şekil 3.4. NABİLTEM'de kullanılan SEM



Şekil 3.5. SEM cihazında görüntü oluşumu için parametrelerin ayarlanması

3.4. Mott- Schottky Analizi

Bir metal-yarıiletken eklemdeki duruma benzer bir durum çözelti içinde bulunan metal elektrot ile büyütülen yarıiletken arasında olmaktadır. Mott-Shottky teorisi kullanılarak yarıiletkenin yoğunluğu ve hangi tip yarıiletken olduğu belirlenebilir. Mott-Schottky analizi Kapasitans-Voltaj ölçümlerinden yapılmaktadır. Mott-Schottky teorisinden elde edilen Eşitlik (16)'dan $(N_D = \frac{2}{q\epsilon_s} \left[\frac{-1}{d(1/C^2)/dV} \right])$ görüleceği üzere $1/C^2$ 'nin uygulanan potansiyele göre grafiği doğrusal olması durumunda, çizilen grafikten elde edilen doğrunun potansiyel eksenini kestiği nokta bize eklemde iç potansiyelini (built-in potential) vermektedir. Ayrıca grafikten elde edilen doğrunun eğimi kullanılarak CdTe yarıiletkenin katkı konsantrasyonu veya taşıyıcı konsantrasyonu elde edilir. Eşitlikteki N_D donör konsantrasyonudur, benzer hesaplama N_A akseptör konsantrasyonu için yapılabilir. Eğimin artı çıkması yarıiletkenin n-tipi olduğunu ve taşıyıcı konsantrasyonunun donör olduğunu, eğimin eksi çıkması ise yarıiletkenin p-tipi olduğunu ve taşıyıcı konsantrasyonunun akseptörler olduğunu gösterir (Şekil 3.6.).



Şekil 3.6. Eğimin eksi veya artı olması durumunda yarıiletkenin tipi

3.5. UV-VIS Spektrometre Analizi

Yarı iletken malzemelerin yasak enerji aralığı optik soğurma ölçümleri yapılarak bulunabilir. Enerjisi bilinen bir foton tarafından elektronun valans bandından iletim bandına uyarılması olarak adlandırılan ve soğurmanın keskin bir artış gösterdiği bölge temel soğurma bölgesi olarak tanımlanır. Temel soğurma bölgesinde, direkt ve indirekt bant geçişi olmak üzere iki tür geçiş olayı meydana gelebilir (Pankove, 1971). CdTe yarıiletkeni direkt geçişli bant aralığına sahip olduğundan; gelen fotonun enerjisi ile E_g arasındaki ilişki Eşitlik (21) $\alpha(h\nu) \sim A^*(h\nu - E_g)^{1/2}$ gibidir. Yarıiletkenin yasak enerji aralığı E_g $(\alpha h\nu)^2 \sim h\nu$ değişim grafiğinden belirlenir. Bu değişimin lineer kısmının doğrultusunun $(\alpha h\nu)^2 = 0$ 'da kestiği noktanın enerji değeri, yarıiletkenin yasak enerji aralığını vermektedir (Sze, 1981).



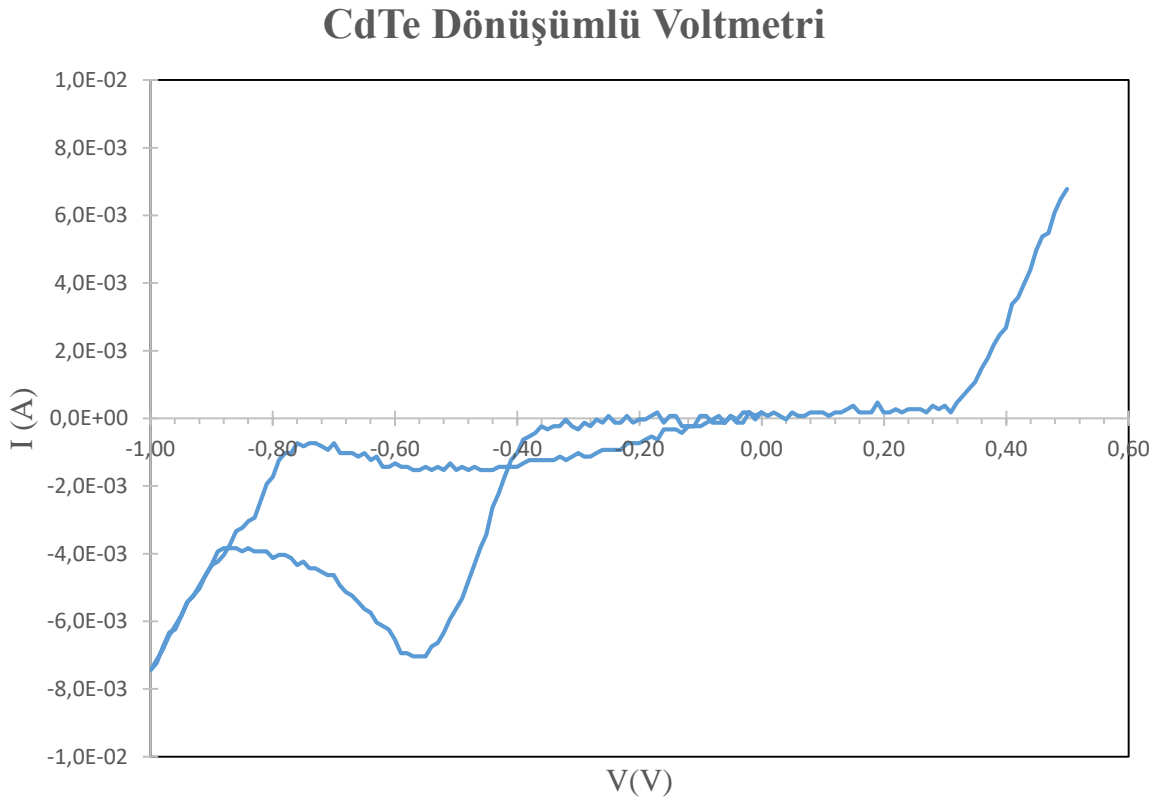
Şekil 37. UV-VIS spektrometre sistemi

Ölçümler Şekil 3.7'de görülen PG-T60 UV-VIS spektrometre cihazı ile alınmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. CdTe Yarıiletken Üretimi

CdTe ince filmler, ortak elektrokimyasal biriktirme yöntemi ile indiyum kalay oksit (ITO) kaplı cam yüzeylerde biriktirdi. CdTe filmleri, Ag / AgCl referans elektroduna karşı farklı biriktirme potansiyelinde depolandı. 10 mM CdCl₂, 20 mM Na₂TeO₃ ve 200 mM LiCl sulu çözeltileri kullanıldı ve HCl ile elektrolitin pH'ı ~2.0'a ayarlandı.

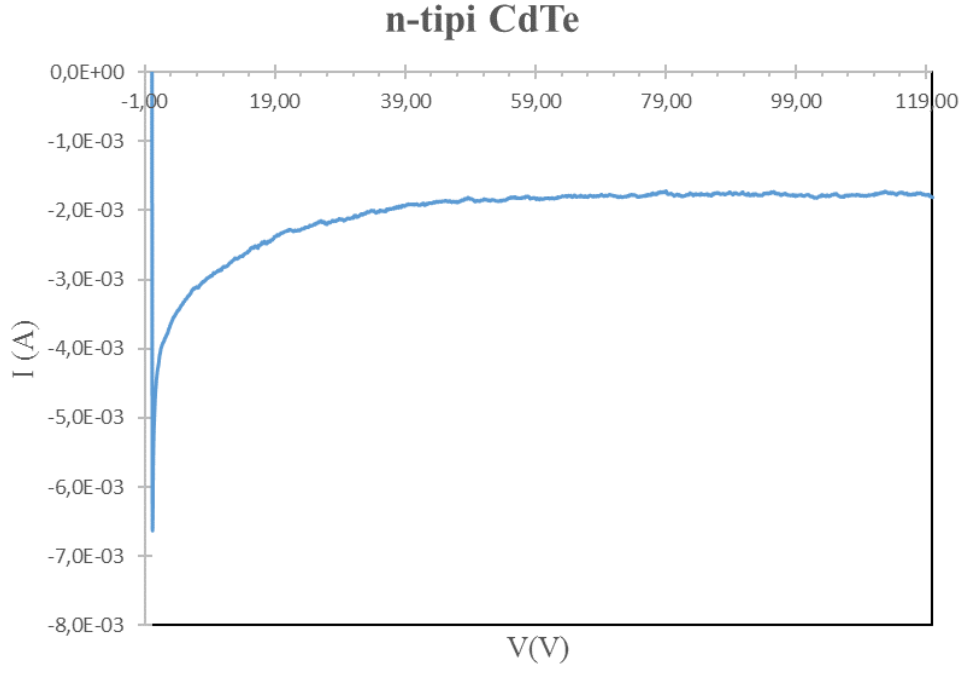


Şekil 4.1. CdTe 'ün dönüşümlü voltmetri grafiği

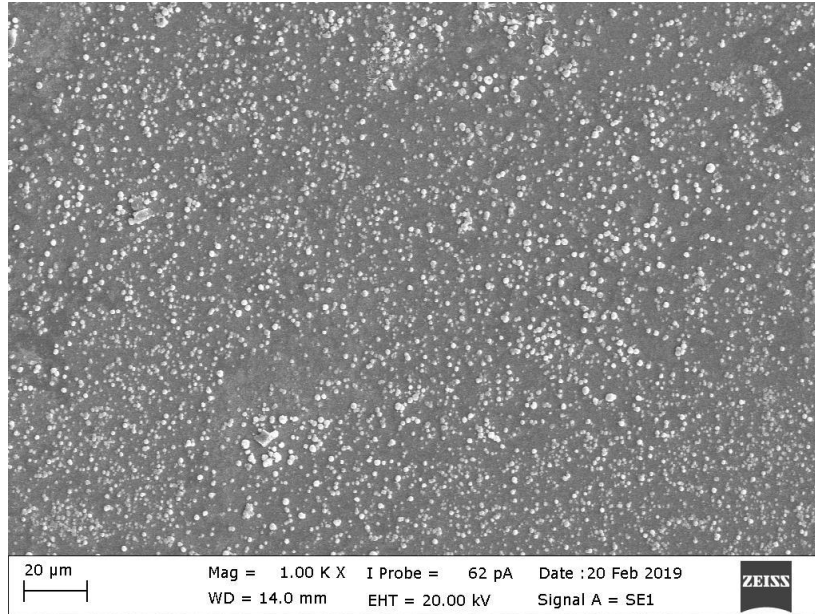
CdTe ince filmin birikme mekanizmasını anlamak için Döngüsel voltametri karakterizasyonu önemlidir. Şekil 4.1. elektrolitlerin dönüşümlü voltammogramını gösterir. Potansiyel - 20 mV tarama hızında - 1,0 ile 0,6 V arasında tarandı. İleri taramada, Te'ün indirgenmesi - 0.55 V'da Cd 'un -0,8 V'larda başlamaktadır.

4.2. n-tipi CdTe Yarıiletkenin Üretimi ve Analizi

n-tipi CdTe yarıiletkeni -0,8 V'ta 120 sn büyütülmüştür (Şekil 4.2.)



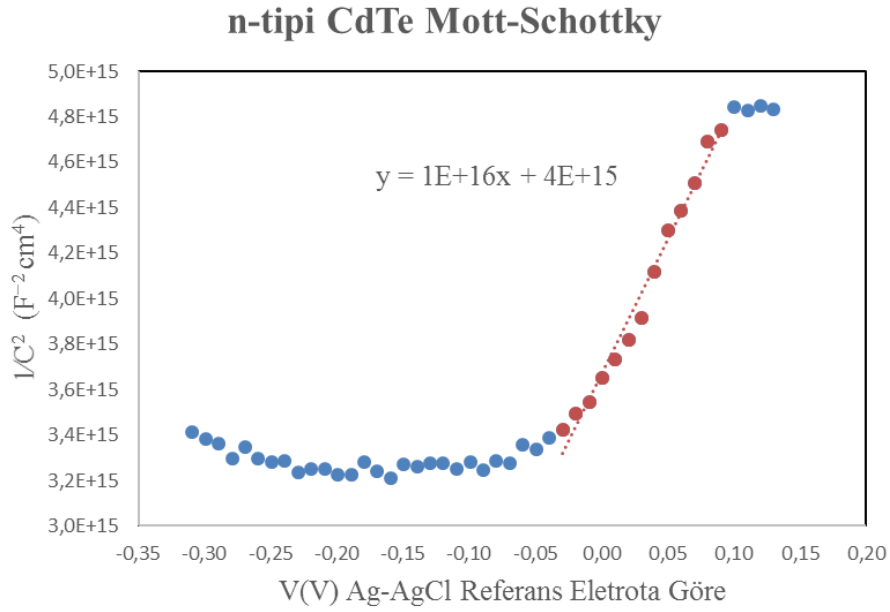
Şekil 4.2. n-tipi CdTe yarıiletkeninin -0,8V'ta büyütülmesi



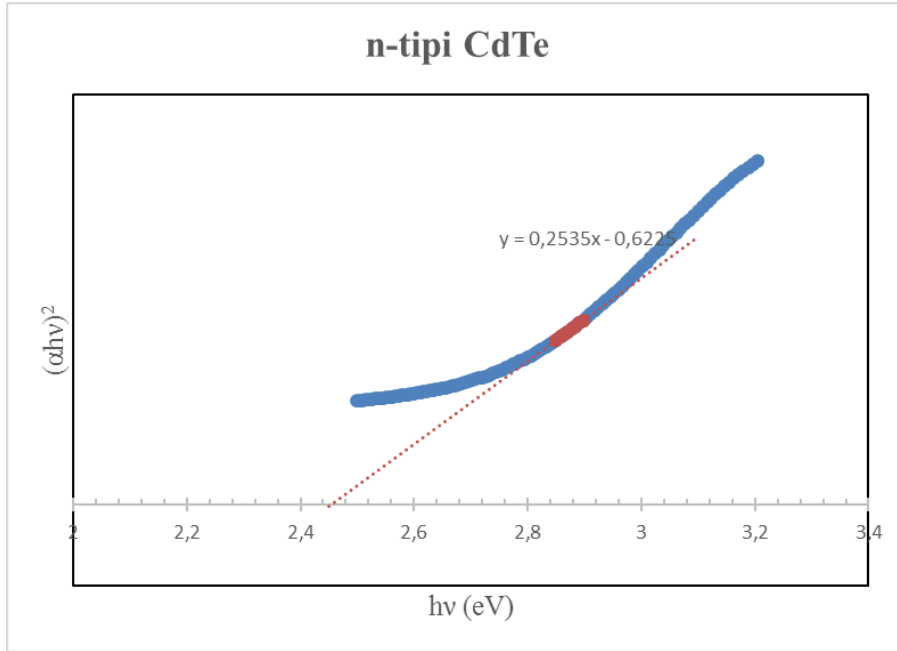
Şekil 4.3. n-tipi CdTe yarıiletkeninin SEM görüntüsü

SEM görüntüsünden n-tipi CdTe yarıiletkenin yüzeyinin homojen olduğu görülmektedir.

Mott-Schottky analizi sonucu Şekil 4.4.'den de görüldüğü gibi doğrusal olan kısmın eğimi pozitif çıkmıştır. Böylece üretilen CdTe yarıiletkenin n-tipi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Üretilen filmin UV-VIS spektrometresinden elde edilen grafik Şekil 4.5. 'te görülmektedir. Grafikten n-tipi CdTe yarıiletken ince filmin yasak enerji aralığı 2,41 bulunmuştur.



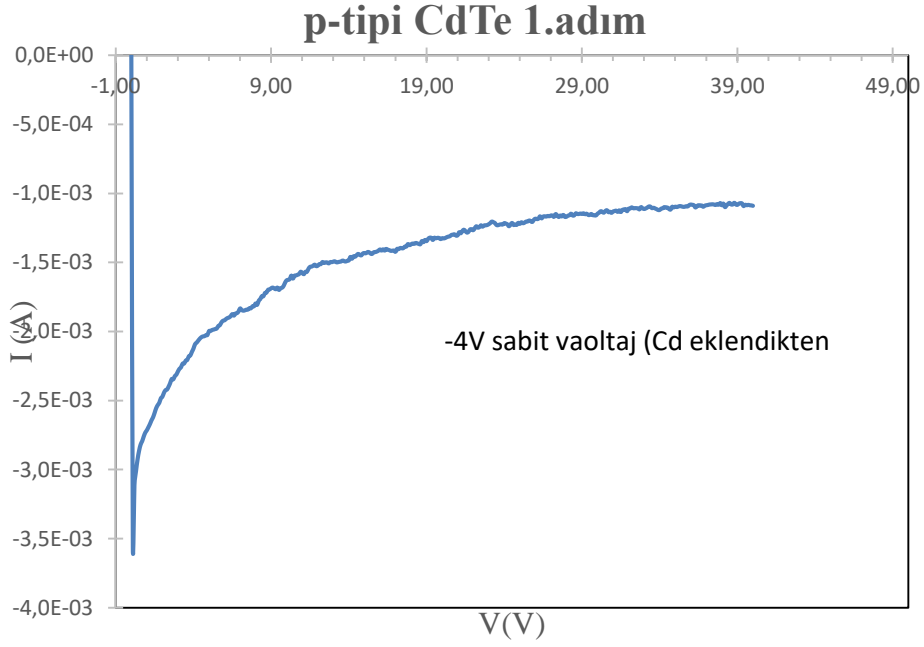
Şekil 4.4. n-tipi CdTe yarıiletkeninin Mott-Schottky eğrisi



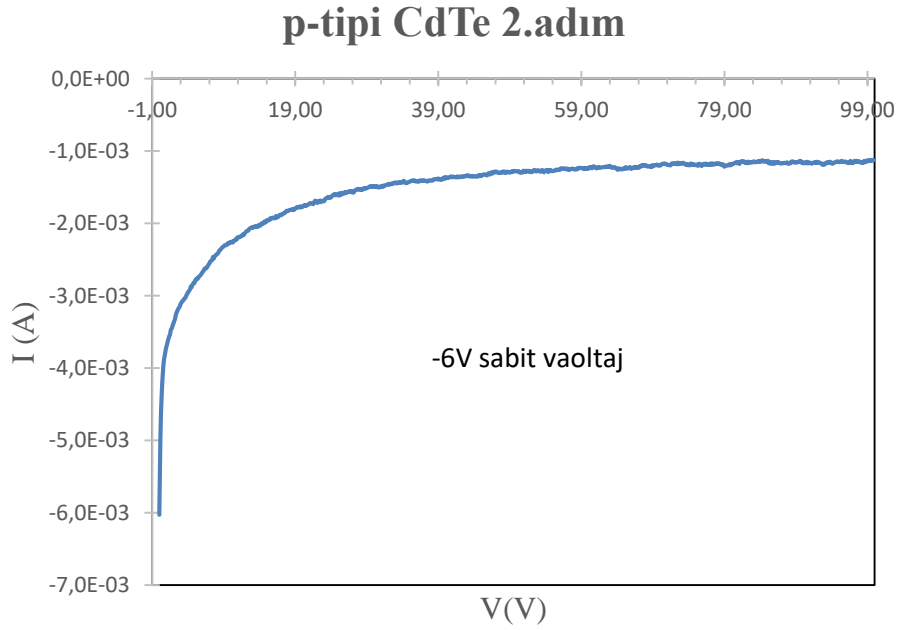
Şekil 4.5. $(\alpha hv)^2$ 'nin hv 'ye göre grafiği

4.3. p-tipi CdTe Yarıiletkenin Üretimi ve Analizi

p-tipi CdTe yarıiletkeni ilk olarak -0,4V'ta 40s daha sonra -0,6V'ta 100s büyütülmüştür (Şekil 4.6. ve 4.7.)

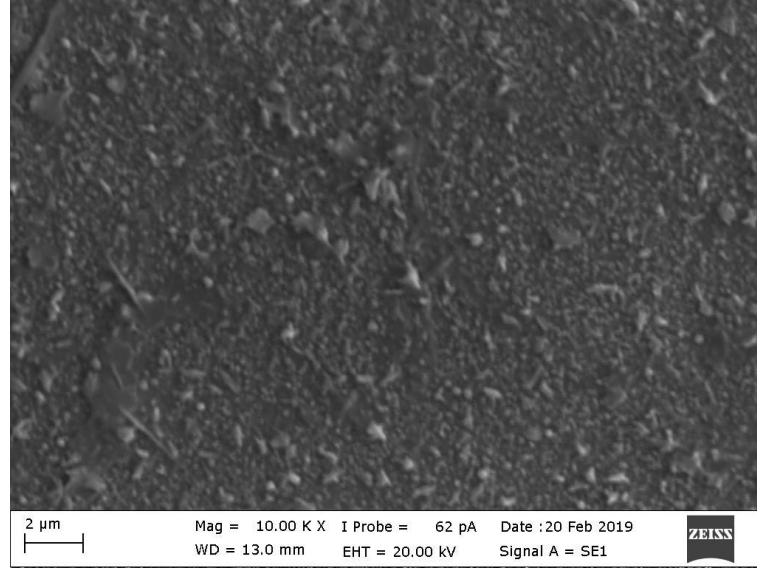


Şekil 4.6. p-tipi CdTe yarıiletkeninin -0,4V'ta büyütülmesi



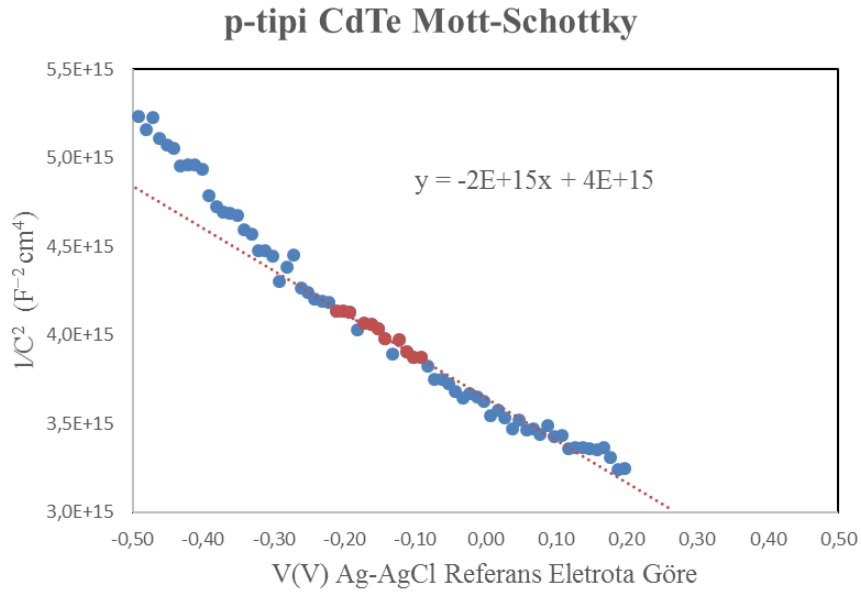
Şekil 4.7. p-tipi CdTe yarıiletkeninin -0,6V'ta büyütülmesi

SEM görüntüsünden p-tipi CdTe yarıiletkenin yüzeyinin homojen olduğu görülmektedir.

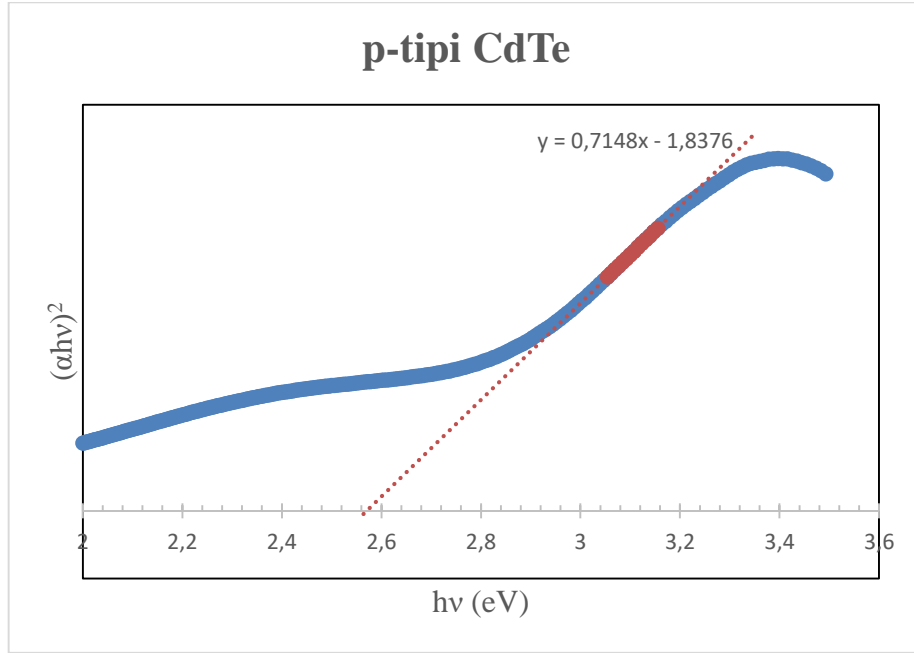


Şekil 4.8. p-tipi CdTe yarıiletkeninin SEM görüntüsü

Mott-Schottky analizi sonucu Şekil 4.9.'dan da görüldüğü gibi doğrusal olan kısmın eğimi negatif çıkmıştı. Böylece üretilen CdTe yarıiletkenin p-tipi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Üretilen filmin UV-VIS spektrometresinden elde edilen grafik Şekil 4.10.'da görülmektedir. Grafikten p-tipi CdTe yarıiletken ince filmin yasak enerji aralığı 2,41eV bulunmuştur.

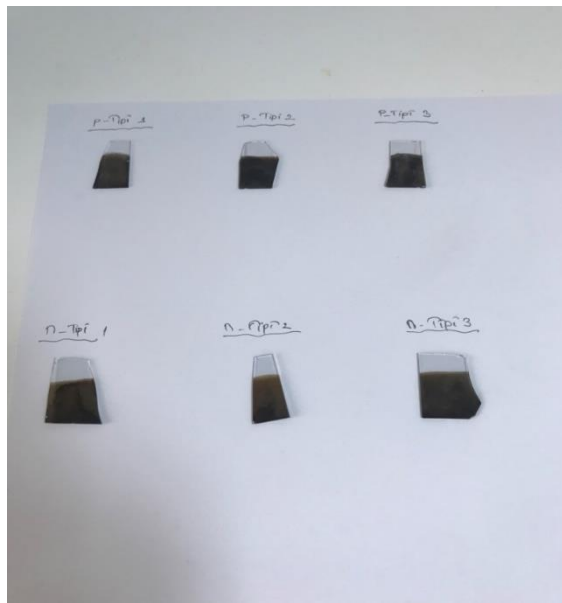


Şekil 4.9. p-tipi CdTe yarıiletkeninin Mott-Schottky eğrisi



Şekil 4.10. $(\alpha hv)^2$ 'nin hv 'ye göre grafiği

Ayrıca Üretilen filmin UV-VIS spektrometresinden elde edilen grafik Şekil 4.10.'da görülmektedir. Grafikten p-tipi CdTe yarıiletken ince filmin yasak enerji aralığı 2,57eV bulunmuştur. Şekil 4.11.'de üretilen n-tipi CdTe ve p-tipi CdTe yarıiletken ince filmler görülmektedir.



Şekil 4.11. Üretilen n-tipi CdTe ve p-tipi CdTe yarıiletken ince filmler

5. SONUÇ

Tez çalışmasında hem n-tipi CdTe yarıiletkeni hemde p-tipi CdTe yarıiletkeni elektrokimyasal biriktirme yöntemi ile üretilmiştir. Yapılan SEM, Mott-Schottky ve UV-VIS analizleri ile üretilen CdTe yarıiletkenlerinin önemli parametreleri elde edilmiştir.

SEM analizlerinden CdTe yarıiletken ince filmin kalınlığı elde edilmiştir. Ayrıca homojen yüzey yapısına sahip olduğu görülmüştür. Mott-Schottky analizinden CdTe yarıiletkenlerin tipleri belirlenmiştir.

n-tipi ve p-tipi CdTe yarıiletkeni ucuz, basit ve kontrol edilebilir elektrokimyasal biriktirme yöntemi ile yapılan analizlerden de görüldüğü gibi başarılı bir şekilde üretilmiştir.

KAYNAKLAR

- Alanyalıoğlu, M. (2006). *S, Se ve Te'ün potansiyel altı depozisyonu ve PbS, PbSe ve PbTe'ün yeni bir elektrodepozisyon yöntemi ile sentezi ve karakterizasyonu. Doktora tezi.* Erzurum: Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Anonim. (2011). *Enerji işleri genel müdürlüğü.* <http://www.eie.gov.tr/YEK> adresinden alınmıştır
- Anonim. (2014). *BP Statistical Review of World Energy, 63th.* BP: <http://large.stanford.edu/courses/2014/ph240/milic1/docs/bpreview.pdf> adresinden alınmıştır
- Anonim. (2019). *The Intergovernmental Panel on Climate Change .* ipcc: <https://www.ipcc.ch/> adresinden alınmıştır
- Bhardwaj, C. (2015).). *Studies on Optimisation of Processing Parameters for Ultra-thin CdTe Solar Cell.* MSci. Thesis. *Heriot-Watt University School of Engineering and Physical Sciences.*
- Cummings, C. Y. (2012). *Electrodeposition and Characterisation of Semiconductor Materials.* Doctor Thesis. *University of Bath Department of Chemistry.*
- Demirtürk, T. (2019). *Elektronik Ders Notları 2.* Doç. Dr. Yücel Koçyiğit: <http://yucelkocyiğit.cbu.edu.tr/elektronik2.pdf> adresinden alınmıştır
- Garba, D. (2011). *Research and development of CdTe based thin film PV solar cells.* *Dr Thesis.* Sheffield Hallam University.
- Goerzberger, A., & ark. (2003). *Photovoltaic Materials, history, status and Outlook.* *Mater. Sci. & Eng.*, 1.
- Goldstein, J., & ark. (2003). *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis.* Berlin: Springer.
- Hill, R. (1978). *Active and Passive Thin Films.* London: Academic Press.
- Honsberg, C., & Bowden, S. (2019). *First Photovoltaic Devices.* PV Education.Org: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/manufacturing/first-photovoltaic-devices> adresinden alınmıştır
- Kondrotas, R. (2015). *Electrochemical Deposition of Cu-Zn-Sn Precursor and Formation of Cu₂ZnSnSe₄ Solar Cell,* PhD Thesis. *Vilnius University Center for Physical Sciences and Technology,* 7.
- Neumann, D. A. (2003). *Semiconductor Physics and Devices 3rd edition.* McGraw-Hill Companies, Inc.
- Oktik, Ş. (2011). *Türkiye'nin ve Dünya'nın Enerji Sorununa Nihai Çözüm:Güneş Enerjisi.* *Bilim ve Teknik Dergisi,* 44-49.

- Pandey, R. K., & ark. (1996). *Handbook of Semiconductor Electrodeposi*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Pankove, J. (1971). *Absorption: Process in Semiconductors*. USA: Dover Publications.
- Premaratne, K., & ark. (2004). Electrodeposition using non-aqueous solutions at 170 °C and characterisation of CdS, CdS_xSe(1-x) and CdSe compounds for use in graded band gap solar cells. *Renewable Energy*, 549.
- Sharma, B. L. (1984). *Metal-Semiconductor Schottky Barrier Junctions and Their Applications*. New York: Plenum Press.
- Sze , S. M., & Kwok, N. K. (2007). *Physics of Semiconductor Devices* 3rd Edition. USA: Wiley-Interscience.
- Sze, S. M. (1981). *Physics of Semiconductor Devices*. New York: John Wiley & Sons.
- Tyagi, M. S. (1991). *Introduction to Semiconductor Materials and Devices*. New York: John Wiley & Sons.
- Yıldırım, H. (2007). *CuIn1-xGaxSe2 Tabanlı fotovoltaik ince filmlerinin üretilmesi ve karakterizasyonu. Doktora Tezi*. Bursa: Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Zhou, W., & Wang, Z. L. (2007). *Scanning Microscopy for Nanotechnology*. Berlin: Springer.

ÖZGEÇMİŞ

Bengi Bingöl, 1979 yılında Ankara'da doğmuştur. Malatya ili H.H.K. Anadolu Ticaret Meslek Lisesi'nden mezun olduktan sonra, üniversite lisans eğitimini Uludağ Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde ve yüksek lisans eğitimini Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda tamamlamıştır. Evli ve bir kız çocuğu annesidir.