

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

**SPUTTER YÖNTEMİYLE ELDE EDİLEN SADE VE BOR
KATKILI ORGANİK ARAYÜZEYLİ METAL/p-Si GÜNEŞ
PİLLERİNİN KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ABDULLAH BEKİL

FİZİK ANABİLİM DALI

**TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Kadir EJDERHA**

BİNGÖL-2019



T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**SPUTTER YÖNTEMİYLE ELDE EDİLEN SADE VE BOR KATKILI
ORGANİK ARAYÜZEYLİ METAL/p-Si GÜNEŞ PİLLERİNİN
KARAKTERİZASYONU**

Doç. Dr. Kadir EJDERHA danışmanlığında, Abdullah BEKİL tarafından hazırlanan bu çalışma 10/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan	: Prof. Dr. Nezir YILDIRIM	İmza	:
Üye	: Doç. Dr. Kadir EJDERHA	İmza	:
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Abdullah ÖZKARTAL	İmza	:

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun/...../..... tarih ve/.....
nolu kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Zafer ŞİAR
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP projesi ve TÜBİTAK 2211 Yurt İçi Lisansüstü Burs Programı kapsamında desteklenmiştir.

Proje No: Bap 12-261-2015, TÜBİTAK 2211

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖNSÖZ

Tez konusunun belirlenmesinden sonuçlanmasına kadar bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, deneysel çalışmaların yapılması ve yorumlanması esnasında yardımlarını gördüğüm danışmanım Doç. Dr. Kadir EJDERHA hocama, Fizik Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Nezir YILDIRIM'a vermiş oldukları destek ve emeklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasına desteklerinden dolayı Bingöl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (Proje No: Bap 12-261-2015) ve TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Katkılarından dolayı Kimya Anabilim Dalı öğretim üyesi, Doç. Dr. Mahmut TOPRAK'a; deneysel çalışmalar esnasında yardımlarını gördüğüm Bingöl Üniversitesi Merkezi Laboratuvar Uygulama ve Araştırma Birimi personellerine teşekkür ederim.

Ayrıca üzerimde büyük emekleri olan, benim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve dualarını esirgemeyen babama, anneme ve aileme sonsuz teşekkür ederim.

Bu tez çalışması TÜBİTAK 2211 Yurt İçi Lisansüstü Burs Programı kapsamında desteklendi.

Abdullah BEKİL

Bingöl 2019

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Metal Oksit Güneş Pilleri	1
1.2. İnce Film Güneş Pilleri	2
1.3. Polimer Güneş Pilleri	3
1.4. Silisyum Güneş Pilleri	3
1.4.1. Amorf Silisyum Tabanlı Güneş Pilleri:	3
1.4.2. Polikristal Silisyum Tabanlı Güneş Pilleri:	4
1.4.3. Monokristal Silisyum Tabanlı Güneş Pilleri:	4
2. KAYNAK ÖZETİ	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM	10
3.1 Materyal	10
3.1.1. Bor	10
3.1.1.1. Bor Elementinin Özellikleri	13
3.1.2. Borik Asit (H_3BO_3)	15
3.1.2.1. Kullanım Alanları ve Başlıca Faydaları	16
3.1.3. Safran	17
3.1.3.1. Safranin T	18

3.1.4. Yarıiletkenler	19
3.1.4.1. p-Tipi Yarıiletken	20
3.1.4.2. Metal – Yarıiletken ve Metal – Yalıtkan – Yarıiletken Heteroeklem Güneş Pilleri	21
3.1.4.3. Metal/p Tipi Si'nin Fotovoltaik Çalışmasının Mantığı	25
3.1.5. Organik Arayüzey	29
3.2. Yöntem	30
3.2.1. Yarıiletken Kontak Üzerine Metal Kaplama Yöntemleri	33
3.2.1.1. Termal Buharlaştırma Yöntemi	33
3.2.1.2. Manyetik Alanda DC Saçırma (Sputter) Yöntemi	33
3.2.1.3. Elektrokimyasal Kaplama Yöntemi	36
3.2.1.4. Döndürme (spinning) Tekniği ile Film Kaplanması	37
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	39
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	61

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A*	: Etkin Richardson sabiti
AC	: Alternatif akım
AFM	: Atomik kuvvet mikroskobu
χ_s	: Elektron yakınlığı
δ	: Yalıtkan tabaka kalınlığı
DC	: Doğru akım
E_c	: İletkenlik bant kenarı enerjisi
E_f	: Fermi enerjisi
E_g	: Yarıiletken yasak enerji aralığı
E_i	: Saf durumdaki enerji seviyesi
ϵ_i	: Yalıtkan tabakanın dielektrik sabiti
ϵ_o	: Boşluğun dielektrik geçirgenliği
ϵ_s	: Yarıiletkenin dielektrik sabiti
E_v	: Değerlik (valans) bant kenarı enerjisi
F	: İyonun hızına dik olan kuvvet
Φ_B	: Potansiyel engel yüksekliği
Φ_e	: Etkin engel yüksekliği
FF	: Fill faktörü
Φ_m	: Metalin iş fonksiyonu
Φ_n	: n- tipi bir yarıiletkenin iletkenlik bandı ile Fermi seviyesi arasındaki enerji farkı
Φ_s	: Yarıiletkenin iş fonksiyonu
I_{kd}	: Kısa Devre Akımı
I_L	: Fotoakım
I_o	: Ters beslem doyma akımı
I-V	: Akım-Gerilim
I-V-T	: Akım-Gerilim-Sıcaklık
k	: Boltzmann sabiti
MIS	: Metal-Yalıtkan-Yarıiletken
MOS	: Metal-Oksit-Yarıiletken
MS	: Metal-Yarıiletken
mΩ	: Megaohm
nm	: Nanometre
η	: Dönüşüm Verimliliği

n	: İdealite Faktörü
P	: Güç
P_{in}	: Giren Güç Değeri
P_m	: Maksimum Güç Değeri
p-Si	: p tipi Silisyum
R	: Direnç
ρ	: Öz direnç
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning elektron mikroskop)
Si	: Silisyum
ST	: Safranin T
STC	: Standart Test Conduction/Standart Ölçüm Şartları
TCO	: Saydam İletken Oksit Tabaka
XRD	: X – Ray Diffractometer



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Bor'un kristal yapısı (Xiaoju et al. 2006)	11
Şekil 3.2.	Borik asit toz hali	15
Şekil 3.3.	Borik asit kimyasal gösterimi	15
Şekil 3.4.	Safran otu kurutulmuş halde	18
Şekil 3.5.	Safranın T mürekkebi (Toz hali)	19
Şekil 3.6.	Safranin T yapısının kimyasal gösterimi	19
Şekil 3.7.	Edmond Becquere	20
Şekil 3.8.	Schottky Walter Hermann	20
Şekil 3.9.	Silisyuma indiyum eklenmesiyle elde edilen p-tipi malzeme	21
Şekil 3.10.	Metal/ n-tipi yarıiletken kontak için ($\Phi_m > \Phi_s$) elektron enerji band diyagramı (Ejderha 2012)	23
Şekil 3.11.	Doğru beslem altında Metal-Yalıtkan tabaka-p tipi Si yarıiletkenin enerji bant diyagramı (Ejderha 2012)	25
Şekil 3.12.	Dirençli yük ile p-n eklemli bir güneş pili hücresi (Neamen 2012) ..	26
Şekil 3.13.	Güneş pili <i>I-V</i> karakteristiğinin maksimum güç dikdörtgeni	28
Şekil 3.14.	Organik arayüzeyin şematik olarak gösterilmesi	30
Şekil 3.15.	Tavlama fırını şematik ve resim ile gösterimi	31
Şekil 3.16.	Ölçümlerin alındığı laboratuvar ortamındaki nokta kontak ölçüm sistemi	32
Şekil 3.17.	Termal buharlaştırma şematik gösterimi	34
Şekil 3.18.	Manyetik alanda DC saçırma sisteminin şeması (Ejderha 2012)	34
Şekil 3.19.	NVTS 400 Manyetik alanda DC saçırma ve termal buharlaştırma ünitesi	35
Şekil 3.20.	İki elektrotlu kimyasal kaplama yöntemi	37

Şekil 3.21.	Döndürme (spinning) tekniği ile film kaplanması	38
Şekil 4.1.	Au/Al/ST/p-Si/Al/Au yapısında Organik Ara yüzeyli(ST) AFM görüntüsü	40
Şekil 4.2.	Elektrokimyasal kaplama yöntemiyle üzeri Bor kaplanan Mo Folyonun XRD analizi	40
Şekil 4.3.	Elektrokimyasal kaplama yöntemiyle üzeri Bor kaplanan Mo Folyonun SEM görüntüleri	41
Şekil 4.4.	Elektrokimyasal kaplama yöntemiyle, farklı sürelerde p-Si üzerine kaplanan Bor tabakasının SEM görüntüleri	42
Şekil 4.5.	Au/Al/p-Si/Al/Au yapısının yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği ...	43
Şekil 4.6.	Au/Al/B/p-Si/Al/Au yapısının yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği	44
Şekil 4.7.	Au/Al/ST/p-Si/Al/Au yapısının yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği	44
Şekil 4.8.	Au/Al/p-Si/B/ST/Al/Au yapısının tavlamaya bağlı yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği	45
Şekil 4.9.	Au/Al/B/p-Si/Al/Au, Au/Al/p-Si/Al/Au, Au/Al/ST/p-Si/Al/Au, Au/Al/ST/B/p-Si/Al/Au yapılarında η ile FF parametrelerinin yapılar arasında değişiminin gösterimi	46
Şekil 4.10.	Au/Al/p-Si/B/Al/Au yapısının 200°C'de 3 dk tavlamaya bağlı yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği	46
Şekil 4.11.	Au/Al/p-Si/B/Al/Au yapısının 300°C'de 3dk tavlamaya bağlı yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği	47
Şekil 4.12.	Au/Al/p-Si/B/Al/Au yapısının tavlınmamış yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği	48
Şekil 4.13.	Au/Al/B/p-Si/Al/Au yapısının 300°C'de 2dk tavlamaya bağlı yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği	48
Şekil 4.14.	Au/Al/B/p-Si/Al/Au yapısının 400°C'de 2dk tavlamaya bağlı yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği	49
Şekil 4.15.	Au/Al/B/p-Si/Al/Au yapısının farklı sıcaklıklara bağlı tavlama değerleri için yarı logaritmik Akım-Gerilim Grafiği	50
Şekil 4.16.	Au/Al/ST/B/p-Si/Al/Au yapısının inorganik arayüzey sonrası 150°C 3dk tavlamaya bağlı yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği	50

Şekil 4.17.	Au/Al/ST/B/p-Si/Al/Au yapısının organik arayüzey sonrası 300°C’de 3dk tavlamaya bağlı yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği	52
Şekil 4.18.	Au/Al /ST/B/p-Si/Al/Au yapısının sputter sonrası 100°C’de 2dk tavlamaya bağlı yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği	52
Şekil 4.19.	Au/Al/p-Si/ST/B/Al/Au yapısının sputter sonrası 300°C’de 2dk tavlamaya bağlı yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği	53
Şekil 4.20.	Au/Al/ST/B/p-Si/Al/Au yapısının farklı tavlama değerlerine bağlı olarak incelenmesi	53



TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3.1.	Bor elementinin atomik, kimyasal, fiziksel özellikleri (Eren 2005) .	13
Tablo 3.2.	Borik asit özellikleri	15
Tablo 3.3.	Suyun içerisinde çözünürlük tablosu Borik asit'in su içerisinde çözünmesi olayı	16
Tablo 4.1.	Çalışma özeti tablosu	54



SPUTTER YÖNTEMİYLE ELDE EDİLEN SADE VE BOR KATKILI ORGANİK ARAYÜZEYLİ METAL/p-Si GÜNEŞ PİLLERİNİN KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Bu çalışmada, suda çözünen borik asitten sulu çözelti hazırlanarak elektrokimyasal kaplama yöntemiyle Borik asitten bor kaplanabildiği, molibden bir folyo üzerine denenip SEM ve XRD ile teyid edildikten sonra, Borik asit çözeltisi ile Elektrokimyasal kaplama yöntemiyle p-Si üzerine Bor tabakası kaplandı. Bu elektrokimyasal Bor kaplama işlemi literatürde ilk olmuştur. Ardından uyum göstereceği düşünülen organik boyar madde olan Safranin T ile metal/yarıiletken/inorganik-organik/metal yapı elde edildi. Böylece Au/Al/p-Si/Al/Au, Au/Al/B/p-Si/Al/Au, Au/Al/ST/B/p-Si/Al/Au, Au/Al/ST/p-Si/Al/Au yapıları elde edildi. Bununla birlikte tavlama ve arayüzey kaplama sürelerine ve damlatılan ST miktarına göre sınıflandırma yapıldı. Elde edilen 13 farklı ölçüm veren bu numuneler 6 gruba ayrıldı. Bu ölçümlerde en iyi Vad değeri Au/Al/ST/B/p-Si/Al/Au numunesinin 400°C’de tavlınmış için 1,12 V olarak elde edilirken, en iyi dönüşüm verimliliği Au/Al/B/p-Si/Al/Au numunesinin tavlınmamış için 0,592 olarak ve Fill Faktörü Au/Al/B/p-Si/Al/Au numunenin 400°C’de tavlınmış için %29,73 olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş pilleri, sputter yöntemi, elektrokimyasal kaplama yöntemi, Borik Asit, Bor, p-Si, Safranin T, metal organik/inorganik yarıiletken kontaklar.

CHARACTERIZATION OF METAL /p-Si SOLAR CELLS OBTAINED BY SPUTTER METHOD WITH PURE AND BORON ADDITIVE ORGANIC INTERFACE

ABSTRACT

In this study, Boric Acid solution is coated on the p-Si wafer electrochemically after it is confirmed by XRD and SEM analysis that Mo foil is coated by a Boron layer in order to define ability of Boron coating by electrochemical process. This electrochemical Boron coating is the first one that done since now. Then, metal/semiconductor/inorganic-organic/metal structure is obtained by Safranin-T that organic die matter which is thought to be exhibit good conformity. So, Au/Al/p-Si/Al/Au, Au/Al/B/p-Si/Al/Au, Au/Al/ST/B/p-Si/Al/Au, Au/Al/ST/p-Si/Al/Au structures are obtained. With this process classification is made by annealing, interface coating time, and amount of dropped ST. Samples those are obtained which give 13 different measurement grouped into 6. In these measurements, while the best Voc value is obtained as 1.12V for 400°C annealed Au/Al/ST/B/p-Si/Al/Au sample, the best conversion efficiency value is obtained 0,592 for as-deposited Au/Al/B/p-Si/Al/Au sample, and the best Fill Factor is obtained 400°C annealed Au/Al/B/p-Si/Al/Au sample as %29,73.

Keywords: Solar cell, sputter method, electrochemical coating method, Boric Acid, Boron, p-Si, Safranin T, metal organic/inorganic semiconductor junction.

1. GİRİŞ

Dünyadaki insan nüfusunun giderek artması ve insanların rahata düşkünlüklerinden dolayı ortaya çıkan teknolojinin gelişmesi rahatlıkla beraber enerji ihtiyacını doğurmuştur. Bu ihtiyaç insanları enerji kaynağı aramaya itmiş ve geçtiğimiz yüzyılın büyük bir fenomeni olan fosil yakıtlar bulunmuştur. Fakat fosil yakıtların kullanımı artması ile hem yer altındaki miktarı sınırlı olması, öte yandan bir hayati sorun olan hava kirliliği ve doğal dengenin bozulması müşkülü meydana çıkmıştır. Enerji ihtiyacına alternatif kaynak aramak uzun zamandır gündemde olan bir konudur. Herhangi bir külü dumanı olmayan ve dünyadaki hayat tarihi boyunca canlıların en temel enerjisini sağlamada önemli bir rol oynayan güneş enerjisi bu alanda da araştırmacılar için bir umut kapısı olmuştur. Son zamanlarda güneş enerjisinden faydalanma çalışmaları ciddi oranda artmıştır.

Yarıiletken güneş pilleri son zamanda ciddi bir araştırma alanı haline gelmiştir. Yarıiletken güneş pili deyince; Bu çalışmalar p-n eklemi ve Schottky eklemi güneş pili olarak ana başlıkta toplanır fakat bu her iki yapı içinde tekkristal, polikristal, heteroeklem ve amorf kristal güneş pilleridir(Neamen 2012). Bu yapıların tamamı organik olabileceği gibi sadece bir tarafı organik ya da organik arayüzeyli yapıları da vardır. Özellikle Schottky yapı için organik ara yüzeyin doğrultma özelliğini düzenlediği üzerine çalışmalar yapıldı. Ayrıca bir güneş pilini iyi bir elektrik üretici olarak çalışması onun aynı zamanda iyi bir doğrultucu kontak olmasına bağlıdır (Sze 2010).

Güneş pili türleri dört ana başlık halinde sıralanabilir.

1.1. Metal Oksit Güneş Pilleri

Metal oksit yarıiletken materyaller, iyi yarıiletkenlik ve fotoaktiflik özellikleri sebebiyle güneş pili uygulamalarında oldukça ilgi çekmiştir. Üretilmeleri Si yapılı yarıiletken

materyallere göre çok daha kolay ve ekonomik olan metal oksitler, ilk olarak 1920'li yıllarda Grondahl (1926) tarafından, bakır oksidin yarıiletken özelliğinin araştırılması ile literatüre girmiş, daha sonraları ise fotoaktif özelliğinin araştırılması yani fotovoltaiik etkisinin incelenmesi ise, 1940 yılına kadar Lange (1939) ile Mott ve Gurney (1941) tarafından yapılmıştır. Daha sonraki çalışmalarda çeşitli metal oksit materyallerin fotoaktif özellikleri incelenmiş ancak, Si ve Germanium (Ge) materyallere kıyasla verimlerinin çok düşük olması ve Si'un özellikle elektronik yarıiletken alanında sağladığı avantajlar sebebiyle geri planda kalmıştır (Özdal 2011).

1990'lı yılların ortalarından itibaren fotoaktif yarı iletken malzemenin cam ve benzeri geniş yüzeyler üzerine ince film şeklinde kaplanması yöntemi, güneş hücre üretiminde yeni bir model getirmiş ve farklı karakteristik özelliklere sahip hücrelerin üretilmesine imkân sağlamıştır.

İnce film fotovoltaiik malzeme genellikle çok kristalli malzemelerden seçilmektedir. Başka bir deyişle ince film yarı iletken malzeme, büyüklükleri mikrometreden nanometreye değişen damarlardan oluşmaktadır. Yarı iletken malzemenin elektriksel, optiksel ve yapısal özellikleri her damar içerisinde fotovoltaiik uygulamalar için çok uygun olsa da, damarlar arası sınırlar da yer alan mikro düzeydeki yapısal kusurlar, çok kristalli malzemede karşılaşılan en önemli problem olarak göze çarpmaktadır. İnce film üretiminde metot olarak buhar çözünümü, katod saçınımı ve elektrolitik banyodur. Kullanılan malzemeler ise amorf silikon, bakır-indiyum-diselenid (CIS) ve kadmiyum tellür (CdTe) olarak belirlenmiştir (Özdal 2011).

1.2. İnce Film Güneş Pilleri

İnce film güneş panellerinde, arka elektriksel bağlantı, saydam olmayan bir metal kaplama ile gerçekleştirilmektedir. Güneş ışığını doğrudan alan ön yüzey bölgesinde ise bağlantı TCO adı verilen saydam iletken oksit tabaka sayesinde sağlanmaktadır. Tipik saydam iletken oksit tabakası malzemeleri, çinko oksit (ZnO), kalay oksit (SnO₂), ve indiyum kalay oksit (ITO) olarak tanımlanmaktadır (Özdal 2011).

1.3. Polimer Güneş Pilleri

Polimer yapılı organik yarıiletkenler, yarıiletkenler dünyasında oldukça yeni ve umut verici materyallerdir. Plastik materyalin bükülebilirlik, kolay şekillendirilebilme, geniş yüzeyli ve ucuz üretilme gibi bütün avantajlarını da beraberinde getirerek, yarıiletken elektroniğinde yeni bir çığır sayılabilecek bir gelişmeye sebep olmuştur (Özdal 2011).

1.4. Silisyum Güneş Pilleri

Silikon (Si); çok çalışılmış, elektronik yetenekleri sayesinde günlük yaşamda karşımıza çıkan, her alanda kullanılan yarı iletken bir malzemedir (Luo et al. 2003).

Günümüzde yaygın olarak kullanılan güneş pili teknolojisi Si kristal yapılı güneş pilleridir. Eglash (2009) tarafından bildirildiğine göre Si yapılı güneş pillerinin verimlerinin henüz %15-20 civarında ve üretiminin pahalı olmasına rağmen, Si minerallerinin doğada bol ve ucuz olması önemli bir tercih sebebidir (Özdal 2011). Ayrıca Si güneş pillerinin kararlılığının ve dayanıklılığının yüksek olması ki bu pillerin kullanım ömürlerinin yüksek olması anlamına gelir, hâlihazırdaki en önemli üstünlükleridir. Bunun yanında, araştırmacıların yoğun çalışmaları sonucu çok daha yüksek verimli iyileştirilmiş morfolojili alternatifleri üretilerek, enerji krizinin çözülmesi yönünde önemli gelişmeler öngörülmektedir. Si yapılı güneş pilleri amorf (amorphous), çoklu kristal (polycrystalline) ve tek kristal (single-crystal ya da mono-crystal) yapılı olarak üç ana grupta toplanabilir (Özdal 2011).

1.4.1. Amorf Silisyum Tabanlı Güneş Pilleri:

Sistematik olarak içyapısı özel bir düzen içermeyen malzemelerdir. Ör: Cam. Bu tarz malzemeler birçok bağlanma hatası içerir, dolayısıyla tam bir kristal yapı düzeninde değildir. Atomların düzenli sıralanmayışı; yasak bant aralığına çok fazla izinli enerji durumu meydana gelerek, birleşme merkezleri oluşmasına sebep olur (Eruz 2015).

Amorf silisyum güneş pilleri boyut olarak monokristal ve polikristal panellere göre daha büyük boyutlarda üretilmektedir. Monokristal silikon hücrelere göre, güneş ışınımını 40

kat daha fazla soğurur. Bu durum amorf silisyum güneş hücrelerinin düşük maliyetli olmasını sağlayan önemli bir özelliktir (Erkul 2010).

Günümüzde saat, hesap makinesi ve oyuncak gibi küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılmaktadırlar. Amorf silisyum güneş pillerinin, binalara entegre yarı saydam cam yüzeyler olarak, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabilceği tahmin edilmektedir (Boz 2011).

1.4.2. Polikristal Silisyum Tabanlı Güneş Pilleri:

Elektriksel, optik ve yapısal özellikleri tek kristalli pillerle aynıdır. Damarların büyüklükleri kristallerin kalitesi ile doğru orantılıdır. Damarlar arasında süreksizlik, özellikle elektriksel yük taşıyıcıların aktarılmasında önemli ölçüde engelleyici rol oynamaktadır. Çok kristalli malzemenin elektriksel özelliklerinin, küçülen damar büyüklüğü ile orantılı bozulması; elde edilebilecek verimliliğin mono kristalle karşılaştırıldığında küçük olmasına neden olur. Ancak çok kristalli silisyum üretim teknolojileri daha kolaydır. Maliyeti oldukça düşüktür (Öztürk 2012).

Üretimde en çok kullanılan yöntem dökme yöntemidir. Çok kristalli silisyumda başlangıç malzemesi, tek kristalli silisyumda olduğu gibi hazırlanır. İstenilen saflık derecesi de benzerdir. Erimiş olan yarı iletken kalitesindeki silisyum, kalıplara dökülerek soğumaya bırakılır. Daha sonra elde edilen bloklar kare şeklinde kesilir. Fosforla katkılıandıktan sonra arka kontak eklenir. Son olarak da elektriksel kısımlar ön yüze eklenir ve yansıtma önleyici kaplama yapılarak işlem bitirilir. Bu teknoloji ile üretilen malzemelerden elde edilen güneş pillerinin maliyeti düşük verimi azdır (Öztürk 2012).

1.4.3. Monokristal Silisyum Tabanlı Güneş Pilleri:

İlk ticari güneş pillerinde, kristal çekme tekniği ile büyütülen tek kristal yapı silisyum kullanılmıştır. Fotovoltaik endüstride hala en çok kullanılan yöntem olan bu teknikte öncelikle ark fırınlarında silisyum oksit çeşitli kimyasal ve termal reaksiyonlardan geçirilerek saf silisyum elde edilir. Daha sonra silisyum eriyiğe çekirdek denen tek kristal yapı silisyum parçası batırılır. Bu çekirdek eriyikten çıkarıldığında soğuyan silisyum

eriyik, çekirdeğin üzerine külçe şeklinde yığılmış olur. Bu silisyum külçe olur olmaz bir keski ile dilimlere ayrılır. Bu, iki aşamada olur. Önce külçe dikdörtgen bloklar şeklinde kesilir. Daha sonra bu bloklar dilimlere ayrılarak pil şeklinde işlenir. Verimleri %15 civarındadır. Yapım sırasında malzeme kaybının çok fazla olması bu pillerin dezavantajıdır. Yaklaşık olarak 0,5 mm kalınlığında üretilirler. Renkleri koyu mavi olup yaklaşık olarak ağırlığı 10 gr.dan azdır (Ismael 2012).

Monokristal güneş panellerinin avantajlarına kısaca değinecek olursak, verimlilik oranları genellikle %15-20 oranındadır. Monokristal güneş panelleri daha az güneşte daha çok üretim sağlayabilir. Monokristal güneş panelleri uzun ömürlüdür. Düşük ışık koşullarında benzer puantlı polikristal güneş panellerine göre daha iyi performans eğilimindedir (Url 3 Erişim Yılı: 2016).

Monokristal güneş panellerinin en önemli dezavantajı ise fiyat pahalılığıdır. Panel kısmen gölge veya kar ile kapalı ise, bu olumsuz durum tüm paneli üst düzeyde etkiler (Url 3 Erişim Yılı: 2016).

2. KAYNAK ÖZETİ

Zafer C (2006) farklı özelliklerdeki fotoaktif boyaların fotovoltaiik özelliklerini incelemiştir. İncelediği boyaları; perilendiimidler (PDI), perilenmonoimidler (PMI), perilenmonoanhidritler (PMA) ve rutenyum bipiridil kompleksleri şeklinde dört ana sınıfta değerlendirmiştir. Ayrıca incelediği güneş pili sistemlerini, organik boya esaslı nano-kristal yapılı TiO₂ güneş pilleri (OGP), katı hal organik boya esaslı nano-kristal yapılı TiO₂ güneş pilleri (Katı Hal OGP) ve organik güneş pilleri olmak üzere de üç ana sınıfta ayırmıştır. Üzerinde çalıştığı boyalardan başta perilenmonoimidler olmak üzere ve perilenmonoanhidritler, perilendiimidlere göre OGP ve Katı Hal OGP'ler için daha ideal olduğunu elde etmiştir. Plastik güneş pillerinde ise perilendiimidler daha başarılı olduğunu rapor etmiştir.

Güllü Ö et al. (2008) n tipi Si altlık üzerine Safranine T çözeltisi damlatıp kuruduktan sonra üzerine alüminyum buharlaştıırıp Al/Safranin T/n-Si/AuSb elde ettiklerini ve yapının Akım-Voltaj ve kapasite voltaj değerlerini ölçüp termiyonik emisyon teorisine göre hesaplayarak engel yüksekliğini standart 0,50 eV değerine yerine 0,78 eV ve idealite faktörünü 3,52 olarak elde ettiklerini Al/n-Si diyodun bariyer yüksekliği değerine standart bariyer yüksekliği değerine olan 0,50 eV ile karşılaştırdıklarını bu inorganik Si yarıiletken tabakanın uzay yükü bölgeyi etkileyen etkili bariyer yüksekliğini değiştirerek ST organik filmle bağladıklarını ileri sürmüşlerdir. Yüksek frekanslara bağlı olarak kapasitans değerinin düştüğünü; frekansın belli bir değerine kadar kapasitansın frekanstan hemen hemen bağımsız olduğunu görmüş olup düşük frekanslarda kapasitansı yüksek değerler alternatif akım (AC) sinyalinin takibi ile n-Si ile denge içinde olan ara yüzey durumundan kaynaklanan aşırı kapasitansı tespit etmişlerdir.

Tekerek S (2009) doğal boyar maddesi olarak armududu (*morus nigra*), siyah ahududu (*rubus idaeus*), böğürtlen (*rubus fruticosus*), afrika bamyası (*hibiscus sabdariffa* l.), mor havuç (*daucuscarota* l.) ve karışım (ahududu, urmududu, böğürtlen karışımı kullandığını,

pillerin Akım-Gerilim (I-V) karakteristiği açık güneşli havada haziran–temmuz aylarında saat 12:00-13:00 arasında gerçekleştirdiğini ve I-V ölçümlerinden elde edilen veriler yardımıyla BMGP'nin verimini hesapladığını ve havuç kullandığı numunede verimliliği ($\eta = 0,248$) olarak elde etmiştir.

Seçkin E (2010) iletken cam üzerine kaplanmış titanyumun ve titanyum plakaların anodizasyonu sonucu elde ettiği TiO_2 nanotüpler boyar maddeli güneş pili anodu olarak denemiştir. Cam üzerinde büyütülen nanotüpleri ön yüzeyden aydınlatmış, titanyum plakalar üzerinde büyütülen nanotüpler pilin arka yüzeylerinden aydınlatmıştır. Ön yüzeyden aydınlatılmış hücrelerde en fazla %4,7; arka yüzeyden aydınlatılan hücrelerde ise en fazla %7 verim değeri olarak elde etmiştir.

Kudret A (2011) BMGP'leri üretmek için ZnO nano parçacıkları çinko nitrat, hekzametilen tetramin ve değişik etanol konsantrasyonlarından hidrotermal yöntemi kullanılarak ürettiği ZnO tozlarının etanol konsantrasyonuna bağlı olarak kristal yapısının nasıl değiştiğini XRD ve SEM analizi ile belirlemiştir. Elde ettiği tozlardan kara havuç boyası kullanmış olup BMGP yapmıştır. BMGP'nin I-V şekillerini 300w xenon lamba kullanılarak güneş simülatörü ile elde etmiştir. %0, %30, %60, %70, %80, %90 ve %100 etanol içeren sulu çözelti ile elde edilen tozlar sıvama yöntemi ile ZnO filmler oluşturmuş ve bu filmlerden BMGP yapmıştır. Bu pillerin etanol konsantrasyonuna bağlı olarak verimlilikleri incelenmiştir. Çözeltideki etanol konsantrasyonu arttıkça pillerin verimliliğinin arttığını gözlemiştir. En yüksek verimliliğe %100 etanol çözeltisinden elde ettiği ZnO parçacıkları ile yapılan pilde rastlamış ve ($\eta = 0,18$) olarak hesaplamıştır.

Sandıkçı TA (2013) yarıiletken alaşımların üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılan, geniş kullanım alanına sahip bor, selenyum ve kurşun elementlerini kullanmış ve bu katkıların üretilen yarıiletken alaşımların özelliklerine etkilerini araştırmıştır. Deneysel çalışmalarda, farklı stokiyometrik oranlarda ürettiği Sb_2Te_3 ve Bi_2Te_3 alaşım örnekleri ile katkıları kuvars tüplerde vakumlayarak döner tüp fırında devamlı hareketli olarak eritmiştir. Tüp fırından çıkardığı numuneleri kristal büyütme sistemine yerleştirerek yarıiletken alaşım üretimleri gerçekleştirmiştir. Sentez sonrası ürettiği numunelerin yapısal ve termal analizlerini x-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve diferansiyel termal analiz-termogravimetri (DTA-TG) cihazları ile gerçekleştirmiştir.

Çalışması kapsamında [%75 Sb₂Te₃ + %25 Bi₂Te₃] ve [%75 Sb₂Te₃ + %25 Bi₂Te₃ + %Te] içeren alaşımlar üretmiş, bu alaşımlara %1, %3 ve %5 oranında B, Se ve Pb katkılarını eklemiş ve yapısal özelliklerini araştırmıştır.

Sajjad S (2013) çalışmasında iki farklı grup fotovoltaik aygıtın üretimi ve karakterizasyonları gerçekleştirdiğini; ürettiği fotovoltaik aygıtların birinci grubu inorganik ve organik tabakalardan oluşturduğunu, ikinci grup aygıtları tamamen organik tabakalardan oluşturduğunu raporlamıştır. Çalışmasında, inorganik malzeme olarak elektrokimyasal aşındırma yöntemiyle göznekle hale getirmiş p-tipi ve n-tipi Si tek kristalleri kullandığını raporlamıştır. Dolayısıyla bu grup aygıtları n-GS/organik tabakalar/Al ve p-GS/organik tabakalar/Al tabakalarından oluşturduğunu yazmıştır. Tamamen organik tabakalardan oluşturduğu foto-voltaik aygıtları ise ITO kaplı cam altlıklar üzerine hazırladığını söylemiştir. Her iki grup aygıtta da organik tabaka olarak fitalosyanin bileşikler, fullerene (C₆₀), ve tris(8-hydroxyquinolino)aluminum (Alq₃) olmak üzere üç farklı organik malzeme kullandığını raporlamıştır. Organik güneş pillerini ITO üzerine yaptığını ve ürettiği aygıtların elektriksel karakterizasyonlarını aydınlık ve karanlık ortamlardaki akım-gerilim (I-V) karakteristiklerini ölçmek suretiyle yaptığını ve bu ölçümlerden, kısa devre akımı, açık devre gerilimi, maksimum güç ve dolgu faktörü gibi temel güneş pili parametreleri belirlediğini yazmıştır. Deneysel analizinden, inorganik/organik tabakalardan oluşturduğu aygıtlarda Si'lerin aşındırma süresi arttıkça kısa devre akımının arttığı açık devre geriliminin de azaldığını gözlemlediğini ifade etmiştir. Bu aygıtlarda gözlemlediği maksimum kısa devre akımı, maksimum açık devre gerilimi, maksimum güç ve maksimum dolgu faktörünün kullandığı Si kristalinin tipine de oldukça bağlı olduğunu gözlemlediğini ifade etmiştir. Tamamen organik tabakalardan oluşan güneş pillerinin temel parametrelerin kullanılan organik malzemenin türüne oldukça bağlı olduğunu ifade etmiştir. Elde ettiği sonuçların topluca değerlendirmesinde, gerek p-tip gerekse n-tip Si'lerin kullanıldığı yapılarda aşındırma süresinin optimum hale getirilmesiyle tüm parametrelerin maksimum olduğu fotovoltaik aygıtların üretilebileceği sonucuna vardığını ifade etmiştir.

Orak et al. (2014) p tipi Si altlık üzerine Azure A organik boyar maddesini damlatıp, kuruttuktan sonra sputter yöntemiyle Al kaplamış ve Al/Azure A/p-Si yapısını elde ettiklerini ve bu yapının 30mW/cm² enerji altında akım-voltaj (I-V) ölçümünü yaptıklarını

ve açık devre voltajı ile kapalı devre akımını sırasıyla; $V_{oc}=340\text{mV}$, $I_{sc}=807\mu\text{A}$ olarak elde ettiklerini ifade etmişlerdir. Bu yapının fill faktörü ve dönüşüm verimliliğini sırasıyla; $\eta_p=\%36$ ve $F_F=\%4,07$ olarak elde ettiklerini ve termiyonik emisyon teorisini kullanarak bu yapı için idealite faktörü (n) ve bariyer yüksekliği (Φ_b) değerlerini sırasıyla; 1,26 ve 0,78eV, olarak elde ettiklerini raporlamışlardır. Elektrik ve fotovoltajik özellikleri ile elde ettikleri sonuçlar, Al/organik/p-Si heteroeklemin fotodiyot gibi optoelektronik gibi devre uygulamalarda kullanılabileceğini gösterdiğini söylemişlerdir. Ayrıca Orak et al. (2015) Spin kaplama yöntemi ile imal ettikleri Al/Azure C/p-Si heteroeklemin oda sıcaklığında aydınlatma koşulları altında kaplama kalınlığı, akım voltajı (I-V) ve kapasitans-voltajı (C-V) karakteristikleri araştırdıklarını ifade etmişlerdir. İdealite faktörü ve bariyer yüksekliği gibi bazı heteroeklem parametrelerini, termiyonik emisyon akım denklemi yoluyla akım-gerilim ölçümlerinden sırasıyla, katkılı olmayan 2 ml/cm² ve 4 ml/cm² için 1,10, 1,15 ve 1,26 ve 0,57 eV, 0,64 eV ve 0,65 eV olarak elde ettiklerini raporlamışlardır. İdealite faktörünün, bariyer yüksekliğini ve fotovoltajik performansı arttırdığını ve organik katman kalınlığı arttıkça cihaz kapasitansının düştüğünü belirtmişlerdir.

Nripendra et al. (2014) çalışmalarında, bir Schottky eklem güneş pili için, engel yüksekliği çeşitli hücre parametrelerin belirlenmesinde önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir. Kimyasal buhar kaplama yöntemiyle p-Si üzerinde metal organik In-situ InP kuantum noktalar büyüterek Schottky bariyer yüksekliğini değiştirdiğini gözlemlemişlerdir. Bariyer yüksekliğinin, nano yapının boyutuna ve şekline bağlı olduğunu gözlemlediklerini ifade etmişlerdir. 0,71 eV engel yüksekliğine sahip bir numuneyi 1,5 AM standart güneş ışığı altında ve 0,51 V açık devre gerilimi ve 13,29mA/cm² kısa devre akım yoğunluğu ile %3,89 bir dönüşüm verimliliği gösterdiğini bulmuşlardır. Nano yapılarda bariyer yüksekliğini değiştirmek için yapılan numuneler, referans numune ile karşılaştırıldığında %2,82 lik bir artış olduğunu belirtmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

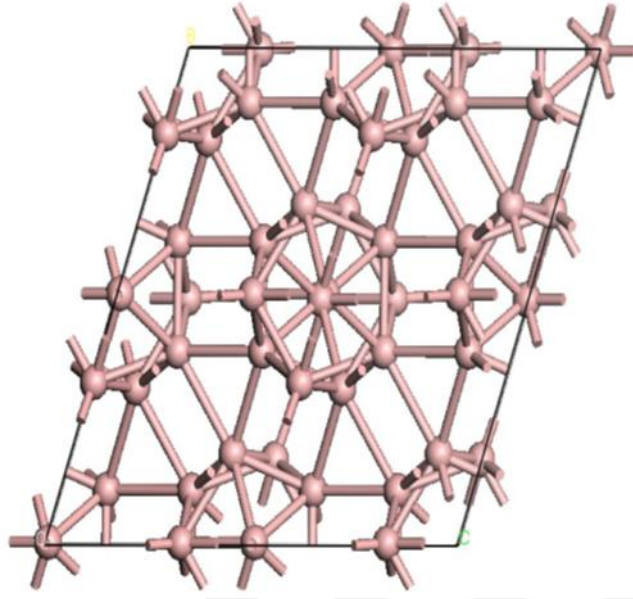
Bu çalışmada; Bor'un ekonomik bir yöntem olan elektrokimyasal kaplama yöntemiyle metal ve/veya yarıiletken üzerine kaplanması ve güneş pili özelliği göstermesi ve yine bunun yanında dünya üzerindeki bor rezervinin %72 sinin ülkemizde olduğunu dikkate alarak sade ve bor katkılı organik ya da organik/inorganik arayüzeyli güneş pillerinin Si wafer üzerine büyütülerek fotovoltaik ölçümleri alındı.

Safranin T'nin güneş pili özelliklerine bakılmamış olması ve arayüzeyin her halükarda engel yüksekliği için iyileştirici bir rol oynadığı ve bu iyileştirmenin de güneş pilinin verimini artıracak yapılan önceki bazı çalışmalardan anlaşılmıştır. (Nripendra et al. 2014; Kudret 2011). Arayüzeyin maddesi kadar kalınlığı ve tekdüzeliği ayrıca önemli bir faktördür.

3.1 Materyal

3.1.1. Bor

Elementel Bor ilk kez 1808 yılında Fransız kimyacı Gay-Lussac ile Baron Louis Thenard ve bağımsız olarak İngiliz kimyacı Sir Humphry Davy tarafından bulunmuştur. Bor, periyodik tabloda B simgesiyle gösterilen, atom numarası 5, atom kütlesi 10,8 g, yoğunluğu 2,84 g/cm³, erime noktası 2200°C ve kaynama noktası 3660°C olan, metalle ametal arası yarı iletken özelliklere sahip bir elementtir (Demir 2007). Bor kristali elmadan sonra elementlerin en sertidir (Taşcıoğlu 1992). Şekil 3.1'de Bor'un kristal yapısı görülmektedir.



Şekil 3.1. Bor'un kristal yapısı (Xiaoju et al. 2006)

Dünya Toplam Bor rezervi sıralamasında Türkiye %72'lik bir pay ile ilk sırada yer almaktadır (Url 2 Erişim Yılı: 2016). Dünya Bor üretiminin %90'ını Türkiye ve ABD yapmaktadır. Türkiye'de kolemanit, üleksit ve boraks mineralleri ve borik asit, boraks dekahidrat, boraks pentahidrat, sodyum perborat monohidrat ve susuz boraks ticari olarak üretilmekte ve üretimin büyük bir bölümü ihraç edilmektedir. Dünyada Bor tüketimi bölgesel olarak değişmektedir. ABD'de Bor tüketiminin %68'i cam, %5'i deterjan, %3,5 seramik, %3,5 tarım ve %3,5 alev geciktirici endüstrisinde yapılmaktadır. Avrupa'da boratların en büyük kullanım alanı deterjan sanayidir. Avrupa'da tüketimin %35'i deterjan, %23'u cam, %10'u seramik ve %2'si tarım endüstrisindedir (Yenialaca 2009).

Bor erimiş haldeki cam ara mamulüne katıldığında onun vizkozitesini artırıp, yüzey sertliğini ve dayanıklılığını yükselttiğinden ısıya karşı izolasyonun gerekli görüldüğü cam mamullerine katılarak cam sanayisinde; Bor ile kaplanan emaye onun paslanmasını önlemesi ve seramiği çizilmeye karşı dayanıklı kılması açısından seramik sanayisinde; sabun ve deterjanlarda, mikrop öldürücü, su yumuşatıcı, beyazlatıcı etkisi nedeniyle temizleme ve beyazlatmada; dayanıklılık artırıcı ve izolasyon özelliği sağlaması açısından inşaat ve çimentosu sanayisinde; erime noktasının çok yüksek olması ve bu nedenle yanmaya karşı oldukça dayanıklı olması sebebiyle yanmayı önleyici/geciktirici madde olarak; Bor'un nötron soğurma gücünün çok yüksek olması sebebiyle nükleer

uygulamalarda; hidrojen üretimi ve depolamasında, motor yakıtı olarak, motor yakıtı katkı maddesi olarak enerji sektöründe; Bor mineralleri bitki örtüsünün gelişmesini arttırmak veya önlemek amacıyla tarım alanında; Bor kimyasalları yüksek sıcaklıklarda düzgün, yapışkan, koruyucu ve temiz bir sıvı oluşturma özelliğinden dolayı, koruyucu bir cüruf oluşturucu, erimeyi hızlandırıcı ve özellikle çeliğin sertliğini artırıcı madde olarak makine ve metalürjide; BNCT (Boron Neutron Capture Therapy)(Bor Nötron Yakalama Tedavisi) kanser tedavisinde kullanılmaktadır. Özellikle; beyin kanserlerinin tedavisinde hasta hücrelerin seçilerek imha edilmesinde kullanılmakta ve sağlıklı hücrelere zararının minimum düzeyde olması nedeniyle sağlık sektöründe kullanılmaktadır (Yenialaca 2009). Ve ayrıca Bor yaygın olarak silikon merkezli p-tipi dopant yarıiletken teknolojisinde kullanılır (Zhenghui et al. 2008). Silikon yapılar içerisindeki Bor ve Bor bileşikleri malzeme bilimi ve yarıiletken teknolojisinde önemli bir yer teşkil etmektedir (Luo et al. 2003).

21.Yuzyılın petrolü olarak nitelenen Bor madenleri, Türkiye'nin stratejik önemi olan madenlerden biridir. Yerine ikamesi olmayan Bor madenleri uzay teknolojisinden, enerji sektörüne, nükleer teknolojiye, savunma sanayisine kadar çok geniş bir alanda kullanılan bir madendir (Yenialaca 2009). Bundan dolayı birçok araştırmacı Bor ve bileşiklerinin yeni kullanım alanlarını keşfetmek veya var olan kullanım alanlarına yeni metotlarla Bor'un farklı etkilerini gözlemlemek için çalışmalarını sürdürmektedirler.

3.1.1.1. Bor Elementinin Özellikleri

Tablo 3.1’de Bor elementinin atomik, kimyasal ve fiziksel özellikleri bulunmaktadır.

Tablo 3.1. Bor elementinin atomik, kimyasal, fiziksel özellikleri (Eren 2005)

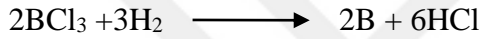
Bor elementinin atomik özellikleri		
Atom çapı:	1,17 Å	
Atomik hacmi:	4,6 cm ³ /mol	
Kristal yapısı:	Rhombohedral	
İyonik çapı:	0,23 Å	
Bor elementinin kimyasal özellikleri		
Elektrokimyasal Eşdeğer:	0,1344 g/amp-hr	
Elektronegativite(Pauling):	2,04	
Füzyon Isısı:	50,2 kJ/Mol	
İyonizasyon Potansiyeli	Birinci:	8,298
	İkinci:	25,154
	Üçüncü:	37,93
Valans Elektron Potansiyeli (-eV):	190	
Bor elementinin fiziksel özellikleri		
Atomik kütlesi:	10,811 akb	
Kaynama Noktası:	4275 K - 4002°C – 7236 F	
Termal Genleşme Katsayısı:	0.0000083 cm/°C (0°C)	
İletkenlik:	Elektriksel:1,0E-12 10 ⁶ /cmΩ	Termal:0,274 W/cmK
Yoğunluk Görünüş:	2,34 g/cc @ 300K	
Elastik Modülü:	Sarı-Kahverengi ametal kristal	
Atomizasyon Entalpisi:	573,2 kJ/mol @ 25°C	
Füzyon Entalpisi:	22,18 kJ/mol	
Buharlaşma Entalpisi:	480 kJ/mol	
Sertlik:	Mohs: 9,3	Vickers:49000 MN m ⁻²
Buharlaşma Isısı:	489,7kJ/mol	
Erime Noktası:	2573 K - 2300°C - 4172°F	
Molar Hacmi:	4,68 cm ³ /mol	
Fiziksel Durumu:	(20°C & 1 atm): Katı	
Spesifik Isısı:	1,02 J/gK	
Buhar Basıncı:	0,348 Pa @ 2300°C	

3.1.1.2. Elementel Bor'un Eldesi

1-) Elementel Bor 1808 yılında Gay-Lucssac ve Thenard tarafından B_2O_3 'ün potasyum ile indirgenmesiyle elde edilmiştir.

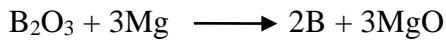
2-) Davy, elektrolizle metalik Bor elde etmiştir.

3-) Weintraub 1909'da, iki bakır elektrot arasında oluşturulan bir elektrik arkından BCl_3 'ü geçirirken H_2 ile indirgeyerek %99,8 saflıkta Bor elde etmiştir. Bu Bor erimiş ve toz halindedir.

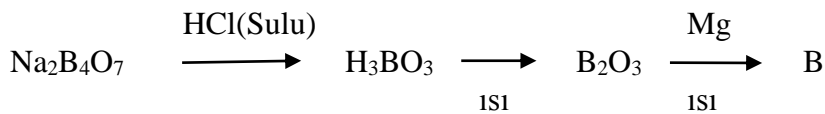


4-) Van Arkel, 1930'da, BBr_3 'ü ısıtılmış volfram teli üzerinde, $1300\text{ }^\circ\text{C}$ 'de, Hidrojen akımında ayrıştırarak siyah kristalize saf Bor elde etmiştir.

5-) Amorf Bor, B_2O_3 'ün Mg ile indirgenmesiyle elde edilebilir (Taşcıoğlu 1992).



Bor mineralleri, doğada diğer mineral ve kayalarla birlikte veya çözelti olarak sulara bulunmaktadır (Demir C. 2007). Bor yeryüzünde yüzde fazla minerali bulunan, değişik amaçlarla kullanılan çok sayıda kimyasal bileşiği olan bir elementtir (Taşcıoğlu S. 1992). Bu bileşiklerden biri olan boraks'tan sulu HCl ile indirgenmesiyle borik asit elde edilir. Borik asit ısıtılarak tabii tutularak Bor oksit eldesi; ısıtılarak artırılarak Mg ile indirgenmesiyle bor oksitten Bor elde edilmektedir. İşlem borakstan başlayarak şöyle özetlenebilir Taşcıoğlu (1992);



3.1.2. Borik Asit (H_3BO_3)

Borik asit (borasisit ya da ortoborik asit olarak da adlandırılır), Bor'un zayıf bir asididir. Kimyasal formülü H_3BO_3 (ya da $B(OH)_3$), şeklinde yazılır ve beyaz toz halinde suda çözünebilir formda bulunur.

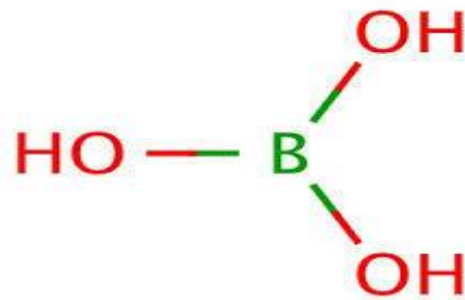
Tablo 3.1'de Borik asitin fiziksel ve kimyasal özellikleri; Şekil 3.2'de Borik Asit'in a) Toz hali ve b) Kimyasal gösterimi; Tablo 3.3'te farklı sıcaklıklarda suyun içerisinde çözünme miktarları görülmektedir

Tablo 3.2. Borik asit özellikleri

Borik Asit: Kimyasal ve Fiziksel Özellikler	
Yoğunluk:	1,51 g/cm ³ (20°C)
Molekül Ağırlığı:	61,83 g/mol
Erime Noktası:	450°C
Kaynama Noktası:	1860°C



Şekil 3.2. Borik asit toz hali



Şekil 3.3. Borik asit kimyasal gösterimi

Tablo 3.3. Suyun içerisinde çözünürlük tablosu Borik asit'in su içerisinde çözünmesi olayı

Sıcaklık °C	100 ml Suda Çözünen Borik Asit (g/100ml)
0	2,52
10	3,78
15	4,13
20	5,08
25	5,54
30	6,72
35	7,16
40	8,87

Su içerisinde çözünen borik asit tepkimesi



şeklinde gerçekleşir.

Bu çalışmada inorganik arayüzey olarak merkezi araştırma laboratuvarından alınan 18 mΩ direncinde deiyonize su ile 30°C sıcaklıkta 30 dakika boyunca manyetik karıştırıcı ile 1.167mg/ml oranında borik asit çözeltisi hazırlanarak kullanıldı.

3.1.2.1. Kullanım Alanları ve Başlıca Faydaları

Böcek İlacı: Borik asit hamamböceği, beyaz karınca, karınca, pire ve daha birçok böceğin yok edilmesi veya kontrol altına alınabilmesi için kullanılır (Url 2 Erişim Yılı: 2016).

Cam ve Cam Elyafı: Borik asit özel tip camların (fırın camları, laboratuvar cam malzemeleri v.b.) ve cam elyafı üretiminde kullanılmaktadır. Cam üretiminde, devitrifikasyonu önler. Camın, ısıya, kimyasallara, mekanik etkilere karşı dayanım özelliklerini artırır. Borik asit tek-filaman fiberglas (tekstil tipi fiberglas) üretiminde kullanılmaktadır. Tekstil tipi fiberglas endüstriyel borulardan bilgisayar kartlarına kadar birçok alanda kullanılan plastiklerin güçlendirilmesinde de kullanılmaktadır. Yalıtım ve

güçlendirme fibreglaslarında viskoziteyi düşürerek fiberleşmeyi artırmaktadır (Url 2 Erişim Yılı: 2016).

Emprenye ve Koruma: Kuru ya da yaş ahşapların çürümeye karşı korunmasında borik asit kullanılmaktadır. Mantar ve böcek saldırısına karşı etilen glikol ile karıştırılarak kullanılabilir (Url 2 Erişim Yılı: 2016).

Borat bileşenli koruma uygulamaları yosun, mantar, balçık gibi etkenlere karşı denizcilikte başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Borik asit ve tuz karışımı hayvancılıkta da sığır, dana ve koyun derilerine uygulanarak bakteri gelişimi ve böceklere karşı kullanılmaktadır (Url 2 Erişim Yılı: 2016).

Tıp: Borik asit ufak yanıklar ve kesilmeler için antiseptik olarak kullanılabilir. Sargılamada merhem olarak da kullanılabilir. Borik asidin çok seyreltik solüsyonları göz yıkama solüsyonu olarak kullanılmaktadır. Seyreltik borik asit solüsyonu bakterileri (örneğin bacterial vaginosis) yok etmek için de kullanılmaktadır. Anti bakteriyel bir bileşik olarak akne tedavisinde de kullanılabilir. Sporcuların ayaklarında bakteri oluşumunu engellemek için sporcu çoraplarının içinde de kullanılmaktadır. Yine solüsyon olarak insanlar ve hayvanlardaki kulak iltihabı (otitis externa) tedavisinde de kullanılmaktadır (Url 2 Erişim Yılı: 2016).

Yağlama: Borik asidin koloidal süspansiyonları petrolde ve bitkisel yağda çözünerek seramik ve metal yüzeyler için iyi bir kayganlaştırıcı oluşturmakta ve sürtünme katsayısını önemli miktarda düşürmektedir (Url 2 Erişim Yılı: 2016).

3.1.3. Safran

Süsengillerden olan safran, soğanlı, çiğdeme benzer, eflatun-mor çiçekli bir bitkidir. Kuzey yarıkürede tropikal ve subtropikal iklim bölgelerinde yayılış göstermektedir. Daha çok İtalya, İspanya, Yunanistan, Fas, Mısır, İsrail, Türkiye gibi Akdeniz'e kıyısı olan ülkelerde ve Japonya, Çin, Hindistan, Pakistan, İran ve Azerbaycan'da kültürü yapılan çok yıllık otsu bir bitkidir.

Safran çok eskiden beri yetiştirilen önemli bir ilaç, baharat (Şekil 3.4) ve boya bitkisidir. Kullanım alanları; boya sanayi, kozmetik sanayi, ilaç sanayi ve gıda sanayi olmak üzere dört ana başlık altında toplanabilir. Bu alanlardan gıda ve ilaç endüstrisinde çok geniş kullanım alanına sahiptir.

Safran, geçmişte boyama işlerinde, kumaş ve halı ipliklerinin boyanmasında geniş olarak kullanılmıştır. Bunun nedeni ise safranın kendi ağırlığının yüz bin katı kadar suyu parlak sarı renge boyayabilmesidir.



Şekil 3.4. Safran otu kurutulmuş halde

3.1.3.1. Safranin T

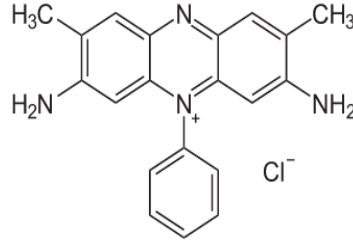
Safranin T, Fenazin türevi bir boyar madde olup Biyolojik(Bakteriyoloji, Histoloji ve Botanik alanları), Mikroskopik çalışmalarda, deri ve kağıt işlemlerinde kullanılır. Ayrıca Kimyasal analiz işlemlerinde Ph ve redoks göstergesi olarakta kullanılır (Url 1 Erişim yılı: 2016).

Safranin T'nin Molekül ağırlığı 350,85 g/mol olup "Safranin A", "Safranin O" başlıca diğer isimleridir. Kimyasal Formülü " $C_{20}H_{19}ClN_4$ " olup açılımı "3,7-Diamino-2,8-dimethyl-5-phenyl-phenaziniumchlorid" olarak okunur. Su içerisinde çözündüğünde Kırmızı ve Mor renkleri aralığında görünmektedir (Url 1 Erişim Yılı: 2016).

Safranin T mürekkebinin toz hali ve yapısının kimyasal gösterimi Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'daki gibidir.



Şekil 3.5. Safranin T mürekkebi (Toz hali)



Şekil 3.6. Safranin T yapısının kimyasal gösterimi

3.1.4. Yarıiletkenler

Yarıiletkenler, iletkenlikleri metallerle yalıtkanlar arasında olan malzemelerdir. Yarıiletkenler genel olarak iki grupta sınıflandırılabilir; bunlardan ilki periyodik tablonun IV. grubunda bulunan elementel yarıiletkenlerdir. Diğerleri ise III. ve V. Grup elementlerinin bileşimi ile oluşan bileşik yarıiletken malzemelerdir. Tek cins atomların birleşmesiyle oluşan elementsel malzemelere örnek, Si ve Ge'dur. Silisyum entegre devrelerde en çok kullanılan yarıiletken malzemelerden biri olup gün geçtikçe Si ile ilgili olan çalışmalar artmaktadır (Neamen 2003).

Yarıiletkenlerin tarihine bakıldığında, Edmond Becquerel'in (Şekil 3.7) 1839 yılındaki çalışmalarına kadar gitmek gerekir. Edmond Becquerel 1839 yılında, aynı elektrolit içine batırılmış iki elektrottan biri üzerine ışık düşürmüştü ve bunlar arasında bir potansiyel farkı oluştuğunu görmüştü. Bundan sonra, Faraday 1883 yılında gümüş sülfatın direncinin sıcaklıkla azaldığını bulmuştur. 1915 yıllarına doğru gelen detektörler, 1920'de ise selenyum ve bakır oksit detektörler kullanılmaya başlanmıştır. 1923 yılında Schottky'nin (Şekil 3.8) yayınladığı kuru redresörler teorisi, yarıiletkenlerin teorik incelemesinde ilk adım olarak kabul edilmektedir. İkinci dünya savaşında radar gereksinmelerinin bir sonucu olarak, yarıiletken diyotlar yeni bir gelişme alanı bulmuştur. 1958'de Amerika Birleşik Devletleri'nde, Brattain ve Bordein tarafından nokta temaslı detektörler keşfedilmiştir. Bundan kısa bir süre sonra Shockley, yüzey temaslı transistörü gerçekleştirmiştir (Küpeli 2005).



Şekil 3.7. Edmond Becquerel



Şekil 3.8. Schottky Walter Hermann

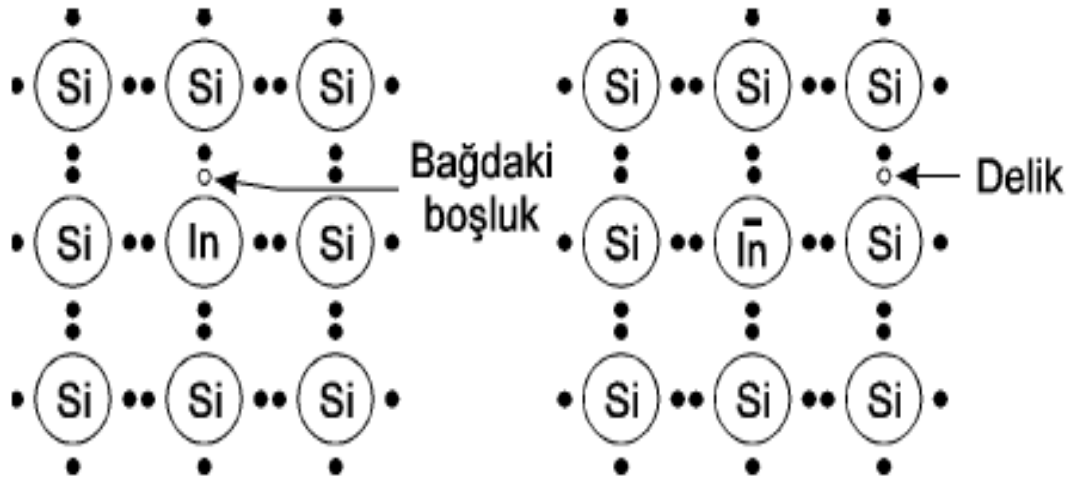
Yarıiletkenler katkısız(saf) ve katkılı olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Katkılı yarıiletkenler ise kendi içinde n-tipi ve p-tipi olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Katkısız yarıiletkenler; katkılama işlemi yapılmamış saf yarıiletkenlerdir. (Küpeli 2005)

Yarıiletkenlere büyütme sırasında, belli oranlarda uygun katkı atomlarının, çeşitli tekniklerle katılmasına katkılama ve bu şekilde elde edilen yarıiletkenlere de katkılı yarıiletkenler denir (Küpeli 2005).

3.1.4.1. p-Tipi Yarıiletken

Dört valans elektrona sahip saf germanyum (veya silisyum) atomuna üç valans elektrona sahip Bor (alüminyum, galyum ya da Şekil 3.9'daki indiyum gibi) atomu ilave edilirse p-tipi yarıiletken elde edilir.

Germanyum veya silisyum atomlarına ait üç valans elektronu, Bor atomlarının valans elektronlarının tamamı ile kovalent bağ kurarlar. Bor atomunun bir (1) elektron artar ve bir kovalent bağ eksik kalır. Bu elektron eksikliğine "oyuk" adı verilir. Oluşturulan bu tip maddeye "p-tipi yarıiletken" denir (Bereket 2015).



Şekil 3.9. Silisyuma indiyum eklenmesiyle elde edilen p-tipi malzeme

Güneş pilleri p-n eklem yapısına göre beş ana sınıfta toplanabilir. Bunlar;

- Çok eklemli güneş pilleri
- Elektrolitik güneş Piller
- Yarıiletken - Yalıtkan – Yarıiletken (MOS) heteroeklem güneş pilleri
- Metal - Yalıtkan - Yarıiletken (MIS) heteroeklem güneş pilleri
- Metal - Yarıiletken (MS) heteroeklem güneş pilleridir.

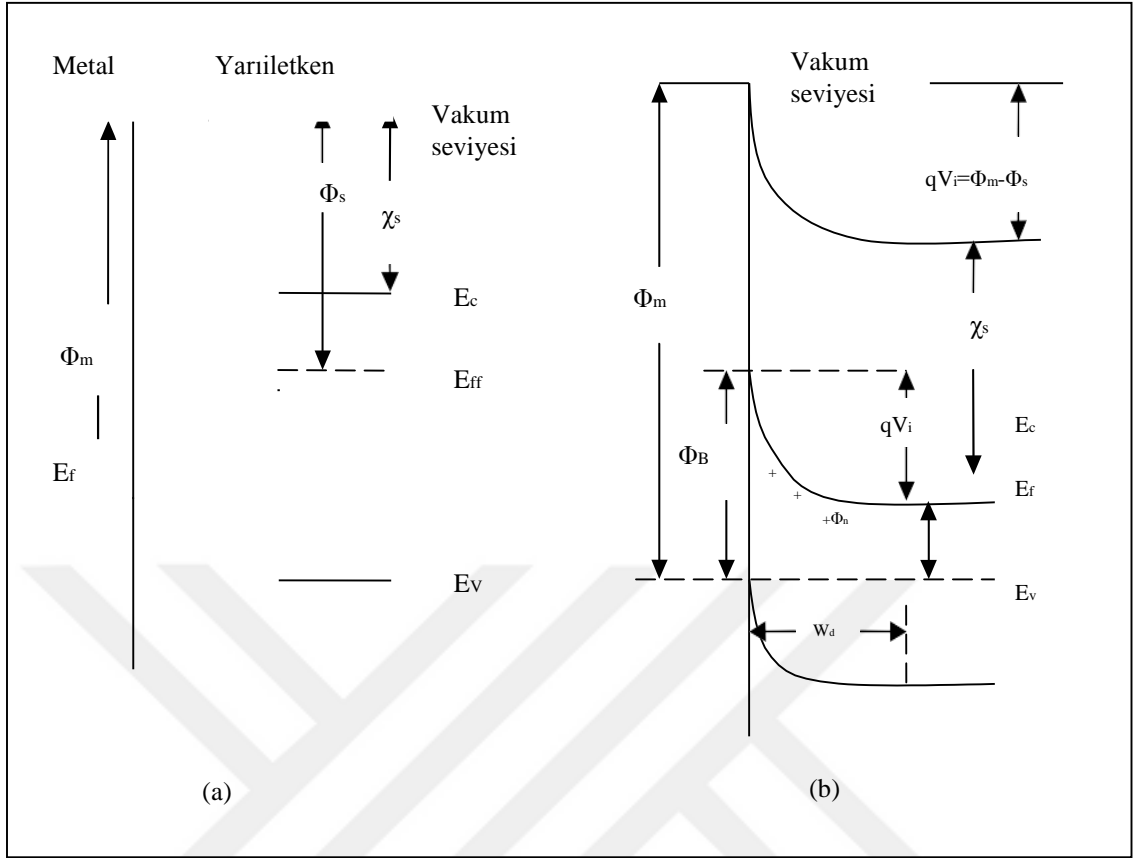
Bunların arasında Metal –Yarıiletken ve Metal – Yalıtkan – Yarıiletken heteroeklem güneş pilleri ön plana çıkmaktadır.

3.1.4.2. Metal – Yarıiletken ve Metal – Yalıtkan – Yarıiletken Heteroeklem Güneş Pilleri

Metal-yarıiletken kontaklar; bir metalin yarıiletkene temas ettirilmesiyle oluşturulur. Metal, yarıiletken ile kontak edildiğinde, termal denge kuruluncaya kadar metal ile yarıiletken arasında yük geçişleri olur. Metalden yarıiletkene, yarıiletkenden metale elektron geçişi; metal ile yarıiletkenin Fermi enerji düzeylerinin eşit olduğu termal denge durumuna kadar devam eder. Böylece metal-yarıiletken arayüzeyinde yüklerin ayrılmasıyla yeni bir yük dağılımı sonucunda bir potansiyel engeli oluşur. Arayüzey bölgesi, yarıiletken tarafında oluşan ve hareketli yüklerin olmadığı yüksek dirençli bir bölgedir. Metal-yarıiletken (MS) kontaklarda, metal ile yarıiletken arayüzeyinde bir

potansiyel engel olustugunu ilk olarak Schottky, ekleme olusan bu potansiyelin metal ile yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki farktan kaynaklandığını ise Mott açıklamıştır. Schottky-Mott teorisine göre potansiyel engeli, metal ve yarıiletkenin işfonksiyonları arasındaki fark sebebiyle oluşmaktadır (Güzel 2006).

Engelin doğrultucu ya da omik olması yarıiletkenin tipine, metalin ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarına bağlıdır. Metalin iş fonksiyonunu Φ_m , yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s olmak üzere metal/n- tipi yarıiletken eklemlerde $\Phi_m > \Phi_s$ ise engel doğrultucu, $\Phi_m < \Phi_s$ ise engel omik olur. Metal/p-tipi yarıiletken eklemlerde ise $\Phi_m > \Phi_s$ için engel omik, $\Phi_m < \Phi_s$ ise engel doğrultucudur. Şekil 3.10 $\Phi_m > \Phi_s$ olan n-tipi yarıiletken ile metal kontağın elektron enerjisi band diyagramını göstermektedir (doğrultucu kontak). Şekil 3.10 a)'da gösterilen metalin iş fonksiyonu Φ_m , bir elektronu Fermi seviyesinden vakum seviyesine çıkarmak için gerekli enerjidir. Yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s ise, yarıiletkenin Fermi enerjisi farkıdır ve Fermi seviyesi katkı miktarına göre değiştiği için değişken bir niceliktir. Vakum seviyesi bir metalin tam dışındaki sıfır kinetik enerjili bir elektronun enerji seviyesidir. Yarıiletkenin katkı miktarına bağlı olmayan elektron yakınlığı χ_s , iletkenlik bandının en üst sınırından bir elektronu vakum seviyesine çıkarmak için gerekli enerji miktarıdır. Şekil 3.10 b) doğrultucu kontak oluşturulup denge kurulduktan sonraki enerji band diyagramını göstermektedir. Metal-yarıiletken kontak oluşturulduğunda, metaldeki elektrondan daha yüksek enerjiye sahip yarıiletkenin iletkenlik bandındaki elektronlar, iki taraftaki Fermi enerji düzeyi eşit olana kadar metale doğru akarlar. Elektronlar yarıiletkenden metale doğru gittiği için yarıiletkenin sınıra yakın bölgesinde serbest elektron konsantrasyonu azalır. İletkenlik band kenarı E_c ile Fermi seviyesi E_f arasındaki fark, azalan elektron konsantrasyonu ile artar ve termal dengede E_f tamamen serbest kaldığı için iletkenlik ve valans band kenarı Şekil 3.10 b)'deki gibi bükülür. Metale geçen iletkenlik band elektronları, arkalarında donar iyonları bırakırlar, böylece yarıiletkenin metale yakın kısmında hareketli yükler tüketilir. Ara yüzeyin yarıiletken tarafında pozitif yükler oluşur ve metale geçen elektronlar arayüzeyden yaklaşık $0,5 \text{ \AA}$ uzaklıkta ince bir negatif yük tabakası oluştururlar. Sonuçta Şekil 3.10 b)'de olduğu gibi yarı iletkeninden metale doğru bir elektrik alan oluşur.



Şekil 3.10. Metal/ n-tipi yarıiletken kontak için ($\Phi_m > \Phi_s$) elektron enerji band diyagramı (a) Birbirinden ayrılmış nötral materyaller (b) Kontak oluştuğundan sonra termal termal denge durumu (Ejderha 2012)

Yarıiletkenin yasak enerji aralığı kontak sebebiyle değişmediği için, E_v valans band kenarı E_c iletkenlik band kenarına paralel olarak kayacaktır. Yarıiletkenin vakum seviyesi de aynı değişimi gösterir. Bunun sebebi, yarıiletkenin elektron yakınlığının kontak ile değişmemesidir. Sonuç olarak termal dengedeki sistemde, band bükülmesi miktarı, metalin iş fonksiyonu Φ_m ile yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s arasındaki farka eşittir. Bu fark $qV_i = (\Phi_m - \Phi_s)$ olarak ifade edilir. Burada V_i ekleme oluşan potansiyel yada kontak potansiyel farkı olarak bilinir ve birimi Volt'tur. qV_i yarıiletkenden metale gidecek olan elektronun sahip olması gereken enerji yani engel yüksekliğidir. Bununla birlikte metalden belirlenen engel yarıiletkenden belirlenen engelden farklıdır ve

$$\Phi_B = (\Phi_m - \chi_s)$$

3.1

eşitliği ile verilir.

$$\Phi_s = \chi_s + \Phi_n \text{ ve } \Phi_m = qV_i + \Phi_s \quad 3.2$$

olduğu için,

$$\Phi_B = (qV_i + \Phi_n) \quad 3.3$$

elde edilir. Burada $\Phi_n = (E_c - E_f)$ olup, q elektronik yüküdür (Ejderha 2012).

Şekil 3.10 birbirinden bağımsız olarak Schottky ve Mott tarafından ifade edilmiştir. Schottky'ye göre yarıiletken homojen bir şekilde katkılanmıştır bu durum arayüzey tüketim bölgesinde homojen bir yük yoğunluğu verir. Bu sabit uzay yük için elektrik alan şiddeti, uzay yük tabakasının kenarından olan uzaklığı ile artar ve oluşan parabolik engel "Schottky Engeli" olarak bilinir (Güzel 2006).

Schottky bariyerin avantajlarından bahsedecek olursak;

- 1-) Düşük sıcaklıklarda ilerleme kaydetme; çünkü yüksek sıcaklıklarda difüzyona ihtiyaç yok.
- 2-) Polikristal yapıya ve ince film güneş pillerine uyum sağlayabiliyor.
- 3-) Yüzeye yakın yüksek elektriksel alandan dolayı radyasyona dayanıklıdır.
- 4-) Yüksek akım çıkışı ve iyi spektral tepki;

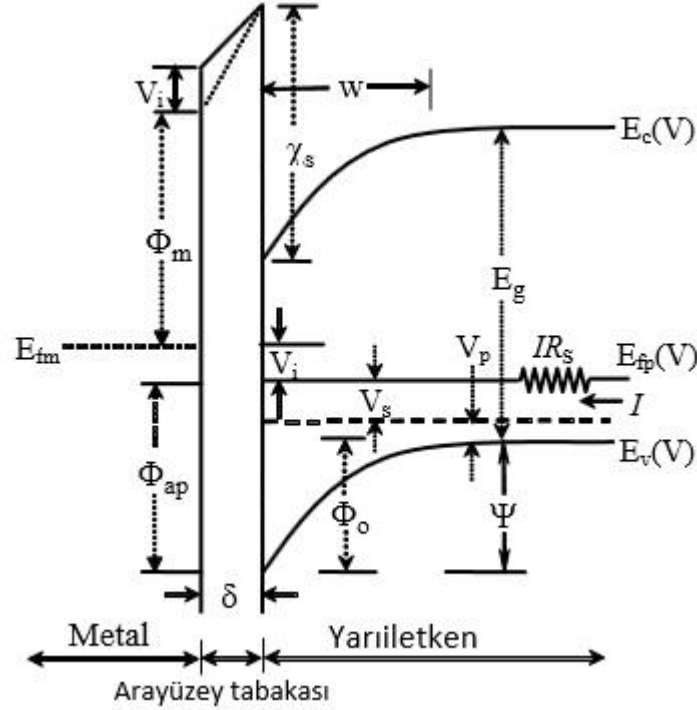
Bu çalışmada yapılacak çalışma bir derece metal/yarıiletken kontak olduğu için öncelikle Schottky yapının akım denklemini ele alalım. Bir Schottky diyodun akım denklemi;

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad 3.4$$

Burada, I =Diyottan geçen akım, I_0 =Ters beslem doyma akımıdır. I_0 doyma akımı A diyot alanı, A^* Richardson sabiti, T mutlak sıcaklık, e elektron yükü olan $1,6 \times 10^{-19} \text{C}$, Φ_B sıfır beslem engel yüksekliği ve k Boltzman sabiti olmak üzere;

$$I_0 = A A^* T^2 \exp\left(\frac{-e\Phi_B}{kT}\right) \quad 3.5$$

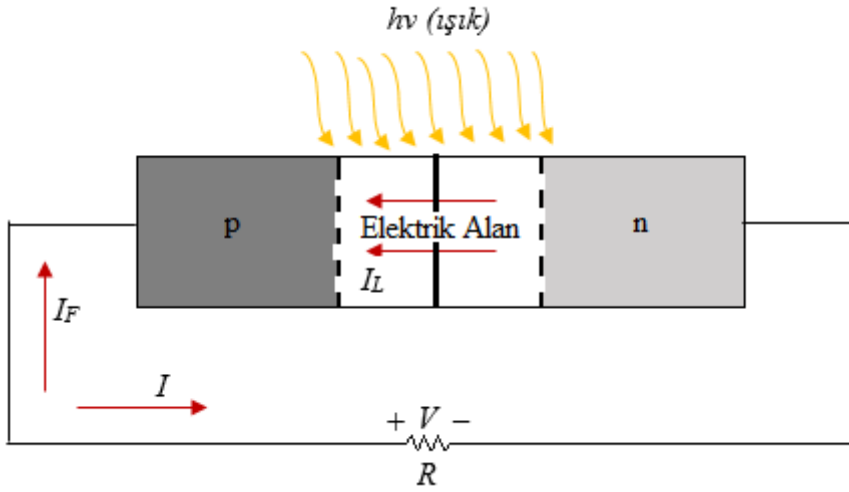
olarak verilir. Yapılan çalışmadaki metal-yarıiletken kontak arayüzeyli yapıldığı için ara yüzeyli bir p-Si Schottky kontak için enerji-band diyagramı Şekil 3.11’de verilmiştir (Ejderha 2012).



Şekil 3.11. Doğru beslem altında Metal-Yalıtkan tabaka-p tipi Si yarıiletkenin enerji bant diyagramı (Ejderha 2012)

3.1.4.3. Metal/p Tipi Si'nin Fotovoltaik Çalışmasının Mantığı

Şekil 3.11’de enerji band diyagramı verilen bir metal-Yarıiletken kontağı dikkate alalım. Ve bu ekleme bir adet yük direnci bağlı olsun. Sıfır voltaj besleminde bile bu eklemin birleşim yerinde engel yüksekliğinden meydana gelen uzay yükü bölgesi adı verilen bir elektrik alan mevcuttur. Ve buraya düşen güneş ışığı eğer enerjisi yeterse, bir elektron hole çifti oluşturur. Buradaki elektrik alan bu çifti buradan süpürüp dışarı atar ve bir fotopotansiyel meydana getirir. Devreye bağlı olan direnç diyodun ters yönünde bir akım I_L meydana gelir (Sze 2010).



Şekil 3.12. Dirençli yük ile p-n eklemli bir güneş pili hücresi (Neamen 2012)

Bu I_L akımı yük direnci üzerinde bir potansiyel meydana getirir ve bu potansiyel de diyoda düz beslem olarak yansır ve üretilen akımın bir kısmı diyot üzerinden boşalır. Bunu ifade eden;

$$I_{\text{net}} = I_L - I_F \quad 3.6$$

Denkleminde; I_{net} net akım, I_L Fotoakım ve I_F ise diyodun düz beslem akımıdır. Denklem 1'de ideal diyot için düz beslem akım eşitliği verilmiştir. Eğer diyot düz beslenirse uzay yükü bölgesindeki elektrik alan değeri düşer fakat hiçbir zaman sıfır ya da ters dönme olmaz. Bundan dolayı fotoakım hep ters yöndedir ve net akım da bu yöndedir (Neamen 2012).

İki adet sınır durumunu incelemek suretiyle bazı parameteler bulunabilir. Mesela $R=0$ olursa $V=0$ olur ve burada geçen net akım kısa devre akımı olarak tabir edilir. Ve

$$I_{\text{net}} = I_{\text{kd}} = I_L \quad 3.7$$

I_{kd} kısa devre akımıdır. Öte yandan $R \rightarrow \infty$ durumunda;

$$I_{\text{net}} = 0 = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{eV_{\text{ad}}}{kT}\right) - 1 \right] \quad 3.8$$

Olur. Yani akım geçmediği için devre açık devre gibi davranır ve buradaki V_{ad} açık devre gerilimi elde edilir ve açık devre gerilimini şöyle bulunabilir.

$$V_{ad} = V_t \ln\left(1 + \frac{I_L}{I_0}\right) \quad 3.9$$

Burada $V_t = e/kT$ termal potansiyeldir. Yük direncine ulaşan güç;

$$P = I.V = I_L .V - I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right].V \quad 3.10$$

Olarak yazılır. I' ya göre türev alınırsa $dP / dV = 0$ olduğu noktada yük direncine ulaşan maksimum güçteki gerilim noktası elde edilir.

$$\frac{dP}{dV} = 0 = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{eV_m}{kT}\right) - 1 \right] - I_0 V_m \left(\frac{e}{kT}\right) \exp\left(\frac{eV_m}{kT}\right) \quad 3.11$$

Denklem (3.9)'u kullanarak, V_m maksimum gerilimi değeri değer verme yoluyla elde edilebilir.

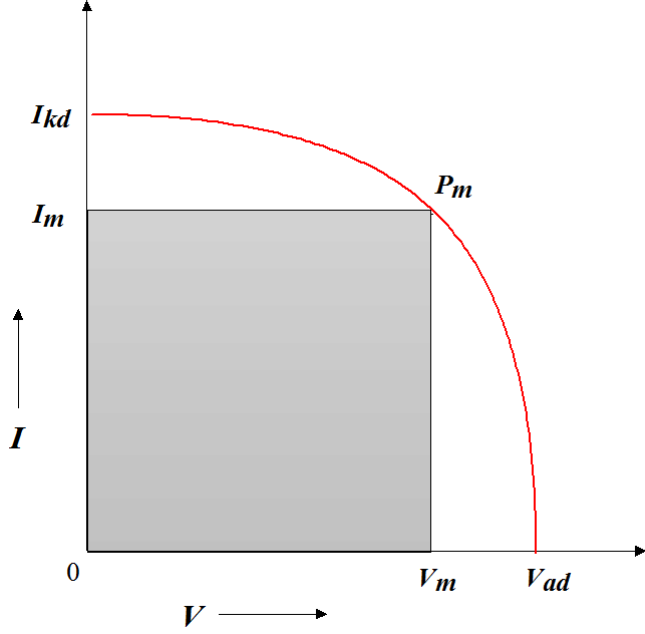
$$I + \left(\frac{V_m}{V_t}\right) \exp\left(\frac{eV_m}{kT}\right) = I + \frac{I_L}{I_0} \quad 3.12$$

Bir metal-yarıiletken veya p-n eklemi güneş pilleri fotondan gelen enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren aygıtlardır. Bir silikon p-n eklemi güneş pilinde maksimum verim yaklaşık olarak yüzde 28'dir. Bir güneş pilinde, dönüşüm verimliliği olayı elektrik güç çıkışının, optik güç girişine oranı olarak tanımlanır. Gücün maksimum değeri için, şu denklemi yazabiliriz (Neamen 2012).

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} \times 100\% = \frac{I_m V_m}{P_{in}} \times 100\% \quad 3.13$$

Şimdi dolgu faktörü(Fill Faktörü) adı verilen bir parametre tanımlanabilir (Bhattacharya 2011).

$$F_F = \frac{I_m V_m}{I_{kd} V_{ad}} \quad 3.14$$



Şekil 3.13. Güneş pili I - V karakteristiğinin maksimum güç dikdörtgeni (Neamen 2012)

Mümkün olan en yüksek akım ve güneş pili olarak mümkün olan en yüksek voltajı sırasıyla I_{kd} ve V_{ad} 'dir. $I_m V_m / I_{kd} V_{ad}$ Oranı dolgu faktörü olarak adlandırılan ve bir güneş hücresinde gerçekleştirilebilen bir güç ölçüsüdür. Dolgu faktörü maksimum güç değerindeki akım ve voltaj değeri ile açık devre voltajı ve kapalı devre akımının oluşturduğu dikdörtgenin alanının oranıdır. Bu oranın küçük olması haliyle bir doğrultucu kontağın engel yüksekliğinin homojenliği ile alakalıdır. Tipik haliyle, dolgu faktörü 0.7 ile 0.8 değerleri arasındadır (Neamen 2012).

Metal-yarıiletken arasında 5–20 Å kalınlık mertebesinde ince bir oksit tabakasının doğal olarak oluşmasından dolayı denklem şöyle düzeltilmelidir (Ejderha 2012):

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad 3.15$$

Buradaki n idealite faktörüdür. Denklemden her iki tarafın logaritması alınıp V ' ye göre türev alınırsa

$$n = \frac{e}{kT} \frac{dV}{d(\ln I)}$$

3.16

eşitliği elde edilir.

3.1.5. Organik Arayüzey

Organik kelimesi bir canlının organlarıyla veya organizmalarıyla ilgilidir. Dolayısıyla güneş pillerinde kullanılacak arayüzeyin bir canlıdan türetilmiş boyar madde olması bir çok çalışmada ön plana çıkmaktadır.

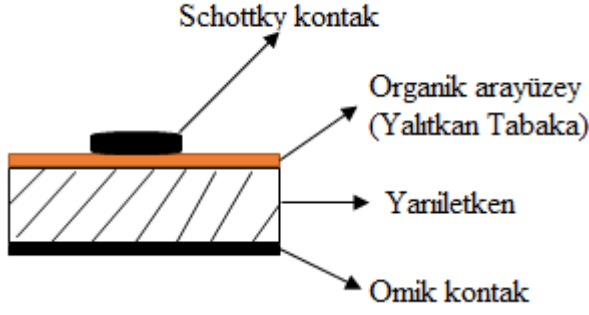
p-n eklemi veya Schottky güneş pilinde diyodun kendi üzerinden akan kaçak akımını düşürmek için birçok yöntem denenmiştir. Bunlardan biride izolasyon tabakalı güneş pilleridir. Bunlar metalle yarıiletken arasını izole eden ince tabaka şeklinde ilave edilerek yapılır (Sze et al. 2007). Avantajları vardır.

– Küçük dalga boylu ışık tarafından üretilen azınlık taşıyıcılarının toplanmasında yardım eden bir elektrik alan sağlar ki bu elektrik alan bu yarıiletkenin yüzeyine kadar uzanır.

– Kristal yüzeyi ve yarıiletken yüzeyindeki tekil yapının bozulmasını veya difüze olmasını engeller (Neamen 2012).

Organik arayüzeyin yarıiletkenlerin yüzeyine kaplanması Güneş Pillerinde engel yüksekliği için iyileştirici bir rol oynadığı yapılan birçok çalışmada kanıtlanmıştır. Şekil 3.14'de yarıiletken üzerine kaplanan organik arayüzeyin şematik olarak gösterimi mevcuttur.

Bu çalışmada organik arayüzey olarak Merkezi Araştırma Laboratuvarında Alınan 18 mΩ direncine sahip 10 ml ultra deiyonize su ile 2 mg Safranin T mürekkebi 10 dakika süre ile ultrasonik banyo karıştırıcıda çözelti hazırlanarak kullanıldı.

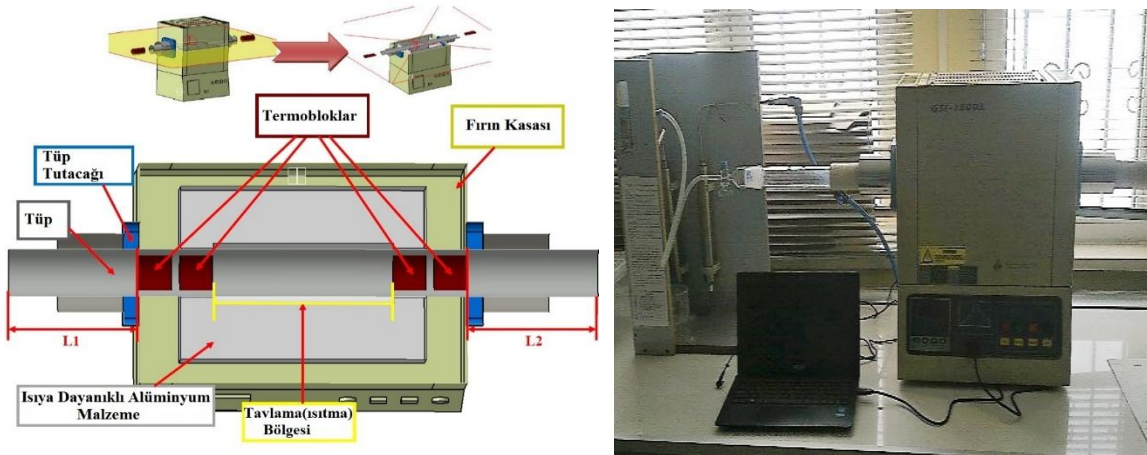


Şekil 3.14. Organik arayüzeyin şematik olarak gösterilmesi

3.2. Yöntem

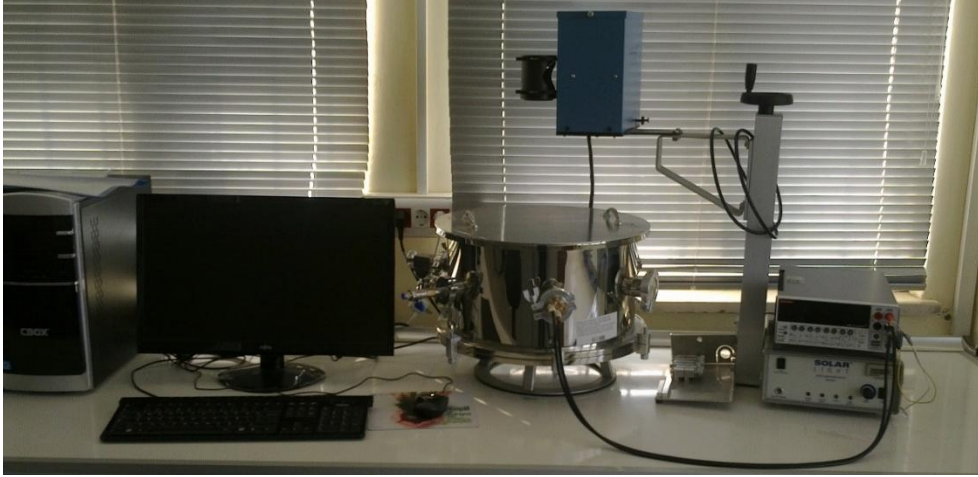
Çalışma Si wafer üzerine yapılacağı için öncelikle 10^{14} $1/\text{cm}^3$ ila 10^{18} $1/\text{taşıyıcı}$ yoğunluğuna (100) yönelimine sahip p tipi altlıklar temin edildi ve ardından Si temizleme prosedürüne göre ultrasonik olarak önce asetonda sonra da metanolda 10'ar dakika yıkandı. Sonra 18,3 m Ω dirençli deiyonize suyla iyice yıkandı. Ardından RCA1 ($\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{NH}_3;6:1:1$)'de 60°C'de 10dk yıkandı. Akabinde seyreltik HF ($\text{H}_2\text{O}:\text{HF};10:1$) ile 30 saniye yıkandı. Ardından RCA2 ($\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{HCl};6:1:1$)'de 60°C'de 10dk kaynatıldı. Ardından deiyonize su ile iyice yıkandı. Akabinde seyreltik HF ($\text{H}_2\text{O}:\text{HF};10:1$) ile 30 saniye yıkandı. Akabinde 15-20 dakika akan deiyonize su içerisine konuldu akabinde basınçlı N_2 inert gazı püskürtmek suretiyle kurutuldu. Numunenin mat tarafına omik kontak yapılması gerekti. Bunun için önce ısıtıcı %10 luk HCl ile yıkanıp, deiyonize su ile iyice yıkanıp kurutulup ve ardından vakum cihazının içerisindeki yerine yerleştirilerek yakılıp hazır hale getirildi. Ardından buharlaştırılacak %99.98 saflıktaki alüminyum (Al) omik kontak metali kimyasal olarak temizlenip ısıtıcının üzerine yerleştirildi ve ön eritme işlemi ile termal temizleme işlemi yapıldı. Hemen sonra Si altlığımız mat tarafı ısıtıcıya yani alta bakacak şekilde yerleştirildi ve sistem vakumlama prosedürü başlatıldı. Sistemin $\sim 10^{-7}$ torr basınca düşmesi beklendikten sonra ısıtıcıya akım verip omik kontak metalinin buharlaşması ve altlık üzerine kaplanması ($\sim 100\text{nm}$ kalınlıkta) sağlandı. Bu esnada kaplanan malzemenin miktarı kuvarz kalınlık sensörü ile tesbit edildi. Al oksitlenmesini engellemek için de bunun üzerine ince tabaka Au kaplandı.

Bir süre bekledikten sonra vakum cihazına hava verilerek ve numune vakum cihazından çıkartılarak kimyasal olarak temizlenmiş kuvarz potanın içine yerleştirilerek, daha önce yakılarak 585°C'ye ayarlanan fırında 3 dakika tavlandı. Böylece omik kontak işlemi tamamlanmış oldu. Bu altlık yedi parçaya ayrıldı. Organik arayüzey olarak Safranin T mürekkebi, inorganik arayüzey olarak ta Borik Asit çözeltisini hazırlamak için laboratuvarından alınan 18mΩ direncinde saf su ile sırasıyla 1/5 mg/ml oranında Safranin T mürekkebi ultrasonik banyo yardımıyla 10dk süreyle ve 1,167/1 mg/ml oranında hazırlanan Borik Asit çözeltisi manyetik karıştırıcıda 30°C sıcaklıkta 30dk süre boyunca karıştırılarak hazır hale getirildi. Omik kontağı yapılmış Si'un bir parçası referans numune olarak ayrıldı ve beş parçası 1,167/1 mg/ml oranında hazırlanan çözeltiyle beş parçası alınan p-Si elektrokimyasal kaplama yapmak için ayrıldı. Molibden folyo, hazırlanan Borik Asit çözeltisiyle üzerine elektrokimyasal kaplama yöntemiyle Bor kaplaması yapıldı. Elektrokimyasal kaplamanın ardından Molibden folyo XRD'de analiz edildi. Ardından beş parça p-Si alınarak elektrokimyasal kaplama yöntemi kullanılarak farklı süreler boyunca inorganik arayüzey çözeltisiyle Bor kaplaması yapıldı ve SEM görüntüleri alındı. Ardından spin coater cihazında altlığa vakum yoluyla sırayla tutturularak belirli bir hızda dönmeleri sağlanarak bu esnada üzerine 1mg/5ml oranında hazırlanan organik arayüzey çözeltisi ST damlatma yoluyla ayrı ayrı kaplandı. Ardından AFM ve SEM görüntüleri alındı. Sonra bu organik veya organik/inorganik kaplı altlık sıcaklığa bağlı tavlama fırınında (Şekil 3.15) tavlamanmış ve 100-150-200-300-400°C'de tavllanmış olarak toplamda altı gruba ayrıldı.



Şekil 3.15. Tavlama fırını şematik (Url 4'ten uyarlandı) ve resim ile gösterimi

Daha sonra doğrultucu kontak işlemi yapmak için yüzeyi kaplı veya kaplanmamış altlıklar Al Sputter için hazırlanmış NVTS 400 cihazına yerleştirildi ve 5 mm çapında ve kuvarz kalınlık sensörü aracılığıyla kalınlığı ölçülen, 10 nm kalınlığında ışığı geçirecek bir Al tabakasıyla kaplandı. Daha sonra kontak almak için Al tabakasının bir kenarına 1mm çapında kuvarz kalınlık sensörü aracılığıyla kalınlığı ölçülen 100 nm kalınlığında Au, buharlaştırma yöntemi ile kaplandı. Sonra da altlığın soğuması için bir süre bekleyip sisteme hava verilerek ve altlıklar çıkarıldı. Hazırlanmış olan Au/Al/p-Si/Al/Au, Au/Al/ST/p-Si/Al/Au, Au/Al/ST/B/p-Si/Al/Au ve Au/Al/B/p-Si/Al/Au yapıları nokta kontak ölçüm sistemine alınıp Keithley 2400 ve Conc-16s-150-002 solar simülatör ve Doç. Dr. Kadir EJDERHA tarafından labview üzerine yazılmış bir kontrol programı yardımıyla bu yapılan hücrelerin karakterizasyonu, 25°C oda sıcaklığında ve 100 mW/cm² parametrelerinde (şekil 3.16) Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Nokta Kontak lm sisteminde yapıldı.



şekil 3.16. Ölçümlerin alındığı laboratuvar ortamındaki nokta kontak ölçüm sistemi

Bu bölümde önceki bölümde ayrıntıları sunulan işlem basamakları izlenerek hazırlanan Schottky diyotları arayzeysiz ve organik arayüzeyli ve inorganik arayüzeyli ile organik/inorganik arayüzeyli 6 grup olarak incelendi.

Hazırlanan numunelerde organik arayüzey ve inorganik arayüzey incelemeleri için SEM, AFM görüntüleri ve XRD analizleri alındı. Ardından numuneler 6 gruba ayrıldı ve tavlama bağlı olarak nokta kontak ölçüm sisteminde I-V değerleri karakterize edildi. 1.

Grup referans çalışma olarak alınmış olup 2. Grup olarak Bor tavlama sıcaklığı ve Bor kaplama süresi tespit edilip ardından 3. grup olarak inorganik arayüzey kaplama için uygun süre tespiti yapıldı ve tavlama sıcaklığına bağlı olarak karakterize edildi. 4. grup olarak organik arayüzeyli numunenin güneş pili özelliğine bakıldı. 5. Grupta organik arayüzeyli numune tavlama işlemine tabi tutulmadan karakterize edildi. 6. grupta ise organik+inorganik(ST/B) arayüzey kaplaması yapıldı. Organik arayüzey miktarı 50 ve 100µl miktarında kaplanarak sputter işlemi sonrası tavlammamış ve farklı tavlama sıcaklıklarında tavlansarak iki numune nokta kontak ölçüm sisteminde karakterize edildi.

3.2.1. Yarıiletken Kontak Üzerine Metal Kaplama Yöntemleri

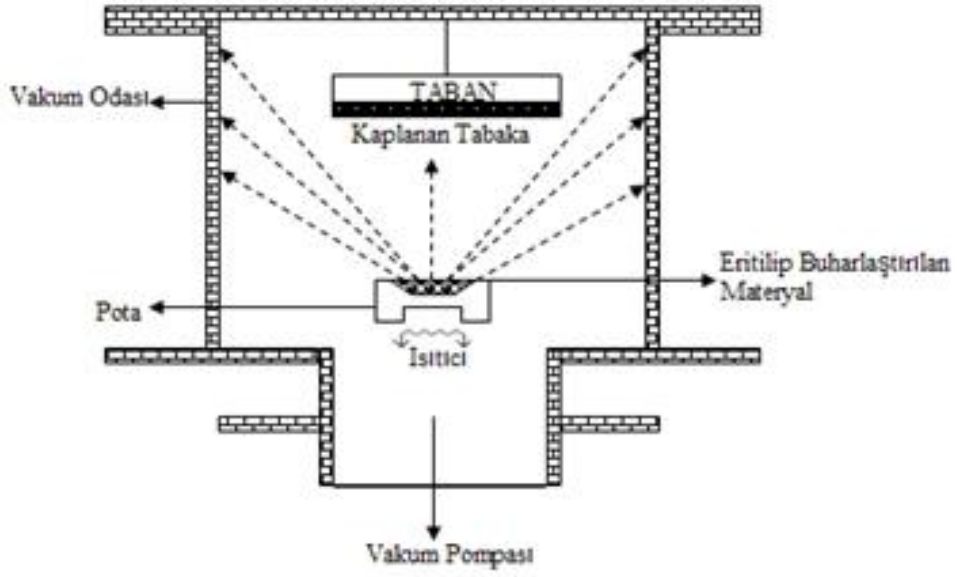
Yarıiletken Kontak üzerine metal kaplamanın bir çok yöntemi var olup bunların arasında en yaygın olarak kullanılan yöntemler fiziksel buhar biriktirme (PVD) diğer bir adıyla termal buharlaştırma ve Radyo Frekansı (RF), Doğru Akım (Direct Current; DC) ve DC-RF saçtırma (sputter) yöntemleridir.

3.2.1.1. Termal Buharlaştırma Yöntemi

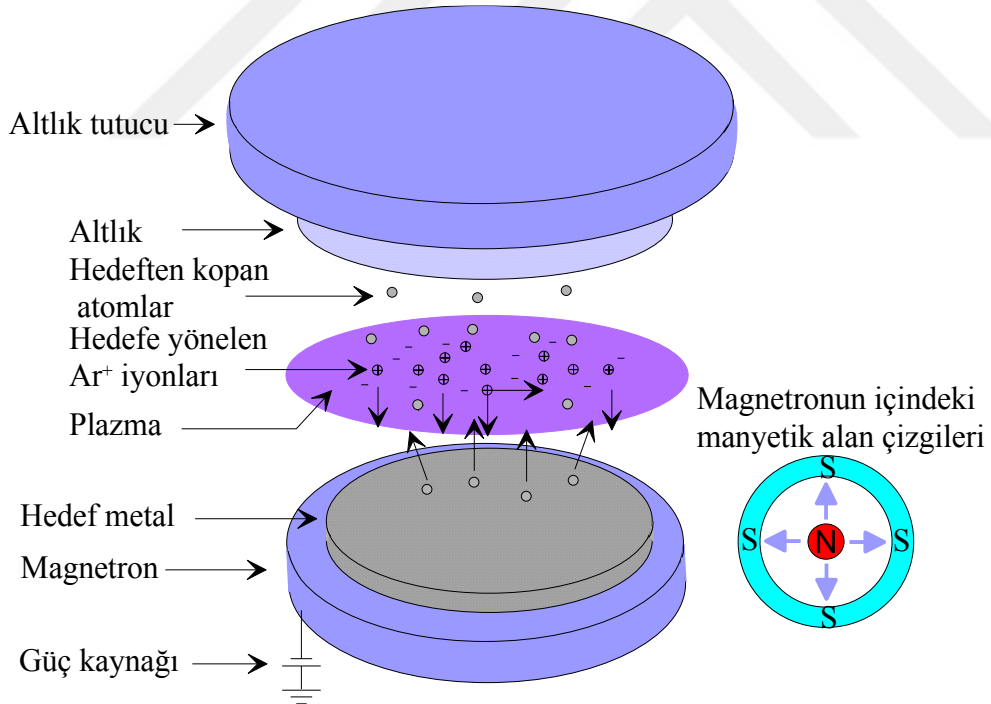
Termal buharlaştırma işlemi şekil 3.17’de görüldüğü gibi vakum altında büyütülecek malzemesinin buharlaştırılarak altlık üzerine biriktirilme işlemi olarak tanımlanabilir. Malzemenin buharlaştırılması için yüksek dirençli ısıtıcı kaynağı kullanılır. (Sertkol 2014) Buharlaştırma ile elde edilen kontakların büyük çoğunluğu 10^{-5} Torr civarında basınç sağlayan difüzyon pompası ile pompalanan vakum sistemi içinde yapılırlar (Ejderha 2012).

3.2.1.2. Manyetik Alanda DC Saçtırma (Sputter) Yöntemi

Kontak çalışmalarında, yarıiletken yüzeyine metal kaplamak için saçtırma yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil. 3.18’de görüldüğü gibi bu yöntem, ağır pozitif iyonların bombardımanı sonucunda genellikle katot olarak kullanılan bir elektrottaki atomların bir kısmının sökülüp bir altlık üzerinde ince bir tabaka oluşturma esasına dayanır. Saçtırma yöntemi temel olarak üç farklı şekilde yapılabilir. Bunlar DC (direct current; doğru akım), RF (radyo frekansı) ve DC-RF saçtırma teknikleridir. Bu üç yöntemin herbiri manyetik alan yardımıyla daha etkin hale getirilebilir.



Şekil 3.17. Termal buharlaştırma şematik gösterimi



Şekil 3.18. Manyetik alanda DC saçırma sisteminin şeması (Ejderha 2012)

Manyetik alanda DC saçırma, altına magnetron yerleştirilmiş hedef metale elektrik alan vasıtasıyla yönlendirilen iyonların manyetik alan vasıtasıyla solenoidal (sarmal yay) bir

hareketle hedef metale çarpması ve ondan kopardığı atomların bir kısmının taban malzeme üzerine büyümesi olayıdır (Ejderha 2012).

Araştırmalar için hazırlanan güneş pili numunelerin saçtırma ve buharlaştırma işlem basamaklarının yapıldığı Bingöl Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan NVTS 400 Manyetik alanda DC Saçtırma ve Termal buharlaştırma ünitesi Şekil 3.19'da görülmektedir.



Şekil 3.19. NVTS 400 Manyetik alanda DC saçtırma ve termal buharlaştırma ünitesi

Manyetik alanda DC saçtırma yönteminde 100 mtorr civarında basınca sahip argon gazı ortamında manyetik alana yaklaşık dik uygulanan elektrik alan vasıtasıyla; Ar plazması (tamamen iyonlaşmış atom bulutu) oluşturulur. Daha sonra elektrik alan vasıtasıyla plazmadaki mevcut iyonlar ve elektronlar (e^-) birbirine zıt yönde hızlanmaya başlar. Ar atomu bir e^- verdiği için pozitif değerlidir ve hedef metale negatif voltaj uygulandığı için bu Ar^+ iyonları hedefe doğru hızlanmaya başlayacaklardır. Bu hız ile manyetik alana giren iyonlar; manyetik alan kaynağındaki içten dışa doğru olan manyetik alanın etkisiyle dairesel yörüngede harekete başlayacaklardır. Bu hareketi oluşturan kuvvet;

$$\mathbf{F}=q.\mathbf{u}\times\mathbf{b}$$

3.17

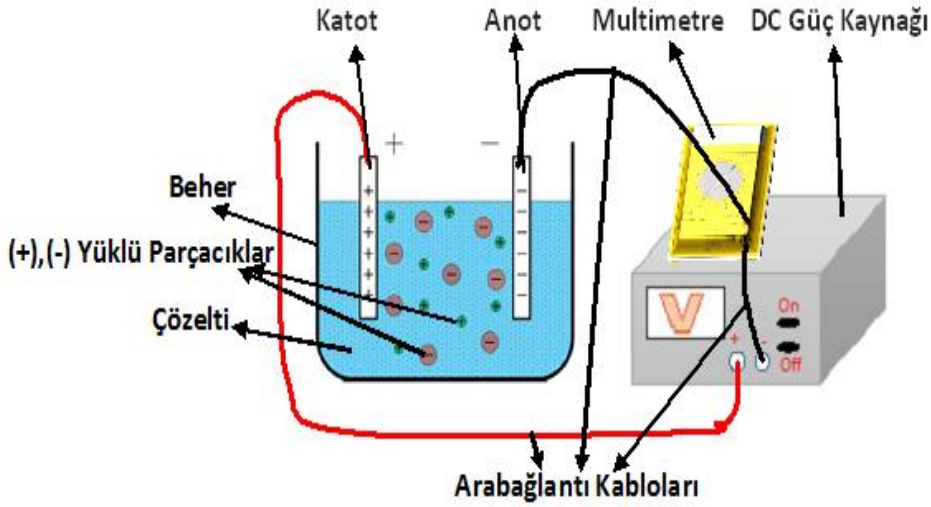
İle ifade edilebilir. Burada; q iyonun yükü, v iyonun hızı, \mathbf{b} manyetik alan ve \mathbf{F} manyetik alanın Ar^+ iyonu üzerinde oluşturduğu ve iyonun hızına dik olan bir kuvvettir. Bu kuvvetin etkisi ile dönme hareketi yapan iyonlar elektrik alanın etkisiyle de hedef metale doğru bir öteleme hareketi yapacaktır. Böylece Ar^+ iyonları solenoidal bir hareketle hedef metale çarpacaklardır. Bu çarpma sonucunda hedef metalden atomlar kopacaktır. Bu çarpmanın ve kopmanın etkisiyle saçılan (ki bu işlem ismini buradan alıyor) bu atomlar hızla etrafa yayılacaktır. Bu yayılan atomlardan bir kısmı taban malzeme üzerine yayılacaktır ve taban malzeme üzerine ince bir metal film tabaka büyüyecektir. Bu işlem manyetik alanda DC saçtırma ile ince film büyütme yöntemi olarak adlandırılır (Ejderha 2012).

İyi derecede mekanik adhezyona sahip metal filmler çok yüksek vakuma gerek duyulmadan kolaylıkla oluşturulabildiğinden, saçtırma yöntemi kontak fabrikasyonu için oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

3.2.1.3. Elektrokimyasal Kaplama Yöntemi

Kimyasal reaksiyonların elektrik üretiminde, elektriğin de kimyasal reaksiyon oluşturmada kullanımıyla ilgili olan kimya dalına elektrokimya denir. Fizikokimyanın önemli bir dalı olan elektrokimya içinde elektrolit çözeltilerin termodinamiği ve iletkenliği yanında kimyasal ve elektriksel enerjilerinin birbirine dönüşümü de incelenmektedir. Elektrokimyasal teknikler, kimyasal bir sistemden elektrik sinyali üretme yolunu sağladıkları için derişimin izlenmesinde elektronik aletleri kullanmamızı sağlarlar. Elektrokimyanın pratik uygulamaları pek çoktur. Bu uygulamalar elektrik güç kaynakları olarak yakıt hücreleri ve hücrelerin yapımı, başlıca kimyasalların üretimi, metallerin arıtımı ve korozyon kontrolünün düzenlenmesi gibi geniş bir alana yayılmıştır (Köse 2014). Elektrokimyasal büyütme, metallerin ve büyük yüzey uygulamalarından (örneğin, çinko kaplama) çok ileri elektronik uygulamalara (örneğin, çiplerin bakırla kaplanması) kadar olan endüstriyel alanlarda kullanılan metal alaşımların büyütülmesinde iyi bilinmektedir. Bu nedenle yarıiletken malzemelerin elektrokimyasal olarak büyütülmesi endüstriyel açıdan da önem arz etmektedir (Köse 2014).

Şekil 3.20'de gösterildiği gibi Elektrokimyasal bir reaksiyon, iki elektrotlu veya üç elektrotlu hücrelerde yapılabilir.



Şekil 3.20. İki elektrotlu kimyasal kaplama yöntemi

Bu çalışmada Borik Asit (H_3BO_3) ve Ultra Saf Su 1,167 mg/ml oranında karıştırılarak hazırlanan çözelti ile p-Si yarıiletkenin üzerine elektrokimyasal kaplama yöntemi ile inorganik arayüzey olarak Bor kaplaması iki elektrotlu hücrelerde yapıldı.

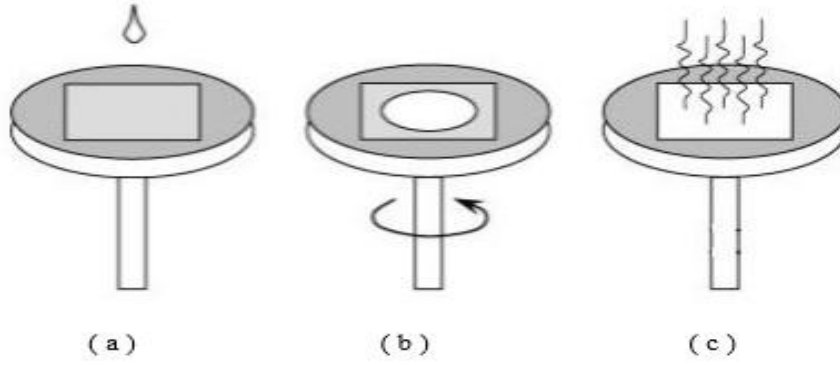
3.2.1.4. Döndürme (spinning) Tekniği ile Film Kaplanması

Şekil 3.21'de görüldüğü gibi döndürerek ince film kaplama olayı temelde dört aşamadan meydana gelmektedir. Bu aşamalar;

- 1- Çözeltinin kaplama yapılacak yüzey üzerinde konulması (deposition)
- 2- Hızlı döndürme işlemi (spin-up)
- 3- Döndürme işleminin durdurulması (spin-off)
- 4- Buharlaştırma (evaporation)

basamaklarından oluşmaktadır. (Gördün 2011)

Birinci aşamada çözelti, kaplama yapılacak yüzey üzerine konulduğunda film kalınlığına göre aşırı miktardadır. İkinci aşamada hızlı döndürme işlemiyle bu fazlalıklar çözeltinin kaplanacağı yüzeyden sıvının viskozitesi ve döndürme hızı gibi etkilere bağlı olarak



Şekil 3.21. Döndürme (spinning) tekniği ile film kaplanması (a) Çözeltinin kaplama yapılacak yüzey üzerinde konulması (deposition) b) Hızlı döndürme işlemi (spin-up), döndürme işleminin durdurulması (spin-off) c) Buharlaştırma (evaporation) (Gördün 2011)

dışarıya doğru dağılırlar. Üçüncü aşamada istenen sürede sabit açisal hızla dönme sağlanır. Bu aşamada artık homojen ince film oluşumu gerçekleşir. Son kısım olan buharlaştırmada ısı işlemi, alttaş ısı işlemi tabii tutulduğunda, kaplanmak istenen malzemenin buharlaşma sıcaklığından daha düşük buharlaşma sıcaklığına sahip olan diğer maddeler ortamdaki uzaklaştırılır (Gördün 2011).

Sonuç olarak yüzeyde sadece olması istenen malzeme ile kaplı bir film elde edilmiş olur.

Bu çalışmada Spin Coater kaplaması için Safranin T ile Ultra Saf Su'yun 1/5 mg/ml oranında hazırlanan çözelti ile organik arayüzey kaplaması gerçekleştirildi.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırmalarda Sabit Tutulan Parametreler

a) Araştırmalarda omik kontak sonrası bütün numuneler tavlama fırınında inert Ar gazı altında 585°C sıcaklıkta 3dk tavlandı.

b) Araştırmalarda numunelerin parlak olan ön yüzeyine dairesel, 5 mm çapında ve 7nm kalınlığında schottky kontak yapıldı.

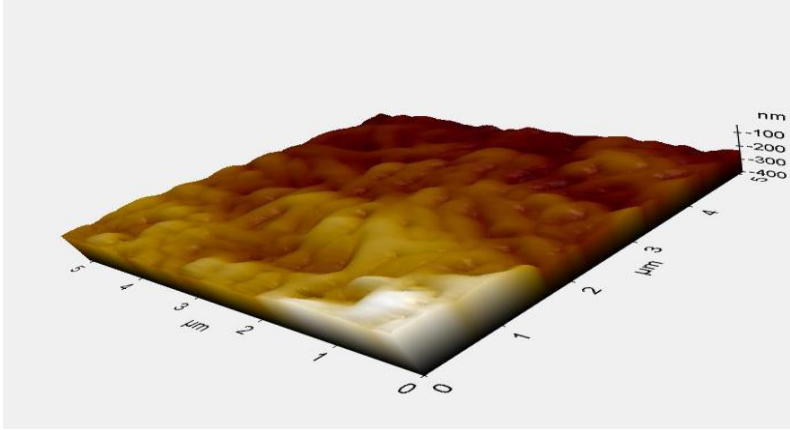
c) Araştırmalarda oluşturulan güneş pilleri yüzeyinin Al olması nedeniyle oksitlenmemesi için Al üzerine dairesel 1mm çapında 100nm kalınlığında Au, termal buharlaştırma yöntemiyle kaplandı.

d) Araştırmalarda Borik Asit 1,167/1 mg/ml oranında, 18 mΩ direncine sahip deiyonize su ile 30°C sıcaklıkta 30dk boyunca manyetik karıştırıcı aracılığı ile Borik Asit çözeltisi hazırlanarak elektrokimyasal kaplama yöntemiyle p-Si yarıiletkeni üzerine inorganik arayüzey olan Bor tabakası kaplandı.

e) Araştırmalarda kullanılan organik arayüzey(ST) çözeltisi 1/5 mg/ml oranında 18 mΩ direncinde deiyonize su ile 10dk süre boyunca ultrasonic banyo aracılığı ile hazırlandı.

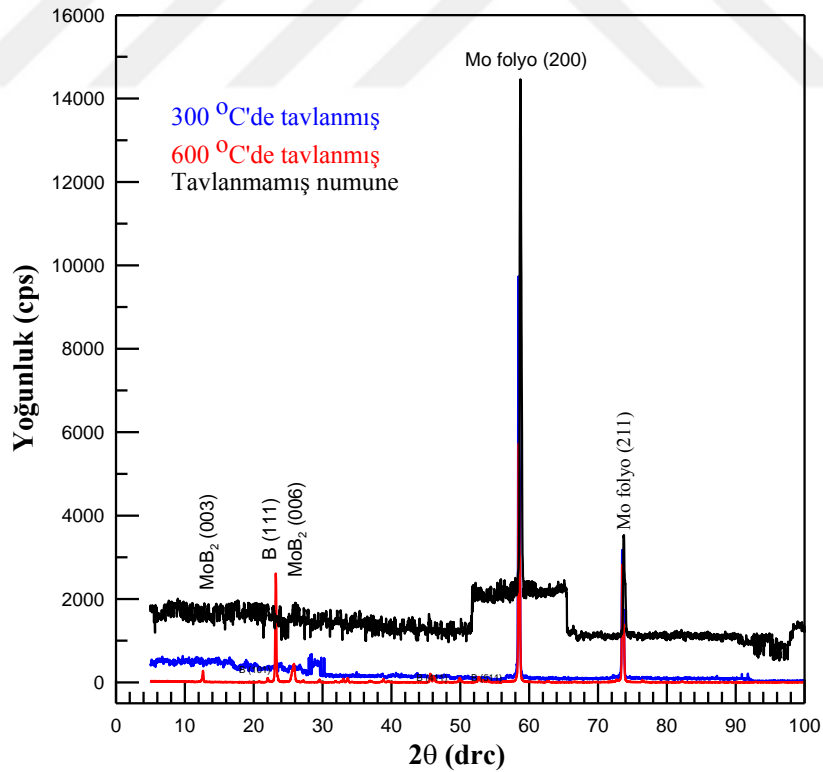
f) Araştırmalarda hazırlanan güneş pilleri, standart ölçüm şartlarında (STC: 100 mW/cm², 25°C) nokta kontak ölçüm sistemi ile karakterize edildi.

Şekil 4.1'de p-Si üzerine 50 µl ST 8000 devir/dk-60s boyunca spin coater cihazında organik arayüzey kaplaması yapıldı. AFM görüntüsü incelenirse ST'nin yaklaşık 100 nm kalınlığında homojene yakın olarak kaplandığı görülebilir.



Şekil 4.1. Au/Al/ST/p-Si/Al/Au yapısında Organik Ara yüzeyli(ST) AFM görüntüsü

Şekil 4.2’de elektrokimyasal yöntemle B kaplaması gerçekleştirilen ve farklı sıcaklıklarda tavllanmış Mo folyonun XRD yoğunluk grafiği görülmektedir. Şekilde, tavlandıktan önce ve 300°C sıcaklıkta, 3dk boyunca inert Ar gazı altında tavlama sonrasında Mo folyonun piki görünürken 600°C sıcaklıkta, 3dk boyunca inert Ar gazı altında tavlama sonrasında B(111), MoB₂(003) ve MoB₂(006) pikleri görülmektedir.

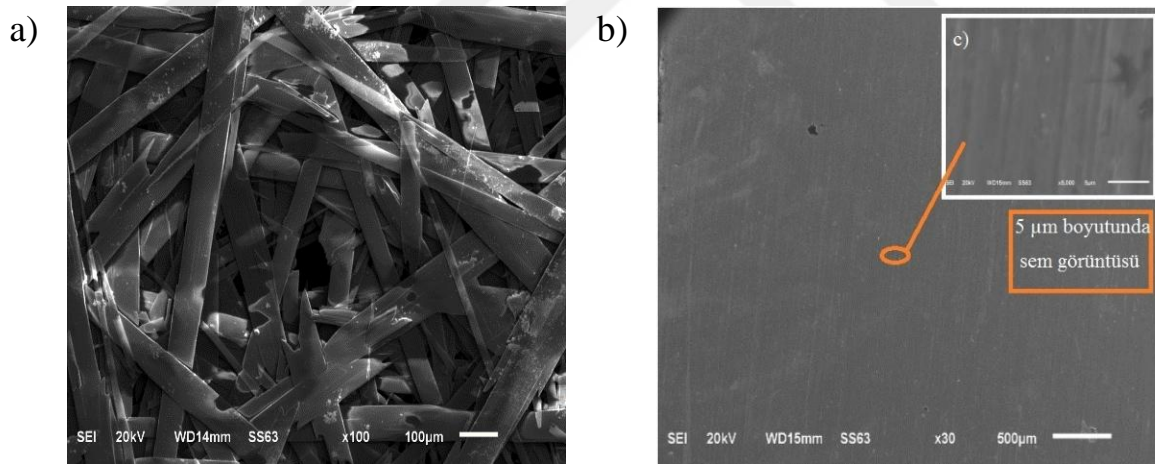


Şekil 4.2. Elektrokimyasal kaplama yöntemiyle üzeri Bor kaplanan Mo Folyonun XRD analizi (30 V gerilim, 120 dk boyunca Elektrokimyasal kaplama yöntemiyle Molibden folyo üzerine kaplanan Bor kristallerinin tavlınmamış ve tavlamaya bağlı olarak 300°C 3dk ve 600°C 3dk boyunca inert Ar gazı altında tavlama grafikleri)

Pingping et al. (2018) yaptıkları çalışmada yüksek basınç altında Molibden ile Bor'un MoB_2 bileşiğini oluşturduğunu raporlamışlardır.

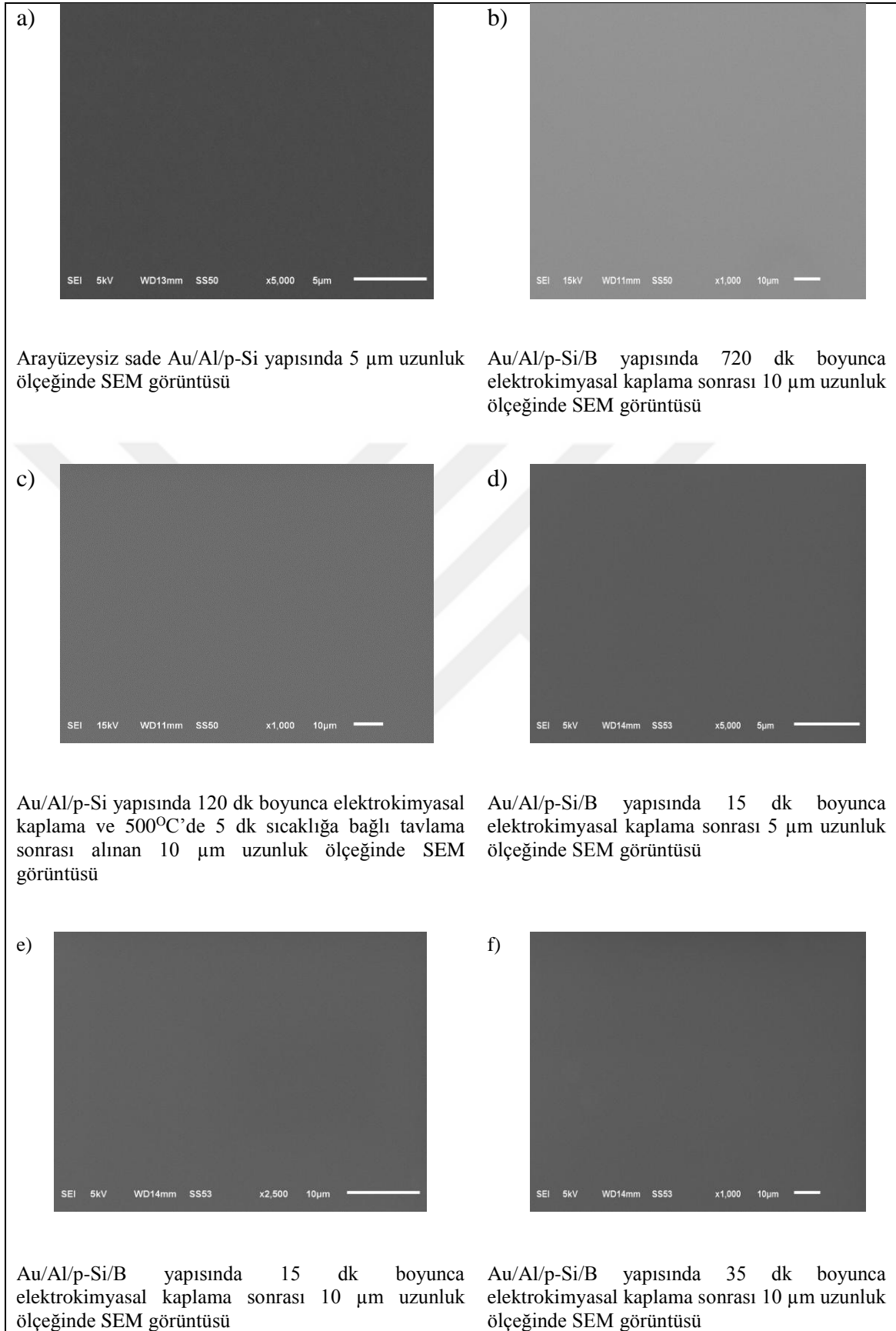
Bilindiği üzere suda çözülmüş H_3BO_3 suyla verdiği reaksiyonda hidronyum (H_3O^+) iyonu ve Bor içeren H_2BO_3^- bileşiği çözelti halindedir. Yapılan elektrokimyasal kaplama işleminde Mo folyo katot kısmına bağlandığı için bu Bor içeren H_2BO_3^- bileşiği Mo folyoya yapışacak ve tavlamayla içindeki H ve O iyonları buharlaşacaktır. Yüzeyde bir miktar Bor tabakası kalacaktır. Wang et al. (2018) yaptıkları deneyde 600°C sıcaklık altında Molibden ile Bor'un MoB bileşiğini oluşturduğunu söylediler.

Şekil 4.3'te Elektrokimyasal kaplama yöntemiyle üzeri Bor kaplanan Molibden folyonun SEM görüntülerine bakılırsa $100\ \mu\text{m}$ uzunluğunda görülen pürüzlü yüzeyin üzeri hazırlanan Borik Asit çözeltisiyle elektrokimyasal kaplama yöntemi ile 120 dk boyunca üzerine Bor tabakasının kaplandığı ve $5\ \mu\text{m}$ uzunluğunda dahi Bor taneciklerinin düzenli bir dizilime yakın bir şekilde ve pürüzlü yüzeyin kaplandığı görülebilir.



Şekil 4.3. Elektrokimyasal kaplama yöntemiyle üzeri Bor kaplanan Mo Folyonun SEM görüntüleri a) Mo folyo ($100\ \mu\text{m}$) b) Elektrokimyasal kaplama yöntemiyle üzeri Bor kaplanan (120dk) Mo folyo ($500\ \mu\text{m}$) c) Elektrokimyasal kaplama yöntemiyle Bor kaplanan (120dk) Mo folyo ($5\ \mu\text{m}$)

Şekil 4.4'te referans numune a) Au/Al/p-si ve Borik Asit çözeltisiyle farklı sürelerde elektrokimyasal kaplama işlemine tabi tutulmuş b), c), d) e), f) Au/Al/p-Si/B yapılarının SEM görüntüleri bulunmaktadır.



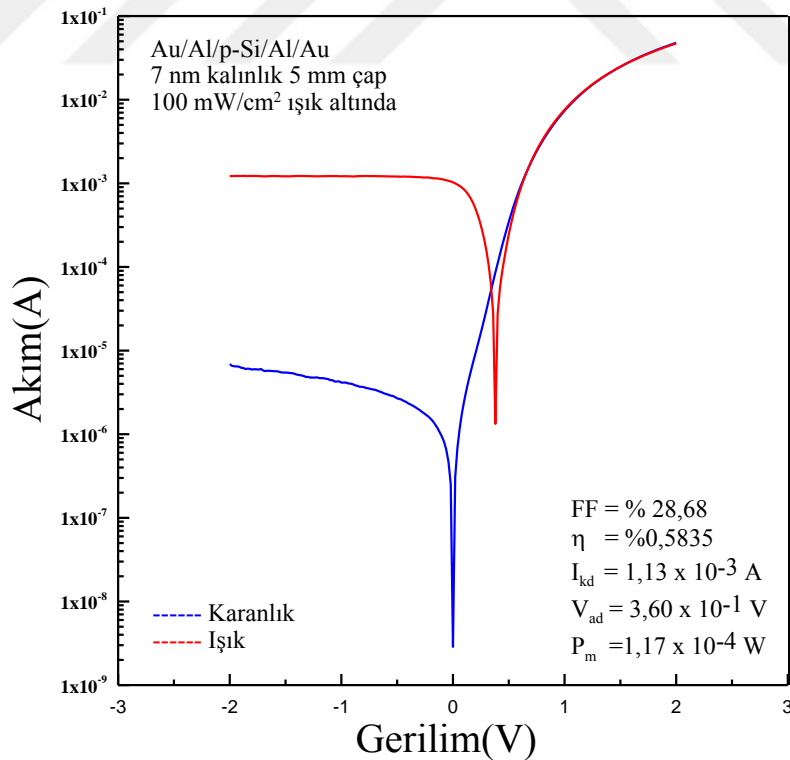
Şekil 4.4. Elektrokimyasal kaplama yöntemiyle, farklı sürelerde p-Si üzerine kaplanan Bor tabakasının SEM görüntüleri

Arayüzeysiz ve inorganik arayüzeyli SEM görüntüleri incelendiğinde farklı uzunluk ölçeklerinde dahi Bor tabakasının kristal yapıda olmasa da düzenli bir yapıya yakın bir şekilde kaplandığı gözlenebilir.

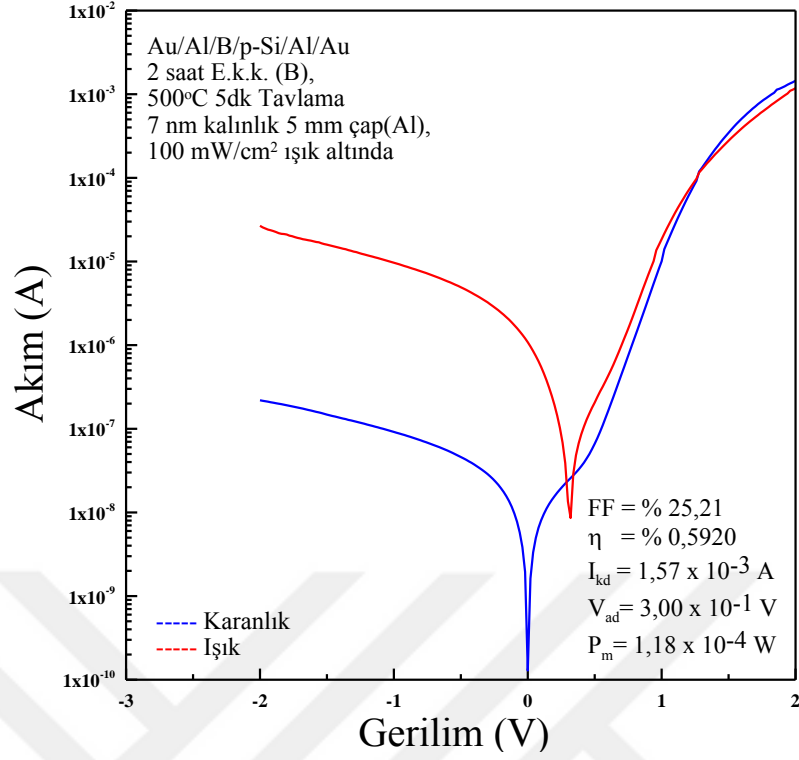
Şekil 4.5'te, 1. Grupta bulunan ve referans numune olan Au/Al/p-Si/Al/Au yapısı sputter tekniği ile 5 mm çapında 7 nm kalınlığında daire biçiminde Al parlak olan ön yüzeye kaplandı ve nokta kontak ölçüm sisteminde karakterize edildi..

Şekil 4.6'da, 2. Grupta bulunan Au/Al/B/p-Si/Al/Au yapısı hazırlanırken daha önceden hazırda tutulan Borik asit çözeltisi ile 2 saat elektrokimyasal kaplama işleme tabi tutuldu. Akabinde Sputter ve Termal Buharlaştırma işlemi yapıldı ve nokta kontak ölçüm sisteminde karakterize edildi

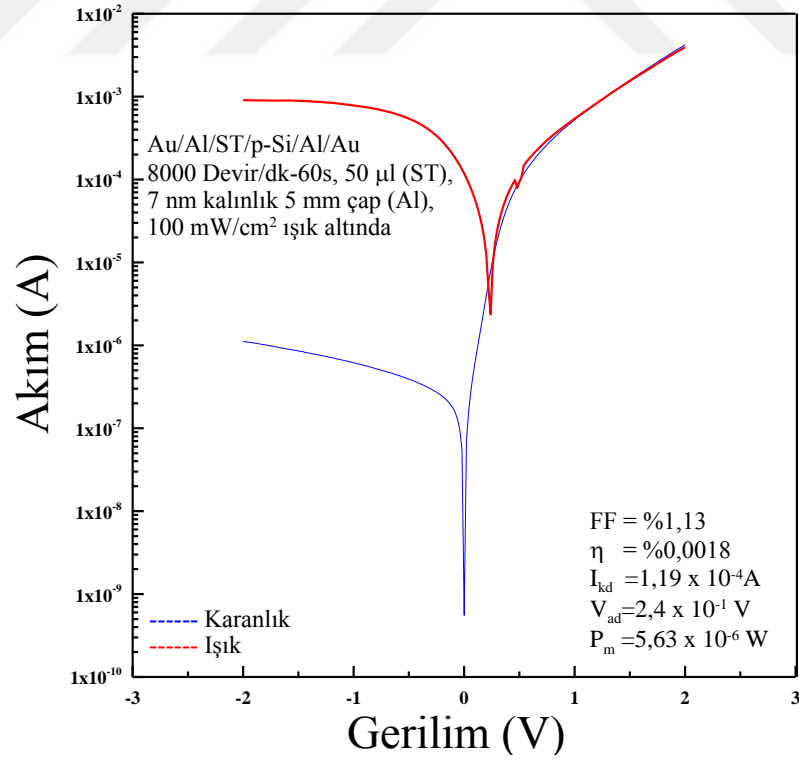
Şekil 4.7'de, 4. Grupta bulunan Au/Al/ST/p-Si/Al/Au yapısına 50 µl ST çözeltisi 8000 devir/dk-60s boyunca spin coater cihazında kaplama yapıldı. Akabinde Sputter ve Termal Buharlaştırma işlemi yapıldı ve nokta kontak ölçüm sisteminde karakterize edildi.



Şekil 4.5. Au/Al/p-Si/Al/Au yapısının yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği



Şekil 4.6. Au/Al/B/p-Si/Al/Au yapısının yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği

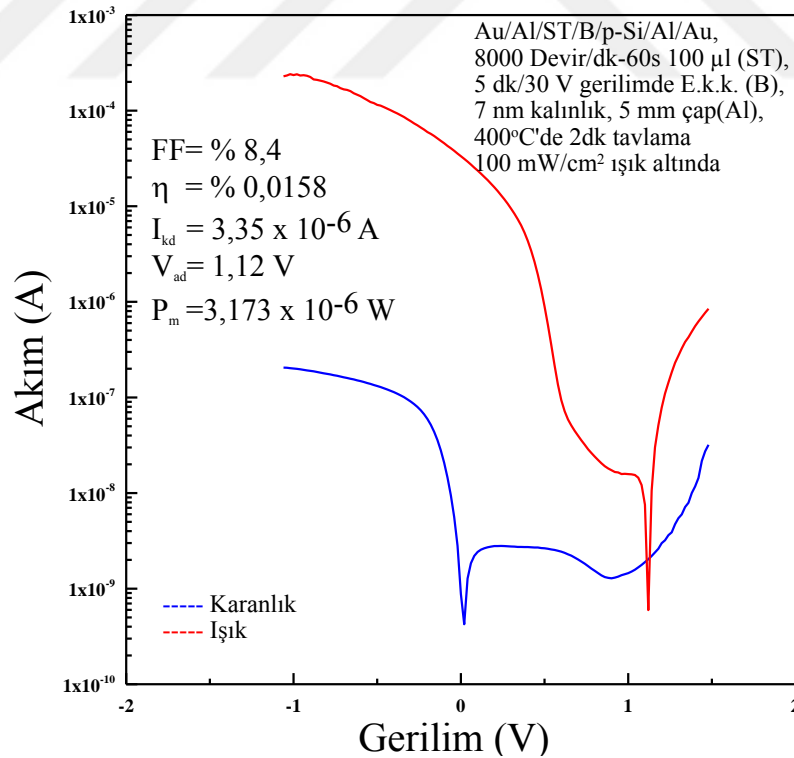


Şekil 4.7. Au/Al/ST/p-Si/Al/Au yapısının yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği

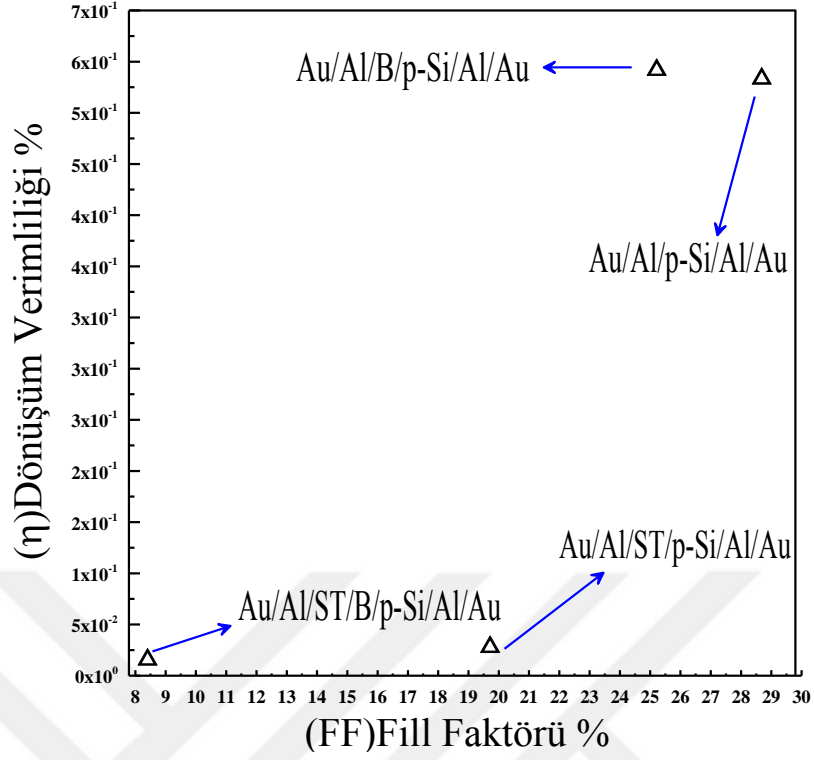
Şekil 4.8’de, 6. Grupta bulunan Au/Al/p-Si/B/ST/Al/Au numunesine 5dk boyunca borik asit çözeltisi ile 30 V gerilimde elektrokimyasal kaplama yöntemiyle Bor kaplaması yapıldı. 100 µl ST çözeltisi 8000 devir/dk-60s kaplama yapıldı. Ardından 300°C de 3dk boyunca tavlandı. Sputter ve Termal buharlaştırma işlemlerinin akabinde 400°C de 2dk boyunca Ar gazı altında tavlama nokta kontak ölçüm sisteminde karakterize edildi.

Şekil 4.9’da sırasıyla 2. Grup, 1 Grup, 4. Grup ve 6. Grup numuneleri olan Au/Al/B/p-Si/Al/Au, Au/Al/p-Si/Al/Au, Au/Al/ST/p-Si/Al/Au, Au/Al/ST/B/p-Si/Al/Au yapılarında η ile FF parametrelerinin yapılar arasında değişimi grafikte görülmektedir.

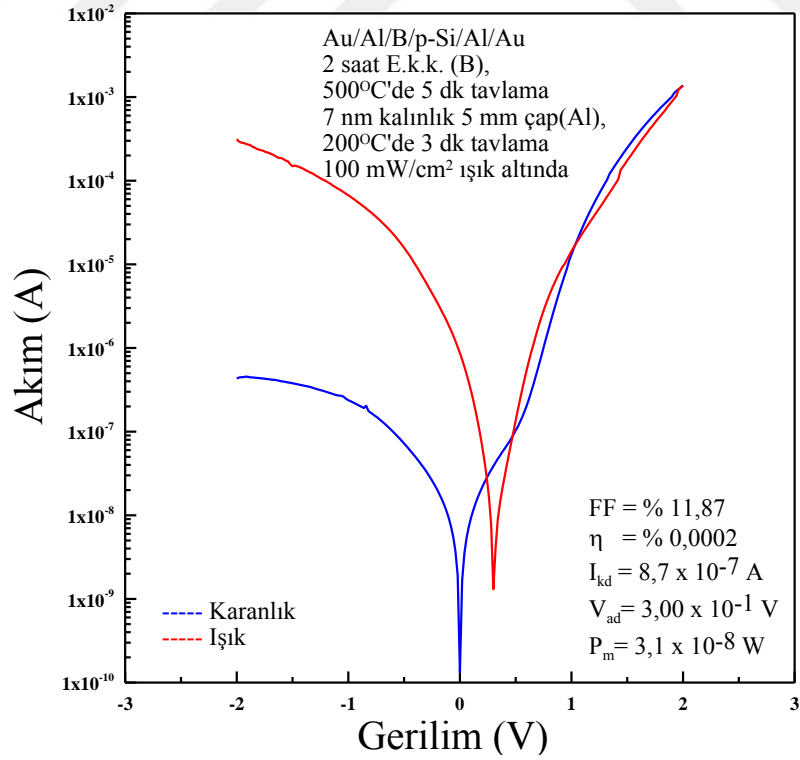
Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de, 2. Grupta bulunan Au/Al/p-Si/B/Al/Au yapısı Borik Asit çözeltisi ile 2 saat elektrokimyasal işleme tabi tutuldu. Akabinde Sputter ve Termal Buharlaştırma işlemine tabi tutuldu Nokta kontak ölçüm sisteminde karakterize edildi. Ardından Tavlama Fırınında 200°C ve 300 °C’de 3 dk boyunca Ar gazı altında tavlama tekrar nokta kontak ölçüm sisteminde karakterize edildi.



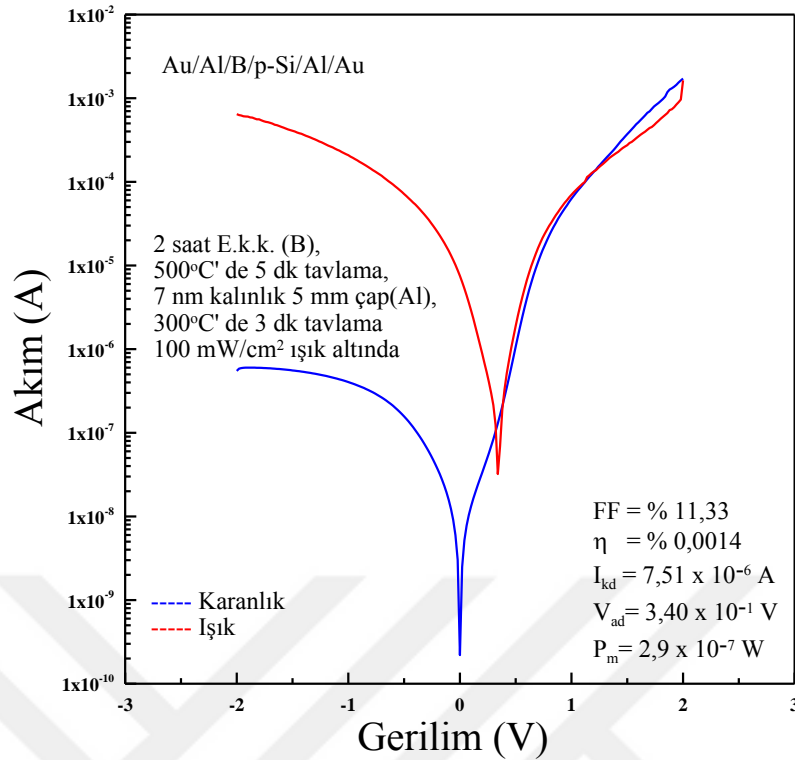
Şekil 4.8. Au/Al/p-Si/B/ST/Al/Au yapısının tavlamaya bağlı yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği



Şekil 4.9. Au/Al/B/p-Si/Al/Au, Au/Al/p-Si/Al/Au, Au/Al/ST/p-Si/Al/Au, Au/Al/ST/B/p-Si/Al/Au yapılarında η ile FF parametrelerinin yapılar arasında değişiminin gösterimi



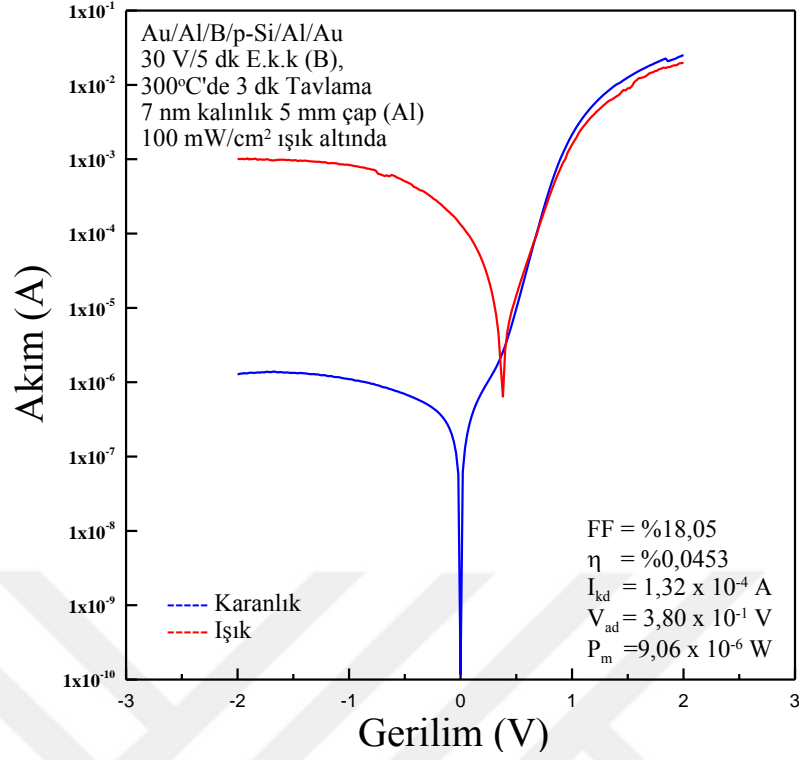
Şekil 4.10. Au/Al/p-Si/B/Al/Au yapısının 200°C'de 3 dk tavlamaa bağlı yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği



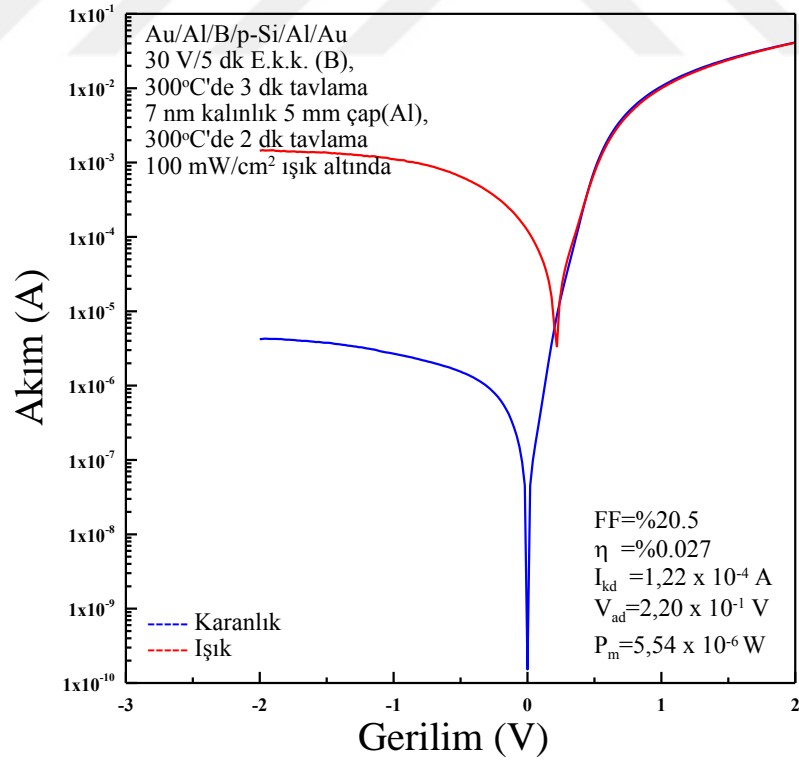
Şekil 4.11. Au/Al/p-Si/B/Al/Au yapısının 300°C'de 3dk tavlanamaya bağlı yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği

Şekil 4.12'de, 3. Grupta bulunan Au/Al/p-Si/B/Al/Au numunesi 5dk boyunca borik asit çözeltisi ile 30 V gerilimde 5dk boyunca elektrokimyasal Bor kaplaması yapıldı. Ar gazı akışı altında tavlama fırınında 300°C'de 3dk boyunca tavlama yapıldı. Akabinde Sputter ve termal buharlaştırma işlemine tabi tutuldu. Ardından nokta kontak ölçüm sisteminde karakterize edildi.

Şekil 4.13'te, 3. Grupta bulunan Au/Al/B/p-Si/Al/Au numunesi Borik asit çözeltisi ile 30 V gerilimde 5dk boyunca elektrokimyasal Bor kaplaması yapıldı. Ar gazı akışı altında tavlama fırınında 300°C sıcaklıkta 3dk boyunca tavlama yapıldı. Akabinde Sputter ve termal buharlaştırma işlemine tabi tutuldu. Ardından tavlama fırınında 300°C'de 3dk boyunca tavlanaarak nokta kontak ölçüm sisteminde karakterize edildi.



Şekil 4.12. Au/Al/p-Si/B/Al/Au yapısının tavlانmamış yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği

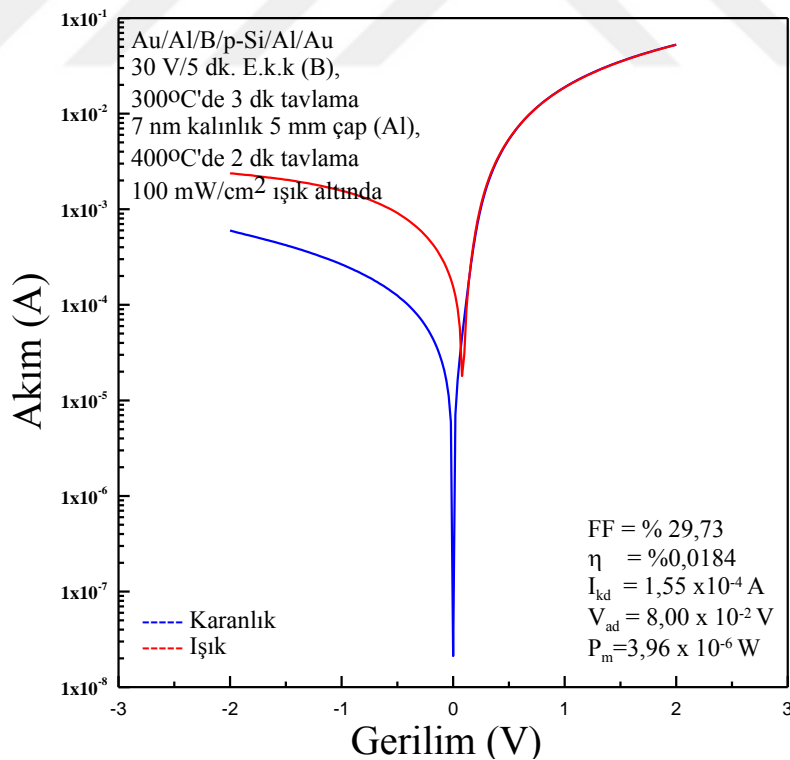


Şekil 4.13. Au/Al/B/p-Si/Al/Au yapısının 300°C'de 2dk tavlamaa bağlı yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği

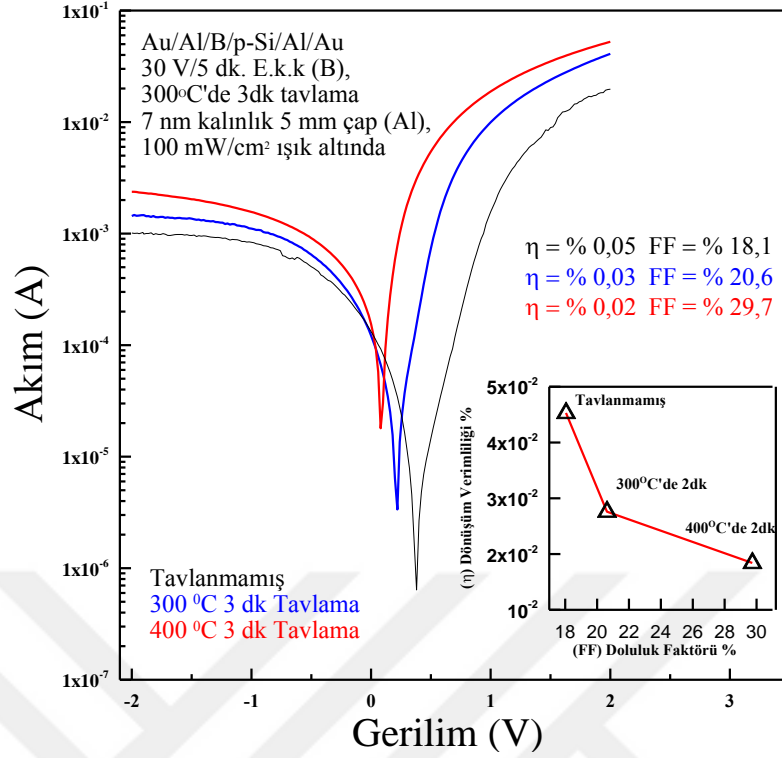
Şekil 4.14'te, 3. Grupta bulunan Au/Al/B/p-Si/Al/Au yapısına 5dk boyunca borik asit çözeltisi ile 30 V gerilimde 5dk boyunca elektrokimyasal Bor kaplaması yapıldı. Ar gazı altında 300°C 3dk boyunca tavlama yapıldı. Akabinde Sputter ve termal buharlaştırma işlemine tabi tutuldu. Ardından 400°C'de 2dk boyunca inert Ar gazı altında tavlansak nokta kontak ölçüm sisteminde karakterize edildi.

Şekil 4.15'te, 3. Grupta bulunan Au/Al/B/p-Si/Al/Au yapısının tavlamaya bağlı parametrelerinin değişimi grafikte görülmektedir. Küçük grafikte tavlamaya bağlı olarak dönüşüm verimliliği düşmekte iken Fill Faktörü oranının arttığı gözlemlendi.

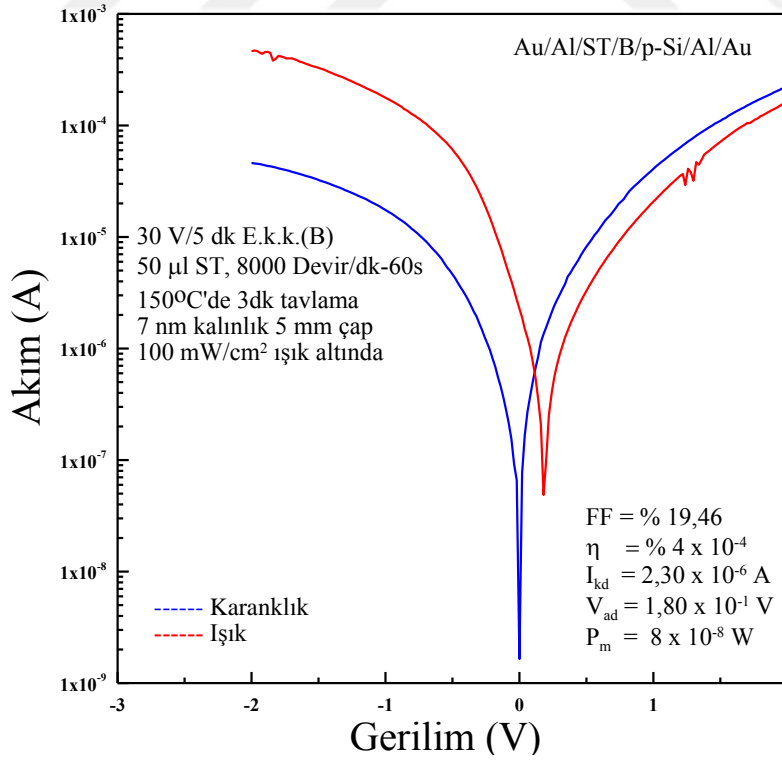
Şekil 4.16'da, 5. Grupta bulunan Au/Al/ST/B/p-Si/Al/Au yapısı, 5dk boyunca 30 V gerilim altında elektrokimyasal yöntemle hazırda bulunan borik asit çözeltisi ile Bor kaplandıktan sonra inert Ar gazı altında 150°C'de 3dk boyunca tavlansak 50 µl ST 8000 Devir/dk-60s kaplandı. Akabinde Sputter ve termal buharlaştırma işlemine tabi tutuldu. Ardından nokta kontak ölçüm sisteminde karakterize edildi.



Şekil 4.14. Au/Al/B/p-Si/Al/Au yapısının 400°C'de 2dk tavlamaya bağlı yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği



Şekil 4.15. Au/Al/B/p-Si/Al/Au yapısının farklı sıcaklıklara bağlı tavlama değerleri için yarı logaritmik Akım-Gerilim Grafiği. Küçük grafikte tavlamaya bağlı olarak Değişen FF ve η değerlerinin değişimi



Şekil 4.16. Au/Al/ST/B/p-Si/Al/Au yapısının 150°C 3dk tavlamaya bağlı yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği

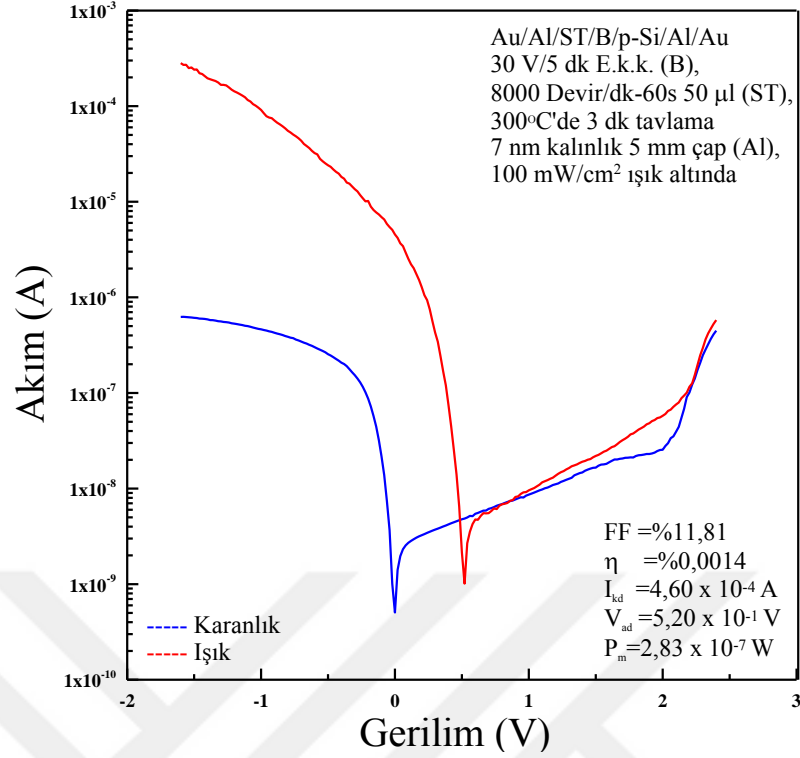
Şekil 4.17’de, 6. Grupta bulunan Au/Al/ST/B/p-Si/Al/Au yapısı hazırlanırken 5dk boyunca borik asit çözeltisi ile elektrokimyasal kaplama yöntemiyle inorganik arayüzey Bor kaplaması yapıldı. 50 µl ST çözeltisi 8000 Devir/dk-60s cihazında organik arayüzey kaplaması yapıldı. Ardından tavlama fırınında 300⁰C’de 3dk boyunca tavlandı. Akabinde Sputter ve termal buharlaştırma işlemine tabi tutuldu. Hemen akabinde nokta kontak ölçüm sisteminde karakterize edildi.

Şekil 4.18’de, 6. Grupta bulunan Au/Al /ST/B/p-Si/Al/Au numune 5dk boyunca borik asit çözeltisi ile 30 V gerilimde elektrokimyasal Bor kaplandı. 50 µl ST çözeltisi 8000 Devir/dk-60s boyunca kaplandıktan sonra tavlama fırınında 300⁰C’de 3dk boyunca tavlandı. Akabinde Sputter ve termal buharlaştırma işlemine tabi tutuldu. Ardından tavlama fırınında 100⁰C’de 2dk Ar gazı altında tavlandı. Nokta kontak ölçüm sisteminde karakterize edildi.

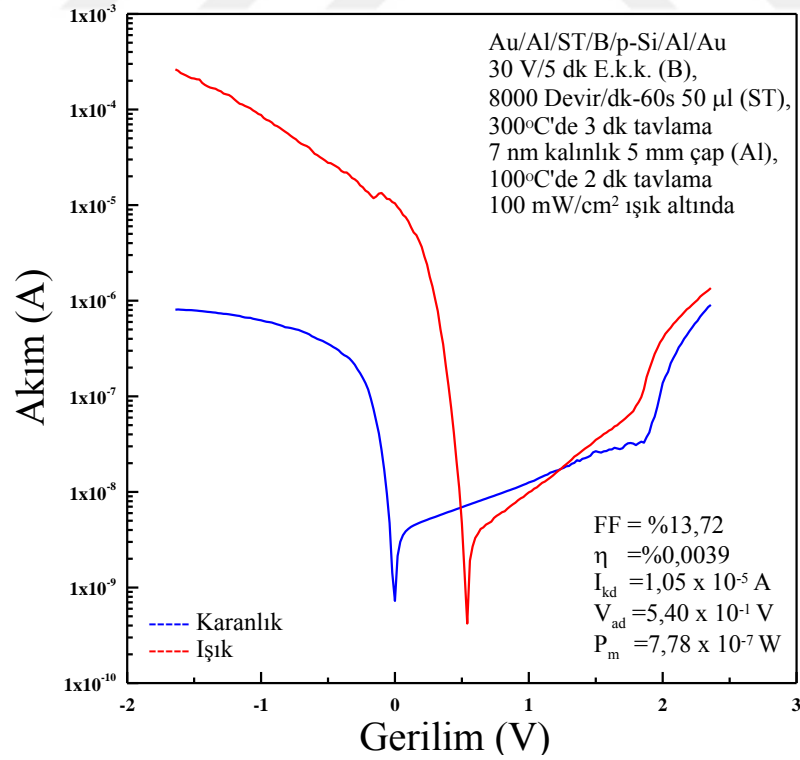
Şekil 4.19’de, 6. Grupta bulunan Au/Al /ST/B/p-Si/Al/Au numune 5dk boyunca borik asit çözeltisi ile 30 V gerilimde elektrokimyasal Bor kaplandı. 50 µl ST çözeltisi 8000 Devir/dk-60s boyunca kaplandıktan sonra tavlama fırınında 300⁰C’de 3dk boyunca tavlandı. Akabinde Sputter ve termal buharlaştırma işlemine tabi tutuldu. Ardından tavlama fırınında 300⁰C’de 2dk Ar gazı altında tavlandı. Nokta kontak ölçüm sisteminde karakterize edildi.

Şekil 4.20’de 6. Grupta bulunan Au/Al/ST/B/p-Si/Al/Au yapısı Bor ve ST arayüzeyli numunelerin tavlamaya bağlı olarak dönüşüm verimliliğiyle birlikte fill faktörü oranında arttığı gözlenmektedir.

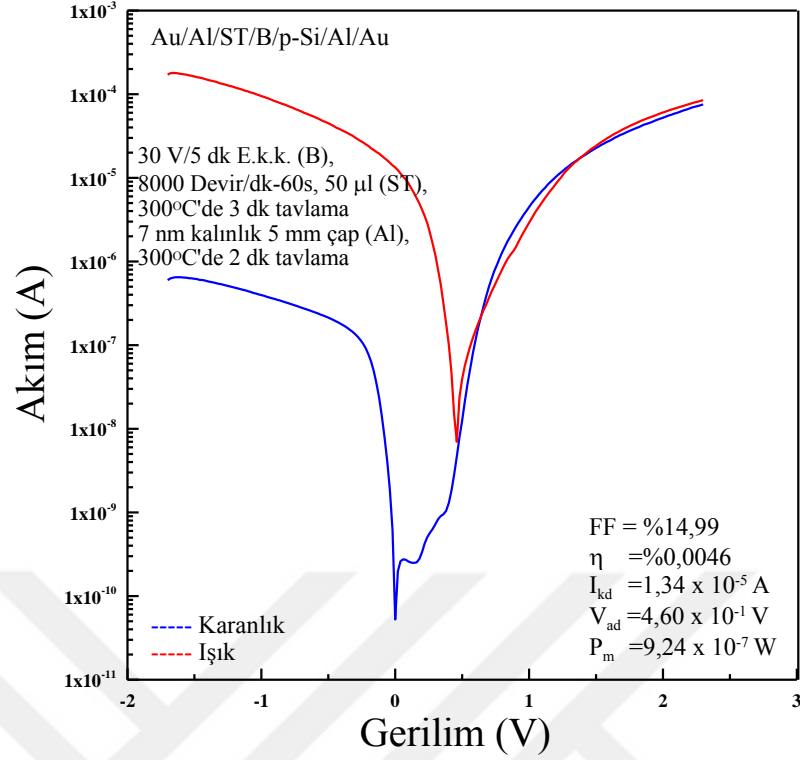
Şekil 4.20’de 6. Grupta bulunan Au/Al/ST/B/p-Si/Al/Au yapısında Tavlamanın Bor ve organik arayüzeyli numunelerde η ve FF üzerindeki etkisinin grafiksel görünümü gösterilmektedir.



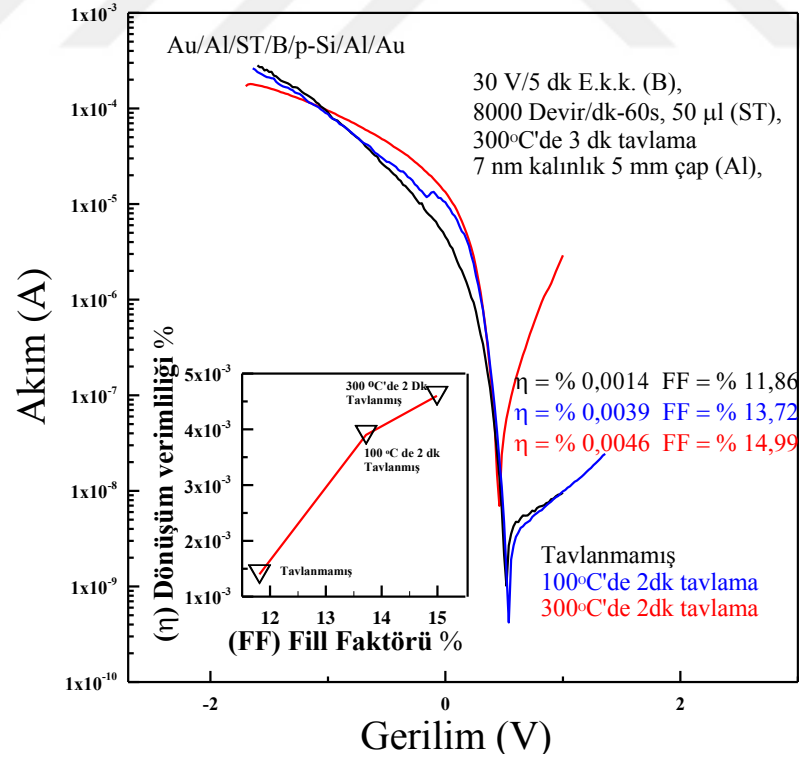
Şekil 4.17. Au/Al/ST/B/p-Si/Al/Au yapısının organik arayüzey sonrası 300°C'de 3dk tavlamaya bağlı yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği



Şekil 4.18. Au/Al/ST/B/p-Si/Al/Au yapısının sputter sonrası 100°C'de 2dk tavlamaya bağlı yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği



Şekil 4.19. Au/Al/ST/B/p-Si/Al/Au yapısının sputter sonrası 300°C'de 2dk tavlamaya bağlı yarı logaritmik Akım-Gerilim grafiği



Şekil 4.20. Au/Al/ST/B/p-Si/Al/Au yapısının farklı tavlama değerlerine bağlı olarak incelenmesi. Küçük şekil, Tavlamanın Bor ve ST kaplı arayüzeyli numunede η ve FF üzerindeki etkisinin grafiksel görünümü

Tablo 4.1. Çalışma özeti tablosu 1. Grup referans çalışma olarak alınmış olup 2. Grup, Bor tavlama sıcaklığı ve Bor kaplama süresi tespit edilip ardından 3. Grup olarak inorganik arayüzey tavlama ve kaplama kalınlığı tespiti yapıldı ve tavlamaya bağlı olarak karakterize edildi. 4. Grup olarak organik arayüzeyli numunenin ölçümleri alındı. 5. grupta inorganik arayüzey sonrası sıcaklığa bağlı tavlama yapıldı ve organik arayüzey kaplaması yapıp sputter işleminin ardından karakterize edildi. 6. grupta ise organik/inorganik arayüzey kullanılarak sıcaklığa bağlı tavlama yapılarak yapılar karakterize edildi.

	1. Grup		2. Grup		3. Grup		4. Grup	5. Grup	6. Grup	
1. Arayüzey sonrası tavlama sıcaklığı(°C)	-	500	500	500	300	300	300	150	-	-
1. Arayüzey sonrası tavlama süresi (dk)	-	5	5	5	3	3	3	3	-	-
2. Arayüzey sonrası tavlama sıcaklığı(°C)	-	-	-	-	-	-	-	-	300	300
2. Arayüzey sonrası tavlama süresi (dk)	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3
2. Organik arayüzey kaplama miktarı (µl)	-	-	-	-	-	-	50	50	50	50
2. Organik arayüzey kaplama verisi (devir/dk)	-	-	-	-	-	-	8000	8000	8000	8000
Sputter sonrası tavlama sıcaklığı (°C)	-	-	200	300	-	300	400	-	-	100
Sputter sonrası tavlama süresi (dk)	-	-	3	3	-	2	2	-	-	2
Elektro-kimyasal kaplama süresi (30V)	-	2saat	2saat	2saat	5dk	5dk	5dk	5dk	5dk	5dk
η%(x1/1000)	584	592	0,2	1,40	45,3	27,6	18,4	0,4	1,40	4
FF %	28,68	25,21	11,87	11,33	18,05	20,62	29,73	1,13	19,46	11,81
P _m (µW)	117	118	0,031	0,29	9,06	5,54	3,69	5,63	0,08	0,283
I _{kat} (µA)	1130	1570	0,87	7,51	132	122	155	119	2,30	4,6
V _{ad} (mV)	360	300	300	340	380	220	80	240	180	520
	1. Grup	2. Grup		3. Grup		4. Grup	5. Grup	6. Grup		

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tablo 4.1’de, 1. Grupta yer alan Au/Al/p-Si/Al/Au yapısı karakterize edildi. Açık devre gerilimi (V_{ad}) değeri 360 mV, kısa devre akımı (I_{kd}) değeri 1130 μA , maksimum güç (P_m) değeri 117 (μW), fill faktörü(FF) değeri % 28,68 ve dönüşüm verimliliği(η) değeri % 0,584 olduğu gözlemlendi.

2. grupta yer alan Au/Al/B/p-Si/ Al/Au yapısı karakterize edildi. Elektrokimyasal kaplama yöntemiyle 2 saat boyunca Bor kaplamasının ardından 500°C’de 5dk boyunca tavlانیp Sputter tekniğiyle kaplamanın ardından alınan ölçümlere göre 1. grupta bulunan Au/Al/p-Si/Al/Au yapısından alınan ölçümlerle kıyasla V_{ad} değeri düşüş gösterip 300 mV olurken I_{kd} değeri 1570 μA olup artışı gözlemlendi. Bununla birlikte P_m değeri 118 μW olup artışı gözlenirken FF değerinde düşüş olduğu gözlenip % 25,21 olduğu gözlemlendi ve η değerinde küçükte olsa bir miktarda artış olduğu gözlenip % 0,592 değerinde olduğu gözlemlendi. 200°C’de 3 dk tavlamaya bağlı olarak alınan ölçümlere göre tavlانmamış ölçümlere kıyasla V_{ad} değeri 300 mV olup değişiklik göstermezken I_{kd} , P_m , FF ve η değerlerinde düşüşler gözlemlendi. Bunun nedeni kaplanan Bor atomlarının diziliminde sıcaklığa bağlı olarak değişiklik meydana gelmesi olarak düşünülebilir. 300°C’de 3dk boyunca tavlانیp alınan ölçümlere göre 200°C’de 3dk boyunca tavlانیp alınan ölçümlerle kıyasla V_{ad} , I_{kd} , P_m , FF ve η değerlerinin iyileştiği gözlemlendi. Aynı numunede tavlانmamış, 200°C ve 300°C’de yapılan ölçümlere göre tavlamanın Bor atomlarının diziliminde 300°C’de aynı sürede tavlamanın iyi bir etki bıraktığı şeklinde düşünülebilir ve tavlamaya bağlı olarak ortaya çıkan düşüşün nedeni olarak ise yapılan elektrokimyasal kaplama süresinin uzun olduğu söylenebilir.

3. Grupta yer alan Au/Al/B/p-Si/Al/Au yapısı elektrokimyasal kaplama süresi 2 saat yerine 5dk olarak alınıp ardından tavlama fırınında 300°C’de 3dk tavlانیp sputter yöntemi ile schottky yüzey yapıldıktan sonra tavlانmadan yapı tekrar karakterize edildi. V_{ad} , I_{kd} , P_m , FF ve η değerlerinin 2. grup sputter sonrası 300°C’de 3 dk tavlانیp alınan ölçümlere

kıyasla değerlerin artışı gözlemlendi. Ardından 300°C’de 3 dk tavlama yapıldı ve yine karakterize edildi. Tavlama yapılmamış ölçümlere kıyasla **FF** değerinin iyileştiği görülürken **V_{ad}**, **I_{kd}**, **P_m** ve **η** değerlerinde düşüş olduğu gözlemlendi. Ardından 400°C’de 3 dk boyunca tavlama yapıldı ve yine karakterize edildi. 300°C’de 3dk boyunca tavlama yapılan ölçümlere göre **I_{kd}** ve **FF** değerlerinde artış; **V_{ad}**, **P_m** ve **η** değerlerinde düşüş olduğu gözlemlendi. Bunun nedeni olarak elektrokimyasal kaplama yöntemiyle kaplanan Bor’un tavlama ile ilgili olarak silisyum ile bağ yaptığı söylenebilir.

4. grupta yer alan Au/Al/ST/p-Si/Al/Au yapısı karakterize edildi. Organik arayüzey kaplaması için 50 µl safranin T kullanıldı. Ölçümlere göre **I_{kd}** 119µA, **P_m** 5,63, **FF** % 1,13, **η** %0,002 **V_{ad}**, 240mV değeri bulundu. 1. Grupta yer alan Au/Al/p-Si/Al/Au yapısında alınan ölçümlerle kıyaslandığında **V_{ad}**, **I_{kd}**, **P_m**, **FF** ve **η** değerlerinde düşüş olduğu gözlemlendi. Buna rağmen Safranin T mürekkebi ile organik arayüzeyi kaplanan yapının güneş pili özelliği gösterdiği gözlemlendi.

5. grupta yer alan Au/Al/ST/B/p-Si/Al/Au yapısı karakterize edildi. Elektrokimyasal kaplama sonrası 150°C’de 3dk inert Ar gazı altında tavlama yapıldı. 4. grup sputter sonrası tavlama yapılmamış ölçümlere kıyasla **FF** değerinin arttığı; **V_{ad}**, **I_{kd}**, **P_m** ve **η** değerlerinde ise düşüş olduğu gözlemlendi. Buna neden olarak yapılan deneyde Bor ile Safranin T’nin latice uyumu göstermedikleri söylenebilir.

6. grupta yer alan Au/Al/ST/B/p-Si/Al/Au yapısı ikinci arayüzey sonrası iki numune olarak karakterize edildi. İlk numunede 50 µl ikinci numunede 100 µl safranin T kullanıldı. İlk numune sıcaklığa bağlı olarak sputter sonrası tavlama yapılmamış, 100°C ve 300°C de 2’şer dakika olarak tavlama yapıldı ve sıcaklığa bağlı tavlama ile ilgili olarak değerlerin genel olarak arttığı gözlemlendi. İkinci numunede ise 400°C de 2 dk tavlama ile ilgili olarak **I_{kd}** ve **FF** değerinin düşüş gösterdiği **V_{ad}**, **P_m**, ve **η** değerlerinde artış olduğu gözlemlendi. Bunun nedeni olarak Safranin T’nin miktarının fazla olduğu veya elektrokimyasal kaplama yöntemiyle kaplanan Bor’un Safranin T ile uyum göstermediği ve/veya birinci ve ikinci arayüzey sonrası sıcaklığa bağlı tavlamanın etkisinin olduğu söylenebilir.

Araştırmalarımızda suda çözünen borik asitten elektrokimyasal kaplama yöntemiyle molibden bir folyo üzerine Bor tabakasının kaplandığı gözlemlendi. SEM görüntülerinde kaplanan bu tabaka incelendi. Ayrıca XRD’de yapılan analizler Şekil 4.2’deki piklerin molibden folyo yüzeyine kaplanan bu tabakanın Bor kristallerine ait olduğunu gösterdi. Bildiğimiz üzere Bor elementinin elektrokimyasal yöntemle kaplanma işlemi ilk defa bu çalışmada yapıldı. Ayrıca Taşçıoğlu (1992) Borik Asitten ısıtılı işleme ve Mg indirgemesiyle Bor elde etmiştir. Bu çalışmada ise Borik Asit Çözeltisinden elektrokimyasal kaplama yöntemiyle saf bor yapısı elde edilmiştir. Bu yönü de bu çalışmaya özgünlük katmaktadır.

Bunun akabinde Borik asit çözeltisi ile Elektrokimyasal kaplama yöntemiyle yarıiletken olan p-Si üzerine Bor tabakası kaplandı. Bununla birlikte deneylerde tavlamaya bağlı olarak özellikleri karakterize edildi ve Au/Al/B/p-Si/Al/Au yapısının güneş pili özelliği gösterdiği belirlendi. Ardından uyum göstereceği düşünülen organik boyar madde olan Safranin T ile metal/yarıiletken/inorganik-organik/metal yapı elde edildi. Bu yapılar tavlama yapılmamış ve ayrıca 1. Arayüzey sonrası ve/veya sputter sonrası tavlama yapısına bağlı olarak karakterize edildi. Bor ile Safranin T’nin birlikte kullanılan deneylerde güneş hücresi özelliği gösterdiği gözlemlendi fakat değerlerin sıcaklığa bağlı tavlama ve organik boyar madde miktarına ve/veya inorganik madde ve organik boyar maddenin birlikte kullanılmasına bağlı olarak ölçümlerde farklı sonuçlar elde edildi.

Ardından organik arayüzeyli Au/Al/ST/p-Si/Al/Au yapısı elde edildi ve karakterize edildi. Yapının güneş hücresi özelliği gösterdiği gözlemlendi. O. M. TAHSEEN (2016) tarafından yapılan benzer bir çalışma olan Mo/Methyl Blue/n-Si/Al/Au yapısında A3 kodlu numuneyi 10 nm kalınlık ve tavlama yapılmamış ölçümlere göre P_m , FF ve η parametrelerini sırasıyla $8,4 \times 10^{-7}$, %25,1 ve %0,004 değerlerini bulmuş olup; Au/Al/p-Si/ST/Al/Au yapısında ise P_m , FF ve η parametreleri sırasıyla $5,63 \times 10^{-6}$, %1,13 ve %0,002 olarak gözlemlendi. Yapılan bu çalışmalar kıyaslanırsa ST arayüzeli numunede P_m değeri Methyl Blue arayüzeyli numuneye göre yüksek değer verirken, FF ve η değerleri düşük değer vermiştir. Bu bağlamda schottky kontak için kullanılan molibdenin etkisinin Alüminyumun etkisinden farklı olması ve kullanılan yarıiletkenin ayrı özelliklerde olması nedenleri etkili olabileceği düşünülebilir

KAYNAKLAR

Bhattacharya DK, Sharma R (2011) Solid State Electronic Devices. Oxford University Press, p. 526

Boz OH (2011) Günümüzün Alternatif Enerji Kaynağı: Fotovoltaik Pilleri. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 12-21

Bereket M, Tekin E (2015) Analog Elektronik, s. 33-34

Demir C (2007) Bor Minerallerinin Enerji Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, s. 11-25

Ejderha K (2012) Magnetron Saçtırma Yöntemiyle Hazırlanan Metal/p-InP Schottky Diyotların Karakteristik Parametrelerinin Tavlama Ve Numune Sıcaklığına Bağlı Değişimlerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 34-35

Eruz ÜG (2015) Güneş Paneli Çeşitlerinden Polikristal, Monokristal Ve Thin Film Panellerinin Karabük Şartlarında Verimlilik Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 19

Eren E (2005) Borik Asitten Bor Oksit Üretiminin Kinetik İncelemesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 3-5

Gördün K (2011) Nano Yapılı ZnO Filminin Sol-Jel Yöntemi İle Farklı Hazırlama Parametrelerine Bağlı Olarak Elde Edilmesi ve Fiziksel Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 28-29

Güllü Ö, Aydoğan Ş, Türüt A (2008) Fabrication And Electrical Properties Of Al/Safranin T/n-Si/AuSb Structure. Semiconductor Science and Technology 23(7): 75005 1-5

Güzel T (2006) Metal Yarıiletken Kontaklarda Schottky Engelinin Sığa Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 5-7

Grazulis S, Chateigner D, Downs RT, Yokochi AFT, Quiros M, Lutterotti L, Manakova E, Butkus J, Moeck P & Le Bail A (2009) Crystallography Open Database an Openaccess collection of crystal structures. *Journal of Applied Crystallography* 42(4): 726-729.

Ismael AI (2012) Monokristal Güneş Pillerinde Elektrik Enerji Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 19

İ Orak, M Toprak, A Turut (2014) Illumination Impact On The Electrical Characterizations Of An Al/Azure A/p-Si Heterojunction. *Physica Scripta* 89(11):115810 1-6

İ Orak, A Turut, M Toprak (2015) The comparison of electrical characterizations and photovoltaic performance of Al/p-Si and Al/Azure C/p-Si junctions devices. *Synthetic Metals* 200: 66–73

Kudret A (2011) ZnO Tabanlı Doğal Boyar Maddeli Güneş Pili Yapımı. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 61

Küpeli AÖ (2005) Güneş Pilleri ve Verimleri. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 7

Köse NU (2014) Muhtelif Metal Katkılı ve Katkısız ZnO Yapıların Elektrokimyasal Kaplama İle Üretimi ve Bu Yapıların Organik Güneş Pillerinde Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 26-27

Luo X, Zhang SB, Wei SH (2003) Understanding Ultrahigh Doping: The Case of Boron in Silicon. *Physical Review Letter* 90(2): 6103 1-7

Neamen DA (2012) *Semiconductor Physics and Devices*. Mc Graw Hill Company 4th Edition, p. 758

Nripendra N Haldera, Pranab Biswasb, Souvik Kundub, P Banerjib (2015) Au/p-Si Schottky Junction Solar Cell: Effect Of Barrier Height Modification By InP Quantum Dots. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 132: 230-236

Özdal T (2011) TiO₂ Katkılı Organik Hibrit Güneş Pilleri. Yüksek Lisans tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, s. 13-15

Öztürk A (2012) Monokristal ve Polikristal Güneş Pili Modüllerinin Mevsimsel Performanslarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 18

Pingping L, Fang P, Shuai Y, Fangming L, Qiming W, Xuhui Z, Pei W, Jing L and Duanwei H (2014) Exploring the behavior of molybdenum diboride (MoB_2): A high pressure x-ray diffraction study. *Journal of Applied Physics* 115(16): 3502 1-5

Sajjad S (2013) Organik Tabanlı Güneş Pili Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 40-41

Sandıkçı TA (2013) Bor, Selenyum ve Kurşun Katkılı Yarıiletken Alaşımların Üretimi ve Yapısal Özelliklerinin Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 3

Seçkin E (2010) Titanyum Anodizasyonu Yöntemi İle Boyar Maddeli Güneş Pili Hücresi Üretilmesi ve Verim Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 69-70

Sze S, M Kwok K Ng (2010) *Physics of Semiconductor Devices*. John Wiley & Sons, p. 198-815

Sertkol H (2014) SrTiO_3 İnce Film Kapasitörlerin Pvd Yöntemi İle Üretimi ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 15

Tahseen OM (2017) The Photovoltaic Characterization Of Mo/Methylene Blue/n-Si/Al/Au contacts. Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 38

Taşcıoğlu S (1992) Bor ve Silisyum Kimyası. Marmara Üniversitesi Yayınları, s. 1-5

Tekerek S (2009) TiO_2 Tabanlı Doğal Boyar Maddeli Güneş Pili Yapımı. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 48-49

Temirci C (2000) Anodik Oksidasyon Metoduyla Yüksek Engelli ve Yüzey Pasivasyonlu Sn/p-Si Schottky Diyotlarının Fabrikasyonu. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 33-34

Url 1: <http://www.chemistryworld.de/cheminfo/2417-lex.htm> (Erişim Tarihi: 9.04.2016)

Url 2: <http://www.etimaden.gov.tr> (Erişim tarihi: 7.04.2016)

Url 3: <http://www.monovepolyfotovoltaiik.blogspot.com.tr> (Erişim Tarihi: 12.05.2016)

Url 4: <https://www.mtixtl.com> (Erişim Tarihi: 16.02.2018)

Xiaoju G, Julong H, Zhongyuan L, Yonjgjun T (2006) Bond Ionicities and Hardness of $B_{13}C_2$ -like Structured B_nX Crystals ($X=C,N,O,P,As$). Physical Review B 73: 104115 1-5

Yi Wang, Haiyan Shi, Jianhui Yan and Dezhi Wang (2018) Preparation and Characterization of MoB Coating on Mo Substrate. Metals 8(93): 1-12

Yenialaca  (2009) Bor ve Kullanım Alanları. Lisans Bitirme Tezi, Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Ortağretim Fen ve Matematik Alanları Eğitimi Anabilim Dalı Fizik Bilim Dalı, s. 6-8

Zafer C (2006) Organik Boya Esaslı Nanokristal Yapılı İnce Film Güneş Pili retimi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 110-111

Zhenghui L, Zhaohui Z, Xing Z (2008) Atomic Structures of Boron-Induced Protrusion Features on Si(100) Surfaces. Physical Review B 77: 35322 1-6

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Diyarbakır’da doğdu. İlköğretim ve ortaöğretimini Diyarbakır’da tamamladı. 2010 yılında Dicle Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünden mezun oldu. 2014 yılında, ‘‘Sputter Yöntemiyle Elde Edilen Sade ve Bor Katkılı Organik Arayüzeyli Metal/p-Si Güneş Pillerinin Karakterizasyonu’’ konulu tez çalışması esnasında TÜBİTAK 2211 Yurt İçi Lisansüstü Bursu’nu almaya hak kazandı.