

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**V₂O₅ İNCE FİMLERİN SAÇTIRMA YÖNTEMİ İLE BİRİKTİRİLMESİ VE DİYOT
ÜRETİMİNDE KULLANILMASI**

Rahmi ÖZALP

FİZİK ANABİLİM DALI

2019
DİYARBAKIR

T.C

DİCLE UNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Rahmi ÖZALP tarafından yapılan “V₂O₅ İnce Filmlerinin Saçtırma Yöntemi ile Biriktirilmesi ve Diyot Üretiminde Kullanılması” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Fizik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyesinin

Ünvanı Adı Soyadı

Başkan: Prof. Dr. Sezai ASUBAY

Üye : Doç. Dr. Yusuf Selim OCAK

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Dilan ALP

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 27/06/2019

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../20

Prof. Dr. Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR V.

(MÜHÜR)

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma, değerli hocam Prof. Dr. Sezai Asubay danıőmanlıđında gerçekleştirilmiştir. Çalıőmalarım boyunca varlığını hep yanımda hissettiğim, yardımlarını ve desteğini hiçbir Şekilde esirgemeyen sayın Prof. Dr. Sezai Asubay hocama teőekkürlerimi sunarım.

Tez bünyesinde yapılan deneyler Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesinde bulunan Smart-Lab'da gerçekleştirilmiştir. Çalıőmalarım esnasında saçtırma işlemlerinde bana yardımcı olan sayın Dr. Öğrt. Üyesi Mustafa Fatih Geniőel'e ve diyotların oluşturulması ve karakterizasyon işlemlerinde bana yardım eden sayın Doç. Dr. Yusuf Selim Ocak hocama teőekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans eğitimim ve çalıőmalarım esnasında her türlü destek ve teőviklerini gördüğüm aileme bu süre zarfında hep yanımda oldukları için sonsuz teşekkür ederim.

Rahmi ÖZALP

Haziran 2019

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	IV
ABSTRACT.....	V
ÇİZELGE LİSTESİ.....	VI
ŞEKİL LİSTESİ.....	VII
KISALTMA VE SİMGELER.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	9
3.1. Metal-Yarıiletken Kontaklar.....	9
3.1.1. Doğrultucu Kontaklar.....	11
3.1.2. Omik Kontaklar.....	14
3.2. Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemleri.....	15
3.2.1 Vakum termal buharlaştırma.....	15
3.2.2 Saçtırma Yöntemi.....	17
3.3. Malzemelerin Optik Özellikleri.....	19
3.3.1. Soğurma.....	19
3.3.1.1 Doğrudan Geçişler.....	21
3.3.1.2 Dolaylı band geçişleri.....	22
3.3.2 Geçirgenlik.....	22
3.4. Deneysel İşlemler.....	25
3.4.1 Temizlik işlemleri ve Omik kontakların oluşturulması.....	31
3.4.2 V ₂ O ₅ ince filmlerin oluşturulması.....	31

3.4.3	Doğrultucu kontağın oluşturulması ve analizlerin gerçekleştirilmesi	31
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	31
4.1.	Giriş	31
4.2.	V ₂ O ₅ İnce Filminin Optik Özellikleri.....	31
4.3.	Ag/V ₂ O ₅ /p-Si Yapısının Akım-gerilim özellikleri	33
4.4.	Ag/V ₂ O ₅ /p-Si Diyotunun Fotoelektriksel Özellikleri	37
4.5	Ag/V ₂ O ₅ /p-Si Diyotunun Kapasite-Gerilim Özellikleri.....	38
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	41
6.	KAYNAKLAR	43
	ÖZGEÇMİŞ.....	45

ÖZET

V₂O₅ İNCE FİLMLERİN SAÇTIRMA YÖNTEMİ İLE BİRİKTİRİLMESİ VE DİYOT ÜRETİMİNDE KULLANILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rahmi ÖZALP

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

2019

Bu çalışmada V₂O₅ ince filmleri cam ve p-Si altaşlar üzerine, reaktif saçtırma yöntemi ile biriktirilmiştir. Reaktif saçtırma işleminde V hedef metal kaynağı ve O₂ gazı reaktif gaz olarak kullanılmıştır. Saçtırma işleminin ardından film kalitesini artırmak için filmler yüksek sıcaklıkta tavlammıştır. Ardından V₂O₅/p-Si yapısı üzerine Ag buharlaştırılarak diyot üretimi gerçekleştirilmiştir.

Cam üzerine oluşturulan ince filmlerin optik özellikleri incelenmiş, filmin 600 nm'den daha büyük dalga boylarında %78 geçirgenliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Soğurma-dalga boyu verileri yardımı ile ince filmin band aralığı 2.1 eV olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç oluşturulan ince filmlerin V₂O₅ yapısına sahip olduğunu göstermiştir.

Ag/V₂O₅/p-Si yapılarının oda sıcaklığında ve karanlıkta gerçekleştirilen akım-gerilim (*I-V*) ölçümleri yapının doğrultucu özelliğe sahip olduğunu göstermiştir. Ag/V₂O₅/p-Si diyotunun *I-V* ve kapasite gerilim (*C-V*) verileri ile yapının engel yüksekliği, idealite faktörü ve seri direnci gibi temel elektronik parametreleri belirlenmiştir. Ag/V₂O₅/p-Si yapısının engel yüksekliğinin klasik Ag/p-Si diyotundan daha yüksek olduğu ve V₂O₅ ara tabakası klasik metal-yarıiletken (MS) kontakların elektriksel özelliklerinin modifiye edilebileceği gösterilmiştir.

Son olarak Ag/V₂O₅/p-Si diyotunun *I-V* ölçümleri farklı ışık yoğunluklarında güneş simülatörü altında tekrarlanmış ve ters beslem akımının ışık şiddeti ile arttığı, yani yapının fotodiyot özelliği gösterdiği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: V₂O₅, ince film, Diyot, Elektriksel Özellikler, Optik Özellikler

ABSTRACT

DEPOSITION OF V_2O_5 THIN FILMS BY SPUTTERING METHOD AND THEIR USAGE IN THE FABRICATION OF DIODES

MSc THESIS

Rahmi ÖZALP

DEPARTMENT OF PHYSICS
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE

2019

In this study, V_2O_5 thin films were deposited onto glass and p-Si substrates by reactive sputtering method. In the reactive sputtering process, V target was used as metal source and O_2 gas was used as reactive gas. After the sputtering, the films were annealed at high temperature to improve film quality. Then Ag was evaporated onto V_2O_5 /p-Si structure and diode production was realized.

The optical properties of thin films formed on glass were examined and it was determined that the film had a transmission of 78% at wavelengths greater than 600 nm. With the help of absorption-wavelength data, the band gap of the thin film was calculated as 2.1 eV. This result was shown that the thin films were at V_2O_5 structure.

Current-voltage (I-V) measurements of the Ag/ V_2O_5 / p-Si structures at room temperature and in the dark showed that the structure had rectifying properties. I -V and capacitance voltage (C-V) data of Ag/ V_2O_5 /p-Si diode was used to determine the basic electronic parameters such as barrier height, ideality factor and series resistance. It has been shown that the barrier height of the Ag / V_2O_5 /p-Si structure is higher than that of the classical Ag/p-Si diode, and that the electrical properties of the V_2O_5 interlayer conventional metal-semiconductor (MS) contacts can be modified.

Finally, the I-V measurements of the Ag/ V_2O_5 / p-Si diode were repeated under a solar simulator at different light intensities and it was found that the reverse bias current increased with light intensity, means the structure exhibited photodiode properties.

Key words: V_2O_5 , thin film, Diode, electrical properties, Optical properties

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>		<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1	Ag/V ₂ O ₅ /n-Si diyotunun oda sıcaklığında bazı elektriksel özellikleri	34
Çizelge 4.2	Ag/V ₂ O ₅ /n-Si MIS diyotunun oda sıcaklığında ışığa karşı duyarlılığı	38



ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1	Hudait ve Krupanidhi tarafından MIS GaAs diyotunda arayüzeyi için önerilen çizim	4
Şekil 2.2	Farklı alttaş sıcaklıklarında biriktirilen $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{n-Si}$ heteroeklemlerin I-V çizimleri	6
Şekil 3.1	Kontak sonrası ideal MS kontak yapısı a) $\Phi_M > \Phi_S$ durumunda ve b) $\Phi_M < \Phi_S$ durumunda	10
Şekil 3.2	Denge durumunda MS kontak band diyagramı	11
Şekil 3.3.	MS kantağa DC akım uygulanması	12
Şekil 3.4	Doğru beslem durumunda enerji band diyagramı ve taşıyıcıların durumu	13
Şekil 3.5	Ters beslem durumunda enerji band diyagramı ve taşıyıcıların durumu	13
Şekil 3.6	Schottky diyotunun I-V karakteristiğinin şematik gösterimi	14
Şekil 3.7	Omik kantağa ait a) Denge durumunda enerji band diyagramı ($\Phi_M < \Phi_S$ durumunda) ve b) I-V karakteristiğinin şematik gösterimi	15
Şekil 3.8.	Termal buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi	16
Şekil 3.9	Saçtırma sisteminin şematik gösterimi	18
Şekil 3.10	İnce filmde soğurma olayı	20
Şekil 3.11	Bant boşluğu ile doğrudan ve dolaylı geçişlerin gösterimi	20
Şekil 3.12	Yapılan deneysel işlemlerin gösterimi	26
Şekil 3.13	Tavlama işlemi için kullanılan yüksek sıcaklık fırını	27
Şekil 3.14	Nanovak NVTs 400 vakum sistemi	28
Şekil 3.15	$\text{Ag}/\text{V}_2\text{O}_5/\text{p-Si}$ diyotunun şematik gösterimi	29
Şekil 3.16	Oriel marka güneş simülatörü içeren akım-gerilim ölçüm sistemi	29

Şekil 4.1	V_2O_5 filminin soğurma-dalga boyu ve geçirgenlik-dalga boyu grafikleri	31
Şekil 4.2	V_2O_5 ince filmine ait $(Ahv)^2-hv$ eğrisi	32
Şekil 4.3	Ag/ V_2O_5 /p-Si MIS diyotunun karanlıktaki $\ln I-V$ grafiği	33
Şekil 4.4	Ag/ V_2O_5 /p-Si diyotunun Norde eğrisi	36
Şekil 4.5	Farklı ışık yoğunluklarında Ag/ V_2O_5 /p-Si diyotunun I-V grafikleri	37
Şekil 4.6	Farklı frekanslarda Ag/ V_2O_5 /p-Si diyotunun C-V grafikleri	38
Şekil 4.7	Ag/ V_2O_5 /p-Si diyotunun 500 kHz'de C-V ve $C^{-2}-V$ grafikleri	39

KISALTMA VE SİMGELER

A	: Diyotun etkin alanı
A^*	: Richardson sabiti
AC	: Alternatif akım
a_s	: Soğurma katsayısı
α_e	: Emisyon katsayısı
C	: Kapasite
$C-V$: Kapasite-Gerilim
DC	: Doğru akım
E_c	: İletkenlik bandının tabanı
E_f	: Fermi enerji seviyesi
E_g	: Yarıiletkenin yasak enerji aralığı
E_{ph}	: Foton enerjisi
eV	: Elektron volt
Φ_b	: Schottky engel yüksekliği
$\Phi_b (C-V)$: Kapasite gerilim ile ölçülen Schottky engel yüksekliği
Φ_m	: Metalin iş fonksiyonu
Φ_s	: Yarıiletkenin iş fonksiyonu
χ	: Yarıiletkenin elektron ilgisi
h	: Planck sabiti
$I-V$: Akım-Gerilim
I_m	: Güneş pili için maksimum akım
I_0	: Ters besleme doyma akımı
J	: Akım yoğunluğu
k	: Boltzmann sabiti

LED	: Işıık yayan diyot
m_h^*	: Boşluęun etkin kütleđi
m_n^*	: Elektronun etkin kütleđi
MS	: Metal yarıiletken kontak
MIS	: Metal-Yalıtkan-Yarıiletken kontak
n	: İdealite faktörü
$n-Si$: n-tipi silisyum kristali
N_a	: Alıcı konsantrasyonu
N_c	: Yarıiletkenin iletkenlik bandındaki durum yoğunluğu
N_d	: Verici konsantrasyonu
$p-Si$: p-tipi silisyum kristali
q	: Elektronun yükü
R_s	: Seri direnç
S	: Diyotun etkin alanı
T	: Mutlak sıcaklık
V_{bi}	: Difüzyon potansiyeli



1.GİRİŞ

Yarıiletken teknolojisi neredeyse hayatımızın tüm alanlarında önemli bir yere sahiptir. Yarı iletken teknolojisi kullanılarak birçok çeşit elektriksel ve optik uygulama keşfedilmiştir. Işık yayan diyotlar (LED), güneş hücreleri, transistörler, fiziksel ve kimyasal sensörler de dahil olmak üzere ileri teknoloji ürünleri yarıiletken aygıt tabanlıdır. Bu uygulamalar, metal-yarı iletken (MS) kontakları, metal-yalıtkan-yarı iletken (MIS) kontakları, p-n eklemler, p-i-n eklemler ve heteroeiklemler gibi çeşitli aygıtlar kullanılarak üretilmektedir.

İlk geliştirilen yarıiletken aygıt MS kontaklardır ve her türlü aygıt üretiminde önemli yere sahiptir. MS kontaklar ohmik ve doğrultucu kontaklar olarak iki biçimde sınıflandırılır. Doğrultucu MS kontaklarda anahtarlanma işlemi çoğunluk taşıyıcıları ile gerçekleştirilir. Bundan dolayı diğer aygıtlara göre yüksek anahtarlanma hızına sahiptir ve yüksek anahtarlanma gerektiren radyo frekans (RF) detektörler ve karıştırıcılarda kullanılır. Diğer taraftan bir p-tipi ve bir n-tipi yarıiletkenin sıkı eklemlenmesi ile elde edilen ve p-n eklem olarak adlandırılan aygıtlar güneş hücreleri ve LED teknolojisinin etmelini oluşturmaktadır. P-n eklemler homoeklem ve heteroeiklemler olarak tasnif edilebilir. Homoeklemlerin oluşturulmasında aynı yarıiletkenin farklı iletkenlik türlerinin kontaklanması ile elde edilirken, heteroeiklemler farklı yarıiletkenlerin bir araya getirilmesi ile elde edilirler. Homoeklemlere p-Si/n-Si ve n-InP/p-InP gibi aygıtlar örnek verilebilirken, heteroeiklemlere n-Si/p-NiO, p-CuO/p-Si gibi aygıtlar örnek olarak gösterilebilir.

Geçiş metali oksitler çok çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleriyle bilinir. Bu malzemelerin birçoğu ilginç yapısal, elektronik ve manyetik davranışlar göstermektedir. Bazıları yüksek sıcaklıkta süper iletkenlik gösterir iken (Takada ve ark. 2003) ve bazıları heyecan verici optik özellikler veya yüksek katalitik aktivite gösterir (Clavero, 2014). Metal oksitler, iletkenlerden yarı iletkenlere ve yalıtkanlara kadar çok çeşitli elektronik özellikleri kapsar ve bu nedenle birçok teknolojik uygulamada kullanılır. Yenilikçi malzeme olarak Vanadyum penta oksit (V_2O_5) son yıllarda geniş çapta çalışılmıştır. V_2O_5 , elektrokromik cihazların, elektronik bilgi ekranlarının ve renkli bellek cihazlarının geliştirilmesi için yüksek bir potansiyele sahiptir (Scherer, 2012). V_2O_5 filmler diğer teknolojik uygulamalara da entegre edilebilir.

İnce filmlerin biriktirilmesinde, birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları dönel kaplama, ultrasonik sprey kaplama ve daldırma kaplama gibi çözeltili tabanlı yöntemler iken, diğer önemli bir kısmı fiziksel buhar biriktirme yöntemleri olarak adlandırılan vakum tabanlı yöntemlerdir. Bu yöntemler arasında saçtırma yöntemi geniş alanlarda uygulanabilme ve birçok uygulamada tercih edilen homojen filmlerin oluşturulabilmesi için en uygun yöntemdir (Ocak ve ark, 2010). Saçtırma yöntemi farklı üretim koşulları kullanılarak filmlerin istenilen özellikte olmasının önünü açmaktadır. Örneğin, saçtırma işlemi esnasında reaktif gaz yardımı ile istenilen bileşiklerin ince filmlerinin oluşturulması mümkündür.

Bu çalışmada geçiş elementleri arasında bulunan Vanadyum metalinin oksit filmi reaktif magnetrom saçtırma yöntemi ile p-Si ve cam altaşlar üzerine biriktirilmiş, ardından film kalitesinin artırılması için tavlama işlemi uygulanmıştır. Optik yöntemler ile oluşturulan ince filmin bant aralığı belirlenmiş V_2O_5 ince filminin oluşturulduğu sonucuna varılmıştır. Ardından p-Si/ V_2O_5 yapısı üzerine doğrultucu kontak olarak Ag buharlaştırılmıştır. Ag/ V_2O_5 /p-Si yapısının elektriksel özellikleri yapıya ait akım-gerilim ($I-V$) ölçümleri ile belirlenmiştir. Yapılan analizlerde yapının doğrultucu özelliğe sahip olduğu görülmüştür. $I-V$ verileri ile yapının idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnci hesaplanmıştır. Ardından Ag/ V_2O_5 /p-Si doğrultucu kontaklarının farklı ışık yoğunlukları altında $I-V$ ölçümleri tekrarlanmıştır. Ölçüm sonuçlarında aygıtın ters beslem akımının ışık şiddetine bağlı olarak arttığı görülmüştür. Bu sonuç oluşturulan V_2O_5 /p-Si aygıtının ışık sensörü olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Son olarak V_2O_5 /p-Si aygıtının farklı frekanslarda kapasite-gerilim ($C-V$) özellikleri incelenmiş, düşük frekansta arayüzey durumlarının sinyali takip edebildiği, yüksek frekansta ise takip edemedikleri görülmüştür. Ayrıca, yüksek frekanstaki $C-V$ ölçümleri ile yapının elektriksel özellikleri analiz edilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Modern teknolojideki büyük gelişmeler nedeniyle yarı iletken cihazlara ilgi hızla artmaktadır. Günümüzde neredeyse hayatımızın her yerinde elektrikli ve optik ekipmanlar kullanıyoruz. Örneğin, yarı iletkenlere dayalı yüksek teknolojiye ihtiyaç duyan aktif matris organik ışık yayan diyot (AMOLED) televizyonları, lazer yazıcıları ve cep telefonlarını kullanıyoruz. Yarı iletken cihazlarda son birkaç on yılda büyük bir ilerleme olsa da, elektronik cihazların tarihi 100 yıldan daha uzun bir süredir başladı.

Braun 1874'te ilk elektronik cihazı (metal-yarı iletken kontak) imal etti. Braun metal sülfat kristalleri kullanılarak oluşturulan MS kontaklarının elektriksel iletkenliğindeki asimetriyi buldu. Schottky, Sörmer ve Waibel (1931), MS temasının düzeltilmesi ile ilgili ilk temel çalışmayı yaptı. Doğrultma özelliğinin, kontaktaki akım ile tüm yüzeylerdeki potansiyel düşüş nedeniyle meydana gelebileceğini söylediler. Bu çalışmadan sonra, Wilson kuantum mekaniksel tünel açma teorisini geliştirdi ve ters polariteyi kullanarak doğrultma olayını açıkladı.

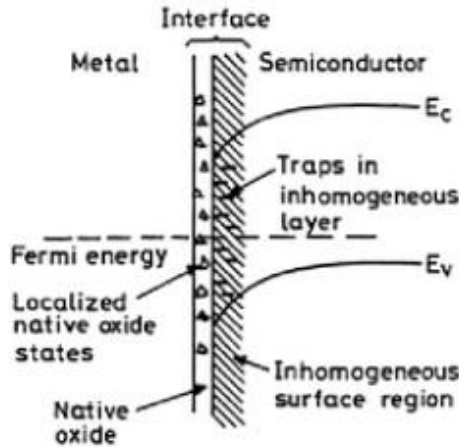
1938'de Schottky ve Mott bağımsız olarak doğrultma mekanizmasının elektron akışını ve potansiyel engel üzerindeki difüzyonun açıklanabileceğini belirttiler. Schottky-Mott teorisine göre, potansiyel bariyerin varlığı metal ve yarı iletken iş fonksiyonları arasındaki farklarla sonuçlanmaktadır. Böylece, potansiyel bariyerlerin büyüklüğü, metal iş fonksiyonu ve yarı iletken elektron afinitesi arasındaki farklar kullanılarak hesaplanabilir. Ancak, deneyler bariyer yüksekliğinin metal iş fonksiyonlarından yaklaşık olarak bağımsız olduğunu ve bunun hazırlama yöntemleriyle ilgili olarak göstermiştir. Deneysel sonuçlardan teorilerin yetersiz olduğu sonucuna varıldı çünkü teoriler MS arayüzünde bir katmanın varlığını hesaba katmamakta idi. Bu katmanın pratikte her zaman mümkün olması ve hazırlama koşulunun arayüzeyin kalınlığı ve kimyasal yapısını değiştirmesi mümkündür.

Yarı iletken aygıtların temel elektrik parametrelerinin engel yüksekliği ve idealite faktörü değerleri olduğu kabul edilir. Bu parametreler aygıtın akım-gerilim (I-V) grafiği kullanılarak belirlenebilirler. Mönch, Schottky bir MS yapısında imaj kuvvet azalması dikkate alındığında idealite faktörünün 1.01 olması gerektiğini ortaya koydu.

Doğrultucu diyotların bir diğer önemli özelliği seri dirençtir. Norde (1979), ideal olmayan diyotların ileri dirençli I-V verilerinden seri direnç ve bariyer yüksekliğini belirlemek için bazı fonksiyonlar önerdi. Cheung ve Cheung (1986), hem ideal hem de ideal olmayan diyotların karakteristik parametrelerini incelemek için bariyer yüksekliği, idealite faktörü ve ileri taraflı I-V özelliklerinden gelen seri direnci incelemek için başka bir yöntem önerdi.

Çok özel imalat koşulları dışında, metal ve yarı iletken arasında doğal bir oksit tabakasının oluşmasının kaçınılmaz olduğu bir gerçektir. Bu yalıtkan katman, MS temasını metal-yalıtkan-yarı iletken (MIS) diyotuna dönüştürür ve diyot karakteristikleri üzerinde güçlü etkileri vardır. Cowley ve Sze tarafından gerçekleştirilen Schottky diyotların arayüz durumları üzerine ilk çalışmadır (1965). Bariyer yükseklik değerleri ile metallerin çalışma fonksiyonu, arayüz durumları ve ara tabaka kalınlığı arasındaki korelasyonu yaptılar.

Hudait ve Krupanidhi (2000), ince oksit tabakasının MS ve MIS epi-GaAs Schottky diyotlarda yalıtkan tabaka olarak β -Ga₂O₃ kullanılmasının diyotların elektriksel özelliklerine etkilerini analiz ettiler. İdealite faktörlerini ve engel yüksekliği değerlerini, epi-GaAs'lara dayanan MS ve MIS kontaktarı için sırasıyla 1.16, 0.912 eV



Şekil 2.1 Hudait ve Krupanidhi tarafından MIS GaAs diyotunda arayüzeyi için önerilen çizim

ve 1.17 ve 0.970 eV olarak hesapladılar. MIS diyotu için doyma doygunluk akım değerlerinin, ince bir yalıtkan tabaka ve Richardson sabitinde arttırılmış engel

yüksekliği ve azaltma kombinasyonundan kaynaklandığını ileri sürdüler.

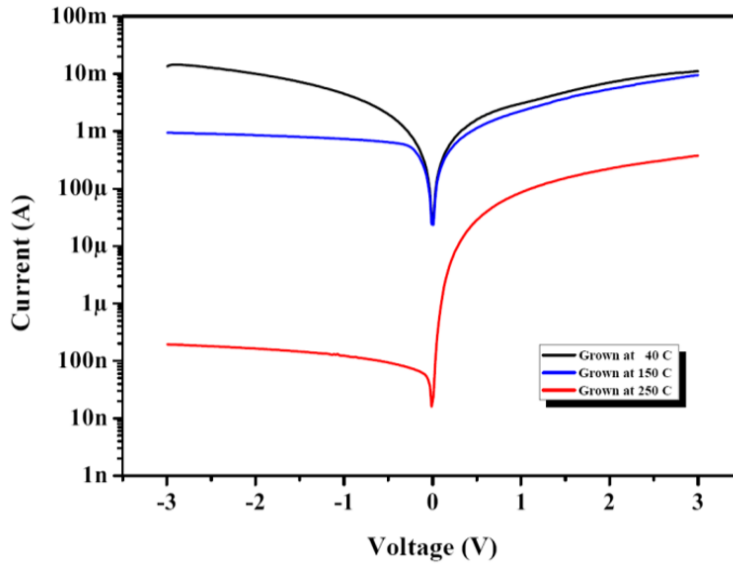
Gökçen ve arkadaşları (2009), yalıtkan tabaka ve seri direncin cihazların ileri ve geri yanlılık I-V karakteristikleri üzerindeki etkilerini görmek için Au/n-Si ve Au/SnO₂/n-Si MS ve MIS kontaklarını üretmiştir. Hem MS hem de MIS yapılarının, arayüz durumları, doğal arayüzey katmanları ve seri direnç nedeniyle ideal olmayan diyot karakteristiklerini gösterdiğini bildirmişlerdir. Aygıtların elektriksel parametrelerini ln(I)-V ve Cheung metodlarından hesapladılar.

Kinaci ve arkadaşları (2012), 200 °C'de doğru akım (DC) magnetron saçtırma yöntemini kullanarak n-Si substratları üzerinde titanyum dioksit (TiO₂) ince filmleri biriktirdi. Hava ortamında kristal kalitesini 900 °C de arttırmak için ince filmler tavladılar. Bu sayede TiO₂ ince filmlerinin rutil fazını elde etmişlerdir. İnce film üzerine Au kontak oluşturarak Au/TiO₂ (rutil)/n-Si MIS doğrultucu diyotunu oluşturdular. 200 ile 380 K arasında elde edilen I-V verilerini kullanarak engel yüksekliği, idealite faktörü ve seri direnç değerlerini içeren temel elektriksel parametreleri hesapladılar. Sıcaklık artışı ile engel yükseklik değerlerinde artış ve idealite faktörü değerlerinde azalma olduğunu bildirdiler. Ayrıca, TiO₂'nin rutil fazının düşük seri direnç özelliği sayesinde cihaz uygulamaları için kullanılması gerekiyordu.

Evangelou ve arkadaşları (2003) tarafından itriyum oksit dielektrik ince filmler, RF magnetron püskürtme sistemi kullanılarak n-Si yarıiletken üzerinde oluşturuldu ve oluşturulan filmler çeşitli sıcaklıklarda (400-600 °C) tavlandı. Metal oksit-yarı iletken (Al/Y₂O₃/n-Si) yapıları, ince Al metalinin oksit tabakası üzerinde buharlaştırılmasıyla üretildi. Bu aygıtın histeris etkileri C-V eğrilerinde rapor edilmiştir.

Cavas ve arkadaşları (2012), spin kaplama tekniği ile şeffaf p-NiO/n-ZnO heteroeklem aygıtını üretmiştir. ZnO ince filmlerinin fiber yapıları varken NiO filmlerinin çok pürüzsüz olduğunu gösterdiler. Verilerden ZnO ve NiO'nun bant ralıklarını 3.25 ve 3.89 eV olarak hesapladılar. p-NiO/n-ZnO aygıtının akım-gerilim grafiğini incelediler ve idealite faktörünü ve engel yüksekliklerini 2.91 ve 0.48 eV olarak hesapladılar.

Ocak ve arkadaşları (2016), alttaş sıcaklığının $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{n-Si}$ heteroeklemler üzerindeki etkilerini görmek için, radyo frekansı (RF) reaktif saçırma tekniği ile 40, 150 ve 250 °C'de n-Si ve cam alttaşlar üzerinde Cr_2O_3 ince filmler oluşturulmuştur. Hedef olarak yüksek saflıkta Cr, reaktif gaz olarak ise oksijen kullanıldı. Cr_2O_3 ince filmlerin optik özellikleri UV-vis verileri kullanılarak analiz edildi. Filmlerin bant boşlukları karşılaştırıldı. $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{n-Si}$ heteroeklemin elektriksel özellikleri, karanlıkta akım-gerilim (I-V) ölçümleriyle test edildi. 250 °C'de Cr_2O_3 ince film oluşturularak üretilen heterojunction daha iyi bir doğrulma özelliğine sahip olduğu görüldü. Enegl Yüksekliği yüksekliği, idealite faktörü ve seri direnç gibi karakteristik elektriksel parametreler I-V verileri kullanılarak hesaplandı. Aygıtın fotovoltaiik etki davranışına ışık yoğunluğunun etkisi de hesaplandı, son olarak kapasitans-gerilim (C-V) verilerinden elde edilen yapının bariyer yükseklik değeri I-V ölçümlerinden hesaplananla karşılaştırıldı.



Şekil 2.2. Farklı alttaş sıcaklıklarında biriktirilen $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{n-Si}$ heteroeklemlerin I-V çizimleri

Mahato ve arkadaşları (2017) $\text{Au}/\text{V}_2\text{O}_5/\text{n-Si}$ Schottky diyotunun elektronik özelliklerini 150-300 K arasında değişen sıcaklığa bağlı akım-gerilim (I-V) ve kapasite-

gerilim ($C-V$) ölçüleriyle incelemiştir. Yapılan bu çalışmada, $I-V$ ölçümleri kullanılarak ideallik faktörü (n) ve Schottky engel yükseliği (ϕ), 300 K'de 2.04 ve 0.83 eV ve 150 K'de 6.95 ve 0.39 eV olarak hesaplandı. Metal yarı iletken arayüzünde homojen olmama durumunda idealite faktörünün sıcaklık arttıkça arttığı ve engel yüksekliğinin azaldığı gözlenmiştir. Bu çalışmada, ayrıca, Au/V₂O₅/n-Si Schottky diyodunda V₂O₅ ince filmin ilk kez bir arayüzey tabakası olarak kullanılması, termiyonik emisyon (TE) teorisi ile başarılı bir şekilde açıklanmıştır.

Bu tez önerisinde, Ag/V₂O₅/p-Si MIS diyotu V metalinin reaktif saçırtma yöntemi ile p-Si yüzeyde biriktirilme ve doğrultucu kontak olarak Ag buharlaştırılması ile elde edilmiştir. Elde edilen yapının elektriksel özellikleri yapının akım-gerilim ve kapasite gerilim ölçümleri ile analiz edilmiştir. Ayrıca, Ag/V₂O₅/p-Si MIS diyotunun ışık altında akım-gerilim özellikleri farklı ışık yopunluklarında incelenmiş, yapının fotodiyot özelliği gösterdiği ortaya konulmuştur.



3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, V_2O_5 ince filmlerinin reaktif saçıtırma yöntemi ile elde edilmesi ve bu filmlerin aygıt üretiminde kullanılması hedeflenmiştir. Bu amaçla önce V metal hedef kullanılarak V_2O_5 ince filmleri reaktif saçıtırma yöntemi ile biriktirilmiş ve optik özellikleri UV-vis verileri ile belirlenmiştir. Oluşturulan filmlerin band aralıklarının literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Ardından $Ag/V_2O_5/p-Si$ metal-yalıtkan-yarı iletken (MIS) yapısı, Ag metalinin $V_2O_5/p-Si$ yapısı üzerine buharlaştırılması ile elde edilmiştir. Oluşturulan aygıtın elektriksel özellikleri, karanlıkta oda sıcaklığında akım-gerilim ve kapasite-gerilim ölçümleri kullanılarak belirlenmiştir. Yapının fotoelektriksel özellikleri, farklı ışık yoğunlukları altında güneş simülatörü kullanılarak incelenmiştir.

Bu bölümde, öncelikle metal-yarıiletken (MS) ve metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) yapılarının fiziği, bu kontaklardaki akım mekanizmaları ve aygıtların fiziksel parametrelerini etkileyen faktörler verilecektir. Daha sonra bu çalışmada kullanılan fiziksel buhar biriktirme (PVD) sistemleri tartışılacaktır. Malzemelerin optik özellikleri de bu bölümde ele alınacaktır.

Son olarak, bölümün sonunda, bu çalışmanın tüm deneysel kısımları ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

3.1. Metal-Yarıiletken Kontaklar

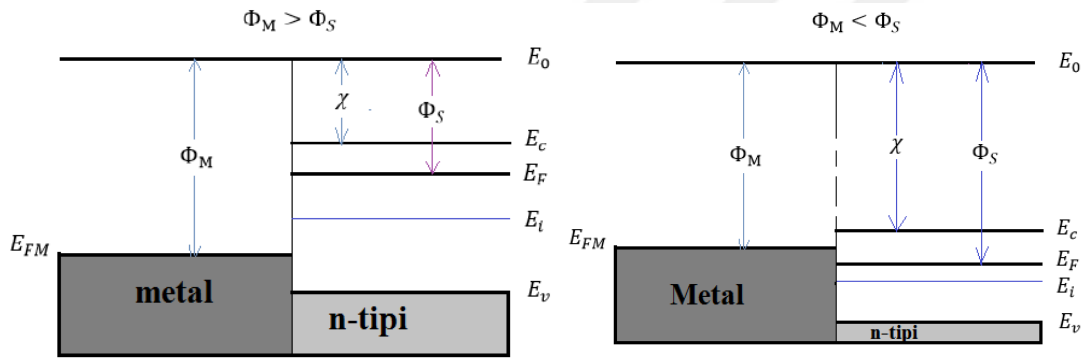
Metal-yarı iletken (MS) teması, katı halde çoğu yarı iletken aygıtın performansında önemli bir bileşendir. Adından da anlaşılacağı gibi, MS eklemi bir metal ve yarı iletken malzemenin yakından temas ettirilmesidir. Temel olarak, yarı iletken aygıtlarda yaygın olarak kullanılan iki tür MS kontağı vardır:

- 1- Doğrultucu Schottky kontaklar
- 2- Omik kontaklar

Bu bölümde MS yapıların oluşturulması, akım mekanizmaları ve elektriksel özelliklerinin belirlenmesi ele alınacaktır.

İş fonksiyonu (Φ), Fermi enerjisi ile vakum seviyesi arasındaki enerji farkı olarak tanımlanır. Elektron ilgisi, (χ), bir elektronu vakum seviyesinden iletken bandına taşımak için gereken enerji olarak tanımlanır. Bir metal ve yarı iletken malzeme bir araya getirildiğinde, anında ideal bir MS kontak oluşur. Bir metal ve yarıiletken, aralarında herhangi bir malzeme olmadan bir kontak oluşturduğunda, MS kontak olarak adlandırılır. İdeal bir MS kontağı için aşağıdaki varsayımlar yapılabilir:

1. Metal ve yarı iletkenlerle kontak oluşturulduğunda; bu, atom ölçeğinde temas arasında hiçbir oksit veya yük katmanı olmadığı anlamına gelir.
2. Metal ile yarı iletken birbirine karışmaz ve difüzyon söz konusu değildir.
3. MS ara yüzünde hiçbir kirlilik yoktur.



Şekil 3.1 Kontak sonrası ideal MS kontak yapısı a) $\Phi_M > \Phi_S$ durumunda ve b) $\Phi_M < \Phi_S$ durumunda

Elektron ilgisi ve metal iş fonksiyonu kontak sürecinden etkilenmeyen ve değişmeyen temel özelliklerdir. Bununla birlikte, yarı iletkenlerin iş fonksiyonu elektron ilgisi, iletken bant ve Fermi enerjisi ile ilgilidir:

$$\Phi_S = \chi + (E_C - E_F) \quad 3.1$$

Burada

$$\chi = (E_0 - E_F) \quad 3.2$$

olarak ifade edilir.

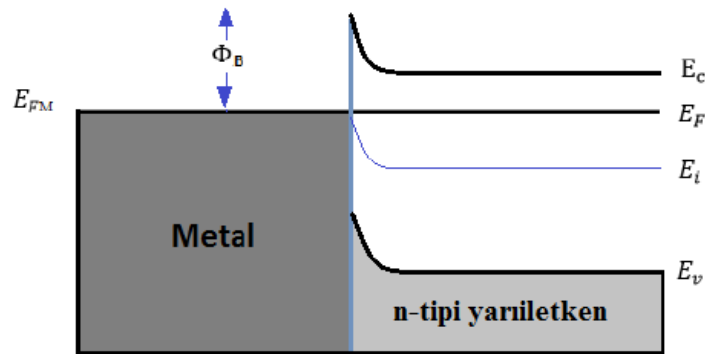
Bununla birlikte, Şekil 3.1'deki durumlar, denge durumunda değildir, çünkü metaldeki Fermi enerjisi yarı iletkendeki Fermi enerjisi ile aynı hizada değildir. Bu nedenle, elektronlar yarı iletken ile metal arasında transfer olmaya devam edecektir. Kontak arasında bir tükenim bölgesi oluşumuna neden olacak şekilde hizalanır. Metal-

yarı iletken ara yüzünün farklı karakteristikleri ile iki tip MS teması oluşturulacaktır: rektifiye edici Schottky engel kontağı ve omik kontak. Teorik olarak, p-tipi yarıiletkenler için, yarıiletkenin iş fonksiyonu, metalin iş fonksiyonundan ($\Phi_M < \Phi_S$) daha büyükse, doğrultucu kontak ve metalin iş fonksiyonu yarıiletkenin iş fonksiyonu daha büyükse ($\Phi_M > \Phi_S$), omik kontak oluşturur. Bu durum n-tipi yarıiletkenlerle oluşturulan kontaklar için bahsedilen durumların tam tersidir.

3.1.1. Doğrultucu Schottky Kontaklar

Schottky engel kontağı, metalin Fermi enerjisi ve yarı iletken birlikte hizalandığında oluşan büyük bir potansiyel bariyer yüksekliğine sahip MS kontağını ifade eder. Engel yüksekliği, çoğunluk taşıyıcıları olan bant kenarı ile metalin Fermi enerjisi arasındaki enerji farkı olarak tanımlanır. Schottky engelleri doğrultucu özelliklere yol açabildiğinden, normal olarak doğrultucu özelliklere sahip tek bir MS kontağı olan bir diyot olarak kullanılır. Hem n tipi hem de p tipi yarı iletkenler Schottky kontağını oluşturabilir.

Denge Koşulu altında (uygulanan gerilim $V = 0$) $\phi_s < \phi_m$ örneğini göz önünde bulundurarak, elektronlar, denge koşulu sağlanana kadar yarı iletkenden metale daha fazla enerji harcadıkları için transfer olurlar. Net elektron kaybı metalde negatif bir yük ve yarı iletken pozitif bir yük oluşturur; bu da yarı iletken yüzeyde bir tükenim bölgesi ve büyüyen bir engel oluşturur. Sonuç olarak, bir metal ve n-tipi yarı iletken için denge band yapısı Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Denge durumunda MS kontak band diyagramı

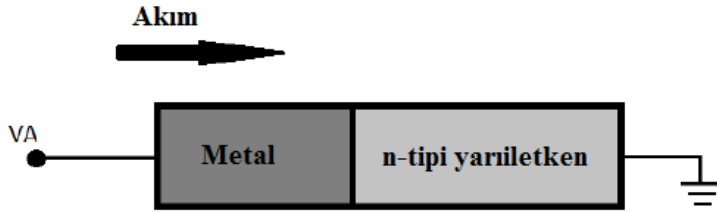
Schottky engelinin temel özellikleri olan yüzey potansiyeli-enerji bariyeri ϕ_b , metalin ve yarı iletkenin bir fonksiyonu olan Schottky bariyer yüksekliği ile karakterize edilir:

$$\phi_{bn} = \phi_m - \chi \quad \text{n-tipi yarıiletken için} \quad 3.3$$

$$\phi_{bp} = \frac{E_g}{q} - \phi_m + \chi \quad \text{p-tipi yarıiletken için} \quad 3.4$$

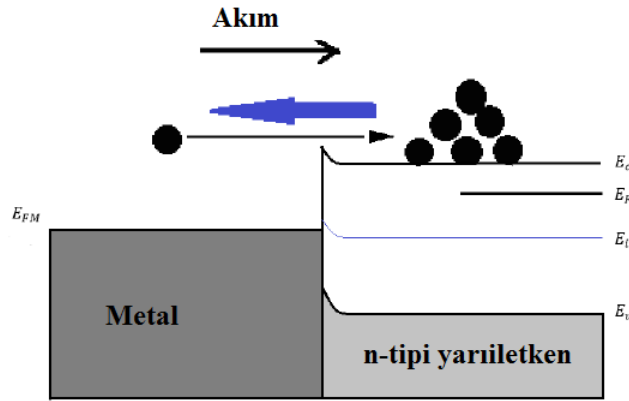
Engel, uygulanan küçük bir gerilim olduğunda bile yüksek direnç sağlar. Potansiyel engel yüksekliği, engel boyunca akan elektrik akımının önemli bir etkiye sahip olan uygulanan gerilim tarafından yönetilebildiğinden, doğru ve ters beslem etkisi söz konusudur.

$\Phi_s < \Phi_m$ kontak durumunda, metale V_A potansiyeli uygulandığında ve yarıiletken topraklandığında I akımı oluşacaktır (Şekil 3.3.) Akım metalden yarı iletkene aktığında pozitif olarak tanımlanır.



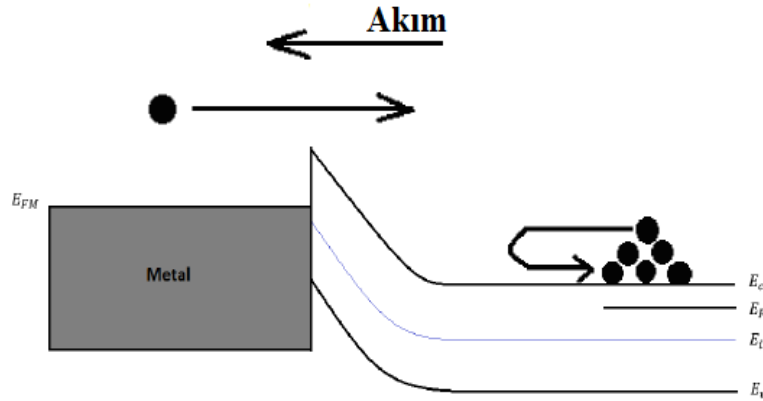
Şekil 3.3 MS kontağa DC akım uygulanması

Düz beslemde ($V_A > 0$), MS eklem Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Metalin Fermi enerjisi yarı iletkendeki Fermi enerjisinden daha düşük hale gelir. Bu, potansiyel engelin yarı iletken boyunca azalmasına neden olur. Sonuç olarak, elektronların engeli aşması çok daha kolay olacaktır; bu da elektronların yarı iletkenden metale difüzyonunu çok daha kolaylaştırır. Bu nedenle, V_A arttırıldığında, akım hızla artacaktır, çünkü daha fazla elektron geri dönmeden yüzey engelini aşabilecektir. Yarı iletkenden metale doğru yarı iletken elektron sürüklenmesinden daha fazla elektron difüzyonu gerçekleşir ve MS eklemde pozitif bir meydana gelir.



Şekil 3.4 Doğru beslem durumunda enerji band diyagramı ve taşıyıcıların durumu

Metal üzerine negatif beslem ($V_A < 0$) uygulanması durumunda MS kontağın çalışması şekil 3.5'te gösterilmektedir. Metalin Fermi enerjisi yarı iletkendeki Fermi enerjisinden daha yüksek hale gelir ve bu da MS bağlantısı boyunca engel potansiyelinin artmasına neden olur. Büyük engel, elektronların yarı iletken metal difüzyonunun engeller. Küçük bir ters beslem altında, metaldeki sadece küçük bir miktar elektron potansiyel engeli aşabilir. Bu nedenle, ters beslem durumunda I akımı küçük ve sabit olacaktır ve bu durum doğrultucu kontağın meydana gelmesine sebep olacaktır.



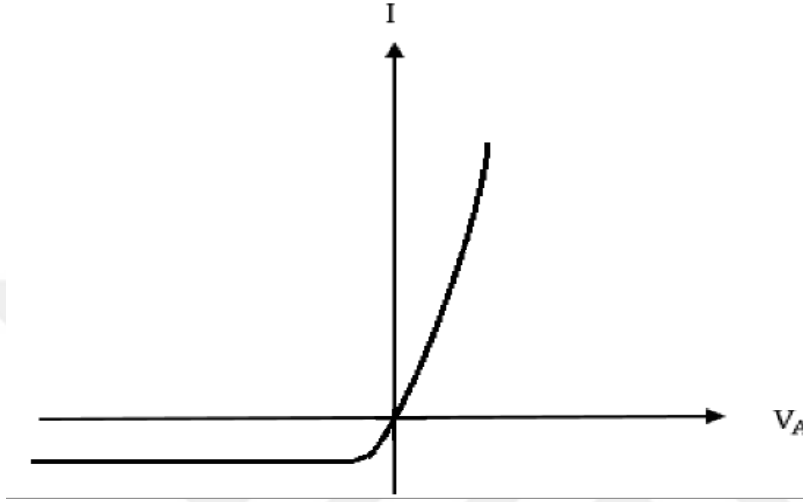
Şekil 3.5. Ters beslem durumunda enerji band diyagramı ve taşıyıcıların durumu

Genel olarak, Schottky kontağı boyunca akan akım, pn-eklem diyotunununkine çok benzer olan uygulanan voltaj ile tanımlanabilir. Diyotun akım-gerilim denklemi (Sze, 2006)

$$I = I_0(e^{qV_A/kT} - 1)$$

3.5

ile yazılabilir. Burada I_0 doyma akımıdır. Düz beslem altında ($V_A > 0$) uygulanan gerilim bir kaç kT/q Volt değerinden fazla olursa, akım üstel olarak artacaktır. Ters beslem durumunda, ($V_A < 0$), uygulanan gerilim bir kaç kT/q Volt değerinden fazla olursa, üstel terim ihmal edilir. Bu akımın küçük bir doyma akımına karşılık gelmesine sebep olur. Schottky engel diyotunun akım-gerilim karakteristiği Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



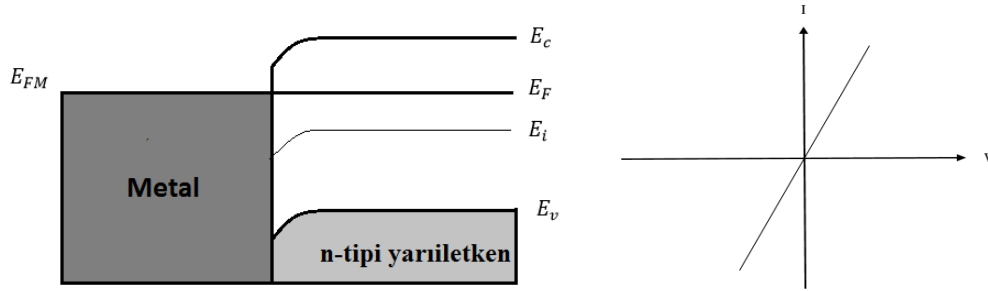
Şekil 3.6 Schottky diyotunun I - V karakteristiğinin şematik gösterimi

3.1.2 Omik kontaklar

Potansiyel bir engel oluşumunun gerçekleşmemesi durumunda, MS kontakları doğrultucu Schottky diyotu gibi davranmaz. Bu durumda, akım MS kontağının her iki yönünde de gerçekleştirilebildiğinde, kontak Omik kontak olarak tanımlanır. İdeal bir omik temas düşük dirençlidir ve metal yarı iletken ara yüzü arasında potansiyel bulunmayan doğrultucu olmayan bir kontakır. Şekil 3.1 (b) 'deki durumu göz önüne alın, MS kontak için $\Phi_M < \Phi_S$ olduğunda, elektronlar düşük enerjileri nedeniyle metalden yarı iletkene geçecek ve yarı iletkendeki Fermi seviyesinin denge durumu oluşana kadar yükselmesine neden olacaktır. Denge halindeki bant diyagramı Şekil 3.7 (a) 'da gösterilmektedir.

Yarı iletkenden metale elektron akışı için bir engel yapısı bulunmadığından, çok küçük bir doğru beslem ($V_A > 0$) uygulanması durumunda bile büyük bir doğru beslem akım artışı meydana gelecektir. Bir ters beslem gerilimi olduğunda, metalden yarı iletkene elektron akışı için küçük bir potansiyel engel oluşur. Bununla birlikte, ters beslem gerilimi arttığında küçük engel en sonunda kaybolur. Sonuç olarak, $V < 0$

durumunda büyük bir ters beslem akımı oluşur. Omik bir yapının akım-gerilim grafiği şekil 3.7b’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Omik kondağa ait a) Denge durumunda enerji band diyagramı ($\Phi_M < \Phi_S$ durumunda) b) I-V karakteristiğinin şematik gösterimi

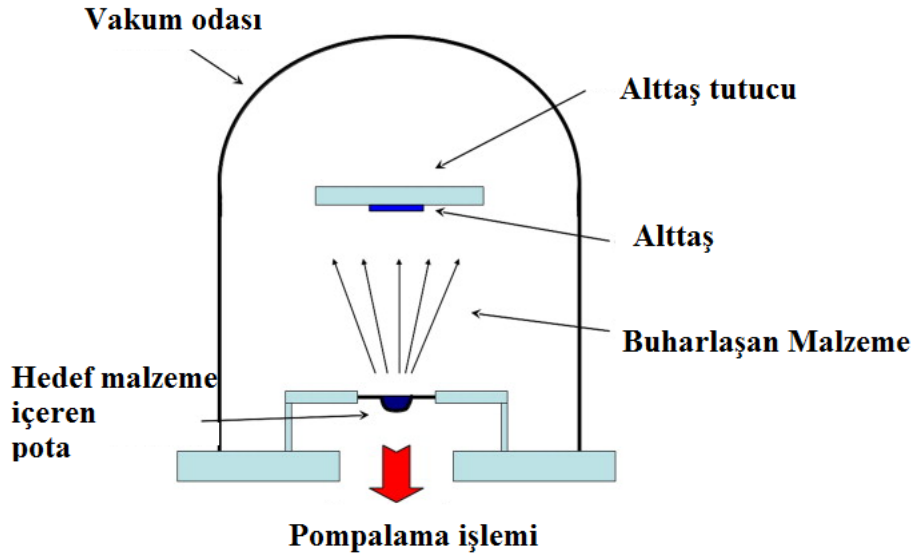
3.2. Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemleri

İnce Film Biriktirme iki yöntemle sağlanabilir: Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) veya Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD). Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD), dekoratif kaplama, araç kaplama ve diğer donanım kaplama uygulamaları için kullanılan bir grup yüzey kaplama teknolojisi içerir. Temel olarak, temel mekanizmanın, malzemenin katı fazdan buhar fazına ve tekrar katı faza atom transferi yoluyla katı bir şekilde kaplanması ve üzerine kaplanacak yüzey üzerinde bir film oluşturmak üzere bir atom olduğu bir buharlaştırma kaplama işlemidir. Reaktif saçtırma durumunda, biriktirme malzemesi, bir nitrit, oksit, karbür veya karbonitrid gibi bir bileşik malzeme filmi oluşturmak için gaz halinde bir biriktirilmiş malzeme ortamı ile reaksiyona girer. Fiziksel buharlaşma, metal filmleri biriktirmenin en eski yöntemlerinden biridir. Alüminyum, altın ve diğer metaller buharlaşma noktasına kadar ısıtılır ve daha sonra alttaşın yüzeyini kaplayan ince bir film oluşturmak üzere buharlaştırılır. Tüm film biriktirme işlemi vakum altında veya çok dikkatli bir şekilde kontrol edilen atmosferde gerçekleşir.

3.2.1. Vakum termal buharlaştırma

Vakumlu biriktirme olarak da bilinir ve bu, kaplama için kullanılan malzemenin termal olarak buharlaştırıldığı ve daha sonra gaz molekülleri ile çok az çarpışan ya da hiç çarpışmayan alt-tabakaya potansiyel farklılıkları ile devam eden işlemidir. Normal vakum seviyeleri, 10^{-5} - 10^{-9} mbar arası orta ila yüksek vakum aralığındadır. Termal buharlaştırma tekniklerinde, malzemeyi ısıtmak için farklı yöntemler uygulanabilir. Laboratuvarında bulunan donanımlar, bir elektron ışını tabancasından (elektron ışını

ısıtması) dirençli ısıtma veya yüksek enerjili elektron ışınıyla, genellikle birkaç keV ile bombardımanı kullanır. Dirençli ısıtma tekniğinde, malzeme, hedef materyalin biriktirildiği bir filaman veya metal plakadan (Buharlaştırıcı) geçen elektrik akımı vasıtasıyla kaynaşmaya kadar ısıtılır. Buharlaştırılan malzeme daha sonra alttaş üzerinde yoğunlaştırılır. Bir grafiti çevreleyen bir RF bobini ya da buharlaştırılacak malzemenin kaynaştığı BN pota gibi başka ısıtma yöntemleri kullanılır. Tekniğin montajı basittir ve metallerin ve düşük erime sıcaklığına sahip bazı bileşiklerin depolanması için uygun sonuçlar verir.



Şekil 3.8 Termal buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi

Elektron demeti ile buharlaştırma tekniği, depolanacak malzeme üzerinde yüksek enerjili elektron demeti bombardımanı tarafından üretilen ısıya dayanmaktadır. Elektron demeti, akkor filament tarafından üretilen elektronların termiyonik emisyonunu kullanan bir elektron tabancası tarafından üretilir. Yayılan elektronlar yüksek voltaj potansiyeli (kilovolt) ile hızlandırılır. Elektron yörüngesini bükmek için genellikle elektron tabancasının buharlaşma hattının altına yerleştirilmesine izin veren bir manyetik alan uygulanır. Elektronlar odaklanabildiğinden, yüksek buharlaşma gücüne sahip, buharlaşacak olan malzemenin üzerinde lokalize bir ısıtma elde etmek mümkündür. Bu, buharlaşma oranının düşük ila çok yüksek değerlerden ve hepsinden önemlisi, yüksek erime noktalı (W, Ta, C, vb.) Materyallerin biriktirme şansının kontrol edilmesini sağlar. Vakum buharlaştırmanın avantajları:

- Yüksek saflıkta filmler yüksek saflıkta kaynak malzemedenden biriktirilebilir.
- Buharlaşacak malzeme kaynağı, herhangi bir biçimde ve saflıkta bir katı olabilir.
- Biriktirme hızı izleme ve kontrolü nispeten kolaydır.
- PVD işlemlerinin en ucuzudur.

Vakum buharlaşmasının dezavantajları:

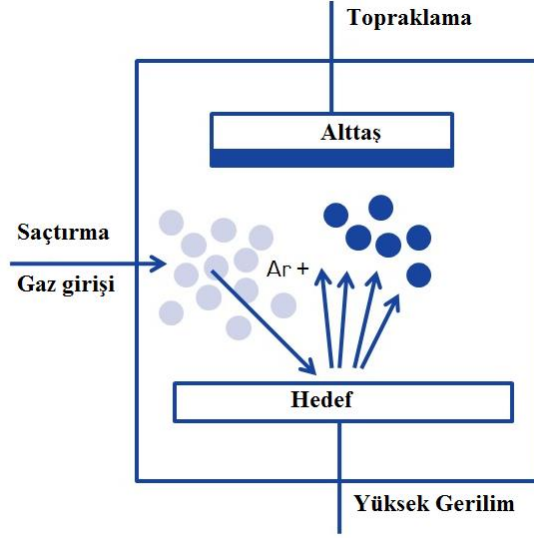
- Birçok bileşik ve alaşım bileşimi, sadece zorlukla bırakılabilir.
- Görüş hattı ve sınırlı alan kaynakları, uygun bir sabitleme ve hareket olmadıkça, karmaşık yüzeylerde zayıf yüzey kaplamaya neden olur.
- Film özellik kontrolü için birkaç işlem değişkeni mevcuttur.
- Material Kaynak malzeme kullanımı düşük olabilir.
- Sıcak kaynak ile alt tabaka arasında kayda değer bir mesafe olması için genellikle büyük hacimli vakum odaları gerekir.

Vakumlu buharlaştırma, yüksek ve düşük kırılma malzemeleri indeksi, ayna kaplamalar, dekoratif kaplamalar, esnek ambalaj malzemeleri üzerindeki geçirgenlik engelleyici filmler, elektriksel olarak iletken filmler ve korozyon koruyucu kaplamalar kullanılarak optik girişim kaplamaları oluşturmak için kullanılır.

3.2.2. Saçtırma Yöntemi

Saçtırma biriktirme, ince filmlerin püskürtme yoluyla biriktirme yöntemleridir. Malzemeyi silikon gofret gibi bir “substrat” üzerine bir kaynak olan bir “hedeften” atmayı içerirler. Hedeften atılan püskürtülmüş atomlar, tipik olarak onlarca eV'ye kadar geniş bir enerji dağılımına sahiptir. Püskürtülen iyonlar (tipik olarak sadece küçük bir fraksiyon - dışarı atılan partiküllerin% 1'i - iyonize edilir) balistik olarak hedeften düz çizgiler halinde uçabilir ve altaşlar üzerinde enerjik olarak etkileyebilir. Püskürtme gazı genellikle argon gibi etkisiz bir gazdır. Verimli momentum transferi için, püskürtme gazının atom ağırlığı hedefin atom ağırlığına yakın olmalıdır, bu nedenle hafif elementlerin püskürtülmesi için neon tercih edilirken ağır elementler için kripton veya

ksenon kullanılır. Bileşik, işlem parametrelerine bağlı olarak hedef yüzeyde, uçakta veya yüzey üzerinde oluşturulabilir.



Şekil 3.9 Saçtırma sisteminin şematik gösterimi

Magnetron saçtırma, saçtırma biriktirme için en yaygın kullanılan yöntemdir. Hedef olarak bilinen magnetronun yüzeyine yakın elektronları yakalamak için genellikle güçlü bir elektrik ve manyetik alan kullanır. Elektronlar, manyetik alan çizgileri etrafındaki sarmal yolları izleyerek hedef yüzeyin yakınında gaz nötrleri ile aksi durumda meydana gelenden daha fazla iyonize edici çarpışmalar geçirir. Bu çarpışmalar sonucunda oluşan ekstra argon iyonları daha yüksek bir birikme oranına yol açar. Ayrıca, plazmanın daha düşük bir basınçta muhafaza edilebileceği anlamına gelir. Saçtırılan atomlar nötr olarak yüklenmiştir ve bu nedenle manyetik tuzaktan etkilenmezler. Saçtırma biriktirmenin avantajları:

- Elementler, alaşımlar ve bileşikler saçtırılır ve biriktirilebilir. Saçtırma hedefi, kararlı, uzun ömürlü bir buharlaşma kaynağı sağlar.
- Bazı yapılandırmalarda, Saçtırma kaynağı bir çizgi veya bir çubuğun veya silindirin yüzeyi gibi tanımlanmış bir şekil olabilir.
- Bazı yapılandırmalarda, reaktif çökeltme, plazma içinde aktive olan reaktif gaz türlerini kullanarak kolayca gerçekleştirilebilir.
- Biriktirme işleminde çok az radyant ısı vardır. Kaynak ve alt tabaka birbirine yakın yerleştirilebilir. Saçtırma biriktirme haznesi küçük bir hacme sahip olabilir.

Saçtırma birikiminin dezavantajları:

- Saçtırma oranları, termal buharlaştırmada elde edilebilecek oranlara göre düşüktür.
- Birçok yapılandırmada, biriktirme akısı dağılımı düzgün değildir ve düzgün kalınlıkta filmler elde etmek için hareketli sabitleme gerektirir.
- Saçtırma hedefleri genellikle pahalıdır ve malzeme kullanımı zayıf olabilir.
- Hedefte meydana gelen enerjinin çoğu, kaldırılması gereken ısıya dönüşür.
- Bazı durumlarda, gaz halindeki kirletici maddeler plazmada "aktive edilir", bu da film kirliliğini vakum buharlaşmasından daha fazla bir problem haline getirir.
- Reaktif saçtırma birikiminde, saçtırma hedefinin zehirlenmesini önlemek için gaz bileşimi dikkatlice kontrol edilmelidir.

Saçtırma biriktirme, yarı iletken malzemede ince film metalizasyonu, mimari cam kaplamalar, polimerler üzerine yansıtıcı kaplama, depolama ortamı için manyetik filmler, cam üzerinde şeffaf elektriksel olarak iletken filmler ve esnek ağlar, kuru film yağlayıcılar, aletlerde aşınmaya dayanıklı kaplama oluşturmak için yaygın olarak kullanılmaktadır.

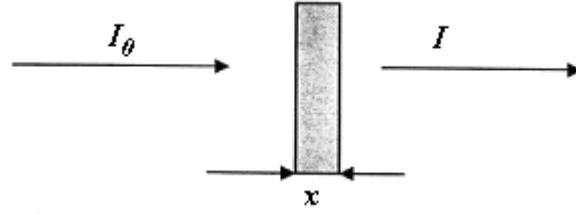
3.3. Malzemelerin Optik Özellikleri

3.3.1. Soğurma

Soğurma, elektrik yüklü yüklü parçacıklarla etkileşime girerek bir kristal düzlemine gelen bir elektromanyetik dalganın enerji kaybı olarak adlandırılır. Yarı iletkenlerin yasak enerji bandı aralığını belirlemek için en yaygın kullanılan yöntem optik soğurma yöntemidir. Bir yarı iletkene gelen bir foton, soğurma işleminde bir elektronu düşük enerji seviyesinden yüksek enerji seviyesine ulaştırır. Kalınlığı x olan ince bir filme önderilen ve filminden geçen ışık arasındaki bağıntı

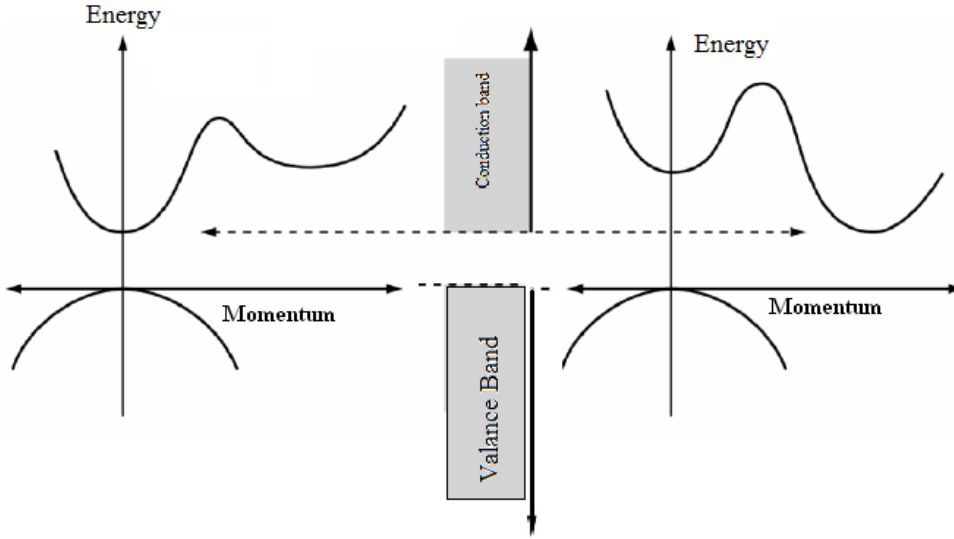
$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad 3.6$$

Olarak ifade edilir. Burada I_0 gelen ışığı, I filminden geçen ışık yoğunluğunu, x film kalınlığını ve α kullanılan malzemenin optik soğurma katsayısıdır.



Şekil 3.10 İnce filmde soğurma olayı

Kristal ve amorf yarı iletkenlerde iki tür bant geçişi vardır. Bunlar doğrudan ve dolaylı bant geçişidir ve Şekil 3.11'de gösterilmiştir. Doğrudan geçiş durumu, minimum değerlik bandının momentumu, iletken bant momentumu ile aynı olduğunda meydana gelir. Şekil 3.10'da elektron, momentum değerinde bir değişiklik yapmadan bir fotonu soğurur ve değerlik bandından fotondan alınan enerjiyle iletim bandına iletir.



Şekil 3.11 Bant boşluğu ile doğrudan ve dolaylı geçişlerin gösterimi

Minimum değerlik bandı enerjisi, dolaylı bir bant boşluğuna sahip olan malzeme için iletken bant maksimum enerjisinden farklıdır. İletim bandındaki elektronlar hızla minimum bant enerjisine düşer. Aynı şekilde, holler değerlik bandının maksimumuna ulaşır. Bu nedenle, elektronların ve hollerin momentumu bir doğrudan geçiş yarı iletken için aynıdır, dolaylı geçiş yarı iletken için de aynı değildir. Bu sonuç, azınlık yük taşıyıcıların ömrü ve optik özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

3.3.1.1. Doğrudan Geçişler

Enerjisi $h\nu$ olan bir foton bir doğrudan bant aralığı yarı iletkenine geldiğinde, bir elektron, değerlik bandından iletkenlik bandına atlar. E_i yarı iletkende elektronun ilk durumunu ve E_s son enerji durumunu ifade eder. Bu nedenle, enerji farkı,

$$h\nu = E_s - E_i \quad 3.7$$

denklemleri ile verilir. Parabolik bantta

$$E_s - E_g = \frac{p^2}{2m_e^*} \quad 3.8$$

ve

$$E_i = \frac{p^2}{2m_h^*} \quad 3.9$$

Türetilir. Burada m_e^* elektronun etkin kütlesi ve m_h^* holün etkin kütlesidir. Bu denklemler düzenlendiğinde

$$h\nu - E_g = \frac{p^2}{2} \left(\frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*} \right) \quad 3.10$$

elde edilir. Doğrudan geçişlerde α ve $h\nu$ arasındaki bağıntı

$$\alpha h\nu \approx A(h\nu - E_g)^m \quad 3.11$$

Denklemleri ile ifade edilir. Burada A sabit sayıyı, m doğrudan izinli geçişler için 1/2 ve doğrudan izinsiz geçişler için 3/2 değerine sahip sabit sayısını ifade eder.

3.3.1.2 Dolaylı band geçişleri

Değerlik bandının maksimumundaki elektronlarının momentumu ve iletkenlik bandı minimumundan farklı olduğundan dolayı, elektronların momentumlarının korunması için, foton soğurma olayı ilave parçacıklar içermelidir. Bu durumda, momentumun korunumu için bir fonon soğurulması veya emisyonu gereklidir. Fonon soğurma katsayısı

$$\alpha_s(h\nu) = \frac{K(h\nu - E_g + E_{ph})^m}{\exp(E_{ph}/kT) - 1} \quad 3.12$$

ve

$$\alpha_e(h\nu) = \frac{K(h\nu - E_g + E_{ph})^m}{1 - \exp(-E_{ph}/kT)} \quad 3.13$$

Olarak yazılabilir. Burada α_s soğurma katsayısı, ve α_e emisyon katsayısıdır. E_{ph} foton enerjisidir. Bu iki olasılığı

$$\alpha(h\nu) = \alpha_s(h\nu) + \alpha_e(h\nu) \quad 3.14$$

Şeklinde yazabiliriz. Tekrar bir düzenleme ile denklem aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\alpha(h\nu) = \frac{K(h\nu - E_g + E_{ph})^m}{\exp(E_{ph}/kT) - 1} + \frac{K(h\nu - E_g + E_{ph})^m}{1 - \exp(-E_{ph}/kT)} \quad 3.15$$

Burada m 2 için izinli ve 3 için yasak geçişleri ifade eden sabit sayıdır.

3.3.2. Geçirgenlik

Geçirgenlik, numune üzerindeki ışık yoğunluğunun, numuneden geçen ve denklem ile ifade edilen ışığın yoğunluğuna oranı olarak tanımlanır.

$$T = \frac{I}{I_0} \quad 3.16$$

Bir ortamdan hem iletim hem de geçiş ortamın kırılma indisine ve soğurma özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle etkileşimler her zaman zorunlu değildir, yansımaya ve soğurma olarak sınıflandırılmaz. Geçiş, gazların soğurulması ile açıkça görülür (reaktör duvarından yansımalar hariç) (Herman, 1996).

Optik soğurma katsayısı ve özellikli safsızlıkları belirlemek için optik geçirgenlik veya soğurma ölçümleri kullanılır. Sığ seviye kirlilikleri optik ölçümlere

karşılık gelir. Bazı kirlilikler, titreşim modu nedeniyle karakteristik soğurma çizgilerine sahiptir; silikondaki oksijen ve karbon gibi. Yarı iletkendeki soğurulmuş fotonlardan biri, belirli safsızlıkların çevresinde yerel titreşim modları üreterek ani çevresel değişiklikler yapabilir. Geçirgenlik ölçümleri sırasında ışık numuneye gelir ve geçirgenlik dalga boyunun bir fonksiyonu olarak ölçülür. Numunenin yansıma katsayısı, R, soğurma katsayısı, α , karmaşık kırılma indisi n_1-jk_1 ve x kalınlığı belirtilir. Sönme katsayısı bağımlı soğurma katsayısı aşağıdaki gibidir.

$$\alpha=4\frac{\pi k_1}{\lambda} \quad 3.17$$

Yarı iletken bant boşluğu, gelen foton enerjisinin bir fonksiyonu olarak soğurma katsayısının ölçülmesiyle bulunabilir. Işık, bant aralığı enerjisinden daha büyük bir enerji tarafından soğrulur. Bununla birlikte, bant aralığının (E_g) yakınındaki optik soğurma $h\nu$, miktarın makul olduğu için düşüktür. Yarı iletkenler genellikle enerji bandı boşluk enerjisinden daha düşük fotonlara ($\alpha \approx 0$) karşı şeffaftır.

Kirlilikler yarı iletken bir numunede soğurma gösterebilir. Yoğunlukları, belirli dalga boylarında emme katsayısı ile orantılıdır. Geçirgenlik ve soğurma arasındaki ilişki şöyledir:

$$A = -\log T \quad 3.18$$

Soğurma katsayısı ile yansıma katsayısı ve geçirgenlik arasındaki ilişki

$$\alpha = \frac{1}{x} \ln \left\{ \frac{(1-R)^2}{2T} + \left[\frac{(1-R)^4}{4T^2} + R^2 \right]^{1/2} \right\} \quad 3.19$$

Olarak yazılır. Burada R yansımadır. Yarı iletken malzemedeki ışıkla etkileşimlerden biri ışık kırılmasıdır. Kırılma, malzemedan geçerken yarı iletken malzemedeki ışığın yönünü değiştirmektir. Yarı iletken malzeme için karmaşık kırılma indisi (n);

$$n = n_0 - ik \quad 3.20$$

Burada n_0 kırılma indisinin reel kısmı, k sanal kısmını ifade etmekte ve sönümleme katsayısı olarak anılmaktadır. Kırılma indisi yansıma terimleri cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$n_0 = \frac{1+R}{1-R} + \sqrt{\frac{4R}{(1-R)^2} - k^2} \quad 3.21$$

Bir yarı iletken malzemenin kırılma indisi ışığın dalga boyunun bir fonksiyonudur. Yüksek kırılma indisine sahip yarı iletken malzemeler daha fazla yansıma özelliğine sahip olacaktır. Atom numarası arttığında, elektron sayısındaki artış ve artan polarizasyon nedeniyle fotonlar daha fazla kırılmaya maruz kalır. Bu nedenle, yarı iletken malzemelerin kırılma indisi ile dielektrik sabiti arasında bir ilişki vardır.

Yarı iletken malzemenin karmaşık dielektrik sabiti (ϵ),

$$\epsilon = \epsilon_1 + i\epsilon_2 \quad 3.22$$

denklem tarafından verilir. Yarı iletken optik ölçümler, bir malzemenin yansıma katsayısı, kırılma indisi ve sönme katsayısının bir sonucu olarak yapılır, ancak dielektrik sabiti ϵ doğrudan ölçülemez. Dielektrik sabiti ϵ ile kırılma indeksi n arasındaki ilişki olarak verilmiştir.

$$n = \sqrt{\epsilon} \quad 3.23$$

Dielektrik sabitinin gerçek kısmı,

$$\epsilon_1 = n^2 - k^2 \quad 3.24$$

ve denklemin sanal kısmı aşağıdaki gibi ifade edilebilir

$$\epsilon = 2nk \quad 3.25$$

3.4 Deneysel İşlemler

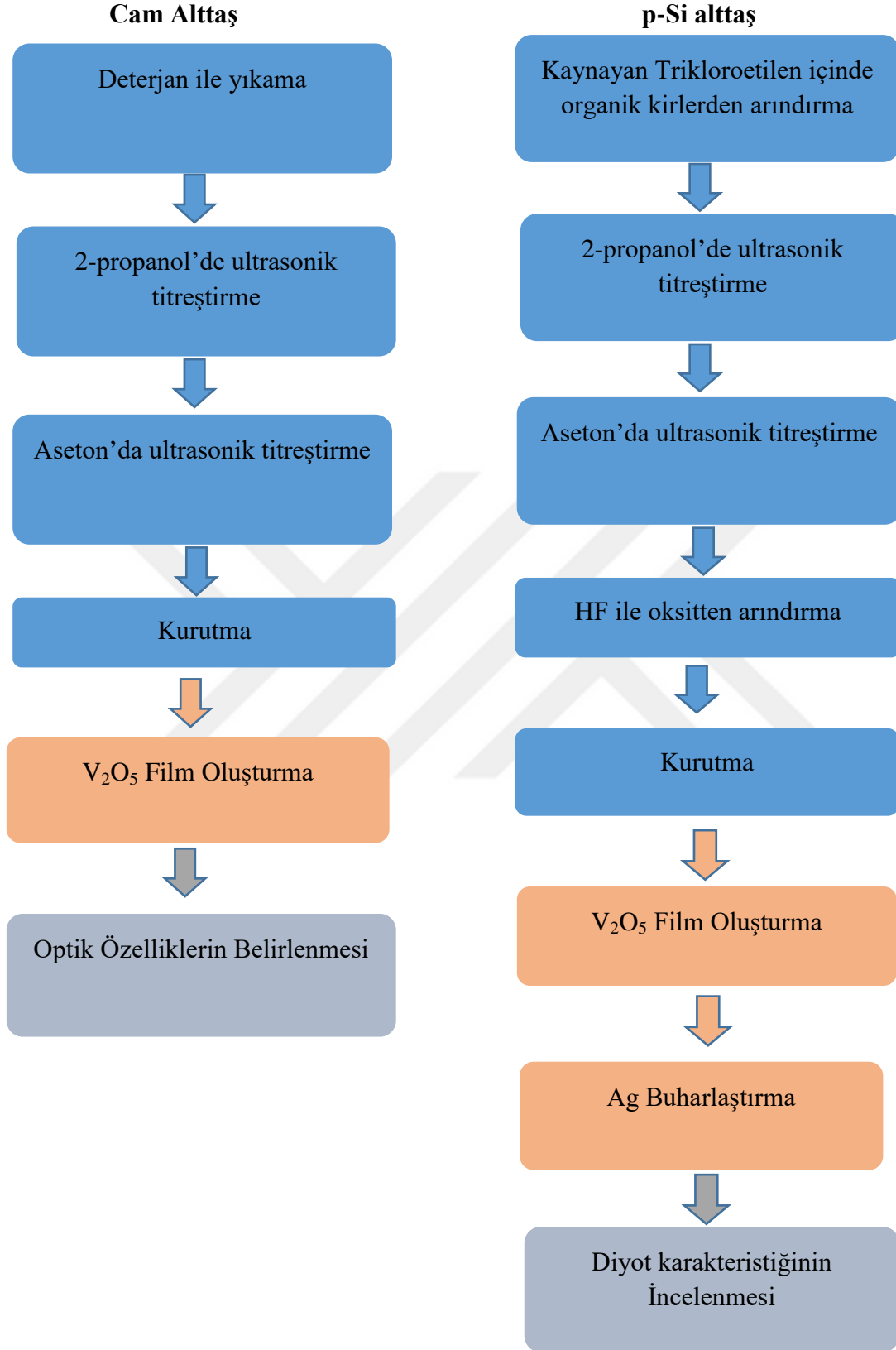
Bu tez çalışmasında, V_2O_5 ince filmlerin reaktif saçırtma yöntemi ile biriktirilmesi ve bu filmlerin aygıt üretiminde kullanılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, önce Vanadyum (V) metali hedef ve O_2 gazı reaktif gaz olarak kullanılarak V_2O_5 ince filmleri oluşturulmuş, optik özellikleri belirlenmiştir. Ardından, $Ag/V_2O_5/p-Si$ yapısı oluşturulmuş ve bu yapının elektriksel özellikleri akım-gerilim ve kapasite gerilim özellikleri ile belirlenmiştir.

Tezin bu basamağında tez çalışmasında gerçekleştirilen işlemler Şekil 3.11'de gösterilmiş olup, sırasıyla detaylandırılacaktır.

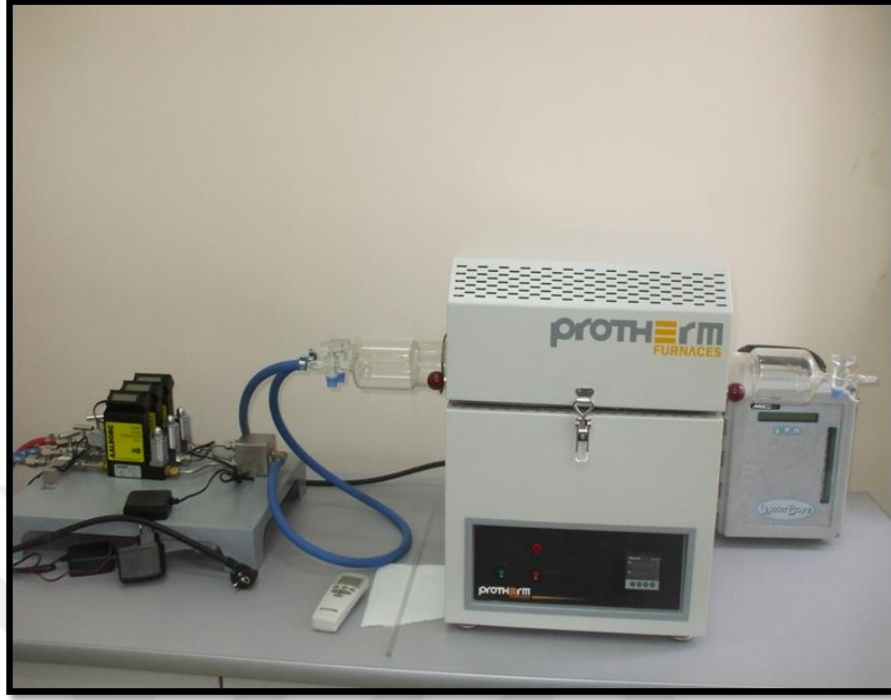
3.4.1. Temizlik işlemleri ve Omik kontaktların oluşturulması

Bu tez çalışmasında ince filmlerin optik özelliklerinin belirlenmesi için soda kireç camı olarak isimlendirilen cam alttaşlar ve aygıt üretimi için tek tarafı parlatılmış, (100) yönelimine sahip ve $1-10 \Omega\text{cm}$ öz dirençli p tipi Silisyum yarıiletken kullanılmıştır. Cam alttaşlar önce deterjan ile temizlenmiş, ardından 2-propanol ve aseton içerisinde 5'er dakika ultrasonik banyoda titreştirilmiştir. Ardından $18.2 M\Omega$ dirençli deionize su ile yıkanıp, azot ortamında kurutulmuştur. Diğer yandan p-Si yarıiletkeni kaynayan trikloroetilen içerisinde 5 dakika tutularak üzerinde mevcut organik kirlere arındırılmıştır. Ardından, p-Si alttaş 2-propanol ve aseton içerisinde 5'er dakika ultrasonik banyoda titreştirilmiştir, deionize su ile yıkanmıştır. Silisyum yüzeydeki doğal oksit tabakasının uzaklaştırılabilmesi için %0.4 HF çözeltilisine 30 saniye daldırılmıştır. Organik kirlere ve doğal oksit tabasından arındırılan p-Si deionize su ile yıkanmış ve azot ortamında kurutulmuş ve omik kontak oluşumuna hazır hale getirilmiştir.

Temizlenen ve kurutulan p-Si yarıiletkeninin parlatılmamış tarafına yüksek vakum altından Al metali buharlaştırılmış, p-Si/Al yapısı 570 C 'de 3 dakika azot ortamında tavllanmış ve omik p-Si/Al yapısı elde edilmiştir.



Şekil 3.12 Yapılan deneysel işlemlerin gösterimi



Şekil 3.13 Tavlama işlemi için kullanılan yüksek sıcaklık fırını

3.4.2 V₂O₅ ince filmlerin oluşturulması

V₂O₅ ince filmlerinin oluşturulması Dicle Üniversitesinde bulunan Nanovak NVTS-400 vakum sisteminde gerçekleştirilmiştir. Saçırma işlemi esnasında V metal hedef V kaynağı olarak kullanılırken, O₂ gazı reaktif gaz olarak kullanılmıştır. Vakum sistemi 10⁻⁶ Torr basınç değerine düştükten sonra, sisteme Ar gazı gönderilmiş ve 10 mTorr'da plazma oluşturulmuştur. Ar akış hızı 4 ccm ve hedefe uygulanan güç 100 W olarak sabitlenmiştir. %20 O₂ gaz akışı esnasında reaktif saçırma işlemi gerçekleştirilmiş ve saçırma işlemi 10 dakika devam etmiştir. Saçırma işlemi oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Saçırma işleminin ardından film kalitesini arttırmak için oluşturulan filmler hava ortamında 500 °C 'de 1 saat tavlannmıştır.

3.4.3. Doğrultucu kontağın oluşturulması ve analizlerin gerçekleştirilmesi

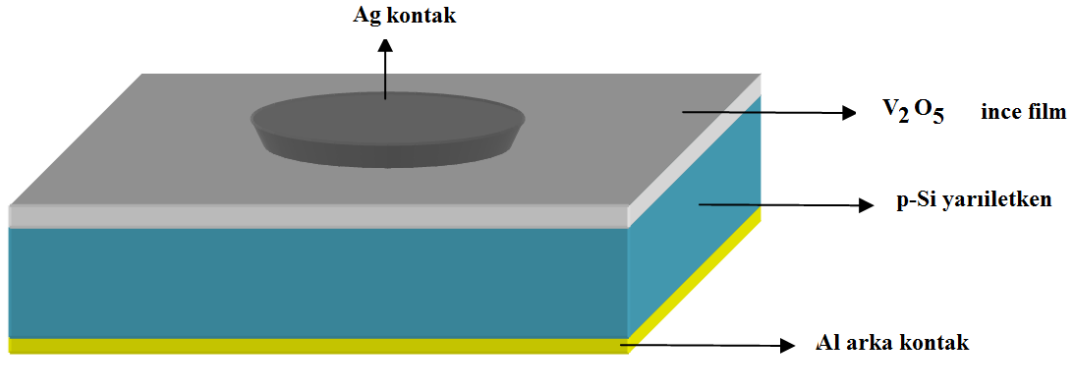
Ag metali oluşturulan V₂O₅/p-Si yapı üzerine yine Nanovak firmasına ait termal buharlaştırma vakum sistemi ile buharlaştırılmıştır. Buharlaştırma esnasında kontakların çapı 1.5 mm olacak şekilde gölge maske kullanılmıştır. Oluşturulan yapının şematik gösterimi Şekil 3.14'de verilmiştir.



Şekil 3.14. Nanovak NVTS 400 vakum sistemi

Ag/V₂O₅/p-Si yapının akım-gerilim özellikleri Keitley 2400 sourcemeter yardımı ile belirlenmiştir. Işık altında akım-gerilim ölçümleri AM1.5 global filtreye sahip Oriel marka güneş simülatörü altında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yapının kapasite-gerilim ölçümleri Agilent firmasına ait 4294A model empedans analizörü ile belirlenmiştir.

Son olarak cam üzerine oluşturulmuş ince filmlerin optik özellikleri Perkin Elmer Lambda 25 model uv-vis spektrofotometre ile belirlenmiştir.



Şekil 3.15. Ag/V₂O₅/p-Si diyotunun şematik gösterimi



Şekil 3.16. Oriel marka güneş simülatörü içeren akım-gerilim ölçüm sistemi



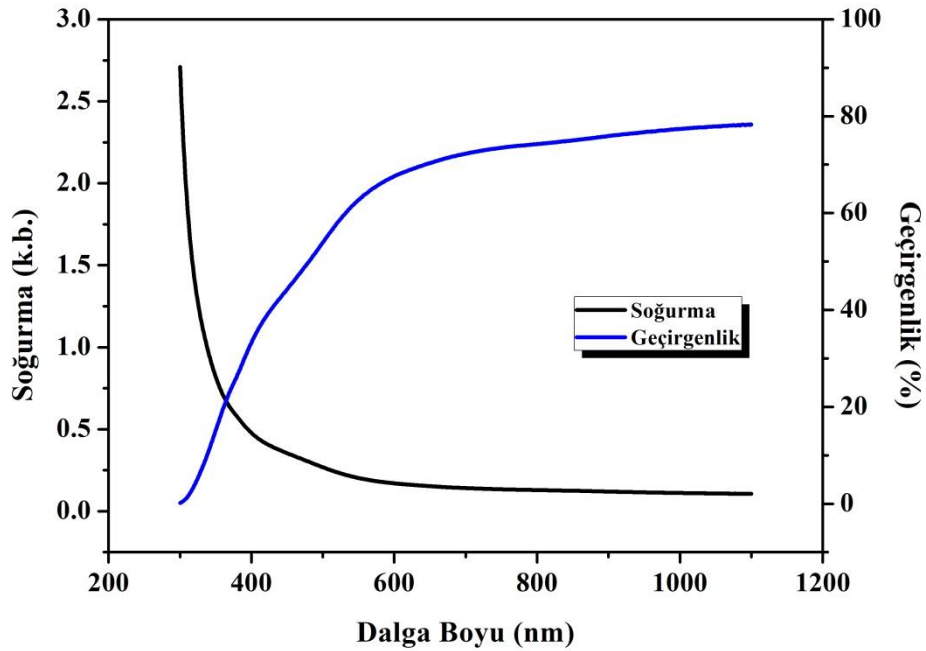
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Giriş

Bu bölümde çalışmanın deneysel sonuçları verilecektir. İlk olarak, cam üzerine biriktirilmiş V_2O_5 ince filminin optik özellikleri analiz edilecektir. Ardından, $Ag/V_2O_5/p-Si$ MIS aygıtının elektriksel özellikleri akım-gerilim ve kapasite gerilim ölçümleri yardımı ile incelenecektir. Son olarak, ışık yoğunluğunun diyotun fotoelektrik parametreleri üzerindeki etkisi incelenecektir.

4.2. V_2O_5 İnce Filminin Optik Özellikleri

Reaktif olarak saçırlanmış V_2O_5 ince filminin optik özelliklerini belirlemek için UV-Vis spektrumları kullanılmıştır. Optik özelliklerin incelenmesi için filmler cam üzerine biriktirildi. Bu filmlerin dalga boyuna karşı soğurma ve geçirgenlik grafikleri Şekil 4.1’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi V_2O_5 ince filminin geçirgenliği görünür bölgede artmakta ve 550-600 nm aralığından sonra bu artışta azalma görülmektedir. İnce filmin en yüksek geçirgenlik değeri % 79 olarak ölçülmüştür. Tersine, ince filmin



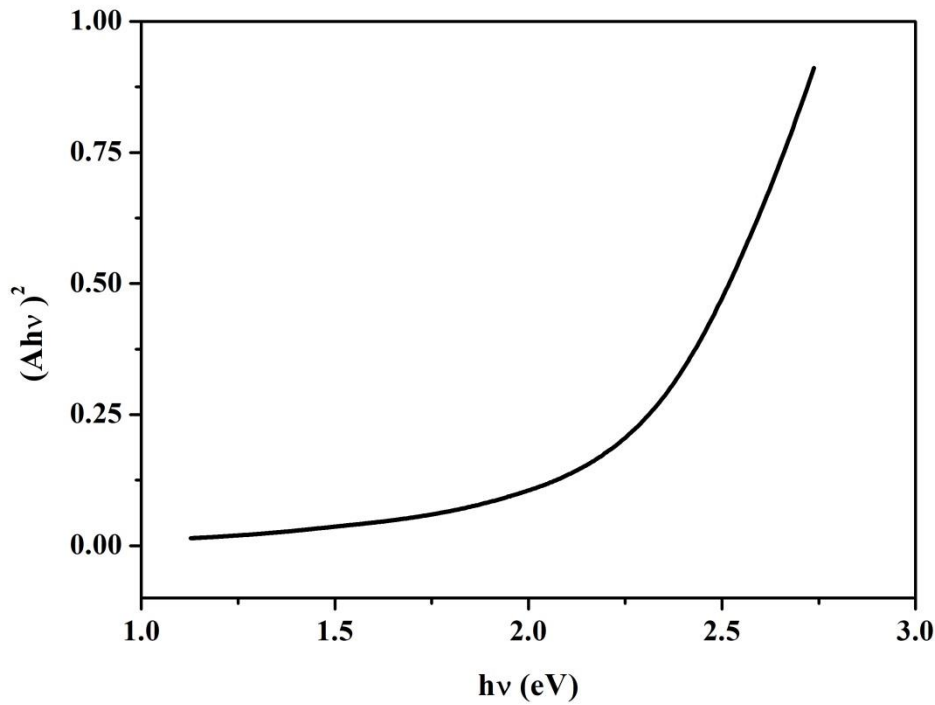
Şekil 4.1. V_2O_5 filminin soğurma-dalga boyu ve geçirgenlik-dalga boyu grafikleri

soğurması UV bölgede dalga boyu artışı ile hızlı bir şekilde azalmış ve yaklaşık 600 nm dalga boyundan sonra neredeyse sabit hale gelmiştir.

Oluşturulan ince filmin optik band aralığı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir.

$$\alpha hv = B(hv - E_g)^m \quad 4.1$$

Burada α soğurma katsayısı, B sabit sayısı, h Plank sabiti, m doğrudan band aralığı için $\frac{1}{2}$ e dolaylı band aralığı için 2 değerine sahip sayıdır. V_2O_5 doğrudan band aralığına sahip olduğundan, bu denklemde m yerine $\frac{1}{2}$ alınmıştır. Denklem 4.1 ve $(Ahv)^2-hv$ eğrisi kullanılarak ince filmin band aralığı hesaplanmıştır. Şekil 4.2’de gösterilen grafiğin lineer bölgesinin x (hv) eksenine ile kesiştiği noktadan band aralığı 2.1 eV olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.2. V_2O_5 ince filmine ait $(Ahv)^2-hv$ eğrisi

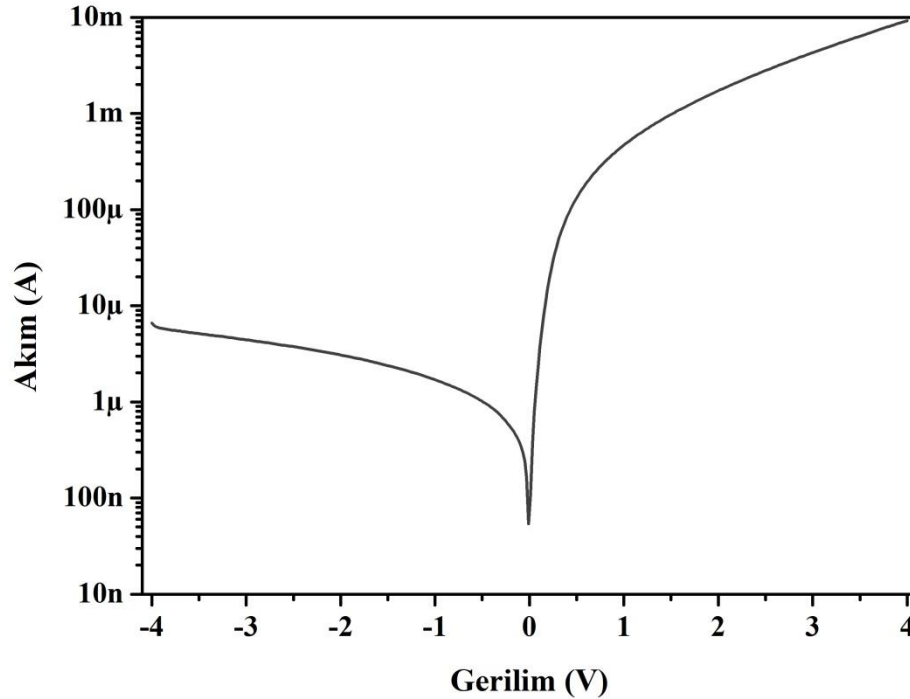
4.3. Ag/V₂O₅/p-Si Yapısının Akım-gerilim özellikleri

Şekil 4.3’de Ag/V₂O₅/p-Si yapısının akım-gerilim (I-V) ölçüm sonuçları verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi oluşturulan yapı mükemmel bir doğrultma özelliğine sahiptir. Ag/V₂O₅/p-Si yapısının doğrultma oranı 4 V doğru beslemde elde edilen akım değerinin -4V ters beslemde elde edilen akıma oranından 1400 olarak hesaplanmıştır. Seri direnç göz önüne alındığında her hangi bir diyota bir potansiyel uygulandığında bu diyottan geçen akım (Rhoderick, 1978)

$$I = I_0 \exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{nkT}\right) \quad 4.2$$

Olarak verilir. Burada q elektron yükü, V uygulanan gerilim, R_s diyotun seri direnci, n boyutsuz idealite faktörü, k Boltzmann sabiti, T mutlak sıcaklık ve I_0 doyma akımıdır. Doyma akımı

$$I_0 = SA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_b}{kT}\right) \quad 4.3$$



Şekil 4.3. Ag/V₂O₅/p-Si MIS diyotunun karanlıktaki lnI-V grafiği

Denklemleri ile ifade edilir. Burada S diyot alanı, A^* Richardson sabiti ve Φ_b engel yüksekliğidir. Bir diyotun idealite faktörü, doğru beslem akım-gerilim grafiğinin lineer kısmının eğiminden

$$n = \frac{q}{kT} \frac{dV}{d \ln(I)} \quad 4.4$$

Denklemleri yardımı ile bulunur. Ag/V₂O₅/p-Si diyotunun karanlıkta 300 K sıcaklıkta idealite faktörü, Şekil 4.3'te verilen grafiğin lineer kısmının eğimi ve denklem 4.4 kullanılarak 1.58 olarak hesaplanmıştır. Yapının elektriksel özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. İdeal bir diyotun idealite faktörü 1 olmalıdır. Bu değerden yüksek değerler diyotun idealden uzaklaştığını göstermektedir. İdealite faktörünün 1'den büyük olması, p-Si yarıiletken üzerinde fabrikasyon esnasında oluşmuş olabilecek istenmeyen oksit doğal oksit tabakanın varlığına, ara yüzey durumlarının varlığına ve yapının seri direncinin etkisinden kaynaklandığı söylenebilir.

Ag/V₂O₅/p-Si diyotunun engel yüksekliği $\ln I$ - V eğrisinin I eksenini kestiği noktadan elde edilen I_0 doyma akım değerinin

$$\phi_b = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{AA^*T^2}{I_0} \right) \quad 4.5$$

denkleminde yerine kullanılması ile 0.68 eV olarak hesaplanmıştır. Klasik Ag/p-Si Schottky diyotunun engel yüksekliği 0.62 eV olduğu rapor edilmiştir (Acar ve ark. 2004). Bu durum V₂O₅ ara tabakasının klasik Ag/p-Si Schottky diyotunun engel yüksekliğini arttırdığını ve yapının MIS diyot karakteristiğine sahip olduğunu göstermektedir.

Balaram ve arkadaşları (2016), n-tipi InP yarıiletkeni üzerine yüksek dielektrik sabiti olan ZrO₂ ince filmleri oluşturmuş ve ardından Au elektrotu ile Au/ZrO₂/n-InP MIS diyotu elde etmişlerdir. Önce oluşturulan ZrO₂ ince filminin yapısal, kimyasal ve

Çizelge 4.1. Ag/V₂O₅/n-Si diyotunun oda sıcaklığında bazı elektriksel özellikleri

lnI-V		Norde				C-V	
n	ϕ_b (eV)	$F(V_0)$	V_0	ϕ_b (eV)	R_S (Ω)	ϕ_b (eV)	N_v (cm^{-3})
1.58	0.68	0.65	0.13	0.70	1953	0.762	9.24×10^{10}

elektriksel özellikleri incelenmiş, ardından Au/ZrO₂/n-InP MIS diyotunun elektriksel özellikleri I-V ve C-V verileri yardımı ile incelenmiştir. Sonuçlar, Au/ZrO₂/n-InP metal yalıtkan-yarı iletken (MIS) diyot için, Au/n-InP metal-yarı iletken (MS) diyot ile karşılaştırıldığında daha yüksek engel yüksekliğinin elde edildiğini göstermektedir. Cheung'in fonksiyonlarını kullanarak, bariyer yüksekliği, idealite faktörü ve seri direnç, MS ve MIS diyotları için hesaplanmıştır. Benzer bir şekilde, Güllü ve arkadaşları (2012), organik boya (PSP) ara tabakası kullanarak Cu/n-InP Schottky diyotunu üretmiştir. Yapılan analizlerde Cu/PSP/n-InP Schottky diyotlar için engel yüksekliğinin 0.82 eV olduğunu ve bu değerın klasik Cu/n-InP diyotunun engel yüksekliğinden 0.45 eV daha büyük olduğunu göstermiştir. Tezde ortaya konulan sonuçlar literatür bilgisi dikkate alındığında, MIS yapılarda kullanılan ara tabakaların MS yapıların elektriksel özellikleri üzerine doğrudan etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Şekil 4.3'de verilen akım-gerilim grafiğinin yüksek gerilimlerde lineerlikten saptığı görülmektedir. Bu sapmanın temel kaynağı olarak yapının seri direnci gösterilebilir. Seri direncin, genel olarak kontak noktalarının direnci, V₂O₅ ince filminin ve p-Si yarıiletkenin direncinden kaynaklandığı söylenebilir. Ag/V₂O₅/p-Si diyotunun seri direncinin hesaplanmasında Norde tarafından önerilen metod kullanılabilir. Bu yöntemle göre Norde fonksiyonu (Norde, 1979)

$$F(V) = \frac{V}{2} - \frac{kT}{q} \left(\frac{I(V)}{AA^*T^2} \right) \quad 4.6$$

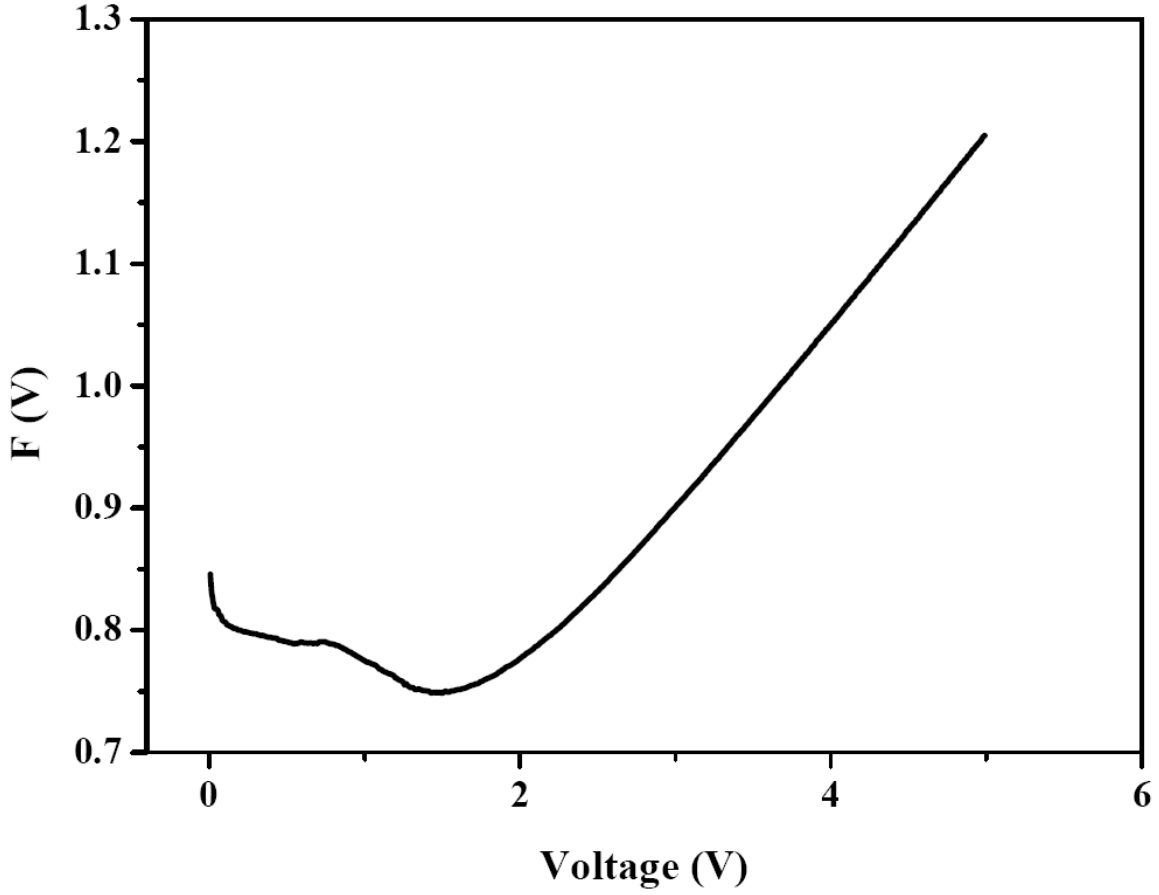
Olarak tanımlanmıştır. Bu denklemde $I(V)$ ifadesi I-V ölçümlerinden elde edilen akım değeridir. Bir diyotun engel yüksekliği F-V grafiğinin minimum noktası kullanılarak

$$\phi_b = F(V_0) + \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad 4.7$$

Denklemleri ile hesaplanır. Burada $F(V_0)$ değeri $F(V)$ eğrisinin en düşük değerini, V_0 ise bu değere karşılık gelen minimum gerilim değerini ifade eder. Ag/V₂O₅/p-Si diyotunun $F(V)$ - V eğrisi Şekil 4.4'de verilmiştir. Diyotun seri direnci Norde metodu kullanılarak

$$R_s = \frac{kT(\gamma - n)}{qI_{min}} \quad 4.8$$

Denklemleri ile hesaplanır. Bu denklemde I_{min} değeri V_0 değerine karşılık gelen akımdır.

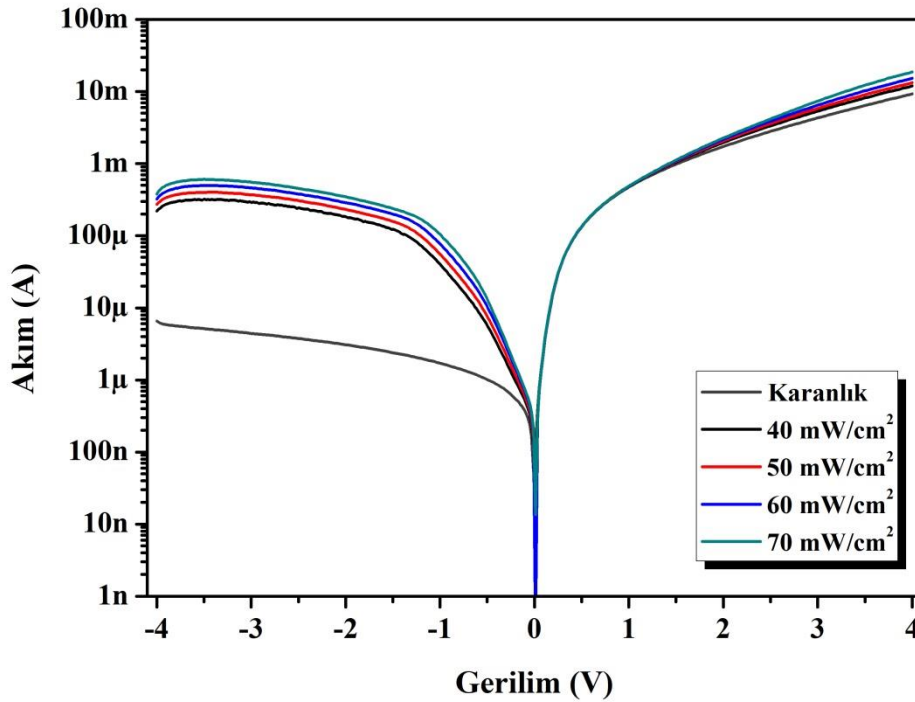


Şekil 4.4. Ag/V₂O₅/p-Si diyotunun Norde eğrisi

Ag/V₂O₅/p-Si diyotunun $F(V_0)$, V_0 , ϕ_b ve R_s değerleri ayrıca Tablo 4.1’de verilmiştir. Tablodan da görüleceği üzere Ag/V₂O₅/p-Si diyotunun engel yüksekliği Norde yöntemi ile 0.65 eV ve seri direnç değeri 1956 Ω olarak hesaplanmıştır. $\ln I-V$ grafiği ile elde edilen engel yüksekliği ile Norde yöntemi ile elde edilen engel yükseliği değerleri arasında 0.03 eV’luk bir fark vardır. Her ne kadar bu değer çok fazla olmasa bile, bu farklılığın nedeninin her iki yöntem arasındaki temel farklara ithaf edilebilir. I-V verileri ile yapılan hesaplamalarda, yalnızca $\ln I-V$ grafiğinin lineer kısmı kullanılırken, Norde metodunda tüm I-V verileri dikkate alınmakta ve hesaplamalar sadece F-V grafiğinin en düşük değerli noktası alınarak yapılmaktadır.

4.4. Ag/V₂O₅/p-Si Diyotunun Fotoelektriksel Özellikleri

Şekil 4.5’de Ag/V₂O₅/p-Si diyotunun hem karanlıkta hem de farklı ışık yoğunlukları altında ölçülen akım-gerilim grafiklerini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi, ışık yoğunluğu aygıtın fotoelektrik performansı üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. -4V’de farklı ışık yoğunluklarında diyotun ışığa duyarlılığı (ışıklı altında ölçülen akım değeri / karanlık akım değeri) Çizelge 4.2’de verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi, aygıtın ışığa karşı duyarlılığı ışık şiddetine bağlı olarak artmıştır. Bu özellik, aygıtın optik soğurmanın ardından elektron-hol çiftlerinin oluşumuna atfedilebilen fotodiyot özelliklerine sahip olduğunu göstermiştir. Daha önce gerçekleştirilen çeşitli MIS diyotları için benzer sonuçlar bildirilmiştir. Örneğin, Ocak ve arkadaşları (2013) bir metal /ara katman / yarı iletken (Al/enzim/p-Si) üretmiştir MIS cihazı, ince bir biyofilm ara katmanı olarak α -amilaz enzimi kullanılarak imal edilmiştir. 40 ila 100 mW /cm² aydınlatma koşullarında AM1.5 küresel filtreli bir güneş simülatörü altında yapının fotovoltaiik özelliklerini incelenmiştir. Bu çalışmada Al/enzim/p-Si MIS yapısının, klasik Al/p-Si MS diyot ile karşılaştırıldığında ışığa daha iyi yanıt verdiği rapor edilmiştir.



Şekil 4.5 Farklı ışık yoğunluklarında Ag/V₂O₅/p-Si diyotunun I-V grafikleri

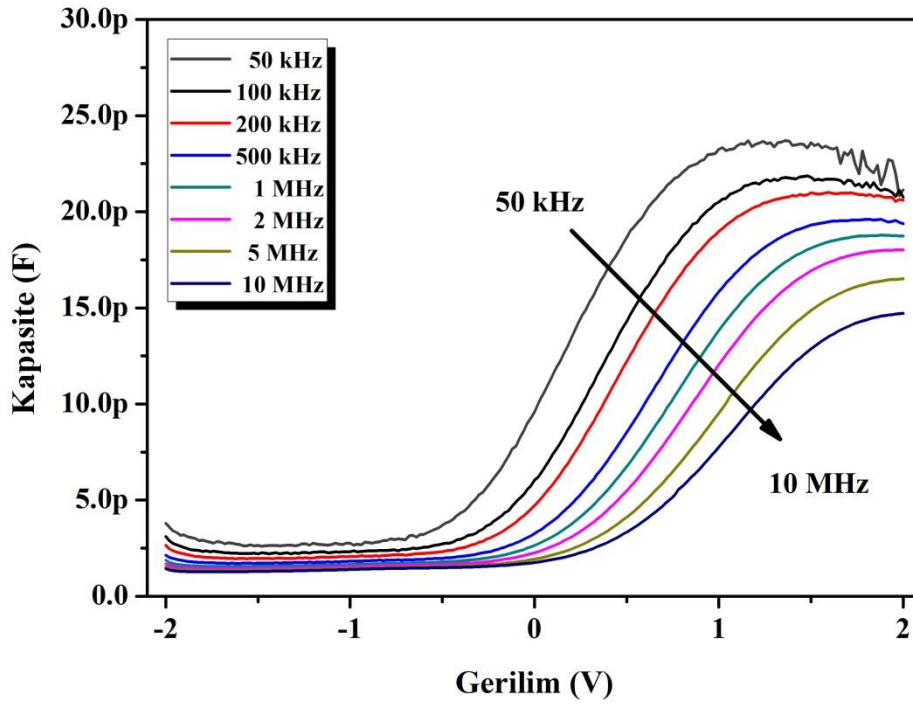
Çizelge 4.2. Ag/V₂O₅/n-Si MIS diyotunun oda sıcaklığında ışığa karşı duyarlılığı

Işık Yoğunluğu	Işığa Karşı Duyarlılık
40 mW/cm ²	889
60 mW/cm ²	2687
80 mW/cm ²	3884
100 mW/cm ²	5241

4.5. Ag/V₂O₅/p-Si Diyotunun Kapasite-Gerilim Özellikleri

Ag/V₂O₅/p-Si diyotunun farklı frekanslarda ölçülen kapasite-gerilim ölçümleri Şekil 4.6'da gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, yapının doğru beslem kapasite değeri, frekanslardaki artış ile azalmıştır. Bu, yeterince yüksek frekanslarda, arayüzdeki yük taşıyıcılarının AC sinyali artık takip edemeyeceği anlamına gelir. Bu durum, ara yüzey durumlarının yapının kapasitesi üzerindeki güçlü etkisini göstermiştir. Bir diyotun tüketim bölgesi kapasitesi (Sze, 2006)

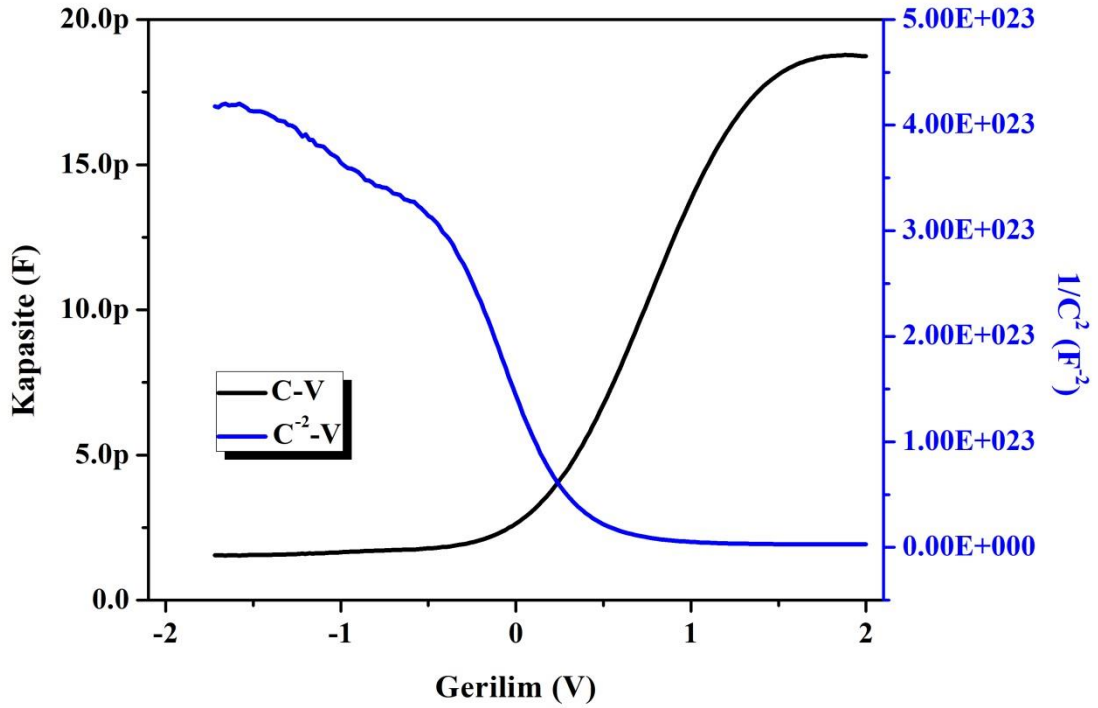
$$\frac{1}{C^2} = \frac{2(V_{bi} + V)}{q\epsilon_s A^2 N_a} \quad 4.9$$

**Şekil 4.6** Farklı frekanslarda Ag/V₂O₅/p-Si diyotunun C-V grafikleri

denklemleri ile verilir. Bu denklemlerde V_{bi} yerleşik potansiyel, ϵ_s yarıiletkenin dielektrik sabiti, N_a akseptör konsantrasyonudur. N_a ve V_{bi} değerleri V 'nin bir fonksiyonu olarak C^{-2} grafiğinden hesaplanır. Ag/V₂O₅/p-Si diyotunun yüksek frekansta (500 kHz) C-V ve C⁻²-V grafikleri Şekil 4.7'de verilmiştir. Yapının engel yüksekliği ise

$$\phi_b(C - V) = V_{bi} + V_p \quad 4.10$$

İle hesaplanır. Burada V_p , p-Si'nin nötr bölgesindeki değerlik bandının tepesi ile Fermi seviyesi arasındaki potansiyel farktır. Denklem 4.9 ve 4.10 kullanılarak Ag/V₂O₅/p-Si diyotunun akseptör konsantrasyonu ve engel yüksekliği sırasıyla $9.24 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ve 0.762 eV olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.7. Ag/V₂O₅/p-Si diyotunun 500 kHz'de C-V ve C⁻²-V grafikleri

Diyotun C-V verileri ile elde edilen engel yüksekliği değeri, I-V grafiğinden elde edilen değerden daha yüksektir. Farklı ölçümlerin doğası gereği, I-V ve C-V yöntemlerinden farklı ebge yükseklik değerleri hesaplanabilir. Bir diyotun kapasitesi, ara yüzeydeki potansiyel dalgalanmalara karşı duyarsız olup, C-V sonuçları tüm alan

ortalamasıdır. Öte yandan, ara yüzey üzerindeki akım üstel olarak engel yüksekliğine bağlıdır ve ara yüzey durum yoğunluklarına karşı oldukça hassastır.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, cam ve p-Si alttaşlar üzerine V_2O_5 ince filmleri reaktif saçtırma yöntemi ile biriktirilmiştir. V metal hedef vanadyum kaynağı ve yüksek saflıkta O_2 reaktif gaz olarak kullanılmıştır. Saçtırma işlemi esnasında O_2/Ar oranı %20'ye sabitlenmiş olup, V metal hedefe 100 W güç uygulanmış ve saçtırma işlemi 10 dakika sürmüştür. Saçtırma işleminden sonra film kalitesini arttırmak için, biriktirilen filmler 450 °C sıcaklıkta tavlannmıştır.

Cam üzerine biriktirilen filmler ile V_2O_5 filmlerin optik özellikleri belirlenmiştir. Bu amaçla V_2O_5 filmlerin geçirgenlik-dalga boyu ve soğurma-dalga boyu ölçümleri alınmıştır. Geçirgenlik-dalga boyu ölçümleri sonucunda ince filmlerin geçirgenliğinin 600 nm civarına kadar hızlı bir şekilde arttığı, 600 nm dalga boyundan sonra neredeyse sabit kalmıştır. Yapılan ölçümlerde en yüksek geçirgenlik değerinin %78 olduğu görülmüştür. Soğurma-dalga boyu verileri kullanılarak oluşturulan ince filmlerin band aralığının 2.1 eV değerine sahip olduğu görülmüştür. Hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler literatürde rapor edilen V_2O_5 band aralığı hesaplamaları ile uyumlu olduğu görülmüş, biriktirilen filmlerin V_2O_5 olduğu sorucuna varılmıştır.

Ardından $V_2O_5/p-Si$ üzerine Ag metali doğrultucu kontak olarak buharlaştırılmış ve $Ag/V_2O_5/p-Si$ yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan yapının oda sıcaklığında karanlıkta alınan akım-gerilim ($I-V$) ölçümlerinde doğrultucu diyot yapısına sahip olduğu görülmüştür. $Ag/V_2O_5/p-Si$ yapısının $\ln I-V$ grafiği yardımı ile idealite faktörü ve engel yükseklikleri sırasıyla 1.58 ve 0.68 eV olarak hesaplanmıştır. Norde tarafından geliştirilmiş denklemler kullanılarak bahsi geçen diyotun engel yüksekliği 0.70 eV ve seri direnci 1553 Ω olarak hesaplanmıştır. Her iki yöntemle elde edilen engel yükseklikleri arasındaki farkın kullanılan yöntemler arasındaki farktan kaynaklandığı düşünülmüştür. Diğer bir ifade ile $\ln I-V$ verileri ile yapılan hesaplamalarda grafiğin sadece lineer bölgesinin kullanılmakta iken Norde metodunda tüm doğru beslem bölgesi kullanılmaktadır.

$Ag/V_2O_5/p-Si$ diyotunun $I-V$ ölçümleri ayrıca 40, 60, 80 ve 100 mW/cm^2 ışık yoğunlukları altında tekrarlanmıştır. Bu ölçümlerde diyotun ters beslem akımının ışık şiddetinin artışı ile arttığı gözlemlenmiş ve -4V'taki akımların oranı ile ışığa karşı diyot duyarlılığı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda ışık şiddeti ile ters beslem akımının arttığı görülmüş ve bu durumun ara yüzeye ulaşan foton sayısının artışı ile ara yüzeyde daha fazla elektron-hol çiftinin oluşmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Son olarak Ag/V₂O₅/p-Si diyotunun kapasite-gerilim (C-V) ölçümleri 50 kHz ile 10 MHz arasındaki farklı frekanslarda ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde frekans artışı ile doğru beslem kapasite değerlerinin azaldığı görülmüştür. Bu durumda ara yüzey durumlarının yüksek frekanslarda AC sinyallerini takip edemediği sonucuna varılmıştır. Yüksek frekanstaki C-V verileri ile C⁻²-V grafiği çizilmiş bu grafik kullanılarak aygıtın engel yüksekliğinin 0.762 eV olduğu görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

Braun, K. F. (1874). On the current conduction through metal sulphides (in German) **Ann. Phys. Chem**, 1153(556), 1874.

Cavas, M., Gupta, R. K., Al-Ghamdi, A. A., Al-Hartomy, O. A., El-Tantawy, F., & Yakuphanoglu, F. (2012). Fabrication and electrical characterization of transparent NiO/ZnO p-n junction by the sol-gel spin coating method. **Journal of sol-gel science and technology**, 64(1), 219-223.

Cheung, S. and N. Cheung (1986). "Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics." **Applied Physics Letters** 49(2): 85-87.

Clavero, C. (2014). Plasmon-induced hot-electron generation at nanoparticle/metal-oxide interfaces for photovoltaic and photocatalytic devices. **Nature Photonics**, 8(2), 95.

Cowley, A. M., & Sze, S. M. (1965). Surface states and barrier height of metal-semiconductor systems. **Journal of Applied Physics**, 36(10), 3212-3220.

Evangelou, E. K., Wiemer, C., Fanciulli, M., Sethu, M., & Cranton, W. (2003). Electrical and structural characteristics of yttrium oxide films deposited by rf-magnetron sputtering on n-Si. **Journal of applied physics**, 94(1), 318-325.

Gökçen, M., Tataroğlu, A., Altındal, Ş., & Bülbül, M. M. (2008). The effect of ^{60}Co (γ -ray) irradiation on the electrical characteristics of Au/SnO₂/n-Si (MIS) structures. **Radiation Physics and Chemistry**, 77(1), 74-78.

Hudait, M. K., & Krupanidhi, S. B. (2000). Effects of thin oxide in metal-semiconductor and metal-insulator-semiconductor epi-GaAs Schottky diodes. **Solid-State Electronics**, 44(6), 1089-1097.

Kınacı, B., Çetin, S. Ş., Bengi, A., & Özçelik, S. (2012). The temperature dependent analysis of Au/TiO₂ (rutile)/n-Si (MIS) SBDs using current-voltage-temperature (I-V-T) characteristics. **Materials Science in Semiconductor Processing**, 15(5), 531-535.

Mahato, S., Biswas, D., Gerling, L. G., Voz, C., & Puigdollers, J. (2017). Analysis of temperature dependent current-voltage and capacitance-voltage characteristics of an Au/V₂O₅/n-Si Schottky diode. **AIP Advances**, 7(8), 085313.

Mott, N. F. (1938, October). Note on the contact between a metal and an insulator or semiconductor. **Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society** (Vol. 34, No. 4, pp. 568-572). Cambridge University Press.

Norde, H. (1979). "A modified forward I-V plot for Schottky diodes with high series resistance." **Journal of Applied Physics** 50(7): 5052-5053.

Ocak, Y. S., Genisel, M. F., & Kılıçoğlu, T. (2010). Ta/Si Schottky diodes fabricated by magnetron sputtering technique. **Microelectronic Engineering**, 87(11), 2338-2342.

Ocak, Y. S., Guven, R. G., Tombak, A., Kilicoglu, T., Guven, K., & Dogru, M. (2013). Barrier height enhancement of metal/semiconductor contact by an enzyme biofilm interlayer. *Philosophical Magazine*, 93(17), 2172-2181.

Ocak, Y. S., Issa, A. A., Genisel, M. F., Tombak, A., & Kilicoglu, T. (2016, April). Substrate temperature effects on reactively sputtered Cr₂O₃/n-Si heterojunctions. *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 707, No. 1, p. 012026). IOP Publishing.

Rhoderick, E. H., & Rhoderick, E. H. (1978). *Metal-semiconductor contacts* (p. 53). Oxford: Clarendon Press.

Scherer, M. R., Li, L., Cunha, P. M., Scherman, O. A., & Steiner, U. (2012). Enhanced Electrochromism in Gyroid-Structured Vanadium Pentoxide. *Advanced Materials*, 24(9), 1217-1221.

Schottky, W. (1938). Halbleitertheorie der sperrschicht. *Naturwissenschaften*, 26(52), 843-843.

Schottky, W., Stormer, R., & Waibel, F. (1931). Uber die Gleichrichterwirkungen an der Grenze von Kupferoxydul gegen aufgebrauchte Metallelektroden, (On the rectifying action of cuprous oxide in contact with other metals). *Z. Hochfrequenz*, 37, 162-167.

Sze, S. M., & Ng, K. K. (2006). *Physics of semiconductor devices*. John Wiley & sons.

Takada, K., Sakurai, H., Takayama-Muromachi, E., Izumi, F., Dilanian, R. A., & Sasaki, T. (2003). Superconductivity in two-dimensional CoO₂ layers. *Nature*, 422(6927), 53.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Rahmi ÖZALP

Doğum Yeri : Bismil

Doğum Tarihi : 11/06/1974

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Telefon : 0(505) - 627 39 66

e-mail : r.ozalp@hotmail.com

Eğitim Durumu(Kurum ve Yıl)

Lise : Ergani Anadolu Öğretmen Lisesi-1993

Lisans : Dicle Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği-1997

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

1998 yılında Milli Eğitim Bakanlığı'nda göreve başladı. Bu tarihe kadar Milli Eğitim Bakanlığına bağlı okullarda öğretmen ve idareci olarak çalıştı. Halen görevine devam etmektedir.



DICLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ İNTİHAL FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ

ADI VE SOYADI	Rahmi ÖZALP
ÖĞRENCİ NO	16802006
EĞİTİM - ÖĞRETİM YILI	2018/2019
YARIYIL	<input type="checkbox"/> Güz <input checked="" type="checkbox"/> Bahar
ANABİLİM DALI	FİZİK
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	V ₂ O ₅ İNCE FİLMLEİN SAÇTIRMA YÖNTEMİ İLE BİRİKTİRİLMESİ VE DİYOT ÜRETİMİNDE KULLANILMASI

İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ

RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	44
BENZERLİK ORANI	%19
RAPORLAMA TARİHİ	18/07/2019

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 44 sayfalık kısmına ilişkin, 18/07/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 19 'dur.

Uygulanan filtrelemeler:

- Kabul/Onay sayfaları hariç,
 Kaynakça hariç
 Alıntılar hariç/dâhil
 Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

(Öğrencinin Adı Soyadı)
Rahmi ÖZALP

(İMZA/TARİH)
18/07/2019

Prof. Dr. Sezai ASUBAY
Tez Danışmanı
(İMZA/TARİH)
18/07/2019

Prof. Dr. M. Enver AYDIN
Anabilim Dalı Başkanı V.
(İMZA/TARİH)
18/07/2019

Formdaki bilgiler bilgisayar ortamında doldurulmalıdır. El yazısı ile doldurulan formlar geçersiz sayılmaktadır.