T.C.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

n-Si/Mo SCHOTTKY DİYOTLARIN SICAKLIĞA BAĞLI ELEKTRİKSEL KARAKTERİZASYONU

Recai ŞAHİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

TEMMUZ 2020

T.C.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

n-Si/Mo SCHOTTKY DİYOTLARIN SICAKLIĞA BAĞLI ELEKTRİKSEL KARAKTERİZASYONU

Recai ŞAHİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

TEMMUZ 2020

TEŞEKKÜR

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma danışman hocam Sn. Prof.Dr. Kemal AKKILIÇ rehberliğinde gerçekleşmiştir. Çalışmalarım boyunca bana her türlü yardımı yaptığı için ve her zaman yol gösterdiği için değerli hocama teşekkür ederim.

Tezimde teorik olarak yardımcı olan ve tezimin şekillenmesinde yardımlarını esirgemeyen Prof.Dr. Halim BAŞKAN ve Doç.Dr. İkram ORAK hocalarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca tezimde bana yardımcı olan Uzm. Muhyettin ECE ve numune hazırlamada bana yardımcı olan doktora öğrencileri Derya KAYA ve Murat TOKUŞ'a teşekkür ederim.

Okula başladığım ilk günden bugüne kadar maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme teşekkürü her zaman bir borç bilirim.

Recai ŞAHİN

Diyarbakır 2020

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR I

İÇİNDEKİLER II

ÖZET IV

ABSTRACT V

ÇİZELGE LİSTESİ VI

ŞEKİL LİSTESİ VII

KISALTMA VE SİMGELER VIII

1. GİRİŞ 1

2. KAYNAK ÖZETLERİ 7

3. MATERYAL VE METOT 9

3.1 P-tipi Yarıiletken 11

3.2 N-tipi Yarıiletken 12

3.3 Metal-Yarıiletken Kontaklar 13

3.4 Yarıiletkenler ve İlk Elektronik Cihazlar 16

3.5 Kullanılan Materyaller 18

3.5.1 Silisyum Elementinin Bazı Özellikleri 18

3.5.2 Molibden Elementinin Bazı Özellikleri 18

3.5.3 Altın Elementinin Bazı Özellikleri 19

3.6 Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemleri 19

3.6.1 Termal Buharlaştırma 20

3.6.2 Elektron Bombardımanıyla Buharlaştırma 21

3.6.3 Saçtırma Yöntemi 21

3.7 Numunenin Hazırlanması 22

3.8 Norde Fonksiyonları 23

4. BULGULAR VE TARTIŞMA 25

5. SONUÇ VE ÖNERİLER 33

6. KAYNAKLAR 35

ÖZGEÇMİŞ 37

ÖZET

n-Si/Mo SCHOTTKY DİYOTLARIN SICAKLIĞA BAĞLI ELEKTRİKSEL KARAKTERİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Recai ŞAHİN

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

2020

Bu çalışmada DC saçtırma yöntemi ile Mo metalinin n-Si yarıiletken üzerine saçtırılması ile n-Si/Mo metal-yarıiletken kontağı elde edilmiştir. Oda sıcaklığında ve karanlıkta yapılan akım-gerilim ölçümlerinde yapının doğrultucu kontak özelliği gösterdiği görülmüştür.

Oluşturulan n-Si/Mo Schottky diyotunun elektriksel özelliklerinin sıcaklığa bağlılığını incelemek amacıyla 80-300 K aralığında akım-gerilim ölçümleri alınmıştır. Schottky diyotun elektriksel özellikleri için termoiyonik emisyon teorisi kullanılmıştır. Yapılan ölçümlerde n-Si/Mo Schottky diyotunun idealite faktörünün artan sıcaklıkla azaldığı tespit edilmiştir. Yapılan analizlerde ayrıca idealite faktörü ile engel yüksekliği arsında lineer bir bağıntının olduğu ve ideal n-Si/Mo Schottky diyotu için engel yüksekliğinin 0,64 eV olduğu gösterilmiştir.

Elde edilen I-V eğrilerinin ileri beslem gerilim altında lineerlikten saptığı gözlemlenmiştir. Bu sapmanın nedeninin diyotun sahip olduğu seri direnç etkisine atfedilmiştir. Norde tarafından önerilen fonksiyonlar yardımı ile yapının sıcaklığa bağlı seri direnç ve engel yükseklikleri hesaplanmıştır. Yapılan bu analizlerde engel yüksekliği değerlerinin aynen lnI-V verileriyle elde edilen sonuçlarla uyum içinde gözlemlenmiştir. lnI-V verileri ve Norde fonksiyonları ile hesaplanan engel yükseklikleri arasındaki farklığın yöntemler arasındaki farktan kaynaklandığı ifade edilmiştir. Bunun asıl nedeni olarak lnI-V verileri ile engel yüksekliği hesaplanırken doğru beslem akım-gerilim grafiğinin lineer kısmının dikkate alınmasına rağmen Norde fonksiyonları ile engel yüksekliği hesaplanmasında tüm doğru beslem akım-gerilim verilerinin kullanılması gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Metal-Yarıiletken Kontak, Schottky Diyot, Schottky Engel Yüksekliği.

ABSTRACT

TEMPERATURE DEPENDENT ELECTRİCAL CHARACTERİZATİON OF n-Si/Mo SCHOTTKY DIODES

MSc. THESIS

Recai ŞAHİN

DEPARTMENT PHYSICS

INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

UNIVERSITY OF DICLE

2020

In this study, n-Si/Mo metal-semiconductor contact was obtained by scattering Mo metal on n-Si semiconductor by DC scattering method. In current-voltage measurements made at room temperature and in the dark, it was seen that the structure has a rectifier contact feature.

In order to examine the temperature dependence of the electrical properties of the n-Si/Mo Schottky diode created, current-voltage measurements in the range of 80-300 K were taken. Thermoionic emission theory is used for the electrical properties of Schottky diode. In the measurements made, it was determined that the ideal factor of n-Si/Mo Schottky diode decreases with increasing temperature. The analyzes also showed that there is a linear correlation between the ideality factor and the obstacle height, and the obstacle height for the ideal n-Si/Mo Schottky diode is 0.64 eV.

It was observed that the obtained I-V curves deviate from linearity under forward feed voltage. The reason for this deviation is thought to be due to the series resistance effect of the diode. With the help of the functions proposed by Norde, the series resistance and obstacle heights depending on the temperature were calculated. In these analyzes, it was observed that the height of the obstacles increased exactly in parallel with the results obtained with the lnI-V data. It was stated that the difference between lnI-V data and Norde functions and calculated obstacle heights was caused by the difference between the methods. As the main reason for this, while calculating the obstacle height with the lnI-V data, the linear portion of the correct supply current-voltage graph is used, while using the correct supply current-voltage data to calculate the obstacle height with Norde functions.

Keywords: Metal-Semiconductor Contact, Schottky Diode, Schottky Barrier Height.

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa
Çizelge 1.1	a) İletken, yarıiletken ve yalıtkanların özdirenç değer aralığı	2
Çizelge 3.1	Metal ve yarıiletkenlerin iş fonksiyonuna göre schottky ve omik kontak oluşumu	15
Çizelge 3.2	Silisyum elementinin bazı özellikleri	18
Çizelge 3.3	Molibden elementinin bazı özellikleri	19
Çizelge 3.4	Altın elementinin bazı özellikleri	19
Çizelge 4.1	n-Si/Mo Schottky diyotun bazı elektriksel parametrelerinin sıcaklığa bağlılığı	26

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 1.1	a) İletken, b) Yarıiletken, c) Yalıtkan malzemelerin enerji-bant diyagramları	2
Şekil 1.2	Yarıiletkenlerin bant aralıklarının sıcaklığa bağlı değişimi	3
Şekil 1.3	a) Silisyum (n-tipi) / metal (Molibden) birleşimi b) Schottky kontak sembolü	4
Şekil 3.1	Saf Silisyumun atomik yapısı	10
Şekil 3.2	p-tipi yarıiletkene ait şematik kesit	12
Şekil 3.3	n-tipi yarıiletkene ait şematik kesit	13
Şekil 3.4	Metal n-tipi yarıiletken kontağın enerji bant diyagramları	15
Şekil 3.5	İlk Transistör	17
Şekil 3.6	Fleming Diyotu (1904)	17
Şekil 3.7	Termal buharlaştırma yöntemi	20
Şekil 3.8	Saçtırma kaplama yöntemi	21
Şekil 3.9	Elde edilen Au/n-Si/Mo yapısı	23
Şekil 3.10	Numune hazırlamada kullandığımız Sputter Cihazı	24
Şekil 4.1	n-Si/Mo yapının akım-gerilim grafiği	25
Şekil 4.2	n-Si/Mo yapının İdealite Faktörü ve Engel Yüksekliğinin-Sıcaklığa bağlı grafiği	27
Şekil 4.3	n-Si/Mo Schottky Diyotunun engel yüksekliği ile idealite faktörü arasındaki ilişki	28
Şekil 4.4	n-Si/Mo yapının F(V)-V grafiği	29
Şekil 4.5	Au/n-Si/Mo yapının Engel Yüksekliği ve Seri Direncin-Sıcaklığa bağlı grafiği	30

KISALTMA VE SİMGELER

AC : Alternatif akım

DC : Doğru akım

Au : Altın

Mo : Molibden

Si : Silisyum

n-Si : n tipi Silisyum

B : Bor

Ge : Germanyum

N : Azot

g : Gram

k : Boltzman sabiti

T : Sıcaklık

K : Kelvin

^{o}C : Celcius Derece

Ω : Ohm

I-V : Akım-Gerilim

C-V : Kapasitans-Gerilim

G-V : Kondüktans-Gerilim

ρ (Ro) : Öz Direnç

eV : Elektron Volt

mmHg : Atm Basınç Birimi

GaAs : Galyum Arsenit

HFH_2O : Hidroklorik asit-su çözeltisi

kW : Kilo Watt

kJ : Kilo Joul

E_g : Yarıiletken yasak enerji aralığı

Rs : Seri direnç

I_0 : Doyma akımı değeri

Φb : Potansiyel engel yüksekliği

Φm : Metalin iş fonksiyonu

Φ_s : Yarıiletkenin iş fonksiyonu

E_F : Fermi Enerji Seviyesi

E_{Fs} : Yarıiletkenin Fermi Enerji Seviyesi

E_{Fm} : Metalin Fermi Enerji Seviyesi

E_c : İletim Bandı Enerjisi

E_v : Valans Bandı Enerjisi

χ_s : Yarıiletkenin Elektron İlgisi

1.GİRİŞ

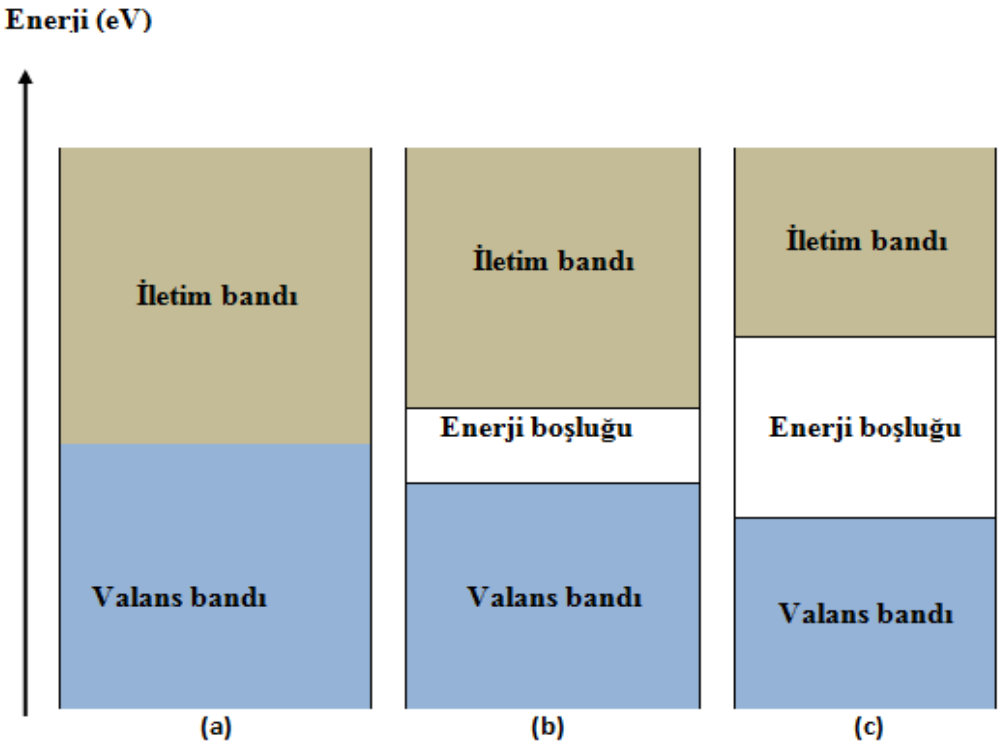
Teknolojinin şaşırtıcı bir biçimde geliştiği günümüzde hayatımızın gün geçtikçe kolaylaştığı aşikârdır. Şüphesiz bu gelişimin arkasında, merak duygusu, istekli çalışmalar ve bilim sevgisi yer almaktadır. Tabi bu başarıların ardında yarıiletken teknolojisinin önemi oldukça büyüktür. Yarıiletkenler; temel elektronik uygulamalarında, optik aygıtlarda, sensörlerde, yenilenebilir enerji kaynaklarında ve daha birçok kullanım alanına sahip olmasından dolayı çokça tercih edilmektedir.

Yarıiletkenlerin öz direnç değerleri metallerle yalıtkanlar arasındadır. Yani özdirençleri $\rho = 10^{-2} - 10^{+9} \Omega$. cm olan elementler ve bileşimleridir.

Yarıiletkenlerde iletim, elektronlar tarafından sağlandığı durumda –bu tür yarıiletkenler elektronikte büyük öneme sahiptir- bu tür yarıiletkenlere "elektronik yarıiletkenler" adı da verilir. Aynı zamanda iletimi yüklü atom veya moleküller tarafından sağlanan yarıiletkenlere de iyonik yarıiletkenler denir (Ataman 1991).

Yarıiletkenlerin öz direnci sıcaklığa bağlı olarak üstel bir şekilde değişir ve sıcaklığın artması ile azalır. Yarıiletkenlerin bu özelliği metallerle ayırt edilmelerini sağlar. Eğer yarıiletkenler yeteri kadar saf ise sıcaklık azaldıkça ve çok düşük sıcaklıklara varınca yalıtkanlara dönüşürken, metaller yeteri derecede soğutulup mutlak sıcaklık değerine (0 K) yaklaşırken daha iyi iletim sağlarlar ve sonunda süperiletken durumuna geçerler (Ataman 1991).

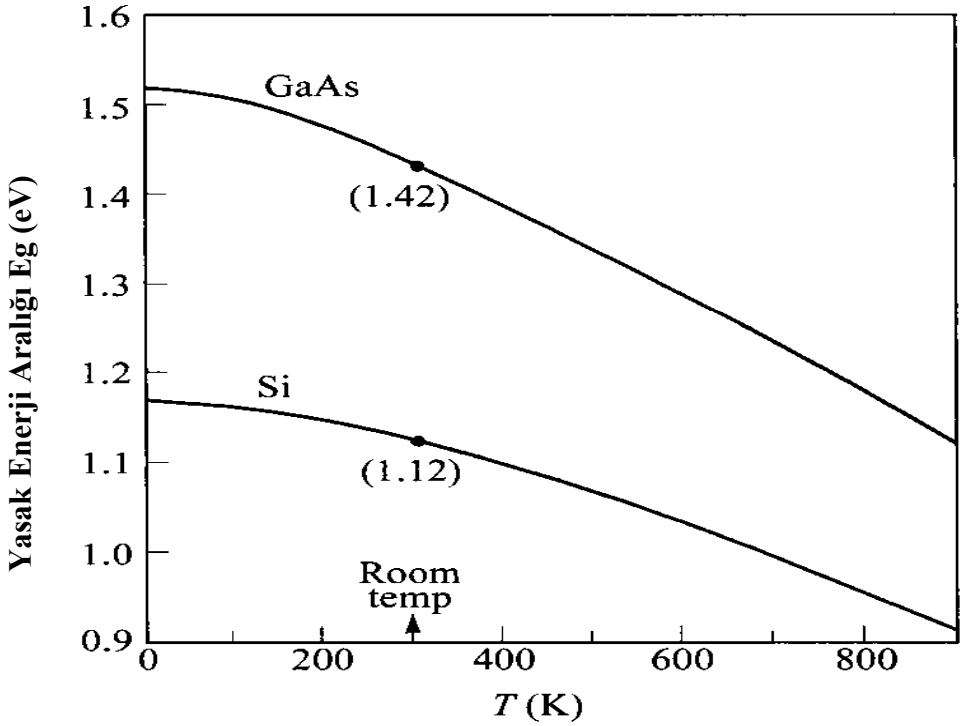
Malzemelerin yasak enerji aralığı 1-3 eV aralığındaki değerlere sahip olmaları durumunda bu tür malzemeler yarıiletken, bu aralıktan daha fazla bir değere sahip olmaları durumunda ise yalıtkan olarak adlandırılırlar (Yoğurtçu 2007).



Şekil 1.1 a) İletken, b) Yarıiletken, c) Yalıtkan malzemelerin enerji-bant diyagramları

Çizelge 1.1 İletken, yarıiletken ve yalıtkanların özdirenç değer aralığı

Materyaller	İletken (Au, Fe, Cu…)	Yarıiletken (Si, Ge, CdS..)	Yalıtkan (SiO_2, Al_2O_3…)
Öz Direnç Değeri (Ω.cm)	$10^{-8} – 10^{-2}$	$10^{-2} – 10^{9}$	$10^{9} – 10^{22}$



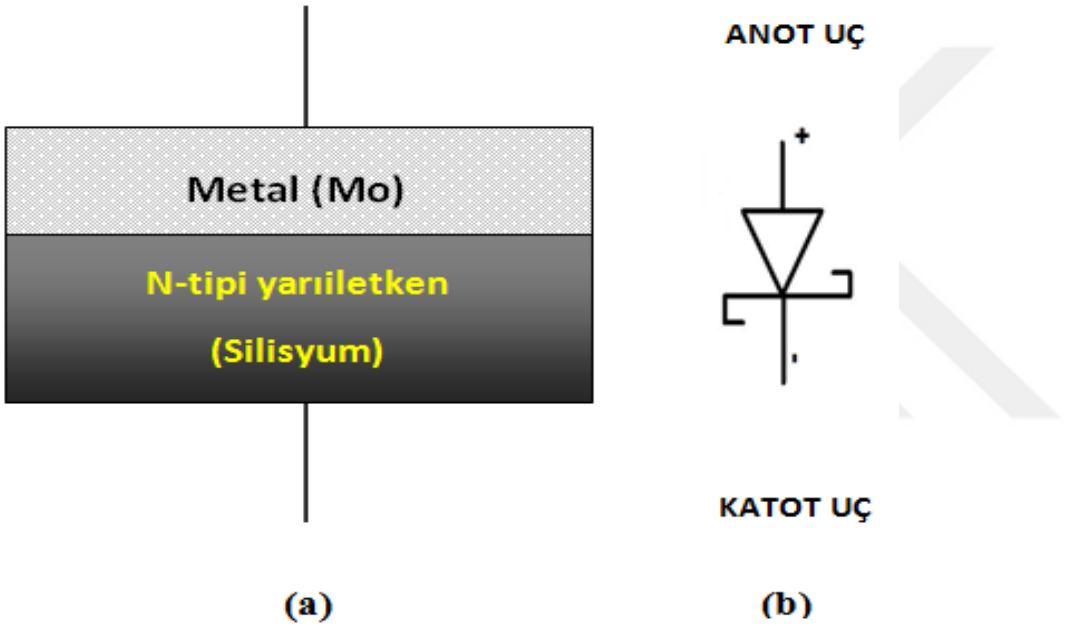
Şekil 1.2 Yarıiletkenlerin bant aralıklarının sıcaklığa bağlı değişimi

Oda sıcaklığında ve normal atmosfer basıncı altında [yani 760 mmHg], bant aralığı değerleri Si için 1,12 eV ve GaAs için 1,42 eV'dir. Bu değerler yüksek saflıktaki materyaller için geçerlidir. Çok katkılı materyaller için bant aralığı daha küçük olur. Deneysel sonuçlar gösteriyor ki çoğu yarıiletkenin bant aralığı artan sıcaklıkla azalır. Şekil 1.2'de Si ve GaAs için sıcaklık fonksiyonu olarak bant aralığı değişimleri gösterilmiştir. 0 K'de bant aralığı bu iki yarıiletken (Si, GaAs) için sırasıyla 1,17 eV ve 1,52 eV'ye yaklaşır (Sze ve ark 2007).

Yarıiletkenlerin, metallerle kontak haline getirilip diyot yapımında kullanılması, elektroniğin ilerlemesiyle son yıllarda daha da önem kazanmıştır. Metal-yarıiletken kontaklar, günümüzde başta diyotlar olmak üzere; güneş pilleri, transistörler, dedektörler ve daha birçok elemanın temelini oluşturur.

Schottky Diyotların Önemi

Normal bir diyot 0,6 ile 1,7 volt arasında iletime geçerken, Schottky diyot genelde 0,15 ile 0,40 volt arasında iletime geçer. Schottky diyotlardaki bu düşük gerilim noktaları daha iyi sistem verimliliği ve daha yüksek anahtarlama hızı sağlar. Daha az enerji harcamaları, daha az ısınma problemine sebep olmaları ve daha hassas olmaları sebebiyle elektronik devrelerde başlıca tercih sebebidir. Bir metal-n tipi yarıiletken kontakta, n-tipi yarıiletken katot görevi görürken, diyotun metal kısmı da anot görevi görür.



Şekil 1.3 a) Silisyum (n-tipi) / metal (Molibden) birleşimi b) Schottky kontak sembolü

Bu çalışmada kullanılan saçtırma yöntemi, ince film kaplamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntem film kalınlığının kolay kontrol edilebilmesi açısından avantajlıyken, bu yöntemin maliyetli olması açısından ise dezavantajlıdır.

Çalışmanın Amacı

Dicle Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde yapılan n-Si/Mo metal-yarıiletken doğrultucu kontak, (Schottky diyot) belli sıcaklık değerlerine tabi tutulup elektriksel ölçümler yapılmıştır. İşlem sonucunda, ***Sonuç Bölümü***'nde yer alan grafikler elde edilmiştir.

1.GİRİŞ

2. KAYNAK ÖZETLERİ

İlk metal yarıiletken kontaklar Braun'un ilk çalışmalarından önce yapılmıştır. Yapılan ilk kontaklar, radyo deneylerinde dedektör görevi görmüştür.

1895 yılında Marconi, radyo ile ilgili deneyler yapmış ve yaptığı deneyleri gözlemleyen Braun, bu deneylerin sonuçlarını metal-yarıiletken kontaklara ve dedektörlere uygulamıştır.

1906 yılında Pickard, Silisyum (Si) kullanarak nokta kontak dedektörü yapmış ve patentini almıştır.

1907 yılında Pierce, yarıiletken üzerine metal püskürtülmesiyle diyot elde etmiş ve oluşan bu diyotların doğrultucu etkisini gözlemlemiştir. "(Neamen, 2007).

1947 yılında, Bardeen kovalent yarıiletkenlerin yüzeyinde Fermi enerji seviyesi üzerinde yer alan yüzey hallerinin varlığı ve bu nedenle engel yüksekliğinin sabitleştiği fikrini ortaya atmıştır.

1964 yılında Baird, Schottky engelini Silisyum transistörlere uygulayarak meta-yarıiletken alan etkili transistör (MESFET) keşfetmiştir.

Heine (1965), Al/n-Si Schottky diyotlarında C-f karakteristiklerinde düşük frekanslarda görülen uzay yükü sığasına ilave sığanın sadece ara yüzey hallerinden ileri gelmediği, bunun yanında artık sığanın omik kontak direncinin belirgin bir sığası olduğu ve artık sığanın sadece ara yüzey hallerinin bir ölçüsü olmayacağı sonucuna varmıştır.

Crowell ve Sze (1965), metal n-tipi yarıiletken kontaklarda engel yüksekliğini, iş fonksiyonunu ve ara yüzey hallerini dikkate alarak incelemişlerdir.

1966, Crowell ve Sze, Schottky'nin difüzyon teorisini ve Bethe'nin termiyonik emisyon teorisini birleştirerek termoiyonik-emisyon-difüzyon teorisini ortaya koymuşlardır.

2.KAYNAK ÖZETLERİ

1970, Schottky ve Spenke, p+ eklem diyotların gerilim-sıcaklık karakteristikleri incelemişler. Ayrıca enerji engelinden taşıyıcı difüzyonu olayını esas alan doğrultma teorisini geliştirmişler.

1981, Wilson, metal-yarıiletken diyotlar için kuantum mekaniksel tünelleme teorisini geliştirmiş ve ters polariteyi açıklamıştır.

1985, Singh, n-tipi CdF_2:YF_3 yarıiletkeni nikelin buharlaştırılmasıyla elde edilen Schottky diyotların I-V, C-V ve kondüktans voltaj (G-V) karakteristiklerini belirlemiştir.

1992, Türüt ve Sağlam Al/n-Si ve Al/p-Si arayüzey tabakalı ve tabakasız Schottky diyotlarda arayüzey hallerini ve arayüzey sabit yüklerini dikkate alarak I-V ve C-V karakteristiklerinden yola çıkarak engel yüksekliği, idealite faktörünü hesaplamıştır.

2000, Cafer T. Schottky diyotlarının temel özelliği olan kontak direncinin dışarıdan uygulanan gerilime bağlılığını açıklamıştır "(Akt. Bozkurt, 2009).

2003, Akkılıç ve ark. Arayüzey tabakalı ve tabakasız Sn/n-Si Schottky diyotlarının I-V karakteristiklerini incelemişlerdir.

2008, Krishnan ve ark. Elektron radyasyonunun Al/p-Si Schottky diyotlara etkisini incelemişler. Radyasyonun artmasıyla idealite faktörünün de arttığını ve engel yüksekliğinin azaldığını gözlemlemişler.

2012, Rao Peta yaptığı çalışmada Schottky diyotunun elektriksel karakterizasyonunu 200K-375K aralığında akım-gerilim karakteristiği kullanarak elde etmiştir. Bu çalışmada 200K için engel yüksekliği 0,5 eV ve idealite faktörü 3,2 bulunmuş. 375K için ise engel yüksekliğini 0,78 eV ve idealite faktörünü 1,4 bulmuştur.

3.MATERYAL VE METOT

Yarıiletkenlerin elektronikte kullanılması, katıhal fiziğinin 20. yy teknolojisine getirdiği belki de en büyük katkıdır (Hook ve ark 2006).

Yarıiletkenler; katkılı ve katkısız yarıiletkenler olmak üzere iki gruba ayrılabilir.

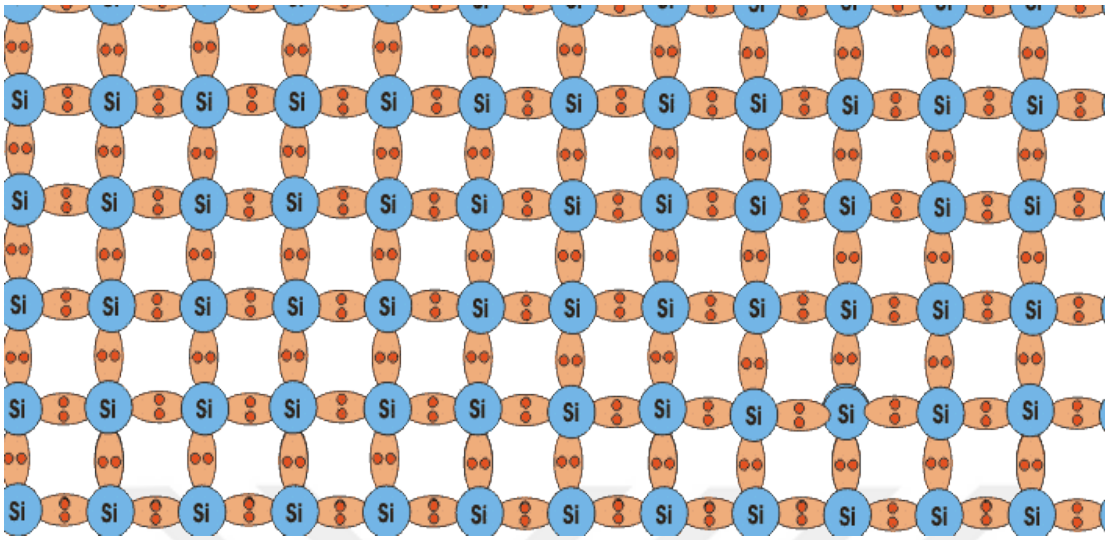
Saf yarıiletkenler çok düşük sıcaklıklarda elektriksel olarak yalıtkan gibi davranırlar. Örneğin T≈0 K değerindeki sıcaklıkta tüm yarıiletkenler bir yalıtkan gibidirler elektriği ya da ısıyı iletmezler. Sıcaklık artırıldığında atomlar bir enerjiye sahip olur ve denge konumlarında titreşim hareketi yaparlar. Yaptıkları titreşim genliklerinin giderek artması sonucunda bazı bağlar kopar. Serbest kalan elektronlar iletim bandına geçer. Fakat bazı kristaller için yasak enerji aralığı çok büyük olmasından dolayı sadece ısı yoluyla bu aralık geçilmeye çalışılırsa çok büyük miktarda bir enerji gerekir. Mesela yasak enerji aralığı Eg=5 eV olan bir kristalin yasak enerji aralığını sıcaklıkla aşabilmek için gerekli olan enerji miktarı:

$Eg = 5\ eV \quad \rightarrow \quad k_B T = Eg$

$k_B T \approx 1/40\ eV$ (oda sıcaklığında) $\quad \rightarrow \quad T \approx \frac{5}{1/40} * 300 \approx 6 * 104\ K$

gibi bir değere kadar ısıtılması gerekir ki bu malzeme bu sıcaklığa gelmeden çok önce yanacaktır. Bu yüzden elementlerin elektronları yeterli enerji alıp bağlı oldukları atomlardan kurtulamadıkları durumlarda, yarıiletkenlerden daha etkin yararlanmak için yarıiletkenlere katkılama denilen işlem uygulanır. Katkılama sonucunda malzeme p-tipi ya da n-tipi halini alır (Akat 2012).

Yarıiletken devre elemanlarının yapımında sıklıkla kullanılan germanyum (Ge) ve silisyum (Si) atomlarının dış kabuklarında dört valans elektronları bulunan elementlerdir. Bu elementler içerdikleri yabancı atomlardan arıtıldıktan sonra kristal hale getirilirse düzgün bir kristal yapıya sahip olurlar. Böylece bu tip yarıiletkenler has yarıiletken adını alır (Leblebici 1983).



Şekil 3.1 Saf silisyumun atomik yapısı

Has yarıiletkenlere çok düşük miktarlarda yabancı malzeme katkılanarak bu malzemenin elektriksel özelliği çok büyük ölçülerde değiştirilebilir. Bu yarıiletkenlere yabancı malzeme eklenmesi işlemine katkılama denir. Yarıiletkene eklenen yabancı malzeme atomlarına ise katkı atomları adı verilir (Türköz, 1995).

Katkılama işlemi için çeşitli yöntemler vardır. En çok kullanılan iki yöntem iyon ekleme ve difüzyon yöntemleridir.

Difüzyon yönteminde, has yarıiletken, katkı maddesinin gazıyla dolu olan bir fırında bekletilip katkı atomlarının saf yarıiletkenin yüzeyinden derinlere kadar inmesiyle p-tipi veya n-tipi malzeme elde edilir. Burada katkı maddesinin derinliği uygulanan sıcaklığa ve süreye bağlı olarak değişir.

İyon ekleme yönteminde ise katkılanacak atomlar yüklü iyon (+ veya-) haline getirilir. Daha sonra bu iyonlar bir elektrik alan alan altında hızlandırılıp hedef yarıiletken üzerine gönderilir. Bu yöntemde katkı atomlarının ulaşacağı derinlik ise uygulanan ferilimle kontrol edilebilir.

İyon ekleme yönteminde kristal yapıda bozulmalar meydana gelebilir. Bu yüzden işlemden sonra malzeme fırında tavlanıp ve soğutulup kristal yapı düzgün hale getirilir.

İyon ekleme yöntemi difüzyon yönteminden daha maliyetlidir. Ancak daha kontrollü bir katkı derinliği sağlanabilir (Morgül 2012).

3.1 P-tipi Yarıiletken

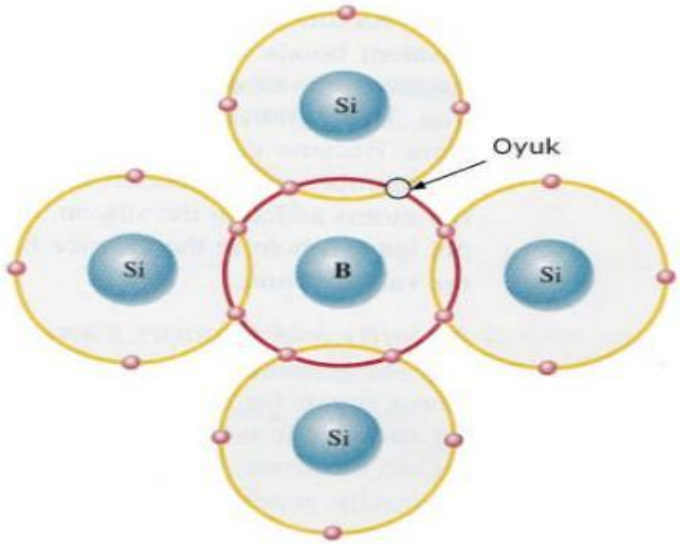
Saf haldeki silisyumun iletim bandındaki boşlukların (oyuk) sayısını artırmak için son yörüngesinde 3 elektron olan Alüminyum (Al), Bor (B) gibi atomlar katkılanır. Aynı zamanda bu atomlar yarıiletkenin kristal yapısı içerisinde bir boşluk bıraktığı için alıcı (akseptör) atomlar olarak da bilinir.

Şekil 3.2'de 3 tane valans elektrona sahip olan bor (B) yanındaki dört silisyum atomuyla kovalent bağ oluşturmaktadır. Ancak tam olarak kovalent bağ oluşturabilmesi için Bor atomunun 4 tane elektrona ihtiyaç vardır. 4. Elektronun yerine bir boşluk meydana gelir. Böylece her 3 valans elektronlu bir atoma karşılık bir boşluk meydana gelir. Bu şekilde silisyum atomuna 3 valans elektronlu katkı atomları eklenerek oyukların sayısı kontrol edilebilir (Demirel 2010).

Katkı atomu kovalent bağ oluşturabilmesi için ihtiyaç duyduğu 4. bağı yarıiletkenin atomundan kopardığı bir elektronla temin eder. Katkı atomu elektron aldığı için *alıcı* veya *akseptör atom* adını alır.

Akseptör atom kristal yapıya valans bağları ile bağlı olduğundan dolayı hareket edemez ve akım iletimine katılamaz.

Alıcı atom bir elektron kopardığında, kopan elektronun yeri bağda boş kalır. Boş kalan bu yer, (+) yüklüdür ve delik (hole) adını alır. Her bir alıcı atom bir elektron koparıp 4. bağı oluşturduğundan alıcı atom sayısı kadar delik (hole) oluşur. Bu deliklere ek olarak ısıl sebeplerden dolayı da valans bağlarından kopan başka delik-elektron çifti de vardır. Hole sayısı alıcı atomların sayısından fazladır. Pozitif yüklerin taşıyıcı görevi üstlendiği bu katkılanmış yarıiletkene p-tipi yarıiletken denir (Türköz, 1995).



Şekil 3.2 p-tipi yarıiletkene ait şematik kesit

3.2 N-tipi Yarıiletken

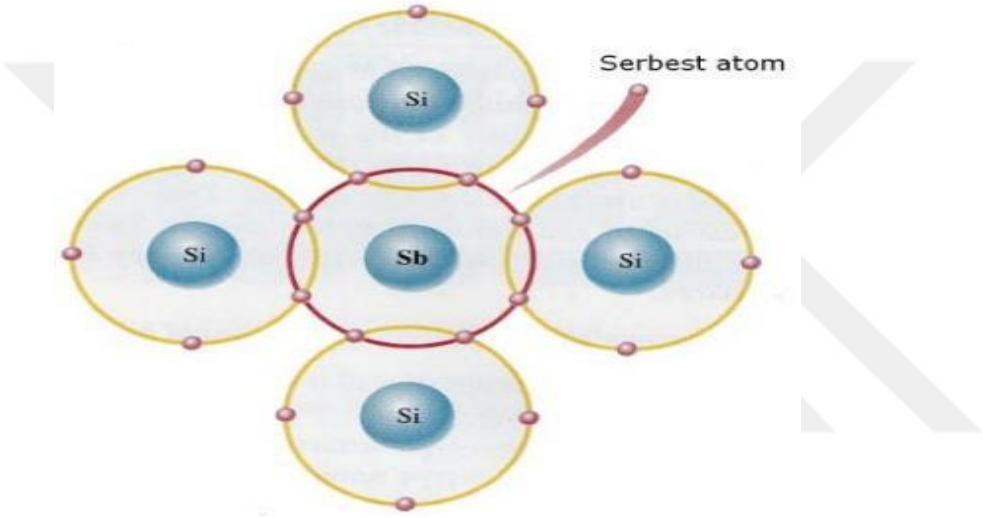
Saf haldeki silisyum kristalinin iletim bandındaki elektron sayısını artırmak için son yörüngesinde 5 elektrona sahip olan Fosfor (P), Antimon (Sb) gibi atomlar katkılanır. Bu atomlar fazladan elektron sağladıkları için aynı zamanda verici (donor) atom olarak da bilinir.

Şekil 3.3'te 5 valans elektrona sahip olan Antimon (Sb), yanındaki dört Silisyum atomuyla kovalent bağ oluşturmuştur. Antimon atomunun 4 valans elektronu Silisyum atomlarıyla kovalent bağ oluşturur. Ancak fazladan bir tane elektron boşta kalır. Bu artan elektron herhangi bir atomla eşleşmediği için serbest elektron olarak iletim bandına geçer. Bu şekilde silisyum atomuna katkı atomları eklenerek serbest elektron sayısı kontrol altına alınabilir (Demirel 2010).

Silisyum atomlarıyla bağ oluşturmayan 5. elektron, atomuna zayıf bir halde bağlıdır ve küçük bir enerji verilerek serbest hale geçebilir. İletim bandına geçebilmesi için alınması gereken enerji çok küçük değerde olabilir. Bu değer, silisyumun katkılanması halinde 0,04 eV kadar olabilmektedir.

Birer elektron veren katkı atomları, elektron kaybettiğinden +q yüküne sahiptirler. İyon haline gelmiş, ancak hareket edemeyen katkı atomlarına verici (donor) atom denir. Negatif taşıyıcı yüklerin fazla olduğu bu katkılanmış yarıiletkene *n-tipi yarıiletken* denir.

Yarıiletkende sayıca fazla olan taşıyıcı yüklere çoğunluk taşıyıcı, sayıca az olan taşıyıcı yüklere de azınlık taşıyıcı yük denir (Türköz, 1995).



Şekil 3.3 n-tipi yarıiletkene ait şematik kesit

3.3 Metal-Yarıiletken Kontaklar

Metal yarıiletken doğrultucu sistemlere ilişkin en eski sistematik araştırma genelde Braun'a atfedilir.

1931'de Wilson, katıların band teorisine dayanarak yarıiletkenlerin iletim teorisini formüle etti. Bu teori daha sonra metal-yarıiletken kontaklara uygulandı (Sze, ve ark 2007).

Elektrik akımının olabilmesi için, saf haldeki kristallerin uygun metallerle kontak yapılması zorunluluktur (Büget 1992).

3.MATERYAL VE METOT

Elektronik aygıtlarının çoğunluğunun çalışma prensibi, metal-yarıiletken kontakların fiziksel karakteristiklerine bağlıdır. Bu tür kontakların sınır bölgesinde potansiyel engeller meydana gelir. Bu engellerin oluşması, metal- yarıiletken arası yük taşıyıcılarının konsantrasyonlarının yeniden dağılmasına bağlıdır. Bu tür kontakların elektriksel özellikleri, uygulanan gerilimin değeri ve yönü ile değişmektedir (Cafer 2000).

Teknolojinin her alanında kullanılan yarıiletkenler, metallerle belirli koşullar altında (basınç, kalınlık, sıcaklık) kontak haline getirilmesiyle elde edilen diyotlar, omik kontak ve doğrultucu (schottky) kontak olarak ikiye ayrılır. Kontaklarda iletkenlik hollerle veya elektronlarla sağlanır. Bu yük taşıyıcılar metalden yarıiletkene veya yarıiletkenden metale daha kolay iletiliyorsa bu kontak, *doğrultucu (schottky) kontak* olarak adlandırılır.

İletken iki madde kontak haline getirildiğinde aralarında yük alışverişi olur ve bu yük alışverişinden sonra yeni bir denge durumu oluşur. Oluşan yeni denge durumunda iki maddenin de Fermi enerji seviyesi eşitlenir. Oluşan kontak sonucunda elektronlar her iki yönde de serbest hareket edebiliyorsa omik kontak adını alır. Ayrıca oluşturulan kontak sadece iki iletken ile değil, bir iletken bir yarıiletken ile de oluşturulabilir. Elde edilen kontak metal-yarıiletken kontak ise oluşan yeni malzeme omik ya da Schottky (doğrultucu) kontak olabilir (Akkılıç 2002).

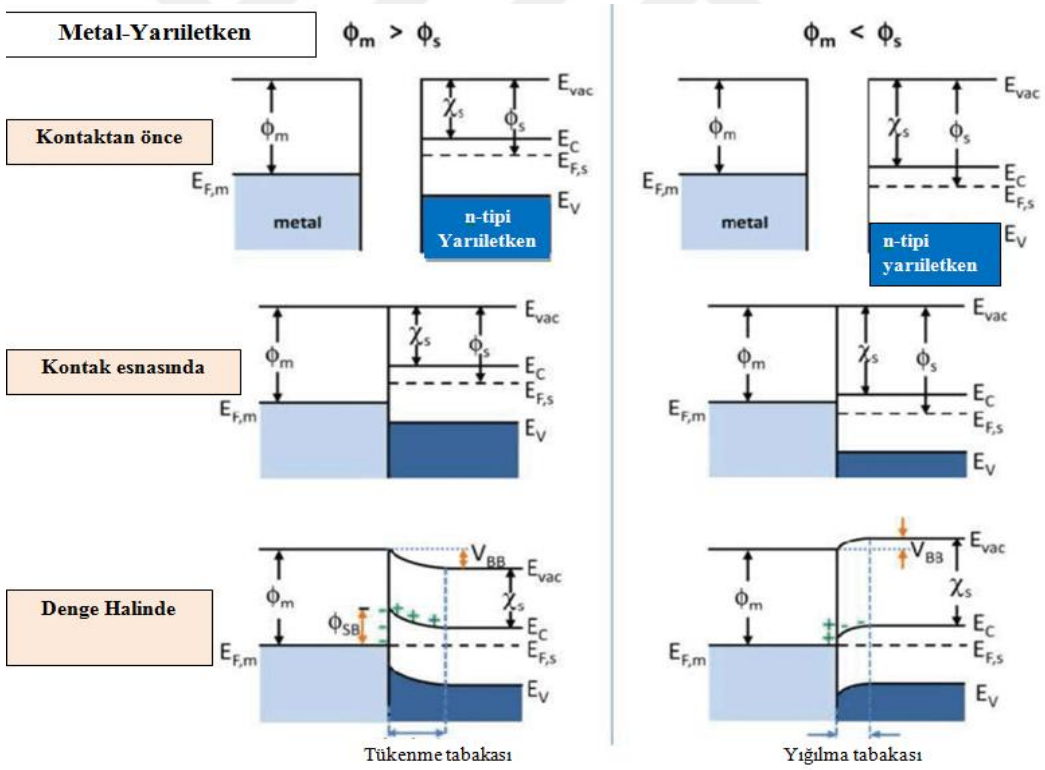
Metal yarıiletken kontakların omik ya da doğrultucu (Schottky) özellikte olması metalin iş fonksiyonu Φ_m ve yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s değerlerine bağlıdır.

Yarıiletkenin (n-tipi) iş fonksiyonunun metalin iş fonksiyonundan daha büyük olması durumunda ($\Phi_s > \Phi_m$), yarıiletkenin kontak bölgesinde, enerji bandı aşağı iner (Şekil 3.4). Böylece yarıiletkenin yüzeyinde elektron yoğunluğu olur. Yoğun elektron bölgesinde direncin az olması sebebiyle yarıiletkenin yüzey bölgesinde direnci az olan bir tabaka meydana gelir. Bu tabakalar esasında omik kontakların temelini oluşturur.

Metal n-tipi yarıiletken kontaklarda yarıiletkenin iş fonksiyonu, metalin iş fonksiyonundan daha küçük olması durumunda da ($\Phi_m > \Phi_s$), Doğrultucu kontak (Schottky kontak) oluşur (Şekil 3.4).

Çizelge 3.1 Metal ve yarıiletkenlerin iş fonksiyonuna göre schottky ve omik kontak oluşumu

İş fonksiyonu	Yarıiletken tipi	Kontak Türü
$\Phi_m > \Phi_s$	p-tipi	Omik
$\Phi_m < \Phi_s$	p-tipi	Doğrultucu (Schottky)
$\Phi_m > \Phi_s$	n-tipi	Doğrultucu (Schottky)
$\Phi_m < \Phi_s$	n-tipi	Omik



Şekil 3.4 Metal n-tipi yarıiletken kontağın enerji bant diyagramları

Metal p-tipi yarıiletken kontaklarda yarıiletkenin iş fonksiyonu, metalin iş fonksiyonundan daha küçük olması durumunda ($\Phi_m > \Phi_s$), yarıiletkenden metale elektron geçmesi sebebiyle, yarıiletkenin yüzeyinde pozitif yük yoğunluğu artar ve direnç azalır. Böylece meydana gelen bu yapı omik kontak özelliği gösterir.

Metal p-tipi yarıiletken kontaklarda yarıiletkenin iş fonksiyonu, metalin iş fonksiyonundan daha büyük olması durumunda da ($\Phi_m < \Phi_s$), elektronların yarıiletkenden metale kolayca geçmesinden ötürü yarıiletkenin kontak bölgesinde pozitif yüklerin yoğunluğu azalır ve direnç artar. Böylesi metal p-tipi yarıiletken kontaklar doğrultucu etki yaparlar. Bunlara Schottky diyotu da denir (Cafer 2000).

3.4 Yarıiletkenler ve İlk Elektronik Cihazlar

Yarıiletkenliğin ilk belgelenmiş gözlemi 1833'te İngiliz fizikçi Michael Faraday tarafından yapılmıştır. Faraday, gümüş sülfid'in elektriksel direncinin azalan sıcaklıkla düştüğünü kaydetmiştir. Yarıiletken malzemenin ilk keşfinden sonraki en önemli buluş; bu malzemenin alternatif akımın (AC), doğru akıma (DC) dönüştürülmesinde kullanılabilmesi olmuştur.

1874'te İngiliz fizikçi Arthur Schuster, bakır tellerden yapılmış bir devreyle doğrultmayı gözlemledi.

1929'da Alman fizikçi Walter Schottky, metal-yarıiletken birleşiminden bu etkiyi doğruladı.

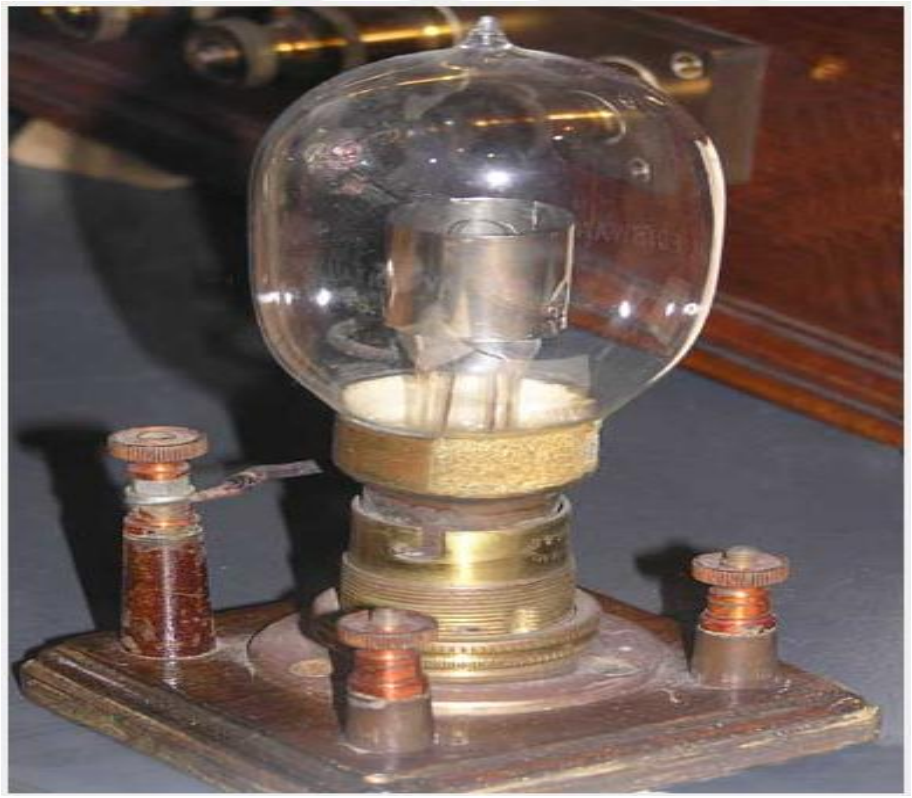
Doğrultma özelliği, diyot yapmada kullanmak için yarıiletkenleri önemli kılar.

1876'da William Grylls Adams ve Richard Evans Day, selenyum ve platin arasındaki bağlantı noktasını aydınlatmanın, bir elektrik akımının yönünü değiştirebileceğini keşfetti. Bu keşif 1883'te Charles Fritts tarafından ilk güneş pilinin yapılmasına yol açtı. Bu hücrenin verimliliği yüzde 1'in altındaydı.

Yarıiletkenler, transistörlerin geliştirilmesi için de çok önemlidir. İlk yarıiletken transistör, John Bardeen ve Walter Brattain tarafından 1947'de geliştirildi.



Şekil 3.5 İlk Transistör



Şekil 3.6 Fleming Diyotu (1904)

3.5 Kullanılan Materyaller

3.5.1 Silisyum Elementinin Bazı Özellikleri

Silisyumun doğada en çok bulunan elementlerden biri oluşu ve yarıiletken özelliğe sahip olması sebebiyle, teknolojide çokça kullanılmaktadır. Mavi-gri metalik parlaklığa sahip, sert ve kırılgan bir kristal yapısı vardır.

Silisyum ilk defa 1824 yılında İsveçli kimyager Jöns Jakob Berzelius tarafından keşfedilmiştir. Silisyum doğada silikat asidi ve tuzları halinde bulunur. Oksijenden sonra doğada bileşikleri halinde en çok bulunan elementtir. Silisyum, valans (son yörünge) elektronu 4, atom numarası 14 olan 4A grubu elementlerindendir. Antimon (Sb) gibi son yörüngesinde 5 elektronu olan bir element, silisyumla katkılandığında oluşan madde elektron fazlalığı nedeniyle n-tipi yarıiletken haline gelir.

Çizelge 3.2 Silisyum elementinin bazı özellikleri

Atom numarası	14
Erime noktası	1410 ^{0}C
Kaynama noktası	3265 ^{0}C
Atom kütlesi	28,08 g.mol^{-1}
Yoğunluk	2,33 g.cm^{-3}
Birinci iyonizasyon enerjisi	786,3 kJ.mol^{-1}

3.5.2 Molibden Elementinin Bazı Özellikleri

Saf haldeyken gümüşümsü beyaz renkli ve erime sıcaklığı çok yüksek sert bir metaldir. 1778'de İsveçli kimyacı Carl Wilhelm Scheele, molibdeni bilinmeyen bir metalin sülfür bileşiği olduğunu göstermiş. 1782'de İsveçli kimyacı Peter Jacob Hjelm de molibdeni metal halinde ayırdı. Çeliğin sertleştirilmesinde ve yüksek sıcaklıklarda dayanıklılığının artırılmasında kullanılır.

Çizelge 3.3 Molibden elementinin bazı özellikleri

Atom numarası	42
Erime noktası	2610 ^{o}C
Kaynama noktası	4825 ^{o}C
Atom kütlesi	95,94 g.mol-1
Yoğunluk	10,2 g.cm-3
Birinci iyonizasyon enerjisi	651 kJ.mol-1

3.5.3 Altın Elementinin Bazı Özellikleri

Parlak sarı renkli yumuşak ve kararlı bir metaldir. Kolay şekillenebilmesi ve iyi bir iletken olması altını önemli hale getirmektedir.

Çizelge 3.4 Altın elementinin bazı özellikleri

Atom numarası	79
Erime noktası	1062 ^{o}C
Kaynama noktası	2000 ^{o}C
Atom kütlesi	196.96 g.mol-1
Yoğunluk	19.3 g.cm-3
Birinci iyonizasyon enerjisi	888 kJ.mol-1

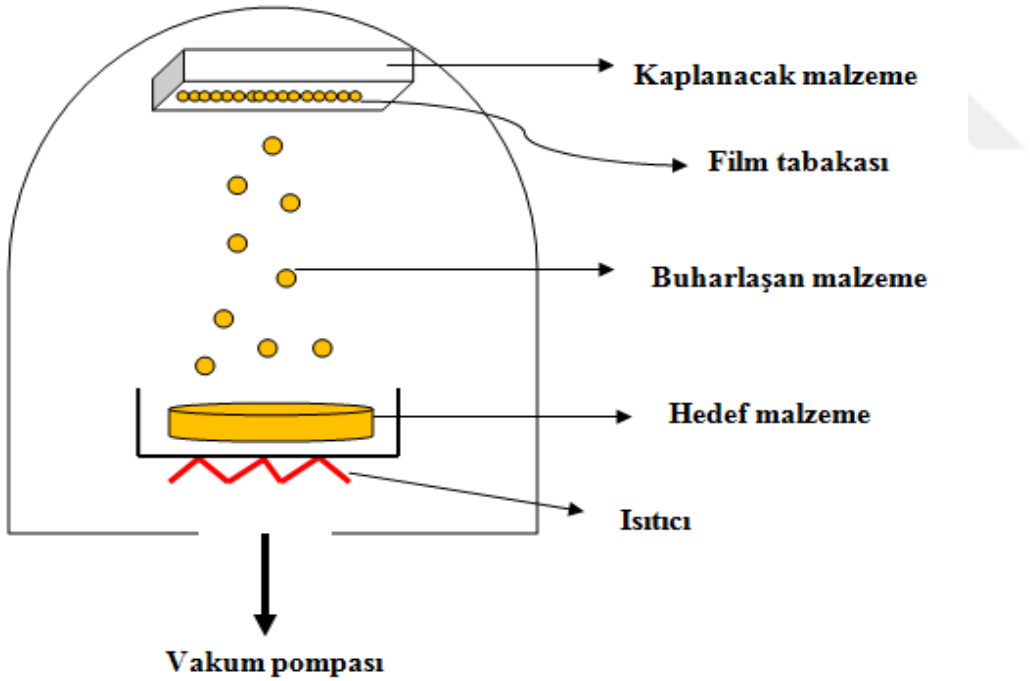
3.6 Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemleri

Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD Physical Vapor Deposition) teknolojisi 19. yüzyıldan beri bilinmektedir. İnce film kaplamalarda kullanılan bu teknik endüstride sıklıkla kullanılmaktadır. Sürekli gelişen teknolojiye ayak uydurmak için bu yöntemler de geliştirilmektedir.

Basit olarak fiziksel buhar biriktirme yönteminde vakumlu bir ortamda ısıtıcıyla buharlaştırılan kaplayıcı madde, kaplanacak malzeme üzerine ince bir film tabakası olarak biriktirilir. Yani kısaca bu teknik kaplayıcı madenini yüksek bir enerji ile plazma haline getirilmesi ve kontrollü bir şekilde hedef malzeme üzerine biriktirilmesi olarak özetlenebilir (Şakar, A 2001).

3.6.1 Termal Buharlaştırma

Bu buharlaştırma yönteminde, buhar fazının elde edileceği kaplayıcı malzeme, yüksek sıcaklıklara dayanıklı malzemeden yapılan potaların içine yerleştirilir. Isıtma sistemi, pota etrafına sarılmış rezistanslı teller yardımıyla sağlanır. Pota malzemesi olarak genellikle Molibden (Mo) veya Tungsten (W) gibi yüksek dayanıklı malzemeler kullanılır. Bu yöntem alüminyum (Al), bakır (Cu), gümüş (Ag) ve kurşun (Pb) gibi düşük erime sıcaklığına sahip malzemelerin buharlaştırılmasında kullanılmaktadır.



Şekil 3.7 Termal buharlaştırma yöntemi

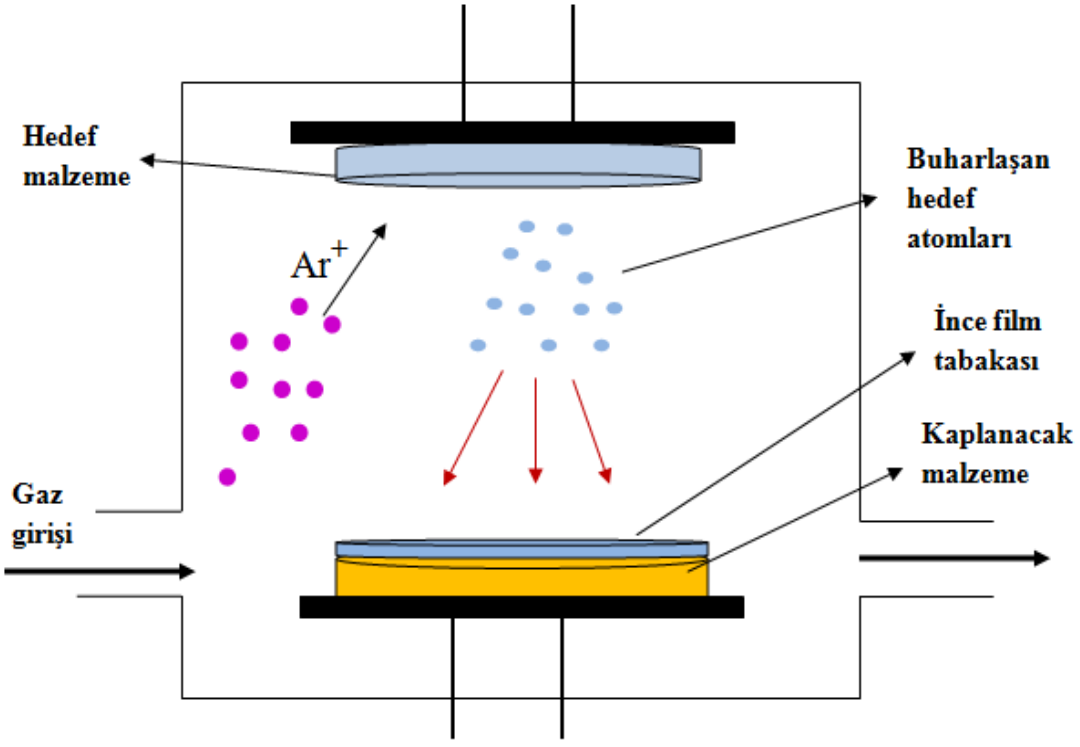
3.6.2 Elektron Bombardımanıyla Buharlaştırma

Elektron kaynağından elde edilen elektronlar, buhar fazın oluşturulacağı malzeme üzerine odaklanır ve ısıtma işlemi gerçekleştirilir. Elektronların yönlendirilmesi kolay olduğu için yüksek enerji yoğunlukları elde edilebilir. Böylece yüksek erime sıcaklığına sahip olan malzemeler kolaylıkla buharlaştırılır (Türküz, 2006)

3.6.3 Saçtırma Yöntemi

Yüksek vakum kullanılan bu yöntemde manyetik bir alanda yüksek gerilim uygulanarak hızlandırılan gaz iyonları hedef metalin (Mo) yüzeyine çarpar. Böylece metal yüzeyinden kopan atomlar (Mo) taban malzemeyi kaplar ve ince film tabakası oluşur. Burada kullanılan gaz iyonları argon, neon gibi soy gazlardır.

Bu yöntemde film kalınlığının kontrol edilebilmesi avantajken, sistemin maliyetli olması dezavantajdır.



Şekil 3.8 Saçtırma kaplama yöntemi

3.7 Numunenin Hazırlanması

Hazırlanan Au/n-Si/Mo numunesinin iyi sonuçlar vermesi için, kullanılacak numunenin organik ve mekanik kirlerden arınmış olması gerekir. Kullandığımız numune fabrikasyon olarak parlatıldığı için laboratuarda sadece kimyasal temizleme işlemi yapıldı.

Temizleme boyunca sırasıyla aşağıdaki adımlar takip edildi;

- Trikloroetilende 5 dakika kaynatıldı.
- Aseton ve etanolde 5 dakika boyunca ultrasonik titreştirildi.
- Deionize su ile yıkandı.
- HF:H_2O (1:10) çözeltisinde 50 saniye tutuldu.
- Tekrar deionize su ile yıkandı.
- N_2 gazıyla kurutuldu.

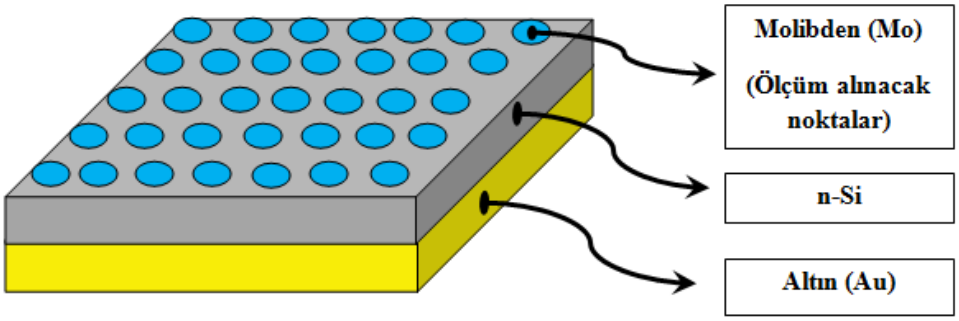
Temizlenen n-Si yarıiletkenin;

- Mat tarafına Au buharlaştırıldı.
- 420 °C'de 3 dakika azot ortamında tavlandı.
- Parlak tarafı önce HF:H_2O ile oksitten arındırıldı.
- Deionize su ile yıkandıktan sonra N_2 ile kurutuldu.

Bu işlemlerin ardından hazırlanan materyal (Au/n-Si) vakum sistemine alınıp üzerine Molibdenyum (Mo) metali, saçtırma yöntemi (sputtering) ile atıldı. Saçtırma yöntemi, cihazda Argon gazı ile oluşturulan plazma ortamında yapıldı.

Elde edilen Au/n-Si/Mo yapısının akım-gerilim ölçümleri Keithley 2400 cihazı ile karanlıkta gerçekleştirildi.

Sıcaklığa bağlı ölçümler Janis marka kriyostat ile Lakeshore 335 kodlu sıcaklık kontrolörü yardımı ile gerçekleştirildi.



Şekil 3.9 Elde edilen Au/n-Si/Mo yapısı

3.8 Norde Fonksiyonları

Yüksek seri dirence sahip metal-yarıiletken kontaklarda, seri direnç, idealite faktörü ve engel yüksekliği gibi fiziksel parametrelerin elde edilmesi amacıyla yeni yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan biri de Norde tarafından *n=1* durumu için seri direnç ve engel yüksekliğini tanımlayan *F(V)* fonksiyonudur. Bu yöntem R_s ve Φ_b'nin sıcaklıkla değişmediği durumlarda uygulandığı için sadece bir sıcaklıkta *I-V* eğrisine ihtiyaç vardır (Kaçuş 2014).

F(V) fonksiyonu;

$$\boldsymbol{F}(\mathrm{V})\,\frac{\boldsymbol{V0}}{\boldsymbol{\gamma}} - \frac{\boldsymbol{kT}}{\boldsymbol{q}}\ln\left(\frac{\boldsymbol{I(V)}}{\boldsymbol{A^{*}AT^{2}}}\right) \qquad (3.1)$$

Burada γ, n değerinden büyük ilk tamsayı değeridir. I(V) I-V karakteristiğinden elde edilen akım değeridir. Engel yüksekliği, F(V)-V grafiğinin minimum noktası bulunduktan sonra hesaplanır. Engel yüksekliği;

$$\Phi_b = F(V) + \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{q} \qquad (3.2)$$

ile verilir. Burada $F(V_0)$, F(V) değerinin minimum noktasıdır ve V_0 değeri bu minimum noktadaki voltaj değeridir (Turmuş 2014).



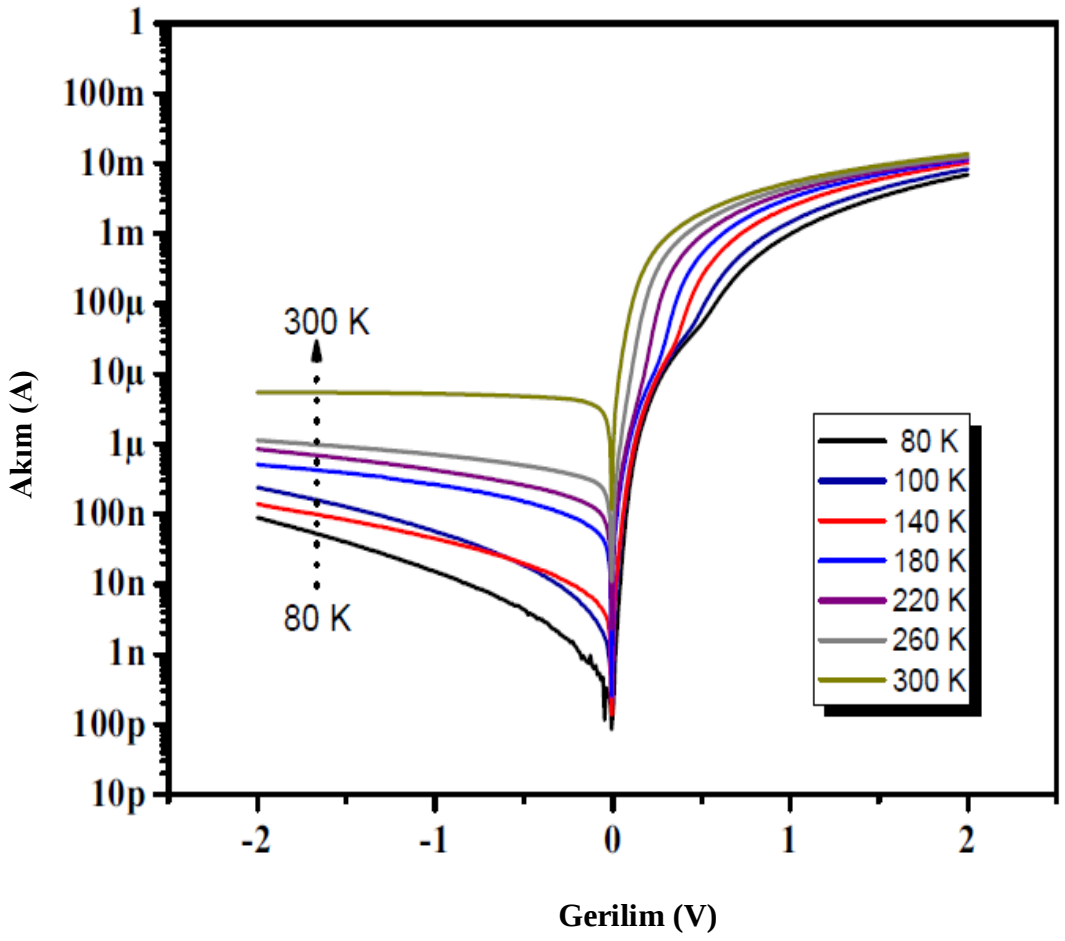
Şekil 3.10 Numune hazırlamada kullandığımız Sputter Cihazı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Elde edilen n-Si/Mo kontağın 80 K-300 K aralığında 40 K aralıklarla ölçülen yarı logaritmik akım-gerilim eğrileri Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Şekilde de görülebileceği gibi n-Si/Mo kontağın doğrultucu özellik gösterdiği diğer bir ifade ile Schottky diyot özelliği gösterdiği görülmüştür. Schottky diyotların elektriksel özelliklerin belirlenmesinde termoiyonik emisyon teorisi kullanılır. Teoriye göre seri dirence sahip bir diyot için doğru beslem akımı (I) ile uygulanan gerilim (V) arasındaki bağıntı

$$I = I_0 \exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{nkT}\right) \qquad 4.1$$

olarak ifade edilen doyma akımıdır.



Şekil 4.1 n-Si/Mo yapının akım-gerilim grafiği

Denklemlerde verilen S diyot alanı, A^* n-Si için 110 A $cm^{-2}K^{-2}$ olan Richardson sabiti, T mutlak sıcaklık, q elektron yükü, R_S seri direnç, n diyotun ideale ne kadar yakın olduğunu gösteren boyutsuz idealite faktörü ve k Boltzmann şeklinde verilmektedir. Burada I_0 doyma akım değeridir ve

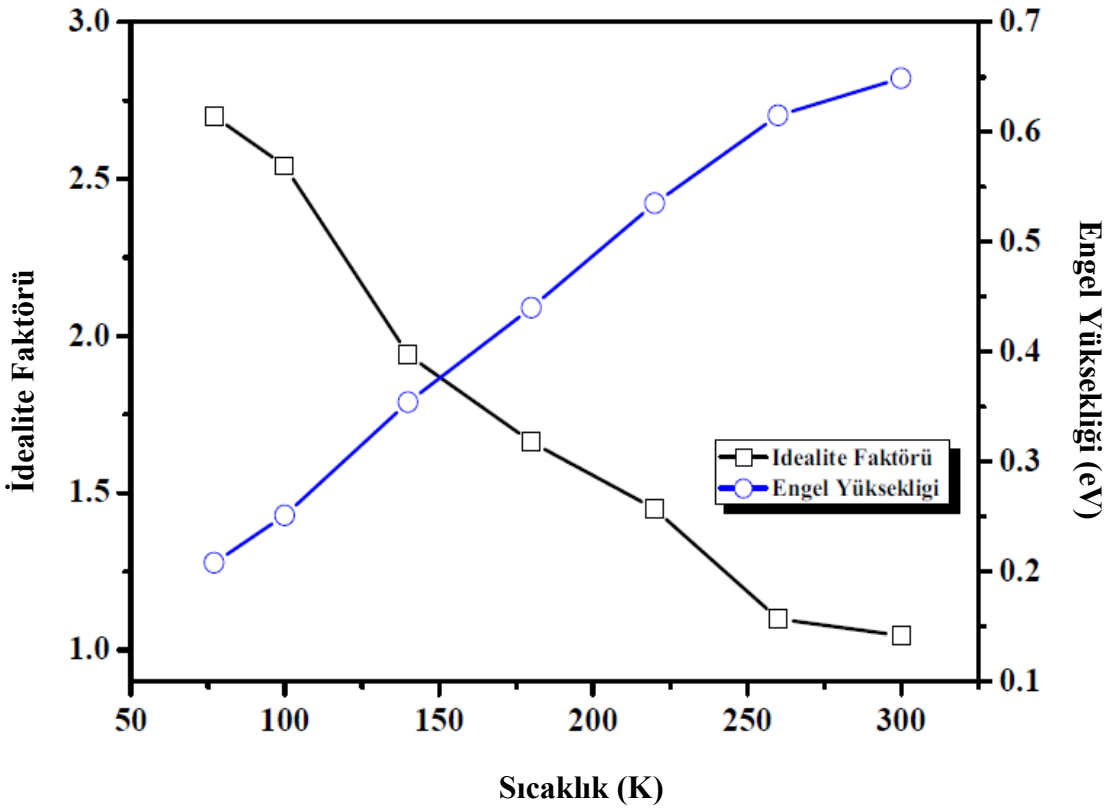
$$I_0 = SA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_b}{kT}\right) \qquad 4.2$$

şeklinde ifade edilir. Bir Schottky diyotun idealite faktörü yarı logaritmik akım-gerilim grafiğinin lineer kısmının $V=0$ noktasına doğru ekstrapolasyonları (fit doğrusu) yardımı ile denklem 4.1. kullanılarak hesaplanır. Bu çalışmada n-Si/Mo doğrultucu diyotun 80 K-300 K aralığında hesaplanan idealite faktörü değerleri Çizelge 4.1'de sunulmuştur. Çizelgeden de görülebileceği gibi n-Si/Mo diyotunun idealite faktörü 80 K'da 2.7 iken bu değer sıcaklıkla azalarak 300 K'da 1.04 değerine düşmüştür. İdeal bir diyot için idealite faktörü değeri 1 olmalıdır. Bu değerden daha büyük idealite faktörü değerleri diyotun ideallikten saptığını göstermektedir. 1 değerinden daha yüksek idealite faktörü değerlerinin kaynağının üretim esnasında ara yüzeyde oluşan doğal oksit katmanının etkisi, ara yüzey durumlarının etkisi veya diyotun seri direncinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 4.1 n-Si/Mo Schottky diyotunun bazı elektriksel parametrelerinin sıcaklığa bağlılığı

Sıcaklık (K)	In*I-V*		Norde	
	n	Φ_b (eV)	Φ_b (eV)	R_S (Ω)
80	2,70	0,208	0,224	14270
100	2,54	0,251	0,263	13030
140	1,94	0,354	0,377	8239
180	1,66	0,440	0,452	3523
220	1,44	0,535	0,538	1216
260	1,10	0,615	0,627	231
300	1,046	0,649	0,657	91

Diyotun engel yükseklik değerleri ise diyotun doyma akım değerlerinin denklem 4.2'de kullanılması ile hesaplandı. Elde edilen değerler yine Çizelge 4.1'de sunulmuştur. Ayrıca Şekil 4.2'de idealite faktörü ve engel yüksekliğinin sıcaklığa bağlılığı gösterilmiştir. Çizelge 4.1 ve Şekil 4.2 incelendiğinde engel yüksekliğinin sıcaklıkla arttığı gözlemlenecektir. 80 K'da 0,208 eV değerine sahip olan n-Si/Mo Schottky diyotunun engel yüksekliği 300 K'da 0,649 eV değerine yükselmiştir. İdealite faktörünün sıcaklıkla azalması ve engel yüksekliğinin sıcaklıkla artması benzer çalışmalarda rapor edilmiştir. Örneğin, Yüksel ve arkadaşları 5,6,11,12-tetraphenylnaphthacene (rubrene) ara tabakalı Al/n-GaAs Schottky engel diyotunun elektriksel özellikleri sıcaklığa bağlı incelemişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada diyotun akım-gerilim (*I-V*) ölçümleri 100-300 K aralığında ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerden elde edilen veriler yardımı ile diyotun engel idealite faktörünün 100-300 K aralığında 6,051 değerinden 1,918 değerine düşerken engel



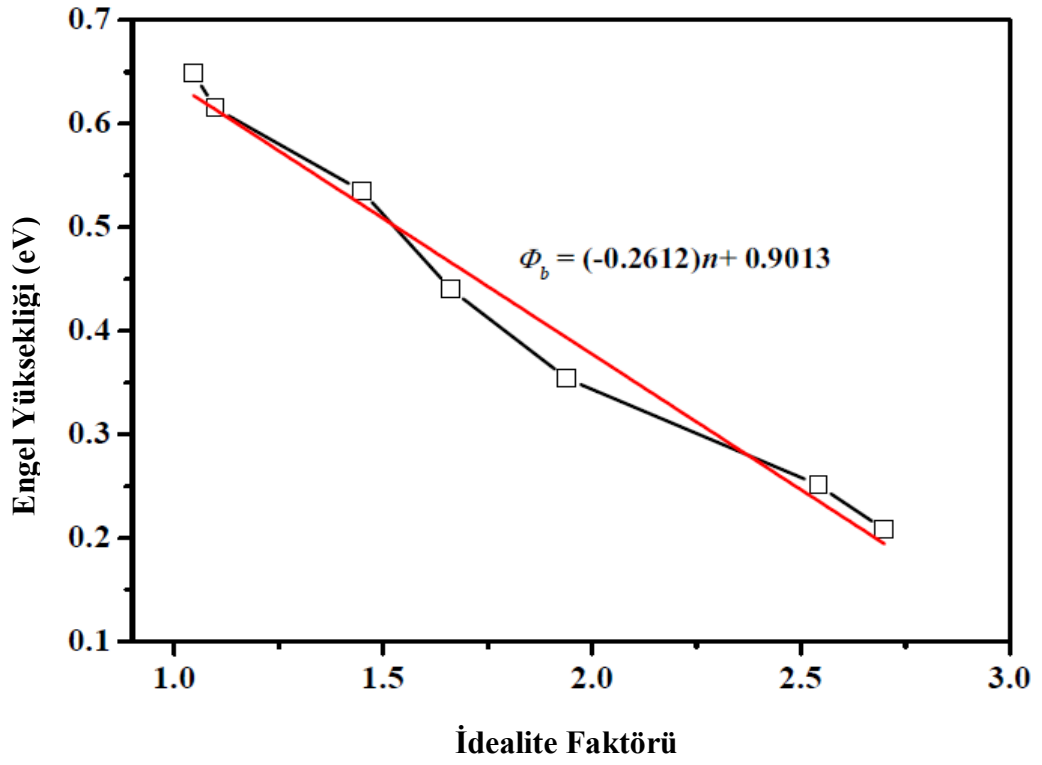
Şekil 4.2 n-Si/Mo yapının İdealite Faktörü ve Engel Yüksekliğinin-Sıcaklığa bağlı grafiği

yüksekliği değerinin 0,297 eV değerinden 0,870 eV değerine yükseldiğini göstermişler. Şekil 4.3'de n-Si/Mo Schottky diyotunun engel yüksekliğinin idealite faktörüne bağlılığı gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi Schottky diyotunun engel yüksekliği ile idealite faktörü arasında lineer bir bağıntı vardır. Bu bağıntı değeri

Φ_b=(-0,2613)n+0,9013 eV 4.3

Şeklindedir. Bu bağıntıya göre ideal n-Si/Mo Schottky diyotunun (n=1 için) engel yüksekliği 0,64 eV'tur.

Şekil 4.1'de sunulan *I-V* grafiklerindeki lineerlikten sapmalar n-Si/Mo doğrultucu diyotunun seri direncinin etkisi olarak kabul edilir. Diyottaki seri direncin kaynağı olarak kontak dirençleri ve yarıiletkenin sahip olduğu direnç gösterilebilir. Diyotlarda seri direncin ölçülmesinde birçok farklı yöntem uygulanabilir. Bunların arasında Norde tarafından önerilen metot çokça tercih edilmektedir. Norde diyotlarda seri direncin ve



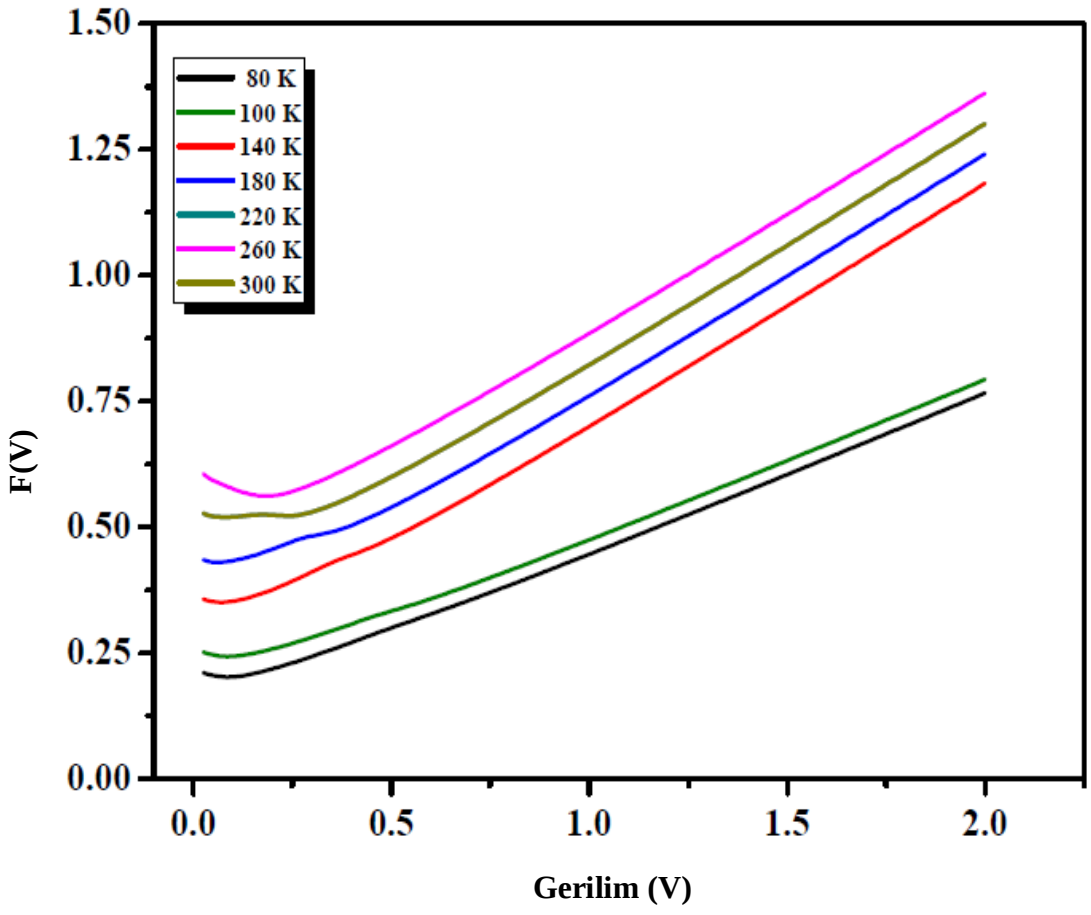
Şekil 4.3 n-Si/Mo Schottky Diyotunun engel yüksekliği ile idealite faktörü arasındaki ilişki

engel yüksekliğinin hesaplanması için Norde fonksiyonu *F (V)* olarak isimlendirilen bir fonksiyon tanımlamıştır. Bu fonksiyon

$$F(V)=\frac{V}{\gamma}-\frac{kT}{q}\left(\frac{I(V)}{AA^{*}T^{2}}\right) \qquad 4.4.$$

olarak tanımlanmıştır. Burada *I (V)* ifadesi I-V verilerinden elde edilen akım değeri, γ idealite faktöründen büyük ilk tam sayıdır. Şekil 4.4'te 80-300 K aralığında n-Si/Mo Schottky diyotuna ait *F(V)* fonksiyonlarının *V* potansiyel farkına bağlılıkları gösterilmiştir. Diyotun engel yüksekliği

$$\phi_b = F(V_0)+\frac{V_0}{\gamma}-\frac{kT}{q} \qquad 4.5$$

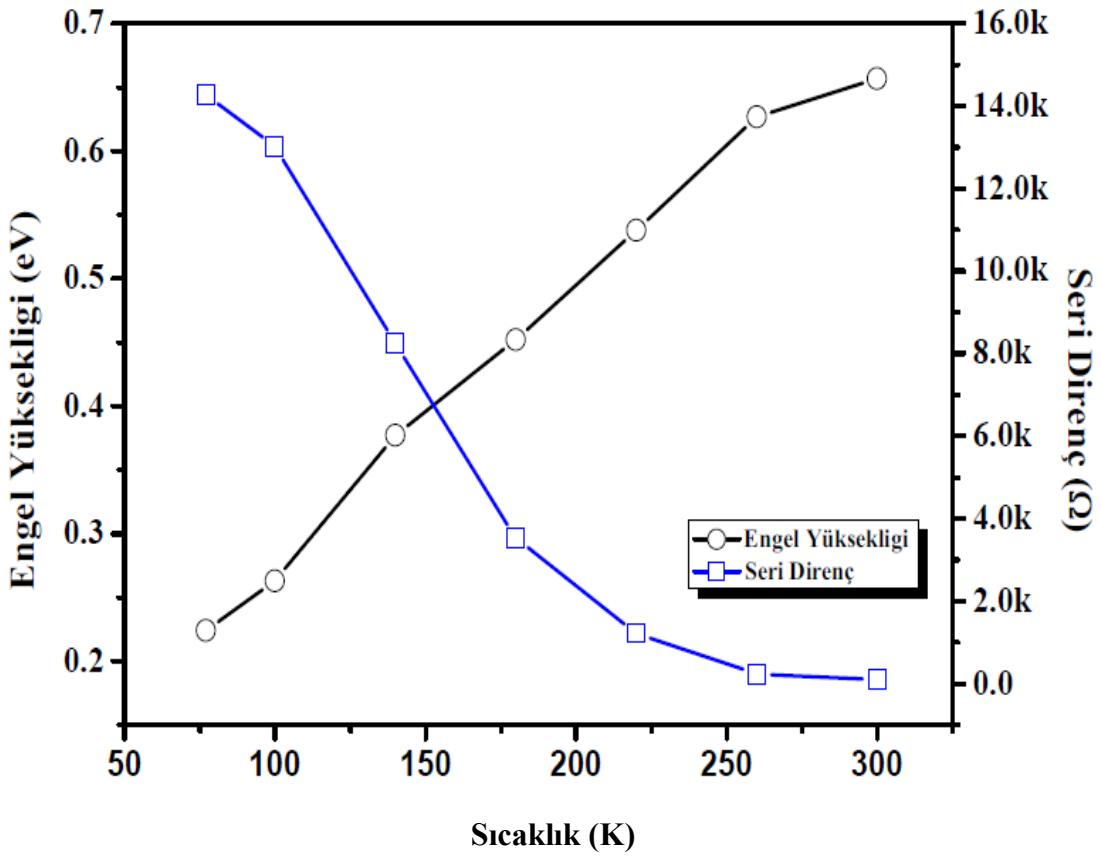


Şekil 4.4 n-Si/Mo yapının F(V)-V grafiği

Denklemi yardımı ile hesaplanabilir. Burada $F(V_0)$ değeri V_{min} değerine karşılık gelen $F(V)$ değeridir. Diğer bir ifade ile $F(V_0)$ değeri V_{min} değerleri $F(V)$-V grafiklerindeki en düşük değere karşılık gelen $F(V)$ ve V değerleridir. Bu metotta seri direnç değeri

$$R_s = \frac{kT(\gamma - n)}{qI_{\min}} \qquad 4.6$$

denklemi ile bulunur. Benzer şekilde bu denklemde I_{min} değeri V_0 değerine karşılık gelen akım değeridir. Norde fonksiyonları kullanılarak n-Si/Mo diyotunun 80-300 K aralığında hesaplanan engel yüksekliği ve seri direnç değerleri Çizelge 4.1'de verilmiş ve bu değerlerin sıcaklığa bağlılıkları Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Tablo ve şekilden de görülebileceği gibi diyotun seri direnç değerleri sıcaklıkla azalırken engel yüksekliği



Şekil 4.5 n-Si/Mo yapının Engel Yüksekliği ve Seri Direncin-Sıcaklığa bağlı grafiği

değerleri ln*I*-*V* grafiğinden elde edilen engel yüksekliği değerleri gibi sıcaklıkla artmıştır. Norde yöntemi ile ln*I*-*V* grafiğinden elde edilen engel yüksekliği değerleri arasındaki fark ölçüm yöntemlerinin farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Öyle ki ln*I*-*V* grafiğinden engel yüksekliği hesaplanırken grafiğin lineer kısmı kullanılırken, Norde yönteminde tüm doğru beslem verileri kullanılmaktadır.

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında DC saçtırma yöntemi ile Mo metalinin n-Si yarıiletken üzerine saçtırılması ile n-Si/Mo metal-yarıiletken kontağı elde edilmiştir. Oda sıcaklığında ve karanlıkta yapılan akım-gerilim ölçümlerinde yapının doğrultucu kontak özelliği gösterdiği görülmüştür.

Oluşturulan n-Si/Mo Schottky diyotunun elektriksel özelliklerinin sıcaklığa bağlılığını incelemek amacıyla 80-300 K aralığında akım-gerilim ölçümleri alınmıştır. n-Si/Mo Schottky diyotunun 80 K-300 K aralığında 40 K aralıklarla ölçülen yarı logaritmik akım-gerilim eğrileri Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Schottky diyotun elektriksel özellikleri termoiyonik emisyon teorisi ile belirlenmiştir. Yapılan ölçümlerde n-Si/Mo Schottky diyotunun idealite faktörünün 80-300 K aralığında sıcaklıkla 2,7 değerinden 1,04 değerine lineer olarak azalırken, engel yüksekliğinin sıcaklıkla 0,208 eV değerinden 0,649 eV değerine yükseldiği görülmüştür. Yapılan analizlerde ayrıca idealite faktörü ile engel yüksekliği arsında lineer bir bağıntının olduğu ve ideal n-Si/Mo Schottky diyotu için engel yüksekliğinin 0,64 eV olduğu gösterilmiştir.

Elde edilen I-V eğrilerinin ileri beslem gerilim altında lineerlikten saptığı gözlemlenmiştir. Bu sapmanın nedeninin diyotun sahip olduğu seri direnç etkisinden kaynaklandığına atfedilmiştir. Norde tarafından önerilen fonksiyonlar yardımı ile yapının sıcaklığa bağlı seri direnç ve engel yükseklikleri hesaplanmıştır. Yapılan bu analizlerde engel yüksekliği değerlerinin aynen ln*I-V* verileriyle elde edilen sonuçlarla paralel olarak arttığı gözlemlenmiştir. lnI-V verileri ve Norde fonksiyonları ile hesaplanan engel yükseklikleri arasındaki farklığın yöntemler arasındaki farktan kaynaklandığı ifade edilmiştir. Bunun asıl nedeni olarak lnI-V verileri ile engel yüksekliği hesaplanırken doğru beslem akım-gerilim grafiğinin lineer kısmının dikkate alınmasına rağmen Norde fonksiyonları ile engel yüksekliği hesaplanmasında tüm doğru beslem akım-gerilim verilerinin kullanılması gösterilmiştir. Ayrıca Norde fonksiyonları yardımı ile aynı sıcaklık aralığında n-Si/Mo Schottky diyotunun seri direncinin 14270 Ω (80 K) değerinden 91 Ω (300 K) değerine düştüğü görülmüştür.

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

6. KAYNAKLAR

ATAMAN, A. (1991). Yarıiletken Elektroniğine Giriş. 5,6. Kocaeli.

Akat, E. (2012) Katıhal Fiziği Temelleri. Papatya Yayınları. 366. İstanbul.

Akkılıç, K. (2002). Si Tabanlı Sn Metali İle Oluşturulan İnce Arayüzey Doğal Oksit Tabakalı ve Tabakasız Schottky Diyotların İdealite Faktörleri İle Engel Yükseklikleri Arsındaki Lineer İlişkinin Araştırılması. DR Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Dicle Üniversitesi. 5. Diyarbakır.

Bozkurt, H. (2009). Metal Yarıiletken Kontaklarda Kapasitenin Arayüzey Hallerine Bağlı İncelenmesi. YL Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüzüncü Yıl Üniversitesi. 2,3. Van.

Büget, U. (1992). Metal Semiconductor Contacts and Related Phenomena. University of Gaziantep Printing Department. 16. Gaziantep.

Cafer, T. (2000). Katıhal Elektroniği. Yıldız Teknik Üniversitesi Vakfı Yayınları. 78, 79, 81, 82. İstanbul.

Demirel, H. (2010). Elektronik Devre Elemanları ve Elektronik Devreler. Birsen Yayınevi. 9, 10. İstanbul.

Fleming diode. Erişim: [http://g3ynh.info/valves/old/fdiode/fdiode.html] Erişim tarihi: 06.08.2017.

Hook, J. R. and Hall, H. E. (2006). Katıhal Fiziği. 2. Baskı. (Çev. Köksal, F., Altunbaş, M., Dinçer, M., Başaran E.). Literatür Yayınları. 169. İstanbul.

Intrinsic Silicon and Extrinsic Silicon. Saf silisyumun atomik yapısı Erişim:

[http://electricalstudy.sarutech.com/intrinsic-silicon-and-extrinsic-silicon/] Erişim tarihi: 08.08.2017.

İlk transistör. Erişim: [https://www.computerhistory.org/revolution/digital-logic/12/273] Erişim tarihi: 06.08.2017.

Kaçuş, H. (2014). Au/Antrasen/n-Si/Al Schottky Diyodun Temel Karakteristik Parametrelerinin Sıcaklığa Bağlı I-V (Akım-Voltaj) ve C-V (Kapasite-Voltaj) Ölçümlerinden Tayin Edilmesi. YL Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. 21. Atatürk Üniversitesi. Erzurum.

Leblebici, D. (1983). Elektronik Devreleri. 1. Cilt. İTÜ Matbaası. 22. İstanbul.

6.KAYNAKLAR

Morgül, A. (2012). Elektronik Devre Elemanları. 1. Basım. Papatya Yayınları. 20, 21. İstanbul.

Neamen, D. A. (2007). Yarıiletken Fiziğine Giriş. (Çev. Sağlam, M. Ateş, A.) Aktif Yay. 1,2. Ankara.

p-tipi yarıiletken, n-tipi yarıiletken Erişim: [https://coderboard.net/elektronik/yari-iletken-elemanlar/#P-ve-N-tipi-Yari-Iletkenler] Erişim tarihi: 23.07.2020.

SZE, S. Z. and Kwok, K, Ng. 3. Edition. (2007). Physics of Semiconductor. Wiley İnterscience Publication. 15, 134. New Jersey.

ŞAKAR, Atakan. Fiziksel Buhar Biriktirme. Erişim: [http://www.makinatek.com.tr/arsiv/yazi/117-fiziksel-buhar-biriktirme] Erişim tarihi: 19.07.2017.

Turton, R. (2007). Katıların Fiziği 2. Baskı. (Çev. Yoğurtçu, Y.K.). Aktif Yayınevi, 125. Erzurum.

Türköz, M. S. (1995). Elektronik Devreleri. 3. Baskı. Sistem Yayınları. 20, 21, 22, 23. İstanbul.

Turmuş, M. (2014). N Tipi Silisyum Tabanlı Altlık Üzerine Pyrene ($C_{16}H_{10}$) Maddesinin Kaplanarak Elde Edilen Yapıların Akım İletim Mekanizmaları. YL Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. 26. Bingöl Üniversitesi. Bingöl.

Türküz, M. C. (2006). Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi İle Yapılan Zirkonyum Nitrür İnce Film Kaplamanın Kaplama Parametrelerinin İncelenmesi ve Optimizasyonu. DR Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul Teknik Üniversitesi. 5, 6. İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı:	**RECAİ ŞAHİN**		
Doğum Yeri:	Diyarbakır		
Doğum Tarihi:	17.04.1990		
Medeni Hali:	Evli		
Yabancı Dili:	İngilizce		
EĞİTİM DURUMU			
Mezuniyet	Okul	Bölüm	Yıl
Lise:	Düzce Cumhuriyet Anadolu Lisesi	Sayısal	2005
Lisans:	Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi	Fizik Öğretmenliği	2014
Yüksek Lisans:	Dicle Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü	Katıhal Fiziği	2020

	DİCLE ÜNİVERSİTESİ **FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ** **TEZ İNTİHAL FORMU**
ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	RECAİ ŞAHİN
ÖĞRENCİ NO	14802003
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2019-2020
YARIYIL	☐ Güz ☒ Bahar
ANABİLİM DALI	Fizik
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	n-Si/Mo SCHOTTKY DİYOTLARIN SICAKLIĞA BAĞLI ELEKTRİKSEL KARAKTERİZASYONU
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	38
BENZERLİK ORANI	% 20
RAPORLAMA TARİHİ	

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 52 sayfalık kısmına ilişkin, 06/03/2020 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından TURNİTİN adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 20 'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

☐ Kabul/Onay sayfaları hariç,

☐ Kaynakça hariç

☐ Alıntılar hariç/dâhil

☐ Diğer

Dicle Üniversitesi Fen 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)**

Recai ŞAHİN

(İMZA/20/08/2020)

Prof. Dr. Kemal AKKILIÇ **Tez Danışmanı** (İMZA/20/08/2020)	Prof. Dr. Hadice BUDAK GÜMGÜM **Anabilim Dalı Başkanı** (İMZA/20/08/2020)