

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**IŞIĞIN,P3HT POLY(3-Hexylthiophene) ORGANİK FİLMİ İLE
ELDE EDİLEN Al/P3HT/p-Si YAPISININ ELEKTRİKSEL
ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİ**

Nilüfer USLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**

DİYARBAKIR

Temmuz 2011

T.C
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DIYARBAKIR

Nilüfer USLU tarafından yapılan “Işığın ,P3HT Poly(3-Hexylthiophene)Organik Filmi İle Elde Edilen Al/ P3HT /p-Si Yapısının Elektriksel Özelliklerine Etkisi” konulu bu çalışma , jürimiz tarafından Fizik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesinin

<u>Ünvanı</u>	<u>Adı Soyadı</u>
Başkan: Doç.Dr.	M.Enver AYDIN
Üye : Doç.Dr.	Fırat AYDIN
Üye : Yrd.Doç.Dr.	Nurettin PİRİNÇÇİOĞLU

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 28/06/2011

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

/ /2011

Prof. Dr. Hamdi TEMEL

ENSTİTÜ MÜDÜRÜ

(MÜHÜR)

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleŐtirilmesinde s¼recin en baŐından sonuna kadar,gerekli b¼t¼n tavsiye,yardımd ve y¼nlendirmeleri yapan ,karŐılaŐtıđım g¼¼klerin aŐılmasında deneyimlerinden faydalandığım değerli hocam sayın Doç.Dr.M.Enver AYDIN'a katkılarından dolayı teŐekk¼r ederim.

Dicle Üniversitesi Bilimsel AraŐtırma Projeleri Koordinat¼rl¼đ¼'ne 10-FF-34 Nolu projeme vermiŐ olduğu destekten dolayı teŐekk¼r ederim.

Ayrıca tez çalıŐmalarım boyunca her t¼rl¼ yardımına baŐvurduđum Abim Cemal Azer USLU 'ya ve oğrenim hayatımın Őekillenmesinde en b¼y¼k katkıyı sağlayan aileme sonsuz teŐekk¼r ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR:	I
İÇİNDEKİLER:	II
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
ÇİZELGE LİSTESİ	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VII
KISALTMAVESİMGELER:	VIII
1.GİRİŞ:	1
1.1.Giriş ve Çalışmanın Amacı.....	1
2.KAYNAK ÖZETLERİ	7
2.1.Metal-Yarıiletken Kontaklar.....	7
2.2 Metal - Yarıiletken n-tipi Kontaklar.....	8
2.3 Metal-Yarıiletken n-tipi Omik Kontaklar.....	8
2.4 Metal-Yarıiletken n-tipi Doğrultucu Kontaklar.....	10

2.5: Metal(omik)/n-Tipi yarıiletken/Metal(doğrultucu) yapısı	12
2.6 Metal – Yarıiletken p-tipi Kontaklar.....	12
2.7 Metal/ p-tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar.....	12
2.8 Metal/p-tipi Yarıiletken Omik kontaklar.....	15
2.9 Metal(omik)/p-Tipi yarıiletken/Metal(doğrultucu) yapısı.....	16
2.10. Metal Yarıiletken (Schottky) Diyotlarda Akım İletim Mekanizmaları.....	17
2.11. Termiyonik Emisyon Teorisi.....	17
3.MATERYAL VE METOT.....	23
3.1 Deney Sistemi, Numune Hazırlanması ve Ölçümler.....	23
3.2 Numune Hazırlanması ve Temizlenmesi	23
3.3 Schottky Diyotların Yapılması	24
3.4 Akım-Gerilim Ölçümleri.....	25
4.TARTIŞMA VE SONUÇ.....	27
5.KAYNAKLAR.....	29
ÖZGEÇMİŞ.....	33

ÖZET

IŞIĞIN, P3HT POLY(3-Hexylthiophene) ORGANİK FİLMİ İLE ELDE EDİLEN Al/P3HT/p-Si YAPISININ ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NİLÜFER USLU

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

2011

Bu tez çalışmasında (100) doğrultusunda büyütülmüş, öz direnci 5-10 Ω .cm arasında olan p-tipi silisyum yarıiletken kristal kullanıldı. Silisyum RCA temizlik metoduyla yıkandı. Daha sonra Silisyumun mat yüzeyine yüksek vakum altında Al buharlaştırılarak tavlama işlemi için N_2 ortamında 570 °C sıcaklıkta 3 dakika bekletilerek omik kontak yapıldı. Omik kontaklı Silisyumun parlak yüzeyine P3HT organik film çözeltisinden birkaç damla damlatıldı ve kurumaya bırakıldı. Böylelikle organik film elde edildi. Elde edilen P3HT/p-Si yapısı üzerine yeniden yüksek vakum altında Al buharlaştırılarak Al/P3HT/p-Si yapısı elde edildi.

Diyodun karakteristik parametreleri, akım-gerilim ($I-V$) ölçümlerinden belirlendi. Işıksız ortamda Al/P3HT/p-Si diyodunun engel yüksekliği 0.78 eV idealite faktörü 2.43, ışıklı ortamda ise engel yüksekliği 0.76 eV idealite faktörü 4.07 olarak belirlendi. Bu sonuç elde ettiğimiz diyodun ışıklı ortama duyarlı olmasına atfedildi

Anahtar Kelimeler: Organik film, p-tipi Silisyum, Elektriksel Özellik

ABSTRACT

THE EFFECT OF LIGHT ELECTRICAL PROPERTIES OF Al/P3HT/p-Si
STRUCTURE OBTAINED WITH P3HT POLY(3-Hexylthiophene) ORGANIC FILM

MSc THESIS

Nilüfer USLU

DEPARTMENT OF PHYSICS
INSTITUTE OF NATURAL SCIENCES
UNIVERSITY OF DİCLE

In this thesis, we have used p-type Si semiconductor crystal with (100) orientation and resistivity between 5-10 Ω .cm. Si wafer has been cleaned by RCA method. Then, ohmic contacts on the unpolished surface formed by evaporation of Al under high vacuum and thermal annealing at 570 °C temperature for 3 minutes under N₂ atmosphere in the quartz tube furnace. A few drops of P3HT organic solutions have been dropped on the polished surface of Si with ohmic contact and it has been left to dry. In this way, Al/P3HT/p-Si has been obtained by evaporation of Al on P3HT/p-Si structure.

Characteristic parameters of the diode have been determined using current–voltage (*I-V*) measurements. Barrier height and ideality factor values of Al/P3HT/p-Si diode have been determined as 0.78 eV and 2.43 in dark 0.76 eV and 4.07 under light, respectively. These results attributed photosense of the diode.

Keywords: Organic film, p-type Si, electrical properties

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>		<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1.	Metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarına göre kontakın yapısı	7

ŞEKİL LİSTESİ

<u>ŞekiNo</u>	<u>SayfaNo</u>
Şekil2.1 $\Phi_m < \Phi_s$ durumunda metal/n-tipi yarıiletken kontağın enerji -band diyagramı	9
Şekil 2.2 Metal-yarıiletken doğrultucu kontağın enerji - band diyagramı	11
Şekil 2.3 $n^+ n M$ yapının termal dengede enerji –band diyagramı	12
Şekil 2.4 Metal p-tipi yarıiletken doğrultucu schottky kontağın enerji-bant diyagramı	14
Şekil 2.5 Metal p-tipi yarıiletken omik kontağın enerji-band diyagramı	15
Şekil 2.6 P^+PM Yarıiletken Diyot Yapısının Termal Denge Durumunda Enerji Bant Diyagramı	16
Şekil 2.7 Düz beslem altındaki metal yarıiletken Schottky kontakta imaj etkisine ait enerji-bant diyagramı	17
Şekil 3.1. Omik kontak termal işlemi için fırın ve kontrol ünitesi şeması	24
Şekil 4.1 Al/P ₃ HT/p-Si yapısı için I-V grafiği	27

KISALTMA VE SİMGELER

Si	:Silisyum
E	:Elektrik Alan
PE	: Potansiyel Enerji
$\Delta\Phi$:Schottky Engel Düşmesi
Jo	:Ters Doyma Akım Yoğunluğu
m*	:Elektronun Etkin Kütlesi
A*	:Richardson Sabiti
A**	:Etkin Richardson Sabiti
N(E)	:Bandlardaki Durumların Yoğunluğu
f(E)	:Fermi-Dirac Dağılım Fonksiyonu
W_D	:Tükenim Bölgesinin Kalınlığı
V	:Uygulanan Gerilim
V_D	:Diyot Üzerine Düşen Gerilim
q	:Elektrik Yüğü
χ_s	:Yarıiletkenin Elektron Yakınlığı
τ	:Arayüzey Tuzaklarının Ömrü
n(x)	:Elektron Yoğunluğu
μ	:Elektron Mobilitesi
D_n	:Elektron Difüzyon Sabiti
N_C	:İletkenlik Bandındaki Etkin Taşıyıcı Difüzyonu
V_d	:Difüzyon Gerilimi
N_D	:Verici Yoğunluğu
V_r	:Termiyonik Rekombinasyon Hızı
D_p	:Yarıiletken Bölgedeki Deşiklerin Difüzyon Sabiti
E_g	:Yasak Enerji Aralığı
Å	:Angstrom
°C	:Santigrat Derece
d	: Engel Bölgesinin Genişliği

e	:Elektron Yüğü
eV	:Elektronvolt
E_F	:Fermi Enerji Seviyesi
E_C	:İletkenlik Bandındaki En Alt Enerji Seviyesi
E_V	:Valans Bandındaki En Üst Enerji Seviyesi
I	:Net Akım
I₀	:Doyma Akım Yoğunluğu
J_{S→M}	:Yarıiletkenden Metale Akım Taşıyıcı Yoğunluğu
J_{M→S}	:Metalden Yarıiletkene Akım Taşıyıcı Yoğunluğu
HCl	:Hidroklorik Asit
HF	:Hidroflorik Asit
n	:İdealite Faktörü
k	:Boltzman Sabiti
Φ_{bn}	:Schottky Engel Yüksekliği
Φ_s	:Yarıiletkenin İş Fonksiyonu
Φ_m	:Metalin İş Fonksiyonu
N₂	:Azot Gazı
Ω	:Ohm(Direnç Birimi)
MS	:Metal Yarıiletken
d_n	:Elektron Konsantrasyonu
H₂O	:Su
H₂O₂	:Hidrojenperoksit
HNO₃	:Nitrik Asit
H₂SO₄	:Sülfirik Asit

1.GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Günümüz elektronik devre elemanları endüstrisinde metal-yarıiletken kontaklar oldukça önemli bir yere sahiptirler. Bu devre elemanlarından, güneş pilleri, metal-yarıiletken alan etkili transistörler (MESFET), Schottky diyotlar (SD), yarıiletken dedektörler, hızlı anahtar (switching) uygulamaları, varaktörler (kapasiteleri uygulanan gerilimle değişen kondansatörler) ve mikrodalga devre elemanları olarak faydalanılmaktadır. (Yıldırım ve ark. 2009)

Yarıiletkenlerin elektronik ve optoelektronik devrelerde kullanımı katıhal fiziğinin en önemli ticari uygulamasıdır. Bilhassa integre devrelerin ticareti her yıl milyarlarca dolar tutmaktadır.Muhakkak ki integre devreler o kadar yaygın kullanılmaktadır ki, bu durum onların milyonlarca transistor den oluşan kompleks devreler olduğunu bile unutturmuştur.Optik yarıiletken devreler,mesela LED ve yarıiletken lazerler,fiberoptik haberleşmenin kullanılmasıyla gittikçe teknolojide önemli yer tutmaya başlamıştır. Turton ve ark.(2005).

Bugün metal – yarıiletken eklemlerin üretimi kolay ve istenilen boyutta olması, mikroelektronikte vazgeçilmez devre elemanları olmalarını sağlamıştır. Teknolojide metal –yarıiletken eklemlerin elektriksel özelliklerinin bilinmesi kullanım alanlarının belirlenmesinde önemlidir. Bu özelliklerinden biri, oluşan bariyerin yüksekliği, diğeri de metal – yarıiletken eklemdaki akım geçiş mekanizmasıdır. Akım geçiş mekanizması metal – yarıiletken eklemin ideallğine bağlıdır. Bu ideallik ideal faktör n ile belirlenir.

Metal-yarıiletkenin doğrultucu özellik göstermesini sağlayan bariyerin yüksekliği,akım-gerilim ve kapasitans-gerilim ölçümleri ile hesaplanabilmektedir. Schottky bariyer diyotun ideallığı akım-gerilim karakteristiğinin elde edilmesiyle bulunabilmektedir. Gürpınar ve ark.(2008)

Pierce ve ark.(1907) ,metallerin yarıiletken üzerine püskürtülmesi ile diyotların doğrultma karakteristğine sahip olduğunu gözlemiştir.Geliştirilen metal-yarıiletken kontak yapıların doğrultucu özelliklerine ilişkin fiziksel mekanizmalar ise 1930'lardan itibaren açıklanmaya başlanmıştır.

Sze ve ark.(1950), p-n kontak yapımı için birçok yöntem geliştirilmiş, Bu kontakta akımın iletilmesi için omik kontak olarak metal-yarıiletken yapılar düşünülmüştür.

Sarma ve ark.(1984)Metal-Yarıiletken kontaklarla ilgili ilk çalışmanın Braun (1874) tarafından yapıldığını belirtmiştir..Braun;demir,bakır ve kurşun sülfür kristaller üzerine metalik kontakların yapmıştır.

F.K.Braun ve ark.(1874),metal-yarıiletken kontakların doğrultucu özellik sergilediğini gözlemiştir .Doğrultma mekanizması tam olarak bilinmemesine rağmen,metal-yarıiletken kontaklar dedektör başta olmak üzere bir çok cihazda kullanılmıştır.

Rhoderick ve ark.(1988), Telekomünikasyonla ilgili deneylerinde Braun'un çalışmalarını göz önüne alarak nokta kontak (Metal-yarıiletken) doğrultucuları dedektör olarak ilk defa Marconi ve ark.(1895).kullandığını belirtmiştir.

Mönch ve Schmitsdorf (1999) aynı şartlar altında hazırlanmış 68 adet, Pb/n-Si Schottky diyodu için termoyonik emisyon teorisinden yararlanarak, idealite faktörü ve engel yüksekliğini ($I-V$) ölçümlerinden elde edip aynı zamanda C-V karakteristiği yardımıyla engel yüksekliği ve taşıyıcı konsantrasyonunu hesaplamışlardır. Engel yüksekliği ve idealite faktörünün geniş bir aralıkta dağılım göstermesinden dolayı ortalamalarının alınmasının daha uygun olacağını belirtip her ikisi için de istatistiksel dağılım kullanarak ortalama değerleri almışlardır.

Temirci ve ark. (2001) Sn/p-Si Schottky diyot yapılarının, engel yükseklikleri ve idealite faktörleri arasındaki lineer bağıntıyı, diyotların ($I-V$) karakteristiğiyle oksit tabakalı ve oksit tabakasız durumlar için incelemişlerdir. Oksit tabakasının olmadığı durum için engel yüksekliği değerini 0.78 eV olarak, oksit tabakasının varlığında ise 0.87 eV olarak tespit etmişlerdir. İdealite faktörü ile engel yüksekliği arasında lineer bir ilişkinin bulunduğunu ifade etmişler, bu durumu metal yarıiletken ara yüzeyindeki yalıtkan tabakayla ve yanal inhomojenlikle ilişkilendirmişlerdir.

Rhoderick ve ark.(1988) Metal-yarıiletken kontakların geçmişinin 18.yy sonlarına kadar uzanmakla beraber bu konuyla ilgili asıl çalışmaların 1960'lı yıllarda yoğunluk kazandığını vurgulamıştır..Metal-yarıiletken arayüzeyinde bir potansiyel engeli oluşturduğunu ilk defa schottky ortaya koymuştur.Onun adına ithafen MS kontaklar Schottky diyot veya Schottky kontaklar adı verilmiştir

Schottky ve ark.(1914)diyotlar üzerine oluşturulan teorik çalışmalar teknolojik çalışmalardan daha sonra olmuştur. Metal-vakum sistemlerinde imaj kuvvetten dolayı engel alçalmasını ilk defa gözlemlemiştir..

Chandra ve ark.'a(1986) göre, yaptığı çalışmalarla Schottky engelini silisyum transistörle birleştirerek, Schottky ve ark.(1986), Schottky engel kapılı metal-yarıiletken alan etkili transistörünü bulmuştur. Daha sonraları yapılan araştırmalarda metal-yarıiletken yapıların karakteristikleri, sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçülmüş ve bu yapılar sıcaklığın tayininde kullanılmıştır.

Fiat ve ark.(2006),Metal-yarıiletken kontakların anlaşılmasını sağlayan ilk adımın Schottky,Störmer ve Waibel(1931) tarafından atıldığını bildirmiştir.Bir akım hareketi olduğunda kontağın hemen hemen bütününde potansiyelin düştüğünü izlemişler ve bunu da bir çeşit engel yüksekliğinin varlığına atfetmişlerdir.Bu zamana kadar kuantum mekaniği de tam olarak kurulmuştu Wilson ve ark.(1932) engeldeki elektronların kuantum mekaniksel tünelleme ile doğrultulduğunu göstermeye çalışmışlardır fakat daha sonra bu mekanizma ile taşıyıcıların rahat hareket ettiği yönü doğru tahmin

edemediklerini fark etmişlerdir.1938’de Schottky ve Mott da ayrı ayrı engel yüksekliği üzerinde çalışmalar yapmışlardır.

Bethe ve ark.(1942), metal-yarıiletken kontakların akım iletim mekanizmasını açığa kavuşturmak amacıyla Termiyonik Emisyon teorisini ortaya atmıştır.Bu teoriye göre,elektronların engelden geçişi,metaldeki elektronların vakuma geçişi ile aynıdır.Başlangıçta elektron serbest yolunun engel bölgesi kalınlığından daha büyük olması gerektiği düşünülebilir fakat uzun süren araştırmaları sonucu Bethe,serbest yolun maksimum engel yüksekliğinden kT kadar aşağıda meydana gelen mesafeden daha büyük olası gerektiği sonucuna varmıştır.

Bardeen ve ark.(1947),Bethe’nin teorisine ek olarak yüzey seviyelerinin belli bir düzeye ulaşmasından sonra engel yüksekliğinin değerinin,kontaktta kullanılan metalin cinsinden bağımsız olacağını göstermiştir

Fiat ve ark(2006), Bir silikon bipolar transistör ile Schottky engelini aynı yapı üzerinde ilk defa Baird (1964) birleştirerek patent almıştır.

Crowell ve Sze(1965),Schottky’nin difüzyon ve Bethe’nin termiyonik emisyon teorilerini tek bir teori(emisyon-difüzyon teorisi)olarak ortaya koymuşlardır.

1970’li yıllarda çalışmalar p-n eklem diyotların V-T karakteristiklerini ölçerek devam etmiştir.1980’li yıllarda ise MS diyotların V-T karakteristiklerinin ölçülmesi gerçekleştirilmiştir. Bengi ve ark.(2009)

Evans ve ark.(1985),Düz beslem Schottky diyotlarında, uzay yükü bölgesi kapasitesinde gözlenen fazlalığın düşük frekans kapasitesi olduğu ve bu fazla kapasite azınlık taşıyıcılarına farklı olarak yüzey hallerine atfetmiştir.

X. Wu ve H.L(1989),Yang , n-tipi yarıiletken Schottky diyotların,arayüzeyde düşen voltajı ve yüzey yükünü göz önüne alarak Arayüzey Teorisini geliştirdiler. Potansiyel engelinin pozitif uzay yükü artışından dolayı düştüğünü ve arayüzey tabakasında düşen voltajın düz beslem ($I-V$) karakterisiklerinin idealite faktöründe artışa neden olduğunu açıklamıştır.

Çakar ve ark.(2002),piron-B(pyronine-B)'yi Si altlığın üzerine ilave ederek MIS (Metal-Yalıtkan-Yarıiletken)kontaklarını elde edip idealite faktörü ve engel yüksekliği gibi değişkenleri hesapladılar.

Akkılıç ve ark. (2003), doğal oksit tabakalı olan ve doğal oksit tabakasız Sn/n-Si yapılar elde etmiş , arayüzeydeki doğal oksit tabakasının bazı elektronik parametreler üzerine etkisini araştırmışlardır. Temiz oda atmosferine 7 gün süreyle maruz bırakılmış numunelerin engel yüksekliği ve idealite faktörü değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Yarıiletkenlerin elektronik özellikleri yasak enerji band aralığındaki tuzak merkezlerinden büyük ölçüde etkilenir. Fotonların bu tuzaklarla etkileşiminin doğası tam olarak bilinmemektedir. Fotonların mevcudiyetinin Silisyum bantları ve yüzey kusurları arasındaki yük alışverişini kolaylaştırdığı görülmektedir. Bunun sonucunda foton indüklenmesi hasarı meydana gelmemektedir.Sonuç olarak aydınlanma ortadan kaldırıldığı zaman aygıt yeniden karanlıktaki özelliklerine dönmektedir.Son yıllarda Metal-Yarıiletken (MY) veya (MYY)Metal-yalıtkan-Yarıiletken yapıları Schottky diyotların C-V(Kapasitans-Voltaj) ve G-V(İletkenlik-Voltaj) özellikleri N_{SS} ve R_{SS} ve yalıtkan tabaka etkileri gözönüne alınarak incelenmektedir. R_s (seri direnç), aygıtın kapasitans ve iletkenlik değerlerini büyük ölçüde etkilemekle beraber aydınlanma şiddetine bağımlı hale getirmektedir.

Yıldız ve ark. (2008), Doğru beslem ($I-V$) karakterisitiklerinde lineerlikten sapmanın,yeterince büyük beslem voltajı uygulandığı zaman seri direnç (R_s), arayüzey yalıtkan tabaka, arayüzey durumlarından kaynaklanabileceğini belirtti

Tung ve ark. (2001), çalışmalarında engel yüksekliğinin homojen olmayan yapısı azaldığında daha küçük n değerleri ve daha yüksek Φ_B değerleri bulmuşlardır. n değerlerinin birden büyük çıkmasını imaj kuvvetinin etkisiyle engelin azalmasına,üretim-yeniden birleşme akımlarına, arayüzey durumlarına atfetmiştir.

Gupta ve ark.(2004)Polimerik olmayan ve polimerik organik bileşik ince filmlerle hazırlanan diyotların, doğrultucu özelliklere sahip olduklarını bulmuşlardır.

Bu tez çalışmasında birinci bölümde konu ile ilgili literatürler, İkinci bölümde metal-yarıiletken kontaklar ile ilgili teorik bilgiler verildi. Üçüncü bölümde ise yapılan deneysel çalışma yöntemi, ölçüm araçları ve ölçüm yöntemi ile sonuçlarında elde edilen grafik ve çizelgeler gösterilmiştir. Sonuç bölümünde ise giriş ve literatür kısmında verilen bilgilerle deney sonucunda elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

Bu tez çalışmasının amacı P3HT Poly(3-hexyathiophene)-2,5diyl organik filmi ile elde edilen Al/P3HT/p-Si yapısının elektriksel özelliklerinin ışığa maruz kaldığında nasıl bir değişim geçirdiğini incelemek ve yapının ışığa duyarlı olup olmadığını belirlemektir.

2.KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Metal Yarıiletken Kontak Yapılar

Rhoderick ve ark.(1988) Metal-yalıtkan ve yarıiletken kristallerin iletkenlik yapılarının incelenmesi yalnızca bu yapılara uygun kontakların uygulanmasıyla mümkündür.Kontak,iki maddenin en az dirençle(idealde sıfır dirençle)temas ettirilmesidir.İdeal bir kantağın elde edilmesi,yüzeylerin temiz,parlak ve pürüzsüz olmasıyla doğrudan ilişkilidir.

Ziel ve ark.(1968), Kontak haline getirilen maddeler arasında, elektrokimyasal potansiyelleri aynı düzeye gelinceye kadar bir yük alışverişi olur.

Bir metal ile bir yarıiletken,kontak durumuna getirildiğinde,yeni yapı metal-yarıiletken(MS)diye adlandırılır ve maddelerin iş fonksiyonlarına göre;

- a)Doğrultucu kontak
- b)Omik kontak olarak sınıflandırılır.

Metal-yarıiletken kontaklar, metalin ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarına (Φ_m , Φ_s) bağlı olarak, omik ve doğrultucu kontak (Schottky kontak) olmak üzere iki kısımda incelenir. p-tipi yarıiletken kontaklarda $\Phi_m < \Phi_s$ ise, doğrultucu kontak, eğer $\Phi_m > \Phi_s$ ise omik kontak oluşur. n-tipi yarıiletken kontaklarda ise $\Phi_m > \Phi_s$ durumunda doğrultucu kontak ve eğer $\Phi_m < \Phi_s$ durumunda ise omik kontak oluşur.

	p-tipi yarıiletken	n-tipi yarıiletken
Omik kontak	$\Phi_s < \Phi_m$	$\Phi_s > \Phi_m$
Doğrultucu kontak	$\Phi_s > \Phi_m$	$\Phi_s < \Phi_m$

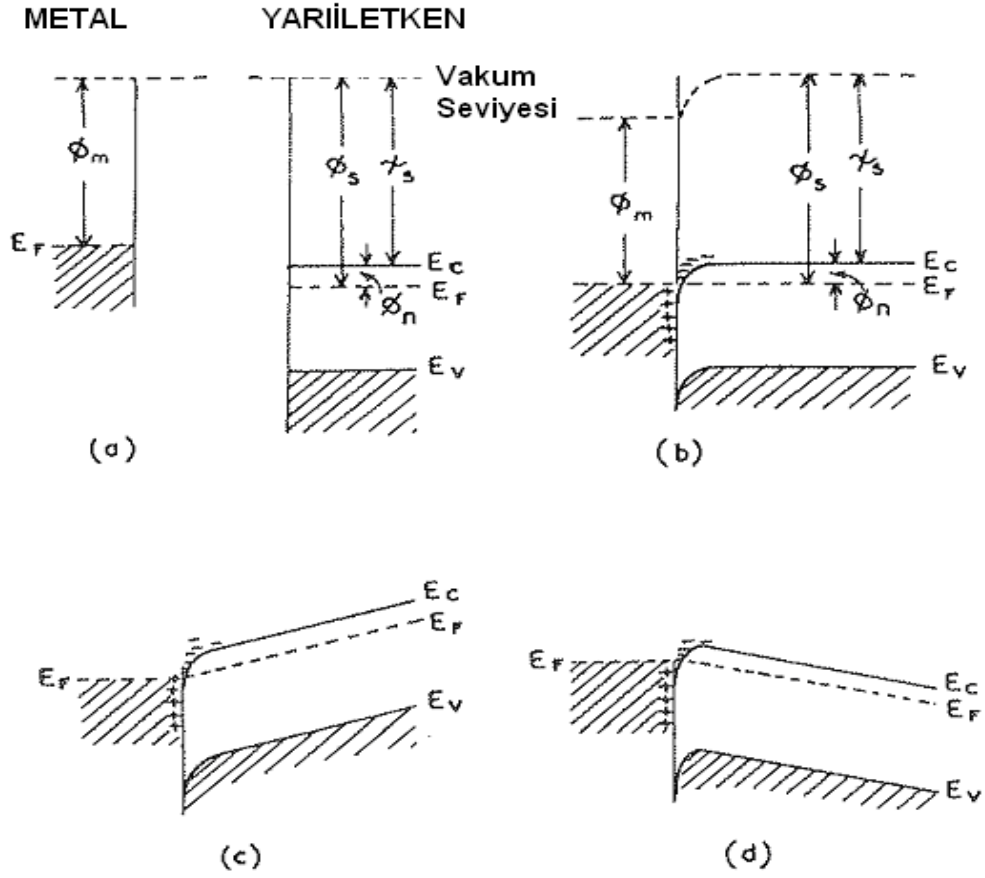
Çizelge 2.1.Metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarına göre kantağın yapısı

2.2 Metal / n-Tipi Yarıiletken Kontaklar

Bir metal-yarıiletken n-Tipi kontağın doğrultucu veya omik kontak olduğunu anlamak için metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarına bakmak gerekir. Φ_m metalin iş fonksiyonu, Φ_s yarıiletkenin iş fonksiyonu olmak üzere, $\Phi_m > \Phi_s$ olduğunda kontak doğrultucu, $\Phi_m < \Phi_s$ olduğunda ise omiktir.

2.2.1 Metal /n-tipi Yarıiletken Omik kontaklar

$\Phi_m < \Phi_s$ olması halinde bir metal ile bir yarıiletkenin kontak haline getirilmesi ile n-tipi omik kontak elde edilmiş olur. Şekil 2.1.(a)' da ayrı ayrı metal ve yarıiletkenin bant diyagramları görülüyor. Metal ile yarıiletken kontak edildikten sonra elektronlar metalden yarıiletkenin iletim bandına akarlar. Bu elektronlar metal tarafında arkalarında pozitif yükler bırakarak metal tarafında pozitif bir yük tabakası oluştururlar ve yarıiletken tarafında da negatif yükler birikir. Dengeye ulaşıldığında fermi seviyesi Şekil 2.1.(b)' de görüldüğü gibi ($\Phi_s - \Phi_m$) kadar yukarı çıkar. Yarıiletkende yükün toplandığı tabaka Debye uzaklığı mertebesinde olan bir kalınlık ile sınırlandırılmıştır. Şekil 2.1.(c) ve Şekil 2. 1.(d)' de görüldüğü gibi yarıiletken içinde bir tüketim bölgesi oluşmamıştır ve potansiyel engeli de yoktur. Elektronlar metalden yarıiletkene veya yarıiletkenden metale kolayca geçerler. Arayüzeye yakın bölgede elektron konsantrasyonu artar ve sistemdeki en yüksek dirençli bölge bulk yarıiletken bölgesidir. Pratik olarak uygulanan tüm dış voltaj yüksek dirençli bulk bölgeye düşer. Böylece akım bu bulk bölge tarafından kontrol edilir ve uygulanan dış voltajın yönünden bağımsızdır (Şekil 2.1.c ve Şekil 2.1.d). Bu tip doğrultma yapmayan kontak omik kontak olarak adlandırılır.



Şekil2. 1. $\Phi_m < \Phi_s$ durumunda metal/n-tipi yarıiletken kontağın enerji band diyagramı

a)ayrı ayrı materyaller b)termal denge

c)ters belsem

d)doğru belsem

Kanbur ve ark.(2008)

Kontağın metal tarafına pozitif bir $+V$ gerilimi uygulanırsa bu durumda yarıiletkenden metale doğru akan elektronlar için engel gözlenmez ve elektronlar bu yönde kolayca hareket edebilirler(Şekil 2.1.c) Ancak yarıiletken tarafına pozitif bir $+V$ gerilimi uygulanırsa yarıiletkenin aşırı doping (katkılı) durumundan dolayı elektronların karşılaşacakları engel yüksekliği yine çok küçük olacaktır ve elektronlar kolayca metalden yarıiletkene doğru akacaklardır (Şekil 2.1.d). Sonuçta bu tip bir kontakta,elektronlar her iki yönde kolayca hareket edebilirler. Bu nitelikte oluşan kontaklara omik kontaklar denir. Omik kontakta bir $+V$ gerilimi uygulandığında, potansiyel bütün yarıiletken gövde boyunca dağılacaktır. Metale negatif bir $(-V)$ gerilim uygulandığında, metalden yarıiletkenin iletkenlik bandına

elektron geçişi olmasından dolayı bu kontaklara enjeksiyon kontakları da denir. Andrews ve ark.(1970).

2.2.2 Metal n-Tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar

Ziel ve ark.(1968) , doğrultucu kontak oluşması halinde elektronlar bir yönde kolayca hareket ederken ters istikamette gözlenen hareketleri,kontak bölgesinde meydana gelen potansiyel engelinden dolayı güçleştiğini gözlemiştir..Bu durum kontak haline getirilen iki maddenin enerji-bant diyagramlarıyla doğrudan ilgilidir.

Φ_m ;metalın iş fonksiyonu, Φ_s ;yarıiletkenin iş fonksiyonu olsun. $\Phi_m > \Phi_s$ ise metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontağı oluşur.Şekil 2.2(a)'da görüldüğü gibi kontakdan önce yarıiletkenin fermi seviyesi metalin fermi seviyesinden $\Phi_m - \Phi_s$ kadar yukarıdadır. Kontakın gerçekleşmesinden sonra yük alışverişinden dolayı yarıiletken yüzeyindeki elektronlar ,iyonize olmuş donolar bırakarak metale geçerler.Bu yük alışverişi tamamlandıktan sonra metal ve yarıiletkenin fermi seviyeleri aynı düzeye gelir.Bir başka deyişle yarıiletkenin enerji seviyeleri,iş fonksiyonları farkı kadar $\Phi_m - \Phi_s$ alçalır.(şekil 2.2.b)Bunun sonucu olarak metal tarafındaki yüzey yükleri ile yarıiletken tarafındaki uzay yüklerinin oluşturduğu dipol tabakasından dolayı,yarıiletken yüzdeki bantların yukarı doğru bükülmesiyle bir potansiyel engeli oluşur.Bu potansiyel engelinin yarıiletken tarafındaki yüksekliği;

$$eV_d = \Phi_m - \Phi_s$$

metal tarafındaki yüksekliği ise;

$$e\Phi_{on} = \Phi_m - \chi_s \quad (2.1)$$

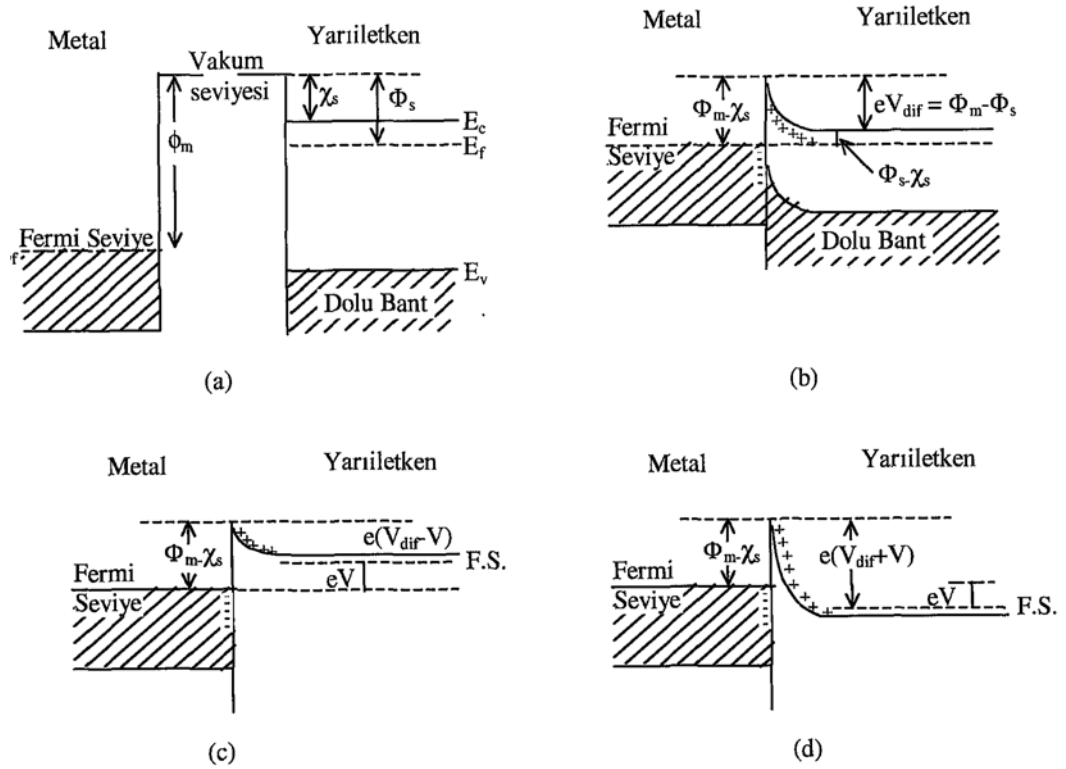
eşitlikleri ile verilir.

Termal uyarımla,potansiyel engelini aşmaya yetecek enerjiye ulaşan elektronlar metalden yarıiletkene ve yarıiletkenden metale geçerek,eşit ve zıt I_0 sızıntı akımı oluştururlar.Eğer, yarıiletkene (-V) gerilimi uygulanırsa şekil2.2(c),metalden yarıiletkene geçen elektronlar için engel yüksekliği değişmez,akım da aynı kalır .Buna mukabil,yarıiletkenden metale geçen elektronlar için iletkenlik bandı eV kadar yükseleceğinden engel yüksekliği de eV kadar azalacaktır. Dolayısıyla

metalden yarıiletkeneye doğru akan akım ise, $\exp(e V / k T)$ çarpanı kadar değişecektir.Oluşan net akım;

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \text{ olur.}$$

.Ki bu akım pozitiftir.V $\gg kT/e$ belsem durumuna,doğru beslem denir.Yarıiletken tarafına +V gerilimi uygulanırsa(şekil 2.2(d),iletkenlik bandı eV kadar alçalır ve yarıiletken tarafındaki engel yüksekliği e V kadar artar.Oluşan net akım $-I_0$ değerine yaklaşır.Bu beslem durumunda da $V \ll -k T / e$ olduğu için ters beslem denir.Buradan anlaşılacağı gibi,yarıiletken tarafındaki potansiyel engelinin yüksekliği uygulanan voltaja bağlı olarak değişir.Metal tarafındaki engel yüksekliği voltajdan bağımsızdır.Özdemir ve ark.(2002)

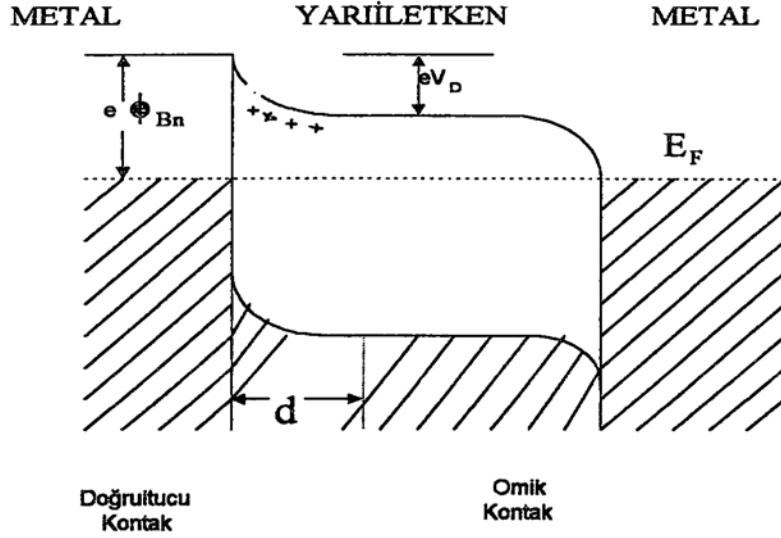


Şekil2.2 Metal-yarıiletken n-tipi doğrultucu kontakın enerji bant diyagramı

- kontak öncesi,metal ve yarıiletkenin enerji bant diyagramı
- kontak sonrası termal dengedeki enerji-bant diyagramı
- $V < 0$ olması halinde enerji bant diyagramı
- $V > 0$ olması durumunda enerji bant diyagramı

2.2.3 Metal(omik)/n-Tipi yarıiletken/Metal(doğrultucu) yapısı

Metal(Omik)n-tipi Yarıiletken/Metal(doğrultucu)yapısı; n-tipi yarıiletkenin bir yüzeyinin aşırı katkılanması sonucu elektron bakımından çok zengin n⁺ n omik kontağı ve diğer yüzeyine uygulanan nM doğrultucu kontağından oluşmaktadır.



Şekil 2.3. n⁺ n M yapının termal dengede enerji –band diyagramı

Bu yapının omik kontak tarafı -V gerilimiyle beslendiğinde sistem doğru belsemde,+V gerilimiyle beslendiğinde sistem ters belsemde dir denir.n⁺ n M karakteristik bakımından diyot özelliği sergiler.

2.3 Metal p-tipi Yarıiletken kontaklar

Bu tip kontaklarda kontağın omik yada doğrultucu olduğunu anlamak için metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarına bakmak gerekli ve yeterli koşuldur.Bir metalin iş fonksiyon Φ_m ,yarıiletkenin iş fonksiyonu ise Φ_s olmak üzere;

$\Phi_m > \Phi_s$ olması durumunda omik kontak,

$\Phi_m < \Phi_s$ olması durumunda ise doğrultucu kontak elde edilir.

2.4 Metal p-tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar

Metal ve bir yarıiletken kontak haline getirildiğinde, bu iki madde arasında yüklerin yeniden dağılımı gözlenir. Yük dağılımı, her iki maddenin Fermi

seviyeleri (elektrokimyasal enerjileri) aynı düzeye gelinceye kadar devam eder ve denge durumu meydana gelir. Bir metal yarıiletken kontakta yük taşıyıcıları (boşluk ve elektronlar) bir doğrultudan diğer doğrultuya göre daha kolay geçebiliyorsa, bu kontak doğrultucu kontaklıdır. Dolayısıyla doğrultucu kontakta bir doğrultudaki akım diğer doğrultuya göre daha kolay geçer. Φ_m ; metalin iş fonksiyonu Φ_s ; yarıiletkenin iş fonksiyonu ve E_s ise valans bandının tepesi ile vakum seviyesinin tabanı arasındaki fark olarak alınır. Eğer $\Phi_m < \Phi_s$ ise kontakın doğrultucu, $\Phi_m > \Phi_s$ ise kontakın omik olması beklenir

İlk durumu göz önüne alırsak: Yani $\Phi_m < \Phi_s$ olması halinde. Oda sıcaklığında akseptörlerin hepsi iyonize olduğu varsayalım. Kontakta önce, (Şekil 2.4.1a) Yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden $\Phi_s - \Phi_m$ kadar aşağıdadır. Kontakta sonra, metal ve yarıiletkenin Fermi seviyeleri aynı hizaya gelinceye kadar metalden yarıiletkene elektron akışı olur. Bunun sonucunda yarıiletkenin tarafındaki holler, bu elektronlardan dolayı iyonize olurlar. Yarıiletkenin yüzey tabakasındaki bu negatif yüklü iyonize olmuş akseptörler d kalınlığındaki bir uzay yük tabakası içerisinde dağılır. Yarıiletken gövdedeki enerji seviyeleri $\Phi_s - \Phi_m$ kadar yükseldiğinden, yarıiletken tarafındaki holler için yüzey engeli;

$$eV_{dif} = \Phi_s - \Phi_m \quad (2.2)$$

olur. Burada V_{dif} , difüzyon potansiyelidir. Yarıiletken içerisindeki bu potansiyel, metalin yüzeyine göre alınır. Kontakta metal tarafındaki holler için engel yüksekliği;

$$e\Phi_{bn} = E_s - \Phi_m \quad (2.3)$$

olur.

Termal uyarılmadan dolayı ,yarıiletkendeki bazı holler potansiyel engelini aşacak kadar enerji kazanıp ,metaline içine geçebilir.aynı şekilde metalde termal olarak oluşan bazı holler de engeli aşacak kadar enerji kazanıp yarıiletken içine geçebilirler.Böylece kontakta eşit ve zıt yönlü iki I_0 akımı oluşur.

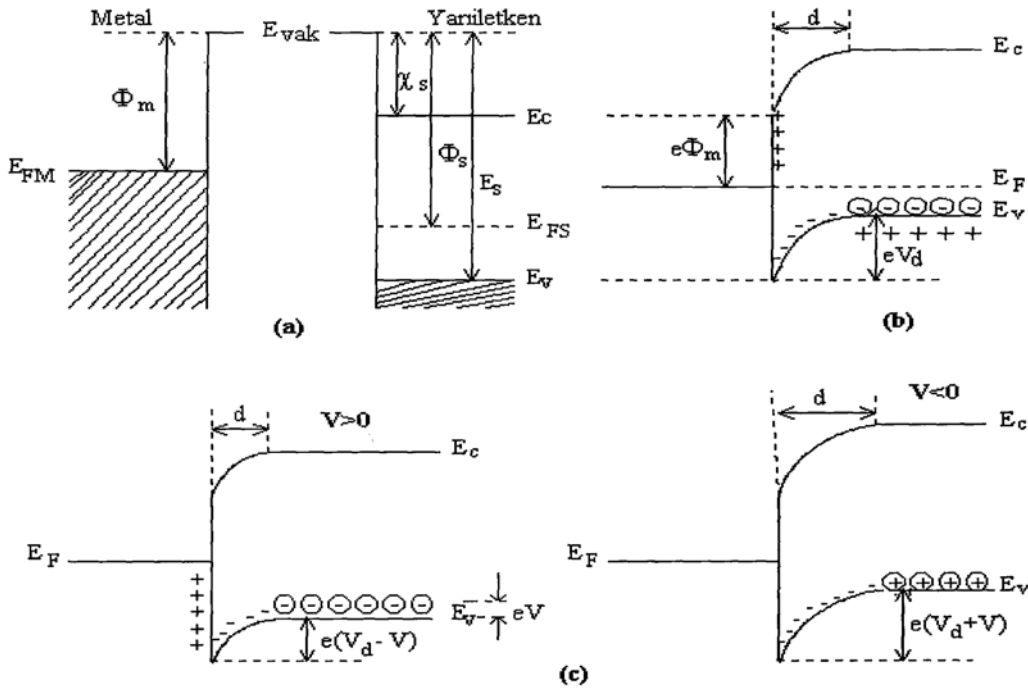
2.KAYNAK ÖZETLERİ

Eğer yarıiletken bir V gerilimi uygulanırsa (şekil 2.4.1.b)soldan sağa akan hol akımı değişmez.

Fakat sağdan sola akan hol akımı $\exp(eV/kT)$ çarpanı kadar değişir.Bundan dolayı yarıiletkendeki enerji seviyelerinin tümü e V kadar düşer.Buna bağlı olarak yarıiletkenden metale geçen holler için engel yüksekliği e V kadar azalır.Sonuç olarak yarıiletkenden metale geçen hollerin oluşturduğu akım pozitif kabul edilirse karakteristik akım;

$$I=I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.4)$$

olacaktır. Bu da bir doğrultucu kontakttır.



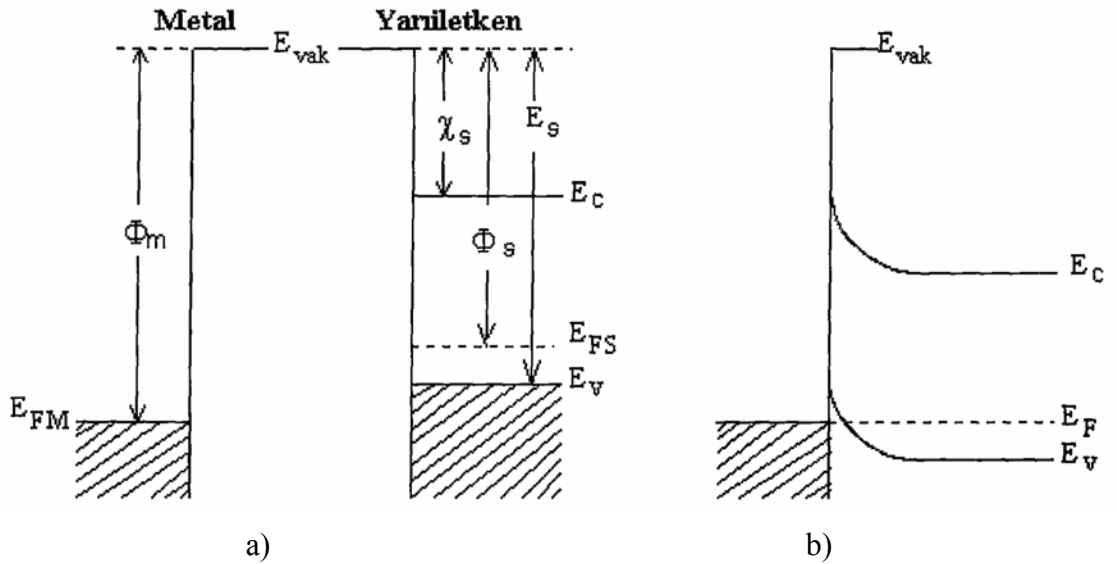
Şekil 2.4.Metal p-tipi yarıiletken doğrultucu schottky kontağın enerji-bant diyagramı.

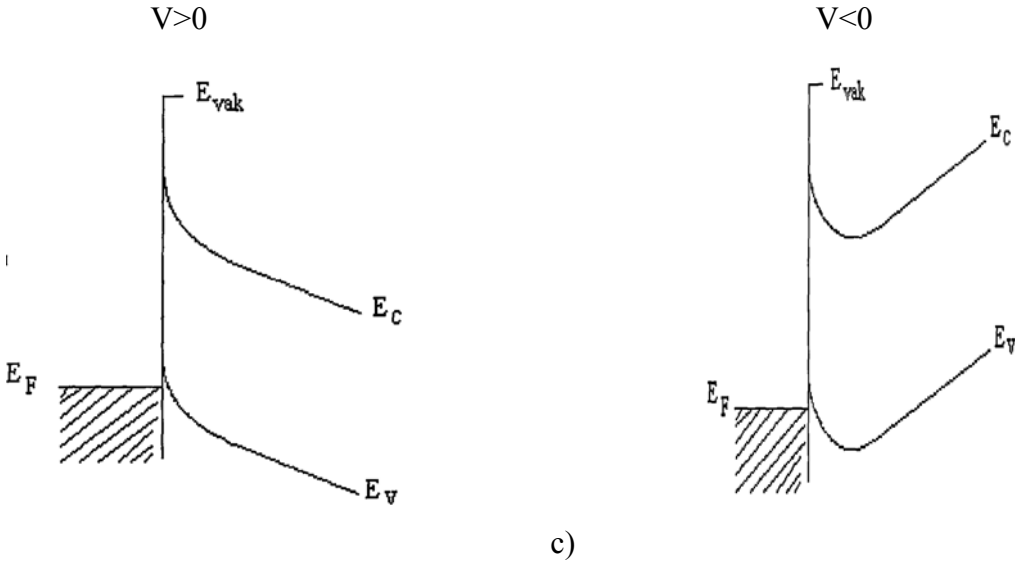
- a)kontak öncesi
- b)kontak sonrası ve termal dengede
- c) $V \neq 0$ olması durumunda

2.5 Metal /p-tipi Yarıiletken Omik Kontaklar

Metal-yarıiletken kontaklarda metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarında; $\Phi_m > \Phi_s$ durumunu inceleyelim . Şekil 2.5.1a ' da görüldüğü gibi yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden $\Phi_m - \Phi_s$ kadar yukarıdadır. Kontakta sonra bir yük alışverişi gerçekleşecektir.

Yarıiletkendeki elektronlar, geride bir pozitif yüzey yükü (hollerden dolayı) bırakarak ve metal tarafında bir negatif yüzey yükünü oluşturarak metal tarafına doğru hareket ederler. Buna bağlı olarak yarıiletkendeki Fermi seviyesi Şekil 2.5.b ' de görüldüğü gibi $\Phi_m - \Phi_s$ kadar aşağı düşer. Hol konsantrasyonunun artmasından dolayı, yarıiletken yüzeyi daha fazla p-tipi olur. Elektronlar, metalden yarıiletken içindeki boş durumlara kolayca geçebilirler. Bu yük hareketi, hollerin yarıiletkenden metale akışına karşılık gelir. Metal tarafına geçen holler (yüksek elektron konsantrasyonundan dolayı) hemen nötralize olurlar. Ters beslem durumunda, metalin iletkenlik bandında termal olarak oluşan holler de kolay bir şekilde yarıiletken tarafına geçebilirler. Böyle her iki doğrultuda akımı kolayca geçirebilen kontaklar, omik kontaklar olarak bilinirler.



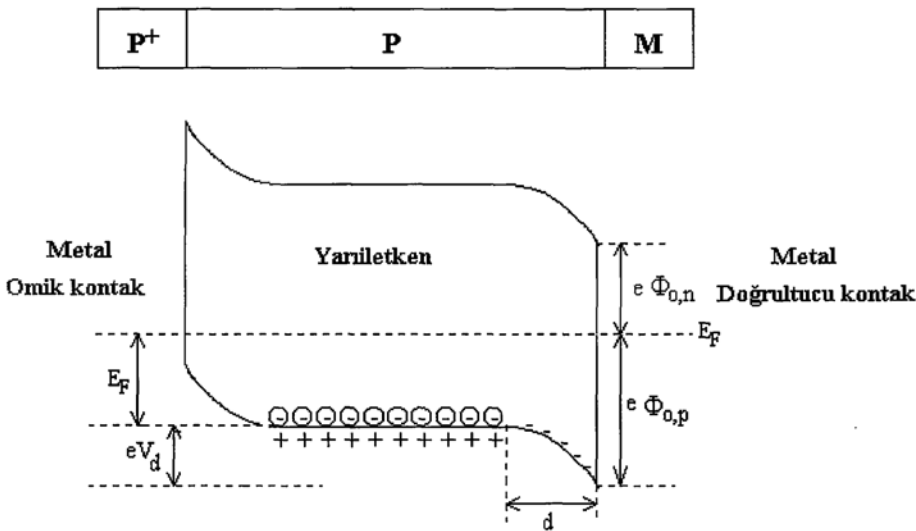


Şekil 2.5. Metal p-tipi yarıiletken omik kontağın enerji-band diyagramı

- a)Kontaktan önce
- b)kontaktan sonra ve termal dengede
- c) $V \neq 0$ olması durumunda

2.6. Metal(omik)/p-Tipi yarıiletken/Metal(doğrultucu) yapısı

Metal-p tipi yarıiletken-metal(P^+PM) yapısı, p-tipi yarıiletkenin bir yüzeyine boşluk bakımından çok zengin P^+P omik kontağı ile diğer yüzeyine uygulanan pM doğrultucu kontağından meydana gelmektedir. Termal dengede böyle bir yapının enerji bant diyagramı Şekil 2.6' da görülmektedir.



Şekil 2.6. P^+PM Yarıiletken Diyot Yapısının Termal Denge Durumunda Enerji Bant Diyagramı

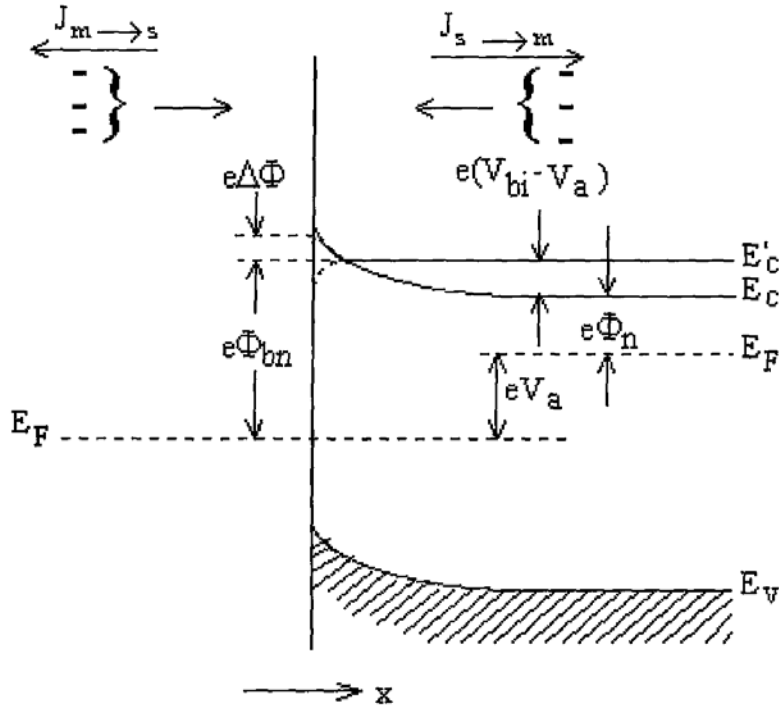
2.7 Metal Yarıiletken (Schottky) Diyotlarda Akım İletim Mekanizmaları

Rhoderick ve ark.(1988) ,Metal-yarıiletken kantağın arayüzeyinde gerçekleşen akım iletimi birden fazla mekanizma ile meydana gelir.. Schottky diyotlarda en olası durum, potansiyel engeli üzerinden atlama yani termoiyonik emisyonudur. Bu mekanizma, Schottky engel yüksekliğini elde etmekte yaygın olarak kullanılan bir modeldir. Diğer mekanizmalar, alan emisyonu (FE) ve termoiyonik alan emisyonunu (TFE) içine alan engel boyunca tünelleme, deplasyon bölgesinde rekombinasyon ve nötral bölgede rekombinasyon mekanizmalarıdır .

2.7.1 Termoiyonik Emisyon Teorisi

Metal-yarıiletken schottky kontak diyotlarda bir potansiyel engeli üzerinden elektron taşınması süreci termoiyonik alan emisyon teorisi ile açıklanmaktadır. Sıcak bir yüzeyden termal enerjilerinden dolayı taşıyıcıların salınması olayı termoiyonik emisyon olarak bilinir. Metal-yarıiletken Schottky diyotlarda termoiyonik emisyon teorisi; taşıyıcıların termal enerjileri nedeniyle potansiyel engelini aşarak yarıiletkenden metale veya metalden yarıiletkene geçmesidir. Beethe'nin Metal-yarıiletken kontaklarda akımın çoğunluk taşıyıcılarıyla sağlandığını varsayarak oluşturduğu termoiyonik emisyon teorisinin postülatları şunlardır:

- a)potansiyel engel yüksekliği kT/q enerjisinden çok büyüktür.
- b)Schottky bölgesinde taşıyıcıların ortalama serbest yolları Schottky tabaka kalınlığından daha büyüktür yani bu bölgede taşıyıcı çarpışmaları yoktur
- c)Hayali kuvvetlerin etkisi ihmal edilmekte ve akım engel yüksekliğine zayıfçabağıdır.Rhoderickveark.(1988)



Şekil 2.7. Düz beslem altındaki metal yarıiletken Schottky kontakta imaj etkisine ait enerji-bant diyagramı

Schottky diyotlarda akım çoğunluk taşıyıcıları tarafından sağlanır. Metal/n-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda elektronlar, metal/p-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda ise holler tarafından akım sağlanır. Termoyonik emisyon teorisi oluşturulurken, Maxwell-Boltzman yaklaşımının uygulanabilmesi ve termal denge durumunun olaydan etkilenmemesi için, doğrultucu kontağa ait potansiyel engelinin, kT enerjisinden daha büyük olduğu ve arınma bölgesindeki taşıyıcı çarpışmaların çok küçük olduğu kabul edilmektedir. Şekil 2.7 'de V_a büyüklüğünde düz beslem gerilimi uygulanmış bir Schottky kontak görülmektedir. Burada $J_{s \rightarrow m}$ yarıiletkenden metale doğru akan akım yoğunluğu ve $J_{m \rightarrow s}$ ise metalden yarıiletkene doğru olan akım yoğunluğudur. $J_{s \rightarrow m}$ akım yoğunluğu, x yönünde ve engeli aşabilecek büyüklükte hızlara sahip elektronların konsantrasyonunun bir fonksiyonudur.

Bu nedenle,

$$J_{s \rightarrow m} = e \int_{E_c}^{\infty} v_x dn \quad (2.5)$$

şeklinde yazılabilir. Burada E_c metal içindeki termoiyonik emisyon için gerekli minimum enerji, v_x sürüklenme yönündeki hızdır. Artan elektron konsantrasyonu,

$$dn = g_c(E)f(E)d(E) \quad (2.6)$$

ile verilir. Burada $g_c(E)$, iletkenlik bandındaki hal yoğunluğu ve $f(E)$, Fermi-Dirac ihtimaliyet fonksiyonudur.

Maxwell-Boltzman yaklaşımı uygulanarak elektron konsantrasyonu için,

$$dn = \frac{4\pi(2m_n^*)^{3/2}}{h^3} \sqrt{E - E_c} \exp\left[-\frac{(E - E_f)}{kT}\right] dE \quad (2.7)$$

yazılabilir. $(E - E_c)$ enerjisi serbest elektronun kinetik enerjisi olarak kabul edilirse bu durumda

$$\frac{1}{2} m_n^* v^2 = E - E_c \quad (2.8)$$

$$dE = m_n^* v dv \quad (2.9)$$

ve

$$\sqrt{E - E_c} = v \sqrt{\frac{m_n^*}{2}} \quad (2.10)$$

olur. Bu sonuçlar kullanılarak (2.7) ifadesi tekrar düzenlenirse

$$dn = 2 \left(\frac{m_n^*}{h} \right)^3 \exp\left(\frac{-e\Phi_n}{kT}\right) \exp\left(\frac{-m_n^* v^2}{2kT}\right) 4\pi v^2 dv \quad (2.11)$$

elde edilir. Bu denklem, hızları v ve $v + dv$ aralığında değişen elektronların sayısını verir. Hız, bileşenlerine ayrılırsa $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$ şeklinde olur. Buradan (2.11) ifadesi

$$J_{s \rightarrow m} = 2e \left(\frac{m_n^*}{h} \right)^3 \exp\left(\frac{-e\Phi_n}{kT}\right) \int_{-\infty}^{\infty} v_x \exp\left(\frac{m_n^* v_x^2}{2kT}\right) dv_x \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(\frac{-m_n^* v_y^2}{2kT}\right) dv_y \times \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(\frac{-m_n^* v_z^2}{2kT}\right) dv_z \quad (2.12)$$

şeklinde yazılabilir.

Ayrıca minimum v_{ox} hızı için,

$$\frac{1}{2} m_n^* v_{ox}^2 = e(V_{bi} - V_a) \quad (2.13)$$

yazılabilir. v_{ox} hızı, x doğrultusundaki harekette elektronun potansiyel engelini aşabilmesi için gerekli olan minimum hızdır. Bu durumda $v_x \rightarrow v_{ox}$ şartı için $\alpha = 0$

olur. Yine $v_x dv_x = \left(\frac{2kT}{m_n^*} \right) \alpha d\alpha$ yazılabilir. (2.12) ifadesinde aşağıdaki değişken

değiştirmeleri yapılabilir.

$$\frac{-m_n^* v_x^2}{2kT} \equiv \alpha^2 + \frac{e(V_{bi} - V_a)}{kT} \quad (2.14a)$$

$$\frac{-m_n^* v_y^2}{2kT} \equiv \beta^2 \quad (2.14b)$$

$$\frac{m_n^* v_z^2}{2kT} \equiv \gamma^2 \quad (2.14c)$$

Bu ifadeler (2.12) denkleminde kullanılırsa,

$$J_{s \rightarrow m} = J_{x \rightarrow \infty} = 2e \left(\frac{m_n^*}{h} \right)^3 \left(\frac{2kT}{m_n^*} \right)^2 \exp\left(\frac{-e\phi_n}{kT} \right) \exp\left[\frac{e(V_{bi} - V_a)}{kT} \right]$$

$$\int_0^{\infty} \alpha \exp(-\alpha^2) d\alpha \int_{-\infty}^{\infty} (-\beta^2) \int_{-\infty}^{\infty} (-\gamma^2) d\gamma \quad (2.15)$$

Bu son ifadenin integrali alınırsa,

$$J_{s \rightarrow m} = \left(\frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp\left[\frac{-e(\phi_n + V_{bi})}{kT} \right] \exp\left(\frac{eV_a}{kT} \right) \quad (2.16)$$

ya da,

$$J_{s \rightarrow \infty} = \left(\frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp\left[\frac{-e\phi_{Bn}}{kT} \right] \exp\left(\frac{eV_a}{kT} \right) \quad (2.17)$$

olur. Şekil 2.7 de görüldüğü gibi $\phi_n + V = \phi_{bn}$ ve uygulama gerilimi sıfır olduğunda $J_{m \rightarrow s}$ ile $J_{s \rightarrow m}$ tam olarak aynıdır. Yani,

$$J_{m \rightarrow s} = \left(\frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp\left[\frac{-e\phi_{B0}}{kT} \right] \quad (2.18)$$

olur. Eklemdeki net akım yoğunluğu $J = J_{s \rightarrow m} - J_{m \rightarrow s}$ olur. Daha açık ifadeyle net akım yoğunluğu

$$J = \left[A^* T^2 \exp\left(\frac{-e\phi_{Bn}}{kT} \right) \right] \left[\exp\left(\frac{eV_a}{kT} \right) - 1 \right] \quad (2.19)$$

olur. Burada A^* termiyonik emisyon için Richardson sabiti olup,

$$A^* = \frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \quad (2.20)$$

ile verilir. Genel bir durum için (2.19) ifadesi,

$$J = J_0 \left[\exp\left(\frac{eV_a}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.21)$$

olarak yazılabilir. Burada J_0 ters doyma akım yoğunluğu olarak bilinir ve

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(\frac{-e\phi_{Bn}}{kT}\right) \quad (2.22)$$

şeklinde ifade edilir. ϕ_{bn} Schottky engel yüksekliğinin imaj kuvveti nedeniyle azaldığı ve

$\phi_{bn} = \phi_{bo} - \Delta\phi$ şekline verildiği dikkate alınarak (2.22) ifadesi yeniden

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(\frac{-e\phi_{Bn}}{kT}\right) \exp\left(\frac{e\Delta\phi}{kT}\right) \quad (2.23)$$

Şeklinde yazılır.

3.MATERYAL VE METOT

3.1 Deney Sistemi,Numune Hazırlanması ve Ölçüler

Bu bölümde, arayüzey tabakalı ve arayüzey tabakasız Al/ p-Si Schottky diyotlarının yapımı için gerekli malzeme, numune hazırlanması, temizlenmesi ve yapımını içerir. Yapılan numunelerin parametrelerinin ölçümünde kullanılan aletler ve teknikler bu bölümde yer almaktadır.

3.2. Numune Hazırlanması ve Temizlenmesi

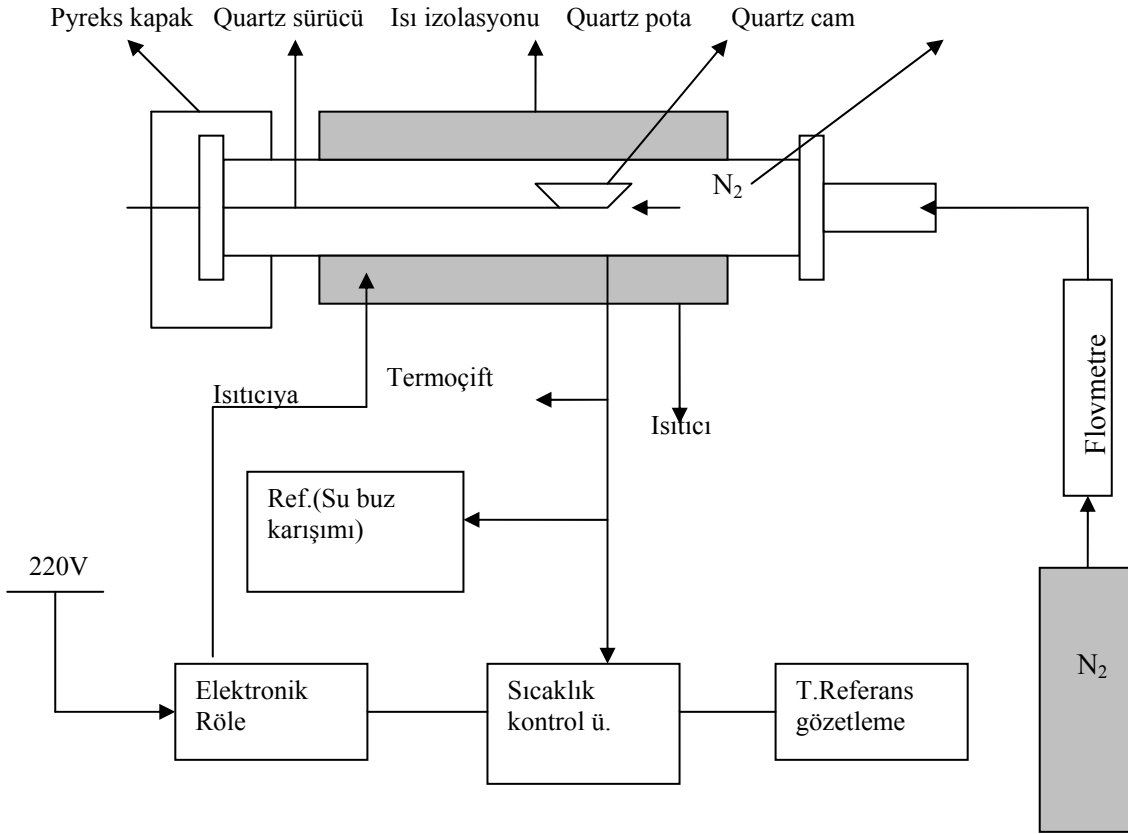
Bu çalışmada [100] doğrultusunda büyütülmüş, öz direnci $\rho = 5-10 \Omega\text{-cm}$ olan fosfor katkılı p-Si kullanılmıştır. Diyot yapımında iyi netice alınabilmesi için, kullanılacak numunenin yüzeyinin organik ve mekanik kirlerden arınmış olması gerekir. Bunun için bizim kullandığımız numunenin yüzey parlatılması fabrikasyon olarak yapıldığı da dikkate alınarak, mekanik olarak parlatılmaya gerek kalmaksızın derhal kimyasal temizleme işlemi yapıldı. Numunenin kimyasal temizlemesinde aşağıdaki işlem takip edildi.

- 1) Aseton'da ultrasonik olarak 10 dakika yıkandı.
- 2) Metanol'da ultrasonik olarak 10 dakika yıkandı.
- 3) Deiyonize su ile iyice yıkandı.
- 4) RCA1 ($\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{NH}_3;6:1:1$) 'de 60°C 'de 10 dakika kaynatıldı.
- 5) Seyreltik HF ($\text{H}_2\text{O}:\text{HF};10:1$) ile 30 saniye yıkandı.
- 6) RCA2 ($\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{HCl};6:1:1$) 'de 60°C 'de 10 dakika kaynatıldı.
- 7) Deiyonize su ile iyice yıkandı.
- 8) Seyreltik HF ($\text{H}_2\text{O}:\text{HF};10:1$) ile 30 saniye yıkandı.
- 9) 15-20 dakika akan deiyonize su içerisinde yıkandı.
- 10) Azot gazı (N_2) ile kurutuldu.

Ayrıca buharlaştırmada kullanılacak metaller, metanolda 5 dakika ultrasonik olarak yıkandı.

3.3 Schottky Diyotlarının Yapılması

Numunenin önce mat (parlatılmamış) tarafına omik kontak yapılması gerekir. Bunun için önce ısıtıcı pota % 10 seyreltiklikte HCl ile yıkanıp, deiyonize su ile iyice temizlenip kurutuldu. Daha sonra vakum buharlaştırma ünitesine yerleştirilerek yakıldı. Sonra numuneler kimyasal olarak (RCA) temizlendikten ve numunenin mat tarafına buharlaştırılacak metaller (Al) kimyasal olarak temizlenip ısıtıcının üzerine bırakıldıktan sonra numune, daha önce çalıştırılıp vakum işlemi için hazır hale getirilen ünitenin içerisine yerleştirildi. Vakum işlemi neticesinde basınç 10^{-5} torr değerine düştükten sonra, daha önceden ısıtıcı üzerine yerleştirilen p-tipi için % 99.98 saflıkta alüminyum (Al) buharlaştırıldı.



Bir müddet bekledikten sonra ters işlem yapılarak vakum cihazına hava verildi ve numune vakum cihazından çıkarılarak kimyasal olarak temizlenmiş quartz potanın içine yerleştirilerek, daha önce yakılarak p-tipi için 570°C ve n-tipi için 420°C ' ye

ayarlanan fırında 3 dakika tavlandı. Tavlama için kullanılan fırının şeması Şekil 3.1. 'de görülmektedir. Böylece omik kontak işlemi tamamlanmış oldu. Hazırlanmış olan bu omik kontaklı numunenin parlak yüzeyi P3HT kloroformda çözülerek elde edilen çözeltiden birkaç damla damlatılmak suretiyle organik film elde edildi. 2 mm çaplı delikler bulunan maskenin alt bölgesine yerleştirildi. Vakum sisteminde yaklaşık 10^{-5} torr basınç altında % 99.99 saflıkta alüminyum(Al) metali buharlaştırıldı. Böylelikle Al/ P3HT/p-Si yapısı elde edildi.

3.4a Akım-Gerilim ölçümleri

. Diyotların idealite faktörlerini hesaplamak için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$I=I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (3.1)$$

Bu ifadede $eV \gg 3kT$ ise 1 üstel terim yanında ihmal edilebilir. Üstteki eşitliğin her iki tarafının tabii logaritması alınarak, V 'ye göre türevi alınırsa idealite faktörü

$$n = \frac{e}{kT} \frac{dV}{d(\ln I)} \quad (3.2)$$

olarak elde edilir. (3.6) eşitliğindeki $\frac{dV}{d(\ln I)}$ teriminin değeri, $\ln I$ - V grafiğindeki

doğru kısmın eğiminden elde edilip yerine yazılarak idealite faktörü hesaplanmaktadır.

Doyma akım yoğunluğu da

$$I_0 = AA * T^2 \exp(-e\Phi_b/kT) \quad (3.3)$$

şeklinde yazılabilir[26].

(3.7) eşitliğinin her iki tarafının tabii logaritması alınarak, Φ_b 'ye göre çözümlerse,

$$e\Phi_b = kT \ln(AA * T^2 / I_0) \quad (3.4)$$

engel yüksekliği ifadesi elde edilir.

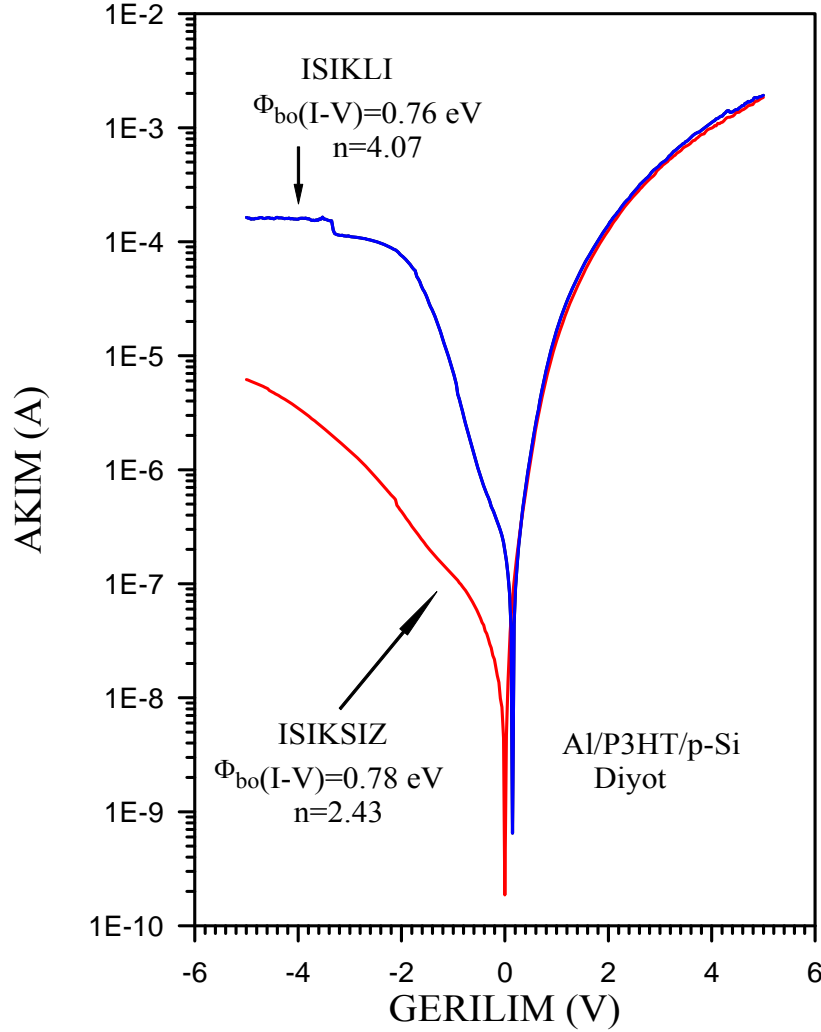
3.MATERYAL VE METOT

Bu ifadede A ; diyodun etkin alanı ($A= 7.85 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$), A^* ; Richardson sabiti (p-Si için $A^*= 32 \text{ A/K}^2\text{-cm}^2$ ve n-Si için $A^*= 112 \text{ A/K}^2\text{-cm}^2$) [27-30], T kelvin cinsinden ortamın sıcaklığı ($T=300\text{K}$), k , Boltzman sabiti ($k=8.625 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$)dir. (3.3) eşitliğinden doyma akım yoğunluğu ve (3.4) eşitliğinden de Schottky engel yüksekliği hesaplanmaktadır. Deneysel olarak doyma akım yoğunluğu, $\ln I$ - V grafiğindeki eğrinin doğru kısmının düşey ekseni kestiği noktadan tespit edilir.

4.TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu deneyde P3HT organik filmi üzerine buharlaştırılan Al metali ile elde ettiğimiz Al/P3HT/p-Si yapısının ışıksız ortamda engel yüksekliği 0.78 eV ve idealite faktörü 2.43, ışıklı ortamda ise engel yüksekliği 0.76 eV ve idealite faktörü 4,07 olarak elde edildi. Bu ölçümler sonunda yapının ışığa maruz bırakılması sonucunda idealite faktörünün arttığı ve engel yüksekliğinin azaldığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda ışığa maruz bırakılan diyodun ters belsem kısmında akımın önemli ölçüde değiştiği görülmüştür. Sonuç olarak bu yapının ışığa duyarlı bir yapı olduğu gözlenmiş olup fotodiyot olarak kullanımı uygundur.

Deney sonucuna göre ışıklı ve ışıksız ortamda Al/P3HT/p-Si yapısı için elde edilen idealite faktörü ve engel yüksekliğinin grafiği şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Al/P3HT/p-Si yapısı için (I-V) grafiği

5.KAYNAKLAR

Akkılıç, K. , Kılıçoğlu, T. ve Türüt, A., 2003. Linear correlation between barrier heights and ideality factors of Sn/nSi Schottky diodes with and without the interfacial native oxide layer. *Applly Physics*, 337: 388-393

Andrews, J.M. and Lepselter, M.P, 1970. *Solid St. Electron.*, 13, 1011)

AYDIN,M.E.2003.Metal/yarıiletken ve Metal/Oksit/Yarıiletken Pb/p-Si ve Pb/n-Si Schottky engel Diyotların Karakteristik Parametreleri ve Arayüzey Hallerinin enerji Dağılımının Belirlenmesi.Doktora Tezi.Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.Diyarbakır.95s)

Bardeen J.,Surface States and Rectification at A Metal-Semi-Conductor Contact,*Phys.Rev.*,71,717-727,1947)

BENGİ,S.2009.Au/PVA/n-Si(MIS)Schottky Diyotların Temel Elektriksel Parametrelerinin Sıcaklığa Bağlı İncelenmesi.Yüksek Lisans Tezi.Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.Ankara.74s)

Bethe H.A., teory of the Boundary Layer of Crystal Rectifiers,Mit Radiat Lab.Rep.43,12,1942.

Braun F.K, On The Current Cunduction Through Metal Sulphides, *Ann. Phys.Chem.*, 153, 556-559, 1874.

Chandra, M.M., Parsad, M.J.,1986.Simple Interface Layer Model For The Nonideal Characteristics of The Schottky Diodes.*Phy D.App Phys.*,19(1):89-93

5. KAYNAKLAR

Crowell,C.R,Sze,S.M.,1965.Electron-optical-phonon scattering in the emitter and collector barriers of semiconductor-metal-semiconductor structures Solid State Electronics,8(12):979-990.)

Çakar, M., Onganer, Y. and Türüt, A., 2002, The nonpolymeric organic compound (pyronine-B)/p-type silicon/Sn contact barrier devices, Synth. Met. 126, 213-218..

DUMAN,S.,2006.n-InSe ve n-InSe:Sn Tek Kristallerinin Yasak Enerji Aralığına Elektrik Alanın Etkisi vr n-InSe:Sn Yarıiletkeninin Schottky Kontak Davranışı..Doktora Tezi.Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü .Erzurum.101)

Evans, H. L., Wu, X., Yang, E. S., Hoi, P. K., 1985.Electronic States at Slicide Silicon Interfaces. Phys. Rev Lett,56(2):177-180.)

FIAT,S.2006.Mn/p-Si Schottky diyotunun hidrostatik basıç altında I-V Karakterizasyonu.Yüksek lisans tezi.Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.Tokat.73sayfa)

Gupta, R.K., Singh, R.A., 2004, Thermochemical and microstructural studies on binary organic eutectics and complexes, Journal of Crystal Growth, 267, 340-347.

Gürpınar,B. ,2008.Elektrodepozisyon yoluyla elde edilmiş olan n-Si/Cu,p-Si/Cu Schottky Diyotlarının elektrik özelliklerinin incelenmesi.Yüksek LisansTezi,UludağÜniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Bursa.75.)

KANBUR,H.,2008.Yalıtkan Tabakalı Al/p-Si Schottky Diyotlarda Elektriksel Karakteristiklerin Sıcaklığa Bağlı İncelenmesi.Doktora Tezi.Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.Ankara.106

Mönch W. and Schmitsdorf R.F., Influence of The Interface Structure on The Barrier Height of Homogeneous Pb/n-Si(111) Schottky Contacts, J. Eur. Phys. B., 7, 457-466, 1999.

ÖZDEMİR,A.F., 2002.Metal/n-Tipi GaAs Schottky Diyotlarında Havada Oksitlenme ve Yaşlanmanın Akım-Gerilim(I-V) ve Kapasite,Konduktans-Gerilim,Frekans(C,G-V,f)Karakteristiklerine Etkisi,Doktora Tezi.Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü .Isparta79)

Rhoderick,E.H. and Williams,R.H.,Surfaces,Interfaces,and Schottky Barriers.Metal-Semiconductor Contacts 2nd ed.Clarendon Pres,Oxford,1988)

Schottky,W.,Phys.215.1914)

Rhoderick, E. H. and Williams R. H., “Metal-Semiconductor Contacts 2nd ed.” ,Oxford University Press, Oxford, 257-264 (1988).

Sarma,B.L.Metal-Semiconductor Schottky barrier Junctions and Their Applications,Plenum pres.New york,1-3(1984)

Song, Y.P. , Van Meirhaeghe, R.L., Laflere, W.H. and Cardon, F., “On the difference in apparent barrier height as obtained from capacitance-voltage and current-voltage-temperature measurements on Al/p-InP Schottky barriers” Solid State Electron. 29: 633(1986).

Sze,S.M.,1964,Crowel,C.R.and Khang,D.,J.Appl.Phs.,35,2534.)

Temirci C., Bati B., Sağlam M. and Türüt A., High-Barrier Height Sn/p-Si Schottky Diodes with Interfacial Layer by Anodization Process, Appl. Surf. Sci., 172, 1-7,2001.

Tung, R.T., “Recent advances in Schottky barrier concepts”, Mater. Sci.Eng., R. 35: 1-138, (2001).

Turton,R.2005.Katıların Fiziği,Aktif Yayınları.Yayın no:155,sayfa436.İstanbul)

Wu, X., Yang, H.L., 1989. Interface Capacitance in Metal Semiconductor Junctions.J.Appl. Phys.65(1):3560-3565.

5. KAYNAKLAR

Yıldırım,N.,2009 .Saçtırma Yöntemiyle Hazırlanan Ni/n-GaAsSchottky Engel Diyotların Karakteristik Parametrelerinin Tavlama ve Numune Sıcaklığına BağlıDeğişimleri.Doktora Tezi,Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Erzurum.91)

Yıldız, D.E., Altındal, Ş., “On the temperature dependence of series resistance and interface states in Al/SiO₂/p-Si (MIS) Schottky diodes”, Microelectronic Engineering,85(2):289(2008).

Ziel,A.,Solid State Physical Electronics,Prentice-Hall International Inc.,Minnesota,119-124-245(1968).

ÖZGEÇMİŞ

26.08.1986 yılında Diyarbakır'da doğdum.İlk ,orta ,lise ve üniversite öğrenimimi Diyarbakır'da tamamladım2009 yılında Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Fizik Bölümünden mezun oldum.Aynı yıl Diyarbakır'ın Dicle ilçesine öğretmen olarak atandım.Aynı zamanda yüksek lisans programına kabul edildim.Halen Fizik Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine devam etmekteyim.