

T.C.  
DİCLE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORGANİK YARIİLETKEN/İNORGANİK YARIİLETKEN  
HETEROEKLEM DİYODUNUN ELEKTRİKSEL  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Şura HAMİDİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FİZİK ANABİLİM DALI

DIYARBAKIR

HAZİRAN-2011

## TEŞEKKÜR

Tez çalıŐmalarım sırasında bilgisinden ve deneyiminden yararlandığım danıŐman hocam sayın Doç.Dr.Enver AYDIN'a ve 10-FF-35 nolu projeme mali olarak destek sağlayan DÜBAP'a teŐekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalıŐmalarım boyunca maddi ve manevi desteğini üzerimden esirgemeyen aileme teŐekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	I
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	I
<b>ÖZET</b> .....	II
<b>ABSTRACT</b> .....	III
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	IV
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	V
<b>KISALTMA VE SİMGELER</b> .....	VI
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. METAL-YARIİLETKEN KONTAKLAR</b> .....	5
2.1. Giriş.....	5
2.2. Metal/n-tipi Yarıiletken Doğrultucu ( <i>Schottky</i> ) Kontaklar .....	5
2.3. Metal n-tipi Yarıiletken Omik kontaklar.....	8
2.4. Metal p-Tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar.....	9
2.5. Metal p-Tipi Yarıiletken Omik Kontaklar.....	12
2.6. Metal- p- Tipi Yarıiletken – Metal Yapısı.....	14
2.7. Termiyonik Emisyon Teorisi.....	15
<b>3. MATERYAL ve METOT</b> .....	21
3.1. Kristal Temizlenmesi .....	21
3.2. Schottky Kontakın Oluşturulması .....	21
3.3. Schottky Kontaklarda Akım-Gerilim Ölçümleri .....	23
3.4. Araştırma Bulguları .....	24
<b>4. TARTIŞMA VE SONUÇ</b> .....	25
<b>5. KAYNAKLAR</b> .....	27
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	29

## ÖZET

### ORGANİK YARIİLETKEN/İNORGANİK YARIİLETKEN HETEROEKLEM DİYODUNUN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FİZİK ANABİLİM DALI

Şura HAMİDİ

DİCLE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİYARBAKIR  
HAZİRAN 2011

Bu çalışmada (100) doğrultusunda büyütülmüş öz direnci  $\rho = 5-10 \Omega\text{-cm}$  olan boron katkılı p-tipi Si kullanıldı. Amacımız metal-yarıiletken Al/Tips:Mehppv/p-Si kontaktların karakteristik parametrelerini, engel yüksekliği ile idealite faktörlerini karanlıkta ve ışık altında ölçmektir. Ayrıca bu yapıların elektriksel özelliklerinin incelenmesi ve karakteristiklerinin aydınlanma şiddetiyle ilişkisine açıklık getirebilmektir.

Bu amaç için Al/Tips:Mehppv/p-Si diyotunu kendi laboratuvarımızda imal ettik. Yaptığımız RCA kimyasal temizleme işleminden sonra Silisyumun mat yüzeyine yüksek vakum altında Al buharlaştırılarak tavlama işlemi için  $N_2$  ortamında  $580^0$  sıcaklıkta 3 dakika bekletilerek omik kontak yapıldı. Omik kontaklı Silisyumun parlak yüzeyine Tips:Mehppv organik film çözeltisinden birkaç damla damlatıldı ve kurumaya bırakıldı. Böylece organik film elde edildi. Elde edilen Tips:Meppv/p-Si yapısı üzerine yeniden yüksek vakum altında Al buharlaştırılarak Al/Tips:Meppv/p-Si yapısı elde edildi. Bu diyotların karakteristik parametreleri (I-V) akım gerilim ölçümlerinden belirlendi. Bu ölçümler karanlıkta ve aydınlıkta gerçekleştirildi.

**Anahtar Kelimeler :** Shottky kontaktlar, engel yüksekliği, idealite faktörü, organik film

## ABSTRACT

### THE INVESTIGATION OF ELECTRICAL PROPERTIES ORGANIC SEMICONDUCTOR/INORGANIC SEMICONDUCTOR DIODE

MASTER THESIS  
DEPARTMENT OF PHYSICS

Şura HAMİDİ

INSTITUTE OF NATURAL SCIENCES  
UNIVERSITY OF DICLE

DIYARBAKIR  
JUNE 2011

In this study, we have used p-Si with (100) orientation and resistivity  $\rho = 5-10 \Omega\text{-cm}$ . Our purpose is experimentally to investigate the characteristic parameters of metal/semiconductor Al/Tips:Meppv/p-Si contacts. Furthermore, our purpose is to investigate measurements of barrier heights and ideality factors in dark and under illumination..

We have prepared the MS Al/Tips:Meppv/p-Si contacts in our research laboratory. We have cleaned Si in the RCA with HF etching. After, Ohmic contacts on the polished surface wafer formed under high vacuum by evaporation of Al and thermal annealing at  $580^\circ$  temperature for 3 minutes in flowing  $N_2$  in the quartz tube furnace. Tips:Meppv organic film solutions have been dropped on the bright surface of Silicon with ohmic contact and it has been left to dry. In this way organic film has been obtained. Al/Tips:Meppv /p-Si has been obtained by evaporation again Al on top of Tips:Meppv /p-Si structure.

The characteristic parameters of the structures have been determined using current-voltage (I-V) measurements. These measurements have been carried out in dark and under illumination.

**Key Words:** Schottky Contacts, barrier height, ideality factor, organic film

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1 Kontak tipinin iş fonksiyonlarına göre değişimi.....	5

## ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Sekil No</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1.	Kontaktan önce metal ve n-tipi yarıiletkene ait enerji-bant diyagramları	6
Şekil 2.2.	Kontaktan sonra oluşan enerji-bant diyagramı	7
Şekil 2.3.	$\Phi_m < \Phi_s$ durumu için metal/n-tipi yarıiletken omik kontakta ait enerji bant diyagramı, a)kontaktan önce, b)kontaktan sonra, c)ters beslem altında, d)düz beslem altında.....	9
Şekil 2.4.	Metal p-tipi yarıiletken doğrultucu kontaktaın enerji-bant diyagramı a)Kontaktan önce, b) Kontaktan sonra termal dengede, c) $V \neq 0$ olması durumunda	11
Şekil 2.5.	Metal p-tipi yarıiletken kontaktaın enerji-bant diyagramı a)Kontaktan önce b) Kontaktan sonra ve termal dengede c) $V \neq 0$ olması durumunda	13
Şekil 2.6.	P+PM yarıiletken diyot yapısına ait termal dengedeki enerji-bant diyagramı	14
Şekil 2.7.	Düz beslem altındaki metal yarıiletken Schottky kontakta imaj azalma etkisine ait enerji-bant diyagramı	15
Şekil 3.1.	Omik kontak termal işlemleri için fırın ve kontrol ünitesi şeması	22

## KISALTMA VE SİMGELER

$F(E)$  FERMİ DAĞILIM FONKSİYONU

$E_f$  FERMİ ENERJİSİ

$E_c$  İLETKENLİK BANDI ENERJİ SEVİYESİ

$E_v$  VALANS BANDI ENERJİ SEVİYESİ

$\Phi$  İŞ FONKSİYONU

$\Phi_m$  METALİN İŞ FONKSİYONU

$\Phi_s$  YARIİLETKENİN İŞ FONKSİYONU

$\chi_s$  ELEKTRON YAKINLIĞI

$e$  ELEKTRONUN YÜKÜ

$I$  AKIM

$I_o$  DOYMA AKIMI

$V$  UYGULAMA GERİLİMİ

$V_d$  DİFÜZYON POTANSİYELİ

$C$  KAPASİTE

$\rho$  UZAY YÜKÜ YOĞUNLUĞU

$n$  İLETKENLİK BANDINDAKİ ELEKTRON YOĞUNLUĞU

$N_d$  TAŞIYICI YOĞUNLUĞU

$\Psi$  POTANSİYEL FONKSİYONU

$J_{m \rightarrow s}$  METALDEN YARIİLETKENE AKIM YOĞUNLUĞU

$J_{s \rightarrow m}$  YARIİLETKENDEN METALE AKIM YOĞUNLUĞU

$x$  KONUM

$\epsilon_s$  YARIİLETKENİN DİELEKTRİK SABİTİ

$\epsilon_o$  BOŞLUĞUN DİELEKTRİK SABİTİ

$E$  ELEKTRİKSEL ALAN

$F$  ELEKTRİKSEL KUVVET



P POTANSİYEL ENERJİ

$Q_{SS}$  ARAYÜZEY YÜK YOĞUNLUĞU

$N_{SS}$  ARAYÜZEY HAL YOĞUNLUĞU

$n$  İDEALİTE FAKTÖRÜ

\*

A RİCHARDSON SABİTİ

T SICAKLIK

$k$  BOLTZMAN SABİTİ

$\Phi_{bn}$  İmaj kuvvet nedeniyle azalan Schottky engel yüksekliği

$\Phi_0$  GÖRÜNÜR ENGEL YÜKSEKLİĞİ

$\Phi_{b,o}$  SCHOTTKY ENGEL YÜKSEKLİĞİ

$E_g$  YASAK BÖLGE ENERJİSİ

\*

$m$  ETKİN KÜTLE

Q YÜK MİKTARI

$v$  TAŞIYICI TERMAL HIZI

$R_s$  SERİ DİRENÇ

$d$  SCHOTTKY TABAKA KALINLIĞI

## 1.GİRİŞ

Yarıiletken malzemeler son yıllarda teknolojiye sıkça kullanılan(güneş pilleri, dedektörler, entegre devreler) önemli elektronik devre elemanlarıdır. Elektronik endüstrisinde metal yarıiletken kontaklarla elde edilen Schottky kontaklar, optoelektronik teknolojisinde önemli bir yere sahiptir.

Metal-yarıiletken kontaklarda doğrultucu özellik ilk kez F.Braun tarafından 1874 yılında gözlenmiştir.1900'lü yıllarda kullanılan ilk metal-yarıiletken kontaklar, nokta kontak diyotlardı. Bu diyotlar, ince bir telin yarıiletkenin yüzeyine birleştirilmesinden elde ediliyordu. Fakat bu yapılar mekanik açıdan pek güvenilir olmadığından ve üretilmesi zor olduğundan, yerini doğrultucu kontaklara bıraktı. Metal-yarıiletken ara yüzeyinde potansiyel engel olduğu Schottky tarafından öne sürüldüğü için bu kontaklara Schottky kontak adı verilmiştir. Arayüzeyde oluşan potansiyel engelin, yarıiletkenine bağlı olduğu 1930'lu yıllarda yapılan çalışmalarla ortaya kondu. Wilson, metal-yarıiletken diyotlarda doğrultma işlemini kuantum mekaniksel tünelleme yoluyla açıklamaya çalışmıştır (1932).

1938 yılında Mott, potansiyel engelin metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonu arasındaki farktan kaynaklandığını öne sürmüştür. Mott,arayüzey bölgesinde yüklü safsızlık atomlarının bulunmadığını,buna bağlı olarak elektrik alanının sabit olduğunu,ayrıca elektrostatik potansiyelin metale olan uzaklıkla lineer olarak değiştiğini belirtmiştir.Schottky (1938) ise,engel bölgesinde yüklü safsızlık atomlarının bulunduğunu ve bununla birlikte elektrik alanının lineer olarak arttığını belirtti.

Crowel ve Sze(1965) Schottky'nin Difüzyon teorisi ile Bethe'nin termoyonik emisyon teorisini(TE),tek bir termoyonik emisyon difüzyon modelinde (TED) birleştirmiştir.

Schottky diyotların yüksek performansla çalışması; yapıldığı maddenin karakteristiğine, yarıiletken/yalıtkan arayüzey durumuna kontağın homojenliğine, seri direnci ve sıcaklığına bağlıdır. Bu alanda yapılan çeşitli çalışmalarda amaç, Schottky diyotların doğru ve verimli çalışmasını sağlamak ve mekanik açıdan güvenilir devre elemanları üretmektir.

Yarıiletkenin kristal yüzeyi genellikle laboratuvar ortamında organik kirler ve oksit tabakalarıyla kaplıdır. Kimyasal olarak temizlenmiş yarıiletken yüzeyinde oluşan doğal oksit tabaka, temiz oda havasına maruz kalarak ortaya çıkar. Tabakanın kalınlığı ise numune üzerindeki gazlara maruz kalma süresine bağlı olarak artar. Bu tür yalıtkan tabakanın oluşması, metal yarıiletken diyonu, metal-yalıtkan-yarıiletken diyoduna dönüştürür ve arayüzey tabakası,diyodun karakteristiklerine (seri direnç , arayüzey durumları, idealite faktörü,engel yüksekliği) büyük ölçüde etki eder.(Cowley ve Sze 1965,Card ve Rhoderic1971,Sze 1981,Chrung ve Cheung1986)

Schottky diyotların yapısının iyice anlaşılması için yapılan teorik ve deneysel birçok çalışma mevcuttur. Örneğin Heine(1965),yüzey halleri üzerine teorik çalışmalar yaptı. Ara yüzey halleri(Levine 1992) ve arayüzey tabakasının akım akışıyla ilişkisi üzerine çalışmalar yapıldı.(Brillson1983,Williams ve Rhoderick1988) Bardeen, arayüzeyin elektronik yapısıyla ilgili çalıştı(1947).

Metal- yarıiletken yapılarda arayüzeydeki doğal oksit tabakası üzerine yine deneysel ve teorik çalışmalar yapıldı.(Morita 1990,Hamdi1997,Çetinkara ve ark.1999) Bu yapıların sıcaklığa bağlı olarak karakteristiklerinin ilişkisi araştırıldı (Chang ve ark.1971,Sze ve ark.1971,Crowell ve ark.1964,Rhoderick ve Williams1988,Werner ve Guttler1991)

Bu yapılar da ideal diyot için seri direnç etkisi, Norde tarafından önerilmiştir (1979). Cheung (1986) ideal ve ideal olmayan diyotlar için, I-V karakteristiklerini kullanarak Schottky diyotlarda engel yüksekliği, seri direnç ve idealite faktörünü hesaplama için bir hesaplama modeli önermiştir. Metal/yalıtkan/yarı iletken (MIS) yapıların elektriksel parametrelerinin belirlenmesi, sıcaklığa veya frekansa bağlı akım-gerilim (I-V) ölçümleriyle yapılmaktadır

Seri direnç çalışmalarının yanısıra C-V ölçümleri de yapılmıştır. (Crowell ve Roberts 1969, Deneuille 1974, Tseng ve Wu 1987)

Mönch ve Schmitsdorf (1999) aynı koşullar altında hazırlanmış Pb/n-Si Schottky diyodu için termiyonik emisyon teorisini kullanarak, idealite faktörü ve engel yüksekliğini I-V ölçümleriyle elde edip, C-V karakteristiği yardımıyla da engel yüksekliği ve taşıyıcı konsantrasyonunu ölçmüşlerdir.

Tung (2001), Schottky diyotlardan elde edilen I-V karakteristiklerinin bazı durumlarda termiyonik-emisyon modeli ile doğrudan açıklanamayacağını belirtmiştir. Bu duruma, Schottky engel yüksekliğinin gerilime bağlı olduğunu kabul ederek açıklık getirmiştir. Aynı zamanda idealite faktörünün 1'den daha büyük olduğu durumları, engelin imaj kuvvet etkisiyle azalması, generasyon rekombinasyon akımları, arayüzey halleri ve tünelleme gibi etkilerin varlığıyla açıklamıştır.

Jiang (2002), bir Schottky diyodun klasik modelinin eklemine ani ve sabit engel yüksekliğine sahip olduğunu kabul etmektedir. Fakat I-V karakteristiklerinden elde edilen veriler termiyonik emisyon modelinden sapmaların olduğunu göstermektedir ve bu durumu engelin inhomojenliği ile açıklamıştır. (Jiang ve ark., 2002).

Son zamanlarda organik filmin yarıiletken buharlaştırılmasıyla yapılan Schottky diyotlarla ilgili çalışmalarda, organik malzemelerin değişik özelliklere sahip olduğu gözlenmiştir. Sensörler, güneş pilleri, organik devre elemanları, plastik bataryalar, FET'ler, optik veri saklayıcıları, anahtarlama devre elemanları gibi birçok alanda organik malzemelerin optik, elektrik, fotoelektrik ve manyetik özelliklerinden yararlanılmaktadır. Organik malzemeler iyonik ve kovalent bağlardan oluşmaktadır ve bağımsız bir molekül yapısına sahiptirler.

Organik malzemeler; spin kaplama, vakumda buharlaştırma ile kaplama, elektrokimyasal kaplama gibi yöntemlerle elektronik ve optoelektronik devre elemanlarında ince filmler şeklinde oluşturulurlar (Yasuhiko, 2000).

Bu çalışmanın birinci bölümünde Schottky kontakların tarihsel gelişimini belirten literatür, ikinci bölümünde metal-yarıiletken kontakların yapısı ile ilgili genel teorik bilgiler verildi. Üçüncü bölümde deneysel çalışmalar ve (Al/Tipps:Meppv/p-Si) Scottky diyodunun hazırlanması, I-V ölçümleri yapılarak elde edilen veriler ve grafik verildi.Sonuç kısmında ise elde edilen tüm deneysel bulgular literatür özetiyle kıyaslanarak değerlendirme yapıldı.

Bu tez çalışmasında amaç; Tipps:Meppv(0,1:0,4) organik filmi ile oluşturulan (Al/Tips:Mehppv/p-Si) yapısının elektriksel özelliklerini incelemek,ışığa duyarlı olup olmadığını araştırmak ve ışık altında diyot parametrelerinin nasıl değişim gösterdiğini gözlemlemektir.

## 2.METAL-YARIİLETKEN KONTAKLAR

### 2.1 Giriş

Schottky kontakların yapısının ve karakteristik özelliklerinin iyi anlaşılabilmesi için, uygun kontakların kristale uygulanması gerekir. Yarıiletken kristal ile kristale uygulanacak kontak malzeme sıfır dirençle temas ettirilmelidir. Elde edilen kontak ideal olması için, kullanılan malzemelerin yüzeyi parlak, temiz ve pürüzsüz olmalıdır. Metal ile yarıiletken temas ettirildiğinde her iki madde arasında yük alışverişi meydana gelir ve bu durum maddelerin Fermi enerji seviyeleri eşit oluncaya kadar devam eder.(Ziel 1968)

Metal-yarıiletken kontaklar omik ve doğrultucu kontak olmak üzere ikiye ayrılır. Kontakın omik veya doğrultucu olması, metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarına bağlıdır.  $\Phi_m$  metalin,  $\Phi_s$  yarıiletkenin iş fonksiyonları olmak üzere;

Metal-n tipi yarıiletken kontaklarda  $\Phi_m > \Phi_s$  ise; doğrultucu(Schottky) kontak,  $\Phi_m < \Phi_s$  ise omik kontak oluşur.

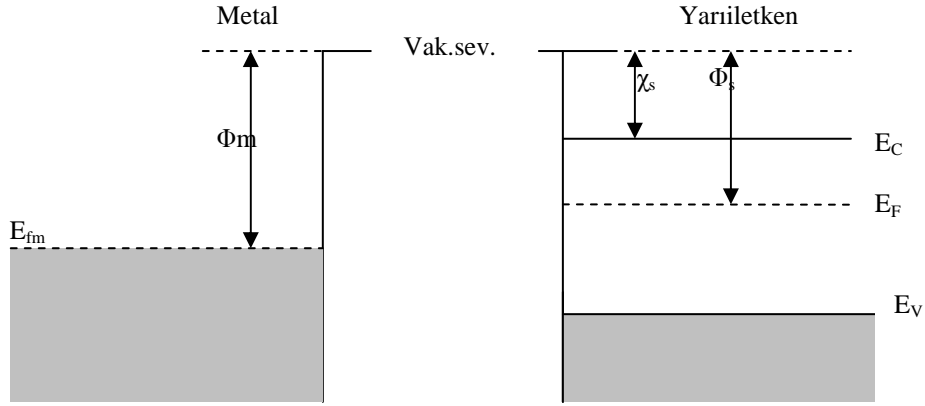
Metal-p tipi yarıiletken kontaklarda ise  $\Phi_m > \Phi_s$  durumunda; omik kontak,  $\Phi_m < \Phi_s$  ise doğrultucu kontak oluşur.

İş fonksiyonları arasındaki ilişki	Yarıiletken Tipi	Kontak Tipi
$\Phi_m > \Phi_s$	<b>n-tipi</b>	<b>Doğrultucu</b>
$\Phi_m < \Phi_s$	<b>n tipi</b>	<b>Omik</b>
$\Phi_m > \Phi_s$	<b>p tii</b>	<b>Omik</b>
$\Phi_m < \Phi_s$	<b>p tipi</b>	<b>Doğrultucu</b>

Çizelge 2.1 Kontak tipinin iş fonksiyonlarına göre değişimi

### 2.2.Metal/n-tipi Yarıiletken Doğrultucu (*Schottky*) Kontaklar

Metal n-tipi yarıiletken kontaklarda ( $\Phi_m > \Phi_s$ ) durumunda oluşan kontak doğrultucu kontakdır. Doğrultucu kontak durumunda elektronlar bir yönde rahatça hareket ederken, diğer yöndeki hareketleri potansiyel engeli nedeniyle zorlaşır. Bu olay her iki maddenin enerji bant diyagramına bağlıdır. Oda sıcaklığında bir metal ve bir n-tipi yarıiletken dikkate alınabilir. Yarıiletken içindeki bütün donörler iyonize olmuş olsunlar. Metalin iş fonksiyonu  $\Phi_m$ , yarıiletkenin iş fonksiyonu  $\Phi_s$ , yarıiletkenin elektron ilgisi  $\chi_s$  ve  $\Phi_m > \Phi_s$  olsun.



**Şekil 2.1.** Kontakta önce metal ve n-tipi yarıiletken için enerji-bant diyagramları

Kontaktan önce yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden  $\Phi_m - \Phi_s$  kadar yukarıdadır. Kontak oluştuğundan sonra yarıiletken yüzeyindeki elektronlar arkalarında iyonize olmuş donörler bırakarak metale geçerler. Yük alışverişi tamamlandığında iki maddenin Fermi enerji seviyeleri aynı yüksekliğe ulaşır. Böylece yarıiletkenin enerji seviyeleri  $(\Phi_m - \Phi_s)$  kadar aşağı düşer. Kontakta meydana gelen dipol tabakasından dolayı bir potansiyel engeli oluşur.

Bu potansiyel engelinin yarıiletken tarafından görülen yüksekliği;

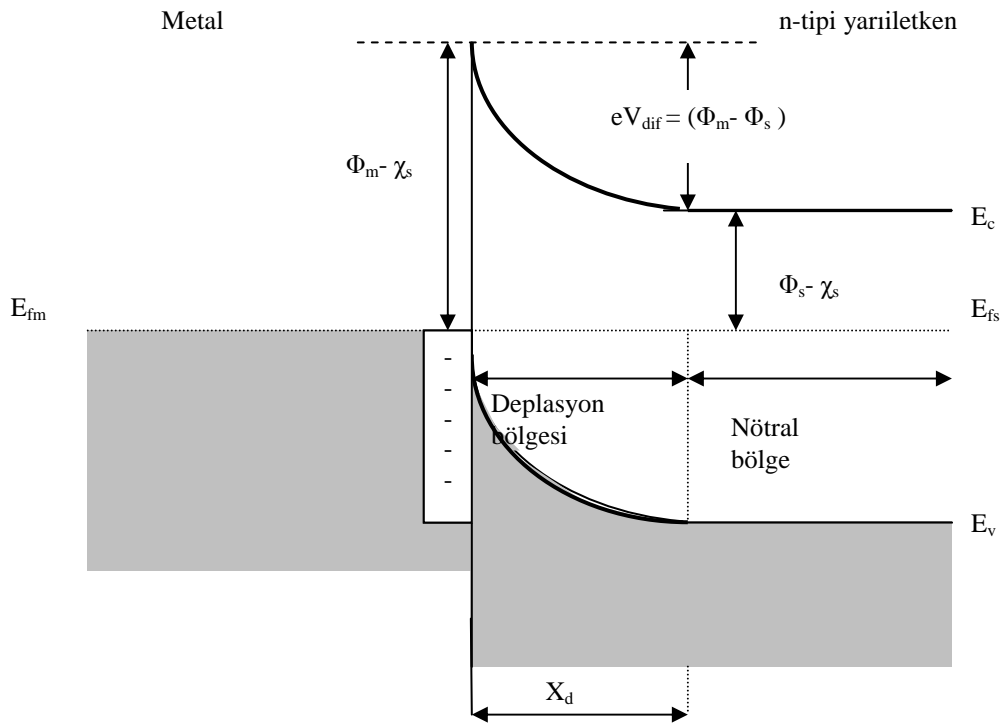
$$eV_{dif} = (\Phi_m - \Phi_s) \quad \text{olur.}$$

İyonize olmuş donörlerin sebep olduğu, kontakta yarıiletken tarafındaki hareketsiz pozitif yük tabakası, uzay yükü tabakası olarak bilinir. Bu tabaka  $d$  kalınlığında olup difüzyon potansiyeline ve iyonize olmuş donörlerin konsantrasyonuna bağlıdır. Temel uyarılmayla elektronların bazıları potansiyel engeli geçecek yeterli enerjiye sahip olur ve kontakta geçen eşit ve zıt yönde bir  $I_0$  sızıntı akımı oluştururlar. Yarıiletken tarafına bir  $+V$  gerilimi uygulandığında takdirde metalden yarıiletkenine akan elektronlar için görülen engel yüksekliği ve akım değişmez. Ancak yarıiletkenden metale akan elektronlar için iletkenlik bandı  $eV$  kadar yükseleceği

için, engel yüksekliği de  $eV$  kadar azalacaktır. Böylece metalden yarıiletkene doğru akan akım  $\exp(eV/kT)$  kadar artacak ve net akım;

$$I = I_0 \left[ \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.1)$$

olacaktır.  $I$  akımı pozitiftir. ( $V \gg kT/e$ ) belsem durumuna düz belsem adı verilir. Eğer yarıiletken tarafına  $+V$  gerilimi uygulanırsa, iletkenlik bandı  $eV$  kadar alçalır ve yarıiletken tarafındaki engel yüksekliği  $eV$  kadar artar. Meydana gelen net akım  $-I_0$  değerine ulaşır ve bu belsem durumuna ise ters belsem adı verilir. ( $V \ll kT/e$ )

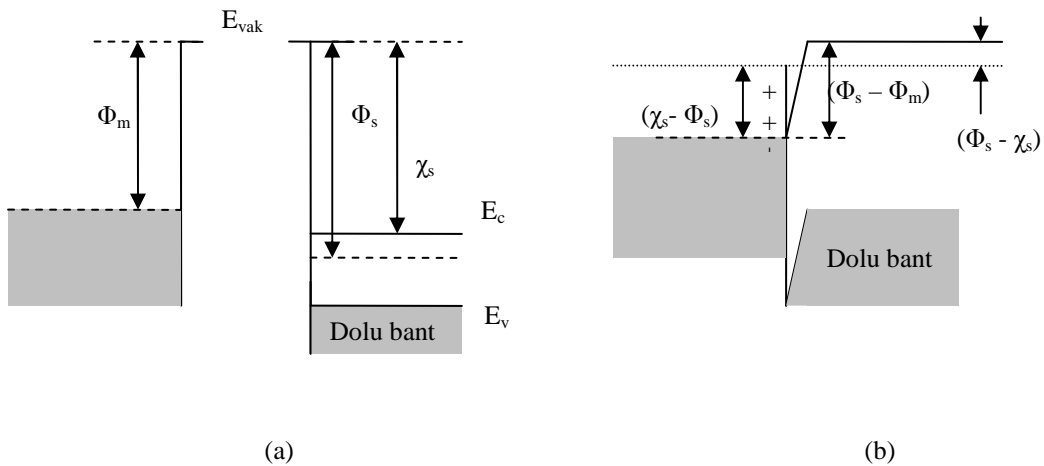


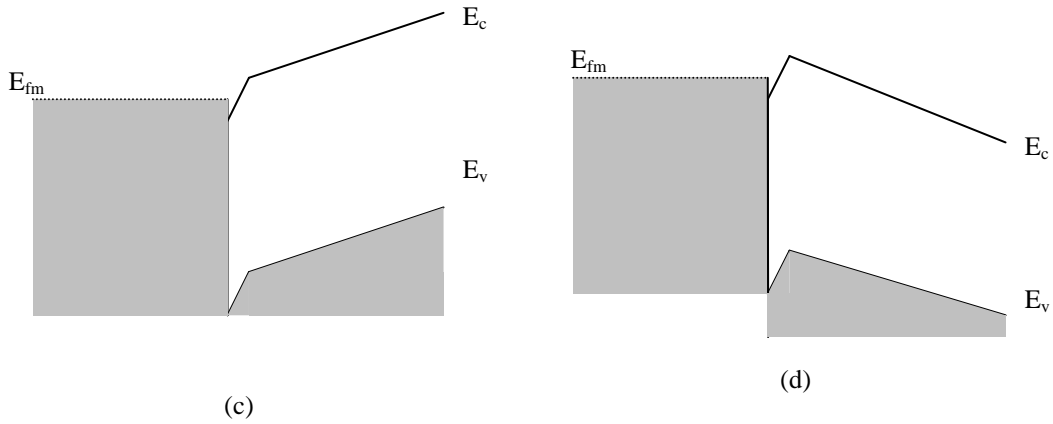
Şekil 2.2. Kontakta sonra oluşan enerji-bant diyagramı



### 2.3. Metal n-tipi Yarıiletken Omik kontaklar

Metalin iş fonksiyonunun yarıiletkenin iş fonksiyonundan küçük olduğu ( $\Phi_m < \Phi_s$ ) durumlarda omik kontak oluşur. Metal n-tipi yarıiletken omik kontak oluşmadan önce yarıiletkenin Fermi seviyesi, metalin Fermi seviyesinden ( $\Phi_s - \Phi_m$ ) kadar aşağıdadır. (Şekil2.3.a).Kontaktan sonra metalden yarıiletkene akan elektronlar, arkalarında pozitif yükler bırakırlar ve kontak bölgesinde bir dipol tabakası meydana gelir (Şekil.2.3.b).Eğer metal tarafına +V gerilim uygulanırsa, yarıiletkenden metale akan elektronlar için bir engel olmadığından kolayca hareket edebilirler. (Şekil2.3.c).Eğer yarıiletken tarafına bir +V gerilimi uygulanırsa, yarıiletkenin aşırı katkı durumu nedeniyle elektronlar için engel yüksekliği çok az olur ve elektronlar yarıiletkene doğru yine kolayca hareket edebilirler. Yani elektronların her iki yönde de kolayca hareket edebildiği kontak durumuna omik kontak denir.





**Şekil 2.3.**  $\Phi_m < \Phi_s$  durumu için metal/n-tipi yarıiletken omik kontakta ait enerji bant diyagramı  
a)kontakta önce,b)kontakta sonra,c)ters beslem altında, d)düz beslem altında

#### 2.4. Metal p-Tipi Yarıiletken Doğrultucu Kontaklar

Metal ile p-tipi yarıiletken kontak haline getirildiğinde metal ve yarıiletkenin Fermi enerjisi seviyeleri aynı düzeye ulaşınca kadar iki madde arasında bir yük alışverişi olur. Yük taşıyıcıları bir yönde kolayca hareket ederken, diğer yönde potansiyel engelinden dolayı hareketleri zorlaşıyorsa bu tür kontaklar doğrultucu kontaklardır.

Metalin iş fonksiyonu, yarıiletkenin iş fonksiyonundan küçük olsun ( $\Phi_m < \Phi_s$ ) ve oda sıcaklığında alıcıların tümü iyonize olmuş olsun. Metal ile yarıiletken kontak haline getirilmeden önce, yarıiletkenin Fermi seviyesi, metalin Fermi seviyesinden  $\Phi_s - \Phi_m$  kadar aşağıdadır. Kontak oluştuktan sonra, metal ve yarıiletkenin Fermi seviyeleri aynı yükseklik düzeyine ulaşınca kadar metalden yarıiletkene doğru elektron geçişi olur. Böylece yarıiletken tarafındaki holler iyonize olurlar.

Yarıiletkenin yüzey tabakasındaki negatif yüklü iyonize olmuş akseptörler  $d$  kalınlıklı uzay yük tabakası boyunca dağılır. Kontakta sonra yarıiletken gövdede enerji seviyeleri  $\Phi_s - \Phi_m$  kadar yükseldiği için, yarıiletken tarafındaki holler için görülen engel yüksekliği;

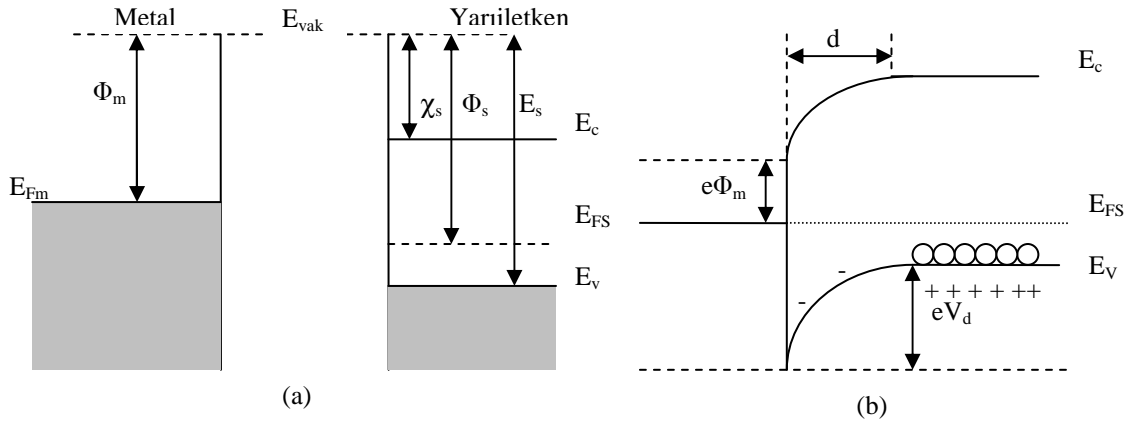
$$eV_d = \Phi_s - \Phi_m \quad (2.2)$$

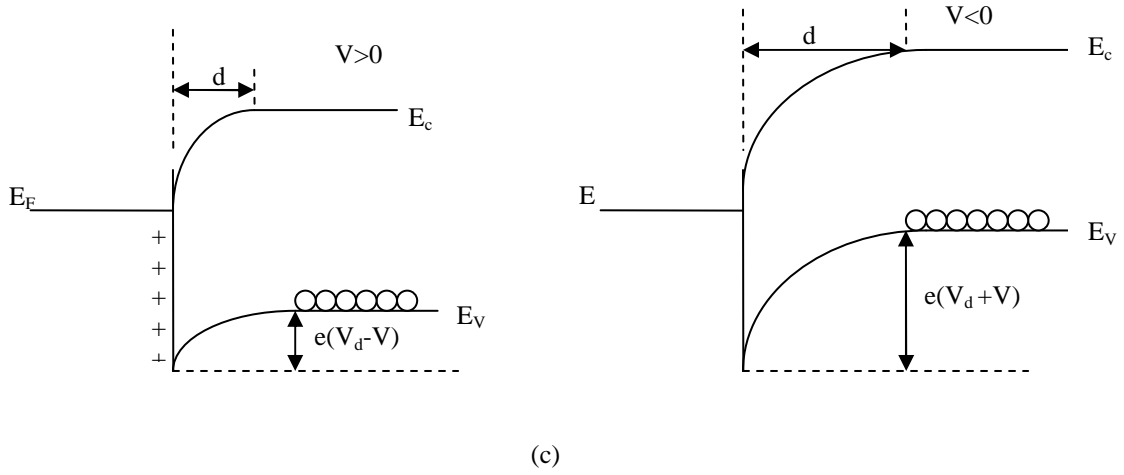
$V_d$  difüzyon potansiyelidir ve metalin yüzeyine göre alınır.

Metal tarafındaki holler için engel yüksekliği;

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

olur.





**Şekil 2.4** Metal p-tipi yarıiletken doğrultucu kontağın enerji-bant diyagramı a) Kontakta önce, b) Kontakta sonra termal dengede, c)  $V \neq 0$  olması durumunda

Termal uyarılma nedeniyle, yarıiletkendeki hollerin bazıları metal tarafındaki potansiyel engeli geçebilecek enerjiye sahip olabilir ve aynı şekilde metaldeki bazı holler de yarıiletken tarafına geçebilecek enerjiye sahip olabilir. Bunun sonucunda engeli geçen eşit ve zıt yönlü iki  $I_0$  akımı oluşur. Dengeyi bozmak için yarıiletkene bir  $V$  gerilimi uygulanırsa metalden yarıiletkene akan hol akımı değişmez, ancak yarıiletkenden metale akan hol akımında  $\exp(eV/kT)$  çarpanı kadar bir değişim olur. Değişimle birlikte yarıiletkendeki bütün enerji seviyeleri  $eV$  kadar düşer ve yarıiletkenden metale doğru akan holler için engel yüksekliği  $eV$  kadar azalır.

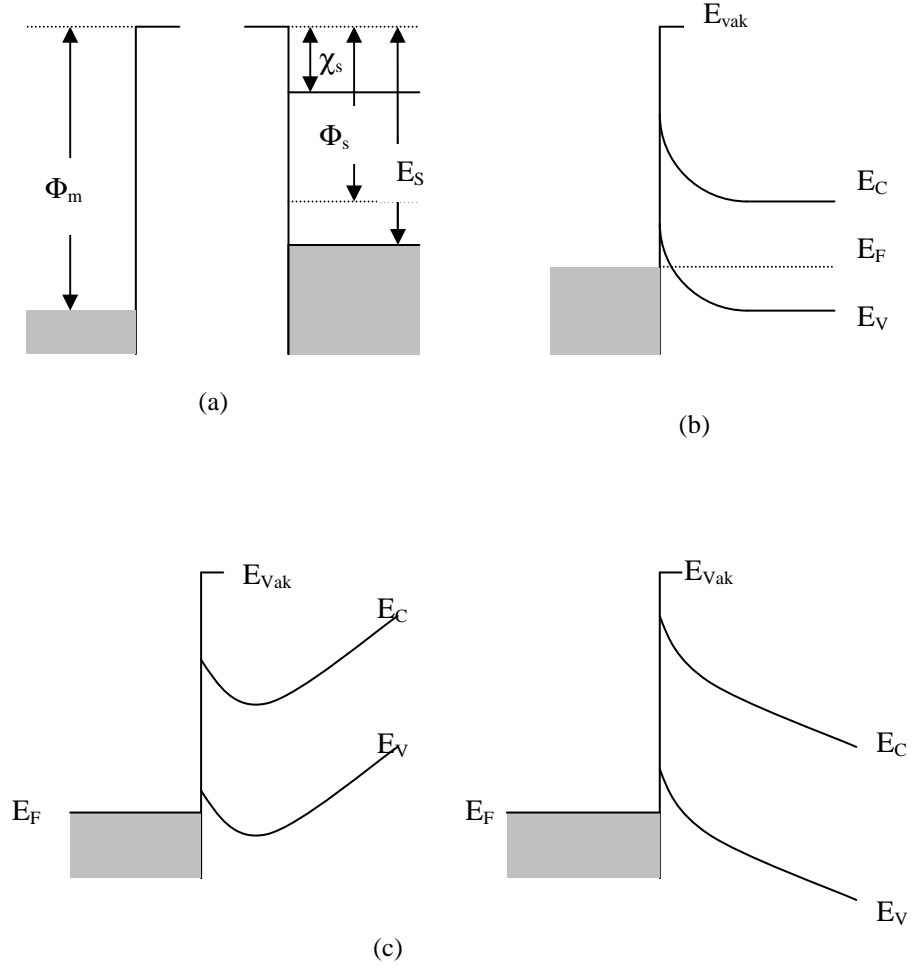
Sonuç olarak yarıiletkenden metale akan hollerin oluşturduğu akım pozitif olarak alınırsa karakteristik akım;

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

olur.  $I_0$  bir doyma akımıdır ve bu kontak doğrultucu bir kontakır.

### 2.5.Metal p-Tipi Yarıiletken Omik Kontaklar

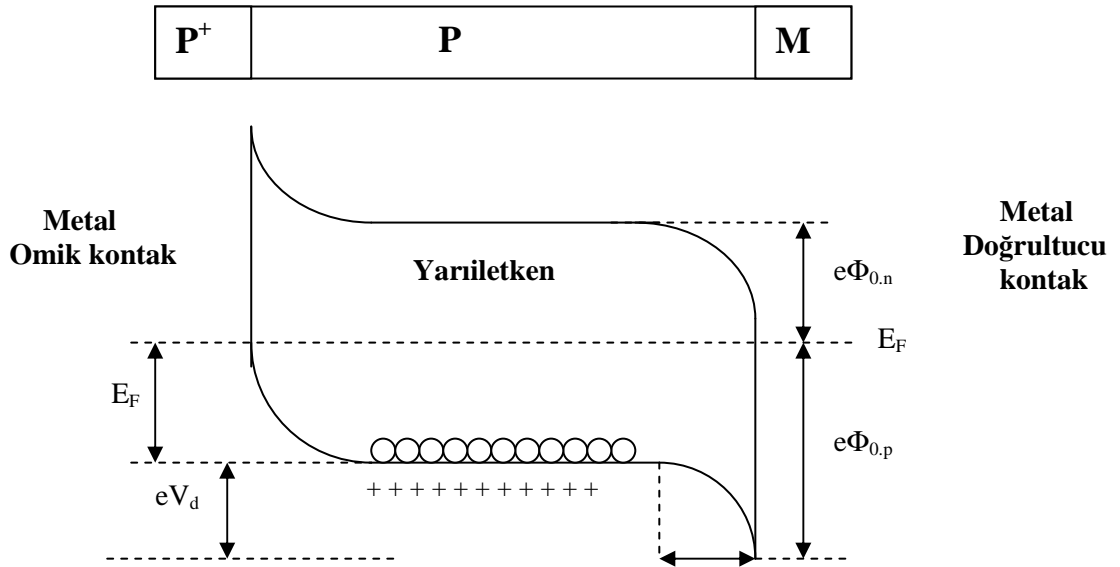
Metalin iş fonksiyonunun yarıiletkenin iş fonksiyonundan büyük olduğu durumu ( $\Phi_m > \Phi_s$ ) ele alacak olursak; kontakın önce yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden  $\Phi_m - \Phi_s$  kadar yukarıdadır. (Şekil 2.5a) Kontakın sonra yarıiletkendeki elektronlar arkalarında pozitif yükleri bırakarak metal tarafına geçerler ve metal tarafında negatif yüzey yükü oluşmasına sebep olurlar. Bunun sonucunda yarıiletkenin Fermi seviyesi  $\Phi_m - \Phi_s$  kadar alçalır.(Şekil 2.5b).Yarıiletkendeki hol yoğunluğunun artmasıyla yarıiletkenin ön yüzeyi daha fazla p-tipi olur. Elektronlar yarıiletkenin izinli durumlarına kolayca geçerler. Metal tarafına doğru akan holler de nötralize olurlar. Ters belsem uygulanmasıyla hem metalden yarıiletkene hem de yarıiletkenden metale yük akışı kolaylıkla olacağından oluşan kontak omik kontak olacaktır.



**Şekil 2.5** Metal p-tipi yarıiletken kontakın enerji-bant diyagramı a)Kontaktan önce b) Kontaktan sonra ve termal dengede c)  $V \neq 0$  olması durumunda

### 2.6.Metal- p- Tipi Yarıiletken – Metal Yapısı

p-tipi yarıiletkenin bir yüzeyine boşluk bakımında oldukça zengin olan P<sup>+</sup>P omik kontağı ile diğer yüzeyinin PM doğrultucu konak yapılmasıyla, metal-p tipi yarıiletken-metal (P<sup>+</sup>PM) yapısı oluşturulur.



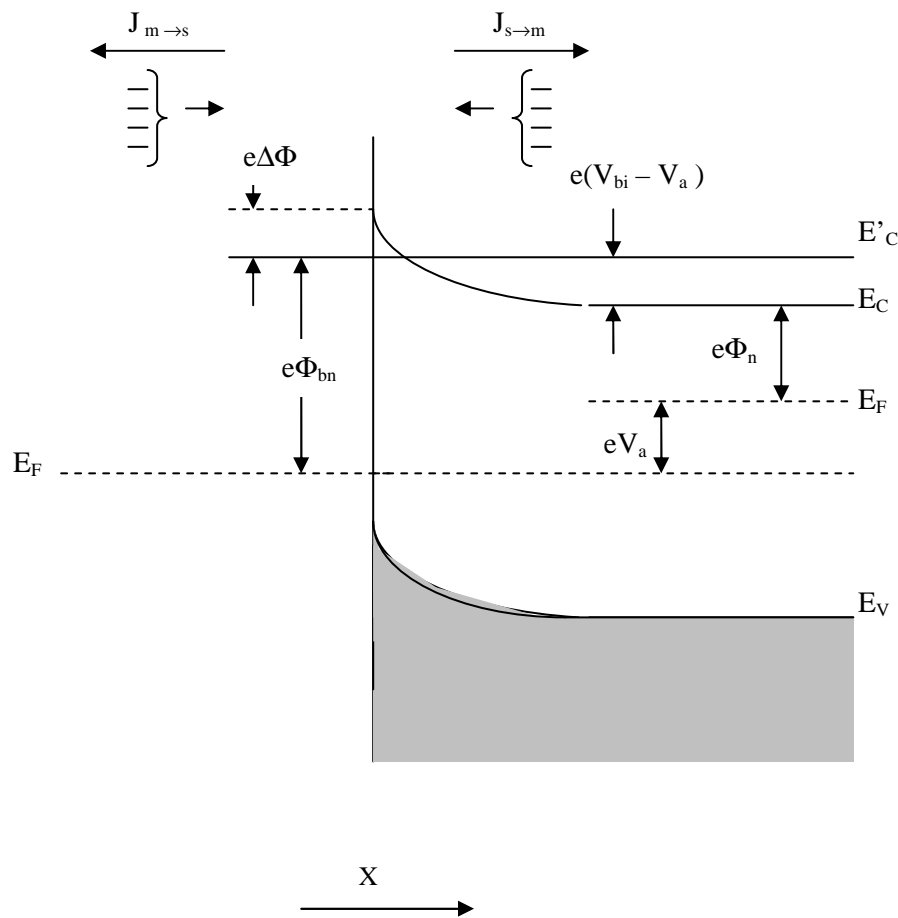
Şekil 2.6 P+PM yarıiletken diyot yapısına ait termal dengedeki enerji-bant diyagramı

Bu yapının omik kontak kısmına pozitif bir +V gerilim uygulandığında yapı doğru belsemde, negatif bir gerilim uygulandığında ise yapı ters belsemde olur.

Şekil 2.6' da görüldüğü gibi holler için engel yüksekliği  $e\Phi_{p0} = eV_d + E_F$  'ye eşittir.

## 2.7. Termoyonik Emisyon Teorisi

Elektron ve hollerin sıcak bir yüzeyden salınması, Termoyonik Emisyon olayı olarak bilinmektedir. Bu durum Schottky kontaktlarda taşıyıcıların yeteri miktarda termal enerjiyi kazanmasıyla, metalden yarıiletkene ve yarıiletkenden metale potansiyel engeli aşarak geçme esasına dayanır.



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

Çoğunluk taşıyıcı akım, metal/n-tipi yarıiletken kontaktlarda elektronlar, metal/p-tipi yarıiletken kontaktlarda ise holler tarafından sağlanır. TE teorisinde termal denge durumunun etkilenmemesi için Maxwell-Boltzman yaklaşımı uygulanarak, doğrultucu



kontakın potansiyel engel yüksekliğinin  $kT$ 'den daha büyük olduğu kabul edilir ve taşıyıcıların arınma bölgesindeki çarpışmalarının çok küçük olduğu varsayılır.

$J_{s \rightarrow m}$  yarıiletken den metale doğru akan akım yoğunluğu ve  $J_{m \rightarrow s}$  metalden yarıiletkene doğru akan akım yoğunluğu olmak üzere

$$J_{s \rightarrow m} = e \int_{E_c}^{\infty} v_x dn \quad (2.11)$$

şeklinde yazılabilir. TE için gerekli minimum enerji,  $v_x$  ise iletim yönündeki taşıyıcı hızıdır.  $dn$  artan elektron konsantrasyonudur ve;

$$dn = g_c(E) f(E) d(E) \quad (2.12)$$

şeklinde ifade edilir.  $g_c(E)$ : iletim bandı hal yoğunluğu,  $f(E)$ : Fermi-Dirac olasılık fonksiyonudur. Elektron konsantrasyonu, Maxwell-Boltzman yaklaşımıyla;

$$dn = \frac{4\pi(2m_n^*)^{3/2}}{h^3} \sqrt{E - E_c} \exp\left[-\frac{(E - E_f)}{kT}\right] dE \quad (2.13)$$

şeklinde yazılabilir.  $(E - E_c)$  serbest elektronun hareket enerjisi olarak düşünülürse;

$$\frac{1}{2} m_n^* v^2 = E - E_c \quad (2.14)$$

$$dE = m_n^* v dv \quad (2.15)$$

ve

$$\sqrt{E - E_c} = v \sqrt{\frac{m_n^*}{2}} \quad (2.16)$$

olur. Bu eşitliklerle (2.13) ifadesi yeniden yazılırsa;

$$dn = 2 \left( \frac{m_n^*}{h} \right)^3 \exp\left( \frac{-e\Phi_n}{kT} \right) \exp\left( \frac{-m_n^* v^2}{2kT} \right) 4\pi v^2 dv \quad (2.17)$$

olur. Bu eşitlik, hızları  $v$  ile.  $v + dv$  arasında değişen elektron sayısını ifade eder. Hız bileşenleri;  $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$  'dir. Bu durumda  $J_{s \rightarrow m}$  ifadesi ;

$$J_{s \rightarrow m} = 2e \left( \frac{m_n^*}{h} \right)^3 \exp\left( \frac{-e\Phi_n}{kT} \right) \int_{-\infty}^{\infty} v_x \exp\left( \frac{m_n^* v_x^2}{2kT} \right) dv_x \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left( \frac{-m_n^* v_y^2}{2kT} \right) dv_y \\ \times \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left( \frac{-m_n^* v_z^2}{2kT} \right) dv_z \quad (2.18)$$

şeklinde yazılır.  $v_{ox}$  hızı, elektronun x doğrultusunda potansiyel engeli aşması için gereken minimum hızdır. Minimum  $v_{ox}$  hızı için:

$$\frac{1}{2} m_n^* v_{ox}^2 = e(V_{bi} - V_a) \quad (2.19)$$

yazılabilir. Böylece  $v_x \rightarrow v_{ox}$  için  $\alpha = 0$  olur ve  $v_x dv_x = \left( \frac{2kT}{m_n^*} \right) \alpha d\alpha$  şeklinde

yazılabilir. (2.18) ifadesi için aşağıdaki değişken değiştirmeleri yapılabilir.

$$\frac{-m_n^* v_x^2}{2kT} \equiv \alpha^2 + \frac{e(V_{bi} - V_a)}{kT} \quad (2.20a)$$

$$\frac{-m_n^* v_y^2}{2kT} \equiv \beta^2 \quad (2.20b)$$

$$\frac{m_n^* v_z^2}{2kT} \equiv \gamma^2 \quad (2.20c)$$

Bu ifadeler (2.18 ) denkleminde yeniden yazılırsa;

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

$$x \int_0^{\infty} \alpha \exp(-\alpha^2) d\alpha \int_{-\infty}^{\infty} (-\beta^2) \int_{-\infty}^{\infty} (-\gamma^2) d\gamma \quad (2.21)$$

İntegral alınırsa;

$$J_{s \rightarrow m} = \left( \frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp\left[ \frac{-e(\phi_n + V_{bi})}{kT} \right] \exp\left( \frac{eV_a}{kT} \right) \quad (2.22)$$

ya da;

$$J_{s \rightarrow \infty} = \left( \frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp\left[ \frac{-e\phi_{Bn}}{kT} \right] \exp\left( \frac{eV_a}{kT} \right) \quad (2.23)$$

olur. Şekil 2.7 de görüldüğü  $\phi_n + V = \phi_{bn}$  ile uygulama gerilimi sıfır olduğunda  $J_{m \rightarrow s}$  ile  $J_{s \rightarrow m}$  aynı olurlar. Yani;

$$J_{m \rightarrow s} = \left( \frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp\left[ \frac{-e\phi_{B0}}{kT} \right] \quad (2.24)$$

olur. Kontaktaki net akım yoğunluğu ise  $J = J_{s \rightarrow m} - J_{m \rightarrow s}$  olur. Ve;

$$J = \left[ A^* T^2 \exp\left( \frac{-e\phi_{Bn}}{kT} \right) \right] \left[ \exp\left( \frac{eV_a}{kT} \right) - 1 \right] \quad (2.25)$$

şeklinde yazılabilir  $A^*$  termoiyonik emisyon için Richardson sabitidir ve;

$$A^* = \frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \quad (2.26)$$

ile ifade edilir. Genel olarak  $J$  ifadesi ;

$$J = J_0 \left[ \exp\left(\frac{eV_a}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.27)$$

olur.  $J_0$  ters doyma akım yoğunluğudur ve ;

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(\frac{-e\phi_{Bn}}{kT}\right) \quad (2.28)$$

şeklinde yazılır.  $\phi_{bn}$  Schottky engel yüksekliğinin imaj kuvveti nedeniyle azalması ve  $\phi_{bn} = \phi_{bo} - \Delta\phi$  şeklinde ifade edildiği ele alındığında eşitliği:

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(\frac{-e\phi_{Bn}}{kT}\right) \exp\left(\frac{e\Delta\phi}{kT}\right) \quad (2.29)$$

halini alır.

### 3.MATERYAL ve METOT

#### 3.1 Kristal Temizlenmesi

Bu çalışmada [100] doğrultusunda büyütülmüş, öz direnci  $\rho = 5-10 \Omega\text{-cm}$  olan boron katkılı p-tipi Si kullanılmıştır. Diyot yapımında güvenilir sonuç alabilmek için numunenin organik ve mekanik kirlere arındırılması son derece önem taşır. Kullanılmış olduğumuz numune fabrikasyon olarak parlatıldığı için mekanik olarak temizlemeye gerek kalmamıştır. Kimyasal olarak temizlemek için aşağıdaki işlemler uygulanmıştır:

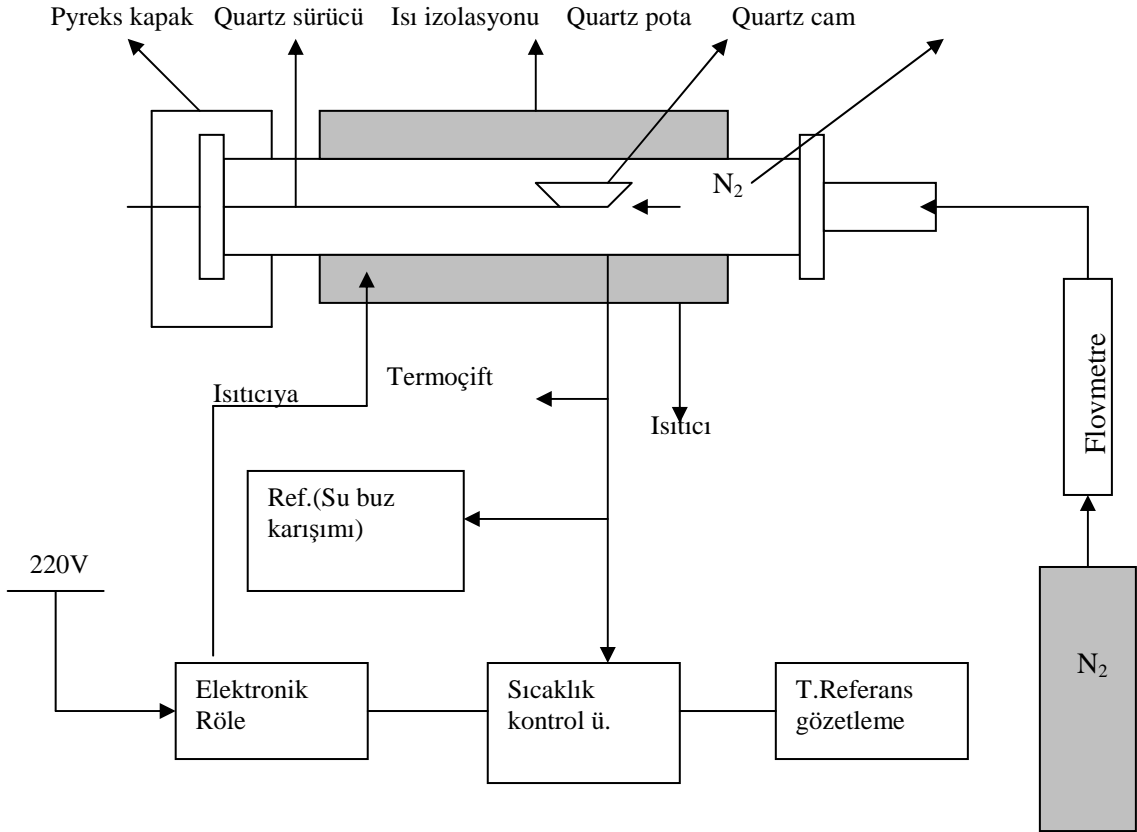
- 1) Aseton'da ultrasonik olarak 10 dakika yıkandı.
- 2) Metanol'da ultrasonik olarak 10 dakika yıkandı.
- 3) Deiyonize su ile iyice yıkandı.
- 4) RCA1 ( $\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{NH}_3;6:1:1$ ) 'de  $60^\circ\text{C}$ 'de 10 dakika kaynatıldı.
- 5) Seyreltik HF ( $\text{H}_2\text{O}:\text{HF};10:1$ ) ile 30 saniye yıkandı.
- 6) RCA2 ( $\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{HCl};6:1:1$ ) 'de  $60^\circ\text{C}$ '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 ( $\text{N}_2$ ) ile kurutuldu.

Ayrıca buharlaştırmada kullanılan metaller, metanolde ultrasonik olarak 5 dakika yıkandı.

#### 3.2 Schottky Konağın Oluşturulması

Temizlenen nümunenin önce mat yüzeyine omik kontak yapılma işlemine geçildi. Bu işlem için önce ısıtıcı pota % 10 seyreltiklikte HCl ile sonrasında deiyonize su ile iyice yıkandı ve temizlenip kurutuldu. Daha sonra vakum buharlaştırma cihazına yerleştirilerek yakıldı. Sonra nümuneler kimyasal olarak (RCA) temizlendikten ve nümunenin mat yüzeyine buharlaştırılacak olan Al kimyasal olarak temizlenip ısıtıcının üzerine bırakıldıktan sonra nümune, daha önce çalıştırılıp vakum işlemi için hazır hale getirilen ünitenin içerisine yerleştirildi.

Vakum işlemi sonucunda basınç  $10^{-5}$  torr değerine düştükten sonra, daha önceden ısıtıcı üzerine yerleştirilen p-tipi Si için % 99.98 saflıkta alüminyum (Al) buharlaştırıldı.



Şekil 3.1. Omik kontak termal işlemi için fırın ve kontrol ünitesi şeması

Bu işlem tamamlandıktan bir süre sonra ters işlem yapılarak vakum cihazına hava verildi ve nümune vakum cihazından çıkarıldı. Kimyasal olarak temizlenmiş quartz potanın içine yerleştirildi ve daha önce yakılarak  $580^{\circ}\text{C}$  ye ayarlanan fırında 3 dakika süresince tavlandı.(Şekil 3.1) Böylece omik kontak işlemi tamamlanmış oldu. Tamamlanan omik kontaklı Silisyumun parlak yüzeyine Tips:Mehppv organik film çözeltilisinden birkaç damla damlatıldı ve kurumaya bırakıldı.Böylece organik film elde edildi.Elde edilen organik Tips:Mehppv/p-Si yapısı üzerine yeniden yüksek vakum altında alüminyum (Al) buharlaştırarak Al/Tips:Mehppv/p-Si yapısı elde edildi.

### 3.3 Schottky Kontaklarda Akım-Gerilim Ölçümleri

İdealite faktörü, diyodun ideal özelliklerini belirlemede önemli bir faktördür. İdealite faktörünü hesaplamak için;

$$I = I_0 \left[ \exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (3.5)$$

eşitliği kullanılır. Bu eşitlikte  $eV \gg 3kT$  olduğundan 1 terimi ihmal edilebilir. (3.5) eşitliğinin her iki tarafının logaritması alındıktan sonra  $V$  ' ye göre türevi alınırsa idealite faktörü

$$n = \frac{e}{kT} \frac{dV}{d(\ln I)} \quad (3.6)$$

olacaktır.(3.6) eşitliğindeki  $\frac{dV}{d(\ln I)}$  teriminin değeri,  $\ln I$ - $V$  grafiğindeki doğru kısmın eğiminden elde edilip yerine yazılarak idealite faktörü hesaplanabilir. Doyma akım yoğunluğu ise;

$$I_0 = AA^*T^2 \exp(-e\Phi_b/kT) \quad (3.7)$$

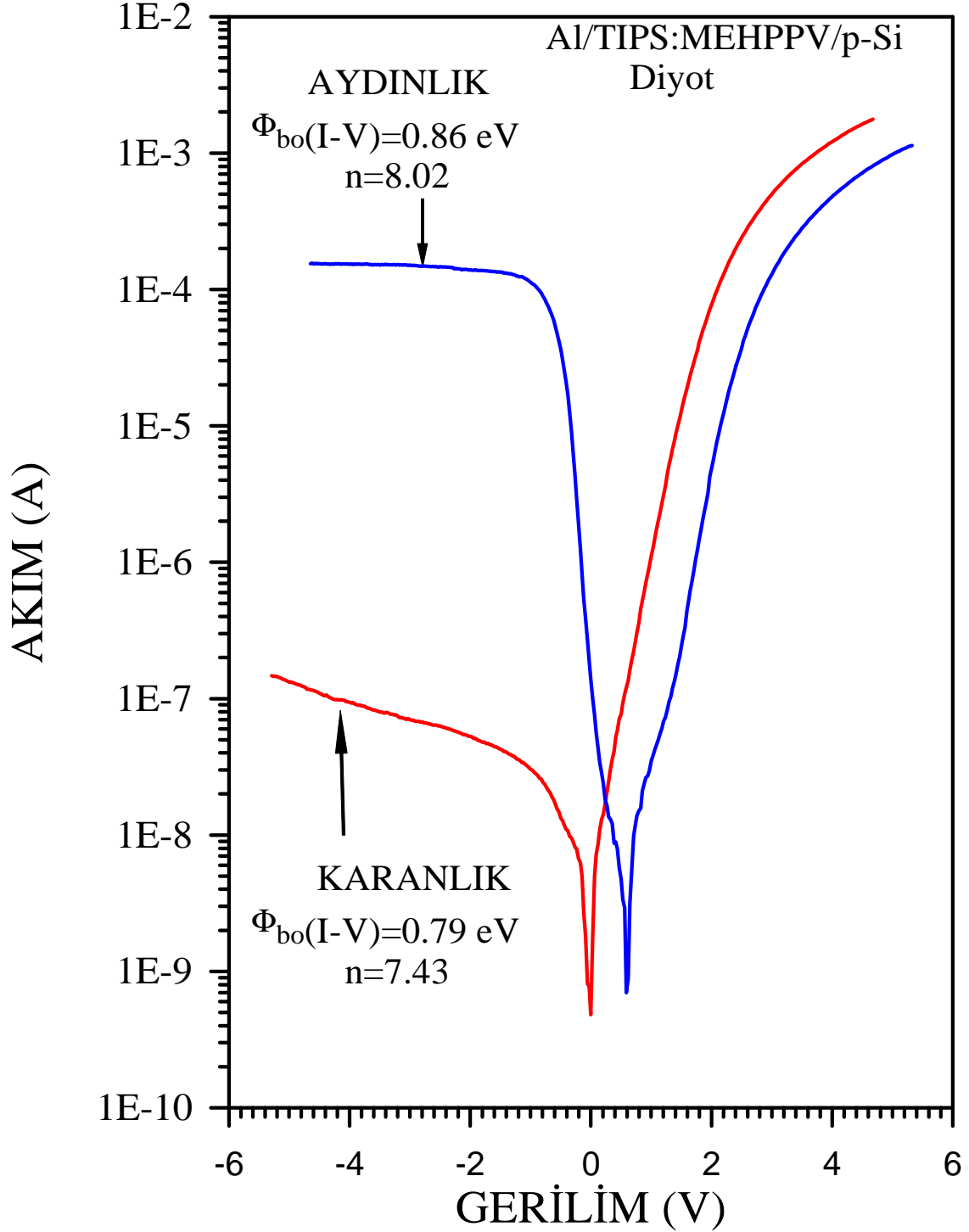
şeklinde ifade edilebilir. Bu eşitliğinin her iki tarafının tabii logaritması alınıp  $\Phi_b$  ' ye göre çözüldüğünde;

$$e\Phi_b = kT \ln(AA^*T^2/I_0) \quad (3.8)$$

ifadesi elde edilir. Bu eşitlikte  $A$  ; 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. (3.7) eşitliğiyle doyma akım yoğunluğu ve (3.8) eşitliğiyle de Schottky engel yüksekliği hesaplanabilir.  $\ln I$ - $V$  grafiğindeki doğrunun düşey eksenini kestiği noktadan doyma akım yoğunluğunun değeri elde edilebilir.

### 3.4 Araştırma Bulguları

Bölüm 3'te anlatılan numunelere yapılan işlemler sonucunda I-V hesaplamalarına ait deneysel grafik aşağıdaki gibidir;





#### 4.TARTIŞMA ve SONUÇ

Temel diyot karakteristiklerinin hesaplanmasında hem seri direnç değeri hem de arayüzey durumları dikkate alınmalıdır. Çünkü bu parametreler elektriksel ölçümler üzerinde etkili olan önemli faktörlerdir.

Bu çalışmada [100] doğrultusunda büyütülmüş, öz direnci  $\rho = 5-10 \Omega\text{-cm}$  olan boron katkılı p-tipi Si diyodunu laboratuvarımızda imal ettik. (Al/Tips:Mehppv/p-Si) Schottky diyoduna ait akım-voltaj ve kapasitans-voltaj ölçümleri, oda sıcaklığında karanlıkta ve aydınlıkta yapılmıştır.

(Al/Tips:Mehppv/p-Si) yapısının ışısız ortamda engel yüksekliği 0,79eV ve idealite faktörü 7,43 iken, ışıklı ortamda ise engel yüksekliği 0,86eV ve idealite faktörü 8,02 olarak elde edilmiştir.

Yapılan değerlendirmeye göre, (Al/Tips:Mehppv/p-Si) Schottky diyotlarının doyum akımı ( $I_0$ ), sıfır beslem engel yüksekliği ( $\Phi_{b0}$ ) ve idealite faktörü ( $n$ ) aydınlanmadan oldukça etkilenmekte ve artan aydınlanma şiddeti ile değişmektedir.

Oluşturduğumuz diyodun, idealite faktörü, ve engel yüksekliği gibi temel parameteleri hesaplandı. İdealite faktörünün 1'den büyük olması yapının arayüzey durumlarının yoğunluğuna atfedilebilir.

Bu çalışmada hazırlanan (Al/Tips:Mehppv/p-Si) yapılar için elde edilen ölçümler ve gözlemler; bu ve benzer yapıya sahip olan kontaklar için arayüzey durumlarının (I-V) ölçümleri üzerindeki etkisinin oldukça etkili olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda bu yapının ışığa duyarlı olduğu ve fotodiyot özelliği gösterdiği saptanmıştır.

## 5. KAYNAKLAR

- Andrews, J.M. and Lepselter, M.P., 1970, Solid State Electron., 13, 1011.
- Bauer, R.S., Bachrach, R.Z. And Brilson, J., 1980, Appl. Phys. Lett., 37, 1006
- Braun, K.F., Physical Chemistry, 153, 556 (1874)
- Card, H.C. And Rhoderick, E.H., Phys. D, Appl. 4. (1971)
- Chandra, M.M. And Prasad, M., J. Phys. State Solid. (A) 77, (1983)
- Chattopodhyay, P. And Kumar, V., Solid-St. Elc. 3, 143 (198)
- Cowley, A.M. And Sze, S.M., J. Appl. Phys. 36, 3212 (1965)
- Crowel, C.R. And Sze, S.M., Solid-St. Elc., 9, 1035 (1966)
- Çetinkara, H.A., Sağlam, M., Türüt, A. And Yalçın, N., 1999, Eur. Phys. J. Ap., 6, 89
- Kamimura, K., Suzuki, T. And Kunioka, A., 1980, J. Appl. Phys. 5, 4905
- M. Biber, M. Cakar, A. Turut, J. Mater. Sci-Mater. Elect., 575 (2001).
- M. Biber, M. Cakar, A. Turut, J. Mater. Sci-Mater. Elect, 575 (2001).
- Mönch, W. 1999, J. Vac. Sci. Tech. B 17 (4), 1867
- Mönch, W. 1987. The American Physical Society 58, 12, 1260.
- R.F. Schmitsdorf, T. U. Kampen And W. Mönch, J. Vac. Sci. Tech., 1221 (1997).
- R. T. Tung, Mat. Sci. Eng. R , 1-138 (2001) ; J. P. Sullivan, R. T. Tung, M.R. Pinto And W. R. Graham, J. Appl. Phys., 7403 (1991) ; T. Tung, Phys. Rev. B., 13509 (1992).
- Rhoderick, E. H. and. Williams, R. H., 1988, Metal-Semiconductor Contacts, Clarandon Press, Oxford University Press, p.20, 48.
- Schottky, W., Phys. 215 (1914)
- Schottky . W. And Spenke, E., Wiss Veroff Semeis-Werken 18, 225 (1939)
- Song, Y.P, Van Meirhaeghe, R.L. Laflère W.H. and F. Cardon, Solid-St. Electron, 633 (1986).
- Spicer, W.E. Chye, P.W, Skeath P.R. and I. Lindau , 1979, J. Vac. Sci. Tech , 1422
- Sullivan, J.P., Tung, R.T., Pinto, M.R. and Graham, W.R., 1991, j. Appl. Phys., 77, 7403.
- Szatkowski, J. And Sieranski, K., 1992, Solid-St. Solid-St. Elctron., 35, 1013
- Sze, S.M., Crowelland, C.R. And Koling, D., J. Appl. Phys. 35, 2534 (1964)
- Tamirci C. Dok. Tez., 2000, Ata. Üniv. Basımevi, ERZURUM

- Thorsten. U, Kampen. And Mönch, W. 1997, Appl. Surface Science 117/118, 388-393
- Torrey , H.C.,Whitmer C.A., Crystal Rectifiers, Mc Graw Hill, (1948)
- Tung, R.T.Mat. Sci. Eng R, 35, 1-138 (2001); J. P.Sullivan,  
Türüt, A. And Sağlam, M.,1992, Physica B,179,285.
- Werner, J. H. And Rau, U.,1994, Springer Series in Electronics and Photonics, 32, 89.
- Werner,L.H. and Güttler, H.H., 1991, j. Appl. Phys.,69,1522.
- W. E. Spicer, I. Lindau, P. Skeath, and C. Y. Su, *J. Vac. Sci. Tech.*, 1019 (1980).
- Wilson, A.H., Proc.R.Soc., London, Ser. A, 136,487 (1932)
- Wittmer, M. and Freeouf, J. L., 1992, Phys. Rev. Lett., 69, 2701.
- W. Mönch, Metallization and Metal-Semiconductor Interfaces, p.11-35, 401,Edited by I. P. Batra,, Plenum, New York (1989).
- W. Mönch, Phys. Rev. B, 7129 (1988).
- Ziel, A. V., 1968, Solid State Physical Electronics, (Prentice-Hall, New-Jersey), p.245

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER:

**Adı Soyadı:** Şura Hamidi

**Doğum Tarihi:** 17.03.1988

**Doğum Yeri:** Diyarbakır/Merkez

### EĞİTİM DURUMU:

**Lise** : Ziya Gökalp Lisesi /2001-2004

**Lisans** : Dicle Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü /2004-2008

**Yüksek Lisans:** Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı /2008-

**ANABİLİM DALI** : Fizik Anabilim Dalı

**AKADEMİK ALANI** : Katıhal Fiziği

**YABANCI DİL** : İngilizce

### BİLİMSEL, KÜLTÜREL VE EĞİTİMLE İLGİLİ TOPLULUKLARA VEYA DERNEKLERE ÜYELİK:

Dicle Üniversitesi Fizik Topluluğu (DÜFİT)

### KATILDIĞI ULUSAL-ULUSLARARASI KONGRE VE KONFERANSLAR:

- ODTÜ Fizik Topluluğu Enerji Kaynakları ve Uygulamaları Kış Okulu, Ankara, 2010, Katılımcı

