



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



**METAL/YARIİLETKEN YAPILAR İÇİN**  
**BENZEŞİM DESTEKLİ YAZILIM**  
**ÜRÜN GELİŞTİRME**

**Anıl MERMER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Fizik Anabilim Dalı**

**Mayıs-2018**  
**BATMAN**  
**Her Hakkı Saklıdır**

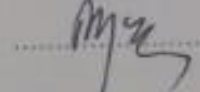
## TEZ KABUL VE ONAY

Anıl MERMER tarafından hazırlanan "Metal/Yarıiletken Yapılar İçin Benzeşim Destekli Yazılım Ürün Geliştirme" adlı tez çalışması 10/05/2018 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

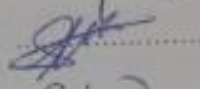
### Jüri Üyeleri

### İmza

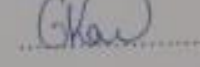
**Başkan**  
Prof. Dr. Ali YILMAZ



**Danışman**  
Doç. Dr. Osman PAKMA



**Üye**  
Doç. Dr. Gülten KAVAK BALCI



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Doç. Dr. Bahattin İŞCAN  
FBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all materials and results that are not original to this work.

Anıl MERMER  
10/05/2018

# ÖZET

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

### METAL/YARIİLETKEN YAPILAR İÇİN BENZEŞİM DESTEKLİ YAZILIM ÜRÜN GELİŞTİRME

Anıl **MERMER**

**Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Fizik Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Osman PAKMA**

**2018, 68 Sayfa**

**Jüri**

**Prof. Dr. Ali YILMAZ**

**Doç. Dr. Osman PAKMA**

**Doç. Dr. Gülten KAVAK BALCI**

Günümüzde elektrik-elektronik teknolojisi ve sanayisinde fazlasıyla kullanılmakta olan metal/yarıiletken kontakların geniş bir uygulama alanı bulunmaktadır. Bu durum, beraberinde kontak yapılarımızı oldukça önemli kılmış, aynı zamanda bir araştırma alanının da konusu yapmıştır. Gerçekleştirmiş olduğumuz benzeşim ile metal/yarıiletken kontaklara ait deneysel sonuçlarla, benzeşim programımızdaki sonuçlar karşılaştırılarak sonuçların daha hızlı ve daha güvenilir elde edilmesi amaç edinilmiştir. Bu tez çalışmasında Microsoft Visual Studio tarafından geliştirilmiş olan, C Sharp (C#) programlama dilinden faydalanılarak, metal/yarıiletken kontak yapılar için kullanışlı bir benzeşim uygulaması gerçekleştirilmiştir. Program vasıtasıyla, farklı iş fonksiyonlarına sahip metallere, farklı tipteki yarıiletkenlerin oluşturduğu, metal/yarıiletken kontak diyot yapılarının akım-gerilim (I-V) eğrileri, deneysel verilerle karşılaştırılarak program optimize edilmiştir. Ayrıca programımızda metal/yarıiletken kontak yapıları için seri direnç etkisi de incelenmiştir. Hazırlanan bu benzeşim programımızın çalışması defalarca incelenmiş olup, yapılan hesaplamalar birçok kez tekrar edilmiştir. Yapılan bu testler sonucunda programımızın güvenilirliği sağlanmıştır. Ayrıca program verimliliği de artırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Benzeşim, C#, Metal/Yarıiletken kontak

## **ABSTRACT**

### **POST GRADUATION THESIS**

#### **DEVELOPING RESEMBLANCE SUPPORTED SOFTWARE PRODUCT FOR METAL/SEMICONDUCTING STRUCTURES**

**Anıl MERMER**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED  
SCIENCE OF BATMAN UNIVERSITY THE DEGREE  
OF MASTER OF SCIENCE IN PHYSICS DEPARTMENT**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Osman PAKMA**

**2018, 68 Pages**

**Jury**

**Prof. Dr. Ali YILMAZ**

**Assoc. Prof. Dr. Osman PAKMA**

**Assoc. Prof. Dr. Gülten KAVAK BALCI**

Nowadays, there is a wide field of application metal/semiconductor contacts which is exceedingly used in the electric-electronic technology and industry. That has made our contact structure quite important, and it has made it subject of a research field at the same time. It has taken as a goal taking results faster and more reliable with the similarity that we carry out by the way of comparing experimental results of metal/semiconductor and results of our similarity programme. In this thesis study, It has been carried out a similarity application for metal/semiconductor structures through making use of programming language C sharp, which is improved by Microsoft Visual Studio. It has been optimized by comparing experimental datas with metal/semiconductor contacts diode structures of current-voltage (I-V) curved lines which created by metals having different duty functions and different types of semiconductors via programme. Moreover, series resistance also has been observed for metal/semiconductor contact structures in our programme. Our similarity programme's study has been observed several times and calculations has been repeated many times. Reliability of our programme has been provided as a result of these testings. And programme's productivity has been increased.

**Key words:** Similarity, C#, Metal/Semiconductor contact

## TEŞEKKÜR

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmamız Sayın Doç. Dr. Osman PAKMA danışmanlığında yürütülmüştür.

Tezimin hazırlama aşamasında, gerek teorik gerekse uygulama konusunda verdiği destek ve katkıları dolayı kendilerine çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen değerli arkadaşlarım İdris TAŐAN'a ve Murat SEL'e çok teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım boyunca her zaman yanımda olan canım kızım Nazlı MERMER'e, sevgili eşim İpek Sarraf MERMER'e ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca Batman Üniversitesi Fizik Bölümü hocalarıma katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Anıl MERMER  
BATMAN-2018

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....</b>	<b>3</b>
2.1. İş Fonksiyonu ve Kontak Potansiyel Fark.....	3
2.2. Metal/Yarıiletken Yapılar.....	5
2.2.1.Metal/n-tipi yarıiletken yapılar.....	6
2.2.2.Metal/p-tipi yarıiletken yapılar.....	10
2.3. Metal/Yarıiletken Yapılarda Akım-İletim Mekanizmaları.....	13
2.3.1. Termiyonik emisyon teorisi.....	14
2.3.2. Difüzyon teorisi.....	15
2.3.3. Termoiyonik emisyon difüzyon teorisi.....	16
2.3.4. Engel boyunca tünelleme.....	18
2.3.5. To etkili akım iletimi.....	20
2.4. Metal/Yarıiletken Schottky Engel Diyotların Kapasitesi.....	21
2.5. İdeallik Faktörü.....	23
2.6. Engel Yüksekliği Ölçme Yöntemleri.....	24
2.6.1. Akım-gerilim (I-V) belirtkenlerinden.....	24
2.6.2. Kapasite-gerilim (C-V) belirtkenlerinden.....	25
2.7. Seri Direnç.....	26
2.8. Programlama Dilleri Ve Özellikleri.....	27
2.8.1. Alt seviye yazılım dilleri.....	27
2.8.2. Orta seviye yazılım dilleri.....	28
2.8.3. Üst seviye programlama dilleri.....	30
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>32</b>
3.1. Visual Studio.....	32
3.1.1. C Sharp.....	32
3.1.2. Express edition.....	33
3.1.3. Yazılım Gereksinimleri.....	34
3.1.4. Net framework.....	34
3.2. Metal/Yarıiletken Yapılarla Tasarlanan Programımızın Arayüzü.....	35
3.3. Schottky Diyotlarının Akım-Gerilim ve Diyot Parametrelerinin Belirlenmesi...41	

3.4. Cheung Fonksiyonlarıyla Seri Direnci Bulma Yöntemi.....	43
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>45</b>
4.1. Akım-Gerilim Karakteristikleri ve Cheung Fonksiyonlarıyla Seri Direnç.....	45
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>51</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>53</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>56</b>





## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\text{Å}$	:Angström
$A^*$	:Richardson sabiti
$A^{**}$	:Düzenlenmiş Richardson sabiti
$\beta$	:Engel yükseklik sıcaklık değişim katsayısı
$C_{ma}$	:Kuvvetli yığılma bölgesindeki ölçülen kapasite
$\epsilon_s$	:Yarıiletken dielektrik sabiti
$\epsilon_i$	:Oksit tabaka geçirgenliği
$\epsilon_o$	:Dielektrik sabiti
$E_f$	:Fermi enerji seviyesi
$E_c$	:İletkenlik bant kenarı enerjisi
$E_o$	:Tünelleme parametresi
$E_{oo}$	:Tünelleme parametresi ile ilgili nicelik
$e$	:Elektron yükü
$eV$	:Elektron volt
$G_{ma}$	:Kuvvetli yığılma bölgesindeki ölçülen iletkenlik
$h$	:Planck sabiti
$I$	:Akım
$I_o$	:Doyma akımı
$J_o$	:Termiyonik akım yoğunluğu
$J_{sm}$	:Yarıiletkenden metale doğru olan akım yoğunluğu
$J_{SD}$	:Difüzyon doyma akım yoğunluğu
$K$	:Mutlak sıcaklık
$k$	:Boltzmann sabiti
$N^*$	:Etkin taşıyıcı yoğunluğu
$N_a$	:Alıcı yoğunluğu
$N_d$	:Verici yoğunluğu
$N_c$	:İletkenlik bandındaki etkin taşıyıcı yoğunluğu
$N_{ss}$	:Yüzey durumları yoğunluğu
$N_{sa}$	:Metal ile dengede olan arayüzey durumlarının yoğunluğu
$N_{sb}$	:Yarıiletken ile dengede olan arayüzey durumlarının yoğunluğu
$n$	:İdeallik faktörü
$m^*$	:Etkin elektron kütlesi
$R_s$	:Seri direnç
$Si$	:Silisyum
$T$	:Mutlak sıcaklık
$T_o$	:İdeallik faktörünün sıcaklık değişim katsayısı
$V$	:Gerilim
$V_d$	:Difüzyon potansiyeli
$V_p$	:Fermi seviyesi ile değerlik bandı arasındaki enerji farkı
$V_R$	:Ters beslem
$V_o$	:Elektrik geçirgenliği
$V_r$	:Yeniden birleşme hızı
$\Phi_{bn}$	:Schottky engel yüksekliği
$\Phi_e$	:Etkin engel yüksekliği

$\Phi_b$	:Engel yüksekliği
$\Phi_{bo}$	:Sıfır beslem engel yüksekliği
$\Phi_m$	:Metalin iş fonksiyonu
$\Phi_s$	:Yarıiletkenin iş fonksiyonu
$\delta$	:Yalıtkan tabaka kalınlığı
$\Delta$	:Arayüzey potansiyeli
$\Delta\Phi_b$	:Schottky engel alçalması
$X_s$	:Elektron yatkınlığı
$W_d$	:Tüketme bölgesi genişliđi
$\pi$	:Pi sayısı
$\mu$	:Mobilite
$\gamma$	:Düzeltilmiş Norde yönteminde sabit

### Kısaltmalar

AC	:Alternatif Akım
AE	:Alan Emisyonu
C#	:C Sharp
C-V	:Kapasite-Gerilim
FV	:Fotovoltaik
I-V	:Akım-Gerilim
P-V	:Güç-Gerilim
MS	:Metal/Yarıiletken
MIS	:Metal/Yalıtkan/Yarıiletken
TE	:Termiyonik Emisyon Teorisi
TAE	:Termiyonik Alan Emisyonu
TED	:Termiyonik Emisyon Difüzyonu

## ÇİZELGELER LİSTESİ

<b>Çizelge 2.1.</b> Metal ve yarıiletkenlerin iş fonksiyonlarına göre kontak yapısı.....	6
<b>Çizelge 4.1.</b> Al/p-Si kontağının -0.2 ile 0.5 volt arsında programımızdan elde edilen parametre değerleri.....	47
<b>Çizelge 4.2.</b> Al/p-Si kontağının -0.2 ile 1 volt arsında programımızdan elde edilen parametre değerleri.....	49



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Farklı iş fonksiyonlarına sahip metallerin vakum seviyeleri.....	3
Şekil 2.2. Farklı iş fonksiyonlarına sahip iki katının kontak anı.....	4
Şekil 2.3. Farklı iş fonksiyonlarına sahip iki katının kontak anında oluşturduğu engel potansiyeli.....	5
Şekil 2.4. $\Phi_m < \Phi_s$ durumunda metal/n-tipi yarıiletkenin enerji-band diyagramı (a) ayrı ayrı materyallerde (b) termal denge (c) ters beslem (d) doğru beslem.....	7
Şekil 2.5. Metal/n-tipi doğrultucu kontak enerji-band diyagramı (a) kontak oluşumu öncesi, metal ve yarıiletkenlerin enerji-band diyagramı (b) kontak sonrası termal dengede bulunan enerji-band diyagramı (c) $V < 0$ iken enerji-band diyagramı (d) $V > 0$ iken enerji-band diyagramı.....	8
Şekil 2.6. Metal/p-tipi yarıiletkenin doğrultucu Schottky kontağının enerji-band diyagramı (a) kontak öncesi (b) kontak sonrası ve termal dengede (c) $V \neq 0$ olduğu durumda.....	10
Şekil 2.7. Metal/p-tipi yarıiletkenin omik kontağının enerji-band diyagramı (a) kontak öncesi (b) kontak sonrası ve termal dengede (c) $V \neq 0$ olduğu durumda.....	12
Şekil 2.8. Metal/yarıiletken kontakların doğru beslem altında akım-iletim mekanizması (a) potansiyel engeli aşan elektronların iletimi (b) elektronlarda bulunan kuantumun tünellemesi (c) uzay yük bölgesindeki birleştirilme (d) doğal bölgede holler enjeksiyonu.....	14
Şekil 2.9. Schottky alçalmasıyla birlikte enerji-band diyagramı.....	15
Şekil 2.10. Doğru beslemdeki termiyonik alan emisyonu ve alan emisyonu diyagramı.....	19
Şekil 2.11. Si(p)/metal kontakta çok katlı tünelleme modeline uygun band diyagramı.....	20
Şekil 2.12. Farklı akım-iletim mekanizmalarını için $nkT/e - kT/e$ grafiği.....	21
Şekil 3.1. Programımızın açılış menüsü.....	36
Şekil 3.2. Deneysel ve teorik $\ln(I) - V$ grafiklerinin karşılaştırılması.....	37
Şekil 3.3. Cheung fonksiyonları.....	40
Şekil 4.1. Al/p-Si kontak yapısının -0.2 ile 0.5 volt arasında doğru ve ters beslem $\ln(I) - V$ grafiği.....	47
Şekil 4.2. Al/p-Si kontak yapısının $R_s=100$ ohm için Cheung fonksiyonları grafiği.....	48
Şekil 4.3. Al/p-Si kontak yapısının -0.2 ile 1 volt arasında doğru ve ters beslem $\ln(I) - V$ grafiği.....	49
Şekil 4.4. Al/p-Si kontak yapısının $R_s=3300$ ohm için Cheung fonksiyonları grafiği.....	50

## 1. GİRİŞ

Günümüzde elektronik teknolojisi oldukça önemli seviyeye gelmiş durumdadır. Bu seviyelerin daha da yükselmesindeki en önemli etkenlerden biriside kuşkusuz yarıiletkenlerdir. Yarıiletken malzeme kullanılarak elde edilen en temel elektronik devre elemanlarından birisi de diyotlardır. Diyot çeşitlerinden olan metal/yarıiletken kontak yapıları diyotların yapısı basittir ve genellikle Schottky diyotları olarak bilinmektedirler. Bu diyotların akım-iletim mekanizmaları; yarıiletkenin yüzey temizleme sürecine, metal ile yarıiletken arasında bulunan yalıtkan tabaka oluşumuna, arayüzey durumlarının yoğunluğuna, diyotların seri direncine, beslemedeki gerilime, yarıiletken ve metalin fiziksel özelliğine bağlı olarak değişim göstermektedir. Metal/yarıiletken diyotlarda birçok akım-iletim mekanizması oluşabilir. Fakat sınırlı olan gerilim bölgesinde ve sıcaklık aralığında bir, iki veya daha çok akım-iletim mekanizması oluşabilmektedir (Dağdelen ve ark., 2015).

Benzeşim; sistemlerin özelliklerini ve davranış biçimlerini bilgisayar vasıtasıyla değerlendirmemize imkân sağlayan bir yöntemdir. Birçok alanda benzeşim yönteminden faydalanılmaktadır. Gerçek olan gelişmelerin, bilgisayar yazılımlarıyla desteklenmesi ve modellemeler vasıtasıyla da taklit edilebilir olması, insanların hayatlarında karşılaşma ihtimalinin çok düşük olduğu birçok olayı dahi deneyimlemesi ve bu olayların gerçek hayatta gerçekleşmesi durumunda kazanacağı deneyimler, doğru şekilde davranabilmesi açısından son derece önem arz etmektedir. Bu ve buna benzer nedenlerden dolayı benzeşim tekniği günümüzde sıklıkla başvurulan bir yöntem haline gelmiştir. Benzeşimde sorunlar tümüyle çözülmez fakat sorunlar ortaya konmaktadır. Çözüm alternatiflerimizi hızlı bir şekilde değerlendirilirken, başarılı bir sonuç elde edebilmek için uzun zaman kayıplarına yol açacak olan çalışmalarımızı, benzeşimle günler belki de saatler içinde çözüme kavuşturabilme imkânına sahip oluruz. Elektronik devre elemanlarının, elektriksel karakterizasyonlarını belirlemede çeşitli bilgisayar yazılımları kullanarak, benzeşim yöntemiyle fikir elde edebiliriz. Bu konuda yapılan birçok çalışma bulunmaktadır (Anonim).

Soliman ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışma ile bir, iki ve üç diyotlu fotovoltaiik (PV) güneş hücresinin, matematiksel modelini Matlab paket programı aracılığıyla yapmışlardır. Modeldeki PV hücrelerin farklı koşullarda, benzeşim çalışmalarıyla karakteristik eğrilerini araştırmışlardır (Soliman ve ark., 2012). Jiang ve arkadaşları da Matlab/Pspice paket programlarıyla, PV hücre ve modüllerin

modellemesini gerçekleştirmiştir. Benzeşim çalışmalarında çevresel şartlara bağlı olarak değişmekte olan foton akımı Matlab paket programıyla modellemesini yapmışlar, PV hücrenin tek diyotlu modelindiyse Pspice paket programıyla modelleyerek hibrit bir uygulama gerçekleştirmişlerdir (Jiang ve ark., 2011). Krismadinata ve arkadaşları PV hücrenin bir, iki diyot modellerini ve sadeleştirilmiş olan bir diyot modelini Matlab paket programı kullanarak modellemişler ve benzeşim çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Benzeşim çalışmalarından, modellerin akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) karakteristiklerini araştırmışlardır. Araştırmalar sonunda belirledikleri modelin kullanışlı ve basit bir yapıya sahip olduğunu tespit etmişlerdir (Krismadinata ve ark., 2012). Güngör ve Türkmenoğlu da yaptıkları çalışmada Matlab programıyla PV sistemlerin analiz yöntemlerini araştırmışlardır. Matlab/Simulink ve Matlab/GUI olmak üzere iki farklı arayüzde de program hazırlanmış ve örnek eşdeğer modelden faydalanarak araştırmalarını tamamlamışlardır. Simulink'in GUI'ye oranla daha kullanışlı olduğu ve sonuçlara diğerine oranla daha geç ulaşıldığı görülmüştür. GUI ile hazırlanan arayüz kullanımı ise sade ve kolaydır. Özellikle farklı parametrelerin değişikliği ve bu değişiklik sonucunun anında görüntülenmesini sağlayarak Simulink'den daha çok performansın gelişmiş olduğu tespit etmişlerdir (Güngör ve Türkmenoğlu, 2014). Jaleel ve arkadaşları, LabVIEW paket programı ile PV hücre ve modülün, benzeşim yardımıyla karakteristik modelini yapmışlardır. Çalışmaları boyunca farklı çevresel şartlar altında PV modülün I-V ve P-V eğrilerini araştırmışlardır (Jaleel ve ark., 2012). Okumuş ve Şahin de yaptıkları çalışmada güneş hücresinin farklı ışınlamalar ve panel sıcaklıkları için I-V ve P-V eğrileri çıkartılarak, benzeşimlerin doğru olduğu ispatlanmıştır. Ayrıca yapılacak bir sistemde, en düşük ışınlamadaki en iyi çalışma noktası belirlenmeye çalışılmıştır (Okumuş ve Şahin, 2013). Duman ve arkadaşları ise güneş hücresinin matematiksel modelini, Matlab/Simulink ortamında yapmışlardır. Farklı sayıdaki seri ve paralel bağlı güneş hücresi, değişen çevresel şartlarda P-V, I-V karakteristiklerini incelemişlerdir. LCS marka PV panelin, Matlab/Simulink paket programıyla modelini oluşturmuşlardır (Duman ve ark., 2013).

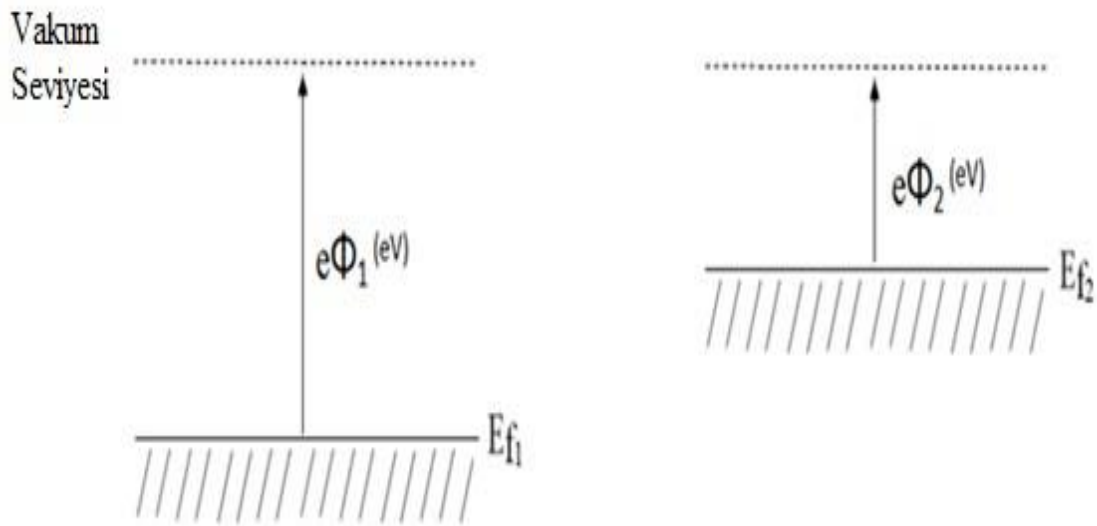
Bu tez çalışmasında farklı iş fonksiyonlarına sahip metaller ile farklı tipteki silisyum yarıiletken kontaklarından elde edilen metal/yarıiletken kontak yapıları diyotların deneysel verileri, Visual Studio'nun C# yazılım diliyle yaptığımız benzeşimden elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Bu şekilde yazılımını yaptığımız program optimize edilmiştir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. İş Fonksiyonu ve Kontak Potansiyel Fark

İş fonksiyonunu; bir elektronun, bir metalin yüzeyinden tamamıyla koparabilmek için gereken enerji ya da iş olarak tanımlayabilmekteyiz. Metaller için gereken iş fonksiyonunun değeri 1 eV ile 6 eV arasında değişmektedir.

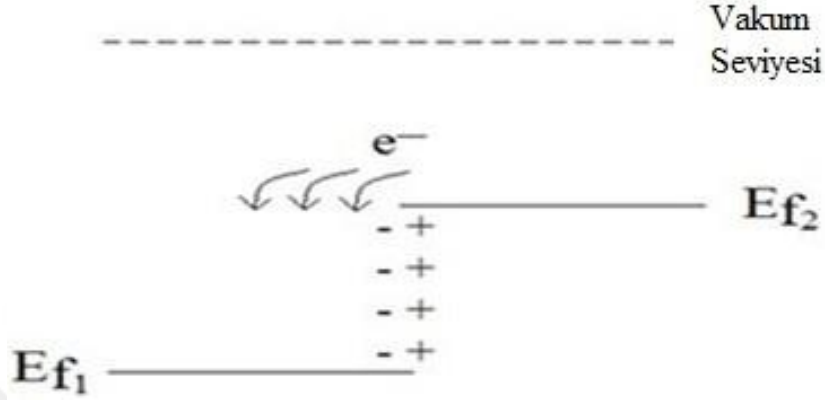
Fermi enerji seviyesi, mutlak sıfırın altındaki şartlarda elektronların işgal ettiği en üst enerji seviyesi olarak ifade edilmektedir. Elektronun, enerji seviyesi için gereken enerjisine eşik enerji denmektedir. Eşik enerji ile kurtardığımız elektronun bulunduğu seviyeye de vakum seviyesi denilmektedir. Bu noktaya çıkmış olan elektronumuz artık katıya bağlı değildir. Şekil 2.1.'de farklı iş fonksiyonlarına sahip metallerin vakum seviyeleri gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Farklı iş fonksiyonlarına sahip metallerin vakum seviyeleri

Mott'a göre, metal ve yarıiletkenlerin iş fonksiyonlarındaki farklılıklar nedeniyle bir potansiyel engeli oluşmaktadır. Elektrik alanının değişmez olması ve elektrostatik potansiyelin, metale doğru yaklaşmakta olduğu mesafede lineer olarak değişebilmesi gerekmektedir. Ayrıca engel bölgesi de kirlilikten temizlenmiş olmalıdır. Schottky, metal yaklaşımındaki gibi Poisson denkleminde bulunan elektrik alanımızın lineer olarak artması, elektrostatik potansiyelinin ikinci dereceden değişimi ve yüklü kirlilik konsantrasyonunun, engel bölgesinin sabit olduğu düşüncesi kabul edilmektedir. İş

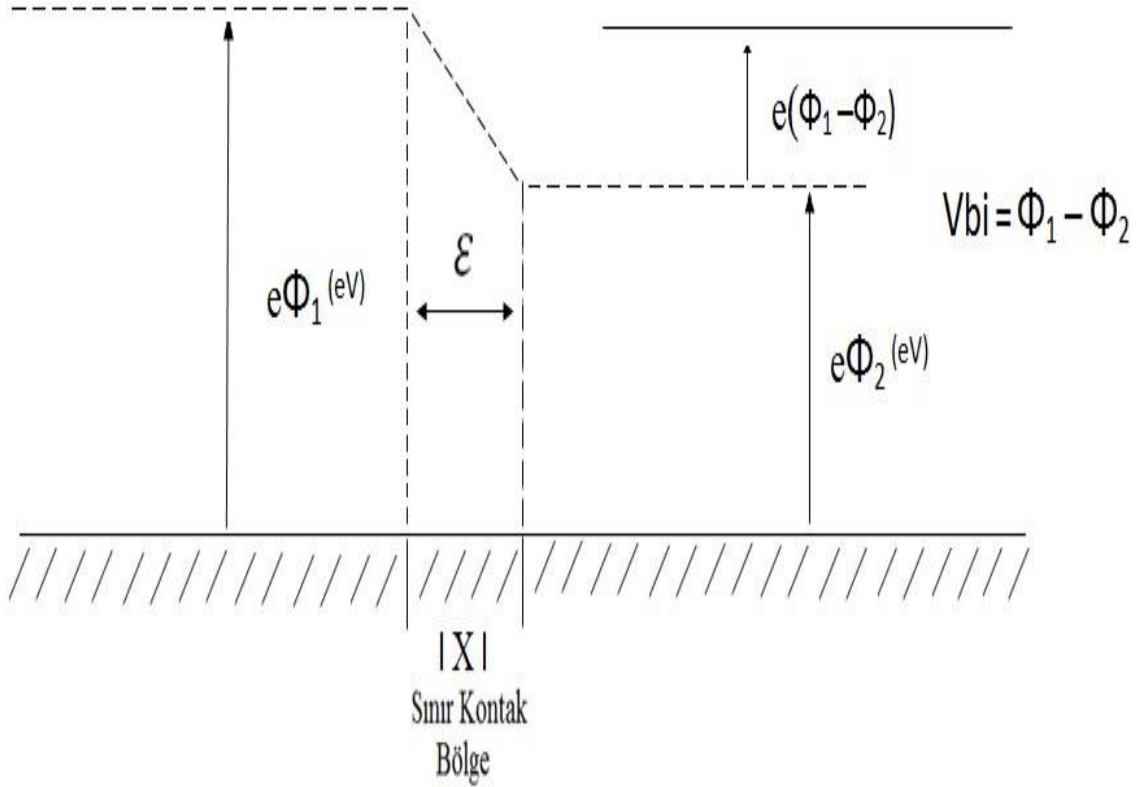
fonksiyonları farklı olan iki katımızı birbirlerine temas edecek şekilde yaklaştırdığımızda iş fonksiyonu küçük olandan büyük olana doğru bir elektron akışı olmaktadır (Asubay, 2008). Şekil 2.2.'de farklı iş fonksiyonlarına sahip iki katının kontak anı gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Farklı iş fonksiyonlarına sahip iki katının kontak anı

Fermi enerji seviyesi maddeye özgü olarak değişmektedir. Vakum seviyesi ise her madde için ortaktır. Vakum seviyemize göre farklı enerji seviyeleri de mevcuttur. Elektron akışımızla birlikte iki katı arasında, elektron akışını dengeleyecek biçimde, elektrik alanı oluşumu başlar. Bu durum aynı seviyeye gelip denge durumu sağlanana kadar devam eder. Oluşan elektrik alanı ise yeterli büyüklüğe gelmiştir. Bu şekilde yük transferi de durmuş olacaktır. Bu esnada iki katımızın da Fermi enerji seviyeleri aynı olacaktır (Asubay, 2008).





Şekil 2.3. Farklı iş fonksiyonlarına sahip iki katının kontak anında oluşturduğu engel potansiyeli

Elektrik alanımızın her iki tarafındaki bölgede, yük farkından dolayı bunlara karşılık gelecek olan potansiyel fark, kontak potansiyel fark olarak karşımıza çıkmaktadır. Kontak potansiyel farkı 1 volt veya daha küçük değerlerdedir. Şekil 2.3.'de farklı iş fonksiyonlarına sahip iki katının, kontak anında oluşturduğu engel potansiyeli gösterilmektedir (Asubay, 2008).

## 2.2. Metal/Yarıiletken Yapılar

Metal, yalıtkan ve yarıiletken kristallerin iletkenlik yapılarındaki araştırmalar, yalnızca bu yapılara uygun olan kontakların uygulanmasıyla mümkün olacaktır. Kontaklar, iki maddenin en az dirençle (ideali sıfır direnç) temas ettirilmesi sonucu meydana gelir. İdeal bir kontak elde etmek için yüzeylerin temiz, parlak ve pürüzsüz olması doğrudan etkili olmaktadır. Kontak haline getirilmiş olan maddeler arasındaki elektrokimyasal potansiyeli, aynı seviyeye gelene kadar bir yük alışverişi şeklinde devam etmektedir. Bir metalle bir yarıiletkenin, kontak durumu olduğundaysa yeni yapıımız metal/yarıiletken olarak isimlendirilir. Ayrıca maddeler iş fonksiyonlarına göre doğrultucu kontak ve omik kontak olarak ikiye ayrılırlar (Uslu, 2011).

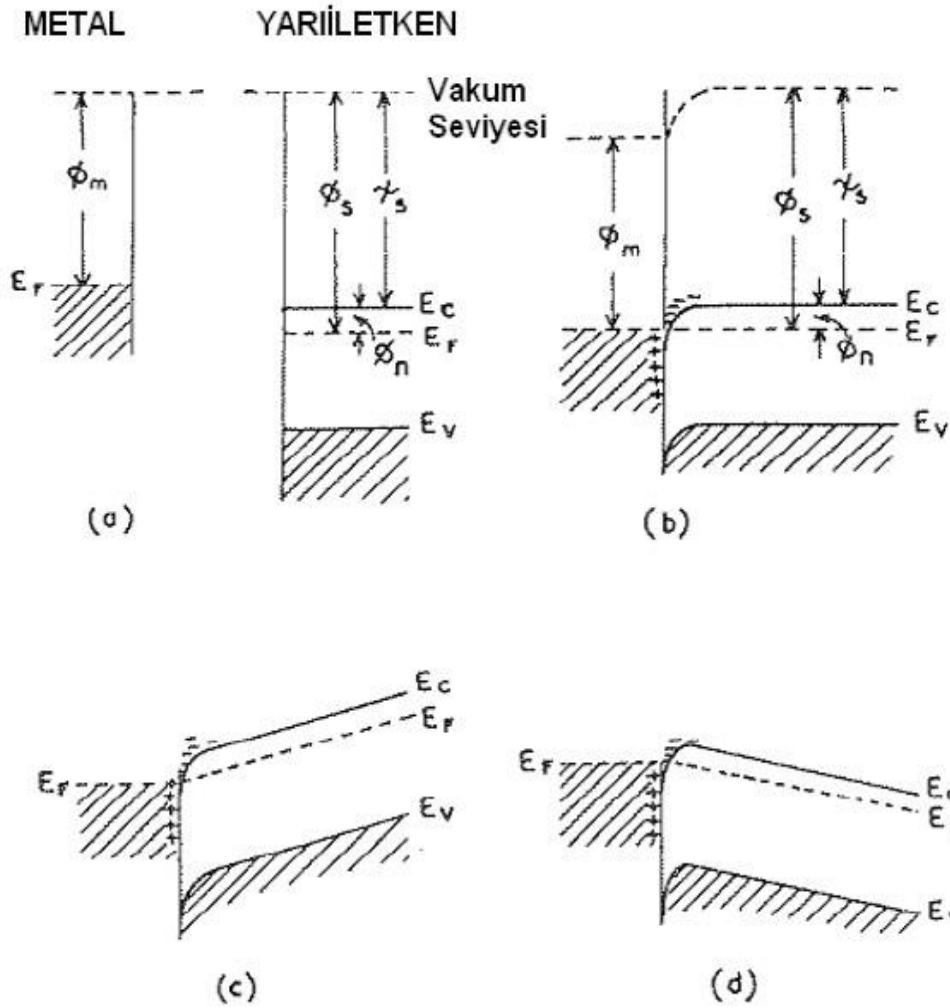
### 2.2.1. Metal/n-tipi yarıiletken yapılar

Bir metal/n-tipi yarıiletken kontağımızın doğrultucu ya da omik kontak olduğunu tespit etmek için metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarına bakmak gerekmektedir.  $\Phi_m$  metalin iş fonksiyonunu,  $\Phi_s$  de yarıiletkenin iş fonksiyonunu göstermek üzere,  $\Phi_m > \Phi_s$  olduğu durumda kontağımız doğrultucu,  $\Phi_m < \Phi_s$  olduğunda ise omik kontak olacaktır. Çizelge 2.1.'de metal ve yarıiletkenlerin iş fonksiyonuna bağlı olarak oluşan kontak durumu gösterilmiştir (Uslu, 2011).

**Çizelge 2.1.** Metal ve yarıiletkenlerin iş fonksiyonlarına göre kontak yapısı

	<b>p-tipi yarıiletken</b>	<b>n-tipi yarıiletken</b>
<b>Omik Kontak</b>	$\Phi_s < \Phi_m$	$\Phi_s > \Phi_m$
<b>Doğrultucu Kontak</b>	$\Phi_s > \Phi_m$	$\Phi_s < \Phi_m$

$\Phi_m < \Phi_s$  durumunda, bir metal ve n-tipi bir yarıiletkenin kontak haline getirilmesi sonucunda Şekil 2.4.'de görüldüğü gibi omik kontak oluşur.

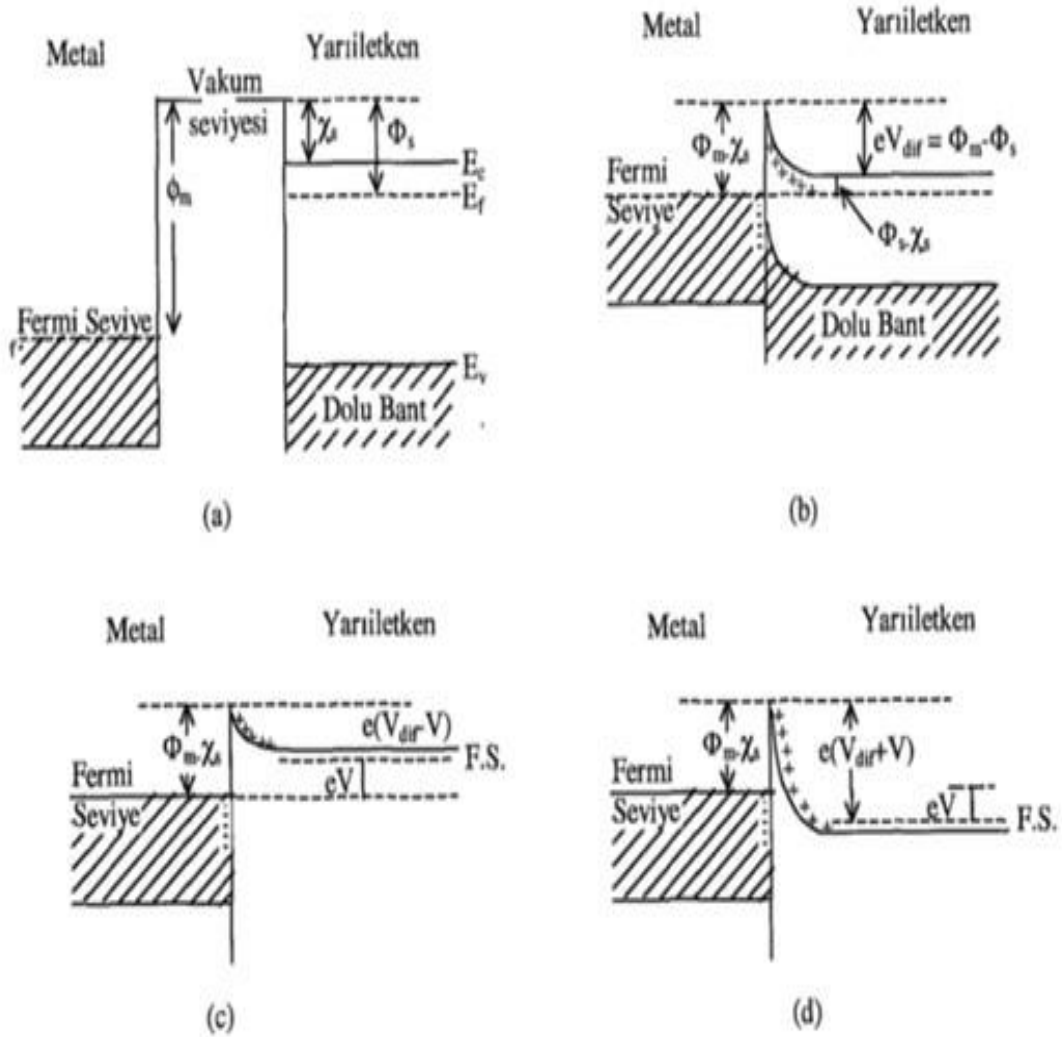


Şekil 2.4.  $\Phi_m < \Phi_s$  durumunda metal/n-tipi yarıiletkenin enerji-band diyagramı (a) ayrı ayrı materyallerde (b) termal denge (c) ters beslem (d) doğru beslem

Metal ile yarıiletken kontak yapıldıktan sonra elektronlar, metalden yarıiletkenin iletim bandına doğru akarlar. Bu elektronlar, metal olan tarafta arkalarında pozitif yükler bırakırken, pozitif bir yük tabakası da oluşturmaktadırlar. Bu durumda yarıiletken bölümünde de negatif yükler birikecektir. Denge durumundaysa Fermi seviyesi Şekil 2.4. (b)'de görüldüğü üzere  $\Phi_s - \Phi_m$  kadar yukarı çıkacaktır. Yarıiletken kısımda yükün toplandığı tabakaya Debye uzaklığı mertebesinde olan bir kalınlıkla sınırlandırma yapılmıştır. Şekil 2.4. (c) ve Şekil 2.4. (d)'de görüldüğü üzere yarıiletkenin içerisinde bir tüketim bölgesi oluşmamıştır ve potansiyel engeli de mevcut değildir. Elektronlar metalden yarıiletkene doğru ya da yarıiletkenden metale doğru kolaylıkla geçebilmektedirler. Arayüzeyine yakın olan bölgedeyse elektron konsantrasyonu artmaktadır. Sistemde bulunan en yüksek dirençli bölgede bulk

yariletken bölgesi olarak ifade edilmektedir. Pratikte uygulanan tüm dış gerilim yüksek dirençli bulk bölgesine düşmektedir. Bu şekilde akım, bulk bölgesi tarafından kontrol edilmektedir ve uygulanan dış gerilimin yönünden bağımsız olmaktadır. Bu tipte doğrultma yapmayan kontaklar, omik kontak olarak isimlendirilmektedir (Uslu, 2011).

$\Phi_m > \Phi_s$  durumunda ise, bir metal ve n-tipi bir yariletkenin kontak haline getirilmesi sonucunda Şekil 2.5.'de görüldüğü gibi doğrultucu kontak oluşmaktadır.



**Şekil 2.5.** Metal/n-tipi doğrultucu kontak enerji-band diyagramı (a) kontak oluşumu öncesi, metal ve yariletkenlerin enerji-band diyagramı (b) kontak sonrası termal dengede bulunan enerji-band diyagramı (c)  $V < 0$  iken enerji-band diyagramı (d)  $V > 0$  iken enerji-band diyagramı

Şekil 2.5. (a)'da görüldüğü gibi kontak oluşumu öncesi yariletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden  $\Phi_m - \Phi_s$  kadar yukarıda olmaktadır. Kontak gerçekleştikten sonraysa yük alışverişi nedeniyle yariletkenin yüzeyinde bulunan elektronlar, iyonize olmuşlardır. Bundan dolayı donörleri bırakarak, metale geçmektedirler. Buradaki yük

alışverişleri tamamlandığında ise metal ve yarıiletkenin Fermi seviyeleri aynı olacaktır. Başka bir ifadeyle yarıiletkendeki enerji seviyeleri, iş fonksiyonlarının farkı kadar  $\Phi_m - \Phi_s$  alçalmaya başlar. Şekil 2.5. (b)'de bu durumun sonucu olarak ise metal ve yarıiletken tarafındaki yüklerin oluşturmuş olduğu dipol tabakasından, yarıiletkendeki bandların yukarı yönlü bükülmesiyle, bir potansiyel engeli oluşacaktır. Bu potansiyelin yarıiletken tarafında bulunan yüksekliği,

$$eV_d = \Phi_m - \Phi_s \quad (2.1)$$

şeklinde olacaktır. Metal tarafındaki yüksekliği ise,

$$e\Phi_{on} = \Phi_m - X_s \quad (2.2)$$

şeklinde olur.

Termal uyarıyla, potansiyel engeli aşmaya yetecek enerjiye ulaşan elektronlar metalden yarıiletkene doğru ya da yarıiletkenden metale doğru geçerek, aynı ve ters  $I_o$  sızıntı akımını oluşturmaktadırlar. Fakat yarıiletkene ( $-V$ ) gerilimi uyguladığımızda ise Şekil 2.5. (c)'de gösterildiği üzere metalden yarıiletkene geçmiş olan elektronlar için engel yüksekliğimiz değişmeyecek ve akım da aynı kalacaktır. Bununla birlikte, yarıiletkenden metale doğru geçen elektronların iletkenlik bandı  $eV$  kadar yükselir ve engel yüksekliği de  $eV$  kadar azalacaktır. Oluşacak net akımsa;

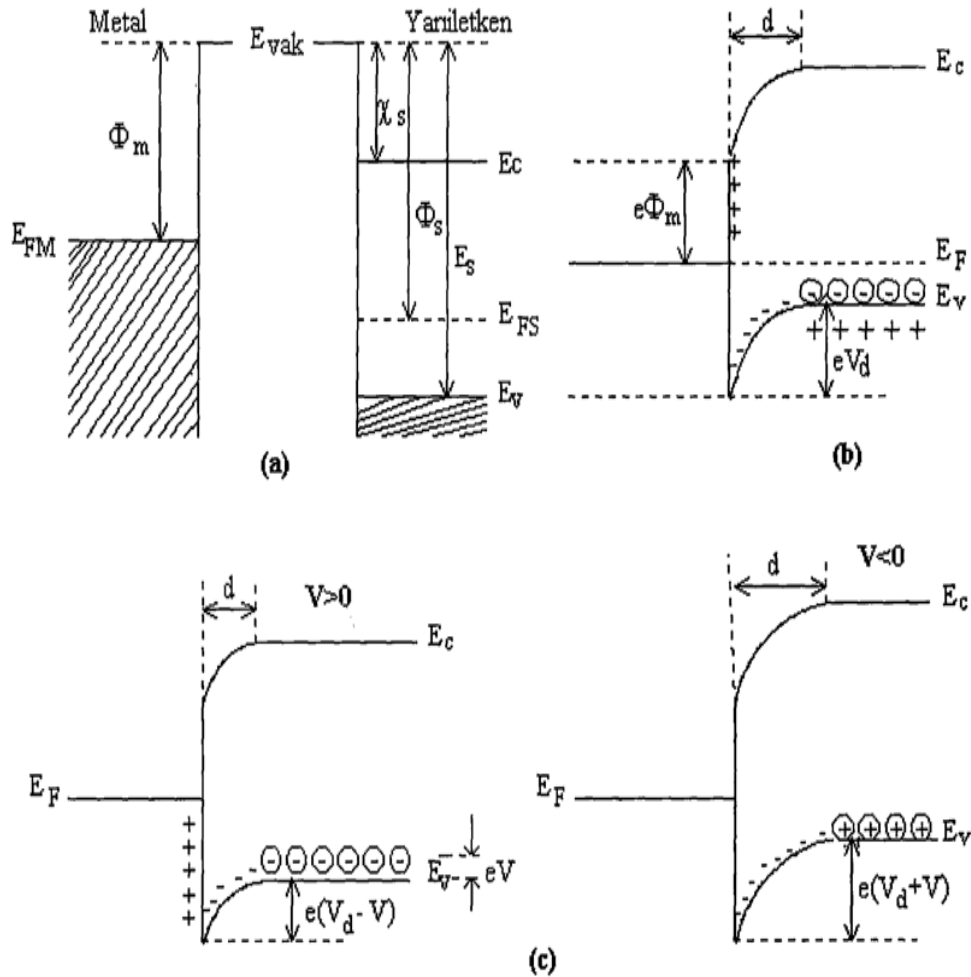
$$I = I_o \left[ \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.3)$$

ile ifade edilir.

Buradaki akım pozitifdir.  $V > kT/e$  durumuna ise doğru beslem denilmektedir. Yarıiletkenin bulunduğu tarafa ( $+V$ ) gerilimi uygulanırsa Şekil 2.5. (d)'de görüldüğü gibi iletkenlik bandı  $eV$  oranında alçalacaktır. Yarıiletken tarafta bulunan engel yüksekliği ise  $eV$  kadar artarken, oluşan net akımsa ( $-I_o$ ) değerine yaklaşacaktır. Bu beslem durumuna  $V > kT/e$  olduğundan ters beslem denilmektedir. Ayrıca buradan da anlaşılacağı gibi yarıiletken tarafında bulunan potansiyel engel yüksekliğimiz, uygulanacak olan gerilime göre değişmektedir. Metal tarafında bulunan engel yüksekliği ise gerilimden bağımsız olarak değişmektedir (Uslu, 2011).

### 2.2.2. Metal/p-tipi yarıiletken yapılar

$\Phi_s > \Phi_m$  durumunda, bir metal ile p-tipi bir yarıiletken kontak haline getirilmesi sonucunda Şekil 2.6.'da görüldüğü gibi doğrultucu kontak oluşur. Burada bulunan iki madde arasındaki yüklerin, yeniden dağılımının olduğu gözlenmektedir. Yük dağılımları, iki maddenin de Fermi seviyesi (elektrokimyasal enerji) aynı seviyeye gelene kadar sürecektir. Burada yeni bir denge durumu oluşacaktır. Metal/yarıiletken kontaklar da yük taşıyıcıları bir doğrultu üzerinden diğer doğrultuya doğru daha kolay geçiyorsa, bu kontak doğrultucu kontak olarak isimlendirilir.



Şekil 2.6. Metal/p-tipi yarıiletkenin doğrultucu Schottky kontağının enerji-band diyagramı  
(a) kontak öncesi (b) kontak sonrası ve termal dengedeyken (c)  $V \neq 0$  olduğu durumda

$E_s$ , valans bandının tepesiyle, vakum seviyesinin tabanı arasındaki fark olarak alınır.

$\Phi_s > \Phi_m$  olması halinde ve oda sıcaklığındaki akseptörlerin tamamı iyonize

olduğunda kontakta önce Şekil 2.6. (a)'da görüldüğü gibi yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden  $\Phi_s - \Phi_m$  kadar aşağıda olacaktır. Kontakta sonrası, metal ve yarıiletkenlerin Fermi seviyeleri aynı seviyeye gelene kadar metal yönünden yarıiletkene doğru elektron akışı olacaktır. Bunlarla birlikte yarıiletken tarafında bulunan holler, bu elektronlar nedeniyle iyonize olacaktır. Yarıiletkenin yüzey tabakasında bulunan negatif yüklü iyonize olan akseptörler  $d$  kalınlığında bir uzay yük tabakası içinde dağılmaktadırlar. Yarıiletkenin gövdedeki enerji seviyesi  $\Phi_s - \Phi_m$  kadar yükseldiğinden, yarıiletken tarafındaki hollerde yüzey engelimiz,

$$eV_{dif} = \Phi_s - \Phi_m \quad (2.4)$$

şeklinde olur.

Burada  $V_{dif}$  difüzyon potansiyelini ifade etmektedir. Yarıiletken içerisinde bulunan difüzyon potansiyeli metal yüzeyine göre alınmaktadır. Kontak metal kısmındaki holler içinse engel yüksekliğimiz,

$$e\Phi_{bn} = E_s - \Phi_m \quad (2.5)$$

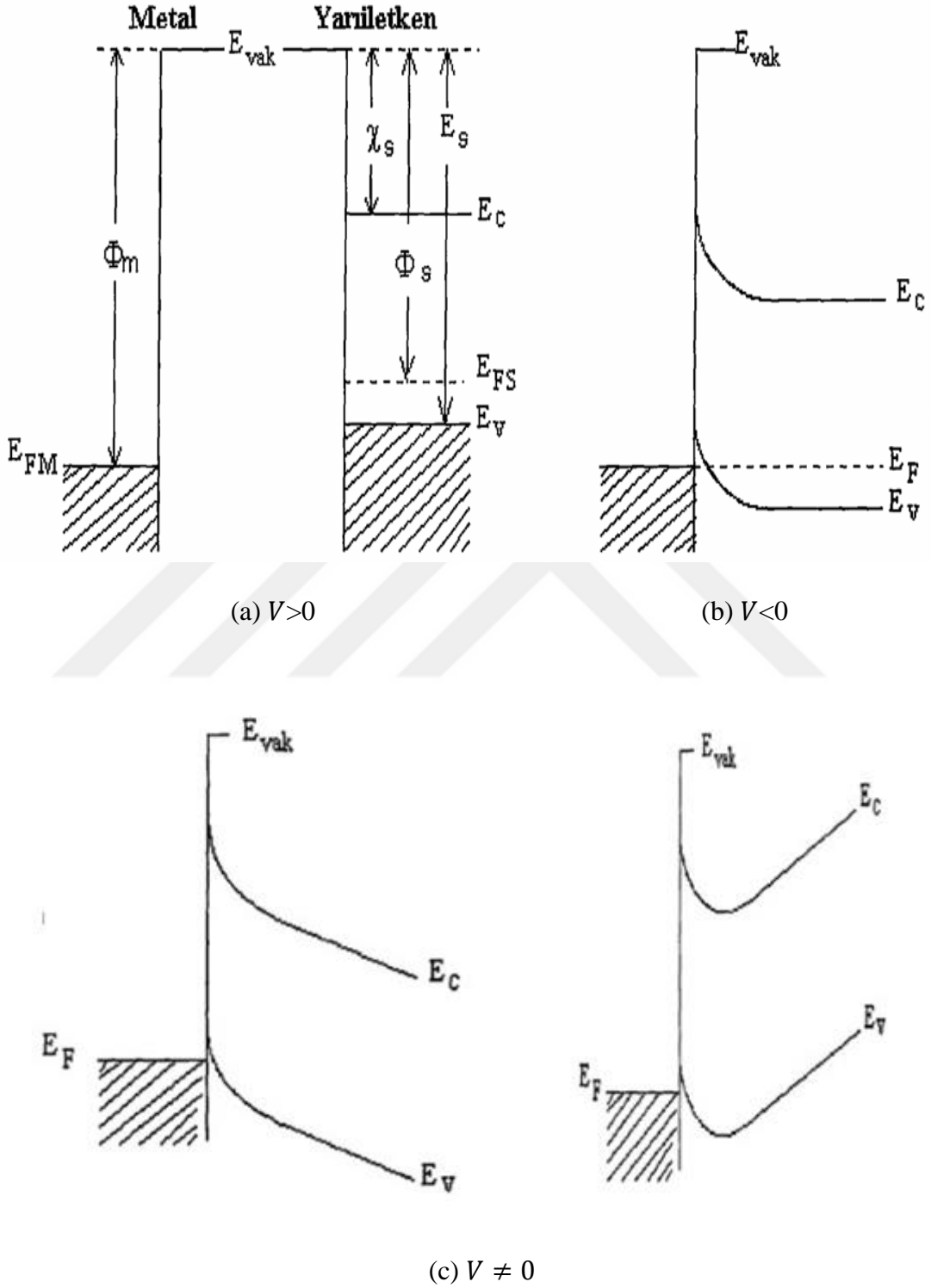
ile ifade edilir.

Termal uyarılar nedeniyle yarıiletkende bulunan bazı holler, potansiyel engeli aşacakları kadar enerji kazandıklarında metalin içerisine geçebilmektedirler. Metallerde de termal olarak meydana gelen bazı holler, engeli geçecek kadar enerji kazandıklarında yarıiletkenin içerisine geçeceklerdir. Bu şekilde kontakta aynı ve ters yönlü iki  $I_o$  akımı oluşacaktır. Fakat yarıiletken bir  $V$  gerilimi uygulanırsa Şekil 2.6. (b)'de gösterildiği gibi sağdan sola akan hol akımı değişmez. Ancak  $\exp(eV/kT)$  çarpanı kadar değişecektir. Bundan dolayı yarıiletkende bulunan enerji seviyelerinin tamamı  $eV$  miktarı kadar düşecektir. Yarıiletkenden metale akan hollerin engel yüksekliğindeyse,  $eV$  kadar azalma olacaktır. Sonuçta yarıiletkenden metale geçen hollerin meydana getirdiği akım pozitif kabul edilecek olursa karakteristik akımımız,

$$I = I_o \left[ \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.6)$$

şeklinde olacaktır. Bu da bir doğrultucu kontaktaır.

$\Phi_s < \Phi_m$  durumunda ise bir metal ve p-tipi bir yarıiletkenin kontak haline getirilmesi sonucunda Şekil 2.7.'de görüldüğü gibi omik kontak oluşur.



Şekil 2.7. Metal/p-tipi yarıiletkenin omik kantağının enerji-band diyagramı  
(a) kontak öncesi (b) kontak sonrası ve termal dengedeyken (c)  $V \neq 0$  olduğu durumda



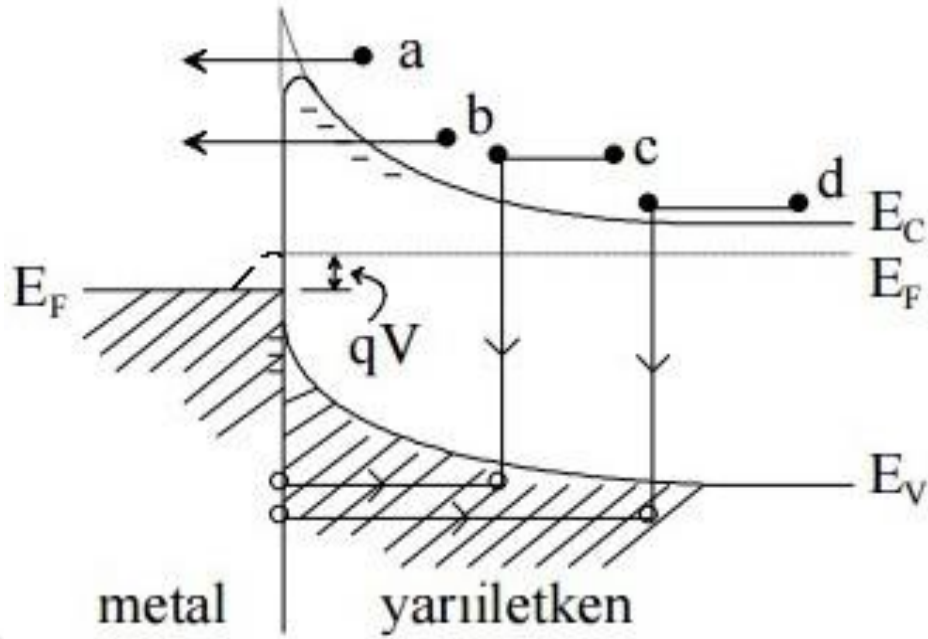
Metal/p-tipi yarıiletken kontaklarda, metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları, Şekil 2.7. (a)'da görüldüğü üzere yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden  $\Phi_m - \Phi_s$  kadar yukarıda olmuştur. Kontak oluşumu sonrası yük alışverişleri olacaktır. Yarıiletkende bulunan elektronlar, arkalarında pozitif yüzey yükü (holler nedeniyle) bırakacak ve metal tarafındaysa negatif bir yüzey yükünü meydana getirecektir. Ayrıca bu elektronlar metal tarafı doğrultusunda hareket etmeye başlayacaklardır. Bunlardan dolayı yarıiletkenin Fermi seviyesi Şekil 2.7. (b)'de görüldüğü üzere  $\Phi_m - \Phi_s$  kadar aşağı düşecektir. Hol konsantrasyonunun artışı nedeniyle, yarıiletken yüzeyi daha fazla p-tipi olacaktır. Elektronlar, metalden yarıiletkendeki hollere kolaylıkla geçecektir. Bu yük hareketleri hollerin yarıiletkenden metal yönüne akışı anlamına gelmektedir. Metal tarafına geçen holler ilk olarak nötralize olacaktır. Ters beslemde metalin iletkenlik bandında termal olarak meydana gelen holler ise yarıiletkene geçebilecektir. Bu şekilde akımı kolaylıkla geçiren kontaklara, omik kontaklar denilmektedir (Uslu, 2011).

### 2.3. Metal/Yarıiletken Yapılarda Akım-İletim Mekanizmaları

Metal/yarıiletken kontak yapıları dış gerilimde, akım-iletim mekanizmalarının iletiminde önemli bir rol oynamaktadır. Kontaklarda arayüzey durumları, seri direnç, metal ve yarıiletken arasında bulunan oksit tabaka, gerilim yönü, sıcaklık, yarıiletkenin çeşitleri gibi etkenler Schottky diyotlarında dikkate alınarak, hangi durumlarda hangi iletim mekanizmasının oluşturulduğunu tespit etmek, sonuçların güvenilirliği açısından oldukça önem arz etmektedir. Metal/yarıiletken (MS) ve Metal/yalıtkan/yarıiletken (MIS) yapıları kontakların başlıca akım-iletim mekanizmaları aşağıdaki başlıklar altında incelenecektir.

- Termiyonik Emisyon Teorisi(TE)
- Difüzyon Teorisi
- Termiyonik Emisyon Difüzyon Teorisi(TED)
- Engel Boyunca Tünelleme
- To Etkili Akım İletim

Şekil 2.8.'de metal/yarıiletken kontakların doğru beslem altında akım-iletim mekanizması görülmektedir.



**Şekil 2.8.** Metal/yarıiletken kontakların doğru beslem altında akım-iletim mekanizması  
 (a) potansiyel engeli aşan elektronların iletimi (b) elektronlarda bulunan kuantumun tünellemesi  
 (c) uzay yük bölgesindeki birleştirilme (d) doğal bölgede holler enjeksiyonu

### 2.3.1. Termiyonik emisyon teorisi

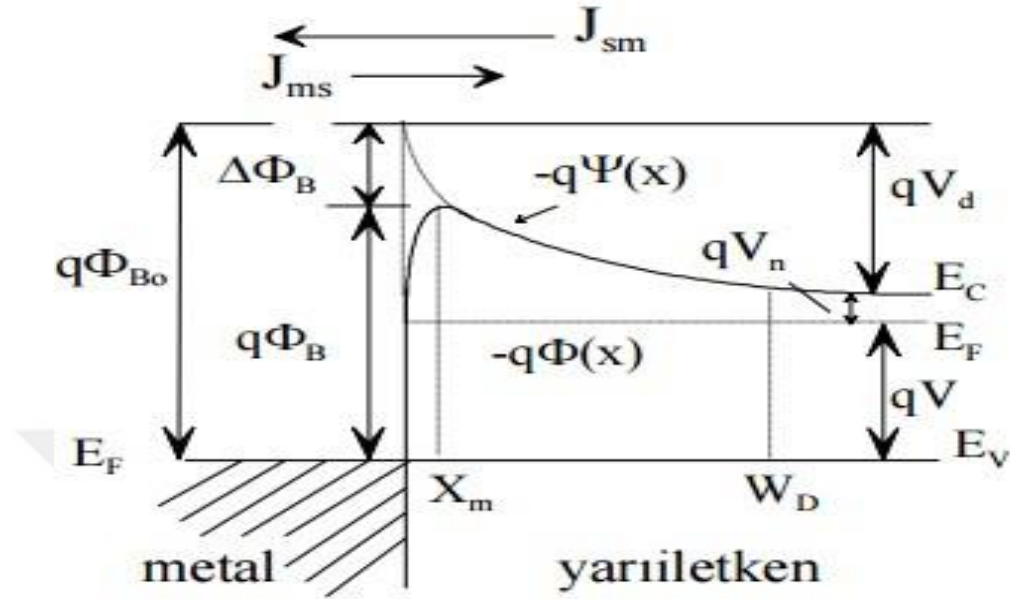
TE teorisi; sıcak olan yüzeyden taşıyıcıların salınması olarak ifade edilmektedir. Schottky kontaklarda gereken termal enerjiyi elde eden taşıyıcıların potansiyel engeli aşarak, yarıiletken metal doğru ya da metalden yarıiletken doğru geçmeleri TE olayı olarak bilinmektedir. Bu durum metal/n-tipi yarıiletkenlerde elektronlarla, metal/p-tipi yarıiletkenlerde ise holler üzerinden sağlanmaktadır. Metal tarafı uygulanan gerilimden bağımsız olmaktadır. Bu nedenden termal enerjileri metal taraftaki engeli aşan elektronların, oluşturmuş olduğu akım yoğunluğu  $J_0$  termiyonik akım yoğunluğunu ifade eder.

Beethe'nin MS kontak yapılarında akımın, çoğunluk taşıyıcıları ile iletilmekte olduğunu kabul etmiştir. Kurmuş olduğu TE teorisinin varsayımları da şu şekilde ifade edilmektedir:

- Potansiyel engel yüksekliği,  $kT/e$  enerjisinden daha büyüktür.
- Schottky bölgesinde taşıyıcı çarpışmaları olmaz.
- Görüntü kuvvetlerin etkisi ihmal edilecek, engelin biçimi önemsizdir.

Bu varsayımlar doğrultusunda yarıiletken metal yönünde olan akım yoğunluğu  $J_{sm}$ , potansiyel engeli geçmeye yetecek enerjiye sahip elektronların

konsantrasyonunu ve hızını ifade etmektedir. Şekil 2.9.'da Schottky alçalması ile birlikte enerji-band diyagramı gösterilmektedir (Çuha, 2010).



Şekil 2.9. Schottky alçalmasıyla birlikte enerji-band diyagramı

### 2.3.2. Difüzyon teorisi

Aralarında yoğunluk gradyenti bulunmakta olan bölgeler arasına, yoğunluğun çok bulunduğu yerden az bulunduğu yere doğru yapılan yük geçişine difüzyon denmektedir. Schottky'nin vermiş olduğu teori şu varsayımlardan oluşmaktadır:

- Potansiyel engel yüksekliği,  $kT/e$  enerjisinden daha büyüktür.
- Tüketim bölgesinde bulunan elektronların çarpışması, ihtimal dâhilindedir.
- $x=0$  ve  $x=W$  deki taşıyıcı konsantrasyonu termal denge değerleri vardır. Ayrıca akımdan da etkilenmezler.
- Yarıiletkende bulunan safsızlık konsantrasyonu dejenere değildir. Bu katkı atomlarının yoğunluğunun değişmeyeceği anlamına gelmektedir.
- Akım difüzyon ve sürüklenmeyle sınırlandırılmıştır.

Difüzyon teorisine göre akım yoğunluğuysa,

$$J = J_{SD} \left[ \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.7)$$

ile verilmektedir (Çuha, 2010).

### 2.3.3. Termioyonik emisyon difüzyon teorisi

Crowell ve Sze, TE ve Difüzyon kuramlarını birleştirmiş ve bunları kullanarak Termioyonik emisyon difüzyon (TED) modelini geliştirmişler. Bu kuram MS arayüzeyi kenarında tanımlanan  $V_r$  yeniden birleşme hızı üstüne kurulmuştur. Metal ve yarıiletken gövde arasına uygulanmış olan gerilim, metal yönünde elektron akışına yol açmaktadır.  $X_m$  ile  $W_d$  arasındaki bölgenin her yerinde akım yoğunluğu ise,

$$J_n = -en_e\mu\left(\frac{d\Phi_b}{dx}\right) \quad (2.8)$$

şeklinde verilir. Burada  $n_e$ , bir x noktasındaki elektron yoğunluğu olup,

$$n_e = N_c \exp\left(\frac{\Phi_b - \Psi}{kT}\right) \quad (2.9)$$

eşitliği ile verilmektedir.

Taşıyıcıların bir bölümü optik fonon geri saçılmasına, başka bir bölümü de kuantum mekanik yansımaya uğrayacağından akım değerinde azalma meydana gelecektir. Bunların nedeni ise rekombinasyon hızında meydana gelen azalmadır. Bu teoriye göre elektronların MS arayüzeyinden optik fononlarla etkileşmeksizin potansiyel engel üzerinden salınma ihtimalini ve ortalama iletim katsayı değerlerine dikkat ederek  $A^*$  Richardson sabitinin  $A^{**}$  olarak değişmesidir. Bu durumda I-V ifademiz,

$$J = J_o \exp\left[\frac{e(V - IR_s)}{nkT}\right] \left[1 - \exp\left(-\frac{e(V - IR_s)}{kT}\right)\right] \quad (2.10)$$

şeklinde elde edilir (Çuha, 2010).

Burada  $n$  diyotun idealite faktörü,  $T$  Kelvin cinsinden sıcaklığı ve  $J_o$  doyma akım yoğunluğu olup,

$$J_o = -A^{**}T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_{bo}}{kT}\right) \quad (2.11)$$

şeklinde verilmektedir.

Burada  $A^{**}$  etkin Richardson sabiti,  $\Phi_{b0}$  sıfır beslemdeki engel yüksekliğini ifade etmektedir. Schottky diyotlarında metal ile yarıiletken arasında her zaman 5-20 °A mertebesinde ince bir oksit tabaka bulunduğundan potansiyel engel yüksekliğimiz uygulanan gerilime azda olsa bağlı kalarak değişmektedir. Bir gerilim uygulandığında, gerilimin bir bölümü diyot üzerine düşmekteyken, bir bölümü de yalıtkan tabaka üzerine düşmektedir. Burada engel yüksekliği, uygulanan gerilimin bir fonksiyonu olacaktır. Engel yüksekliğinin I-V karakteristiğinde ise değişim meydana gelmektedir. Bu ideal durumdan sapma şeklinde bilinmekte olup,  $n$  idealite faktörüdür. Uygulanan gerilimde bu bağlamında  $n=1/(1-\Gamma)$  ya da  $1/n=1-\Gamma$  şeklinde ifade edilir. Saf TE teorisinde ideal bir Schottky diyot için  $n=1$  değerindedir. Bu engel yüksekliğinin uygulanan gerilimden bağımsız olması anlamına gelmektedir. İdealite faktörü birden uzaklaşması sonucu, engel yüksekliğinin gerilime bağıllık oranı da artmaktadır. İdealite faktörünün, yarıiletken ile dengedeki arayüzey durumları ( $N_{ss}$ ) ve metal/yarıiletken arasında oluşacak yalıtkan oksit tabakasının kalınlığı ( $\delta$ ) cinsinden,

$$n = 1 + \frac{\delta}{\epsilon_i} \left[ \frac{\epsilon_s}{W} + eN_{ss} \right] \quad (2.12)$$

ile ifade edilmektedir (Çuha, 2010).

Bağıntı (2.12)'deki ifadenin, ikinci teriminin artırılmasıyla da ideallikten uzaklaşmış olunur. İdealite faktörü, yalıtkan tabaka kalınlığının ve arayüzey durumlarının artmasıyla doğru orantılı olarak artmayacaktır. Engel yüksekliği,  $e\Phi_b = e\Phi_o - \beta T$  sıcaklığa bağlı ifadesi ile verilir. Burada  $\Phi_o$  sıfır beslem ve sıfır Kelvin sıcaklıktaki potansiyel engel yüksekliği,  $\beta$  ise engel yüksekliğinin sıcaklıkla değişim katsayısıdır. Böylece doyma akımı yoğunluğu ifadesi, sıcaklık ve Schottky engel düşmesine bağlı olacak şekilde,

$$J_o = -A^{**}T^2 \exp\left(-\frac{e(\Phi_o - \Delta\Phi_{b0})}{kT}\right) \quad (2.13)$$

elde edilir.

### 2.3.4. Engel boyunca tünelleme

Metal/yarıiletken Schottky diyotlarda TE mekanizmasının yanında, elektronlar kuantum mekaniksel tünellemesiyle engeli aşabilmektedirler. Fazlasıyla katkılanmış dejenere ( $N_d > 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) yarıiletkenimiz, tünellemede doğru beslemde, düşük katkılı yarıiletkenlerde ise tünelleme işlemi ters beslemde olmaktadır. Fazla katkılanmış yarıiletken nedeniyle tüketme bölgesi de ince olur. Düşük sıcaklıkta, Fermi seviyesine çok yakın olan elektronlar, yarıiletkenden metale doğru tünelleme yapabilirler. Ayrıca doğru beslem yönünde olan akım, yarıiletkenin Fermi enerjisine yakın elektronların tünellemesi ile artacaktır. Buna da alan emisyonu (AE) adı verilmektedir. Aşırı sıcaklıklarda, elektronların büyük bölümü Fermi seviyesinin üstüne çıkar. İletkenlik bandından  $E_m$  kadar yukarıdaki bu elektronlar, daha yüksek enerjili olmasından ve bu seviyelerden daha düşük bir engelle karşılaşması, tünelleme olasılığını artırmaktadır. Bu da doğru beslem yönünde bulunan akımı artırmaktadır. Bu olay da termiyonik alan emisyonu (TAE) olarak bilinmektedir. Sıcaklığı artırdığımızda, elektronlar potansiyel engeli aşacak kadar enerji kazanır. Bu nedenden dolayı tünelleme etkisi olmadan engel üzerinden karşı tarafa kolaylıkla geçebilirler. Bu durum da termiyonik emisyon olarak isimlendirilmektedir. TAE'de çok düşük doğru beslem gerilimi bulunmaktayken, doğru beslem I-V karakteristik değerimiz ise,

$$I = I_o \exp \left[ \frac{eV}{E_o} \right] \left[ 1 - \exp \left( -\frac{eV}{kT} \right) \right] \quad (2.14)$$

şeklinde ifade edilir. Burada,

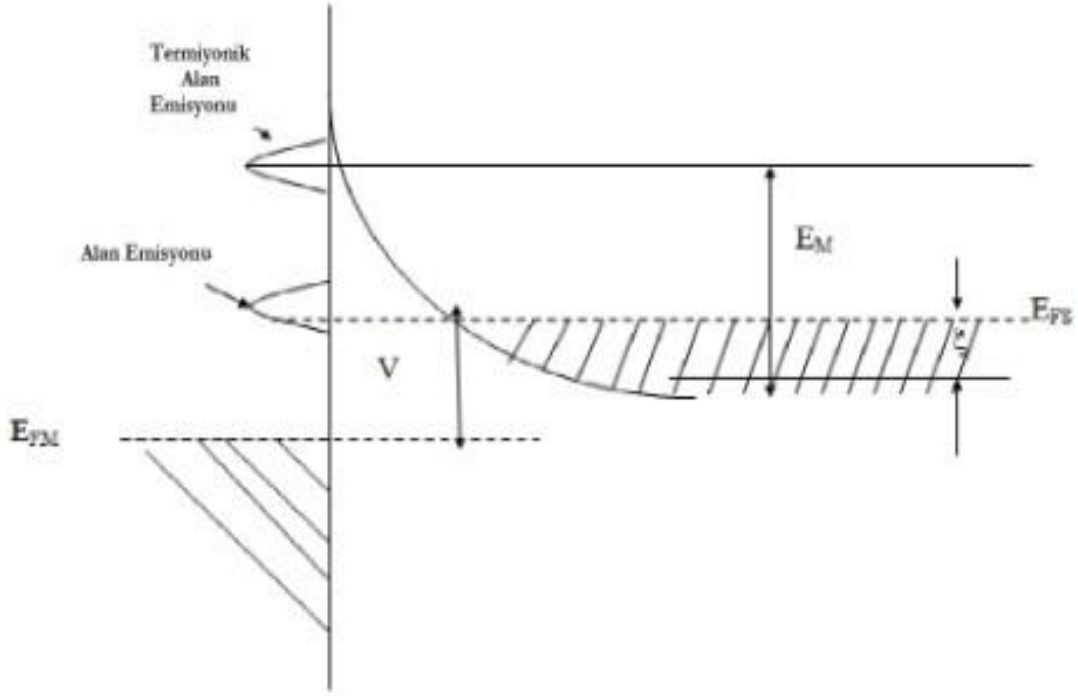
$$E_o = E_{oo} \coth \left( \frac{E_{oo}}{kT} \right) \quad (2.15)$$

$$E_{oo} = \frac{h}{4\pi} * \left( \frac{N^*}{m^* \epsilon_s} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.16)$$

şeklinde bir eşitliğe sahiptir.

Bu denklemde  $N^*$  etkin taşıyıcı yoğunluğunu,  $m^*$  etkin elektronun kütesini ve  $h$  Planck sabitini ifade etmektedir.  $I_o$  az da olsa gerilime bağlıdır.  $E_{oo}$  enerjisi, tünelleme işlemlerinde önemli bir parametredir. Ayrıca  $kT/E_{oo}$ , TE ve tünelleme

ölçüsüdür. Şekil 2.10.'da doğru beslemdeki termiyonik alan emisyonu ve alan emisyonu diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Doğru beslemdeki termiyonik alan emisyonu ve alan emisyonu diyagramı

$\ln(I) - V$  eğimi sabit ve  $T$ 'den bağımsız olacaktır. Bu durumda alan emisyonu olarak isimlendirilmektedir. Yüksek sıcaklıkta ( $E_{oo} \ll kT$ ),  $E_o = kT$  olmaktadır.  $\ln(I) - V$  grafiğinin eğimi  $e/kT$  olur, bu da TE'ye karşılık gelmektedir. Orta sıcaklıklarda eğim,  $e/nkT$  şeklinde yazılabilir. Burada  $n$  değerimiz,

$$n = \frac{E_{oo}}{kT} \left[ \coth \left( \frac{E_{oo}}{kT} \right) \right] \quad (2.17)$$

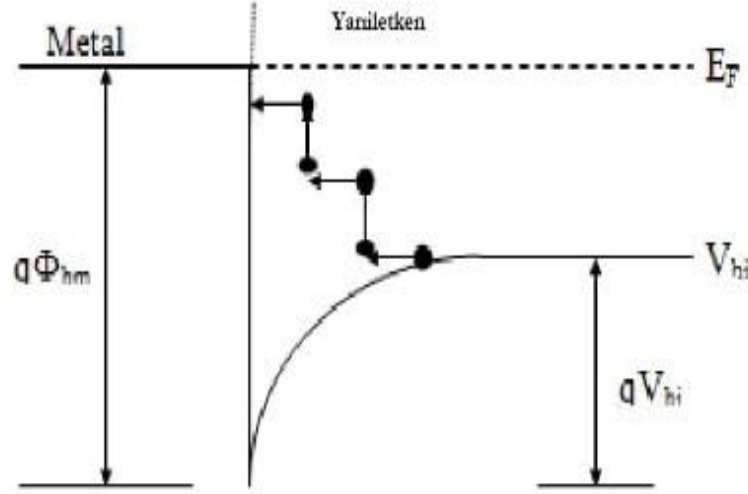
karşılık gelmektedir.

TAE'nin akım katkısı  $E_{oo} \cong kT$  olduğunda mümkün olmaktadır. TAE'nin maksimum katkısı olduğunda  $E_m$  enerjisini,

$$E_m = \frac{eV_d}{\left( \cos \frac{E_{oo}}{kT} \right)^2} \quad (2.18)$$

ile ifade edebiliriz.

Denklemden  $V_d$  toplam bant bükülme gerilimini ifade etmektedir.  $E_m$  ise tüketim bölgesi kıyısında, iletkenlik bandı altında bir değerdedir (Çuha, 2010).



Şekil 2.11. Si(p)/metal kontakta çok katlı tünelleme modeline uygun band diyagramı

Şekil 2.11.'de Si(p)/metal kontakta, çok katlı tünelleme modeli için uygun band diyagramı gösterilmektedir. P-n eklem yapılarında, heterodiyotlarda, Schottky engelinde ve son zamanlarda yarıiletken bikristallerde bulunanlar, tuzaklar sırasınca tünel etkisi; TE, TAE, ve AE ile karşılaştırılabilir değerde, baskın bir iletim mekanizması olarak ifade edilmektedir (Çuha, 2010).

### 2.3.5. $T_0$ etkili akım iletimi

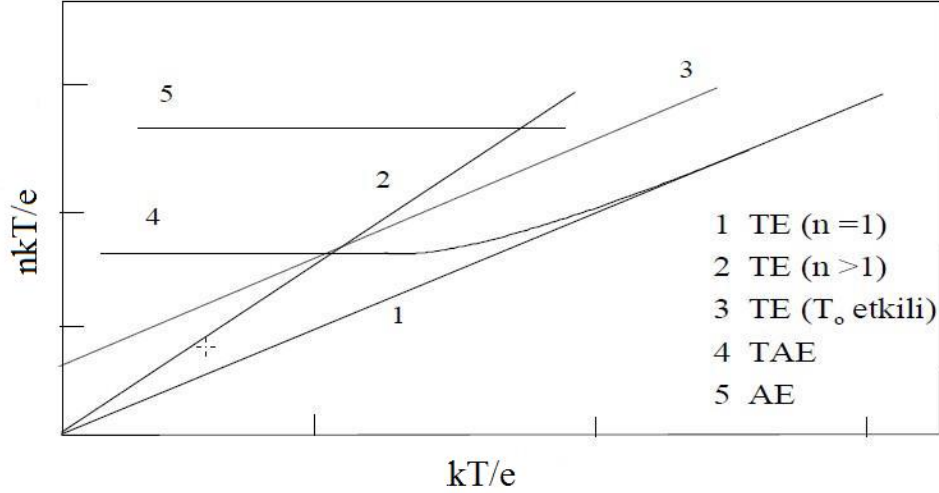
İdealite faktörü ( $n$ ) 1'den büyük olduğu durumlarda, gerçek olmayan kuvvet veya arayüzey durumları ortaya çıkarsa  $n$  sıcaklıktan bağımsız olacaktır. Ayrıca  $n$ 'nin 1'den büyük olması durumu, termiyonik alan emisyonundan ya da tüketim bölgesindeki rekombinasyondaki akımdan meydana geliyorsa, idealite faktöründe  $n$  sıcaklığına bağlı olarak değişecektir. Schottky diyotlarının genellikle tamamında  $n$  sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir.  $T_0$  etkili J-V karakteristik değeri,

$$J = A^{**} T^2 \exp \left[ -\frac{e\Phi_B}{k(T + T_0)} \right] \left\{ \exp \left[ \frac{eV}{k(T + T_0)} \right] - 1 \right\} \quad (2.19)$$



ile ifade edilir.

$T_o$  değeri geniş sıcaklık aralıklarında, sıcaklık ve gerilimden ayrı sabit bir parametredir. İdealite faktörünün, sıcaklığa bağımlı eşitliği  $n = 1 + T_o / T$  ile elde edilmektedir.



Şekil 2.12. Farklı akım-iletim mekanizmalarını için  $nkT/e - kT/e$  grafiği

Gerilimin fonksiyonu olacak şekilde farklı akım-iletim mekanizmaları Şekil 2.12.'de gösterildiği gibi olabilmektedir. I,II,III ile gösterilen eğriler, TE teorisinin baskın olduğu mekanizmaları ifade eder. Bunlar  $n=1$ ,  $n > 1$  ve  $T_o$  etkili durumlarına karşılık gelecektir. I-V eğrisi TAE ve V eğrisi AE iletim mekanizmalarının etkin olduğu durumları ifade eder (Çuha, 2010).

#### 2.4. Metal/Yarıiletken Schottky Engel Diyotların Kapasitesi

Kapasite-gerilim (C–V) karakteristiği, Schottky diyotlarının en dikkat çekici özellikleri arasında gösterilmektedir. Schottky diyotlarının C–V karakteristiği, arayüzey durumlarında çok hassastır. Ayrıca aygıtların elektriksel faktörleri üzerine güçlü etkisi bulunmaktadır. Düşük frekanslardaki kapasitedeki artış, uygulanan alternatif akım (AC) sinyalinin yük taşıyıcıları üzerinden takip edilebilme yeteneklerine bağlı olarak değişir. Yüksek frekanslar da kapasite-gerilim ölçümü alınabiliyorsa arayüzeydeki yükler AC sinyalini takip edemezler. P-tipi bir yarıiletkenle oluşturduğu kontakın kapasite denklemi,

$$C = A \left( \frac{\varepsilon_s \varepsilon_o e N_d}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \left( V_d - \frac{kT}{e} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.20)$$

ile verilir.

Bağıntı (2.20)'de  $\varepsilon_s$  yarıiletkenin dielektrik sabitini (Silisyum için  $\varepsilon_s=11.9$ ),  $\varepsilon_o$  boşluğun dielektrik sabitini ( $\varepsilon_o= 8,85 \times 10^{-14}$  F/cm),  $e$  elektron yükünü,  $V_d$  difüzyonun potansiyelini,  $k$  Boltzmann sabitini,  $N_d$  iyonize olmuş donör konsantrasyonunu ve  $T$  Kelvin olarak sıcaklığı ifade eder. Bağıntı (2.20) yeniden düzenlenirse,

$$C^{-2} = \left( \frac{2(V_d + V)}{\varepsilon_s \varepsilon_o e A^2 N_d} \right) \quad (2.21)$$

şeklinde yazılır (Bozkaplan, 2011).

Bu denklemde  $V$  uygulama gerilimidir. Bağıntı (2.21) ifadesinin  $V$ 'ye göre türevi alınır,

$$\frac{dC^{-2}}{dV} = \frac{2}{\varepsilon_s \varepsilon_o e A^2 N_d} \quad (2.22)$$

eşitliği elde edilir.  $N_d$  için denklem yeniden düzenlenirse,

$$N_d = \frac{2}{\varepsilon_s \varepsilon_o e A^2 \left[ \frac{d(C^{-2})}{dV} \right]} \quad (2.23)$$

eşitliği sağlanır. Termal dengedeyken p-tipi bir yarıiletkenin elektron konsantrasyonu,

$$n_o = N_c \exp\left(\frac{E_f - E_c}{kT}\right) \quad (2.24)$$

şeklinde dir.

Burada  $N_c$ , termal dengedeki iletkenlik bandındaki hal yoğunluğu olarak ifade edilmektedir. P-tipi bir yarıiletken için  $N_d \gg n_i$  olacağından  $n_o \cong N_d$  olur. Burada  $n_i$ , katkısız elektron konsantrasyonu olarak tanımlanır. Bu durumda  $N_d$ ,

$$N_d = N_c \exp\left(\frac{E_f - E_c}{kT}\right) \quad (2.25)$$

ile elde edilmektedir.

Bağıntı (2.25)'in logaritmasını alınıp ve iletkenlik bandı referans seviyesi  $E_c=0$  kabul edilirse,

$$E_f = kT \ln\left(\frac{N_d}{N_c}\right) \quad (2.26)$$

Fermi enerji seviyesi bulunur. C–V değerlerinden engel yüksekliği,

$$\Phi_b(C - V) = E_f + V_d \quad (2.27)$$

ile elde edilebilir (Bozkaplan, 2011).

## 2.5. İdeallik Faktörü

İdeallik faktörü arayüzeydeki durumların yoğunluğu ( $N_{ss}$ ) ve yalıtkanın kalınlığına ( $\delta$ ) bağlı olmak üzere,

$$n = 1 + \frac{\left(\frac{\delta}{\varepsilon_i}\right)\left(\frac{\varepsilon_s}{W_d + eN_{sb}}\right)}{1 + \left(\frac{\delta}{\varepsilon_i}\right)eN_{sa}} \quad (2.28)$$

ifadesiyle verilmektedir.

Burada  $\varepsilon_i, \varepsilon_s, N_{sa}, N_{sb}, W_d$  sırasıyla oksit tabakanın geçirgenliğini, yarıiletkenin geçirgenliğini, metal ile denge de olan arayüzey durumlarının yoğunluğunu, yarıiletken ile dengede olan durumların yoğunluğunu ve tüketim bölgesinin genişliğine karşılık gelmektedir. Bağıntı arayüzey durumlarına göre 3 farklı biçimde elde edilmektedir; (a) arayüzey durumlarının yoğunluğunun küçük olması halinde,

$$n = 1 + \frac{\delta \varepsilon_s}{W_d \varepsilon_i} \quad (2.29)$$

şeklinde, (b) tüm arayüzey durumlarının metal ile aynı olduğunda,

$$n = 1 + \frac{\delta \varepsilon_s}{(W_d(\varepsilon_i + \delta e N_{sa}))} \quad (2.30)$$

şeklinde, (c) arayüzey durumları yarıiletkenle aynı olması durumundaysa,

$$n = 1 + \left(\frac{\delta}{\varepsilon_i}\right) \left(\frac{\varepsilon_s}{W_d + e N_{sb}}\right) \quad (2.31)$$

şeklindedir.

(a) ve (b) durumlarında arayüzey durumlarının ve oksit tabakasının, ideallik faktörüne ( $n$ ) katkısı küçüktür. Numune bir Schottky diyotunun göstereceği davranışı sergilemektedir. Son olarak (c) durumundaysa oksit tabakasının kalınlaşması ve arayüzey durumlarının artmasıyla  $n$  artacaktır. Ayrıca sıcaklığın artmasıyla  $n$  değeri azalacaktır. MIS akımındaki difüzyon bileşeninin artması bu duruma neden olmaktadır (Pakma, 2008).

## 2.6. Engel Yüksekliği Ölçme Yöntemleri

### 2.6.1. Akım-gerilim (I-V) belirtkenlerinden

Schottky diyotlarımızda düz beslem çok büyük olmadığı sürece, akım-iletim kuramında TE kuramına uyacaktır. Buna göre I-V denkleminiz,

$$I = I_o \left[ \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.32)$$

bağıntısıyla verilmiştir. Burada  $I_o$ ,

$$I_o = AA^{**}T^2 \left[ -\frac{e(\Phi_{bo} - \Delta\Phi_b)}{kT} \right] \quad (2.33)$$

şeklinde verilmiş olan doyma akımıdır.

Burada  $(\Phi_{bo} - \Delta\Phi_b)$  etkin engel yüksekliği  $\Phi_e$  ile tanımlanmaktadır.  $A^{**}$  ve  $A$ ; engeli geçen elektronların kuantum mekanik yansımalarını, metal yüzeyi ile engel

tepesi arasındaki elektronların fonon saçılmasına dikkat edilerek düzenlenen etkin Richardson sabiti ve kontak alanı olarak ifade edilmektedir. Pratikte üretilmiş olan diyotlar için I-V belirtkeni Bağntı (2.32)'deki ideal durumda önemli değişmeler gösterebilmektedir ve bu durumdaki akım ifadesi,

$$I = I_o \left[ \exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) \right] \left[ 1 - \exp\left(-\frac{eV}{kT}\right) \right] \quad (2.34)$$

şeklinde verilir.

Buradaki  $n$  değerimiz gerilime ve sıcaklığa bağlıdır ve değeri 1'den büyük olan ideallik faktörüdür. İdeallik faktörü 1'den büyük değerler almasının birçok nedeni bulunmaktadır. Bunlardan en çok rastlanana  $\Phi_{b0}$  ve  $\Delta\Phi_b$ 'nin gerilime bağlı olarak değişmesidir. Bağntı (2.34)'deki denklemini  $V > 3kT/e$  için düzenlersek,

$$I = I_o \left[ \exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) \right] \quad (2.35)$$

eşitliği yazılabilir (Pakma, 2008).

### 2.6.2. Kapasite-gerilim (C-V) belirtkenlerinden

Ters beslem durumunda kapasitede ifademiz,

$$C = A \left( \frac{eN_a\epsilon_s}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \Phi_b - V_p + V_R - \frac{kT}{e} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2.36)$$

ile verilmiştir.

Burada  $V_R$  ve  $V_p$  sırasıyla ters beslem gerilimini ve Fermi seviyesi ile yarıiletkenin değerlik bandının arasındaki farkıdır. Bu  $C^{-2}$  için çözümlenmesini yapar ve denklemini yazarsak,

$$C^{-2} = \left( \frac{2}{A^2 e N_a \epsilon_s} \right) \left( \Phi_b - V_p + V_R - \frac{kT}{e} \right) \quad (2.37)$$

elde edilir.

Bir arayüzey tabakası mevcut değilse ( $\Phi_b$ ,  $V_R$  'den bağımsız)  $C^{-2} - V_R$  grafiği, bir doğru verecektir. Bu doğrunun yatay eksenini kestiği noktayla ( $\Phi_b - V_p - kTq$ ) şeklinde ifade edilmektedir. Buradaki engel yüksekliğini,

$$\Phi_b = V_o + V_p + \frac{kT}{e} \quad (2.38)$$

ifadesi ile buluruz.

## 2.7. Seri Direnç

MS ve MIS yapılarının elektriksel belirtkenlerini tespit edilirken, ideal durumdan farklılıklar meydana gelebilmektedir. Bu farklılıklardaki nedenlerden bir tanesi de seri direnç etkisi olmaktadır. Seri direnç etkisine neden olabilecek etmenlerden bazıları şunlardır:

- Doğrultucu kontaklardan ölçüm amacıyla alınmış iletken tel,
- Silisyum kristaline temas ettirilmiş omik kontak,
- Gövdeyle arka kontak arasına koyulmuş kirli film tabakası veya bilinmeyen bir cisim,
- Doğrultucu kontak altındaki silisyum yüzeyi kıyısında mevcut olan tüketim tabakası ve arka kontak arasındaki gövde direnci,
- Doğrultucu kontak altında mevcut olan silisyumda bulunan düzgün olmayan katkı dağılımlarıdır.

Buradaki etkiler farklı yöntemlerle azaltılabilmektedir. Burada en çok uygulanan yöntemimiz arka kantağa, ısısız işlem uygulayarak metalin yarıiletken yüzeyine çöktürülmesidir. Bu durum yarıiletken teknolojisinde “alloy” olarak isimlendirilmektedir (Pakma, 2008).

Son zamanlarda seri direnci hesaplamak amacıyla daha gelişmiş metotlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu metotlardan ilki Norde tarafından geliştirilmiş olan,  $n=1$  durumu için seri direnç ve engel yüksekliğini tanımlayan orijinal bir  $F(V)$  fonksiyonu vasıtasıyla elde etmeyi amaçlamıştır. Bu metot  $\Phi_b$  ve  $R_s$  'nin sıcaklıkla değişmediği zamanlarda uygulandığından, bir sıcaklıktaki I-V eğrisi gerekmektedir. Bunun dışında Sato ve Yasamura, Norde'nin sunulan metodunu geliştirerek ideallik faktörünün de 1'den büyük olduğu ( $1 < n < 2$ ) zamanlarda da  $n$ ,  $R_s$  ve  $\Phi_b$  değerlerinin de

bulunabileceğini ortaya koymuşlardır. Bu metot  $R_s$  ve  $\Phi_b$  'nin sıcaklıkla değişimine bağlı olarak uygulanabilmektedir. En az iki farklı sıcaklıkta ölçülen I-V eğrisi gerekmektedir. Diğer bir metodu da McLean geliştirilmiştir. Bohlin ise ideallik faktörünün  $1 < n < \delta$  arasında olacaksa (1'den çok büyük) Schottky engel diyotunun, I-V ölçümünden elde edilen  $n, R_s$  ve  $\Phi_b$  tespitini olası kılan Norde fonksiyonunu düzenleyerek ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte bu metotlardan bazı değerleri belirlemek güçtür. Cheung'lerin I-V belirtkenlerinden türetilmiş olan fonksiyonları vasıtasıyla, seri direnci tespit etmek daha kolay olmaktadır (Pakma, 2008).

## 2.8. Programlama Dilleri Ve Özellikleri

Programlama; bilgisayara veya elektronik devrelere yaptırmak istediğimiz işlemleri, bir sıra komutlar halinde yazmak olarak tanımlanabilir. Programlama dilleri vasıtasıyla, bilgisayara hangi işi hangi yollarla yaptırılması gerektiği gösterilmektedir. Bilgisayarlarda, insanlardan daha hızlı çalışarak işlevlerini yerine getirmektedir. Günümüze kadar üç bin den fazla programlama dili yazılmıştır. Bunlardan en çok kullanılan programlama dillerini aşağıdaki gibi sınıflara ayırmak mümkündür.

### 2.8.1. Alt seviye yazılım dilleri

Makine koduna yakın olarak bilinen programlama dillerini ifade etmektedir. Bu seviyedeki yazılım diline örnek olarak Assembly'i verebiliriz. Assembly; karışık programlar yazmak için kullanılan, düşük seviyeli bir programlama dili olarak karşımıza çıkmaktadır. Güç anlaşılan makine dilini, karmaşık yapıdan çıkarıp, alfabetik ifadelerle değiştirme işlemi yaparak, düşük seviyede bir yazılım olarak ortaya koymaktadır. Assembly'in kullanım amacı, kısa bir sürede çok daha fazla iş yaptırmak için kullanılır. Assembly ilk başlarda çok da fazla kullanılmaktayken, günümüzde daha az kullanım eğilimi göstermektedir. Sıra dışı performanslara ihtiyaç duyduğumuzda bu dil tercih edilmektedir (Aran, 2006).

Bu dil ile yazılan tüm komutlar 0 ve 1 sayılarından oluşmaktadır. Belirli bir işlemci için yazılan kodlar, farklı yapıdaki başka bir makine dilinde çalışmazlar. Tümüyle yeniden yazılması gerekmektedir. Örneğin 1011101011000101100001 farklı yapıdaki bir kod işlemcilerde farklı görevleri üstlenmektedir. Bu nedenle de makine

dilimiz donanıma bağılı olarak değişim göstermektedir. Makine dili daha anlaşılır okunabilmesi için 16'lık sayı sistemi ile yazılmaktadır. Fakat derlenme sonrasında kod ikilik sisteme çevrilmektedir. İşlemci ikilik sayı tabanda kodu okumaktadır. Örneğin çok kullanılan Assembly komutlarından MOV İngilizce taşı anlamına gelen move kelimesinden, LODSB komutu LOad String Byte ifadesinden, IRET komutu da RETurn from Interrupt ifadesinin kısaltmalarından oluşturulmuştur. Komutlar baş harflerinin kısaltması olduğundan daha akılda kalıcı olmaktadır. Assembly ile yazılan programlar bir çevirici vasıtasıyla makina diline çevrilmektedir. Çevirmese satır satır yapılmaktadır (Anonim).

### 2.8.2. Orta seviye yazılım dilleri

Bu gruptaki yazılım dilleri oldukça esneklerdir. Alt ve üst seviyelerde programlama yapılabilmektedir. C,C++,C# ve Java bu seviyedeki programlama dillerine örnek olarak verebilmekteyiz.

- C Programlama Dili: Günümüzde en çok kullanılan dillerin başında gelmektedir. Kullandığımız birçok programda C dili mevcutken; Microsoft; Windows, GNU/Linux, Minix gibi programların büyük bir çoğunluğunda C dili kullanılmıştır (Aran, 2006).

C diliyle herhangi bir sınırlandırma olmadan donanıma veya hafızaya tamamıyla hükmedilebilmektedir. 1960'lı yılların sonuna doğru Ken Thompson ve Dennis Ritchie tarafından UNIX işletim sistemini geliştirmek için kodlanmış ve 1969 yılında ilk sürümü resmi olarak yayınlanmıştır. Çıktığı ilk zamanlardan bu yana kullanımı gittikçe artmış ve aranan bir dil haline gelmiştir. C dili, gelişmeye başlamasıyla 1989 yılında ANSI tarafından standartlaştırılmıştır. Bu standart C89 olarak ifade edilmeye başlanmıştır. İlerleyen zamanlarda gelişen diğer dillerin de etkisi altında kalmıştır. 1999 yılında ISO tarafından C99 adıyla küçük eklemeler yapılarak tekrar standartlaştırılmıştır. Bu dil performanslıdır ve özel noktalarda da daha iyi performans göstermesi gerekirse C koduna Assembly kodları eklenebilmektedir (Samancı, 2016).

- C++ Programlama Dili: 1979 yılında Bjarne Stroustrup ile birlikte geliştirilmeye başlanmıştır. C dilini temel almıştır. Bu nedenle o dönemde yaygınlaşmaya başlamış ve nesne yönelimli programlama mantığı oturtulmaya çalışmıştır. C++ dili C dilini içine alacak biçimde oluşturulmuştur. C dilinde işlev gören bütün programlarımız C++'da çalışmaktadır. Ancak bu durumun tersi geçerli değildir.



Nesne yönelimli programlama ile C++ yeni yetenekler oluşturmuştur. Söz dizilimi güncelleştirilmiş ve sınıf yapısı korunmuştur. Yeni anahtar kelimeler eklenmiştir. Bellek kontrolü daha da güçlendirilmiştir. Orta seviyeli bir dil olarak geçmektedir. C++ sağladığı sınıf yapısıyla aynı kodlar ve sınıflar tekrar tekrar kullanılmadığından kod yazma zamanı ve masrafı azalmıştır. Sağladığı yüksek performansla birçok programcı tarafından da kabul görmektedir. Yıllarca geliştirildikten sonra ise standartlaştırılmıştır. Microsoft; Windows işletim sistemini, ana performanslı oluşundan dolayı C++ ve C ile yazılımı gerçekleştirilmiştir. C++ ile beraber gelen bazı yeteneklerle, C dili etkisini az da olsa yitirmiştir. C++ daha sonra kullanılmış olan nesne yönelimli programlama dillerinden Java ve C#'ı büyük oranda etkisi altına almıştır. C++ dilinin olumsuz sayılabilecek özelliklerinden bazılarıysa, C deki gibi kod güvenliğinin bulunmayışı, programcının hata yapmasına fazlasıyla imkân verebilecek kodların yazabilmesi ve nesne yöneliminin tümüyle uygulanamayışıdır. Günümüzde en çok kullanılan başlangıç seviyesindeki Arduino'da C++ kullanılmaktadır (Samancı, 2016).

- **Java Programlama Dili:** 1990'lı yıllarda Sun Microsystems firmasından, James Gosling isimli bir mühendis tarafından geliştirilmeye başlanmıştır. C++ dilinden oldukça etkilenerek oluşturulmuştur. O zamandan günümüze kadar oldukça değişim ve iyileştirme süreci geçirmiştir. Nesne yönelimli ve güvenli bir dil olarak geçmektedir. Derleme ile değil yorumlamayla çalışmaktadır. İlk yıllarda taşınabilir cihazlarımızda kullanılması amaçlanmıştır. Bu nedenden dolayı platform bağımsız olacak şekilde tasarlanmıştır. Platforma kurulan sanal bir makinede, kodlar yorumlanarak çalıştırılmaktadır. Platformdan farklı olarak amacı; Windows, Mac, Linux gibi işletim sistemleri olacağından mobil platformlarda da kullanılabilir. Java'nın platformdan ayrı oluşu ve getirmiş olduğu yenilikler nedeniyle bir zamandan sonra mobil platformlar ve kurumsal uygulamalar yapan şirketlerce oldukça benimsenmesini sağlamıştır. Bu dil oldukça güvenli olan kod yazılım yeteneğine sahiptir. Ayrıca kendisinden sonra gelecek olan programlama dillerini de etkisi altında bırakmıştır. Özellikle Microsoft'un çıkartmış olduğu C#; Java dilinden oldukça etkilenmiştir. Google'ın da Mobil Android işletim sistemi olarak Java'yı seçmesi sonucunda son dönemlerde daha popüler hale gelmiştir. Sonuçta kurumsal uygulamalarda platformun bağımsızlığına ve uygulamaları geliştirmemiz gerekiyorsa ve Android işletim sisteminde mobil uygulama geliştirmek istiyorsak Java dili tercih edilebilmektedir (Samancı, 2016).

- **C# Programlama Dili:** C# programlama dilli günümüzde en çok kullanılan programlama dillerinden bir tanesi olmuştur. Anders Hejlsberg isimli bir bilgisayar mühendisinin katkılarıyla Microsoft adı altında 2000 yılında geliştirilmiştir. ISO tarafından standartlaştırılmıştır. Birçok firma ve programcı tarafından kullanılabilirliği kanıtlanmış ve oldukça beğenilmiştir. Microsoft IDE ve diğer ürünleri, ücretli olmasına rağmen C# derleyicisi istenen herkesin kullanıp yazdığı kodları da derleyebilme yeteneğine sahiptir. Ancak IDE olmadığı zamanlarda büyük projeleri kodlamak ve derlemek zahmetli olacaktır. Microsoft Visual Studio isimli IDE' nin başlangıç paketini öğrencilere, öğretim görevlilerine, topluluklar ve küçük ölçekli işletmelere ücretsiz olarak sağlamaktadır. Bu dilde kod sonradan çalıştırıldığından C# performanslı bir dil olmasını sağlamıştır. .NET Framework isimli kod kütüphanesini kullanarak çok kısa sürelerde çok iyi işlemler yapılması sağlanmıştır. Son zamanlarda Microsoft, robotik ve mobil alanlarda C# dilini kullanmaya başlamıştır. Microsoft'un ürünlerinde uygulama geliştirilmek istediğimizde, yüksek performans ve .NET kütüphanesi avantajlarına ihtiyaç duyduğumuzda çok iyi bir dil olduğu kabul edilmektedir (Samancı, 2016).

### 2.8.3. Üst seviye programlama dilleri

En aktif ve en hızlı programlama dilleri bu kategoride yer almaktadır. Diğer yazılım dillerine göre daha kolaydır. Bu grupta yer alan dilleri Visual Basic, Fortran ve Pascal olarak sıralayabiliriz (Aran, 2006).

- **Visual Basic Programlama Dili:** Günümüzde farklı türevleri kullanılmakta olan üst seviye programlama dili sınıfına girmektedir. Basic öğrenilmesi kolay bir programlama dili olarak gösterilmektedir. Visual Basic ile Windows'un belirli kısımları yazılmıştır. Her Microsoft Office paketinde bir Basic türevi vardır. Ayrıca makro programlamalara da büyük oranda kolaylıklar getirmiştir (Aran, 2006).

- **Pascal Programlama Dili:** Bilgisayar programlama dilinde pek çok kişiye programlamayı öğreten dil olarak geçmektedir. Çeşitli versiyonlarıyla bugün de yaygın olarak kullanılmaktadır. İlk Macintosh işletim sisteminde TeX Pascal ile yazılmıştır. Bilgisayar bilimcisi olan Niklaus Wirth Pascal 1970'te yapısal programlamayı, derleyiciler için daha kolay hale getirmek için geliştirmiştir. İsmi matematikçi ve düşünür olan Blaise Pascal'dan almıştır (Anonim).

- Fortran Programlama Dili: 1954 yılında John Backus isimli bir yazılımcı ve ekibi tarafından geliştirilmeye başlanmıştır. Dil o dönemlerde "The IBM Mathematical FORMula TRANSlating" isimli rapordaki kelimelerden FORTRAN olarak koyulmuştur. Fortran ile Backus ve ekibi ilk defa o zamanlarda üst seviye sayılan bir dil için derleyici mantığını ortaya koymuşlardır. Bu şekilde yapılan program, çalışma sırasından önce bir derleyici vasıtasıyla makine diline derlenmekte daha sonra da makine kodu olarak çalıştırılmaktadır. Burada üst seviye kodlama yapıldığından, kodlamaya fırsat vermesi ve kodun makine dillerine çevrilme imkânı, daha hızlı çalışmasını sağlamaktadır. Fortran sonralarda standartlaştırılmış ve günümüze kadar gelmiştir. Kendisinden sonraki Basic ve C gibi programlama dillerini oldukça etkisi altında bırakmıştır. Fortran sayısal hesaplamalarda güçlü ve yeterince esnek olan bir dil olarak karşımıza çıkmaktadır. Tanımlayıcı olan isimleri küçük-büyük harf ayırımına tabi tutmadan yapmaktadır. Fortran, sade bir yapısı olduğundan, programlama için iyi bir dildir. Ayrıca farklı platformlardaki derleyicilere de sahiptir (Samancı, 2016).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Sayısal ifadelerin ve formüllerin yazımına ihtiyaç duyduğumuzda, bu ifadelerden oluşacak değerlerin hesaplanmasında, Visual Studio'nun bünyesinde var olan C# programlama dili kullanıcılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Ayrıca C# görsel bir dil olmasından dolayı hesaplanan değerlerimize ait modellemeler yapmakta mümkündür. Bu ve buna benzer nedenlerden dolayı uygulamamızda yazılım dili olarak C# dili tercih edilmiştir.

#### 3.1. Visual Studio

Visual Studio; Microsoft tarafından geliştirmiş olan bir derleyici programı olarak tanımlamamız mümkündür. Microsoft; Visual Studio programıyla birçok farklı dilde program yazarak, bunların çalıştırılmasına imkânı vermektedir. Bunun dışında Microsoft'un; Visual Studio'ya sağladığı birçok avantaj da vardır. Windows, Web, Office ve SharePoint gibi değişik ortamlarda kaliteli uygulamaların oluşturmasına izin vermesi, önemli özellikleri arasında yer almasını sağlamıştır. Ayrıca birden fazla monitör desteği alarak, çalışmalarımızı istediğimiz biçimde düzenlememizi ve kontrol etmemize de olanak sağlamaktadır. IDE içerisinde, birimin testlerini derlemek amacıyla gereken yöntemlerin tespitini oluşturan ve böylelikle her kod biriminin doğru biçimde çalıştığından emin olmamızı sağlayan birim test özelliğini de içermektedir (Kalınsaz, 2011).

##### 3.1.1. C Sharp

Visual Studio'nun yazılım dillerinden birisi de C# programlama dilidir. Güçlü, modernleşmiş, nesne tabanlı ve aynı zamanda güvenli bir programlama dili olarak karşımıza çıkmaktadır. C# kullanabilmek amacıyla CLR ve .NET Framework sınıf kütüphanelerine ihtiyaç duyulmaktadır. C#; C, C++ ve Java'nın güzel özelliklerini alarak türemiştir. C# ile yapılacak uygulamalar hem daha avantajlı hem daha kolaydır. Ayrıca etkileyici tasarımı sayesinde dikkat çekici olmaktadır. En geniş dil özelliklerine sahip dillerden birisidir (Anonim).

C#; aynı platformlarda taşınabilirliği olan, programlama dillerinden Java ile birçok ortak noktası bulunmaktadır. En önemli farkıysa .Net Framework platformunun içerisinde hazırlanmış olmasıdır. Tamamıyla nesne yönelimli olarak geliştirilen yazılım

dilidir. C#; C++ ve Visual Basic dillerinde var olan uyumsuzlukları ortadan kaldırmak amacıyla geliştirilen bir dil olmasına rağmen kısa süre içerisinde nesne yönelimli diller içindeki en önemli dillerinden birisi olmuştur. Gelişmiş derleyicisinin (debugger) de sayesinde hata yapma oranını ortadan kaldırmıştır. Yapılan programımız çalıştırıldıktan sonra derleyicimiz tarafından fark edilen Sınıf (Class) ve Söz Dizimi (syntax) hatalarını, yazılımcıya farklı bir ekranda ayrıntısıyla göstermektedir. Yazılımcı da bu hatayı, penceresinden tespit ederek kolaylıkla düzeltme imkânı bulabilmektedir (Bozkurt, 2011).

C# yüksek verimlilik imkânı sunmaktadır. C ve C++ dilindeki programlar, diğer dillere göre daha uzun sürede yazılmaktadır. Uzun zamanda yazılmasının nedeni zor ve hata yapmaya açık olmasındandır. Bu yüzden bu dillerde zaman kaybı fazla olmaktadır. Microsoft, C#'ı geliştirirken bu durumları da göz önüne alarak bir tasarım yapmıştır. C#'ın sunmuş olduğu en önemli avantajlar XML ve JSON özelliklerine sahip olmasıdır (Anonim).

- XML Desteği: Programlarımızın yalnızca makinada çalışması, internet ve internete açılan yönlerinin de olması, başka sistemlerle kolaylıkla etkileşime girmesi yani birbirleriyle bilgi alışverişini yapılmasına olanak sağlaması gerekmektedir. Bu bilgi alışverişini de XML diliyle gerçekleştirilmektedir (Anonim).

- JSON Desteği: XML'ye alternatif olarak geliştirilmiş olan JavaScript tabanlı veri değiştirme formatıdır. JSON bilgi alışverişinde XML'ye göre daha küçük boyutlardaki bilgi akışı sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. JSON, mobil uygulamalarda internetten bilgi akışını hızlandırmak için de kullanılmaktadır. C#, JSON türünden verileri kullanıp derleyebilme özelliğinden dolayı bu C#'ı daha güçlü bir dil haline dönüştürmüştür (Anonim).

### 3.1.2. Express edition

Express edition, program yazmayı kolaylaştırdığından dolayı yüksek ücretle satılan program geliştirme aracı olarak gösterilmektedir. Visual Studio ile C#, Visual Basic, C, C++ veya ASP.NET uygulamaları gelişim göstermesi uygunken, Express Edition'lar dile özgüdür. .NET uyumlu hangi yazılım dilini kullanılacaksa onun için hazırlanmış olan Express Edition ismi verilen IDE'yi yani programı kurmak gerekecektir. C# için hazırlanan Express Edition, programlama dili değildir. C# projelerini hazırlayabilmek için Microsoft tarafından hazırlanmıştır (Anonim).

### 3.1.3. Yazılım Gereksinimleri

Visual Studio 2010 programımızı, aşağıdaki listelenen işletim sistemlerimizin üzerinde rahatlıkla kurma imkânına sahibiz (Bozkurt, 2011).

- Windows 7
- Service Pack 1 Windows Vista
- Service Pack 3 Windows XP (x86)
- Service Pack 2 Windows XP (x64)
- Service Pack 2 bulunan Windows Server 2003
- Windows Server 2008 R2 (x64)
- Windows Server 2003 R2
- Service Pack 2 bulunan Windows Server 2008

Desteklenen mimarilerimiz ise; 32-bit (x86) ve 64-bit (x64) işletim sistemidir.

### 3.1.4. Net framework

C# ve .Net Framework aynı uygulama gibi algılanmaktadır. Ancak bu uygulamalar tamamen farklı amaçlar için oluşturulmuştur. C# nesne yönelimliken, .Net Framework ise C# da yapılan uygulamalar için geliştirilmiştir. C# dili, Microsoft tarafından .Net platformu içerisinde kod geliştirmek amacıyla tasarlanmıştır. C# içerisindeki bulunan kütüphanelerin hepsi .Net platformu içerisindeki kütüphanelerdendir. Ayrıca aşağıda C# kullanılarak ne tür çalışmalar yapılabileceği belirtilmektedir.

- Konsol uygulamaları (Console Applications): Komut satırı içerisinde programcı tarafından yapılan uygulamalardır. Konsol uygulamaları MS-DOS olarak ifade edilmiştir. Nesne yönelimli programlamanın genişlemesinde tercih edilen bir arayüz olmaktadır. Bu uygulamalarda kullanıcıların etkileşim kurması gerekmeyen durumlarda, kolay bir arayüz oluşturmada kullanılmaktadır (Bozkurt, 2011).

- Windows form uygulamaları (Ado.Net): Grafikselle kullanıcıların arayüzü olarak isimlendirilmiştir. Windows form uygulamalarını, konsol uygulamalarından ayıran en önemli özellik budur. Toolbox ismi verilen araç kutusundan, nesnel araçları sürükleyip bırakarak Windows Form uygulaması da oluşturulabilmektedir (Bozkurt, 2011).

- Web form uygulaması (Asp.Net): Web form uygulamaları Ado.Net tercihen ASP.Net sayfa yapısında çalışmaktadır. Web form uygulamaları esas olarak Windows Form Uygulaması gibi düşünülebilmektedir. Web Form uygulamaları internet üzerinden ulaşılabilme yeteneğine sahip uygulamalarıdır.
- Mobil programlama: Windows Phone işletim sistemlerinde kullanılan uygulamalardır. Windows Phone için uygulama geliştirmek istenirse bu kısmı kullanmamız gerekmektedir.
- Web servisleri: Veri iletimi için kullanılmaktadır. Evrensel veri transfer metodu denilen XML, HTTP ve internet ağıyla dünya da her hangi bir yere veri taşıma işlevini gerçekleştirmektedir. Web servisi işlemlerinde datalar başka kullanıcıya gönderildiğinden güvenlik ve adresleme gibi işlevleri yerine getirmektedir (Bozkurt, 2011).

### **3.2. Metal/Yarıiletken Yapılarla Tasarlanan Programımızın Arayüzü**

Metal/yarıiletken kontak yapılı diyotlar için tasarlamış olduğumuz benzeşim programımız, Visual Studio'nun C# programlama dilinde yazılımı tamamlanmıştır. Programımızı ilk olarak çalıştırdığımızda karşımıza Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi programın açılış menüsü çıkmaktadır. Bu menüde bulunan butonlarla diğer sayfalara gerekli yönlendirme işlemleri yapılmaktadır. Bu butonlar sırasıyla "Akım-Gerilim Grafikleri", "Cheung Fonksiyonlarıyla Seri Direnç" ve "Çıkış" olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır.



Şekil 3.1. Programımızın açılış menüsü

```

private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
{
    this.AutoSize = false;
    this.AutoSizeMode = AutoSizeMode.GrowAndShrink;
    this.WindowState = FormWindowState.Maximized;
}
private void button1_Click_1(object sender, EventArgs e)
{
    yeniform1.MdiParent = this;
    this.WindowState = FormWindowState.Maximized;
}
private void button3_Click_1(object sender, EventArgs e)
{
    if (MessageBox.Show("Programı Kapatmak İstiyor Musunuz ?", "Dikkat",
    MessageBoxButtons.YesNo, MessageBoxIcon.Question) == DialogResult.Yes)
    {
        this.Close();
        Application.Exit();
    }
}

```



Açılış menümüzde bulunan “Akım-Gerilim Grafikleri” isimli butona tıkladığımızda, Şekil 3.2.’de gösterildiği gibi programımızın deneysel verilerden elde edilen  $\ln(I) - V$  grafiğiyle, teorik olarak oluşturulan  $\ln(I) - V$  grafiğinin fit edilebilme durumlarına göre karşılaştırılması incelenmiştir.



Şekil 3.2. Deneysel ve teorik  $\ln(I) - V$  grafiklerinin karşılaştırılması

Şekil 3.2.’de programımızın sol tarafında bulunan “EXCEL DEN VERİLERİ AL” butonuna tıkladığımızda, deneysel I-V verilerinin bulunduğu excel dosyasının yolu bu bölüme tanıtılması istenecektir. Bu excel dosyasının uzantısı “.xls” formatında olmalıdır. Dosyamız sayfamıza yüklenmesi ile birlikte “DENEYSEL  $\ln(I) - V$  GRAFİĞİ” isimli butona tıkladığımızdaysa yüklenmiş olan verilerimize ait  $\ln(I) - V$  grafiğinin çizdirme işlemi yapılacaktır. Teorik olarak I-V verisi elde edebilmek için birçok diyot parametresine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu parametreler arasında uygun metal ve yarıiletken seçimi, sıcaklık (T), diyot alanı (A), doyma akımı ( $I_0$ ), seri direnç ( $R_s$ ), idealite faktörü (n) ve engel yüksekliği ( $\Phi_b$ ) gibi parametreler bulunmaktadır. İhtiyaç duyulan bu parametre değerleri, programımızın orta kısmında bulunan bölüme uygun olarak girilmesiyle birlikte, programımız teorik olarak I-V verisi oluşturacaktır. Oluşturulmuş olan I-V verisinin grafiğini çizdirmemiz için ise “TEORİK  $\ln(I) - V$

GRAFİĞİ” isimli butona tıklamamız gerekmektedir. Deneysel ve teorik olarak elde edilen  $\ln(I) - V$  grafiklerinin birbirine göre fit edilebiliyor olması gerekmektedir. Bu fit edilme işlemini sağlayabilmek için parametre değerlerimizin uygun şekilde değiştirilmesi gerekebilmektedir. Yapılan değişikliklerden sonra programımızda bulunan “TEORİK  $\ln(I) - V$  GRAFİĞİ” butonuna tıklayarak fit edilme sağlanana kadar bu durum tekrarlanmalıdır. Aynı grafiklerin elde edilmesinden sonra bulmuş olduğumuz değerler I-V verilerine ait diyot parametrelerimizdir. Bu şekilde I-V verilerimize ait parametrelerimiz çok kısa ve güvenilir bir şekilde elde edilmiş olmaktadır.

Ayrıca bu menümüzde engel yüksekliği için gereken parametre değerleri girilip “ $\Phi_b$ ” butonuna tıkladığımızda I-V verilerimize ait engel yüksekliği değeri de bulunabilmektedir.

```
bool surtukle = false;
Point konum;
public static string sicaklik,en,engel,doyma_akim,seri_direnç;
public static DataGridView dizim = new DataGridView();
private void Form2_Load(object sender, EventArgs e)
{
    comboBox1.Items.Add("ALÜMİNYUM");
    comboBox1.Items.Add("BAKIR");
    comboBox1.Items.Add("GÜMÜŞ");
    comboBox1.Items.Add("ALTIN");
    comboBox2.Items.Add("n tipi silikon");
    comboBox2.Items.Add("p tipi silikon")
    button1.Left = 600;
    textBox2.Text = "0";
    textBox6.Text = "0";
    textBox1.Text = "1E-10";
    this.WindowState = FormWindowState.Maximized;
    this.AutoSize = false;
    this.AutoSizeMode = AutoSizeMode.GrowAndShrink;
}
private void button14_Click(object sender, EventArgs e)
{
```

```

System.Data.OleDb.OleDbConnection Baglanti;
openFileDialog1.ShowDialog();
txt_dosya_yolu.Text = openFileDialog1.FileName;
string dosya_yolu = openFileDialog1.FileName;
Baglanti=new
System.Data.OleDb.OleDbConnection("provider=Microsoft.Jet.OLEDB.4.0;Data
Source="" + dosya_yolu + "";Extended Properties=Excel 8.0;");
Baglanti.Open();
myCommand.Connection = Baglanti;
string sql = "Select * from [deger$]";
myCommand.CommandText = sql;
System.Data.OleDb.OleDbDataReader dr = myCommand.ExecuteReader();
OleDbDataAdapter data_adaptor = new OleDbDataAdapter(sql, Baglanti);
DataTable dt = new DataTable();
data_adaptor.Fill(dt);
dataGridView1.DataSource = dt;
Baglanti.Close();
}
chart3.Series[0].Points.Clear();
int c = 0;
double a, x;
for (int i = 0; i < dataGridView1.RowCount - 1; i++)
{
chart3.BackColor = Color.Wheat;
chart3.Series[0].BorderWidth = 2;
chart3.ChartAreas[0].AxisX.Title = "GERİLİM";
chart3.ChartAreas[0].AxisY.Title = "AKIM";
chart3.ChartAreas[0].AxisX.TitleFont = new Font("Times New Roman", 15.0f);
chart3.ChartAreas[0].AxisY.TitleFont = new Font("Times New Roman", 15.0f);
chart3.ChartAreas[0].AxisX.TitleForeColor = Color.DarkBlue;
chart3.ChartAreas[0].AxisY.TitleForeColor = Color.DarkBlue;

```

Diğer bir butonumuz olan “Cheung Fonksiyonlarıyla Seri Direnç” seçeneğimize tıkladığımızda ise “Akım-Gerilim Grafikleri” menüsünde bulunan parametre değerlerimiz otomatik olarak, bu bölümdeki uygun boşluklara gelmektedir. Elde edilen

seri direnç ve diyot parametrelerine bağlı olarak Şekil 3.3.'deki gibi Cheung fonksiyonlarının grafiksel gösterimleri yapılabilmektedir.



Şekil 3.3. Cheung fonksiyonları

```

textBox3.Text = Form2.sicaklik;
textBox6.Text = Form2.engel;
textBox5.Text = Form2.en;
textBox2.Text = Form2.seri_direnç;
DataGridView diz = Form2.dizim;
button1.Left = 550;
this.WindowState = FormWindowState.Maximized;
this.AutoSize = false;
this.AutoSizeMode = AutoSizeMode.GrowAndShrink;
chart4.Series[0].Points.Clear();
double T, n, Ve, Is, Rs, Qb;
T = Convert.ToDouble(textBox3.Text);
n = Convert.ToDouble(textBox5.Text);
Rs = Convert.ToDouble(textBox2.Text);

```

```

Qb = Convert.ToDouble(textBox6.Text);
//MessageBox.Show(Io.ToString());
double k = Math.Pow(10, (-23));
double k1 = k * 1.38;
double q = Math.Pow(10, (-19));
double q1 = q * 1.60;
int t = 0;
for (int i = 0; i < Form2.dizim.RowCount - 1; i++)
{
Is = Convert.ToDouble(Form2.dizim.Rows[i].Cells[t + 1].Value);
Ve=Is*Rs+n*Qb;
chart4.Series[0].Points.AddXY(Is, Ve);
}
chart4.BackColor = Color.Wheat;
chart4.ChartAreas[0].AxisX.Title = "I";
chart4.ChartAreas[0].AxisY.Title = "H(I)";
chart4.Series[0].BorderWidth = 2;
chart4.ChartAreas[0].AxisX.TitleFont = new Font("Times New Roman", 15.0f);
chart4.ChartAreas[0].AxisY.TitleFont = new Font("Times New Roman", 15.0f);
chart4.ChartAreas[0].AxisX.TitleForeColor = Color.DarkBlue;
chart4.ChartAreas[0].AxisY.TitleForeColor = Color.DarkBlue;

```

Ayrıca programdan istediğimiz zaman çıkış yapmamızı sağlayacak bir de “Çıkış” butonumuz bulunmaktadır.

### 3.3. Schottky Diyotlarının Akım-Gerilim ve Diyot Parametrelerinin Belirlenmesi

İdealite faktörünün ( $n$ ), 1’den büyük değerleri için bir MS ya da MIS tipi Schottky diyotun I-V ilişkisi ve  $V \geq 3kT/q$  durumu için akım denklemi,

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

ifadesiyle verilmektedir.

Burada  $V_D$  diyot üzerine düşen gerilim değerini,  $n$  idealite faktörünü,  $k$  Boltzmann sabitini ve  $T$  Kelvin cinsinden sıcaklığı ifade etmektedir. Fakat seri direncin ( $R_s$ ) bulunması durumunda Bağntı (3.1)'deki ifade yeniden düzenlenirse akım denklemi,

$$I = I_o \left[ \exp\left(\frac{e(V - IR_s)}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (3.2)$$

şeklinde elde edilir.

Bu denklemde  $V$  diyot üzerine uygulanan gerilimi,  $IR_s$  diyot seri direnci üzerindeki gerilimi ifade etmektedir. Fakat düşük ve orta gerilim bölgeleri için  $IR_s$ , diyota uygulanan gerilimin yanında ihmal edilebilecek kadar küçük değerdedir. Bağntı (3.1)'deki köşeli parantez önündeki  $I_o$  terimi ise ters doyma akımı olup,

$$I_o = \left[ AA^*T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_b}{kT}\right) \right] \quad (3.3)$$

eşitliğinde verilmektedir.

Burada  $\Phi_b$  metalle yarıiletken arasındaki sıfır-beslem potansiyelinin engel yüksekliğini,  $A$  diyotun doğrultucu kontak alanını ve  $A^*$  etkin Richardson sabitini ifade etmektedir. Bu bilgiler ışığında Bağntı (3.3), Bağntı (3.1)'de yerine yazılırsa ve  $R_s$  etkisi de ihmal edilirse Bağntı (3.1),

$$I = \left[ AA^*T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_b}{kT}\right) \right] \left[ \exp\left(\frac{eV_D}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (3.4)$$

şeklinde yeniden yazılabilir.

Orta ve yüksek sıcaklıklarda köşeli parantez içindeki 1 rakamı üstel ifade yanında ihmal edilebilmektedir. Saf TE teorisine göre idealite faktörünün ( $n$ ) 1'e eşit olması beklenmektedir. Fakat pratikte durum bundan farklıdır. Yani  $n$  değeri özellikle düşük sıcaklıklarda 1'den birkaç kat daha fazla büyük olabilmektedir. İdealite faktörünün değeri, metal ve yarıiletken arasında oluşan bir yalıtkan ya da polimer arayüzey tabakayla potansiyel engel yüksekliğinin biçimi ve homojensizliği, yasak enerji aralığında lokalize olmuş arayüzey durumlarının yoğunluğu ( $N_{ss}$ ), engel

alçalmasına ve numune sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Yapımız, yarıiletkenin gövde direncinden, yalıtkan arayüzey tabakasından ve kontaklardan dolayı bir seri dirence sahipse, diyot üzerine düşen gerilimimiz,

$$V_D = V - IR_s \quad (3.5)$$

şeklinde olacaktır. Bağntı (3.1)'deki ifadenin 1 değerini ihmal eder ve iki tarafının da  $Ln$ 'i alınırsa doğru denklemi,

$$Ln(I) = Ln(I_0) + \frac{eV_D}{nkT} \quad (3.6)$$

şeklinde elde edilir.

Bağntı (3.6)'ya ait eşitlikten bir doğrunun matematiksel ifadesine ulaşılır. Ayrıca doğrunun eğiminden de idealite faktörü ( $n$ ) değerimiz bulunmaktadır. I-V eğrisindeki lineer kısmın eğimi  $\tan\theta = e/nkT$  ile bulunmaktadır. İdealite faktörüse,

$$n = \frac{e}{kT \tan\theta} \quad (3.7)$$

ile elde edilmektedir.

$Ln(I) - V$  grafiğinde termal emisyonun geçerli olduğu bölge lineer değişim sergiler. Bu lineer bölgeye yapacağımız doğrusal fit ile bulacağımız doğrudan eğim idealite, akım eksenini kestiği nokta da  $I_0$  değerinin verir. Bağntı (3.3)'deki eşitliğinin iki tarafının da logaritmasını alıp  $\Phi_b$ 'ye göre çözersek engel yüksekliğimiz,

$$e\Phi_b = kT Ln \left( \frac{AA^*T^2}{I_0} \right) \quad (3.8)$$

şeklinde elde edilir.

### 3.4. Cheung Fonksiyonlarıyla Seri Direnci Bulma Yöntemi

Seri direncin hesabı için farklı yöntemler kullanılmakla birlikte son zamanlarda H. Norde tarafından geliştirilmiş olan ve Cheung tarafından da modifiye edilen iki

fonksiyon kullanılmaktadır. Ayrıca bu fonksiyonlarla seri direnç hesabını yapmak daha da kolaylaşmıştır. Bağntı (3.2)'den yararlanarak,

$$V = \left(\frac{nkT}{e}\right) \text{Ln}\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) + n\Phi_b + IR_s \quad (3.9)$$

ifadesi elde edilir. Bağntı (3.9)'un  $\text{Ln}(I)$  ya göre türevini aldığımızda,

$$\frac{dV}{d\text{Ln}(I)} = \frac{nkT}{e} + IR_s \quad (3.10)$$

ifadesi bulunur.

Bağntı (3.10)'daki eşitliğimizde  $dV/d\text{Ln}(I)$  ifadesinin  $I$ 'ya göre grafiği doğruyu vermektedir. Bu grafikten elde ettiğimiz doğru eğimi ise bize  $R_s$  (seri direnç) değerini vermektedir. Bu doğrumuzun düşey eksenini kesmiş olduğu noktada idealite faktörü bulunmaktadır. Potansiyel engelimiz  $\Phi_b$ 'yi bulabilmek için ise,

$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{e}\right) \text{Ln}\left(\frac{I}{AA^*T^2}\right) \quad (3.11)$$

şeklinde  $H(I)$  fonksiyonu tanımlanmaktadır. (3.9) ve (3.10)'deki bağntılarımızdan,

$$H(I) = n\Phi_b + IR_s \quad (3.12)$$

şeklinde yazılmaktadır.

Bağntı (3.12)'de  $H(I) - I$ 'ya göre grafiğini çizdiğimizde bu grafik bir doğru şeklinde olacaktır. Buradaki doğru eğiminden seri direnç bulunurken,  $H(I)$  ekseninin kesiştiği noktadan ise engel yüksekliği ( $\Phi_b$ ) bulunmaktadır (Aydın, 2010).



#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

İki farklı Al/p-Si kontak yapısına ait numuneler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu numunelerden elde edilen parametreler ve bu parametrelere bağlı olarak oluşan grafiksel gösterimler aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

##### 4.1. Akım-Gerilim Karakteristikleri ve Cheung Fonksiyonlarıyla Seri Direnç

Metal/yarıiletken kontak yapıları diyotların akım-iletim mekanizmaları; yüzey hazırlama işlemine, oksit tabaka oluşmasına, metalden yarıiletkeneye doğru engel yüksekliğine, yarıiletkenin safsızlık yoğunluğuna, arayüzey durumunun yoğunluğuna, sıcaklık ve gerilim olmak üzere birçok parametreye bağlı olarak değişebilmektedir. Metal/yarıiletken yapılarında akım iletimi, sadece bir akım-iletim mekanizmasının etkisinde olabileceği gibi birden çok akım-iletim mekanizmasının etkisi altında da olabilmektedir. Metal/yarıiletken kontak yapılarında, elektriksel karakteristiklerin tam olarak anlaşılması ve hangi durumlarda hangi akım-iletim mekanizmasının etkili olduğunu tespit etmek büyük önem arz etmektedir. İdeal olan Schottky diyotların doğru beslem alıntındaki I-V karakteristikleri  $V > 3kT/e$  için, azımlık taşıyıcı etkilerini ihmal edersek TE teorisine göre,

$$I = I_o \left[ \exp\left(\frac{eV_D}{kT}\right) - 1 \right] \quad (4.1)$$

ifadesi elde edilir.

Bu bağtıda  $V_D$  diyot üzerine düşen gerilim iken,  $k$  Boltzmann sabiti,  $T'$  de mutlak sıcaklıktır.  $I_o$  değeri ise ters doyma akımı olup,

$$I_o = \left[ AA^*T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_b}{kT}\right) \right] \quad (4.2)$$

ile verilmektedir (Kaya, 2010).

Burada  $A$  diyot alanını,  $A^*$  etkin Richardson sabitini ve  $\Phi_b$  potansiyel engel yüksekliğini ifade etmektedir. Uygulanan gerilimin değeri, birkaç  $kT/e$  değerinden büyük ise  $\ln(I) - V$  grafiği doğruyu vermesi gerekmektedir. Deneysel olarak

oluşturulan doğru eğimi,  $e/kT$  eşitliğinde olması gerekirken daha küçük sonuçlar bulunmuştur. Uygulamada birçok Schottky diyot, ideal TE teorisinden sapma eğilimi göstermektedir. İdeal olmayan bu diyot davranışları, idealite faktörü olarak isimlendirilen boyutsuz bir  $n$  değeri, akım ifadesiyle kullanılarak açıklanmıştır. Düzenlenen akım ifademiz,

$$I = I_o \left[ \exp\left(\frac{eV_D}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (4.3)$$

eşitliğiyle verilmektedir.

Schottky diyotlarındaki engel yüksekliği değerinin, tüketim bölgesinde oluşmuş olan elektrik alanı ile uygulanan gerilime bağlı olarak değişmesi bu düzenlemeyi gerektirmiştir. Ancak engel yüksekliği gerilime bağlı olarak sabit ise idealite faktörümüzde sabit olacaktır. İdealite faktörünün birden büyük değerlerde olması, uygulanan gerilimin, tümüyle tüketim bölgesine düşmediğini göstermektedir. Bu durumda uygulanan gerilim; arayüzey tabakasına, tüketim tabakasına ve diyot direncine bağlı olarak paylaşılmaktadır (Kaya, 2010). Yapmış olduğumuz çalışmada yukarıda belirtilen tüm durumlar göz önüne alınarak, programımız optimize edilmiştir.

Programımızı çalıştırdığımızda ilk olarak yapılması gereken deneysel olarak  $\ln(I) - V$  grafiğini elde etmek olmalıdır. Bunu da Şekil 3.2.'de gösterilen grafiğin sol tarafından sağlamaktayız. Elde edilen grafiğe bağlı olarak programın sağ tarafında da teorik olarak aynı grafik elde edilmelidir. Programımız teorik olarak bu grafiği elde ederken I-V bağıntısı olarak,

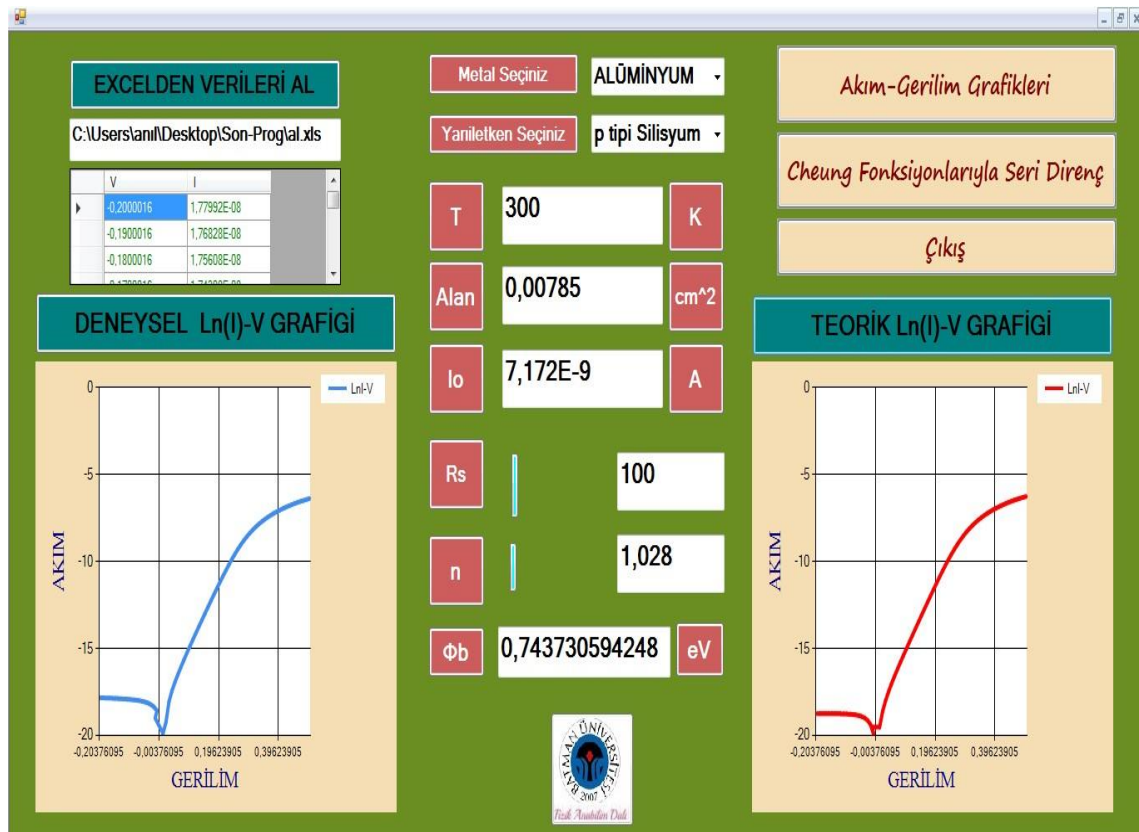
$$I = I_o \left[ \exp\left(\frac{e(V - IR_s)}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (4.4)$$

eşitliğini kullanmaktadır.

Kullandığımız bu denklemde  $T$  Kelvin cinsinden sıcaklığı,  $k$  Boltzmann sabitini,  $e$  elektron yükünü,  $n$  idealite faktörünü,  $IR_s$  ise diyotun seri direnci üzerine düşen gerilimini ifade etmektedir. Çalışmamızda teorik olarak  $\ln(I) - V$  grafiğini yakalayabilmemiz için değiştirmemiz gereken parametrelerse, çalışma sıcaklığı Kelvin cinsinden belirlendikten sonra doyma akımı ( $I_o$ ), seri direnç ( $R_s$ ) ve idealite faktörü ( $n$ ) olmalıdır. Bu değerler üzerinde yapılan değişikliklerden sonra çizdirme işlemleri

yapılmalıdır. Bu işlem birkaç defa tekrarladıktan sonra programımız, çok kısa bir süre içerisinde teorik ve deneysel olarak da aynı  $\ln(I) - V$  grafiklerinin elde edilmesi sağlanmıştır.

İlk numunemiz olan Al/p-Si kontak yapısının -0.2 ile 0.5 volt aralığında doğru ve ters beslem  $\ln(I) - V$  grafiği Şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Al/p-Si kontak yapısının -0.2 ile 0.5 volt arasında doğru ve ters beslem  $\ln(I) - V$  grafiği

Aynı grafiklerin elde edilmesinden sonra programdan bulmuş olduğumuz değerler bizim diyot parametrelerimizdir. Bu parametreler Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Al/p-Si kontak yapısının -0.2 ile 0.5 volt arasında programımızdan elde edilen parametre değerleri

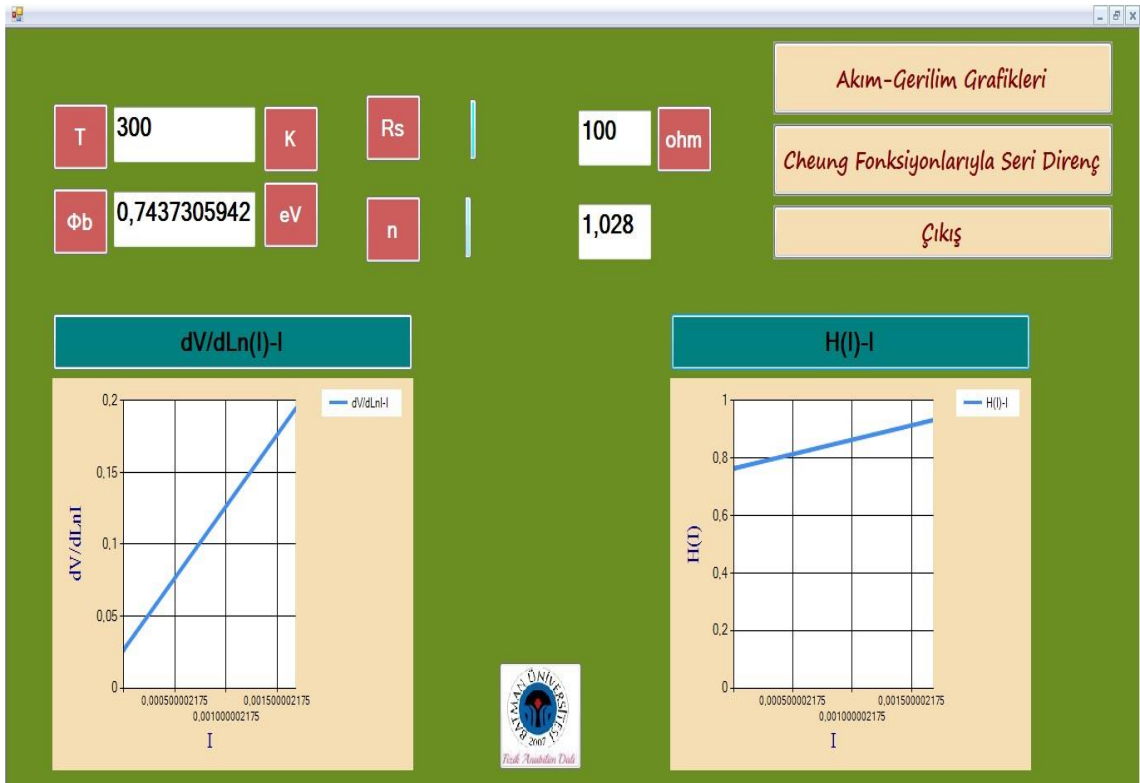
$T(K)$	$n$	$I_0(A)$	$R_s(ohm)$	$\Phi_b(eV)$
300	1,028	$7,172 \times 10^{-9}$	100	0,74373

Bulmuş olduğumuz Çizelge 4.1.'deki parametrelere bağlı olarak oluşan Cheung fonksiyonlarının grafiği Şekil 4.2.'de gösterilmiştir. Programımız bu grafikleri elde ederken,

$$\frac{dV}{d\ln(I)} = \frac{nkT}{e} + IR_s \quad (4.5)$$

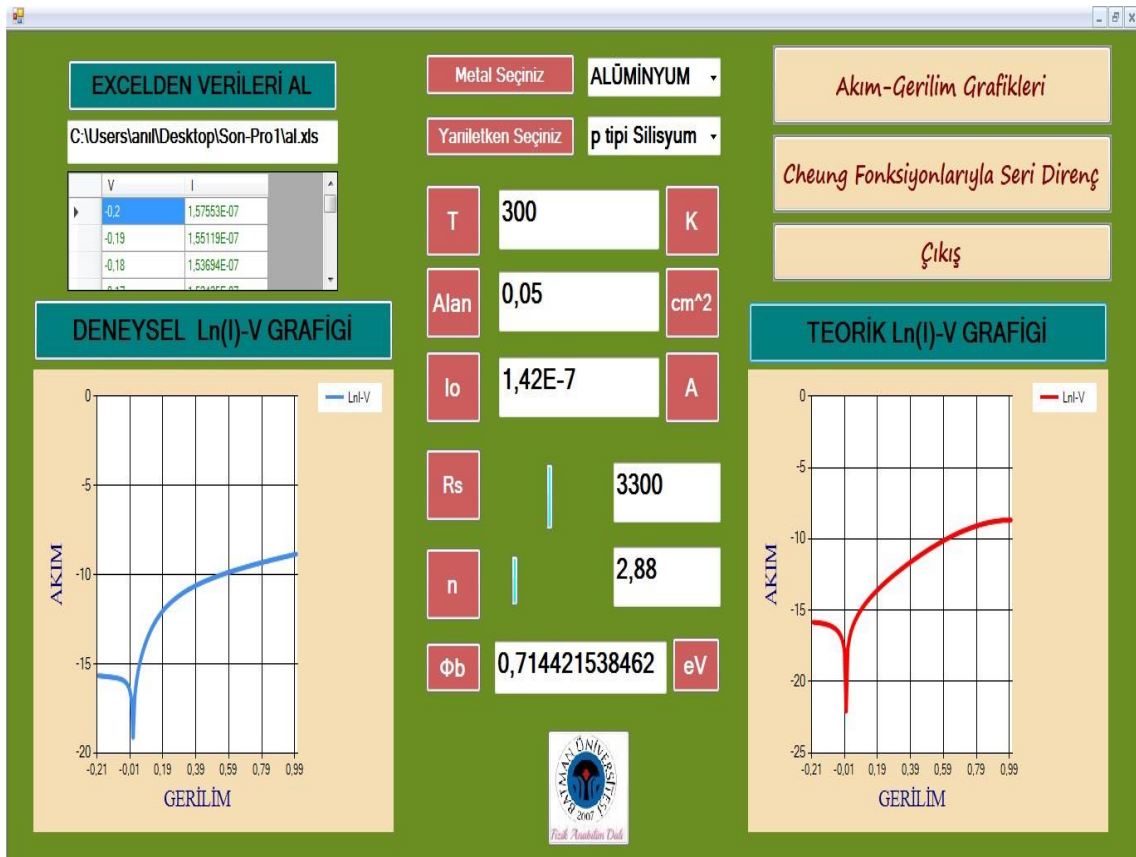
$$H(I) = n\Phi_b + IR_s \quad (4.6)$$

Bağıntı (4.5) ve Bağıntı (4.6)'daki ifadelerle göre çözümlenmektedir.



Şekil 4.2. Al/p-Si kontak yapısının  $R_s=100$  ohm için Cheung fonksiyonları grafiği

İkinci numunemiz olan Al/p-Si kontak yapısının -0.2 ile 1 volt aralığında doğru ve ters beslem  $\ln(I) - V$  grafiği Şekil 4.3.'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Al/p-Si kontak yapısının -0.2 ile 1 volt arasında doğru ve ters beslem  $\ln(I) - V$  grafiği

Programımızın, oluşan grafiklere bağlı olarak elde ettiği parametre değerleri Çizelge 4.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Al/p-Si kantağının -0.2 ile 1 volt arsında programımızdan elde edilen parametre değerleri

$T(K)$	$n$	$I_0(A)$	$R_s(ohm)$	$\Phi_b(eV)$
300	2,88	$1,42 \times 10^{-7}$	3300	0,7144

Bulmuş olduğumuz Çizelge 4.2.'deki parametrelere bağlı olarak oluşan Cheung fonksiyonlarının grafiği Şekil 4.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Al/p-Si kontak yapısının  $R_s=3300$  ohm için Cheung fonksiyonları grafiği

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmamızda farklı iş fonksiyonlarına sahip metaller ile farklı yapıdaki yarıiletkenlerin oluşturduğu, metal/yarıiletken kontak yapılarına ait diyotların I-V karakteristikleri incelenmiştir. Deneysel verilerden elde edilen değerlerle, tasarlanmış olduğumuz benzeşim programımızın karşılaştırılması yapılmış olup, çalışmamızın güvenilirliği test edilmiştir.

Numune olarak belirlemiş olduğumuz, Al/p-Si kontak yapısına ait idealite faktörü ( $n$ ), doyma akımı ( $I_o$ ), engel yüksekliği ( $\Phi_b$ ) ve seri direnç ( $R_s$ ) gibi diyota ait birçok parametre hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplamalarla ilgili değerlendirmeler yapmamız gerekirse şu sonuçlara varabilmekteyiz. Schottky diyotlarda  $\ln(I) - V$  grafiği, genellikle lineer bir doğru olması beklenmektedir. Fakat sonuçlar göstermiştir ki yüksek gerilimlerde ( $V \geq 1$  V)  $\ln(I) - V$  eğrisi seri direnç ve arayüzey tabakasından dolayı lineerlikten sapma eğilimi göstermiştir. Yüksek gerilimlerde grafiğin doğrusallıktan sapması ya da çok dar bir bölgede lineerlik göstermesi elde edilen elektriksel parametrelerin doğruluğu ve güvenilirliğine gölge düşürmektedir. Fakat bilindiği üzere yarıiletken aygıtların gerçek direnci mümkün olduğu kadar ileri pozitif gerilimler için elde edilen değerlerdir. Bu nedenle diyotun seri direncinin, bu bölgede hesaplanmasında fayda vardır. Schottky diyotlarında, doğru ön-gerilim  $\ln(I) - V$  eğrileri üç farklı bölgeye ayrılmaktadır. Bunlar sırasıyla: düşük gerilim ( $V \leq 0.1$  ) bölgesi, orta gerilim ( $0.1 < V < 0.8$  ) bölgesi ve yüksek gerilim ( $V > 0.8$  ) bölgesi olarak ifade edilmektedir. Düşük gerilim bölgesinde kaçak akımlar etkin olduğundan lineer bir davranış gözlenmeyecektir. Yukarıda belirtildiği gibi yüksek gerilim bölgesindeyse  $\ln(I) - V$  eğrisinde  $R_s$ 'den dolayı bir bükülme meydana gelecektir. Orta gerilim bölgesinde ise  $\ln(I) - V$  eğrisi genelde lineer bir davranış göstermektedir.

$\ln(I) - V$  grafiğinde, termal emisyonun geçerli olduğu bölgede lineer bir değişim sergilemektedir. Termal emisyon bölgesinin belirgin olmama nedeni özellikle yüksek seri direnç ve sızıntı akımıdır. Sızıntı akımı sıcaklıkla arttığından böyle bir durum varsa bu etkiden kurtulmak için diyotu düşük sıcaklıklarda test etmek gerekmektedir. Seri direnç ( $R_s$ ), arayüzey tabakası ve arayüzey durumlarından dolayı, yüksek gerilimde metal/yarıiletken doğrultucu yapıların I-V karakteristiğinde beklediğimiz değerlerden bir kayma olmasına neden olmaktadır. Bu durum lineer olması istenen I-V karakteristiğinin yüksek gerilimlerde parabolik bir değişim göstermesi olarak

açıklanmaktadır. Burada yapılan ölçümler ve hesaplamalar göstermiştir ki bu ve buna benzer yapılar üzerinde arayüzey durumlarının, seri direnç ve yalıtkan tabakanın I-V ölçümlerinde etkisi azımsanmayacak kadar çoktur. Bu nedenle elektriksel karactersizlik analizi yapılırken bu parametrelerin kesinlikle göz ardı edilmemesi sonuçların daha doğru ve daha güvenilir olması açısından son derece önem arz etmektedir.

İdealite faktörümüzün 1 değerine yaklaşma eğilimi göstermesi durumunda akımın, TE teorisine göre ideal oluşunun göstergesi olarak kabul edilir. Verilerimize bakıldığında idealite faktörünün bu değerden büyük olduğu tespit edilmiştir. İdealite faktörümüzün yüksek değerde olması, diyotun ideallikten uzaklaşması anlamına gelmektedir. Bu değer ideal bir Schottky diyottan daha çok metal/yarıiletken yapısına uymaktadır. İdealite faktörün değerinin yüksek olmasının nedenlerden bazıları şunlardır. Arayüzeyinde üretim esnasında oluşacak kusurların yanı sıra arayüzey katkılanması ya da özel arayüzey yapıdan kaynaklanan arayüzey dipollerini içeren mekanizmalardan kaynaklanmaktadır. İmaj kuvvetinin etkisi, rejenerasyon-rekombinasyon ve tünelleme akım değeri de idealite faktörümüzün büyük çıkmasının nedenlerindedir. Ayrıca seri dirençte diyotun idealite faktörünü etkilemektedir (Aydın, 2010).

I-V ölçümlerinden elde ettiğimiz engel yüksekliklerinde, belirli büyüklüklerdeki yüzey alanı için homojen olmayan farklı engel yüksekliklerine sahip çok küçük bölgesel Schottky engellerinin olduğu varsayılmaktadır. Akım daima küçük engel yüksekliklerinden daha kolay geçer. Bu nedenden dolayı ölçülen akım, genellikle küçük engel yüksekliği olan potansiyelleri temsil etmektedir. Bu varsayımlarla I-V ölçümlerinden bulduğumuz engel yüksekliğinin daha küçük olması beklenmektedir. Ayrıca ölçülen engel yükseklikleri engel alçalmalarını da kapsamaktadır.

Sonuç olarak Al/p-Si kontak yapımıza ait verilerden elde edilen parametrelere ve eğrilerimize bakılarak, yapılmış olan benzeşim programımızı karşılaştırdığımızda programımızdan sağlıklı sonuçlar alındığı gözlenmiştir. Çalışmamızdan amacına uygun olarak dönütler alınmasıyla birlikte deneysel verilerin doğruluğunu karşılaştırmada hızlı ve güvenilir sonuçlar elde edilmiştir.



## KAYNAKLAR

- Anonim, 2002, Visual studio [online], <http://www.nedir.com/visual-studio> [Ziyaret Tarihi: 12 Şubat 2017].
- Anonim, 2008, Memurahval [online], <http://www.memurahval.com/kultur/simulasyon-nedir-simulasyon-nerelerde-kullanilir-simulasyon-hakkinda-detayli-bilgi-h2778.html> [Ziyaret Tarihi: 2 Kasım 2017].
- Anonim, 2010, Simülasyon nedir [online], <https://www.nedir.com/simulasyon> [Ziyaret Tarihi: 20 Haziran 2017].
- Anonim, 2013, Neden C# [online], <https://www.frmtr.com/programlama/5485071-nedenmi-c.html> [Ziyaret Tarihi: 20 Ekim 2017].
- Anonim, 2014, Diyot nedir [online], <http://www.elektrikrehberiniz.com/elektronik/diyot-nedir-10343/>[Ziyaret Tarihi: 17 Şubat 2017].
- Anonim, 2015, Fotoelektrik etki [online], <http://www.gtu.edu.tr/Files/UserFiles/90/MF3-Fotoelektrk.pdf> [Ziyaret Tarihi: 5 Mart 2017].
- Anonim, 2015, Fotoelektrik Olay [online], <http://www.onlinefizik.com/fotoelektrik-olay/> [ Ziyaret Tarihi: 5 Eylül 2017].
- Anonim, 2015, Jeofizikte Bilgisayar Uygulamaları [online], [https://iujfk.files.wordpress.com/2012/11/fortran\\_ders-notlar\\_1n.ppt](https://iujfk.files.wordpress.com/2012/11/fortran_ders-notlar_1n.ppt) [Ziyaret Tarihi: 5 Haziran 2017].
- Anonim, 2016, İş Fonksiyonu Nedir [online], <http://www.derszamani.net/is-fonksiyonu-nedir.html> [Ziyaret Tarihi: 4 Şubat 2017].
- Anonim, 2016, Pascal [online], [https://tr.wikipedia.org/wiki/Pascal\\_\(programlama\\_dili\)](https://tr.wikipedia.org/wiki/Pascal_(programlama_dili)) [ Ziyaret Tarihi:20 Nisan 2017].
- Anonim, 2016, Programlama Temelleri/Programlama Araçları [online], [https://tr.wikibooks.org/wiki/Programlama\\_Temelleri/Programlama\\_Ara%C3%A7lar%C4%B1](https://tr.wikibooks.org/wiki/Programlama_Temelleri/Programlama_Ara%C3%A7lar%C4%B1) [Ziyaret Tarihi: 20 Mart 2017].
- Aran, H., 2006, Programlama Dili Nedir? Türleri Nelerdir[online], <http://www.bilgiustam.com/programlama-dili-nedir-turleri-nelerdir/> [Ziyaret Tarihi: 12 Ocak 2017].
- Asubay, S., 2008, tez.yok.gov.tr. [online], <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi> [Ziyaret Tarihi: 12 Nisan 2017].

- Aydın, S. G., 2010, tez.sdu.edu.t. [online], <http://tez.sdu.edu.tr/Tezler/TF01352.pdf> adresinden [Ziyaret Tarihi: 12 Şubat 2017].
- Bozkaplan, C., 2011, Ag/ZnO/p-Si Yapısının Elektriksel Karakterizasyonu. [online], [kutup.dicle.edu.tr/ekitap/0045868.pdf](http://kutup.dicle.edu.tr/ekitap/0045868.pdf) [Ziyaret Tarihi: 2 Mart 2017].
- Bozkurt, S., 2011, C# nedir? C# ile Neler Yapılabilir? [online], <http://www.teknokoliker.com/2011/11/c-nedir-c-temelleri-nelerdir.html> [Ziyaret Tarihi: 2 Nisan 2017].
- Bozkurt, S., 2012, Diyot Nedir? Çeşitleri ve Kullanım Alanları Nelerdir [online], <http://www.teknokoliker.com/2012/01/diyotturlerivecesitleri.html> [Ziyaret Tarihi: 6 Temmuz 2017].
- Çuha, B., 2010, Au/N-Si(111) Schottky Kontakların Elektriksel Karakteristiklerinin Geniş Bir Sıcaklık Aralığında İncelenmesi. [online], [http://www.acikarsiv.gazi.edu.tr/File.php?Doc\\_ID=6261](http://www.acikarsiv.gazi.edu.tr/File.php?Doc_ID=6261) [Ziyaret Tarihi:14 Mart 2017].
- Dağdelen ve ark., 2015, Yüksek Sıcaklıklarda Ag/n-GaP Schottky Diyotunun. [online], <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/article/download/630/562> [Ziyaret Tarihi: 25 Mart 2017].
- Duman ve ark., 2013, Fotovoltaik Enerji Sistemlerinin Modellenmesi, Benzetimiveuygulaması.[online],<http://www.teknodergi.duzce.edu.tr/Dokumanlar/fdd75530-dc19-437c-a2ad-bfb61cd87e00.pdf> [Ziyaret Tarihi: 20 Eylül 2017].
- Güngör ve Türkmenoğlu, 2014, Matlab Simulink & GUI ile PV Hücre Simülasyonu. [online], [http://www.emo.org.tr/ekler/b00f9565f067bc8\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/b00f9565f067bc8_ek.pdf) [Ziyaret Tarihi:15 Şubat 2017].
- İnal ve ark., 2015, elektrikport [online], <http://www.elektrikport.com/teknikkutuphane/schottky-diyot-nedir--elektrikport-akademi/10059#ad-image-0> [Ziyaret Tarihi:4 Kasım 2017].
- Jaleel, A., Nazar, A., Omega, A. R., 2012, Simulation on maximum power point tracking of the photovoltaic module using LabVIEW, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, 1(3), 190-199.
- Jiang, Y., Qahouq, J. A. A., Orabi, M., 2011, Matlab/Pspice hybrid simulation modeling of solar PV cell/module, 2011 Twenty-Sixth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 1244-1250
- Kalınsaz, İ., 2011, Visual Studio 2010'u çok seveceksiniz. [online], <https://blog.kodcu.com/2011/05/visual-studio-2010u-cok-seveceksiniz/> [Ziyaret Tarihi: 10 Mart 2017].
- Kaya, İ., 2010, Metal-Yarıiletken Schottky Diyotların Elektriksel Karakteristiklerin Frekans ve Sıcaklığa Bağlı İncelenmesi: [online],

[http://www.acikarsiv.gazi.edu.tr/File.php?Doc\\_ID=3385](http://www.acikarsiv.gazi.edu.tr/File.php?Doc_ID=3385) [Ziyaret Tarihi: 25 Mayıs 2017].

Krismadinata, Nasrudin, A. R., Hew, W. P., Jeyraj, S., (2013). Photovoltaic module modeling using simulink/matlab, *Procedia Environmental Sciences*, 17, 537-546.

Okumuş ve Şahin, 2013, Güneş Pili Modülünün Matlab/Simulink ile Modellenmesi ve Simülasyonu [online], <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/63844> [Ziyaret Tarihi: 20 Eylül 2017].

Özden, Ü. H., 2015, unalozden [online], <http://www.unalozden.com/Download/simulasyon.pdf> [Ziyaret Tarihi:2 Eylül 2017].

Pakma, O., 2008.Metal/Tio<sub>2</sub>/C-Si/Metal Yapılarında Yüzey Sartlarının [online], [https://www.google.com.tr/#safe=active&q=osman+pakma+tez+ankara&\\*](https://www.google.com.tr/#safe=active&q=osman+pakma+tez+ankara&*) [Ziyaret Tarihi: 2 Haziran 2017].

Sağlam, M., 2001, Metal-okisit-yarıiletken yapıların teorisi 1,2. [online], [http://apbs.mersin.edu.tr/files/samedcetinkaya/Theses\\_001.pdf](http://apbs.mersin.edu.tr/files/samedcetinkaya/Theses_001.pdf)[Ziyaret Tarihi:20 Şubat 2017].

Soliman, A. M., Alsari, M. M., Reda, E. I., Alhammadi, R. M., (2012). Matlab modeling and simulation of photovoltaic modules, 2012 IEEE 55th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), 786-789

Samancı, B., 2016, Programlama Dilleri [online], <http://www.barissamanci.net/Makale/42/programlama-dilleri/> [Ziyaret Tarihi:5 Eylül 2017].

Taşkın, S., 2014, Fotoelektrik Olay [online], <http://fizikmakaleleri.blogspot.com.tr/2013/09/fotoelektrik-olay.html> [Ziyaret Tarihi:12 Nisan 2017].

Uslu, N., 2011, Işığın,P3ht Poly(3-Hexylthiophene) Organik Filmiile. [online], <http://kutup.dicle.edu.tr/ekitap/0045867.pdf> [Ziyaret Tarihi:10 Mart 2017].

Yıldırım ve ark., 2017, Au/n-Si Schottky Diyotlarında Termal Tavlama ve Numune Sıcaklığının Akım-Gerilim Karakteristiklerine Etkileri. [online], <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/298416> [Ziyaret Tarihi:5 Haziran 2017].

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Anıl MERMER  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : ADANA/04.12.1990  
**Telefon** : 0551 604 73 72  
**Faks** : -  
**e-mail** : anil\_mermer\_1990@hotmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Çukurova Elektrik MTAL	Seyhan	ADANA	2008
Üniversite	: Dumlupınar Üniversitesi	Simav	KÜTAHYA	2013
Yüksek Lisans	: -			
Doktora	: -			

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014-	Beşiri Mesleki Ve Teknik Anadolu Lisesi	Bilişim Teknolojileri Öğretmeni

### YABANCI DİLLER

İngilizce(Orta Düzey)