

T.C.
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

**TEMİZ HAVA ORTAMINA MARUZ BIRAKILMIŞ
n-Si VE n-GaP YARIİLETKENLERDEN ÜRETİLMİŞ
SCHOTTKY DİYOTLARIN KARAKTERİSTİKLERİNE
ARAYÜZEY OKSİT TABAKA KALINLIĞININ ETKİSİ**

DOKTORA TEZİ

HAZIRLAYAN: ABDULKADİR KORKUT
DANIŞMAN : Yrd. Doç. Dr. Bahri BATI

VAN-2015

T.C.
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

**TEMİZ HAVA ORTAMINA MARUZ BIRAKILMIŞ
n-Si VE n-GaP YARIİLETKENLERDEN ÜRETİLMİŞ
SCHOTTKY DİYOTLARIN KARAKTERİSTİKLERİNE
ARAYÜZEY OKSİT TABAKA KALINLIĞININ ETKİSİ**

DOKTORA TEZİ

HAZIRLAYAN: ABDULKADİR KORKUT

Bu çalışma YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından **2014-FBE-D008**
No'lu proje olarak desteklenmiştir.

VAN-2015

KABUL VE ONAY SAYFASI

Fizik Anabilim Dalı'nda Yrd. Doç. Dr. Bahri BATİ danışmanlığında, **ABDULKADİR KORKUT** tarafından sunulan “**Temiz Hava Ortamına Maruz Bırakılmış n-Si ve n-GaP Yarıiletkenlerden Üretilmiş Schottky Diyotların Karakteristiklerine Arayüzey Oksit Tabaka Kalınlığının Etkisi**” isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 15/01/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile başarılı bulunmuş ve **Doktora** tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan:
Prof. Dr. Abdulmecit Türüt

İmza:



Üye:
Prof. Dr. Cabir TEMİRCİ

İmza:



Üye:
Prof. Dr. Fethi SOYALP

İmza:



Üye:
Doç. Dr. Nezir YILDIRIM

İmza:



Üye:
Yrd. Doç. Dr. Bahri BATİ (Danışman)

İmza:



Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .../.../..... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

.....

Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

(İmza)

Abdulkadir KORKUT



ÖZET

TEMİZ HAVA ORTAMINA MARUZ BIRAKILMIŞ n-Si VE n-GaP YARIİLETKENLERDEN ÜRETİLMİŞ SCHOTTKY DİYOTLARIN KARAKTERİSTİKLERİNE ARAYÜZEY OKSİT TABAKA KALINLIĞININ ETKİSİ

KORKUT, Abdulkadir
Doktora Tezi, Katıhal Fiziği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Bahri BATI
Aralık 2015, 201 Sayfa

Bu araştırmada deneysel olarak, üç (3) grup Omik kontaklı diyot üretilmiş, 1. grup diyot, Cu/n-Si/Al sekiz (8) adet diyot 64 günde (0, 2, 4, 8, 16, 32, 48, 64) günlerinde, 2. grup diyot, Cu/n-Si/Al onüç (13) adet diyot 36 günde (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36) günlerinde, 3. grup diyot, Pd/n-GaP/InZnSb onüç (13) adet diyot 36 günde (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36) günlerinde “havaya maruz bırakılmış (air-exposed) Schottky diyotlar üretilmiştir. Metal/yarıiletken MS arayüzeyinin kalınlığının; I-V (akım-voltaj), C-V (sığa-voltaj), C^{-2} -V (terskare sığa-voltaj), G-V (konduktans-voltaj), C-f (sığa-frekans) ve diğer değişkenlerin karakteristik grafikleri çizilmiş, grafiklerden elde edilen parametreler yardımıyla hesaplamalar yapılmış arayüzeyin kalınlık etkisinin, karakteristiklerde önemli değişimler oluşturduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Schottky Diyot, Havaya Maruz Bırakma, Arayüzey Tabaka Kalınlığı, n-GaP, Cu/n-Si/Al, Pd/n-GaP/InZnSb.

ABSTRACT

EFFECT ON CHARACTERISTICS SCHOTTKY DIODES OF INTERFACE OXIDE LAYER THICKNESS MADE FROM n-Si AND n-GaP SEMICONDUCTORS AT CLEAN ROOM MEDIA AIR-EXPOSED

KORKUT, Abdulkadir
Ph.D. Thesis, Solid State Physics Branch
Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Bahri BATI
December 2015, 201 pages

In this work as experimental, three (3) group ohmic contacted diodes were produced. First group diodes, Cu/n-Si/Al eight(8) pieces 64 on days (0, 2, 4, 8, 16, 32, 48, 64) selected process days, second group diodes, Cu/n-Si/Al thirteen(13) pieces 36 on days (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36) selected process days, third group diodes, Pd/n-GaP/InZnSb thirteen (13) pieces 36 on days (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36) selected process days “ by air-exposed methods have been Schottky contacted Cu metal to first and second group, Pd to third group. All of graphics belonging to parameters sloped; I-V (current-voltage), C^{-2} -V (reverse square capacitance-voltage), G-V (conductance-voltage), C-f (capacitance-frequency) and others parameters. By aid of obtaining diode parameters calculations have been done. It was seen that the air-exposed showed significant changing on the characteristics.

Keywords: Schottky diode, Ar-exposed, n-GaP, Tickness of Iterfacial, Cu/n-Si/Al, Pd/n-GaP/InZnSb.



ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Yrd.Doç.Dr. Bahri BATI'ya teşekkür ederim.

Yarıiletken Aygıt Üretimi ve Karakterizasyonu Laboratuvarına vermiş olduğu destek nedeniyle Fen Fakültesi Dekanı Prof.Dr. Cemil Tunç'a ve onun şahsında yardımlarını esirgemeyen görevli personele teşekkür ederim. Fen Fakültesi Kimya Bölümü öğretim üyesi Yrd.Doç.Dr. Mehmet GÜLCAN'a ve onun şahsında Kimya Bölümü Öğretim Üyelerine gösterdikleri hoşgöründen dolayı teşekkür ederim. Her zaman bizlere desteğini esirgemeyen YYÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne, yönetim kadrosuna ve memurlarına şükranlarımı sunarım. YYÜ Bilimsel Araştırmalar Proje Başkanlığına ve Personeline şükranlarımı sunarım. Yine desteklerini esirgemeyen YYÜ Kütüphanesi Başkanlığına ve personeline teşekkürlerimi sunarım. Malzeme ve tedarik sürecinde; destek sağlayan “Öncü Mobilya Aksesuar”, “Öncü Mobilya”, “Güçlü Cıvata”, “ESVAN Kolonya”, ”Akın Rekor”, ”Oto65”, “Öz Usta” yönetici ve çalışanlarına gösterdikleri hoşgöründen dolayı şükranlarımı sunarım. Kristal Malzeme tedarikinde büyük destek sağlayan “3MN İnşaat”tan Mahir Endakçi'e şükranlarımızı sunarım. “Bilişim Makine”den her türlü torna tesviye işlerimizi yapan “Kerim Dursun Usta”mıza sonsuz teşekkürler ederim.

2015

Abdulkadir KORKUT



İÇİNDEKİLER

Başlık	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xix
EKLER DİZİNİ	xxv
1. GİRİŞ	1
2. METAL-YARIİLETKEN KONTAKLAR	11
2.01. İş Fonksiyonuna Göre MS Kontak Tipleri	11
2.02. Kontak Tiplerinin Fiziksel Açıklaması	11
2.03. Schottky Diyotun Oluşması, Diyotun Fiziksel Açıklaması	13
2.04. Arınma Bölgesinin Uzunluğu	16
2.05. Diyotun Düz ve Ters Beslenmesi	16
2.06. Tersinme Tabakası (Inversion layer)	17
2.07. Alan Olayı	18
2.08. Metal-Yarıiletken Doğrultucu Kontakta Potansiyel Dağılımı ve Schottky Sığası	20
2.09. Schottky Diyotlarının Kapasitans-Gerilim Karakteristikleri	24
2.10. Schottky Engeli	27
2.11. Akım İletim Mekanizmaları	36
2.12. Termiyonik Emisyon Modeli	37
2.13. Termiyonik Emisyon Modelinin Geçerlilik Ölçütü	40
2.14. Nss Arayüzey Hallerinin Bulunması	41
2.15. Schottky Engelinde Tünelleme	42
2.16. Metal-Yarıiletken Yapıların Fiziği	45
2.17. Alan Etkisi Nedeniyle Potansiyel Engeli Alçalması	45
2.18. Akım-Gerilim Verilerinden Diyot Parametrelerinin Hesaplanması	48
2.19. Cheung Fonksiyonlarının Belirlenmesi	49
2.20. Kapasite-Gerilim Ölçümlerinden Diyot Parametrelerinin Hesaplanması	51
3. MATERYAL ve YÖNTEM	55
3.01. Giriş	55

3.02. Kristal ve Araç-Gerecin Temizlenmesi	55
3.2.01. n-Si Kristalinin Temizlenmesi	55
3.2.02. n-GaP Kristalinin Temizlenmesi	56
3.2.03. Kontak yapımında Kullanılacak Araç-Gerecin Temizlenmesi	57
3.03. Kontak Takviminin Hazırlanması ve Havaya Maruz Bırakma Yöntemi	57
3.04. Omik Kontak ve Schottky Kontak İşlemi	58
3.05. Veri Alma İşlemleri	59
3.06. Veri İşleme ve Grafiklerin Çizimi	60
3.07. Grafiklerde Simgeleme	60
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	61
4.01. 64 Günlük Cu/n-Si/Al Diyotlarına Ait Karakteristik Grafikler	61
4.02. 64 Günlük Cu/n-Si/Al Diyotlarına Ait Bulgusal Grafikler	67
4.03. 36 Günlük Cu/n-Si/Al Diyotlarına Ait Karakteristik Grafikler	71
4.04. 36 Günlük Cu/n-Si/Al Diyotlarına Ait Bulgusal Grafikler	78
4.05. 36 Günlük Pd/n-GaP/InZnSb Diyotlarına Ait Karakteristik Grafikler	82
4.06. 36 Günlük Pd/n-GaP/InZnSb Diyotlarına Ait Bulgusal Grafikler	91
5. BULGULAR ve TARTIŞMA	97
5.01. Cu/n-Si/Al (64 gün) Diyotunun Bulgularının Tartışılması	97
5.02. Cu/n-Si/Al (36 gün) Diyotunun Bulgularının Tartışılması	97
5.03. Cu/n-SiAl (64-36 gün) Diyotunun Bulgularının Tartışılması ve Karşılaştırılması	99
5.3.01. İdealite Çarpanı	99
5.3.02. Engel Yüksekliği	102
5.3.03. Engel Yüksekliği Farkı	105
5.3.04. Fermi Enerjisi	107
5.3.05. Oksit Kalınlığı	109
5.3.06. Sığa	112
5.3.07. Karakteristik Enerjisi	114
5.3.08. Arınma Bölgesi Uzunluğu	116
5.3.09. Arayüzey Hal Yoğunluğu	118
5.3.10. Donor Yük Yoğunluğu	121
5.3.11. Seri Direnç	123
5.3.12. Built-in Potansiyel	125
5.4. Pd/n-GaP/InZnSb (36 gün) Diyotunun Bulgularının Tartışılması	127

5.4.05.	İdealite Çarpanı	129
5.4.08.	Engel Yüksekliği	133
5.4.09.	Engel Yüksekliği Farkı ($\Delta\Phi_0$), ($V_a=0$ 'da)	137
5.4.10.	Sığa (C_0), ($V_a=0$ 'da).....	139
5.4.11.	Arınma Bölgesi Uzunluğu (L_0), ($V_a=0$ 'da).....	141
5.4.14.	Fermi Enerjisi	143
5.4.15.	Donor Katkı Konsantrasyonu	145
5.4.16.	Arayüzey Hal Yoğunluğu.....	147
5.4.17.	Seri Direnç.....	149
5.4.18.	Built-in Potansiyeli.....	151
5.4.19.	Arayüzey Oksit Kalınlığı.....	153
5.4.20.	Karakteristik Enerjisi.....	155
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	157
	SONUÇLAR.....	157
	ÖNERİLER	159
	KAYNAKLAR.....	161
Ek-1.	Fermi Dağılım Fonksiyonu ve Hal Yoğunluğu Dağılımı	169
Ek-2.	Laboratuvarımızda Bulunan Uluslar Arası Standarda Sahip Cihazlar	170
Ek-3.	AGILENT 4294A 40Hz-110 Mhz Precision Impedance Analyzer: Uygulama Yöntemleri	171
Ek-4.	AGILENT 4294A 40Hz-110 Mhz Precision Impedance Analyzer'da Ölçülebilen Değişkenler	174
Ek-5.	AGILENT 4294A 40Hz-110 Mhz Precision Impedance Analyzer'da Ölçülebilen Değişkenlerin Grafik Örnekleri.....	175
Ek-6.	Hesaplamalarda Kullanılan Fiziksel Sabitler.....	177
	ÖZGEÇMİŞ.....	178

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.01. İş fonksiyonlarına göre doğrultucu ve doğrultucu olmayan kontak.....	11
Çizelge 2.02. Bazı yaygın metallerin elektronegativiteleri ve iş fonksiyonları.....	35
Çizelge 3.03. Schottky kontak üretim takvimi, Cu/n-Si/Al(64). (takvim günü, gün sayısı) (22/ Ekim /2014-25/Aralık /2014).	57
Çizelge 3.04. Schottky kontak üretim takvimi a) Cu/n-Si/Al (36), (resmi takvim, gün sayısı) (16/ Şubat/2015-02/Nisan/2015).	58
Çizelge 3.05. Pd/n-GaP/InZnSb diyotuna ait Schottky kontak üretim takvimi (resmi takvim, gün sayısı) (08/ Temmuz/2015-13/Ağustos/2015).	58
Çizelge 5.06. Cu/n-Si/Al diyotu için diyot karakteristiklerine ait grafik türleri.....	98
Çizelge 5.07. Cu/n-Si/Al diyotu için hesaplamalara dayalı bulgusal grafikler	98
Çizelge 5.08. İdealite çarpanı-gün sayısı çizelgesi.....	100
Çizelge 5.09. Engel yüksekliği-gün sayısı çizelgesi.....	104
Çizelge 5.10. Engel yüksekliği farkı ($\Delta\Phi$)-gün sayısı çizelgeleri ($V_a=0$).	106
Çizelge 5.11. Fermi seviyesi (E_F)-gün sayısı çizelgeleri.....	108
Çizelge 5.12. Oksit kalınlığı (δ_{ok})-gün sayısı çizelgesi ($V_a=0$) ($\times 10^{-10}$ m, 1 Å).	110
Çizelge 5.13. Sığa (C_0)-gün sayısı çizelgesi ($V_a=0$).	113
Çizelge 5.14. İşleyiş Enerjisi ($E_{00}/k_B T$)-gün sayısı çizelgesi (Birimsiz).	115
Çizelge 5.15. Arınma Bölgesi Uzunluğu (L_0)-gün sayısı çizelgesi ($V_a=0$).	117
Çizelge 5.16. Arayüzey hal yoğunluğu (N_{ss})-gün sayısı çizelgeleri.....	119
Çizelge 5.17. Donor katkı yoğunluğu (DKY) (N_D)-gün sayısı çizelgesi.	122
Çizelge 5.18. Seri direnç-gün sayısı çizelgesi.	124
Çizelge 5.19. Built-in Potansiyeli (V_{bi})-gün sayısı çizelgesi.....	126
Çizelge 5.20. Pd/n-GaP/InZnSb diyotunun karakteristiklerine ait grafik türleri.....	127
Çizelge 5.21. Pd/n-GaP/InZnSb diyotunun bulgusal verilere dayalı grafik türleri.	128
Çizelge 5.22. İdealite çarpanı-gün sayısı çizelgeleri. Pd/n-GaP/InZnSb (36g).	131
Çizelge 5.23. Engel yüksekliği-gün sayısı çizelgesi. Pd/n-GaP/InZnSb (36g).	135
Çizelge 5.24. Engel yüksekliği farkı ($\Delta\Phi$)-gün sayısı çizelgesi ($V_a=0$), Pd/n-GaP/InZnSb (36g).	138

Çizelge 5.25. Sığa (C_0)-gün sayısı çizelgeleri ($V_a=0$), Pd/n-GaP/InZnSb (36).....	140
Çizelge 5.26. Arınma Bölgesi Uzunluğu (L_0)-gün sayısı çizelgesi ($V_a=0$), Pd/n-GaP/InZnSb (36).	142
Çizelge 5.27. Fermi seviyesi (E_F)-gün sayısı çizelgesi, Pd/n-GaP/InZnSb (36).	144
Çizelge 5.28. Donor katkı yoğunluğu-gün sayısı çizelgesi, Pd/n-GaP/InZnSb (36)....	146
Çizelge 5.29. Arayüzey hal yoğunluğu-gün sayısı çizelgesi, Pd/n-GaP/InZnSb (36)..	148
Çizelge 5.30. Seri direnç-gün sayısı çizelgesi, Pd/n-GaP/InZnSb(36).....	150
Çizelge 5.31. Built-in potansiyeli (V_{bi})-gün sayısı çizelgesi, Pd/n-GaP/InZnSb (36)..	152
Çizelge 5.32. Oksit kalınlığı-gün sayısı çizelgesi ($V_a=0$), Pd/n-GaP/InZnSb (36).	154
Çizelge 5.33. Karakteristik Enerjisi ($E_{00}/k_B T$)-gün sayısı çizelgeleri, Pd/n-GaP/InZnSb (36) (Birimsiz).	156

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.01. (a) Metal/n-tip Yarıiletken doğrultucu kontak (Schottky kontak), (b) Metal/n-tip yarıiletken Omik kontak, (c) Metal/p-tip yarıiletken doğrultucu kontak (Schottky kontak), (d) Metal/p-tip Yarıiletken Omik kontak, (Caferov, 2000).....	12
Şekil 2.02. Gerçek Schottky diyota ait değişkenlerin düz band gösterimi (Sze, 1981)..	14
Şekil 2.03. Kontak (a) öncesi, (b) sonrası (dikine tek tabakalı diyot) (Barlow, 2007)..	15
Şekil 2.04. (a) Metal-yarıiletken doğrultucu kontakın enerji-bant diyagramı ($V=0$, (V_{bi})), (b) düz besleme; Fermi seviyesi ve iletkenlik bandı V_a kadar yukarıya yükselir ($V>0$, $(V_{bi}-V_a)$). (c) ters besleme; Fermi seviyesi ve iletkenlik bandı V_a kadar aşağıya iner ($V<0$, $(V_{bi}+V_a)$), (Caferov, 2000).....	15
Şekil 2.05. Tersinme tabakalı metal/n-tip yarıiletken kontakın enerji band diyagramı (Caferov, 2000).....	17
Şekil 2.06. Metal-Yalıtkan-Yarıiletken yapıda alan olayı (Caferov, 2000).	18
Şekil 2.07. Schottky diyotun arınma bölgesi kalınlığı (Caferov, 2000).....	22
Şekil 2.08. Schottky diyotun arınma bölgesinde; uzay yükü, elektrik alanı, potansiyeli iletkenlik bandı sınırı.....	23
Şekil 2.09. (a) Schottky diyotun eşdeğer devresi (Shur, 1990), (b) p-n eklem diyotunun eşdeğer devresi (Shur, 1990), (c) PIN diyotun eşdeğer devresi (C_b : by-pass sığa) (Agilent Tech, 2015), (d) MIS diyotun eşdeğer devresi (Yüzey halleri yokken), (e) MIS diyotun eşdeğer devresi (yüzey halleri varken) (Shur, 1990; Ziel, 1968).	25
Şekil 2.10. C^{-2} -V grafiğinin uyum doğrusunun (fit) eğimi.....	26
Şekil 2.11. Yarıiletkenin yüzeyinde potansiyel dağılımı (Shur, 2010).	28
Şekil 2.12. (a) Basitleştirilmiş Metal/Yarıiletken engelinin enerji bandı resimlemesi, (b) Metal/ Yarıiletken sınırında yüzey halleri (Shur, 2010).....	33
Şekil 2.13. Malzemenin iyonikliğinin ölçüsü olan elektronegativite farkının S^* indisine göre grafiği (Kurtin ve ark., 1969; Sharma, 1984; Mönch, 1995, 1999, 2004).	34
Şekil 2.14. Metal/n-tipi yarıiletkende (a) doğru besleme altında, (b) ters besleme altında akım iletim mekanizmaları; 1) TE (termiyonik emisyon), 2) TEF (termiyonik-alan emisyonu, 3) FE(alan emisyonu) (Sze ve Ng, 2007).....	36
Şekil 2.15. Katkı konsantrasyonuna göre akım iletim durumları.....	43

Şekil 2.16. Metal/n-tipi yarıiletkende doğru besleme altında temel akım iletim mekanizmaları; 1) termiyonik emisyon, 2) engel içinde tünelleme, 3) rekombinasyon, 4) elektron difüzyonu, 5)deşik enjeksiyonu, (Sze ve Ng, 2007).....	43
Şekil 2.17. Katkı yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak, kT ve E_{00} resimlemesi (Schroder, 2006).	44
Şekil 2.18. Uygulama voltajının $V>0$ olması halinde metal-yarıiletken doğrultucu kontakta bir taşıyıcı için potansiyel engelinin değişimi (Shur, 1990).	47
Şekil 2.19. I-V grafiğinde idealite çarpanının (n_{if}) bölgesel değerleri (Baca, 2005).	50
Şekil 4.20. Cu/n-Si/Al(64) diyotun $\ln I$ -V grafiği.	61
Şekil 4.21. Cu/n-Si/Al(64) diyotun C_s -V grafiği.	61
Şekil 4.22. Cu/n-Si/Al(64) diyotun C_s^{-2} -V grafiği.	62
Şekil 4.23. Cu/n-Si/Al(64) diyotun C_s^{-2} -V uyum doğrusu(fit) grafiği.	62
Şekil 4.24. Cu/n-Si/Al(64) diyotun $C_s(\log)$ -f grafiği.	63
Şekil 4.25. Cu/n-Si/Al(64) diyotun $Q(\log)$ -V grafiği.	63
Şekil 4.26. Cu/n-Si/Al(64) diyotun $Q(\log)$ -f grafiği.	64
Şekil 4.27. Cu/n-Si/Al(64) diyotun $C_p(\text{lin})$ -V grafiği.	64
Şekil 4.28. Cu/n-Si/Al(64) diyotun $G(\log)$ -V grafiği.	65
Şekil 4.29. Cu/n-Si/Al(64) diyotun $C_p(\log)$ -f grafiği.	65
Şekil 4.30. Cu/n-Si/Al(64) diyotun $G(\text{lin})$ -f grafiği.	66
Şekil 4.31. Cu/n-Si/Al (64) diyotun $\Delta\Phi_{DB}$ - g_s ($0<V_a=V_{bi}$) grafikleri.	67
Şekil 4.32. Cu/n-Si/Al (64) diyotun $\Delta\Phi_{TB}$ - g_s ($-V_a=V_{bi}<0$) grafikleri.	67
Şekil 4.33. Cu/n-Si/Al(64) diyotun C - g_s ($V_a>0$; $V_a=V_{bi}$) grafikleri.	68
Şekil 4.34. Cu/n-Si/Al(64) diyotun C - g_s ($V_a<0$; $V_a=V_{bi}$) grafikleri.	68
Şekil 4.35. Cu/n-Si/Al(64) diyotun L - g_s ($V_a>0$; $V_a=V_{bi}$) grafikleri.	69
Şekil 4.36. Cu/n-Si/Al(64) diyotun L - g_s ($V_a<0$; $V_a=V_{bi}$) grafikleri.	69
Şekil 4.37. Cu/n-Si/Al(36) diyotunun Cheung fonksiyonlarının uyum doğruları ve akıma göre grafikleri. $Ch_1(dV/d\ln(I))-I$ grafiği.	70
Şekil 4.38. Cu/n-Si/Al(36) diyotunun Cheung fonksiyonlarının uyum doğruları ve akıma göre grafikleri. $Ch_2(H(I))-I$ grafiği.	70
Şekil 4.39. Cu/n-Si/Al(36) diyotun $I(\log)$ -V grafiği.	71
Şekil 4.40. Cu/n-Si/Al(36) diyotun C_s -V grafiği.	71

Şekil 4.41. Cu/n-Si/Al(36) diyotun C_s^{-2} -V grafiği.....	72
Şekil 4.42. Cu/n-Si/Al(36) diyotun C_s^{-2} -V uyum doğrusu grafiği.....	72
Şekil 4.43. Cu/n-Si/Al(36) diyotun Q(log)-V grafiği.....	73
Şekil 4.44. Cu/n-Si/Al(36) diyotun C_s (log)-f grafiği.....	73
Şekil 4.45. Cu/n-Si/Al(36) diyotun Q(log)-f grafiği.....	74
Şekil 4.46. Cu/n-Si/Al(36) diyotun C_p (log)-f grafiği.....	74
Şekil 4.47. Cu/n-Si/Al(36) diyotun G(log)-V grafiği.....	75
Şekil 4.48. Cu/n-Si/Al(36) diyotun C_p (lin)-f grafiği.....	75
Şekil 4.49. Cu/n-Si/Al(36) diyotun C_p (lin)-f grafiği.....	76
Şekil 4.50. Cu/n-Si/Al(36) diyotun G(lin)-f grafiği.....	76
Şekil 4.51. Cu/n-Si/Al(36) diyotun G(log)-f grafiği.....	77
Şekil 4.52. Cu/n-Si/Al(36) diyotun $\Delta\Phi_{DB}$ - g_s ($0 < V_a = V_{bi}$) grafiği.....	78
Şekil 4.53. Cu/n-Si/Al(36) diyotun $\Delta\Phi_{TB}$ - g_s ($-V_a = V_{bi} < 0$) grafiği.....	78
Şekil 4.54. Cu/n-Si/Al(36) diyotun C- V_a ($0 < V_a = V_{bi}$) grafiği.....	79
Şekil 4.55. Cu/n-Si/Al(36) diyotun C- V_a ($-V_a = V_{bi} < 0$) grafiği.....	79
Şekil 4.56. Cu/n-Si/Al(36) diyotun L_0 - V_a ($0 < V_a = V_{bi}$) grafiği.....	80
Şekil 4.57. Cu/n-Si/Al(36) diyotun L_0 - V_a ($-V_a = V_{bi} < 0$) grafiği.....	80
Şekil 4.58. Cu/n-Si/Al(36) diyotunun Cheung fonksiyonlarının uyum doğruları ve akıma göre grafikleri. $Ch_1(dV/d\ln(I))-I$ grafiği.....	81
Şekil 4.59. Cu/n-Si/Al(36) diyotunun Cheung fonksiyonlarının uyum doğruları ve akıma göre grafikleri. $Ch_2(H(I))-I$ grafiği.....	81
Şekil 4.60. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun $\ln I$ -V grafiği.....	82
Şekil 4.61. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun $\ln I$ -V grafiği ve uyum doğruları (fit).....	82
Şekil 4.62. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun C_s^{-2} -V grafiği.....	83
Şekil 4.63. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun C_s^{-2} -V grafiğine ait uyum doğruları (fit)....	83
Şekil 4.64. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun C_s (lin)-V grafiği.....	84
Şekil 4.65. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun Q(log)-V grafiği.....	84
Şekil 4.66. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun C_s (log)-f grafiği.....	85
Şekil 4.67. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun Q(log)-f grafiği.....	85

Şekil 4.68. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun $C_p(\text{lin})$ -V grafiği.....	86
Şekil 4.69. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun B(lin)-f grafiği.....	86
Şekil 4.70. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun G(lin)-f grafiği.	87
Şekil 4.71. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun B(lin)-V grafiği.	87
Şekil 4.72. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun G(log)-V grafiği.....	88
Şekil 4.73. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun $L_s(\text{log})$ -f grafiği.	88
Şekil 4.74. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun $R_s(\text{log})$ -f grafiği.....	89
Şekil 4.75. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun $L_s(\text{lin})$ -V grafiği.	89
Şekil 4.76. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun $R_s(\text{log})$ -V grafiği.....	90
Şekil 4.77. Pd/n-GaP/InZnSb(36) diyotun $\Delta\Phi_{DB-gs}$ ($0 < V_a = V_{bi}$) ve $\Delta\Phi_{TB-gs}$ ($-V_a = V_{bi} < 0$) grafiği (DB: a, c, e; TB: b, d, f).	91
Şekil 4.78. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun C_{DB-gs} ($0 < V_a = V_{bi}$) ve C_{TB-gs} ($-V_a = V_{bi} < 0$) grafiği (DB: a, c, e; TB: b, d, f).	92
Şekil 4.79. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun L_{DB-gs} ($0 < V_a = V_{bi}$) ve L_{TB-gs} ($-V_a = V_{bi} < 0$) grafiği (DB: a, c, e; TB: b, d, f).	93
Şekil 4.80. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotunun Cheung fonksiyonlarının uyum doğruları ve akıma göre grafikleri. $Ch_{11}(dV/d\ln(I))$ -I grafiği.	94
Şekil 4.81. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotunun Cheung fonksiyonlarının uyum doğruları ve akıma göre grafikleri. $Ch_{21}(H(I))$ -I grafiği.	94
Şekil 4.82. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotunun Cheung fonksiyonlarının uyum doğruları ve akıma göre grafikleri. $Ch_{12}(dV/d\ln(I))$ -I grafiği.	95
Şekil 4.83. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotunun Cheung fonksiyonlarının uyum doğruları ve akıma göre grafikleri. $Ch_{22}(H(I))$ -I grafiği.	95
Şekil 5.84. 64 gün ve 36 gün diyotlarının idealite çarpanları n_{if-gs} grafiği.	99
Şekil 5.85. İdealite çarpanı karşılaştırması yapmak için yeniden çizilen, idealite çarpanı-gün sayısı grafiği (Çetinkara, ve ark., 2003).	101
Şekil 5.86. 64 gün ve 36 gün diyotlarının engel yüksekliği grafiği (IV, CV ve Ch_2). .	102
Şekil 5.87. Engel Yüksekliği karşılaştırması yapmak için yeniden çizilen, engel yüksekliği-gün sayısı grafiği (Çetinkara, ve ark., 2003).	104
Şekil 5.88. 64 gün ve 36 gün diyotlarının $\Delta\Phi$ - g_s grafikleri.....	105
Şekil 5.89. 64 gün ve 36 gün diyotlarının E_F - g_s grafikleri.	107

Şekil 5.90. 64 gün ve 36 gün diyotlarının arayüzey oksit tabaka kalınlığının değişim grafiği.	109
Şekil 5.91. Oksit kalınlığı karşılaştırması yapmak için yeniden çizilen, oksit kalınlığı-gün sayısı grafiği (Çetinkara, ve ark., 2003).	111
Şekil 5.92. 64 gün ve 36 gün diyotlarının ($V_a=0$) durumunda C_0 - g_s grafikleri.	112
Şekil 5.93. 64 gün ve 36 gün diyotlarının E_{00} - g_s işleyiş enerjisi grafikleri.	114
Şekil 5.94. 64 gün ve 36 gün diyotlarının ($V_a=0$) durumunda L_0 - g_s grafikleri.	116
Şekil 5.95. 64 gün ve 36 gün diyotlarının arayüzey hal yoğunluğu grafikleri.	118
Şekil 5.96. Arayüzey hal yoğunluğu karşılaştırması yapmak için yeniden çizilen, arayüzey hal yoğunluğu-gün sayısı grafiği (Çetinkara, ve ark., 2003).	120
Şekil 5.97. 64 gün ve 36 gün diyotlarına ait N_D - g_s grafikleri.	121
Şekil 5.98. 64 gün ve 36 gün diyotlarının R_s - g_s grafikleri.	123
Şekil 5.99. 64 gün ve 36 gün diyotlarının V_{bi} - g_s grafikleri.	125
Şekil 5.100. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun n_{IV} - g_s , n_{Ch1} - g_s grafiği.	129
Şekil 5.101. İdealite çarpanı karşılaştırması yapmak için yeniden çizilen, idealite çarpanı-gün sayısı grafiği (Çetin ve Ayyıldız, 2007).	131
Şekil 5.102. İdealite çarpanı karşılaştırması yapmak için yeniden çizilen, idealite çarpanı-gün sayısı grafiği (Özdemir, 2002).	132
Şekil 5.103. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun Φ_{IV} - g_s , Φ_{CV} - g_s , Φ_{Ch2} - g_s grafiği.	133
Şekil 5.104. Engel yüksekliği karşılaştırması yapmak için yeniden çizilen, engel yüksekliği-gün sayısı grafiği (Çetin ve Ayyıldız, 2007).	135
Şekil 5.105. Engel yüksekliği karşılaştırması yapmak için yeniden çizilen, engel yüksekliği-gün sayısı grafiği (Özdemir, 2002).	136
Şekil 5.106. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun $\Delta\Phi_0$ - g_s grafiği.	137
Şekil 5.107. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun C_{01} - g_s , C_{02} - g_s , C_{03} - g_s grafiği.	139
Şekil 5.108. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun L_{01} - g_s , L_{02} - g_s , L_{03} - g_s grafiği.	141
Şekil 5.109. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun E_{F1} - g_s , E_{F2} - g_s , E_{F3} - g_s grafiği.	143
Şekil 5.110. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun N_{d1} - g_s , N_{d2} - g_s , N_{d3} - g_s grafiği.	145
Şekil 5.111. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun N_{ss1} - g_s , N_{ss2} - g_s , N_{ss3} - g_s grafiği.	147
Şekil 5.112. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun R_{s1} - g_s , R_{s2} - g_s , R_{s3} - g_s grafiği.	149
Şekil 5.113. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun V_{bi} - g_s grafiği.	151

Şekil 5.115. Oksit kalınlığı karşılaştırması yapmak için yeniden çizilen, oksit kalınlığı- gün sayısı grafiği (Çetin ve Ayyıldız, 2007).	154
Şekil 5.116. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun E_{00} - g_s grafiği.....	155
Şekil E.1.117. Hal yoğunluğu, Fermi dağılımı ve deşik ve elektronların yoğunluklarına ait grafikler; (a) Katkısız yarıiletken (b) n-tip katkılı yarıiletken (c) p-tip katkılı yarıiletken.....	169
Şekil E.5.118. Cp-G grafikleri.....	175
Şekil E.5.119. Cs-Rs grafikleri.....	175
Şekil E.5.120. R-X grafikleri.....	176
Şekil E.5.121. $ Z $ - θ_z grafikleri.....	176

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simge	Açıklama
ϕ_M	Metalin İş Fonksiyonu (Metalin Eşik Enerjisi)
ϕ_S	Yarıiletkenin İş Fonksiyonu (Yarıiletkenin Eşik Enerjisi)
ϕ_{Bn}	Engel Yüksekliği
ϕ_{B0}	Engel Yüksekliği (imaj düşmesi yokken)
ϕ_0	Yüzeyin enerji seviyesi
ϕ_n	Fermi seviyesinin içe-girim enerjisi ($E_c - E_{FS}$)
$\Delta\phi$	İmaj kuvvetiyle engel düşümü farkı
Δ	Arayüzey tabakasının karşı potansiyeli
W, L_0	Arınma Bölgesi Uzunluğu
D_{it}	Arayüzey-tuzak yoğunluğu
E_F	Fermi Enerjisi
χ	Yarıiletkenin Elektron İlgisi
$f(E)$	Fermi Dağılım Fonksiyonu
V_{bi}	Built-in Potential (Kontak Oluşum Gerilimi)
q, e	Elektrik Yüğü
E_c	İletkenlik Bandı Enerjisi
E_{FS}	Yarıiletkenin Fermi Seviyesi
Q_{ss}	Arayüzey Hal Yoğunluğu
ϵ_s	Yarıiletkenin Yalıtkanlık Sabiti
ϵ_i	Ortamın Yalıtkanlık Sabiti
δ, δ_{ox}	Arayüzey Kalınlığı, Oksit Kalınlığı

Simge	Açıklama
Q_{SC}	Yarıiletkendeki uzay-yük yoğunluğu
Q_M	Metalin yüzeyindeki yüzey-hal yoğunluğu
V_n	İçe-girim potansiyeli
l, l_{osy}	Ortalama Serbest Yol
I_0	Sızıntı akımı
I	Akım
V_a	Uygulama Voltajı
V_s, V_g	Yüzey Potansiyeli, Kapı Voltajı
d	Uzaklık
$C, C_{dep}, C_{sd}, C_{ss}$	Sığa (Capacitance), Arınma bölgesi Sığası, Yüzey Halleri Sığası
$\rho(x)$	Yük yoğunluğu
$E(x)$	Elektrik Alan
N_D	Donor Yük Yoğunluğu
$V(x)$	Değişken Potansiyel
C_{geo}	Sığanın Şekil Yapısı
C_d, C_{sc}, C_b	Kontak Sığası, Net Sığa, By-pass Sığa
G_d	Kontağın Kondüktansı
R_s, R_{gen}, R_{ss}	Seri Direnç, Diferansiyel Direnç, Yüzey Hal Yoğunluğu Direnci
L_s	Seri İndüktans
τ	Zaman Sabiti
n_{IF}, n_{if}	İdealite Çarpanı (Ideality Factor)
E_n	Elektron Enerjisi
k_B	Boltzmann Sabiti
T	Sıcaklık
f_v	Hız Dağılım Fonksiyonu

Simge	Açıklama
v	Hız
m_n, m_0	Elektronun Kütlesi
m_n^*	Elektronun Etkin Kütlesi
j_s	Akım Yoğunluğu
E_{vac}	Vakum Enerjisi
R^*	Richardson Sabiti
N_{ss}, N_s	Arayüzey Hal yoğunluğu
E_g	Yasak Enerji Aralığı
S_s^*	Metalin Elektronegatiflik Değişkeni
V_F	Düz Besleme Voltajı
ϕ_B^0	Düz Band Engel Yüksekliği
D_s	Arayüzey Hal Yoğunluğu
μ_n	Elektronun Hareketliliği (Mobility)
d_T	İndirgenmiş Uzaklık
D_n	Difüzyon Sabiti
β_r	Ters Besleme IV Eğimi
E_{00}	Karakteristik Enerji Değeri
$F(x)$	Kuvvet
$\Delta\Phi$	Engel Yüksekliği Farkı
Φ_b	Net Engel Yüksekliği Farkı
H_{Ch1}	Cheung Fonksiyonu 1
H_{Ch2}	Cheung Fonksiyonu 2
E_{Fi}	Band Ortası Fermi Enerjisi
n_0	Katkı Konsantrasyonu
N_c	İletkenlik Bandının hal yoğunluğu

Simge	Açıklama
n_i	Asal Taşıyıcı Konsantrasyonu
n_{0i}	Asal Donor Konsantrasyonu
ρ	Özdirenç
Q	Kalite Çarpanı
C_0	Sığa ($V_a=0$)
f	Frekans
$ Z $	Empedans Genliği (mutlak değer)
$ Y $	Admitans Genliği (mutlak değer)
θ_z	Empedans Fazı
θ_y	Admitans Fazı
Z	Empedans (kompleks sayı, $R+jX$)
Y	Admitans (kompleks sayı, $G+jB$)
R_s, R	Eşdeğer Seri Direnç
Z	Eşdeğer Seri Reaktans
L_s	Eşdeğer Seri İndüktans
C_s	Eşdeğer Seri Kapasitans
R_p	Eşdeğer Paralel Direnç
G	Eşdeğer Paralel Kondüktans
B	Eşdeğer Paralel Suseptans
L_p	Eşdeğer Paralel İndüktans
C_p	Eşdeğer Paralel Kapasitans
D	Kalitesizlik Çarpanı

Kısaltma	Açıklama
BH(=EY)	Engel Yüksekliği
I-V	Akım-Voltaj
C-V	Sığa-Voltaj
DB	($V_a > 0$) Düz Besleme
TB	($V_a < 0$) Ters Besleme
A, S	Alan
TE	Termiyonik Emisyon
TFE	Termiyonik-Alan Emisyonu
FE	Alan Emisyonu
RCA	Radio Corporation America (Standart Temizleme)
ABU, DLL	Arınma Bölgesi Uzunluğu (depletion layer length)
İÇ	İdealite Çarpanı
DYY	Donor Yük Yoğunluğu
AHY	Arayüzey Hal Yoğunluğu
KOG, KOP	Kontak Oluşum Gerilimi (Built-in Potential)
EYF	Engel Yüksekliği Farkı
AOK	Arayüzey Oksit kalınlığı
MS	Metal-Yarıiletken (Semiconductor)
MIS	Metal-Yalıtkan (Insulator)-Yarıiletken(Semiconductor)
MOS	Metal-Oksit-Yarıiletken (Metal-Oxide-Semiconductor)
LEC	Liquid Encapsulated Czockralski
TEM	Transmission Electron Microscope
DN-GS	Diyot Numarası-Gün Sayısı



EKLER DİZİNİ

Ek	Sayfa
Ek 1. Fermi Dağılım Fonksiyonu ve Hal Yoğunluğu Dağılımı.....	169
Ek 2. Laboratuvarımızda Bulunan Uluslar Arası Standarda Sahip Cihazlar.....	170
Ek 3. AGILENT 4294A 40Hz-110 Mhz Precision Impedance Analyzer: Uygulama Yöntemleri.....	171
Ek 4. AGILENT 4294A 40Hz-110 Mhz Precision Impedance Analyzer'da Ölçülebilen Değişkenler.....	174
Ek 5. AGILENT 4294A 40Hz-110 Mhz Precision Impedance Analyzer'da Ölçülebilen Değişkenlerin Grafik Örnekleri.....	175
Ek 6. Hesaplamalarda Kullanılan Fiziksel Sabitler.....	177

1. GİRİŞ

Günümüz teknolojisinde elektronik devre elemanları içerisinde metal-yarıiletken (MS) Schottky diyotlar önemli bir yer tutar. Schottky diyotlar (SD), yarıiletken detektörler (algılayıcılar), güneş pilleri, metal-yarıiletken alan etkili transistörler (MESFET), metal-oksit-yarıiletken alan etkili transistörler (MOSFET) ve mikrodalga devre elemanları türünden birçok elektronik devre elemanları Schottky kontaklardan ve diğer devre elemanlarından üretilir.

Si, Ge gibi IV. grup asıl yarıiletkenler, GaAs, GaP, GaSb, GaN, InAs, InP, InSb vb., III-V yarıiletken bileşiklerden elde edilen yarıiletken aygıtlar elektronik endüstrisinin temelini oluşturur (Lutz, 2007).

Yarıiletken aygıt üretiminde asıl hedef üretilen aygıtın “çalışırlığı, güvenilirliği, dayanıklılığı”dır. Bunun için diyotlarda kullanılacak yarıiletken malzemeler, metaller ve alaşımlar iyi tanınmalıdır. Schottky diyot yapıldıktan sonra metal arayüzeyin yapısı, oksitlenmeyle nasıl değiştiği, metal-arayüzey ve arayüzey-yarıiletken yönünden davranışlarının bilinmesi çok önemlidir ki, üretilen devre elemanı sürekli bozulmadan çalışsın, yapısı sağlam kalsın ve güvenilir olsun. Bu konuda yapılan araştırmaların amacı, bu yapıların fiziksel değişim parametrelerini, özelliklerini, yapı parametrelerini belirlemek, elektrik akımına, sıcaklığa ve ışıığa karşı davranışları öğrenmek, bu özelliklerden faydalanarak çok daha verimli ve yeni devre elemanları üretmektir. Bununla birlikte üretilen aygıtlar ekonomik olarak ucuz, kolay bulunan maddelerden üretilmesi de göz ardı edilmemelidir.

Metal-yarıiletken kontağın en önemli özelliği, arayüzey boyunca potansiyel engelinin varlığıdır. Metal ve yarıiletkenlerin elektriksel iletkenlik özelliklerinden faydalanmak ve onlara uygun kontaklar yaparak devrelerde kullanmak için ilk ciddi çalışmayı, 1874’de Braun yapmıştır.

Başlangıçta radyo dedektörü ve daha sonraları da radar dedektörü ve mikrodalga diyonu olarak geliştirilen metal-yarıiletken yapılar günümüzde de başarıyla kullanılmaktadırlar. Bundan sonra, arayüzeyde oluşan potansiyel engeli üzerine değişik modeller önerilmeye başlandı.

Akkılıç ve ark., (2003)’de, doğal oksit tabakalı olan ve olmayan Sn/n-Si yapıları ürettiği, arayüzeydeki doğal oksit tabakasının bazı elektronik parametreler üzerine etki-

sini araştırmışlardır. Temiz oda havasına 7 gün maruz bırakılmış numunelerin engel yüksekliği ve idealite faktörü değerlerinin yükseldiğini gözlemlemişlerdir.

Archer ve ark., (1963)'de kimyasal olarak temizlenmiş temiz silisyum yüzeylerinin birkaç saniye oksijene maruz kalmasının etkisini incelemiştir.

Aydın ve ark., (2007)'de Sn/p-Si Schottky engel diyotunun I-V karakteristiklerine geniş bir aralıkta (8-300 K) sıcaklığın etkisini araştırmıştır. Yaptıkları analizler sonucunda sıcaklık arttıkça engel yüksekliğinde anormal düşüş, idealite faktörü ve düşük sıcaklıklardaki ideal olmayan enerji hareketinde yükselme gözlemlemişlerdir.

Aydın ve ark., (2004)'de, arayüzey oksit tabakası olan ve olmayan Pb/p-Si Schottky kontaklar üretmiş, Schottky bariyer diyotların arayüzey hal yoğunluğu dağılımını araştırmışlardır.

Bardeen ve Brattein, (1948)'de, metal-yarıiletken arayüzeyinde yeterince yüzey halleri varsa, potansiyel engel yüksekliğinin metalin iş fonksiyonundan bağımsız olduğunu dile getirdi.

Boyarbay ve ark., (2007)'de, aynı şartlar altında üretilen yüzeyi hidrojenle sonlandırılmış Sn/p-Si Schottky engel diyotların elektriksel özelliklerini araştırmış, etkin engel yüksekliği ve idealite faktörlerinin diyottan diyota değiştiğini göstermişlerdir. Bu diyotların bariyer yükseklikleri, temiz yüzeyli silisyum diyotlarındakinden yüksek olduğu ve bunun sebebinin de hidrojen atomlarının silisyum yüzeyindeki boş bağları doyurmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir.

Cao ve ark., (1999)'da, n- ve p-tip GaN Schottky engel kontaklarına arayüzey oksitlerinin etkisini çalıştılar. Engel yüksekliğinde azalmayı işlem sonrası gözlemlemişler ve diyotun idealite çarpanında çok az değişme olduğunu görmüşlerdir. 1-2 nm kalınlıklı yalıtma oksitli bir arayüzeyin temsil edildiği bir basit model önermişlerdir. Bu oksitin n- ve p-tip GaN herikisinin kontak karakteristiklerine bir güçlü etkiye sahip olduğunu açıklamışlardır.

Card ve Rhoderick, (1971)'de arayüzey katmanının I-V özelliklerinin idealite faktörüne etkisini incelemiş ve doğru besleme I-V karakteristiklerinden elde edilen idealite faktörü değerine bağlı olarak arayüzey durumlarının metalle mi yoksa yarıiletkenle mi dengede olduğunu deneysel ve teorik olarak araştırmıştır.

Chattopadhyay ve ark., (1992; 1993; 1996)'de seri direnç etkisini göz önüne alarak doğru besleme durumunda Schottky diyotların C-V (kapasite-voltaj) karakteristikle-

rine frekans bağıllığını incelemiş ve C-V karakteristiklerinden gözlenen kapasite pikinin, seri direncin etkisinden kaynaklandığını ortaya koymuştur.

Cowley ve Sze, (1965)'de, Schottky diyotlardaki arayüzey katmanları üzerine ilk çalışmayı, Schottky engel yüksekliğinin arayüzey tabakasının kalınlığına, metalin iş fonksiyonuna ve yüzey hallerine bağıllığını incelemişlerdir.

Crowell ve Sze, (1965; 1966)'da Schottky'nin difüzyon ve Bethe, 1942'nin termiyonik emisyon teorilerini birleştirerek yeni bir teori ortaya koydular.

Çetin ve ark., (2007)'de, havaya maruz bırakılmış n-InP yüzey ve kimyasal olarak temizlenmiş Au, Al, Au/n-InP Schottky kontakların elektriksel karakteristikleri üzerine çalışmışlardır. Oksit tabakaları kimyasal temizlenmiş InP yüzeyi üzerine metal buharlaştırmadan önce 1, 2, 4, 6 ve 8 hafta laboratuvar havasına maruz bırakmışlar ve oksit kalınlığını elipsometriyle ölçmüşlerdir. 70 gün engel yüksekliği kararlılıklarını araştırmışlar, engel yüksekliğindeki artış kristal yüzeyin havaya maruz bırakılma zamanına doğrudan bağlı olmadığını, oksitle kaplanmış Schottky metal yüzey incelenen örnekler göre engel yüksekliğinde bir artma veya azalma belirlemişlerdir, metal-oksit, metal-kristal yüzey etkileşimleri Schottky engel yüksekliğini belirleyen esas etkenler olduğunu söylemişlerdir.

Çetinkara ve ark., (2003)'de, temiz oda havasına maruz bırakılan Pb/p-Si Schottky kontakların arayüzey hal yoğunluğunun enerji dağılımını incelediler. İnce doğal oksit tabakası olan ve olmayan Pb/p-Si Schottky engel diyotları (SBDs) PbDl örneğinden başka, Schottky kontak yapılmadan önce, temiz Si yüzeyine saf oksit ince katlı örnekler elde etmek için, o da sıcaklığında 1, 5, 10, 15, 30, 45 ve 60 gün temiz oda havasına maruz bıraktılar. Engel yüksekliğinin değeri, Φ_b önce havaya maruz bırakma zamanının artmasıyla arttığı ve sonra ilk PbDl örneğinin değerine meylettiğini gördüler. Saf oksit-yarıiletken arayüzeyinde yerleşmiş arayüzey hallerinin enerji dağılım eğrileri, engel yüksekliğine bağlı öngerilimin hesaba katılmasıyla I-V akım-gerilim karakteristiği düz beslemeden tanımlamışlardır. Görülmüştür ki, tüm enerji durumlarında saf oksit ince katlı örnekler için arayüzey hallerinin yoğunluk değeri ilk örnektekinden daha düşük olduğunu ve bu durumun, biçimlenmiş saf oksit tabakası yüzünden temizlenmiş Si yüzeyinin pasifleşmesine atfetmişlerdir.

Çetinkara ve ark., (2010)'da, Pb/p-Si Schottky diyot üzerine havaya maruz bırakma zamanının etkilerine ve zamana-bağıllığa (yaşlanma) oda sıcaklığında I-V ve C-

V ölçümleriyle araştırılmıştır. Havaya maruz bırakılan örneklerin I-V ve C-V ölçümleri arasında engel yüksekliği (BH) değerlerinin numune diyotlarından daha yüksek olacağı bulunmuşlardır ve temiz Si yüzey üzerine asıl yüzey hallerinin pasifleşmesiyle ilgili olduğunu açıklamışlardır. Artan yaşlanma zamanıyla örneklerin engel yüksekliği azalırken, yaşlanmayla idealite çarpanının artmış olduğunu, değişkenlerin herikisinin metal çökelmeden sonra 720 sa'de doyuma ulaştığını, havaya maruz bırakılan örneklerin taşıyıcı yoğunlaşmasının referans diyodunkinden epeyce daha düşük olduğunu, yaşlanmanın artan havada bırakma zamanıyla azaldığını ifade ederek, bu sonucun yüzeyin Fermi seviyesinin mihlanmamasına ve yarıiletkenin içine işleyen hidrojen atomlarıyla alıcıların pasifleşmesine atfedilmişlerdir.

Çetinkara, (2002)'de ise Pb/p-Si Schottky diyotlarda kontakta önce oluşan doğal oksit tabakasının diyot karakteristiklerine etkisini incelemiştir. Omik kontakta hemen sonra numuneler parçalara ayırmış ilkinin hemen diğerlerine ise belirli zaman aralıklarında temiz oda havasına maruz bıraktıktan sonra Schottky diyotlar üretip, oluşan doğal oksit tabakasının diyot karakteristiklerine etkisini incelemiştir.

Dittrich ve ark., (1994)'de, yüzey fotovoltaj metodunu kullanarak havadaki ilk oksitlenme boyunca HF (hidroflorik asit) muamelesi işlemine tutulmuş silisyum yüzeylerinin elektriksel parametrelerini incelemiştir.

Duzelier ve ark., (1991)'de, MOS sığaçlarda ince oksit tabakasının kalınlık ölçümünü araştırmışlardır.

Freeouf ve Woodall, (1981)'de, tarafından arayüzey tabakasının kimyasal oluşumu üzerine "Etkin İş Fonksiyonu Model"i önerilmiştir. Bu modele göre, potansiyel engel yüksekliği, arayüzey hallerinden ziyade metal-yarıiletken arayüzeyinde oluşan farklı birkaç faza ait iş fonksiyonları ile de ilişkilidir. Bu fazlar, metalizasyon işlemi esnasında, metal ile yarıiletken arasındaki reaksiyonlar ya da oksijen kirliliği sonucunda oluşurlar.

Gupta ve ark., (2008)'de, Au/STO (stronsiyum titanyum oksit)/p-Si eklemine oluşturarak, yapının I-V karakteristiklerinin doğru akım davranışı gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Farklı eklem parametreleri olan akım-voltaj karakteristikleri, Cheung, (1986) ve Norde, (1979)'un fonksiyonları kullanılarak ifade edilmiş sonuç olarak Au /STO (stronsiyum titanyum oksit) /p-Si' un ideal olmayan diyot karakteristiklerinden engel yüksekliğini hesap etmişlerdir.

Gümüş, (2006)'da, MBE CrNiCo/n-GaAs Schottky diyotlarında termal tavlamanın elektriksel karakteristiklere etkilerine çalışmıştır. 200-650 °C aralığı sıcaklıkta engel yüksekliğinin sabit kaldığını, idealite çarpanının yüksekten azaldığını sonra arttığını gözlemlemiştir.

Hirota, (1993)'de, n-tipi (001)-GaAs yüzeyleri ultrasonik çalışan deiyonize su yöntemiyle (URDIW) karakteristikleri, Schottky diyot ölçümleriyle araştırdı. Bu araştırma, yöntemin, arsenik ve galyum oksitlerini tamamen kaldırdığını ve yüzeyde yeniden yapılanmanın yüksek vakumda yüzey ısıtıldığı zaman görüldüğünü açığa çıkardı. Deneyisel çalışma sonuçları URDIW yönteminin, kimyasal olarak daha temiz ve daha az değişime sahip GaAs yüzeyler meydana getirdiğini gözler önüne serdi. Yüzey kusurları ve yüzey oksitlerinin, hallerin büyük bir kısmını oluşturması halinde, yüzey davranışlarının, Schottky karakteristiklerine, daha açıkçası Schottky engel yüksekliğine ve onun metalin iş fonksiyonuna bağlılığına büyük bir etkisi olduğunu ifade ettiler. Ayrıca URDIW yöntemiyle hazırlanmış GaAs yüzeylerin kimyasal olarak temizlenmiş yüzeylerle karşılaştırıldığında, arayüzey hal yoğunluğunda 1/4-1/7 oranlarında bir azalma olduğu gözlemlendi.

Huang ve ark., (2008)'de Pd/GaN Schottky diyotunu havaya maruz ve azota maruz bırakarak incelediler.

Kang ve Park, (1999)'da, Au buharlaştırma esnasında tabii olarak oksitlenmiş GaAs yüzeyin bağ ve yapısal değişikliklerini rapor ettiler. Monokromatik X-ışını fotoelektron spektroskopisi kullanarak, Au buharlaştırmadan önce As-O 'nin yüzey bağ durumunun, Au depozisyonundan kurtulan kinetik enerjili ve termodinamik olarak daha kararlı GaO bağlar haline tam olarak dönüştüğünü belirlediler. Karakteristiklere etkisini deneysel olarak incelemiş ve homojen olmayan Schottky diyotların idealite faktörü değerinin sıcaklık değerlerinin düşmesine karşın artmadığını gözlemleyerek belli sıcaklık değerlerinde ısının Schottky diyotlar tarafından soğurulduğunu gözlemlemiştir.

Karataş ve ark., (2010)'de, Sn/p-Si Schottky bariyer diyotların elektriksel parametreleri üzerine sıcaklığın etkisini 150-400 K sıcaklık aralığında araştırmış, ara yüzey hal yoğunluğu, engel yüksekliği, seri direnç ve idealite faktörü değerlerinin sıcaklığa kuvvetli derecede bağlı olduğunu tespit etmişlerdir.

Kılıçoğlu ve ark., (2005)'de RCA temizleme işlemine tabi tutulmuş Silisyuma önce hemen, ikinci parçaya ise 10 saat temiz odada beklendikten sonra Au metali buhar-

laştırmak oluşturdukları Schottky yapılarının karakteristiklerine doğal oksit tabakasının etkisini araştırmıştır.

Miret ve ark., (1988)'de, havaya maruz bırakılmış ve kimyasal olarak temizlenmiş GaAs yüzeyler üzerine oluşturulan Schottky diyotların elektriksel yaşlanmasını çalıştılar. Onlar, değişik metallerle yapılan (Ag, Al, Au, Pd, Cr) GaAs (110) kontağın engel yüksekliğinin büyük bir voltaj ve akım zoru uygulaması ile büyük oranda değişeceğini gösterdiler. Büyük bir ters besleme uygulamasının, diyotların yapısal ve elektriksel özelliklerinde bir değişim oluşturabileceğini belirlediler. Diyotun elektriksel karakteristiklerindeki bu besleme zorunun etkileri, yarıiletkenin yüzeyinin hazırlanmasına ve metale bağlı olduğunu gösterdiler. Bunun için, beş farklı metali (Ag, Al, Au, Cr, Pd) havaya maruz kalmış ve ultrahigh vakumlu (UHV) metal kaplama ünitesinde yarılmış (kesilmiş) n-tipi GaAs (110) yüzeylere buharlaştırdılar. Bu metalleri, GaAs yüzeye buharlaştırdıkları zaman farklı kimyasal reaksiyonlar ve engel yükseklikleri verecek şekilde seçtiler. Metal buharlaştırmadan önceki yüzey işleme tekniğinin engel yüksekliğini etkileyebileceğini (Ag, Al, Au için) gösterdiler. Elektriksel yaşlanmanın, metal/GaAs kontağın engel yüksekliğini değiştirebileceğini buldular. Engel yüksekliğindeki bu değişimlerin, kullanılan metalin cinsine ve taşıyıcı yoğunluğuna ve elektriksel yaşlanma esnasında potansiyel ve akımın doğrultusuna bağlı olduğu sonucuna vardılar. Özellikle, UHV'de kesilmiş Ag/n-GaAs diyotların engel yüksekliklerinde büyük bir değişim sergilenmemesine rağmen havaya maruz kalmış Ag diyotlar, elektriksel yaşlanmayla, en büyük değişimi (-85 meV) sergilediler. Au ise, hem kesilmiş ve hem de havaya maruz kalmış diyotlarda küçük bir değişim (-20 meV) gösterdi. Pd, Al ve Cr buharlaştırılarak havaya maruz kalmış diyotlar ise yaşlanmayla kayda değer bir değişim (~10 meV) sergilemediklerini gösterdiler.

Mott, (1990)'da model önermiş, elektronlar, gözlenen doğrultma yönünde, potansiyel engeli üzerinden sürüklenme ve difüzyon yolu ile geçmektedirler. Mott'un önerdiği modelde, potansiyel engeli, metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki fark dolayısıyla ortaya çıkmaktadır. Mott, arayüzey bölgesinde, yüklü katkı atomlarının bulunmadığını, buna bağlı elektrik alanın sabit olduğunu kabul etti. Ayrıca elektrostatik potansiyelin metale olan uzaklıkla lineer değiştiğini varsaydı. Schottky ise; engel bölgesinin sabit yoğunlukta yüklü katkı atomları içerdiğini, buna paralel olarak da elektrik

alanın lineer olarak arttığını varsaydı. Bunun yanında, elektrostatik potansiyelin metal sınırına kadar, Poisson denklemi ile uyum içinde, kuadratik olarak değiştiğini kabul etti.

Mönch, (1989; 1999)'de, engel yüksekliğinin kimyasal temizleme işlemine bağlı olarak değişimini ve arayüzeyde dipol tabakasının oluşumunu, metal ile yarıiletken arasındaki farklı elektronegatiflikten kaynaklandığını gösterdi.

Newman ve ark., (1985)'de, aynı çalışmayı n-InP (110) için tekrarladılar ve engel yüksekliklerinin yüzey temizliğiyle değişimlerinin ortaya koydular.

Newman ve ark., (1985)'de, farklı elementlerle katkılanmış metal/n-tipi GaAs diyotların elektrik özelliklerini çalıştılar. Hafif olarak katkılanmış numunelerde, 1.05 civarında bir idealite faktörü buldular. Daha ağır katkılanmış örneklerden oluşturulan diyotlar için, doğru beslemede, etkin I-V engel yüksekliğinde bir azalma, idealite faktöründe bir artma ve ters beslemede uygulama voltajının termiyonik emisyon akımına kuvvetli bir bağlılığını rapor ettiler. Bu değişimlerin kullanılan metalden bağımsız fakat maddenin katkılanma mertebesine bağlı olduğunu öne sürdüler. Metal Schottky diyotlarda Fermi seviye mihlanmasına sebep olan fiziksel mekanizmanın, atomik boyutta bir modelle ve alt tabaka ve daha alt tabakalardaki ilave atomlarla kurulabileceğini, metalin iş fonksiyonu veya arayüzey kimyası ile engel yüksekliği arasında hiçbir ilişki bulunmadığını ifade ettiler. Farklı yönelimli (doğrultum) temiz GaAs ile, kimyasal olarak temizlenmiş GaAs yüzeyler üzerine yapılmış diyotlardaki engel yüksekliklerinin aynı olduğunu gözlemlediler.

Nuhoğlu ve ark., (2010)'da, Co/n-LEC GaAs(Te) Schottky kontakları üzerine ısı tavlamanın etkisi üzerine çalışmışlardır. İdealite çarpanının artan sıcaklıkla önce yüksek olduğu sonra azaldığı ve sonra yine arttığını, engel yüksekliğinin önce arttığını sonra azaldığını, arayüzey hal yoğunluğu eğrilerinin önce azaldığı sonra sabit kaldığını ve sonra yükseldiğini gözlemlediler.

Özdemir ve ark., (2002; 2003)'de, tarafından n-tip GaAs üzerine üretilmiş ince saf oksit tabakalı ve tabakasız Au/n-GaAs Schottky engel diyot (SBD) değişkenleri üzerine bir çalışma yapılmıştır. Kimyasal olarak temizlenmiş GaAs yüzey üzerine farklı kalınlıkta saf oksit tabakası metal buharlaştırmadan önce temiz oda havasında GaAs yüzeyleri bırakarak elde etmişlerdir. Engel yüksekliği değeri 10 günü aşınca, bırakma zamanının artmasıyla arttığını ve 10 günden sonra, 45 güne kadar değişmeden kaldığını, yaşlanmaya bağlı olarak, AuD5 (30 gün) ve AuD6 (45 gün) örneklerin metal çökmeden 30 gün sonra

dengeli engel yüksekliğine ulaştığını görmüştür. AuD2 (5 gün), AuD3 (10 gün), ve AuD4 (20 gün) örneklerin 105 günü geçen yaşlanmanın fonksiyonu olarak engel yüksekliği için herhangi bir denge göstermez. Bunun nedeni metal ve yarıiletken arasında engel yüksekliğini düzenleyecek olan dipol olmadığından, bunun oksit tabaka kalınlığıyla ilgili olduğunu, örneklerin taşıyıcı yoğunlaşma değerleri yaşlanma zamanının artmasıyla azaldığını açıklamışlardır.

Prasad, (1995)'de, farklı teknikler kullanarak temizlenmiş n-tipi ve p-tipi GaAs yüzeylere Titanyum Schottky kontaklar yapıp 1000 saate kadar yüksek sıcaklıkta (200°C de) yaşlandırdı ve elektriksel parametrelerini gözlemledi.

Richardson, (1913)'de termiyonik emisyon olayını açıklamıştır. Arayüzeyin oluşumunda, yarıiletkenin oynadığı rolün içlere doğru gidildikçe azaldığı 1930'lu yıllarda anlaşılabildi.

Sağlam ve ark., (1996)'da, (Au/n-GaAs Schottky diyotlarda), bunlardan bağımsız olarak da Ayyıldız ve ark.(1996), (Au/n-Si Schottky diyotlarda), doğru besleme akım-voltaj karakteristiğini kullanarak arayüzey oksit tabakalı ve oksit tabakasız Schottky diyotların seri direncini tespit etmenin bir yolunu, hem teorik, hem de deneysel olarak arayüzey tabaka boyunca voltaj düşmesini (V_j) dikkate alarak tartıştılar. Deneysel olarak, oksit tabakalı ve oksit tabakasız GaAs diyotların doğru besleme I-V karakteristiklerini elde ettiler. Teorik olarak da, diyotların doğru besleme I-V'deki tabaka kalınlığı ve arayüzey hal yoğunluk parametrelerinin etkilerini göz önüne alarak bir V_j ifadesi elde ettiler. Arayüzey oksit tabakalı diyotun seri direncinin, diğerinden daha büyük olmasının bu tabakanın seri dirence katkısından kaynaklandığını öne sürdüler. Elde edilen teorik formüle göre oksit tabakalı diyotun V_j değerini hesaplayıp, uygulanan voltajdan çıkardılar ve seri direnç değerini tekrar hesapladılar. Bu yeni değer tahmin edildiği gibi oksit tabakasız diyot için belirlenenle uyum içinde olduğunu gösterdiler.

Sağlam ve ark., (1998)'de, Au/Yüzeykat n-Si Schottky diyotların karakteristik değişkenleri üzerine temiz oda havasına maruz bırakma zamanının etkisi üzerine deneysel çalışma yapmışlardır. Si yüzey üzerine kimyaca temizlenmiş farklı kalınlıklı saf oksit tabakası metalin buharlaştırılmasından önce temiz havaya maruz bırakılan yüzeylerle elde etmişlerdir. Bırakma zamanının artmasıyla arayüzey tabakalı diyot örneklerinin Φ_b engel yüksekliğinin değerlerinin arttığı, ilk örnek diyotun (oksitlenmemiş örnek,) 'e I-V

ve C-V eğrilerine yaklaştığı görülmüştür. I-V karakteristikleri ve Au/n-Si SBD'nin deneysel değişkenlerinin deneysel sonuçlarla uyuştuğunu rapor ettiler.

Sarrabayrouse ve ark., (1989)'da, bir MOS sığaçta C-V ölçümünden oksit kalınlık tanımını yapmaya çalışmışlardır. C-V ölçümlerinden bir MOS yapıda oksit kalınlığını değerlendirmek için bir yöntem önermişler ve TEM ölçümleriyle bir karşılaştırma yapmışlardır.

Schmidt ve ark., (1988)'de, ultraviyole aydınlatma altında hem p-tipi hem de n-tipi GaAs yüzeylerde kuru oksijen içinde oluşmuş ince oksit tabaka için Schottky engel yüksekliğinin metalin iş fonksiyonuna bağlılığını çalıştılar.

Siad ve ark., (2004)'de, ideal olmayan Schottky diyotlarında yüksek duyarlılığa sahip Al/p-Si ve Al/n-Si diyotlarını oluşturarak, diyotun elektriksel parametreleri olan R_s (seri direnç), n (idealite faktörü) ve Φ_n (engel yüksekliği)'i deneysel olarak I-V ve C-V ölçümlerinden elde etmişlerdir. Bu çalışmalarında nükleer dedektör kullanmış ve bu yöntemle eklemin α spektrumu ve yapının enerji dağılımını incelemişlerdir.

Singh ve ark., (2000)'de, Au/n-GaAs yüzeykat Schottky diyotun akım-voltaj karakteristiklerinin sıcaklığa bağlılığı üzerine çalışmışlar ve görünür engel yüksekliğindeki ve idealite çarpanındaki değişimleri metal-yarıiletken yüzey arasında nanometre ölçeğinde Schottky engel yüksekliğindeki ortamdan düzensizliklerini göz önüne alarak açıkladılar.

Spicer ve ark., (1980)'de, III-V grubu yarıiletkenlerde, engel yüksekliğinin fiziksel oluşumunu açıklamak için Kusur Modelini ileri sürdüler. Bu modele göre, yarıiletken yüzeyinde çok ince bir oksit ya da metal tabakası varsa, yarıiletkenin yüzeyinde örgü kusurları (boşluklar veya antisite kusurlar) oluşur. Arayüzey hallerine sebep olan bu kusurlar, Fermi seviyesinin de mihlanmasına sebep olurlar.

Tseng ve Wu, (1987)'de, Schottky engelli diyotlar için, arayüzey hallerini, bazı mekanizmaları göz önüne alarak, bir arayüzey tabaka teorisi geliştirdiler. Teoride, ters besleme I-V karakteristiğini, ideal C^{-2} -V karakteristiği ile ilişkilendirip, arayüzey tabaka kapasitesi birimleriyle modellendirilebileceğini ve doğru besleme I-V ile yine C^{-2} -V birlikte, arayüzey hallerinin dağılımının metalden yarıiletkene geçişe katkısının bulunması gerektiğini ifade ettiler.

Türüt ve ark., (1992)'de Al/p-Si ve Al/n-Si eklemleri için ideal olmayan I-V ve C-V karakteristiklerine arayüzey durumları ve arayüzey tabakasının etkisini araştırmış-

lardır. Benzer çalışmalar farklı sıcaklık değerleri için farklı araştırmacılar tarafından yapılmıştır (Ikoma ve Madea, 1991).

Vanalme ve ark., (1999)'da, Schottky engel yüksekliğinin dağılımını, Au/III-IV yarıiletken diyotlardaki kontak bölgesinde balistik elektron emisyon mikroskopisi kullanılarak tespit ettiler. Sulu HF veya HCl çözeltilerinde kimyasal ön-hazırlama almış örnekler, engel yükseklik dağılımında değişiklikler gösterdi.

Wu ve ark., (1989)'da, NiSi_2 -nSi diyotta arayüzeyin sığası üzerine bulgularını ortaya koydular.

Yarıiletken kristal yüzeyler genellikle laboratuvar ortamında doğal oksit tabakaları ve organik kirlerle kaplıdır. Bazı durumlarda, yarılmış (cleaved) ve kimyasal olarak hazırlanmış yarıiletken yüzeylerde elde edilen engel yükseklikleri, arayüzey tabakanın varlığını gösterir. Tabii oksit tabakasının tabaka-tabaka büyümesi, kimyasal olarak hazırlanmış yarıiletken yüzeylerin, kaçınılmaz olarak (araştırmacının elinde olmaksızın) temiz oda havasına maruz kalmasıyla ortaya çıkarak gelişir. Kimyasal olarak temizlenmiş yarıiletken durumunda, yarıiletken yüzeyindeki tabii oksit tabaka kalınlığının, yarıiletken yüzeyin yerli gazlara maruz kalma süresine bağlı olduğu iyi bilinir. Bazı araştırmacılar, Schottky diyotların karakteristik parametrelerinin bağlı olduğu etkenleri araştırmak için birçok deneysel ve teorik çalışmalar yapmışlardır.

2. METAL-YARIİLETKEN KONTAKLAR

2.1. İş Fonksiyonuna Göre MS Kontak Tipleri

Metal, yalıtkan ve yarıiletken kristallerin iletkenlik özelliklerinin araştırılması, ancak, uygun kontakların kristallere uygulanması ile mümkündür. Kontak, iki maddenin en az dirençle, idealde ise, sıfır dirençle temas ettirilmesidir. İdeal kontak, yüzeylerin parlak, temiz ve pürüzsüz olmasına bağlıdır (Rhoderick ve Williams, 1988).

Kontak durumuna getirilen iki maddede yük alışverişi olur. Termal dengeye ulaşıldığında Fermi enerjisi seviyeleri aynı düzeye gelir. Metal ile yarıiletkenler (n-tipi veya p-tipi) arasında olabilir. Metal-yarıiletken kontak metalin ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarına¹ göre; “Doğrultucu kontak (Schottky kontak)”, “doğrultucu olmayan kontak (Omik kontak)” olarak sınıflandırılır;

Çizelge 2.01. İş fonksiyonlarına göre doğrultucu ve doğrultucu olmayan kontak.

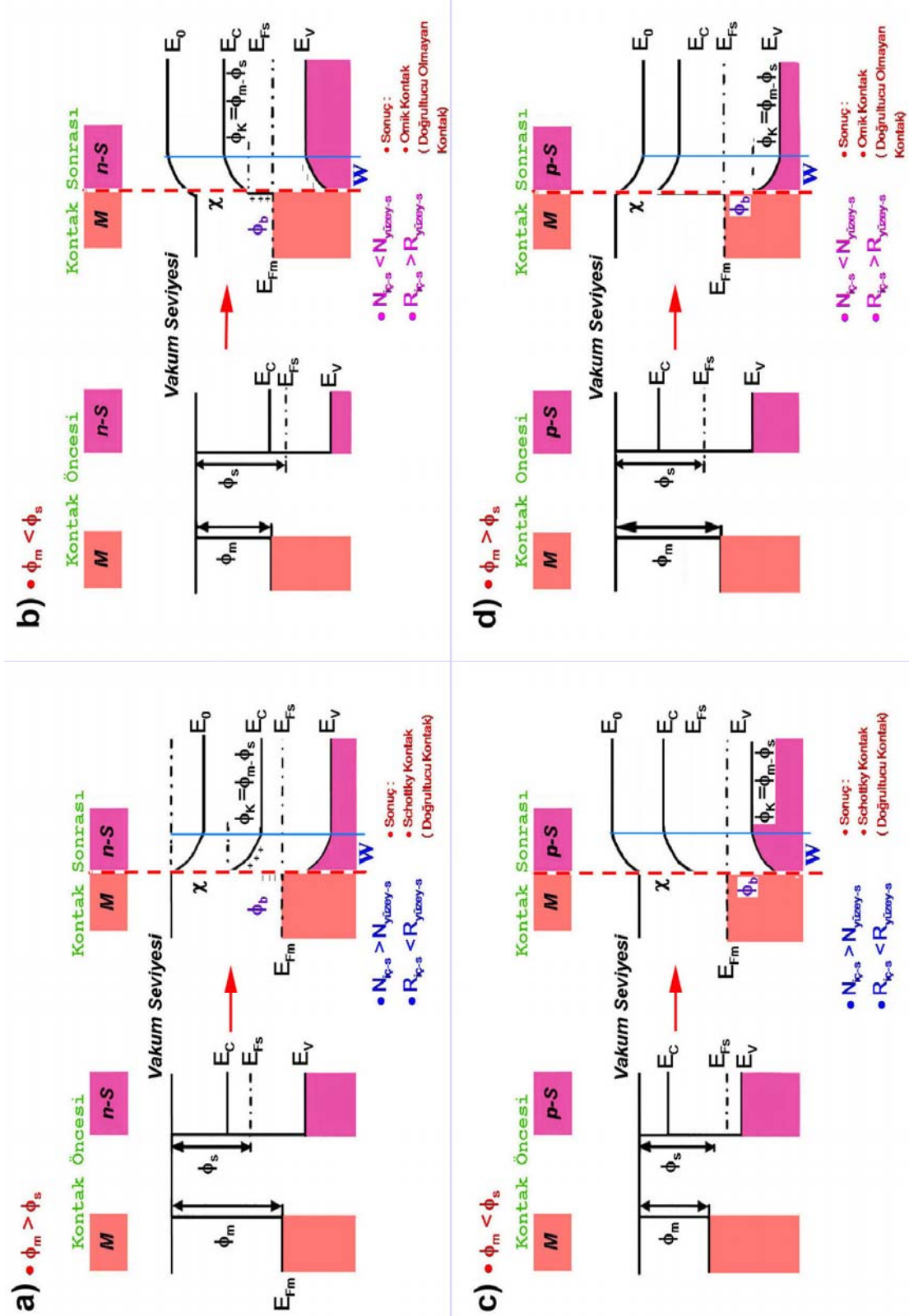
	Metal/ n-tip yarıiletken	Metal/ p-tip yarıiletken
Doğrultucu Kontak	$\phi_M > \phi_S$	$\phi_M < \phi_S$
Doğrultucu Olmayan Kontak	$\phi_M < \phi_S$	$\phi_M > \phi_S$

2.2. Kontak Tiplerinin Fiziksel Açıklaması

Metalin iş fonksiyonu n-tipi yarıiletkenin iş fonksiyonundan daha büyük olduğu durumda ($\phi_M > \phi_S$) yarıiletkenin kontak bölgesinde enerji bandı aşağıya eğilir (Şekil 2.01a). Yarıiletkenin yüzey bölgesindeki elektron konsantrasyonu, iç bölgesindeki konsantrasyonundan daha azdır ve bu nedenle “yüzey bölgesinin direnci daha büyüktür”, n-tipi yarıiletkenin yüzey bölgesindeki bu tür tabaka “engel tabakası” olarak adlandırılır. Bandların yeteri kadar eğimleri büyükse, bu tür kontaklara “doğrultucu kontak veya Schottky kontak” denir (Caferov, 2000).

Metalin iş fonksiyonu n-tipi yarıiletkenin iş fonksiyonundan daha küçük olduğu durumda ($\phi_M < \phi_S$) yarıiletkenin kontak bölgesinde enerji bandı yukarıya eğilir (Şekil 2.01b).

¹ Metallerin iş fonksiyonları için Fomenko, 1966’a bakabilirsiniz.



Şekil 2.01. (a) Metal/n-tip Yarıiletken doğrultucu kontak (Schottky kontak), (b) Metal/n-tip yarıiletken Omik kontak, (c) Metal/p-tip yarıiletken doğrultucu kontak (Schottky kontak), (d) Metal/p-tip Yarıiletken Omik kontak, (Caferov, 2000).

Yarıiletkenin yüzey bölgesindeki elektron konsantrasyonu, iç bölgesindeki konsantrasyonundan daha fazladır ve bu nedenle “yüzey bölgesinin direnci daha küçüktür”, n-tipi yarıiletkenin yüzey bölgesindeki bu tür tabaka “engelsiz tabaka” olarak adlandırılır. Bandların yeteri kadar eğimleri küçükse, bu tür kontaklara “doğrultucu olmayan kontak veya Omik kontak” denir (Caferov, 2000).

Metalin iş fonksiyonu p-tipi yarıiletkenin iş fonksiyonundan daha küçük olduğu durumda ($\phi_M < \phi_S$) yarıiletkenin kontak bölgesinde enerji bandı yukarıya eğilir (Şekil 2.01c). Yarıiletkenin yüzey bölgesindeki elektron konsantrasyonu, iç bölgesindeki konsantrasyonundan daha azdır ve bu nedenle “yüzey bölgesinin direnci daha büyüktür”, p-tipi yarıiletkenin yüzey bölgesindeki bu tür tabaka “engel tabakası” olarak adlandırılır. Bandların yeteri kadar eğimleri büyükse, bu tür kontaklara “doğrultucu kontak veya Schottky kontak” denir (Caferov, 2000).

Metalin iş fonksiyonu p-tipi yarıiletkenin iş fonksiyonundan daha büyük olduğu durumda ($\phi_M > \phi_S$) yarıiletkenin kontak bölgesinde enerji bandı aşağıya eğilir (Şekil 2.01d). Yarıiletkenin yüzey bölgesindeki elektron konsantrasyonu, iç bölgesindeki konsantrasyonundan daha azdır ve bu nedenle “yüzey bölgesinin direnci daha büyüktür”, p-tipi yarıiletkenin yüzey bölgesindeki bu tür tabaka “engelsiz tabaka” olarak adlandırılır. Bandların yeteri kadar eğimleri küçükse, bu tür kontaklara “doğrultucu olmayan kontak veya Omik kontak” denir (Caferov, 2000).

2.3. Schottky Diyotun Oluşması, Diyotun Fiziksel Açıklaması

Metal, n-tipi yarıiletken üzerine buharlaştırıldığında, yarıiletkenin iş fonksiyonu metalin iş fonksiyonundan daha küçük olması nedeniyle, “elektronlar yarıiletkenden metale” geçerler. Bu geçişlerin sonunda; “metal fazla negatif yük”, yarıiletkenin yüzey bölgesinde ise “fazla pozitif yüklü” iyonlardan oluşmuş bölge meydana gelir. Bu işlem metal ve yarıiletkenin Fermi enerjileri eşit olana kadar sürer. Yarıiletkendeki band bükülmesi

$$qV_{bi} = (\phi_M - \phi_S) \quad (2.1)$$

$$\phi_S = \phi_n + \chi_S \quad (2.2)$$

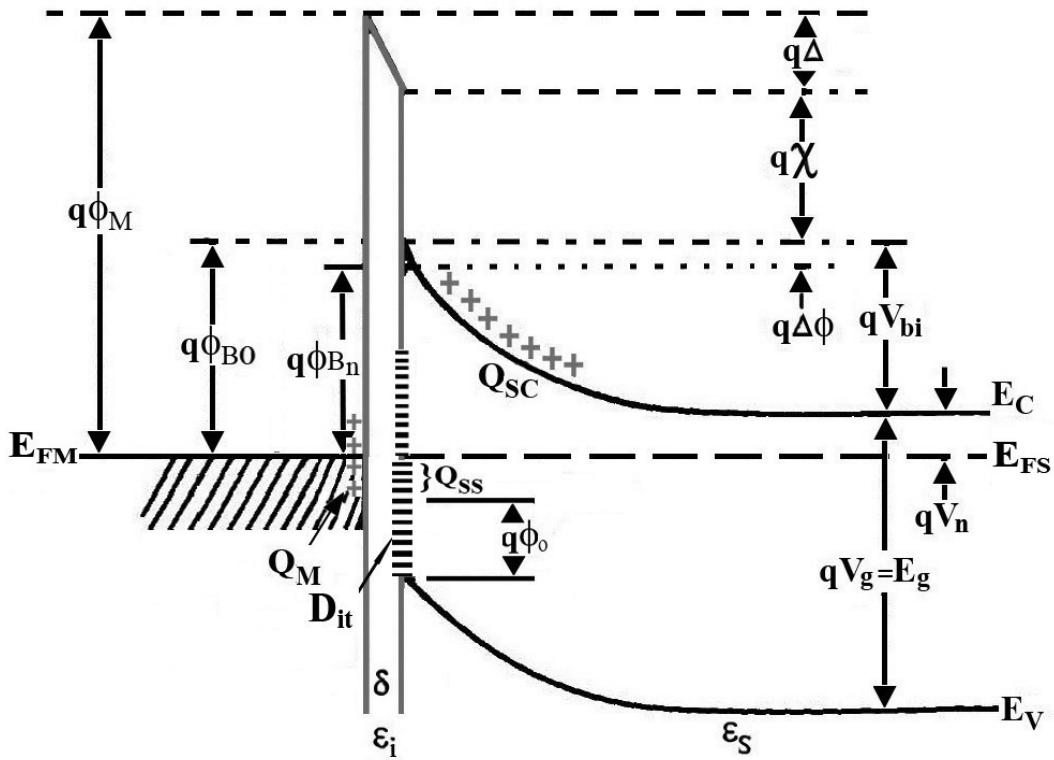
$$\phi_M = (qV_{bi} + \phi_S) \quad (2.3)$$

ifadesine eşit olur. Burada ($\phi_n = E_C - E_{FS}$) yarıiletkende yasak enerji aralığında Fermi seviyesinin içe-girimini (penetration) temsil eder. Bu eşitliğin anlamı; daha fazla elektronun metale geçmesini engelleyen V_{bi} potansiyeli var olur. Bu potansiyel farka “inşa-potansiyeli (built-in potential)” denir. Metal tarafında ise;

$$q(\phi_b) = q(\phi_M - \chi) = qV_{bi} + (E_C - E_{FS}) \quad (2.4)$$

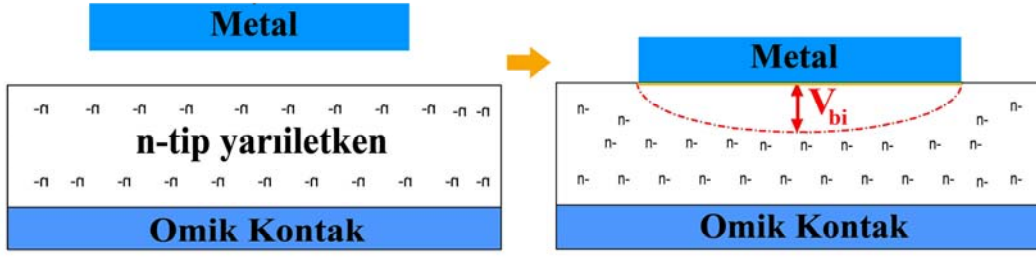
ifadesine eşit ϕ_b potansiyel engeli görürler.

Gerçekte bir Schottky diyotun düz band gösterimi ve ilgili parametreler şöyledir;

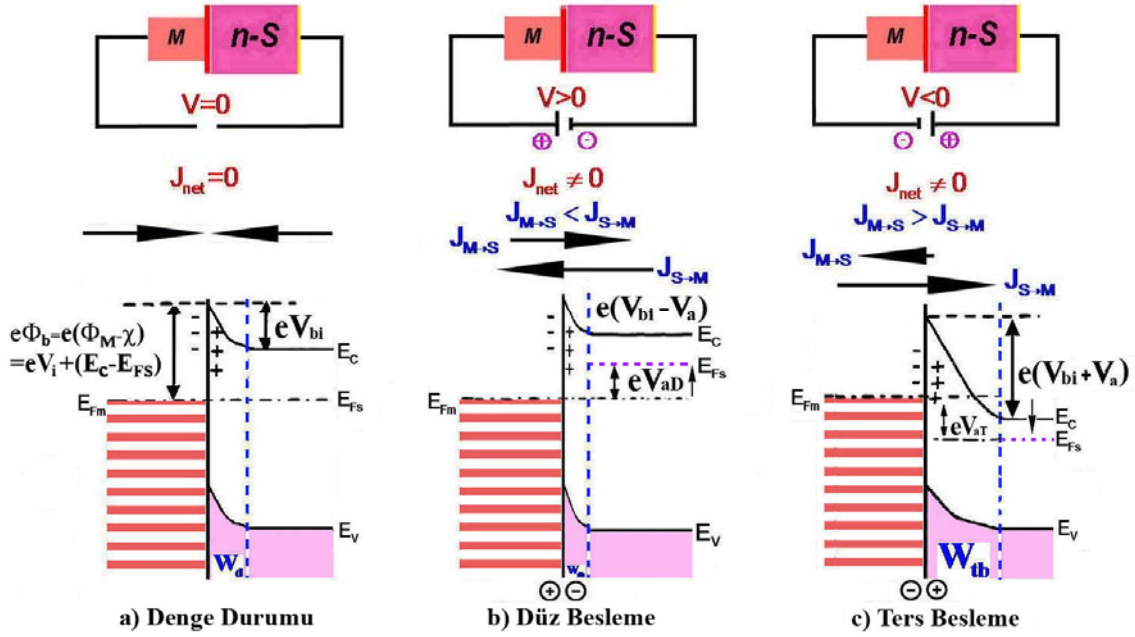


Şekil 2.02. Gerçek Schottky diyota ait değişkenlerin düz band gösterimi (Sze, 1981).

Şekildeki δ arayüzey kalınlığı, $\delta < 2\text{nm}(20 \text{ \AA})$ ise MS kontak olarak kabul edilir (Roderick, 1988; Sharma, 1984).



Şekil 2.03. Kontak (a) öncesi, (b) sonrası (dikine tek tabakalı diyot) (Barlow, 2007).



Şekil 2.04. (a) Metal-yarıiletken doğrultucu kontakın enerji-bant diyagramı ($V=0$, (V_{bi})), (b) düz besleme; Fermi seviyesi ve iletkenlik bandı V_a kadar yukarıya yükselir ($V>0$, ($V_{bi}-V_a$)). (c) ters besleme; Fermi seviyesi ve iletkenlik bandı V_a kadar aşağıya iner ($V<0$, ($V_{bi}+V_a$)), (Caferov, 2000).

Kontakın oluşum anında yarıiletkenin yüzeyindeki elektronlar metale geçerler, yarıiletken tarafında yerlerinde iyonlaşmış “donörler” bırakır. Diyot yapıldıktan sonra Fermi seviyeleri eşitlenmiş olur. Bununla birlikte, yarıiletken tarafında eV_{bi} veya $\Delta\phi$ kadar band aşağı iner, yani eğilir. Bir başka ifadeyle; yarıiletkenin enerji seviyeleri, iş fonksiyonları farkı ($eV_{bi} = \Delta\phi = \phi_M - \phi_S$) kadar alçalır (Şekil 2.02). Arayüzde uzay yüklerinin oluşturduğu dipol tabakası nedeniyle, yarıiletken tarafında bantlar yukarı bükülür ve bir potansiyel engeli oluşur. Metal tarafında bu engel ($e\Phi_b = \phi_M - \chi_S$) kadardır. MS kontakın

yarıiletken tarafında iyonlaşmış donör yüklerden kaynaklanan pozitif (artı) yüklü bir tabaka oluşur. Bu tabakaya, “uzay yükü tabakası” denir. Bu tabakanın kalınlığı “ W ” kadardır. Kontak oluşurken içinde çoğunluk taşıyıcı yük neredeyse kalmadığından bu bölgenin direnci içine göre çok yüksek olur. Yüklerin olmadığı bu uzay yük bölgesine “arınma bölgesi” denir.

2.4. Arınma Bölgesinin Uzunluğu

Eğer arınma bölgesinin kalınlığı (W), elektronların serbest yol uzunluğundan (l) daha büyükse ($W \gg l$), o halde bu bölgede elektron hareketleri "difüzyon" olayları ile belirlenir. Aksi takdirde ($W \ll l$), yani arınma bölgesini elektronlar birbiri ile çarpışmadan geçerlerse, "diyot" olayları hesaba katılır (Caferov, 2000).

2.5. Diyotun Düz ve Ters Beslenmesi

Yarıiletkeniden metale geçen elektronlar için “iletkenlik bandı ve Fermi seviyesi eV kadar yükseleceğinden engel yüksekliği de eV kadar azalacaktır. Aynı zamanda, arınma bölgesi ($\Delta W_{FE} = W_{FE} - W_{TE}$) kadar küçülür. Bu uygulamaya “diyotun düz beslenmesi” denir.

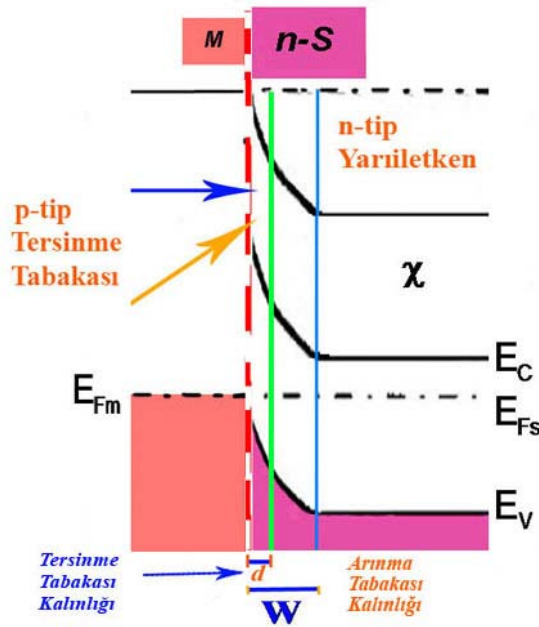
Yarıiletkeni ($-V_a$) gerilimi uygulanırsa (Şekil 2.04c), metalden yarıiletkeni geçen elektronlar için engel yüksekliği değişmez, akım da aynı kalır. Yarıiletkeniden metale geçen elektronlar için “iletkenlik bandı ve Fermi seviyesi $-eV$ kadar düşeceğinden engel yüksekliği de $+eV$ kadar artacaktır. Aynı zamanda, arınma bölgesi ($\Delta W_{FE} = W_{TE} - W_{FE}$) kadar büyür. Bu uygulamaya “diyotun ters beslenmesi” denir. Buradan anlaşılacağı gibi, yarıiletken tarafındaki potansiyel engelinin yüksekliği uygulanan voltaja bağlı olarak değişir. Metal tarafındaki engel yüksekliği voltajdan bağımsızdır.

Termal uyarımla, potansiyel engelini aşmaya yetecek enerjiye ulaşan elektronlar, metalden yarıiletkeni ve yarıiletkeniden metale geçerek, eşit ve zıt I_0 sızıntı akımı oluştururlar. Yarıiletkeni (V_a) gerilimi uygulanırsa (Şekil 2.04b), metalden yarıiletkeni geçen elektronlar için engel yüksekliği değişmez, akım da aynı kalır.

2.6. Tersinme Tabakası (Inversion layer)

Schottky kontağı oluştuğu durumda (şekil 3.1a, şekil 3.1b), eğer kontak iř fonksiyonları farkı ($\Delta\phi = \phi_M - \phi_S$ veya $\Delta\phi = \phi_S - \phi_M$) çok büyükse, kontak bölgesinde yarıiletken bandının eğimi de büyük olur. Bu nedenle yarıiletkenin yüzey tabakasının “iletkenlik tipi” değişebilir. Yüzey bölgesindeki bu tür tabakaya, yani iletkenlik tipi yarıiletkenin iç bölgelerinin iletkenlik tipinden farklı olan tabakaya “inversiyon (tersinme) tabakası” adı verilir. şekil 2.05’te bu tür metal/n-tipi yarıiletken kontak için ($\phi_M > \phi_S$) enerji band diyagramı gösterilmiştir.

şekil 2.05’te n-tipi yarıiletkenin yüzey bölgesinde (yaklaşık 1-5 nm kalınlıkta) tabakanın iletkenlik tipi, Fermi seviyesinin valans bandına daha yakın olması nedeniyle, p’dir. Böylece metal-n-tipi yarıiletken kontağın, bandının fazla eğimi nedeniyle, n-tipi yarıiletkenin yüzey bölgesinde p-tipi ince tabaka oluşmaktadır ve neticede yarıiletkenin kontak bölgesinde p-n ekleme benzer yapı meydana gelmektedir. Bu tür yapı p-n ekleme benzer, fakat bu yapıda, pn eklemesindeki gibi injeksiyon (içerleme) olayı yoktur (Caferov, 2000).



şekil 2.05. Tersinme tabakalı metal/n-tipi yarıiletken kontağın enerji band diyagramı (Caferov, 2000).

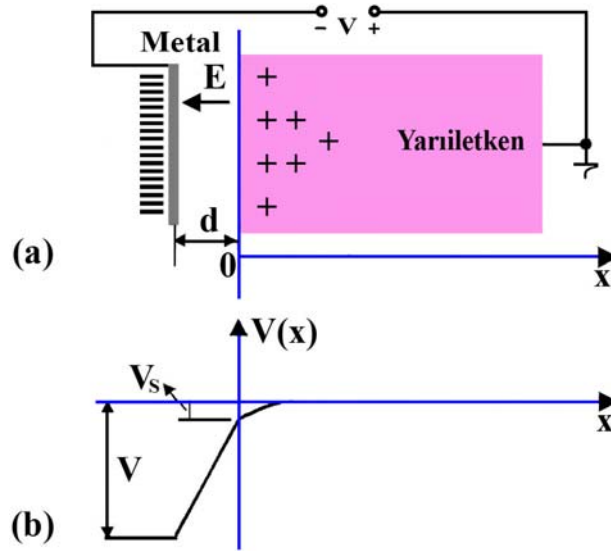
Pozitif ve negatif yükler arasında kalan bu bölge sığa özelliği gösterir, “Schottky sığası veya kontak sığası” olarak adlandırılır. Kalınlığı, iyonize olan donarların konsantrasyonuna bağlıdır (Özdemir, 2002).

2.7. Alan Olayı

Yarıiletkenin yüzey bölgesinde yük taşıyıcılarının konsantrasyonunun elektrik alanının etkisiyle değişimine “alan olayı” olarak denir.

Metal levha, yarıiletken ve aralarında yalıtkan (hava) olan sistemi göz önüne alalım (Şekil 2.06). Bu sistem, metal-yalıtkan-yarıiletken yapı, sığaca benzer ve bu yapıdan elektrik akımı geçemez.

Dışarıdan uygulanan gerilim (V), yalıtkan ve yarıiletken arasında dağılır. Yalıtkan kanda elektrik alan homojendir. Buna karşın, asal yarıiletken durumunda (saf yarıiletken); yarıiletkende elektrik alanın dağılımı eşdağılımlı değildir ve yarıiletkenin yüzeyinden içine doğru azalmaktadır. Fakat artı ve eksi yükler uçlarda simetrik dağılımlıdır. Yarıiletkende oluşan yüklerin işareti dışarıdan uygulanan gerilime bağlıdır.



Şekil 2.06. Metal-Yalıtkan-Yarıiletken yapıda alan olayı (Caferov, 2000).

Şekil 2.06'ı göz önüne alalım. p-tipi yarıiletken halinde; metal (-), yarıiletken (+) kutuplanırsa, artı yükler metale yakın bölgede yarıiletken tarafında toplanır, bunlar yü-

zeye yaklaşmış akseptör (alıcı) iyonlarıdır ve çoğunluk yük taşıyıcılarıdır. Metalden uzaktaki yarıiletken tarafındaki eksi yükler de azınlık yük taşıyıcıları olurlar (Blood ve Orton, 1992).

n-tipi yarıiletken halinde; metal (-), yarıiletken (+) kutuplanırsa, eksi yükler metalden uzak bölgede yarıiletken tarafında toplanır, bunlar yüzeye yaklaşmış donör (verici) iyonlarıdır ve çoğunluk yük taşıyıcılarıdır. Metale yakın yarıiletken tarafındaki artı yükler de azınlık yük taşıyıcıları olurlar.

p-tipi yarıiletken halinde; metal (+), yarıiletken (-) kutuplanırsa, artı yükler metale uzak bölgede yarıiletken tarafında toplanır, bunlar yüzeye yaklaşmış akseptör (alıcı) iyonlarıdır ve çoğunluk yük taşıyıcılarıdır. Metale yakın yarıiletken tarafındaki eksi yükler de azınlık yük taşıyıcıları olurlar.

n-tipi yarıiletken halinde; metal (+), yarıiletken (-) kutuplanırsa, eksi yükler metale bölgede yarıiletken tarafında toplanır, bunlar yüzeye yaklaşmış donör (alıcı) iyonlarıdır ve çoğunluk yük taşıyıcılarıdır. Metalden uzaktaki yarıiletken tarafındaki artı yükler de azınlık yük taşıyıcıları olurlar (Blood ve Orton, 1992).

Her durumda, yarıiletkenin metale yakın tarafı yüzeyce yük-zengini bölge olur. Yarıiletkenin metalden uzak tarafı yüzeyce yük-fakiri bölge olur.

Yük taşıyıcılarının (elektron ve deşiklerin) konsantrasyonunun homojen olmadığı bölgede (yarıiletkenin metale yakın tarafında) elektrik alan meydana gelir. Yarıiletkendeki elektrik alanın yayılma derinliğine Debay uzunluğu denir. Yarıiletkende yük taşıyıcılarının konsantrasyonu arttıkça zenginleşmiş veya fakirleşmiş bölgenin kalınlığı azalmaktadır.

Yarıiletkenin yüzeyinde ve içindeki potansiyeller farkı “yüzey potansiyeli (V_s)” olarak adlandırılır (Şekil 2.06). Bununla birlikte metal-yalıtkan-yarıiletken sistemine dışarıdan gerilim uygulanmadığında da yüzey potansiyeli sıfırdan farklıdır ($V_s \neq 0$). Bunun nedeni yüzey durumlarının oluşmasıdır. Yüzey durumları kendilerini tuzak merkezleri veya vericiler gibi gösterebilirler.

Elektrik alanı yalıtkan ve yarıiletken boyunca dağılır. Metal ve yarıiletken arası uzaklık (d) azaldıkça, yalıtkandaki elektrik alan artar. Çok yüksek elektrik alan uygulanırsa yalıtkanda “boşalım olayı” meydana gelebilir. Eğer metal ve yarıiletkenin arasında yalıtkanın (havanın) yerinde vakum varsa, bu durumda boşalım olayı gerçekleşemez (Caferov, 2000).

2.8. Metal-Yarıiletken Doğrultucu Kontakta Potansiyel Dağılımı ve Schottky Sığası

Metal/n-tipi yarıiletken ($\phi_M > \phi_S$) ve metal/p-tipi yarıiletken ($\phi_M < \phi_S$) kontaklarında, yük taşıyıcıları yoğunlaşmalarının metal ve yarıiletken arasında yeniden dağılımı sonucunda, yarıiletkenin sınır bölgesinde elektronlardan (n-tipi baz için) veya deşiklerden (p-tipi baz için) arınma ve yüksek dirence sahip tabaka meydana gelmektedir. Bu bölgenin kalınlığı (L_0) dışarıdan uygulanan gerilim ile değişir (Caferov, 2000).

Gerçekten bu tür metal-yarıiletken kontağın (veya Schottky diyotun) yapısı kondansatörün yapısına benzer. Metal/arınma bölgesi/yarıiletken sistemi, iki iyi iletkenin arasındaki yüksek dirençli tabakadan oluşur. Arınma tabakasının direnci, yarıiletkenin iç bölgesinin (kontaklardan uzak bölgenin) direncinden çok büyüktür. Bu yönüyle, Schottky diyotun arınma tabakası, sığacın elektrotları arasındaki “yalıtkan filme” benzetilir.

Schottky diyota uygulanan voltaj nedeniyle, o an oluşan akımın etkisiyle, uzay yükü bölgesinin sınırlarındaki elektrik yükleri değişir. Sığa oluşur, Schottky diyotunun kapasitansı, uzay yükü bölgesindeki potansiyel engel yüksekliğinin değişimine bağlı olur. Schottky diyotun kapasitansı “engel kapasitansı (barrier capacitance)” olarak söylenir. Schottky diyotun “diferansiyel engel kapasitansı” şu şekilde verilir,

$$C = \frac{dQ}{dV} \quad (2.5)$$

Burada dQ engel bölgesindeki yük değişimi, dV uygulanan gerilimin değişimidir. Zamanla değişen gerilim uygulandığında diyotun engel kapasitansı etkin olmaya başlar. Kontakta akım geçer. Kontakta yük taşıyıcılarının hareketine bağlı olmayan akım engel kapasitansını belirler (Caferov, 2000).

Schottky diyotun arınma bölgesinin elektrik alanın (E) veya potansiyelinin koordinatla dağılımını bulmak için Poisson denklemini çözmek gerekir,

$$\nabla^2 V(x) = -\nabla E(x) = -\frac{\rho(x)}{\epsilon_0 \epsilon_s} \quad (2.6)$$

$$\frac{dE(x)}{dx} = \frac{\rho(x)}{\epsilon_0 \epsilon_s} \quad (2.7)$$

Burada E ; elektrik alanı şiddeti, $\rho(x)$; hacimsel yükün yoğunluğudur. Metal/n-tipi yarıiletken kontak için, tüm kontak potansiyel farkı n-tipi yarıiletkende oluşur. Kontaktaki hacimsel yük yoğunluğu

$$\rho(x) = en(x) \quad (2.8)$$

olarak ifade edilebilir. Elektrik alan şiddetinin, elektrostatik potansiyelin eksi gradyanı olduğu

$$E(x) = -\frac{dV(x)}{dx} \quad (2.9)$$

hesaba katılırsa, o halde Eş.(2.7) denklemi dönüşür,

$$-\frac{d^2V(x)}{dx^2} + \frac{e}{\epsilon_0\epsilon_s}n(x) = 0 \quad (2.10)$$

Denklem ikinci dereceden homojen diferansiyel denklemdir. Schottky diyotlarda $0 < x < L_0$ aralığında sadece engel kapasitansı olduğundan yük yoğunluğu donör katkı konsantrasyonundan oluşur ($\rho = eN_D$), bu denklemin genel çözümü

$$V(x) = -\frac{eN_D}{\epsilon_0\epsilon_s}(L_0 - x)^2 + A(L_0 - x) + B = 0 \quad (2.11)$$

ile verilir. Burada L_0 ; kontak bölgesinde elektrik alanın yarıiletken içine yayılma uzunluğudur, aynı zamanda L_0 , arınma bölgesinin genişliğine denktir.

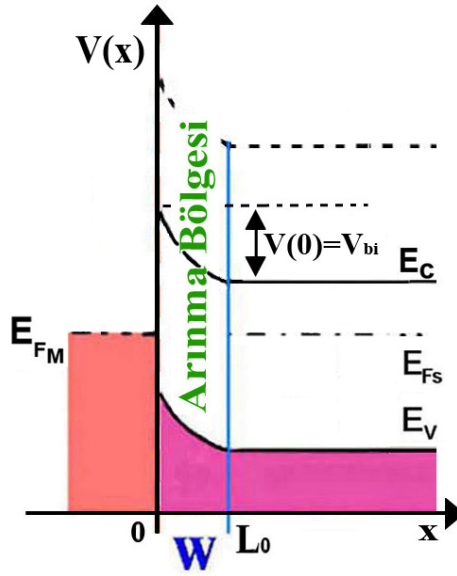
Eş.(2.11) denklemi şu sınır şartlarına uyar,

$$\begin{aligned} V(L_0) &= 0, \\ E(L_0) &= -\left.\frac{dV(x)}{dx}\right|_{x=L_0} = 0 \end{aligned} \quad (2.12)$$

Eş.(2.12) sınır şartları Eş.(2.11) denkleminde yerine yazılırsa

$$\begin{aligned} V(L_0) &= B = 0, \\ -\left.\frac{dV(x)}{dx}\right|_{x=L_0} &= -A = 0 \end{aligned} \quad (2.13)$$

bulunur. Eş.(2.13)'teki sonuçlar Eş.(2.11) denkleminde kullanılarak



Şekil 2.07. Schottky diyotun arınma bölgesi kalınlığı (Caferov, 2000).

$$V(x) = -\frac{eN_D}{2\epsilon_0\epsilon_S}(L_0 - x)^2 \quad (2.14)$$

elde edilir.

Yarıiletkenkte elektrik alanın yayılma derinliği L_0 'ı bulmak için, arınma bölgenin sınırında ($x = 0$) oluşan potansiyelin Eş.(2.14) ifadesini kullanmak gerekir

$$V(0) = -V_{bi} = -\frac{1}{e}(\phi_M - \phi_S) \quad (2.15)$$

Bu ifade Eş.(2.14) denkleminde yerine konursa, L_0 için

$$L_0 = \sqrt{\frac{2\epsilon_0\epsilon_S V_{bi}}{eN_D}} = \sqrt{\frac{2\epsilon_0\epsilon_S (\phi_M - \phi_S)}{e^2 N_D}} \quad (2.16)$$

elde edilir. Bu ifade kontak oluştuğu andaki “arınma bölgesi genişliğini veya elektrik alanın yayılma derinliğini” verir. Düz besleme ve ters besleme için,

$$L_0 = \sqrt{\frac{2\epsilon_0\epsilon_S (V_{bi} \mp V_a)}{eN_D}} \quad , \quad L_0 = \sqrt{\frac{2\epsilon_0\epsilon_S |V_{bi} \mp V_a|}{eN_D}} \quad (2.17)$$

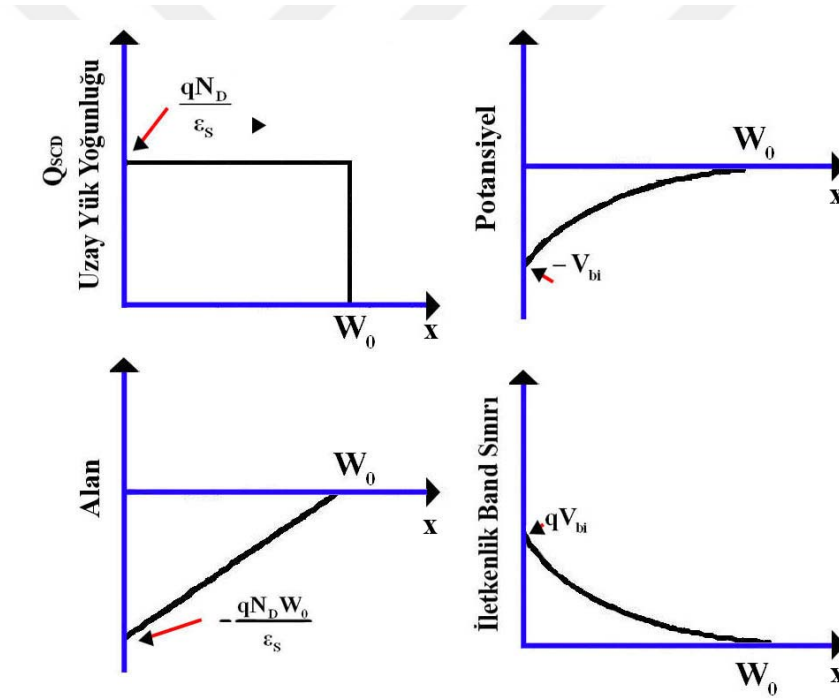
olur (Sharma, 1984). (-; düz beslemeyi, +; ters beslemeyi gösterir). Elektrik alanı bulmak için, $V(x)$ 'in x 'e göre gradyanı alınır, L_0 yazılır, $x=0$ için,

$$E(0) = -\sqrt{\frac{2eN_D}{\epsilon_0\epsilon_S} V_{bi}} \quad (2.18)$$

bulunur. Düz besleme ve ters besleme için E bulunur.

$$E_{DB} = -\sqrt{\frac{2eN_D}{\epsilon_0\epsilon_S} (V_{bi} - V_a)} \quad , \quad E_{TB} = -\sqrt{\frac{2eN_D}{\epsilon_0\epsilon_S} (V_{bi} + V_a)} \quad (2.19)$$

Eş.(2.19) denkleminde görüldüğü gibi, yarıiletken elektron (veya donörlerin) konsantrasyonu azaldıkça ya da metal ve yarıiletkenin eşik enerji farkı büyüdükçe, elektrik alanın yayılma derinliği büyümektedir.



Şekil 2.08. Schottky diyotun arınma bölgesinde; uzay yükü, elektrik alanı, potansiyeli iletkenlik bandı sınırı.

Metal/n-yarıiletken yapı düzlemsel sığaca benzediğinden Schottky kontağın kapasitansının ifadesi düzlem sığacın formülü olur,

$$C = \frac{\epsilon_0\epsilon_S A}{L_0} \quad (2.20)$$

Eş.(2.17) denklemi yardımıyla, Schottky diyodunun kapasitansı

$$C = A \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_s e N_D}{2 V_{bi}}} = A \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_s e^2 N_D}{2 (\phi_M - \phi_s)}} \quad (2.21)$$

bulunur. Burada A diyodun alanıdır. Eş.(2.21) formülünden Schottky diyotlarının kapasitans ölçümlerinden, yarıiletkenlerde elektrik alanın yayılma derinliği (L_0), veya başka bir deyişle, yarıiletkendeki arınma bölgenin kalınlığı bulunabilir.

2.9. Schottky Diyotlarının Kapasitans-Gerilim Karakteristikleri

Schottky diyoduna gerilim uygulandığında, kontağın hacimsel yük bölgesinin kalınlığı değişmektedir. Diyod doğru yönde kutuplanırsa o halde geçiş bölgesinin kalınlığı ve direnci azalmaktadır. Ters yönde uygulanan gerilim, geçiş bölgesinin kalınlığını ve direncini büyötmektedir.

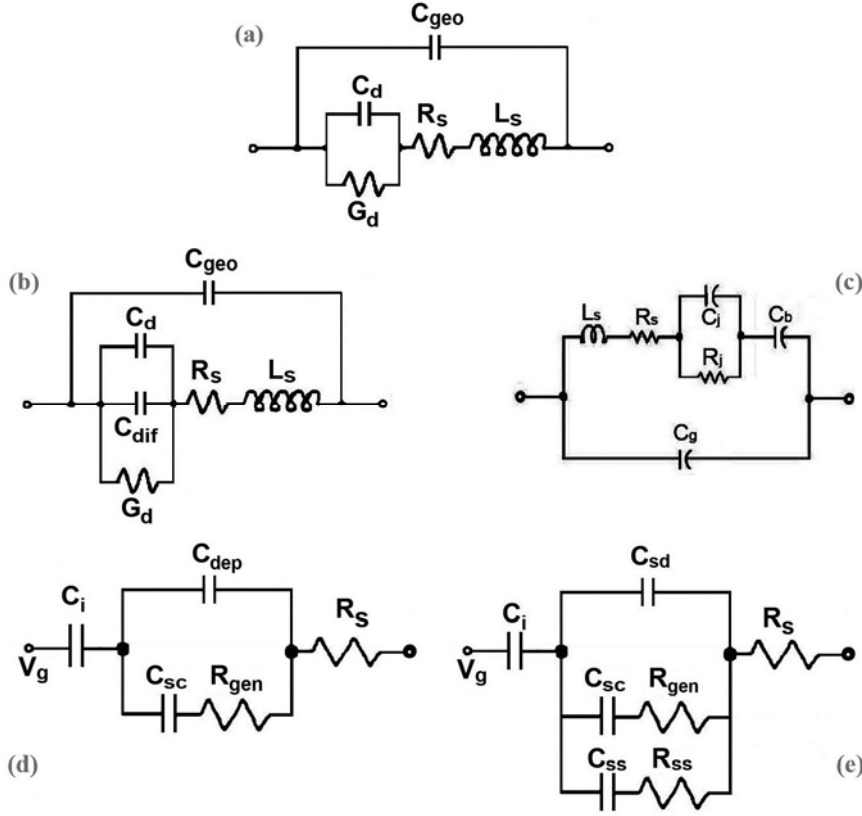
Schottky diyoduna uygulanan gerilimi etkisiyle, geçiş bölgesindeki hacimsel yük değişmektedir. Dolayısıyla, Schottky kontağın kapasitansı, “voltajla değişen” bir aygıt gibi kendini göstermektedir. Şekil 2.08a, Schottky diyodun eşdeğer devre resimlemesini, diğerleri diğer aygıt tiplerinin eşdeğer devre resimlemesini göstermektedir. Şekiller incelendiğinde, karşılaştırma yapılabilir ve diyot türlerinde ne gibi bir fark olduğu, kolayca görölebilir (Bkz Şekil 2.08).

Şekil 2.08a’da Schottky diyota ait eşdeğer devrede; diyodun direnci (kontak direnci) (R_d) ve kapasitansı (C_d) birbirine paralel bağlıdır. Diyod bazının direnci, seri direnç olarak (R_s) kontağa bağlıdır. Diyod indüktansı da (L_s) seri olarak birleşmektedir. Devre geometrisinden meydana gelen kapasitans (C_{geo}), kontak direncine, bazın direncine, indüktans direncine ve paralel bağlıdır.

Kontağın ve eklemlerin engel kapasitansı, geçiş bölgesindeki yük taşıyıcılarının yeniden dağılımına bağlıdır. Difüzyon kapasitansı ise, yarıiletkenin baz bölgesindeki yüklerin yeniden dağılımı ile belirlenmektedir (Caferov, 2000). p-n eklemlerin ve melezeklemlerin (heterojunction) hem engel kapasitansı hem de difüzyon kapasitansı vardır.

Schottky diyotlarının “difüzyon kapasitansı yoktur”, onların karakteristikleri yalnız “engel kapasitansı ile belirlenir (Caferov, 2000; Shur, 2010). Bu nedenle Schottky diyotlarının çalışma hızı pn eklem diyota oranla çok daha yüksektir (Bkz Caferov,

1998). Bu özellik, düz besleme şartları altında çok daha hızlı tepkiyle (response) sonuçlanır ve Schottky diyotların bir mikrodalga mikseri, dedektör vb kullanımına izin verir (Shur, 2010).



Şekil 2.09. (a) Schottky diyotun eşdeğer devresi (Shur, 1990), (b) p-n eklem diyotunun eşdeğer devresi (Shur, 1990), (c) PIN diyotun eşdeğer devresi (C_b : by-pass sığa) (Agilent Tech, 2015), (d) MIS diyotun eşdeğer devresi (Yüzey halleri yokken), (e) MIS diyotun eşdeğer devresi (yüzey halleri varken) (Shur, 1990; Ziel, 1968).

Çoğu halde, $R_s \ll R_d$ ve $C_d \gg C$ sınırlayan karakteristik zaman sabiti için Schottky diyotun frekans tepkisi

$$\tau_{\text{Schottky}} = R_s C_d \quad (2.22)$$

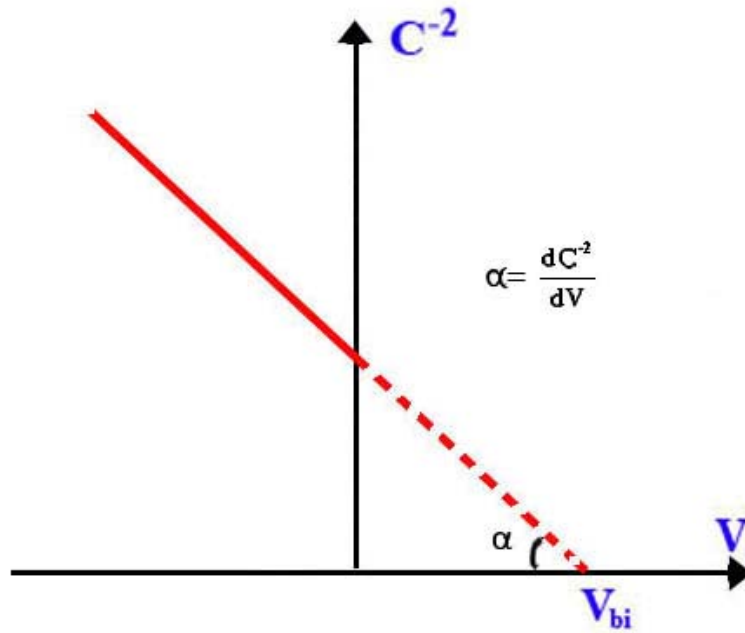
ile verilir (Shur, 2010).

Schottky diyottaki engel kapasitesini inceleyelim. Denge durumunda, voltaj uygulanmadığında ($V=0$), geçişteki yüklerin dağılımı metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları farkı ile ($eV_{bi} = e(\phi_M - \phi_S)$) belirlenir. Schottky diyoduna “+” gerilim uygulandığında

($V>0$), kontak bölgesinde net potansiyel $V_{nDB} = V_{bi} - V_a$ ile verilir. Schottky diyotuna “-” gerilim uygulandığında ($V<0$), kontak bölgesinde net potansiyel $V_{nTB} = V_{bi} + V_a$ olur. Bu ifade, Eş.(2.21) eşitliğinde yerine koyarsak,

$$C = A \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_s e N_D}{2(V_{bi} \mp V_a)}} \quad , \quad C = A \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_s e N_D}{2|V_{bi} \mp V_a|}} \quad (2.23)$$

elde ederiz. (-; düz beslemeyi, +; ters beslemeyi gösterir). Düz beslemede Schottky diyotun sığası artarken, ters beslemede Schottky diyodun sığası azalır.



Şekil 2.10. C^{-2} - V grafiğinin uyum doğrusunun (fit) eğimi.

Eş.(2.23) denkleminde $d(C^{-2})/dV$ işlemi yapılırsa,

$$N_D = \frac{2}{\epsilon_0 \epsilon_s e A^2} \left(\frac{dC^{-2}}{dV} \right) \quad (2.24)$$

bulunur. Eş.(2.24) formülünden görüldüğü gibi, kapasitans-gerilim eğrisini $(1/C^2)$ - V ölçeğinde çizerek ve grafiğin eğimini $[d(C^{-2})/dV]^{-1}$ bulunur, Schottky diyodunun yarıiletken bölgesindeki elektronların konsantrasyonu hesaplanabilir. Ayrıca, engel yüksekliği

$$\Phi_b = \frac{1}{n_{IF}} V_{bi} + E_F \quad (2.25)$$

ile bulunur.

2.10. Schottky Engeli

Bir metal kedibıyığı kullanılarak yarıiletken malzemenin bir parçasına kontaklamayla yapılmış ilk yarıiletken aygıt bir doğrultucuydu. Benzer bir kontağın doğrultma özellikleri bir yarıiletken ve bir metalin arasındaki sınırda var olan bir elektrostatik potansiyel engeli (Schottky engeli) meydana getirir. Bunun gibi engelin varlığının nedenini anlamak için, vakum ile n-tip yarıiletkenin sınırlarını göz önüne alalım (Şekil 2.11). Kristal içinde elektronların potansiyel enerjisi daha küçüktür çünkü kristal örgünün artı iyonları tarafından elektronlar çekilir. Vakumun enerji seviyesi ve iletkenlik bandının tabanı E_c , arasındaki enerji farkına elektron ilgisi, (χ) , denir. Isıl hareketten dolayı, bazı elektronlar, $(E_c + \chi)$ 'den daha yüksek enerjiye sahiptir ve kristalden ayrılabilirler.

Maxwell-Boltzmann dağılım fonksiyonuna sahip kristal içindeki varsaydığımız elektronların bu akısını hesaplayalım

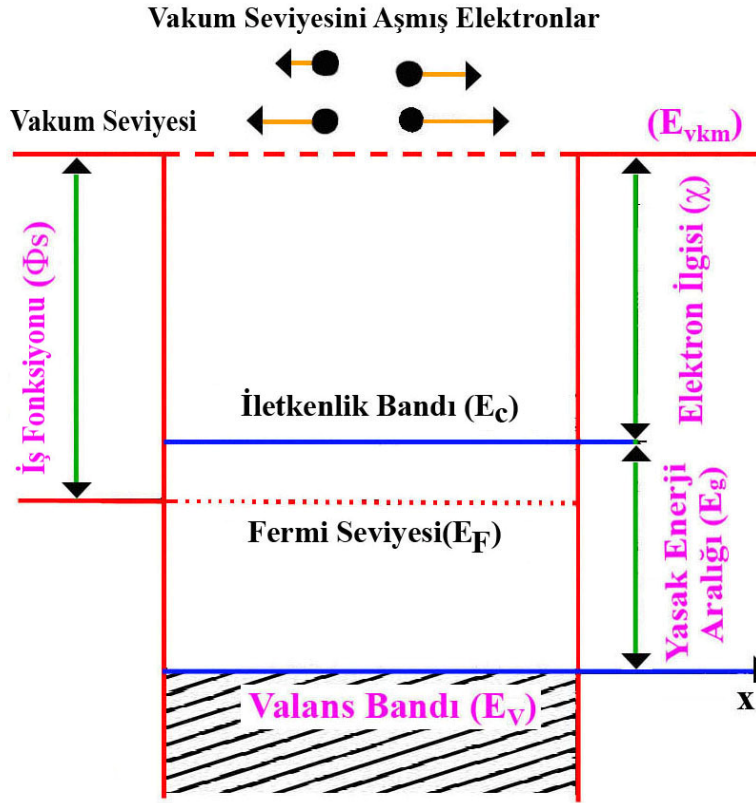
$$f_{MB}(E_n) = \exp[(E_F - E_n)/k_B T] \quad (2.26)$$

E_F Fermi seviyesidir ve E_n elektron enerjisidir (bkz Eş.(2.11))

Eş.(2.26)'i kullanarak, $f_v dv_x dv_y dv_z$, v_x , v_y , v_z ve $v_x + dv_x$, $v_y + dv_y$, $v_z + dv_z$ arasında v hız bileşenlerine sahip bir elektronun olasılığı olan f_v hız dağılım fonksiyonunu bulabiliriz. Gerçekten, bir referans noktası gibi iletkenlik bandının tabanını seçerek ($E_c = 0$ için $E = m_n(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)/2$ Eş.(2.9.1)'den elde ederiz.

$$f_v = A_v \exp[-m_n(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)/2k_B T] \quad (2.27)$$

Normalizasyon sabiti A_v ,



Şekil 2.11. Yarıiletkenin yüzeyinde potansiyel dağılımı (Shur, 2010).

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_v dv_x dv_y dv_z = 1 \quad (2.28)$$

şartından bulunur. Aşağıdaki bağıntı kullanılarak (herhangi bir integral çizelgesinden bulunabilen)

$$\int_{-\infty}^{\infty} \exp(-ax^2) dx = (\pi/a)^{1/2} \quad (2.29)$$

Eş.(2.29)'den elde ederiz

$$f_v = [m_n/2k_B T]^{2/3} \exp[-m_n(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)/2k_B T] \quad (2.30)$$

Aynı zamanda bu ifadeyi şöyle yazabiliriz

$$f_v = f_{vx} f_{vy} f_{vz} \quad (2.31)$$

burada f_{vx}, f_{vy}, f_{vz} , sırasıyla v_x, v_y, v_z hız bileşenlerinin dağılım fonksiyonlarıdır;

$$f_{vx} = \left[\frac{m_n}{2\pi k_B T} \right]^{1/2} \exp[-m_n v_x^2 / 2k_B T] \quad (2.32)$$

$$f_{vy} = \left[\frac{m_n}{2\pi k_B T} \right]^{1/2} \exp[-m_n v_y^2 / 2k_B T] \quad (2.33)$$

$$f_{vz} = \left[\frac{m_n}{2\pi k_B T} \right]^{1/2} \exp[-m_n v_z^2 / 2k_B T] \quad (2.34)$$

Şimdi arayüzeye dik x doğrultusunda hareket eden elektronların ortalama hızını $\langle v_x \rangle$ bulabiliriz,

$$\langle v_x \rangle = \int_0^\infty v_x f_{vx} dv_x = \left[\frac{m_n}{\pi 2k_B T} \right]^{1/2} \int_0^\infty v_x \exp \left[-\frac{m_n v_x^2}{2k_B T} \right] dv_x \quad (2.35)$$

Eş.(2.35) şöyle yazılabilir

$$\langle v_x \rangle = \left[\frac{2k_B T}{\pi m_n} \right]^{1/2} \int_0^\infty u \exp[-u^2] du \quad (2.36)$$

Eş.(2.35)'in sağ tarafındaki integral $\frac{1}{2}$ olur. Böylece,

$$\langle v_x \rangle = \left[\frac{k_B T}{2\pi m_n} \right]^{1/2} \quad (2.37)$$

elde edilir.

Şimdi ortalama elektron hızını hesaplayalım,

$$\begin{aligned} \langle v \rangle &= \int_0^\infty v f_v d^3 v = \left[\frac{m_n}{2\pi k_B T} \right]^{3/2} \int_0^\infty v \exp \left[-\frac{mv^2}{2k_B T} \right] 4\pi v^2 dv = \\ &= 2 \left[\frac{8k_B T}{\pi m_n} \right]^{1/2} \int_0^\infty u \exp[-u^2] u^2 du \end{aligned} \quad (2.38)$$

Böylece,

$$\langle v \rangle = \left[\frac{8k_B T}{\pi m_n} \right]^{1/2} \int_0^\infty t \exp[-t] dt \quad (2.39)$$

Bu türevde $d^3 v = 4\pi v^2 dv$ 'ü hesaba katarız. Eş.(2.39)'ün sağ tarafındaki integral herhangi bir integral tablosundan bulunabilir veya kısmi integrasyon kullanılarak kolayca bire eşit olduğu bulunabilir. Böylece, elektronun ortalama hızı

$$\langle v \rangle = \left[\frac{8k_B T}{\pi m_n} \right]^{1/2} \quad (2.40)$$

ile verilir. Artı x doğrultusunda kristalin dışında elektronların akısına uygun elektron akım yoğunluğu J_s , aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$j_s = q \int_{E_{vac}}^{\infty} v_x (dn/dE) dE \quad (2.41)$$

burada

$$\frac{dn}{dE} = \left[\frac{4\pi(2m_n)^{2/3}}{h^3} \right] (E - E_C)^{1/2} \exp \left[\frac{(E_F - E)}{k_B T} \right] \quad (2.42)$$

$$\begin{aligned} E - E_C &= m_n (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)/2 = m_n v^2/2 \\ dE &= m_n v dv \\ 4\pi v^2 dv &= dv_x dv_y dv_z \end{aligned} \quad (2.43)$$

ve E_{vac} vakum seviyesidir.

Şimdi, bu denklemi Eş.(2.41)'de yerine yazmalıyız ve eksi sonsuzdan sonsuza v_y 'e göre, eksi sonsuzdan sonsuza v_z 'e göre, v_{min} 'den sonsuza v_x 'e göre, Eş.(2.41)'de integrasyonu sağlasın, burada $v_{min} = (2\chi / m_n)^{1/2}$ kristalden kaçan bir elektron için gereken v_x 'in minimum değeridir.

İş fonksiyonunun tanımı kullanarak

$$\chi = E_{vac} - E_F \quad (2.44)$$

sonunda örnekten ayrılan elektronların j_s akım yoğunluğu için bir ifade elde ederiz,

$$j_s = R^* T^2 \exp \left(-\frac{q\phi_s}{k_B T} \right) \quad (2.45)$$

burada

$$R^* = \frac{qm_n k_B^2}{2\pi^2 h^3} = 120 \left[\frac{m_n}{m_e} \right] ; (A/cm^2 . K^2) \quad (2.46)$$

Richardson sabiti denir. Eş.(2.37) ve (2.42) hesaba katılarak, Eş.(2.45)

$$j_s = q n_{xs} \langle v_x \rangle = q n_{xs} \langle v \rangle / 4 \quad (2.47)$$

olarak yazılır, burada n_{xs} ϕ_s 'den daha büyük enerjili elektronların konsantrasyonudur.

Bir kristalden elektronların kaçışının bu etkisine “termiyonik yayınım” denir. Kaçan elektronlar kristal içinde dengelenmemiş artı yükler bırakır. Bileşke elektrik alan yüzey yakınında bandın bükülmesini idare eder. Artı yük arkadaki yükleri çeker, bu şekilde termodinamik denge kurulur.

Metal ve yarıiletken birbirine yaklaştıklarında (biçimlenen nesneye Schottky diyot denir) başlangıçta iki karşıt elektron akımı vardır: yarıiletkenden metale, metalden yarıiletken,

$$j_M = \frac{qm_n(k_B T)^2}{2\pi^2 h^3} \exp\left(-\frac{q\phi_M}{k_B T}\right) \quad (2.48)$$

ϕ_M metalin iş fonksiyonudur. Eğer $\phi_M > \phi_s$, $j_M < j_s$ ise, o zaman metal eksi yüklenecek ve yarıiletken

$$V_{bi} = \phi_M - \chi \quad (2.49)$$

net potansiyel farka sahip olarak artı yüklenecektir. Bu potansiyel farkına, V_{bi} built-in potansiyeli veya oluşum potansiyeli denir. Built-in potansiyeli engel yüksekliğine uyumludur,

$$\phi_b = \phi_M - \chi \quad (2.50)$$

Metalde eksi yük hemen hemen yüzey atomik tabakasına yerleşmiştir (çok fazla serbest yük yoğunluğu nedeniyle). Yarıiletkende artı yük yoğunluğu iyonlaşmış vericilerin konsantrasyonu ile sınırlanır ve uzay yük bölgesi yarıiletkenin içine genişler. Bu modele uyan metal-yarıiletken engelin bir basit resmi Şekil 2.12’de gösterilir. Uygulamada, Schottky engel yüksekliği Eş.(2.50) ile tahmin edilenden tamamen farklıdır ve Şekil.2.12’de görülür. Schottky engel yüksekliği ϕ_M iş işlevine biraz zayıfça bağlıdır (ϕ_M 1’den 2 eV’e arttığında engel yüksekliği 0.1’den 0.3 eV’e artar). Bardeen, 1947’de her zaman yüzeyle birlikte olan bir ince oksit tabakası ve yarıiletken arasındaki sınırda yüzey hallerinin etkisi nedeniyle bu farkı açıklayan modeli geliştirdi.

Oksit, elektronların kolayca içinden tünellenebileceği kadar incedir. Engel yüksekliğini değiştiren yüzey halleri enerji aralığındaki enerjiyi sürekli dağıtır. ϕ_0 'ın altın-

daki haller elektronlarca dolduğunda yüksüzdür ve boş olduğunda ϕ_0 'ın üstündeki haller yüksüz olduğunda onlar ϕ_0 “yüksüz” seviyeyle temsil edilirler. Bu durumda engel yüksekliğinin

$$\phi_b = \gamma_s(\phi_M - \chi) + (1 - \gamma_s)(E_g - \phi_0) - \gamma_s(\epsilon_s/\epsilon_i)E_{\max}\delta_{ox} \quad (2.51)$$

ile verildiği gösterilebilir, burada,

$$\gamma_s = \frac{\epsilon_i}{\epsilon_i + qN_s\delta_{ox}} \quad (2.52)$$

E_g yasak enerji aralığıdır, ϵ_i arayüzey tabakasının geçirgenliğidir, δ_{ox} arayüzey tabakasının kalınlığıdır, N_s yüzey hal yoğunluğudur ve

$$E_{\max} = \left(\frac{2qN_D V_{bi}}{\epsilon_s} \right)^{1/2} \quad (2.53)$$

$$qV_{bi} = \phi_b - E_C + E_F \quad (2.54)$$

(bkz Rhoderick, 1977).

Eş.(2.49)'ün sağındaki son terim çoğu hallerde küçük olan, arayüzey tabakasının karşısındaki voltaj farkına orantılıdır. Böylece, Eş.(2.50) yüzey hal yoğunluğu sıfır olduğunda Eş.(2.53)'e indirgenir.

$N_s \rightarrow \infty$, $\gamma_s \rightarrow 0$ olduğunda karşıt sınırlama halinde

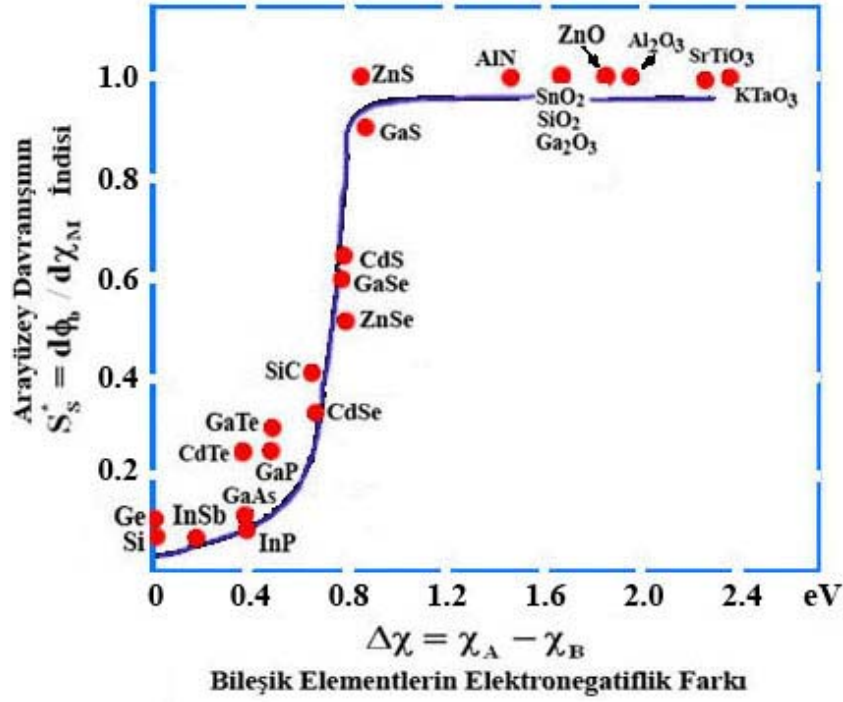
$$\phi_b = E_g - \phi_0 \quad (2.55)$$

olur. Engel yüksekliği yüzey hallerine “mıhla”nır (pinned). Eş.(2.53)'e “Bardeen sınırı” denir (Sharma, 1984). Gerçekte, yarıiletkendeki Fermi seviyesi yüksüz seviyeyle çakışmalıdır, çünkü bu durumdan Fermi seviyesinin biraz sapması arayüzeyde çokça sayıda yükü sonuçlanır.

$N_s \rightarrow 0$, $\gamma_s \rightarrow 1$ olduğunda karşıt sınırlama halinde

$$\phi_b = \phi_M - \chi - \sqrt{\frac{2\epsilon_s N_D q V_{bi}}{\epsilon_i^2}} \delta_{ox} \quad (2.56)$$

Bardeen'nin modeli Eş.(2.53) ile verilen engel yüksekliğinin kabul edildiği en basit modeldekinden deneysel ayrıntılarla daha iyi uyuşur. Halen, Schottky engel diyotların pek çok özelliğini bu model açıklayamaz, hatta yüzey halleri biçimlenmesinin mekanizmasını da açıklayamaz (Shur, 2010). Bu sorunu aşmak için, (Mead, 1960) Si, Ge, GaAs gibi kovalent bağlı yarıiletkenlerin yasak enerji aralığında yüzey hal yoğunluğunun büyük ve bu yarıiletkenlerde engel yüksekliğinin yüzey hallerince mihlanmış olduğunu, iyonik bağlı yarıiletkenlerde yasak enerji aralığında birkaç yüzey halinin var olduğunu ve engel yüksekliğinin öncelikle $(\phi_M - \chi_s)$ farkıyla belirleneceğini önerdi. İş işlevinin raporlanan değerlerindeki çok sayıda farklılık yüzünden, verilen bir metalin ϕ_M 'sini tam olarak belirlemek mümkün olmaz.



Şekil 2.13. Malzemenin iyonikliğinin ölçüsü olan elektronegativite farkının S^* indisine göre grafiği (Kurtin ve ark., 1969; Sharma, 1984; Mönch, 1995, 1999, 2004).

Zorluğu aşmak için (Aven ve Mead, 1966) ϕ_M metalin iş işlevi yerine χ_M metalin elektronegatifliğinin alınması gerektiğini söylediler ki, χ_M , ϕ_M 'e deneysel olarak, $\phi_M = A\chi_M + B$, ($A=2.27$, $B=0.34$) bağlıdır. Çok sayıda deneysel makalenin sonucundan

$$\phi_b = S_s^* \chi_M + \phi_{0s} \quad (2.57)$$

ifade edilir, M; metali ve S; yarıiletkeni temsil eder, ϕ_s ; yüzey hallerinin katkısını temsil eder ve $S_s^* = d\phi_b / d\chi_M$ metalin elektronegatifliğinin engel yüksekliğine bağlılığını verir. Kovalent bağlı malzemelerde S_s^* sıfıra yakındır ve ϕ_b temelinden χ_M 'den bağımsızdır. Diğer taraftan iyonik yarıiletkenler S_s^* 'nin büyük değerlerine sahiptir ve ϕ_b , χ_M 'ile lineer artar (Sharma, 1984).

Arayüzey tabakası ve yüzey hallerinin varlığında metal-yarıiletken kontağın bir genel çözümünü ilk kez Cowley ve Sze yapmıştır (Cowley, 1965). Rhoderick yarıiletkende voltaj farkını sıfıra ($V_i - V_F$) yaklaştıran yeterli düz besleme V_F Schottky engel

eklemine uygulanan ϕ_B^0 düz band engel yüksekliğini veren Cowley ve Sze tarafından türetilmiş ϕ_B ifadesini yeniden açıkladı (Rhoderick, 1978).

Çizelge 2.02. Bazı yaygın metallerin elektronegativiteleri ve iş fonksiyonları.

Metal	İş Fonksiyonları (eV)	Elektronegativite (eV)	Metal	İş Fonksiyonları (eV)	Elektronegativite (eV)
Pt	5.65	2.2	Ti	4.33	1.5
Ni	5.15	1.8	Al	4.28	1.5
Pd	5.12	2.2	Ag	4.26	1.9
Au	5.1	2.4	Ta	4.25	1.5
Co	5.0	1.8	Ga	4.2	1.6
Cu	4.65	1.9	In	4.12	1.7
Mo	4.6	1.8	Mg	3.66	1.2
W	4.55	1.7	Ca	2.87	1.0
Fe	4.5	1.8	Bi	2.7	0.9
Cr	4.5	1.6	Cs	2.14	0.7
Sn	4.42	1.8			

Elektronegativiteler Pauling (1960) ölçeğine göre alınmıştır (Rhoderick, 1988; Adachi, 1992).

Bu şartlar altında arınma bölgesinde yük yok olur ve metal kenarında yarıiletken kenarında arayüzey hallerinde yükler ile dengelenir. Düz band engel yüksekliği

$$\phi_B^0 = C_1(\phi_M - \chi_s) + (1 - C_1)(E_g - \phi_0) \quad (2.58)$$

$$\phi_B^0 = C_1\phi_M + C_2 \quad (2.59)$$

verilir (Cowley, 1965), burada

$$C_1 = \frac{\epsilon_i}{\epsilon_i + q^2 \delta D_s} \quad (2.60)$$

olarak verilir. $\epsilon_i = \epsilon_r \epsilon_0$; arayüzey tabakasının geçirgenliği, δ ; arayüzey tabakasının kalınlığı, q ; elektrik yükü, D_s ; birim eV ve birim alan başına arayüzey hallerinin yoğunluğudur. ϕ_0 ; yüksüz seviyenin durumu valans bandın tepesinden ölçülür.

$D_s \rightarrow 0$ sifıra yaklaşırken, $C_1 \rightarrow 1$ olur, ϕ_B^0 Schottky sınırına yönelir. Diğer yandan $D_s \rightarrow \infty$ büyük değerlere yaklaşırken, ϕ_B^0 Bardeen sınırı Eş.(2.55)'e ulaşır (Sharma, 1984).

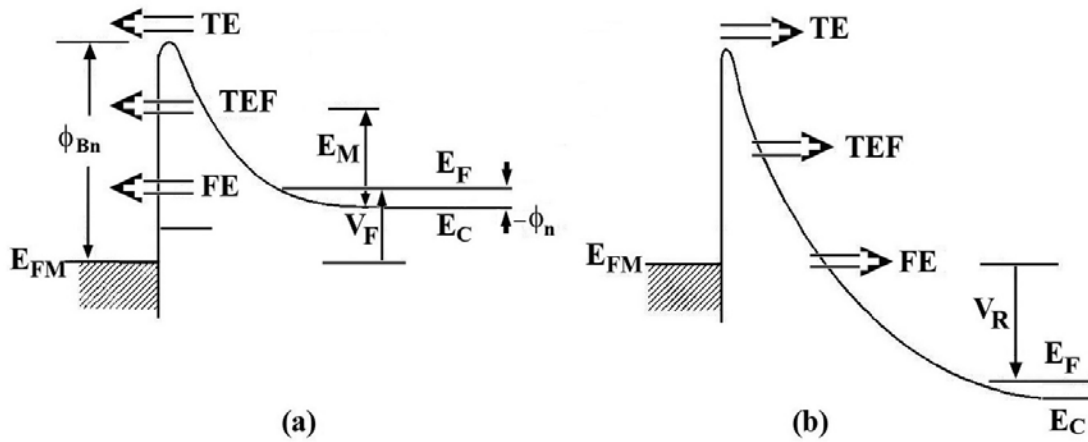
Spicer ve ark., (1979)'da yüzey hallerinin biçimlenmesini metal çökeltme sırasında oluşan kusurlara bağladılar (birleştirilmiş kusur modeli=Unified Defect Model).

Tersoff, (1984)'de bir arayüzey dipolü oluşturan bir malzemeden diğerine tünellenen elektronlarca Schottky engel yüksekliğinin denetlendiği modeli önerdi (metalez arayüzeyde süresiz bandlarla birlikte).

Schottky engellerin pek çok özellikleri engel yüksekliğini belirleyen tam mekanizmanın bağımsız olduğu anlaşılabilir. Diğer deyişle, deneysel verilerden etkin engel yüksekliğini basitçe tanımlayabiliriz.

2.11. Akım İletim Mekanizmaları

MS (metal-yarıiletken) ve MIS (metal-yalıtkan-yarıiletken) yapılarda akım iletimi genellikle çoğunluk taşıyıcıları ile gerçekleşir. Sıcaklık, arayüzey durumları seri direnç ve metal ile yarıiletken arasındaki yalıtkan tabaka nedeniyle akım iletim mekanizması MS ve MIS yapılarda farklılık gösterir. Bu yapılarda geçerli olan akım iletim mekanizmaları şunlardır. Termiyonik Emisyon (TE), Difüzyon, Termiyonik Emisyon-Difüzyon, Kuantum Mekaniksel Tünelleme (TFE-termiyonik alan emisyonu, FE-alan emisyonu, çok katlı tünelleme), Üretilme-Yeniden Birleşme.



Şekil 2.14. Metal/n-tipi yarıiletkende (a) doğru besleme altında, (b) ters besleme altında akım iletim mekanizmaları; 1) TE (termiyonik emisyon), 2) TEF (termiyonik-alan emisyonu), 3) FE(alan emisyonu) (Sze ve Ng, 2007).

2.12. Termiyonik Emisyon Modeli

Sıcak bir yüzeyden ısı enerjileri nedeniyle yüklü veya yüksüz taşıyıcıların yayınlanması olayına “ısıliyonik yayınım (thermionic emission)” denir. Metal/yarıiletken Schottky diyotlarda termiyonik yayınım teorisi; taşıyıcıların ısı enerjileri nedeniyle potansiyel engelini aşarak yarıiletkenden metale veya metalden yarıiletkene geçmesidir. Schottky diyotlarda akım, çoğunluk taşıyıcıları tarafından sağlanır. Metal/n-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda elektronlar, metal/p-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda ise deşikler akımı oluşturur.

Termiyonik yayınım teorisinin temeli; Maxwell-Boltzmann yaklaşımının uygulanabilmesine, doğrultucu kontağa ait potansiyel engelini, $k_B T$ enerjisinden daha büyük olmasına, arınma bölgesindeki taşıyıcı çarpışmalarının çok küçük olması, kabulüne dayanır. Şekil 2.04’te enerji-bant diyagramı görülen bir metal/n-tipi Schottky diyota, düz besleme uygulandığında, yarıiletken tarafı eksi ve metal tarafı artı olacak şekilde V büyüklüğünde bir potansiyel farkı oluşturulur. Yarıiletken tarafında V_{bi} olan potansiyel engeli, uygulanan gerilimden dolayı $e(V_{bi} - V)$ kadar azalır.

Yarıiletkenden metale doğru akan akım yoğunluğunun J_{sm} ve metalden yarıiletkene doğru akım yoğunluğunun J_{ms} olduğu kabul edilir. J_{sm} akım yoğunluğu, x yönünde ve engeli aşabilecek büyüklükte hızlara sahip elektronların yoğunlaşmasının bir fonksiyonudur. Akım yoğunluğu,

$$J_{SM} = e \int_{E_c}^{\infty} v_x dn \quad (2.61)$$

şeklinde yazılabilir. Burada E_c , iletkenlik bandının enerjisidir, termiyonik yayınımla metalden kurtulmak için gerekli minimum enerji, v_x taşınma yönündeki sürüklenme hızıdır. Artan elektron konsantrasyonu,

$$d_n = g_c(E)f(E)d(E) \quad (2.62)$$

ile verilir. Burada $g_c(E)$, iletkenlik bandındaki hal yoğunluğu ve $f(E)$, Fermi-Dirac olasılık fonksiyonudur. Maxwell-Boltzmann yaklaşımı uygulanarak elektron konsantrasyonu için,

$$dn = \frac{4\pi(2m_n^*)^{3/2}}{h^3} \sqrt{E - E_C} \exp\left[\frac{-(E - E_F)}{k_B T}\right] dE \quad (2.63)$$

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

$$\frac{1}{2} m_n^* v^2 = E - E_C \quad (2.64)$$

$$dE = m_n^* v dv \quad (2.65)$$

ve

$$\sqrt{E - E_C} = v \sqrt{\frac{m_n^*}{2}} \quad (2.66)$$

olur. Bu sonuçlar kullanılarak Eş.(2.63) ifadesi yeniden düzenlenirse,

$$dn = 2 \left(\frac{m_n^*}{h} \right)^3 \exp\left(\frac{-e\phi_n}{k_B T}\right) \exp\left(\frac{-m_n^* v^2}{2k_B T}\right) 4\pi v^2 dv \quad (2.67)$$

elde edilir. Bu denklem, hızları v ve $v + dv$ aralığında değişen elektronların sayısını verir. Hız bileşenlerine ayrılırsa,

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2 \quad (2.68)$$

şeklinde olur. Buradan (2.6) ifadesi

$$J_{SM} = 2e \left(\frac{m_n^*}{h} \right)^3 e^{\left(\frac{-e\phi_n}{k_B T}\right)} \int_{v_{ox}}^{\infty} v_x e^{\left(\frac{-m_n^* v_x^2}{2k_B T}\right)} dv_x \int_{-\infty}^{\infty} e^{\left(\frac{-m_n^* v_y^2}{2k_B T}\right)} dv_y \int_{-\infty}^{\infty} e^{\left(\frac{-m_n^* v_z^2}{2k_B T}\right)} dv_z \quad (2.69)$$

şeklinde yazılabilir. v_{ox} hızı, x doğrultusundaki harekette elektronun potansiyel engelini aşabilmesi için gerekli olan minimum hızdır. Son ifadede aşağıdaki değişken değiştirmeleri yapılabilir:

$$\frac{m_n^* v_x^2}{2k_B T} \equiv a_1^2 + \frac{e(V_{bi} - V)}{k_B T}, \quad \frac{m_n^* v_x^2}{2k_B T} \equiv a_2^2, \quad \frac{m_n^* v_x^2}{2k_B T} \equiv a_3^2 \quad (2.70)$$

Ayrıca, minimum v_{ox} hızı için,

$$\frac{1}{2} \mathbf{m}_n^* \mathbf{v}_{ox}^2 = e(V_{bi} - V) \quad (2.71)$$

eşitliği yazılabilir. Bu durumda $\mathbf{v}_x \rightarrow \mathbf{v}_{ox}$ şartı için $a_1=0$ olur. Yine

$$\mathbf{v}_x d\mathbf{v}_x = \left(\frac{2k_B T}{\mathbf{m}_n^*} \right) a_1 da_1 \quad (2.72)$$

yazılabilir. Yukarıdaki denklemler kullanılırsa;

$$\mathbf{J}_{SM} = 2e \left(\frac{\mathbf{m}_n^*}{h} \right)^3 \left(\frac{2k_B T}{\mathbf{m}_n^*} \right)^2 e^{\left(\frac{-e\Phi_n}{k_B T} \right)} e^{\left[\frac{-e(V_{bi}-V)}{k_B T} \right]} \int_{-\infty}^{\infty} a_1 e^{(-a_1^2)} da_1 \int_{-\infty}^{\infty} (-a_2^2) da_2 \int_{-\infty}^{\infty} (-a_3^2) da_3 \quad (2.73)$$

eşitliği elde edilir. Bu son ifadenin integrali alınır;

$$\mathbf{J}_{SM} = \left(\frac{4\pi e \mathbf{m}_n^* k_B^2}{h^3} \right) T^2 \exp \left(\frac{-e\Phi_b}{k_B T} \right) \exp \left(\frac{eV}{k_B T} \right) \quad (2.74)$$

olur. Uygulama gerilimi sıfır olduğunda $\mathbf{J}_{SM}$ ile $\mathbf{J}_{MS}$ birbirine eşittir. Yani,

$$\mathbf{J}_{MS} = \left(\frac{4\pi e \mathbf{m}_n^* k_B^2}{h^3} \right) T^2 \exp \left(\frac{-e\Phi_b}{k_B T} \right) \quad (2.75)$$

olur. Eklemdeki net akım yoğunluğu $\mathbf{J}_T = \mathbf{J}_{SM} - \mathbf{J}_{MS}$ olur. Daha açık ifadeyle net akım yoğunluğu,

$$\mathbf{J} = \left[\mathbf{R}^* T^2 \exp \left(\frac{-e\Phi_b}{k_B T} \right) \right] \left[\exp \left(\frac{eV}{k_B T} \right) - 1 \right] \quad (2.76)$$

olarak ifade edilir. Burada $\mathbf{R}^*$ termiyonik emisyon için Richardson sabiti olup

$$\mathbf{R}^* = \frac{4\pi e \mathbf{m}_n^* k_B^2}{h^3} \quad (2.77)$$

ile verilir. (2.76) ifadesi, kısaca,

$$\mathbf{J} = \mathbf{J}_0 \left[\exp \left(\frac{eV}{k_B T} \right) - 1 \right] \quad (2.78)$$

olarak da yazılabilir. Burada $\mathbf{J}_0$ ters-doyma akım yoğunluğu olarak bilinir ve

$$J_0 = R^* T^2 \exp\left(\frac{-e\Phi_b}{k_B T}\right) \quad (2.79)$$

şeklinde ifade edilir. Φ_b Schottky engel yüksekliğinin imaj kuvveti nedeniyle azaldığı ve $\Phi_b = \Phi_{b0} - \Delta\Phi$ şeklinde verildiği dikkate alınarak (2.79) ifadesi yeniden,

$$J_0 = R^* T^2 \exp\left(\frac{-e\Phi_b}{k_B T}\right) \exp\left(\frac{e\Delta\Phi}{k_B T}\right) \quad (2.80)$$

şeklinde yazılır. Engel yüksekliğindeki $\Delta\Phi$ değişimi, artan elektrik alanla ya da artan ters besleme gerilimi ile artacaktır.

2.13. Termiyonik Emisyon Modelinin Geçerlilik Ölçütü

Termiyonik modelin geçerlilik ölçütü elektronların ortalama serbest yolu l_{osy} ile, arayüzey yakınında arınma bölgesinde $k_B T/q$ kadar azalan potansiyelin

$$d_T = \frac{k_B T}{q E_{max}} \quad (2.81)$$

üzerinden uzaklıkla karşılaştırılmasıyla elde edilir (Rhoderick, 1977). E_{max} metal-yarıiletken arayüzeyde maksimum elektrik alanıdır,

$$E_{max} = \left(\frac{2qN_D V_{bi}}{\epsilon_s} \right)^{1/2} \quad (2.82)$$

ve ortalama serbest yol

$$l_{osy} = \frac{\mu_n}{q} \sqrt{3k_B T m_n} \quad (2.83)$$

ile verilir, μ_n : düşük alanlı elektron mobilitesi ve m_n : etkin kütledir. $l_{osy} = v_T \tau$ ortalama serbest yol denklemi içine $\tau = \mu_n m_n / q$ momentum gevşeme zamanı ve $v_T = (3k_B T / m_n)^{1/2}$ termal hızın yazılmasıyla Eş.(2.84) elde edilir.

$$l_{osy} > d_T \quad (2.84)$$

ise termiyonik model geçerlidir.

Metal-yarıiletken arayüzey yakınındaki elektronlar deneyimsel saçılmanın olması için uygun bir şansa sahip engeli aşacak yeterli enerjiye sahiptir. Bu yüksek enerjili elektronların momentum gevşeme zamanı, düşük alan mobilitesine bağladığımız düşük elektrik alanında τ momentum gevşeme zamanından tamamen farklı olabilir. Bu nedenle Eş.(2.84) oldukça ham bir ölçüttür. Yine de, termiyonik modelin geçerlilik şartları hakkında bize bazı fikirler verir. Eş.(2.82) ve Eş.(2.81)'de ve Eş.(2.81)'de Eş.(2.81) ve Eş.(2.84)'de yazdığımızda

$$N_D(\text{cm}^{-3}) > \frac{\epsilon_s \epsilon_0 k_B T m_n^*}{q V_{bi} \mu_n^2} \quad (2.85)$$

Si için oda sıcaklığında eşitsizlik Eş.(2.85) yaklaşık olarak $\approx 8 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 'den daha büyük olan N_D için geçerli olur.

$\lambda \ll d_T$ olduğunda arınma bölgesindeki yarı-Fermi seviyesinin konumu uzaklığa bağlı olur ve termiyonik model uzunca uygulanamaz. Bu durum difüzyon modeline uygundur (Rhoderick, 1977).

Termiyonik model geçerli olduğunda, Schottky diyotun akım-voltaj karakteristikleri, metal-yarıiletken arayüzeyinde yarıiletkenin içinde ve dışında elektronik akıların hesaplanmasıyla belirlenebilir. Elektronik akı, $J_{sm} = j_s/q$, yarıiletkenin dışında Eş.(2.85) kullanılarak ve $\phi_b - V$ engel yüksekliğiyle, ϕ_s iş işlevi yerine yazılarak, türetilir. Karşıt yöndeki akı, J_{ms} (metalden yarıiletkene) uygulama voltajından bağımsızdır (engel yüksekliği uygulama voltajından bağımsız olduğu varsayımıyla; metalde elektronlar için engel sıfır, düz ve ters besleme için ϕ_b 'e eşittir) (Shur, 2010).

2.14. Nss Arayüzey Hallerinin Bulunması

İdealite faktörü yarıiletken ile dengede arayüzey durumları (N_{ss}) ve metal yarıiletken arasındaki yalıtkan oksit tabakasının kalınlığı (δ), idealite çarpanı ve arayüzey durumları cinsinden Card ve Rhoderick, 1971'e göre

$$n_{if} = 1 + \frac{(\delta / \epsilon_i) [(\epsilon_s / W) + q N_{ssM}]}{1 + (\delta / \epsilon_i) q N_{ssY}} \quad (2.86)$$

verilmiştir. Bu denklem üç sınırlamaya sahiptir.

(i) arayüzey hal yoğunluğu potansiyel dağılımını etkilemeyecek kadar yeterince küçükse, $N_{ssM} \rightarrow 0$ ve $N_{ssY} \rightarrow 0$ için;

$$n_{if} = 1 + \frac{\epsilon_s \delta}{\epsilon_i W} \quad (2.87)$$

(ii) arayüzey hallerinin tamamının metal ile etkin olduğu durum için, $N_{ssM} \rightarrow 0$;

$$n_{if} = 1 + \frac{\delta \epsilon_s}{W(\epsilon_i + \delta q N_{ssY})} \Rightarrow N_{ssY} = \frac{1}{q} \left[\frac{\epsilon_s}{W(n_{if} - 1)} - \frac{\epsilon_i}{\delta} \right] \quad (2.88)$$

(iii) arayüzey hallerinin tamamının metal ile etkin olduğu durum için, $N_{ssY} \rightarrow 0$;

$$n_{if} = 1 + \frac{\delta}{\epsilon_i} \left[\frac{\epsilon_s}{W} + q N_{ssM} \right] \Rightarrow N_{ssM} = \frac{1}{q} \left[\frac{\epsilon_i}{\delta} (n_{if} - 1) - \frac{\epsilon_s}{W} \right] \quad (2.89)$$

olarak ifade edilir. Birinci durumda, ikinci terimin artması ile ideallikten uzaklaşılır. Buradan δ oksit kalınlığı bulunabilir. İkinci durumda oksit ile yarıiletkenin arayüzey hallerine bakılabilir. Üçüncü durumda metal-oksit-yarıiletken durumu incelenebilir (Hudait ve Krupanidhi, 2000; 2001).

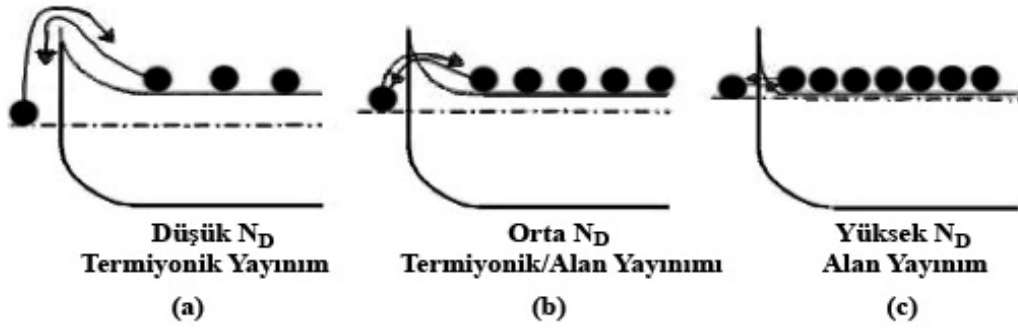
Oksit kalınlığı, Hudait ve Krupanidhi, 2001'deki Eş.(90)'dan bulunabilir;

$$\delta = \epsilon_i \left[\frac{\epsilon_s}{W} (\beta_r^{-1} - 1) \right]^{-1} ; \quad \beta_r = \left(\frac{kT}{q} \right) \left(\frac{d(\ln J)}{dV} \right) \quad (2.90)$$

β_r , I-V eğrisinde ters beslemenin eğimidir.

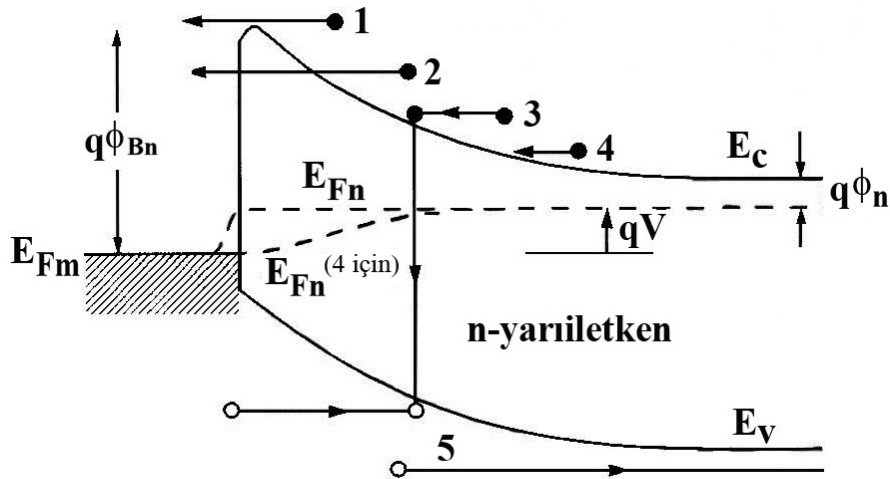
2.15. Schottky Engelinde Tünelleme

Metal-yarıiletken Schottky diyotlarında TE mekanizması yanında, elektronlar kuantum mekaniksel tünelleme ile engeli aşabilirler. Çok fazla katkılanmış dejenere ($N_d > 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) yarıiletken durumunda tünelleme doğru beslemede, düşük katkılı yarıiletkenlerde de tünelleme işlemi ters beslemede ortaya çıkar. Aşırı katkılanmış yarıiletken nedeniyle arınma bölgesi incedir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. Katkı konsantrasyonuna göre akım iletim durumları.

Düşük sıcaklıklarda, Fermi seviyesine çok yakın elektronlar yarıiletkenin metaline doğru tünelleme yapabilir. Böylece düz besleme yönündeki akım yarıiletkenin Fermi enerjisine yakın elektronların tünellemesiyle artar. Bu duruma alan emisyonu adı verilir yüksek sıcaklıklarda, elektronların önemli bir kısmı Fermi seviyesinin üstüne doğru yükselir. İletkenlik bandından E_m kadar yukarıda bulunan bu elektronların daha yüksek enerjili olması ve bu seviyede daha düşük bir engelle karşılaşılıyor olmaları tünelleme ihtimalini artırır ve doğru besleme yönündeki akımı artırır. Bu durum Termiyonik alan emisyonu olarak bilinir. Şekil 2.16'de metal/ n-yarıiletkenin düz besleme ve ters besleme altında başlıca akım iletim mekanizmaları gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Metal/n-tipi yarıiletkende doğru besleme altında temel akım iletim mekanizmaları; 1) termiyonik emisyon, 2) engel içinde tünelleme, 3) rekombinasyon, 4) elektron difüzyonu, 5) deşik enjeksiyonu, (Sze ve Ng, 2007).

Eğer sıcaklık daha da artırılırsa elektronlar potansiyel engel yüksekliğini aşabilecek kadar yeterli enerji kazanırlar ve dolayısıyla tünelleme olmadan engel üzerinden karşı tarafa rahatlıkla geçerler. Bu durum Termiyonik emisyonudur. Termiyonik alan emisyonu durumunda çok düşük doğru besleme voltajı varken, doğru besleme I-V karakteristiği,

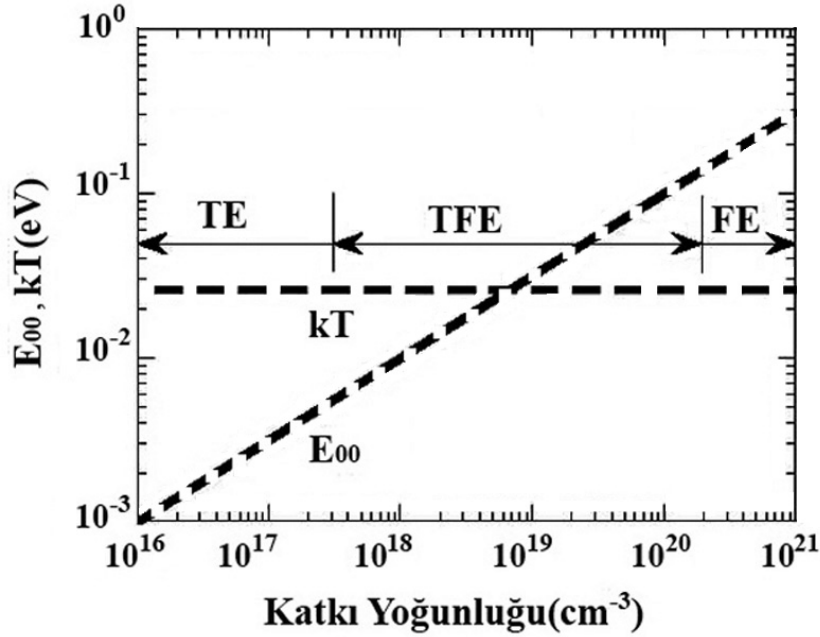
$$I = I_0 \exp\left(\frac{qV}{E_0}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{qV}{kT}\right)\right] \quad (2.91)$$

şeklinde ifade edilir. Burada,

$$E_0 = E_{00} \coth\left(\frac{E_{00}}{kT}\right) \quad (2.92)$$

$$E_{00} = \frac{qh}{4\pi} \sqrt{\frac{N_d}{\epsilon_s \epsilon_0 m^*}} \quad (2.93)$$

şeklinde (Schroder, 2006). Burada N_d ; etkin katkı yoğunluğu, m^* ; etkin elektron kütlesi ve h ; Planck sabitidir. I_0 ; zayıf bir şekilde gerilime bağlı olup engel yüksekliğinin, yarıiletken parametrelerinin ve sıcaklığının bir fonksiyonudur.



Şekil 2.17. Katkı yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak, kT ve E_{00} resimlemesi (Schroder, 2006).

E_{00} enerjisi tünelleme işleminde önemli bir parametredir (Schroder, 2006);

- (i) $k_B T \gg E_{00}$ ise, TE baskın olur, $E_{00} \leq 0.5 k_B T$,
- (ii) ($N_D \leq 3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$; TE)
- (iii) $k_B T \approx E_{00}$ ise, TFE baskın olur, $0.5 k_B T < E_{00} < 5 k_B T$,
- (iv) ($3 \times 10^{17} \leq N_D \leq 2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$; TFE)
- (v) $k_B T \ll E_{00}$ ise, FE baskın olur, $E_{00} \geq 5 k_B T$,
- (vi) ($N_D \geq 2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$; FE)

ve tünellemenin önemli bir ölçüsüdür. Düşük sıcaklıklarda E_{00} kT 'ye nazaran büyük bir değer alır ve $E_0 \approx E_{00}$ olur. Ayrıca E_{00} omik kontak öz direnci hakkında da bilgi verir (Ye, 1994).

2.16. Metal-Yarıiletken Yapıların Fiziği

Metal ile yarıiletken arasında yalıtkan oksit tabakası doğal yolla oluşabileceği gibi deneysel yöntemlerle de oluşturulabilir. Doğal olarak oluşan oksit tabakası ile metal/yarıiletken yapı metal/yalıtkan/yarıiletken yapıya dönüşür. MIS kontakların deneysel analizi yarıiletken yüzeyini anlamak için yararlıdır. Aradaki oksit tabakasının varlığı metali yarıiletken sistemden ayırır. Böylece yarıiletkendeki arayüzey durumlarının dolusu yarıiletkenin Fermi seviyesi ile belirlenir yani arayüzey durumları yarıiletken ile dengededir. Bir MIS yapıda metal-yalıtkan ve yalıtkan-yarıiletken arayüzeyi olmak üzere iki önemli arayüzey vardır.

2.17. Alan Etkisi Nedeniyle Potansiyel Engeli Alçalması

Termiyonik emisyon teorisi, yüzeydeki alan şiddeti dikkate alınmadan çıkarıldı. Halbuki alan etkisini dikkate almak gerekir. Yüzeydeki alan şiddeti arttıkça emisyon akımı da artar. Bu olaya Schottky etkisi denir. Ve potansiyel engelinin yüzey alan şiddetine bağlılığından kaynaklanır. Olayın asıl sebebi ise yüzeyden kurtulan taşıyıcılar ile yüzey arasındaki etkileşmedir. Böyle bir etkileşme $+x$ uzaklıktaki $+e$ yükü, bu yükün imajı olan $-x$ uzaklıktaki $-e$ yükü arasındaki kuvvete eşittir (Sze, 1969).

$$F_M = F_{SC} \quad (2.94)$$

$$F(x) = \frac{-q^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_s(2x)^2} = \frac{-q^2}{16\pi\epsilon_0\epsilon_s x^2} \quad (2.95)$$

$$F(x) = -qE_M(x) = -q\nabla V(x) = \frac{-q^2}{16\pi\epsilon_0\epsilon_s x^2} \quad (2.96)$$

olduğundan, imaj kuvvetinden doğan son potansiyel enerji,

$$V_s(x) = -V(x) = \int_{\infty}^x \frac{q}{16\pi\epsilon_0\epsilon_s x^2} dx = \frac{q}{16\pi\epsilon_0\epsilon_s x} \quad (2.97)$$

elektronun son potansiyel enerjisi bulunur. Dış alan uygulandığında toplam potansiyel enerji,

$$V_T(x) = \frac{q}{16\pi\epsilon_0\epsilon_s x} + eEx \quad (2.98)$$

$dV_T(x)/dx = 0$ için maksimum enerji bulunabilir. $x = x_{max}$ 'de potansiyel enerji

$$\left. \frac{d}{dx} [V_T(x)] \right|_{x=x_m} = \left. \frac{d}{dx} \left[\frac{q^2}{16\pi\epsilon_0\epsilon_s x} + eEx \right] \right|_{x=x_m} = 0 \quad (2.99)$$

$$-\frac{q}{16\pi\epsilon_0\epsilon_s x_m^2} + eE = 0 \quad (2.100)$$

$$x_m^2 = \frac{q}{16\pi\epsilon_0\epsilon_s E} \Rightarrow x_m = \sqrt{\frac{q}{16\pi\epsilon_0\epsilon_s E}} \quad (2.101)$$

$$E = \frac{q}{16\pi\epsilon_0\epsilon_s x_m^2} \quad (2.102)$$

$$Z = \frac{q}{16\pi\epsilon_0\epsilon_s} \text{ olsun, } x_m^2 = \frac{Z}{E}, \quad E = \frac{Z}{x_m^2} \text{ olur. } V_T(x) \text{ 'i düzenledikten sonra } Z \text{ 'li kısalt-}$$

maları yazalım,

$$V_T(x) = \frac{qZ}{x_m} + qEx_m \Rightarrow V_T(x) = \frac{qZ + qEx_m^2}{x_m} \Rightarrow V_T(x) = \frac{2qZ}{x_m} \sqrt{\frac{Z}{E}} \quad (2.103)$$

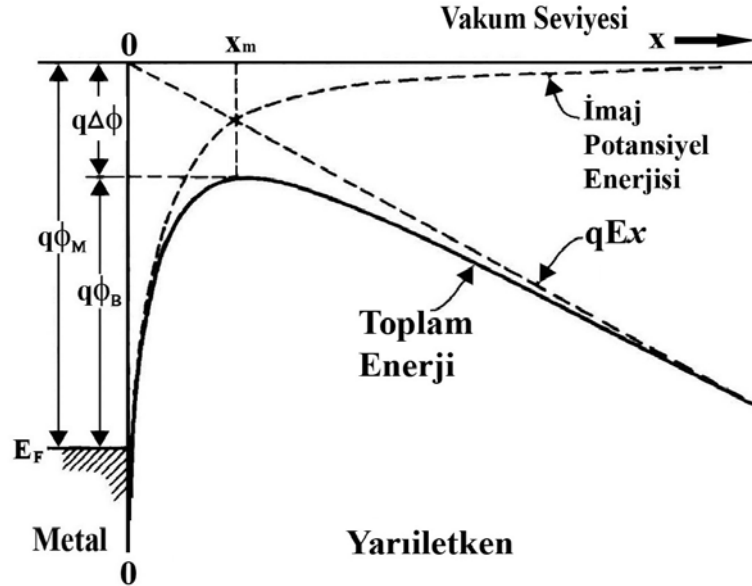
$$V_T(x_m) = q \sqrt{\frac{qE}{4\pi\epsilon_0\epsilon_s}} \quad (2.104)$$

Heriki taraf $1/q$ ile çarpılırsa, fark engel düşmesi bulunur.

$$\frac{1}{q} V_T(x_m) = \frac{1}{q} q \sqrt{\frac{qE}{4\pi\epsilon_0\epsilon_s}} \quad (2.105)$$

$$\Delta\Phi_b = \sqrt{\frac{qE}{4\pi\epsilon_0\epsilon_s}} = 2Ex_m \quad (2.106)$$

elde edilir, bu denklemde $E(0)$ ifadesi yazılır, sadeleştirmelerden sonra,



Şekil 2.18. Uygulama voltajının $V > 0$ olması halinde metal-yarıiletken doğrultucu kontakta bir taşıyıcı için potansiyel engelinin değişimi (Shur, 1990).

$$\Delta\Phi_b = \sqrt{\sqrt{\frac{q^3 N_d}{8\pi^2 (\epsilon_0 \epsilon_s)^3}} (V_{bi} \mp V_a)} \Rightarrow \Delta\Phi_b = \left[\frac{q^3 N_d}{8\pi^2 (\epsilon_0 \epsilon_s)^3} |V_{bi} \mp V_a| \right]^{1/4} \quad (2.107)$$

olur. (-; düz beslemeyi, +; ters beslemeyi gösterir). Net engel yüksekliği farkı

$$\Phi'_b = \Phi_b - \Delta\Phi_b \quad (2.108)$$

olarak bulunur.

2.18. Akım-Gerilim Verilerinden Diyot Parametrelerinin Hesaplanması

Çalışmada kullanılan numunelere ait akım-gerilim (I-V) ölçümleri, bilgisayar kontrollü KEITLEY 487 Picoammeter/Voltage Source cihazı ile oda sıcaklığında ($T=300^\circ\text{K}$) -2V ve +2V aralığında 201 noktalı veri alınarak yapıldı. I-V ölçümünden idealite çarpanları, engel yükseklikleri ve seri dirençleri hesaplandı.

İdealite çarpanı, diyodun ideal özelliklerinden sapmasını gösteren boyutsuz bir değişkendir. İdeal bir diyot için, bu çarpan $n=1$ olarak verilir. İdealite çarpanı hesaplanırken, akım cinsinden yazılmış hali olan;

$$I = I_0 \left[\exp \left(\frac{eV}{n_{if} kT} \right) - 1 \right] \quad (2.109)$$

bağıntısı kullanılır. Doğru beslemede $eV \gg 3kT$ olduğundan, bu eşitlikteki 1 terimi ihmal edilebilir. Bu durumda (2.110) eşitliği;

$$I = I_0 \exp \left(\frac{eV}{n_{if} kT} \right) \quad (2.110)$$

şeklinde yeniden yazılabilir. Eş.(2.110) eşitliğinin her iki tarafının “ln”i alınır, sonra V’ye göre türev alınır,

$$n_{if} = \frac{e}{kT} \left(\frac{dV}{d(\ln I)} \right) \quad (2.111)$$

n_{if} idealite çarpanı denklemi elde edilir. I-V verilerinden, ln I-V grafiği çizilir, bu grafiğin düz besleme kısmında 2.bölge doğruyu uydurma (fit etme) yapılır. Bu doğrunun eğiminin tersi veya tanjantının tersi $dV/d(\ln I)$ 'ı verir. Bu değer denklemde yazılır ve n_{if} idealite çarpanı hesaplanır. Bu doğrunun $V=0$ 'da düşey eksenini kestiği nokta I_0 doyma akımını verir. Doyma akımı,

$$I_0 = AR^* T^2 \exp \left[-\frac{e\Phi_b}{kT} \right] \quad (2.112)$$

şeklinde olur. Her iki tarafın “ln”i alınır, Φ_b 'e göre düzenlenir,

$$\Phi_b = \frac{kT}{e} \ln \left[\frac{AR^* T^2}{I_0} \right] \quad (2.113)$$

elde edilir. Bu denklem “engel yüksekliğini” verir. Burada, A; diyodun etkin alanı ($A=0.5024 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$), R^* ; Richardson sabiti (n-Si; 110, p-Si; 32, n-GaP; $98.2 \text{ A/K}^2 \text{ cm}^2$), T, Kelvin cinsinden ortam sıcaklığı (T; 300°K) ve k; Boltzmann sabitidir ($k=8.625 \cdot 10^{-5} \text{ eV/}^\circ\text{K}$).

2.19. Cheung Fonksiyonlarının Belirlenmesi

I-V karakteristiklerinin doğru besleme kısmından, metal-yarıiletken kontak yapısının, Schottky diyot parametrelerinin hesaplanması için Cheung ve Cheung, 1986’da değişik bir model sundu. Termiyonik emisyonunda bulunan J akım yoğunluğu, diyodun A etkin alanıyla çarpılırsa, diyottan geçen toplam akım,

$$I = A \cdot J = \left[A R^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_{bn}}{kT}\right) \right] \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.114)$$

olarak elde edilir. $eV \gg kT$ ise, 1 ihmal edilebilir. Pratikte, uygulanan voltajın tümü arınma bölgesinde düşmez, ideal durumdan sapmalar olur. Bu sapmaları belirleyebilmek için, birimsiz bir sabit olan ” n_{if} ” idealite çarpanının da hesaba katılması gerekir. Akım denkleminin en sağındaki ikinci kesrin paydasına n_{if} yazılırsa,

$$I = A \cdot J = \left[A R^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_{bn}}{kT}\right) \right] \left[\exp\left(\frac{eV}{n_{if}kT}\right) \right] \quad (2.115)$$

halini alır. Burada, uygulanan V voltajının, IR_s kadarı seri direnç üzerinde düşeceğinden V yerine $V - IR_s$ alınır ve Eş.(2.115) ifadesi;

$$I = A \cdot J = \left[A R^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_{bn}}{kT}\right) \right] \left[\exp\left(\frac{e(V - IR_s)}{n_{if}kT}\right) \right] \quad (2.116)$$

şeklinde yazılır. Bu eşitliğin tabii logaritması alınıp, V’ye göre çözümü yapılırsa,

$$V = \left(\frac{n_{if}kT}{e} \right) \ln\left(\frac{I}{A R^* T^2}\right) + n_{if} \Phi_{bn} + IR_s \quad (2.117)$$

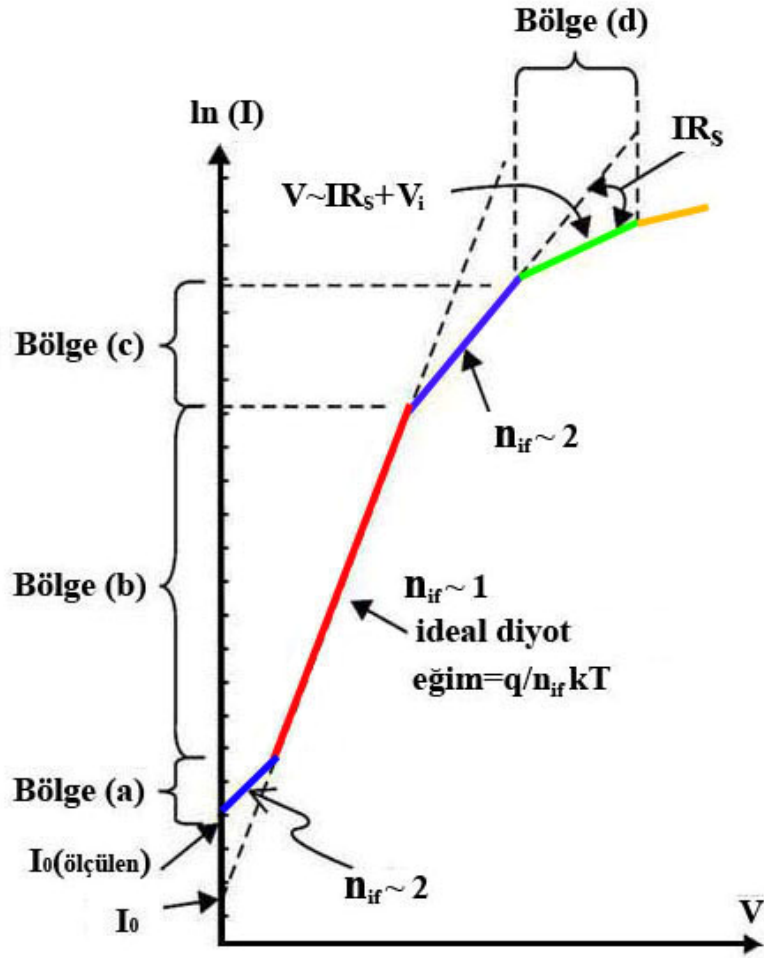
elde edilir. Eş.(2.117) ifadesinin ln I’ a göre diferansiyeli alınırsa,

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{n_{if}kT}{e} + IR_s \quad (2.118)$$

elde edilir. Bu denkleme 1.Cheung denklemi diyelim ve $H_{Ch1}(I)$ ile gösterelim.

$$H_{Ch1}(I) = n_{ifV} \frac{kT}{e} + IR_s \quad (2.119)$$

Eş.(2.118) eşitliğinde $dV/d(\ln I)$ 'nin I 'ya göre grafiği bir doğrudur ve bu doğrunun eğimi R_s seri direncini verir (Cheung, 1986). Bu doğrunun düşey eksenini kestiği noktadan n_{ifH_1} idealite faktörü bulunur. Φ_{bn} engel yüksekliği;



Şekil 2.19. I-V grafiğinde idealite çarpanının (n_{if}) bölgesel değerleri (Baca, 2005).

$$H_{Ch2}(I) = V - \left(\frac{n_{if} kT}{e} \right) \ln \left(\frac{I}{AR^* T^2} \right) \quad (2.120)$$

şeklinde bir $H_2(I)$ fonksiyonuyla tanımlanabilir. Eş.(2.120) eşitliğinden;

$$H_{Ch2}(I) = n_{ifH_{Ch1}} \Phi_{bn} + IR_s \quad (2.121)$$

yazılabilir. Buna 2.Cheung denklemi diyelim ve $H_{\text{Ch2}}(I)$ ile gösterelim. $H(I)$ - I grafiği çizildiğinde, elde edilecek doğrunun eğimi, R_s seri direncini verir. Bu doğrunun $H(I)$ eksenini kestiği noktadan da Φ_{bnHCh2} engel yüksekliği bulunur.

2.20. Kapasite-Gerilim Ölçümlerinden Diyot Parametrelerinin Hesaplanması.

Numunelerin C-V ölçümünden yararlanılarak, bazı değişkenlerin değerleri bulunabilir. $T=300$ K, $f=40$ Hz-110MHz aralığında, Agilent 4292A Precision Impedance Analyzer cihazından alınan veriler, veri işleyici yazılımlara alınır, C^{-2} -V grafiği çizilir. Bu grafik bir doğru denklemi verir. Eş.(2.23) düzenlenerek C^{-2} -V grafiğinin uyum doğrusuyla ilişkilendirildiğinde Eş.(2.24) elde edilir.

$$N_D = \frac{2}{\epsilon_0 \epsilon_s e A^2} \left[\frac{d}{dV} \left(\frac{1}{C^2} \right) \right]^{-1} \quad (2.24)$$

Doğrunun $V=0$ için $+V$ eksenini kestiği nokta V_{bi} verir. V_{bi} 'nin engel yüksekliğiyle

$$\Phi_b = \frac{1}{n_{if}} V_{bi} + E_F \quad (2.122)$$

bağıntısı vardır (Bati, 1999).

(2.23) ifadesinin V 'ye göre türevi alınıp donör konsantrasyon N_D çekilirse (2.24) ifadesi elde edilir. C^{-2} -V grafiğindeki lineer kısma bir uyum doğrusu (fit) çizilirse elde edilecek doğru eğimi $d(C^{-2})/dV$ 'i verir. Eğim değerleri bulunduktan sonra (2.24)'de yerine yazılarak diyot için N_D donör konsantrasyonları elde edilir.

Termal denge durumunda n-tipi bir yarıiletkenin asal taşıyıcı konsantrasyonu;

$$n_0 = n_i = N_C \exp \left(\frac{-(E_C - E_{Fi})}{k_B T} \right) \quad (2.123)$$

ile verilmektedir. Bu denklemin üstel kısmına E_F enerjisinin ekler ve çıkarırsak

$$n_0 = N_C \exp \left(\frac{-(E_C - E_{Fi})}{k_B T} \right) \exp \left(\frac{(E_F - E_{Fi})}{k_B T} \right) \quad (2.124)$$

ifadesi elde edilir. Denklem

$$n_0 = n_i \exp\left(\frac{(E_F - E_{Fi})}{k_B T}\right) \quad (2.125)$$

tipine dönüşür. Buradan dönüşüm yapılarak,

$$E_F = E_{Fi} + k_B T \exp\left(\frac{n_0}{n_i}\right) \quad (2.126)$$

Dengedeki katkılı yarıiletken için Fermi enerjisi eşitliğini elde ederiz. Asal donör konsantrasyonu (Zeghbrouck, 2011),

$$n_{0i} = \frac{1}{\rho \mu q} \quad (2.127)$$

ile bulunur ki, burada ρ ; yarıiletkenin özdirenci, μ ; yarıiletkenin mobilitesi, q ; elektrik yüküdür. Denklemi yeniden düzenlersek,

$$E_F = E_{Fi} + k_B T \exp\left(\frac{n_{0i}}{n_i}\right) \quad (2.128)$$

elde edilir (Neamen, 2007) ve termal dengede ve katkıca dengelenmiş yarıiletkende bant ortası Fermi seviyesi ile dengelenmiş Fermi seviyesinin kristalin asal konsantrasyonu ve katkı konsantrasyonuna bağlılığını ifade eder. Yalnız burada N_{ed} ; etkin donör konsantrasyonudur. Bu ifade Colinge, 2002’de donör konsantrasyonu cinsinden

$$E_F = E_{Fi} + k_B T \exp\left(\frac{N_d}{n_i}\right) \quad (2.129)$$

ile verilir. n_i ise donör katkılı termal denge yüksüzlük şartından elde edilen

$$n_{0i} = \frac{N_d}{2} + \sqrt{\left(n_i\right)^2 + \left(\frac{N_d}{2}\right)^2} \quad (2.130)$$

(Neamen, 2007) kullanılarak

$$n_i = \sqrt{\left(n_{0i} - \frac{N_d}{2}\right)^2 - \left(\frac{N_d}{2}\right)^2} \quad (2.131)$$

etkin donör konsantrasyonu elde edilir (Bkz Ek.1).

n-tipi yarıiletken durumunda $N_d \gg n_i$ olacağı için $n_0 = N_D$ olur (Neamen,1992). Burada, n_i , asal elektron konsantrasyonudur. Bu durum dikkate alınarak Eş.(2.124) denklemi yeniden düzenlenecek olursa,

$$N_D = N_C \exp\left(\frac{E_F - E_C}{k_B T}\right) \quad (2.132)$$

şeklinde elde edilir. Bu eşitlikte her iki tarafın logaritması alınır ve iletkenlik bandı referans seviyesi olarak kabul edilirse ($E_C=0$), bu durumda (2.133) ifadesi;

$$E_F = k_B T \ln\left(\frac{N_D}{N_C}\right) \quad (2.133)$$

şeklinde yeniden elde edilir. (2.133) ifadesi ile her bir diyot için hemen ve zamana bağlı ölçümlerden hesaplanan N_d değerleri (2.132) denkleminde yerine yazılarak, iletkenlik bandının tabanı ile Fermi seviyesi arasındaki fark olan V_n değerleri elde edilir. Hesaplanan V_{bi0} ve V_n enerji değerleri;

$$\Phi_{b0} = V_{bi0} + V_n \quad (2.134)$$

ile verilen denklemde yerine yazılarak engel yükseklikleri hesaplanır (Sağlam ve Türüt, 1997)



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Giriş

Bu bölümde; havaya maruz bırakma (air-exposed) yöntemi kullanılarak n-Si ve n-GaP kristallerinden Schottky diyot üretiminin nasıl yapıldığı anlatılacaktır. Numuneler kesilecek, temizlenecek, omik kontak yapılacaktır, sıfırıncı diyot veya 1.gün diyotu üretilen, havaya maruz bırakma takvimine uyularak her günün diyotu yapılacaktır ve veri alma işlemine geçilecektir. Karakteristik data olarak; I-V, C-V, C^{-2} -V, C-f, G-V, G-f, Q-V, Q-F, Cp-V, Cp-f, B-V, B-f ölçümleri kayıt edilecektir, grafikleri çizilecek, diyot parametreleri; idealite çarpanı, engel yükseklikleri, seri direnç, katkı konsantrasyonları, Fermi enerjileri, inşaa potansiyelleri, uygulama gerilimi sıfırken sığa-gün, ABU (arınma bölgesi uzunluğu)-gün grafiği çizilecek, ABU değerleri kullanılarak, arayüzey hal yoğunluğu (AHY) değerleri bulunarak (AHY)-gün grafiği çizilecek ve sonra oksit kalınlığı-gün grafiği çizilecek, uygulanan yöntemin sonuçlara nasıl etkidiği görülmeye çalışılacaktır.

3.2. Kristal ve Araç-Gerecin Temizlenmesi

3.2.1. n-Si Kristalinin Temizlenmesi

Bu çalışmada, bir yüzü parlatılmış [100] doğrultusunda büyütülmüş, 400 µm kalınlığında ve donör konsantrasyonu $4.5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ olan n-Si(S) yarıiletken kristali kullanılmıştır.

n-Si kristaller, her olasılığa karşın her birinden diyot sayısının iki katı sayıda (~25 adet) $5 \times 5 \text{ mm}^2$ 'lik parçalara ayrılmıştır.

Temiz oda çalışmalarında “temizlik işlemleri” elde edilen diyottan elde edilecek verilerin doğruluğu ve güvenilirliği açısından çok önemlidir. Organik ve inorganik kirler SC(Standart Cleaning) veya RCA(Radio Corporation America-W. Kern) temizleme yöntemi kurallarına uyularak ve birkaç ara işlem eklenerek temizlendi. Kimyasal olarak RCA işlemi adımları şöyledir;

1. Deiyonize su (18 MOhm) ultrasonik olarak 5 dk. yıkama
2. Asetonda ultrasonik olarak 5 dk. yıkama,

3. Deiyonize su (18 MOhm) ile yıkama (2 kez 50ml'lik beher kap ile),
4. Metanolda ultrasonik olarak 5 dk. yıkama,
5. Deiyonize su (18 MOhm) ile yıkama (2 kez 50ml'lik beher kap ile),
6. İzopropil alkolde ultrasonik olarak 5 dk. yıkama,
7. Deiyonize su (18 MOhm) ile yıkama (2 kez 50ml'lik beher kap ile),
8. NH_3 : H_2O_2 : H_2O (1:1:6) ile 5 dk. 60°C 'de kaynatıldı
9. Deiyonize su (18 MOhm) ile yıkama (2 kez 50ml'lik beher kap ile),
10. HF : H_2O (1:10) Florik asit çözeltisine 30sn daldırıldı(polimer plastik kapta),
11. Deiyonize su (18 MOhm) ile yıkama (2 kez 50ml'lik beher kap ile),
12. HCl : H_2O_2 : H_2O (1:1:6) ile 5 dk. 60°C 'de kaynatıldı,
13. Deiyonize su (18 MOhm) ile yıkama (2 kez 50ml'lik beher kap ile),
14. HF : H_2O (1:10) Florik asit çözeltisine 30sn daldırıldı(polimer plastik kapta),
15. Deiyonize su ile iyice yıkama (4 kez 50ml'lik beher kap ile),
16. Azot gazı (N_2) ile kurutma

3.2.2. n-GaP Kristalinin Temizlenmesi

Bu çalışmada, bir yüzü parlatılmış, [100] doğrultusunda büyütülmüş, $400\text{ }\mu\text{m}$ kalınlığında ve donör konsantrasyonu $4.75 \times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ olan n-GaP(S) yarıiletken dilimi kullanılmıştır. n-GaP (S) yarıiletken kristal yüzeyinden, organik ve inorganik kirler SC (Standart Cleaning) veya RCA (Radio Corporation America) temizleme yöntemi kurallarına uyularak ve birkaç ara işlem çıkartılarak temizlendi. Temiz oda çalışmalarında “temizlik işlemleri” elde edilen diyottan elde edilecek verilerin doğruluğu ve güvenilirliği açısından çok önemlidir. Kimyasal olarak RCA işlemi adımları şöyledir;

1. Trikloretilende ultrasonik olarak 5 dk. yıkama,
2. Deiyonize su (18MOhm) ile iyice yıkama (2 kez 50ml'lik beher kap ile),
3. Asetonda ultrasonik olarak 5 dk. yıkama,
4. Deiyonize su (18MOhm) ile iyice yıkama (2 kez 50ml'lik beher kap ile),
5. Metanolda ultrasonik olarak 5 dk. yıkama,
6. Deiyonize su (18 MOhm) ile iyice yıkama (2 kez 50ml'lik beher kap ile),
7. İzopropil Alkolde ultrasonik olarak 5 dk. yıkama,
8. Deiyonize su (18 MOhm) ile iyice yıkama (2 kez 50ml'lik beher kap ile),
9. H_2SO_4 : H_2O_2 : H_2O (3:1:1) ile 5 dk. 66°C 'de kaynatıldı,

10. Deiyonize su ile iyice yıkama (4 kez 50ml'lik beher kap ile),
11. Azot gazı (N₂) ile kurutma

3.2.3. Kontak yapımında Kullanılacak Araç-Gerecin Temizlenmesi

Yarıiletken kristal yüzeyine buharlaştırmada kullandığımız metaller, metanolda ultrasonik olarak ve etanolde içerisinde ayrı ayrı beş(5) dakikalık sürelerde yıkanarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Vakum ünitesinin tutucusu ve metal parçaları da etanolle temizlenmiştir.

3.3. Kontak Takviminin Hazırlanması ve Havaya Maruz Bırakma Yöntemi

Yeteri sayıda numune hazırlanır, seçilen belirli günlerde (bu günler genelde periyodik seçilir) Schottky kontak yapılacağına karar verilir, sonra en son kontak yapılacağı tarihe kadar planlı çalışmak amacıyla “deney uygulama takvimi” hazırlanır.

“Havaya maruz bırakma” yöntemi süreyle ilgilidir. Üretilen örnekler laboratuvarın temiz ve güvenli bir yerinde hava ortamında doğal oksitlenmeye bırakılır (Angermann ve ark., 1994). Havaya maruz bırakma yönteminin amacı, yarıiletken aygıtlarda zamanla ortamdan nasıl etkilendiklerini incelemektir. Bu tür çalışmalar yarıiletken aygıtların, güvenilirliği, kalitesi ve dayanıklılığı için önemlidir.

Çizelge 3.03. Schottky kontak üretim takvimi, Cu/n-Si/Al(64). (takvim günü, gün sayısı) (22/Ekim /2014-25/Aralık /2014).

Ptesi	Salı	Çarş	Perş	Cuma	Ctesi	Pazar
22/01	23	24/02	25	26/04	27	28
29	30/08	31	1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15/16	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	1/32	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17/48	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
14	15	16/64				

Çizelge 3.04. Schottky kontak üretim takvimi a) Cu/n-Si/Al (36), (resmi takvim, gün sayısı) (16/Şubat/2015-02/Nisan/2015).

Ptesi	Salı	Çarş	Pers	Cuma	Ctesi	Pazar
16	17	18	19/01	20	21	22
23/02	24	25	26/03	27	28	1
2/04	3	4	5/05	6	7	8
9/06	10	11	12/07	13	14	15
16/08	17	18	19/09	20	21	22
23/10	24	25	26/11	27	28	29
30/12	31	1	2/13	3	4	5

Çizelge 3.05. Pd/n-GaP/InZnSb diyotuna ait Schottky kontak üretim takvimi (resmi takvim, gün sayısı) (08/Temmuz/2015-13/Ağustos/2015).

Ptesi	Salı	Çarş	Pers	Cuma	Ctesi	Pazar
6	7	8/01	9	10	11/02	12
13	14/03	15	16	17/04	18	19
20/05	21	22	23/06	24	25	26/07
27	28	29/08	30	31	1/09	2
3	4/10	5	6	7/11	8	9
10/12	11	12	13/13	14	15	16

3.4. Omik Kontak ve Schottky Kontak İşlemi

64 günlük ilk çalışma (22/Ekim/2014-16/Aralık/2014 aralığında 0, 2, 4, 8, 16, 32, 48, 64 günlerinde) uygulandı; n-Si numuneler temizlendikten hemen sonra; önce n-Si kırmıkların hepsi Edwards A306 termal vakum cihazının tutucu paletine mat tarafı alta bakacak şekilde yerleştirildi. Vakum cihazına temiz yakılmış tungsten kayıkçıklar takıldı (Edwards A306/500 modelinde iki kayıkçık takılabilir). Tungsten kayıkçığa 4n saflıkta Al (0.0050gr) konuldu. Makine çalıştırıldı, basıncın 5.10^{-5} Torr'a gelmesi beklendi. Bu değerde akım verilerek Al'nin deposit olması sağlandı. Vakum makinesi normal basınca döndürüldü. Al kaplanmış tüm kırmıklar kuarzttan yapılmış boru şekilli bir sürgüye dizilerek yüksek ısıli önceden 450°C 'bekletilen fırına sürüldü ve 3 dakika azot (N_2) gazı ortamında tavlandı. Fırından alınan numunelerden biri rastgele seçilerek, vakum cihazına alındı ve tungsten kayıkçığa 4n Cu (0.0050gr) konularak vakum cihazında Schottky kontak yapıldı. Bu ilk diyoda sıfırinci gün veya 1.gün diyodu denildi. Diğer diyotlar bir plas-

tik kutuya konularak üzeri doğal oksit kaplansın diye laboratuvar ortamında sakın bir yere alındı.

36 günlük ikinci çalışma (19/Şubat/2015-13/Nisan/2015 aralığında 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36 günlerinde) uygulandı, Yukarıda anlatılanlar ikinci küme için aynen tekrarlandı.

36 günlük üçüncü çalışma (08/Temmuz/2015-13/Ağustos/2015 aralığında 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36 günlerinde) uygulandı; n-GaP numuneleri de temizleme işleminden sonra; omik kontak aşamasına gelindi. III-V bileşiklere kontak tutturmak zor olduğundan, birçok deneme yapıldı, sonunda InZnSb alaşımının kararlı olduğu gözlemlendi. n-GaP kırmıkları vakum cihazına alındı, tungsten kayıkçığa InZnSb (0.0100gr; 0.0022gr; 0.0022gr) konuldu. $5 \cdot 10^{-5}$ Torr basınca gelince çok yavaşça akım düğmesi 0.1'lik adımlarla tungsten kayıkçığın orta bölmesinin kızardığı görüldü kadar arttırıldı, tungsten kayıkçığın içindeki InZnSb karışımının sıvılaştığı görüldüğünde yine çok yavaşça 0.1'lik adımlarla akım azaltıldı. Akım düğmesi sıfıra geldiğinde cihazın göstergesinin yeniden $5 \cdot 10^{-5}$ Torr basınca gelmesi beklendi ve geldiğinde ani yüksek akım verildi. Vakum cihazı normal basınca döndürüldü. Kırmıklar yukarıda anlatıldığı gibi omik kontak yapıldı, azot ortamında 460°C 'de 5 dakika tavlandı. Vakum cihazından tungsten kayıkçıklar söküldü ve yerine önceden temizlenmiş ve yakılmış bir yeni tungsten kayıkçık takıldı, içine 0.0060gr 5n saflıkta Pd metali konuldu. Kırmıklardan biri rastgele seçildi, vakum cihazına alındı. Vakum cihazı kuralına uygun çalıştırılarak kırmığın parlak yüzeyine Schottky kontak yapıldı.

Tüm çalışmalarda Schottky kontak eleği, delik çapı 0.8 mm olan “Braun Elektrikli Tıraş Makinesinin 303 nolu eleği ile yapıldı. Diğer kırmıklar takvime uygun kontak yapılmak üzere plastik bir kutuda havaya maruz bırakma işlemi için güvenli bir noktaya alındı. Kontak yapma saati sabah 08-09 olarak belirlendi ve bu kurala genel olarak uyuldu.

3.5. Veri Alma İşlemleri

Veri alma önce akım-voltaj “Keithley 6487 Picoammeter/Voltage Source” aracıyla, sonra kapasite-voltaj ve diğer C-f, G-V, G-f, Cp-V, Cp-f, B-V, B-f, Q-V, Q-f dataları “AGILENT 4294A 40Hz-110 Mhz PRECISION IMPEDANCE ANALYZER”

cihazıyla alındı. Ölçüm günü veri alma saati sabah 09-11 olarak belirlendi ve bu kurala genel olarak uyuldu.

3.6. Veri İşleme ve Grafiklerin Çizimi

Grafikler “Grapher 9” grafik çizme programıyla çizim çizildi. Hesaplamalar ise “Mathcad 2001 Professional” programı yardımıyla yapıldı.

Grafiklerdeki bazı eğrilerin eğim doğruları(fitleri) çizildi. Bu doğrulardan diyota ait sınır değerler elde edilerek hesaplamalarda kullanıldı. Sonuç değerler çizelgelere yazıldı.

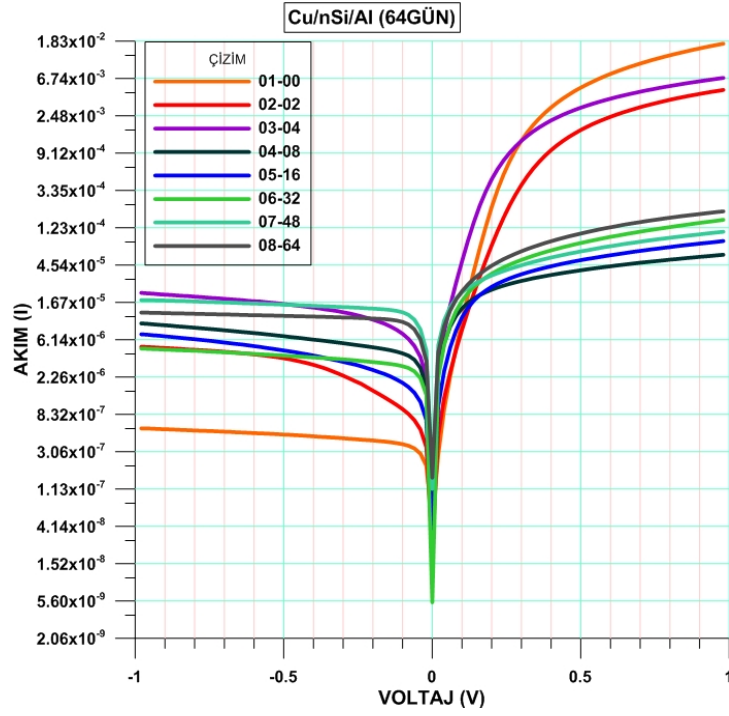
Hesaplamalarda kullanılan yarıiletkenin dielektrik sabiti $\epsilon_{Si}=11.9$, $\epsilon_{ox}=0.34$, $\epsilon_{Gap}=11.1$ Brillson, 1993’den alındı.

3.7. Grafiklerde Simgeleme

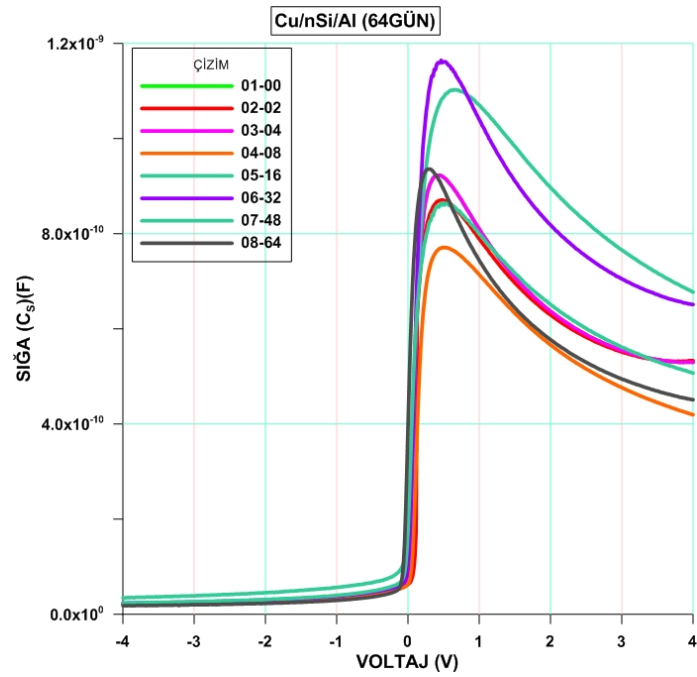
Grafikler kolay anlaşılabilsin diye renkli çizilmiştir. Renk gösterge skalasında diyotların örnekleri üsten aşağıya doğru sıralanmıştır. İlk iki sayı “diyot numarasını”, sonraki iki sayı Schottky kontağın yapıldığı “gün numarasını” göstermektedir, “DN-GS” gibi.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

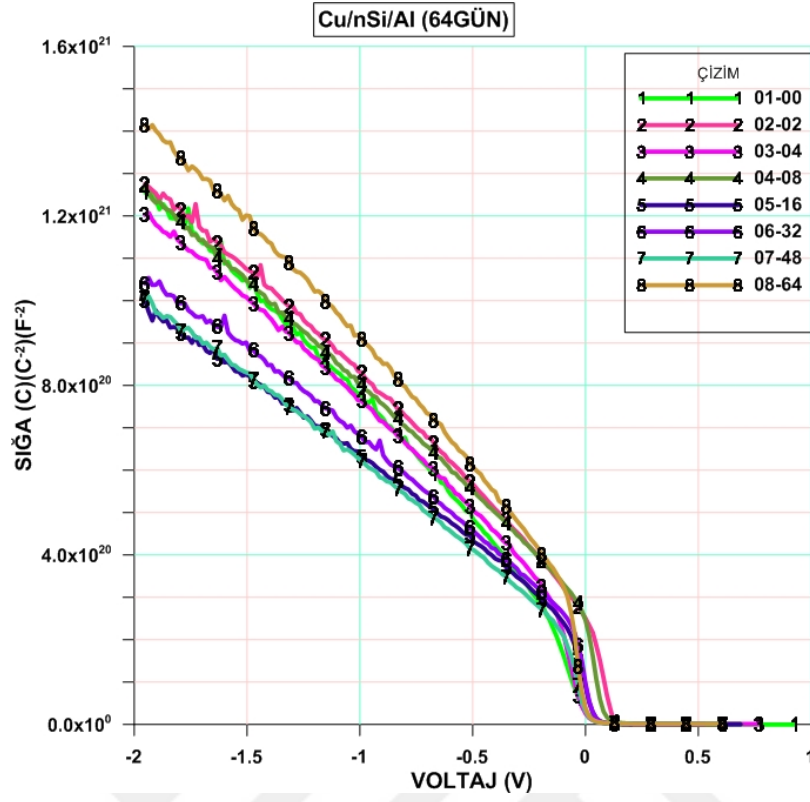
4.1. 64 Günlük Cu/n-Si/Al Diyotlarına Ait Karakteristik Grafikler



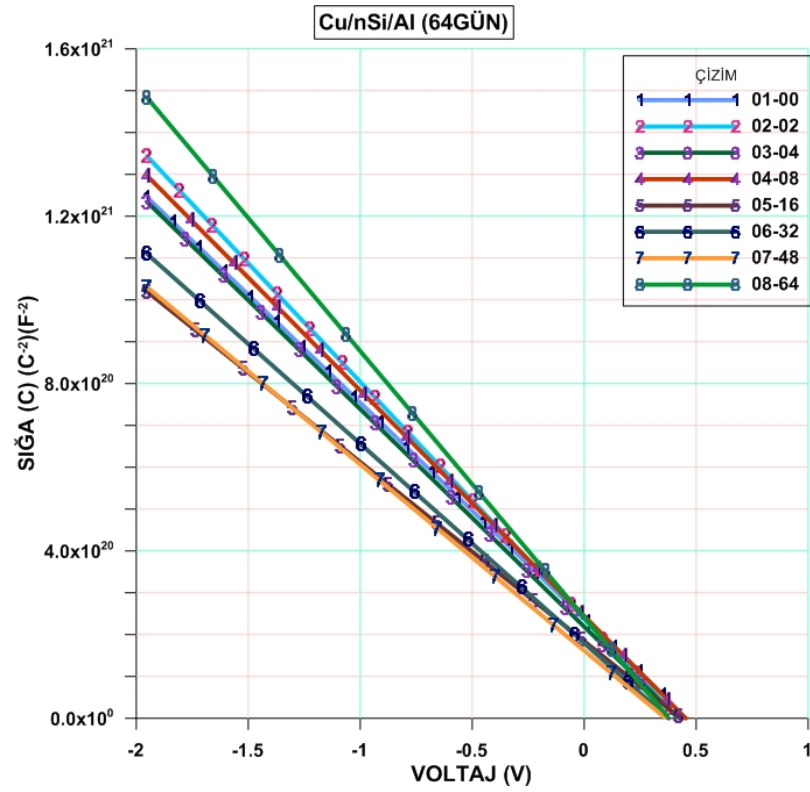
Şekil 4.20. Cu/n-Si/Al(64) diyotun lnI-V grafiği.



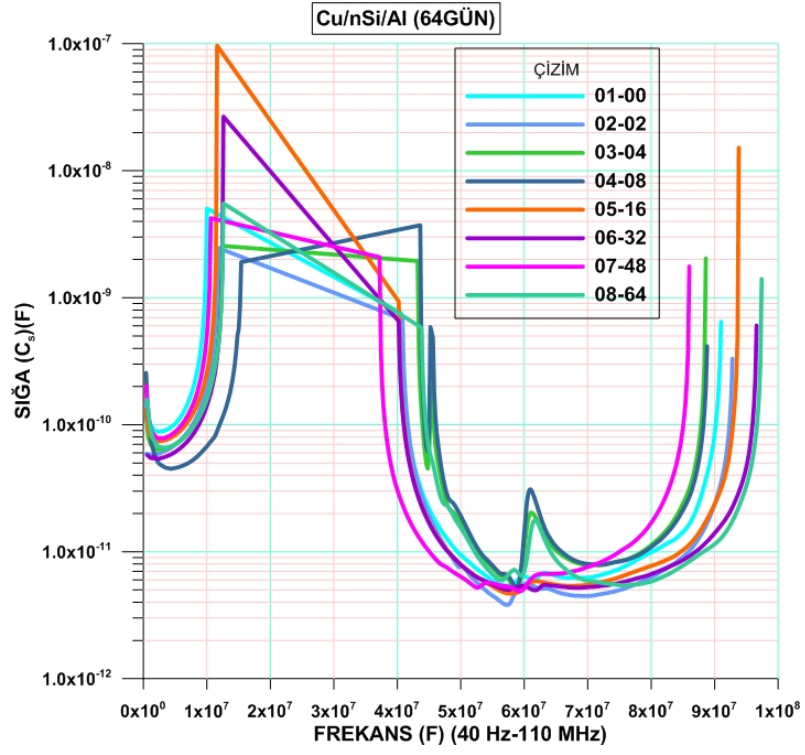
Şekil 4.21. Cu/n-Si/Al(64) diyotun Cs-V grafiği.



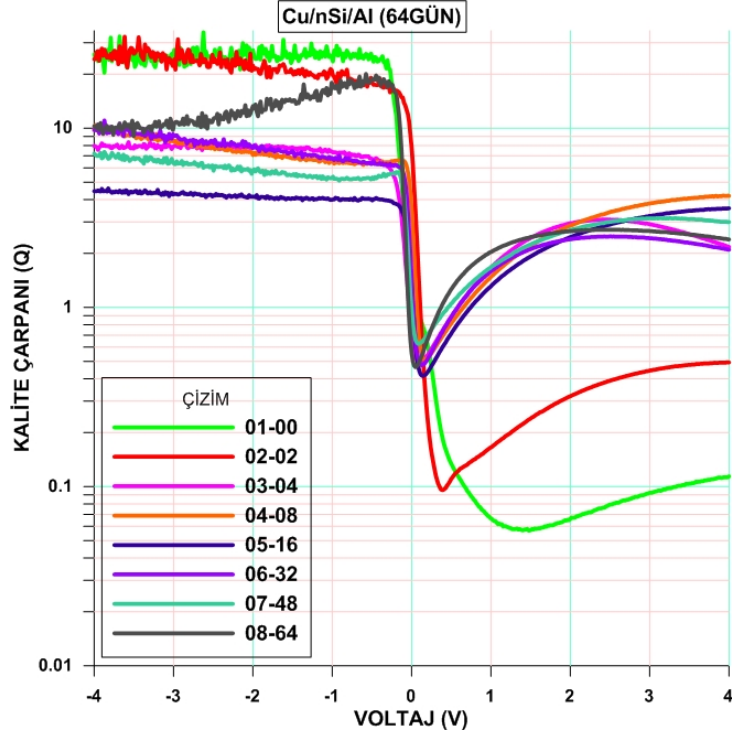
Şekil 4.22. Cu/n-Si/Al(64) diyotun C_s^{-2} -V grafiği.



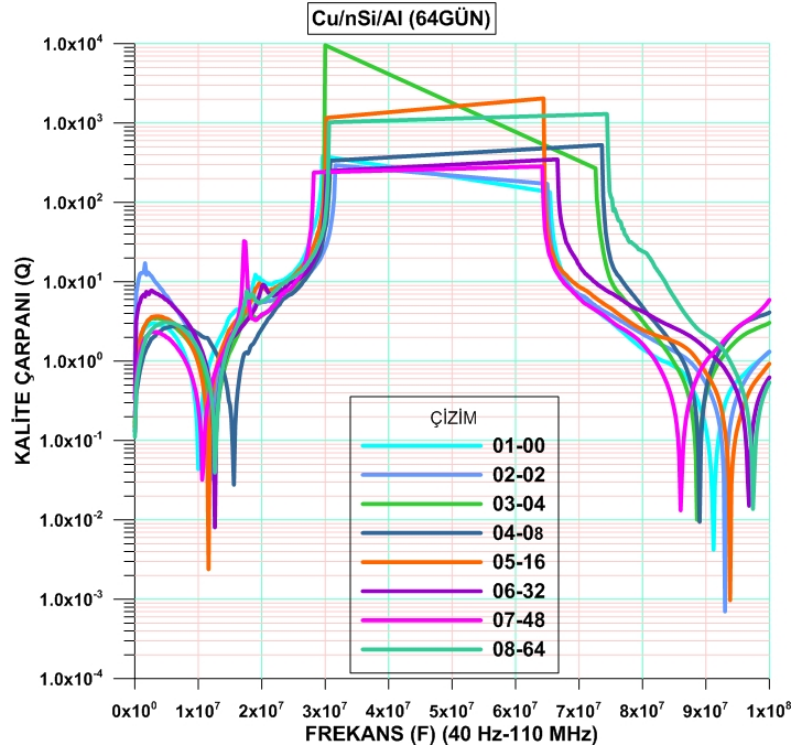
Şekil 4.23. Cu/n-Si/Al(64) diyotun C_s^{-2} -V uyum doğrusu(fit) grafiği.



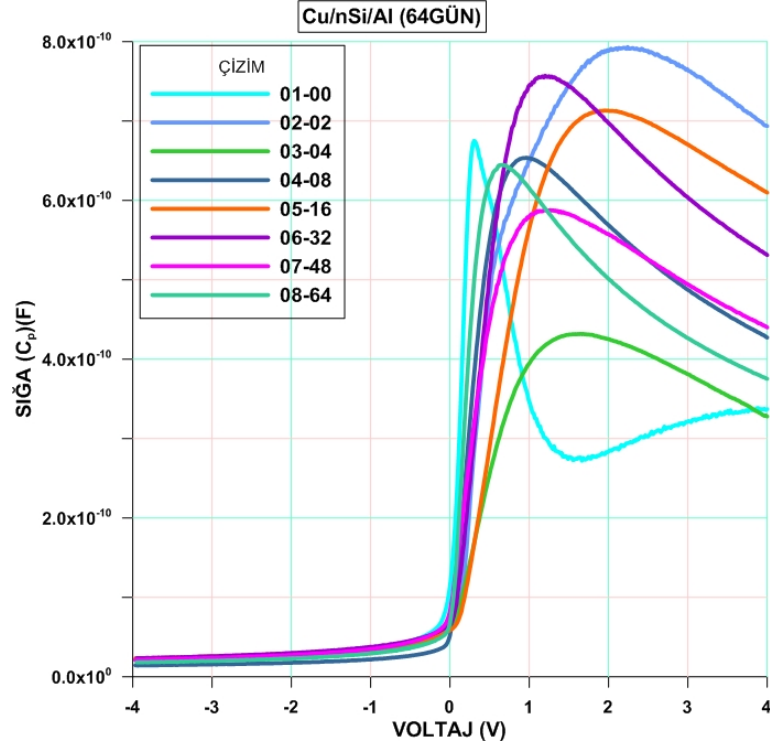
Şekil 4.24. Cu/n-Si/Al(64) diyotun Cs(log)-f grafiği.



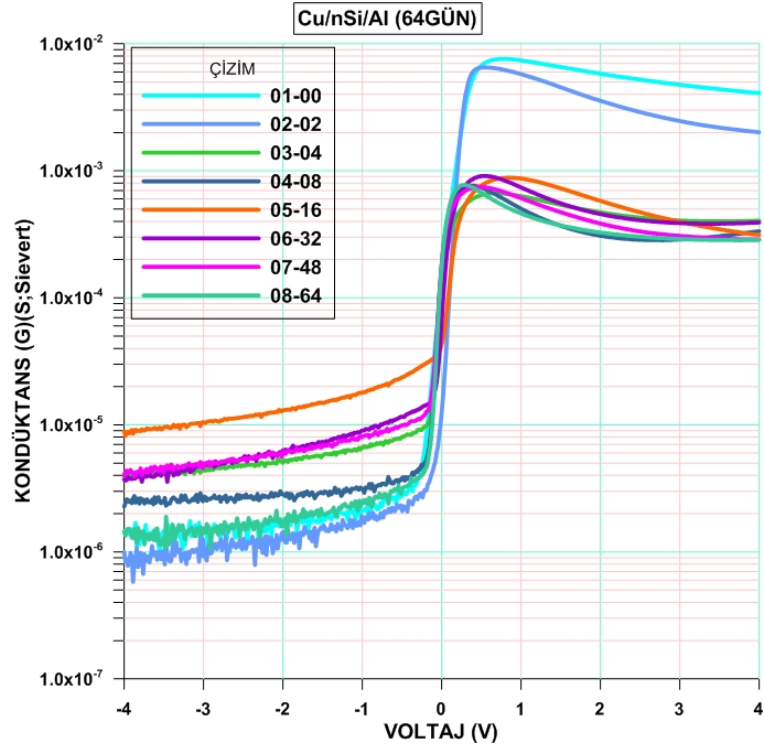
Şekil 4.25. Cu/n-Si/Al(64) diyotun Q(log)-V grafiği.



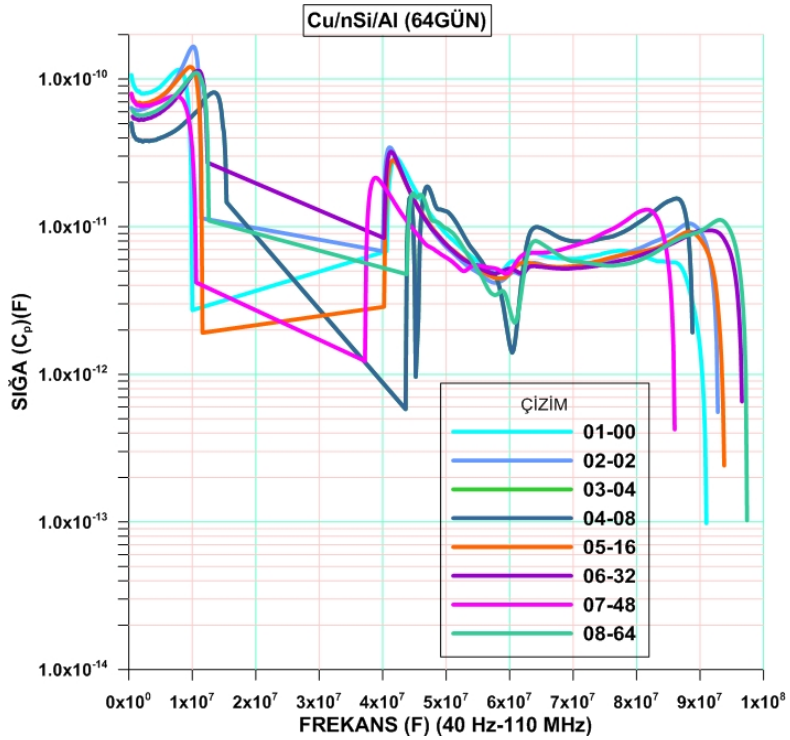
Şekil 4.26. Cu/n-Si/Al(64) diyotun Q(log)-f grafiği.



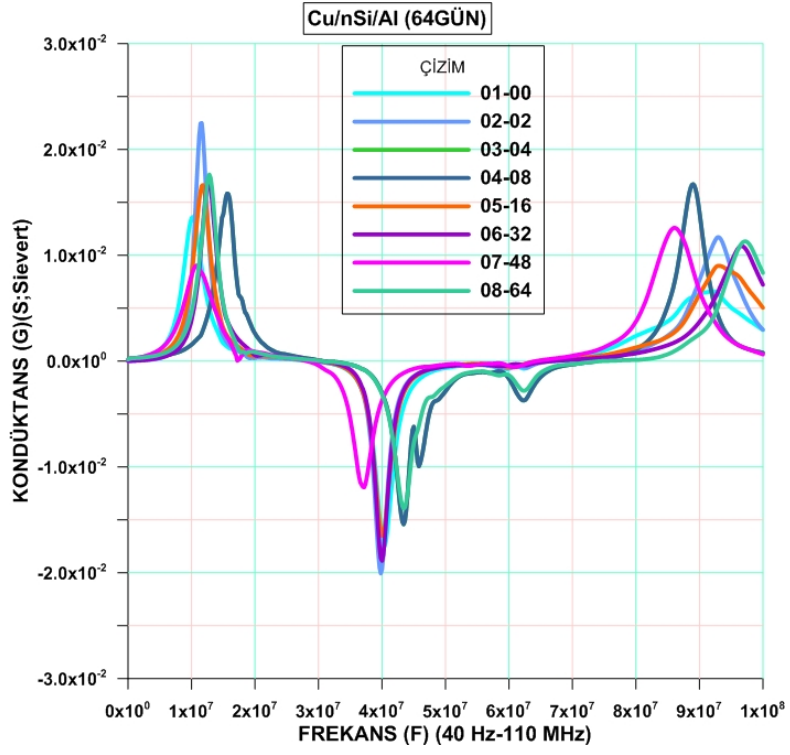
Şekil 4.27. Cu/n-Si/Al(64) diyotun Cp(lin)-V grafiği.



Şekil 4.28. Cu/n-Si/Al(64) diyotun G(log)-V grafiği.

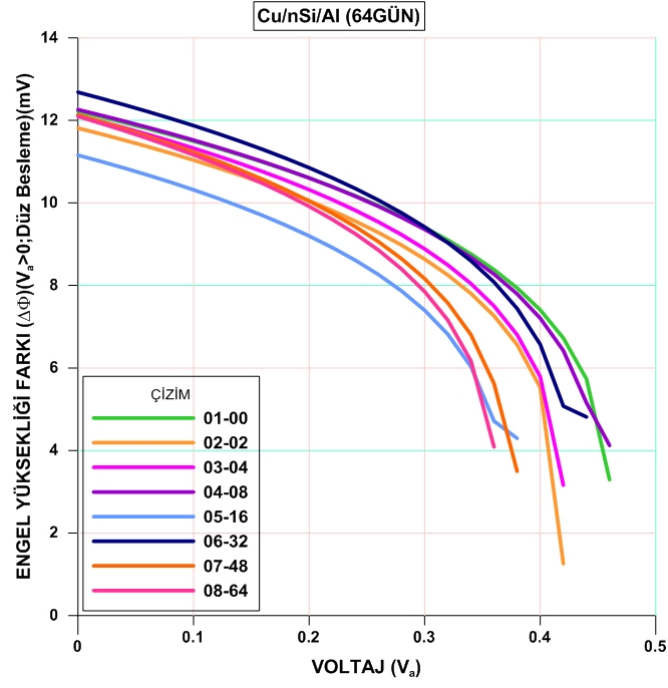


Şekil 4.29. Cu/n-Si/Al(64) diyotun $C_p(\log)$ -f grafiği.

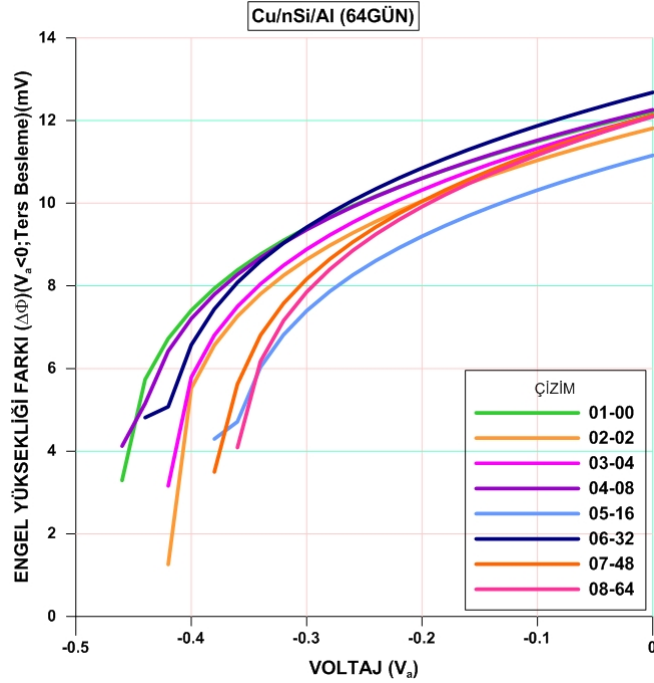


Şekil 4.30. Cu/n-Si/Al(64) diyotun G(lin)-f grafiği.

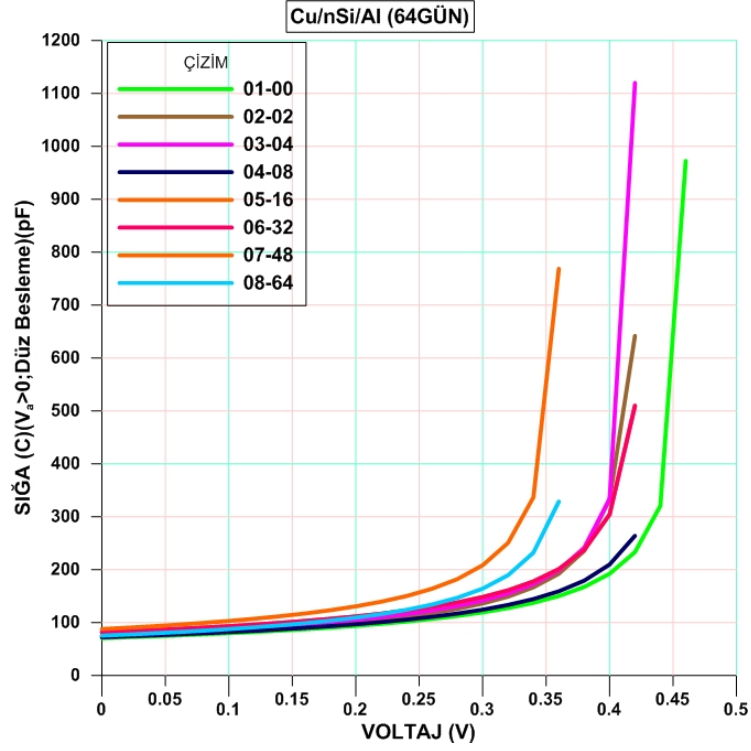
4.2. 64 Günlük Cu/n-Si/Al Diyotlarına Ait Bulgusal Grafikler



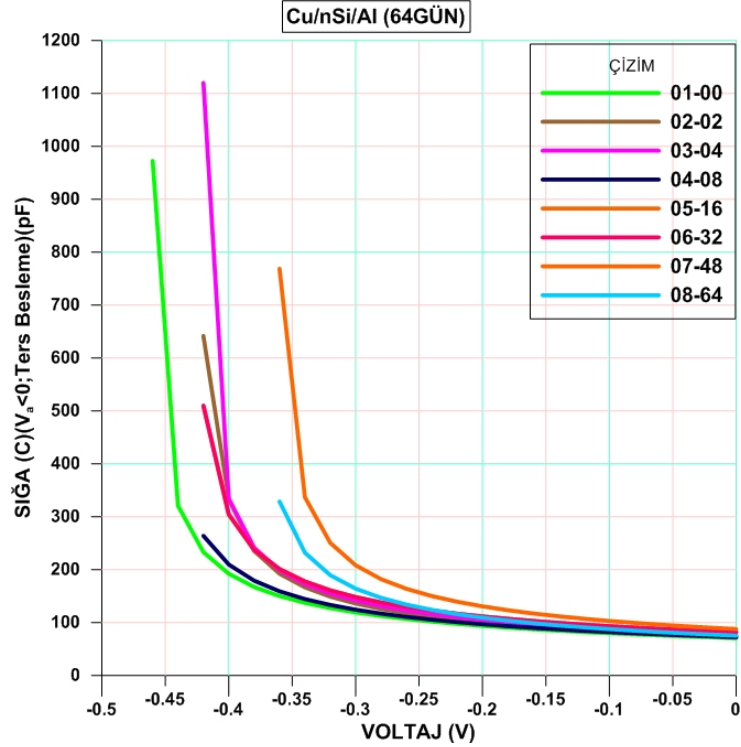
Şekil 4.31. Cu/n-Si/Al (64) diyotun $\Delta\Phi_{DB-g_s}$ ($0 < V_a = V_{bi}$) grafikleri.



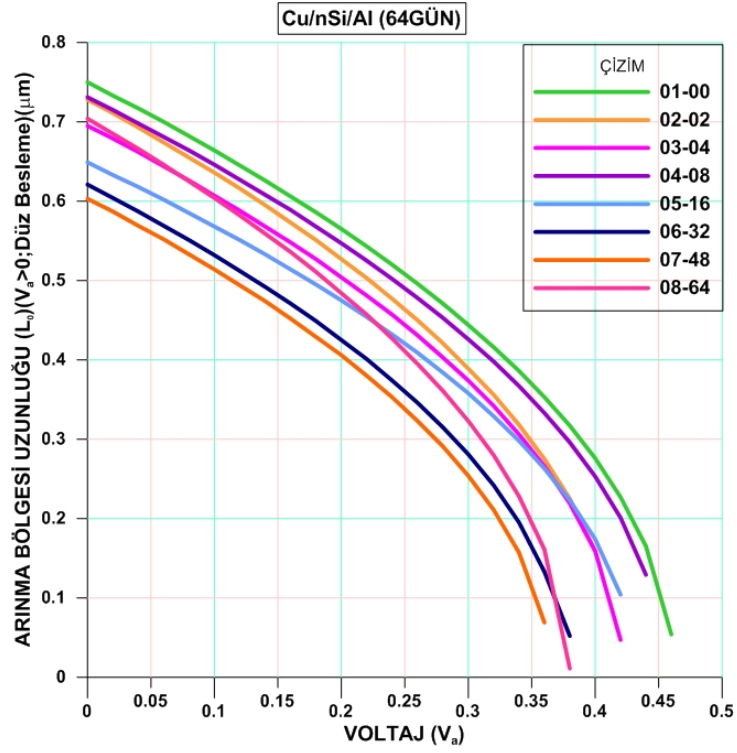
Şekil 4.32. Cu/n-Si/Al (64) diyotun $\Delta\Phi_{TB-g_s}$ ($-V_a = V_{bi} < 0$) grafikleri.



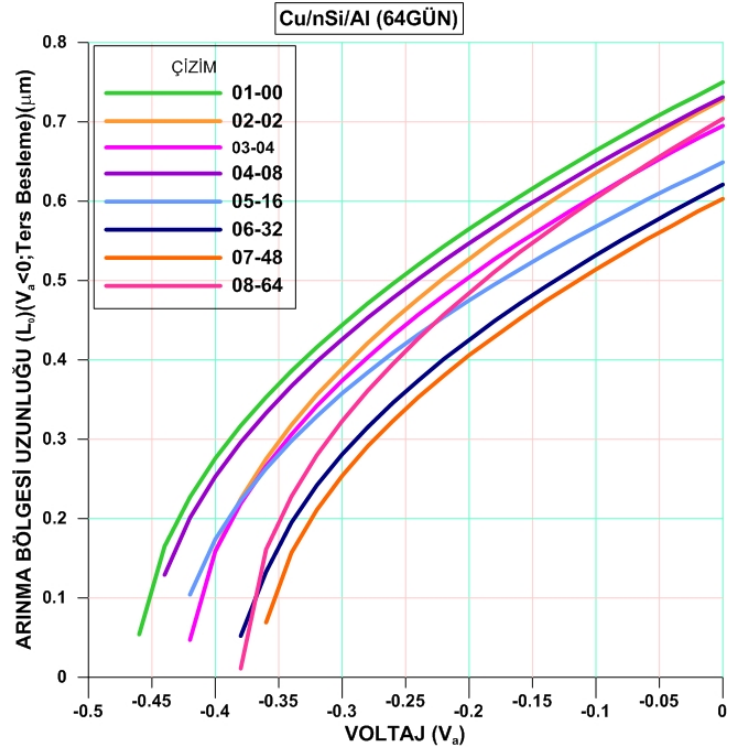
Şekil 4.33. Cu/n-Si/Al(64) diyotun $C-g_s$ ($V_a > 0$; $V_a = V_{bi}$) grafikleri.



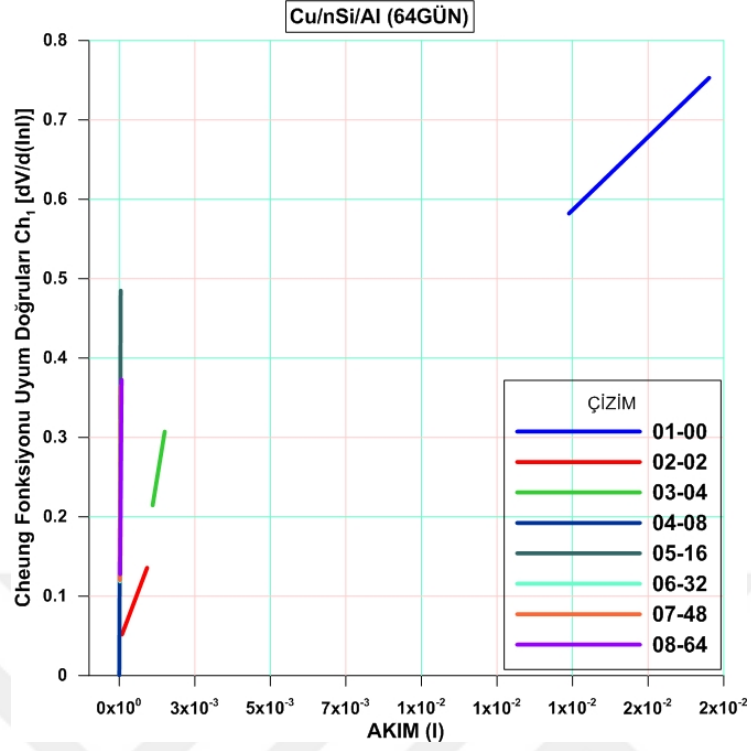
Şekil 4.34. Cu/n-Si/Al(64) diyotun $C-g_s$ ($V_a < 0$; $V_a = V_{bi}$) grafikleri.



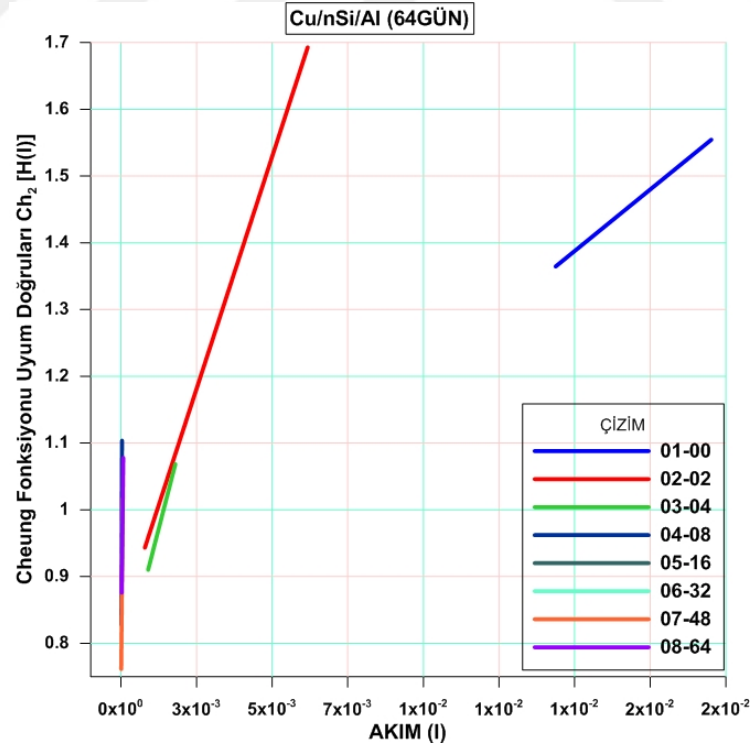
Şekil 4.35. Cu/n-Si/Al(64) diyotun L_g ($V_a > 0$; $V_a = V_{bi}$) grafikleri.



Şekil 4.36. Cu/n-Si/Al(64) diyotun L_g ($V_a < 0$; $V_a = V_{bi}$) grafikleri.

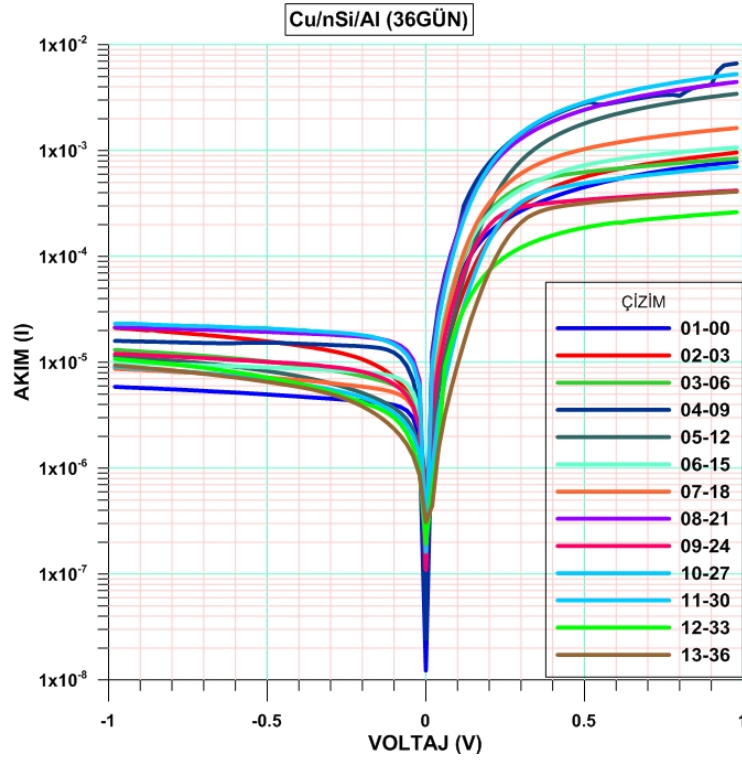


Şekil 4.37. Cu/n-Si/Al(36) diyotunun Cheung fonksiyonlarının uyum doğruları ve akıma göre grafikleri. $Ch_1(dV/d\ln(I))$ -I grafiği.

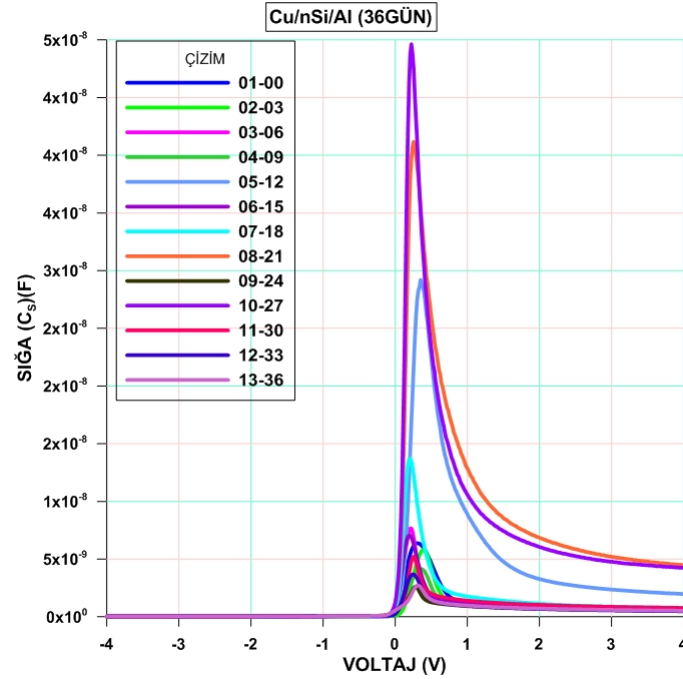


Şekil 4.38. Cu/n-Si/Al(36) diyotunun Cheung fonksiyonlarının uyum doğruları ve akıma göre grafikleri. $Ch_2(H(I))$ -I grafiği.

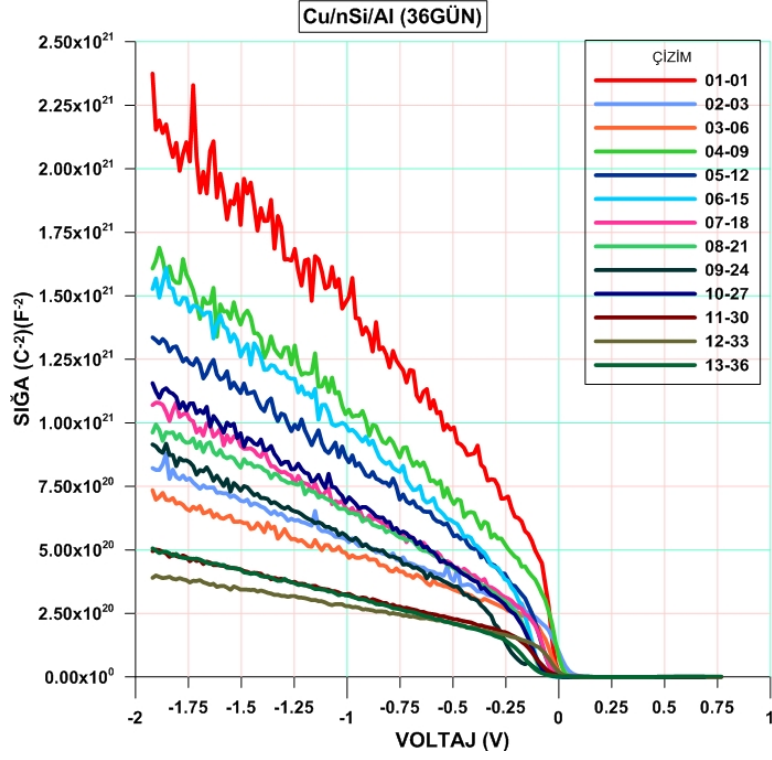
4.3. 36 Günlük Cu/n-Si/Al Diyotlarına Ait Karakteristik Grafikler



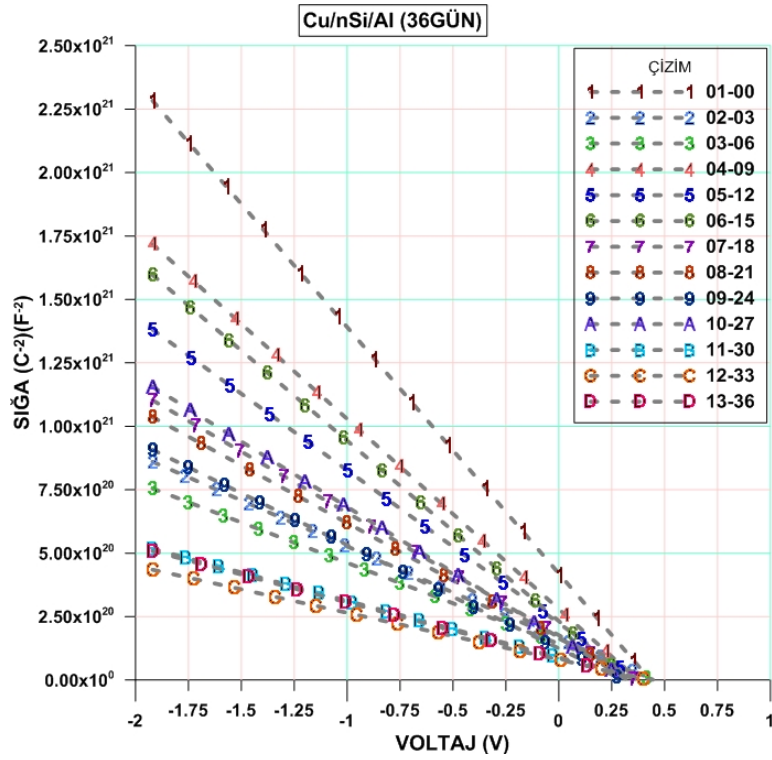
Şekil 4.39. Cu/n-Si/Al(36) diyotun I(log)-V grafiği.



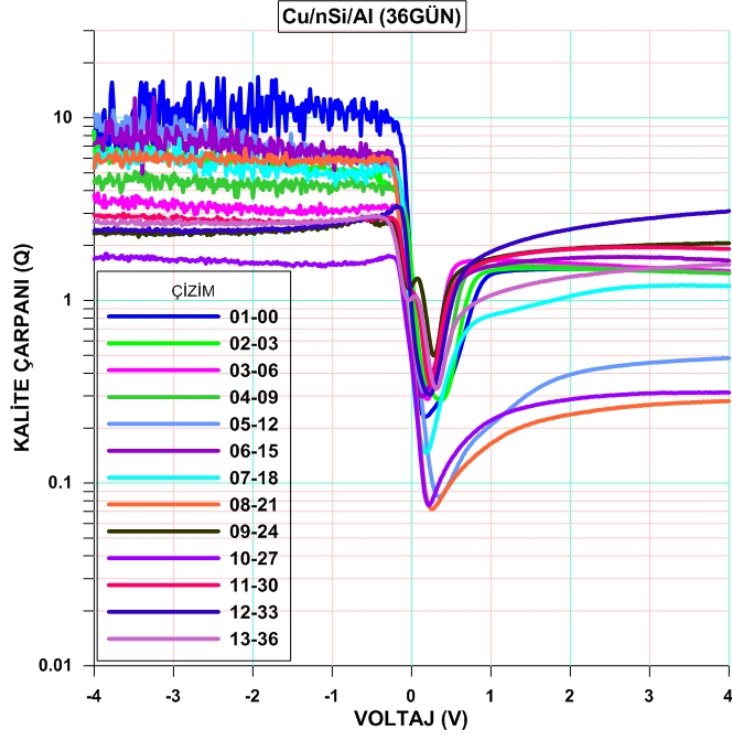
Şekil 4.40. Cu/n-Si/Al(36) diyotun C_s-V grafiği.



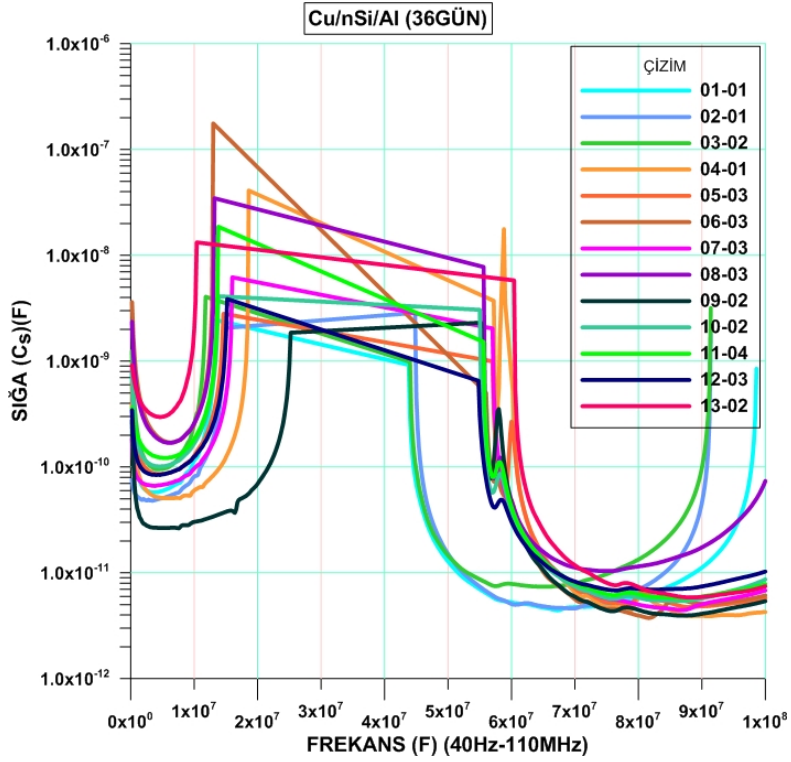
Şekil 4.41. Cu/n-Si/Al(36) diyotun C_s^{-2} -V grafiği.



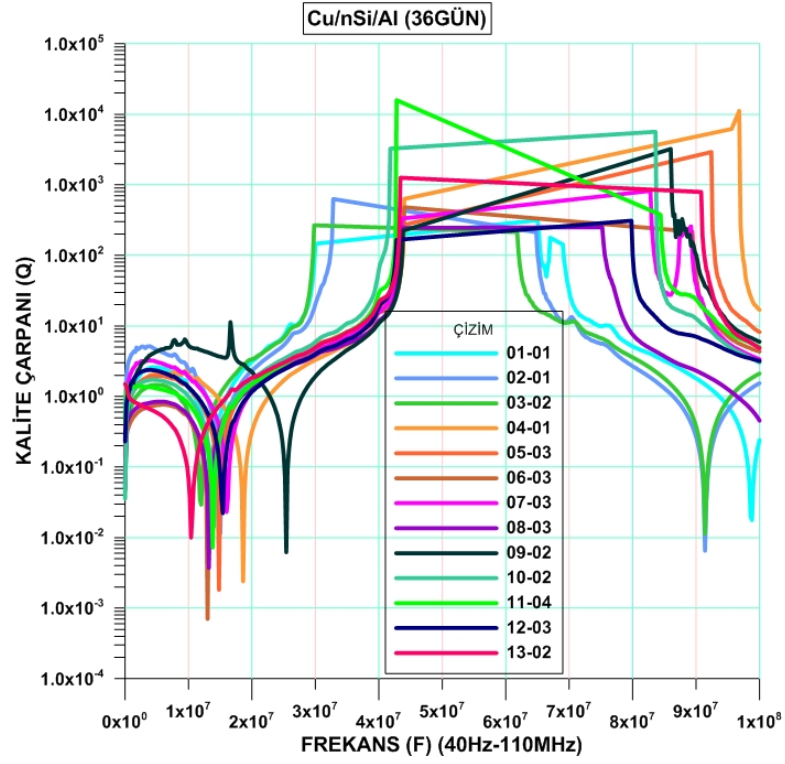
Şekil 4.42. Cu/n-Si/Al(36) diyotun C_s^{-2} -V uyum doğrusu grafiği.



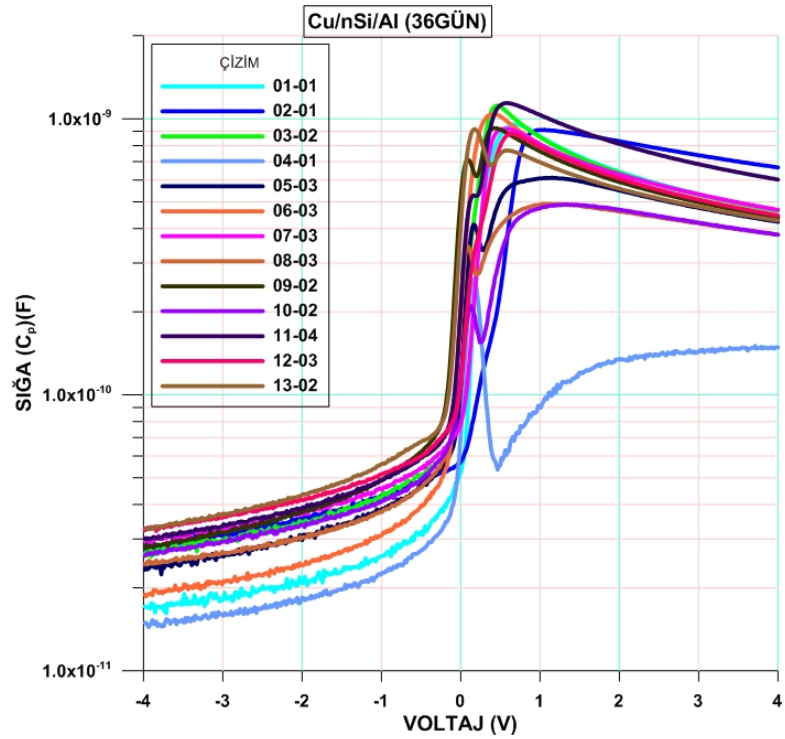
Şekil 4.43. Cu/n-Si/Al(36) diyotun Q(log)-V grafiği.



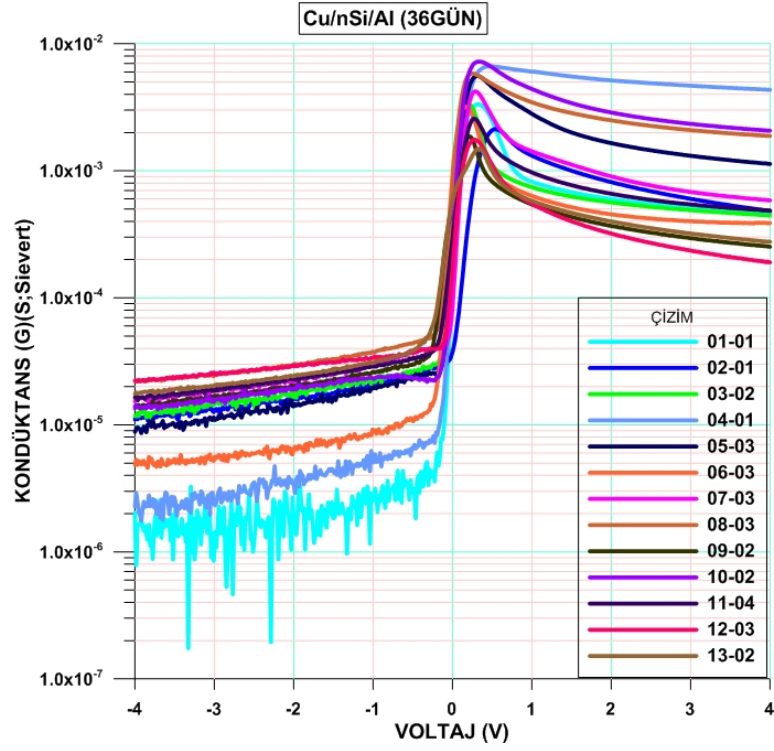
Şekil 4.44. Cu/n-Si/Al(36) diyotun Cs(log)-f grafiği.



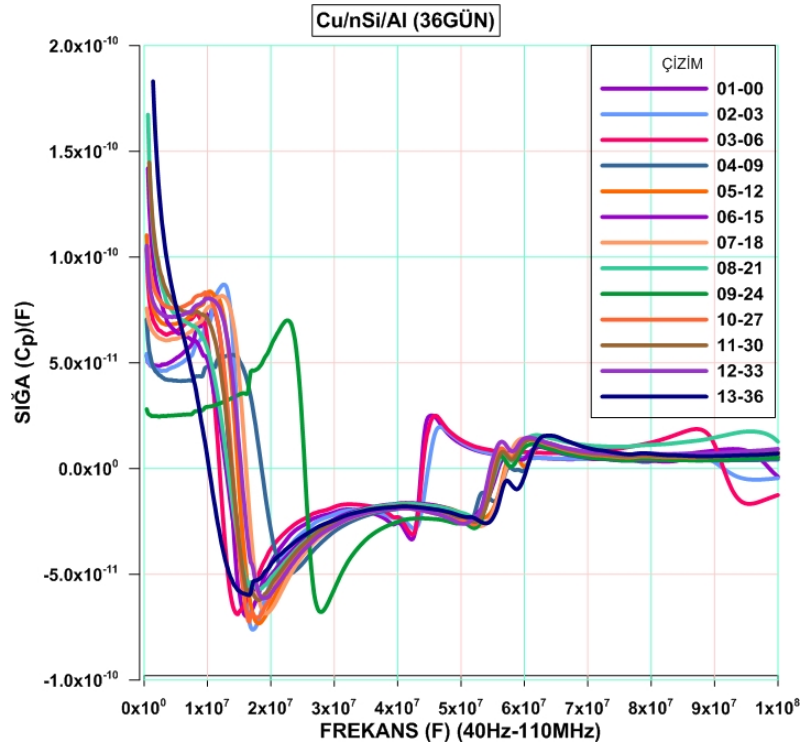
Şekil 4.45. Cu/n-Si/Al(36) diyotun Q(log)-f grafiği.



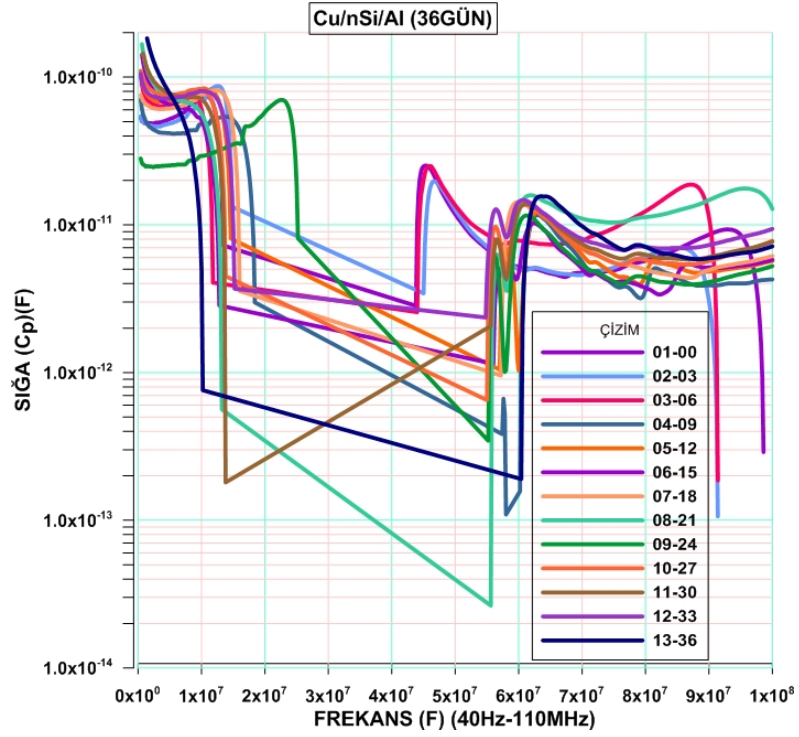
Şekil 4.46. Cu/n-Si/Al(36) diyotun Cp(log)-f grafiği.



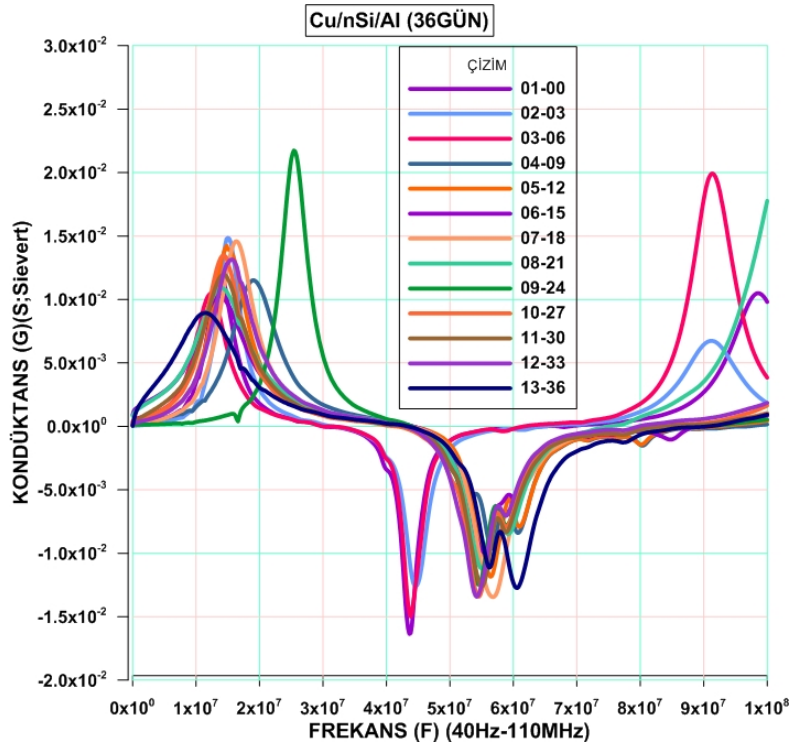
Şekil 4.47. Cu/n-Si/Al(36) diyotun G(log)-V grafiği.



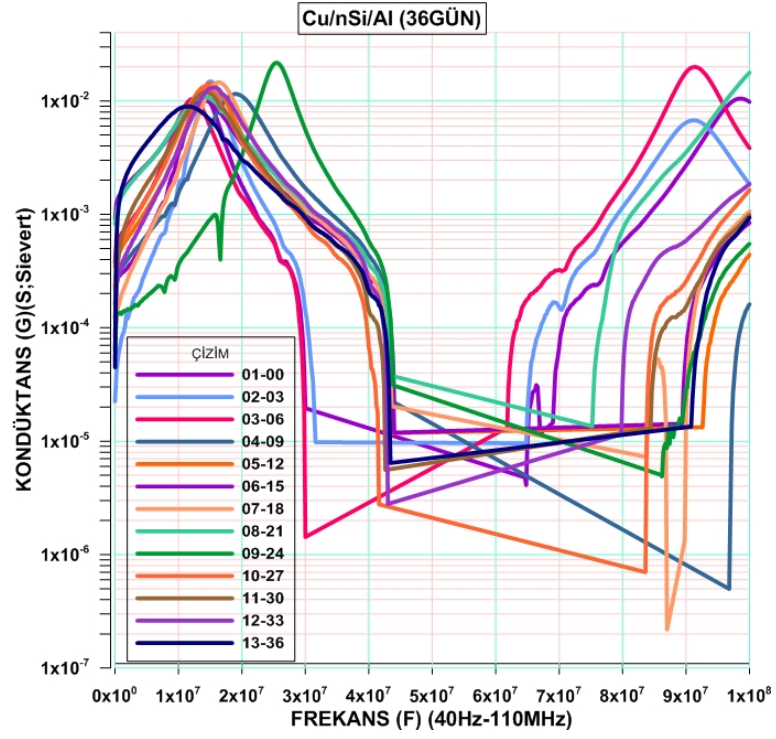
Şekil 4.48. Cu/n-Si/Al(36) diyotun Cp(lin)-f grafiği.



Şekil 4.49. Cu/n-Si/Al(36) diyotun $C_p(\text{lin})$ -f grafiği.

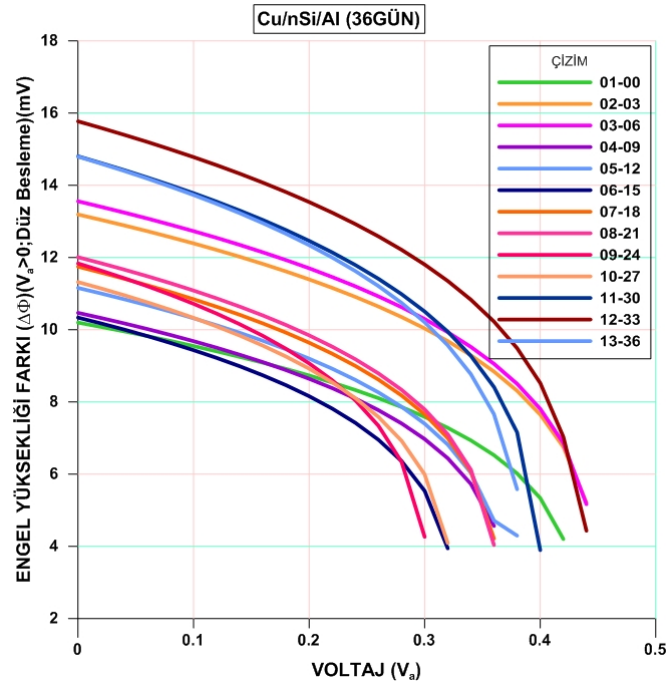


Şekil 4.50. Cu/n-Si/Al(36) diyotun $G(\text{lin})$ -f grafiği.

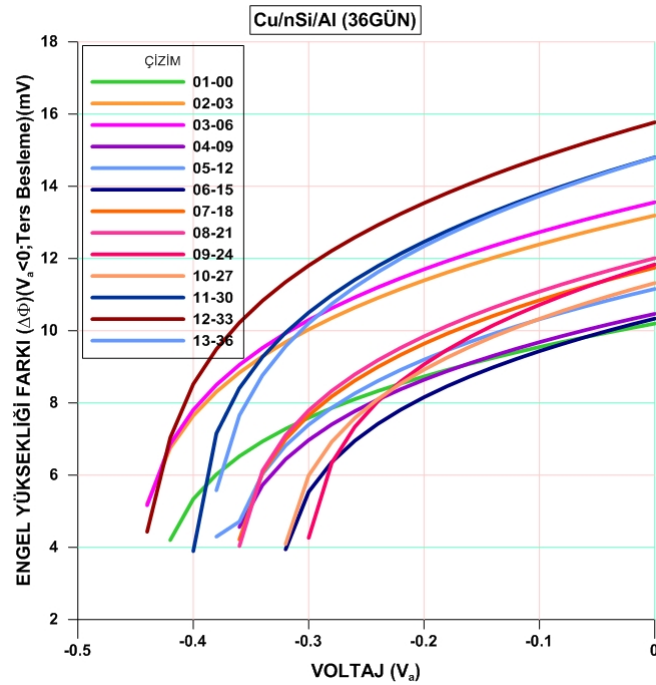


Şekil 4.51. Cu/n-Si/Al(36) diyotun G(log)-f grafiği.

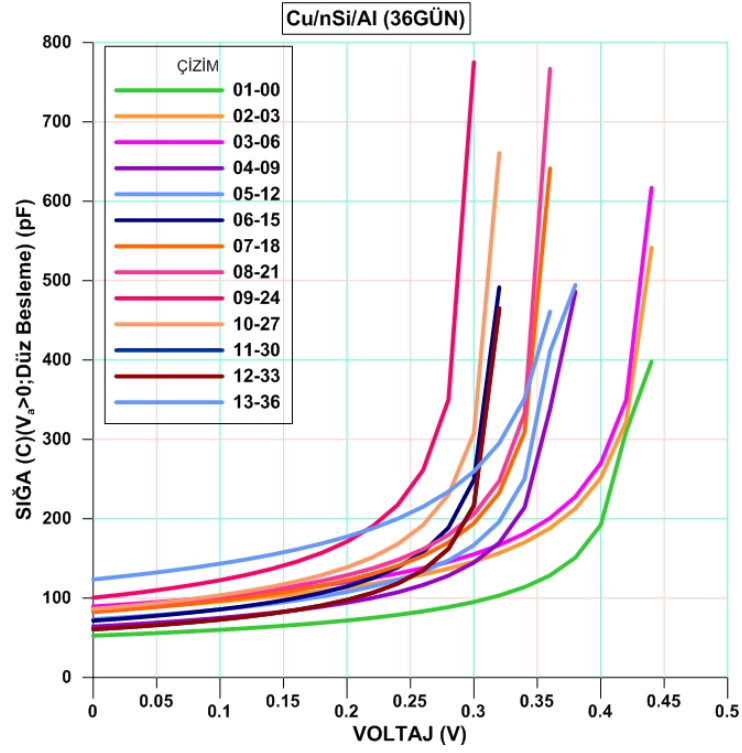
4.4. 36 Günlük Cu/n-Si/Al Diyotlarına Ait Bulgusal Grafikler



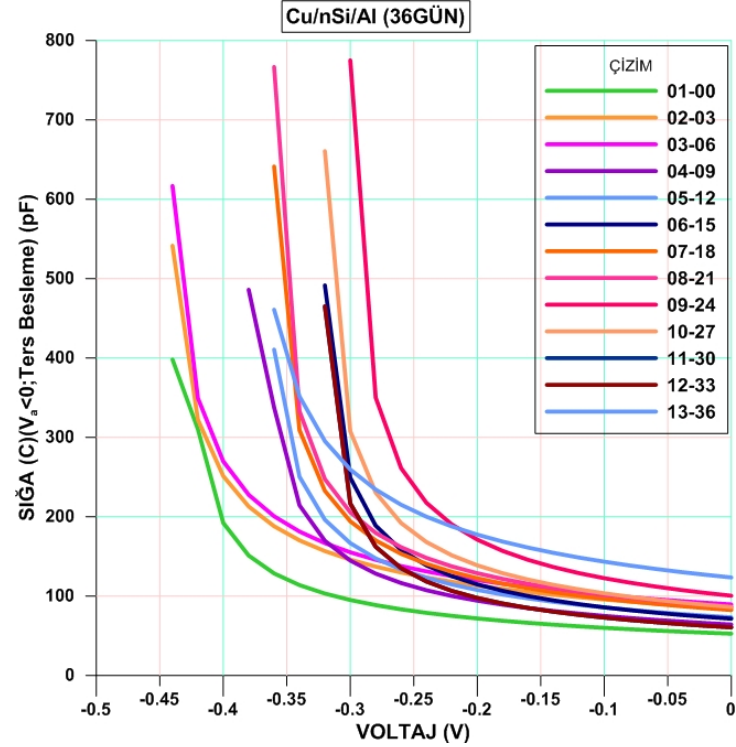
Şekil 4.52. Cu/n-Si/Al(36) diyotun $\Delta\Phi_{DB}-g_S$ ($0 < V_a = V_{bi}$) grafiği.



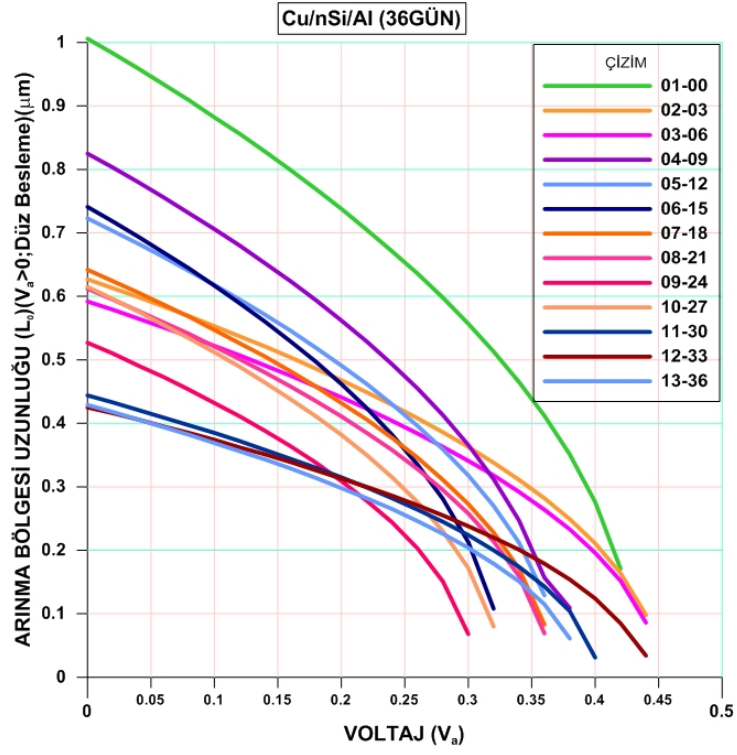
Şekil 4.53. Cu/n-Si/Al(36) diyotun $\Delta\Phi_{TB}-g_S$ ($-V_a = V_{bi} < 0$) grafiği.



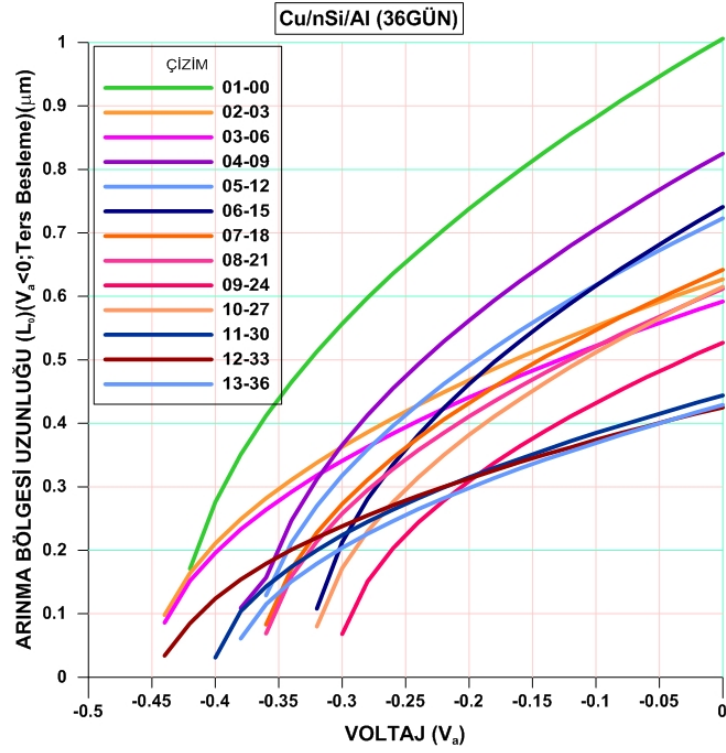
Şekil 4.54. Cu/n-Si/Al(36) diyotun $C-V_a$ ($0 < V_a = V_{bi}$) grafiği.



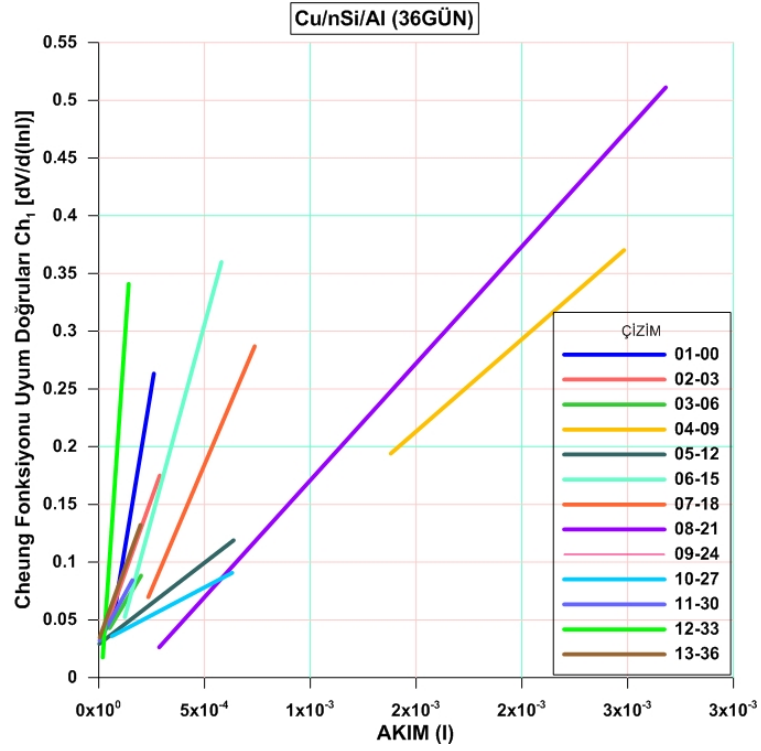
Şekil 4.55. Cu/n-Si/Al(36) diyotun $C-V_a$ ($-V_a = V_{bi} < 0$) grafiği.



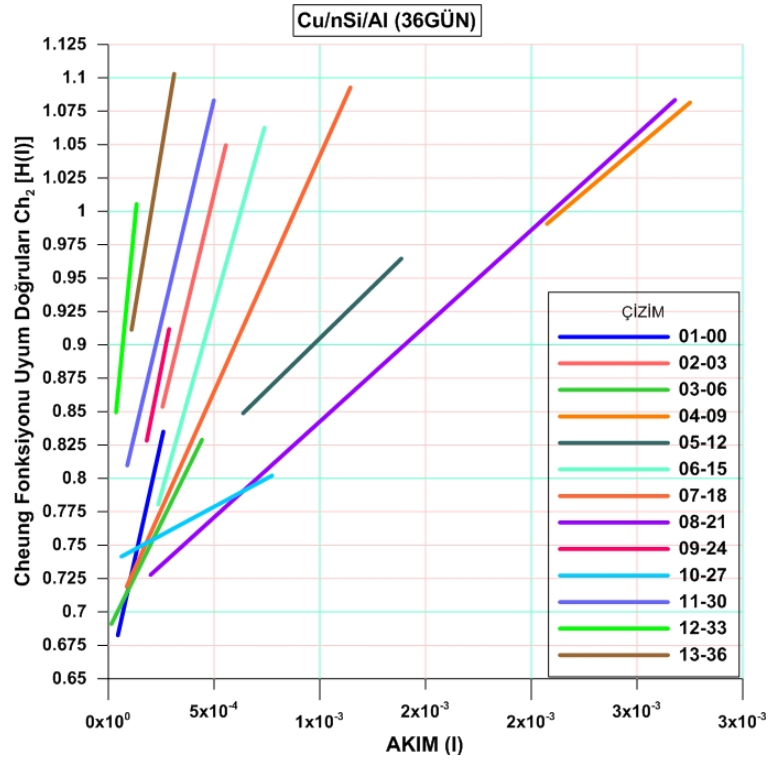
Şekil 4.56. Cu/n-Si/Al(36) diyotun L_0 - V_a ($0 < V_a = V_{bi}$) grafiği.



Şekil 4.57. Cu/n-Si/Al(36) diyotun L_0 - V_a ($-V_a = V_{bi} < 0$) grafiği.

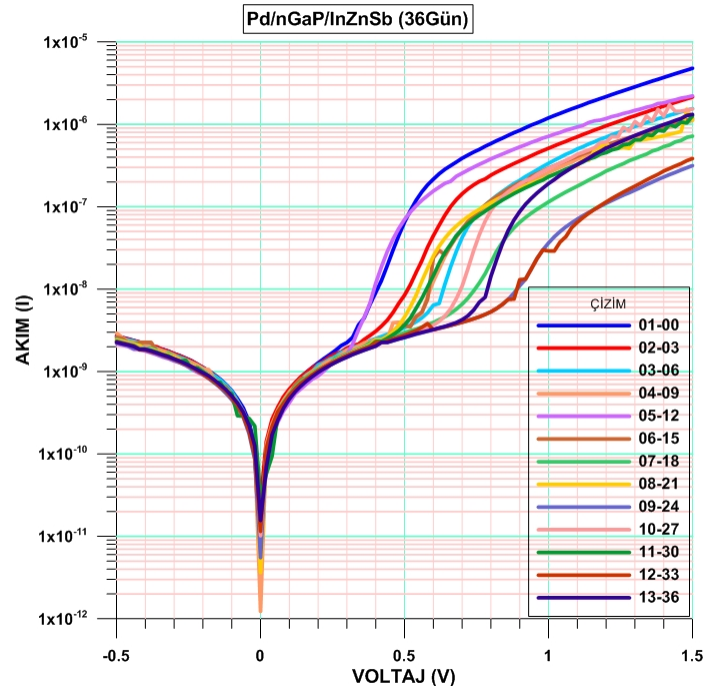


Şekil 4.58. Cu/n-Si/Al(36) diyotunun Cheung fonksiyonlarının uyum doğruları ve akıma göre grafikleri. $Ch_1(dV/d\ln(I))$ -I grafiği.

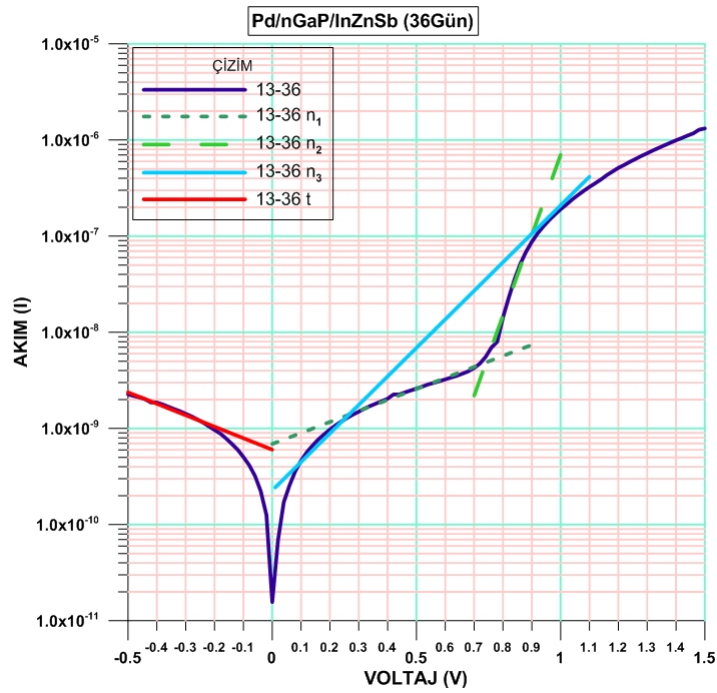


Şekil 4.59. Cu/n-Si/Al(36) diyotunun Cheung fonksiyonlarının uyum doğruları ve akıma göre grafikleri. $Ch_2(H(I))$ -I grafiği.

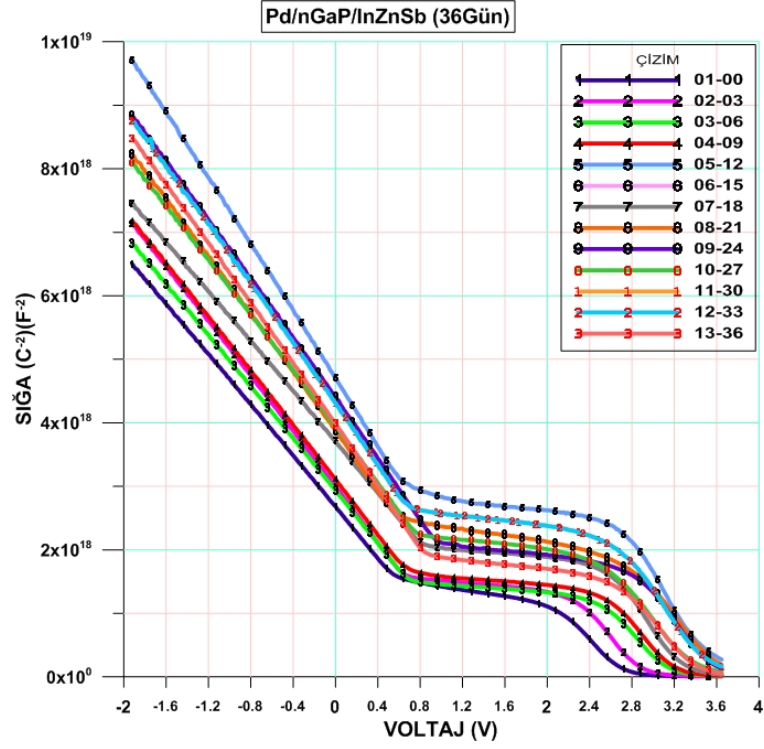
4.5. 36 Günlük Pd/n-GaP/InZnSb Diyotlarına Ait Karakteristik Grafikler



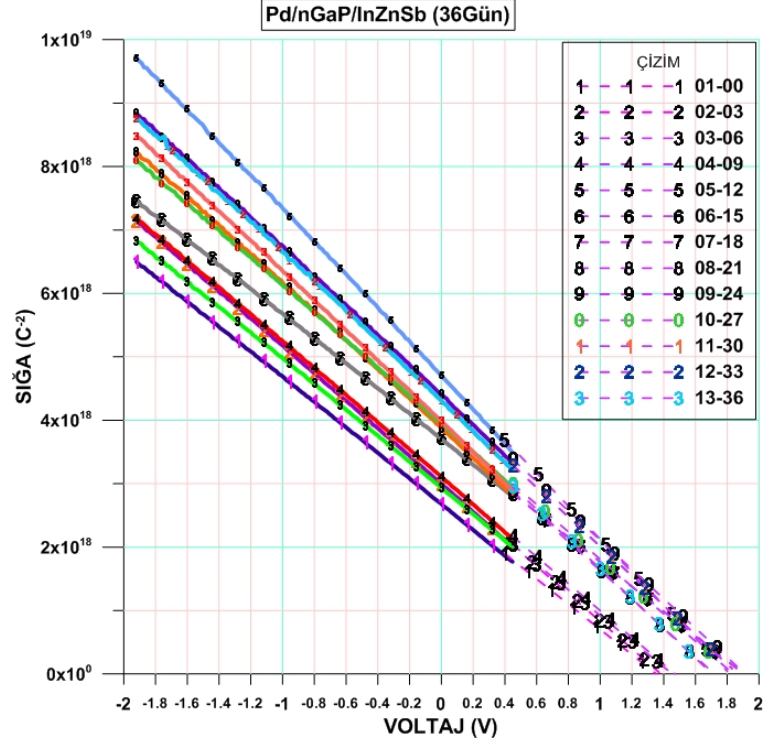
Şekil 4.60. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun $\ln I$ -V grafiği.



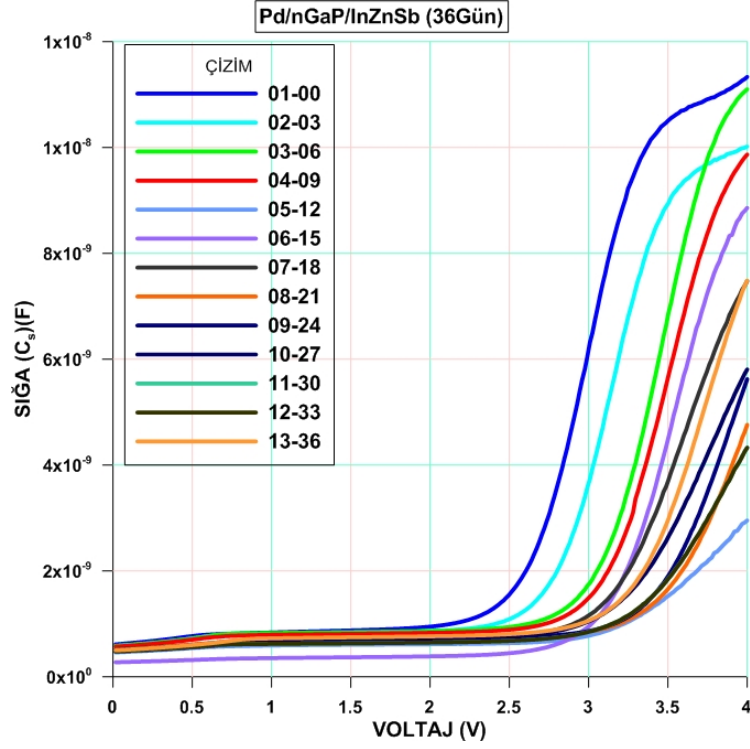
Şekil 4.61. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun $\ln I$ -V grafiği ve uyum doğruları (fit).



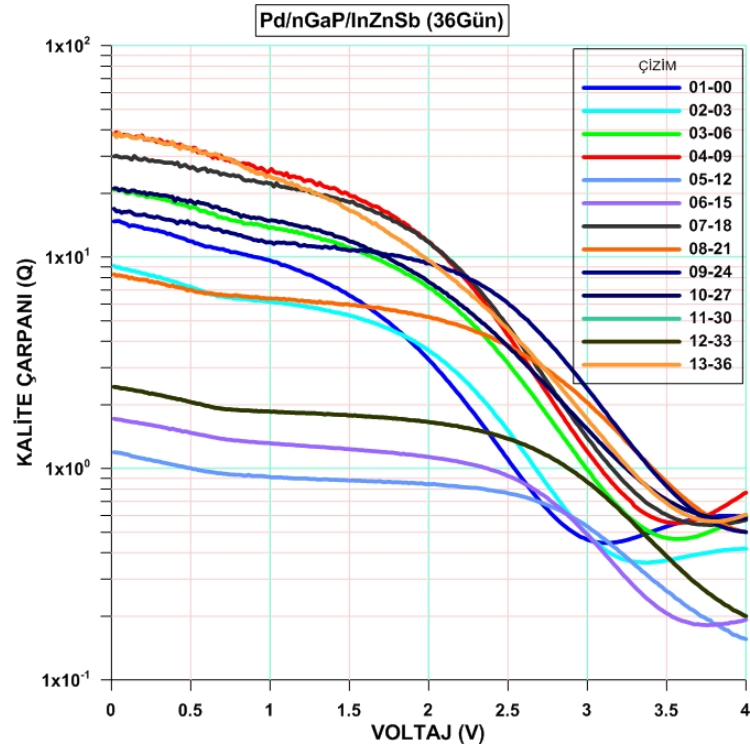
Şekil 4.62. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun C_s^{-2} -V grafiği.



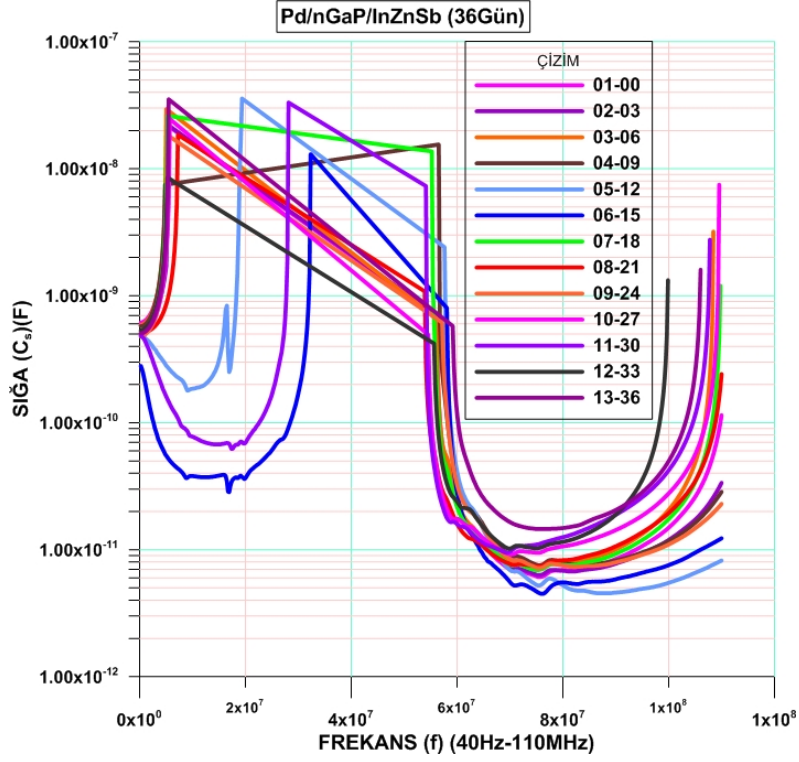
Şekil 4.63. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun C_s^{-2} -V grafiğine ait uyum doğruları (fit).



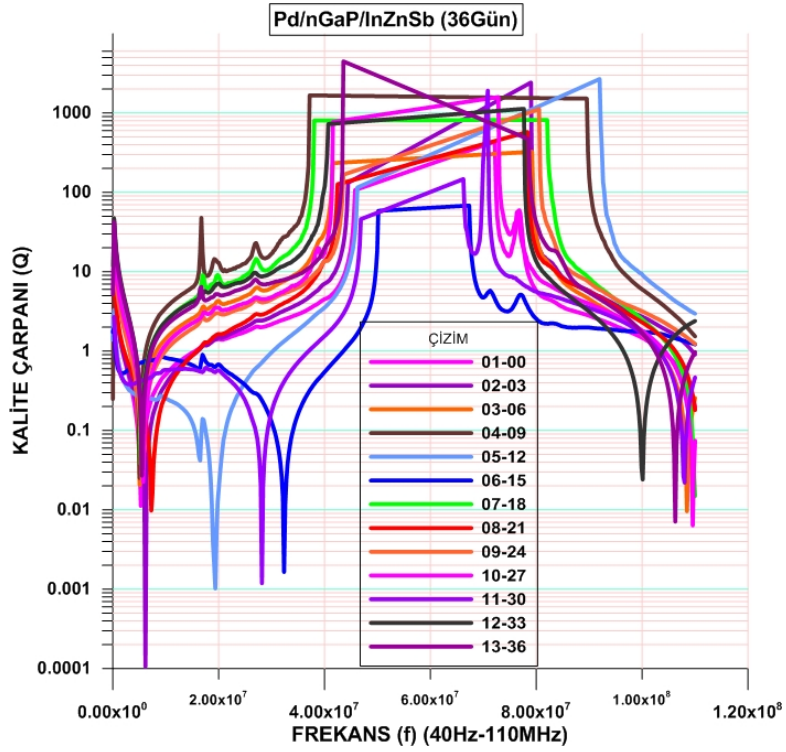
Şekil 4.64. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun $C_s(\text{lin})$ -V grafiği.



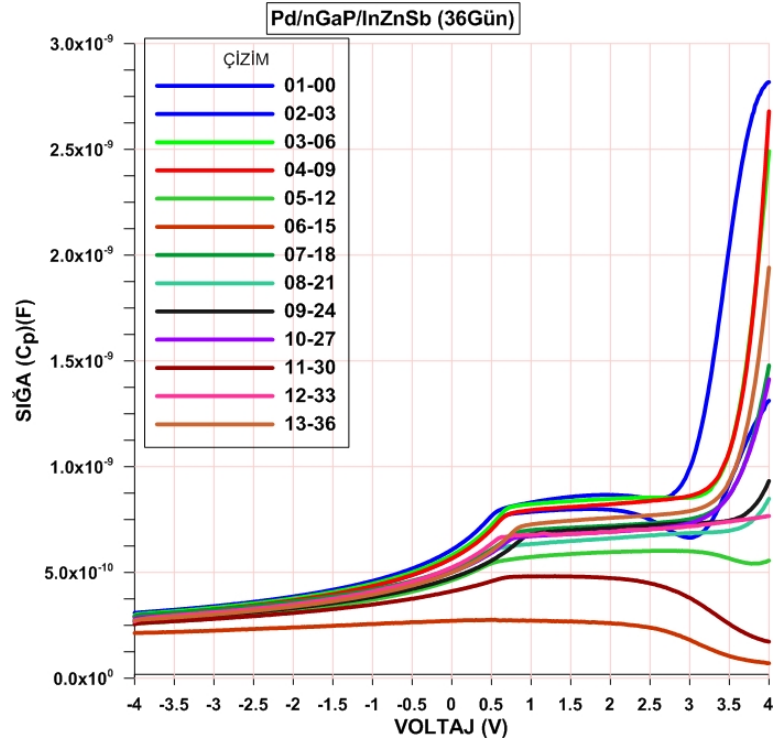
Şekil 4.65. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun $Q(\log)$ -V grafiği.



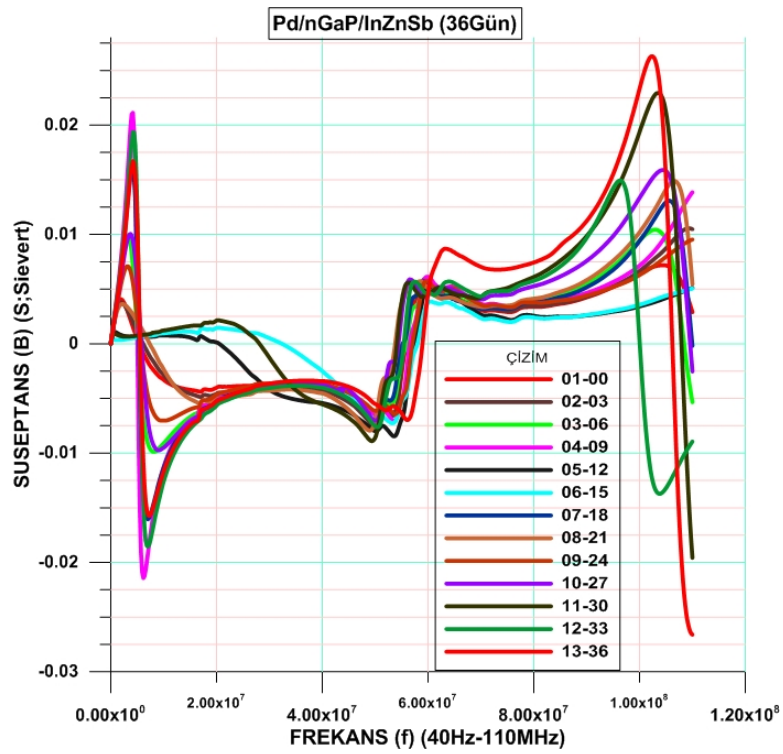
Şekil 4.66. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun $C_s(\log)$ -f grafiği.



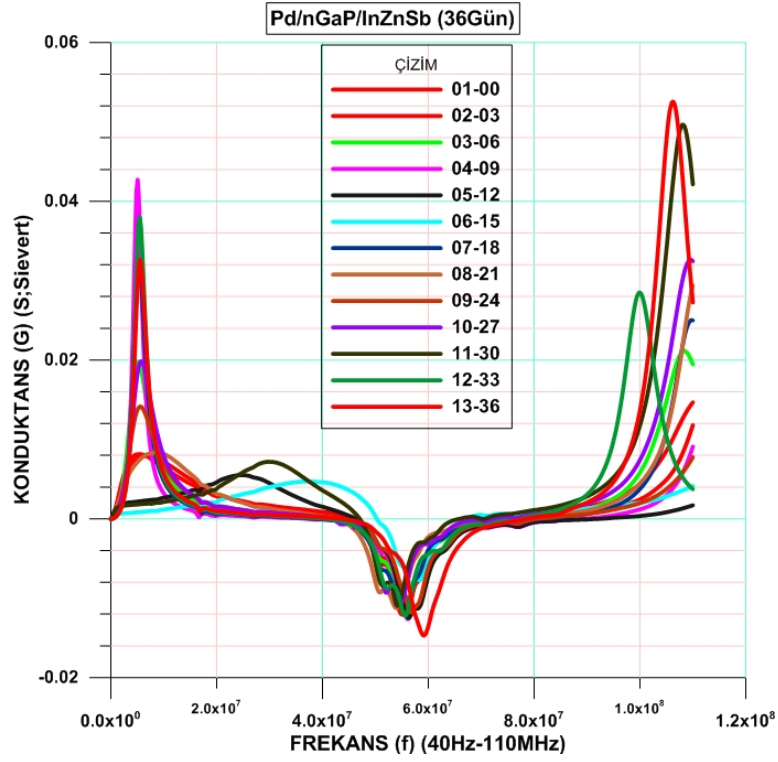
Şekil 4.67. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun $Q(\log)$ -f grafiği.



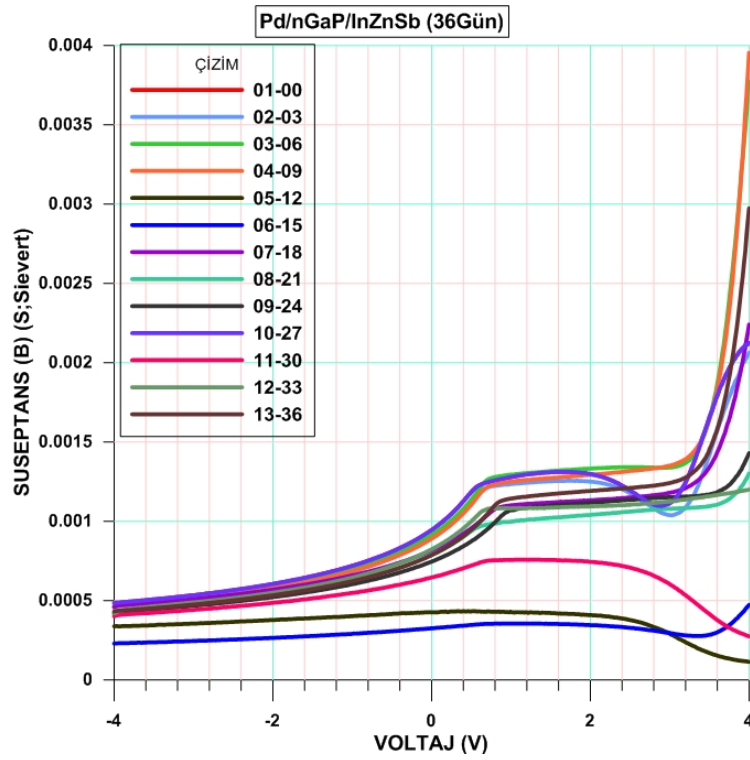
Şekil 4.68. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun $C_p(\text{lin})$ -V grafiği.



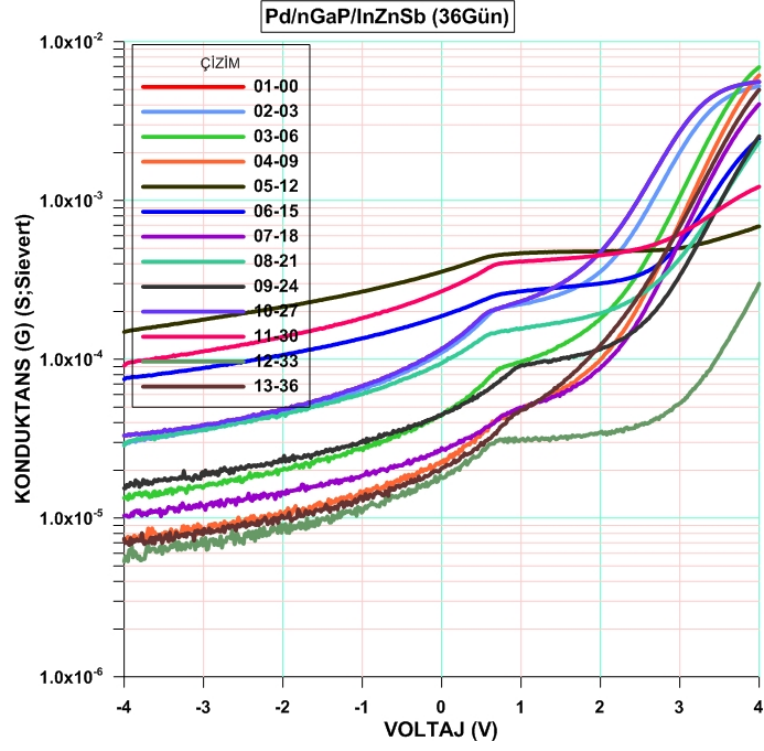
Şekil 4.69. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun $B(\text{lin})$ -f grafiği.



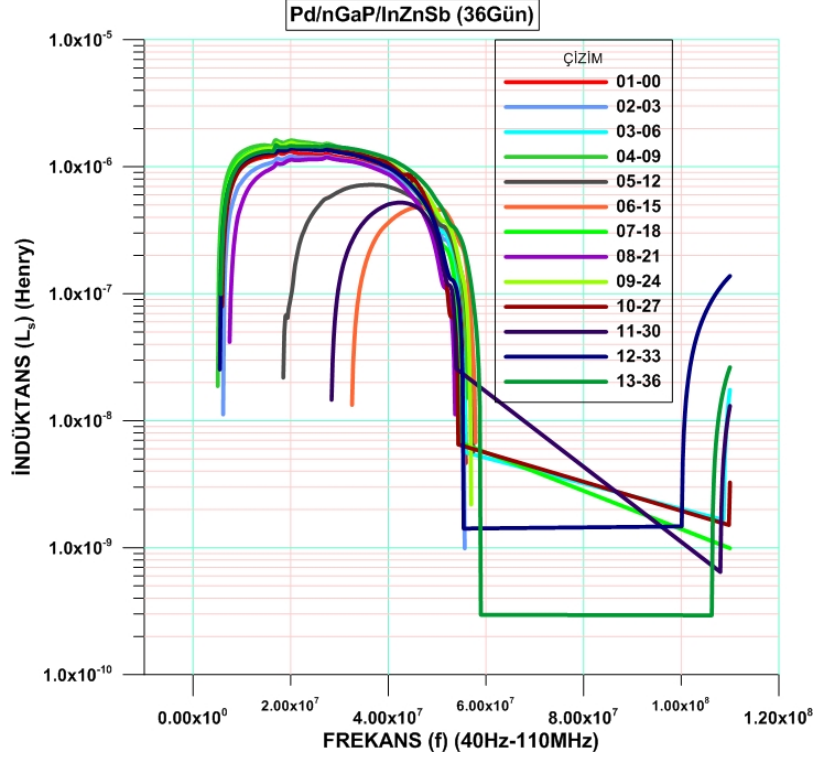
Şekil 4.70. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun G(lin)-f grafiği.



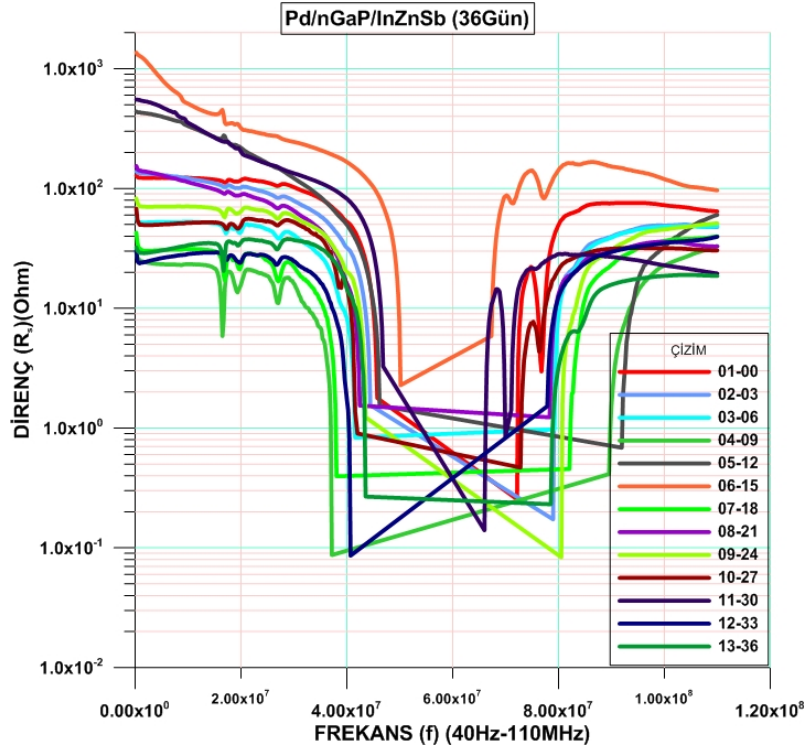
Şekil 4.71. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun B(lin)-V grafiği.



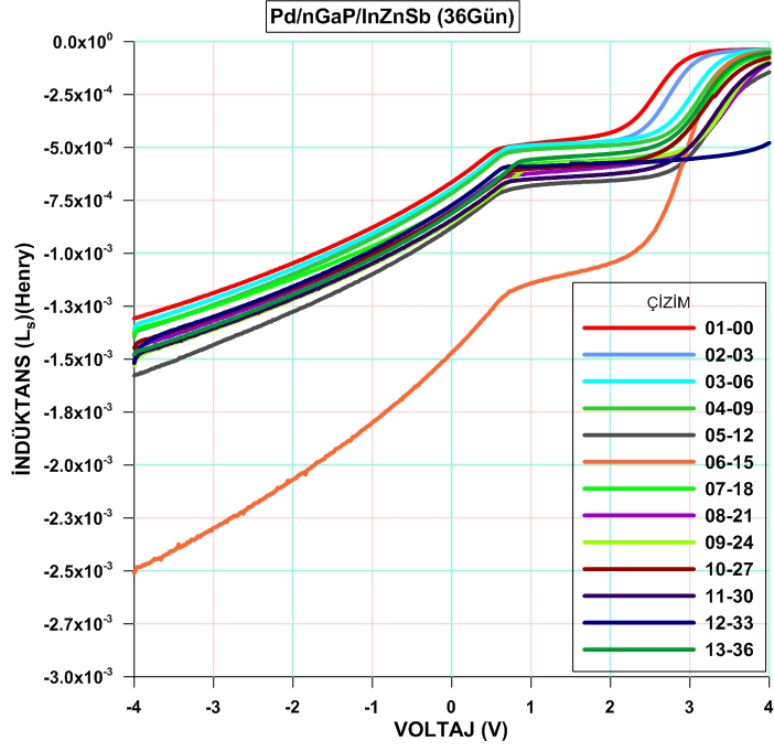
Şekil 4.72. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun G(log)-V grafiği.



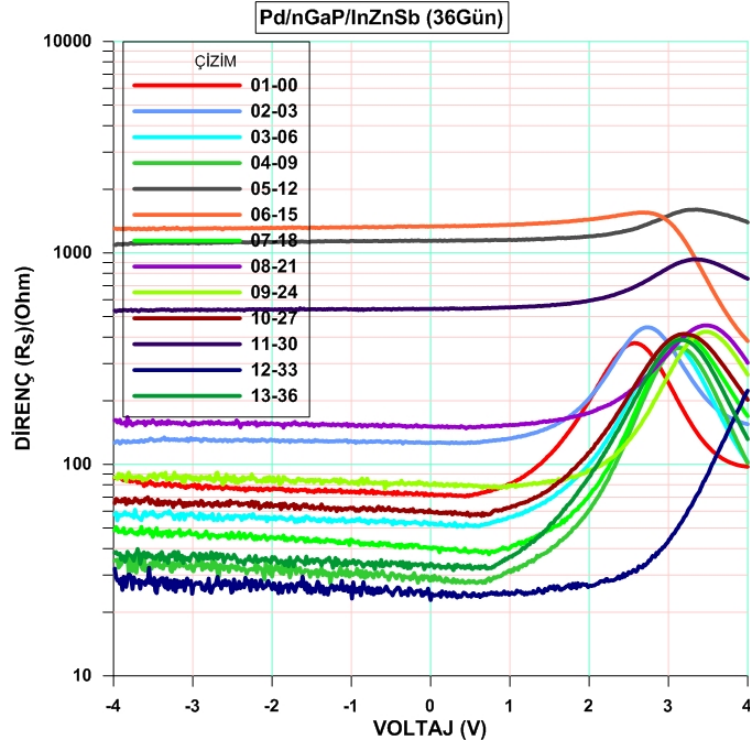
Şekil 4.73. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun L_s (log)-f grafiği.



Şekil 4.74. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun $R_s(\log)$ -f grafiği.

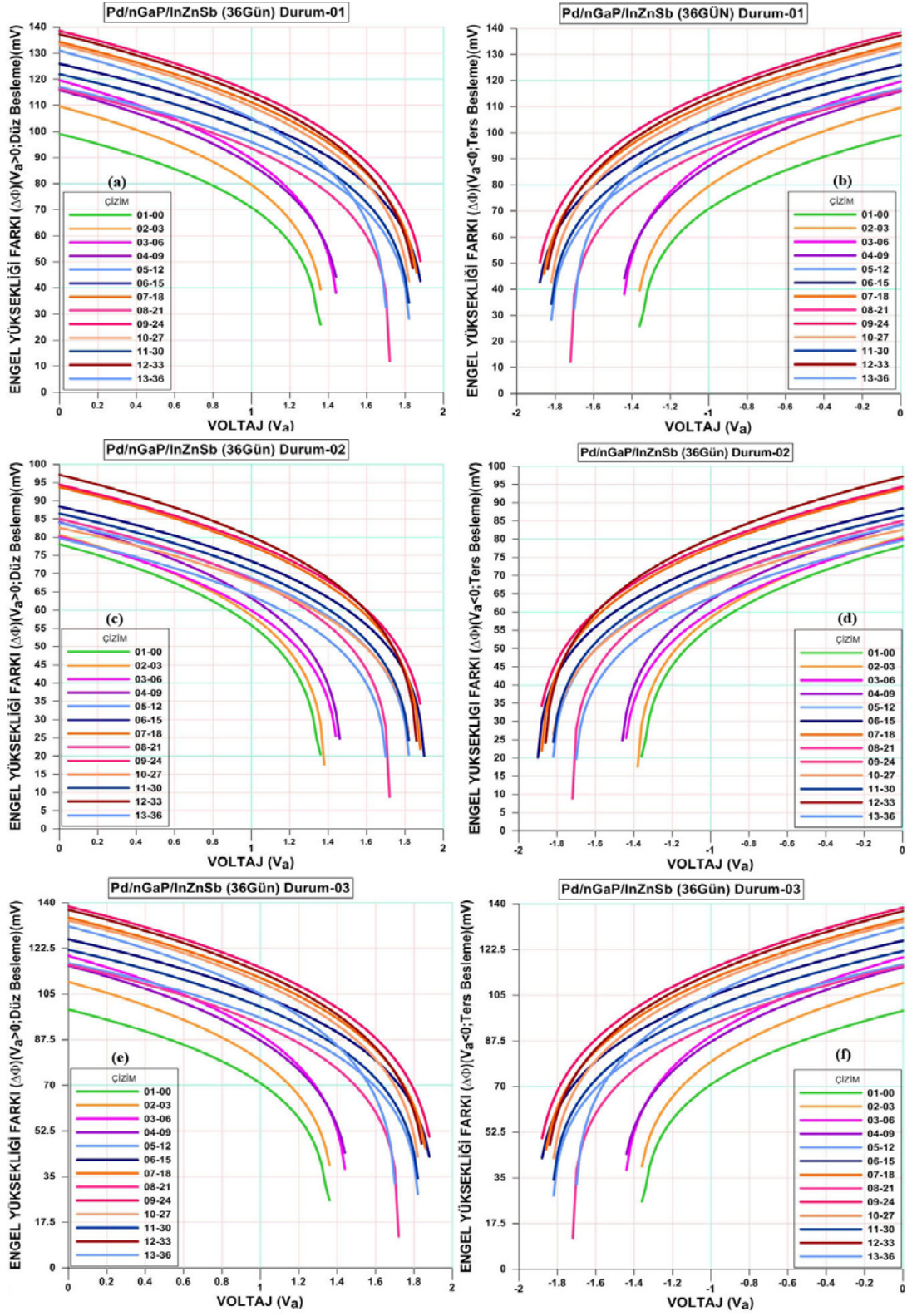


Şekil 4.75. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun $L_s(\text{lin})$ -V grafiği.

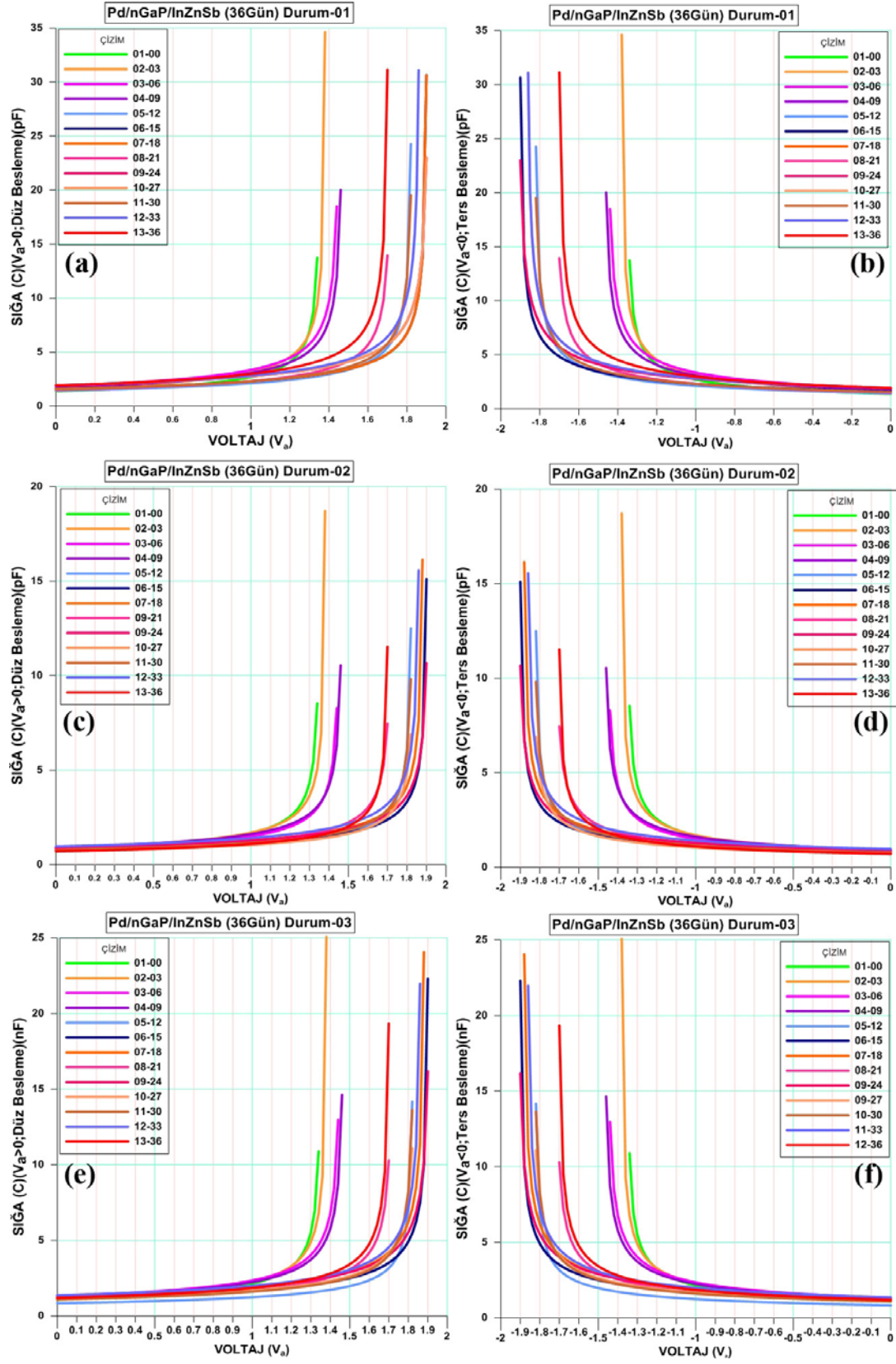


Şekil 4.76. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun $R_s(\log)$ -V grafiği.

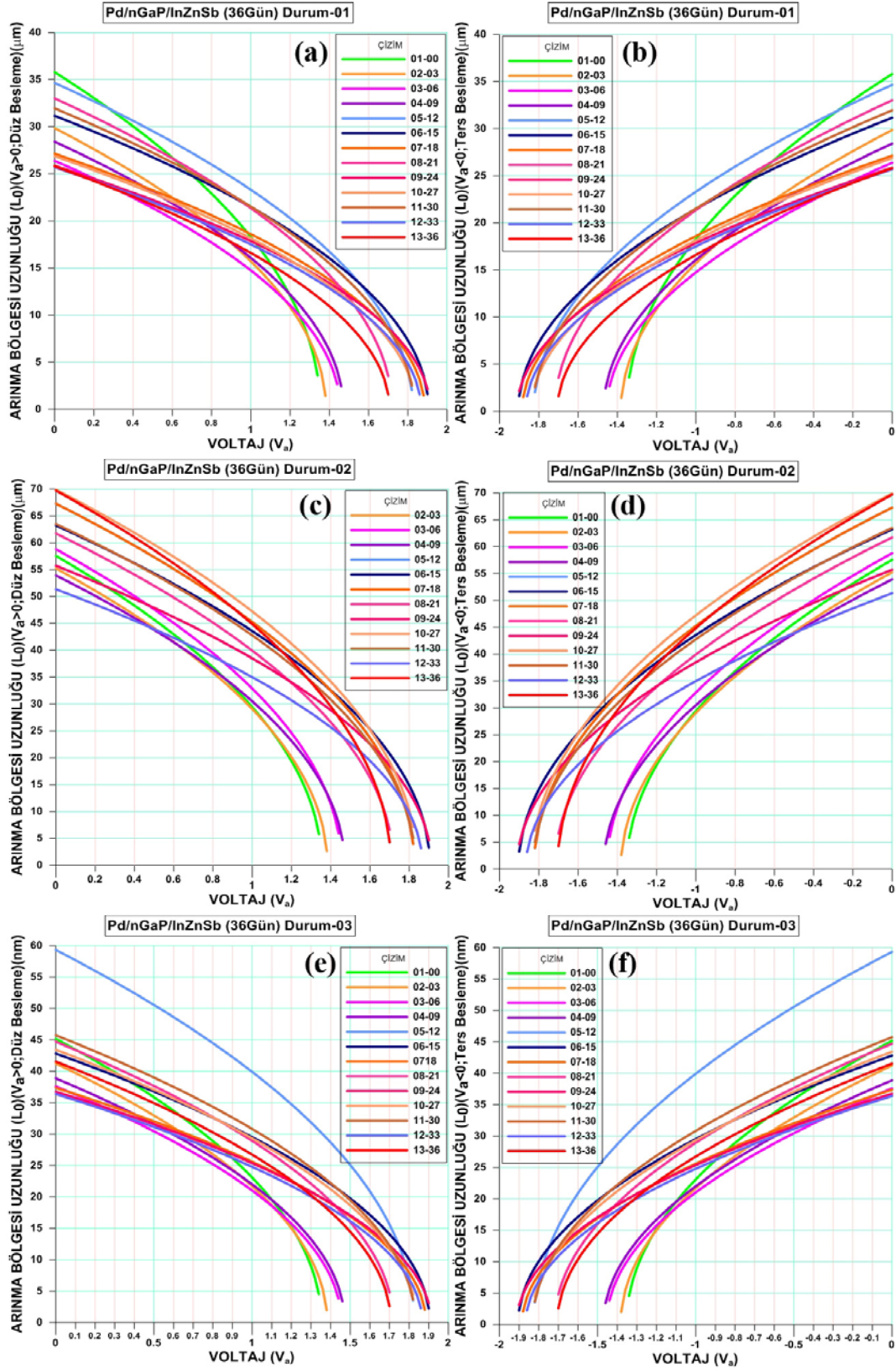
4.6. 36 Günlük Pd/n-GaP/InZnSb Diyotlarına Ait Bulgusal Grafikler



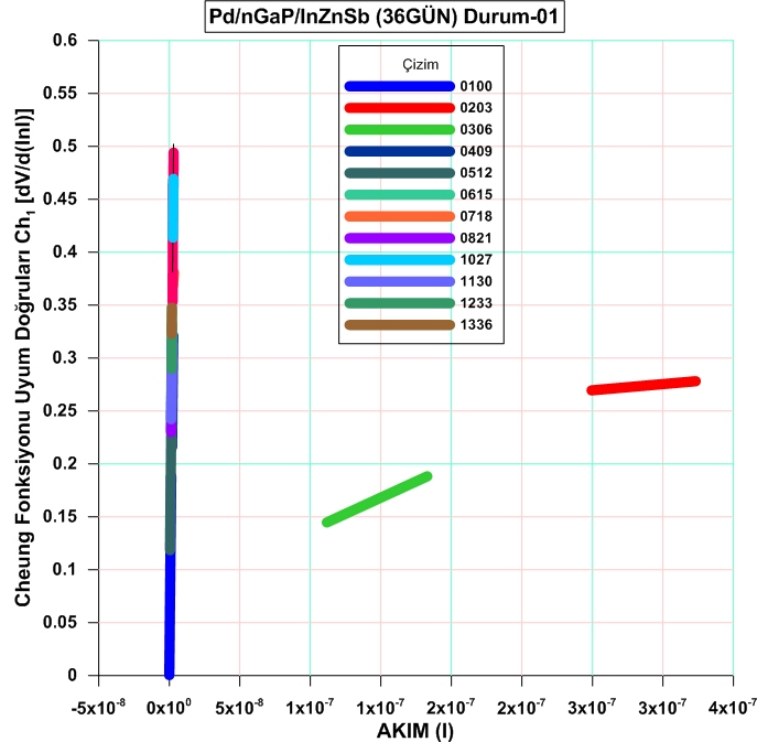
Şekil 4.77. Pd/n-GaP/InZnSb(36) diyotun $\Delta\Phi_{DB-gs}$ ($0 < V_a = V_{bi}$) ve $\Delta\Phi_{TB-gs}$ ($-V_a = V_{bi} < 0$) grafiği (DB: a, c, e; TB: b, d, f).



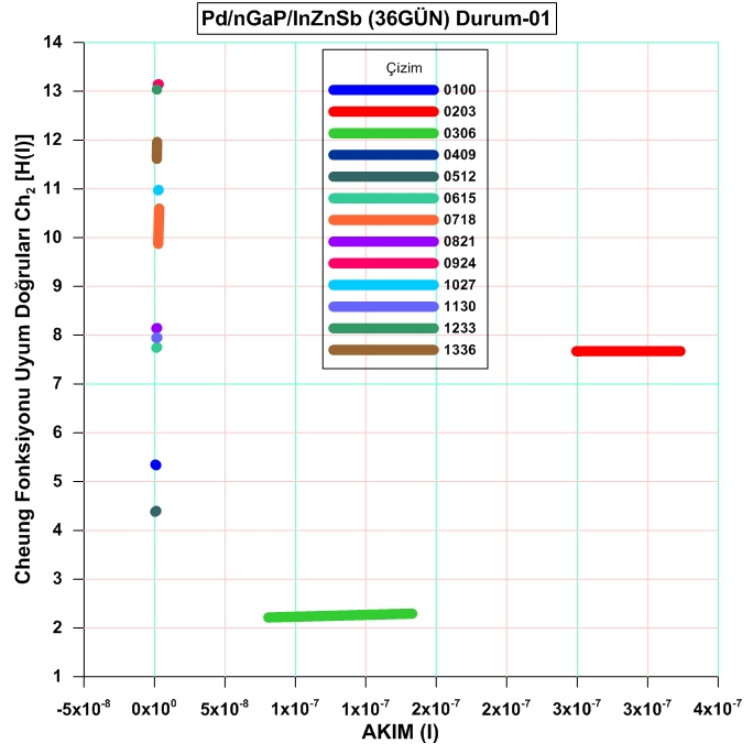
Şekil 4.78. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun C_{DB} -gs ($0 < V_a = V_{bi}$) ve C_{TB} -gs ($-V_a = V_{bi} < 0$) grafiği (DB: a, c, e; TB: b, d, f).



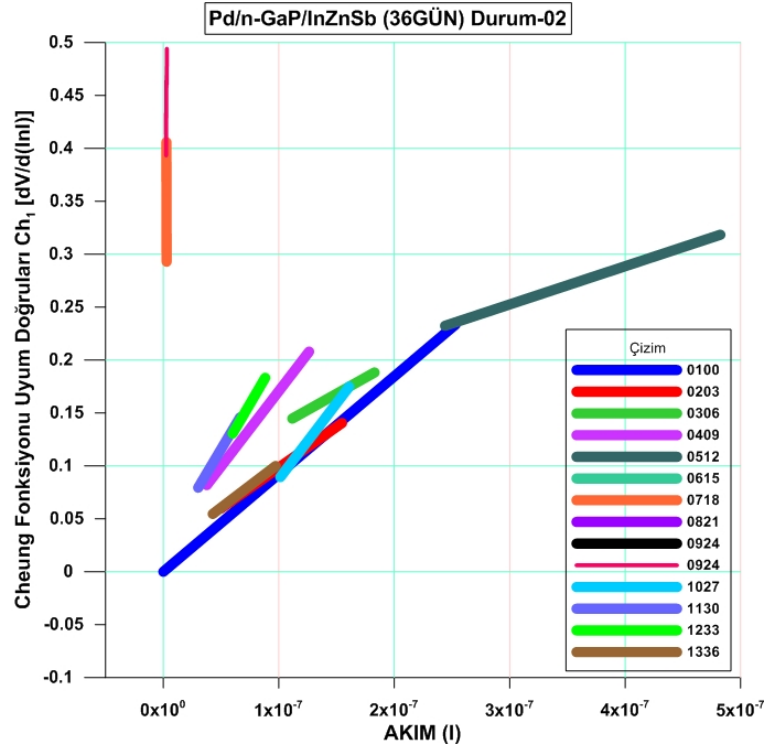
Şekil 4.79. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun L_{DB} -gs ($0 < V_a = V_{bi}$) ve L_{TB} -gs ($-V_a = V_{bi} < 0$) grafiği (DB: a, c, e; TB: b, d, f).



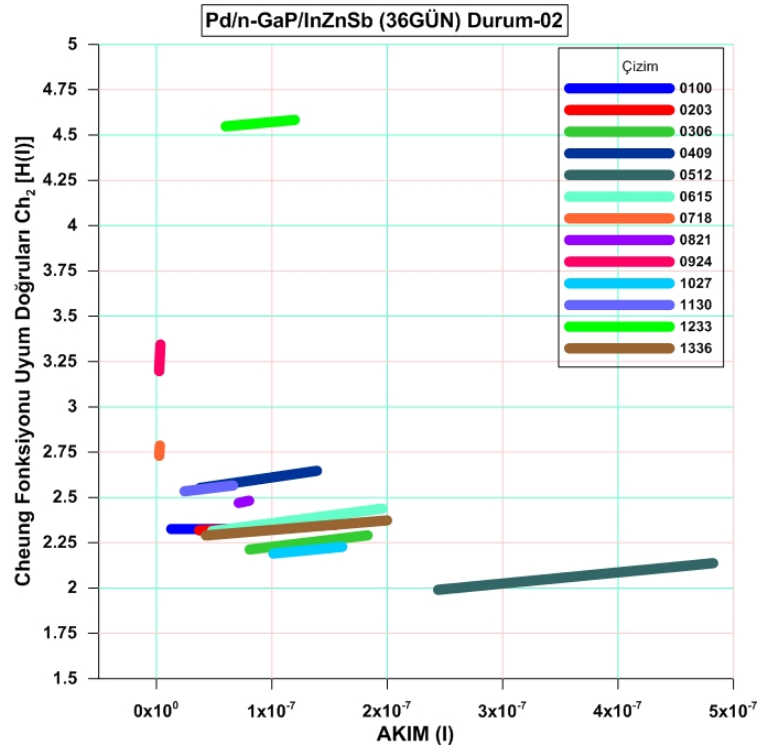
Şekil 4.80. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotunun Cheung fonksiyonlarının uyum doğruları ve akıma göre grafikleri. $Ch_{11}(dV/d\ln(I))$ -I grafiği.



Şekil 4.81. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotunun Cheung fonksiyonlarının uyum doğruları ve akıma göre grafikleri. $Ch_{21}(H(I))$ -I grafiği.



Şekil 4.82. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotunun Cheung fonksiyonlarının uyum doğruları ve akıma göre grafikleri. $Ch_{12}(dV/d\ln(I))-I$ grafiği.



Şekil 4.83. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotunun Cheung fonksiyonlarının uyum doğruları ve akıma göre grafikleri. $Ch_{22}(H(I))-I$ grafiği.



5. BULGULAR ve TARTIŞMA

5.1. Cu/n-Si/Al (64 gün) Diyotunun Bulgularının Tartışılması

Havaya maruz bırakma yöntemiyle Cu/n-Si/Al diyotun 64 günlük zaman takvimi 0, 2, 4, 8, 16, 32, 48, 64 gün olarak belirlenmiş, günü geldiğinde diyot üretilerek, I-V, Cs-V, Q-V, Cp-V, G-V, Cs-f, Q-f, Cp-f, G-f dataları alınmıştır. Bu veriler Grapher 9 yazılımıyla grafiğe aktarılmıştır. Bazı verilerin üst üste yığıldığı görüldüğünden verinin dikey eksenini logaritmik gösterilmiştir (Şekil 4.20'den Şekil 4.30'a).

lnI-V grafiğinde doğrusal bölgeye yapılan fit doğrusunun eğiminden n_{IF} idealite çarpanı değerleri ve ayrıca Φ_{IV} engel yüksekliği elde edildi. Bu değerler kullanılarak Cheung 1(Ch1) ve Cheung 2(Ch2) doğruları bulundu. Cheung 1'den seri direnç ve $n_{IF(Ch1)}$ ikinci bir idealite çarpanı bulundu, bu değer Cheung 2'de yazılarak bir yeni Φ_{Ch2} engel yüksekliği elde edildi.

Kapasite-gerilim verilerinden Cs^{-2} -V grafiği çizilerek eğim doğrusu elde edilmiştir. Bu doğrunun eğiminden N_D katkı yoğunluğu bulundu. Buradan Φ_{CV} engel yüksekliği, V_{bi} built-in potansiyeli, termal dengede katkılı durum için E_F Fermi enerjileri hesaplandı. Bu hesaplanan değerler kullanılarak; gerilim yokken ($V_a=0$), düz besleme ($V_a>0$) altında, ters besleme ($V_a<0$) altında, Çizelge 5.7'deki grafikler çizilmiştir (Şekil 4.31'den Şekil 4.36'e). Ayrıca, Şekil 4.37-38'de Cheung fonksiyonlarının uyum doğruları (fitleri) gösterilmiştir.

5.2. Cu/n-Si/Al (36 gün) Diyotunun Bulgularının Tartışılması

Havaya maruz bırakma yöntemiyle Cu/n-Si/Al diyotun 36 günlük zaman takvimi 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36 gün olarak belirlenmiş, günü geldiğinde diyot üretilerek, I-V, Cs-V, Q-V, Cp-V, G-V, Cs-f, Q-f, Cp-f, G-f dataları alınmıştır. Bazı verilerin üst üste yığıldığı görüldüğünden verinin dikey eksenini logaritmik gösterilmiştir (Şekil 4.39'den Şekil 4.51'e).

lnI-V grafiğinde düz besleme altındaki doğrusal bölgeye yapılan fit doğrusunun eğiminden idealite çarpanı değerleri ve ayrıca Φ_{IV} engel yüksekliği elde edildi. Bu değerler kullanılarak Cheung 1(Ch1) ve Cheung 2(Ch2) doğruları bulundu. Cheung 1'den

seri direnç ve $n_{IF(Ch1)}$ ikinci bir idealite çarpanı bulundu, bu değer Cheung 2’de yazılarak bir yeni Φ_{Ch2} engel yüksekliği elde edildi.

Sonra $Cs^{-2}-V$ grafiği çizilerek eğim doğrusu elde edilmiştir. Bu doğrunun eğiminden N_D katkı yoğunlaşması bulundu. Buradan Φ_{CV} engel yüksekliği, V_{bi} built-in gerilimi, termal dengede katkılı durum için E_F Fermi enerjileri hesaplandı. Bu hesaplanan değerler kullanılarak; gerilim yokken ($V_a=0$), düz besleme ($V_a>0$) altında, ters besleme ($V_a<0$) altında, Çizelge 5.8’deki grafikler çizilmiştir (Şekil 4.52’den Şekil 4.57’e). Ayrıca Şekil 4.58-59’da Cheung fonksiyonlarının uyum doğruları (fitleri) gösterilmiştir.

Çizelge 5.06. Cu/n-Si/Al diyotu için diyot karakteristiklerine ait grafik türleri.

I-V	Cs-V	Cs ⁻² -V	Q-V	Cp-V	G-V
Cs-f	Q-f		Cp-f	G-f	Cs-f

Çizelge 5.07. Cu/n-Si/Al diyotu için hesaplamalara dayalı bulgusal grafikler

n_{IF-gs}	Φ_{IV-gs}	Φ_{CV-gs}	n_{Ch1-gs}	Φ_{Ch2-gs}	R_s-gs
V_{bi-gs}	N_D-gs	E_F-gs	δ_{ok-gs}	N_{SS-gs}	E_{00-gs}
C_0-gs	C_{DB-V_a}	C_{TB-V_a}	$C_{DB-V_a}(V_{bi})$	$C_{TB-V_a}(V_{bi})$	
L_0-gs	L_{0DB-V_a}	L_{0TB-V_a}	$L_{0DB-V_a}(V_{bi})$	$L_{0TB-V_a}(V_{bi})$	
$\Delta\Phi_0-gs$	$\Delta\Phi_{DB-V_a}$	$\Delta\Phi_{TB-V_a}$	$\Delta\Phi_{DB-V_a}(V_{bi})$	$\Delta\Phi_{TB-V_a}(V_{bi})$	

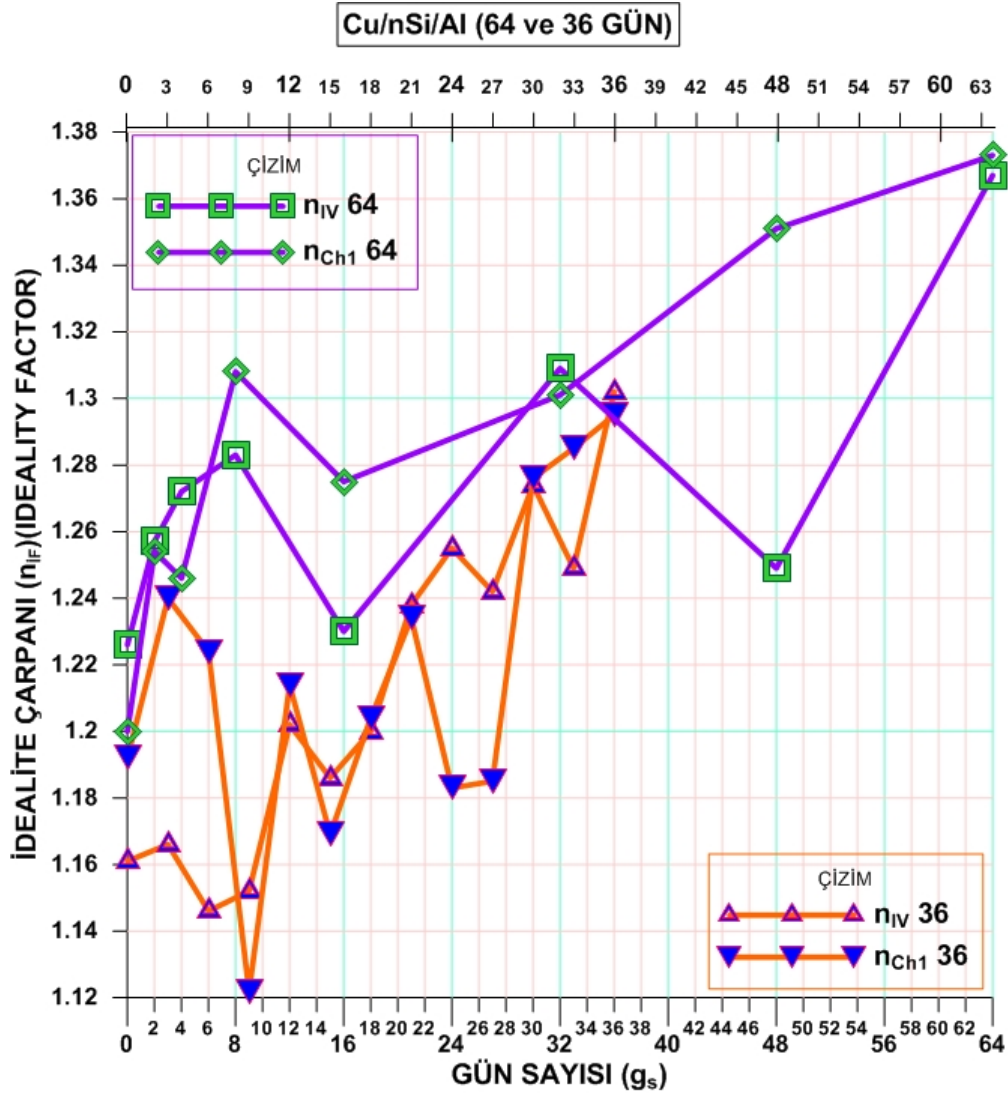
Eş.(2.107) kullanılarak, engel yüksekliği farkının gerilime göre $\Delta\Phi_{DB-V_a}$, $\Delta\Phi_{TB-V_a}$ grafiği çizilmiştir, düz ve ters besleme altında eğrinin simetrik olarak aynı davranışı gösterdiği görülmektedir (64GD Şekil 4.31-32; 36GD Şekil 4.52-53).

Eş.(2.23) kullanılarak, C_{DB-V_a} , C_{TB-V_a} , grafiği çizilmiştir, düz ve ters besleme altında eğrinin simetrik olarak aynı davranışı gösterdiği görülmektedir (64GD Şekil 4.33-34; 36GD Şekil 4.54-55).

Eş.(2.17) kullanılarak, arınma bölgesi uzunluğunun gerilime göre L_{0DB-V_a} , L_{0TB-V_a} grafiği çizilmiştir, düz ve ters besleme altında eğrinin simetrik olarak aynı davranışı gösterdiği görülmektedir. (64GD Şekil 4.35-36; 36GD Şekil 4.56-57).

5.3. Cu/n-SiAl (64-36 gün) Diyotunun Bulgularının Tartışılması ve Karşılaştırılması

5.3.1. İdealite Çarpanı



Şekil 5.84. 64 gün ve 36 gün diyotlarının idealite çarpanları n_{IF} - g_s grafiği.

64GD; Diyotun idealite çarpanı, referans diyota göre; 8. güne kadar parabolik artmış, sonra 16. günde azalmış, 32. günde artmış, 48. günde azalmış, 64. günde artmıştır. Artma ve azalma zig-zaglarına rağmen genel durumda diyotun idealite çarpanı lineer artmış olduğu gözükmemektedir. Diyotların değerleri referans diyot değerinin üstünde kalmıştır.

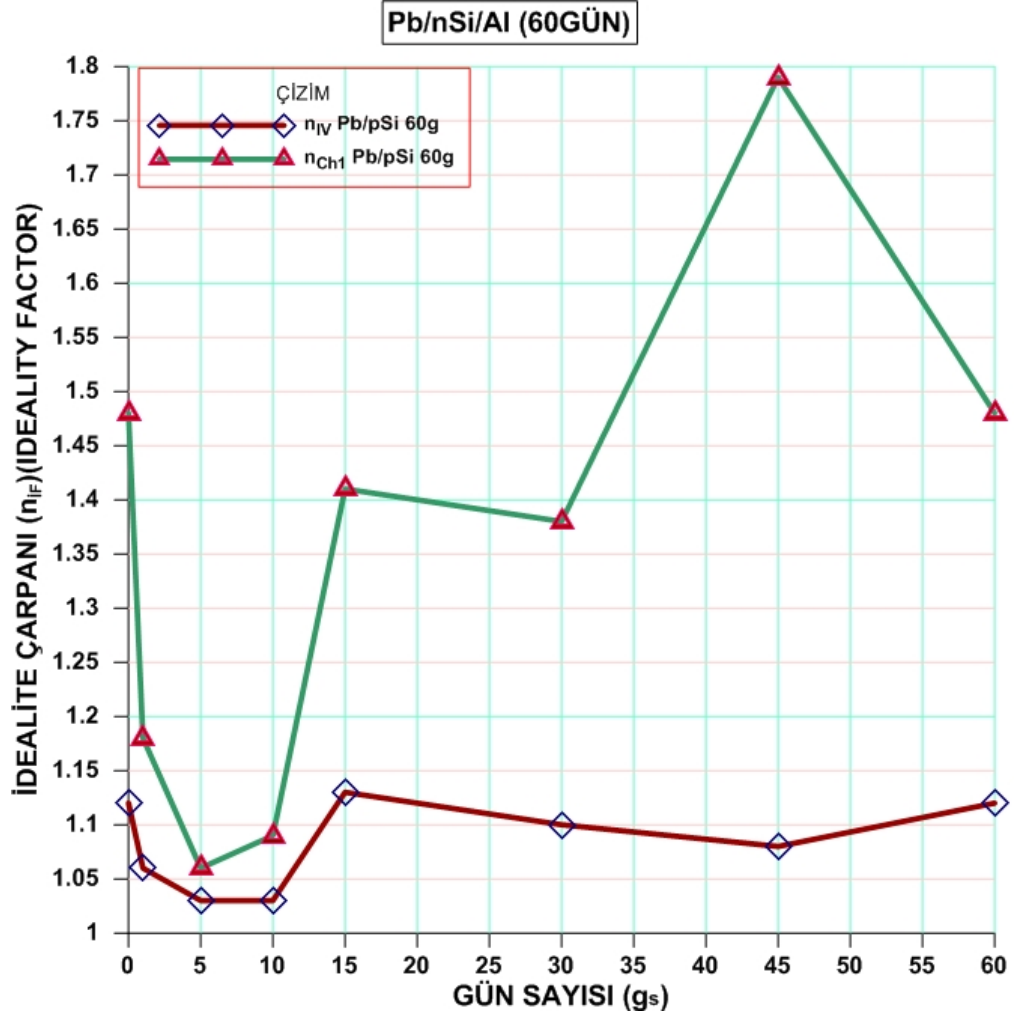
n_{ChI} - g_S grafiğinde Cheung 1'den elde edilen idealite çarpanı değerleri, referans diyota göre; ilk sekiz gün lineer artmış, 16. güne kadar azalmış, 16-64 gün aralığında lineer artmıştır. Artma ve azalma zig-zaglarına rağmen genel durumda diyotun idealite çarpanı lineer artmış olduğu görülmektedir. Diyotların değerleri referans diyot değerinin üstünde kalmıştır.

36GD; Diyotun idealite çarpanı, referans diyota göre; 3. günde artmış, 6. günde azalmış, 12. günde artmış, 15. günde azalmış, 24. günde artmıştır. Artma ve azalma zig-zaglarına rağmen genel durumda diyotun idealite çarpanı lineer artmış olduğu gözük-mektedir. 6. ve 9. gün diyotları hariç, diyotların değerleri referans diyot değerinin üs-tünde kalmıştır.

n_{ChI} - g_S grafiğinde Cheung 1'den elde edilen idealite çarpanı değerleri referans diyota göre; ilk 3 gün artmış, 9. günde azalmış, 12. günde artmış, 15. günde azalmış, 21. günde artmış, 24. günde azalmış, 36.günde artmış, genel durumda 9. günden sonra line-er artmış gözük-mektedir. Artma ve azalma zig-zaglarına rağmen genel durumda diyotun idealite çarpanı lineer artmış olduğu görülmektedir. 9., 15., 24. ve 27. gün diyotları ha-riç, diyotların değerleri referans diyot değerinin üstünde kalmıştır.

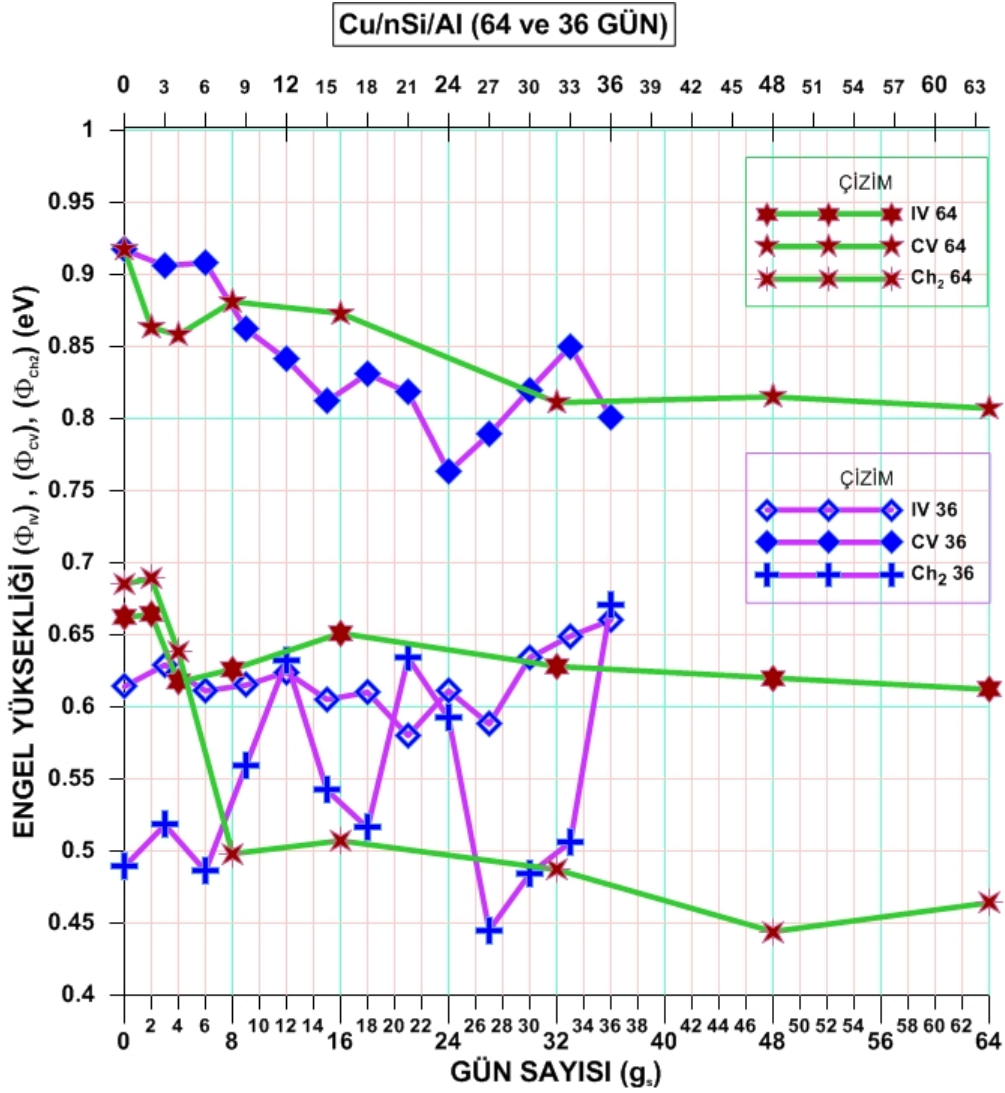
Çizelge 5.08. İdealite çarpanı-gün sayısı çizelgesi.

Cu/n-Si/Al (64GD)			Cu/n-Si/Al (36GD)		
Gün Sayısı (g_S)	İdealite Çarpanı (n_{IV})	İdealite Çarpanı (n_{ChI}) (Cheung1)	Gün Sayısı (g_S)	İdealite Çarpanı (n_{IV})	İdealite Çarpanı (n_{ChI}) (Cheung1)
0	1.1900	1.200	0	1.161	1.192
2	1.258	1.254	3	1.166	1.240
4	1.273	1.246	6	1.146	1.224
8	1.284	1.308	9	1.152	1.122
16	1.231	1.275	12	1.202	1.214
32	1.310	1.301	15	1.186	1.169
48	1.250	1.351	18	1.200	1.204
64	1.368	1.373	21	1.238	1.234
			24	1.255	1.183
			27	1.242	1.185
			30	1.274	1.276
			33	1.249	1.285
			36	1.302	1.295



Şekil 5.85. İdealite çarpanı karşılaştırması yapmak için yeniden çizilen, idealite çarpanı-gün sayısı grafiği (Çetinkara, ve ark., 2003).

5.3.2. Engel Yüksekliği



Şekil 5.86. 64 gün ve 36 gün diyotlarının engel yüksekliği grafiği (IV, CV ve Ch₂).

64GD; I-V'den elde edilen engel yüksekliği, referans diyota göre; dördüncü günde keskin bir düşüş yapmış, sonra 16. günde artmış ve 64. günde azalmış gözükmemektedir. 2. gün diyotu hariç, diyotların değerleri referans diyot değerinin altında kalmıştır.

C-V'den elde edilen engel yüksekliği değerleri ise, referans diyota göre; 4. günde azalmış, 16. günde yavaşça artmış, 32. günde azalmış, 48. günde sabit kalmış, 64. günde azalmıştır. 16-64 arası günlerde lineer azalma gözükmemektedir. Diyotların değerleri referans diyot değerinin altında kalmıştır.

$\Phi_{\text{Ch2-gS}}$ grafiğindeki Cheung 2'den elde edilen engel yüksekliği değerleri, referans diyota göre; 8. günde lineer olarak keskince azalmış, 64. günde lineer olarak hafifçe azalmıştır. 2. gün diyetu hariç, diyetlerin değerleri referans diyet değerinin altında kalmıştır.

36GD; I-V'den elde edilen engel yüksekliği, referans diyota göre; 3. günde artmış, 6. günde düşmüş, 12. günde artmış ve 21. günde ani azalmış, 21. günden sonra ani arttığı gözükmeğedir. Artma ve azalma zig-zaglarına rağmen genel durumda diyetun engel yüksekliği zayıf lineer artmış olduğu gözükmeğedir. 6., 15., 18., 24. ve 27. gün diyetleri hariç, diyetlerin değerleri referans diyet değerinin üstünde kalmıştır.

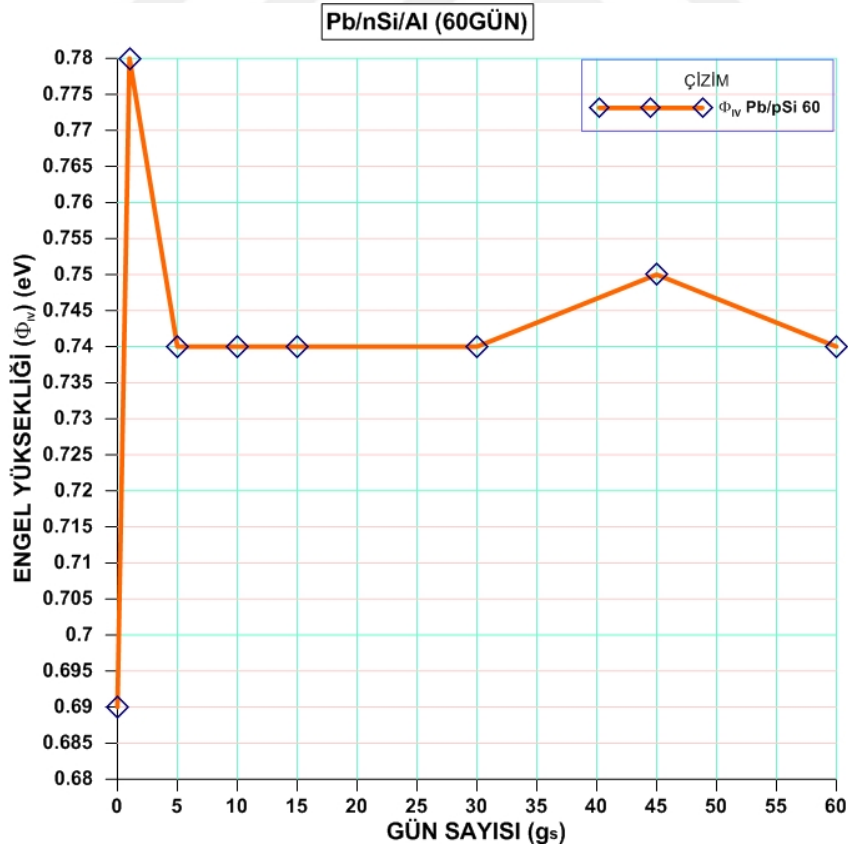
C-V'den elde edilen engel yüksekliği değerleri ise, referans diyota göre; 3. günde artmış, 16. günde hafifçe artmış, 32. günde azalmış, 48. günde sabit kalmış, 24. günde lineer azalmış, 24. günden 33. güne kadar lineer artmış, 36.günde azaldığı gözükmeğedir. Artma ve azalma zig-zaglarına rağmen genel durumda diyetun engel yüksekliği zayıf lineer artmış olduğu gözükmeğedir. Diyetlerin değerleri referans diyet değerinin üstünde kalmıştır.

$\Phi_{\text{Ch2-gS}}$ grafiğindeki Cheung 2'den elde edilen engel yüksekliği değerleri, referans diyota göre; 12. günde lineer olarak keskince artmış, 18. günde lineer olarak hızlıca azalmış, 21. günde ani artmış, 27. günde keskince azalmış, 24. güne kadar artmış. Artma ve azalma zig-zaglarına rağmen genel durumda diyetun engel yüksekliği zayıf lineer artmış olduğu gözükmeğedir. 6., 27. ve 30. gün diyetleri hariç, diyetlerin değerleri referans diyet değerinin üstünde kalmıştır.

64 gün süreli diyetlerin elde edilen üç eğrisine göre lineer azaldığı, 36 gün süreli diyetlerin elde edilen üç eğrisine bakıldığında IV'den ve CV'den çizilen eğrilerin lineer azaldığı, ancak Cheung 2'den elde edilen çizimin genel olarak lineer arttığı görülmektedir.

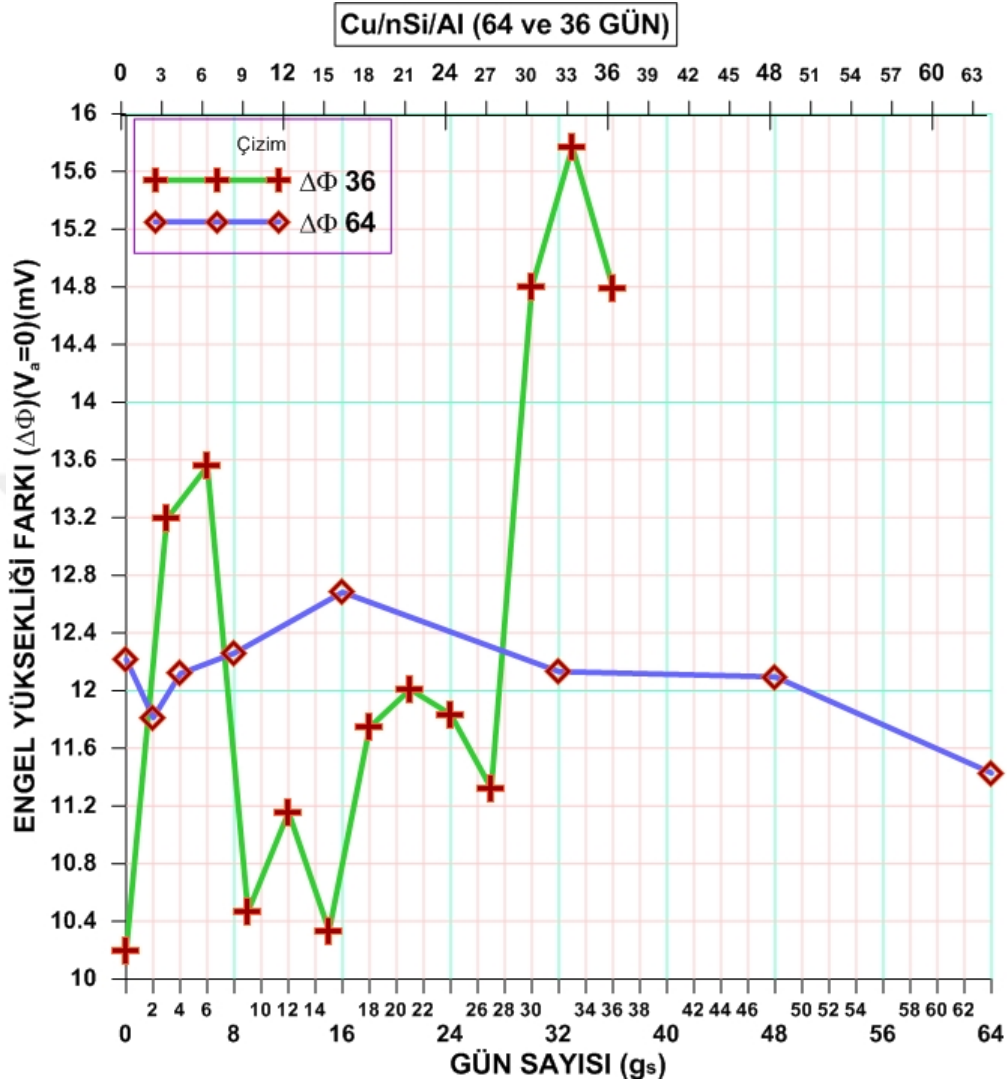
Çizelge 5.09. Engel yüksekliği-gün sayısı çizelgesi.

Cu/n-Si/Al (64GD)				Cu/n-Si/Al (36GD)			
Gün Sayısı (g _s)	Engel Yüksekliği (Φ _{IV}) (eV)	Engel Yüksekliği (Φ _{CV}) (eV)	Engel Yüksekliği (Φ _{Ch2}) (eV) (Cheung2)	Gün Sayısı (g _s)	Engel Yüksekliği (Φ _{IV}) (eV)	Engel Yüksekliği (Φ _{CV}) (eV)	Engel Yüksekliği (Φ _{Ch2}) (eV) (Cheung2)
0	0.662	0.917	0.685	0	0.614	0.917	0.489
2	0.664	0.863	0.689	3	0.629	0.906	0.518
4	0.617	0.858	0.638	6	0.611	0.908	0.486
8	0.626	0.881	0.498	9	0.615	0.862	0.559
16	0.651	0.873	0.507	12	0.624	0.841	0.632
32	0.628	0.811	0.487	15	0.605	0.812	0.542
48	0.620	0.815	0.444	18	0.610	0.831	0.516
64	0.612	0.807	0.464	21	0.580	0.818	0.634
				24	0.611	0.763	0.592
				27	0.588	0.789	0.445
				30	0.634	0.820	0.484
				33	0.649	0.850	0.506
				36	0.660	0.801	0.671



Şekil 5.87. Engel Yüksekliği karşılaştırması yapmak için yeniden çizilen, engel yüksekliği-gün sayısı grafiği (Çetinkara, ve ark., 2003).

5.3.3. Engel Yüksekliği Farkı



Şekil 5.88. 64 gün ve 36 gün diyotlarının $\Delta\Phi$ -g_s grafikleri.

64GD; Eş.(2.108) kullanılarak, $V_a=0$ için, $\Delta\Phi$ -g_s engel yüksekliği farkı-gün sayısı grafiği çizilmiş, referans diyota göre, eğrinin 2. güne kadar azaldığı, 16. günde arttığı, 64. güne kadar lineer azaldığı gözlenmiştir. Genel olarak diyot 64 günlük sürede zayıf lineer azaldığı görülmektedir ve birimi meV mertebesinde. 8. ve 16. gün diyotları hariç, diyotların değerleri referans diyot değerinin altında kalmıştır.

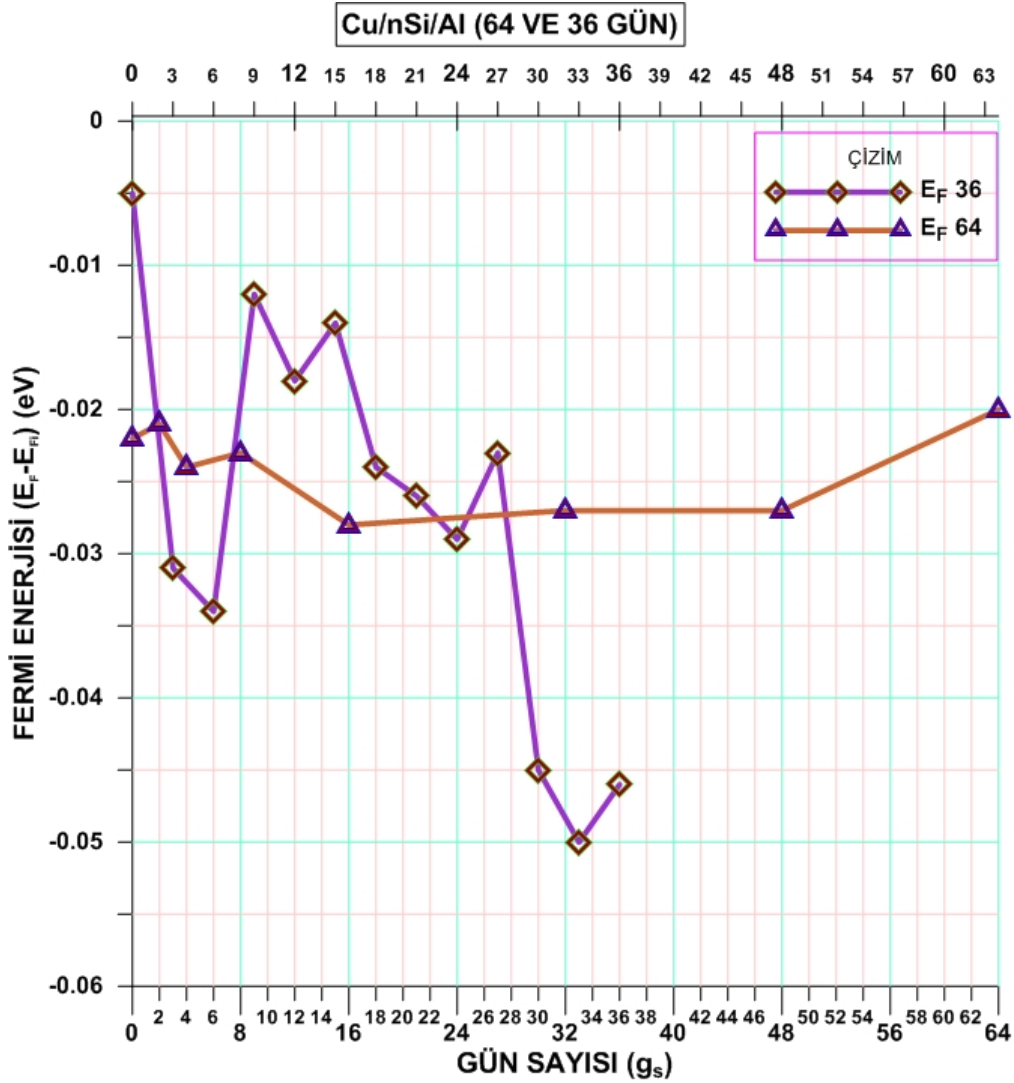
36GD; Eş.(2.108) kullanılarak, $V_a=0$ için, $\Delta\Phi$ -g_s engel yüksekliği farkı Schottky imaj yükü nedeniyle olan engel yüksekliği azalmasıdır. Engel yüksekliği farkı, referans diyota göre; 36 gün diodunda, referans diyota göre, genelde ani yükselmiş, 9. günde düşmüş, 27. güne kadar artmış, 33. güne kadar hızlı artmıştır. Genel olarak diyot 36

günlük sürede zayıf lineer arttığı görülmektedir ve birimi meV mertebesindedir. Diyotların değerleri referans diyot değerinin altında kalmıştır.

Çizelge 5.10. Engel yüksekliği farkı ($\Delta\Phi$)-gün sayısı çizelgeleri ($V_a=0$).

Cu/n-Si/Al (64GD)		Cu/n-Si/Al (36GD)	
Gün Sayısı (g_s)	EYF ($\Delta\Phi$) (meV)	Gün Sayısı (g_s)	EYF ($\Delta\Phi$) (meV)
0	12.216813	0	10.197097
2	11.813111	3	13.191098
4	12.117984	6	13.556528
8	12.260080	9	10.467319
16	12.682357	12	11.157267
32	12.132031	15	10.334589
48	12.095577	18	11.745816
64	11.428783	21	12.008612
		24	11.835085
		27	11.320041
		30	14.801743
		33	15.771081
		36	14.793603

5.3.4. Fermi Enerjisi



Şekil 5.89. 64 gün ve 36 gün diyotlarının E_F - g_s grafikleri.

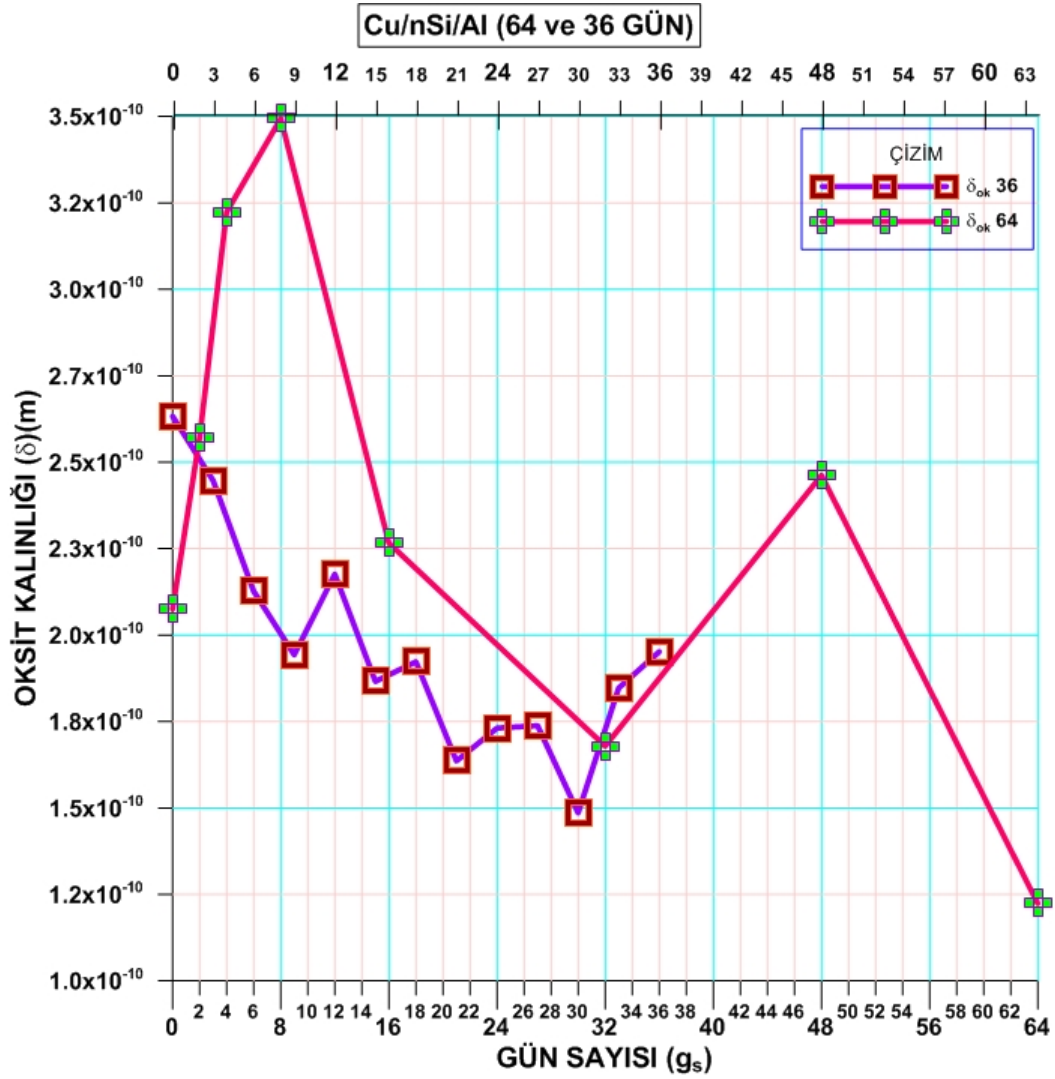
64GD; E_F - g_s grafiğinde, referans diyota göre; 16 günde önce lineer azalmış, 16-64 günleri arası çok zayıf artmıştır. Genel olarak diyot 64 günlük sürede zayıf lineer azaldığı görülmektedir ve birimi meV mertebesinde. 2. ve 64. gün diyotları hariç, diyotların değerleri referans diyot değerinin altında kalmıştır.

36GD; E_F - g_s grafiğinde, referans diyota göre; ilk 9 gün azalmış, 9-33. günler arası lineer azalmıştır. Genel olarak diyot 36 günlük sürede zayıf lineer azaldığı görülmektedir ve birimi meV mertebesinde. Diyotların değerleri referans diyot değerinin altında kalmıştır.

Çizelge 5.11. Fermi seviyesi (E_F)-gün sayısı çizelgeleri.

Cu/n-Si/Al (64GD)		Cu/n-Si/Al (36GD)	
Gün Sayısı (g_s)	Fermi Seviyesi (E_F) (eV)	Gün Sayısı (g_s)	Fermi Seviyesi (E_F) (eV)
0	0.528	0	0.497
2	0.529	3	0.525
4	0.526	6	0.529
8	0.527	9	0.504
16	0.522	12	0.510
32	0.523	15	0.506
48	0.523	18	0.517
64	0.530	21	0.520
		24	0.524
		27	0.517
		30	0.546
		33	0.554
		36	0.548

5.3.5. Oksit Kalınlığı



Şekil 5.90. 64 gün ve 36 gün diyotlarının arayüzey oksit tabaka kalınlığının değişim grafiği.

64GD; δ_{ok} -g_s grafiğinde arayüzey oksit kalınlığı değerleri 1-4 Angström boyunda hesaplanmıştır. Bu değer literatürdeki değerler uyuşmaktadır (Sze, 2007; Rhoderick, 1988; Card, 1971). Oksit kalınlığı hesabında, Hudait, 2001'deki oksit kalınlığı denklemi kullanılmıştır.

Referans diyota göre; 8. güne kadar doğal oksit kalınlığı artmış, 16. güne kadar azalmış, 32. güne kadar azalmış, ancak referans diyot değerinin üstünde bir değerde kalmıştır. 48. güne kadar artmış, referans diyot değerinin üstünde bir değerde kalmış, 64. güne kadar referans diyor değerinin altında bir değere azalmıştır. Genel olarak diyot 64 günlük sürede lineer azaldığı görülmektedir ve birimi Angström mertebesindedir. 32.

ve 64. gün diyotları hariç, diyotların değerleri referans diyot değerinin üstünde kalmıştır.

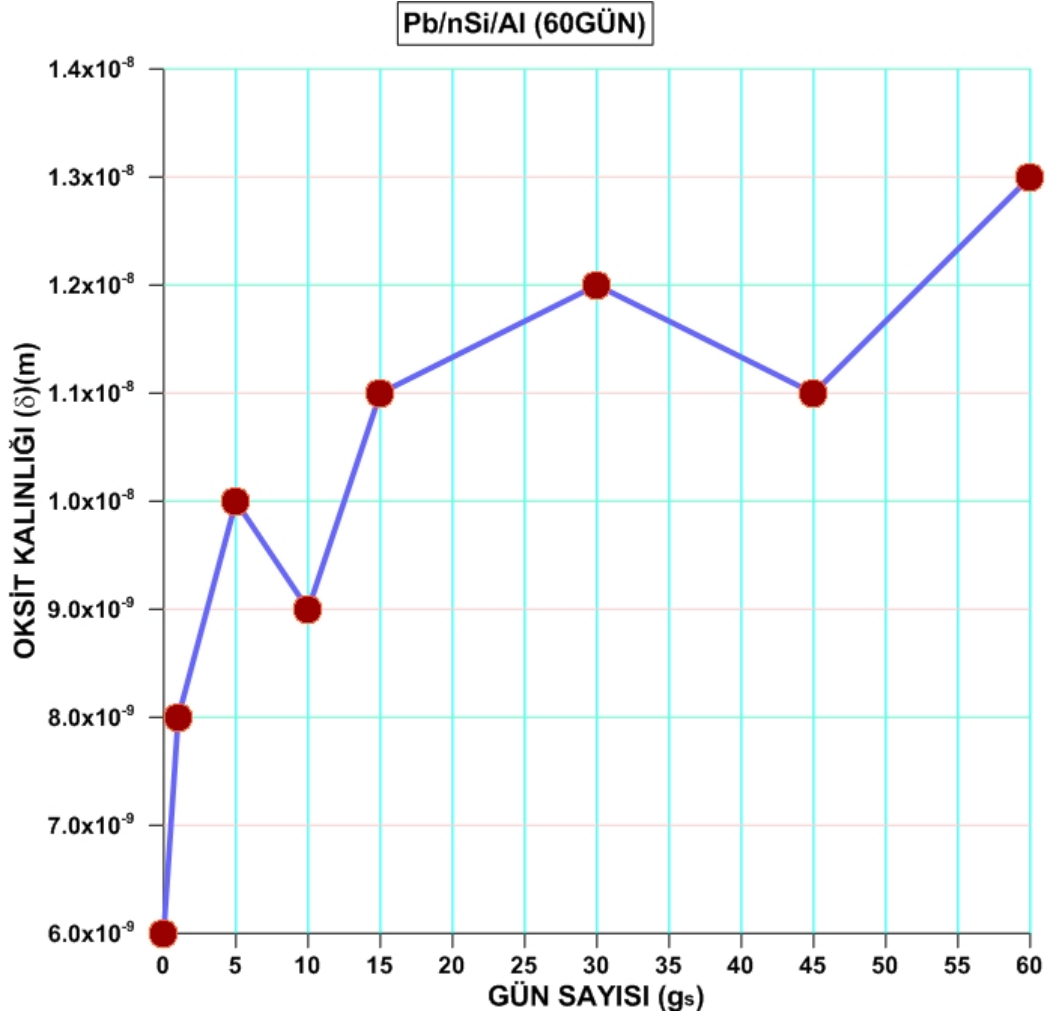
36GD; δ_{ok} -gs grafiğinde arayüzey oksit kalınlığı değerleri 1-4 Angström boyunda hesaplanmıştır. Bu değer literatürdeki değerler uyuşmaktadır (Sze, 2007; Rhoderick, 1988; Card, 1971). Oksit kalınlığı hesabında, Hudait, 2001'deki oksit kalınlığı denklemi kullanılmıştır.

Referans diyota göre; 30. güne kadar lineer azalmış, 36. güne kadar artmış, ancak referans diyot değerinin altında kalmıştır. Genel olarak oksit kalınlığının lineer olarak azaldığı görülmektedir. Genel olarak diyot 36 günlük sürede lineer azaldığı görülmektedir ve birimi Angström mertebesinde. Diyotların değerleri referans diyot değerinin üstünde kalmıştır.

Heriki diyotta da oksit kalınlığında lineer azalma görülmektedir.

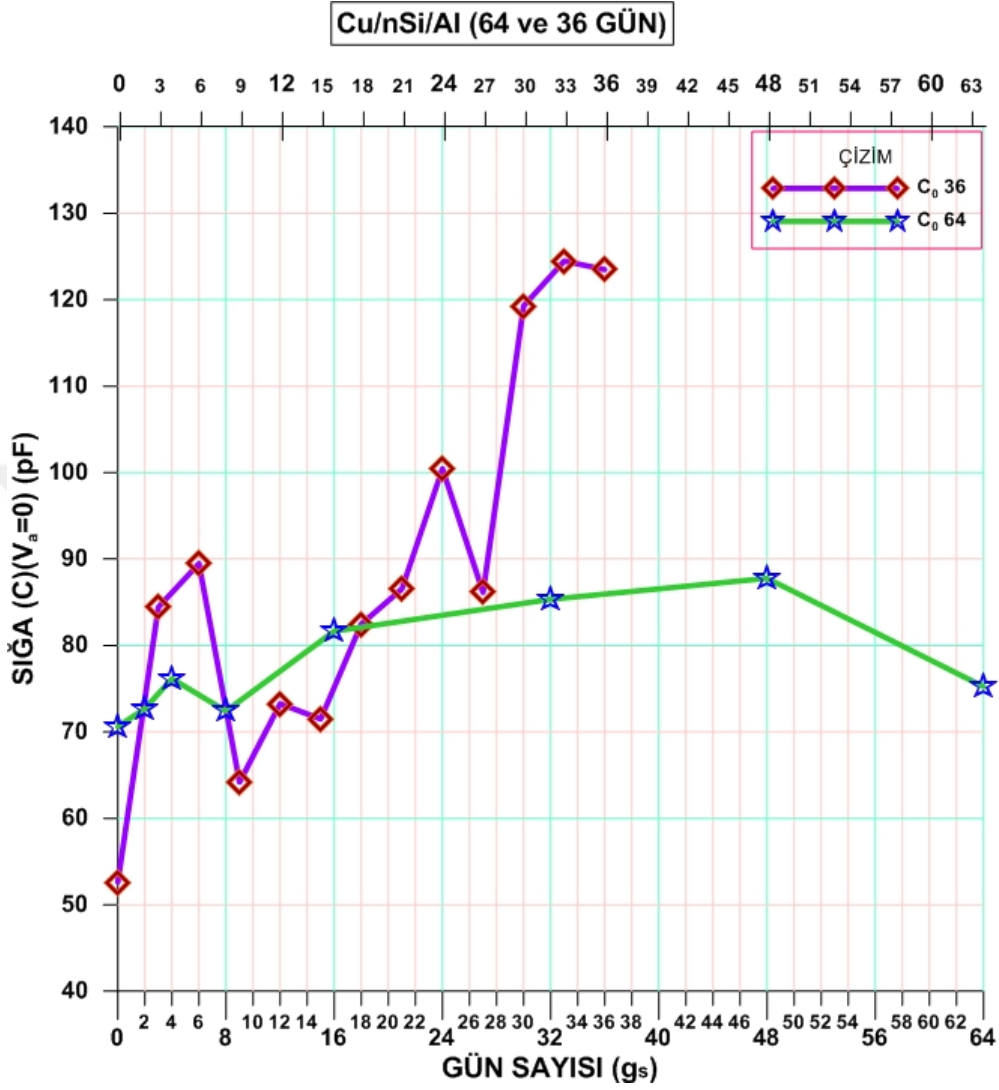
Çizelge 5.12. Oksit kalınlığı (δ_{ok})-gün sayısı çizelgesi ($V_a=0$) ($\times 10^{-10}$ m, 1Å).

Cu/n-Si/Al (64GD)		Cu/n-Si/Al (36GD)	
Gün Sayısı (gs)	Oksit Kalınlığı (δ_{ok}) ($\times 10^{-10}$ m, 1Å)	Gün Sayısı (gs)	Oksit Kalınlığı (δ_{ok}) ($\times 10^{-10}$ m, 1Å)
0	2.075	0	2.633
2	2.571	3	2.447
4	3.224	6	2.127
8	3.494	9	1.943
16	2.266	12	2.176
32	1.679	15	1.866
48	2.462	18	1.923
64	1.224	21	1.636
		24	1.731
		27	1.738
		30	1.486
		33	1.847
		36	1.952



Şekil 5.91. Oksit kalınlığı karşılaştırması yapmak için yeniden çizilen, oksit kalınlığı-gün sayısı grafiği (Çetinkara, ve ark., 2003).

5.3.6. Sığa



Şekil 5.92. 64 gün ve 36 gün diyotlarının ($V_a=0$) durumunda C_0 - g_s grafikleri.

64GD; Eş.(2.23) kullanılarak, $V_a=0$ için, C_0 - g_s sığa-gün sayısı grafiği çizilmiş, referans diyota göre; eğrinin küçük dalgalanmalarına rağmen lineer olarak arttığı ve pF mertebesinde olduğu görülmüştür. Genel olarak diyot 64 günlük sürede lineer arttığı görülmektedir ve birimi pF mertebesinde. Diyotların değerleri referans diyot değerinin üstünde kalmıştır.

36GD; Eş.(2.23) kullanılarak, $V_a=0$ için, C_0 - g_s sığa-gün sayısı grafiği çizilmiş, referans diyota göre; eğrinin küçük dalgalanmalarına rağmen lineer olarak arttığı ve pF mertebesinde olduğu görülmüştür. Genel olarak diyot 36 günlük sürede lineer arttığı

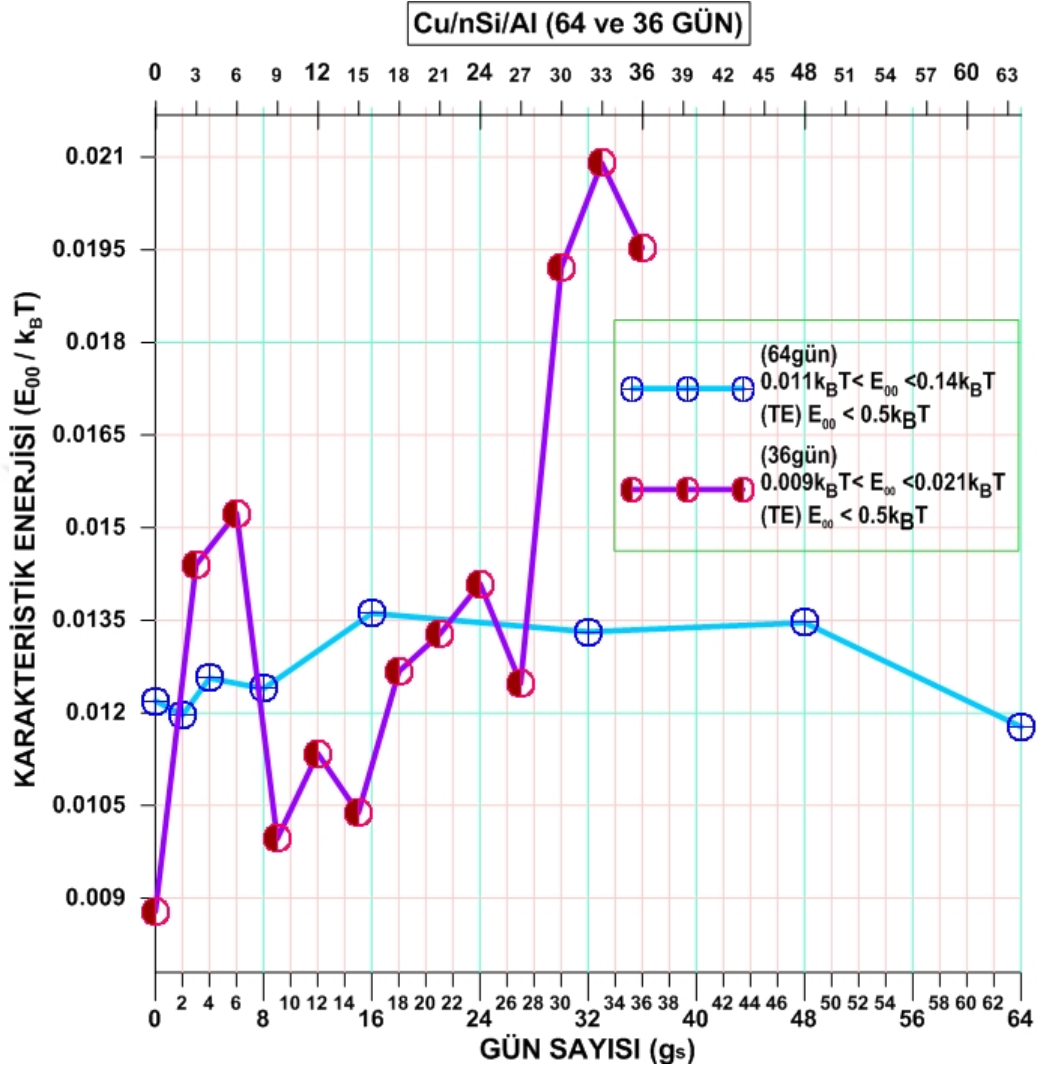
görülmektedir ve birimi pF mertebesinde dir. Diyotların değ erleri referans diyot değ eri- nin üstünde kalmıştır.

Uygulama gerilimi yokken her iki diyotun eğ ri çizimlerinin lineer arttığı görülmektedir. 36 güne kadar 36 gün diyotunun eğ risi daha hızlı artmaktadır.

Çizelge 5.13. Sığ a (C_0)-gün sayısı çizelgesi ($V_a=0$).

Cu/n-Si/Al (64GD)		Cu/n-Si/Al (36GD)	
Gün Sayısı (g_s)	Sığ a (C_0) (pF)	Gün Sayısı (g_s)	Sığ a (C_0) (pF)
0	70.627	0	052.620
2	72.700	3	084.440
4	76.157	6	089.482
8	72.419	9	064.199
16	81.654	12	073.264
32	85.345	15	071.496
48	87.773	18	082.480
64	75.238	21	086.546
		24	100.460
		27	086.145
		30	119.292
		33	124.480
		36	123.487

5.3.7. Karakteristik Enerjisi



Şekil 5.93. 64 gün ve 36 gün diyotlarının E_{00} - g_s işleyiş enerjisi grafikleri.

64GD; E_{00} - g_s grafiğindeki değerler, referans diyota göre; 2. güne kadar düşmüş, 4. güne kadar artmış, 8. güne kadar hafif azalmış, 16. güne kadar hızlıca artmıştır. İlk 16 gün lineer arttığı görülmektedir. 32. güne kadar hafif azalmış, 48. güne kadar hafif artmıştır. 32-48. günler arası sabit kaldığı söylenebilir. 64. güne kadar hızlıca azalmıştır. Genel olarak diyot 64 günlük sürede zayıf lineer arttığı görülmektedir. 2. ve 64. gün hariç, diyotların değerleri referans diyot değerinin üstünde kalmıştır.

36GD; E_{00} - g_s grafiğindeki değerler, referans diyota göre; 6. güne kadar önce lineer artmış, 9. güne kadar azalmış, 9-24. günler arası lineer artmış, 27. güne kadar azalmış, 33. güne kadar lineer artmış gözükmemektedir. 64. güne kadar hızlıca azalmıştır. Ge-

nel olarak diyot 36 günlük sürede lineer arttığı görülmektedir. Diyotların değerleri referans diyot değerinin üstünde kalmıştır.

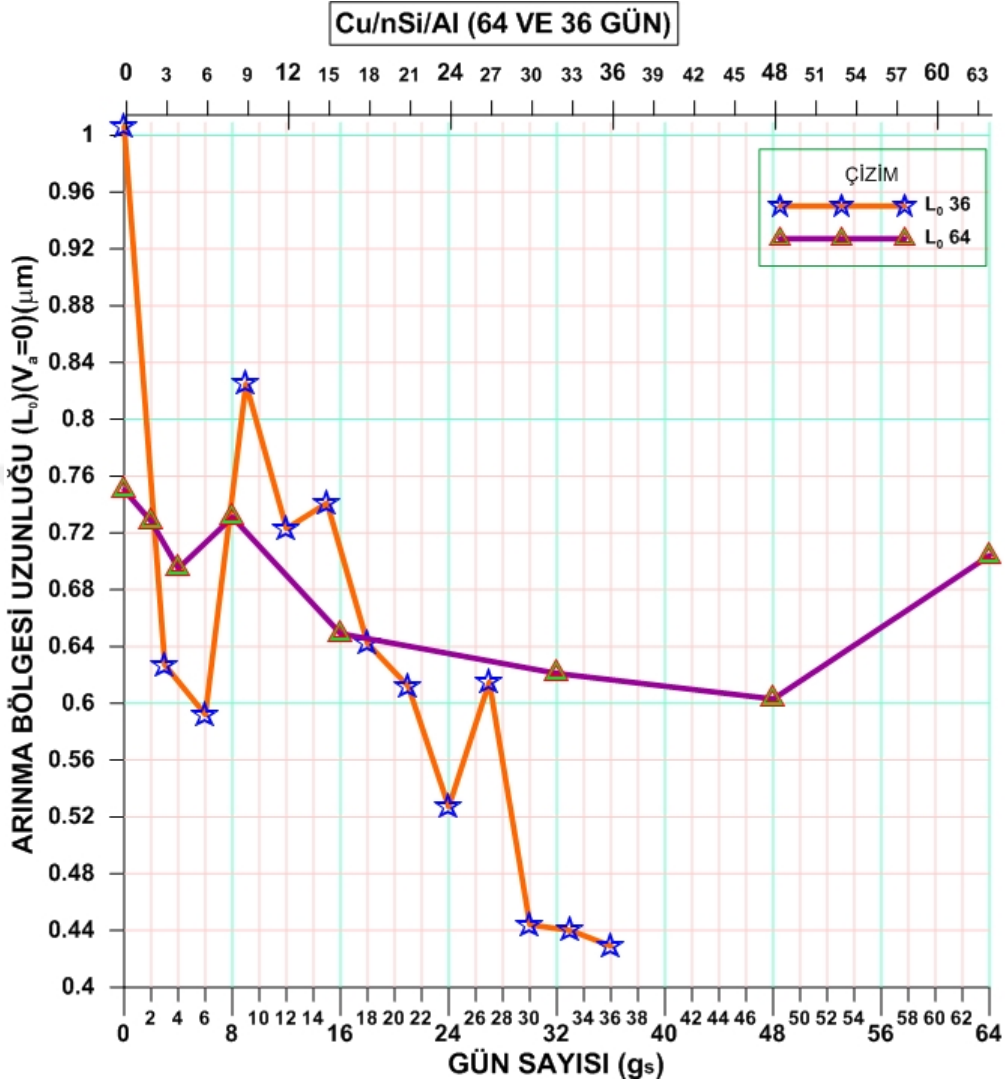
E_{00} kontağın akım iletim mekanizması hakkında bilgi verir. kT ile karşılaştırıldığında; değerler $0.5kT$ 'den küçük olduğundan bu diyotta TE; termiyonik akım iletim mekanizması geçerli olmuştur diyebiliriz. E_{00} hesabında, bu çalışmada Eş.(2.93) denklemi kullanıldı. Denklem Schroder, 2006'dan alındı. Eşitlikte etkin kütlelerin dikine ve boyuna değerlerinin terslerinin toplamının tersinin iki katı alınmıştır (keyfi olarak, bunun nedeni Schroder, 2006'de tünelleme etkin kütlelerini 0.3 vermiştir, Shur, 1998'de ise normal etkin kütle gibi vermiştir). Etkin kütle değerleri, Askerov, 1994'dan $m_{\perp}^* = 0.19$, $m_{\parallel}^* = 0.99$ olarak alınmıştır.

36 gün diyotunun işleyiş enerjisi genel olarak lineer artarken, 64 gün diyotu 16. güne kadar artmış, 48. güne kadar sabit kaldığı sonra düştüğü görülmektedir.

Çizelge 5.14. İşleyiş Enerjisi ($E_{00}/k_B T$)-gün sayısı çizelgesi (Birimsiz).

Cu/n-Si/Al (64GD),		Cu/n-Si/Al (36GD)	
Gün Sayısı (g _s)	İşleyiş Enerjisi (E_F)	Gün Sayısı (g _s)	İşleyiş Enerjisi (E_F)
0	0.528	0	0.008787
2	0.529	3	0.014399
4	0.526	6	0.015233
8	0.527	9	0.009963
16	0.522	12	0.011344
32	0.523	15	0.010380
48	0.523	18	0.012672
64	0.530	21	0.013270
		24	0.014091
		27	0.012481
		30	0.019204
		33	0.020902
		36	0.019528

5.3.8. Arınma Bölgesi Uzunluğu



Şekil 5.94. 64 gün ve 36 gün diyotlarının ($V_a=0$) durumunda L_0 - g_s grafikleri.

64GD; Eş.(2.17) kullanılarak, $V_a=0$ için, L_0 - g_s sığa-gün sayısı grafiği çizilmiş, referans diyota göre; eğrinin 4. güne kadar azaldığı, 8. güne kadar arttığı, 48. güne kadar lineer azaldığı, 64. güne kadar arttığı, 48. güne kadar lineer azaldığı ve biriminin μm mertebesinde olduğu görülmüştür. Genel olarak diyot 64 günlük sürede zayıf lineer arttığı görülmektedir. Diyotların değerleri referans diyot değerinin altında kalmıştır.

36GD; Eş.(2.17) kullanılarak, $V_a=0$ için, L_0 - g_s sığa-gün sayısı grafiği çizilmiş, referans diyota göre; eğrinin 6. güne kadar azaldığı, 9. güne kadar arttığı, 36. güne kadar lineer azaldığı ve biriminin μm mertebesinde olduğu görülmüştür. Genel olarak diyot 36

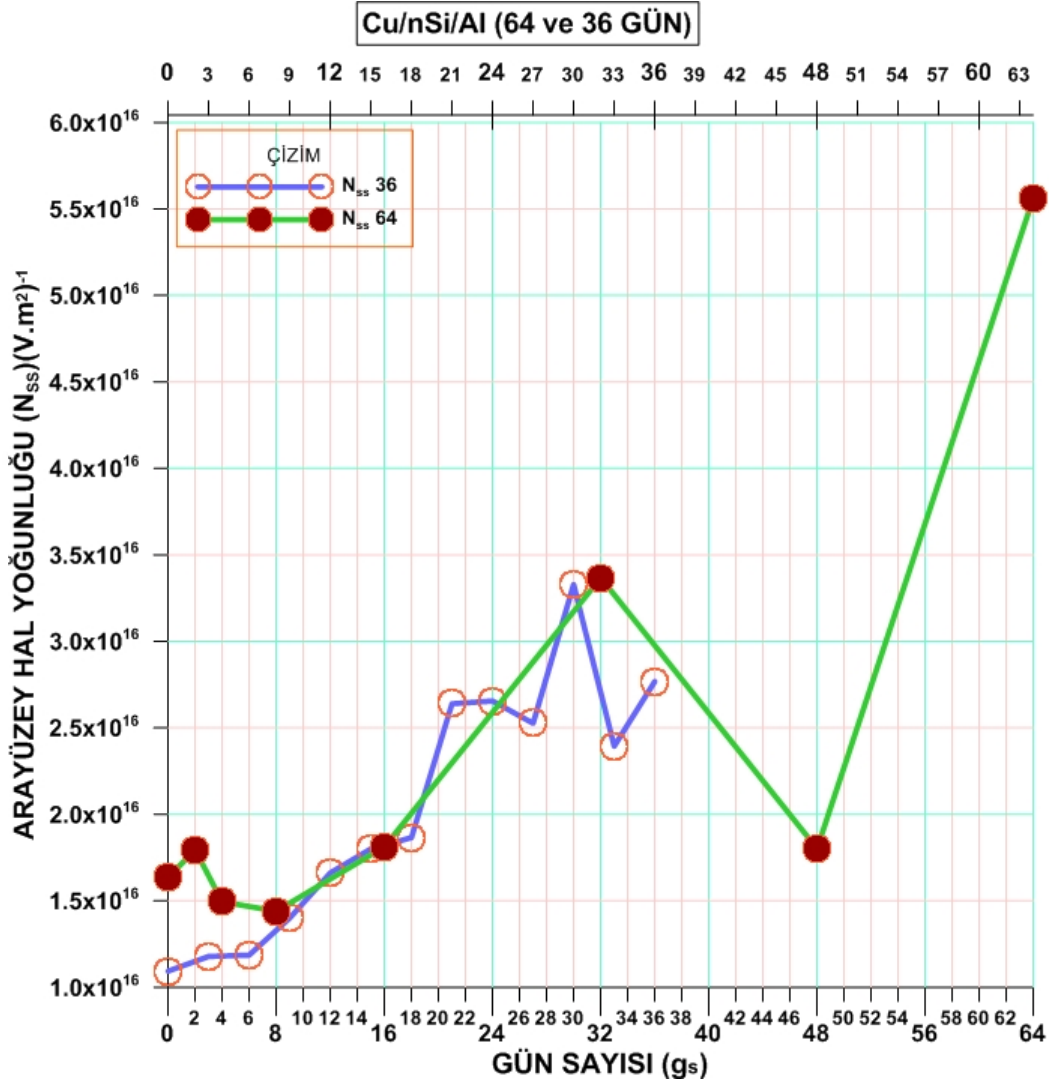
günlük sürede hızlı lineer azaldığı görülmektedir. Diyotların değerleri referans diyot değerinin altında kalmıştır.

Uygulama gerilimi yokken her iki diyotun eğri çizimlerinin lineer azaldığı görülmektedir. 36 güne kadar 36 gün diyotunun eğrisi daha hızlı azalmaktadır.

Çizelge 5.15. Arınma Bölgesi Uzunluğu (L_0)-gün sayısı çizelgesi ($V_a=0$).

Cu/n-Si/Al (64GD)		Cu/n-Si/Al (36GD)	
Gün Sayısı (g_s)	ABU (L_0) (μm)	Gün Sayısı (g_s)	ABU (L_0) (μm)
0	0.750	0	1.006
2	0.728	3	0.627
4	0.695	6	0.592
8	0.731	9	0.825
16	0.649	12	0.723
32	0.621	15	0.741
48	0.603	18	0.642
64	0.704	21	0.612
		24	0.527
		27	0.615
		30	0.444
		33	0.440
		36	0.429

5.3.9. Arayüzey Hal Yoğunluğu



Şekil 5.95. 64 gün ve 36 gün diyotlarının arayüzey hal yoğunluğu grafikleri.

64GD; N_{ss} -gs grafiğinde arayüzey hal yoğunlu değeri, referans diyota göre; 4. güne kadar artmış, 8. güne kadar azalmış, 32. güne kadar artmış, 48. güne kadar azalmış, 64. güne kadar artmıştır ve biriminin $(\text{Volt.m}^2)^{-1}$ mertebesinde. Genel olarak arayüzey hal yoğunluğunun lineer olarak artmış gözükmektedir. 4. ve 8. gün hariç, diyotların değeri referans diyot değerinin üstünde kalmıştır. N_{ss} hesaplaması için Card ve Rhoderick, 1971'deki N_{ss} ifadesi kullanılmıştır (bu çalışmada Eş.(2.89)).

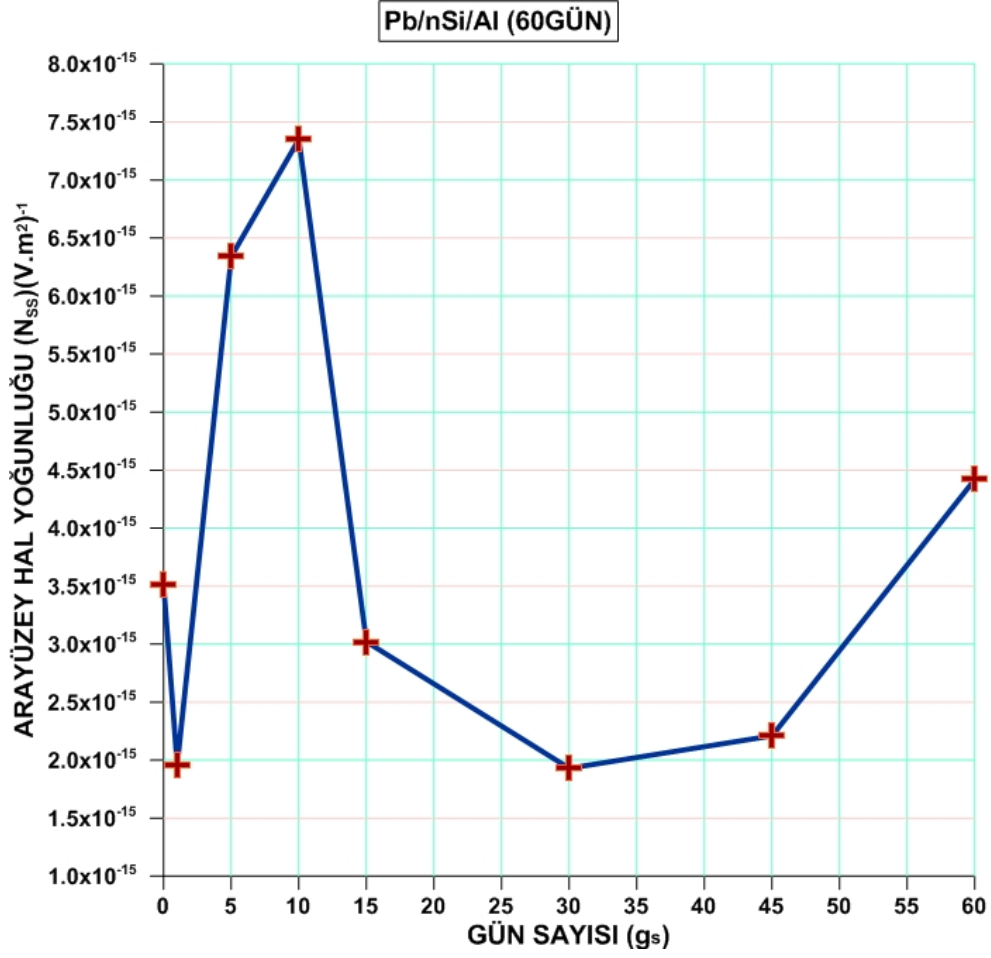
36GD; N_{ss} -gs grafiğinde arayüzey hal yoğunlu değeri, referans diyota göre; 24. güne kadar lineer artmış, 27. güne kadar azalmış, 30. güne kadar artmış, 33. güne kadar azalmış, 36. güne kadar artmıştır ve biriminin $(\text{Volt.m}^2)^{-1}$ mertebesinde. Genel

olarak arayüzey hal yoğunluğunun lineer olarak artmış gözükmektedir. Diyetlerin değerleri referans diyet değerinin üstünde kalmıştır. N_{SS} hesaplaması için Card ve Rhoderick, 1971'deki N_{SS} ifadesi kullanılmıştır (bu çalışmada Eş.(2.89)).

Heriki eğrinin arayüzey hal yoğunluklarının genelde lineer attığı görülmektedir. 64 gün diyetinde ilk 9 gün azalma olmuş, 30. güne kadar lineer artmışlar, sonra heriki diyetin arayüzey hal yoğunlukları azalma göstermişlerdir. 48. güne kadar 64 gün diyeti azalmış sonra hızlıca yükselmiştir.

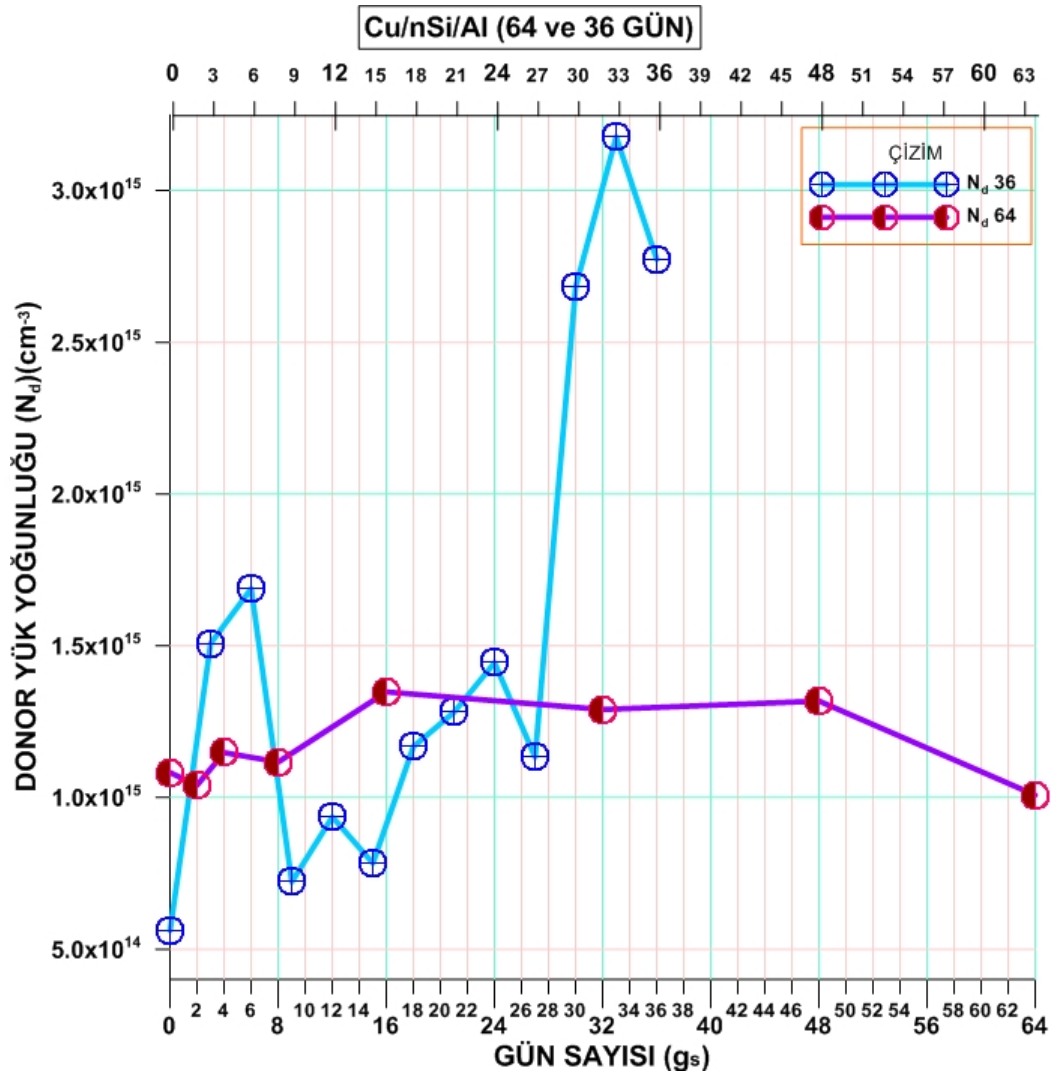
Çizelge 5.16. Arayüzey hal yoğunluğu (N_{SS})-gün sayısı çizelgeleri.

Cu/n-Si/Al (64GD)		Cu/n-Si/Al (36GD)	
Gün Sayısı (g _s)	AHY (N_{SS}) ($V.m^2$) ⁻¹	Gün Sayısı (g _s)	AHY (N_{SS}) ($V.m^2$) ⁻¹
0	1.635E+016	0	1.093E+016
2	1.794E+016	3	1.178E+016
4	1.494E+016	6	1.186E+016
8	1.440E+016	9	1.400E+016
16	1.812E+016	12	1.661E+016
32	3.367E+016	15	1.800E+016
48	1.802E+016	18	1.865E+016
64	5.563E+016	21	2.639E+016
		24	2.655E+016
		27	2.526E+016
		30	3.328E+016
		33	2.394E+016
		36	2.768E+016



Şekil 5.96. Arayüzey hal yoğunluğu karşılaştırması yapmak için yeniden çizilen, arayüzey hal yoğunluğu-gün sayısı grafiği (Çetinkara, ve ark., 2003).

5.3.10. Donor Yük Yoğunluğu



Şekil 5.97. 64 gün ve 36 gün diyotlarına ait N_D - g_s grafikleri.

64GD; N_D - g_s grafiğinde donör yük yoğunluğu-gün sayısı değerleri, referans diyota göre; 16. güne kadar önce lineer artmış, 16-48. günler arası sabit kalmış, 64. güne kadar azalmış ve referans diyot değerinden daha büyük değerde olduğu görülmektedir.

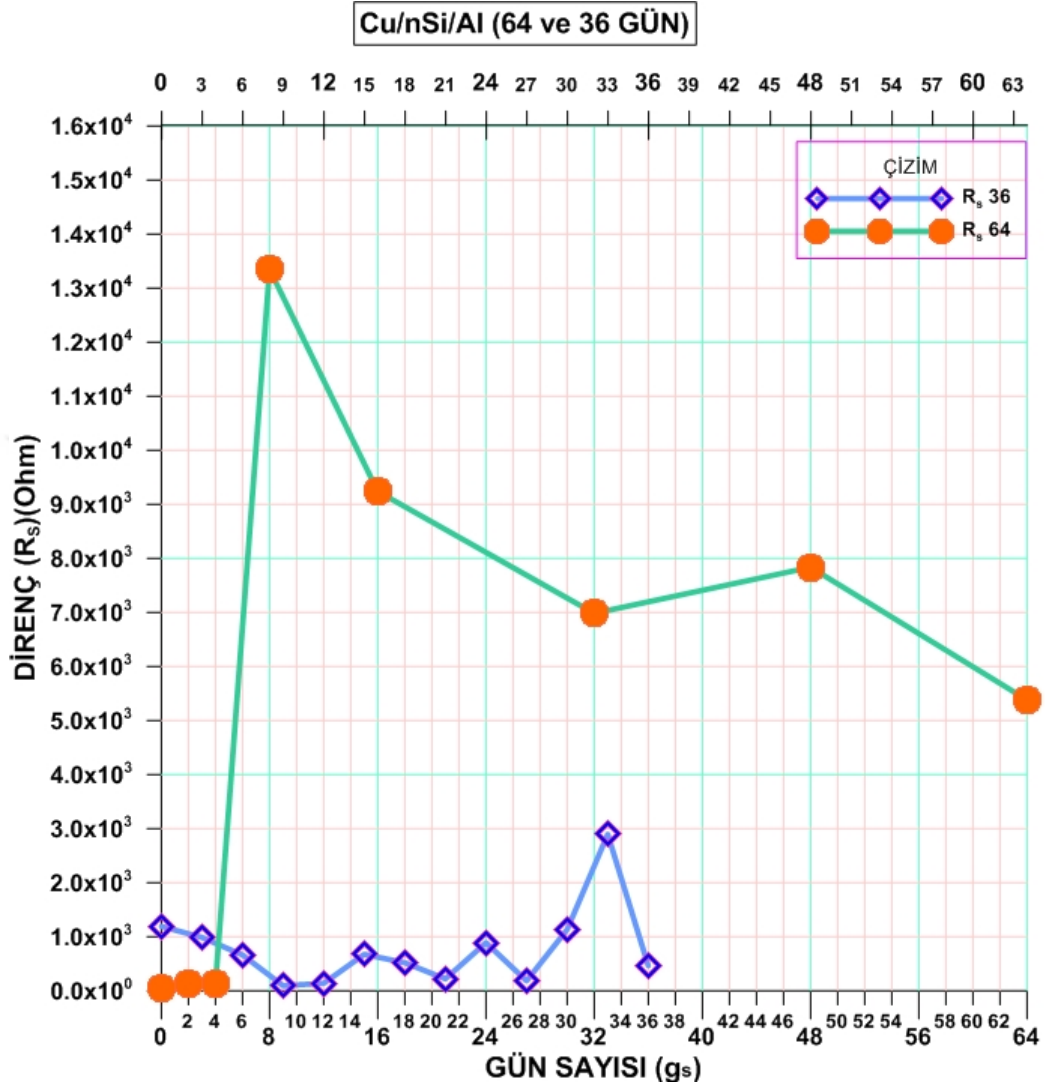
36GD; N_D - g_s grafiğinde donör yük yoğunluğu-gün sayısı değerleri, referans diyota göre; 6. güne kadar önce lineer artmış, 9. güne kadar azalmış, 9-24. günler arası lineer artmış, 27. güne kadar azalmış, 33. güne kadar lineer artmış ve referans diyot değerinden daha büyük değerde olduğu görülmektedir.

36 gün katkı yoğunluğu grafiğinin genelde lineer arttığı görülmektedir. 64 gün diyotunda ise 16. güne kadar genelde lineer arttığı sonra genelde zayıf lineer azaldığı görülmektedir.

Çizelge 5.17. Donor katkı yoğunluğu (DKY) (N_D)-gün sayısı çizelgesi.

Cu/n-Si/Al (64GD)		Cu/n-Si/Al (36GD)	
Gün Sayısı (g_s)	DKY (N_D) (cm^{-3}).	Gün Sayısı (g_s)	DKY (N_D) (cm^{-3}).
0	1.082E+015	0	5.615E+014
2	1.041E+015	3	1.508E+015
4	1.148E+015	6	1.688E+015
8	1.117E+015	9	7.218E+014
16	1.348E+015	12	9.359E+014
32	1.290E+015	15	7.836E+014
48	1.318E+015	18	1.168E+015
64	1.008E+015	21	1.281E+015
		24	1.444E+015
		27	1.133E+015
		30	2.682E+015
		33	3.177E+015
		36	2.773E+015

5.3.11. Seri Direnç



Şekil 5.98. 64 gün ve 36 gün diyotlarının R_s - g_s grafikleri.

64GD; R_s - g_s grafiğinde seri direnç değerleri, referans diyota göre; 6. güne kadar sabit kalmış, 16. güne kadar hızlıca yükselmiş, 64. güne kadar lineer azalmıştır.

36GD; R_s - g_s grafiğinde seri direnç değerleri, referans diyota göre; 9. güne kadar parabolik azalmış, 15. güne kadar yavaşça yükselmiş, 21. güne kadar parabolik azalmış, 64. güne kadar lineer azalmıştır, 27. güne kadar azalmış ve değeri referans diyotun değerinin altındadır, 33 güne kadar ani artmış ve değeri referans diyot değerinin üstüne

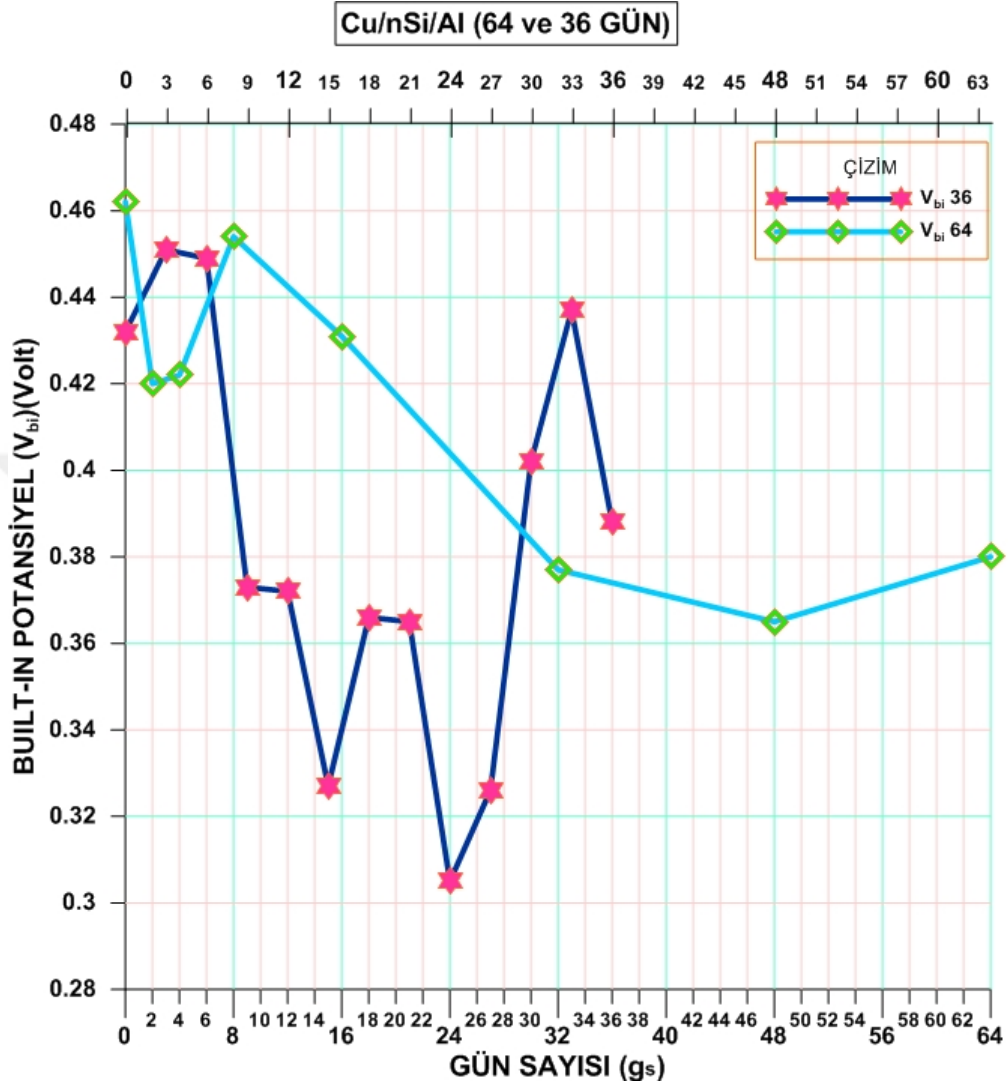
çıkıştır, 36. güne kadar hızlıca düşmüş ve referans diyot değerinin altında bir değere düşmüş olduğu görülmektedir.

64 gün diyotunun 4. güne kadar sabit kaldığı, 8. güne kadar çok ani artışı, sonra genelde lineer azaldığı görülmektedir. 36 gün diyotunda 27. güne kadar genelde zayıf lineer azalmış, sonra artmış ve azalmış gözükmemektedir.

Çizelge 5.18. Seri direnç-gün sayısı çizelgesi.

Cu/n-Si/Al (64GD),		Cu/n-Si/Al (36GD).	
Gün Sayısı (g _s)	Seri Direnç (R _s) (ohm)	Gün Sayısı (g _s)	Seri Direnç (R _s) (ohm)
0	38.48693545	0	1190.123180
2	124.5737064	3	986.3287663
4	118.8533652	6	662.0668358
8	13347.97764	9	92.15538489
16	9237.365122	12	137.1701563
32	6982.613847	15	672.9741054
48	7833.996377	18	517.6506803
64	5380.649100	21	219.5412005
		24	887.9766766
		27	181.7188794
		30	1131.570971
		33	2893.746707
		36	459.4924596

5.3.12. Built-in Potansiyel



Şekil 5.99. 64 gün ve 36 gün diyotlarının V_{bi} - g_s grafikleri.

64GD; V_{bi} - g_s grafiğindeki built-in gerilimi değerleri, referans diyota göre; 2. güne kadar düşmüş, 4. güne kadar artmış, 8. güne kadar hızlıca yükselmiş, 32. güne kadar lineer azalmış, 48. güne kadar çok yavaş azalmaya devam etmiş, 64. güne kadar çok yavaş artmış, ancak tüm diyot değerlerinin referans diyot değerinin altında bir değere düşmüş olduğu görülmektedir.

36GD; V_{bi} - g_s grafiğindeki built-in gerilimi değerleri, referans diyota göre; 3. güne kadar artmış, 6. güne kadar düşmüş, ancak değeri referans diyot değerinin üstünde kalmış, 6. günden, 24. güne kadar lineer azalmış, 24. günden 33. güne kadar ani yük-

selmiş, 36. güne kadar azalmıştır, ancak 3., 6., 33. gün değerleri hariç genel olarak değeri referans diyotun değerinden küçük değerde olduğu görülmektedir.

36 gün diyotunun 24. güne kadar genelde lineer azaldığı, 24. günden 33. güne kadar genelde lineer arttığı görülmektedir. 64 gün diyotunda ise 48.güne kadar lineer azaldığı görülmektedir.

Çizelge 5.19. Built-in Potansiyeli (V_{bi})-gün sayısı çizelgesi.

Cu/n-Si/Al (64GD)		Cu/n-Si/Al (36GD)	
Gün Sayısı (g_s)	Built-in Potansiyeli (V_{bi}) (Volt)	Gün Sayısı (g_s)	Built-in Potansiyeli (V_{bi}) (Volt)
0	0.462	0	0.432
2	0.420	3	0.451
4	0.422	6	0.449
8	0.454	9	0.373
16	0.431	12	0.372
32	0.377	15	0.327
48	0.365	18	0.366
64	0.380	21	0.365
		24	0.305
		27	0.326
		30	0.402
		33	0.437
		36	0.388

5.4. Pd/n-GaP/InZnSb (36 gün) Diyotunun Bulgularının Tartışılması

Havaya bırakma yöntemiyle Pd/n-GaP/InZnSb diyotun 36 günlük zaman takvimi 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36 gün olarak belirlenmiş, günü geldiğinde diyot üretilerek, I-V, Cs-V, Q-V, Cp-V, G-V, B-V, Rs-V, Ls-V, Cs-f, Q-f, Cp-f, G-f, B-f, Rs-f, Ls-f, dataları alınmıştır. Bu veriler Grapher 9 yazılımıyla grafiğe aktarılmıştır. Bazı verilerin üst üste yığıldığı görüldüğünden verinin dikey eksenini logaritmik gösterilmiştir.

Pd/n-GaP/InZnSb diyotunun karakteristikleri 3(üç) durum için incelenmiştir. Bunun nedeni düz besleme altında eğrinin “üç tane idealite çarpanına” sahip olmasıdır. Bu nedenle “Durum-01, Durum-02, Durum-03” isimlendirilmiştir. Durum-01 ve 02 eğrinin üstündeki iki farklı bölgeyi temsil ederken, Durum-03 ise eğriyi temsil etmektedir (Şekil 4.61). Makalelerde bu durum iki farklı seri dirence sahip bir diyot olarak düşünülmüş, “akımların toplamı” şeklinde yazılmıştır (Bayhan, 2011; Çaldıran, 2013; Özmen, 2014; Soylu ve ark., 2012).

I-V eğrisinden düz besleme altındaki eğim doğrusu(fit)ndan n_{IF01} , n_{IF02} , n_{IF03} , idealite çarpanı değerleri ve ayrıca Φ_{IV01} , Φ_{IV02} , Φ_{IV03} engel yüksekliği elde edildi. Bu değerler kullanılarak Cheung 1(Ch11, Ch12, Ch13) ve Cheung 2(Ch21, Ch22, Ch23,) doğruları bulundu. Cheung 1’den seri direnç R_{s01} , R_{s02} , R_{s03} ve $n_{IF(Ch11)}$, $n_{IF(Ch12)}$, $n_{IF(Ch13)}$, ikinci bir idealite çarpanı bulundu, bu değer Cheung 2’de yazılarak bir yeni Φ_{Ch21} , Φ_{Ch22} , Φ_{Ch23} engel yüksekliği elde edildi. Bu değerler bulunurken Cheung doğrularının seri dirençlerinin birbirine yakın değerde olmasına dikkat edildi.

Çizelge 5.20. Pd/n-GaP/InZnSb diyotunun karakteristiklerine ait grafik türleri.

I-V	Cs-V	Cs ² -V	Q-V	Cp-V	G-V	B-V	Rs-V	Ls-V
Cs-f	Q-f		Cp-f	G-f	Cs-f	B-f	Rs-f	Ls-f

Sonra Cs²-V grafiği çizilerek eğim doğrusu elde edilmiştir. Bu doğrunun eğiminden N_{D01} , N_{D02} , N_{D03} , katkı yoğunluğu bulundu. Buradan Φ_{CV01} , Φ_{CV02} , Φ_{CV03} , engel yüksekliği, V_{bi} built-in gerilimi, termal dengede katkılı durum için E_{F01} , E_{F02} , E_{F03} , Fermi enerjileri hesaplandı. Bu hesaplanan değerler kullanılarak; gerilim yokken

($V_a=0$), düz besleme ($V_a>0$) altında, ters besleme ($V_a<0$) altında, Çizelge 5.21'deki grafikler çizilmiştir (Şekil 4.77-79). Ayrıca Şekil 4.80-83'de Cheung fonksiyonlarının uyum doğruları (fitleri) gösterilmiştir.

Çizelge 5.21. Pd/n-GaP/InZnSb diyotunun bulgusal verilere dayalı grafik türleri.

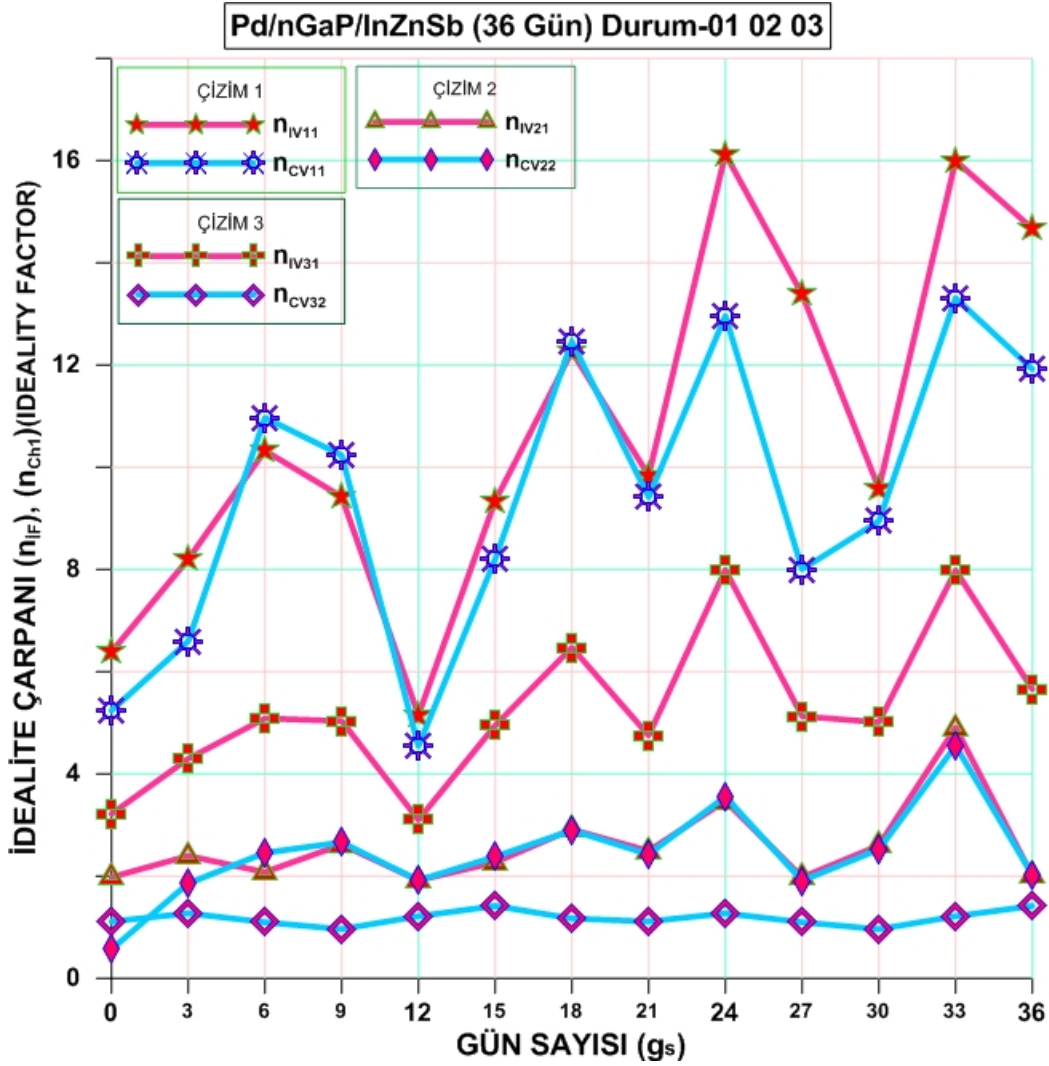
$n_{IF}-g_S$	$\Phi_{IV}-g_S$	$\Phi_{CV}-g_S$	$n_{Ch1}-g_S$	$\Phi_{Ch2}-g_S$	R_S-g_S
$V_{bi}-g_S$	N_D-g_S	E_F-g_S	$\delta_{ok}-g_S$	$N_{SS}-g_S$	$E_{00}-g_S$
C_0-g_S	$C_{DB}-V_a$	$C_{TB}-V_a$	$C_{DB}-V_a(V_{bi})$	$C_{TB}-V_a(V_{bi})$	
L_0-g_S	$L_{0DB}-V_a$	$L_{0TB}-V_a$	$L_{0DB}-V_a(V_{bi})$	$L_{0TB}-V_a(V_{bi})$	
$\Delta\Phi_0-g_S$	$\Delta\Phi_{DB}-V_a$	$\Delta\Phi_{TB}-V_a$	$\Delta\Phi_{DB}-V_a(V_{bi})$	$\Delta\Phi_{TB}-V_a(V_{bi})$	

Eş.(2.107) kullanılarak, engel yüksekliği farkının gerilime göre $\Delta\Phi_{DB}-V_a$, $\Delta\Phi_{TB}-V_a$, grafiği çizilmiştir. Düz besleme ve ters besleme altında eğrinin simetrik olarak aynı davranışı gösterdiği görülmektedir. meV mertebesinde olduğu görülmüştür (Şekil 4.77).

Eş.(2.23) kullanılarak, $C_{DB}-V_a$, $C_{TB}-V_a$, grafiği çizilmiştir. Düz besleme ve ters besleme altında eğrinin simetrik olarak aynı davranışı gösterdiği görülmektedir. pF mertebesinde olduğu görülmüştür (Şekil 4.78).

Eş.(2.17) kullanılarak, arınma bölgesi uzunluğunun gerilime göre $L_{0DB}-V_a$, $L_{0TB}-V_a$, grafiği çizilmiştir. Düz besleme ve ters besleme altında eğrinin simetrik olarak aynı davranışı gösterdiği görülmektedir. μm mertebesinde olduğu görülmüştür (Şekil 5.79).

5.4.5. İdealite Çarpanı



Şekil 5.100. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun n_{IV} - g_s , n_{CH1} - g_s grafiği.

Durum-01; Diyotun idealite çarpanı, referans diyota göre; 6. güne kadar artmış, 9. güne kadar biraz düşerek, 12. güne kadar azalmış, 18. güne kadar artmış, 21. güne kadar azalmış, 24. güne kadar artmış, 30. güne kadar azalmış, 33. günde artmış, 36. günde azalmıştır. Büyük artma ve azalma zig-zaglarına rağmen genel durumda diyotun idealite çarpanı lineer artmış gözükmemektedir, ancak 12. gün hariç değeri referans diyotun değerinin üstünde kalmıştır.

n_{CH1} - g_s grafiğinde Cheung 1'den elde edilen idealite çarpanı değerleri, referans diyota göre; 6. güne kadar artmış, 9. güne kadar biraz düşerek, 12. güne kadar azalmış,

18. güne kadar artmış, 21. güne kadar azalmış, 24. güne kadar artmış, 27. güne kadar azalmış, 33. güne kadar artmış, 36. günde azalmıştır. Büyük artma ve azalma zig-zaglarına rağmen genel durumda diyotun idealite çarpanı lineer artmış gözükmektedir, ancak 12. gün hariç değeri referans diyotun değerinin üstünde kalmıştır.

Durum-02; Diyotun idealite çarpanı, referans diyota göre; lineer olarak 24. güne kadar artmış, 27. güne kadar keskince düşerek, 33. güne kadar artmış, 36. güne kadar hızlıca azalmıştır. Büyük artma ve azalma zig-zaglarına rağmen genel durumda diyotun idealite çarpanı lineer artmış gözükmektedir, ancak 12., ve 27. gün hariç değeri referans diyotun değerinin üstünde kalmıştır.

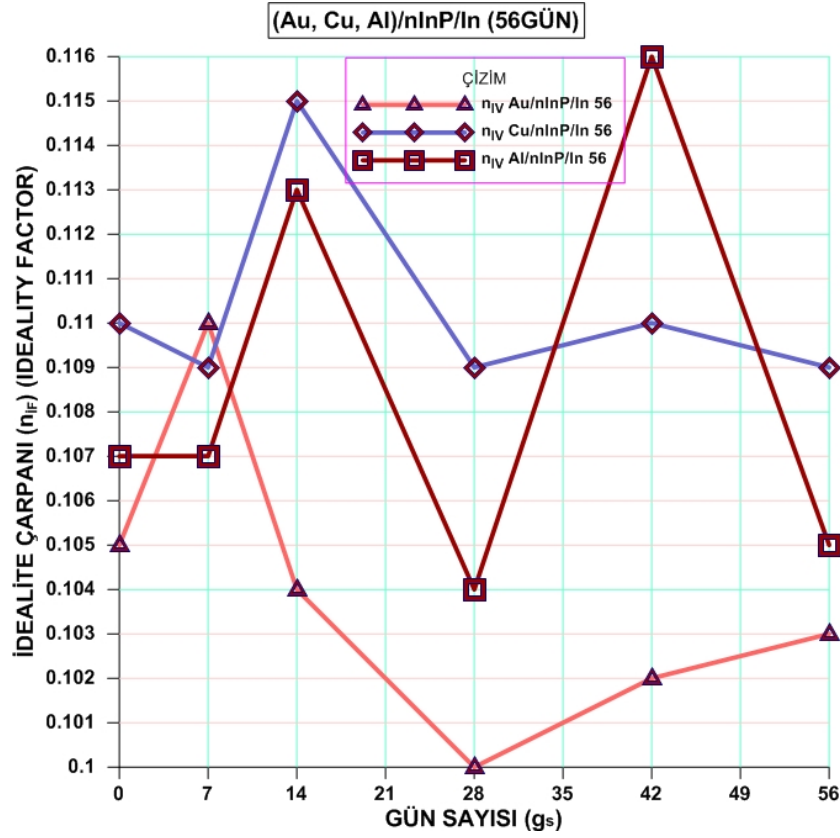
$n_{Ch12-GS}$ grafiğinde Cheung 1'den elde edilen idealite çarpanı değerleri, referans diyota göre; 9. güne kadar parabolik artmış, 12. günden 21. güne kadar lineer artmış, 27. güne kadar düşmüş, 27. günden 33. güne kadar hızlıca artmış, 36. güne kadar hızlıca azalmıştır, genel durumda lineer artmış gözükmektedir. Diyotun değeri referans diyotun değerinin üstünde kalmıştır.

Durum-03; Diyotun idealite çarpanı, referans diyota göre; lineer olarak 6. güne kadar artmış, 9. güne kadar sabit kalmış, 12. güne kadar düşmüş, 18. güne kadar hızlıca artmıştır. Büyük artma ve azalma zig-zaglarına rağmen genel durumda diyotun idealite çarpanı lineer artmış gözükmektedir, ancak 12. gün hariç değeri referans diyotun değerinin üstünde kalmıştır.

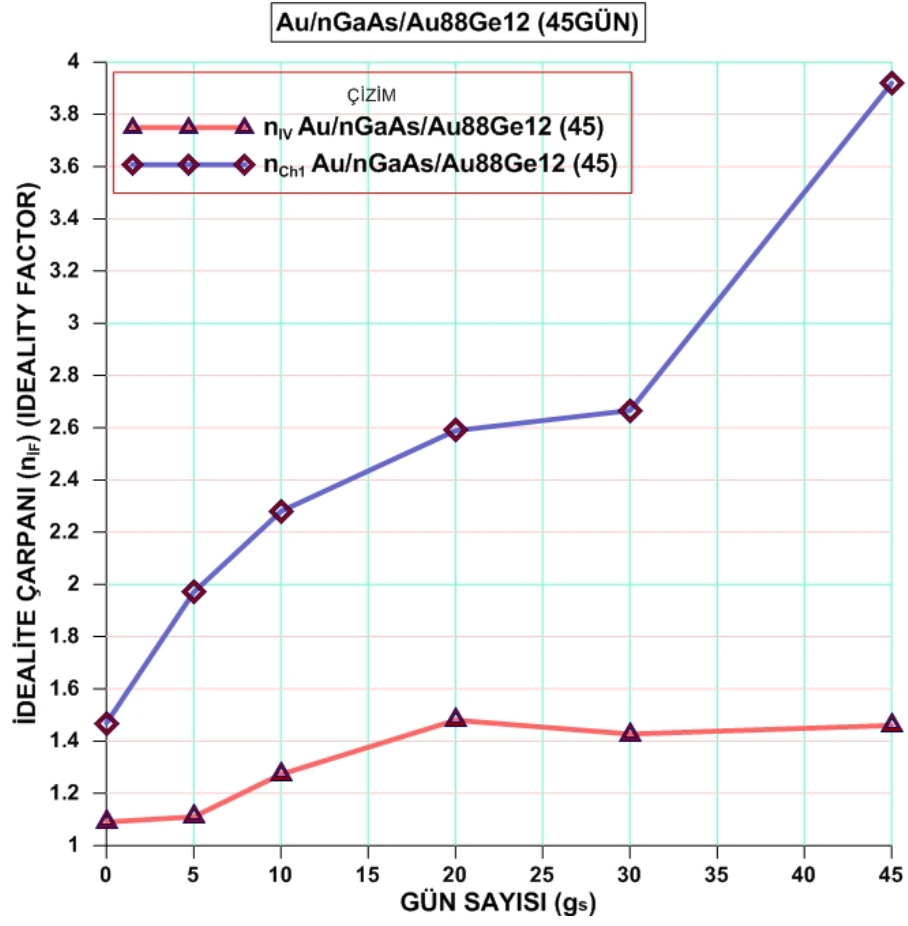
$n_{Ch13-GS}$ grafiğinde Cheung 1'den elde edilen idealite çarpanı değerleri, referans diyota göre; 3. güne kadar artmış, 9. güne kadar düşmüş, 15. güne kadar hızlıca artmış, 18. günden 30. güne kadar azalmış, genel durumda hafif lineer artmış gözükmektedir, ancak 6., 9., 27., ve 30. günleri hariç değerler referans diyotun değerinin üstünde kalmıştır.

Çizelge 5.22. İdealite çarpanı-gün sayısı çizelgeleri. Pd/n-GaP/InZnSb (36g).

Gün Sayısı (g _s)	Durum-01		Durum-02		Durum-03	
	İdealite Çarpanı (n _{IV})	İdealite Çarpanı (n _{ChI}) (Cheung1)	İdealite Çarpanı (n _{IV})	İdealite Çarpanı (n _{ChI}) (Cheung1)	İdealite Çarpanı (n _{IV})	İdealite Çarpanı (n _{ChI}) (Cheung1)
0	6.387	5.24	1.981	0.569	3.217	1.114
3	8.200	6.596	2.397	1.857	4.298	1.273
6	10.325	10.968	2.079	2.457	5.086	1.099
9	9.424	10.235	2.618	2.663	5.036	0.963
12	5.151	4.544	1.919	1.918	3.102	1.216
15	9.341	8.201	2.270	2.382	4.947	1.418
18	12.266	12.458	2.915	2.897	6.473	1.172
21	9.839	9.414	2.495	2.426	4.754	1.114
24	16.128	12.962	3.472	3.557	7.991	1.273
27	13.383	8.004	1.979	1.909	5.128	1.099
30	9.583	8.944	2.601	2.523	5.010	0.963
33	15.997	13.311	4.904	4.552	7.983	1.216
36	14.670	11.917	2.009	2.024	5.658	1.418

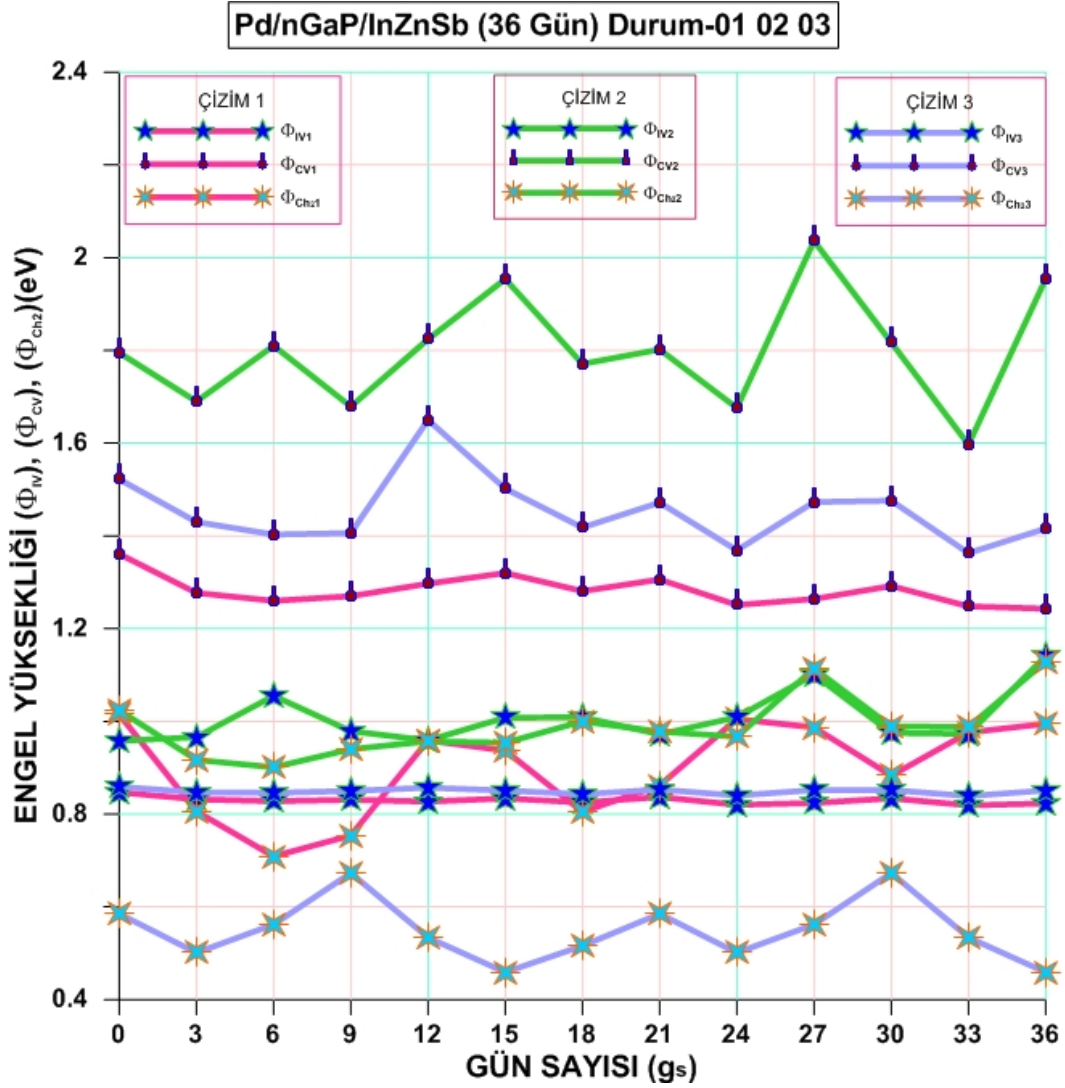


Şekil 5.101. İdealite çarpanı karşılaştırması yapmak için yeniden çizilen, idealite çarpanı-gün sayısı grafiği (Çetin ve Ayyıldız, 2007).



Şekil 5.102. İdealite çarpanı karşılaştırması yapmak için yeniden çizilen, idealite çarpanı-gün sayısı grafiği (Özdemir, 2002).

5.4.8. Engel Yüksekliği



Şekil 5.103. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun Φ_{IV} - g_s, Φ_{CV} - g_s, Φ_{Ch2} - g_s grafiği.

Durum-01; I-V'den elde edilen engel yüksekliği, referans diyota göre; 6. güne kadar azalmış, artma azalma zig zaglarına rağmen, genelde lineer azalmış gözükmemektedir. Diyotların değerleri referans diyotun değerinin altında kalmıştır.

C-V'den elde edilen engel yüksekliği değerleri, referans diyota göre; 6. güne kadar artma azalma zig zaglarına rağmen, lineer azalmış gözükmemektedir. Diyotların değerleri referans diyotun değerinin altında kalmıştır.

$\Phi_{Ch21-gS}$ grafiğindeki Cheung 2'den elde edilen engel yüksekliği değerleri, referans diyota göre; 6. güne kadar azalmış, artma ve azalma zig zaglarına rağmen, lineer azalmış gözükmektedir, ancak diyotların değerleri referans diyot değerinin altında kalmıştır.

Durum-02; I-V'den elde edilen engel yüksekliği, referans diyota göre; 6. güne kadar artmış, 12. güne kadar azalmış, artma azalma zig zaglarına rağmen, genelde lineer artmış gözükmektedir. Diyotların değerleri referans diyotun değerinin üstünde kalmıştır.

C-V'den elde edilen engel yüksekliği değerleri, referans diyota göre; 6. güne kadar artmış, 24. güne kadar azalmış, artma ve azalma zig zaglarına rağmen, lineer artmış gözükmektedir. Diyotların değerleri 3., 9., 18., 24., 33. gün hariç diyotların değerleri referans diyotun değerinin üstünde kalmıştır.

$\Phi_{Ch21-gS}$ grafiğindeki Cheung 2'den elde edilen engel yüksekliği değerleri, referans diyota göre; 6. güne kadar azalmış, artma ve azalmalarla 27. güne kadar artmış, artma azalma zig zaglarına rağmen, genelde lineer artmış gözükmektedir. Diyotların değerleri 27. ve 36. gün hariç diyotların değerleri referans diyotun değerinin altında kalmıştır.

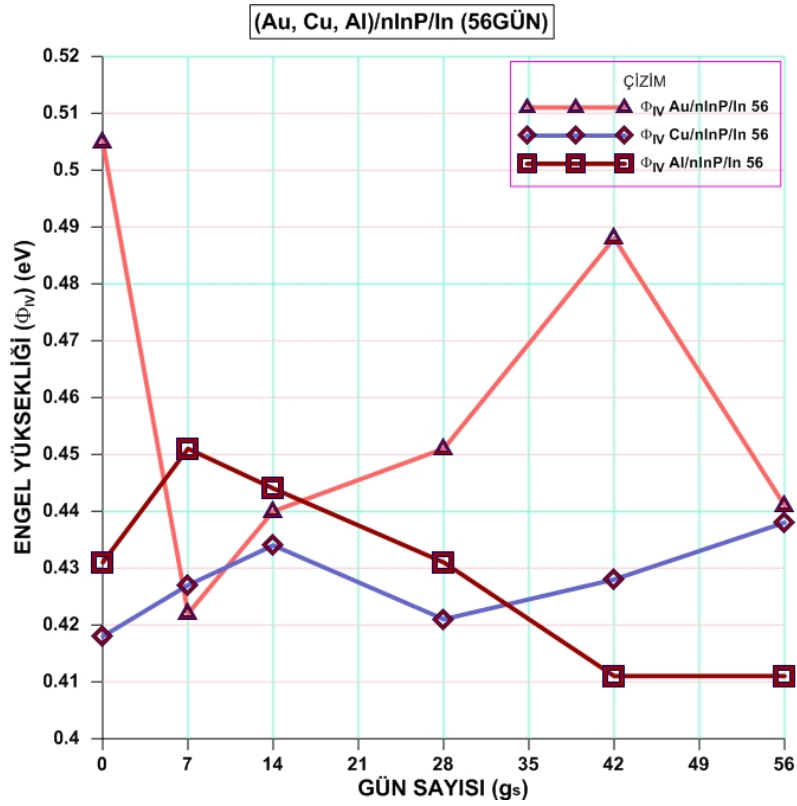
Durum-03; I-V'den elde edilen engel yüksekliği, referans diyota göre; 6. güne kadar azalmış, artma azalma zig zaglarına rağmen, genelde lineer azalmış gözükmektedir. Diyotların değeri referans diyotun değerinin altında kalmıştır.

C-V'den elde edilen engel yüksekliği değerleri ise, 9. güne kadar parabolik azalma olmuş, 12. güne kadar hızlıca artmış, artma ve azalma zig zaglarına rağmen, lineer artmış gözükmektedir. Diyotların değerleri 12. gün hariç diyotların değerleri referans diyotun değerinin altında kalmıştır.

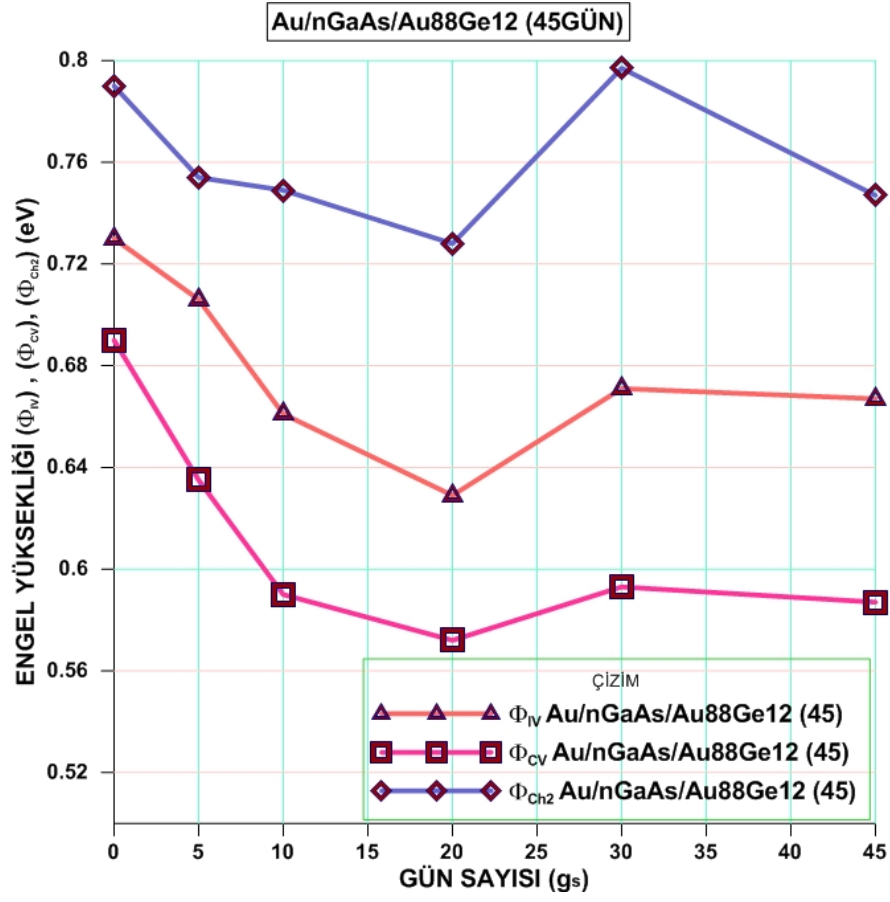
$\Phi_{Ch21-gS}$ grafiğindeki Cheung 2'den elde edilen engel yüksekliği değerleri, referans diyota göre; 3. güne kadar azalmış, artma ve azalmalarla 36. güne kadar azalmış, artma azalma zig zaglarına rağmen, genelde lineer azalmış gözükmektedir. Diyotların değerleri 9. ve 30. gün hariç diyotların değerleri referans diyotun değerinin altında kalmıştır.

Çizelge 5.23. Engel yüksekliği-gün sayısı çizelgesi. Pd/n-GaP/InZnSb (36g).

Gün Sayısı (g _s)	Durum-01			Durum-02			Durum-03		
	Engel Yüksekliği (Φ _{IV}) (eV)	Engel Yüksekliği (Φ _{CV}) (eV)	Engel Yüksekliği (Φ _{CH2}) (eV) (Cheung2)	Engel Yüksekliği (Φ _{IV}) (eV)	Engel Yüksekliği (Φ _{CV}) (eV)	Engel Yüksekliği (Φ _{CH2}) (eV) (Cheung2)	Engel Yüksekliği (Φ _{IV}) (eV)	Engel Yüksekliği (Φ _{CV}) (eV)	Engel Yüksekliği (Φ _{CH2}) (eV) (Cheung2)
0	0.847	1.361	1.015	0.958	1.795	1.024	0.859	1.522	0.585
3	0.832	1.277	0.806	0.966	1.690	0.917	0.847	1.430	0.501
6	0.828	1.260	0.709	1.055	1.810	0.901	0.846	1.403	0.562
9	0.831	1.270	0.754	0.979	1.679	0.940	0.850	1.406	0.673
12	0.827	1.297	0.959	0.959	1.824	0.957	0.857	1.650	0.534
15	0.834	1.320	0.937	1.008	1.954	0.954	0.851	1.502	0.459
18	0.825	1.281	0.805	1.009	1.771	1.000	0.843	1.418	0.516
21	0.837	1.306	0.862	0.972	1.802	0.978	0.853	1.472	0.585
24	0.820	1.251	1.005	1.009	1.676	0.967	0.840	1.369	0.501
27	0.824	1.264	0.987	1.101	2.036	1.114	0.852	1.473	0.562
30	0.834	1.292	0.883	0.975	1.817	0.989	0.852	1.476	0.673
33	0.819	1.248	0.976	0.973	1.597	0.988	0.839	1.363	0.534
36	0.823	1.243	0.995	1.141	1.954	1.129	0.851	1.416	0.459

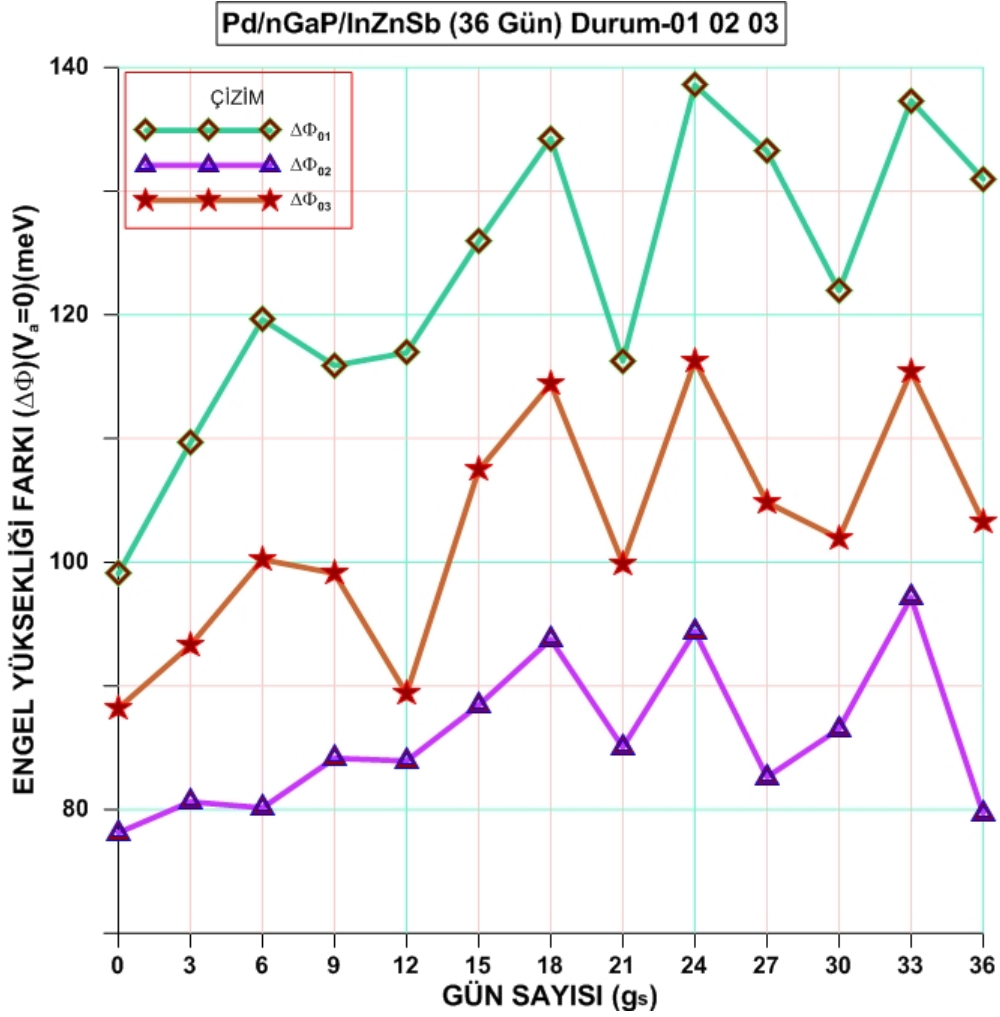


Şekil 5.104. Engel yüksekliği karşılaştırması yapmak için yeniden çizilen, engel yüksekliği-gün sayısı grafiği (Çetin ve Ayyıldız, 2007).



Şekil 5.105. Engel yüksekliği karşılaştırması yapmak için yeniden çizilen, engel yüksekliği-gün sayısı grafiği (Özdemir, 2002).

5.4.9. Engel Yüksekliği Farkı ($\Delta\Phi_0$), ($V_a=0$ 'da)



Şekil 5.106. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun $\Delta\Phi_0$ - g_s grafiği.

Durum-01; $\Delta\Phi_0$ - g_s grafiğinde, referans diyota göre; 6. güne kadar lineer artmış, artma ve azalma zig-zaglarına rağmen, eğri lineer artmış gözükmemektedir. Diyot değerleri referans diyot değerlerinin üstünde kalmıştır. meV mertebesinde birime sahiptirler.

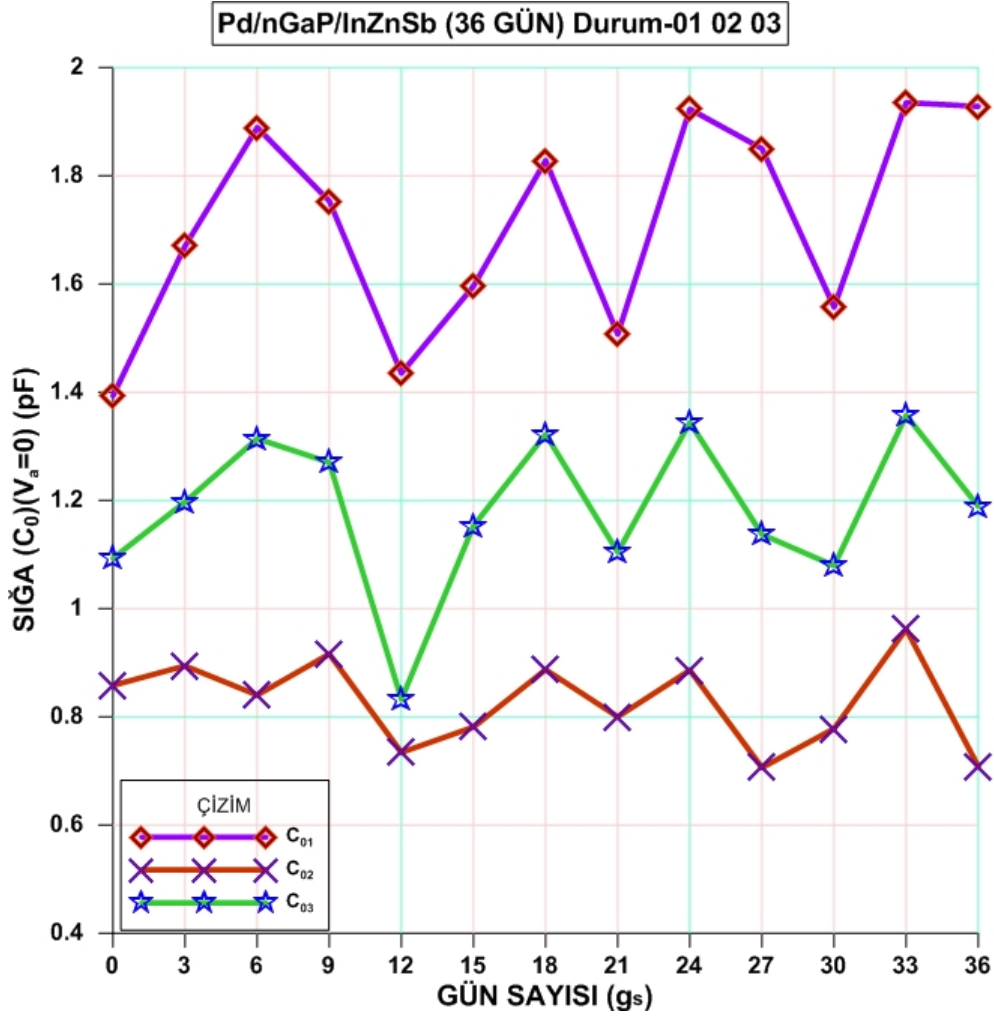
Durum-02; $\Delta\Phi_0$ - g_s grafiğinde, referans diyota göre; 18. güne kadar lineer artmış, artma ve azalma zig-zaglarına rağmen, eğri lineer artmış gözükmemektedir. Diyot değerleri referans diyot değerlerinin üstünde kalmıştır. meV mertebesinde birime sahiptirler.

Durum-03; $\Delta\Phi_{0-g_s}$ grafiğinde, referans diyota göre; 6. güne kadar lineer artmış, 12. güne kadar lineer azalmıştır, artma ve azalma zig-zaglarına rağmen, eğri lineer artmış gözükmemektedir. Diyot değerleri referans diyot değerlerinin üstünde kalmıştır. meV mertebesinde birime sahiptirler.

Çizelge 5.24. Engel yüksekliği farkı ($\Delta\Phi$)-gün sayısı çizelgesi ($V_a=0$), Pd/n-GaP/InZnSb (36g).

	Durum-01	Durum-02	Durum-02
Gün Sayısı (g_s)	EYF ($\Delta\Phi$) (meV)	EYF ($\Delta\Phi$) (meV)	EYF ($\Delta\Phi$) (meV)
0	099.058127	78.115711	088.183906
3	109.636307	80.613270	093.284214
6	119.620298	80.130689	100.212163
9	115.896755	84.141417	099.090290
12	116.936314	83.924458	089.363116
15	125.947643	88.428322	107.440908
18	134.268003	93.748463	114.442947
21	116.263743	85.026482	099.897502
24	138.563643	94.386727	116.252052
27	133.241041	82.621652	104.831461
30	121.958388	86.514945	101.920897
33	137.304620	97.138643	115.401784
36	130.982376	79.690138	103.239990

5.4.10. Sığa (C_0), ($V_a=0$ 'da)



Şekil 5.107. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun C_{01} - gs, C_{02} - gs, C_{03} - gs grafiği.

Durum-01; $V_a=0$ için, C_0 -gs sığa-gün sayısı grafiği çizilmiş, eğrinin büyük dalgalanmalarına rağmen lineer olarak arttığı ve biriminin pF mertebesinde olduğu görülmüştür. Diyot değerleri referans diyot değerlerinin üstünde kalmıştır. meV mertebesinde birime sahiptirler.

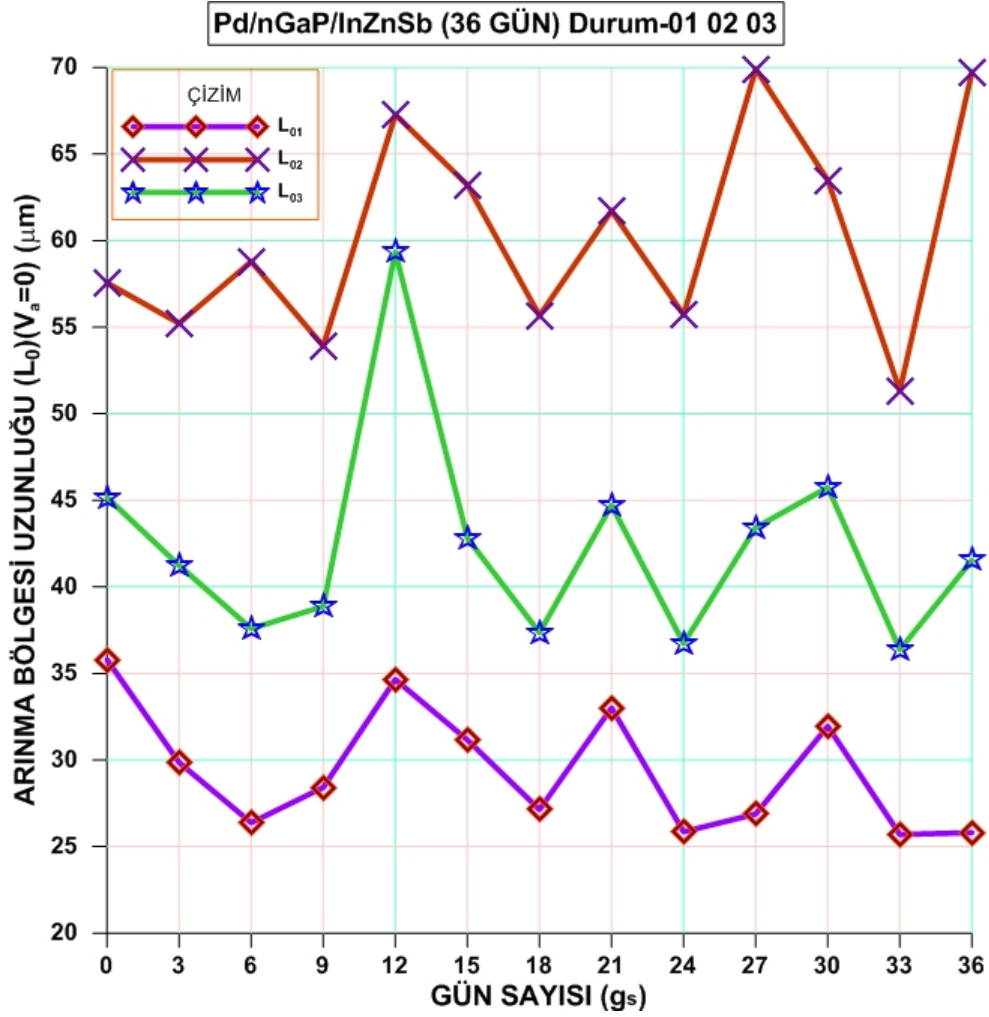
Durum-02; $V_a=0$ için, C_0 -gs sığa-gün sayısı grafiği çizilmiş, eğrinin büyük dalgalanmalarına rağmen zayıf lineer olarak arttığı ve biriminin pF mertebesinde olduğu görülmüştür. 12., 15., 27., 30. ve 36. günler hariç, diyotların değerleri referans diyot değerlerinin üstünde kalmıştır. meV mertebesinde birime sahiptirler.

Durum-03; $V_a=0$ için, C_0 - g_s sığa-gün sayısı grafiği çizilmiş, eğrinin büyük dalgalanmalarına rağmen lineer olarak arttığı ve biriminin pF mertebesinde olduğu görülmüştür. 12. ve 30. günler hariç, diyotların değerleri referans diyot değerlerinin üstünde kalmıştır. meV mertebesinde birime sahiptirler.

Çizelge 5.25. Sığa (C_0)-gün sayısı çizelgeleri ($V_a=0$), Pd/n-GaP/InZnSb (36).

	Durum-01	Durum-02	Durum-03
Gün Sayısı (g_s)	Sığa (C_0) (pF)	Sığa (C_0) (pF)	Sığa (C_0) (pF)
0	1.393	0.858	1.093
3	1.670	0.894	1.197
6	1.889	0.840	1.314
9	1.753	0.916	1.270
12	1.435	0.734	0.832
15	1.596	0.781	1.153
18	1.828	0.887	1.322
21	1.507	0.800	1.104
24	1.923	0.886	1.344
27	1.850	0.706	1.137
30	1.557	0.778	1.079
33	1.935	0.962	1.357
36	1.928	0.708	1.189

5.4.11. Arınma Bölgesi Uzunluğu (L_0), ($V_a=0$ 'da)



Şekil 5.108. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun L_{01} -gs, L_{02} -gs, L_{03} -gs grafiği.

Durum-01; $V_a=0$ için, L_0 -gs sayısı grafiğinde, azalma ve artmalara rağmen eğrinin zayıf lineer azaldığı, biriminin μm mertebesinde olduğu görülmüştür. Diyot değerleri referans diyot değerlerinin altında kalmıştır.

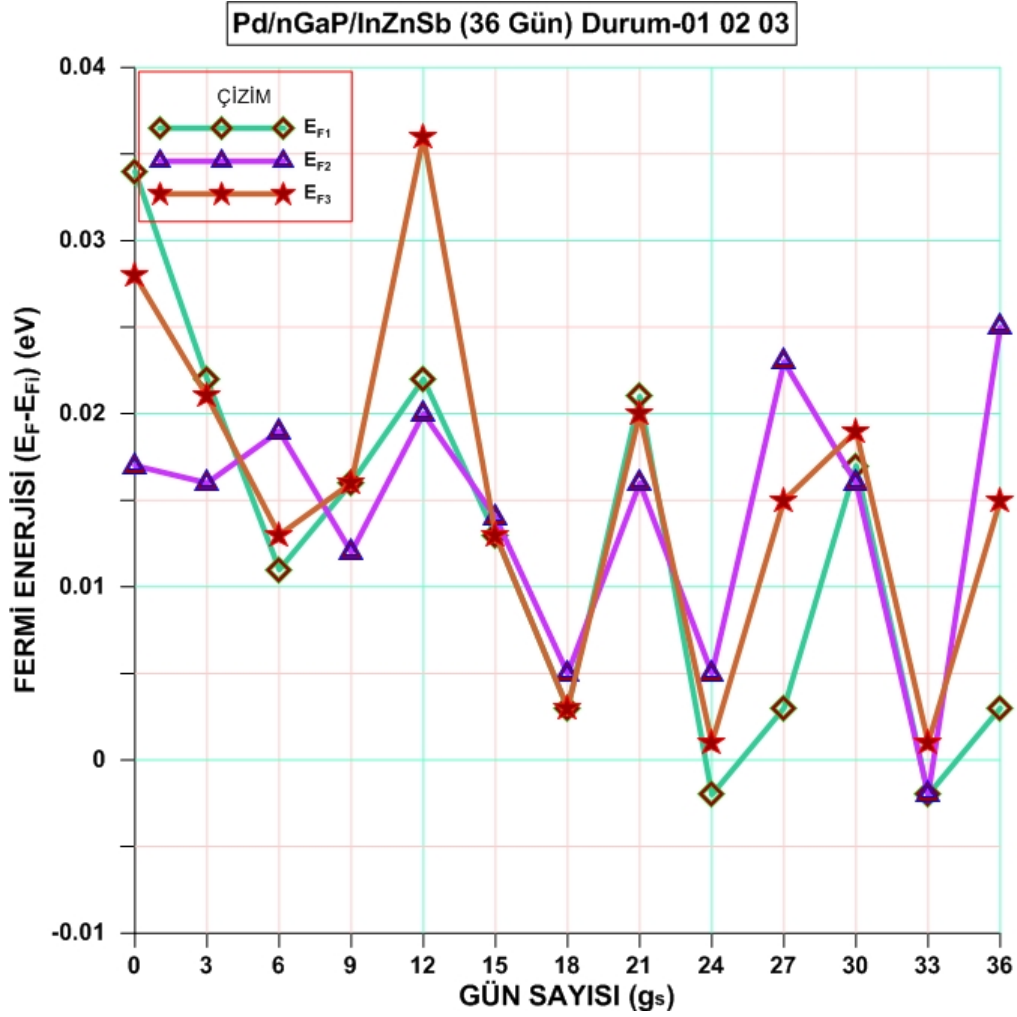
Durum-02; $V_a=0$ için, L_0 -gs sayısı grafiğinde, azalma ve eksilmelere rağmen eğrinin zayıf lineer arttığı, biriminin μm mertebesinde olduğu görülmüştür. 3., 9., 18., 24. ve 33. günler hariç, diyot değerleri referans diyot değerlerinin üstünde kalmıştır.

Durum-03; $V_a=0$ için, L_0 - g_s sayısı grafiğinde, azalma ve eksilmelere rağmen eğrinin zayıf lineer azaldığı, biriminin μm mertebesinde olduğu görülmüştür. 12. ve 30. günler hariç, diyot değerleri referans diyot değerlerinin altında kalmıştır.

Çizelge 5.26. Arınma Bölgesi Uzunluğu (L_0)-gün sayısı çizelgesi ($V_a=0$), Pd/n-GaP/ InZnSb (36).

	Durum-01	Durum-02	Durum-03
Gün Sayısı (g_s)	ABU (L_0) (μm)	ABU (L_0) (μm)	ABU (L_0) (μm)
0	35.792	57.556	45.164
3	29.856	55.223	41.240
6	26.381	58.790	37.589
9	28.416	53.911	38.872
12	34.653	67.276	59.336
15	31.160	63.212	42.819
18	27.139	55.668	37.356
21	33.011	61.721	44.713
24	25.854	55.719	36.730
27	26.881	69.908	43.424
30	31.948	63.487	45.745
33	25.696	51.340	36.376
36	25.807	69.718	41.539

5.4.14. Fermi Enerjisi



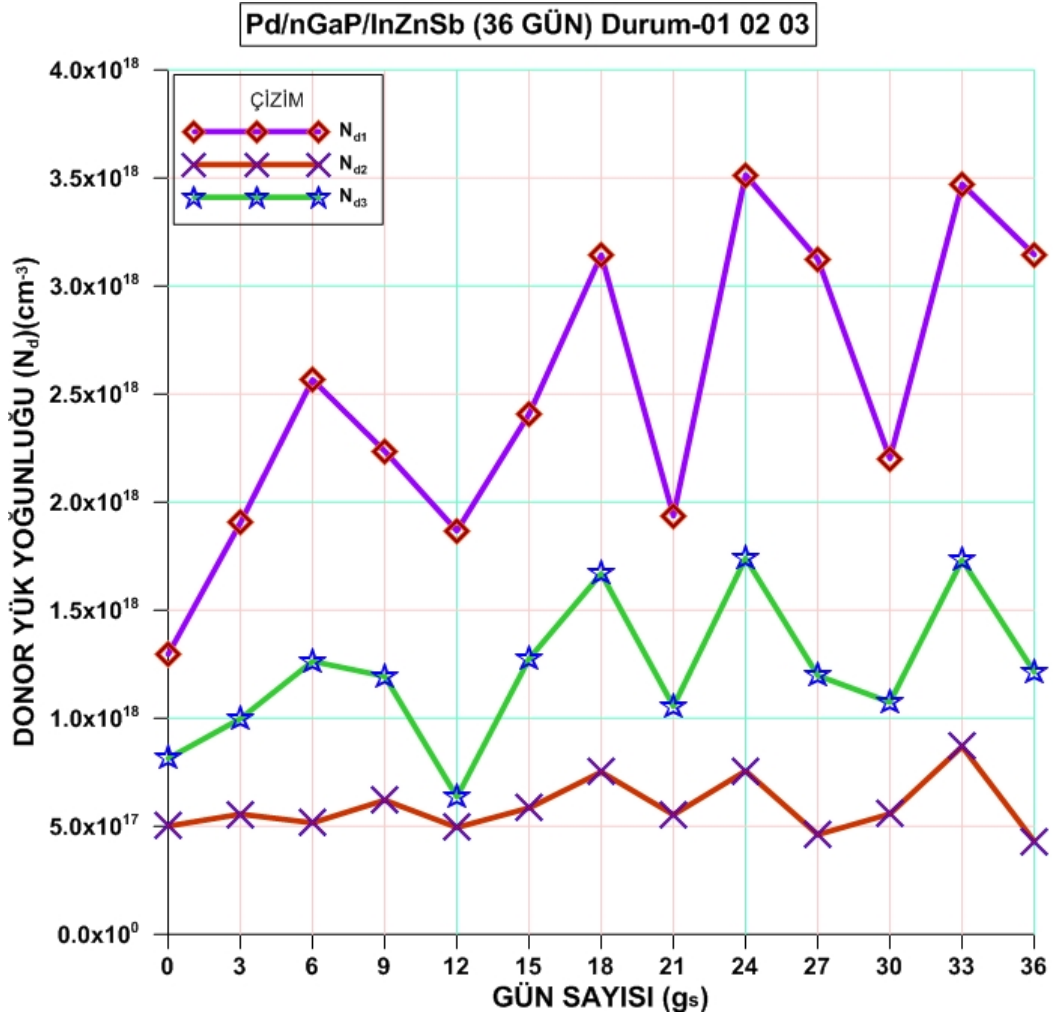
Şekil 5.109. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun E_{F1} - g_s , E_{F2} - g_s , E_{F3} - g_s grafiği.

Durum-01, 02, 03; E_F - g_s grafiğinde her durumun eğrileri birkaç nokta dışında tip olarak aynıdır, tüm eğriler 36. güne kadar lineer azalmış gözükmektedir. Gün sayısı artıka azalma ve artma değerleri arasında fark da büyümektedir. Eğri non-monoton davranış göstermektedir.

Çizelge 5.27. Fermi seviyesi (E_F)-gün sayısı çizelgesi, Pd/n-GaP/InZnSb (36).

	Durum-01	Durum-02	Durum-03
Gün Sayısı (g_s)	Fermi Seviyesi (E_F) (eV)	Fermi Seviyesi (E_F) (eV)	Fermi Seviyesi (E_F) (eV)
0	1.096	1.113	1.102
3	1.108	1.114	1.109
6	1.119	1.111	1.117
9	1.114	1.118	1.114
12	1.108	1.11	1.094
15	1.117	1.116	1.117
18	1.127	1.125	1.127
21	1.109	1.114	1.110
24	1.132	1.125	1.129
27	1.127	1.107	1.115
30	1.113	1.114	1.111
33	1.132	1.132	1.129
36	1.127	1.105	1.115

5.4.15. Donor Katkı Konsantrasyonu



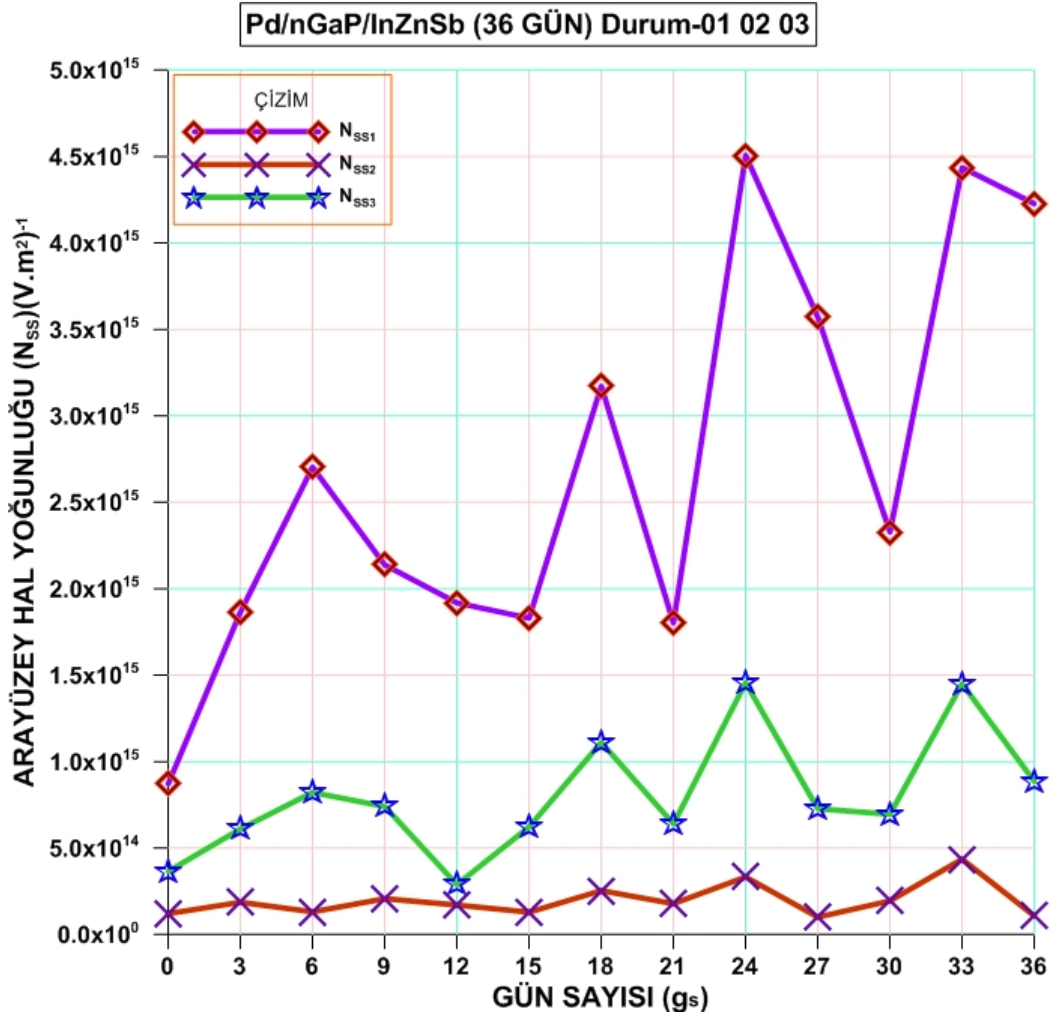
Şekil 5.110. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun N_{d1} -g_s, N_{d2} -g_s, N_{d3} -g_s grafiği.

Durum-01, 02, 03; N_D -g_s grafiğinde eğriler birkaç nokta dışında tip olarak aynıdır, büyüklük olarak farklıdır. Üç durumda da, eğri lineer artmış gözükmemektedir.

Çizelge 5.28. Donor katkı yoğunluğu-gün sayısı çizelgesi, Pd/n-GaP/InZnSb (36).

	Durum-01	Durum-01	Durum-01
Gün Sayısı (g _s)	DKY (N _D) (cm ⁻³)	DKY (N _D) (cm ⁻³)	DKY (N _D) (cm ⁻³)
0	1.297E+018	5.018E+017	8.149E+017
3	1.905E+018	5.569E+017	9.986E+017
6	2.567E+018	5.169E+017	1.264E+018
9	2.237E+018	6.215E+017	1.195E+018
12	1.868E+018	4.955E+017	6.370E+017
15	2.409E+018	5.855E+017	1.276E+018
18	3.144E+018	7.519E+017	1.670E+018
21	1.938E+018	5.544E+017	1.056E+018
24	3.515E+018	7.567E+017	1.741E+018
27	3.126E+018	4.621E+017	1.198E+018
30	2.203E+018	5.580E+017	1.075E+018
33	3.472E+018	8.698E+017	1.733E+018
36	3.146E+018	4.311E+017	1.214E+018

5.4.16. Arayüzey Hal Yoğunluğu



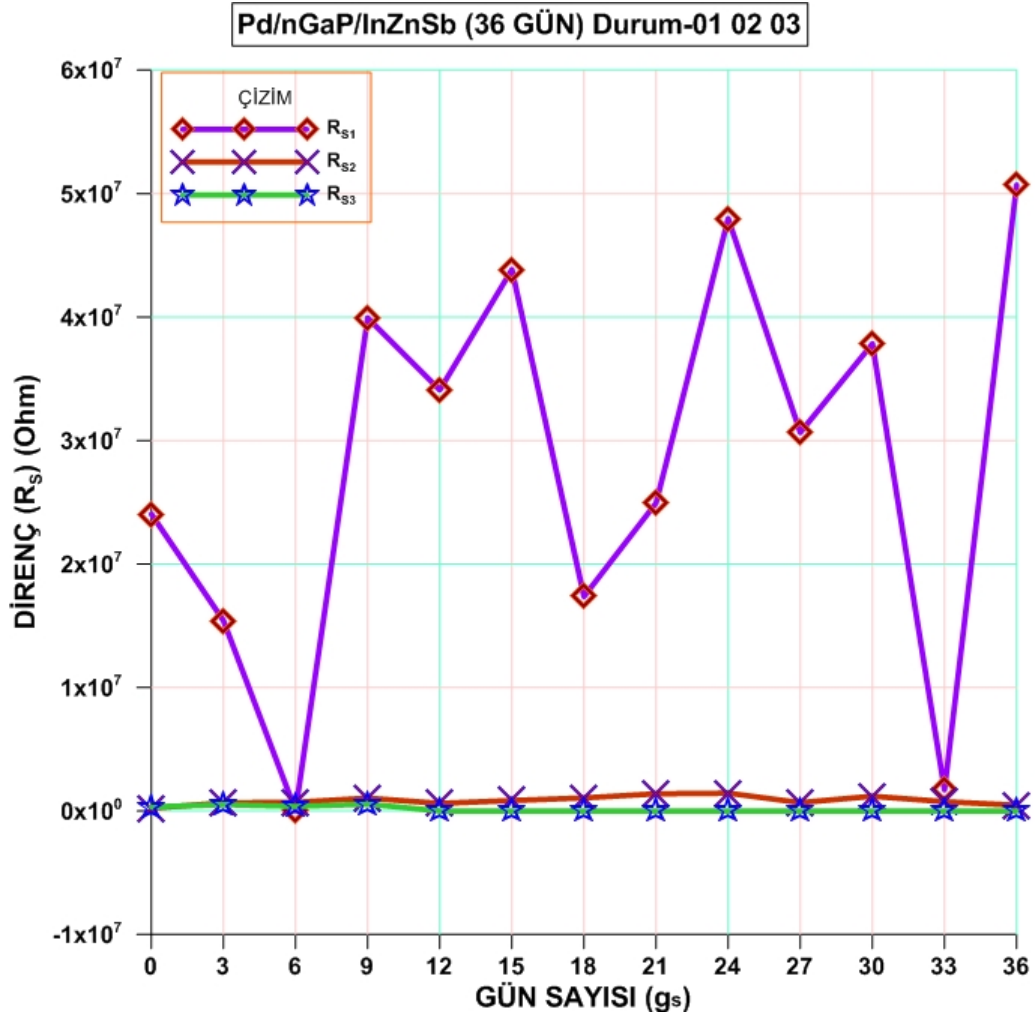
Şekil 5.111. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun N_{ss1} -gs, N_{ss2} -gs, N_{ss3} -gs grafiği.

Durum-01, 02, 03; N_{ss} -gs grafiğinde arayüzey hal yoğunlu değerleri, genel olarak lineer artmıştır. Durum-01’de artma ve azalmalar daha büyük genlik değerindedir. N_{ss} hesabında, bu çalışmadaki Eş.(2.89) kullanılmıştır, denklem Card ve Rhoderick, 1971’in makalesinden alınmıştır.

Çizelge 5.29. Arayüzey hal yoğunluğu-gün sayısı çizelgesi, Pd/n-GaP/InZnSb (36).

	Durum-01	Durum-02	Durum-03
Gün Sayısı (g _s)	AHY (N _{ss}) (V.m ²) ⁻¹	AHY (N _{ss}) (V.m ²) ⁻¹	AHY (N _{ss}) (V.m ²) ⁻¹
0	8.719E+014	1.209E+014	3.654E+014
3	1.865E+015	1.867E+014	6.105E+014
6	2.703E+015	1.311E+014	8.220E+014
9	2.138E+015	2.073E+014	7.406E+014
12	1.918E+015	1.704E+014	2.888E+014
15	1.830E+015	1.291E+014	6.224E+014
18	3.172E+015	2.537E+014	1.111E+015
21	1.802E+015	1.786E+014	6.397E+014
24	4.507E+015	3.326E+014	1.457E+015
27	3.571E+015	1.004E+014	7.275E+014
30	2.328E+015	1.943E+014	6.956E+014
33	4.436E+015	4.356E+014	1.450E+015
36	4.227E+015	1.074E+014	8.858E+014

5.4.17. Seri Direnç



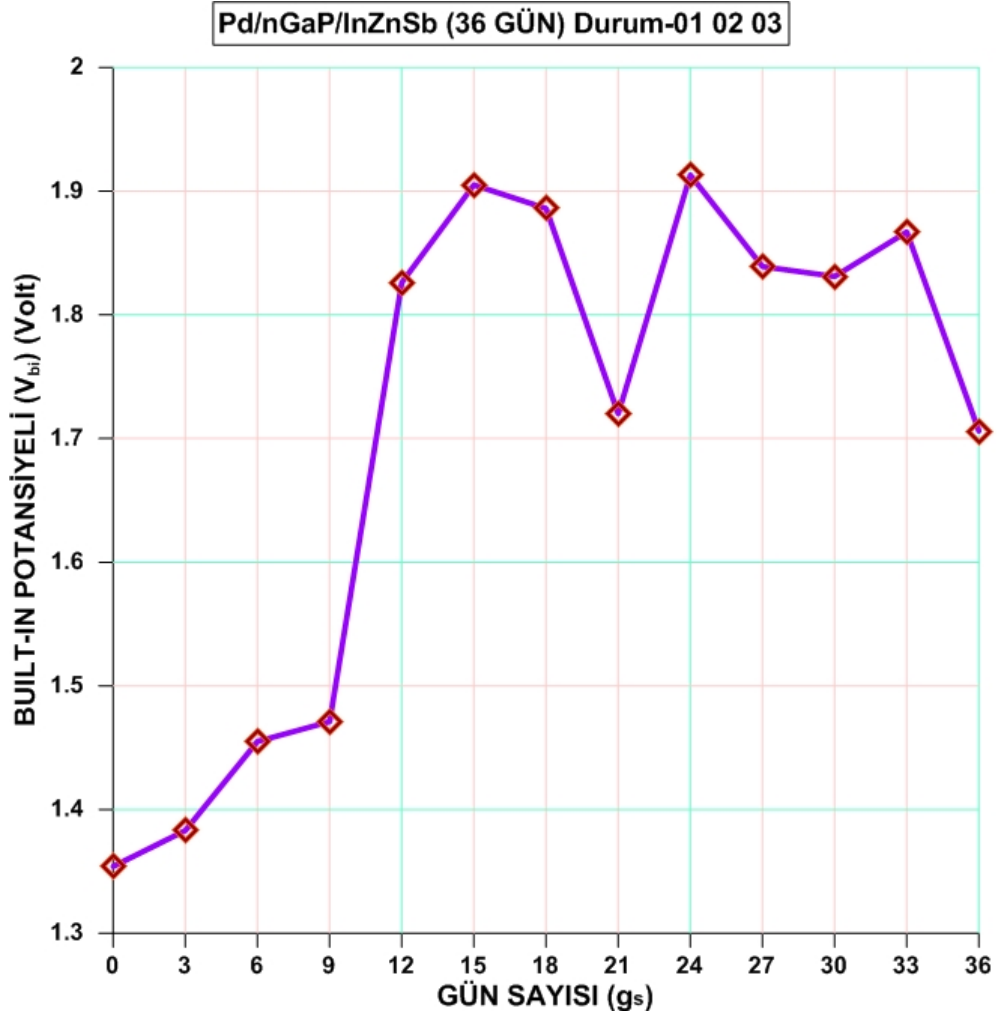
Şekil 5.112. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun R_{s1} - g_s , R_{s2} - g_s , R_{s3} - g_s grafiği.

Durum-01, 02, 03; R_s - g_s grafiğinde Durum-01 seri direnç eğrisi çok keskin artma ve azalmalar göstermiştir, genel olarak lineer artmıştır. Diğer iki durum ise genel olarak zayıf lineer artmıştır ve birbirine çok yakın değerdedir. Durum-01'in akım iletim mekanizmasının belirgin şekilde farklı olduğu gözükmemektedir.

Çizelge 5.30. Seri direnç-gün sayısı çizelgesi, Pd/n-GaP/InZnSb(36).

	Durum-01	Durum-02	Durum-03
Gün Sayısı (g _s)	Seri Direnç (R _s) (ohm)	Seri Direnç (R _s) (ohm)	Seri Direnç (R _s) (ohm)
0	24053952.50	220888.8509	332196.7336
3	15423723.09	666445.8996	519016.5613
6	00048934.64	702695.0239	373631.4667
9	39938908.31	1043614.434	559837.5247
12	34098088.72	0622877.502	5608.549719
15	43846053.09	0850805.100	6080.742535
18	17373684.88	1064700.661	4694.420939
21	24947092.20	1393255.420	1805.778540
24	47973501.44	1446411.222	6012.905850
27	30658327.85	0679225.347	8616.608489
30	37842759.66	1198155.984	6372.670984
33	1723291.218	0754705.797	5608.549719
36	50695894.25	0467439.753	6080.742535

5.4.18. Built-in Potansiyeli



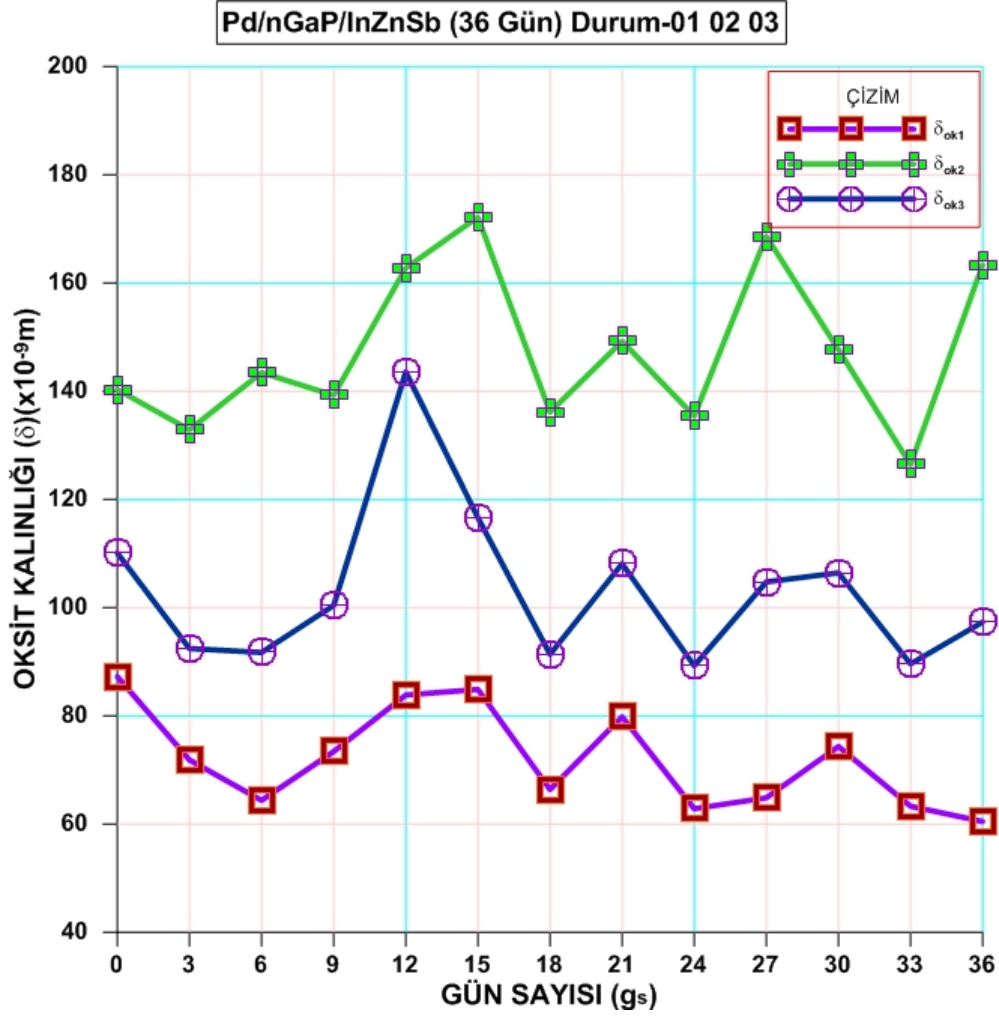
Şekil 5.113. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun V_{bi} - g_s grafiği.

V_{bi} - g_s grafiğindeki built-in gerilimi değerleri 9. güne kadar artmış, 15. güne kadar artmaya devam etmiş, 21. güne kadar lineer azalmış, 24. güne kadar artmış, 36. güne kadar yavaşça azalmıştır. Genel olarak lineer artmıştır denilebilir, ancak 15. günden sonra zayıf lineer azalmıştır da denilebilir.

Çizelge 5.31. Built-in potansiyeli (V_{bi})-gün sayısı çizelgesi, Pd/n-GaP/InZnSb (36).

Gün Sayısı (g_s)	Built-in Potansiyeli (V_{bi}) (Volt)
0	1.354
3	1.383
6	1.455
9	1.471
12	1.826
15	1.905
18	1.886
21	1.720
24	1.913
27	1.839
30	1.831
33	1.867
36	1.706

5.4.19. Arayüzey Oksit Kalınlığı

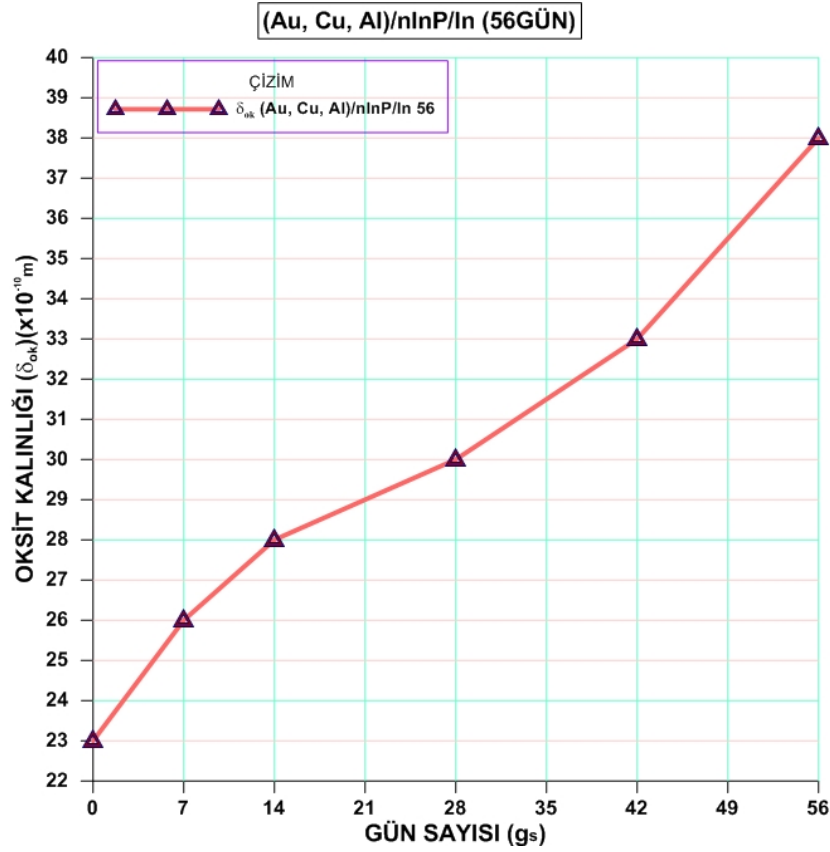


Şekil 5.114. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun $\delta_{ok1}-g_s$, $\delta_{ok2}-g_s$, $\delta_{ok3}-g_s$ grafiği.

Durum-01, 02, 03; $\delta_{ok}-g_s$ grafiğinde 1. ve 3. durumda eğri zayıf lineer azalmış, 2. durumda çok zayıf lineer artmış, gözükmemektedir. Akım iletim mekanizmalarının etkin olduğunun göstergesidir. Arayüzey oksit kalınlığı değerleri 60-180 nm aralığında hesaplanmıştır. Oksit kalınlığı hesabında Hudait, 2001'deki oksit kalınlığı ifadesi kullanıldı (Bkz Eş.(2.90)).

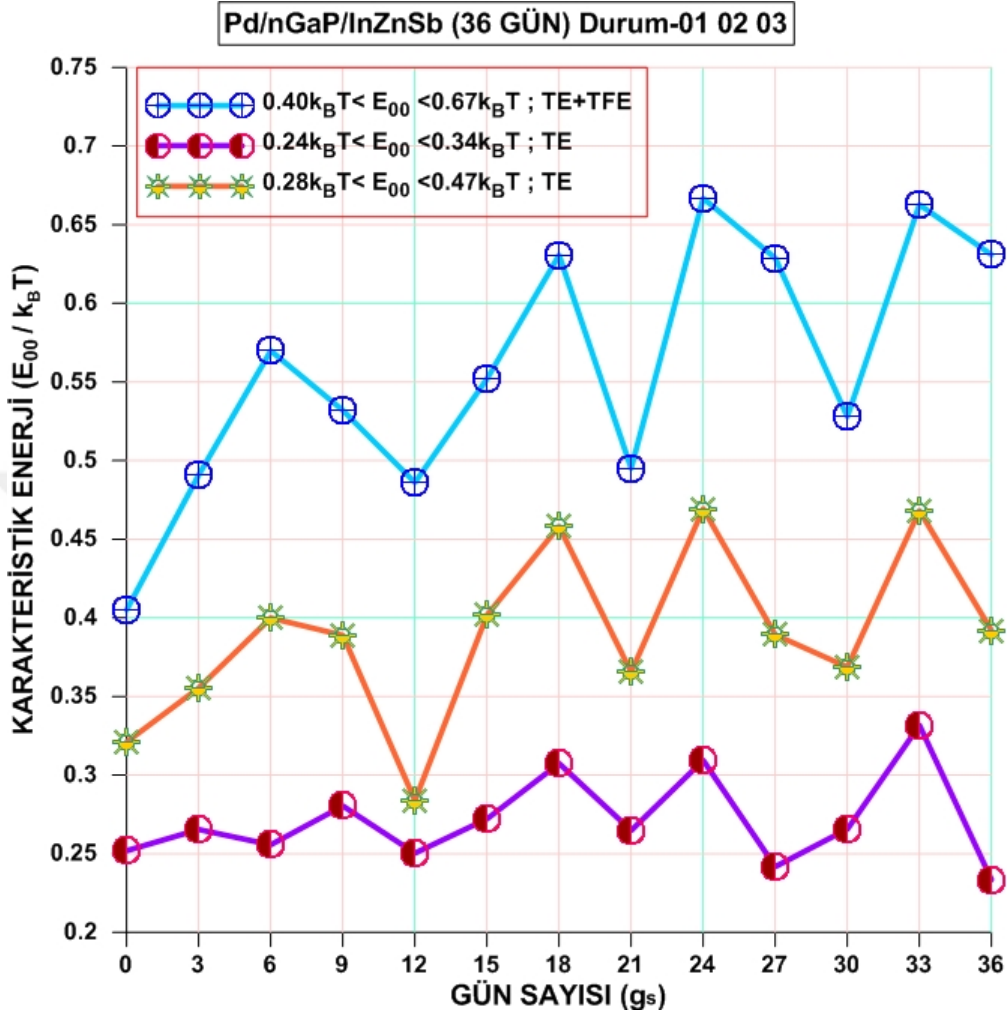
Çizelge 5.32. Oksit kalınlığı-gün sayısı çizelgesi ($V_a=0$), Pd/n-GaP/InZnSb (36).

	Durum-01	Durum-02	Durum-03
Gün Sayısı (g_s)	Oksit Kalınlığı (δ_{ok}) ($\times 10^{-9}$ m, 1 nm)	Oksit Kalınlığı (δ_{ok}) ($\times 10^{-9}$ m, 1 nm)	Oksit Kalınlığı (δ_{ok}) ($\times 10^{-9}$ m, 1 nm)
0	87.229	140.270	110.069
3	71.829	132.860	092.424
6	64.356	143.417	091.697
9	73.381	139.221	100.383
12	83.830	162.750	143.543
15	84.863	172.154	116.616
18	66.359	136.118	091.341
21	79.803	149.211	108.094
24	62.821	135.389	089.249
27	64.833	168.610	104.734
30	74.316	147.680	106.409
33	63.273	126.416	089.570
36	60.456	163.327	097.313



Şekil 5.115. Oksit kalınlığı karşılaştırması yapmak için yeniden çizilen, oksit kalınlığı-gün sayısı grafiği (Çetin ve Ayyıldız, 2007).

5.4.20. Karakteristik Enerjisi



Şekil 5.116. Pd/n-GaP/InZnSb (36) diyotun E_{00} -g_s grafiği.

Durum-01; E_{00} -g_s grafiği, referans diyot değerine göre; 6. güne kadar artmıştır, genel olarak artma ve azalmalara rağmen eğrinin lineer artmış olduğu görülmektedir. Diyotların değerleri referans diyot değerinin üstündedir. E_{00} kontağın akım iletim mekanizması hakkında bilgi verir; Durum-01 değerleri, $0.40kT < E_{00} < 0.67kT$ aralığında kaldığından TE+TFE akım iletim mekanizması geçerli olmuştur.

Durum-02; E_{00} -g_s grafiği, referans diyot değerine göre; 9. güne kadar artmıştır, genel olarak artma ve azalmalara rağmen eğrinin zayıf lineer artmış olduğu görülmektedir. 12., 27. ve 36. gün diyotları hariç diyotların değerleri referans diyot değerinin üstündedir. E_{00} kontağın akım iletim mekanizması hakkında bilgi verir; Durum-02 değer-

leri, $0.24kT < E_{00} < 0.34kT$ aralığında kaldığından TE akım iletim mekanizması geçerli olmuştur.

Durum-03; E_{00} - g_s grafiği, referans diyot değerine göre; 6. güne kadar artmıştır, genel olarak artma ve azalmalara rağmen eğrinin zayıf lineer artmış olduğu görülmektedir. 12. gün diyotu hariç diyotların değerleri referans diyot değerinin üstündedir. E_{00} kontağın akım iletim mekanizması hakkında bilgi verir; Durum-02 değerleri, $0.28kT < E_{00} < 0.47kT$ aralığında kaldığından TE akım iletim mekanizması geçerli olmuştur.

E_{00} hesabında, Schroder, 2006'deki ifade kullanıldı (Bkz Eş.(2.93)). Eşitlikte etkin kütlelerin dikine ve boyuna değerlerinin terslerinin toplamının tersinin iki katı alınmıştır (keyfi olarak, bunun nedeni Schroder, 2006'de tünelleme etkin kütlelerini 0.3 verilmesidir, Shur, 1998'de ise normal etkin kütle gibi vermiştir). Etkin kütle değerleri Askerov, 1994'den $m_{\perp}^* = 0.19$, $m_{\parallel}^* = 0.99$ olarak alınmıştır.

Çizelge 5.33. Karakteristik Enerjisi ($E_{00}/k_B T$)-gün sayısı çizelgeleri, Pd/n-GaP/InZnSb (36) (Birimli).

	Durum-01	Durum-02	Durum-03
Gün Sayısı (g_s)	İşleyiş Enerjisi (E_{00})	İşleyiş Enerjisi (E_{00})	İşleyiş Enerjisi (E_{00})
0	0.405148	0.251948	0.321079
3	0.490975	0.265439	0.355441
6	0.569871	0.255720	0.399952
9	0.531999	0.280406	0.388893
12	0.486070	0.250367	0.283868
15	0.552088	0.272152	0.401761
18	0.630662	0.307454	0.458173
21	0.495149	0.264823	0.365558
24	0.666814	0.309406	0.469362
27	0.628834	0.241795	0.389263
30	0.527969	0.265685	0.368733
33	0.662781	0.331729	0.468193
36	0.630909	0.233534	0.391955

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

SONUÇLAR

- Havaya maruz bırakma sonunda diyotların idealite çarpanı Cu/n-Si/Al(64) ve Cu/n-Si/Al(36) diyot için doğrusal artmaktadır. Gün sayısı arttıkça artma ve azalma genliği de artmaktadır.

Çetin ve ark., 2003'e göre, Pb/p-Si/Al(60) diyotunda genel olarak n_{Ch1} 5. günden sonra lineer artmıştır. n_{IV} 5. günden sonra lineer artmıştır. Bu yönüyle çalışmamız literatürle uyum içindedir.

- Havaya maruz bırakma sonunda diyotların engel yükseklikleri Cu/n-Si/Al(64) ve Cu/n-Si/Al(36) diyot için doğrusal artmaktadır. Gün sayısı arttıkça artma ve azalma genliği de artmaktadır.

Çetinkara ve ark., 2003'e göre, Pb/p-Si/Al(60) diyotunda genel olarak Φ_{IV} 1. günden sonra çok hızlı lineer armış, 5. günde düşmüştür. Φ_{IV} 60. güne kadar genel olarak çok zayıf lineer artmıştır, denilebilir. Bu yönüyle çalışmamız literatürle uyum içindedir.

- Havaya maruz bırakma sonunda diyotların arayüzey oksit kalınlıkları Cu/n-Si/Al(64) ve Cu/n-Si/Al(36) diyot için doğrusal azalmıştır. Gün sayısı arttıkça artma ve azalma genliği de artmaktadır.

Çetinkara ve ark., 2003'e göre, Pb/p-Si/Al(60) diyotunda genel olarak δ_{ok} 1. günden sonra lineer artmıştır. Bu yönüyle çalışmamız literatürle uyum içinde değildir.

- Havaya maruz bırakma sonunda diyotların arayüzey hal yoğunluğu Cu/n-Si/Al(64) ve Cu/n-Si/Al(36) diyot için doğrusal artmıştır. Gün sayısı arttıkça artma ve azalma genliği de artmaktadır.

Çetinkara ve ark., 2003'e göre, Pb/p-Si/Al(60) diyotunda genel olarak N_{ss} 10. günde zirve yapmış, hızlı lineer artmıştır. 30. güne kadar lineer azalmış, 60 güne kadar lineer artmıştır. Genel olarak lineer azalmıştır, denilebilir. Bu yönüyle çalışmamız literatürle uyum içinde değildir, ancak 15-60. gün verileri dikkate alınırsa çalışmamız bu makale ile uyum içindedir.

●● Havaya maruz bırakma sonunda diyotların idealite çarpanı Pd/n-GaP/InZnSb(36) diyot için doğrusal artmaktadır. Gün sayısı arttıkça artma ve azalma genliği de artmaktadır.

Çetin ve Ayyıldız, 2007'e göre, (Au, Al, Cu)/n-InP/In (56) diyotlarından Al/n-InP/In diyotunda genel olarak n_{IV} 0. günden sonra lineer artmıştır. Bu yönüyle çalışmamız literatürle uyum içindedir. Au/n-InP/In, Cu/n-InP/In diyotları ise lineer azaldığından idealite çarpanları uyumsuzdur.

Özdemir, 2002; Özdemir ve ark., 2003'e göre, Au/n-GaAs/AuGe(45) diyotunda genel olarak n_{Ch1} 0. günden sonra hızlı lineer artmıştır. n_{IV} 0. günden sonra yavaş lineer artmıştır. Bu yönüyle çalışmamız literatürle uyum içindedir.

●● Havaya maruz bırakma sonunda diyotların engel yükseklikleri Φ_{IV} , Φ_{CV} , Φ_{Ch2} , Pd/n-GaP/InZnSb(36) diyot için genel olarak “Durum-02” zayıf doğrusal artmakta, “Durum-01, 03” çok hafif doğrusal azalmaktadır.

Çetin ve Ayyıldız, 2007'e göre, (Au, Al, Cu)/n-InP/In (56) diyotlarından Al/n-InP/In diyotunda genel olarak Φ_{IV} 0. günden sonra lineer düşmüştür. “Durum-03” de 36 gün için çalışmamız literatürle uyum içindedir. Au/n-InP/In, Cu/n-InP/In diyotları ise lineer arttığı görülmektedir. “Durum-02” de 36 gün için çalışmamız literatürle uyum içindedir.

Özdemir, 2002; Özdemir ve ark., 2003 makalelerinde, Au/n-GaAs/AuGe(45) diyotunda engel yükseklikleri 20. güne kadar düşmüş, sonra artmış ve azalmıştır. Genel olarak Φ_{IV} , Φ_{CV} , Φ_{Ch2} , lineer azalmış gözükmemektedir. Bu yönüyle “Durum-03” de 36 gün için yapmış olduğumuz çalışmamız, Özdemir, 2002; Özdemir ve ark., 2003'de yapmış oldukları çalışma ile uyum içindedir.

●● Havaya maruz bırakma sonunda diyotların arayüzey oksit kalınlıkları Pd/n-GaP/InZnSb(36) diyot için doğrusal azalmıştır. Gün sayısı arttıkça artma ve azalma genliği de artmaktadır.

Çetin ve Ayyıldız, 2007'e göre, (Au, Al, Cu)/n-InP/In (56) diyotlarında δ_{ok} oksit kalınlığı, genel olarak 0. günden sonra lineer artmıştır. “Durum-02” de 36 gün için çalışmamız literatürle uyum içindedir. “Durum-01, 03” de 36 gün için çalışmamız literatürle uyum içinde değildir. Bizim grafiklerimiz genelde çok zayıf lineer azalmaktadır.

●● Özdemir, 2002; Özdemir ve ark., 2003'e göre, Au/n-GaAs/AuGe(45) diyotunda genel karakteristiklerinden, G-V grafiği de bu çalışmadaki G-V grafiğiyle uyum içindedir.

●● Özdemir, 2002; Özdemir ve ark., 2003'e göre, Au/n-GaAs/AuGe(45) diyotunda genel karakteristiklerinden, C_s -f grafiği de bu çalışmadaki C_s -f grafiğiyle kısmen uyum içindedir. Özdemir ve ark., 2003'ün grafiğinde 1 kHz-1.5 MHz aralığı grafiğinde diyotların sığa genliğinin gün sayısı artıkça küçüldüğü görülmektedir. Bu çalışmada C_s -f grafiğinde 400 kHz-1.5 MHz aralığında gün sayısı ilk günlerde artarken sığa genliği yükselmiş, 9. günden 15. güne azalmış, 18. günden sonra tekrar artmıştır.

●● Orak ve ark., 2014'de I-V, C-V, G-V, C-f eğrileri bu çalışmayla uyum içindedir.

●● Tagmouti ve ark., 2000'de W/P3MT/Pt diyotunu üretmişler ve Cs-V, Cs-f eğrileri bizim çalışmamızla uyum içindedir. Yalnız bu diyot metal-organik-metal (MOrM) tipi aygıttır.

●● Qasrawi, A.F., Gasanly, N.M., 2012'de C-V eğrisi bu çalışmadaki C-V eğrileriyle uyum içindedir.

- İdealite çarpanları lineer artmıştır.
- Engel yükseklikleri lineer azalmıştır.
- Fermi enerjileri lineer azalmıştır.
- Arayüzey Hal Yoğunluğu lineer artmıştır.
- Karakteristik enerji lineer artmıştır.
- Donor katkı yoğunluğu lineer artmıştır.
- Arayüzey oksit kalınlığı hafif lineer azalmıştır.
- $V_a=0$ 'da sığa (C_0) lineer artmıştır.
- $V_a=0$ 'da arınma bölgesi uzunluğu (L_0) lineer azalmıştır.
- $V_a=0$ 'da sığa ($\Delta\Phi_0$) engel yüksekliği farkı lineer artmıştır.

ÖNERİLER

●●● Havaya maruz bırakma yöntemiyle diyot üretme çalışmamız, başarıyla sonuçlanmıştır. Bu çalışmada 3'er gün aralıklarla çalışmamızın nedeni yarıiletken yüzeyiyle

etkileşen doğal oksit tabakasının davranışını ve diyota verdiği karakteristik etkiyi araştırmaktır.

●●● Makalelerde genellikle bu gün araları periyodik seçilmemiştir. Genelde birer haftalık aralıklarla ve 30. günden sonra uzak aralıkla incelenmeye çalışılmıştır.

●●● Bu “gün” etkisini dikkate alarak, bu çalışmada üç(3) günlük yakın zaman aralıkları seçilmiştir. Sonuç olarak çok ilginç gelecekte diğer diyot araştırmacılarına da yardım edecek karakteristik bulgulara ulaşılmıştır.

●●● Gelecekte bu çalışmanın bir (1) günlük aralarla yeniden tekrarlanması yararlı olacaktır. Çünkü yarıiletkenin yüzeyinde doğal oksitin diyot değişkenlerine verdiği etkiyi görmek çok faydalı olacaktır.

●●● Havaya maruz bırakma yöntemiyle yapılması fayda verecek olan bir diğer çalışma da, Schottky metalinin türüyle ilgilidir. Metalin türü değiştirilerek (ve çok sayıda metalle) karakteristiklere vereceği etkiyi görmek çok ilginç olacaktır (Çetin, 2007; Miret, 1988).

●●● Bu tür diyotların üretilmesi sanayiye destek verecek, dedektör ve fotovoltaiik aygıtların yapılmasına öncülük edecektir.

KAYNAKLAR

- Adachi, S., 1992. *Physical Properties of III-V Semiconductor Compounds*. John Wiley & Sons, America, 330.
- Agilent Technologies, 2008. PIN diyotun eşdeğer devresi, <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/ads2008/pdf/ccnld.pdf>. 24.08.2015.
- Agilent Technologies, 2012. *Agilent 4294A Precision Impedance Analyzer Programming Manual*. Japan. 518.
- Akkılıç, K., Kılıçoğlu, T., Türüt, A., 2003. Linear correlation between barrier heights and ideality factors of Sn/n-Si schottky diodes with and without the interfacial native oxide layer. *Physica B*, **337**: 388–393.
- Angermann, H., Dittrich, T., Flietner, H., 1994. Investigation of native-oxide growth on HF-treated Si (111) surface by measuring the surface-state distribution. *Appl. Phys. A*, **59**: 193-197.
- Archer, R.J., Atalla, M.M., 1963. Determination of the properties of films on silicon by the method of ellipsometry. *Am. NY Acad Sci.*, **101**: 697.
- Askerov, 1994. *Electron Transport in Phenomena in Semiconductor*. World Scientific Publisher, Singapore.425.
- Aven, M., Mead, C.A., 1965. Electrical transport and contact properties of low-resistivity n-type zinc sulphide crystals. *Appl. Phys. Lett.* **7**, 8-10.
- Aydın, M.E., Güllü, Ö. Yıldırım, N., 2007. Temperature dependence of current-Voltage characteristics of Sn/p-Si Schottky contacts. *Physica B*, **403**: 137-138.
- Ayyıldız, E., Bati, B., Temirci, C., Türüt, A., 1999. Dependence of thermal annealing on the density distribution of interface states in Ti/n-GaAs(Te) Schottky diodes. *Applied Surface Science*, **152**:1, 57-62.
- Ayyıldız, E., Türüt, A., Efeoğlu, H., Tüzemen, S., Sağlam, M., Yoğurtçu, Y.K., 1996. Effect of series resistance on the forward current-voltage characteristics of Schottky diodes in the presence of interfacial layer. *Solid-State Electronics*, **39**: 1, 83-87.
- Baca, A.G., Asby, C.I.H., 2005. *Fabrication of GaAs Devices*. MP Books Ltd., London, UK. 371.
- Bardeen, J., Brattain, W., 1948. The transistor, a semi-conductor triode. *Physical Review* **74**: 230-231.
- Barlow, M.D., 2007. *Metal-Semiconductor Contacts for Schottky Diode Fabrication*. (yüksek lisans tezi basılmış), Electrical and Computer Engineering, Youngstown State University, Ohio, USA.
- Bati, B., 1993. *Al-Sb/n-Si/Cu Schottky Diyotlarında Seri Direncin I-V ve C-V Karakteristiklerine Etkiler*, (yüksek lisans tezi basılmış). YYÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.

- Bati, B., 1999. *İdeal ve İdeal Olmayan Omik ve Doğrultucu Kontaklı Au/n-Si Schottky Diyotlarında Doğru Beslem Kapasite-Voltaj-Frekans Karakteristikleri* (doktora tezi basılmış). AÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Bati, B., Ç. Nuhoglu, M. Sağlam, E. Ayyıldız and A. Türüt, 2000. On the forward bias excess capacitance at intimate and MIS Schottky barrier diodes with perfect or imperfect ohmic back contact. *Phys. Scripta*, **61**: 209-212.
- Bati, B., Nuhoglu, Ç., Sağlam, N., Türüt, A., 2000. On the forward bias excess capacitance at intimate and MIS Schottky barrier diodes with perfect ohmic back contact. *Physica Scripta*, **53**: 209-212.
- Bayhan, H., Bayhan, M., 2011. A simple approach to determine the solar cell diode ideality factor under illumination. *Solar Energy*, **85**: 769-775.
- Bethe, H. A., 1942. Theory of the boundary layer of crystal rectifiers. *Mass. Ins. Techno. Radia Lab Reba.*, **43**: 12.
- Blood, P., Orton, J.W., 1992. *The Elect. Characterization of Semiconductor: Majority Carriers and Electron States*. Academic Press, UK, 228.
- Boyarbay, B., Çetin, H., Kaya, M., Ayyıldız, E., 2008. Correlation between barrier heights and ideality factors of H-terminated Sn/p-Si (100) Schottky barrier diodes. *Microelectronic Engineering*, **85**: 4, 721-726
- Braun, K.F., 1874. On the current conduction in metal sulphides. *Ann. Phys. Chem.*, **153**, 556.
- Brillson, L.J., 1993. *Contact to Semiconductor*. Noyes Publications, New Jersey. 702.
- Caferov, T., 1998. *Yarıiletken Fiziğine Giriş-1*. Yıldız Teknik Üni., Fen Fak., Yay.No:1998-004., İstanbul. 2000.
- Caferov, T., 2000. *Katıhal Elektronik*. Yıldız Teknik Üni Vakfı, Yay.No:2000-002., İstanbul.
- Cao, X.A., Pearton, S.J., Dang, G., Zhang, A.P., Ren, F., Van Hove, J.M., 1999. Effects of interfacial oxides on Schottky barrier contacts to n- and p-type GaN. *Applied Physics Letters*, **75**: 26.
- Card, H.C. 1975. On the direct currents through interface state in metal-semiconductor contacts. *Solid-State Elect*, **18**, 881.
- Card, H.C., Rhoderick, E.H., 1971. Studies of tunnel MOS diodes I. Interface effects silicon Shottky diodes. *SJ.Phys.D; Appl.Phys.*, **18**.
- Chattopadhyay, P., 1996. capacitance technique for the determination of interface state density of metal-semiconductor contact. *Solid-State Electron*, **39**: 10, 1491-1493.
- Chattopadhyay, P., Raychaudhuri, B., 1993. Frequency dependence of forward capacitance-voltage characteristics of Schottky barrier diodes. *Solid-State Electron*, **36**: 4, 605 -610
- Chattopadhyay, P., Raychaudhuri, B., 1992. Origion of the anomalous peak in the forward capacitance-voltage plot of a Schottky barrier. *Solid-State Elect.*, **35**:6, 875.

- Cheung, S.K., Cheung, N.W., 1986. Extraction of Schottky diode parametres from forward current-voltage characteristics. *Appl Phys.Lett.* **49**: 2, 85-90.
- Colinge, J.P., Colinge, C.A., *Physics of Semiconductor Devices*. Kluwer Academic Publishers. 2002. 440.
- Cowley, A. M., Sze, S.M., 1965. Surface states and barrier height of metal-semiconductor systems. *J. Appl. Phys.*, **36**:10, 3212.
- Crowell, C.R., Sze, S.M., 1965. Tungsten semiconductor Schottky barrier diodes trans-action of the metallurgical soc. *J.Appl.Phys.* **36**: 8, 321-326.
- Crowell, C.R., Sze, S.M., 1966. Current transport in metal-semiconductor barriers. *Solid-State Elect*, **9**: 1035.
- Çaldıran, Z., Deniz, A.R., Aydoğan, Ş., Yesildag, A., Ekinci, D., 2013. The barrier height enhancement of the Au/n-Si/Al Schottky barrier diode by electrochemically formed an organic Anthracene layer on n-Si. *Superlattices and Microstructures*. **56**: 45–54.
- Çetin, H., Ayyıldız, E., 2007. Electrical characteristics of Au, Al, Cu/n-InP Schottky contacts formed on chemically cleaned and air-exposed n-InP surface. *Physica B*, **394**: 93-99.
- Çetinkara, H.A., Güder, H.S., 2010. On the effects of air-exposure-time and time-dependency of Pb/p-Si Schottky diodes. *Physica B*, **405**.
- Çetinkara, H.A., Türüt, A., Zengin, D.M., Erel, S., 2003, The energy distribution of the interface state density of Pb/p-Si Schottky contacts exposed to clean room air. *Applied Surface Science*, **207**.
- Dittrich, T., H. Angermann, Füssel, W., Flietner, H., 1993. Electronic properties of the HF-passivated Si (111) surface during the initial oxidation in air. *Phys. State Solid (a)* **140**: 463
- Duzelier, S., Sarraayrouse, G., Prom, J.L., Hollinger, G., 1991, Thickness measurement of thin oxide layers in MOS capacitors. *Electronics Letters*, **27**, No:16.
- Fomenko, V.S., 1966. *Handbook of Thermoionic Properties*. Plenum Pres Data Devi-sion, Newyork, 156.
- Freeouf, J.L., Woodall, J.M., 1981. Schottky barriers: an effective work function model. *Appl. Phys. Lett.* **39**: 9.
- Gupta, R.K., Singh, R.A., 2004. Electrical properties of junction between aluminium and poly(aniline)–poly(vinyl chloride) composite. *Materials Chemistry and Physics*. **86**: 279–283.
- Gümüş, A., 2006. MBE CrNiCo/n-GaAs Schottky diyotlarında termal tavlamanın elektriksel karakteristiklere etkileri. *Erciyes Üni. Fen Bil. Ens. Dergisi*, **22**:1-2, 97-102.
- Hirota, Y., 1993. Schottky characteristics of GaAs surface cleaned by ultrasonic running deionized water treatment. *Apply. Phys. Lett.* **63**: 14, 1936-1938.

- Huang, J.R., Hsu, W.C., Chen, H.I., Liu, W.C., 2008. Comparative study of hydrogen sensing characteristics of a Pd/GaN Schottky diode in air and N₂ atmospheres. *NCKU Research Express*, **4**: 2, 425.
- Hudait, M.K., Kurupanidhi, S.B., 2000. Effect of thin oxide in metal-semiconductor and metal-insulator-semiconductor epi-GaAs Schottky diodes, *Solid-State Electronics*, **44**: 1089-1097.
- Hudait, M.K., Kurupanidhi, S.B., 2001. Interface states density distribution in Au/n-GaAs Schottky diodes on n-Ge and n-GaAs substrates, *Materials Science and Engineering B87* 141–147.
- Ikoma, H., Maeda, K., 1991. Analysis of Si Schottky barrier characteristics based on a new interfacial layer model. *JJ. Appl. Phys.*, **30**: 1, 19-26.
- Kang, M.G., Park, H.H., 1999. Bonding and structural changes of natively oxidized GaAs surface during ion induced deposition of Au. *Thin Solid Films*, 355-356, 435-439.
- Karataş, Ş., 2010. The effect of native series resistance on the electrical characteristics and interface state distribution of Sn/p-Si (MS) Schottky diodes. *Microelectronic Engineering*, **87**: 1935-1940.
- Kılıçoğlu, T., Asubay, S., 2005. The effect of native oxide layer on some electronic parameters of Au/n-Si/Au-Sb Schottky diodes. *Physica B*, **368**: 58-63.
- Kurtin, S., McGill, T.C., Mead, C.A., 1969. Fundamental transition in electronic nature of solids. *Phys. Rev. Lett.* **22**: 1433-1436.
- Lutz, G., 2007. *Semiconductor Radiation Detectors*. Springer, Berlin. 2007. 352.
- Mead, C.A., 1966. Metal-semiconductor surface barriers. *Solid-State Electron.* **9**: 1023-1032.
- Miret, A., Newman, N., Weber, E.R., Liliental-Weber, Z., Washburn, J., Spicer, W.E., 1988. Aging of Schottky diodes formed on air-exposed and atomically clean GaAs surfaces: an electrical study. *J. Apply. Phys.* **63**: 6, 2006-2010.
- Mott, N.F., 1990. *Metal-Semiconductor Transitions*. Taylor&Francis Inc., Bristol. 295.
- Mönch, W., 1989. *Metallization and Metal-Semiconductor Interfaces*. I.P., New York, **195**: 11-35.
- Mönch, W., 1995. *Semiconductor Surfaces and Interfaces*, Springer, Berlin. 364.
- Mönch, W., 1999. Barrier heights of real Schottky contacts explained by metal-induced gap states and lateral inhomogeneities. *J. Vac. Sci. Tech.* **17**: 4, 1867-1876.
- Mönch, W., 2004. *Electronic Properties Semiconductor of Interfaces*. Springer-Verlag, Germany. 274.
- Neamen, D.A., 1992. *Semiconductor Physics and Devices*. Basic Principles, CRC Press Inc., Irvin.
- Newman, N., Kendelewicz, T., Bowman, L., Spicer, W. E., 1985. Electrical study of Schottky barrier heights on atomically clean and air-exposed n-InP (110) surfaces. *Appl Phys Lett* **46**: 12.

- Newman, N., Schilfgaarde, M., Kendelewicz, T., Williams, M.D., Spicer, W. E., 1985. Electrical study of Schottky barrier heights on atomically clean n-GaAs (110) surfaces. *Appl Phys Lett* **33**: 2.
- Norde, H.A., 1979. Modified forward I-V plot for Schottky diodes with high series resistance. *J. Appl. Phys.*, **50**:7, 5052.
- Nuhoğlu, Ç., Temirci, C., Batı, B., Biber, M., Türüt, A., 2010. Effect of thermal annealing on Co/n-LEC GaAs (Te) Schottky contact. *Solid State Communications*, **115**: 291–295.
- Orak, İ., Ejderha, K., Sönmez, E., Alanyalıoğlu, M., Türüt, A., 2015. The effect of annealing temperature on electrical characterization of Co/n-type GaP Schottky diode. *Materials Research Bulletin*, **61**: 463–468.
- Özdemir, A.F., 2002. *Metal/n-tipi kontak GaAs Schottky diyotlarında havada oksitlenme ve yaşlanmanın akım-gerilim (I-V), kapasite, kondüktans-gerilim, frekans (C-G-V, f) karakteristiklerine etkisi*, (doktora tezi basılmış). Süleyman Demirel Üni. Fen Bil. Enst. Isparta.
- Özdemir, A.F., A. Türüt, A. Kökçe, 2003. The interface state energy distribution from capacitance-frequency characteristics of gold/n-type gallium arsenide Schottky barrier diodes exposed to air. *Thin Solid Film*, **425**: 210–215.
- Özdemir, A.F., Kökçe, A. Türüt, A., 2002. The effects of the time-dependent and exposure time to air on Au/n-GaAs schottky barrier diodes. *Applied Surface Science*, **191**.
- Özmen, Ö.T., Yağlıoğlu, E., 2014. Electrical and interfacial properties of Au/P3HT :PCBM/n-Si Schottky barrier diodes at room temperature. *Materials Science in Semiconductor Processing*, **26**: 448–454.
- Prasad, K., 1995, Stability of electrical parameters of Ti Schottky contacts on GaAs fabricated surfaces using different surface cleaning techniques. *Vacuum* **46**: 2, 127–130.
- Qasrawi, A.F., Gasanly, N.M., 2012. Investigation of the electrical parameters of Ag/p-TlGaSeS/C Schottky contact. *Materials Science and Engineering B*. **177**: 981–985.
- Rhoderick, E.H., 1978. *Metal-Semiconductor Contacts*. Clarendon Press, Oxford. 257.
- Rhoderick, E.H., Williams, R.H., 1988, *Metal-Semiconductor Contacts*. Oxford University Press, Oxford. 257.
- Richardson, O. W., 1913. The emission of electrons from tungsten at high temperatures: an experimental proof that the electric current in metals is carried by electrons. *Science*, **38**: 967, 57–61.
- Sağlam, M., Ayyıldız, E., Gümüş, A., Türüt, A., Efeoğlu, H., Tüzemen, S., 1996. Series resistance calculation for the Metal-Insulator-Semiconductor Schottky barrier diodes. *Apply. Phys. A*, **62**: 269–273.
- Sağlam, M., Nuhoğlu, G., Ayyıldız, E., Türüt, A., Çetinkara, H.A., 1998. The effect of exposure time to clean room air on characteristic parameters of u/epilayer n. *TR J.Phys TÜBİTAK* **22**.

- Sarrabayrouse, G., Campabadal, F., Prom, J.L., 1989, Oxide-thickness determination from C/V measurement in an MOS capacitor. *IEEE Proceedings*, **136**: 4.
- Schmidt, M.T., Podlesnik, D.V., Yu, C.F., Osgood, R.M., and Yang, E.S., 1988, Increased dependence of Schottky-barrier height on metal work-functions due to a thin-oxide layer. *J.Vac. Sci. Technol. B*, **6**:4, 1436-1439.
- Schroder, D.K., 2006. *Semiconductor Material and Device Characterization*. John Wiley&Sons Inc. Pubs, America, 796.
- Sharma, B.L., 1984. *Metal-Semiconductor Schottky Barrier Junctions and Their Applications*. Plenum Press, London, UK. 385.
- Shur, M., 1990. *Physics of Semiconductor Devices*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 682.
- Siad, M., Keffous, A., Mamma, S., Belkacem, Y., Menari, H., 2004, Correlation between series resistance and parameters of Al/n-Si and Al/p-Si Schottky barrier diodes. *Applied Surface Science*, **236**: 366-376.
- Singh, J., 2003. *Electronic And Optoelectronic Properties Of Semiconductor Structures*. Cambridge University Pres, Cambridge, England. 554.
- Singh, R., Arora, S.K., Tyagi, R., Agarwal, S.K., Kanjilal, D., 2000. Temperature dependence of current–voltage characteristics of Au/n-GaAs epitaxial Schottky diode. *Bull. Mater. Sci.*, **23**, No: 6, Indian Academy of Sciences.
- Soylu, M., Al-Ghamdi, A.A., Yakuphanoglu, F., 2012. Influence of illumination intensity and temperature on the electrical characteristics of an Al/p-GaAs/In structure prepared by thermal evaporation. *Microelectronic Engineering*, **99**: 50.
- Spicer, W. E., Lindau, I. Skeath, P., Su, C.Y., Chye, P., 1980. Unified mechanism for Schottky-barrier formation and III-V oxide interface states. *Physical Review Letters*, **44**: 6.
- Sze, S.M., 1981. *Physics of Semiconductor Devices*. John Wiley&Sons, Singapore, 874.
- Sze, S.M., 2002. *Semiconductor Devices Physics and Technology*. John Wiley&Sons, America, 564.
- Sze, S.M., Ng, K.K., 2007. *Physics of Semiconductor Devices*. John Wiley&Sons, America, 815.
- Tagmouti, S., Outzourhit, A., Oueriagli, A., Khaidar, M., Elyacoub, M., Evrard, R., Ameziane, E.L., 2000. Electrical characteristics of W/P3M/TrPt diodes. *Thin Solid Films*. **379**: 272-278.
- Tersoff, J., 1984. Schottky barrier heights and the continuum of gap states, *Phys. Rev. Lett.* **52**: 465.
- Tseng, H.H., Wu, C.Y., 1987. A simple interfacial-layer for the nonideal I-V and C-V characteristics of the Schottky-barrier diode. *Solid-State Electronics*, **30**: 4, 383-390.
- Türüt, A., Sağlam, M., 1992. Determination of the density of Si-metal interface states and excess capacitance caused by them, *Physica B*, 179.

- Türüt, A., Sağlam, M., 1992. Nonideal I-V, C-V characteristics and energy distribution of interface states of Al-nSi Schottky diodes, *Erciyes Üni. Fen Bil. Derg.* **8**-1, 1350-1361.
- Türüt, A., Yalçın, N., Sağlam, M., 1992. Parameter extraction from non-ideal c-v characteristics of a schottky diode with and without interfacial layer. *Solid-State Elect.*, **35**:6, 835.
- Vanalme, G.M., Goubert, L., Meirhaeghe, R.I., Cardon, F., Daele, P., 1999. A ballistic electron emission microscopy study of barrier height inhomogeneities introduced in Au/III-V semiconductor Schottky barrier contacts by chemical pretreatments. *Semicond. Sci. Technol.* **14**: 871–877.
- Wu, X., Yang, H.L., 1989. Interface capacitance in metal semiconductor junctions. *J.Apple. Phys.* **65**:1, 3560-3565.
- Ye, M., 1994. *Processing of InAs, GaSb and Related III-V Compound Semiconductors* (Doctor of Philosophy; doktora tezi basılmış). Carnegie Melon Uni., Department of Electrical and Computer Engineering, Pittsburgh, Pennsylvania.
- Zeghbroeck, B., 2011. Principles of Semiconductor Devices. <http://ecee.colorado.edu/~bart/book/book/contents.htm>
- Ziel A., 1968. *Solid State Physical Electronics*. Prentice-Hall, New-Jersey, 245.



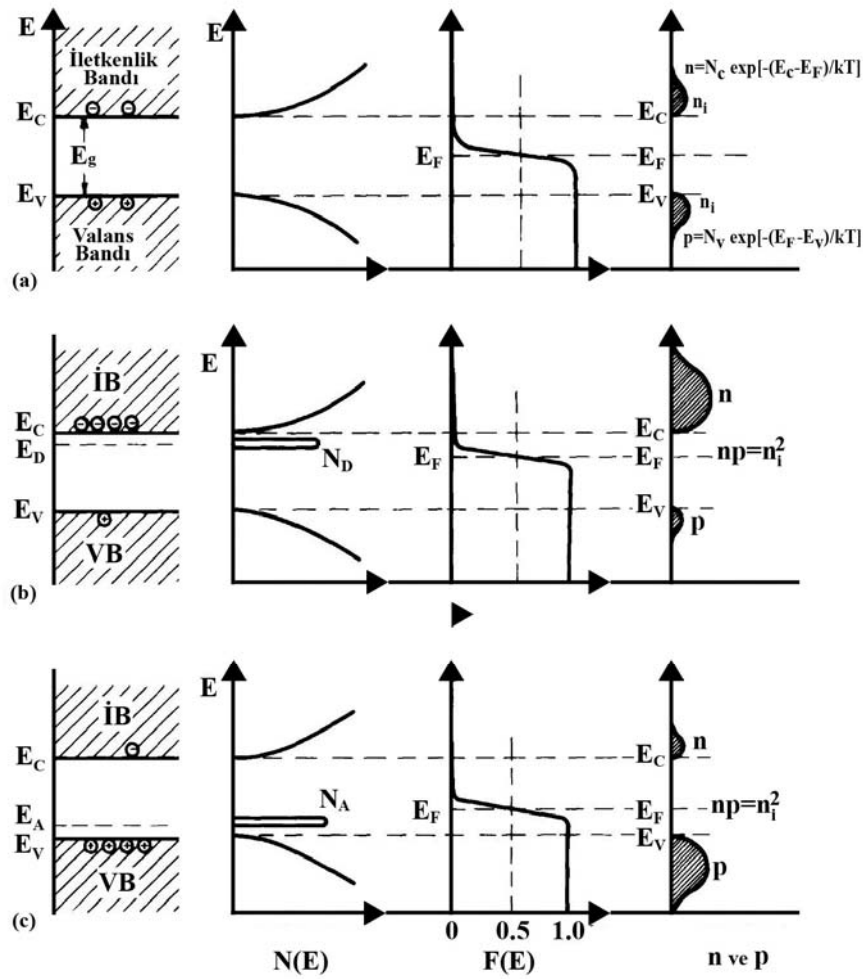
EKLER

Ek-1. Fermi Dağılım Fonksiyonu ve Hal Yoğunluğu Dağılımı

Fermi enerji seviyesi (E_F); dolmuş yörüngeleri dolmamış yörüngelerden ayıran izafi seviyedir ve $f(E)$ Fermi dağılım fonksiyonunun sabitidir. Bu sabitin $f(E)$ ile ilişkisi;

$$f(E) = \frac{1}{1 + \exp\left[-(E_F - E) - K_B T\right]}$$

ile verilir. Saf yarıiletken için bu fonksiyonun değişimi Şekil 2.1(b)' de verilmiştir.



Şekil E.1.117. Hal yoğunluğu, Fermi dağılımı ve deşik ve elektronların yoğunluklarına ait grafikler; (a) Katkısız yarıiletken (b) n-tip katkılı yarıiletken (c) p-tip katkılı yarıiletken.

Ek-2. Laboratuvarımızda Bulunan Uluslar Arası Standarda Sahip Cihazlar

1. EDWARDS AUTO A306/500 VACUUM COATING UNIT
2. MP MULTIPURE Saf ve deiyonize su ünitesi
3. BANDELIN Ultrasonik Banyo Cihazı
4. CARBOLITE 1200 C TUBE FURNACE MODEL: TZF 12/65/550
5. ÇEKER OCAK
6. VELD İSİTİCİ (MANYETİK KARIŞTIRICILI)
7. GEC AVERY HASSAS TERAZİ MODEL: VA124-1AAZM13 AAE 120 GR
8. KEITHLEY 6487 PICOAMMETER/VOLTAGE SOURCE
9. AGILENT 4294A 40Hz-110 MHz PRECISION IMPEDANCE ANALYZER
10. SHIMADZU UV-2450 UV-VIS SPEKTROPHOTOMETER
11. KEITHLEY 2410C 1100 V SOURCEMETER
12. VEECO FPP 5000 FOUR POINT PROBE
13. INFORM ON-LINE UPS MODEL: PYRAMID PLUS
14. STANDART IŞIK KAYNAĞI
15. BİLGİSAYARLAR, GPIB KARTI, IEEE 488 KABLO, BUZDOLABI, ...V.S.

Ek-3. AGILENT 4294A 40Hz-110 Mhz Precision Impedance Analyzer: Uygulama Yöntemleri

1. Cihaz açılır,
2. “Preset” düğmesine basılır,
3. “DISPLAY” basılır, “split” “ON” yapılır. “SPLIT” “ON off”(ekran ikiye bölünmüş olur).
4. “SOURCE”a bas, “DC Bias” ekranını gör (her işlemten sonra “4.” Kuralı uygulayın, sonra yapacağınız diğer işleme geçin, işlem sırasında hatalı bir işlem yaptıysanız veya yaptığınızı düşünüyorsanız, “2.” kuralı uygulayın, baştan girdi yapın).
5. “NOKTA SAYISI AYARLAMA” (range) (Bu işlem “bir kez cihaz açıldığında yapılır). “SWEEP”e bas, ekranda “NUMBER OF POINTS”i gör (cihaz açıldığında bu sayı 201 görünür, maksimum değeri 801’dir), örn., “501” yaz, “x1”e bas, sayının sola kaydığını gör. (iyi bir data alınmak isteniyorsa “nokta sayısı fazla, ölçü aralığı küçük alınmalıdır).
6. “SOURCE”a bas, “DC Bias” ekranını gör,
7. A ve B kanalları birer değişkeni gösterir, (“SARI” ışığın yandığı kanal “etkin” demektir). Ekranda; A: “-“ ve B: “-“ nin yanındaki simge “değişken tipini” gösterir (bkz Ekler).
8. “MEAS” (ölçü türü seçilir). “Meas” basılır, ekranın yanında “değişken türleri listesi” çıkar, istenilen seçilir (bkz Ekler).
9. Örnek; “Cs-Rs” i seç. Ekranda; A: “Cs“ ve B: “Rs“i gör, bu; A kanalında; “Cs-V veya Cs-f” veya B kanalında; “Rs-V veya Rs-f” datası alacağınız anlamına gelir (bkz Ekler).
10. “SOURCE”a bas, “DC Bias” ekranını gör,
11. “SWEEP”e bas, (aralık “range” ayarlama),
12. “PARAMETER” [Freq], “PARAMETER” [DC Bias], ‘ı görünür,
13. “VOLTAJ ARALIĞI AYARLAMA” (range)) (Bu işlem “voltaja göre data alınacaksa yapılır). “START”a bas, “-4 yaz, x1’e bas, “-4”ün yazıldığını ekranın altından

- gör, “STOP”a bas, “+4 yaz, “-4”ün yazıldığını ekranın altından gör,
14. “OSİLATÖR FREKANSINI AYARLAMA” (range) (Bu işlem “bir kez, alınacak her data için yapılır). “SOURCE”a bas, Ekranda “OSC FREQ, 1MHz”i gör, “istenen frekans değerini gir, örn., 250kHz”, ekranın alt ortasında girdiğin değeri gör, (birimler cihazın sağ-üst kenarında alt alta dizili butonlardan girilir).
 15. “OSİLATÖR GERİLİMİNİ AYARLAMA” (range) (Bu işlem “bir kez, alınacak her data için yapılır). “SOURCE”a bas. Ekranda “VOLTAGE LEVEL”gör, “istenen voltaj değerini gir, örn., 20mV”, ekranın alt ortasında girdiğin değeri gör, (birimler cihazın sağ-üst alt alta dizili butonlardan girilir). Bu girilen değer osilatörün çalışma voltajıdır.
 16. “AKIM DEĞERİNİ GÖRME”. “SOURCE”a bas. Ekranda “CURRENT LEVEL, 1mA”i gör (bazen cihaz aşırı voltaj ikazı verdiğinde, akım değeri arttırılabilir).
 17. “KAYDETME”. “SAVE”e bas, ekran kenarında “DATA, ASCII”e bas, “FILE NAME”i gir (maksimum.8 karakter girilebilir, uzantı yazılmazsa, data dosyaları “.TXT” uzantılı yazılır, uzantı yazılırsa, dört karakterli isim verilebilir, örn., “_ _ _ _ _”, “_ _ _ _ .DAT”), İsim vermek için de ayrıca bir tasarım yapılmalıdır.
 18. Agilent 4292A gibi cihazlar ‘Floppy Disk’e kayıt yaptığından, her veri kaydından sonra “veri bilgisayar ortam”ına taşınmalıdır!!!.
 19. “FREKANS ARALIĞI AYARLAMA” (range) (Bu işlem “frekansa göre data alınacaksa yapılır). “SOURCE”a bas, “DC Bias” ekranını gör, “SWEEP”e bas, “PARAMETER”i gör(ekranda), [Freq], ‘e bas. “START”a bas, “40Hz yaz, x1’e bas, “40Hz”in yazıldığını ekranın altından gör, “STOP”a bas, “110MHz yaz, “110MHz”ün yazıldığını ekranın altından gör.
 20. Cihaza bu girdiler yapıldıktan sonra, cihaz çalıştığı sürece girdiler silinmez, cihazı kapatırsanız veya elektrik kesilirse girdi bilgileri silinir. Yeniden girdi emirlerini girmeniz gerekir. Cihaz her açıldığında girdi bilgileriniz aynen kalmasını istiyorsanız; “SAVE”e bas, ekranda “CONFIG”e bas, ekranda “Size “YES” ve”NO” sorusu sorulacak, “YES”e basın. Cihazı kapatın, 3 sn bekleyin açın. Bundan sonra cihaz sizin girdiğiniz değişken türünde, voltaj aralığında, frekans aralığında vb., açılacaktır.
 21. “DATA ALMA İŞLEMİ”. “A kanalına” bas SARI ışığı gör. “SOURCE”a bas, “DC

Bias” ekranını gör, “DC Bias “ON””a bas, ekranda “kırmızı renkli DC BIAS ON” yazar. “[Scale Ref]”e bas, “AUTO SCALE”e bas. “BEKLE 3sn”. Bir kez daha “[Scale Ref]”e bas, “AUTO SCALE”e bas. ”. “B kanalına” bas, SARI ışığı gör. “[Scale Ref]”e bas, “AUTO SCALE”e bas. “BEKLE 3sn”. Bir kez daha “[Scale Ref]”e bas, “AUTO SCALE”e bas. Sonra “Save” işlemine geç, datayı kaydet. [UYARI: floppy diske yazılırken cihazın önpanelinde herhangi bir tuşa dokunmayın. Cihaz kaydetmiyor veya hatalı kaydediyor].

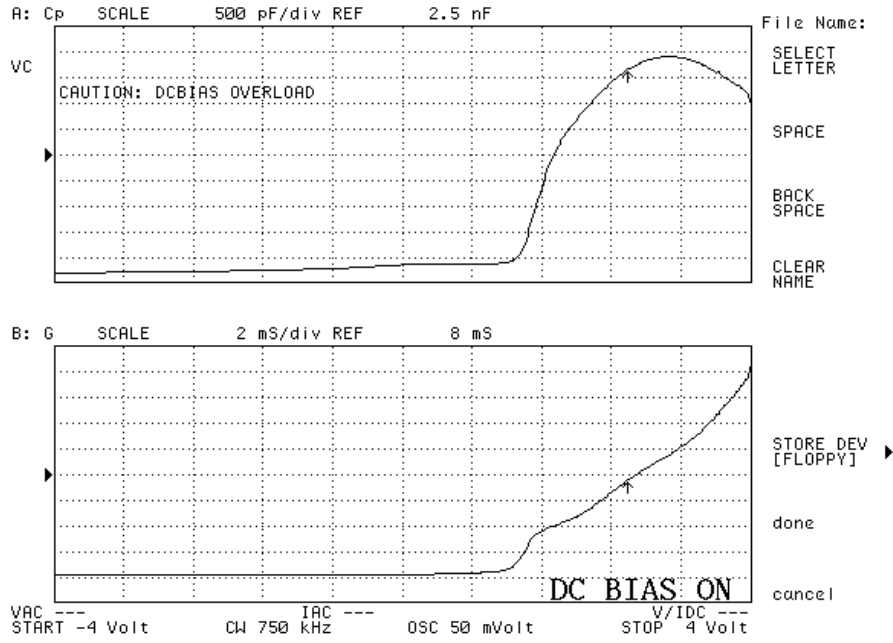
22. İşlem yapmıyorsanız “DC Bias on OFF” yapın. Uzun süre kullanmayacaksanız cihazı “kapatın”. Kapama tuşuna “yavaşça” dokunun. Ani “AÇ-KAPA” yapmayın. Floppy disketleri hızlı “tak-çıkart” yapmayın.
23. Cihazı her 90 dakikada 15 dakika dinlendirin.
24. “.TXT veya .DAT” UZANTILI VERİLER. Veri dosyası açıldığında; “22.-522.” satır aralığı, A kanalından alınan değişkene ait veri bilgilerini, “529.-1029.” satır aralığı, B kanalından alınan değişkene ait veri bilgilerini verir. Verinin birinci sütunu; yatay değişkeni (Voltaj veya Frekansı), ikinci sütunu değişken türünü(Cs, Rs, G, D, Q, gibi) verir.

Ek-4. AGILENT 4294A 40Hz-110 Mhz Precision Impedance Analyzer’da Ölçülebilen Değişkenler

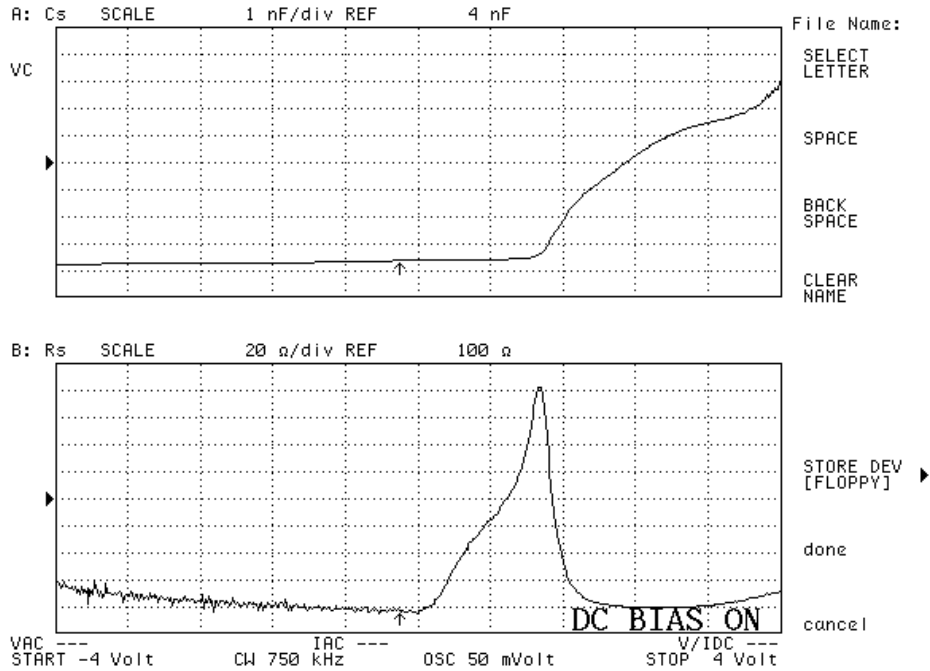
		Kanal	
		A	B
$ Z $	Empedans Genliği (mutlak değer)	$ Z $	θ
$ Y $	Admitans Genliği (mutlak değer)	R	X
θ_z	Empedans Fazı	Ls	Rs
θ_y	Admitans Fazı	Ls	Q
Z	Empedans (kompleks sayı, $R+jX$)	Cs	Rs
Y	Admitans (kompleks sayı, $G+jB$)	Cs	Q
Rs, R	Eşdeğer Seri Direnç	Cs	D
Z	Eşdeğer Seri Reaktans	$ Y $	θ
Ls	Eşdeğer Seri İndüktans	G	B
Cs	Eşdeğer Seri Kapasitans	Lp	G
Rp	Eşdeğer Paralel Direnç	Lp	Q
G	Eşdeğer Paralel Kondüktans	Cp	G
B	Eşdeğer Paralel Suseptans	Cp	Q
Lp	Eşdeğer Paralel İndüktans	Cp	D
Cp	Eşdeğer Paralel Kapasitans	Z	Y
D	Kalitesizlik Çarpanı	$ Z $	Ls
Q	Kalite Çarpanı	$ Z $	Cs
		$ Z $	Lp
		$ Z $	Cp
		$ Z $	Rs
		$ Z $	Q
		$ Z $	D
		Lp	Rp
		Cp	Rp

(Agilent, 2012).

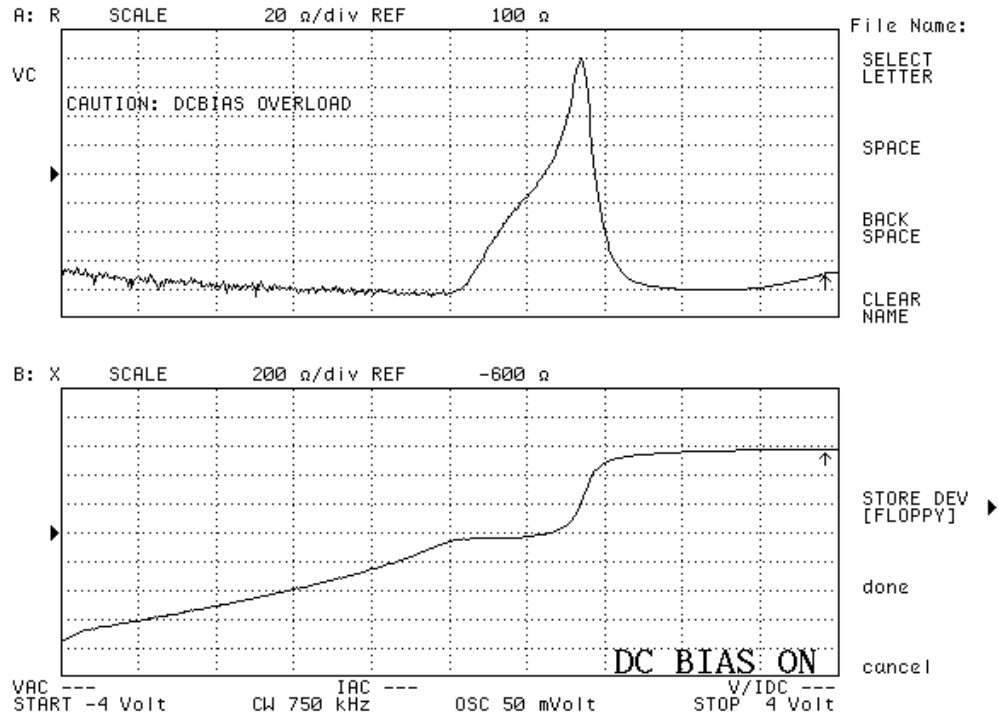
Ek-5. AGILENT 4294A 40Hz-110 Mhz Precision Impedance Analyzer'da Ölçülebilen Değişkenlerin Grafik Örnekleri



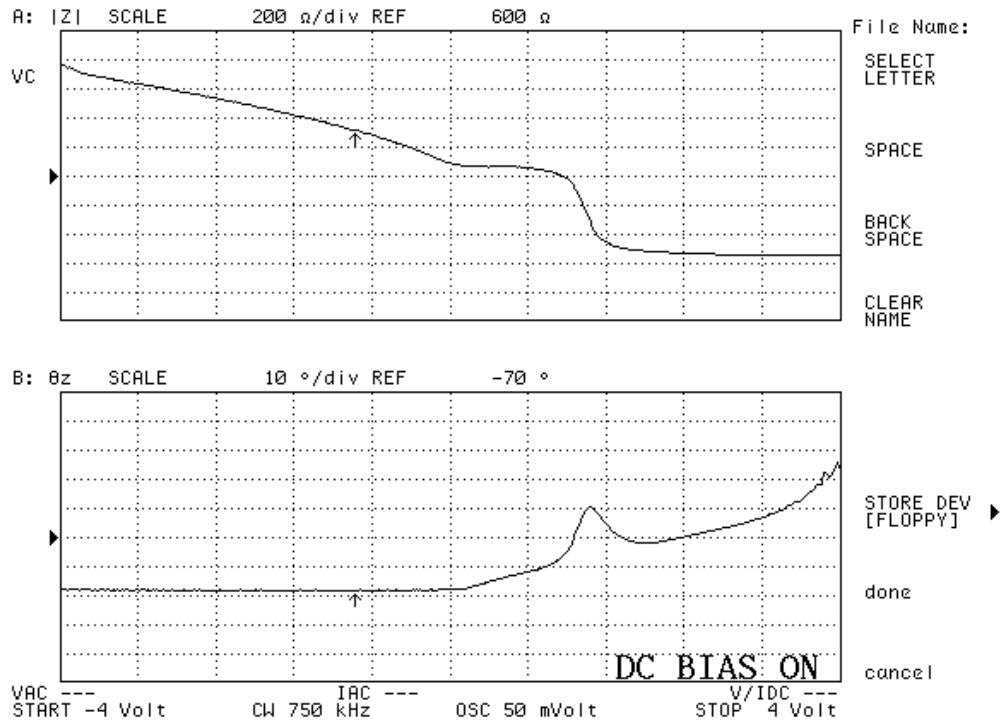
Şekil E.5.118. Cp-G grafikleri.



Şekil E.5.119. Cs-Rs grafikleri.



Şekil E.5.120. R-X grafikleri.

Şekil E.5.121. $|Z|$ - θ_z grafikleri.

Ek-6. Hesaplamalarda Kullanılan Fiziksel Sabitler

Simgesi	Açıklama
$e : 1.60217733 \times 10^{-19} \text{ C}$	Elektron yükü
$k_B : 1.380658 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$	Boltzmann Sabiti
$k_{Bi} : 8.625 \times 10^{-5} \text{ eV/}^\circ\text{K}$	İndirgenmiş Boltzmann Sabiti
$\epsilon_0 : 8.854 \times 10^{-14} \text{ F/cm}$	Boşluğun dielektriği
$\epsilon_S : 11.9$	Si'un Dielektrik Sabiti
$\epsilon_{SiO_2} : 0.34$	Yalıtkan Tabasının Dielektrik Sabiti
$\epsilon_S : 11.1$	GaP'in Dielektrik Sabiti
$r : 0.04 \text{ cm}$	Kontak Eleği Yarıçapı
$h : 6.6260755 \times 10^{-34} \text{ J.sn}$	Planck Sabiti
$m_0 : 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$	Elektronun Durgun Kütlesi
$\rho : 1.1 \text{ } \Omega.\text{cm}$	Si'un Öz direnci
$\rho : 0.115 \text{ } \Omega.\text{cm}$	GaP'in Öz direnci
$\mu : 1250 \text{ cm}^2/\text{V.sn}$	Si'un Mobilitesi
$\mu : 10 \text{ cm}^2/\text{V.sn}$	GaP'in Mobilitesi (Durum-01)
$\mu : 40 \text{ cm}^2/\text{V.sn}$	GaP'in Mobilitesi (Durum-02)
$\mu : 19 \text{ cm}^2/\text{V.sn}$	GaP'in Mobilitesi (Durum-03)
$E_{Fi} : 0.55 \text{ eV}$	Si'un Band Ortası Fermi Seviyesi
$E_{Fi} : 1.13 \text{ eV}$	GaP'in Band Ortası Fermi Seviyesi
$T : 300 \text{ }^\circ\text{K}$	Uygulama Sıcaklığı
$R_{Si} : 110 \text{ A/cm}^2.\text{K}^2$	Richardson Sabiti
$R_{GaP} : 98.2 \text{ A/cm}^2.\text{K}^2$	Richardson Sabiti

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Abdulkadir KORKUT

Doğum Yeri : Kuşçu-KAYSERİ

Doğum Yılı : 1966

Medeni Hali :Evli-İÇ

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise 1980-1983 İzmir Karşıyaka Lisesi

Lisans 1983-1988 Gazi Üni. Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü

Y. Lisans 1996-1999 Yüzüncü Yıl Üni. Fen Bilimleri Enst.

Yabancı Dil : İngilizce

İs Deneyimi :

1990-1992 İzmir Oto Sanayisinde Elektronik Montaj Teknisyeni (Bornova),

1992-1994 İstanbul Vatan Lisesi ve Gelenbevi Lisesinde Ücretli Öğretmenlik,

1994-1997 Bitlis Ahlat Selçuklu Lisesinde Öğretmenlik,

1997-1998 Van Süphan İÖO Fen Bilgisi Öğretmenliği,

1998-2000 Yüzüncü Yıl Üni., Fen Bilimleri Enst., Geçici Araş. Görevlisi,

2002-2004 Van Milli Eğitim Vakfı Lisesinde Fizik Öğretmenliği,

2004-2005 Van Cumhuriyet Lisesinde Fizik Öğretmenliği,

2005-.....- Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünde Araş. Görevlisi.