

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

128359

METAL/n- TİPİ GaAs SCHOTTKY DİYOTLARINDA
HAVADA OKSİTLENME ve YAŞLANMANIN
AKIM-GERİLİM (I-V) ve
KAPASİTE, KONDUKTANS-GERİLİM, FREKANS (C,G-V,f)
KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Danışman
Prof.Dr. Ali KÖKCE

AHMET FARUK ÖZDEMİR

DOKTORA TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI
ISPARTA, 2002

128359
T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

**TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**METAL/n- TİPİ GaAs SCHOTTKY DİYOTLARINDA
HAVADA OKSİTLENME ve YAŞLANMANIN
AKIM-GERİLİM (I-V) ve
KAPASİTE, KONDUKTANS-GERİLİM, FREKANS(C,V-G, θ)
KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ**

Ahmet Faruk ÖZDEMİR

**Doktora Tezi
FİZİK ANABİLİM DALI
ISPARTA 2002**

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu çalışma jürimiz tarafından FİZİK ANABİLİM DALI'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

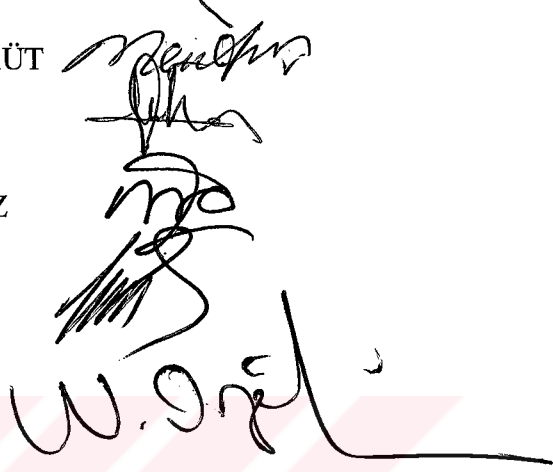
Başkan : Prof.Dr. Abdülmecit TÜRÜT

Üye : Prof.Dr. Ali KÖKCE

Üye : Prof.Dr. Mustafa CENGİZ

Üye : Prof.Dr. Nazım UÇAR

Üye : Doç.Dr. Nuri ÖZEK



ONAY

Bu tez 01 / 07 / 2002 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

25.10.7. / 200.2



S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof.Dr. Remzi KARAGÜZEL

*Annem, babam
Kardeşlerim Canan, Fehim, Huseyin, Kübra
ve
Oğlum Mehmet Serdar'a*



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. METAL-YARIİLETKEN KONTAKLAR.....	9
2.1. Giriş	9
2.2. n-tipi Yarıiletken/Metal Doğrultucu Kontaklar	10
2.3. n-tipi Yarıiletken / Metal Omik Kontaklar	12
2.4. Metal(Omik) / n-tipi Yarıiletken / Metal (Doğrultucu) Yapı	14
2.5. Metal-Yarıiletken Doğrultucu Kontakta Potansiyel Dağılımı ve Schottky Kapasitesi	14
2.6. Schottk Diyotlarda Termoyonik Emisyonla Akım İletimi	17
2.7. Alan Etkisi Nedeniyle Potansiyel Engeli Alçalması – Schottky Etkisi .	21
3. METAL-OKSİT-YARIİLETKEN YAPILAR	24
3.1. Metal-Oksit-Yarıiletken Yapılarda Arayüzey Hal Yoğunluklarının Uygulama Gerilimi ile Değişimi ve Akım-Gerilim İlişkileri	24
3.2. MIS(Metal-Insulating-Semiconductor) Schottky Diyotlarda İdealite Faktörü İfadeleri	28
3.3. Cheung Fonksiyonları ve Schottky Diyot Karakteristiklerinin Belirlenmesi	31

4. MATERYAL ve YÖNTEM	34
4.1. Giriş	34
4.2. GaAs Kristalinin Temizlenmesi	34
4.3. Oksit Tabakasız ve Tabii Oksit Tabakalı Numunelerin Hazırlanması .	34
4.4. Schottky Kontaklarda Akım-Gerilim Ölçümleri ile Diyot Parametrelerinin Hesaplanması	37
4.5. Schottky Kontaklarda Kapasite-Gerilim (C-V) Ölçümleri ile Diyot Parametrelerinin Hesaplanması	38
5. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	40
5.1. Akım-Gerilim Ölçümlerinden Elde Edilen Diyot Parametreleri	40
5.2. Kapasite-Gerilim Ölçümlerinden Elde Edilen Diyot Parametreleri	51
5.3. Kapasite-Frekans (C-f) Ölçümleri	60
6. SONUÇ VE TARTIŞMA	62
7. KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Laboratuvar ortamında temiz oda havasına maruz bırakılarak yüzeyi oksitlenen Au/n-GaAs Schottky diyotların havada oksitlenmesinin ve yaşlanmasının etkileri araştırıldı.

Bunun için [100] doğrultusunda büyütülmüş, 450 µm kalınlığında, donör konsantrasyonu $2-5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ olan iki yüzü parlatılmış, Tellerium katkılı n-tipi GaAs yarıiletkeni kullanıldı.

Schottky kontak yapımından önce, yarıiletken yüzeyindeki kirlerin giderilmesi için kimyasal temizleme işlemi yapıldı. Daha sonra yarıiletken dilimin arka yüzeyine Au-Ge (%88, %12) alaşımı buharlaştırılarak ve tavlama işlemi için N_2 ortamında, 450 °C'de 3 dk. tutularak omik kontak yapıldı. Numune altı eşit parçaya bölündükten sonra ilk parçasına hemen, diğerlerine de belli periyotlarla (beş gün, on gün, yirmi gün, otuz gün, kırk beş gün) Schottky kontaklar yapıldı. Böylece oksit tabakasız (referans) ve tabii oksit tabakalı Schottky diyotlar elde edildi.

Bütün numunelerin *I-V*, *C-V* ve *C-f* ölçümleri alındıktan sonra, yaşlanma etkisini tespit etmek için Schottky kantağın yapılmasından sonra, ölçümler, bir hafta, on beş gün, otuz gün, kırk beş gün, yetmiş beş gün ve yüz beş gün sonra tekrarlandı. Bu veriler kullanılarak diyot parametreleri hesaplandı. Hesaplanan idealite faktörü ve engel yüksekliği değerleri referans numunenin, ideal Schottky diyot yapısına sahip olduğunu gösterdi. İlaveten, uygulama geriliminin tamamının Schottky bölgesi boyunca düştüğünü ve akımın termoiyonik emisyon akım teorisine uygun olduğu gözlemlendi. Referans diyotun diyot parametreleri yaşlanma süresiyle hemen hemen değişmeden kaldı. Yaşlanmayla ölçülen değerlerde 5., 10., 20. günlerde yapılan numunelerde dengeye ulaşılmazken, 30. ve 45. günlerde yapılan numunelerde kararlı değerlere ulaşıldı. Tabii oksit tabakasına sahip numunelerin idealite faktörlerinin referans numuneninkine göre daha büyük fakat engel yüksekliklerinin daha düşük olduğu bulundu. Böylece bu diyotların *MIS* (Metal-yalıtkan-yarıiletken) yapılı bir davranışa sahip olduğu görüldü. Ayrıca, diyotlar için engel yüksekliğine imaj kuvvetinin ve tünellemenin etkileri belirlendi.

ANAHTAR KELİMELELER: Schottky engel diyotlar, denge engel değeri, maruz kalma zamanı, yaşlanma, idealite faktörü.

ABSTRACT

The effects of oxidation in air and aging on Au/n-GaAs Schottky diodes by exposure to the clean room air in the laboratory medium were investigated.

For this purpose, a manufacturally cleaned and polished Te-doped n-type GaAs wafer with orientation of [100], a thickness of 450 μm and $2\text{-}5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ carrier concentrations was used.

Before making Schottky contacts, the n-GaAs wafer was subject to the etching process in order to remove undesirable impurities. Ohmic contacts on the back of the wafer were formed by evaporation of Au-Ge(%88, %12) and thermal annealing at 450 $^{\circ}\text{C}$ for 15 minute in flowing N_2 in the quartz tube furnace. After division of the wafer into six equal pieces, Schottky contacts were made to one of the pieces immediately and the rest were treated the same way periodically (exposed to air for 5 days, 10 days, 20 days, 30 days and 45 days). Thus, Schottky diodes with and without the native oxide layer were obtained.

After I-V, C-V, C-f measurements of the all samples were taken, the measurements were repeated 7 days, 15 days, 30 days, 45 days, 75 days, 105 days after fabrication of the Schottky contacts in order to determine the effect of ageing. Using these data, the diode parameters were calculated. The observed ideality factor and barrier height values indicated that the reference sample had an ideal behavior of Schottky diodes. Additionally, the complete drop of the applied voltage along the Schottky region and the current fitting to the thermionic emission current theory were observed. The diode parameters of the reference sample remained almost unchanged as a function of the ageing. While the values measured as a function of ageing did not reach the equilibrium for the samples made on the 5th, 10th and 20th days, the steady values were reach by the samples made on the 30th and 45th days. The ideality factors of the samples with native oxide layer were determined to be higher, but the barrier heights were lower than the values of the reference sample. Therefore, these observations suggest that the diodes have a behavior of MIS configuration. In addition, for these diodes, the effect of image force and tunneling to the barrier height was determined.

KEY WORDS: Schottky barrier diodes, equilibrium barrier value, exposure time, ageing, ideality factor.

TEŞEKKÜR

Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne doktora tezi olarak sunduğum bu çalışma, Fen-Edebiyat Fakültesi öğretim üyelerinden Prof.Dr. Ali KÖKCE danışmanlığında yapılmıştır. Tezin, laboratuvar çalışmaları Atatürk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Katıhal Araştırma Laboratuvarında Prof.Dr. Abdülmecit TÜRÜT önderliğinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın tamamlanmasında ve karşılaşılan problemlerin aşılmasında her türlü desteği gördüğüm, engin tecrübelerinden, bilgilerinden istifade ettiğim, değerli hocalarım Prof.Dr. Ali KÖKCE'ye ve Prof.Dr. Abdülmecit TÜRÜT'e en kalbi teşekkürlerimi arz ederim.

Deneylemleri yapmak için laboratuvarlarını ve bölüm imkanlarını herhangi bir karşılık gözetmeksizin açan, Erzurum Atatürk Üniversitesi Fizik Bölümü önceki başkanı Prof.Dr. Yahya Kemal YOĞURTCU'ya ve şu anki başkanı Prof.Dr. Yusuf ŞAHİN'e teşekkür ederim.

Deney yapmak ve ölçümleri almak için Erzurum'a gitmem konusunda izin veren ve destekleyen önceki dekanımız Prof.Dr. Bayram KODAMAN'a ve şimdiki dekanımız Prof.Dr. A.Güleren ALSANCAK'a da teşekkür ederim.

Ölçümlerini yaptığım cihazların bilgisayar otomasyonunu gerçekleştiren A.Ü. Fen-Ed. Fakültesi öğretim üyelerinden Prof.Dr. Hasan EFEOĞLU ve Yrd.Doç.Dr. Mehmet BİBER'e, laboratuvar çalışmaları boyunca yardımlarını gördüğüm Y.Y.Ü. Fen-Ed. Fakültesinden Arş.Grv.Dr. Cabir TEMİRCİ ve S.İ.Ü. Fen-Ed. Fakültesinden Arş.Grv. Muzaffer ÇAKAR'a da ayrıca teşekkür ederim. Tezin anlatım dilinin düzeltilmesinde yardımcı olan canım babam Kemal ÖZDEMİR'e de şükranlarımı arz ederim.

Son olarak, hem çalışma süresince hem de tüm hayatım boyunca yanımda olmadıkları zamanlarda bile ilgilerini, desteklerini ve sevgilerini eksik etmeyen babama, anneme ve kardeşlerime teşekkür ederim...

Bu tez, Süleyman Demirel Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından SDÜ-420 nolu proje ile desteklenmiştir.

SİMGELER DİZİNİ

$f(E)$	Fermi dağılım fonksiyonu
E_f	Fermi enerjisi
Φ	İş fonksiyonu
χ_s	Elektron yakınlığı
E_c	İletkenlik bandı enerji seviyesi
E_v	Valans bandı enerji seviyesi
Φ_m	Metalin iş fonksiyonu
Φ_s	Yarıiletkenin iş fonksiyonu
T	Sıcaklık
e	Elektronun yükü
V_d	Difüzyon potansiyeli
I	Akım
I_o	Doyma Akımı
V	Uygulama voltajı
k	Boltzman sabiti
Ψ	Potansiyel fonksiyonu
ρ	Uzay yükü yoğunluğu
ϵ_s	Yarıiletkenin dielektrik sabiti
ϵ_o	Boşluğun dielektrik sabiti
N_d	Taşıyıcı yoğunluğu
n	İletkenlik bandındaki elektron yoğunluğu
x	Konum
d	Schottky tabaka kalınlığı
C	Kapasite
Q	Yük miktarı
A	Diyot alanı
$J_{m \rightarrow s}$	Metalden yarıiletkene akım yoğunluğu
$J_{s \rightarrow m}$	Yarıiletkenden metale akım yoğunluğu
v	Taşıyıcı termal hızı
m^*	Etkin kütle

h	Planck sabiti
g_c	İletkenlik bandındaki hal yoğunluğu
A^*	Richardson sabiti
Φ_{bn}	İmaj kuvvet nedeniyle azalan Schottky engel yüksekliği
E	Elektriksel alan
F	Elektriksel kuvvet
P	Potansiyel enerji
Q_{ss}	Arayüzey yük yoğunluğu
N_{ss}	Arayüzey hal yoğunluğu
$\Phi_{b,o}$	Schottky engel yüksekliği (termal denge durumunda)
n	İdealite faktörü
E_{ss}	Arayüzey halleri enerjisi
V_s	Deplasyon bölgesindeki gerilim düşmesi
V_i	Arayüzeydeki gerilim düşmesi
Q_{sc}	Deplasyon tabakasındaki uzay yükü yoğunluğu
R_s	Seri direnç
E_g	Yasak bölge enerjisi
Φ_o	Görünür engel yüksekliği
V_n	İletkenlik bandınının tabanı ile fermi seviye arasındaki fark

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. (a) Yarıiletken veya yalıtkanın kristal modelinde enerji-bant diyagramı. (b) Saf yarıiletken için Fermi dağılım fonksiyonunun enerjiye göre değişimi.....	10
Şekil 2.2. Metal-yarıiletken doğrultucu kontağın enerji-bant diyagramı: (a) Kontakta önce, metal ve yarıiletkenin enerji bant diyagramı, (b) Kontakta sonra termal dengedeki enerji-bant diyagramı, (c) $V < 0$ olması halinde enerji-bant diyagramı, (d) $V > 0$ olması halinde enerji-bant diyagramı.....	11
Şekil 2.3. Omik kontağın enerji-bant diyagramı: (a) Kontakta önce, metal ve yarıiletkenin enerji bant diyagramı, (b) Kontakta sonra termal dengedeki enerji-bant diyagramı, (c) $V < 0$ olması halinde enerji-bant diyagramı, (d) $V > 0$ olması halinde enerji-bant diyagramı	13
Şekil 2.4. Yarıiletken diyodun enerji-bant diyagramı	15
Şekil 2.5. Metal/n-tipi doğrultucu kontağın a) Potansiyel dağılımının konuma bağlı, b) Yük dağılımının konuma bağlı grafikleridir	16
Şekil 2.6. Doğru beslem altındaki metal yarıiletken Schottky kontakta imaj azalma etkisine ait enerji-bant diyagramı	17
Şekil 2.7. Uygulama voltajının $V=0$ olması halinde metal-yarıiletken doğrultucu kontakta bir taşıyıcı için potansiyel engelinin değişimi	25
Şekil 3.1. Arayüzey tabakalı metal/n-tipi yarıiletken Schottky diyodun uygulama gerilimi altındaki enerji-bant diyagramı	35
Şekil 4.1. Tavlama fırını ve sıcaklık kontrol ünitesi şeması.....	35
Şekil 5.1. A numunesinin A1 ölçümüne ait Cheung fonksiyonu grafikleri.....	40
Şekil 5.2. Oksit tabakasız ve oksit tabakalı Au/n-GaAs Schottky kontakların hemen alınan ölçümlerinden elde edilen ters ve doğru beslem lnI-V grafikleri	42
Şekil 5.3. Oksit tabakasız A numunesinin zamana bağlı ölçümlerinin ters ve doğru beslem lnI-V grafikleri	45

Şekil 5.4. 5 gün havaya maruz bıraktıktan sonra Schottky kontağı yapılmış B numunesinin zamana bağlı ölçümlerinin ters ve doğru beslem InI-V grafikleri.....	46
Şekil 5.5. 10 gün havaya maruz bırakıldıktan sonra Schottky kontağı yapılmış C numunesinin zamana bağlı ölçümlerinin ters ve doğru beslem InI-V grafikleri.....	47
Şekil 5.6. 20 gün havaya maruz bırakıldıktan sonra Schottky kontağı yapılmış D numunesinin zamana bağlı ölçümlerinin ters ve doğru beslem InI-V grafikleri.....	48
Şekil 5.7. 30 gün havaya maruz bırakıldıktan sonra Schottky kontağı yapılmış E numunesinin zamana bağlı ölçümlerinin ters ve doğru beslem InI-V grafikleri.....	49
Şekil 5.8. 45 gün havaya maruz bırakıldıktan sonra Schottky kontağı yapılmış F numunesinin zamana bağlı ölçümlerinin ters ve doğru beslem InI-V grafikleri.....	50
Şekil 5.9. Oksit tabakasız ve oksit tabakalı Au/n-GaAs Schottky diyotların hemen alınan ölçümlerinden ters beslem altındaki C-V grafikleri.....	51
Şekil 5.10. Oksit tabakasız ve oksit tabakalı Au/n-GaAs Schottky diyotların hemen alınan ölçümlerinden elde edilen C^{-2} -V grafikleri.....	52
Şekil 5.11. Oksit tabakasız A numunesinin zamana bağlı ölçümlerinden elde edilen C^{-2} -V grafikleri.....	53
Şekil 5.12. 5 gün havaya maruz bırakılarak Schottky kontağı yapılmış B numunesinin zamana bağlı ölçümlerinden elde edilen C^{-2} -V grafikleri.....	54
Şekil 5.13. 10 gün havaya maruz bırakıldıktan sonra Schottky kontağı yapılmış C numunesinin zamana bağlı ölçümlerinden elde edilen C^{-2} -V grafikleri.....	55

- Şekil 5.14. 20 gün havaya maruz bırakıldıktan sonra Schottky kontağı yapılmış D numunesinin zamana bağlı ölçümlerinden elde edilen C^2 -V grafikleri56
- Şekil 5.15. 30 gün havaya maruz bırakıldıktan sonra Schottky kontağı yapılmış E numunesinin zamana bağlı ölçümlerinden elde edilen C^2 -V grafikleri57
- Şekil 5.16. 45 gün havaya maruz bırakıldıktan sonra Schottky kontağı yapılmış F numunesinin zamana bağlı ölçümlerinden elde edilen C^2 -V grafikleri58
- Şekil 5.17. Oksit tabakasız A numunesinin zamana bağlı ölçümlerinin sabit 1000 kHz frekans altında iletkenliğinin frekansla değişimi59
- Şekil 5.18. Oksit tabakasız ve oksit tabakalı A, B, C, D, E, F Schottky diyotlarının hemen alınan ölçümlerinin sabit 1000 kHz frekans altında iletkenliğinin frekansla değişimi.....59
- Şekil 5.19. Oksit tabakasız A diyotunun zamana bağlı ölçümleri için $V=0$ Volt gerilim altında kapasitenin frekansla değişimi60
- Şekil 5.20. Oksit tabakasız A diyotunun zamana bağlı ölçümleri için $V=0.06$ Volt gerilim altında kapasitenin frekansla değişimi61
- Şekil 5.21. Oksit tabakasız A diyotunun zamana bağlı ölçümleri için $V=0.12$ Volt gerilim altında kapasitenin frekansla değişimi61
- Şekil 6.1. Her bir diyotun hemen alınan ölçümleri için I-V karakteristikleri kullanılarak hesaplanan idealite faktörü ve engel yüksekliği değerlerinin zamana bağlı değişimi65
- Şekil 6.2. Her diyotun zamana bağlı ölçümlerinden hesaplanan engel yüksekliği değerinin zamana bağlılığını gösteren yaşlanma etkisi.....69
- Şekil 6.3. Her bir diyotun hemen alınan ölçümlerinden hesaplanan taşıyıcı yoğunluğunun zamana bağlı değişimi71

ÇİZELGELER DİZİNİ

- Tablo 5.1. Yapılan numunelerin hemen alınan ölçümlerinin karşılaştırılmasıyla hesaplanan bazı karakteristik parametrelerinin deneysel değerleri. Numunelerin hemen alınan ölçümleri: A1, B1, C1, D1, E1, F1 olarak isimlendirildi41
- Tablo 5.2. Au/n-GaAs numunesine omik kontak yapıldıktan sonra hemen Schottky kontağı yapılarak elde edilen oksit tabakasız referans A numunesi. Bu numunenin zamana bağlı alınan ölçümlerinden hesaplanan bazı karakteristik parametrelerinin deneysel değerleri43
- Tablo 5.3. Omik kontak yapıldıktan sonra, yüzeyi 5 gün havaya maruz bırakarak, tabii oksit tabakası oluşturulan ve Schottky kontağı yapılan B numunesi. Bu numunenin zamana bağlı alınan ölçümlerinden hesaplanan bazı karakteristik parametrelerinin deneysel değerleri43
- Tablo 5.4. Omik kontak yapıldıktan sonra yüzeyi 10 gün havaya maruz bırakılarak, tabii oksit tabakası oluşturulan ve Schottky kontağı yapılan C numunesi. Bu numunenin zamana bağlı alınan ölçümlerinden hesaplanan bazı karakteristik parametrelerinin deneysel değerleri43
- Tablo 5.5. Omik kontak yapıldıktan sonra yüzeyi 20 gün havaya maruz bırakılarak, tabii oksit tabakası oluşturulan ve Schottky kontağı yapılan D numunesi. Bu numunenin zamana bağlı alınan ölçümlerinden hesaplanan bazı karakteristik parametrelerinin deneysel değerleri44
- Tablo 5.6. Omik kontak yapıldıktan sonra yüzeyi 30 gün havaya maruz bırakılarak, tabii oksit tabakası oluşturulan ve Schottky kontağı yapılan E numunesi. Bu numunenin zamana bağlı alınan ölçümlerinden hesaplanan bazı karakteristik parametrelerinin deneysel değerleri44

Tablo 5.7. Omik kontak yapıldıktan sonra yüzeyi 45 gün havaya maruz bırakılarak, tabii oksit tabakası oluşturulan ve Schottky kontağı yapılan F numunesi. Bu numunenin zamana bağlı alınan ölçümlerinden hesaplanan bazı karakteristik parametrelerinin deneysel değerleri	44
Tablo 5.8. Yapılan numunelerin, hemen alınan ölçümlerinin, C-V metodu ile hesaplanmış olan bazı deneysel parametrelerine ait ortalama değerler	52
Tablo 5.9. A numunesinin zamana bağlı alınan ölçümlerinin, C-V metodu ile hesaplanmış olan bazı deneysel parametrelerine ait ortalama değerler	53
Tablo 5.10. B numunesinin zamana bağlı alınan ölçümlerinin, C-V metodu ile hesaplanmış olan bazı deneysel parametrelerine ait ortalama değerler	54
Tablo 5.11. C numunesinin zamana bağlı alınan ölçümlerinin, C-V metodu ile hesaplanmış olan bazı deneysel parametrelerine ait ortalama değerler	55
Tablo 5.12. D numunesinin zamana bağlı alınan ölçümlerinin, C-V metodu ile hesaplanmış olan bazı deneysel parametrelerine ait ortalama değerler	56
Tablo 5.13. E numunesinin zamana bağlı alınan ölçümlerinin, C-V metodu ile hesaplanmış olan bazı deneysel parametrelerine ait ortalama değerler	57
Tablo 5.14. F numunesinin zamana bağlı alınan ölçümlerinin, C-V metodu ile hesaplanmış olan bazı deneysel parametrelerine ait ortalama değerler	58

1. GİRİŞ

Teknolojide elektronik devre elemanları içerisinde metal-yarıiletken (MS) Schottky kontaklar önemli bir yere sahiptir. Schottky diyotlar (SD), yarıiletken dedektörler, güneş pilleri, metal-yarıiletken alan etkili transistörler (MESFET) ve mikrodalga devre elemanları türünden bir çok elektronik devre elemanları Schottky kontaklar oluşturularak yapılmaktadır. GaAs ve InP, bu alanda en sık olarak kullanılan III-V grubu yarıiletkenleridir.

Devre elemanlarının üretiminde, ideal olmayan metal-yarıiletken Schottky kontak yapının, metal-oksit ve oksit-yarıiletken arayüzeylerdeki davranışlarının, ayrıca oksit ve yarıiletken davranışlarının bilinmesi çok önemlidir. Üretilen bir devre elemanının tam kapasite ile çalışabilmesi, devreyi oluşturan temel yapının tüm özelliklerinin bilinmesine ve böylece çıkabilecek tüm aksaklıkların giderilebilmesine bağlıdır. Bu alanda yapılan çalışmaların amacı, bir taraftan bu yapıların fiziksel özelliklerini, parametrelerini tayin etmek, diğer taraftan da bu özelliklerden faydalanarak daha verimli ve yeni devre elemanları geliştirmek, üretmektir.

Metal-yarıiletken arayüzeyinin en önemli özelliği, arayüzey boyunca oluşan potansiyel engelinin varlığıdır. Bu konu üzerine yapılan araştırmalar 1870'li yıllara kadar uzanmaktadır. Arayüzeyin oluşumunda, yarıiletkenin oynadığı rolün içlere doğru gidildikçe azaldığı 1930'lu yıllarda anlaşılabilir. Bundan sonra, arayüzeyde oluşan potansiyel engeli üzerine değişik modeller önerilmeye başlandı. 1938 yılında Schottky ve aynı yılda Mott tarafından önerilen modellerde, 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 kirlilik atomlarının bulunmadığını, buna bağlı elektrik alanının sabit olduğunu kabul etti. Ayrıca elektrostatik potansiyelin metale olan uzaklıkla lineer değiştiğini varsaydı. Schottky ise; engel bölgesinin sabit yoğunlukta yüklü kirlilik atomları içerdiğini, buna paralel olarak da elektrik alanının lineer olarak arttığını varsaydı. Bunun yanında, elektrostatik potansiyelin metal sınırına kadar, Poisson denklemi ile uyum içinde, kuadratik olarak değiştiğini kabul etti. 1947 yılında

Bardeen, metal-yarıiletken arayüzeyinde yeterince yüzey halleri varsa, potansiyel engel yüksekliğinin metalin iş fonksiyonundan bağımsız olduğunu dile getirdi. Bahsettiğimiz klasik modellerin yanı sıra, arayüzey tabakasının kimyasal oluşumu üzerine de bazı modeller sunulmuştur. Freeouf tarafından önerilen Etkin İş Fonksiyonu Modeli bunlardan biridir. 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 kontaminasyonu sonucunda oluşurlar.

Yarıiletken kristal yüzeyler genellikle laboratuvar ortamında tabii 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 bir çok deneysel ve teorik çalışmalar yapmışlardır.

Örnek olarak; Tunner ve Rhoderick (1968), yarılmış ve kimyasal olarak temizlenmiş yüzeylerdeki engel yüksekliğinde, altın ve nikel için hiçbir farklılık yokken temizlenmiş yüzeylerde kurşun, çinko ve alüminyum için önemli bir azalma hesapladılar. Ve aynı zamanda Au/n-Si diyotlardaki yaşlanma etkilerini çalıştılar. Bunun ötesinde onlar, Au kontaklar için 1000 saat süresince ölçülmüş Schottky engellerinde 0.2 eV civarında bir değişimin kimyasal olarak temizlenmiş yüzeylerdeki metaller için önemli olduğuna işaret ettiler. Schmidt vd. (1988), 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. Vanalme vd. (1999), Schottky engel yüksekliğinin dağılımını, Au/III-IV yarıiletken diyotlardaki kontak bölgesinde

EC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANİSYON BİRİMİ

balistik elektron emisyon mikroskopisi kullanarak tespit ettiler. Sulu HF veya HCl çözeltilerinde kimyasal ön hazırlama almış örnekler, engel yükseklik dağılımında değişiklikler gösterdi. Sugimura vd. (1999), GaAs tabakaları, UV ve ozon oksidasyon sistemi kullanarak, doğrudan oksidasyon işlemine tabi tuttular ve Ni/yalıtkan/n-GaAs MIS diyotlar yaptılar. Onlar, saturasyon akımının, kontrollü UV ve ozon muamelesinin süresiyle kontrol edilebileceğini gözlemlediler. Kang ve Park (1999), 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.

Newman vd. (1986); 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 beslemde, etkin I-V engel yüksekliğinde bir azalma, idealite faktöründe bir artma ve ters beslemde uygulama voltajının termoiyonik 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 (doğrultulu) temiz GaAs ile, kimyasal olarak temizlenmiş GaAs yüzeyler üzerine yapılmış diyotlardaki engel yüksekliklerinin aynı olduğunu gözlemlediler.

Spicer vd. (1979, 1980), 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. Mönch (1987, 1999), engel yüksekliğinin kimyasal temizleme işlemine bağlı olarak değişimini ve

arayüzeyde dipol tabakasının oluşumunu, metal ile yarıiletken arasındaki farklı elektronegatiflikten kaynaklandığını gösterdi.

Hanselaer vd. (1986), n-tipi ve p-tipi Si(111)Au, Cr ve Ti MIS yapıların, ön buharlaştırmalı yüzey davranışlarının elektriksel karakteristikleri üzerine etkilerini araştırdılar. Tüm numuneleri önce trikloretilen, aceton ve metanolda yıkadılar ve numuneyi S1 diye adlandırdılar. Sonra bunların bazılarını metanolde ultrasonik yıkayıp, N₂ ve Ar'da kuruttuktan sonra HF(%39) de bekleterek, S2, diğer kalan türleri de, önemsenmeyecek bir basınç altında maksimum 530 °C'de ısıtma, yıkama ve soğutma işlemlerinden ibaret düşük bir sıcaklık tavlamaıyla S3 numuneleri olarak elde ettiler. Tabii oksit tabakalarının kalınlığı elipsometre ile belirlendi. Daha sonra düşük dirençli omik kontaklar yapıldı. S1 numuneleri için C-V tekniğiyle ölçülen engel yüksekliğinin metale bağlı olduğunu, büyük iş fonksiyonlu metal/Si kontakların, n-tipi Si'larda büyük engel yüksekliği verdiğini, fakat p-tipi Si'larda hemen hemen omik davrandığını, S2 numunelerini S1'le karşılaştırdıklarında HF davranışının n-tipi kontaklarda engel yüksekliğini artırdığını p-tipi kontaklarda ise daha düşük engel yüksekliklerine sebep olduğunu, S3 numuneleriyle S1'i karşılaştırdıklarında ise tavlama işleminin p-tipi kontaklarda yüksek ve n-tipi kontaklarda düşük engel yüksekliğine sebep olduğunu buldular. Yüzey işleminin engel yüksekliğine etkisini gözlemledikleri ve farklı iş fonksiyonlu metal kullandıklarından bu etkinin nitelik olarak metalden bağımsız olduğunu, HF ile hazırlama yönteminin n-tipi kontaklarda, tavlama işleminin p-tipi Si kontaklarda engel yüksekliğini artırdığını ve bunun sebebinin de ön buharlaştırmanın sebep olduğu arayüzey yüklerindeki bir değişimden kaynaklandığı sonucuna vardılar. Ayrıca yüzeyi HF'ye maruz bırakılmamış numunelerden yapılmış diyotların engel yüksekliğinin iş fonksiyonuna bağlılığını da, muhtemelen yüzey hallerinin etkisini önemsiz yapan yalıtkan tabakanın varlığından kaynaklandığını ifade ettiler.

K. Prasad (1995), farklı teknikler kullanarak temizlenmiş n-tipi ve p-tipi GaAs yüzeylere Titanium Schottky kontaklar yapıp 1000 saate kadar yüksek sıcaklıkta (200°C de) yaşlandırdı ve elektriksel parametrelerini gözlemledi. Kristalleri hem fotokimyasal pasivasyon hem de diğer temizleme yöntemlerine (20:1 H₂O:H₂SO₄ ile 10s. veya 20:1 H₂O:H₃PO₄ ile 10 s. veya H₂O:H₂O₂ çözeltisiyle 4:1 60s. ve ardından

60s. 4:1 H₂O:HCl çözeltisi ile) tabi tuttu. Fotokimyasal pasivasyon işlemi deiyonize su içinde %36 HCl 1:1 çözeltisiyle gerçekleştirildi. C-V tekniğiyle bulunmuş Schottky engel yüksekliğinin Schottky kontak oluşumundan önceki temizleme işlemiyle değişmediğini, sıfır beslem engel yüksekliğinin I-V den hesaplanan H₂SO₄ ile temizlemeden sonra arttığını bununda sülfür kirlerinden olduğunu ileri sürdü. İdealite faktöründe, yaşlanmaya bağlı herhangi bir farklılık sergilenmedi ve hem n-tipi hem de p-tipi için idealite faktör değeri 1-1.2 aralığında kaldı. Diyot saturasyon akımı yaşlanmayla, yüzey işleminden bağımsız arttı. Bu akımdaki değişim, yaşlanmadan sonra fotokimyasal olarak pasifize edilmiş yüzeylerle yapılmış diyotlarda, diğer teknikler kullanılarak yapılanlardan daha azdır. Kararlı ve kirden arındırılmış GaAs yüzeyler elde etmenin en iyi yolunun GaAs yüzeyin fotokimyasal pasifasyonla temizleme olduğunu gösterdi. Böyle diyotların diğer temizleme yöntemleriyle yapılmış diyotlardan daha muntazam karakteristik diyot parametreleri verdiğini buldu. Ayrıca 1000 saatten sonra, fotokimyasal yöntemin diyot parametrelerinin diğer asit temelli prosedürlerden yapılmış yüzeylerden daha küçük derecede düşmeler sergilediğini ifade etti.

Tseng ve Wu (1987), Schottky engelli diyotlar için, arayüzey hallerini, bazı mekanizmaları gözönüne alarak, bir arayüzey tabaka teorisi geliştirdiler. Teoride, ters beslem I-V karakteristiğini, ideal C⁻²-V karakteristiği ile ilişkilendirip, arayüzey tabaka kapasitesi birimleriyle modellendirilebileceğini ve doğru beslem I-V ile yine C⁻²-V birlikte, arayüzey hallerinin dağılımının metalden yarıiletken geçiş katkısının bulunması gerektiğini ifade ettiler. Teorinin deneysel doğrulamasını da Al/p-Si ve Al/n-Si dan yapılmış Schottky engelli diyotların ölçümlerini alarak, bunların doğru beslem I-V karakteristiklerinden çıkarılmış olan yarıiletken bant genişliğindeki arayüzey hallerinin yoğunluk dağılımının karşılaştırılmasıyla yaptılar. Deneyle teori arasında büyük bir uyum sergilendiğini gösterdiler.

Hirota (1993), n-tipi (001)-GaAs yüzeyleri ultrasonik çalışan deiyonize su yöntemiyle (URDIW) hazırlayarak, 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. Deneysel 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.

Kiyota vd. (1995); elmas film üzerine yapılmış Schottky engellerin elektriksel karakteristiklerini çalıştılar. İki tip örnek yaparak, ilkinde büyütölmüş film, diğerinde yüksek sıcaklıkta oksitlenmiş film üzerine kontak yaptılar. Hem büyütölmüş film, hem de oksitlenmiş film üzerine yapılan Al kontakların I-V karakteristikleri doğrutucu özellik gösterirken, büyütölmüş film üzerine yapılan Au kontak omik özellik, oksitlenmiş film üzerine yapılan Au kontak ise doğrutucu özellik gösterdiğini gözlemlədiler. Buna göre, oksitlenmiş filmdeki Schottky engel yüksekliğinin metalden bağımsız, büyütölmüş film üzerindeki ise iş fonksiyonuna veya metalin elektronegatifliğine sıkıca bağlı olduğunu ifade ettiler. Ayrıca büyütölmüş elmas üzerindeki engel tabakasının mekanizmasının oksitlenmeyle kesin olarak değiştüğünü vurguladılar.

Miret vd. (1988), havaya maruz bırakılmış ve kimyasal olarak temizlenmiş GaAs yüzeyler üzerine oluşturulan Schottky diyotların elektriksel yaşlanmasını çalıştılar. Onlar, değişik metallere yapılan (Ag, Al, Au, Pd, Cr) GaAs(110) kantağın engel yüksekliğinin büyük bir voltaj ve akım zoru uygulaması ile büyük oranda değişeceğini gösterdiler. Büyük bir ters beslem uygulamasının, diyotların yapısal ve elektriksel özelliklerinde bir değişim oluşturabileceğini belirlediler. Diyodun elektriksel karakteristiklerindeki bu beslem 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 UHV-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 kaydadeğer bir değişim(~10 meV) sergilemediler.

Sağlam vd. (1996), (Au/n-GaAs Schottky diyotlarda), bunlardan bağımsız olarak da Ayyıldız vd. (1996), (Au/n-Si Schottky diyotlarda), doğru beslem 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_i) dikkate alarak tartıştılar. Deneysel olarak, oksit tabakalı ve oksit tabakasız GaAs diyotların doğru beslem I-V karakteristiklerini elde ettiler. Teorik olarak da, diyotların doğru beslem I-V deki tabaka kalınlığı ve arayüzey hal yoğunluk parametrelerinin etkilerini göz önüne alarak bir V_i ifadesi elde ettiler. Arayüzey oksit tabakalı diyodun seri direncinin, diğerinden daha büyük olmasının bu tabakanın seri dirence katkısından kaynaklandığını öne sürdüler. Elde edilen teorik formüle göre oksit tabakalı diyotun V_i 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.

Yukarıda bahsettiğimiz gibi, oksidasyon ve tabaka temizleme, gerçekleştirilen temizleme yöntemlerinin mekanizmalarını detaylıca anlamak, yüksek performanslı malzeme üretmenin temelidir. İlâveten, malzeme imalatından sonra, onun zamana bağlı performansı ve kararlılığı imalatta önemli bir noktadır. Bu yüzden, metal buharlaştırmadan önce temiz oda havasına maruz kalmış, kimyasal olarak temizlenmiş n-tipi GaAs yarıiletkeninden yapılmış Au/n-GaAs Schottky diyotların

ve bu diyotlardaki yaşlanma etkilerinin deneysel sonuçlarını incelenmek ve karşılaştırmak çalışmamızın asıl amacıdır. Kullandığımız parlatılmış n-tipi GaAs(100), öncelikli olarak, yüzeydeki bulunabilecek pürüzlü tabakayı ve kirleri kaldırmak için bir dk. $5\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$ çözeltisinde ve sonra $\text{H}_2\text{O} + \text{HCl}$ çözeltisinde ve ardından 18 Ω luk deiyonize suyla iyice yıkanarak temizlendi. Daha sonra, yarıiletkenin bir yüzüne omik kontak yapıldıktan sonra $35 \times 5 \times 0,05$ mm ebadında altı parçaya bölündü. Parçalardan birisine hemen Au kontak yapılarak oksit tabakasız Schottky diyot elde edildi. Diğer parçalarda beş, on, yirmi, otuz ve kırk beş gün oda atmosferinde havaya maruz bırakılarak tabii oksit tabakası oluşturuldu ve bu sürelerin sonunda metal kontak yapıldı. Numunelerin yapıldıktan hemen sonra ve 7, 15, 30, 45, 75, 105 gün süre aralıklarında ölçümleri alınarak, oksit tabakasız ve oksit tabakalı diyotlar ve yaşlanma etkisinin I-V, C-V ve C-f ölçümlerinden elde edilen parametrelerinin karşılaştırılması sağlandı. Yine bu diyotlar için kullanılan GaAs yarıiletkeni yüksek konsantrasyonlu olduğundan engel yüksekliğine imaj kuvvetinden (Schottky etkisi) ve tünellemeden gelen katkı da hesaplandı.

2. METAL-YARIİLETKEN KONTAKLAR

2.1. Giriş

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 enerji seviyeleri aynı düzeye gelir. Bu durum iki metal arasında olduğu gibi, metal ile yarıiletkenler (n-tipi veya p-tipi) arasında da olabilir. Bir yarıiletkenin enerji-bant diyagramı Şekil 2.1(a)'da görülmektedir.

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

- a) Doğrultucu kontak
- b) Omik kontak

olarak sınıflandırılır.

Omik ve doğrultucu kontakın fiziksel özellikleri ve akım iletimi katıhal elektronüğının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Fermi enerji seviyesi (E_f), iş fonksiyonu (Φ) ve yarıiletkenin elektron yakınlığı (χ_s) bir katının özelliklerini anlatan parametrelerdir. Bunları şöyle tanımlayabiliriz:

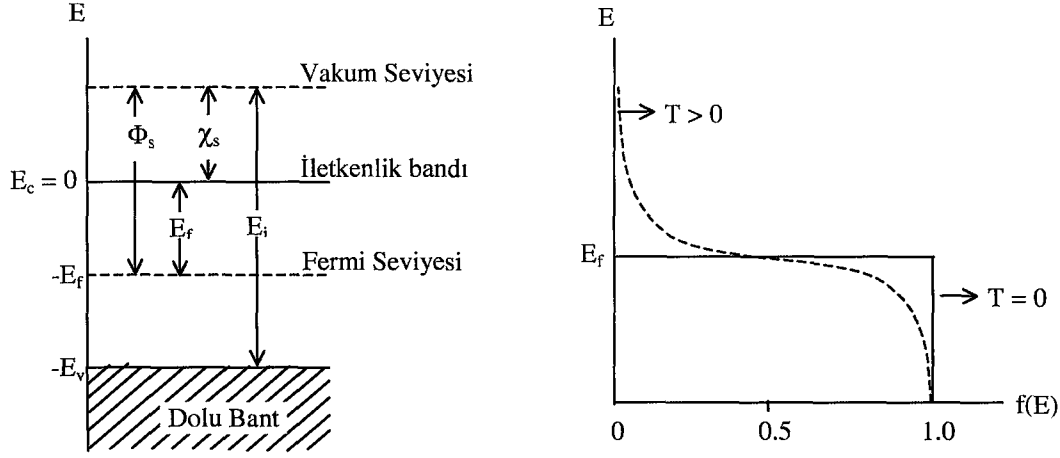
Fermi enerji seviyesi (E_f); dolmuş yörüngeleri dolmamış yörüngelerden ayıran izafi seviyedir ve $f(E)$ Fermi dağılım fonksiyonunun sabitidir. Bu sabitin $f(E)$ ile ilişkisi;

$$f(E) = \frac{1}{1 + \exp[-(E_f - E)kT]} \quad (2.1)$$

ile verilir. Saf yarıiletken için bu fonksiyonun değişimi Şekil2.1(b)' de verilmiştir.

İş fonksiyonu (Φ); metal ve yarıiletkenin Fermi seviyesindeki bir elektronu vakum seviyesine çıkarmak için gerekli olan enerji miktarıdır.

Vakum seviyesi; metalin dışındaki hareketsiz bir elektronun enerjisini ifade eder.



Şekil 2.1. (a) Yarıiletken veya yalıtkanın kristal modelinde enerji-bant diyagramı. (b) Saf yarıiletken için Fermi dağılım fonksiyonunun Enerjiye göre değişimi

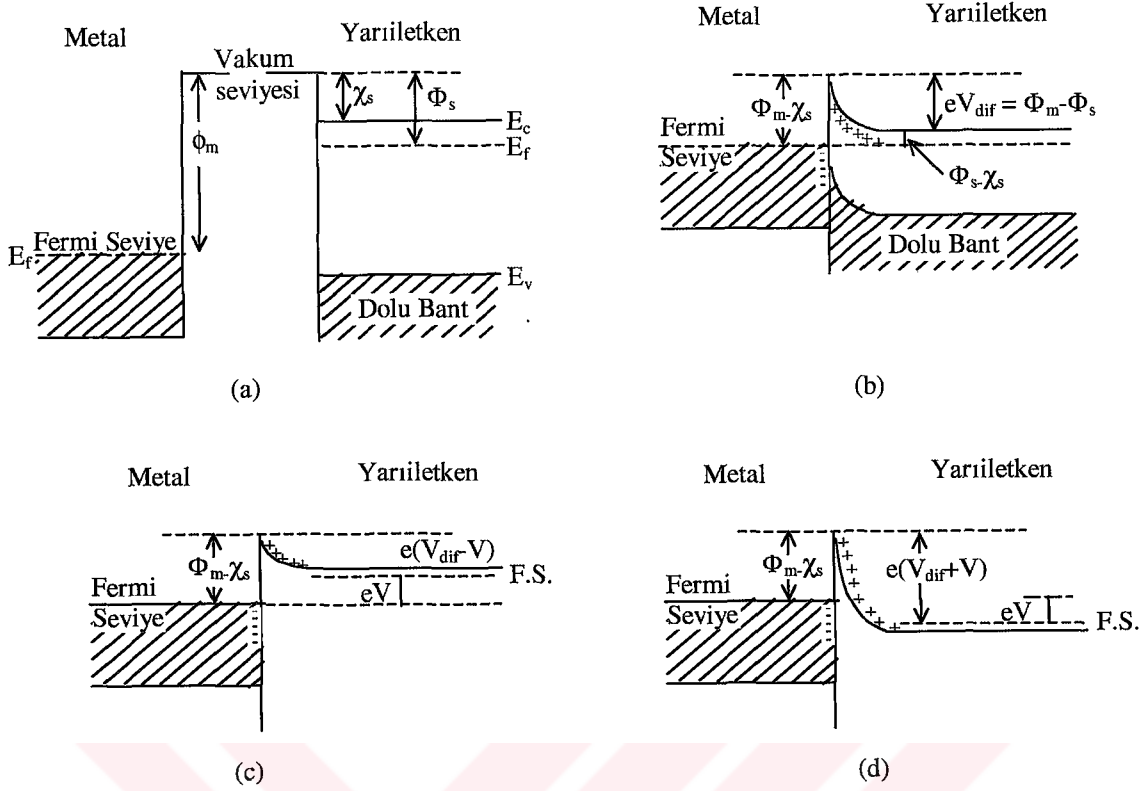
Yarıiletkenin Elektron Yakınlığı (χ_s); iletkenlik bandı ile vakum seviyesi arasındaki enerji farkına denir.

2.2. n-tipi Yarıiletken/Metal Doğrultucu Kontaklar

Akım taşıyıcıları (boşluk ve elektron) bir doğrultuda kolayca hareket ederken, potansiyel engelinden dolayı diğer yönde hareketleri zorlaşır. Bu tür kontaklar doğrultucu kontaklardır.

Φ_m ; metalin iş fonksiyonu, Φ_s ; yarıiletkenin iş fonksiyonu olsun. $\Phi_m > \Phi_s$ ise metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontağı oluşur.

Şekil 2.2(a)'da görüldüğü gibi, kontakta önce yarıiletken fermi seviyesi metalin fermi seviyesinden $\Phi_m - \Phi_s$ kadar yukarıdadır. Kontakın gerçekleştirilmesinden sonra oluşan yük alışverişiyle yarıiletkenin yüzeyindeki elektronlar, iyonize olmuş donörler bırakarak metale geçerler. Bu yük alışverişi tamamlandıktan sonra metal ve yarıiletkenin fermi seviyeleri aynı düzeye gelir. Bir başka ifadeyle; yarıiletkenin enerji seviyeleri, iş fonksiyonları farkı ($\Phi_m - \Phi_s$) kadar alçalır (Şekil 2.2(b)). Bunun sonucu olarak, metal tarafındaki yüzey yükleri ile yarıiletken tarafındaki uzay yüklerinin oluşturduğu dipol tabakasından dolayı, yarıiletken yüzdeki bantların



Şekil 2.2. Metal-yarıiletken doğrultucu kontakın enerji-bant diyagramı: (a) Kontakten önce, metal ve yarıiletkenin enerji bant diyagramı, (b) Kontakten sonra termal dengedeki enerji-bant diyagramı, (c) $V < 0$ olması halinde enerji-bant diyagramı, (d) $V > 0$ olması halinde enerji-bant diyagramı

yukarı doğru bükülmesiyle bir potansiyel engeli oluşur. Bu potansiyel engelinin yarıiletken tarafında yüksekliği;

$$eV_d = \Phi_m - \Phi_s;$$

metal tarafındaki yüksekliği ise;

$$e\Phi_{on} = \Phi_m - \lambda_s$$

eşitlikleri ile verilir.

İyonize olmuş donörlerin neden olduğu, kontakın yarıiletken tarafındaki, hareketsiz pozitif yüklere yüzey yükü olarak değil, bir yük dağılımı olarak bakmak gerekir. Bu yük tabakası, uzay yükü tabakası adını alır. Bu tabaka yarıiletken tarafta d kalınlığındadır. Pozitif ve negatif yükler arasında kalan bu bölge sığa özelliği

gösterir, Schottky kapasitesi veya kontak kapasitesi olarak adlandırılır. Kalınlığı; iyonize olan donörlerin konsantrasyonuna ve difüzyon potansiyeline bağlıdır.

Termal uyarımla, potansiyel engelini aşmaya yetecek enerjiye ulaşan elektronlar, metalden yarıiletken ve yarıiletkenden metale geçerek, eşit ve zıt I_0 sızıntı akımı oluştururlar. Eğer, yarıiletken ($-V$) gerilimi uygulanırsa (Şekil 2.2(c)), metalden yarıiletken geçen elektronlar için engel yüksekliği değişmez, akım da aynı kalır. Buna mukabil, yarıiletkenden metale geçen elektronlar için iletkenlik bandı eV kadar yükseleceğinden engel yüksekliği de eV kadar azalacaktır. Dolayısıyla metalden yarıiletken doğru akan akım ise, $\exp(eV/kT)$ çarpanı kadar değişecektir. Oluşan net akım;

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.2)$$

olur ki, bu akım pozitiftir. $V \gg kT/e$ beslem durumuna, doğru beslem denir. Yarıiletken tarafına $+V$ gerilimi uygulanırsa (Şekil 2.2(d)), iletkenlik bandı eV kadar alçalır ve yarıiletken tarafındaki engel yüksekliği eV kadar artar. Oluşan net akım $-I_0$ değerine yaklaşır. Bu beslem durumuna da, $V \ll -kT/e$ olduğu için ters beslem denir.

Buradan anlaşılacağı gibi, yarıiletken tarafındaki potansiyel engelini yüksekliği uygulanan voltaja bağlı olarak değişir. Metal tarafındaki engel yüksekliği voltajdan bağımsızdır.

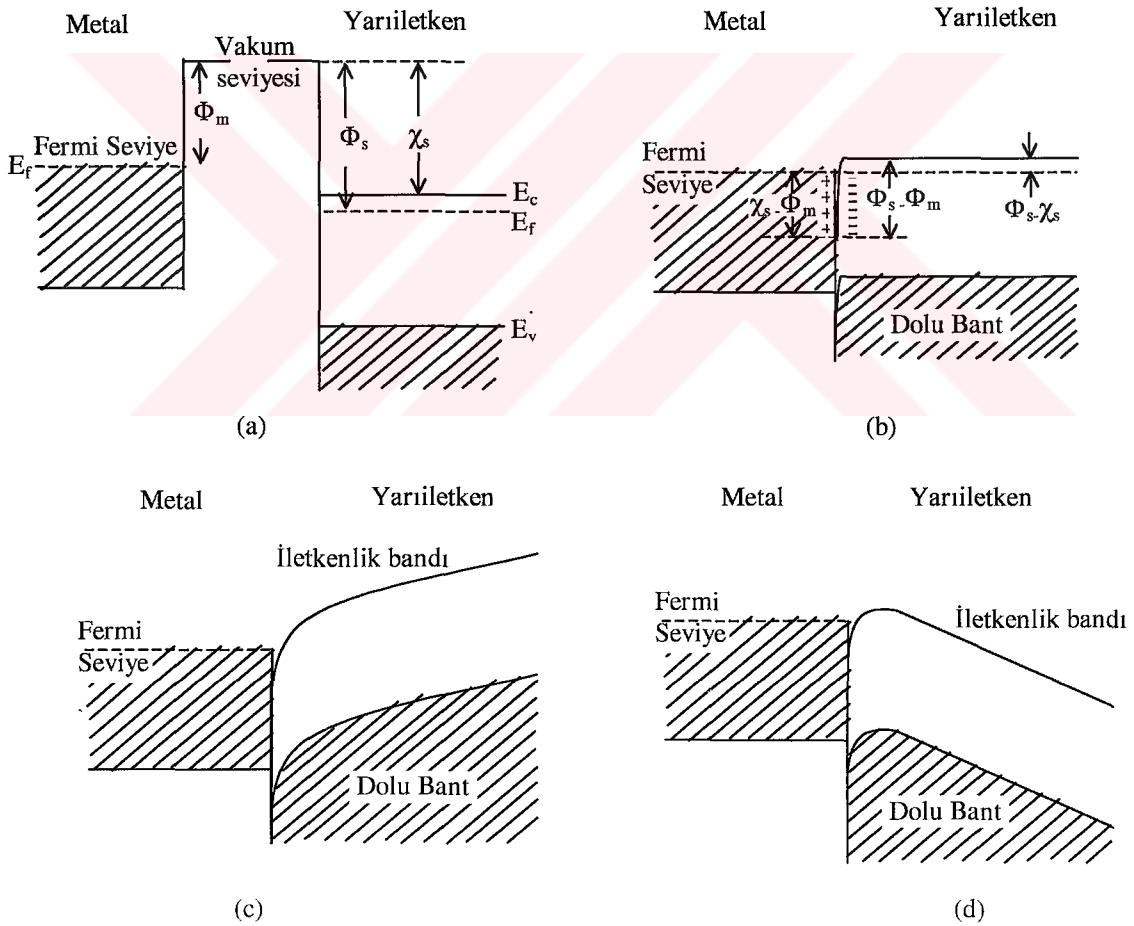
2.3. n-tipi Yarıiletken / Metal Omik Kontaklar

Taşıyıcıların bir maddeden diğerine kolayca geçebildiği kontaklar omik kontaklardır. Metalin iş fonksiyonu Φ_m , yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s 'den küçükse yani $\Phi_m < \Phi_s$ ise omik kontak oluşur. Şekil 2.3(a)'dan görüleceği gibi, kontakta önce, yarıiletkenin fermi seviyesi metalin fermi seviyesinden $\Phi_s - \Phi_m$ kadar aşağıdadır. Kontakta sonra, elektronlar metalden yarıiletken, negatif bir yüzey yükü oluşturacak şekilde akarlar. Metal tarafında, ayrılan elektronlardan dolayı pozitif bir yüzey yükü ve böylece kontak bölgesinde bir dipol tabakası meydana gelir (Şekil

2.3(b)). Bu kontak tipinde, taşıyıcılar metalden yarıiletkene, yarıiletkenden metale serbestçe geçerler.

Metal tarafına $+V$ gerilimi uygulanırsa, yarıiletkenden metale akan elektronlar için engel olmadığından kolayca hareket edebilirler (Şekil 2.3(c)). Eğer yarıiletkene $+V$ gerilimi uygulanırsa, yarıiletken tarafı aşırı negatif yüklerden kaynaklanan engel yüksekliği çok az olacaktır ve elektronlar metalden yarıiletkene doğru kolayca akacaklardır (Şekil 2.3(d)). Yani elektronlar her iki yönde de hareket halindedir.

Yarıiletken pozitif ve metale negatif voltaj uygulandığında, metaldeki elektronlar yarıiletken tarafına kolay bir şekilde geçerler ve bundan dolayı omik kontaklara enjeksiyon kontakları da denir.

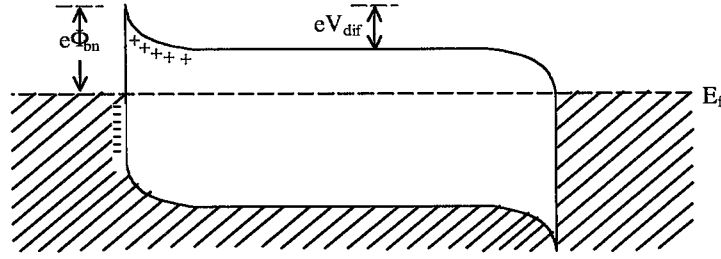


Şekil 2.3. Omik kontakın enerji-bant diyagramı: (a) Kontak öncesi, metal ve yarıiletkenin enerji bant diyagramı, (b) Kontak sonrası termal dengedeki enerji-bant diyagramı, (c) $V < 0$ olması halinde enerji-bant diyagramı, (d) $V > 0$ olması halinde enerji-bant diyagramı

2.4. Metal(Omik) / n-tipi Yarıiletken / Metal (Doğrultucu) Yapı

n-tipi yarıiletkenin bir yüzeyine elektron bakımından çok zengin omik kontak, diğer yüzeyine doğrultucu kontak uygulanmasıyla elde edilir. Omik kontak tarafı $V < 0$ olacak şekilde beslendiğinde yapı doğru beslemde, $V > 0$ olacak şekilde beslendiğinde yapı ters beslemde olur.

Bu şekildeki yapılar, yarıiletken diyot olarak adlandırılır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Yarıiletken diyodun enerji-bant diyagramı

2.5. Metal-Yarıiletken Doğrultucu Kontakta Potansiyel Dağılımı ve Schottky Kapasitesi

Metal/n-tipi yarıiletken diyodun engel tabakası ile yük yoğunluğu arasındaki ifade Poisson eşitliği ile verilir.

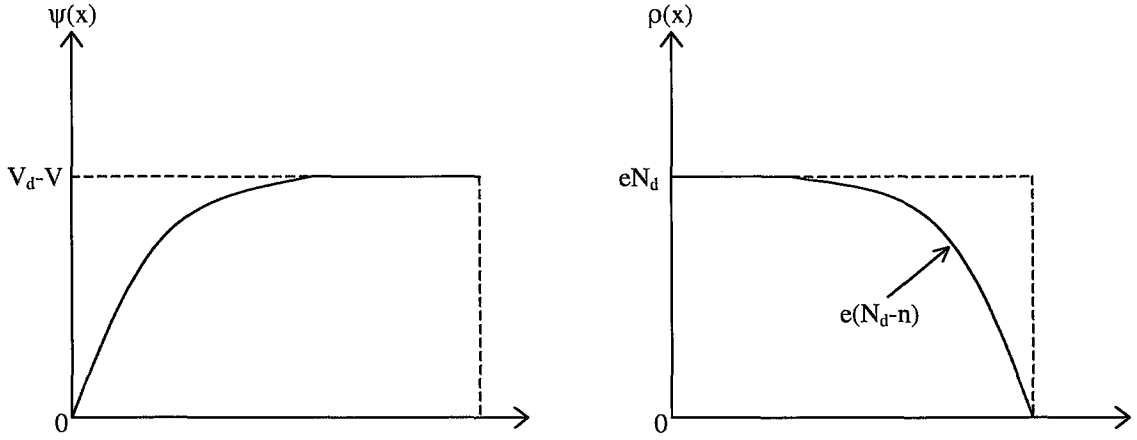
$$\nabla^2 \Psi(x) = -\nabla E(x) = -\frac{\rho(x)}{\epsilon_s \epsilon_o} \quad (2.3)$$

ϵ_s ; yarıiletkenin dielektrik sabiti, ϵ_o ; boş uzayın elektriksel geçirgenliği, $\rho(x)$; konuma bağlı uzay yük yoğunluğudur.

n-tipi yarıiletkenin, donör yoğunluğu N_d ve iletkenlik bandındaki elektron yoğunluğu n olmak üzere uzay yük yoğunluğu;

$$\rho(x) = e(N_d - n) \quad (2.4)$$

ile ifade edilir. Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontakın, $\psi(x)$ potansiyel fonksiyonu ve $\rho(x)$ uzay yükü yoğunluğunun, konuma göre değişimleri Şekil 2.5'de verilmiştir.



Şekil 2.5. Metal/n-tipi doğrultucu kontakın a) Potansiyel dağılımının konuma bağlı, b) Yük dağılımının konuma bağlı grafikleridir

$e(V_d - V) \gg kT$ olduğunda, $0 \leq x \leq d$ aralığında $N_d \gg n$ olacaktır. Bu durumda $\rho(x)$ ifadesi;

$$\rho(x) = eN_d \quad (2.5)$$

şeklinde yazılır. Bu değeri (2.3) denkleminde yerine yazarak, tek boyutta, Poisson denklemini için;

$$\frac{d^2 \Psi(x)}{dx^2} = -\frac{eN_d}{\epsilon_s \epsilon_0} \quad (2.6)$$

elde edilir.

$\psi(x)$, potansiyel engeli bölgesi için, $x = 0$, $x \geq d$ ve $x \leq d$ sınır şartlarında çözümlenebilir:

$$x = 0 \quad \psi(x) = 0$$

$$x \geq d \quad \psi(x) = V_d \pm V$$

$$x \geq d \quad \frac{d\Psi(x)}{dx} = 0$$

(2.6) eşitliğinin üçüncü sınır şartı altında integralini alırsak, kontak bölgesindeki elektrik alanı elde edilir.

$$E(x) = -\frac{d\Psi(x)}{dx} = \frac{eN_d}{\epsilon_s \epsilon_0} (x-d) \quad (2.7)$$

(2.7) ifadesinin, birinci sınır şartı altında integralinin alınmasıyla $\Psi(x)$ potansiyel fonksiyonu elde edilir.

$$\Psi(x) = -\frac{eN_d}{\epsilon_s \epsilon_0} \left(\frac{1}{2} x^2 - xd \right) \quad (2.8)$$

Schottky tabakasının d genişliği, (2.8) ifadesine ikinci sınır şartının uygulanmasıyla bulunur.

$$V_d \mp V = \frac{eN_d}{2\epsilon_s \epsilon_0} d^2 \quad (2.9)$$

$$d = \left[\frac{2\epsilon_s \epsilon_0}{eN_d} (V_d \mp V) \right]^{1/2} \quad (2.10)$$

Burada; V_d difüzyon potansiyelidir. Yarıiletkenin yüzey birimi başına yük yoğunluğu ise;

$$Q = eN_d d = [2\epsilon_s \epsilon_0 eN_d (V_d \pm V)]^{1/2} \quad (2.11)$$

olarak bulunur. Birim alan başına kapasite, uygulama voltajına göre yük değişimi olarak tanımlanır. Yani dQ/dV olur. Toplam kapasite ise;

$$\begin{aligned} C &= A \frac{dQ}{dV} \\ &= \left[\frac{e\epsilon_s \epsilon_0 N_d}{2(V_d \mp V)} \right]^{1/2} A \\ &= \frac{\epsilon_s \epsilon_0}{d} A \end{aligned} \quad (2.12)$$

Burada A kontak alanıdır. Kapasitenin uygulama voltajıyla ters orantılı, donör yoğunluğuyla doğru orantılı olduğu görülür. Bu ifade;

$$\frac{1}{C^2} = \frac{2(V_d \mp V)}{e\epsilon_s \epsilon_0 N_d A^2} \quad (2.13)$$

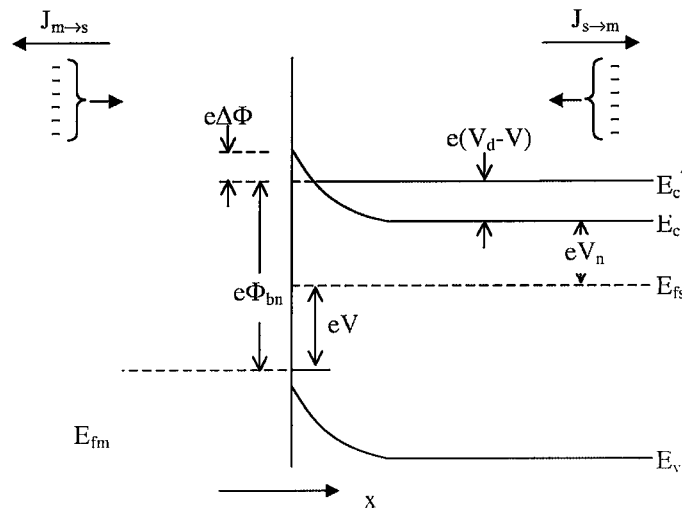
şeklinde yazılabilir. I/C^2 'nin V ye göre grafiği bir doğru verir. Doğrunun V eksenini kestiği nokta V_d difüzyon potansiyelidir. I/C^2 'nin türevi alınıp N_d çekilirse;

$$N_d = \frac{2}{e \epsilon_s \epsilon_0} \frac{dV}{d(I/C^2)} \quad (2.14)$$

elde edilir.

2.6. Schottk Diyotlarda Termoyonik Emisyonla Akım İletimi

Schottky kontaklarda potansiyel engeli üzerinden elektron taşınması işlemi termoyonik alan emisyon teorisi ile açıklanır. Termoyonik emisyon, taşıyıcıların sıcak bir yüzeyden termal enerjileri nedeniyle salınması olayıdır. Metal-yarıiletken Schottky diyotlarda termoyonik emisyon teorisi, taşıyıcıların termal enerjileri nedeniyle potansiyel engelini aşarak yarıiletkenden metale veya metalden yarıiletkene geçmesidir. Schottky diyotlarda akım, çoğunluk taşıyıcıları tarafından iletilir. Metal/n-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda elektronlar, Metal/p-tipi yarıiletken Schottky diyotlarda ise boşluklar akımı sağlar. Termoyonik emisyon teorisinde, Maxwell-Boltzman yaklaşımının uygulanabilmesi ve termal denge durumunun etkilenmemesi için, doğrultucu kontağa ait potansiyel engelinin kT enerjisinden daha büyük olduğu ve arınma bölgesindeki taşıyıcı çarpışmalarının çok küçük olduğu kabul edilmektedir.



Şekil 2.6. Doğru beslem altındaki metal yarıiletken Schottky kontakta imaj azalma etkisine ait enerji-bant diyagramı

Şekil 2.6’da Schottky kontağa V büyüklüğünde doğru beslem gerilimi uygulanmıştır. Burada, $J_{s \rightarrow m}$ yarıiletkenden metale doğru akan akım yoğunluğu ve $J_{m \rightarrow s}$ metalden yarıiletkene akan akım yoğunluğudur. $J_{s \rightarrow m}$ akım yoğunluğu, x yönünde ve engeli aşabilecek büyüklükteki hızlara sahip elektronların konsantrasyonunun bir fonksiyonudur. Bu durumda,

$$J_{s \rightarrow m} = e \int_{E_c'}^{\infty} v_x dn \quad (2.15)$$

yazılabilir. E_c' ; metal içindeki termoyonik emisyon için gerekli minimum enerji, v_x sürüklenme yönündeki hızdır. dn , artan elektron konsantrasyonu,

$$dn = g_c(E) f(E) d(E) \quad (2.16)$$

ile verilir. $g_c(E)$, iletkenlik bandındaki hal yoğunluğu, $f(E)$, Fermi-Dirac ihtimaliyet fonksiyonudur. Maxwell-Boltzman yaklaşımını kullanarak elektron konsantrasyonu için;

$$dn = \frac{4\pi(2m_n^*)^{3/2}}{h^3} \sqrt{E - E_c} \exp\left[\frac{-(E - E_f)}{kT}\right] dE \quad (2.17)$$

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

$$\frac{1}{2} m_n^* v^2 = E - E_c \quad (2.18)$$

$$dE = m_n^* v dv \quad (2.19)$$

$$\sqrt{E - E_c} = v \sqrt{\frac{m_n^*}{2}} \quad (2.20)$$

olur. Bu eşitlikler kullanılarak dn ifadesi yeniden düzenlenirse,

$$dn = 2 \left(\frac{m_n^*}{h} \right)^3 \exp\left(\frac{-eV_n}{kT}\right) \exp\left(\frac{-m_n^* v^2}{2kT}\right) 4\pi v^2 dv \quad (2.21)$$

olur. Bu eşitlik, hızları v ile $v+dv$ aralığında değişen elektronların sayısını verir. Hız bileşenleri; $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$ dir. Buradan $J_{s \rightarrow m}$ ifadesi;

$$J_{s \rightarrow m} = 2e \left(\frac{m_n^*}{h} \right)^3 \exp \left(\frac{-eV_n}{kT} \right) \int_{v_{ox}}^{\infty} v_x \exp \left(-\frac{m_n^* v_x^2}{2kT} \right) dv_x \quad (2.22)$$

$$x \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left(-\frac{m_n^* v_y^2}{2kT} \right) dv_y \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left(-\frac{m_n^* v_z^2}{2kT} \right) dv_z$$

şeklinde yazılır. v_{ox} hızı, x doğrultusunda elektronun potansiyel engelini aşabilmesi için gerekli minimum hızdır.

Bu ifadede şu değişken değiştirmeler yapılabilir:

$$\frac{m_n^* v_x^2}{2kT} \equiv \alpha^2 + \frac{e(V_d - V)}{kT} \quad (2.23a)$$

$$\frac{m_n^* v_y^2}{2kT} \equiv \beta^2 \quad (2.23b)$$

$$\frac{m_n^* v_z^2}{2kT} \equiv \gamma^2 \quad (2.23c)$$

Minimum v_{ox} hızı için;

$$\frac{1}{2} m_n^* v_{ox}^2 = e(V_d - V) \quad (2.24)$$

yazılır. Bu durumda $v_x \rightarrow v_{ox}$ şartı için $\alpha = 0$ olur. Ve $v_x dv_x = \left(\frac{2kT}{m_n^*} \right) \alpha d\alpha$ yazılır. Bu

ifadeler $J_{s \rightarrow m}$ 'de kullanılırsa;

$$J_{s \rightarrow m} = 2e \left(\frac{m_n^*}{h} \right)^3 \left(\frac{2kT}{m_n^*} \right) \exp \left(\frac{-eV_n}{kT} \right) \exp \left[-\frac{e(V_d - V)}{kT} \right] \quad (2.25)$$

$$x \int_{v_{ox}}^{\infty} \alpha \exp(-\alpha^2) d\alpha \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-\beta^2) d\beta \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-\gamma^2) d\gamma$$

İntegral alınır;

$$J_{s \rightarrow m} = \left(\frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp \left[\frac{-e(V_n + V_d)}{kT} \right] \exp \left(\frac{eV}{kT} \right) \quad (2.26)$$

ya da,

$$J_{s \rightarrow m} = \left(\frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp \left[\frac{-e\Phi_{bn}}{kT} \right] \exp \left(\frac{eV}{kT} \right) \quad (2.27)$$

olur. Şekilden görüldüğü gibi, $V_n + V_d = \Phi_{bn}$ ve uygulama gerilimi sıfır olduğunda $J_{m \rightarrow s}$ ile $J_{s \rightarrow m}$ aynıdır. Yani,

$$J_{m \rightarrow s} = \left(\frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp \left[\frac{-e(\Phi_{bn})}{kT} \right] \quad (2.28)$$

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

$$J = \left[A^* T^2 \exp \left(\frac{-e\Phi_{bn}}{kT} \right) \right] \left[\exp \left(\frac{eV}{kT} \right) - 1 \right] \quad (2.29)$$

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

$$A^* = \frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \quad (2.30)$$

dir. Genel bir durum için J ifadesi;

$$J = J_0 \left[\exp \left(\frac{eV}{kT} \right) - 1 \right] \quad (2.31)$$

olur. Burada, J_0 ters-doyma akım yoğunluğu olarak bilinir ve;

$$J_0 = \left[A^* T^2 \exp \left(\frac{-e\Phi_{bn}}{kT} \right) \right] \quad (2.32)$$

ile ifade edilir. Φ_{bn} Schottky engel yüksekliğinin imaj kuvveti nedeniyle azalması ve $\Phi_{bn} = \Phi_{bo} - \Delta\Phi$ şeklinde verildiği dikkate alınırsa J_0 eşitliği;

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(\frac{-e\Phi_{bn}}{kT}\right) \exp\left(\frac{e\Delta\Phi}{kT}\right) \quad (2.33)$$

şeklini alır. Engel yüksekliğindeki $\Delta\Phi$ değişimi, artan elektrik alanla ya da artan ters beslem gerilimi ile artacaktır (Neaman, 1992).

2.7. Alan Etkisi Nedeniyle Potansiyel Engeli Alçalması – Schottky Etkisi

Termoionik 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 engelini 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).

$$F(x) = -\frac{e^2}{4\pi(2x)^2 \epsilon_s \epsilon_0} = -\frac{e^2}{16\pi \epsilon_s \epsilon_0 x^2} \quad (2.34)$$

Bu denklemin integrali, imaj kuvvet etkisinden doğan potansiyel enerjiyi verir.

$$P_1(x) = -\int_{+\infty}^x F(x) dx = -\frac{e^2}{16\pi \epsilon_s \epsilon_0 x} \quad (2.35)$$

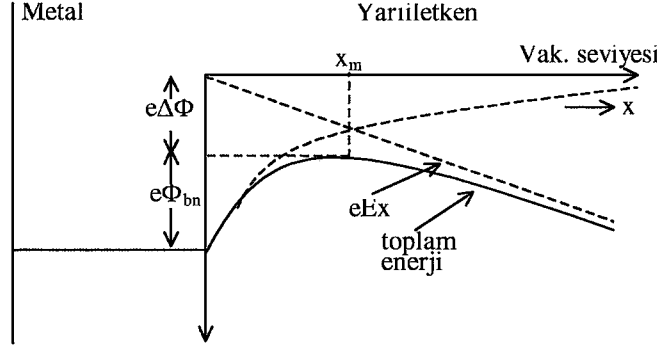
Toplam potansiyel enerji, dış alan etkisinin de eklenmesiyle;

$$P(x) = -\frac{e^2}{16\pi \epsilon_s \epsilon_0 x} + eEx \quad (2.36)$$

olur. Bu ifadeyle verilen potansiyel enerjinin değişimi Şekil 2.7'de görülmektedir.

otansiyel engeli alçalması $e\Delta\Phi$ ve alçalmanın yeri x_m , $\frac{dP(x)}{dx} = 0$ şartıyla bulunur.

$$\frac{dP(x)}{dx} \Big|_{x=x_m} = 0 = \frac{e^2}{16\pi \epsilon_s \epsilon_0 x_m^2} + eE \quad (2.37)$$



Şekil 2.7. Uygulama voltajının $V=0$ olması halinde metal-yarıiletken doğrultucu kontakta bir taşıyıcı için potansiyel engelinin değişimi

$$x_m = \left(\frac{e}{16\pi\epsilon_s\epsilon_0 E} \right)^{1/2} \quad (2.38)$$

x_m 'in bu değerini (2.36)'da yerine koyarak $e\Delta\Phi$ potansiyel engeli alçalması bulunur.

$$e\Delta\Phi = \left(\frac{e^3 E}{4\pi\epsilon_s\epsilon_0} \right)^{1/2} \quad (2.39)$$

(2.39) denklemindeki E elektrik alanının değeri, kontak bölgesinde, Poisson denklemini çözmekle (2.7) eşitliği ile elde edilmiştir. Böylece deplasyon tabakası bitiminde elektrik alanın büyüklüğü:

$$E = \frac{eN_d}{\epsilon_s\epsilon_0} d \quad (2.40)$$

ile bulunur. Bu değeri ve d için (2.10) eşitliği ile bulduğumuz değeri yerine koyarak,

$$e\Delta\Phi = \left[\frac{e^7 N_d}{2^5 (\epsilon_s\epsilon_0)^3 \pi^2} \right]^{1/4} (V_d + V)^{1/4} \quad (2.41)$$

elde edilir. (2.28) denklemini ile bulduğumuz $J_{m \rightarrow s}$ ters beslem akım yoğunluğu ifadesindeki $e\Phi_{bn}$, şekilde görüldüğü gibi $e(\Phi_{b0} - \Delta\Phi)$ olur.

$$J_n = A^* T^2 \exp\left(\frac{-e\Phi_{bn}}{kT}\right) \exp\left[\frac{\alpha(V_d + V)^{1/4}}{kT}\right] \quad (2.42)$$

$$\alpha_0 = \frac{\alpha}{kT} \quad (2.43)$$

$$J'_0 = A^* T^2 \exp\left(\frac{-e\Phi_{bn}}{kT}\right) \exp[\alpha_0 (V_d + V)^{1/4}] \quad (2.44)$$

denklemleri bulunur. Burada;

$$\alpha_0 = \left(\frac{e^7 N_d}{2^5 (\epsilon_s \epsilon_0)^3 \pi^2 (kT)^4} \right)^{1/4} \quad (2.45)$$

şeklindedir.

$$J_0 = A_n^* T^2 \exp\left(\frac{-e\Phi_{bn}}{kT}\right) \quad (2.46)$$

termal dengedeki akım yoğunluğu idi. (2.44) ve (2.46) bağıntılarından,

$$J'_0 = J_0 \exp \alpha_0 (V_d + V)^{1/4} \quad (2.47)$$

denklemleri yazılabilir. Bu eşitliğin her iki tarafının logaritması alınır;

$$\ln J'_0 = \ln J_0 + \alpha_0 (V_d + V)^{1/4} \quad (2.48)$$

elde edilir. Eşitlikten görüldüğü gibi $\ln J'_0$ 'nin $(V_d + V)^{1/4}$ grafiği bir doğrudur. Bu doğrunun $\ln J'_0$ eksenini kestiği nokta (2.46) denklemi ile verilen $\ln J_0$ 'ı verir. Bu durumda $e\Phi_{bn}$ potansiyel enerjisi için,

$$e\Phi_{bn} = kT \ln \left(\frac{A_n^* T^2}{J_0} \right) \quad (2.49)$$

ifadesi elde edilir. Bu tür çizime Schottky çizimi denir. Metal-yarıiletken doğrultucu kontaktlarında uygulanan temel metottur.

3. METAL-OKSİT-YARIİLETKEN YAPILAR

3.1. Metal-Oksit-Yarıiletken Yapılarda Arayüzey Hal Yoğunluklarının

Uygulama Gerilimi ile Değişimi ve Akım-Gerilim İlişkileri

Arayüzey tabakalı metal/n-tipi yarıiletken Schottky kontağın uygulama gerilimi altındaki enerji-bant diyagramı Şekil 3.1.'de görülmektedir. Şekilde, δ arayüzey tabaka kalınlığı, V_i arayüzey tabakası boyunca meydana gelen potansiyel düşmesi ve Φ_o valans bandının üstünden ölçülen arayüzey hallerinin nötral seviyesidir.

Termal dengede, nötral seviye ve yarıiletkenin Fermi seviyesi arasındaki işgal edilmiş hallerden meydana gelen arayüzey yük yoğunluğu $Q_{ss}(C/m^2)$,

$$Q_{ss}(V) = -q N_{ss} [E_g - q\Phi_o - q\Psi_s(V) - qV_n] \quad (3.1)$$

ile verilir (Rhoderick ve Williams, 1988; Türüt, 1996). Burada N_{ss} sabit olup yarıiletkenle dengede olan arayüzey hal yoğunluğudur. Doğru beslem durumu için verilen (3.1) ifadesi $V = 0$ durumunda;

$$Q_{ss}(0) = -q N_{ss} [E_g - q\Phi_o - q\Phi_{b,o}] \quad (3.2)$$

olur. Burada, $\Phi_{b,o}$; $V = 0$ ve termal denge durumundaki Schottky engel yüksekliğidir. (3.1) denklemi (3.2) denkleminde çıkarılırsa uygulanan V gerilimi altında yarıiletkenin mihlanmış fermi seviyesi için N_{ss} 'deki değişim,

$$qN_{ss}(V) = \frac{[Q_{ss}(0) - Q_{ss}(V_s)]}{\Delta V} \quad (3.3)$$

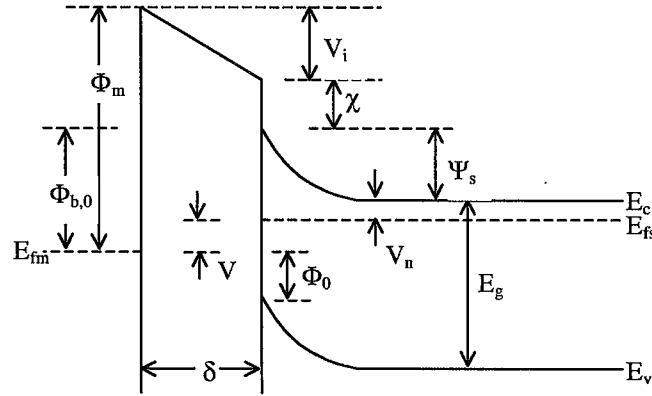
yazılabilir (Türüt, 1996; Cova, 1998). Burada;

$$\Delta V = \Phi_b(V) - [\Psi_s(V) - V_n] = \frac{1}{n(V)} V \quad (3.4)$$

dir. Bu eşitlik ideal olmayan Schottky diyotlar için deplasyon bölgesi boyunca meydana gelen potansiyel düşmesini verir ve $V_s = [1/n(V)] V$ dir (Card ve Rhoderick, 1971; Türüt vd., 1996). Buna göre, arayüzey tabakasının varlığı durumunda engel yüksekliği, uygulama gerilimine bağlıdır. n idealite faktörü olup

diyodun termoiyonik emisyonu uygunluğunun bir ölçüsüdür. n-tipi bir yarıiletken için yarıiletken yüzeyindeki E_{ss} arayüzey hallerinin enerjisi, iletkenlik bandının tabanına göre;

$$E_c - E_{ss} = \Phi_b(V) - qV \quad (3.5)$$



Şekil 3.1. Arayüzey tabakalı metal/n-tipi yarıiletken Schottky diyodun uygulama gerilimi altındaki enerji-bant diyagramı

ile verilir (Türüt, 1996). Nötral bölgenin seri direnç (R_s) etkisi dikkate alınmadığında, diyoda uygulanan V gerilimi, deplasyon bölgesindeki gerilim düşmesi olan V_s ve arayüzeydeki gerilim düşmesi olan V_i nin toplamı olur. Gauss kanunu kullanılarak arayüzey tabakası boyunca uygulama geriliminde meydana gelen düşme,

$$\Delta(0) - \Delta(V) = V_i \frac{\delta}{\epsilon_i} [Q_{sc}(0) + Q_{ss}(0) - Q_{sc}(V_s) - Q_{ss}(V_s)] = V - V_s \quad (3.6)$$

şeklinde yazılabilir (Türüt, 1996; Cova vd., 1996). Burada, $\Delta(0)$ ve $\Delta(V)$, sırasıyla, sıfır gerilimde ve doğru beslem durumunda, arayüzey tabakası boyunca meydana gelen potansiyel düşmesidir. $Q_{ss}(V_s)$, nötral seviye ile yarıiletkenin fermi seviyesi arasındaki hallerden kaynaklanan arayüzey yük yoğunluğudur. $Q_{sc}(0)$ ve $Q_{sc}(V_s)$ ise termal denge durumunda ve doğru beslem durumunda yarıiletkenin deplasyon tabakasındaki uzay yükü yoğunluklarıdır. Bu yoğunluklar;

$$Q_{sc}(0) = [2q\epsilon_s N_d (\Phi_{b,0} - V_n)]^{1/2} \quad (3.7)$$

$$Q_{sc}(V) = [2q\epsilon_s N_d \Psi_s(V)]^{1/2} \quad (3.8)$$

ile verilirler. Bu eşitlikler, uygulama geriliminde meydana gelen düşmenin hem arayüzey tabakasından hem de yüzey potansiyelinden kaynaklandığını göstermektedir. (3.4) ve (3.6) eşitliklerinden faydalanarak, arayüzey tabakasındaki V_i gerilim düşmesi ve $\Psi_s(V)$ yüzey potansiyeli için,

$$V_i = \left(1 - \frac{1}{n}\right)V \quad (3.9)$$

$$\Psi_s(V) = \Phi_b(V) - \frac{1}{n}(V - IR_s) - V_n \quad (3.10)$$

eşitlikleri elde edilir. Bu şartlarda, uygulama gerilimine bağlı olarak arayüzey hal yük yoğunluğundaki değişim ifadesi, bu eşitliklerle beraber (3.4) ve (3.6) ifadeleri de kullanılarak,

$$Q_{ss}(0) - Q_{ss}(V_s) = \left[\frac{\epsilon_i}{\delta} \frac{(1-n)}{n} V + Q_{sc}(0) - Q_{sc}(V) \right] \quad (3.11)$$

olarak elde edilir. Metal/n-tipi yarıiletken kontak durumunda $Q_{ss}(0)$ 'ı (3.11) eşitliğinden bağımsız olarak hesaplamak için şu denklemde kullanılabilir (RayChaudhuri ve Chattopadhyay, 1994; Nuhoglu, 1998):

$$\Delta(0) = (\Phi_m - \chi - \Phi_{b,0}) = \frac{\delta}{\epsilon_i} Q_m(0) = \frac{\delta}{\epsilon_i} [Q_{sc}(0) + Q_{ss}(0)] \quad (3.12)$$

Sonuç olarak, doğru beslem altında yarıiletkenin fermi seviyesi ile nötral bölge arasındaki işgal edilmiş arayüzey hallerinin enerji dağılım eğrileri, (3.3) ve (3.11) eşitlikleri ile elde edilebilir.

Schottky kontaklar çok ince bir arayüzey film tabakası içerirse, termoiyonik emisyon teorisine göre uygulanan V gerilimi için oluşan doğru beslem akım ifadesi, ($V > 3kT$ için)

$$I = I_0 \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \quad (3.13)$$

ile verilir. Burada, (n) idealite faktörü, (k) Boltzman sabiti, (T) mutlak sıcaklık ve (I_0) ekstrapole ile bulunmuş satürasyon akımıdır. Arayüzey tabakalı durumda I_0 akımı,

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left[-\frac{2}{\hbar}(2m^*\chi)^{1/2}\delta\right] \exp\left(-\frac{q\Phi_{b,0}}{kT}\right)$$

$$I_0 = AA^*T^2 \exp[-a\chi^{1/2}\delta] \exp\left(-\frac{q\Phi_{b,0}}{kT}\right) \quad (3.14)$$

ile verilir (Quan ve Hbib,1993). Burada, $a = (2/\hbar)(2m^*)^{1/2}$, (A^*) etkin Richardson sabiti, (A) diyot alanı ve (m^*) elektronun etkin tünelleme kütleisidir. (χ) arayüzey tabakasının gösterdiği tünelleme engel yüksekliği ve $a\chi^{1/2}\delta$ ise elektronun tünelleme faktörüdür.

(3.14) ifadesi;

$$kT \ln\left(\frac{AA^*T^2}{I_0}\right) = q\Phi_{b,0} + kT(-a\chi^{1/2}\delta) \quad (3.15)$$

şeklinde yeniden düzenlenebilir. Buradaki, $kT \ln\left(\frac{AA^*T^2}{I_0}\right)$ ifadesi arayüzey tabakalı durumda, deneysel I_0 değerlerinden elde edilen engel yüksekliği $q\Phi_b$ olup, görünür engel yüksekliği olarak tarif edilir. Yani;

$$q\Phi_{b,0} = kT \ln\left(\frac{AA^*T^2}{I_0}\right) \quad (3.16)$$

dir. Böylece (3.15) ifadesi,

$$q\Phi_b = q\Phi_{b,0} + a\chi^{1/2}\delta kT \quad (3.17)$$

olarak elde edilir. Burada, $q\Phi_{b,0}$ referans diyodun engel yüksekliğidir.

(3.17) ifadesinden görüleceği gibi, görünür engel yüksekliği sıcaklığın lineer bir fonksiyonudur.

3.2. MIS(Metal-Insulating-Semiconductor) Schottky Diyotlarda İdealite

Faktörü İfadeleri

Barden modeline göre, bir metal ile bir yarıiletken kontak haline getirildiklerinde meydana gelen arayüzey halleri, yarıiletken yüzeyi ile yalıtkan tabaka arasında sınırlanırlar. Bu yüzden metal ya da yarıiletkende elektrik alan yoksa, arayüzey tabakasındaki elektrik alan şiddeti, arayüzeydeki ve metal yüzeyindeki yüklerle ilgilidir. Gauss kanununa göre;

$$\epsilon_i E_i = Q_{ss} = -Q_m \quad (3.18)$$

yazılabilir. Burada, E_i , arayüzey tabakasındaki elektrik alan şiddetidir. Normal şartlarda, elektrik alan, Schottky engelinde vardır. Önemli olan da bu alanın engel yüksekliğini nasıl etkilediğini bilmektir. Eğer yarıiletken içinde bir E_s alanı varsa, gauss kanunu,

$$V_i = \frac{\delta}{\epsilon_i} (\epsilon_s E_{mak} + Q_{ss}) \quad (3.19)$$

şeklinde yazılır. Burada, V_i , arayüzey tabakasındaki potansiyel düşmesi, E_{mak} ise E_s nin maksimum değeridir. n idealite faktörünün arayüzey parametrelerine (arayüzey hal yoğunluğu ve arayüzey tabaka kalınlığı) ve uygulama gerilimine bağlılığı Carl ve Rhoderick (1971), Horvath (1987) ve Türüt vd. (1996) tarafından incelenmiştir. Bu yaklaşımda, öncelikle bütün arayüzey hallerinin metalle dengede olduğu dikkate alınmalıdır. Yarıiletkenin yüzey deplasyon tabakasının ve arayüzey tabakasının var olduğu bir durumda V uygulama gerilimi için,

$$V = V_i + V_s \quad (3.20)$$

yazılabilir. Burada, V_s deplasyon tabakası nedeniyle meydana gelen gerilim değişimidir. (3.13) ifadesi tekrar gözönüne alınırsa, açıkça,

$$I = AA^* T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_b}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (3.21)$$

yazılabilir. Bu eşitliğin her iki tarafının tabii logaritması alınıp, V 'ye göre türevi alınır,

$$\frac{d \ln I}{dV} = \frac{1}{I} \frac{dI}{dV} = \frac{q}{kT} \left\{ 1 - \frac{d\Phi_b}{dV} + \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right]^{-1} \right\} \quad (3.22)$$

olur. Doğru beslem durumunda $\ln I$ - V grafiğinin lineer kısmının eğimi idealite faktörünü verdiği için (3.22) ifadesinden;

$$n = \frac{q}{kT} \frac{dV}{d \ln I} = \frac{1}{1 - \beta} \quad (3.23)$$

eşitliği elde edilir. Burada $\beta = \frac{d\Phi_b}{dV}$ dir. Buradan idealite faktörü için;

$$\frac{1}{n} = 1 - \frac{d\Phi_b}{dV} \quad (3.24)$$

yazılabilir. Schottky diyotlarda engel yüksekliği, öncelikle deplasyon bölgesindeki elektrik alana bağlı olduğundan, engel yüksekliği Φ_b yerine etkin engel yüksekliği Φ_e olarak alınmalıdır. Etkin engel yüksekliği ise;

$$\Phi_e = \Phi_{b,0} + \left(\frac{d\Phi_e}{dV} \right) V = \Phi_{b,0} + \beta V \quad (3.25)$$

ile verilir. Burada, $\frac{d\Phi_e}{dV}$, etkin engel yüksekliğinin besleme gerilimine bağlı olarak

değişimidir. (3.24) ve (3.25) ifadelerinden görüleceği gibi $\beta = \frac{d\Phi_e}{dV}$ dir. Bu eşitlik

dikkate alınarak (3.21) eşitliği;

$$I = I_0 \exp\left(-\frac{\beta q V}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (3.26)$$

şeklinde yeniden yazılabilir. Burada, I_0 doyma akımı;

$$I_0 = AA^* T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_{b,0}}{kT}\right) \quad (3.27)$$

şeklindedir. $\frac{d\Phi_e}{dV}$ sabit ise idealite faktöründe sabittir. İdealite faktörünün birden büyük değerler alması, uygulama geriliminin sadece deplasyon tabakası ve gövde direnci arasında bölüşüldüğünü göstermektedir.

Şimdi (3.24) ifadesi ve $\left(\frac{d\Phi_b}{dV} = \frac{d\Phi_e}{dV}\right) = \frac{dV_i}{dV}$ eşitliği dikkate alınır (3.19)

denkleminin uygulama gerilimine göre türevi alınarak,

$$\left(1 - \frac{1}{n}\right) = \frac{dV_i}{dV} = \frac{\delta}{\epsilon_i} \left(\epsilon_s \frac{dE_{mak}}{dV} + \frac{dQ_{ss}}{dV} \right) \quad (3.28)$$

ifadesi elde edilir. (3.19) eşitliği kullanılarak,

$$\frac{dE_{mak}}{dV} = \frac{dE_{mak}}{dV_s} \left(1 - \frac{dV_i}{dV}\right) = \frac{1}{nd} = \frac{1}{d} \frac{dV_s}{dV} \quad (3.29)$$

elde edilir.

$$\frac{dQ_{ss}}{dV} = \frac{dQ_{sa}}{dV_i} \frac{dV_i}{dV} = -qN_{sa} \left(1 - \frac{1}{n}\right) \quad (3.30)$$

ile verilmektedir. Burada, $d = \left(\frac{2\epsilon_s V_d}{qN_d}\right)^{1/2}$ yarıiletkendeki deplasyon tabakası

kalınlığıdır. Q_{sa} ve N_{sa} , sırasıyla, metalle denge durumunda olan arayüzey yük yoğunluğu ve arayüzey hal yoğunluğu, N_d yarıiletkendeki donör konsantrasyonu ve V_d ise difüzyon potansiyelidir. (3.30) ifadesi, metalle dengede olan işgal edilmiş arayüzey hallerindeki değişimi verir ve metalin fermi seviyesine göre, hallerin enerjisindeki değişim olan dV_i ile belirlenir. Bu yüzden, $\frac{dQ_{sa}}{dV_i} = -qN_{sa}$ eşitliği

yazılabilir. (3.29) ve (3.30) ifadeleri (3.28) eşitliğinde yerine konulursa;

$$\left(1 - \frac{1}{n}\right) = \frac{\delta}{\epsilon_i} \left[\frac{\epsilon_s}{nd} - qN_{sa} \left(1 - \frac{1}{n}\right) \right] \quad (3.31)$$

ve buradan.

$$n = 1 + \frac{\delta \epsilon_s}{d(\epsilon_i + \delta q N_{sa})} \quad (3.32)$$

elde edilir. Bu sonuç, arayüzey hallerinin metalle dengede olduğu durum için elde edilmiştir.

Arayüzey hallerinin yarıiletkenle denge durumunda olması halinde, arayüzey hal yük yoğunluğu Q_{sb} ve arayüzey hal yoğunluğu N_{sb} alınarak, (3.30) ifadesi,

$$\frac{dQ_{ss}}{dV} = \frac{dQ_{sb}}{dV_s} \frac{dV_s}{dV} = \frac{qN_{sb}}{n} \quad (3.33)$$

şeklinde yazılabilir. (3.33) ifadesi, yarıiletkenle dengede olan işgal edilmiş arayüzey hallerindeki değişimi verir ve yarıiletkenin fermi seviyesine göre, hallerin enerjisindeki değişim olan dV_s ile belirlenir. Bundan dolayı, $\frac{dQ_{sb}}{dV_s} = qN_{sb}$ eşitliği yazılabilir. (3.29) ve (3.33) ifadeleri (3.28) de yerine yazılacak olursa;

$$\left(1 - \frac{1}{n}\right) = \frac{\delta}{\epsilon_i} \left[\frac{\epsilon_s}{nd} + \frac{qN_{sb}}{n} \right] \quad (3.34)$$

ve buradan

$$n = 1 + \frac{\delta}{\epsilon_i} \left[\frac{\epsilon_s}{d} + qN_{sb} \right] \quad (3.35)$$

elde edilir. n-tipi yarıiletkende, yarıiletken yüzeyindeki arayüzey hallerinin E_{sb} enerjisi, iletkenlik bandının tabanına göre,

$$E_c - E_{sb} = q\Phi_b - qV \quad (3.36)$$

ile verilir (Singh, 1985)

3.3. Cheung Fonksiyonları ve Schottky Diyot Karakteristiklerinin Belirlenmesi

I - V karakteristiklerinin doğru beslem kısmından, metal-yarıiletken kontak yapısının, Schottky diyot parametrelerinin hesaplanması için Cheung (1996) tarafından değişik

bir model sunuldu. Termoyonik emisyonunda bulunan J akım yoğunluğu, diyodun A etkin alanıyla çarpılırsa, diyottan geçen toplam akım,

$$I = A \cdot J = \left[AA^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_{bn}}{kT}\right) \right] \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (3.37)$$

olarak elde edilir. $eV \gg kT$ ise, 1 ihmal edilebilir. Pratikte, uygulanan voltajın tümü arınma bölgesinde düşmediğinden, ideal durumdan sapmalar olacaktır. Bunları ifade edebilmek için, birimsiz bir sabit olan n idealite faktörü de hesaba katılmalıdır. Bu durumda akım,

$$I = A \cdot J = \left[AA^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_{bn}}{kT}\right) \right] \left[\exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) \right] \quad (3.38)$$

halini alır. Burada, uygulanan V voltajının, IR_s kadarı seri direnç üzerinde düşeceğinden V yerine $V-IR_s$ alınır ve (3.38) ifadesi;

$$I = A \cdot J = \left[AA^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_{bn}}{kT}\right) \right] \left[\exp\left(\frac{e(V-IR_s)}{nkT}\right) \right] \quad (3.39)$$

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

$$V = \left(\frac{nkT}{e}\right) \ln\left(\frac{I}{AA^* T^2}\right) + n\Phi_{bn} + IR_s \quad (3.40)$$

elde edilir. (3.40) ifadesinin $\ln I$ 'ya göre diferansiyeli alınır,

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{e} + IR_s \quad (3.41)$$

elde edilir. (3.41) eşitliğinde $\frac{dV}{d(\ln I)}$ 'nin I 'ya göre grafiği bir doğrudur ve bu doğrunun eğimi R_s seri direncini verir. Bu doğrunun düşey eksenini kestiği noktadan n idealite faktörü bulunur. Φ_{bn} potansiyel engel yüksekliği;

$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{e}\right) \ln\left(\frac{I}{AA^* T^2}\right) \quad (3.42)$$

şeklinde bir $H(I)$ fonksiyonuyla tanımlanabilir. (3.40) ve (3.41) eşitliklerinden;

$$H(I) = n\Phi_{bn} + IR_s \quad (3.43)$$

yazılabilir. $H(I)$ - I grafiği çizildiğinde, elde edilecek doğrunun eğimi, R_s seri direncini verir. Bu doğrunun $H(I)$ eksenini kestiği noktadan da $e\Phi_{bn}$ engel yúkseklíđi bulunur.



4. MATERYAL ve YÖNTEM

4.1. Giriş

Bu bölümde yapılan deneysel çalışmalar, izlenen yöntemler, kullanılan teknikler anlatılmaktadır. Ayrıca *I-V*, *C-V*, *G-V* ve *C-f* ölçümlerinden elde ettiğimiz dataları kullanarak diyot parametrelerinin nasıl hesaplandığını, sonuçlara nasıl ulaşıldığını göstermeye çalışacağız.

4.2. GaAs Kristalinin Temizlenmesi

Bu çalışmada, iki yüzü parlatılmış, [100] doğrultusunda büyütülmüş, 450 µm kalınlığında ve donör konsantrasyonu $2-5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ olan *n-GaAs(Te)* yarıiletken dilimi kullanılmıştır. *n-GaAs(Te)* yarıiletken dilim yüzeyinin, organik ve mekanik kirlere arındırılması, alınan ölçülerin ve elde edilecek sonuçların güvenilirliği açısından çok önemlidir. Numune yüzeyi, fabrikasyon olarak parlatıldığından mekanik temizlemeye gerek duyulmamıştır. Kimyasal olarak yaptığımız işlemler şunlardır:

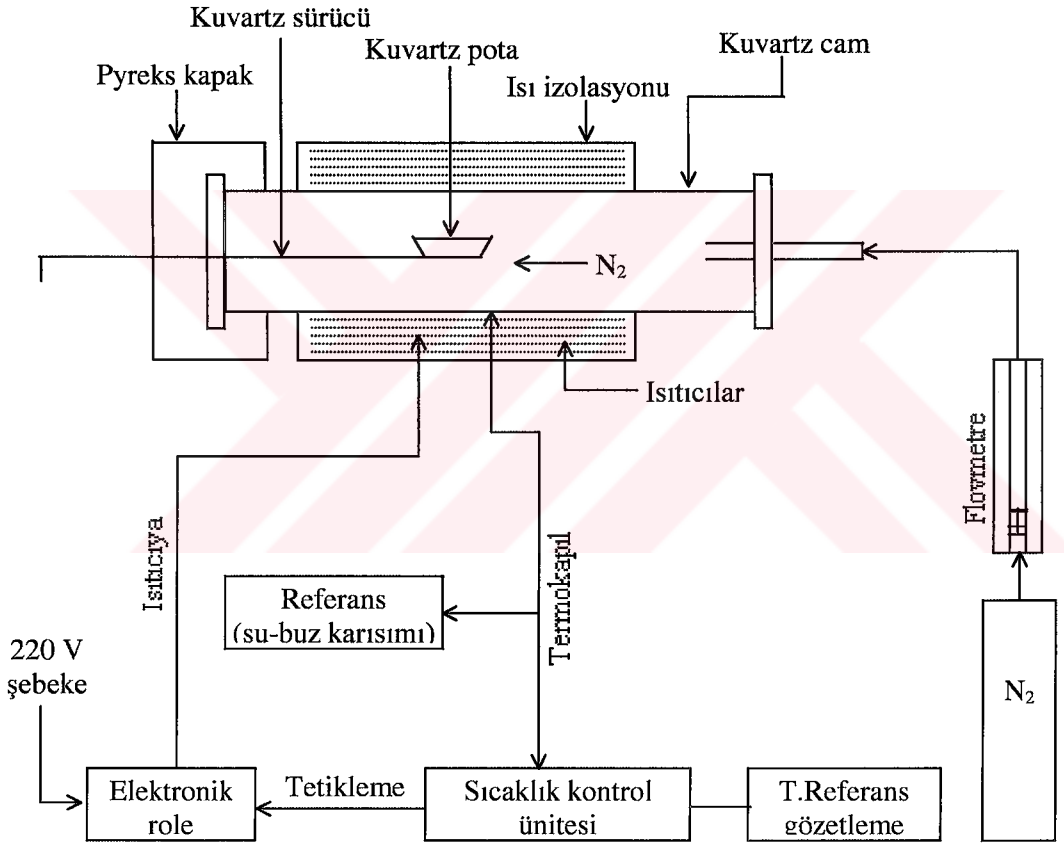
1. Trikloretilende ultrasonik olarak 5 dk. yıkama,
2. Asetonda ultrasonik olarak 5 dk. yıkama,
3. Metanolda ultrasonik olarak 5 dk. yıkama,
4. Deiyonize su (18MΩ) ile iyice yıkama,
5. $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O}$ (5:1:1) ile 1 dk. iyice yıkama,
6. Deiyonize su ile iyice yıkama,
7. Azot gazı (N_2) ile kurutma

Yarıiletken dilim yüzeyine buharlaştırmada kullandığımız metaller, metanolda ultrasonik olarak ve $\text{H}_2\text{O} + \text{HCl}$ (10:1) içerisinde ayrı ayrı beşer dakikalık süreler zarfında yıkanarak deneylerde kullanılır hale getirilmiştir.

4.3. Oksit Tabakasız ve Tabii Oksit Tabakalı Numunelerin Hazırlanması

Numune, üzerinde çalışılmaya hazır hale getirildikten sonra, yüzeylerden birine omik kontak yapılma işlemine geçildi. Bunun için molibden ısıtıcı %10'luk HCl ile, daha

sonra da deiyonize su ile gereği kadar yıkandı, temizlendi, kurutuldu, vakum cihazına yerleştirildi, yüksek akımda yakıldı ve hazır hale getirildi. Daha sonra, omik kontak yapımında kullanılacak Au-Ge (%88-%12) alaşımı kimyasal olarak temizlendi, ısıtıcı üzerine yerleştirildi ve yüksek vakum ortamında eritildi. Çalışmaya devamla numune ile birlikte elde ettiğimiz eriyik, 10^{-5} torr basınçta kaplama ünitesindeki fanus içerisinde vakuma alındı ve bir yüzeyine metal alaşım buharlaştırıldı. Bilahare vakum ortamından alınan numune N_2 ortamında, $425^{\circ}C$ de, 3 dk. tavlanaarak omik kontak işlemi gerçekleştirilmiş oldu. Omik kontak yapımında kullanılan tavlama fırını ve sıcaklık kontrol ünitesi Şekil 4.1’de görüldüğü gibidir.



Şekil 4.1. Tavlama fırını ve sıcaklık kontrol ünitesi şeması

Omik kontak işleminin tamamlanmasından sonra, numune altı parçaya ayrıldı. Bu parçalardan birinin diğer yüzüne omik kontak olarak AuGe yerine, Au buharlaştırılmak suretiyle 1.35 mm çapında Schottky kontak yapımı gerçekleştirildi. Böylece Au/n-GaAs/AuGe Schottky diyodu elde edilmiş oldu. Yapılan bu numune

oksit tabakasız referans A numunesi olarak adlandırıldı. Öteki parçalarda doğal oksit tabakasının homojen bir şekilde oluşması maksadıyla ikinci parça 5 gün, üçüncü parça 10 gün, dördüncü parça 20 gün, beşinci parça 30 gün ve altıncı parça 45 gün temiz oda havasında bekletildikten sonra ilk parçada uygulanan işlemler yapıldı ve diğer Schottky diyotların oluşumları gerçekleştirildi.

Bir taraftan numunelerde yukarıda belirttiğimiz süreler zarfında tabii oksit tabakasının oluşması beklenirken, diğer taraftan yapılan diyotların ölçümleri kendilerine has süreler sonunda sistematik olarak alındı.. Yani,bir başka deyişle, yaşlanma etkisinin gözlenmesi maksadıyla, yapılan diyotların oluşumlarını müteakip hemen ve periyodik olarak 7 gün, 14 gün, 30 gün , 45 gün, 75 gün ve 105 günlük sürelerde ölçümleri gerçekleştirildi ve datalara ulaşıldı.

Yapılan diyotlara ve alınan periyodik ölçümlere göre diyotların adlandırılması şu şekildedir:

- 1- A numunesi: Omik kontak yapıldıktan sonra hemen,
 - 2- B numunesi: Omik kontak yapıldıktan 5 gün sonra,
 - 3- C numunesi: Omik kontak yapıldıktan 10 gün sonra,
 - 4- D numunesi: Omik kontak yapıldıktan 20 gün sonra,
 - 5- E numunesi: Omik kontak yapıldıktan 30 gün sonra,
 - 6- F numunesi: Omik kontak yapıldıktan 45 gün sonra,
- Schottky kontaklar yapılarak hazırlanmış oldu.

Yaşlanma etkisini belirlemek maksadıyla diyotların yapılan periyodik ölçümlerinden elde edilen sonuçların isimlendirilmesi aşağıdaki gibidir:

- 1- Numunelerin hemen alınan ölçümleri: A1, B1, C1, D1, E1, F1,
- 2- Numunelerin 7 gün sonra alınan ölçümleri: A2, B2, C2, D2, E2, F2,
- 3- Numunelerin 14 gün sonra alınan ölçümleri: A3, B3, C3, D3, E3, F3,
- 4- Numunelerin 30 gün sonra alınan ölçümleri: A4, B4, C4, D4, E4, F4,
- 5- Numunelerin 45 gün sonra alınan ölçümleri: A5, B5, C5, D5, E5, F5,
- 6- Numunelerin 75 gün sonra alınan ölçümleri: A6, B6, C6, D6, E6, F6,
- 7- Numunelerin 105 gün sonra alınan ölçümleri: A7, B7, C7, D7, E7, F7.

4.4. Schottky Kontaklarda Akım-Gerilim Ölçümleri ile Diyot Parametrelerinin Hesaplanması

Çalışmada kullanılan numunelere ait akım-gerilim (I - V) ölçümleri, bilgisayar kontrollü KEITLEY 487 Picoammeter/Voltage Source cihazı ile oda sıcaklığında ($T=300K$) yapıldı. Schottky kontakların I - V ölçümlerinden idealite faktörleri, engel yükseklikleri ve nötral bölge seri dirençleri gibi bazı parametreler hesaplandı.

İdealite faktörü, diyodun ideal özelliklerinden sapmasını gösteren boyutsuz bir parametredir. İdeal bir diyot için, bu faktör $n=1$ olarak verilir. İdealite faktörü hesaplanırken, (2.31) ile verilen ifadenin akım cinsinden yazılmış hali olan;

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (4.1)$$

bağıntısı kullanıldı. Doğru beslemde $eV \gg 3kT$ olduğundan, bu eşitlikteki 1 terimi ihmal edilebilir. Bu durumda (4.1) eşitliği;

$$I = I_0 \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) \quad (4.2)$$

şeklinde yeniden yazılabilir. (4.2) eşitliğinin her iki tarafının tabii logaritması alındıktan sonra V 'ye göre türev alınırsa, idealite faktörü;

$$n = \frac{e}{kT} \frac{dV}{d(\ln I)} \quad (4.3)$$

olarak elde edilir. Ölçümle elde edilen I - V datalarından, $\ln I$ - V grafiği çizilirse, bu grafiğin doğru beslem kısmına bir doğru fit edilir. Bu doğrunun eğimi $dV/d(\ln I)$ 'yı verir. Bu değer ve diğer sabit terimler (4.3) eşitliğinde yerine yazılarak idealite faktörleri hesaplandı. Yine bu doğrunun $V=0$ 'da düşey ekseni kestiği nokta I_0 doyma akım yoğunluğunu verir. (4.2) eşitliğindeki I_0 doyma akım yoğunluğu;

$$I_0 = AA^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_b}{kT}\right) \quad (4.4)$$

şeklinde dir. Her iki tarafın logaritması alınarak, Φ_b 'ye göre çözümlerse,

$$e\Phi_b = kT \ln \left(\frac{AA^*T^2}{I_0} \right) \quad (4.5)$$

elde edilir. Bu engel yüksekliğini verir. Burada, A , diyodun etkin alanı ($A=1,43.10^{-2}$ cm^2), A^* , Richardson sabiti (n-GaAs için $A^*=8,16$ $\text{A/K}^2\text{cm}^2$), T , Kelvin cinsinden ortam sıcaklığı ($T=300\text{K}$) ve k , Boltzman sabitidir ($k=8,625.10^{-5}$ eV/K).

Bir başka yöntemle, (3.41) ve (3.43) ile verilen Cheung fonksiyonları kullanılarak, diyotların nötral bölge seri dirençleri, idealite faktörleri ve engel yükseklikleri hesaplandı. (3.41) denklemindeki $dV/d(\ln I)$ oranının I 'ya göre çizilen grafiği bir doğru verir. Bu doğrunun, $I=0$ 'da düşey ekseni kestiği noktadan idealite faktörü ve bu doğrunun eğiminden de seri direnç değeri elde edildi. (3.43) denkleminde elde edilen $H(I)-I$ grafiği de bir doğru verir. $H(I)-I$ grafiğinde, $I=0$ iken doğrunun düşey ekseni kestiği noktadan, diyotun Schottky engel yüksekliği ve bu doğrunun eğiminden de R_s seri direnci elde edilmektedir.

4.5. Schottky Kontaklarda Kapasite-Gerilim (C-V) Ölçümleri ile Diyot Parametrelerinin Hesaplanması

Bir Schottky diyodun uzay yükü bölgesine ait kapasitesi, metal-yarıiletken arayüzeyin oluşumu hakkında önemli bilgiler verir. Kapasite, ters beslem gerilimine bağlı olarak ölçülürse, doğrultucu kontağa ait engel yüksekliği ve yarıiletkendeki taşıyıcı konsantrasyonu hesaplanabilir (Wilmsen, 1985).

Yapılan numuneler için $C-V$ ölçümleri, $T=300$ K , $f=1000$ KHz ve (-2) - 0.4 aralığında, HP 4192 A ZF Impedans Analyzer cihazı ile yapılmıştır. Bu ölçülerden parametrelerin hesaplanabilmesi için (2.13) ifadesi gözönünde bulunduruldu. Buradaki; $V_{d,0}$ difüzyon potansiyelinin elde edilebilmesi için $C^{-2}-V$ grafiği çizilir. $C^{-2} = 0$ için $V=V_{d,0}$ olur. (2.13) ifadesinin V 'ye göre türevi alınıp taşıyıcı konsantrasyonu N_d çekilirse (2.14) ifadesi elde edilir. $C^{-2}-V$ grafiğindeki lineer kısma bir fit yapılırsa elde edilecek doğruyu eğimi $d(C^{-2})/dV$ 'yi verir. Eğim değerleri bulunduktan sonra (2.14)'de yerine yazılarak her bir diyot için N_d taşıyıcı konsantrasyonları elde edildi.

Termal denge durumunda n-tipi bir yarıiletkenin iletkenlik bandının elektron konsantrasyonu;

$$n_0 = N_c \exp\left(\frac{E_f - E_c}{kT}\right) \quad (4.6)$$

ile verilmektedir. Burada, N_c , termal denge durumunda iletkenlik bandındaki elektron konsantrasyonu olup GaAs için $N_c = 4,7.10^{17} \text{ cm}^{-3}$ olarak verilmiştir. n-tipi yarıiletken durumunda $N_d \gg n_i$ olacağı için $n_0 \cong N_d$ olur (Neamen,1992). Burada, n_i , intrinsic elektron konsantrasyonudur. Bu durum dikkate alınarak (4.6) denklemi yeniden düzenlenecek olursa,

$$N_d = N_c \exp\left(\frac{E_f - E_c}{kT}\right) \quad (4.7)$$

şeklinde elde edilir. Bu eşitlikte her iki tarafın logaritması alınır ve iletkenlik bandı referans seviyesi olarak kabul edilirse ($E_c=0$), bu durumda (4.7) ifadesi;

$$E_f = kT \ln\left(\frac{N_d}{N_c}\right) \quad (4.8)$$

şeklinde yeniden elde edilir. (2.14) ifadesi ile her bir diyot için hemen ve zamana bağlı ölçümlerden hesaplanan N_d değerleri (4.8) denkleminde yerine yazılarak, iletkenlik bandının tabanı ile fermi seviyesi arasındaki fark olan V_n değerleri elde edildi.

MIS olmayan yapılar için, hesaplanan $V_{d,0}$ ve V_n enerji değerleri;

$$\Phi_{b,0} = V_{d,0} + V_n \quad (4.9)$$

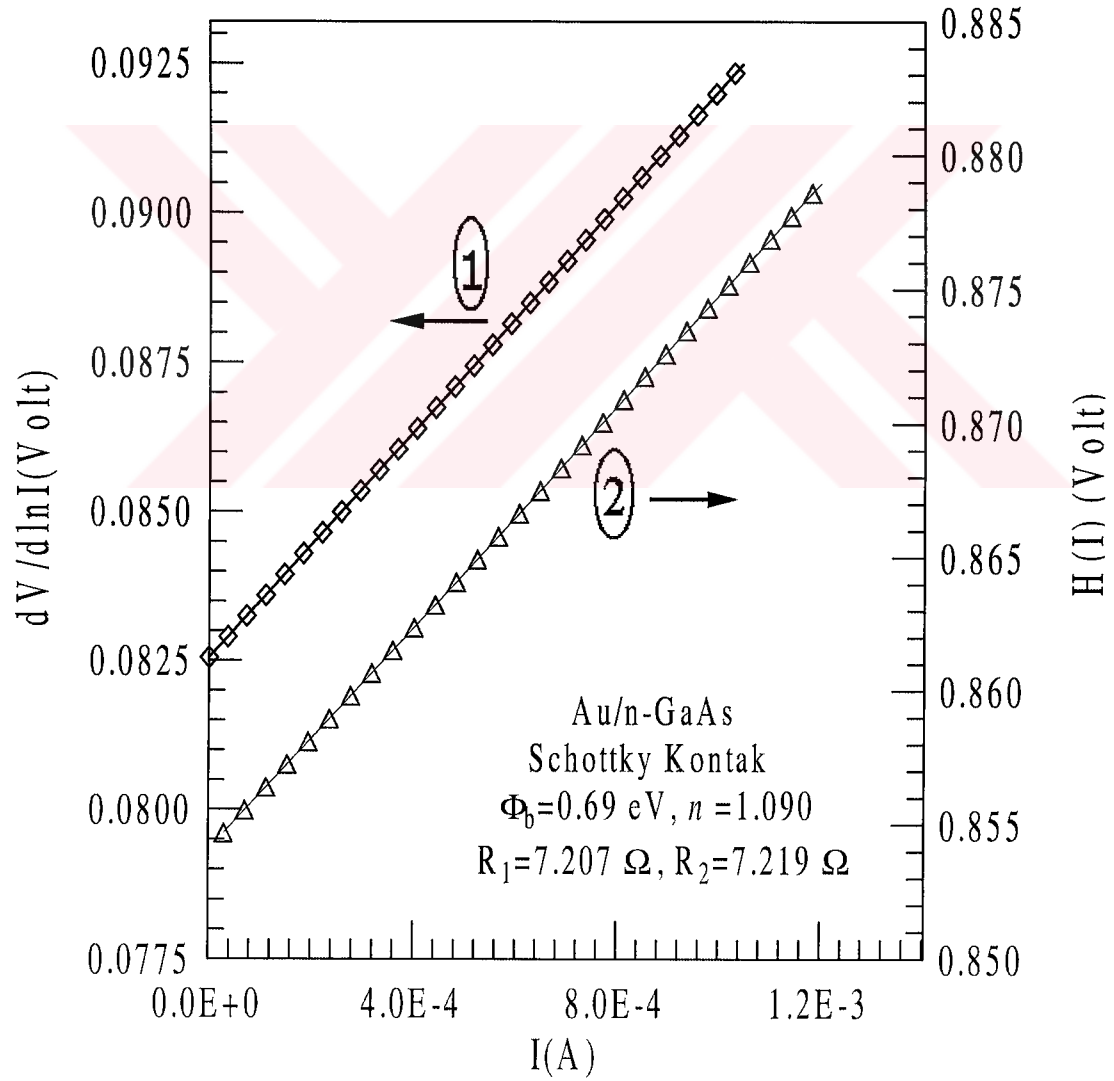
ile verilen denklemde yerine yazılarak engel yükseklikleri hesaplandı (Sağlam ve Türüt, 1997)

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Akım-Gerilim Ölçümlerinden Elde Edilen Diyot Parametreleri

Bölüm 4.4'de anlatılan işlemler bütün numuneler için yapıldı. I - V hesaplamalarından elde edilen bazı diyot parametrelerine ait deneysel değerler; A, B, C, D, E, F numunelerinin hemen alınan ölçümleri için, Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Numuneler içerisinde Referans A numunesi seçilerek, Cheung fonksiyonlarına ait $dV/d(\ln I)$ - I ve $H(I)$ - I grafikleri, örnek olmak üzere, Şekil 5.1.'de verilmiştir.



Şekil 5.1. A numunesinin A1 ölçümüne ait Cheung fonksiyonu grafikleri

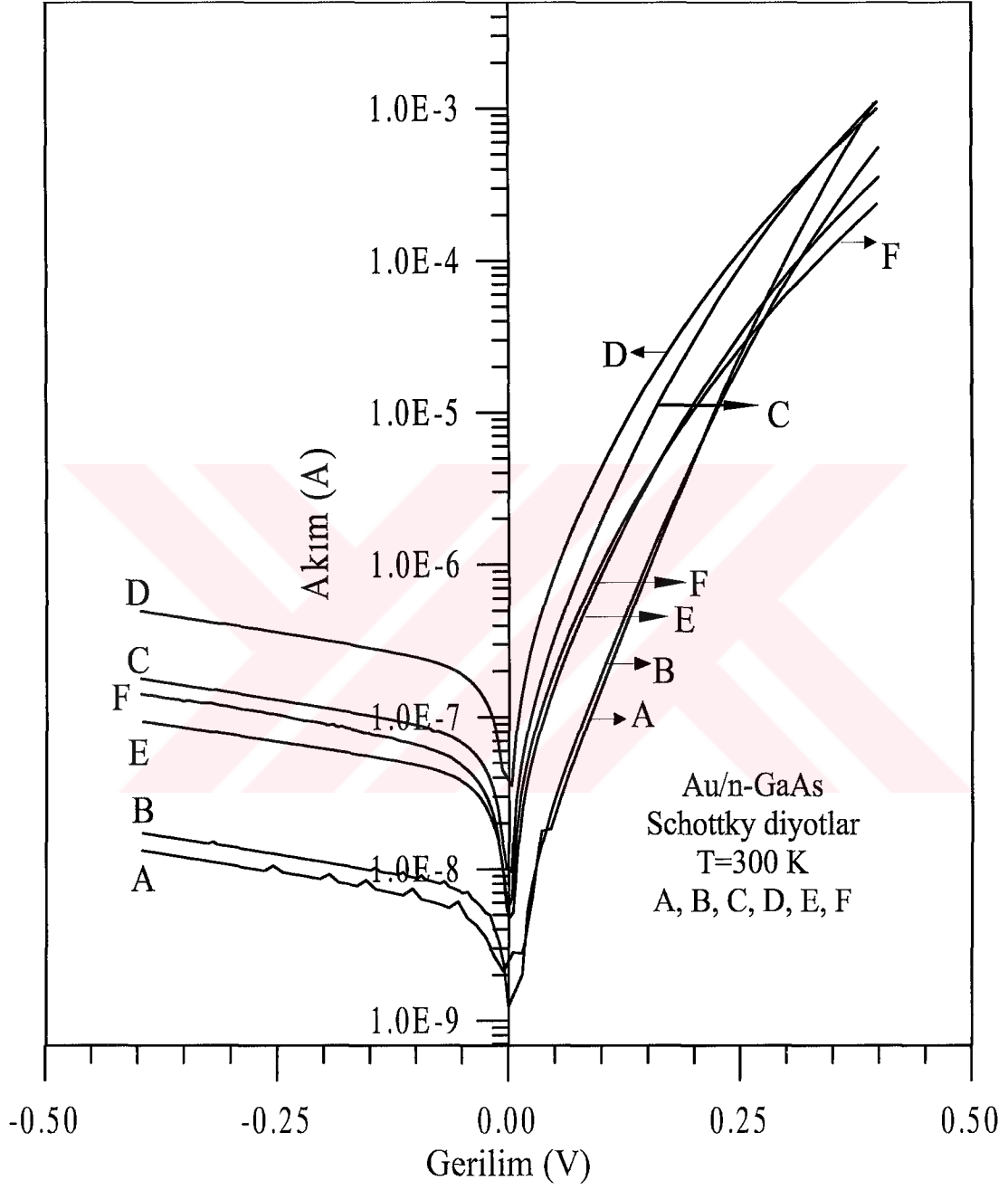
Tablo 5.1. Yapılan numunelerin hemen alınan ölçümlerinin karşılaştırılmasıyla hesaplanan bazı karakteristik parametrelerinin deneysel değerleri. Numunelerin hemen alınan ölçümleri: A1, B1, C1, D1, E1, F1 olarak isimlendirildi

	n ($I-V$)	n (<i>Cheung</i>)	$\Phi_b(eV)$ ($I-V$)	$\Phi_b(eV)$ (<i>Cheung</i>)	$\Phi_b(eV)$ ($C-V$)	$R_s(\Omega)$ ($dV/d\ln I$)- I	$R_s(\Omega)$ $H(I)-I$
A1	1.090	1.469	0.730	0.690	0.790	7.207	7.219
B1	1.110	1.970	0.706	0.635	0.754	12.249	12.110
C1	1.273	2.280	0.661	0.590	0.749	11.527	11.133
D1	1.480	2.589	0.629	0.572	0.728	12.101	12.440
E1	1.427	2.666	0.671	0.593	0.797	18.331	18.257
F1	1.460	3.092	0.667	0.587	0.747	10.673	11.100

Yapılan bütün numunelerin, havaya maruz kalma etkisini gösteren, alınan ilk ölçümleri yardımıyla çizilen $\ln I-V$ grafiği Şekil 5.2.'de verilmiştir.

Her numunenin , kendi arasında, zamana bağlı değişiminden ölçülen, yaşlanmaya ait $\ln I-V$ grafikleri Şekil 5.3-Şekil 5.8'de verilmiştir. Bu grafiklere dikkat edilirse, doğru beslem gerilimlerinin yüksek değerlerinde lineerlikten bir sapma görülmektedir. Bunun sebebi Schottky kontaklarda arayüzey hallerinin varlığı ve yarıiletkenin gösterdiği seri direnç etkisidir. Yukarıdaki tablolarda, idealite faktörünün hesaplamasındaki $n(I-V)$ ile $n(\textit{Cheung})$ arasındaki farklılıklar, hesaplamalarda kullanılan yaklaşımlardan kaynaklanmaktadır. $I-V$ 'den hesaplanan $n(I-V)$ idealite faktöründe sadece arayüzey hallerinin etkisi sözkonusudur. *Cheung* yaklaşımında ise hem arayüzey halleri hem de seri direnç etkisi dikkate alınmaktadır.

$I-V$ hesaplamalarından elde edilen bazı diyot parametrelerine ait deneysel değerler, A, B, C, D, E ve F numunelerinin zamana bağlı olarak alınan ölçümleri için, sırasıyla, Tablo 5.2.-Tablo 5.7.'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Oksit tabakasız ve oksit tabakalı Au/n-GaAs Schottky kontaktların hemen alınan ölçümlerinden elde edilen ters ve doğru beslem $\ln I-V$ grafikleri

Tablo 5.2. Au/n-GaAs numunesine omik kontak yapıldıktan sonra hemen Schottky kontağı yapılarak elde edilen oksit tabakasız referans A numunesi. Bu numunenin zamana bağılı alınan ölçümlerinden hesaplanan bazı karakteristik parametrelerinin deneysel değerleri

A	n (I-V)	n (Cheung)	Φ_b (eV) (I-V)	Φ_b (eV) (Cheung)	Φ_b (eV) (C-V)	R_s (Ω) (dV/dlnI)-I	R_s (Ω) H(I)-I
A1	1.090	1.469	0.730	0.690	0.790	7.207	7.219
A2	1.120	1.507	0.730	0.678	0.795	9.594	9.282
A3	1.107	1.546	0.731	0.675	0.793	6.781	6.757
A4	1.110	1.623	0.727	0.665	0.800	8.088	8.091
A5	1.107	1.623	0.724	0.664	0.807	8.118	8.054
A6	1.111	1.623	0.728	0.666	0.805	8.570	8.992
A7	1.110	1.623	0.722	0.664	0.796	8.751	8.962

Tablo 5.3. Omik kontak yapıldıktan sonra, yüzeyi 5 gün havaya maruz bırakarak, tabii oksit tabakası oluşturulan ve Schottky kontağı yapılan B numunesi. Bu numunenin zamana bağılı alınan ölçümlerinden hesaplanan bazı karakteristik parametrelerinin deneysel değerleri

B	n (I-V)	n (Cheung)	Φ_b (eV) (I-V)	Φ_b (eV) (Cheung)	Φ_b (eV) (C-V)	R_s (Ω) (dV/dlnI)-I	R_s (Ω) H(I)-I
B1	1.110	1.970	0.706	0.635	0.754	12.249	12.110
B2	1.151	2.203	0.707	0.616	0.797	12.834	12.694
B3	1.118	2.473	0.716	0.602	0.795	12.191	12.083
B4	1.143	2.203	0.723	0.616	0.795	11.509	11.802
B5	1.171	2.164	0.727	0.623	0.790	11.919	18.073
B6	1.185	2.396	0.720	0.614	0.783	13.890	20.723
B7	1.196	2.551	0.715	0.603	0.781	24.080	24.321

Tablo 5.4. Omik kontak yapıldıktan sonra yüzeyi 10 gün havaya maruz bırakılarak, tabii oksit tabakası oluşturulan ve Schottky kontağı yapılan C numunesi. Bu numunenin zamana bağılı alınan ölçümlerinden hesaplanan bazı karakteristik parametrelerinin deneysel değerleri

C	n (I-V)	n (Cheung)	Φ_b (eV) (I-V)	Φ_b (eV) (Cheung)	Φ_b (eV) (C-V)	R_s (Ω) (dV/dlnI)-I	R_s (Ω) H(I)-I
C1	1.273	2.280	0.661	0.590	0.749	11.527	11.133
C2	1.264	2.319	0.678	0.552	0.761	11.832	11.935
C3	1.251	2.512	0.691	0.592	0.774	11.218	10.312
C4	1.213	2.280	0.706	0.612	0.819	14.718	14.592
C5	1.253	2.357	0.700	0.606	0.817	14.322	14.822
C6	1.223	2.319	0.702	0.608	0.791	14.957	15.747
C7	1.236	2.357	0.710	0.601	0.789	14.958	15.213

Tablo 5.5. Omik kontak yapıldıktan sonra yüzeyi 20 gün havaya maruz bırakılarak, tabii oksit tabakası oluşturulan ve Schottky kontağı yapılan D numunesi. Bu numunenin zamana bağlı alınan ölçümlerinden hesaplanan bazı karakteristik parametrelerinin deneysel değerleri

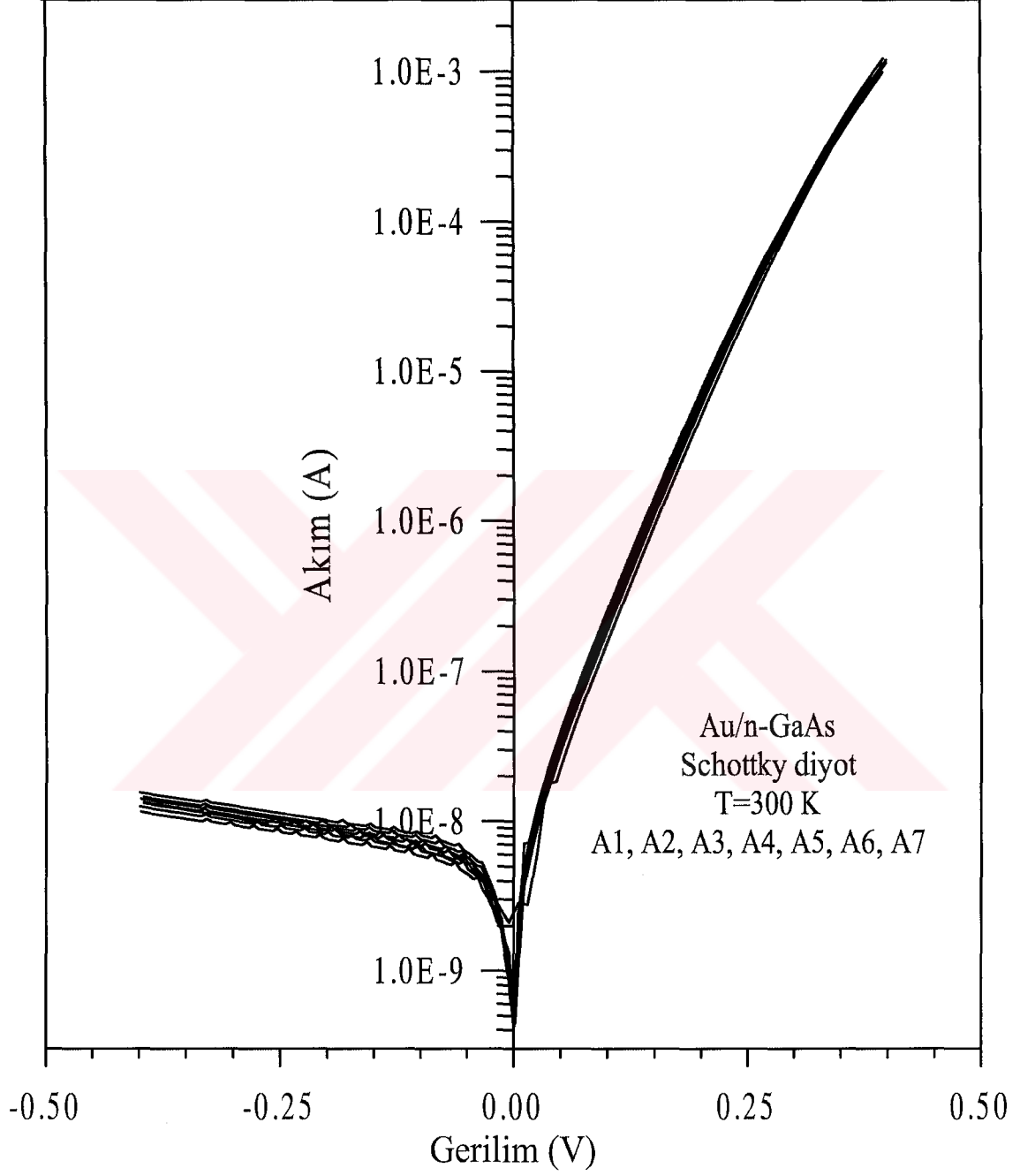
<i>D</i>	<i>n</i> (<i>I-V</i>)	<i>n</i> (<i>Cheung</i>)	Φ_b (eV) (<i>I-V</i>)	Φ_b (eV) (<i>Cheung</i>)	Φ_b (eV) (<i>C-V</i>)	$R_s(\Omega)$ (<i>dV/dlnI</i>)- <i>I</i>	$R_s(\Omega)$ <i>H(I)-I</i>
<i>D1</i>	1.480	2.589	0.629	0.572	0.728	12.101	12.440
<i>D2</i>	1.327	2.937	0.673	0.576	0.770	12.886	13.053
<i>D3</i>	1.278	2.628	0.696	0.600	0.785	12.956	12.443
<i>D4</i>	1.280	2.821	0.693	0.589	0.894	14.450	13.625
<i>D5</i>	1.257	2.705	0.700	0.598	0.790	14.677	14.819
<i>D6</i>	1.308	2.666	0.689	0.595	0.794	19.739	20.001
<i>D7</i>	1.298	2.899	0.692	0.587	0.912	20.262	19.562

Tablo 5.6. Omik kontak yapıldıktan sonra yüzeyi 30 gün havaya maruz bırakılarak, tabii oksit tabakası oluşturulan ve Schottky kontağı yapılan E numunesi. Bu numunenin zamana bağlı alınan ölçümlerinden hesaplanan bazı karakteristik parametrelerinin deneysel değerleri

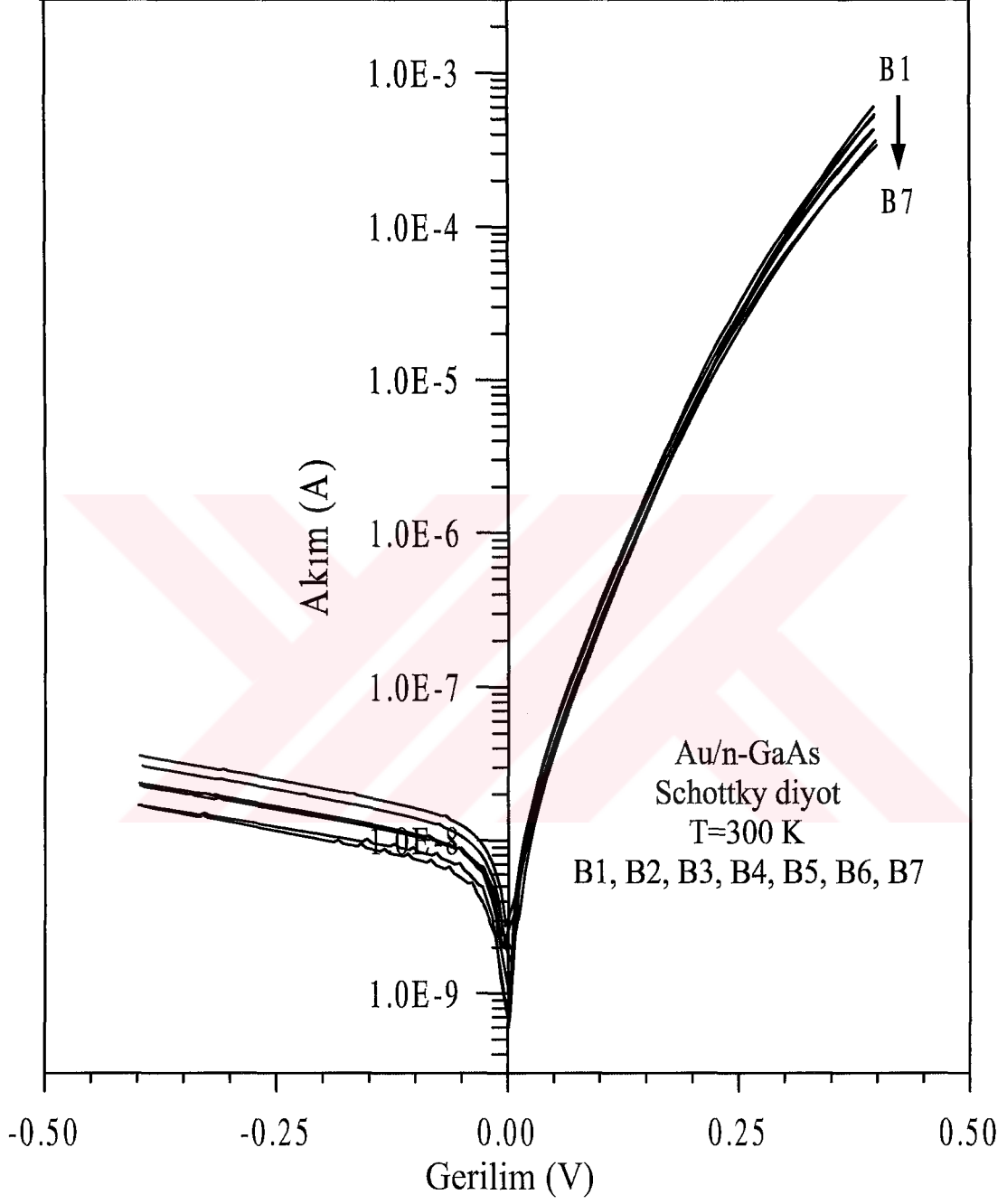
<i>E</i>	<i>n</i> (<i>I-V</i>)	<i>n</i> (<i>Cheung</i>)	Φ_b (eV) (<i>I-V</i>)	Φ_b (eV) (<i>Cheung</i>)	Φ_b (eV) (<i>C-V</i>)	$R_s(\Omega)$ (<i>dV/dlnI</i>)- <i>I</i>	$R_s(\Omega)$ <i>H(I)-I</i>
<i>E1</i>	1.427	2.666	0.671	0.593	0.760	18.331	18.257
<i>E2</i>	1.430	2.821	0.682	0.595	0.793	12.044	12.299
<i>E3</i>	1.367	3.053	0.681	0.584	0.790	11.404	11.514
<i>E4</i>	1.335	2.937	0.706	0.598	0.817	18.595	18.326
<i>E5</i>	1.396	3.053	0.688	0.588	0.854	19.468	19.713
<i>E6</i>	1.374	2.783	0.698	0.606	0.834	11.970	11.717
<i>E7</i>	1.404	3.130	0.690	0.587	0.816	11.662	12.037

Tablo 5.7. Omik kontak yapıldıktan sonra yüzeyi 45 gün havaya maruz bırakılarak, tabii oksit tabakası oluşturulan ve Schottky kontağı yapılan F numunesi. Bu numunenin zamana bağlı alınan ölçümlerinden hesaplanan bazı karakteristik parametrelerinin deneysel değerleri

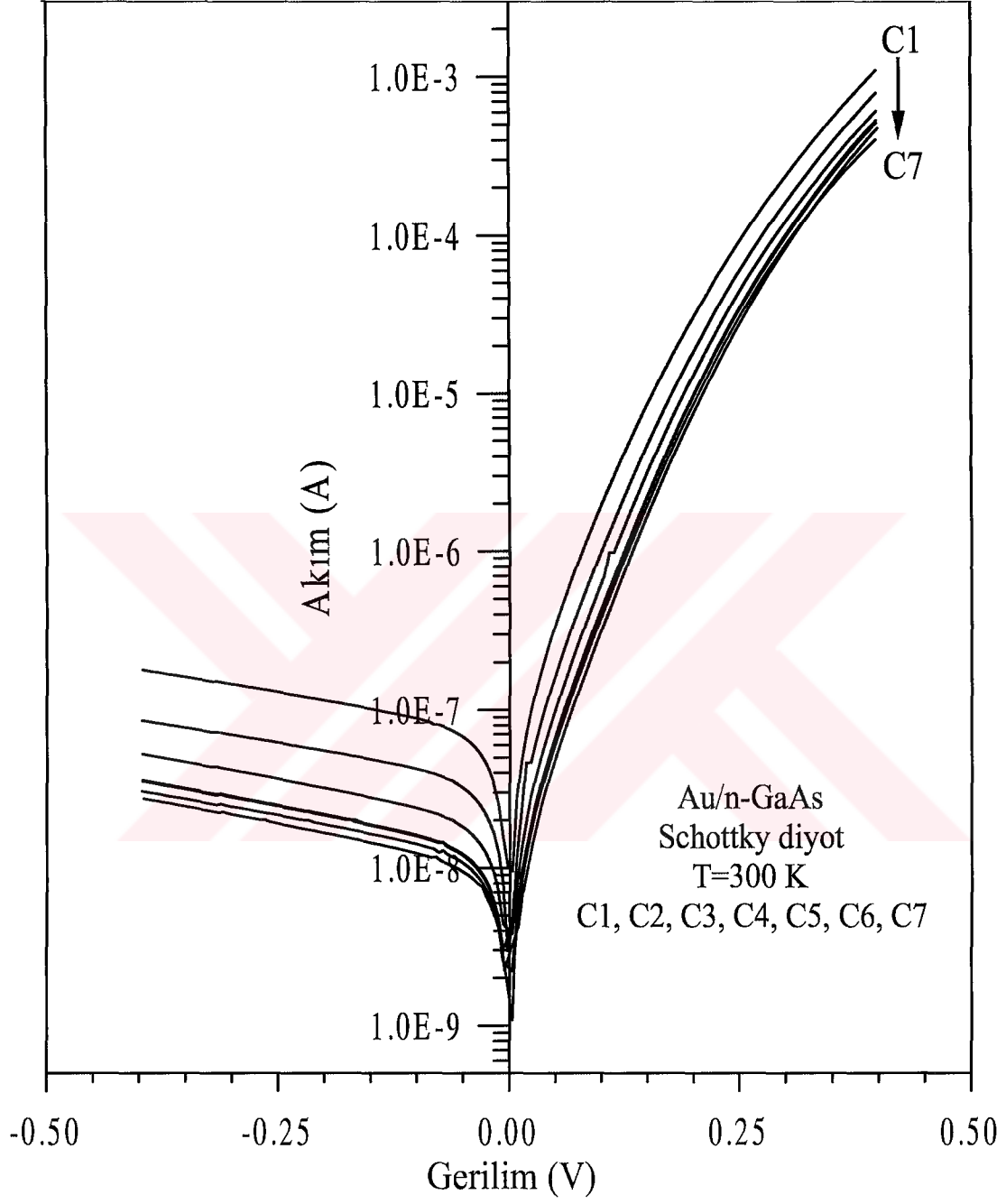
<i>F</i>	<i>n</i> (<i>I-V</i>)	<i>n</i> (<i>Cheung</i>)	Φ_b (eV) (<i>I-V</i>)	Φ_b (eV) (<i>Cheung</i>)	Φ_b (eV) (<i>C-V</i>)	$R_s(\Omega)$ (<i>dV/dlnI</i>)- <i>I</i>	$R_s(\Omega)$ <i>H(I)-I</i>
<i>F1</i>	1.460	3.092	0.667	0.587	0.720	10.673	11.100
<i>F2</i>	1.325	3.362	0.654	0.585	0.738	10.515	10.411
<i>F3</i>	1.370	3.285	0.646	0.589	0.744	14.798	14.591
<i>F4</i>	1.342	3.478	0.653	0.580	0.747	11.701	11.643
<i>F5</i>	1.377	3.594	0.642	0.573	0.759	11.078	10.383
<i>F6</i>	1.408	3.556	0.644	0.578	0.754	10.185	10.314
<i>F7</i>	1.416	3.478	0.645	0.579	0.756	11.628	11.974



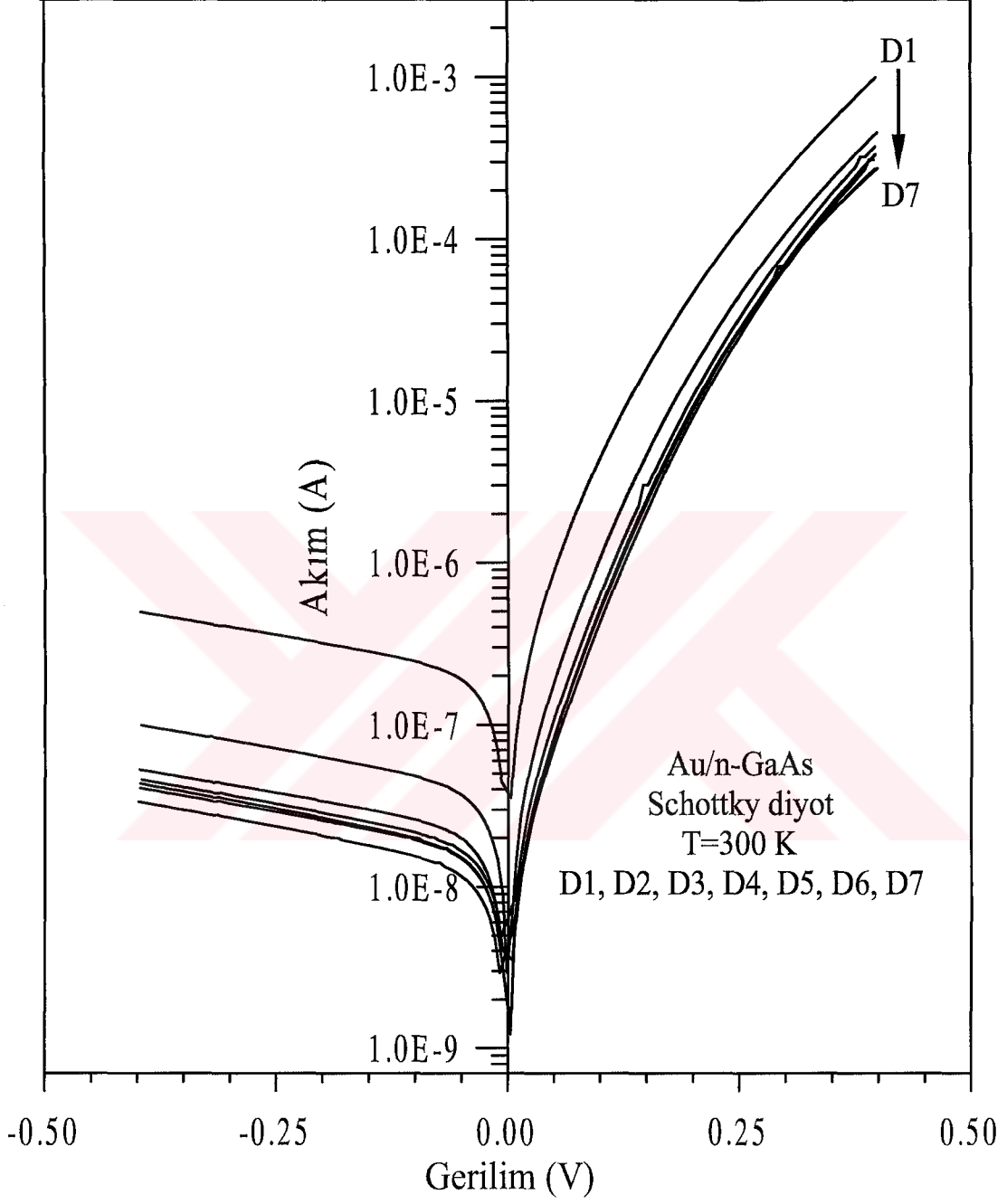
Şekil 5.3. Oksit tabakasız A numunesinin zamana bağlı ölçümlerinin ters ve doğru beslem lnI-V grafikleri



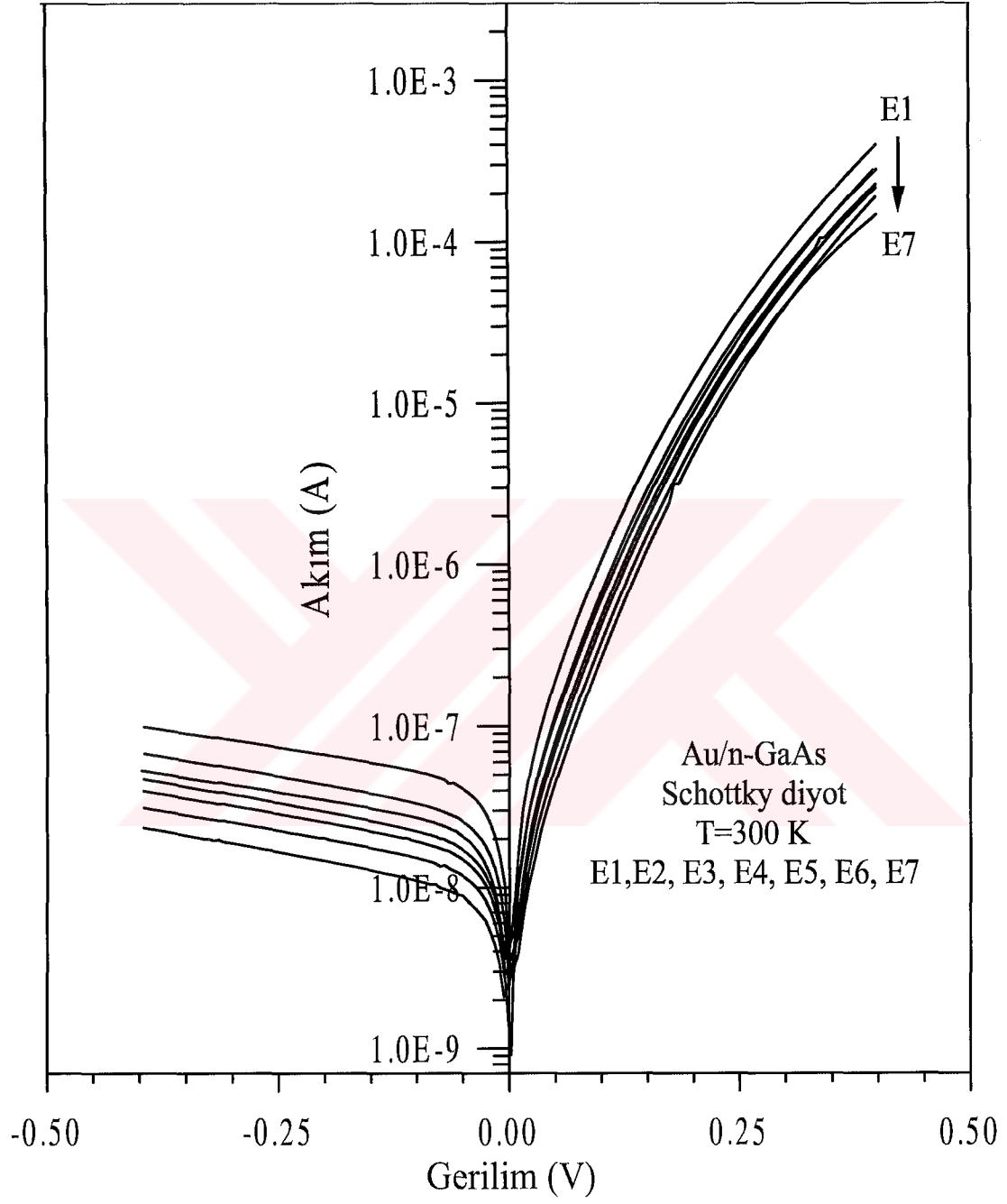
Şekil 5.4. 5 gün havaya maruz bırakıldıktan sonra Schottky kontağı yapılmış B numunesinin zamana bağlı ölçümlerinin ters ve doğru beslem $\ln I-V$ grafikleri



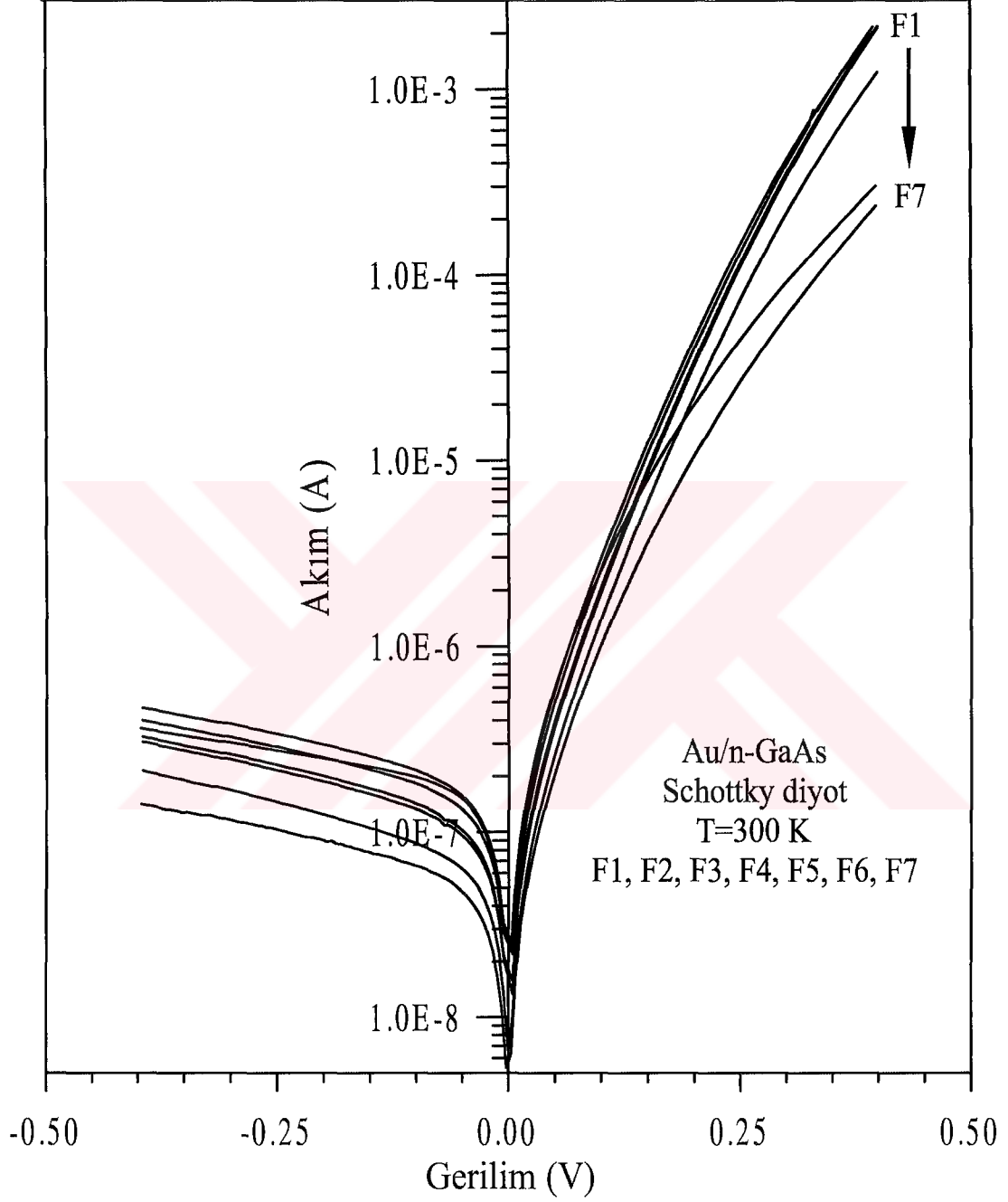
Şekil 5.5. 10 gün havaya maruz bırakıldıktan sonra Schottky kontağı yapılmış C numunesi nin zamana bağlı ölçümlerinin ters ve doğru beslem $\ln I-V$ grafikleri



Şekil 5.6. 20 gün havaya maruz bırakıldıktan sonra Schottky kontağı yapılmış D numunesinin zamana bağlı ölçümlerinin ters ve doğru beslem $\ln I-V$ grafikleri



Şekil 5.7. 30 gün havaya maruz bırakıldıktan sonra Schottky kontağı yapılmış E numunesinin zamana bağlı ölçümlerinin ters ve doğru beslem $\ln I$ -V grafikleri



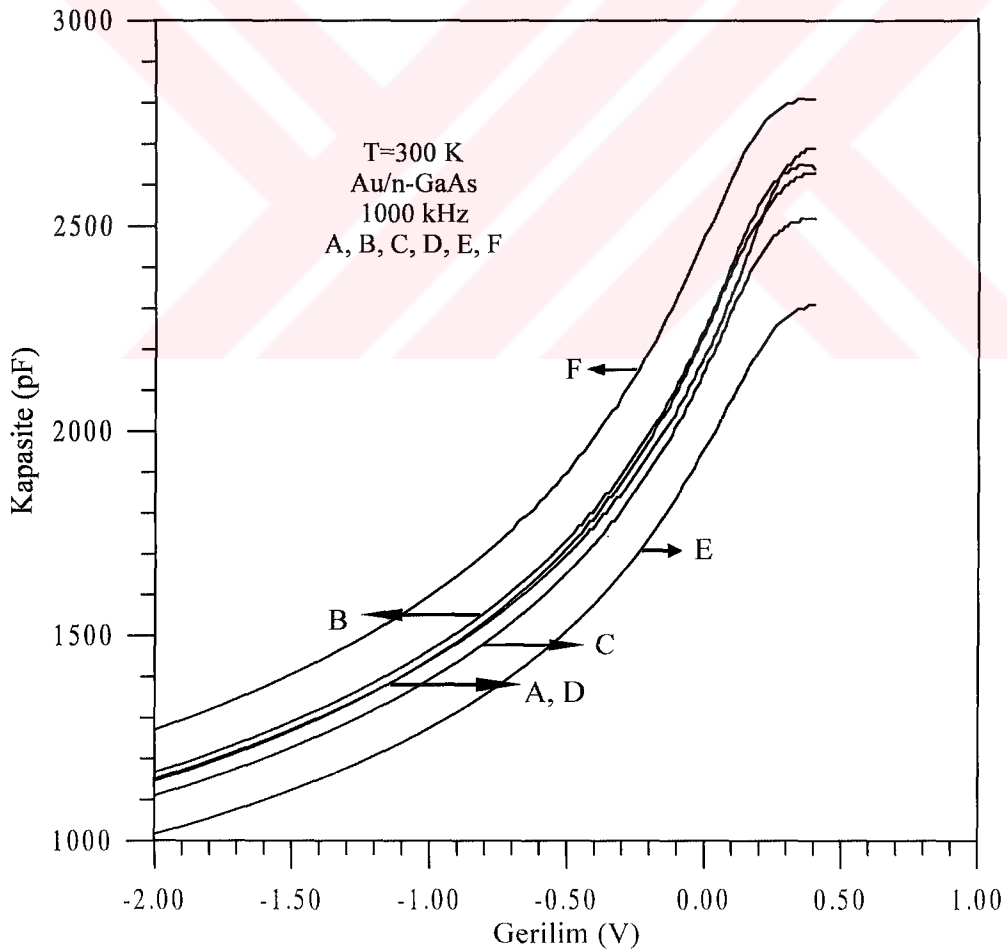
Şekil 5.8. 45 gün havaya maruz bırakıldıktan sonra Schottky kontağı yapılmış F numunesinin zamana bağlı ölçümlerinin ters ve doğru beslem $\ln I-V$ grafikleri

5.2. Kapasite-Gerilim Ölçümlerinden Elde Edilen Diyot Parametreleri

Bölüm 4.5.'de bahsedilen işlemler, Referans A numunesinden ve havaya maruz bırakılarak yüzeyi oksitlenen B, C, D, E ve F numunelerinden alınan ölçümlere uygulandı. Bu işlemlerin sonucunda bulunan $V_{d,o}$, V_n , N_d ve Φ_b değerleri tabii oksit tabakasının etkisini göstermek amacıyla her numunenin hemen alınan ölçümleri için Tablo 5.8.'de verilmiştir.

Bütün numuneler için elde edilen N_d taşıyıcı yoğunluğu değerlerinin N_c 'den küçük oldukları gözlemlendi.

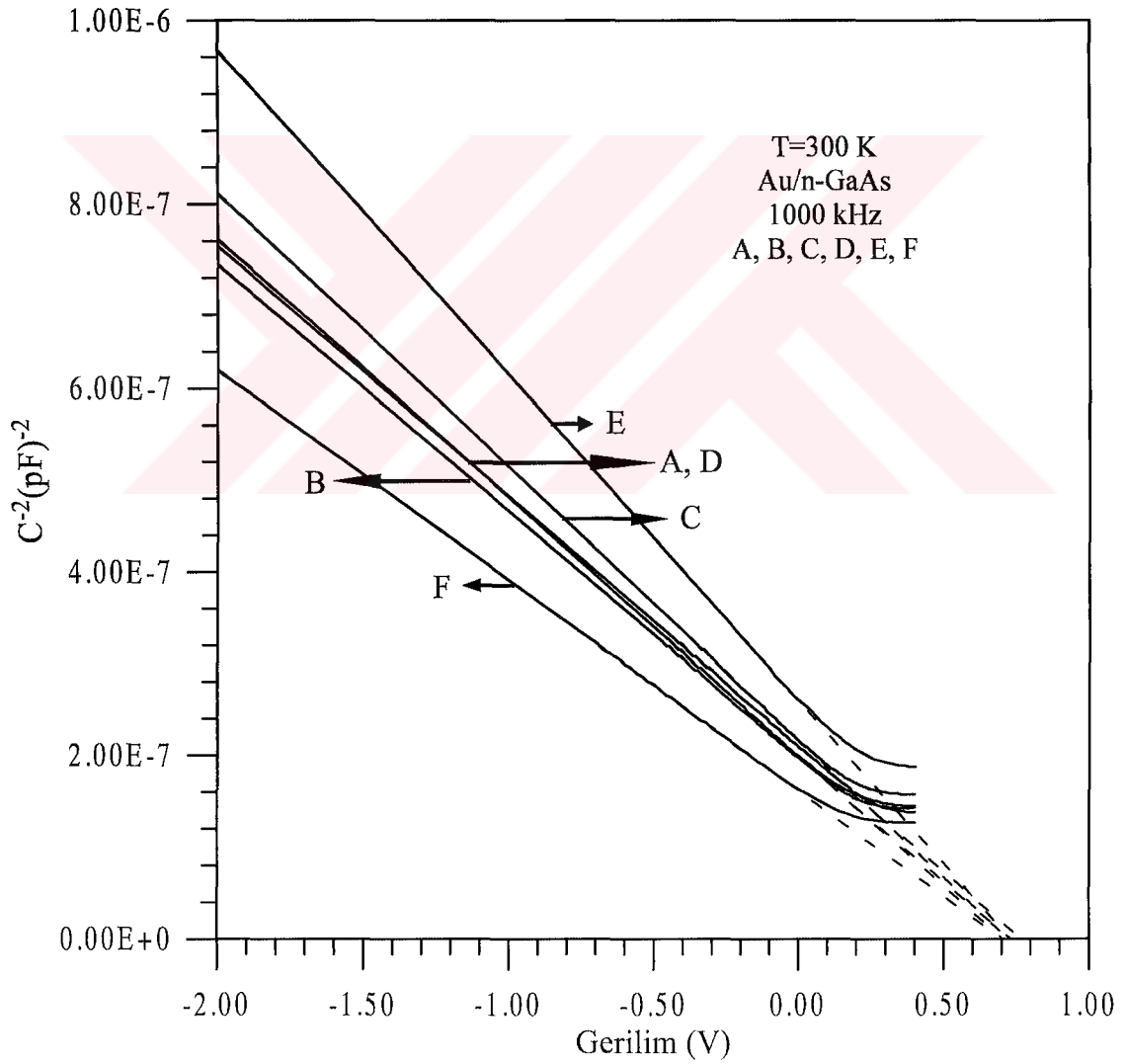
(-2)-(1) V aralığındaki ters beslem C-V ölçümlerinden elde edilen verilere ait grafik Şekil 5.9.'da verilmiştir. Her numunenin hemen alınan ölçümlerinden çizilen C^2 -V grafiği de Şekil 5.10.'da verilmiştir.



Şekil 5.9. Oksit tabakasız ve oksit tabakalı Au/n-GaAs Schottky diyotların hemen alınan ölçümlerinden ters beslem altındaki C-V grafikleri

Tablo 5.8. Yapılan numunelerin, hemen alınan ölçümlerinin, C-V metodu ile hesaplanmış olan bazı deneysel parametrelerine ait ortalama değerler

Numune adı	$V_{d,0}$ (eV)	V_n (eV)	Φ_b (eV) (C-V)	$N_d \times 10^{17}$ (cm^{-3})
A1	0.768	0.022	0.790	1.935
B1	0.732	0.022	0.754	1.961
C1	0.724	0.024	0.749	1.769
D1	0.705	0.023	0.728	1.871
E1	0.731	0.029	0.760	1.487
F1	0.703	0.018	0.720	2.298

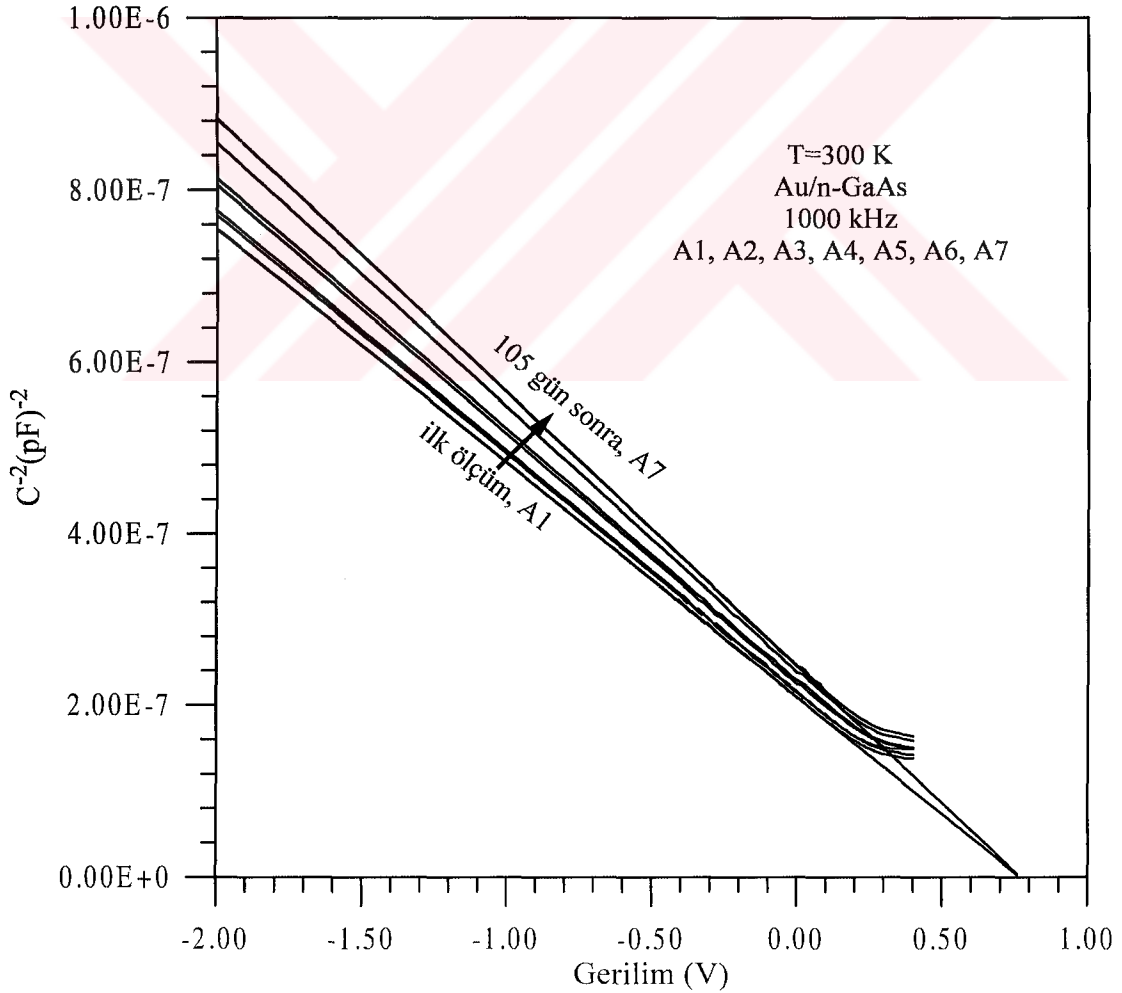


Şekil 5.10. Oksit tabakasız ve oksit tabakalı Au/n-GaAs Schottky diyotların hemen alınan ölçümlerinden elde edilen C^{-2} -V grafikleri

Yine bu değerler yaşlanma etkisinin görülmesi için her numunenin zamana bağlı ölçümleri için, sırasıyla Tablo 5.9. ve Tablo 5.14.'de verilmiştir.

Tablo 5.9. A numunesinin zamana bağlı alınan lmlerinin, C-V metodu ile hesaplanmış olan bazı deneysel parametrelerine ait ortalama değerler

lm Adı	$V_{d,0}$ (eV)	V_n (eV)	Φ_b (eV) (C-V)	$N_d \times 10^{17}$ (cm^{-3})
A1	0.768	0.022	0.790	1.935
A2	0.772	0.023	0.795	1.896
A3	0.770	0.023	0.793	1.882
A4	0.776	0.024	0.800	1.817
A5	0.783	0.024	0.807	1.804
A6	0.779	0.025	0.805	1.715
A7	0.770	0.026	0.796	1.654

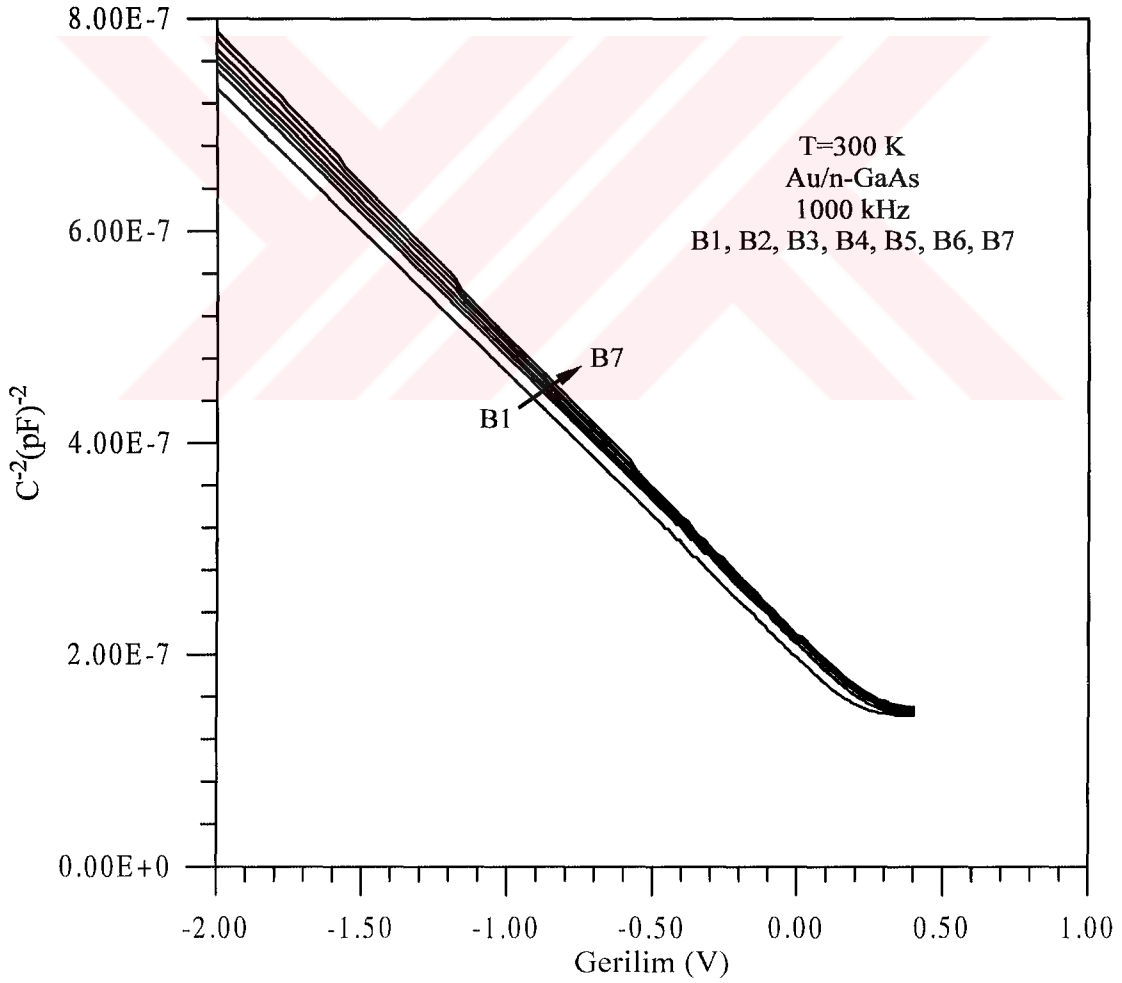


şekil 5.11. Oksit tabakasız A numunesinin zamana bağlı ölçümlerinden elde edilen C^{-2} -V grafikleri

Her numunenin zamana bağılı ölçümlerinden çizilen C^2 - V grafikleri, sırasıyla, Şekil 5.11-Şekil 5.16'da verilmiştir.

Tablo 5.10. B numunesinin zamana bağılı alınan ölçümlerinin, C - V metodu ile hesaplanmış olan bazı deneysel parametrelerine ait ortalama değerler

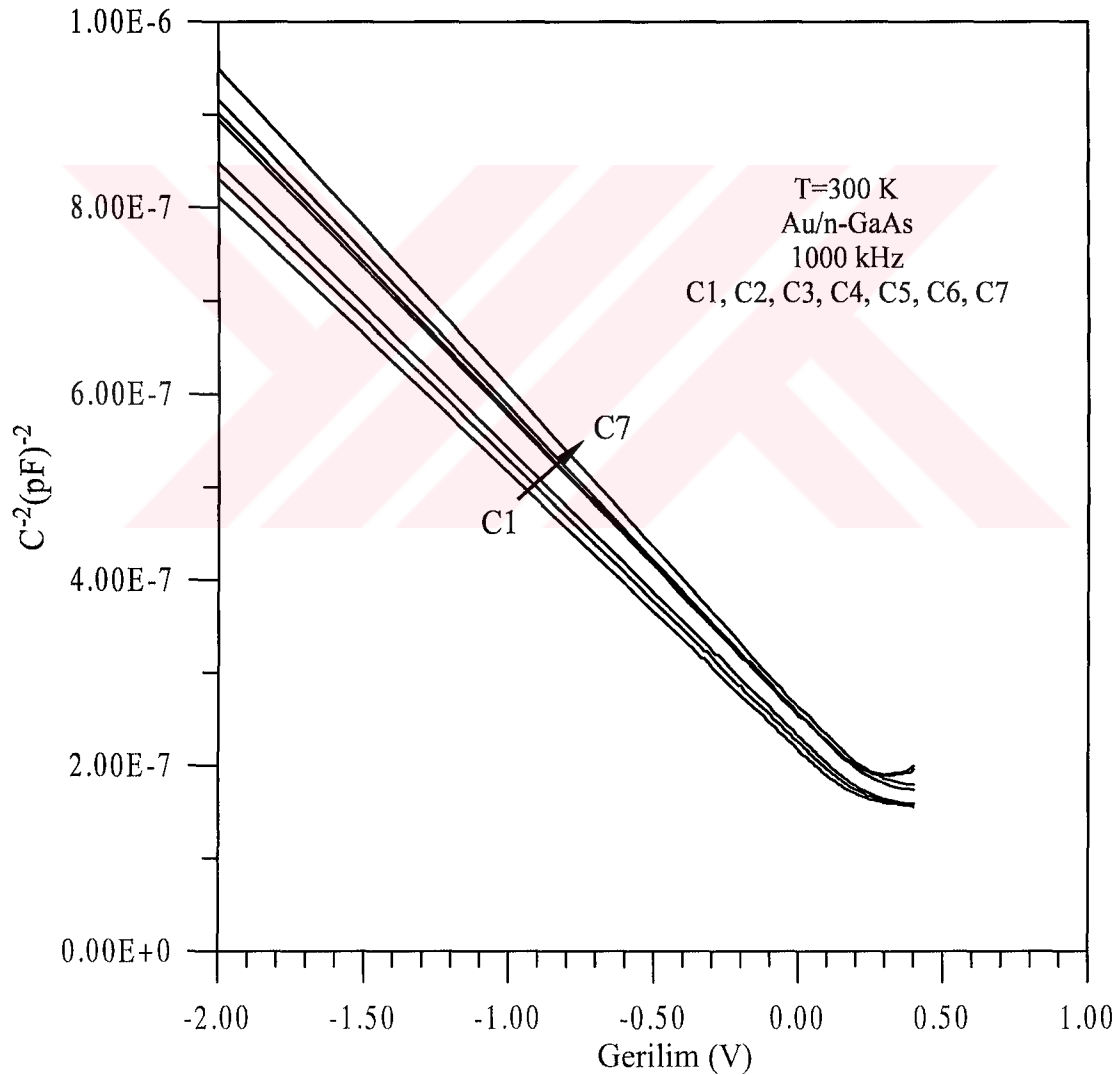
Ölçüm Adı	$V_{d,0}$ (eV)	V_n (eV)	Φ_b (eV) (C - V)	$N_d \times 10^{17}$ (cm^{-3})
B1	0.732	0.022	0.754	1.961
B2	0.775	0.022	0.797	1.946
B3	0.773	0.022	0.795	1.927
B4	0.773	0.023	0.795	1.912
B5	0.767	0.023	0.790	1.888
B6	0.760	0.023	0.783	1.864
B7	0.757	0.023	0.781	1.845



Şekil 5.12. 5 gün havaya maruz bırakılarak Schottky kontağı yapılmış B numunesinin zamana bağılı ölçümlerinden elde edilen C^2 - V grafikleri

Tablo 5.11. C numunesinin zamana bağılı alınan ölçümlerinin, C-V metodu ile hesaplanmış olan bazı deneysel parametrelerine ait ortalama değerler

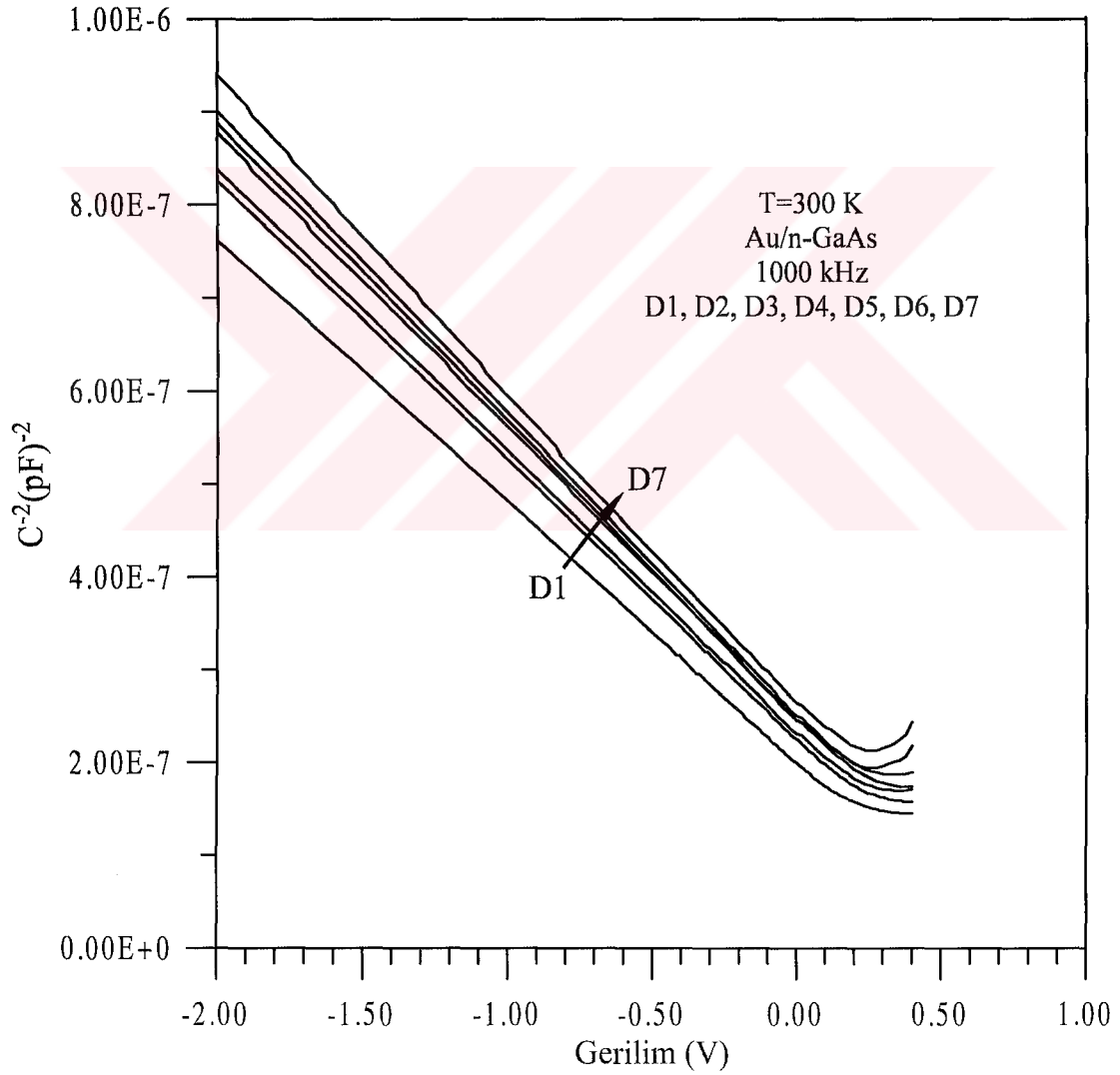
Ölçüm Adı	$V_{d,0}$ (eV)	V_n (eV)	Φ_b (eV) (C-V)	$N_d \times 10^{17}$ (cm^{-3})
C1	0.724	0.024	0.749	1.769
C2	0.737	0.025	0.761	1.734
C3	0.749	0.025	0.774	1.707
C4	0.792	0.026	0.819	1.644
C5	0.790	0.026	0.817	1.632
C6	0.763	0.027	0.791	1.589
C7	0.761	0.028	0.789	1.531



Şekil 5.13. 10 gün havaya maruz bırakıldıktan sonra Schottky kontağı yapılmış C numunesinin zamana bağılı ölçümlerinden elde edilen C^{-2} -V grafikleri

Tablo 5.12. D numunesinin zamana bağılı alınan ölçümlerinin, C-V metodu ile hesaplanmış olan bazı deneysel parametrelerine ait ortalama değerler

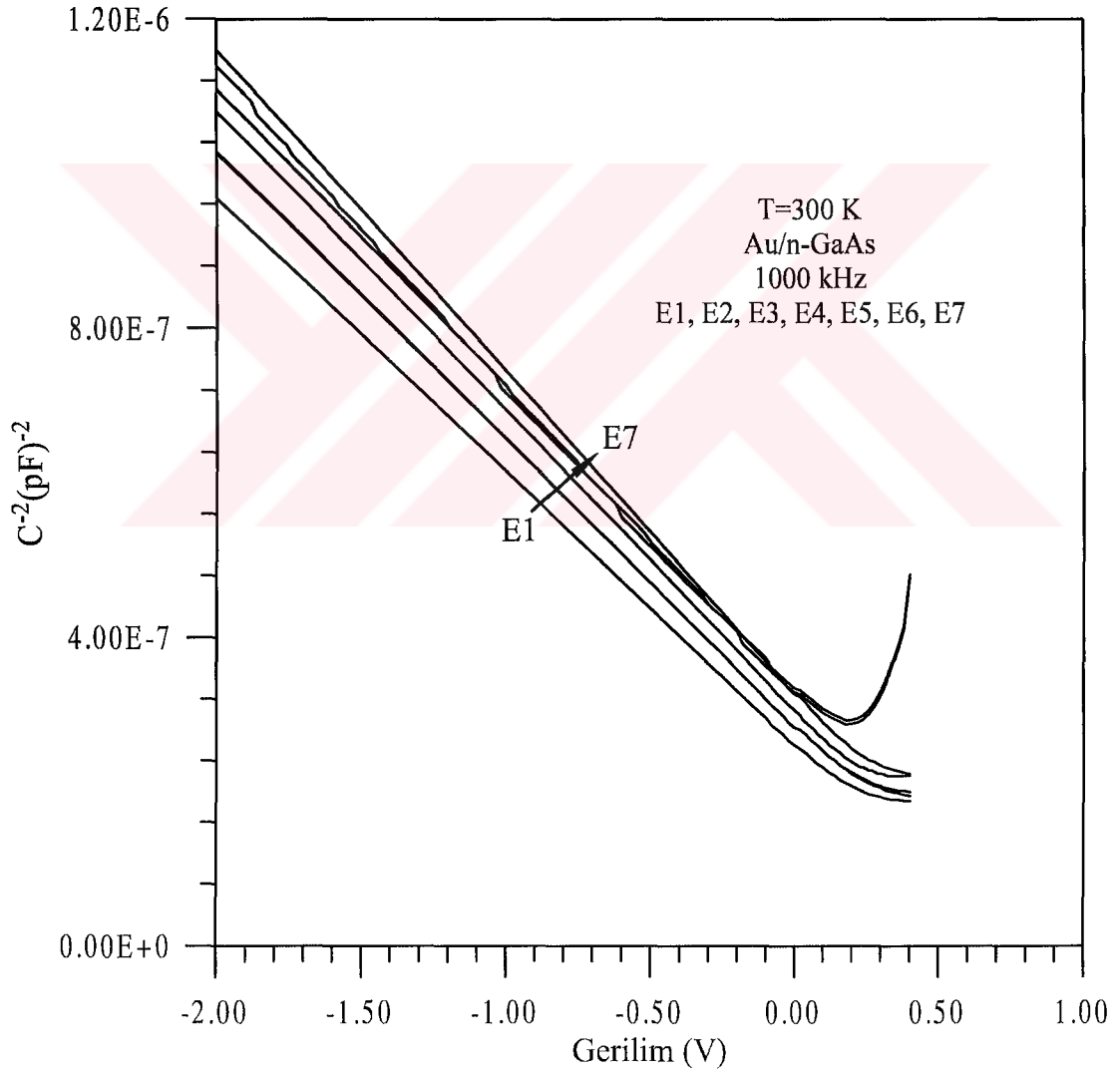
Ölçüm Adı	$V_{d,0}$ (eV)	V_n (eV)	Φ_b (eV) (C-V)	$N_d \times 10^{17}$ (cm^{-3})
D1	0.705	0.023	0.728	1.871
D2	0.745	0.025	0.770	1.752
D3	0.761	0.025	0.785	1.736
D4	0.868	0.025	0.894	1.721
D5	0.764	0.026	0.790	1.640
D6	0.768	0.027	0.794	1.619
D7	0.885	0.027	0.912	1.619



Şekil 5.14. 20 gün havaya maruz bırakıldıktan sonra Schottky kontağı yapılmış D numunesinin zamana bağılı ölçümlerinden elde edilen C^2 -V grafikleri

Tablo 5.13. E numunesinin zamana bağılı ölçümlerinin, C-V metodu ile hesaplanmış olan bazı deneysel parametrelerine ait ortalama değerler

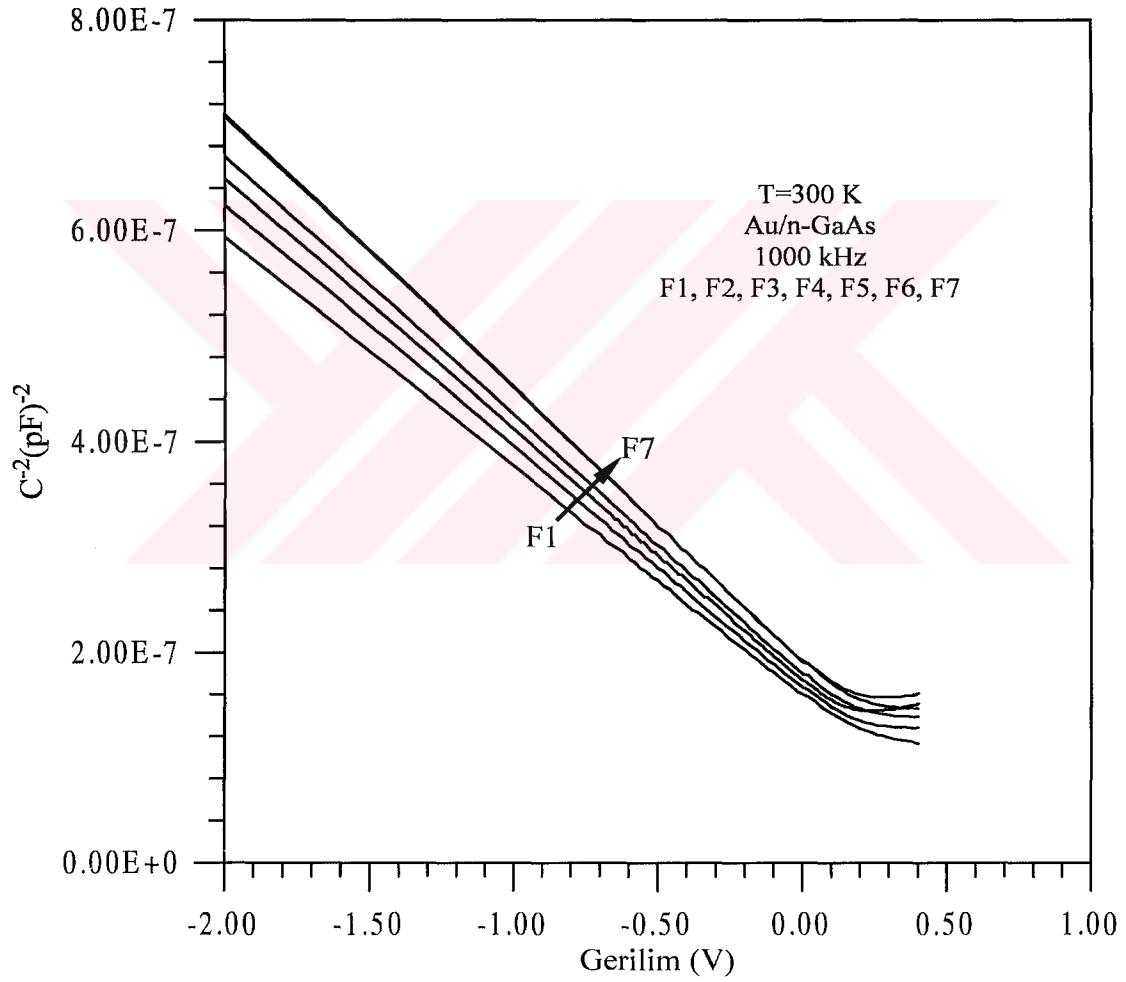
Ölçüm Adı	$V_{d,0}$ (eV)	V_n (eV)	Φ_b (eV) (C-V)	$N_d \times 10^{17}$ (cm^{-3})
E1	0.731	0.029	0.760	1.487
E2	0.763	0.030	0.793	1.419
E3	0.760	0.030	0.790	1.415
E4	0.786	0.031	0.817	1.359
E5	0.822	0.032	0.854	1.395
E6	0.802	0.032	0.834	1.320
E7	0.783	0.033	0.816	1.264



Şekil 5.15. 30 gün havaya maruz bırakıldıktan sonra Schottky kontağı yapılmış E numunesinin zamana bağılı ölçümlerinden elde edilen C^2 -V grafikleri

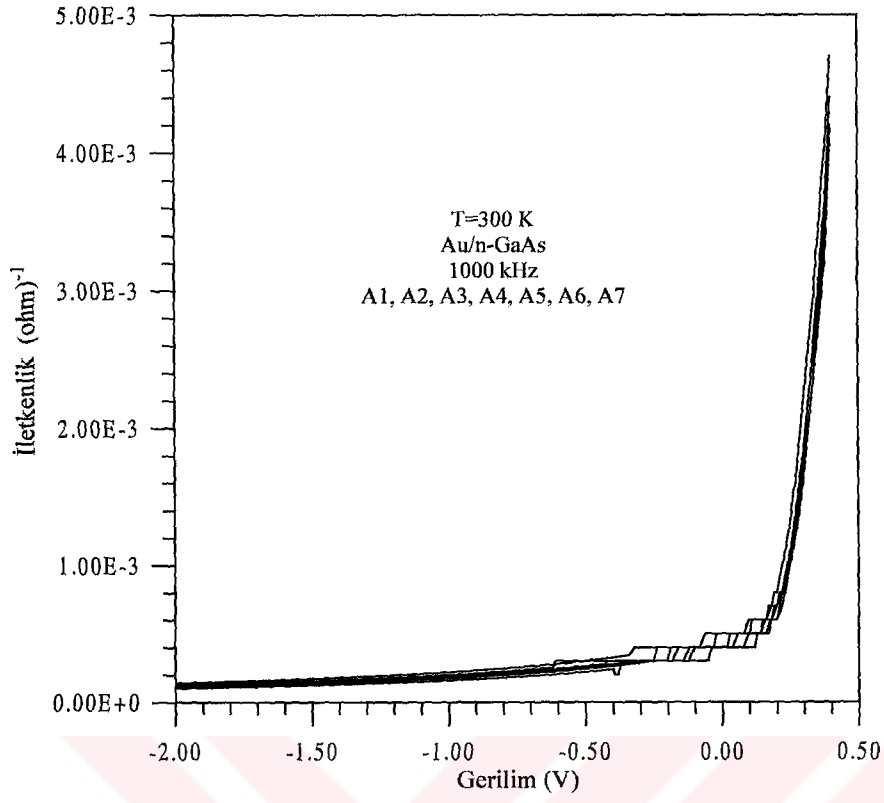
Tablo 5.14. *F* numunesinin zamana bağılı ölçümlerinin, *C-V* metodu ile hesaplanmış olan bazı deneysel parametrelerine ait ortalama değerler

Ölçüm Adı	$V_{d,0}$ (eV)	V_n (eV)	Φ_b (eV) (C-V)	$N_d \times 10^{17}$ (cm^{-3})
F1	0.703	0.018	0.720	2.298
F2	0.721	0.018	0.738	2.296
F3	0.725	0.019	0.744	2.212
F4	0.728	0.019	0.747	2.143
F5	0.738	0.021	0.759	2.035
F6	0.733	0.021	0.754	2.026
F7	0.735	0.021	0.756	1.970

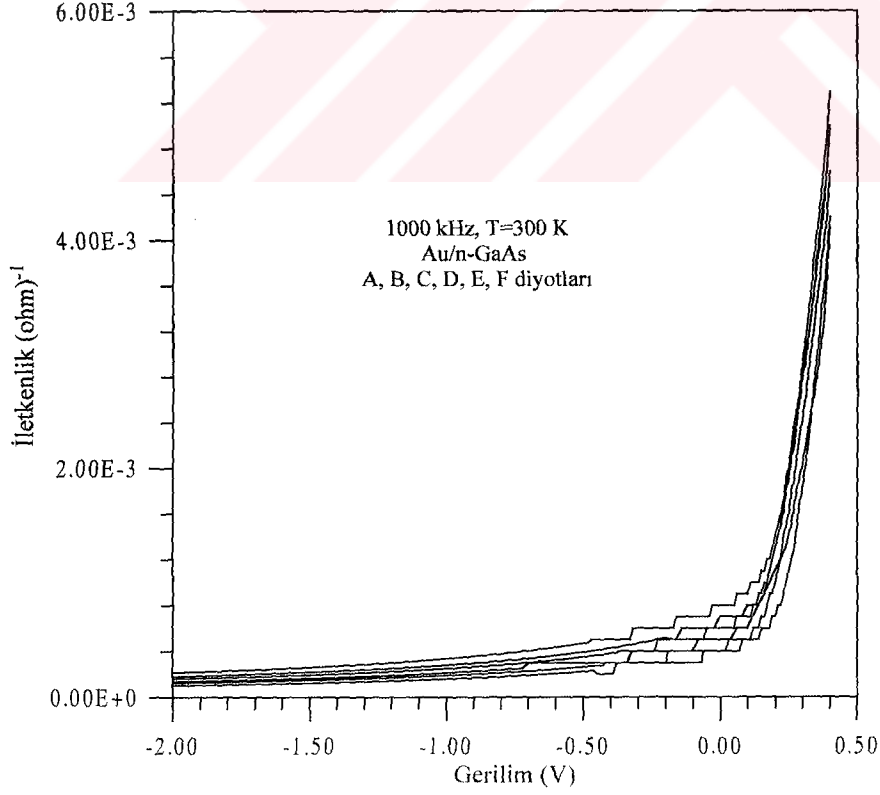


Şekil 5.16. 45 gün havaya maruz bırakıldıktan sonra Schottky kontağı yapılmış *F* numunesinin zamana bağılı ölçümlerinden elde edilen C^2-V grafikleri

Ayrıca, *G-V* ölçümlerinden elde edilen grafikler seçilen bir numune için ve her numunenin ilk ölçümleri için Şekil 5.17. ve Şekil 5.18.'de verilmiştir.



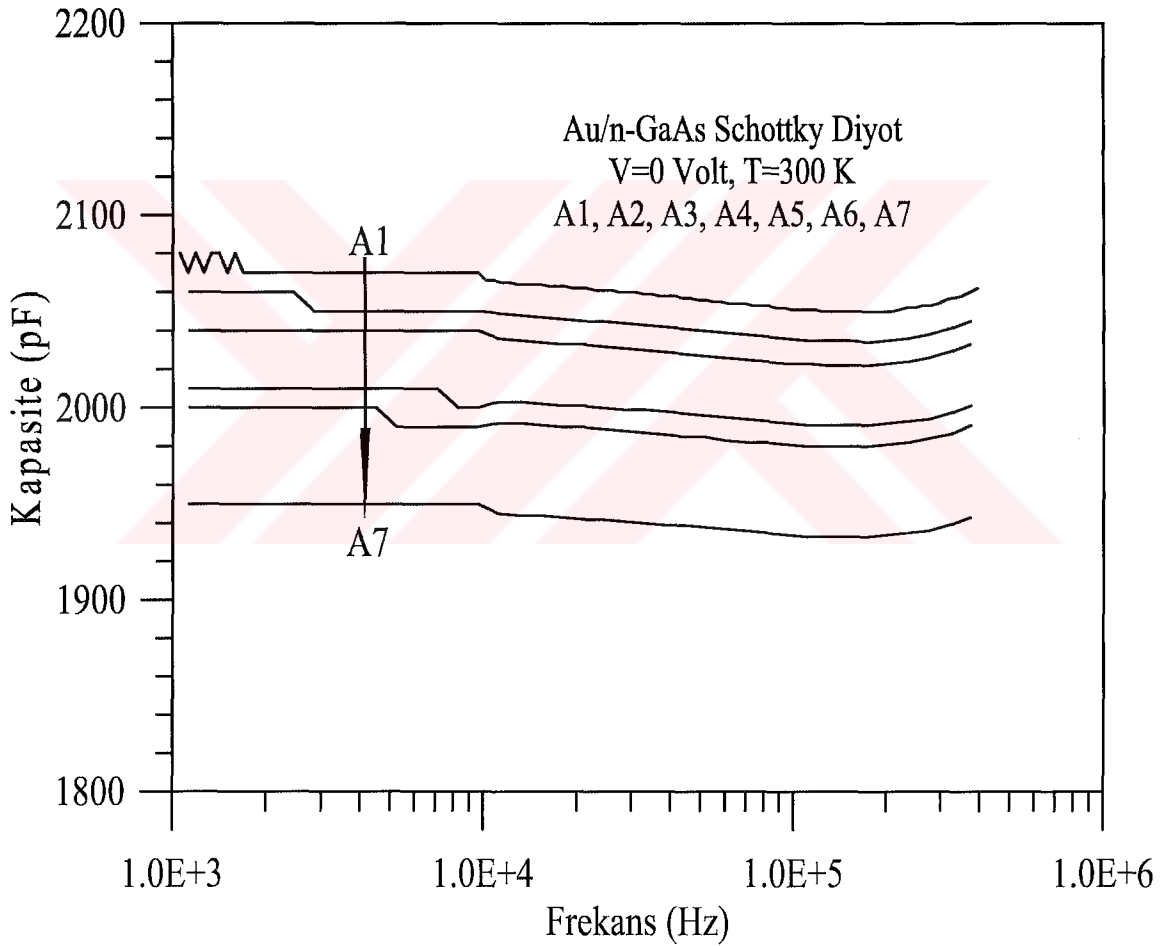
Şekil 5.17. Oksit tabakasız A numunesinin zamana bağlı ölçümlerinin sabit 1000 kHz frekans altında iletkenliğinin gerilimle değişimi



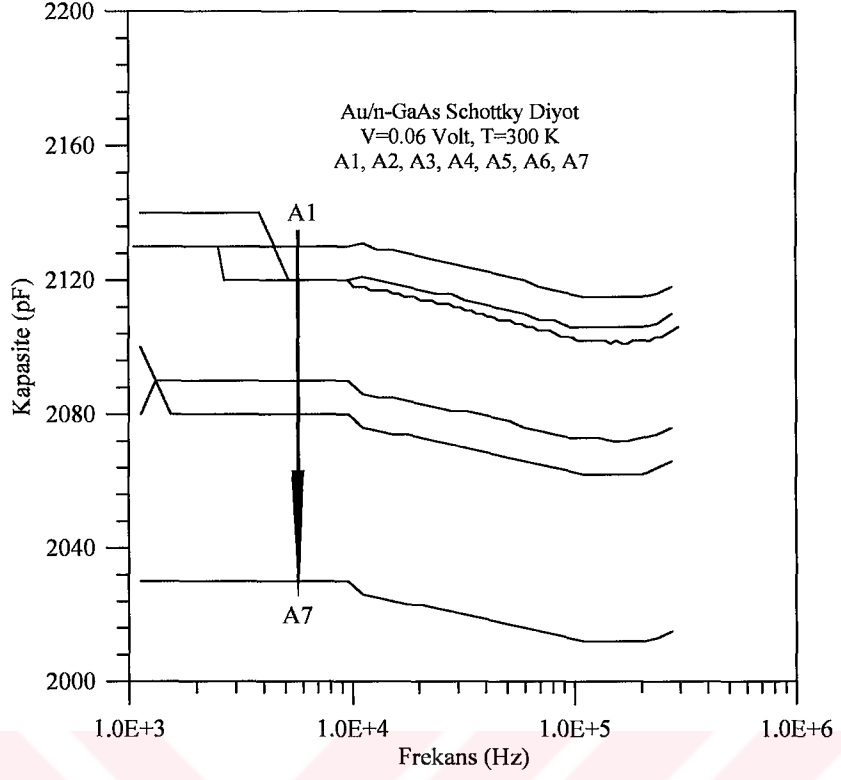
Şekil 5.18. Oksit tabakasız ve oksit tabakalı A, B, C, D, E, F Schottky diyotlarının hemen alınan ölçümlerinin sabit 1000 kHz frekans altında iletkenliğinin gerilimle değişimi

5.3. Kapasite-Frekans ($C-f$) Ölçümleri

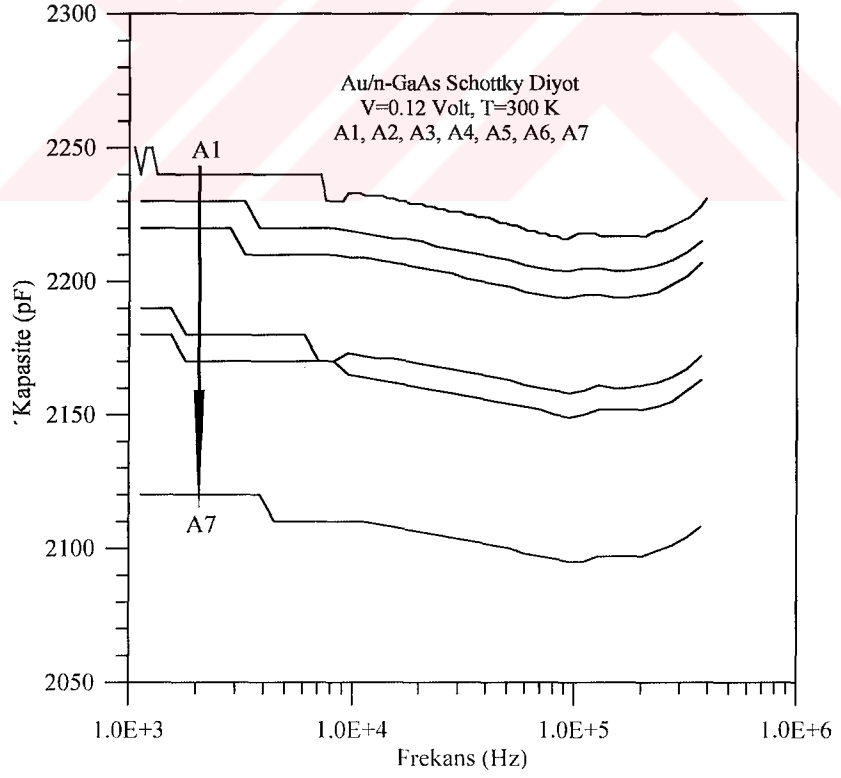
$C-f$ ölçümleri 1.0 kHz – 2.0 MHz frekans aralığında, bütün numuneler ve her numunenin yaşlanması için alınmıştır. Bu ölçümler, uygulama geriliminin frekans üzerindeki etkisini görebilmek için; 0.00 V, 0.02 V, 0.04 V, 0.06 V, 0.08 V, 0.10 V, 0.12 V, 0.14 V, 0.16 V, 0.18 V, 0.20 V, 0.22 V, 0.24 V, 0.26 V gerilim değerlerinde tekrarlanmıştır. Hemen yapılan referans A numunesinin $V=0$, $V=0.06$ ve $V=0.12$ Volt değerleri için zamana bağlı alınan ölçümlerinden çizilen $C-f$ grafikleri Şekil 5.19-Şekil 5.21'de verilmiştir.



Şekil 5.19. Oksit tabakasız A diyotunun zamana bağlı ölçümleri için $V=0$ Volt gerilim altında kapasitenin frekansla değişimi



Şekil 5.20. Oksit tabakasız A diyotunun zamana bağlı ölçümleri için V=0.06 Volt gerilim altında kapasitenin frekansla değişimi



Şekil 5.21. Oksit tabakasız A diyotunun zamana bağlı ölçümleri için V=0.12 Volt gerilim altında kapasitenin frekansla değişimi

6. SONUÇ ve TARTIŞMA

Diyot yapımında kullandığımız n-GaAs yarıiletken dilim, [100] doğrultusunda büyütülmüş olup, 450 μm kalınlığında, Tellurium (Te) katkılı ve taşıyıcı konsantrasyonu $2-5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ aralığındadır. Yarıiletken teknolojisinde önemli bir yer tutan Schottky kontakların yapımında, metal ile yarıiletken arasında veya yarıiletkenin yüzeyinde, metalin buharlaştırılması veya yüzeyin kimyasal hazırlanması esnasında bir yalıtkan tabaka oluşabilir. Oluşan bu yalıtkan tabakanın, metalin hemen buharlaştırılması ile belli periyotlar arasında buharlaştırılması ve buharlaştırıldıktan sonra oluşan numunelerin diyot parametrelerinin zamanla değişimindeki etkisini incelemeye çalıştık. Bunun için numuneyi kontak yapmadan önce oda sıcaklığında temiz oda havasına maruz bırakarak tabii oksit tabakası oluşmasını sağladık. Bu Au/n-GaAs Schottky diyotlara ait, akım-gerilim ($I-V$), kapasite-gerilim ($C-V$), iletkenlik-gerilim ($G-V$) ve kapasite-frekans ($C-f$) karakteristiklerini çizerek, diyot parametrelerini hesapladık ve bunları birbirleriyle karşılaştırdık. (3.43) denklemiyle oksit tabakasız (referans) Au/n-GaAs numunesi için elde edilen R_s seri direnç değeri 8-10 Ω aralığında olduğu bulundu.

Her iki tarafı parlatılmış GaAs dilime kimyasal temizleme işlemi yapıldı. Bütün numunelerin homojen bir omik kontak yapısına sahip olması istendiğinden, GaAs dilimin arka yüzüne omik kontak yapıldı. Numune $3.5 \times 0.5 \times 3.5 \text{ mm}^3$ büyüklüğünde altı parçaya bölündükten sonra, ilk numuneye hemen Schottky kontak oluşturularak, oksit tabakasız referans A numunesi elde edildi.

Au/n-GaAs Schottky diyotlarına ait tüm ölçümler oda sıcaklığında ($T=300 \text{ }^\circ\text{K}$) ve karanlık bir ortamda alınmıştır. Şekil 5.2.'de A1, B1, C1, D1, E1 ve F1 eğrileri, Au/n-GaAs Schottky kontakların imalatından hemen sonra ölçülen değerlerden çizilen deneysel yarı logaritmik doğru ve ters beslem $\ln I-V$ karakteristiklerini gösterir. Au/n-GaAs Schottky diyotların engel yüksekliği değeri, yarı logaritmik doğru beslem $\ln I-V$ grafiğinin y eksenini kestiği noktadan (4.5) denkleminin yardımıyla hesaplandı ve idealite faktörü n değeri bu grafiklerin lineer bölgesinden (4.3) denkleminin kullanılarak elde edildi. Bütün numunelerin Schottky kontaklarının yapılmasından hemen sonra alınan $I-V$ ölçümlerinin deneysel değerleri Tablo 5.1 'de verilmiştir. Havaya maruz

bırakılmamış referans A numunesinin hemen alınan A1 ölçümünden hesaplanan idealite faktörü ve engel yüksekliği için, sırasıyla, 1.089 ve 0.730 değerleri bulunmuştur. Ayrıca, idealite faktörü değeri, D numunesinin imal edildiği 20. güne kadar havaya maruz kalma süresinin artmasıyla arttı. 20. günden sonra idealite faktörü değeri F numunesinin imal edildiği 45. güne kadar 1.480 ve 1.460 arasında hemen hemen değişmeksizin kaldı. Tablo 5.2 ve Şekil 5.3'den görüldüğü gibi, referans A numunesinin idealite faktörü değerleri, yaşlanma zamanının artmasıyla hemen hemen değişmeden kaldı. Tablo 5.3'den ve Şekil 5.4'den, B numunesi için idealite faktörü, B1 ilk ölçümünde 1.110 iken, B7 son ölçümünde 1.196 değerine yavaş değişimlerle ulaştı. Tablo 5.4 ve Şekil 5.5'den, C numunesinin idealite faktörü 1.273-1.236 aralığında çok küçük artış ve azalışlarla değişti. Tablo 5.5 ve Şekil 5.6'dan, D numunesi için, D1 ilk ölçümünde 1.480 değerindeyken 15. günde alınan D3 ölçümüne kadar azalarak 1.278 değerine düştü, D7 son ölçümüne kadar da bu değer etrafında hemen hemen değişmeksizin kaldı. Tablo 5.6, Tablo 5.7, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'den, E ve F numunelerinin idealite faktörü değerleri, yaşlanma zamanıyla, 1.400 değeri civarında küçük değişimlerle ölçüldü. C, D, E ve F numunelerinin hemen alınan C1, D1, E1 ve F1 ölçümleri için, sırasıyla, 1.273, 1.480, 1.427, ve 1.460 idealite faktörü değerleri, elemanların ideal bir Schottky diyot davranışının aksine bir *MIS* yapının varlığını göstermektedir. Böyle bir durumda, ara yüzey halleri uygulanan voltaj aralığında yarıiletkenle dengededir (Morita, 1990; Türüt vd.,1996). Yani, arayüzey halleri yarıiletkenin iletkenlik ve valans bandındaki taşıyıcılarıyla etkileşir. Bu yüzden, ara yüzey tabaka kalınlığının artması n değerindeki artışla tanımlanabilir.

Bir diyodun idealite faktörü 1.10 den küçük ise bu diyot hemen hemen idealdir. Bunun anlamı, uygulama geriliminin tamamına yakınının Schottky bölgesi boyunca (arınma bölgesi) düşmesi demektir. Yine, böyle bir durumda, taşıyıcılar tarafından oluşturulan akım termoiyonik akım teorisine uygun olarak akar. Metal ile yarıiletken arayüzeyindeki tabii oksit tabaka kalınlığının artması idealite faktörünün artmasına neden olduğundan, uygulanan gerilimin bir kısmı da arayüzey tabakası boyunca düşer (Rhoderick and Williams, 1988). A1 ölçümü için bulduğumuz idealite faktörü değeri, ideale yakın sonuçlar vermiştir. Bir yarıiletken yüzeyi ne kadar temiz olursa olsun. bir metalle kontak haline getirildiği zaman, çok ince de olsa, istemediğimiz

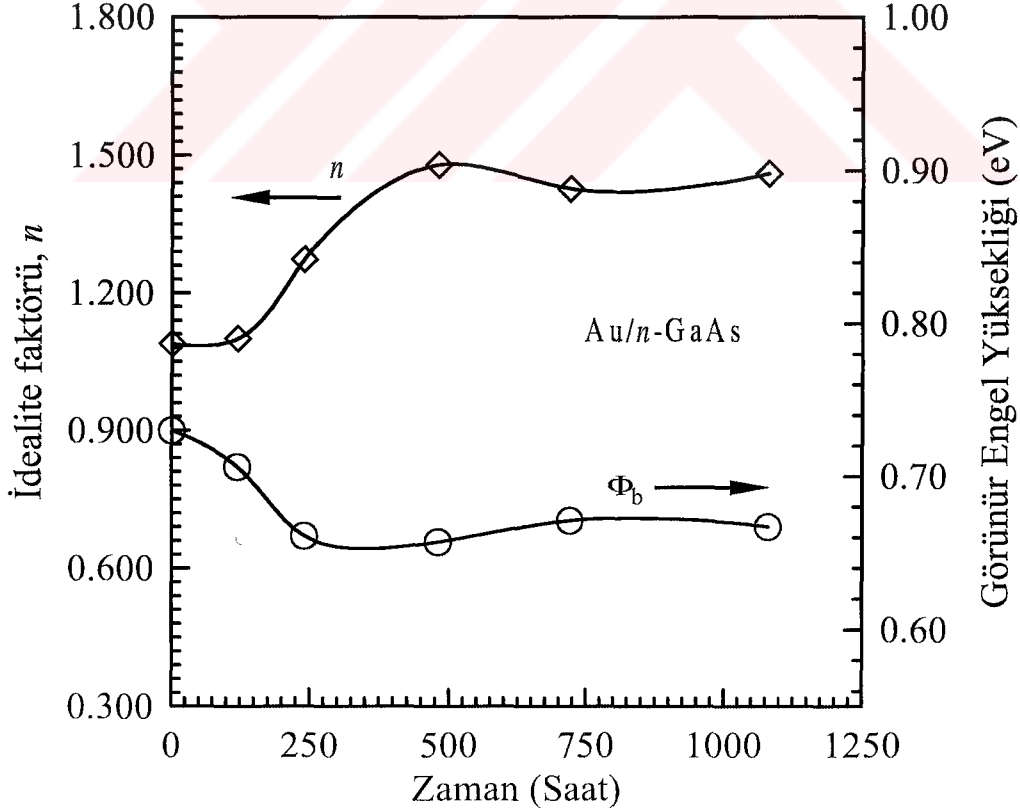
tabii bir arayüzey oksit tabakası oluşmaktadır. *MIGS* (metal-induced gap states) modeline göre, ideal yarıiletken kontaklarda metal ve yarıiletken arasındaki yük transferi, ya engel yüksekliğinin fonksiyonu olarak ya da yarıiletkenin yasak enerji aralığında meydana gelen *MIG* hallerinin asal yük notrallığı seviyesi olan *CNL* (Charge-Neutrality Level)'ye göre konumlanan Fermi seviyesinin fonksiyonu olarak değişir. Eğer fermi seviyesi ile *MIG* hallerinin asal *CN* seviyesi aynı hizada ise kontakta bir yük transferi meydana gelmez. Bu durumda ölçülen engel yüksekliğine *ZCT* (zero-charge-transfer) engel yüksekliği denilir. Bu teoriye göre, metal-yarıiletken kontaklardaki yük transferi, kontağı oluşturan metal ve yarıiletkenin elektronegatiflikleri arasındaki farkla karakterize edilir. Bu durumda homojen engel yüksekliği;

$$\Phi_{bn} = \Phi_{CNL} + S_x (\chi_m^{elk} - \chi_s^{elk}) \quad (6.1)$$

şeklinde bir ifadeyle verilir. Burada, χ_m^{elk} , metalin elektronegatifliği olup $\chi_m^{elk}(\text{Au})=5.15\text{eV}$ olarak verilmektedir. χ_s^{elk} ; yarıiletkenin elektronegatifliği olup n-GaAs için 4.45 eV değerine sahiptir (Mönch,1995). Φ_{CNL} , iletkenlik bandının tabanına göre asal CN seviyesinin değeridir ve n-GaAs için, arayüzeyde iletkenlik bandının tabanına göre, 0.90 eV dir. S_x ise, engel yüksekliğinin $(\chi_m^{elk} - \chi_s^{elk})$ farkına göre grafiği çizildiğinde meydana gelen lineer değişimin eğim parametresidir ve n-GaAs için 0.08 değerine sahiptir (Mönch, 1999). (5.1) ifadesine göre Au/n-GaAs Schottky diyotlar için homojen engel yüksekliği 0.956 eV olmalıdır. Tabii oksit tabakasız referans A numunesinin hemen alınan ölçümü A1 için hesapladığımız engel yüksekliği değeri Tablo 5.1.'den görüleceği gibi, 0.73 eV dir. *MIGS* teorisine göre (5.1) denkleminde, Au/n-GaAs Schottky diyotlar için elde edilen engel yüksekliği değeri ile referans numunenin ilk ölçümü için elde ettiğimiz engel yüksekliği değeri arasındaki fark, yarıiletkenin fabrikasyonu sırasında meydana gelen donör tipi arayüzey kusurları nedeniyle ortaya çıktığı söylenebilir (Mönch, 1987; Mönch, 1989; Mönch 1999). Yarıiletkenin yasak enerjisi 1.42 eV ve referans A numunesinin A1 ölçümü için hesaplanan engel yüksekliği değerinin 0.73 eV olduğu dikkate alınır, Fermi seviyesi *CN* seviyesine doğru kayar ve valans bandına göre yaklaşık olarak 0.69 eV olan kusur seviyesinde (pozitif yüklü ayırık

donor tipi enerji seviyesi) mihlanır. *UDM* (Unified Defect Model) modeline göre (Spicer, 1989; Spicer 1980), arayüzeyde oluşan bu kusurlar, metal-yarıiletken kontağın hazırlanması esnasında ortaya çıkan kusurlardır ve bu kusurların yapısı kullanılan metal ne olursa olsun değişmemektedir. Ancak yapım sırasında ortaya çıkan kusurların yoğunluğu, kontak oluşturma tekniğine bağlı olarak değişebilir. Yine bu modele göre, Fermi seviyesinin arayüzeyde mihlanmasının nedeni bu kusurlardır. Mönch (1987;1999)'e göre, bu hem diyot yapımı sırasında ortaya çıkan kusurların hem de *MIGS* seviyelerinin neden olduğu bir durumdur. Ayrıca referans A numunesinin A1 ölçümü için, 0.73 eV'luk değer, *CN* seviyesinin 0.17 eV kadar yukarıdadır.

Tablo 5.1. ve Şekil 6.1.'den görülebileceği gibi, temiz oda havasına maruz bırakılarak Schottky kontağı yapılmış ara yüzey tabakalı B, C ve D numunelerinin ilk ölçüm değerleri için engel yüksekliği Φ_b değeri (B1 için 0.706 eV, C1 için 0.661 eV, D1 için 0.657 eV), havaya maruz kalma süresinin artmasıyla azalmıştır. E ve F numunelerinin ilk ölçüm değerleri E1 ve F1 için Φ_b değerleri, sırasıyla, 0.671eV ve



Şekil 6.1 Her bir diyotun hemen alınan ölçümleri için I-V karakteristikleri kullanılarak hesaplanan idealite faktörü ve engel yüksekliği değerlerinin zamana bağlı değişimi

0.667 eV olarak elde edilmiştir. Yani, Şekil 6.1'den, Au/n-GaAs Schottky diyotları için engel yüksekliği değerlerinin 10. güne kadar havaya maruz kalma süresinin artmasıyla azaldığını söyleyebiliriz. 10. günden sonra, engel yüksekliği değeri 45. güne kadar 0.671 ve 0.667 eV arasında yaklaşık olarak değişmeksizin kaldı.

Tablo 1 ve şekil 6.1'den görüleceği gibi, tabii oksit tabakalı numuneler için Φ_b değeri, temiz oda havasına maruz kalmaksızın hemen buharlaşma fanusuna sokulan A başlangıç numunesinin ilk alınan A1 ölçümünün 0.730 eV değerinden daha küçüktür. Engel yüksekliğindeki bu azalış, tabii olarak oksitlenmiş GaAs maddenin yüzey oluşumundaki değişmelere bağlanabilir. Bu engel azalmasını, monokromatik X-ışını fotoelektron spektroskopisi kullanarak, tabii olarak oksitlenmiş GaAs yüzeyin Au buharlaştırma esnasındaki bağ ve yapısal değişimlerini tespit etmiş olan Kang ve Park(1999)'a dayanarak izah edebiliriz. Kang ve Park(1999), Au buharlaştırmadan önce, GaAs yarıiletkenin yüzeyindeki As-O'in, Au buharlaştırıldıktan sonra tamamen termodinamik olarak daha kararlı Ga-O bağlara dönüştüğünü rapor ettiler. Aşırı-As durumunun, öncelikle As oksitlerinden Ga oksitlerine bağ geçişiyle oluştuğunu ve buharlaşan As 'in yüzeyden arınmasıyla, aşırı-Ga durumuna Au 'ın karışmasıyla derece-derece dönüştüğünü gösterdiler. Böylece, tabii olarak oksitlenmiş GaAs maddenin, Au buharlaştırmadan dolayı aşırı-Ga 'lu bir yüzeye sahip olduğunu söyleyebiliriz. Aşırı-Ga bölgelerinde kusurlar yer alır. Yüzeyde oluşan ana kusurlardan biri Ga_{As} antisitedir. Bu yüzden, Fermi seviye mihlanması Ga_{As} antisite seviyelerine daha yakın olacaktır (yarıiletken yüzeyde iletken bandının tabanına göre 0.60-0.70 eV arasında) (Spicer, 1979; 1980; Vande Walle, 1993).

İlave olarak, referans A numunesinin hemen alınan A1 ölçümü için beklenenden daha düşük bir deneysel engel yüksekliği şu şekilde açıklanabilir. Etkin $I-V$ engel yüksekliğinde azalma ve idealite faktöründe bir artma, bazı çalışmalarda (Newman,1986) daha yüksek olarak katkılanmış örneklerden yapılmış numunelerde görülmüştür. $I-V$ engelini azalması, Schottky engelini üstünden tünelleme ve imaj kuvvet azalmasıyla da izah edilebilir (Song,1986; Mui,1991). Engelin imaj kuvvet azalması, metaldeki bir elektron ve onun imajı arasındaki elektrostatik çekimden kaynaklanır. Bu yüzden, beklenen engel yüksekliği değeri onun deneysel değeri artı

engel düşmesi toplamı olmalıdır. Engel yüksekliğindeki imaj kuvvet azalması aşağıdaki eşitlik kullanılarak tespit edilebilir (Rhoderick,1998; Mönch 1995).

$$\Delta\Phi_{if}(0) = \left[\frac{e^3 N_d V_d}{8\pi^2 (\epsilon_s \epsilon_o)^3} \right]^{1/4} \quad (6.2)$$

Burada, N_d taşıyıcı konsantrasyonu, V_d difüzyon potansiyeli ve ϵ_s yarı iletkenin dielektrik sabitidir. A numunesinin (referans diyot) A1 ölçümü için, ortalama engel azalma değeri 0.046 eV olarak, $N_d = 1.935 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ve $V_d = 0.024 \text{ V}$ kullanılarak (5.2) yardımıyla hesaplandı. Böylece, imaj kuvvet azalma değeri eklenerek, yaklaşık olarak 0.776 eV engel yüksekliği değeri, referans A numunesinin A1 ölçümü için elde edildi. A diyodu için yaklaşık olarak 0.776 eV engel yüksekliği, Newman vd. (1986) tarafından, farklı taşıyıcı yoğunluklu GaAs yarıiletken kristallerden yapılmış Au/n-GaAs Schottky engelli diyotlar için 0.88 eV ($N_d = 2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) ve 0.70 eV ($N_d = 9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) değerlerinin ortalaması olan 0.79 eV değerine yaklaşık bir uyum sergilemektedir. Yine, referans A Au/n-GaAs Schottky engelli diyotun A1 ölçümü için elde ettiğimiz 1.089 deneysel idealite faktörü değeri, Newman vd. (1986) tarafından $N_d = 2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 'lü Au/nGaAs Schottky engelli diyotlar için rapor ettikleri 1.09 ortalama değeriyle yakın bir uyum içindedir.

Bundan başka, Schottky engeli boyunca tünelleme, I - V engel azalması için imaj kuvvet düşmesine ilave edilebilecek ikinci bir sebep olabilir. Karakteristik tünelleme enerjisi; (Rhoderick, 1988; Song, 1986; Werner, 1991)

$$E_{00} = \frac{h}{4\pi} \left(\frac{N_d}{m^* \epsilon_s} \right)^{1/2}$$

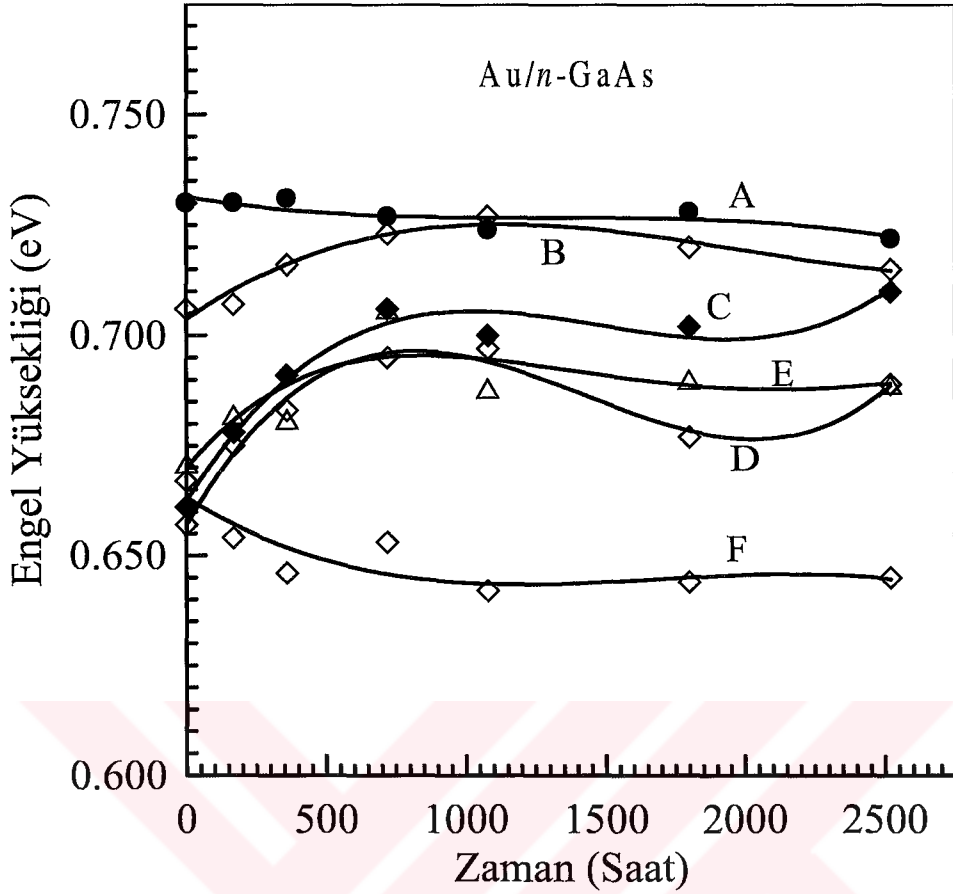
ile verilir. $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J-s}$, $N_d = 2.51 \times 10^{23} \text{ m}^{-3}$ 'lü bizim n-tipi GaAs durumu için, $m^* = 0.067 m_o$ ve $\epsilon_s = 13.1 \epsilon_o$ değerleri yerine konularak, E_{00} değerine karşılık olarak, $9.893 \times 10^{-3} \text{ V}$ olarak bulundu. Böylece, referans A, Au/n-GaAs diyotu için;

$$\Delta\Phi(0)_{\text{tun}} = (1.5 \cdot E_{00})^{2/3} V_d^{1/3}$$

ifadesi kullanılarak ortalama etkin tünelleme engel azalması değeri 0.049 eV olarak bulundu. Aynı zamanda imaj kuvvet düşmesinin yanında tünellemede göz önünde

bulundurulursa, referans A diyotunun beklenen engel yüksekliği değeri yaklaşık olarak 0.825 eV olmalıdır. Bu değer, Vanalme vd. (1997)'nin, Au/n-GaAs Schottky engelli diyotlar için rapor ettikleri 0.83 eV değeriyle uyum içindedir.

Zamana bağlı etki veya yaşlanma, Turner ve Rhoderick (1968) tarafından işaret edildiği gibi, esasen kimyasal olarak temizlenmiş yüzeyler üzerindeki metaller için önemlidir. Şekil 5.3'de oda sıcaklığında, parametre olarak yaşlanmış referans Au/n-GaAs Schottky diyotun (A numunesi) I-V karakteristiğini gösterir. Şekil 5.3 ve Tablo 5.2.'den görüleceği gibi, I-V eğrileri ve A numunesinin engel yüksekliği değeri, oda sıcaklığında yaşlanmanın bir fonksiyonu olarak hemen hemen değişmeksizin kaldı. Şekil 6.2. oda sıcaklığında, bütün numunelerin, yaşlanmanın bir fonksiyonu olarak I-V karakteristiklerinin engel yüksekliği değerini gösterir. Bu şekildeki eğriler Tablo 5.2-Tablo 5.7'den yararlanılarak çizilmiştir. Şekil 6.2 ve Tablo 5.3 den görülebileceği gibi, B numunesinin, Φ_b engel yüksekliği değeri B5 ölçümünün alındığı 45. güne kadar yaşlanma zamanının artmasıyla arttı ve 45. günden sonra, B7 ölçümünün alındığı 105. güne (2520 saat) kadar yaşlanma zamanının artmasıyla yavaşça azaldı. Şekil 6.2, Tablo 5.4 ve Tablo 5.5'den, C ve D numunelerinin Φ_b değeri C3 ve D3 ölçümlerinin alındığı 30. güne kadar yaşlanma zamanının artmasıyla arttı ve 30. gün sonra azaldı ve daha sonra tekrar arttı. Bunun da ötesinde, Şekil 6.2 ve Tablo 5.7'den F numunesinin Φ_b değeri, F3 ölçümünün alındığı 30. güne kadar yaşlanma zamanının artmasıyla azalırken E numunesinin Φ_b değeri, E3 ölçümünün alındığı 30. güne kadar yaşlanma zamanının artmasıyla arttı ve 30. günden sonra her iki numunenin Φ_b değeri, E7 ve F7 ölçümlerinin alındığı 105. güne kadar yaşlanmanın bir fonksiyonu olarak değişmeksizin kaldı. Yani, B, C ve D numuneleri 105. güne kadar yaşlanmanın bir fonksiyonu olarak engel yüksekliğinde herhangi bir dengeye ulaşmazken, E ve F numuneleri 30. günden sonra denge engel yüksekliği değerine ulaştılar. Bu yüzden, engel yüksekliğini değiştiren metal ve yarıiletken arasındaki dipolun gözden kaybolmasıyla (Turner ve Rhoderick, 1968), E ve F numunelerinin kararlı bir değere ulaştığı söylenebilir.



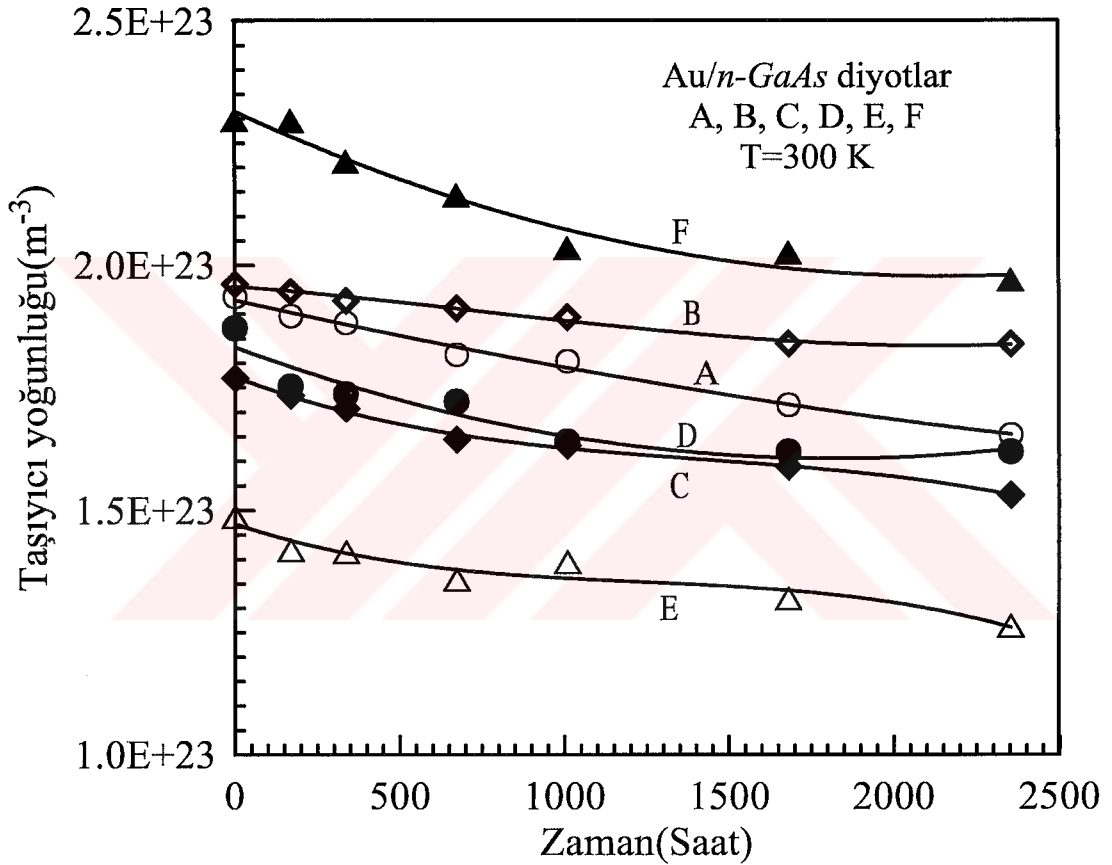
Şekil 6.2. Her diyotun zamana bağlı ölçümlerinden hesaplanan engel yüksekliği değerinin zamana bağlılığını gösteren yaşlanma etkisi

Bu gözlemler, kimyasal olarak hazırlanmış yüzeyler üzerindeki ince oksit tabakanın varlığıyla açıklanabilir. Bu yüzeylerin havaya maruz kalma zamanına bağlı olarak oksit filmdeki bazı değişimlerle ilişkili olduğu görünür (yani oksit tabaka kalınlığına bağlılığı). Turner ve Rhoderick, (1968); Rhoderick ve Williams, (1988) tarafından önerildiği gibi, Schottky diyotlarda yaşlanma MOS yapıların yaşlanma tabiatına benzer. Yaşlanmadaki zaman skalasının, elektronik aktiviteden ziyade iyonik bir aktiviteden kaynaklandığı ileri sürülebilir ve oksit tabaka boyunca yüklenmiş iyonların göçüne (yer değiştirmesine) atfedilebilir. Göç esnasında, iyonlar, metal yüzeyindeki yükleri karşılamakla birlikte, engel yüksekliğini değiştirecek bir dipolün artışını da verecektir. Dipol, iyonlar metale ulaştığı ve bu yüzden yükleri nötralize olduğu zaman görünmez olacak ve denge engel değerine ulaşılacaktır. Yaşlanma için bu açıklama bizim deneysel ölçümlerimizle tutarlılık halindedir.

Tablo 5.2'den, referans A numunesinin, seri direnç değerlerine baktığımızda ölçümlerin tümünde 7-9 Ω aralığında hafif bir artma görülür. Tablo 5.3'den, B numunesi için B5 ölçümünün alındığı 45. güne kadar 12 Ω civarında sabit bir seri direnç değeri hesaplanmışken, B7 ölçümünün alındığı 105. güne kadar hızlı bir yükselişle 24 Ω 'a çıkmıştır. Tablo 5.4'den, C numunesi için C3 ölçümünün alındığı 15. güne kadar 12 Ω civarındayken, bu ölçümden son ölçüme kadar 15 Ω civarında küçük değişimlerde kalmıştır. Tablo 5.5'den, D numunesi için, D5 ölçümünün alındığı 45. güne kadar 12-14 Ω aralığında değişirken, 75 ve 105. günlerde bu değer 20 Ω olmuştur. Tablo 5.6'dan, F numunesi için 11-20 Ω arasında değişen değerler hesaplanmıştır. Tablo 5.7'den, G numunesinin tüm ölçümlerinde 11 Ω civarında hemen-hemen sabit bir seri direnç değeri bulunmuştur. Yaşlanma zamanıyla seri direnç değerlerinde gözlenen artma ve azalmaların, diyot yapımında kullandığımız GaAs yarıiletken dilimin gövde kalınlığının aynı olduğu, değişmediği göz önünde bulundurulursa, arayüzeyde yük düzenlenmesinin yenilenmesinden kaynaklandığını söyleyebiliriz.

Diyotlara ait ters beslem C - V ölçümleri 1000 kHz'lik yüksek bir frekans değerinde alınmıştır. Buna sebep olarak, ölçümlerin yeterince yüksek frekanslarda gerçekleştirilmesi durumunda, arayüzey hallerindeki yükün AC sinyali takip edememesidir. Bu durum, arayüzey hallerinin zaman sabitinin, yükü, uygulanan bir sinyale karşılık verme durumunda, hallerin içine ve dışına taşımak için müsaade edilmesine yetecek kadar uzun olduğu zaman ortaya çıkacaktır (Card ve Rhoderick, 1971; Rhoderick ve Williams, 1988; Türüt vd., 1996; Batı vd., 2000). Böylece, Schottky diyotlarda deplasyon (arınma) tabaka kapasitesi veya Schottky kapasitesi (2.13) denklemi ile ifade edilebilir. Aynı zamanda, ters beslem C^2 - V grafiğinin eğimi (2.14) denklemi ile verilebilir. Bu denklemdeki V_{do} , sıfır beslemde difüzyon potansiyelidir ve lineer C^2 - V grafiğinin V eksenini kestiği noktadan bulunur. N_d taşıyıcı konsantrasyonun, V_o difüzyon potansiyelinin ve $\Phi_b(C-V)$ engel yüksekliğinin bulunabilmesi için bütün numunelere ait C^2 - V grafikleri elde edilmiştir. Yapılan numunelerin hemen alınan ölçümlerinden çizilen grafik Şekil 5.8'de ve bu şekilden hesaplanan parametreler Tablo 5.8'de verilmiştir. Her numunenin zamana bağlı alınan ölçümlerinden çizilen grafikler Şekil 5.9-Şekil 5.14 arasında ve bu şekillerden

hesaplanan parametreler Tablo 5.9-Tablo 5.14 arasında verilmiştir. Şekil 5.8'den görüleceği gibi, A numunesinin ters beslem C^2-V grafiğinin eğimi yaşlanma zamanının artmasıyla arttı ve böylece taşıyıcı konsantrasyonu $1.935 \times 10^{23} \text{ m}^{-3}$ (metal buharlaştırmadan hemen sonra) den $1.654 \times 10^{23} \text{ m}^{-3}$ (metal buharlaştırmadan 105 gün sonra) kadar azaldı. Referans A numunesinin kesme voltajı için 0.770 Volt'un ortalama bir değeri yaşlanmaya bağlı olarak çıkarılabilir ve böylece ortalama engel yüksekliği değeri 0.792 eV olur.



Şekil 6.3 Her bir diyotun hemen alınan ölçümlerinden hesaplanan taşıyıcı yoğunluğunun zamana bağlı değişimi

Şekil 6.3 oda sıcaklığında her numunenin $C-V$ karakteristiğinden yararlanarak yaşlanmanın bir fonksiyonu olarak taşıyıcı konsantrasyonu değerini göstermektedir. Tablo 4.9-Tablo 4.14 ve Şekil 6.3'den görülebileceği gibi, numunelerin taşıyıcı yoğunluğu değeri yaşlanma zamanının artmasıyla azaldı. Taşıyıcının yoğunluğunun tüm numunelerin yaşlanmasıyla azalması Van Meirhaeghe vd. (1994)'e göre

tartışılabilir. Bölüm 4’de bahsettiğimiz kontak yapmadan önceki kimyasal temizleme işleminden dolayı, GaAs diliminin yüzeyi hidrojenle kaplanmış olabilir yani, yüzey hidrojenlenmiş olabilir. Yaşlanmayla taşıyıcı yoğunluğunun azalması hidrojen tarafından donörlerin pasive edilmesinden ileri gelebilir (Van Meirhaeghe vd. 1994). Yani, yukarıda bahsettiğimiz Fermi seviye mihlanmasına sebep olan kusurlar zamanla hidrojenler sayesinde ortadan kaldırılabilir.

Görüleceği üzere, her bir diyodun $C-V$ eğrilerinden elde edilen engel yüksekliği değerleri, $I-V$ ölçümlerinden bulunmuş Φ_b engel yüksekliği değerlerinden beklendiği gibi daha yüksektir. Potansiyel ve engelin uzaysal dağılımı, kapasite ve DC ölçümlerini farklı şekillerde etkiler. C kapasitesi, genişliği uzay yükü genişliğinden, daha az olan aralıklarda potansiyel dalgalanmalarına duyarsızdır. $C-V$ metodu tüm alan üzerinden ortalama alır ve bu şekilde Schottky engelli diyetleri tanımlamak üzere ölçüm yapar. Engellerdeki herhangi bir uzaysal değişim, I akımının, tercihli olarak engelin minimumu boyunca akmasına sebep olur. Arayüzey boyunca DC I akımı, üstel olarak Φ_b ’ye bağlıdır. Böylece, bant bükülmesinin uzaysal değişimleri ortalama V_n ve Φ_b , akım ve kapasite için farklı Schottky engel yüksekliği ile sonuçlanır. Bu sonuç, $I-V$ karakteristiklerinden elde edilen engel yüksekliğinin, $C-V$ karakteristiklerinden elde edilen engel yüksekliğinden küçük çıkması için beklenen durumdur (Werner,1991; Sullivan, 1991; Tung, 2001).

Oksit tabakasız referans A, Au/n-GaAs Scottky diyetün uygulanan $V=0.00$ Volt, $V=0.06$ Volt ve $V=0.12$ Volt gibi üç farklı gerilim değerinde alınan $C-f$ ölçümlerinden çizilen grafikler Şekil 5.17, Şekil 5.18 ve Şekil 5.19’da verilmektedir. Genellikle, düşük frekanslarda uzay yükü kapasitesine arayüzey hallerinden ortaya çıkan kapasitenin de katkısı olmalıdır. Yüksek frekanslarda ise, sadece uzay yükü kapasitesi etkindir. Fakat deneysel kapasite-frekans eğrileri dikkate alındığında, frekansa bağlı bir değişim gözlenmemektedir. Sadece artan gerilimle kapasite değerleri artmıştır. (2.12)’den görüldüğü gibi, artan gerilimle uzay yükü kapasitesi artar (Barret ve Maaref, 1993).

Sonuç olarak, laboratuvar ortamında imal ettiğimiz, oksit tabakasız referans numune ile tabii oksit tabakalı numunelere ait ölçümlerden elde edilen parametreler

karşılaştırıldığında, oksit tabakasız numunenin daha ideal olduğu gözlenmiştir. Referans numunenin engel yüksekliğinin, oksit tabakalı diyotlara nazaran daha yüksek olduğu ve diğer parametrelerinin de daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Yaşlanma zamanının, oksit tabakasız diyot da, engel yüksekliğini değiştirmediğini, ideallliğini koruduğunu göstermiştir. Buna karşın tabii oksit tabakalı diyotlarda gözle görülür değişimler gözlenmiştir. Ayrıca, Cheung fonksiyonlarından elde edilen parametrelerin, oksit tabakasız ideal diyotlarda, $I-V$ karakteristiklerinden elde edilen parametrelere yakın değerler verdiği bulunmuştur. İdeal diyot yapmak için omik kontak yapıldıktan sonra Schottky kontakın hemen yapılması gerekmektedir. Şekil 6.2 'den görüldüğü gibi, yaşlanmaya bağlı olarak E ve F numunelerinin engel yükseklikleri belli bir süre sonra kararlı duruma gelmektedir. Eğer *MIS* diyot yapılmak isteniyorsa, GaAs yarıiletkeni için havaya maruz kalma süresinin en az otuz gün olması öngörülmektedir. Bu gözlemler açısından, $I-V$, $C-V$ ve $C-f$ ölçümleri birbirlerini destekleyici yönde bulgular vermiştir.

7. KAYNAKLAR

- Abdelghani, A., Jacquin, C., Huber, M., Deutschmann, R., Sackmann, E., 2001, Supported lipid embrane on semiconductor electrode, *Mater. Chem. Phys.* 70, 187-190.
- 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.
- Barret, C., Maaref, H., 1993, Study of cleaved metal-InP(N) contacts, *Solid-State Elect.*, 36 (6), 879-884.
- Batı, B., Nuhoglu, Ç., Sağlam, M., Ayyıldız, E., Türüt, A., 2000, On the forward bias excess capacitance at intimate and MIS Schottky barrier diodes with perfect or imperfect ohmic back contact, *Physica Script* 61, 209.
- Biber, M., 2000, Doktora Tezi, Au/Cu/n-GaAs Schottky Kontaklarında Anodik Oksidasyon İşleminin Karakteristik Diyot Parametreleri Üzerindeki Etkileri, s. 101.
- Biber, M., Çakar, M., Türüt, A., 2001, The effect of anodic oxide treatment on n-GaAs Schottky barrier diodes, *J. Mater. Sci-Mater. Elect.* 12, 575-579.
- Blood, P., Orton, J.W., 1992, *The Elect. Characterization of Semiconductor: Majority Carriers and Electron States*, Academic Press, UK, p 228.
- Card, H.C., Rhoderick, E.H., 1971, Studies of tunnel MOS diodes i. interface effects in silicon Schottky diodes, *J. Phys. D: Apply. Phys.*, 4, 1589-1601.
- Chattopadhyay, P., 1996, Capacitance technique for the determination of interface state density of metal-semiconductor contact, *Solid-State Electronics* 39-10, 1491-1493.
- Cheung, S.K., Cheung, N.W., 1986, Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics, *Appl. Phys. Lett.*, 49(2), 85-87.
- Cola, A., Lupo, M.G., Vasanelli, L., Valentini, A., 1993, Characterization of a defect layer at a Schottky barrier interface by current and capacitance measurements, *Solid-State Electronics* 36-5, 785-789.
- Fonash, S.J., 1983, A reevaluation of the meaning of capacitance plots for Schottky-barrier-type diodes, *J. Appl. Phys.* 54-4, 1966-1975.
- Hanselaer, P.L., Laflère, W.H., Van Meirhaeghe, R.L., Cardon, F., 1986, The influence of a HF and an annealing treatment on the barrier height of p- and n-type. *Apply. Phys. A* 39, 129-133.

- Hirota, Y., 1993, Schottky characteristics of GaAs surface cleaned by ultrasonic running deionized water treatment, *Apply. Phys. Lett.* 63-14, 1936-1938.
- Horvath, Zs. J., 1988, Evaluation of the interface state energy-distribution from Schottky I-V characteristics, *J. Appl. Phys.*, 63 (3), 976-979.
- Hudait, M.K., Krupanidhi, S.B., 2000, Effects of thin oxide in metal-semiconductor and metal-insulator-semiconductor epi-GaAs Schottky diodes, *Solid-State Elect.* 44-6, 1089-1097.
- J. Brillson, *Sur. Sci. Reports.*, 2 (1982)123.
- 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.
- Kiyota, H., Matsushima, E., Sato, K., Okushi, H., Ando, T., Kamo, M., Sato, Y., Iida, M., Electrical properties of Schottky barrier formed on as-grown and oxidized surface of homoepitaxially grown diamond (001) film, 1995, *Apply. Phys. Lett.* 67-24, 3596-3598.
- Lu, X., Lin, M.C., Xu, X., Wang, N.Q., Zhang, Q., 2001, Theoretical study of [4+2] cycloadditions of some 6- and 5-member ring aromatic compounds on the Si(001)-2 x 1 surface: correlation between binding energy and resonance energy, *Phys. Chem. Com.* (13), 1-3.
- Lu, X., Xu, X., Wang, N.Q., Zhang, Q., Lin, M.C., 2001, Chemisorption and decomposition of thiophene and furan on the Si(100)-2 x 1 surface: A quantum chemical study, *J. Phys Chem. B* 105-41, 10069-10075.
- Maeda, K., Umezu, I., Ikoma, H., Yoshimura, T., 1990, Nonideal J-V characteristics and interface states of an a-Si:H Schottky barrier, *J. Appl. Phys.* 68-6, 2858-2867.
- 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.
- Mönch, W., 1987, Role of virtual gap states and defects in metal-semiconductor contacts, *Phys. Rev. Lett.* 58 (12), 1260-1263.
- Mönch, W., 1988, Chemical trends in Schottky barriers-charge-transfer into adsorbate-induced gap states and defects, *Phys. Rev. B.*, 37 (12): 7129-7132.
- Mönch, W., 1989, *Metallization and Metal-Semiconductor Interfaces*, Edited by Batra, I.P., New York, vol. 195, p. 11-35.

- 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., 1995, *Semiconductor Surfaces and Interfaces*, Second Edition, p.75-84, 364, 382-387, Springer, Berlin.
- Morita, M., Ohmi, T., Hasegawa, E., Kawakami, M., Ohwada, M., 1990, Growth of native oxide on a silicon surface, *J. Appl. Phys.*, 68 (3), 1272-1281.
- Mui, D., Strite S., Morkoç, H., 1991, On the barrier lowering and ideality factor of ideal Al/GaAs Schottky diodes, *Solid-State Electron* 34 (10), 1077-1081.
- Neamen, D.A., 1992, *Semiconductor Physics and Devices: Basic Principles*, Inc., p. 494, Irwin.
- Newman, N., Van Schilfgaarde, M., Kendelwicz, T., Williams, M.D., Spicer, W.E., 1986, Electrical study of Schottky barriers on atomically clean GaAs(100) surfaces, *Physical Review B* 33-2, 1146-1159.
- Nuhoğlu, Ç., Ayyıldız, E., Sağlam, M., Türüt, A., 1998, Thermal treatment of the MIS and intimate Ni/n-LEC GaAs Schottky barrier diodes, *Appl. Surf. Sci.* 135-50, 350-356.
- Offsey, S.D., Woodall, J.M., Warren, A.C., Kirchner, P.D., Chappell, T.I., Pettit, G.D., 1986, Unpinned (100) GaAs surfaces in air using photochemistry, *Appl. Phys. Lett.* 48-7, 475-477.
- 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.
- Pruniaux, B.R., Adams, A.C., 1972, Dependence of barrier height of metal semiconductor contact (Au-GaAs) on thickness of semiconductor surface Layer, *J. Apply. Phys.* 43-4, 1980-1982.
- Quan, D.T., Hbib, H., 1993, High barrier height Au/n-type InP Schottky contacts with a poxnyhz interfacial layer, *Solid State Electron.*, 36(3), 339-344.
- RayChaudhuri, B., Chattopadhyay, P., 1994, Energy-distribution of interface state charge-density in Cu-nSi Schottky diode with thin interfacial oxide layer, *Appl. Surf. Sci.*, 78(3), 223-238.
- Rhoderick, E.H., Williams, R.H., 1988, *Metal-Semiconductor Contacts*, Oxford University Press, 2nd ed., 257, Oxford.
- Sağlam, M., Ayyıldız, E., Gümüş, A., Türüt, A., Efeoğlu, H., Tüzemen, S., 1996, Series resistance calculation for the Metal-Insulator-Semiconductor Schottky barrier diodes, *Appl. Phys. A* 62, 269-273.

- Schmidt, M.T., Ma, Q.Y., Podlesnik, D.V., Osgood, R.M., Yang, E.S., 1989, Chemically modified GaAs Schottky barrier variation, J. Vac. Sci., Technol. B 7-4, 980-985.
- 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.
- Schmidt, M.T., Podlesnik, D.V., Yu, C.F., Wu, X., Osgood Jr, R.M., Yang, E.S., 1988, Increased dependence of Schottky-barrier height on metal work-functions due to a thin-oxide layer, J. Vac. Sci. Tech. B, 6 (4), 1436-1439.
- Shashkin, V., Rushword, S., Danil'tsev, V., Murel, A., Drozdov, Y., Gusev, S., Khrykin, O., Vostokovi, N., 2001, Microstructure and properties of aluminum contacts formed on GaAs(100) by low pressure chemical vapor deposition with dimethylethylamine alane source, J. Electron. Mater. 30-8, 980-986.
- Singh, A., 1985, Characterization of interface states at Ni/NCDF2 Schottky-barrier type diodes and the effect of CDF2 Surface Preparation, Solid-State Elect., 28 (3), 223-232.
- Singh, A., Characterization of interface states at Ni/nCdF2 Schottky barrier type diodes and the effect of CdF2 surface preparation, 1985, Solid-State Electronics 28-3, 223-232.
- Song, Y.P., Van Meirhaeghe, R.L., Laflère W.H., Cardon, F., 1986, On the difference in apparent barrier height as obtained from capacitance-voltage and current-voltage-temperature measurements on Al/p-InP Schottky barriers, Solid-State Electron (6), 633-638.
- Spicer, W.E., Chye, P.W., Garner, C.M., Lindau, I., Pianetta P., 1979, The Surface Electronic Structure of 3-5 Compounds and the Mechanism of Fermi Level Pinning by Oxygen (Passivation) and Metals (Schottky Barriers), Surface Science 86, 763-788.
- Spicer, W.E., Chye, P.W., Skeath P.R., Lindau, I., 1979, New and unified model for Schottky-barrier and III-V insulator interface states formation, J. Vac. Sci. Tech. 16 (5), 1422-1433.
- Spicer, W.E., Eglash, S., Lindau, I., Su, C.Y., Skeath, P.R., 1982, Development and Confirmation of the Unified Model For Schottky Barrier Formation and MOS Interface States on III-V Compounds, Thin Solid Films 89, 447-460.
- Spicer, W.E., Liliental-Weber, Z., Weber E., Newman, N., Kendelewicz, T., Cao, R., McCants, C., Mahowald, P., Miyano, K., S., Lindau, I., 1988, The advanced unified defect model for Schottky barrier formation, J. Vac. Sci. Technol. B 6, 1245-1251.

- Spicer, W.E., Lindau, I., Skeath, P., Su, C.Y., 1980, Unified defect model and beyond, *J. Vac. Sci. Tech.* 17 (5), 1019-1027.
- Sugimura, T., Tsuzuku, T., Katsui, T., Kasai, Y., Inokuma, T., Hashimoto, S., Iiyama, K., Takamiya, S., 1999, A preliminary study of MIS diodes with nm-thin GaAs-oxide layers, *Solid-St. Electron.* 43-8, 1571-1576.
- Sullivan, J.P., Tung, R.T., Pinto, M.R., Graham, W.R., 1991, Electron-Transport of inhomogeneous Schottky barriers-A numerical study, *J. Appl. Phys.* 70(12), 7403-7424.
- Temirci, C., 2000, Doktora Tezi, A. Ü. Fen-Bilimleri Enst., Erzurum, s. 95.
- 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.
- Tung, R.T., 2001, Recent advances in Schottky barrier concepts, *Mat. Sci. Eng. R* , 35-1-3, 1-138.
- Turner, M.J., Rhoderick E.H., 1968, Metal-Silikon Schottky barrier, *Solid-State Electron.*, 11(3) 291-&.
- Türüt, A., Batı, B., Kökçe, A., Sağlam, M., Yalçın, N., 1996, The bias-dependence change of barrier height of Schottky diodes under forward bias by including the series resistance, *Physica Scripta* 53, 118-122.
- Türüt, A., Sağlam, M., 1992, Nonideal I-V, C-V characteristics and energy distribution of interface states of Al-nSi Schottky diodes, *Erc. 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 Electronics* 35-6, 835-841.
- Van de Walle, R. L. Van Meirhaeghe, W. H. Laflère and F. Cardon, 1993, On the relationship between interfacial defects and Schottky barrier height in Ag, Au, and Al/n-GaAs contacts, *J. Appl. Phys.*, 74 (3), 1885-1889.
- Van der Ziel, A., 1968, *Solid State Physical Electronics*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 633, New Jersey.
- Van Meirhaeghe, R.L., Laflere, W.H., Cardon, F., 1994, Influence of defect passivation by hydrogen on the Schottky barrier height of GaAs and InP contacts, *J. Appl. Phys.* 76 (1), 403-406.
- Vanalme, G.M., Goubert, L., Van Meirhaeghe. R.L., Cardon, F., van 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, *Semicon. Sci. Technol.* 14-9, 871-877.

Vanalme, G.M., Van Meirhaeghe, R.L., Cordon, F., Van Daele, P., 1997, A ballistic electron emission microscopy (BEEM) study of the barrier height change of Au/n-GaAs Schottky barriers due to reactive ion etching, *Semicond. Sci. Technol.* 12(7), 907-912.

Werner J.H., Güttler, H.H., 1991, Barrier inhomogeneities at Schottky contacts, *J. Appl. Phys.* 69 (3) 1522-1533.

Wilmsen, C., W., 1985, *Physics and Chemistry of III-V Compound Semiconductor Interfaces*, Plenum Press, s. 97, New York.

Wu, C-Y., 1980, Interfacial layer theory of the Schottky barrier diodes, *J. Appl. Phys.* 51-7, 3786-3789.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ahmet Faruk ÖZDEMİR
Doğum Yeri : Posof-ARDAHAN
Doğum Yılı : 1970
Medeni Hali : Evli-1Ç

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise 1983-1986 Erzurum Lisesi
Lisans 1987-1991 Atatürk Üni. Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi
Y. Lisans 1994-1996 Süleyman Demirel Üni. Fen Bilimleri Ens.
Yabancı Dil : İngilizce

İş Deneyimi :

1991-1993 Özel Bir Kuruluşta Bilgisayar Operatörlüğü
1993-1994 Dinar Tatarlı Lisesi'nde Öğretmenlik
1994-..... S.D.Ü. Fen-Ed. Fakültesinde Araştırma Görevliliği