

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK BÖLÜMÜ

Ag/GaP SCHOTTKY DİYOTLARIN ELEKTRİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN SICAKLIĞA BAĞLI İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ebru KARACA YALÇIN

Anabilim Dalı: Fizik
Programı: Katıhal Fiziği

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Fethi DAĞDELEN

MAYIS-2011

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK BÖLÜMÜ

Ag/GaP SCHOTTKY DİYOTLARIN ELEKTRİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN SICAKLIĞA BAĞLI İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ebru KARACA YALÇIN

Anabilim Dalı: Fizik
Programı: Katıhal Fiziği

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. Fethi DAĞDELEN
Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:

MAYIS-2011

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ag/GaP SCHOTTKY DİYOTLARIN ELEKTRİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN SICAKLIĞA BAĞLI İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ebru KARACA YALÇIN

(94214101)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 18/05/2011
Tezin Savunulduğu Tarih: 01/06/2011

Tez Danışmanı: Yrd.Doç. Dr. Fethi DAĞDELEN

Diğer Jüri Üyeleri:

Doç. Dr. Raşit ZENGİN
Doç. Dr. Sinan AKPINAR

MAYIS -2011

ÖNSÖZ

Katıhal fiziği metallerin, yarıiletkenlerin ve yalıtkanların elektron dağılımdan kaynaklanan özelliklerini inceleyen; deneyler, uygulamalar ve teorilerin bir arada olduğu bir araştırma alanıdır.

Bir elektronik devre elemanının üretimi, işletimi ve kararlılığı için yarıiletken malzeme üzerine istenilen elektriksel davranışı sağlayacak yapıların oluşturulması ve elektriksel karakterizasyonu büyük önem taşımaktadır. “Ag/GaP Schottky Diyotların Elektriksel Özelliklerinin Sıcaklığa Bağlı İncelenmesi” konulu bu tezde S katkılı n – tipi GaP dan hazırlanmış Ag/GaP Schottky diyotlarının oda sıcaklığında ve 298 – 423 K sıcaklık aralığındaki elektronik parametrelerinin değişimi incelenmiştir.

“Ag/GaP Schottky Diyotların Elektriksel Özelliklerinin Sıcaklığa Bağlı İncelenmesi” adlı yüksek lisans tezimin hazırlanmasında yardımcı olan danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Fethi DAĞDELEN’e, akım gerilim ölçümlerini almamıza imkan sağlayan Atatürk Üniversitesi öğretim üyesi Prof. Dr. Sebehattin TÜZMEN’e ve Arş.Gör. Süleyman TEKME’ne saygılarımı sunar teşekkür ederim.

Ebru KARACA YALÇIN

Elazığ - 2011

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	III
SUMMARY.....	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	V
TABLolar LİSTESİ.....	VI
SİMGELER LİSTESİ	VII
1. GİRİŞ.....	1
2.METAL YARI İLETKEN KONTAKLAR.....	3
2.1. İdeal metal – yarıiletken kontaklar.....	3
2.2. n-Tipi Yarıiletken-Metal Doğrultuculu Kontak Oluşumu.....	7
2.3. n-Tipi Yarıiletken-Metal Omik Kontak Oluşumu.....	9
2.4. p-Tipi Yarıiletken-Metal Doğrultuculu Kontak Oluşumu.....	11
2.5. p-Tipi Yarıiletken-Metal Omik Kontak Oluşumu.....	12
3. METAL - YARIİLETKEN DİYOT VE ENERJİ BAND YAPILARI.....	14
3.1. Schottky Olayı.....	14
3.2. Schottky Diyodu.....	16
3.3. Metal- Yarıiletken Schottky Diyotlarında Akım İletimi.....	17
3.3.1. Difüzyon Teorisi.....	17
3.3.2. Termiyonik Emisyon Teorisi.....	20
3.4. Schottky Diyot Doğru Beslem I-V Karakteristikleri ve Cheung Fonksiyonları.....	23
3.5. Metal Yarıiletken Schottky Diyotlarda Ara Yüzey Tabakasının Etkileri.....	24
4. MATERYAL ve METOT.....	26
4.1. GaP Numunesinin Özellikleri.....	26
4.2. Ag/GaP Schottky Diyotunun Hazırlanması	26
4.3. Akım-Gerilim Ölçüm Düzenegi	26

5. BULGULAR.....	27
5.1. Oda Sıcaklığında I – V Ölçümleri.....	27
5.2. Sıcaklığa Bağlı I – V Ölçümleri.....	39
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	61
KAYNAKLAR.....	63

ÖZET

Bu çalışmada (100) yönelimli, 300µm kalınlığında, S katkılı, LEC (Liquid Encapsulated Czochralsky) metodu ile hazırlanmış GaP yarıiletkeninden termal buharlaştırma metodu ile yarıiletkenin bir yüzeyine Al buharlaştırılarak omik, diğer yüzeyine Ag buharlaştırarak Ag/GaP diyotu hazırlandı. Bu diyotun oda sıcaklığında on ayrı noktası için I-V ölçümleri yapıldı. Seçilen her hangi bir noktadaki diyota (D6) 298-423 K sıcaklık aralığında I-V ölçümleri yapıldı. Bu ölçümler kullanılarak I-V, $\ln(I)$ -V, $dV/d(\ln I)$ -I ve $H(I)$ -I grafikleri çizildi. Bu grafiklerden yararlanılarak termiyonik emisyon teorisi ve Cheung yöntemine göre Schottky diyotun idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç parametreleri hesaplandı. Oda sıcaklığında hesaplanan idealite faktörü değerlerinin 1,73 ile 3,60 aralığında, engel yüksekliklerinin ise 0,50 ile 0,69 eV aralığında değiştiği belirlendi. D6 diyotu için 298-423 K sıcaklık aralığında idealite faktörü değerlerinin 2,26 ile 3,03 engel yüksekliği değerlerinin ise 0,54 ile 0,70 eV aralığında değiştiği hesaplandı. $dV/d(\ln I)$ -I ve $H(I)$ -I grafiklerinin eğimlerinden R_s değerleri hesaplandı. Hesaplanan bu değerlerin 23,63 ile 29,40 Ω aralığında olduğu görüldü. Hesaplanan bu parametrelerden idealite faktörü ve seri direnç değerlerinin sıcaklık artarken azaldığı ancak engel yüksekliği değerlerinin ise sıcaklık artarken arttığı deneysel olarak belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Schottky diyot, idealite faktörü, seri direnç ve engel yüksekliği

SUMMARY

The Investigation of Temperature Dependent Electrical Characteristic of Ag/GaP Schottky Diodes

In this study ohmic diode was prepared by evaporating Al with thermal evaporation to one of the surfaces of GaP semiconductor which was (100) directional, 300 μ m thick, mixed with S and prepared with the method of LEC (Liquid Encapsulated Czochralsky) and Ag/GaP diode was prepared by evaporating Ag to the other surface, I-V measurements were made for ten different points of this diode at ambient temperature. For a diode at any given point I-V measurements were made in the range of (D6) 298-423 K temperature. By using these measurements I-V, $\ln(I)$ -V, $dV/(d\ln I)$ -I and $H(I)$ -I graphics were drawn. By benefiting from these graphics thermionic, emission theory and ideality factor, barrier height and series resistance parameters of Schottky diode according to Cheung method were calculated. It was determined that the values of ideality factor which were calculated at ambient temperature were in the range of 1,73 and 3,60 and barrier heights are in the range of 0,50 and 0,69 eV. It was calculated that for D6 diode in the range of 298 – 423 K temperature the values of ideality factor changed in the range of 2,26 and 3,03 and the values of barrier height changed in the range of 0,54 and 0,70 eV. R_s values were calculated from the tilt of $dV/d(\ln I)$ -I and $H(I)$ -I graphics. It was observed that these calculated values were in the range of 23,63 and 29,40 Ω . It was determined experimentally from these parameters that ideality factor and series resistance values decreased with the increase of temperature but barrier height values increased with the increase of temperature.

Key Words: Schottky diode, ideality factor, series resistance and barrier height.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Metal/ n-tipi yarıiletken kontak için ($\Phi_m > \Phi_s$) elektron enerji band diyagramı a) Kontakdan önce enerji band yapısı b) kontak oluştuktan sonra termal denge durumu.....	4
Şekil 2.2. Metal /n-tipi yarıiletken doğrultucu kontak için elektron enerji band diyagramı a) termal denge durumu b) doğru beslem c) ters beslem	6
Şekil 2.3. $\Phi_m < \Phi_s$ için metal/n-tipi yarıiletken omik kontakın elektron enerji band diyagramı a) birbirinden ayrı nötral materyaller b) termal dengede kontak c) ters beslemde d) doğru beslemde.....	7
Şekil 2.4. n- tipi yarıiletken-metal doğrultucu kontakın a) kontakdan önce, b) kontakdan sonra termal dengede, c) $V < 0$ olması durumunda enerji band durumu.	9
Şekil 2.5. n-tipi yarıiletken–metal omik kontakın a) kontakdan önce, b) kontakdan sonra termal dengede, c) $V=0$ olması durumunda enerji band grafiği	10
Şekil 2.6. Metal p-tipi yarıiletken doğrultucu kontakta enerji band diyagramları. a) Kontakdan önceki durum, b) Kontakdan sonra ve termal dengedeki durum, c) $V<0$ durumunda, d) $V>0$ durumunda	11
Şekil 2.7. Metal p-tipi yarıiletken omik kontakta enerji band diyagramları. a) Kontakdan önceki durum, b)Kontaktan sonraki durum, c) $V>0$ durumunda, d) $V<0$ durumunda	13
Şekil 3.1. Schottky etkisinin varlığında, metal n-tipi yarıiletken kontakının enerji band diyagramı	14
Şekil 3.2. n^+ Yarıiletken diyot yapısının termal dengede enerji-band grafiği	16
Şekil 3.3. n- tipi yarıiletken doğrultucu kontakın enerji band grafiği	18
Şekil 3.4. Schottky etkisinin varlığında metal-yarıiletken yapının enerji band grafiği	22
Şekil 4.1. On farklı noktadan ölçüm yapılan diyotun şematik yapısı	26
Şekil 5.1. D1 Ag/GaP Schottky Diyotunun akım gerilim değişimi.	28
Şekil 5.2. D1 Ag/GaP Schottky Diyotunda InI-V değişimi.	28
Şekil 5.3. D2 Ag/GaP Schottky Diyotunun akım gerilim değişimi.	29
Şekil 5.4. D2 Ag/GaP Schottky Diyotunda InI-V değişimi.	29
Şekil 5.5. D3 Ag/GaP Schottky Diyotunun akım gerilim değişimi.	30
Şekil 5.6. D3 Ag/GaP Schottky Diyotunda InI-V değişimi.	30
Şekil 5.7. D4 Ag/GaP Schottky Diyotunun akım gerilim değişimi.	31
Şekil 5.8. D4 Ag/GaP Schottky Diyotunda InI-V değişimi.	31
Şekil 5.9. D5 Ag/GaP Schottky Diyotunun akım gerilim değişimi.	32

Şekil 5.10. D5 Ag/GaP Schottky Diyotununda InI-V değişimi.	32
Şekil 5.11. D6 Ag/GaP Schottky Diyotunun akım gerilim değişimi.	33
Şekil 5.12. D6 Ag/GaP Schottky Diyotununda InI-V değişimi.	33
Şekil 5.13. D7 Ag/GaP Schottky Diyotunun akım gerilim değişimi.	34
Şekil 5.14. D7 Ag/GaP Schottky Diyotununda InI-V değişimi.	34
Şekil 5.15. D8 Ag/GaP Schottky Diyotunun akım gerilim değişimi.	35
Şekil 5.16. D8 Ag/GaP Schottky Diyotununda InI-V değişimi.	35
Şekil 5.17. D9 Ag/GaP Schottky Diyotunun akım gerilim değişimi.	36
Şekil 5.18. D9 Ag/GaP Schottky Diyotununda InI-V değişimi.	36
Şekil 5.19. 10 Ag/GaP Schottky Diyotunun akım gerilim değişimi.	37
Şekil 5.20. D10 Ag/GaP Schottky Diyotununda InI-V değişimi.	37
Şekil 5.21. Ag/GaP Schottky Diyotunun 298 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.	41
Şekil 5.22. Ag/GaP Schottky Diyotununda 298 K Sıcaklığındaki InI-V değişimi.	41
Şekil 5.23. Ag/GaP Schottky Diyotunun 303 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.	42
Şekil 5.24. Ag/GaP Schottky Diyotununda 303 K Sıcaklığındaki InI-V değişimi.	42
Şekil 5.25. Ag/GaP Schottky Diyotunun 313 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.	43
Şekil 5.26. Ag/GaP Schottky Diyotununda 313 K Sıcaklığındaki InI-V değişimi.	43
Şekil 5.27. Ag/GaP Schottky Diyotunun 323 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.	44
Şekil 5.28. Ag/GaP Schottky Diyotununda 323 K Sıcaklığındaki InI-V değişimi.	44
Şekil 5.29. Ag/GaP Schottky Diyotunun 333 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.	45
Şekil 5.30. Ag/GaP Schottky Diyotununda 333 K Sıcaklığındaki InI-V değişimi.	45
Şekil 5.31. Ag/GaP Schottky Diyotunun 343 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.	46
Şekil 5.32. Ag/GaP Schottky Diyotununda 343 K Sıcaklığındaki InI-V değişimi.	46
Şekil 5.33. Ag/GaP Schottky Diyotunun 353 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.	47
Şekil 5.34. Ag/GaP Schottky Diyotununda 353 K Sıcaklığındaki InI-V değişimi.	47
Şekil 5.35. Ag/GaP Schottky Diyotunun 363 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.	48
Şekil 5.36. Ag/GaP Schottky Diyotununda 363 K Sıcaklığındaki InI-V değişimi.	48
Şekil 5.37. Ag/GaP Schottky Diyotunun 373 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.	49
Şekil 5.38. Ag/GaP Schottky Diyotununda 373 K Sıcaklığındaki InI-V değişimi.	49
Şekil 5.39. Ag/GaP Schottky Diyotunun 383 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.	50
Şekil 5.40. Ag/GaP Schottky Diyotununda 383 K Sıcaklığındaki InI-V değişimi.	50
Şekil 5.41. Ag/GaP Schottky Diyotunun 393 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.	51
Şekil 5.42. Ag/GaP Schottky Diyotununda 393 K Sıcaklığındaki InI-V değişimi.	51
Şekil 5.43. Ag/GaP Schottky Diyotunun 403 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.	52
Şekil 5.44. Ag/GaP Schottky Diyotununda 403 K Sıcaklığındaki InI-V değişimi.	52
Şekil 5.45. Ag/GaP Schottky Diyotunun 413 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.	53

Şekil 5.46. Ag/GaP Schottky Diyotununda 413 K Sıcaklığındaki InI-V değişimi.	53
Şekil 5.47. Ag/GaP Schottky Diyotunun 423 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.	54
Şekil 5.48. Ag/GaP Schottky Diyotununda 423 K Sıcaklığındaki InI-V değişimi.	54
Şekil 5.49. Ag/GaP Schottky Diyotununda 298-423 K Sıcaklığındaki InI-V değişimi.	55
Şekil 5.50. Ag/GaP Schottky Diyotununda 298-423 K Sıcaklığındaki $dV/d\ln I$ - I değişimi.....	57
Şekil 5.51. Ag/GaP Schottky Diyotununda 298-423 K Sıcaklığındaki $H(I)$ - I değişimi.	57
Şekil 5.52. Ag/GaP Schottky Diyotununda 298-423 K Sıcaklığındaki n-T değişimi.	59
Şekil 5.53. Ag/GaP Schottky Diyotununda 298-423 K Sıcaklığındaki R_s -T değişimi.	59
Şekil 5.54. Ag/GaP Schottky Diyotununda 298-423 K Sıcaklığındaki eV-T değişimi.	60

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 5.1. Oda sıcaklığında ölçülen on ayrı örneğin idealite ve engel yükseklikleri	38
Tablo 5.2. 298-423 K sıcaklığı aralığında hesaplanan idealite ve engel yükseklikleri	56
Tablo 5.3. Ag/GaP Schottky diyotunun farklı sıcaklıklardaki parametrelerinin deneysel değerleri	58

SİMGELELER LİSTESİ

A: Kesit alanı

A^* : Richardson sabiti

C: Kapasite

D_n : Elektron difüzyon sabiti

d: Schottky tabakasının genişliği

Φ_{bn} : Engel yüksekliği

E: Elektrik alan

E_C : İletim bandı enerjisi

E_f : Fermi enerjisi

E_S : Enerji farkı

E_V : Valans bandı enerjisi

ϵ_o : Boş uzayın dielektrik sabiti

ϵ_s : Yarıiletkenin dielektrik sabiti

I_0 : Doyma akımı

J_n : Akım yoğunluğu

J_o : Doyma akım yoğunluğu

J_{Y-M} : Termiyonik emisyon akım yoğunluğu

k: Boltzman sabiti

m_n^* : Elektronların etkin kütlesi

N_d : Donar yoğunluğu

n : Diyotun idealite sabiti

q : Yük miktarı

T : Mutlak sıcaklık

χ_s : Elektron katkınılığı

V_D : Difizyon potansiyeli

V_{ox} : Eşik hızı

Φ_m : Metalin iş fonksiyonu

Φ_s : Yarıiletkenin iş fonksiyonu

μ_n : Taşıyıcı hareketliliği

$\rho_{(x)}$: Uzay-yük yoğunluğu

$\Delta\Phi$: Engel yüksekliğinin azalma miktarı

$\Psi_{(x)}$: Potansiyel fonksiyonu

1. GİRİŞ

Schottky tipi kontaklar, uygulama ve araştırma sahası olarak temel bir yapı olmasından dolayı, giderek artan bir ilgi görmektedir. İdeal diyot (MS), metal yalıtkan-yarıiletken (MIS), metal-oksit-yarıiletken (MOS), metal-yarıiletken güneş pili çalışmaları, metal-yarıiletken radyasyon dedektörleri ve son yıllarda özellikle ilgi çeken polimerik ve nonpolimerik organik bileşiklerle yapılan kontaklar, bu sahadaki çalışmalarda temel yapı olarak Schottky diyotların ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Elektronik sanayisinde Schottky kontaklarından birçok alanda yararlanılmaktadır[1]. Mikrodalga karıştırıcı dedektörleri, hızlı anahtar uygulamaları (switching), varaktörler (kapasiteleri uygulanan gerilime göre değişen kondansatörler), Schottky engel tabakalı alan etkili transistörler (MESFET), metaloksit yarıiletken alan etkili transistörler (MOSFET) bu kontakların kullanıldığı yarıiletken devre uygulamalarından birkaç tanesidir. Metal-Yarıiletken (MS) kontaklar gaz sensörü teknolojisinde de kullanılmaktadır. Metallerin ve yarıiletkenlerin bant yapıları, taşıyıcıların hareketliliği (mobility), ve erişme uzaklıklarının ölçülmesi gibi birçok fiziksel özellikler metal yarıiletken kontak yapıları yardımıyla incelenebilir. Konu üzerindeki araştırmalar son kırk yıldır, metal-yarıiletken kontaklardaki akım akışının ve engel oluşum fiziğinin daha iyi anlaşılması bakımından artarak devam etmektedir. Metal-yarıiletken kontaklar konusundaki bilgiler bir yüzyıl öncesine kadar dayanmakla birlikte, konu üzerinde esas sistemli çalışmalar yirminci yüzyılda yapılmıştır. 1925'ten 1940'a kadar Schottky diyotları üzerine yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları 1945'lerde mikrodalga radarların geliştirilmesini sağlamıştır. İkinci Dünya Savaşı sırasında silikon ve germanyum nokta kontak doğrultuculara dayanan mikrodalga radarların kullanılması, metal-yarıiletken kontak yapıların daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmuştur. Bu yapıların savaş yılları sırasındaki en yaygın kullanımı, frekans dönüştürücüsü ve düşük seviye mikrodalga dedektör diyodu şeklindedir [2].

Keşfedildikleri yıllarda diyot ve transistörler çok büyük boyutlarda olmasına rağmen, günümüzde mikro boyutlarda üretilmeleri mümkündür. Artık hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olan gelişmiş bilgisayarlarımızın bir entegre devresinde milyonlarca diyot veya transistör bulunmaktadır. Yarıiletken üzerinde oluşturulan metal ince filmi, ara yüzeyinde bariyer oluşturmasından dolayı, doğrultucu özellik göstermektedir. Bu tür metal-yarıiletken kontaklar üzerinde ilk defa bariyerin oluşumu için bir model geliştiren W.Schottky olduğundan dolayı, metal-yarıiletken kontaklara Schottky bariyer diyot denmektedir.

Yarıiletken malzemeler ve bu malzemelerden üretilen transistör, doğrultucu, modülatör, dedektör, termistör ve fotosel gibi araç gereçler, elektronik, bilgisayar teknolojisi, optik ulaşım sistemleri ve askeri savunma sanayindeki gelişmeleri belirlemektedir. Sanayideki bu ihtiyaçtan, yarıiletken fiziğinin önemi artmış, gelişimi sağlanmıştır. Yarıiletken fiziğinin sanayiye uygulanması ile elektronik ve bilgisayar teknolojisi gelişmiştir. Si üzerinde ince metal filmler oluşturularak, Schottky bariyer diyotlar elde edilmiştir [3].

Oluşturulan bu metal-yarıiletken malzemeler, doğrultucu özellik göstermektedirler. Teknolojide, metal-yarıiletken eklemlerin elektriksel özelliklerinin bilinmesi, kullanım alanlarının belirlenmesinde oldukça önemlidir. Bu özelliklerden biri; oluşan bariyerin yüksekliği, diğeri de metal-yarıiletken eklemdaki akım geçiş mekanizmasıdır. Akım geçiş mekanizması metal-yarıiletken eklemin ideallğine bağlıdır ve ideallık akım-gerilim karakteristiğı ile belirlenmektedir [4].

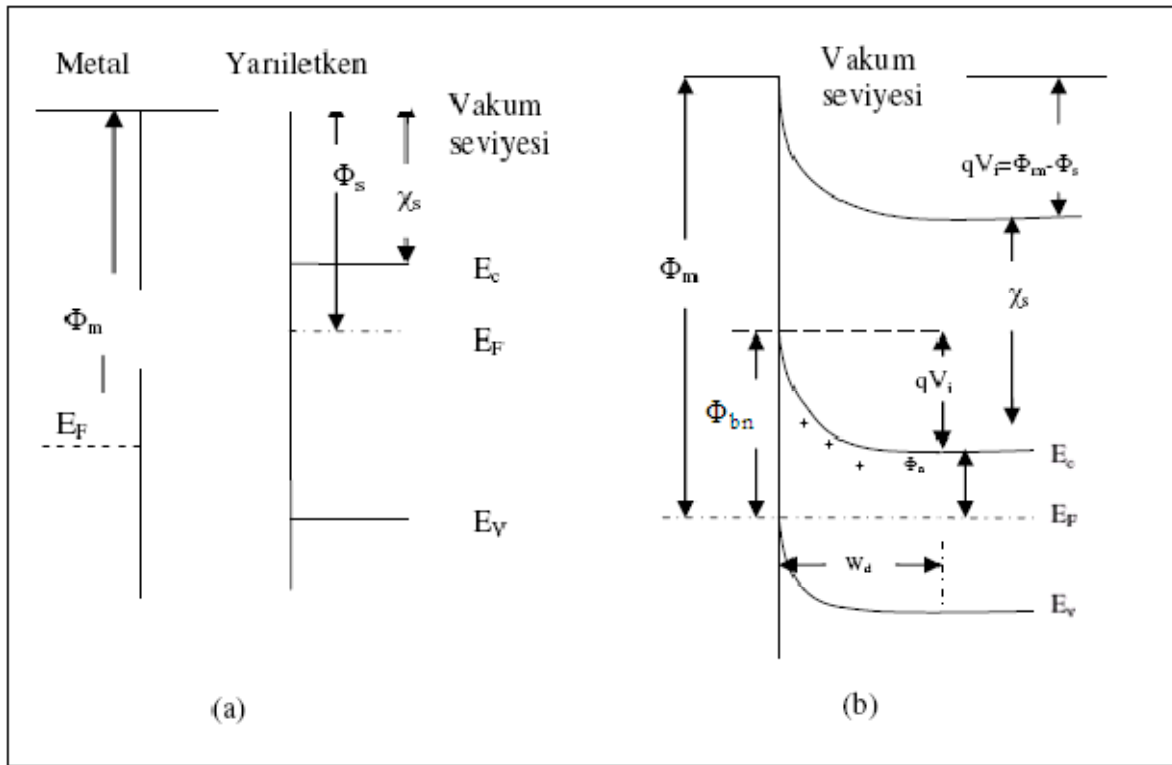
Yarıiletkenle metali ayıran ince ara yüzey yalıtkan tabakanın olması halinde (MIS) Schottky engelli güneş pilinin açık devre voltajı ve verimliliğinde gözlenen artış nedeniyle; MIS Schottky diyotlarına olan ilgi artmıştır [5]. Üretiminin basit olması, ince tabakalarda yüksek ışık absorblaması ve polikristal ince filmlere uygulanabilmesi nedeniyle GaP MIS güneş pillerinin birçok fotovoltaiik uygulamalarda kullanımı vardır. Bu durum GaP MIS Schottky diyotların elektriksel özelliklerini araştırmaya olan ilgiyi arttırmış ve ışık altında güneş pillerinin performansını anlamaya yönelik bir basamak olmuştur. GaP Schottky engelleri son zamanlarda optoelektronik devre elemanı olarak kullanılmıştır. Böylece yüksek verimli dedektörler ve GaP Schottky teknolojideki ileri gelişmeler, MIS yapılarla ilgili daha fazla araştırma yapılmasında ve bunların elektronik parametrelerinin belirlenmesinde önemli rol oynamıştır.

Bu çalışmada, son zamanların teknolojik gelişimlerinde, GaP'ın geniş kullanım alanı bulmasından dolayı Ag/GaP Schottky diyotları üretilerek elektriksel karakterizasyonları ve bazı elektronik parametreleri araştırılmıştır. Oda sıcaklığında ve 298 – 423 K sıcaklığı aralığında I-V ölçümleri yapılarak bir Schottky diyotu için temel parametreler olan engel yüksekliği, idealite faktörü, seri direnç gibi parametrelerle diğeri diyot belirteci olan bazı parametreler belirlenmiştir.

2. METAL YARIİLETKEN KONTAKLAR

2.1. İdeal metal – yarıiletken kontaklar

Metal-yarıiletken kontaklar bir metalin yarıiletkenle atomik boyutta kontak yapılmasıyla oluşturulur. Metal, yarıiletken ile kontak edildiğinde, termal denge kuruluncaya kadar metal ile yarıiletken arasında yük geçişleri olur. Metalden yarıiletkene, yarıiletkenden metale elektron geçişi; metal ile yarıiletkenin Fermi enerji düzeylerinin eşit olduğu termal denge durumuna kadar devam eder. Böylece metal-yarıiletken ara yüzeyinde yüklerin ayrılmasıyla yeni bir yük dağılımı sonucunda bir potansiyel engeli oluşur. Ara yüzey bölgesi, yarıiletken tarafında oluşan ve hareketli yüklerin olmadığı yüksek dirençli bir bölgedir. Metal-yarıiletken (MS) kontaklarda, metal ile yarıiletken ara yüzeyinde bir potansiyel engel oluştuğunu ilk olarak Schottky, eklemde oluşan bu potansiyelin metal ile yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki farktan kaynaklandığını ise Mott açıklamıştır. Schottky-Mott teorisine göre potansiyel engeli, metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki fark sebebiyle oluşmaktadır [6]. Engelin doğrultucu ya da omik olması yarıiletkenin tipine, metalin ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarına bağlıdır. Metalin iş fonksiyonunu Φ_m , yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s olmak üzere metal/n- tipi yarıiletken eklemlerde $\Phi_m > \Phi_s$ ise engel doğrultucu, $\Phi_m < \Phi_s$ ise engel omik olur. Metal/p-tipi yarıiletken eklemlerde ise $\Phi_m > \Phi_s$ için engel omik, $\Phi_m < \Phi_s$ ise engel doğrultucudur. Şekil (2.1) $\Phi_m > \Phi_s$ (doğrultucu kontak) olan n-tipi yarıiletken ile metal kontağın elektron enerjisi bant diyagramını göstermektedir. Şekil (2.1.a)'da gösterilen metalin iş fonksiyonu Φ_m , bir elektronu Fermi seviyesinden vakum seviyesine çıkarmak için gerekli enerjidir. Yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s ise, yarıiletkenin Fermi enerji farkıdır ve Fermi seviyesi katkı miktarına göre değiştiği için değişken bir niceliktir. Vakum seviyesi bir metalin tam dışındaki sıfır kinetik enerjili bir elektronun enerji seviyesidir. Yarıiletkenin katkı miktarına bağlı olmayan elektron katkınılığı χ_s , iletkenlik bandının en üst sınırından bir elektronu vakum seviyesine çıkarmak için gerekli enerji miktarıdır. Şekil (2.1.b) doğrultucu kontak oluşturulup denge kurulduktan sonraki enerji bant diyagramını göstermektedir. Metal-yarıiletken kontak oluşturulduğunda, metaldeki elektrondan daha yüksek enerjiye sahip yarıiletkenin iletkenlik bandındaki elektronlar, iki taraftaki Fermi enerji düzeyi eşit olana kadar metale doğru akarlar. Elektronlar yarıiletkenden metale doğru gittiği için yarıiletkenin sınıra yakın bölgesinde serbest elektron konsantrasyonu azalır. İletkenlik bant kenarı E_c ile Fermi seviyesi E_f arasındaki fark azalan elektron konsantrasyonu ile artar ve termal dengede E_f tamamen serbest kaldığı için iletkenlik ve valans bant kenarı Şekil (2.1.b)'deki gibi bükülür. Metale geçen iletkenlik bant elektronları, arkalarında donar iyonları bırakırlar, böylece yarıiletkenin metale yakın kısmında hareketli yükler tüketilir. Ara yüzeyin yarıiletken tarafında pozitif yükler oluşur ve metale geçen elektronlar ara yüzeyden yaklaşık $0,5 \text{ \AA}$ uzaklıkta ince bir negatif yük tabakası oluştururlar. Sonuçta, şekil (2.1.b)'de olduğu gibi yarıiletkenden metale doğru bir elektrik alan oluşur [7].

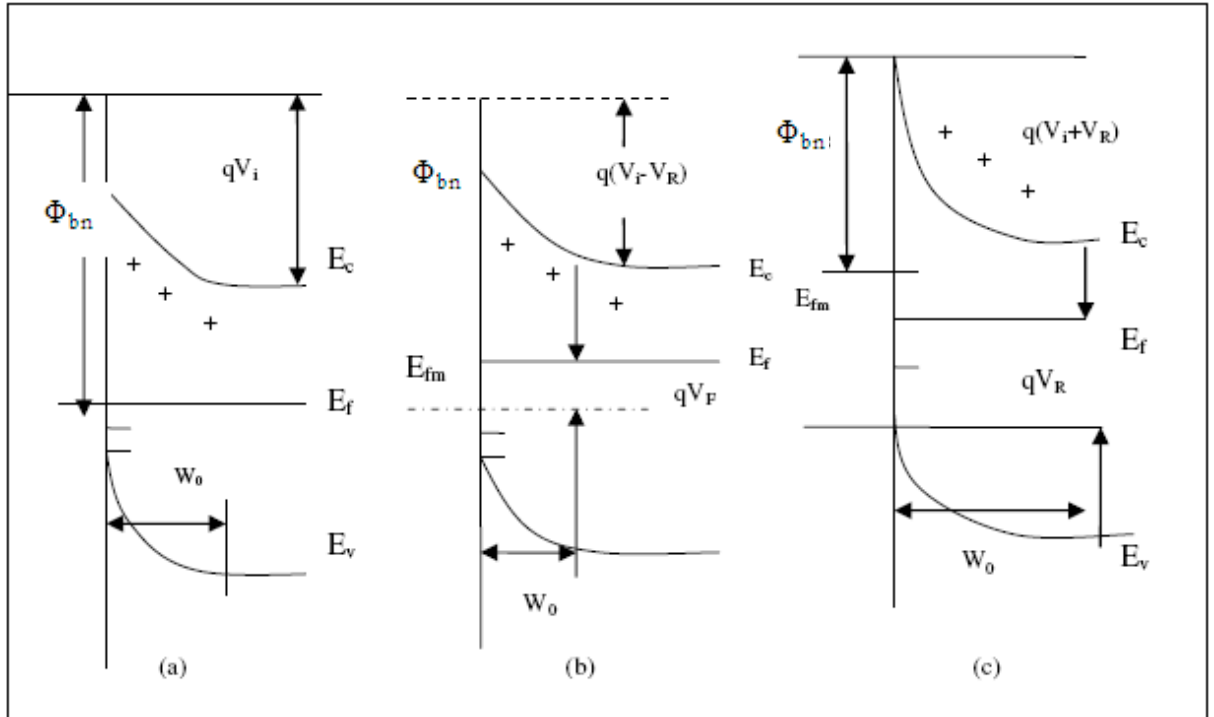


Yarıiletkenin yasak enerji aralığı kontak sebebiyle değişmediği için, E_v valans bant kenarı E_c iletkenlik bant kenarına paralel olarak kayacaktır. Yarıiletkenin vakum seviyesi de aynı değişimi gösterir. Bunun sebebi, yarıiletkenin elektron yakınlığının kontak ile değişmemesidir. Sonuç olarak termal dengedeki sistemde, bant bükülmesi miktarı, metalin iş fonksiyonu Φ_m ile yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s arasındaki farka eşittir[8]. Bu fark $qV_i=(\Phi_m -\Phi_s)$ olarak ifade edilir. Burada V_i ekleme oluşan potansiyel yada kontak potansiyel farkı olarak bilinir ve birimi volt'tur. qV_i yarıiletkenden metale gidecek olan elektronun sahip olması gereken enerji yani engel yüksekliğidir. Bununla birlikte metalden belirlenen engel yarıiletkenden belirlenen engelden farklıdır ve

ile verilir.

elde edilir.

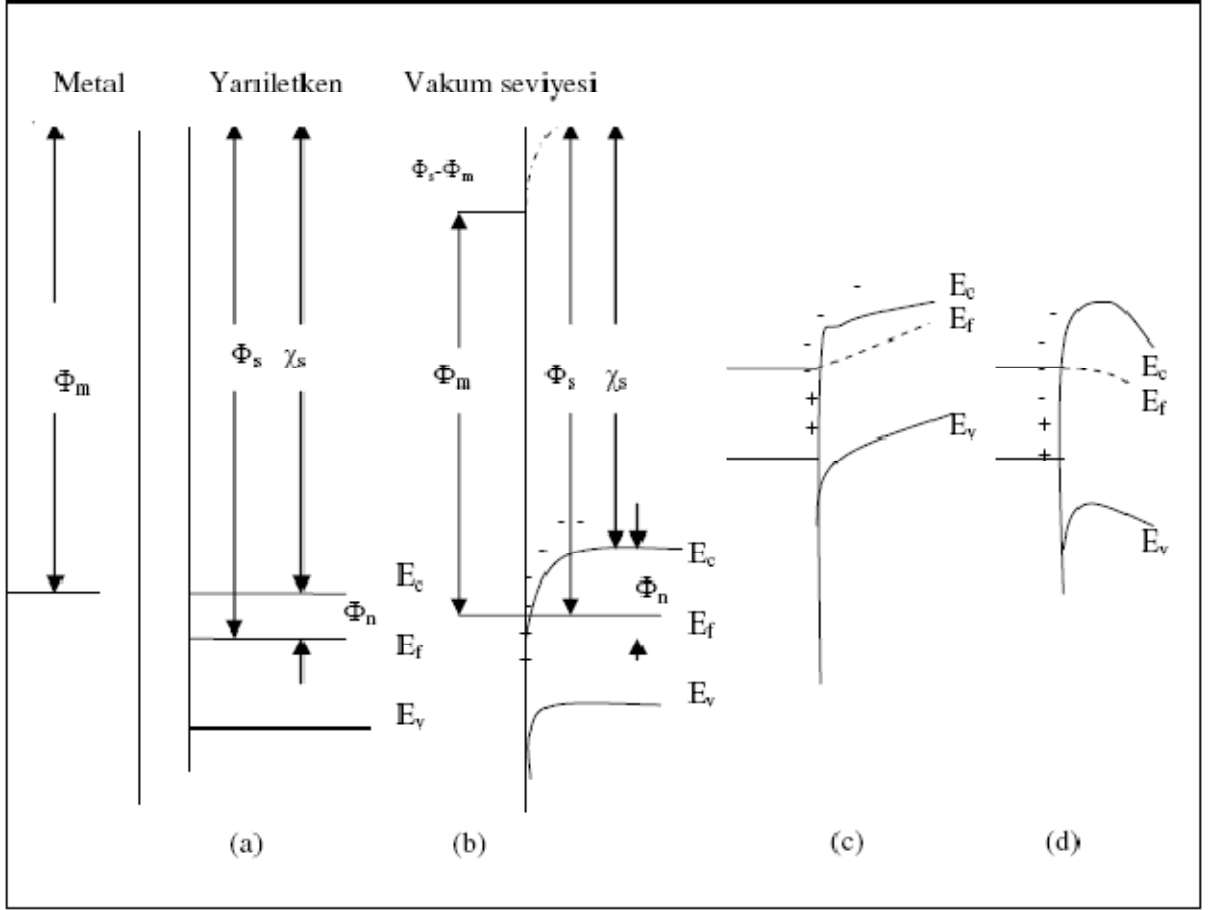
Bu durum ara yüzey tüketim bölgesinde homojen bir yük yoğunluğu verir. Bu sabit uzay yük için elektrik alan şiddeti, uzay yük tabakasının kenarından olan uzaklığı ile artar ve oluşan parabolik engel “Schottky Engeli” olarak bilinir. Mott’a göre yarıiletkenin hiç yük içermeyen ince tabakası düzenli olarak katkılanan bir yarıiletken ve metal arasında yerleştirilmiştir bu ince bölgedeki elektrik alan büyüklüğü sabittir ve potansiyel, bu bölgeye doğru geçerken çizgisel olarak artar. Engelin bu tipi “Mott Engeli” olarak bilinir. Şekil (2.2) bir MS diyotunun dengede, ters ve doğru beslem altındaki enerji bant diyagramlarını göstermektedir. Şekil (2.2.a)’da ise termal dengede doğrultucu kontağın enerji bant diyagramı gösterilmektedir. Termal dengede potansiyel engelini aşan elektronların oranı, engeli ters yönde aşan elektronların oranı ile dengelenir ve net akım oluşmaz [9]. Yarıiletkenin tüketim bölgesi çok az hareketli taşıyıcı içerdiği için, bu bölgenin direnci metalin ve yarıiletkenin nötr kısmının direnci ile kıyaslandığında çok yüksektir ve uygulanan dış voltajın tamamı bu bölgeye düşer. Uygulanan voltaj termal denge bant diyagramını değiştirir. Bu değişim tüketim bölgesine düşen potansiyelin değişmesiyle ve bant bükülmelerindeki değişiklik nedeniyle oluşur. Metal pozitif, yarıiletken negatif olacak şekilde uygulanan bir voltaj ($V=V_F$) tüketim bölgesinin genişliğini azaltır ve Şekil (2.2.b)’de görüldüğü gibi bu bölgedeki voltaj; qV_i ’den $q(V_i-V_F)$ ’ye düşer. Bu durumda yarıiletkendeki elektronlar daha düşük bir engelle karşılaşacaklar, bunun sonucunda da yarıiletkenden metale elektron akımı termal denge değerine göre artacaktır. Metalden yarıiletkene elektron akımı termal denge değerine göre değişmez. Bunun sebebi metalde herhangi bir voltaj düşmesi olmaz, böylece Φ_B uygulanan voltajdan etkilenmez. Sonuç olarak, yarıiletken tarafı negatif ve metal tarafına pozitif olacak şekilde potansiyelin uygulandığı doğru beslem durumunda yarıiletkenden metale doğru net bir akım mevcuttur. Doğru beslem akımı, uygulanan V_F voltajı ile üstel olarak artar [9]. Ters beslemde kontağın enerji bant diyagramı Şekil (2.2.c)’de gösterilmiştir. Yarıiletken pozitif, metal negatif olacak şekilde uygulanan bir voltaj ($V = -V_R$) tüketim bölgesinin genişliğini artırır ve potansiyel qV_i ’den $q(V_i+V_R)$ ’ye çıkar. Yarıiletkenden metale doğru elektron akımı ise termal denge durumuna göre azalır. Metalden yarıiletkene elektron akımı ise değişmez termal dengedekinin aynısı olur. Yarıiletkenden metale doğru olan akım doğru beslemdeki ile kıyaslandığında daha küçüktür. Böylece bu şartlar altında bahsedilen kontak tek yönde akım ileten doğrultucu kontak olur. $\Phi_m < \Phi_s$ olan n-tipi yarıiletken ile oluşturulan omik kontağın enerji bant diyagramı Şekil (2.3)’de görülmektedir. Şekil (2.3.a)’da materyaller ayrı durumda iken arkalarında pozitif yükler bırakarak, metalden yarıiletkenin iletkenlik bandına doğru akarlar ve sınırın yarıiletken tarafında elektron yığılmasına neden olurlar. Termal dengeye ulaştığında yarı iletkenin Fermi seviyesi Şekil (2.3.b)’de gösterildiği gibi ($\Phi_s - \Phi_m$) kadar yükselir. Yarıiletkende negatif yüklerin yığılması ile oluşan tabaka Debye mesafesi kadar bir kalınlık içinde sınırlanır ve bunlar yüzey yükleridir.



Şekil 2.2. Metal /n-tipi yarıiletken doğrultucu kontak için elektron enerji bant diyagramı a) termal denge durumu b) doğru beslem c) ters beslem [5].

Metaldeki elektronların konsantrasyonu çok daha fazla olduğu için metal tarafındaki pozitif yükler metal yarıiletken ara yüzeyinden yaklaşık $0,5\text{\AA}$ bir uzaklık içinde sınırlanmış olan yüzey yükleridir. Yarıiletken içinde oluşan bir tüketim bölgesi yoktur ve yarıiletkenden metale ya da tersi yönde elektronların akması için bir potansiyel engel yoktur [10].

Ara yüzey yakınındaki bölgede elektron konsantrasyonu artırılır ve sistemin en yüksek dirençli bölgesi yarıiletken bölgesinde oluşur. Şekil (2.3.c) ve Şekil (2.3.d)'de doğru ve ters beslemde yarıiletken bölgesini göstermektedir. Akımın bu bölgenin direnci ile belirleneceği açıktır ve uygulanan voltajın yönünden bağımsızdır. Doğrultucu olmayan bu tip kontaklar omik kontak olarak adlandırılır.



Şekil 2.3. $\Phi_m < \Phi_s$ için metal/n-tipi yarıiletken omik kontakın elektron enerji bant diyagramı a) birbirinden ayrı nötral materyaller b) termal dengede kontak c) ters beslemde d) doğru beslemde [5]

2.2. n-Tipi Yarıiletken-Metal Doğrultuculu Kontak Oluşumu

Akım taşıyıcılarını (hol ve elektron) bir doğrultuda diğerine göre daha kolay geçiren kontaklara doğrultucu kontaklar denir. n-tipi yarı iletkenin ve metalin iş fonksiyonuna bağlı olarak $\Phi_m > \Phi_s$ ise metal-n tipi yarı iletken doğrultucu kontağı oluşur. Burada Φ_m metalin iş fonksiyonu , Φ_s ise yarı iletkenin iş fonksiyonudur. Kontakta önce metal n- tipi yarıiletken doğrultucu kontakın enerji bant diyagramı şekil (2.4)' de görülmektedir. Yarıiletkenin fermi seviyesi metalin fermi seviyesinden $\Phi_m - \Phi_s$ kadar yukarıdadır. Kontakta sonra bir yük hareketlenmesi oluşur. Yarıiletkenin yüzey tabakasından elektronlar, bu yüzey tabakasında geride iyonize olmuş donarlar bırakarak metalin içine geçerler. Yük geçişi bittikten sonra, metalin ve n-tipi yarı iletkenin Fermi seviyeleri aynı düzeye gelir [11]. Bu yarıiletken gövdedeki enerji seviyelerinin $\Phi_m - \Phi_s$ miktarı kadar aşağı kaydığını ifade eder. Sonuçta; metal tarafındaki yüzey yükleriyle n-tipi yarıiletken tarafındaki uzay yüklerinin oluşturduğu dipol tabakası, kontakta bir potansiyel engelin kurulmasına, yani yarıiletken tarafında bantların yukarı doğru bükülmesine neden olur.

Kontaktın sonraki metal n-tipi yarı iletkenin enerji bant diyagramı şekil (2.4.b)'de görülmektedir. Bu potansiyel engelin yarıiletken tarafındaki yüksekliği;

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

kadardır. Burada metal yüzeyine göre ölçülen V_d potansiyeline difüzyon potansiyeli denir. Potansiyel engelin metal tarafındaki yüksekliği;

$$q\Phi_n = \Phi_m - \Phi_s \quad (2.3)$$

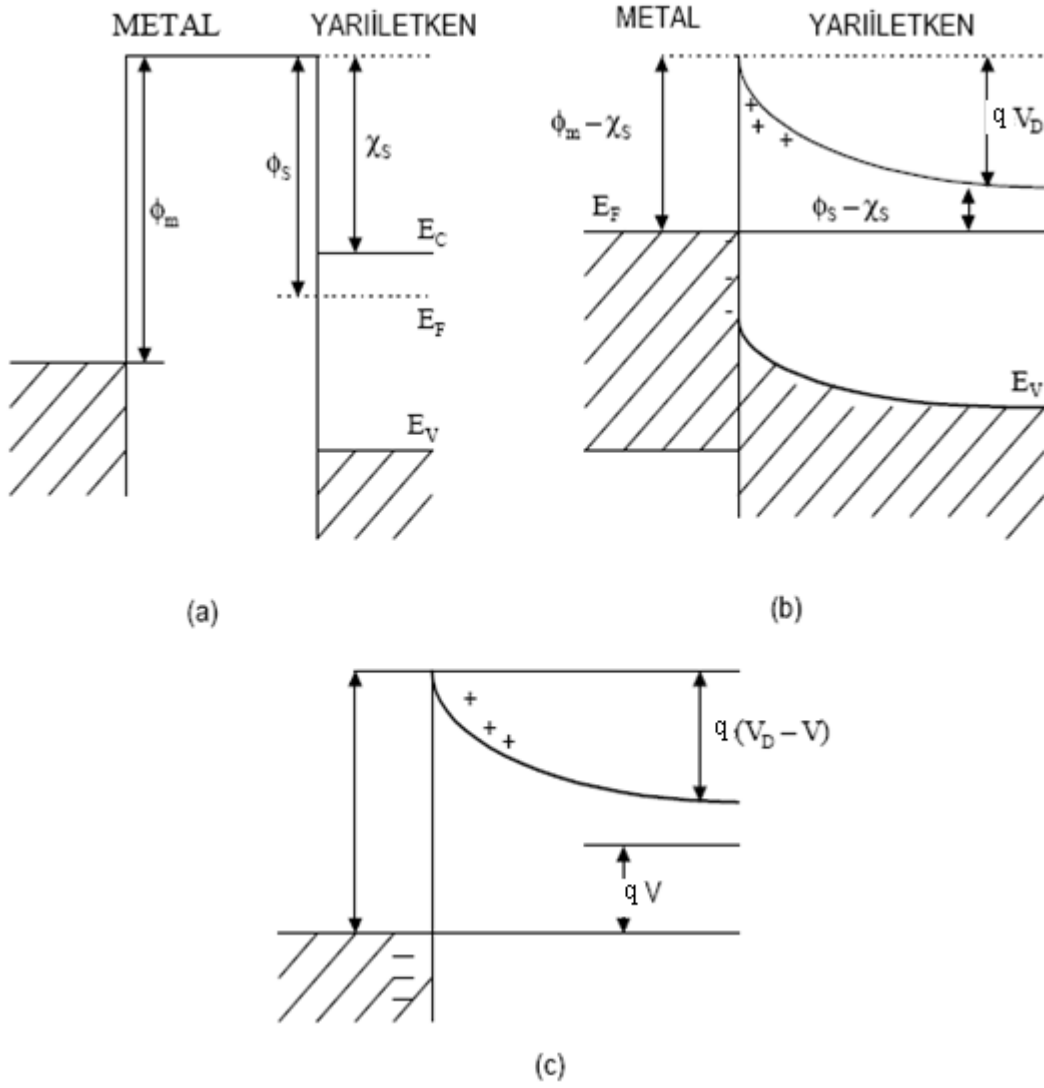
dir. Burada χ_s , yarıiletkenin elektron yatkınlığıdır. Yarıiletkenin elektron yakınlığı, iletkenlik bandı ile vakum seviyesi arasındaki enerji farkına eşittir.

Metal tarafından dik olarak yükselen potansiyel engeli, yarıiletken içerisinde d genişliğine sahiptir. Böylece yarıiletken tarafında elektronlardan arınmış yüklerden yoksun olan bir bölge oluşur[9]. Bu d genişliğindeki bölgeye engel bölgesi (tabakası), uzay yükü bölgesi, geçiş bölgesi veya arınma bölgesi denir[8]. Pozitif ve negatif yükler arasında kalan bu bölge kapasite özelliğine sahiptir ve Schottky kapasitesi (kontak kapasitesi) olarak adlandırılır. Engel tabakasının d kalınlığı, iyonize olmuş donarların konsantrasyonuna ve difüzyon potansiyeli V_d 'nin değerine bağlıdır [13].

Termal uyarılmalardan dolayı, yeterli enerjiye sahip olan metalin bazı elektronları, potansiyel engelini aşıp yarıiletkenin içerisine geçerler. Aynı şekilde, yarıiletkenin bazı elektronları potansiyel engelini aşıp metalin içerisine geçerler. Denge durumunda bu, eşit ve zıt I_o akımlarına sebep olacaktır. Yarıiletken bir (-V) voltajı uygulanırsa (Şekil 2.4) soldan sağa giden (metalden yarıiletken) elektronlar için engel değişmez ve bundan dolayı sağdan sola karşılık gelen akım da değişmeyecektir. Fakat iletkenlik bandındaki enerji seviyeleri qV kadar yükseldiğinden, sağdan sola giden elektronlar için engel qV miktarı kadar azalmış olacaktır. Sonuç olarak net akım;

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

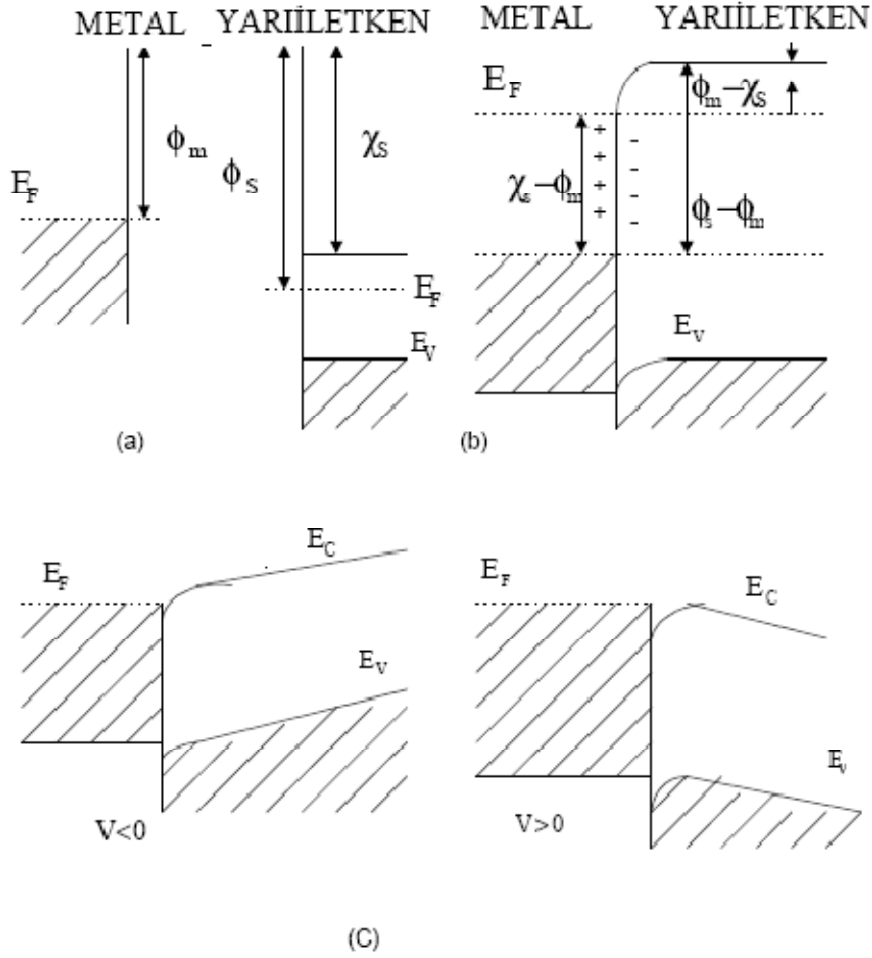
denkleme eşit olur. Şekil (2.4)'de görüldüğü gibi yarıiletken tarafındaki potansiyel engeli yüksekliği uygulanan V voltajına bağlı olarak değişir. Ancak metal tarafındaki potansiyel engelin yüksekliği, voltaj uygulamalarından bağımsızdır (Schottky etkisi ve ara yüzey tabakası etkisi hariç). Metal – n tipi yarıiletken doğrultucu kontakın $V < 0$ ise kontak ters beslemde, $V > 0$ ise kontak doğru beslemdedir.



Şekil 2.4. n- tipi yarıiletken-metal doğrultucu kontağın a) kontakdan önce, b) kontakdan sonra termal dengede, c) $V > 0$ olması durumunda enerji bant durumu [8]

2.3. n-Tipi Yarıiletken-Metal Omik Kontak Oluşumu

n-tipi yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s , metalin iş fonksiyonu Φ_m ' den büyük ise ($\Phi_m < \Phi_s$) omik kontak oluşur. Kontakdan önceki enerji bant diyagramı şekil (2.5a)'da gösterilmiştir. Yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden ($\Phi_s - \Phi_m$) kadar aşağıdadır. Kontakdan sonra, elektronlar metalden yarıiletkenin içine, geride bir pozitif yüzey yükü bırakarak akarlar ve kontağın yarıiletken tarafında bir negatif yüzey yüküne sebep olurlar. Yük değişimi bittikten sonra, yarıiletken gövdedeki Fermi seviyesi ($\Phi_s - \Phi_m$) kadar yükselir. Termal dengeden sonra, kontağın her iki tarafında meydana gelen yüzey yükünden dolayı bir dipol tabakası oluşur. Böyle bir kontakta, taşıyıcılar metalden yarıiletkene, yarıiletkenden metala serbestçe geçerler.



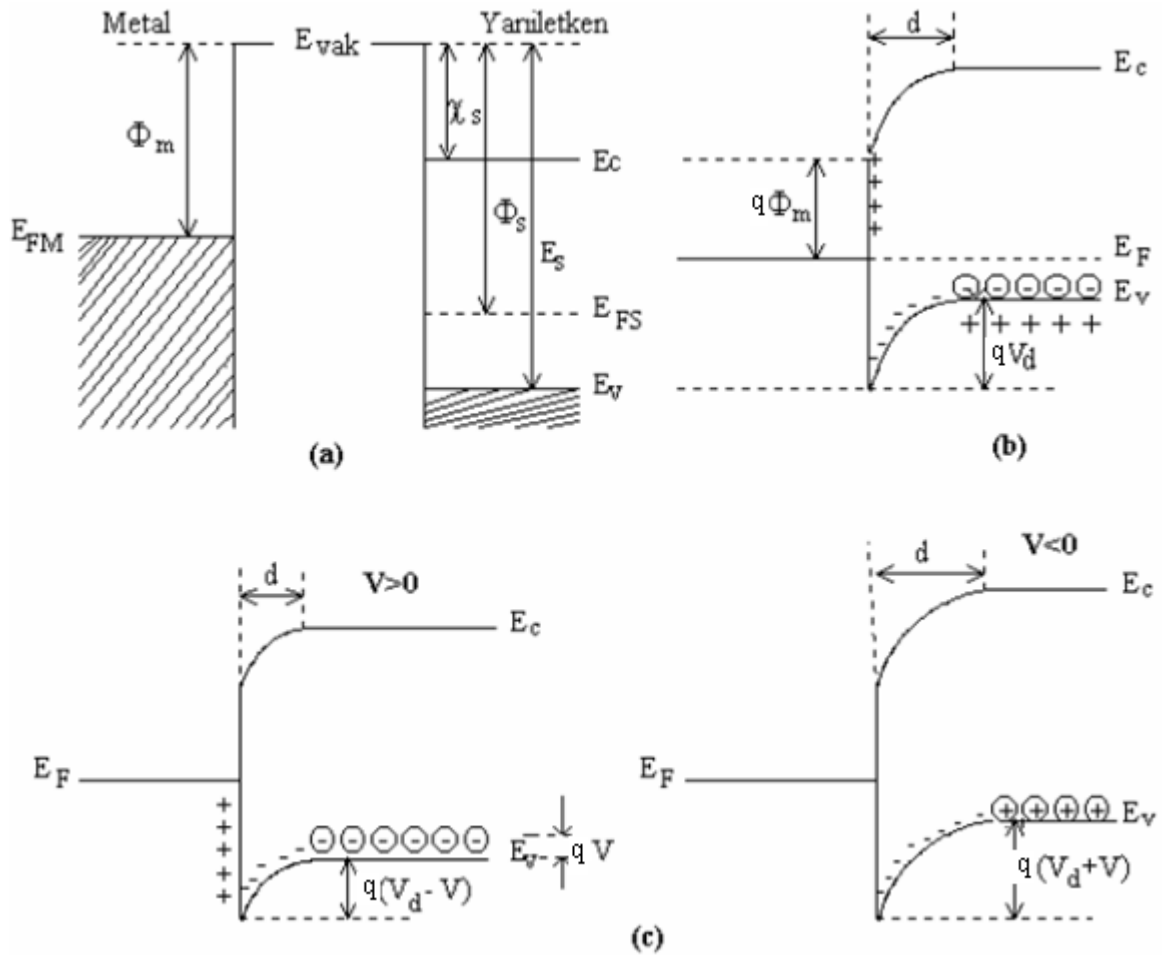
Şekil 2.5. n-tipi yarıiletken–metal omik kontağın a) kontakdan önce, b) kontakdan sonra termal dengede, c) $V=0$ olması durumunda enerji bant grafiği [8].

Bir V voltajı uygulandığında bu potansiyel farkı doğrultucu kontakta olduğu gibi sadece kontak bölgesinde değil bütün yarıiletken gövde boyunca dağılacaktır. Kontakdan sonraki enerji–bant diyagramı şekil (2.5 b)’de görülmektedir.

Yarıiletken pozitif ve metale negatif bir voltaj uygulandığında Şekil (2.5.c), metaldeki elektronlar yarıiletken tarafına kolay bir şekilde geçerler ve bundan dolayı omik kontaklara enjeksiyon kontakları da denir. Pratikte omik kontak elde edebilmek, için n-tipi yarıiletkenin yüzeyi buharlaştırılan metal yarıiletkenle alaşım haline getirilir. Böylece yarıiletkenin yüzeyinde bir n^+ tabakası oluşur. Bu tabaka yarıiletken gövdeye göre elektron bakımından daha zengindir [12].

2.4. p-Tipi Yarıiletken-Metal Doğrultucu Kontakt Oluşumu

Bu çeşit kontaklarda da kontağın türünü anlamak için, metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarına bakmak gerekir. Metalin iş fonksiyonu Φ_m , yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s , difüzyon potansiyelini V_d ve vakum seviyesi ile yarıiletkenin dolu bandının tepesi arasındaki enerji farkını E_s ($E_g + \chi_s$) olarak kabul edelim. Metalin iş fonksiyonu yarıiletkenin iş fonksiyonundan küçük ise ($\Phi_m < \Phi_s$) doğrultucu kontakt oluşur. Kontakta önce (Şekil 2.6.a) yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden $\Phi_s - \Phi_m$ kadar düşüktür. Kontakta sonra (Şekil 2.6.b), metalden yarıiletkene Fermi seviyeleri aynı seviyeye gelinceye kadar elektron akışı meydana gelir. Buna bağlı olarak yarıiletkenin yüzey tabakası negatif olarak yüklenmiş olur. Bu negatif yük iyonize olmuş akseptörlerle oluşur ve bu yük d kalınlıklı bir uzay yükü tabakası boyunca dağılır [12].



Şekil 2.6. Metal p-tipi yarıiletken doğrultucu kontakta enerji bant diyagramları. a) Kontakta önceki durum, b) Kontakta sonra ve termal dengedeki durum, c) $V > 0$ durumunda, d) $V < 0$ durumunda [8].

Enerji seviyesi yarıiletken tarafında $\Phi_s - \Phi_m$ kadar yükseldiğinden, yarıiletkendeki holler için yüzey engeli;

$$qV_d = \Phi_s - \Phi_m \quad (2.5)$$

olur. Kontakın metal tarafında holler için potansiyel engeli ise;

$$\Phi_{bn} = E_s - \Phi_m \quad (2.6)$$

olarak verilir. Termal uyarılmadan dolayı, yarıiletkenin bazı holleri potansiyel engelini aşır metalin içine geçecek kadar enerji kazanırlar ve metalin içinde termal olarak oluşan bazı hollerde yarıiletkenin içine potansiyel engelini aşır geçecek kadar enerji kazanırlar. Böylece engeli geçen eşit ve zıt I_0 akımları oluşur. Yarıiletkene bir V gerilimi uygulanırsa Şekil (2.6.c), soldan sağa (metalden yarıiletkene) doğru olan hol akımı (I_0) değişmez. Fakat sağdan sola (yarıiletkenden metale) doğru olan hol akımı $\exp(qV/kT)$ çarpanı kadar değişir. Zira yarıiletkendeki holler için engel yüksekliği qV kadar azalmış ama metaldeki boşluklar için ise değişmemiştir. Sağdan sola olan doğrultu pozitif akım doğrultusu olarak alınır, karakteristik akım-gerilim ifadesi

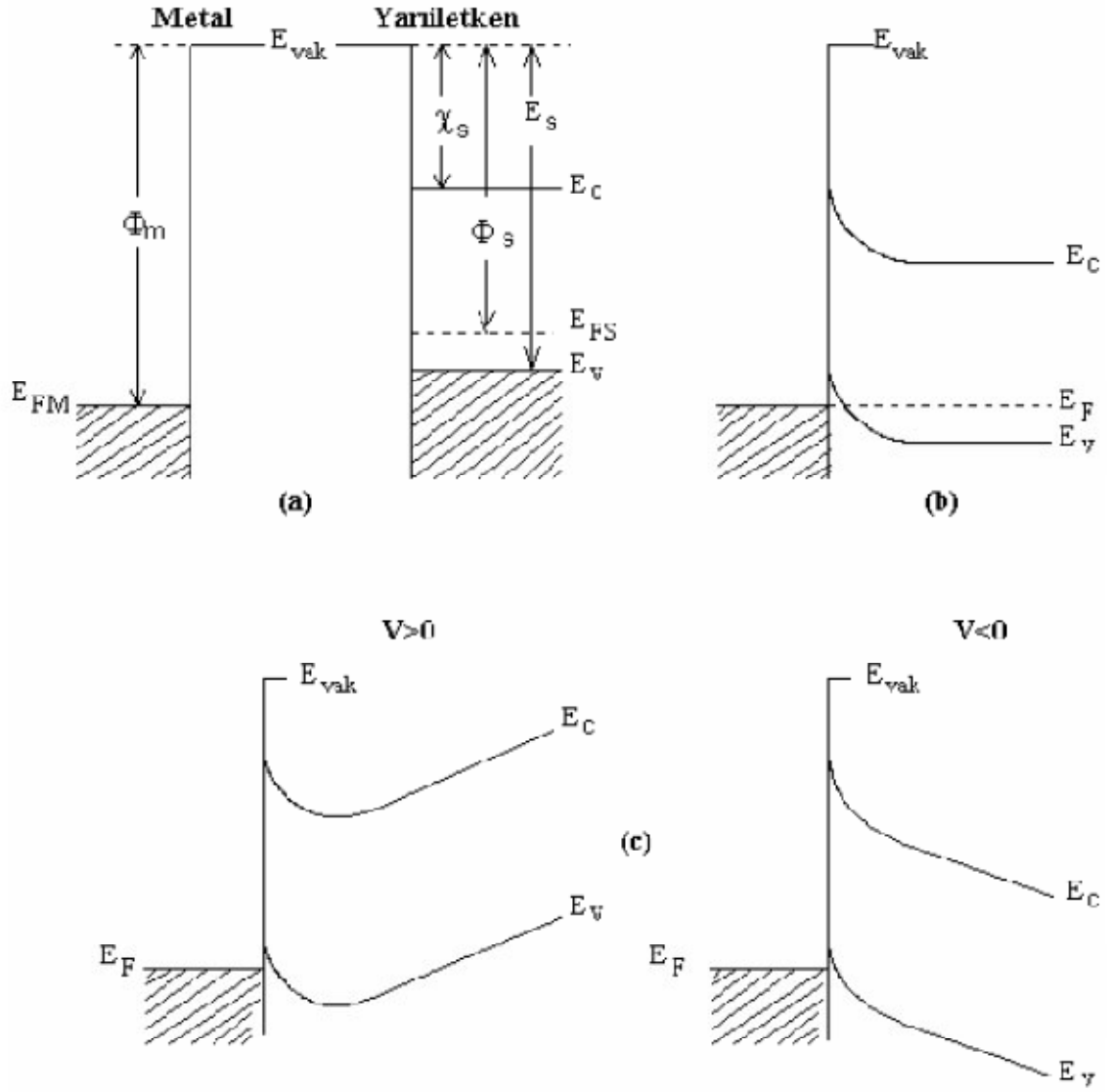
$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.7)$$

Şeklinde olur. Bu durumda, akım bir doğrultuda diğerine göre daha büyüktür. O halde kontak, doğrultucu kontaklır.

2.5. p-Tipi Yarıiletken-Metal Omik Kontak Oluşumu

Metal p-tipi yarıiletken kontakta $\Phi_m > \Phi_s$ olursa omik kontak oluşur. $\Phi_s - \Phi_m$ yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden $\Phi_m - \Phi_s$ kadar yukarıdadır. Kontakta sonra metal ve yarıiletkenin elektrokimyasal enerjileri (Fermi seviyeleri) aynı düzeye gelinceye kadar yarıiletkenden metale elektron geçişi gerçekleşir [11]. Sonuçta bir denge durumuna ulaşılır. Yarıiletkenin Fermi seviyesi $\Phi_m - \Phi_s$ kadar alçalır. Kontakta önceki ve sonraki enerji-bant diyagramları Şekil (2.7.a) ve (2.7 b)' de verilmiştir.

Elektronlar yarıiletken tarafında bir boşluk bırakarak metale geçerler. Bu geçişler metal üzerinde negatif, yarıiletken üzerinde pozitif yüzey yükünün oluşmasına yol açar. Böylece yarıiletkendeki Fermi seviyesi $\Phi_m - \Phi_s$ kadar düşer. Metal (+) ve yarıiletken tarafı (-) olacak $\Phi_m - \Phi_s$ şekilde bir voltaj uygulanırsa, ters beslem durumunda metalin iletkenlik bandında termal olarak oluşan holler yarıiletkenin içine kolay bir şekilde hareket edebilirler. Bu şekilde akımı iki doğrultuda da geçirebilen kontaklar, omik kontaklır.



Şekil 2.7. Metal p-tipi yarıiletken omik kontakta enerji bant diyagramları. a) Kontaktan önceki durum, b) Kontaktan sonraki durum, c) $V > 0$ durumunda, d) $V < 0$ durumunda [5].

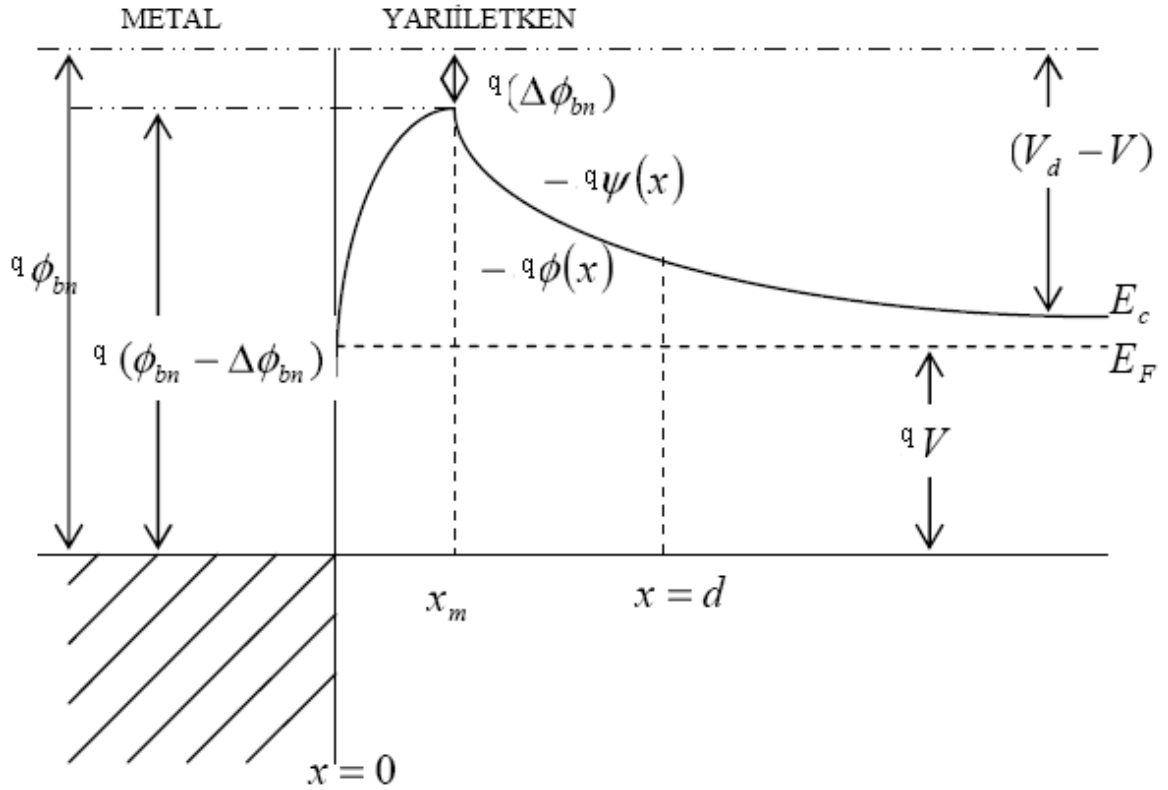
3. METAL - YARIİLETKEN DİYOT VE ENERJİ BANT YAPILARI

3.1. Schottky Olayı

Bir metal ile yarıiletken, kontak haline getirildiğinde metal-yarıiletken ara yüzeyinde bir potansiyel engeli oluşur. Bu potansiyel engeline elektrik alan uygulandığında hayali bir kuvvet indüklemesiyle potansiyel engel azalması olarak tarif edilir. Diğer bir anlatımla; Schottky engel düşüşü olayı, metal-yarıiletken yapılarda elektrostatik etkileşmeden dolayı potansiyel engelinin $q(\Delta\phi_{bn})$ kadar alçalmasıdır. Bir elektron, metalden x kadar uzaklıkta bulunduğunda, metalin yüzeyinde pozitif bir yük oluşturur. Dolayısıyla bu elektron bir elektrik alanı oluşturacaktır. Elektron ve bu pozitif yük arasındaki çekim kuvveti, bu elektron ile $-x$ konumundaki pozitif yük arasındaki kuvvete eşittir. Bu pozitif yük hayali bir yük gibi değerlendirilir. Bu iki yük arasındaki çekim kuvveti hayali kuvvet olarak adlandırılır ve denklem (3.1) ile ifade edilir.

$$F = \frac{-q^2}{4\pi(2x)^2 \epsilon_0} = \frac{-q^2}{16\pi x^2 \epsilon_0} = -qE \quad (3.1)$$

Burada ϵ_0 boş uzayın dielektrik sabiti ve q elektronun yüküdür. Ayrıca bu etki Şekil (3.1)'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Schottky etkisinin varlığında, metal n-tipi yarıiletken kontakının enerji bant diyagramı [5].

Elektronun potansiyel enerjisi ise; Bir elektronun sonsuzdan bir x noktasına gelirken yaptığı iş denklem (3.2) ile ifade edilir.

$$\int_{\infty}^x F dx = \frac{q^2}{16\pi x \epsilon_0} \quad (3.2)$$

Dış elektrik alan sıfır iken potansiyel denklemi (3.3) ile ifade edilir.

$$\Phi_x = \frac{q}{16\pi x \epsilon_0} \quad (3.3)$$

Bir dış E elektrik alan uygulandığında, uzaklığın fonksiyonu olarak toplam potansiyel enerji denklemi (3.4) ile ifade edilir.

$$\Phi_x = \frac{q}{16\pi x \epsilon_0} + qE_x \quad (3.4)$$

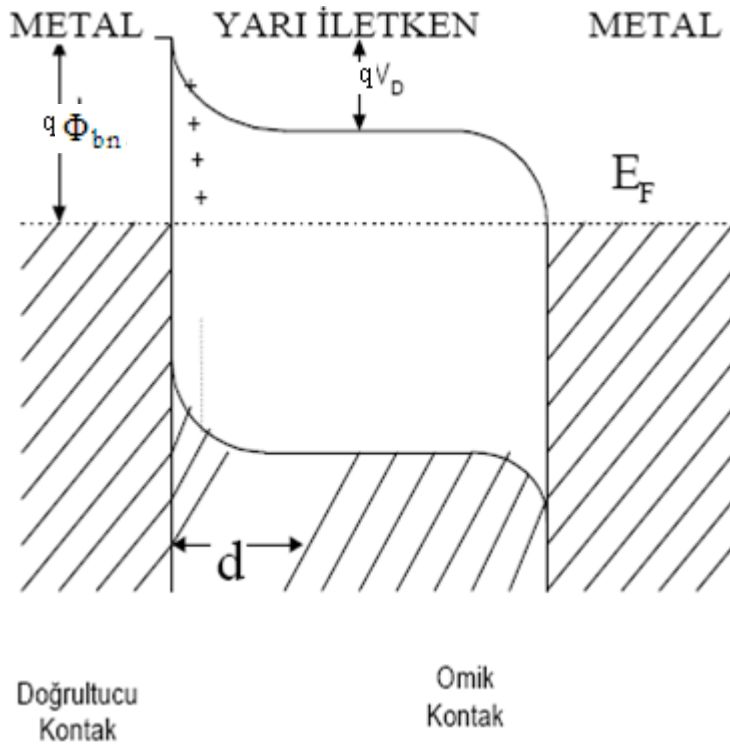
Schottky engel yüksekliğinin azalma miktarı $\Delta\Phi$ ve engelin tepe noktasının yeri χ_m Şekil (3.1) $d\Phi_x/dx=0$ şartından bulunur. Denklem (3.5) ve (3.6) ile ifade edilir.

$$X_m = \sqrt{\frac{q}{16\pi \epsilon_s \epsilon_0 E}} \quad (3.5)$$

$$\Delta\Phi = \sqrt{\frac{q.E}{4\pi \epsilon_s \epsilon_0}} \quad (3.6)$$

3.2. Schottky Diyodu

Metal n-tipi yarıiletken metal ($n+nM$) yapısı; n-tipi yarıiletkenin bir yüzeyine elektron bakımından çok zengin $n+n$ omik kontağı ile diğer yüzeyine uygulanan nM doğrultucu kontağından oluşmaktadır. Termal dengede böyle bir yapının enerji-bant grafiği Şekil (3.2)'de görülmektedir. $n+$ omik kontak tarafı $V<0$ olacak şekilde beslendiğinde yapı doğru beslemde olur. $n+$ tarafı $V>0$ olacak şekilde beslendiğinde yapı ters beslemde olur. $n+nM$ yapısı diyot özelliğine sahip bir yapıdır. Böyle bir yapı kısaca yarıiletken diyot olarak adlandırılır [14].



Şekil 3.2. $n+nM$ yarıiletken diyot yapısının termal dengede enerji-bant grafiği [5].

3.3. Metal-Yarıiletken Schottky Diyotlarında Akım İletimi

Metal –Yarıiletken Schottky diyotlarında akım iletimi, Schottky ve Spenke tarafından ileri sürülen difüzyon teorisi ve termiyonik emisyon teorisi ile açıklanmaktadır. Aşağıda bu teoriler kısaca açıklanacaktır.

3.3.1. Difüzyon Teorisi

Difüzyon teorisi, şu kabuller göz önüne alınarak açıklanır;

- 1) Engel yüksekliği, kT 'den çok büyüktür.
- 2) Geçiş bölgesinde elektronlar arasında gerçekleşen çarpışmalar ihmal edilemez.
- 3) $x=0$ ve $x=d$ 'deki taşıyıcı yoğunlukları akım akışından etkilenmez.
- 4) Yarıiletkenin katkı atomu yoğunluğu değişirmez.

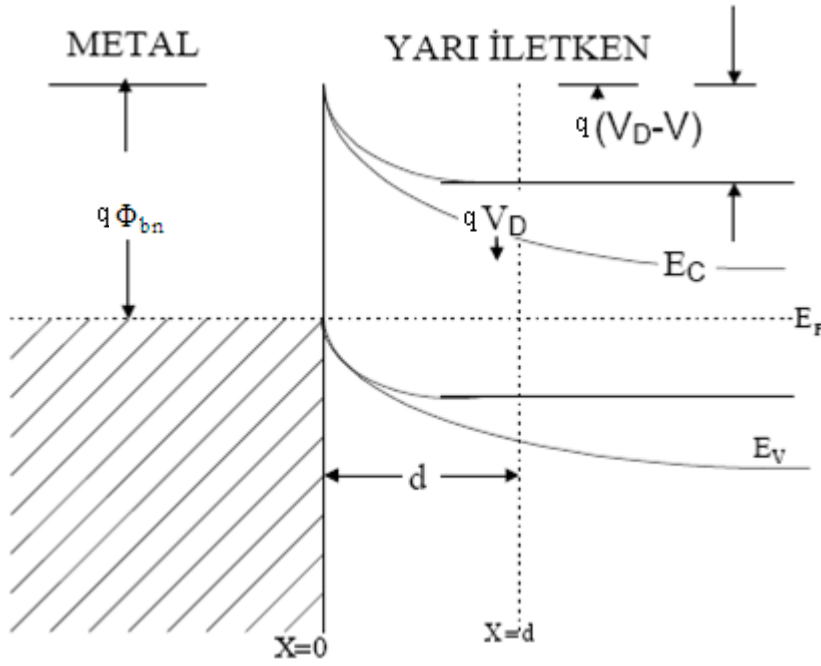
Metal –n tipi yarıiletken kontağın Şekil (3.3)'deki enerji bant diyagramına göre yarıiletken $-V$ gerilimi uygulandığında, potansiyel ve taşıyıcı yoğunluğu için sınır şartları;

$$X = 0 \text{ da } \psi = 0 \text{ ve } X = d \text{ de } \psi = -V_d - V \quad (3.7)$$

$$X=0 \text{ da } n = n_0 = N_d \exp\left(-\frac{qV_d}{kT}\right) \quad (3.8)$$

$$\text{ve } X=d \text{ de } n=N_d \quad (3.9)$$

Burada N_d donar konsantrasyonu V_d difüzyon potansiyelidir.



Şekil 3.3. n- tipi yarıiletken doğrultucu kontağın enerji bant grafiği [5].

Geçiş bölgesinde akım yoğunluğu, elektrik alana ve taşıyıcı gradyentine bağlı olduğundan dolayı;

$$J_n = q \left\{ n(x) \mu_n E + D_n \frac{\partial n}{\partial x} \right\} \quad (3.10)$$

denklemini yazılır. Burada D_n difüzyon sabiti, E elektrik alan μ_n taşıyıcı hareketliliği ve $n(x)$ herhangi bir x noktasındaki taşıyıcı yoğunluğudur. Denklem 3.10' un her iki tarafı $\exp\left(-\frac{q\phi}{kT}\right)$ terimi ile çarpıp, alan ve hareketlilik yerine $E = -\frac{d\phi}{dx}$ ve $\mu_n = \frac{q}{kT} D_n$ ifadelerini koyarsak

$$J_n = \exp\left(\frac{q\phi}{kT}\right) dx = q D_n d \left\{ n(x) \exp\left(-\frac{q\phi}{kT}\right) \right\} \quad (3.11)$$

denklemini elde ederiz. Denklem (3.11)'nin integralini $x = 0$ 'dan $x = d$ 'ye kadar alıp 3.7 sınır şartlarını göz önüne alırsak

$$J_n \int_0^d \exp\left(-\frac{q\phi}{kT}\right) dx = q d \left\{ -n_0 + N_d \exp\left[-\frac{q(V_d - V)}{kT}\right] \right\} = q D_n N_d \exp\left(\frac{qV_d}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (3.12)$$

denklemini elde edilir.

$0 \leq x \leq d$ aralığındaki potansiyel ifadesi

$\varphi(x) = -\frac{qN_d}{\varepsilon_s \varepsilon_0} \left(\frac{1}{2} x^2 - xd \right)$ ifadesi (3.12) denkleminde yerine koyularak gerekli işlem yapılırsa

$$J_n \int_0^d \exp\left(-\frac{q\varphi}{kT}\right) dx = \frac{\varepsilon_s \varepsilon_0 kT}{N_d q^2 d} \quad (3.13)$$

denklemini elde edilir. Bu ifadeyi (3.11)'de yerine yazarsak

$$J_n = q\mu_n N_d \left\{ \frac{2qN_d(V_d - V)}{\varepsilon_s \varepsilon_0} \right\}^{1/2} \exp\left(-\frac{qV_d}{kT}\right) \left\{ \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right\} \quad (3.14)$$

ifadesini elde ederiz Bu ifadede ilk büyük parantez içindeki terim kontaktaki elektrik alan şiddetidir. Sürüklenme hızı;

$$V_d = \mu_n E_0 \quad (3.15)$$

Olduğu için (3.14) denklemini aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$J_n = qN_d |V_d| \exp\left(-\frac{qV_d}{kT}\right) \left\{ \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right\} \quad (3.16)$$

Bu ifade bize, taşıyıcı difüzyonu nedeni ile meydana gelen akım yoğunluğunu verir. Benzer hesaplamalar metal-p yarıiletken schottky kontağı için yapılırsa

$$J_n = qN_a |V_d| \exp\left(-\frac{qV_d}{kT}\right) \left\{ \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right\} \quad (3.17)$$

elde edilir. Burada N_a , p tipi yarıiletkenin akseptör yoğunluğudur.

3.3.2. Termiyonik Emisyon Teorisi

Termiyonik emisyon, sıcak bir yüzeyden taşıyıcıların salınması anlamına gelir. Metal yarıiletken doğrultucu kontaklarda bu olay, metal ya da yarıiletken tarafındaki taşıyıcıların potansiyel engelini termal enerjileri nedeniyle aşması olarak tanımlanır. Metal n-tipi yarıiletken yapılarda bu olay elektronlar, metal p tipi yarıiletken yapılarda ise holler tarafından sağlanır. Bu nedenle bu tür yapılarda akım iletimi çoğunlukla taşıyıcılar tarafından sağlanır. İlk olarak yarıiletkenden metale doğru termiyonik emisyon akım yoğunluğu J_{Y-M} 'yi çıkaralım x yönünü kontak yüzeyine dik olarak alalım. Hızları V_x ile $V_x + dV_x$ arasında olan elektronların yoğunluğu;

$$d_n = N_d \left(\frac{m_n^*}{2\pi kT} \right)^{\frac{1}{2}} \exp \left(\frac{\frac{1}{2} m_n^* V_x^2}{kT} \right) dV_x \quad (3.18)$$

ifadesi ile verilir. Burada N_d donar yoğunluğunu m_n^* yarıiletkendeki elektronların etkin kütlesi, k Boltzman sabiti ve T mutlak sıcaklıktır. Yarıiletkenin potansiyel uygulanmadığı zamanki akım yoğunluğu, hızları $(\frac{1}{2} m_n^* V_x^2 \geq V_d)$ şartını sağlayan elektronların birim zamanda birim yüzeyden geçen sayısının q ile çarpımı aşağıdaki ifadeyle verilir.

$$J_{y-m} = \int_{v_{0x}}^{\infty} q v_x d_n = q N_d \left(\frac{m_n^*}{2\pi kT} \right)^{\frac{1}{2}} \int_{v_{0x}}^{\infty} v_x \exp \left(\frac{\frac{1}{2} m_n^* v_x^2}{kT} \right) dv_x = q N_d \left(\frac{m_n^*}{2\pi kT} \right)^{\frac{1}{2}} \exp \left(-\frac{qV_d}{kT} \right) \quad (3.19)$$

burada $V_{0x} = \left(\frac{2qV_d}{m_n^*} \right)$ olup taşıyıcının qV_d engelini aşması için gerekli olan eşik hızıdır. İletkenlik bandının tabanı sıfır enerji seviyesi olarak alınırsa donar yoğunluğu ve yarıiletkende metale akım yoğunluğu;

$$N_d = 2 \left(\frac{2\pi m_n^* kT}{h^2} \right) \exp \left(-E_F / kT \right) \quad (3.20)$$

$$J_{Y-M} = \frac{4\pi q k^2 T^2 m_n^*}{h^3} \exp \left(-\frac{qV_d + E_F}{kT} \right) \quad (3.21)$$

eşitliği ile verilir. Şekil (3.4)'de görüldüğü gibi, metal tarafından yarıiletkenin iletkenlik bandının kenarına göre engel yüksekliği $q\Phi_{bn} = V_d + E_F$ olur böylece;

$$J_{Y-M} = A^* T^2 \exp\left(\frac{q\Phi_{bn}}{kT}\right) \quad (3.22)$$

ifadesini yazabiliriz. Burada

$$A^* = \frac{4\pi k^2 T^2 m_n^*}{h^3} \quad (3.23)$$

değerine sahiptir ve elektronlar için etkin Richardson sabiti diye adlandırılır. Metal n-tipi yarıiletken Schottky kontağı doğru beslemde olduğu zaman engel yüksekliği azalacağından akım yoğunluğu $\exp\left(\frac{qV}{kT}\right)$ çarpanı ile artacaktır. Dolayısıyla

$$J_{Y-M} = A^* T^2 \exp\left(\frac{q\Phi_{bn}}{kT}\right) \left\{ \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right\} \quad (3.24)$$

olur. Denklem (3.24) den J_0 doyma akım yoğunluğu elde edilir.

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(\frac{q\Phi_{bn}}{kT}\right) \quad (3.25)$$

Denklem (3.25) ile verilen doyma akım yoğunluğu uygulanan gerilimden bağımsız olması gerekirken Schottky etkisinden dolayı uygulanan gerilime bağlı olarak bir miktar artış gösterir. Schottky etkisi Şekil (3.4); elektrostatik etkileşme ve uygulanan gerilimden (elektrik alan) dolayı engel yüksekliğinin ($q\Delta\Phi_{bn}$) kadar alçalmasıdır. Bu engel alçalması ($q\Delta\Phi_{bn}$: görüntü kuvvet etkisinden dolayı engel alçalması)

$$q(\Delta\Phi_{bn}) = \alpha_0 (V_d + V)^{\frac{1}{4}} \quad (3.26)$$

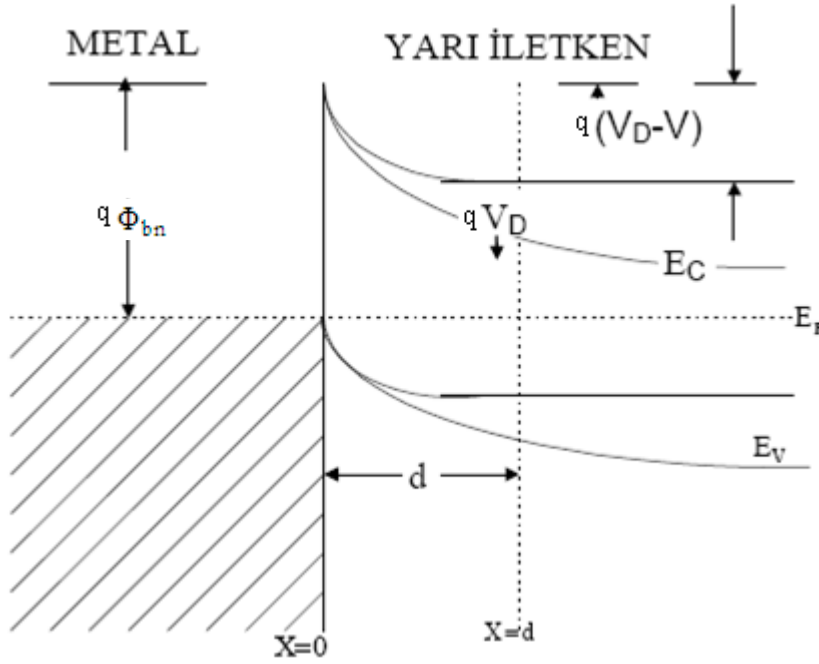
Bağıntısı ile verilir. $q\Phi_{bn}$ yerine $q(\Phi_{bn} - \Delta\Phi_{bn})$ yazılırsa;

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_{bn}}{kT}\right) \exp\left(\alpha_0 (V_d + V)^{\frac{1}{4}}\right) \quad (3.27)$$

olur. Denklemden de görüldüğü gibi bu ifade, uygulanan gerilime bağlıdır. Burada $\Phi_{bn,0}$ sıfır beslem voltajında görüntü-kuvvet (Schottky) etkisiz engel yüksekliğidir ve α_0 sabiti;

$$\alpha_0 = \left\{ \frac{q^7 N_d}{8(\epsilon_s \epsilon_0)^3 \pi^2 (kT)^4} \right\}^{\frac{1}{4}} \quad (3.28)$$

şeklinde tanımlanır. Burada ϵ_s yarıiletkenin, ϵ_0 ise boşluğun dielektrik sabitidir.



Şekil 3.4. Schottky etkisinin varlığında metal-yarıiletken yapının enerji bant grafiği [8].

3.4. Schottky Diyot Doğru Beslem I-V Karakteristikleri ve Cheung Fonksiyonları

Termiyonik emisyon modelinin geçerli olduğu ideal Schottky diyotlarında doğru beslem akım yoğunluğu-gerilim karakteristiği aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$J = J_0 \left\{ \exp \left(qV_D / kT \right) - 1 \right\} \quad (3.29)$$

Burada J doyma akım yoğunluğudur ve V_D engel tabakası boyunca gerilim düşmesidir. Pratik olarak gerçekleştirilen Schottky diyotlarda, doğru beslem akım – gerilim karakteristiklerinde ideal sapmalar olabilir. Bu sapmalar idealite faktörü (n) boyutsuz bir sabit cinsinden tanımlanır.

Bu durumda denklem (3.29)

$$J = J_0 \left\{ \exp \left(qV_D / nkT \right) - 1 \right\} \quad (3.30)$$

şeklini alır.

Burada $\exp \left(qV_D / kT \right) \gg 1$ durumu göz önüne alınır ve (3.30) eşitliğinde J_0 yerine yazılırsa bu eşitlik,

$$j = A \cdot A^* T^2 \exp \left(- \frac{q\Phi_{bn}}{kT} \right) \exp \left[\frac{q(V - IR)}{nkT} \right] \quad (3.31)$$

olarak elde edilir. Burada ($V_d - IR$) dir. V ise uygulanan gerilimdir. (3.31) denkleminde ($I = AJ$)

$$V = R \cdot A \cdot J + n\Phi_{bn} + \left(n/\beta \right) \ln \left(j / A \cdot A^* T^2 \right) \quad (3.32)$$

Şeklinde düzenlenir. Burada A diyodun etkin alanı ve $\beta = q/kT$ dir. Bu son denklemi J'ye göre diferansiyeli

$$dV / d(\ln I) = RAJ + n/\beta \quad (3.33)$$

olur. $dV / d(\ln I)$ nin J'ye göre grafiği bir doğrudur. Doğrunun eğiminden R seri direnci doğrunun $dV / d(\ln I)$ eksenini kestiği noktadan ise idealite faktörü (n) bulunabilir. $q\Phi_{bn}$ 'yi elde etmek için;

$$H(I) = V - \left(n/\beta \right) \ln \left(j / AA^* T^2 \right) \quad (3.34)$$

fonksiyonundan yararlanılır. (3.34) denklemi (3.32) ile birlikte düşünülürse

$$H(I) = V - \left(\frac{n}{\beta} \right) \ln \left(\frac{j}{AA^* T^2} \right) \quad (3.35)$$

olur. $H(I)$ 'nin I 'ye göre çizilen grafiği bir doğru verir. Bu grafik $H(I) = n\Phi_{bn} + IR$ ye uyar. Bu doğrunun eğiminden R seri direnci, doğrunun $H(I)$ eksenini kestiği noktadan da Φ_{bn} engel yüksekliği bulunabilir. (3.33) ve (3.34) denklemleri Cheung fonksiyonları olarak adlandırılır [15].

3.5. Metal Yarıiletken Schottky Diyotlarda Ara Yüzey Tabakasının Etkileri

Schottky–Mott teorisine göre Schottky diyotlarda engel yüksekliği metalle yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki farka eşittir, yani engel yüksekliği metalin iş fonksiyonuna çok sıkı bir şekilde bağlıdır. Fakat yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar, engel yüksekliğinin metalin iş fonksiyonundan bağımsız olduğunu gösterdi. n-tipi bir yarıiletken ile doğrultucu kontak haline getirilen bir metalin, p tipi için omik kontak oluşturmaları gerekirken, doğrultucu kontakta oluşturabileceği bulundu [17]. Bu durum yarıiletken üzerindeki yüzey halleri cinsinden açıklandı. Bu yüzey halleri yarıiletkenin içinin metalden perdeler ve difüzyon potansiyelinin ve dolayısıyla engel yüksekliğinin gerçek değerinden farklı olmasına sebep olurlar. Yine Bardeen modeli, metal ile yarıiletken arasında bir yalıtkan tabakanın varlığını da kabul eder [17].

Ara yüzey halleri, tahmin edilen ve gözlenen Schottky engel yüksekliklerinin arasındaki farktan dolayı hesaba katılır. Bu ara yüzey hallerin dört madde halinde inceleyebiliriz.

a) Metal ile kontakta önce yarıiletken ve vakum seviyeleri ara yüzeyinde mevcut olan asal yüzey halleri, bunlar genel olarak yarıiletken kristalin periyodik yapısının yüzeyde kesilmesinden ortaya çıkarlar [18].

b) Metal ile kontakta sonra ortaya çıkan asal olmayan (extrinsic) yüzey halleri; bunlar yarıiletkenin yüzeyinde yığılmış olan yabancı atomların varlığından veya metalin yeteri kadar temiz olmayışından dolayı oluşan yüzey halleridir.

c) Hem yarıiletkenin yüzeyinde hem de yarıiletkenin gövdesinde bulunan kusurlar (defects) ve kirlilerden ortaya çıkan asal olmayan yüzey halleri, bu haller metal buharlaştırıldığında yarıiletkenin ince bir tabakasıyla (arayüzey tabakası) metalden ayrılırlar. Bu durumda, bu hallerin dengede olduğu söylenir.

d) Bazı metaller temiz yarıiletkenin yüzeyine buharlaştırıldıklarında metal ile yarıiletken arasında kuvvetli bir kimyasal reaksiyon meydana gelir. Bu reaksiyondan dolayı ara yüzeyde, ara yüzey tabakası olarak kabul edilen yeni bir bileşik ve dolayısıyla yeni ara yüzey halleri ortaya çıkmış olur.

Deneyisel olarak bu dört tip ara yüzey hallerinin varlığı gösterilmiştir. Teorik hesaplamalarda bu ara yüzeylerin yapısı ve özellikleri güvenilir bir şekilde tartışılmıştır. Bu dört tip ara yüzey hallerini Schottky diyot karakteristiklerinin beklenilenden farklı çıkmasına sebep oldukları hem deneyisel hem de teorik olarak gösterilmiştir. Bunlara ilave olarak, metalle yarıiletken arasındaki ince oksit tabakası, bant yapısı karakterine sahip değildir ve metal-yarıiletken kontaklardaki etkisi aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- 1) Bu tabakadaki potansiyel değişmesinden dolayı termal dengedeki sıfır beslemdeki engel yüksekliği ideal bir Schottky diyotunkinden daha düşük olacak [2].
- 2) Elektronlar, bu tabakadan dolayı oluşan engelin içinden geçerler (tünelleme) ve bu durum Schottky parametrelerinin beklenilenden farklı çıkmasına neden olur [5].
- 3) Bir gerilim uygulandığında, bu gerilimin bir kısmı ara yüzey tabakası boyunca düşeceğinden engel yüksekliği uygulanan geriliminin bir fonksiyonu olur. Engel yüksekliğinin bu beslem bağımlılığı, I-V karakteristiklerinin biçiminin değişmesine sebep olur. Bu durum ideallikten sapma olarak tanımlanır ve idealite faktörü olan n cinsinden ifade edilir. Ayrıca, ara yüzey tabakası ve ara yüzey hallerinin Schottky diyot kapasitesine etki ve katkılarına aşağıdaki gibi işaret edilebilir. 20 A^0 'dan daha küçük kalınlıklı ara yüzey tabakası için ara yüzey halleri metalle, 20 A^0 'dan daha büyük kalınlıklı ara yüzey tabakası için ara yüzey halleri yarıiletkenle dengededir [8].

4. MATERYAL ve METOT

4.1. GaP Numunesinin Özellikleri

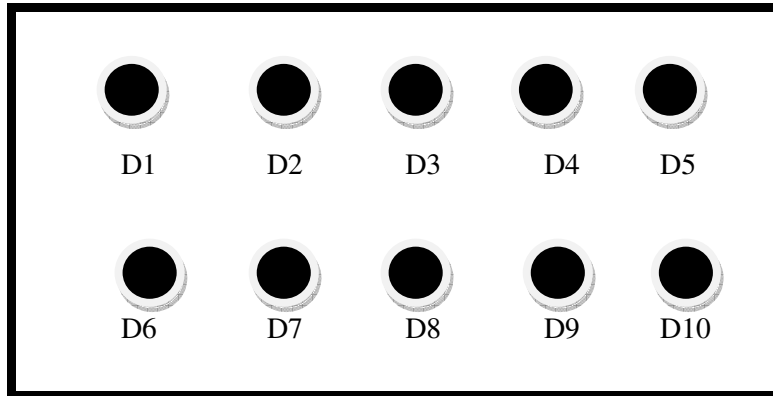
Tez çalışmasında kullanılan S katkılanmış n-tipi GaP numunesi LEC (Liquid Encapsulated Czochralsky) yöntemiyle [100] doğrultusunda büyütülmüş, kalınlığı 300 μm olan wafer numuneleri satın alınmıştır. Numunenin 77 °K’ de taşıyıcı konsantrasyonu $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, dür.

4.2. Ag/GaP Schottky Diyotunun Hazırlanması

Diyot yapımında kullanılan yarıiletken kristaller önce yüzey üzerindeki organik ve diğer ağır metal kirlerini temizlemek için Bandelin Sonorex ultrasonik temizleyicide farklı kimyasallarla (Etil alkol, Aseton) beş dakika temizlenip yüksek dirençli ($\sim 18 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$) de - iyonize su ile durulandıktan sonra N_2 ortamında kurutuldu. Ayrıca buharlaştırmada kullanılacak metaller ve ısıtıcı potalar metanolde ultrasonik olarak beş dakika ve daha sonra $\text{H}_2\text{O} + \text{HCl}$ (10:1) içinde de beş dakika yıkanmıştır. Temizlenen kristallerin arka mat yüzeyine $\sim 1500 \text{ \AA}$ kalınlığında %99.999 saflıkta Al buharlaştırılarak (10^{-6} torr basınç altında) yarı iletkenin mat yüzeyi üzerine omik kontak yapıldı [36]. Parlak yüzeyin üzerine 0,01 cm yarı çaplı bir maske yerleştirilip $\sim 1000 \text{ \AA}$ kalınlığında Ag (Gümüş) buharlaştırılarak (10^{-6} torr basınç altında) doğrultucu kontaklar hazırlandı.

4.3. Akım-Gerilim Ölçüm Düzenegi

Ag/GaP Schottky diyotların elektronik özelliklerini belirlemek için Akım-Gerilim ölçümleri Keithley 2400 Sourcemeter kullanıldı. Ölçümler Hawlett Packard bilgisayarına takılan bir IEEE - 488 AC/DC çevirici kart yardımıyla kumanda edilerek gerçekleştirildi.



Şekil 4.1. Hazırlanan diyotun şematik yapısı.

5. BULGULAR

5.1. Oda Sıcaklığında I – V Ölçüm Sonuçları

Hazırlanan Ag / n- GaP schottky diyotun oda sıcaklığında karanlık ortamda Şekil 4.1’de gösterildiği gibi 10 farklı noktadan alınan akım- gerilim grafiği Şekil 5.1 - 5.20 de verilmiştir. Elde edilen I – V karakteristiği tipik diyot karakteristiğidir. Bir diyotun idealite faktörü ve engel yüksekliği diyot karakteristiğini belirlemede önemli parametrelerdir [33]. Bu parametrelerinin belirlenmesi için farklı metotlar mevcuttur. Birinci metotta diyotun ideal olmadığı ($n > 1$) kabul edilerek en genel durum göz önüne alındı. Eğer diyot ideal bir diyot ise $n = 1$ olarak alındığında doğru besleme I- V arasındaki ilişki;

$$I = I_o \left[\exp \left(\frac{qV}{kT} \right) - 1 \right] \quad (5.1)$$

denklemini ile verilir. Fakat ideal durumdan sapmalar nedeniyle I-V;

$$I = I_o \left[\exp \left(\frac{qV}{nkT} \right) - 1 \right] \quad (5.2)$$

denklemini uyar [30]. Eğer bu denklemler akım yoğunluğu cinsinden yazılmak istenirse

$$\ln J = \ln J_o + \left(\frac{qV}{nkT} \right) \quad (5.3)$$

şeklinde yazılabilir. Ag / GaP için elde edilen I-V karakteristikleri ve $\ln I$ - V grafikleri çizilerek ayrı ayrı verildi (Şekil 5.1-5.20). Bu grafikler tipik doğrultucu karakteristiğidir. $\ln I$ -V grafiklerinin lineer bölgesinden yararlanılarak,

$$n = \left(\frac{q}{kT} \right) \left[\frac{d \ln J}{dV} \right]^{-1} \quad (5.4)$$

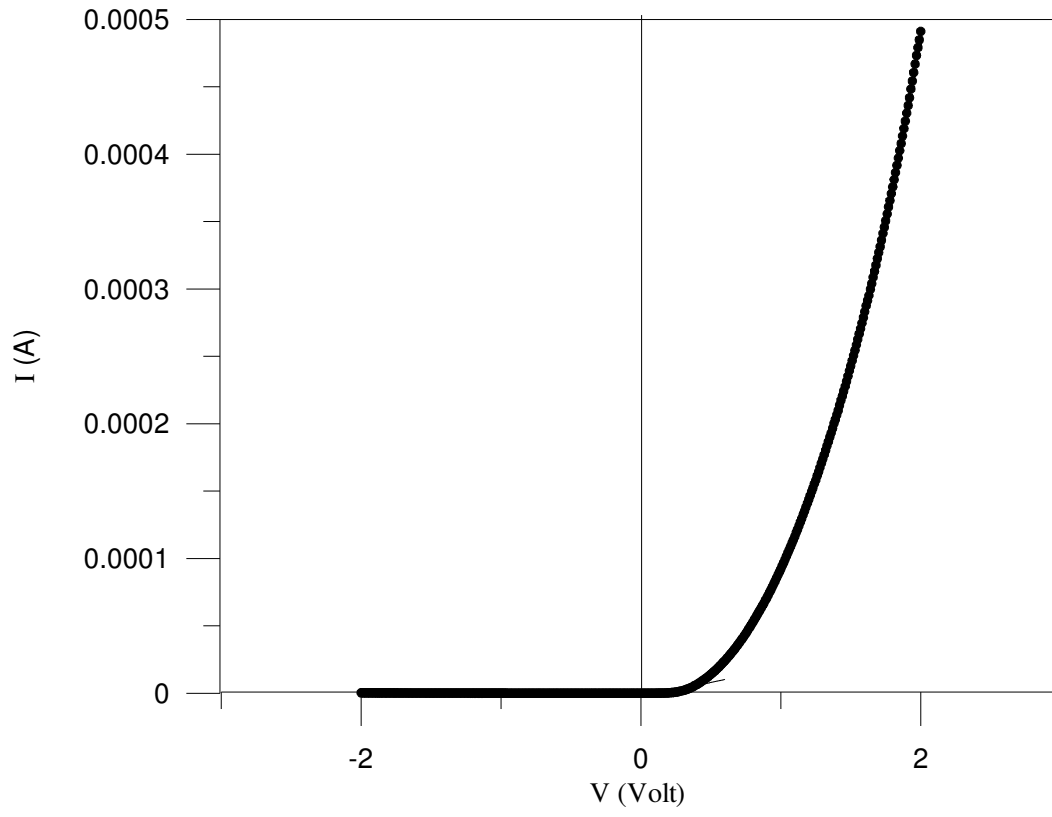
bağıntısı kullanılarak diyot idealite faktörü belirlendi. I_o akım yoğunluğu;

$$I_o = AA^* T^2 \exp \left(\frac{-q\phi_{Bn}}{kT} \right) \quad (5.5)$$

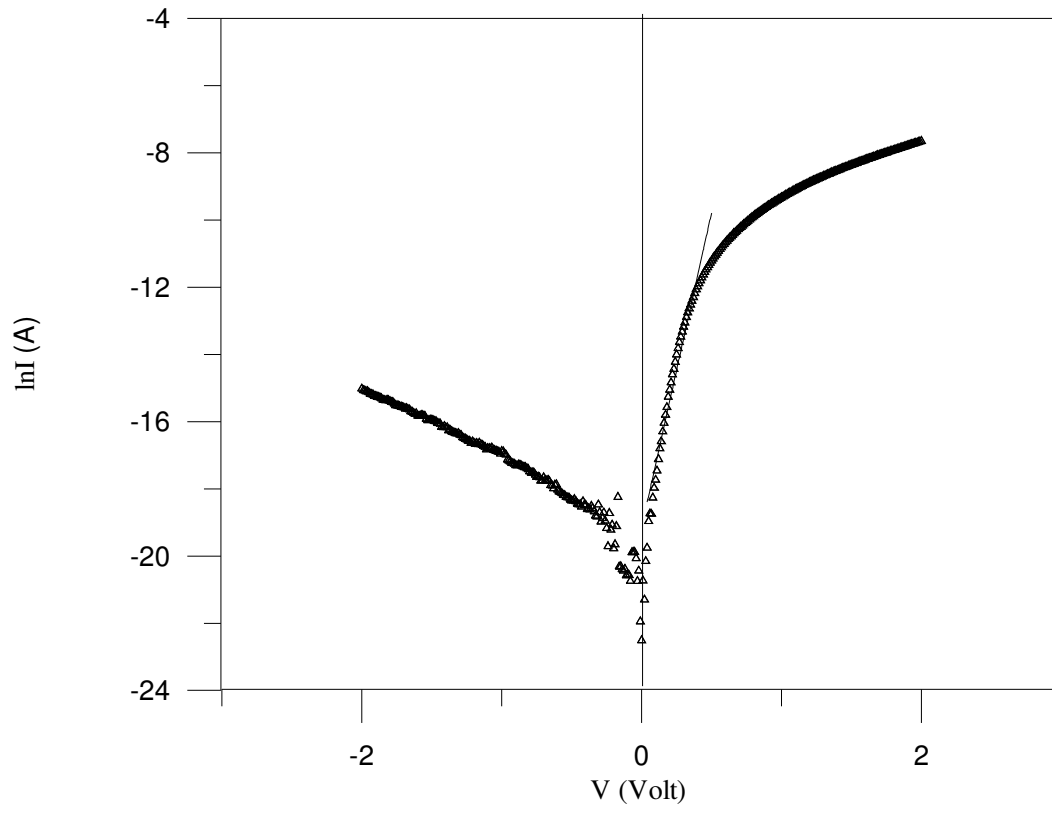
şeklinde ve burada A diyot alanı A^* Richhardson sabiti ($A^* = 102 \text{ A/cm}^2 \text{K}^2$) ve k boltzman ($k = 8,61734 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$) sabitidir [36]. Burada engel yüksekliği

$$\phi_{Bn} = \left(\frac{kT}{q} \right) \ln \left[\frac{A^* AT^2}{I_o} \right] \quad (5.6)$$

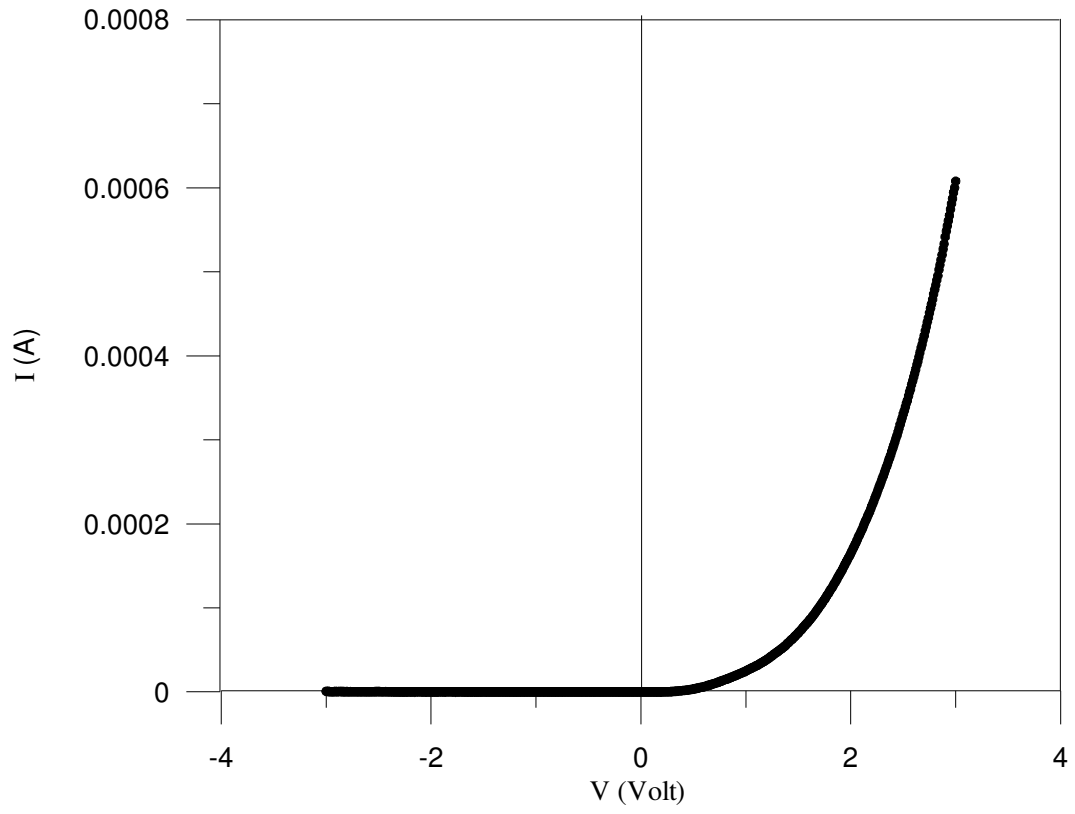
eşitliğinden hesaplandı. Hesaplanan bu değerler Tablo 5.1. ‘ de verildi.



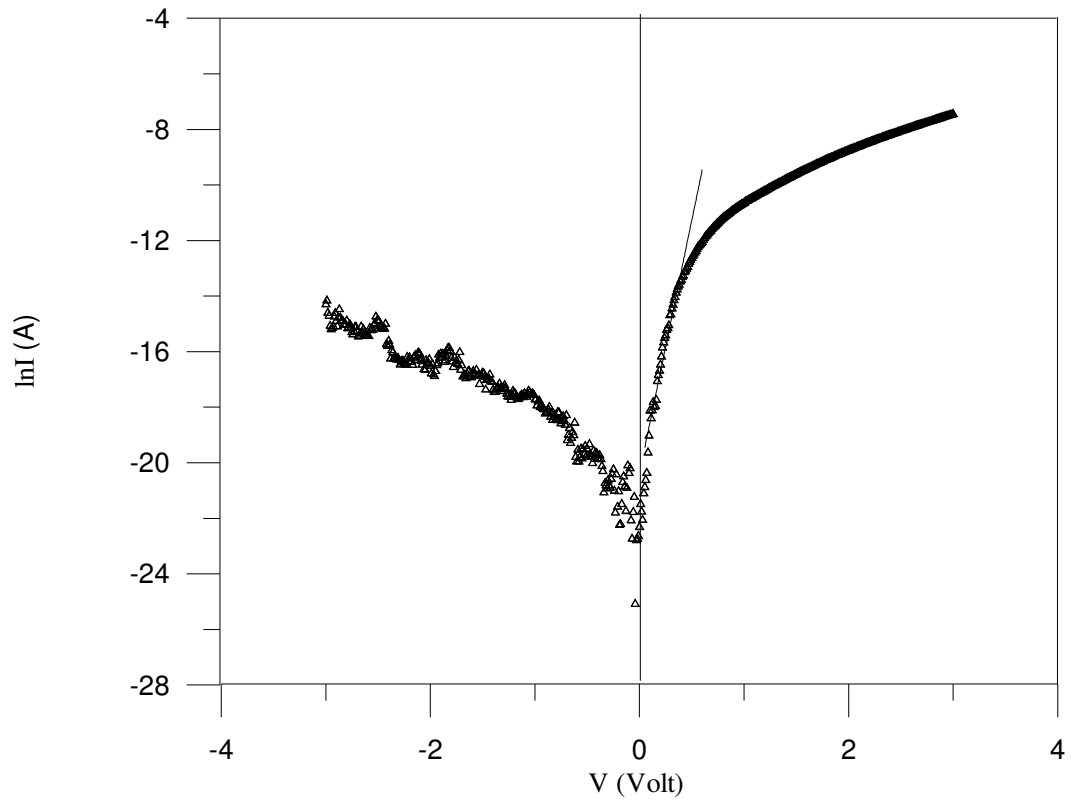
Şekil 5.1. D1 Ag/GaP Schottky Diyotunun akım gerilim değişimi.



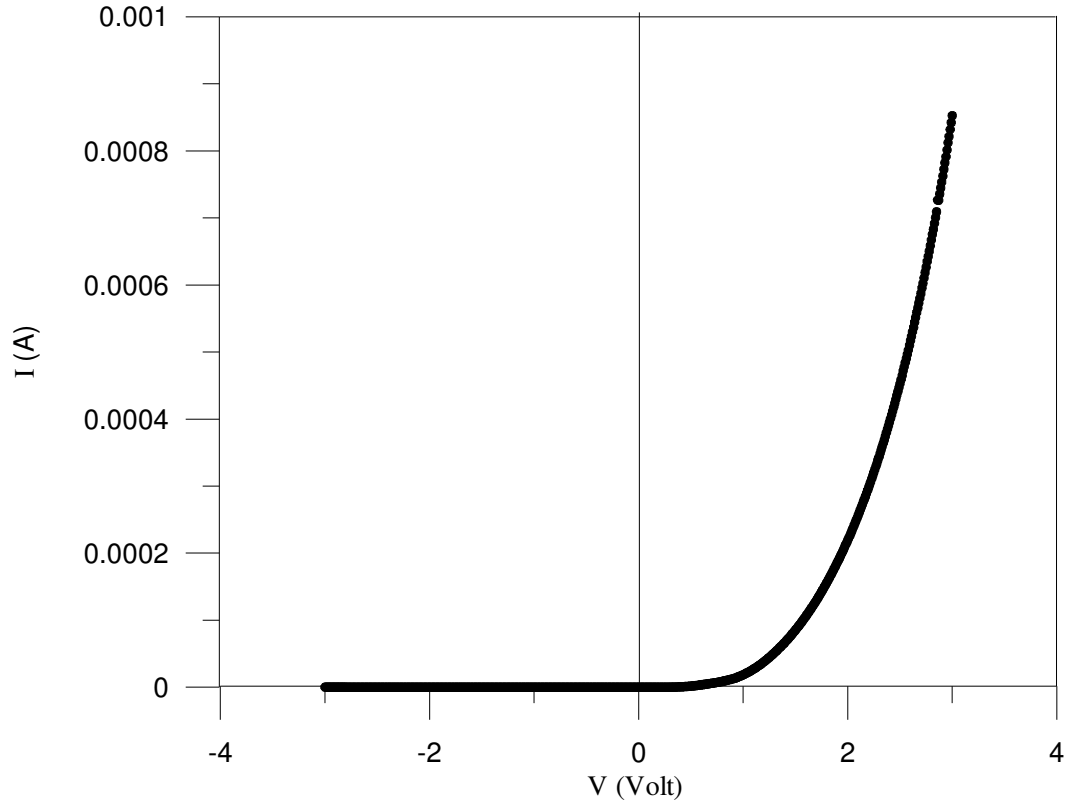
Şekil 5.2. D1 Ag/GaP Schottky Diyotununda $\ln I$ - V değişimi.



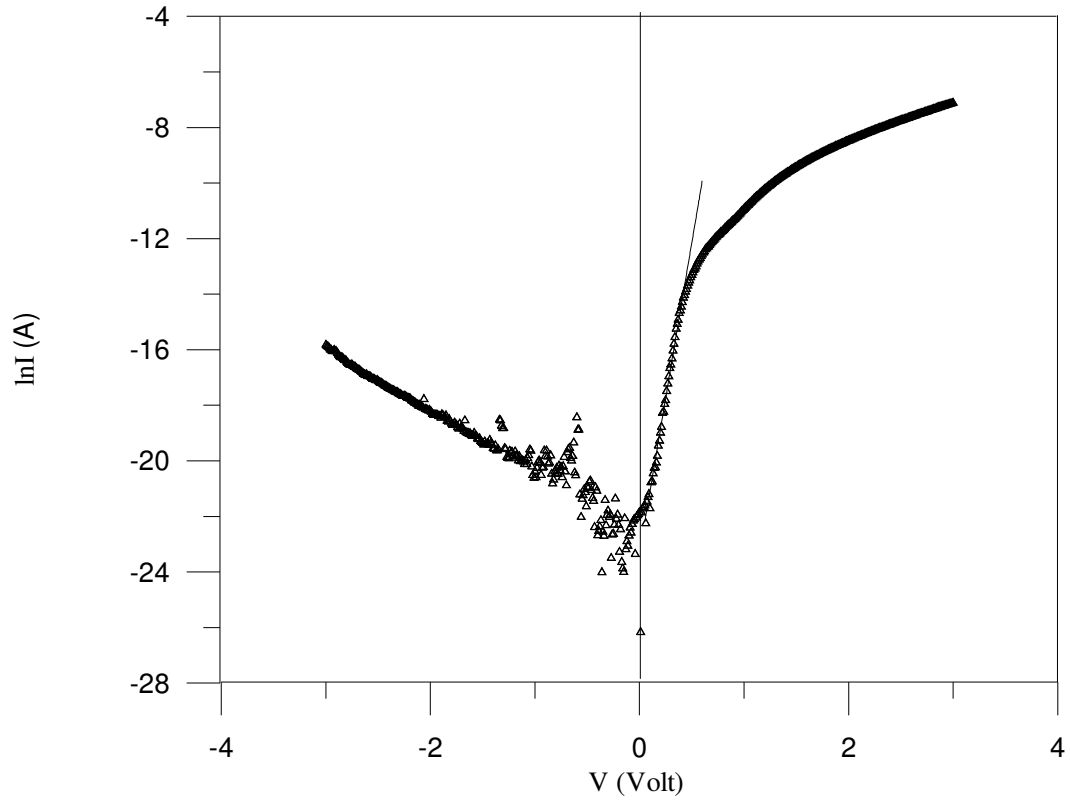
Şekil 5.3. D2 Ag/GaP Schottky Diyotunun akım gerilim değişimi.



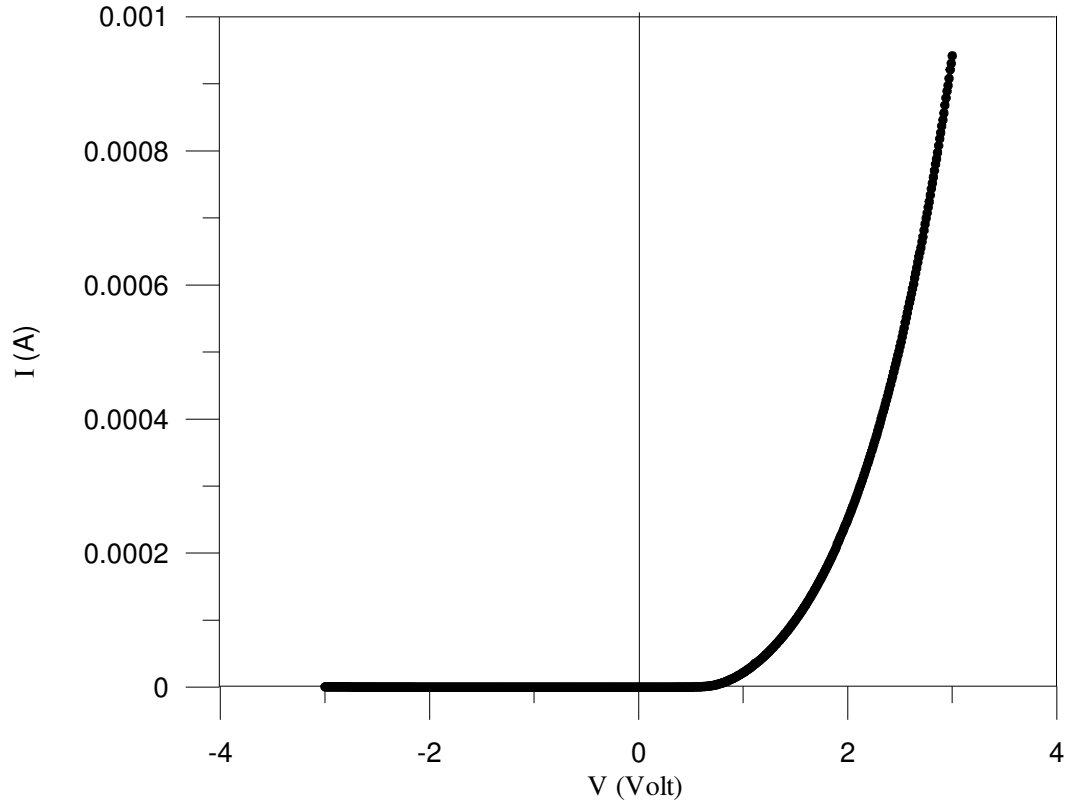
Şekil 5.4. D2 Ag/GaP Schottky Diyotunda $\ln I$ -V değişimi.



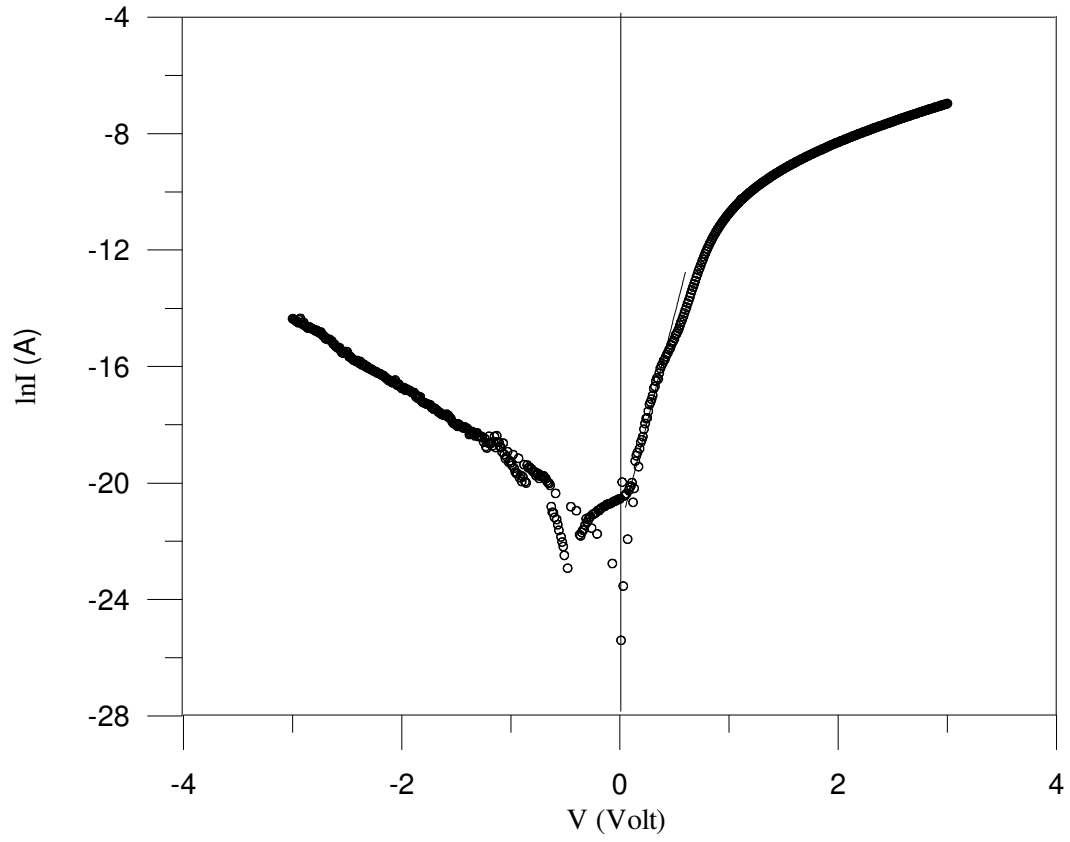
Şekil 5.5. D3 Ag/GaP Schottky Diyotunun akım gerilim değişimi.



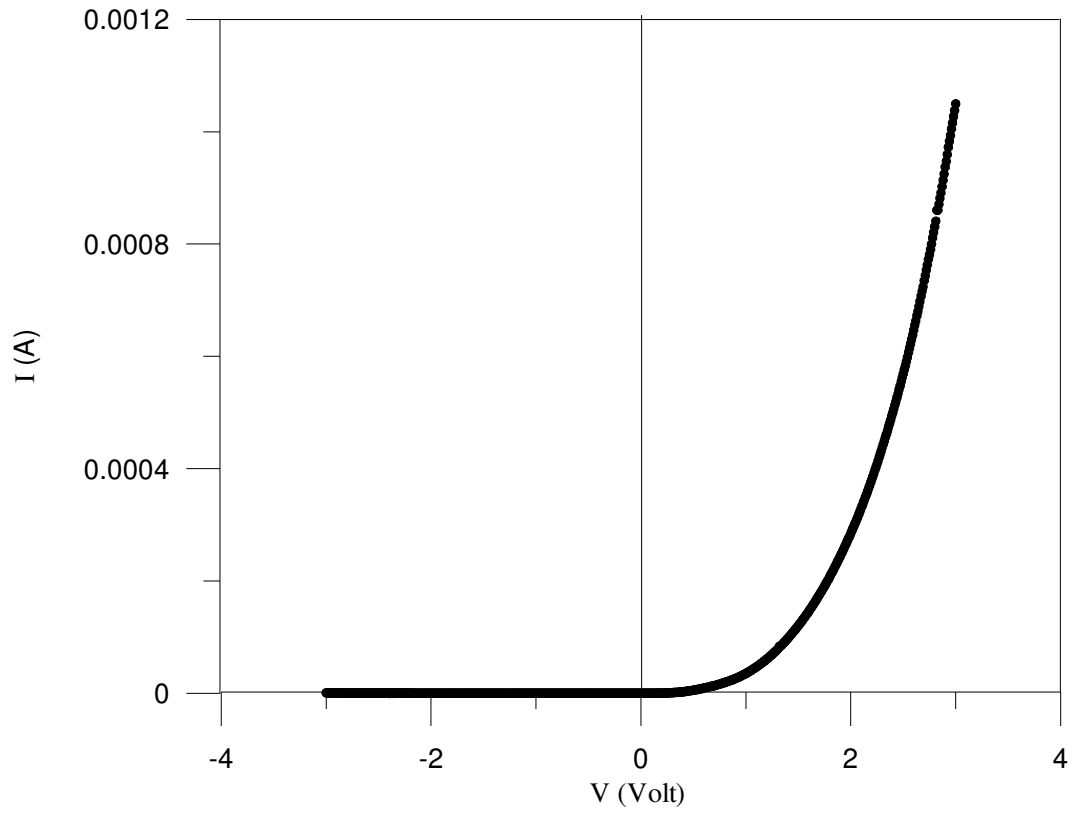
Şekil 5.6. D3 Ag/GaP Schottky Diyotunda $\ln I$ -V değişimi.



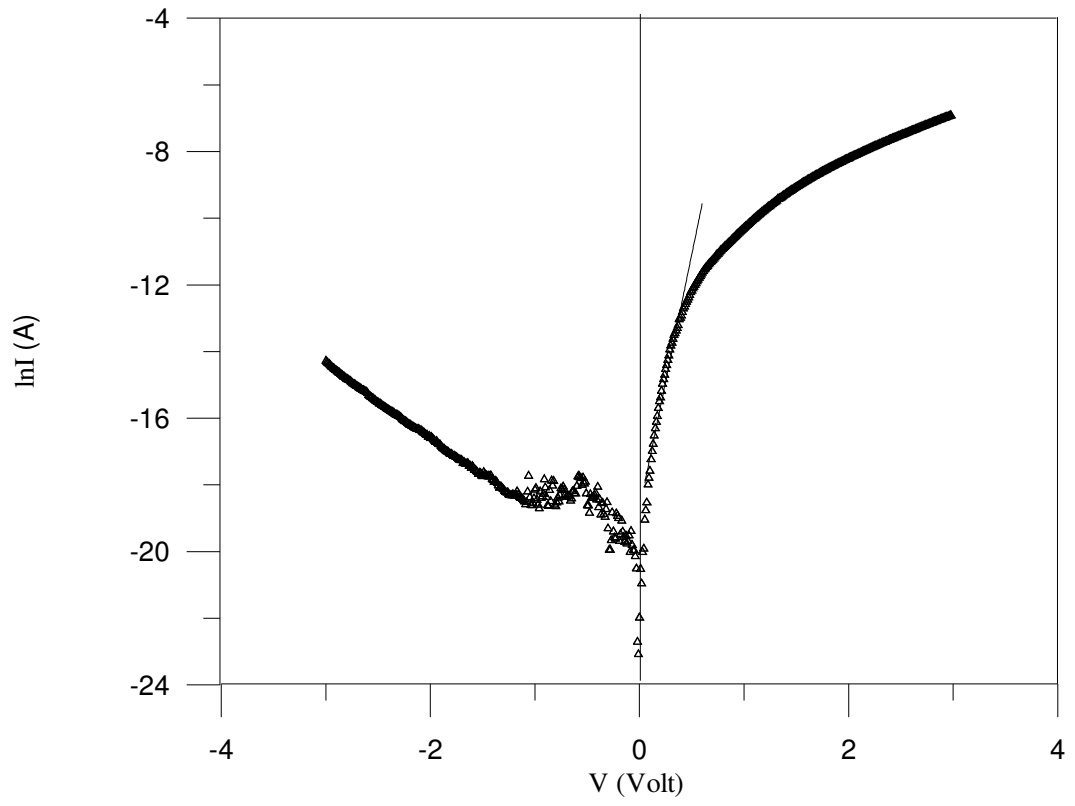
Şekil 5.7. D4 Ag/GaP Schottky Diyotunun akım gerilim değişimi.



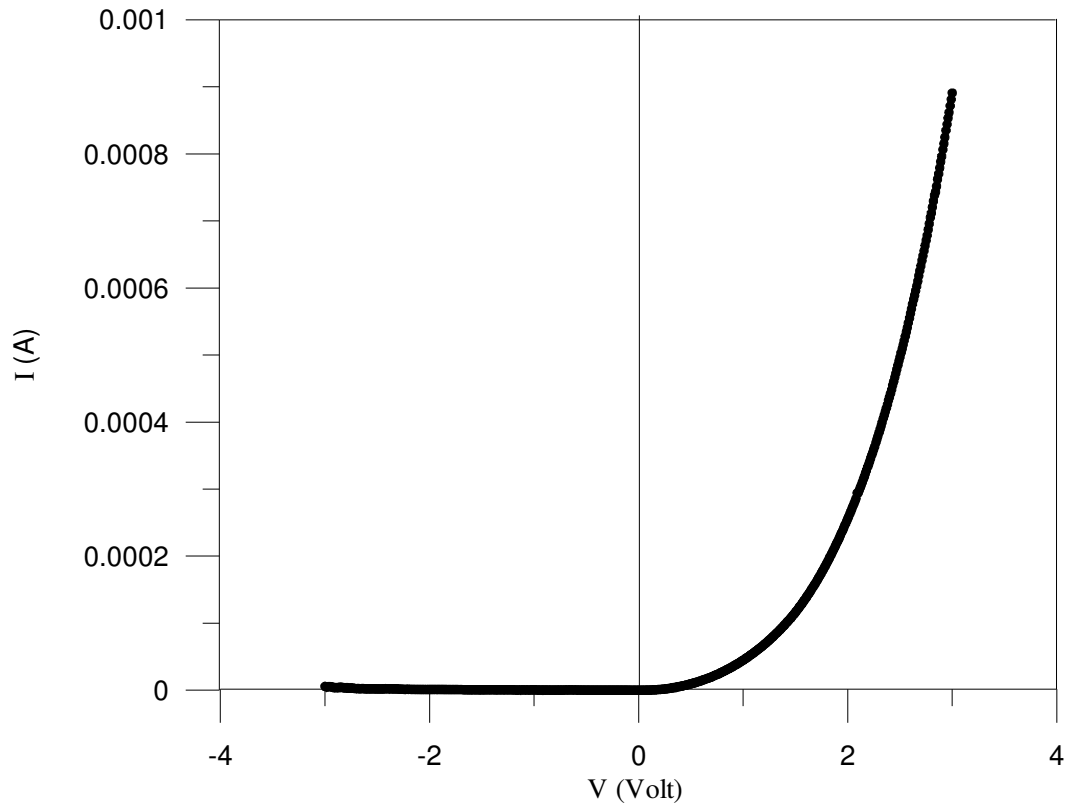
Şekil 5.8. D4 Ag/GaP Schottky Diyotunun $\ln I$ - V değişimi.



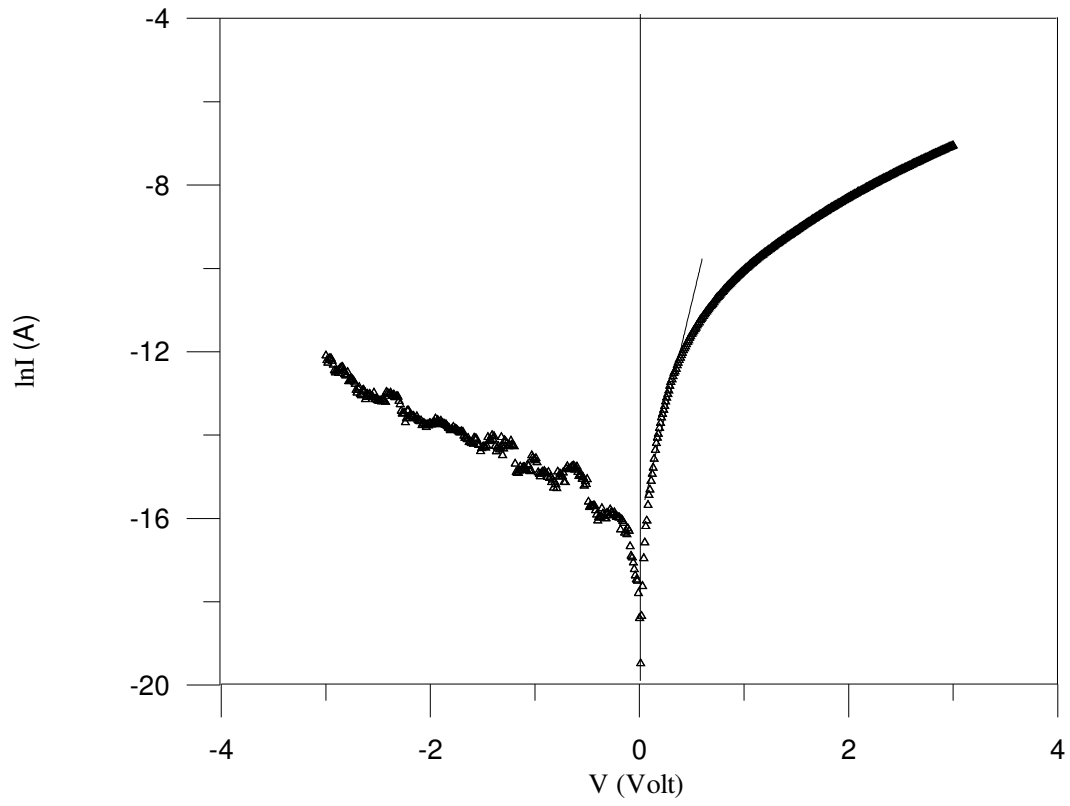
Şekil 5.9. D5 Ag/GaP Schottky Diyotunun akım gerilim değişimi.



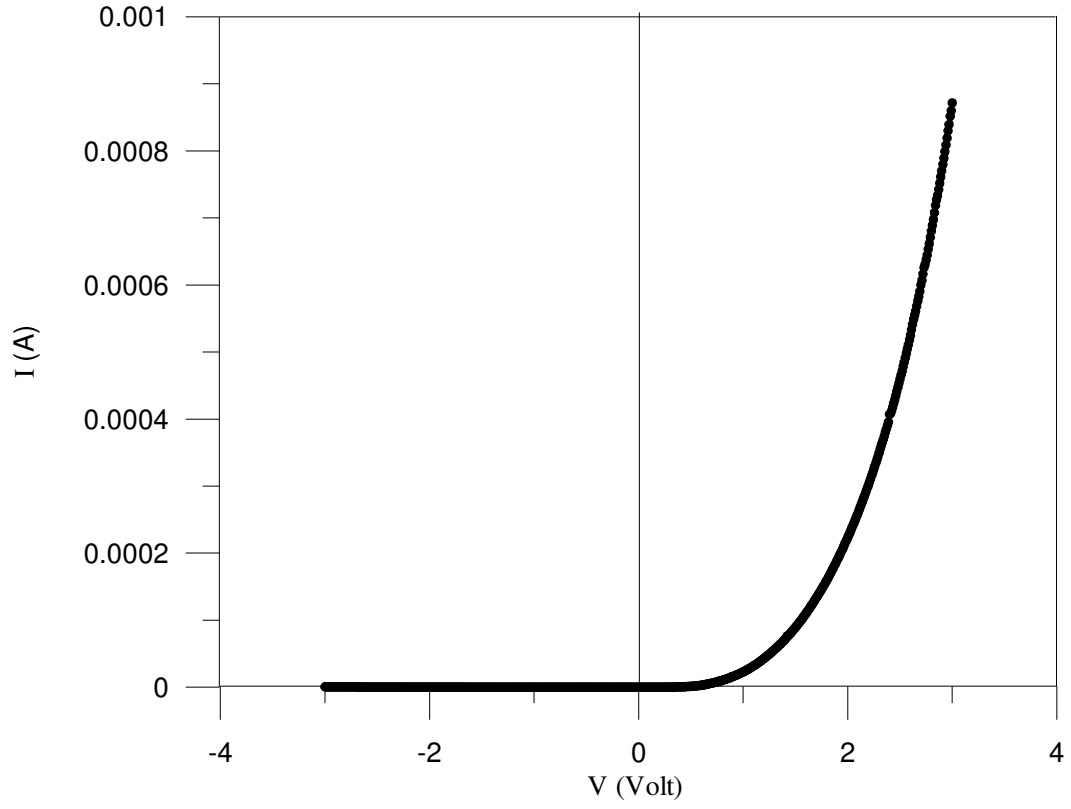
Şekil 5.10. D5 Ag/GaP Schottky Diyotununda $\ln I$ - V değişimi.



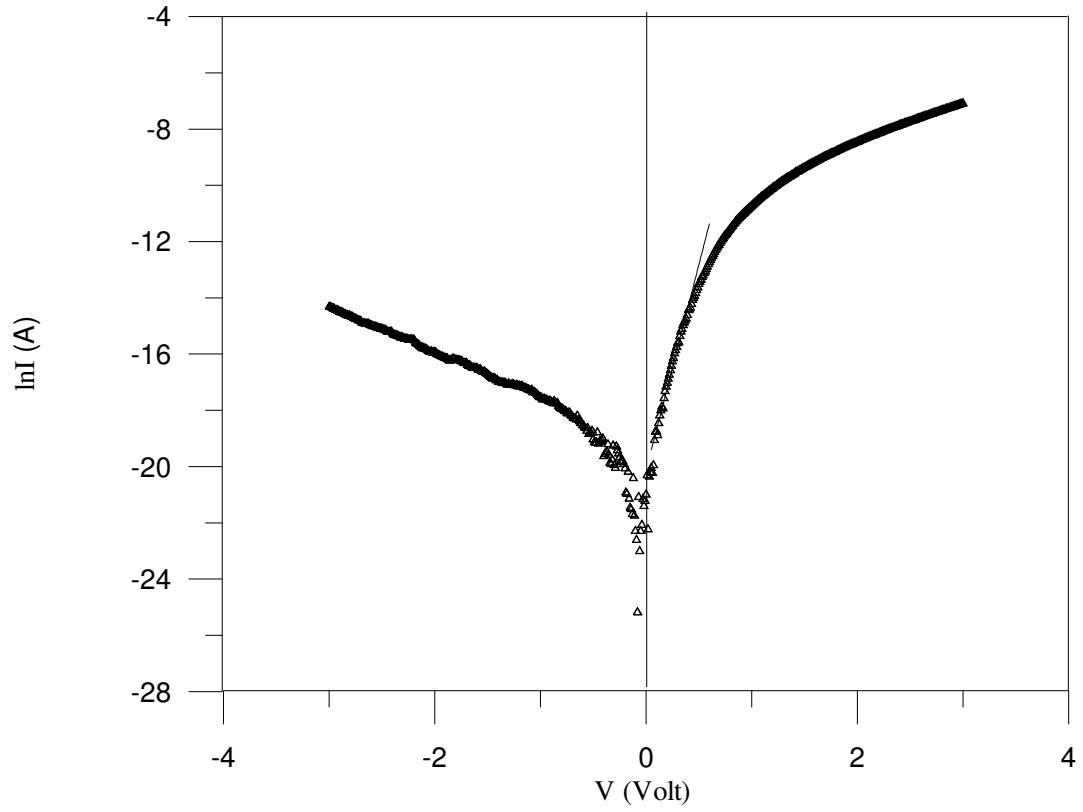
Şekil 5.11. D6 Ag/GaP Schottky Diyotunun akım gerilim değişimi.



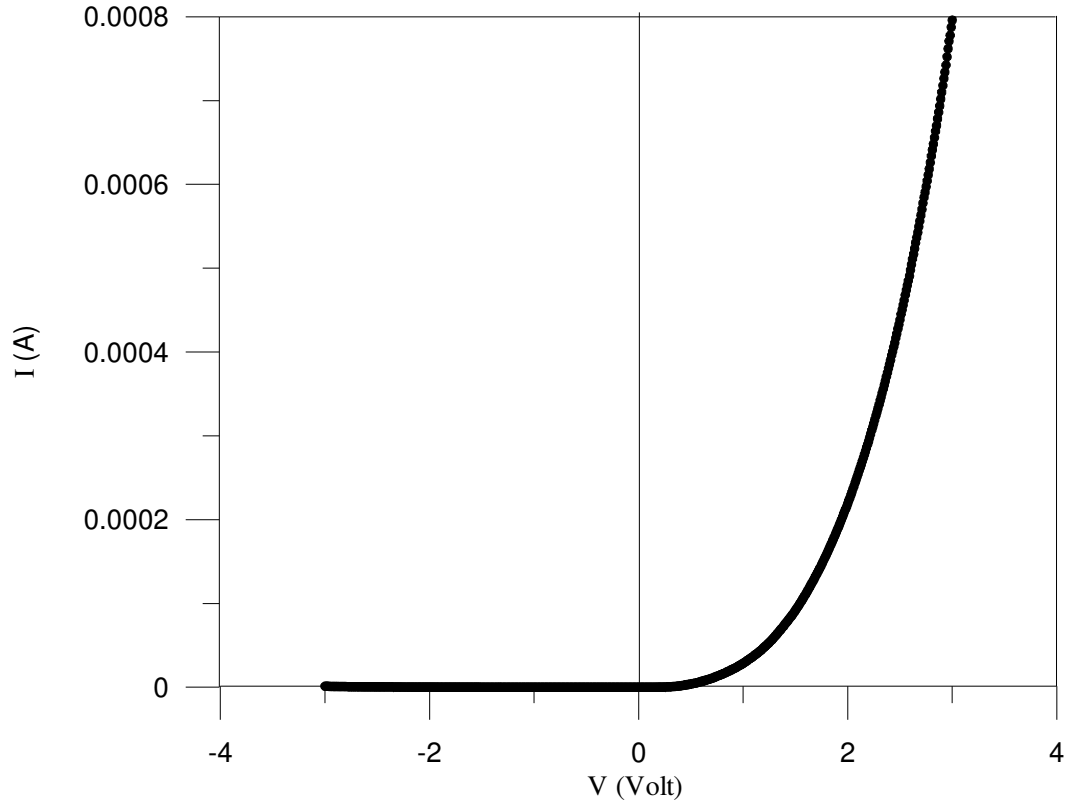
Şekil 5.12. D6 Ag/GaP Schottky Diyotunda $\ln I$ - V değişimi.



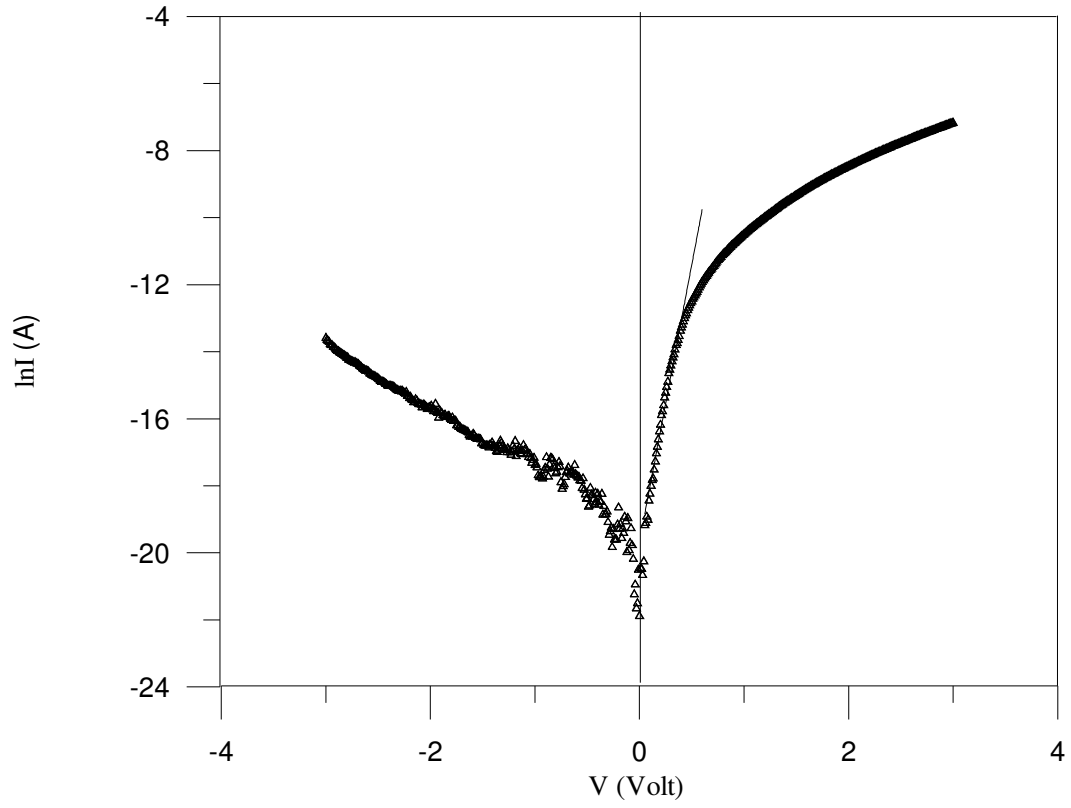
Şekil 5.13. D7 Ag/GaP Schottky Diyotunun akım gerilim değişimi.



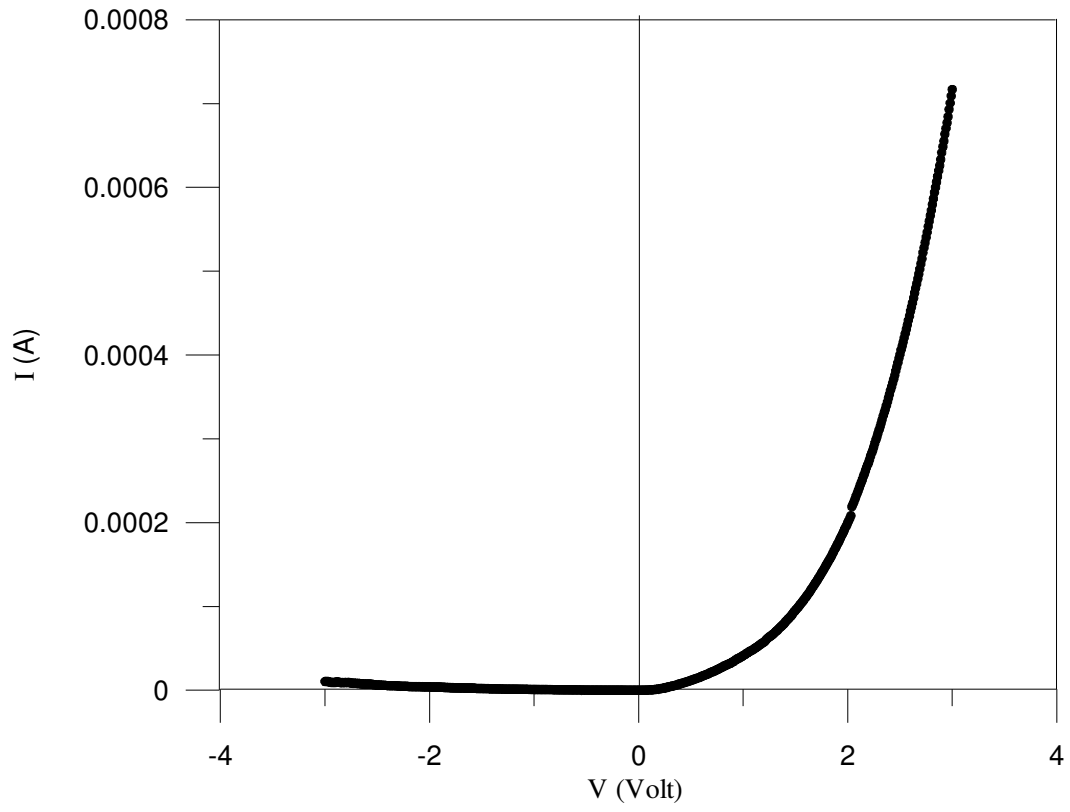
Şekil 5.14. D7 Ag/GaP Schottky Diyotununda $\ln I$ -V değişimi.



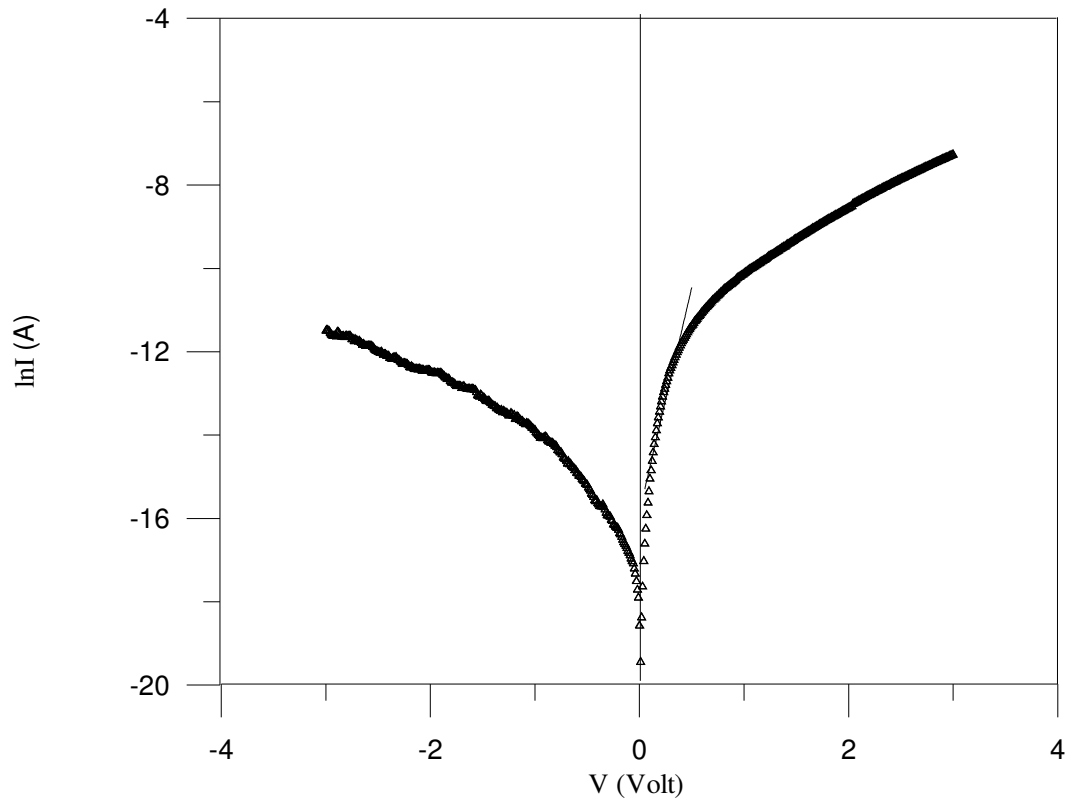
Şekil 5.15. D8 Ag/GaP Schottky Diyotunun akım gerilim değişimi.



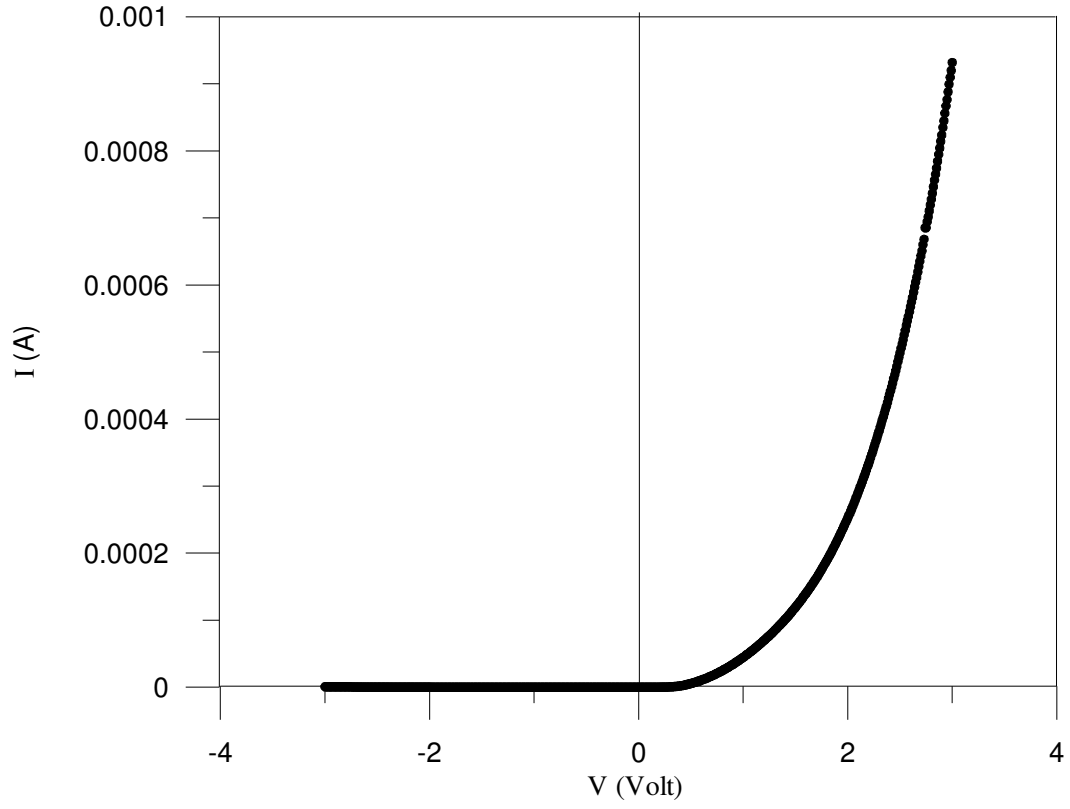
Şekil 5.16. D8 Ag/GaP Schottky Diyotununda $\ln I$ - V değişimi.



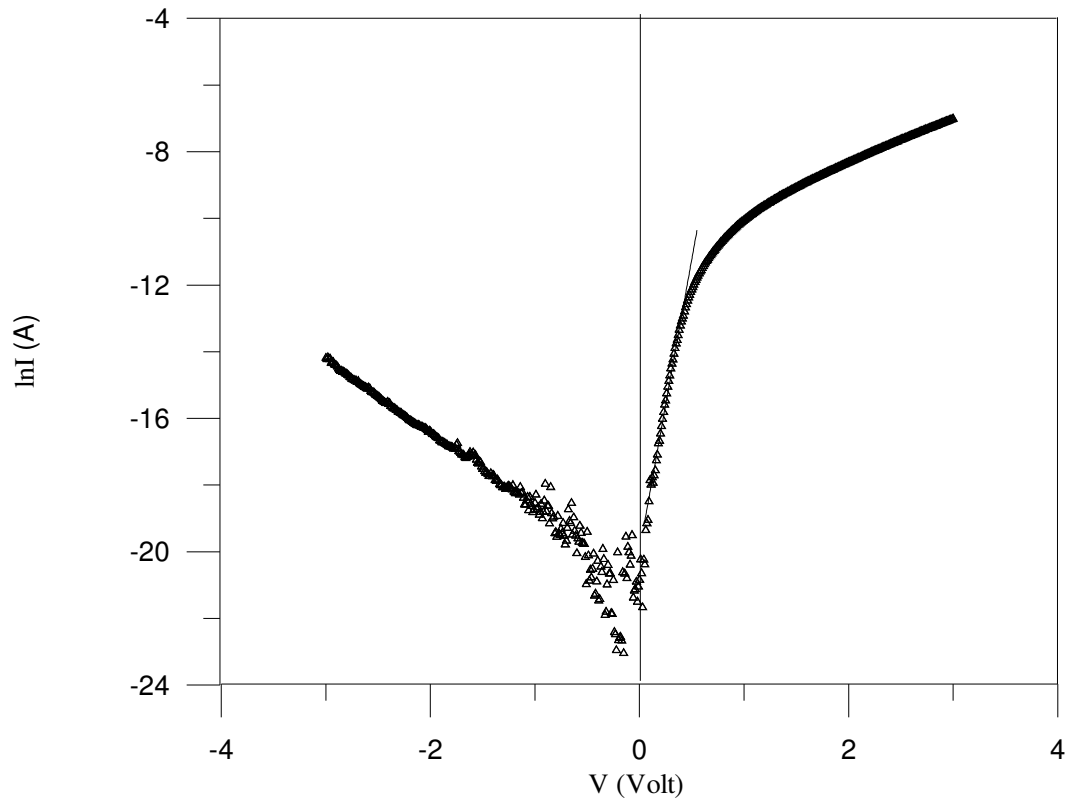
Şekil 5.17. D9 Ag/GaP Schottky Diyotunun akım gerilim değişimi.



Şekil 5.18. D9 Ag/GaP Schottky Diyotununda $\ln I$ - V değişimi.



Şekil 5.19. 10 Ag/GaP Schottky Diyotunun akım gerilim değişimi.



Şekil 5.20. D10 Ag/GaP Schottky Diyotunun $\ln I$ - V değişimi.

Tablo 5.1. Oda sıcaklığında ölçülen on ayrı örneğin idealite ve engel yükseklikleri.

Numune adı	İdealite faktörü (n)	Engel yüksekliği (ΦB_n (eV))
D1	2,07	0,58
D2	2,13	0,62
D3	1,73	0,69
D4	2,63	0,65
D5	2,54	0,57
D6	3,03	0,54
D7	2,65	0,61
D8	2,30	0,60
D9	3,60	0,50
D10	2,21	0,61

Tabloda görüldüğü gibi hesaplanan idealite faktörleri 1,73- 3,60 arasında bu diyotlardan ideale en yakın olanı D3 olarak adlandırılan diyot olarak belirlenmiştir. Ayrıca metal- yarıiletken arasında meydana gelen engel yükseklik değerleri 0,50 – 0,69 eV arasında değişmektedir. Engel yüksekliği en yüksek çıkan diyotta D3 diyotu olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre hazırladığımız Ag/n – GaP Schottky diyotlarından ideale en yakın olanı D3 diyotudur.

5.2. Sıcaklığa Bağlı I – V Ölçüm Sonuçları

Schottky diyotların fiziksel parametreleri ve akım iletim mekanizmaları ile ilgili çalışmalar optoelektronik ve yüksek frekans uygulamalarında büyük önem taşır. Yarıiletken ile metal arasında oluşacak tabaka I – V karakteristiğini etkiler ayrıca MS yapıların sabit sıcaklıklarda tüm gerilim aralığında tek bir akım mekanizması baskın olabileceği gibi aynı anda iki veya daha fazla akım iletim mekanizması da baskın olabilir. Bu nedenle elde edilen karakteristiğin açıklanması oldukça zordur. Akım mekanizmalarını yüzeyi temizliği, metalden yarıiletkenle engel yüksekliği, yarıiletkenin safsızlığı gibi bir çok parametre etkiler.

Çalışmamızın ikinci aşamasında hazırlanan Ag / n- GaP (D6) schottky diyotunun 298 K ile 423 K aralığındaki farklı sıcaklıklarda I-V karakteristikleri incelendi. Termiyonik emisyon teorisine göre incelenen örneklerin I – V karakteristikleri incelenerek idealite faktörleri (n) ile engel yükseklikleri (Φ_{Bn}) ve seri dirençleri (R_s) ayrı ayrı hesaplandı. Termiyonik emisyon teorisine göre akım – gerilim ilişkisi;

$$I = I_o \left[\exp \left(\frac{qV}{nkT} \right) - 1 \right] \quad (5.7)$$

İle verilirse burada I_o ters doyma akımı olup yarı-logaritmik $\ln I$ -V grafiğinde, eğrinin lineer kısmının sıfır gerilimde ($V = 0$) akım eksenine fit edilerek bulunur ve

$$I_o = AA^* T^2 \exp \left(\frac{-q\Phi_{Bn}}{kT} \right) \quad (5.8)$$

eşitliği ile verilir. Burada q elektronun yükü, V uygulanan doğru beslem voltajı, A diyotun alanı, k Boltzmann sabiti, A^* Richardson sabiti, Φ_B sıfır beslem engel yüksekliği, n diyotun idealite faktörü ve T ise Kelvin cinsinden sıcaklıktır. Seçilen D6 Schottky diyotunun 298-423 K sıcaklık aralığındaki tipik yarı- logaritmik doğru beslem akım-voltaj (I- V) karakteristikleri ayrı ayrı Şekil (5.21 – 5.48) gösterilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi doğru beslem $\ln I$ -V eğrileri geniş bir bölgede lineerdir.

Bu lineer bölgenin denkleminde yararlanılarak, termiyonik emisyon teorisi kullanılarak ölçülen her bir sıcaklık için denklem (5.9)' u kullanarak idealite faktörleri ve denklem (5.8) kullanılarak engel yükseklikleri hesaplandı. Bu değerler tablo 5.2' de verildi. Bu sonuçlara göre Ag/ n- GaP Schottky diyotlarında artan sıcaklığa bağlı olarak metal ile yarıiletken arasında meydana gelen engel yüksekliği artmaktadır. Bu artış nedeniyle metalden yarıiletkenle elektron geçişi zorlaştığı gibi diyotun idealite faktörü de azalmaktadır. Yani Ag/ n- GaP Schottky diyotu artan sıcaklıkla daha ideal duruma geçmektedir. Bu metal yarıiletken ara yüzey arasında meydana gelen durum yoğunluğuyla açıklanabilir.

$$n = \left(\frac{q}{kT} \right) \left[\frac{dV}{d \ln I} \right] \quad (5.9)$$

Daha sonra diyotun engel yükseklikleri, idealite faktörleri ve seri dirençleri Norde ve Cheung fonksiyonları cinsinden hesaplandı. Termiyonik emisyon teorisi kullanılarak yüksek gerilim bölgesinde meydana gelecek seri direnç etkisi göz önüne alınacağından denklem 5.10 denklemi elde edilir.

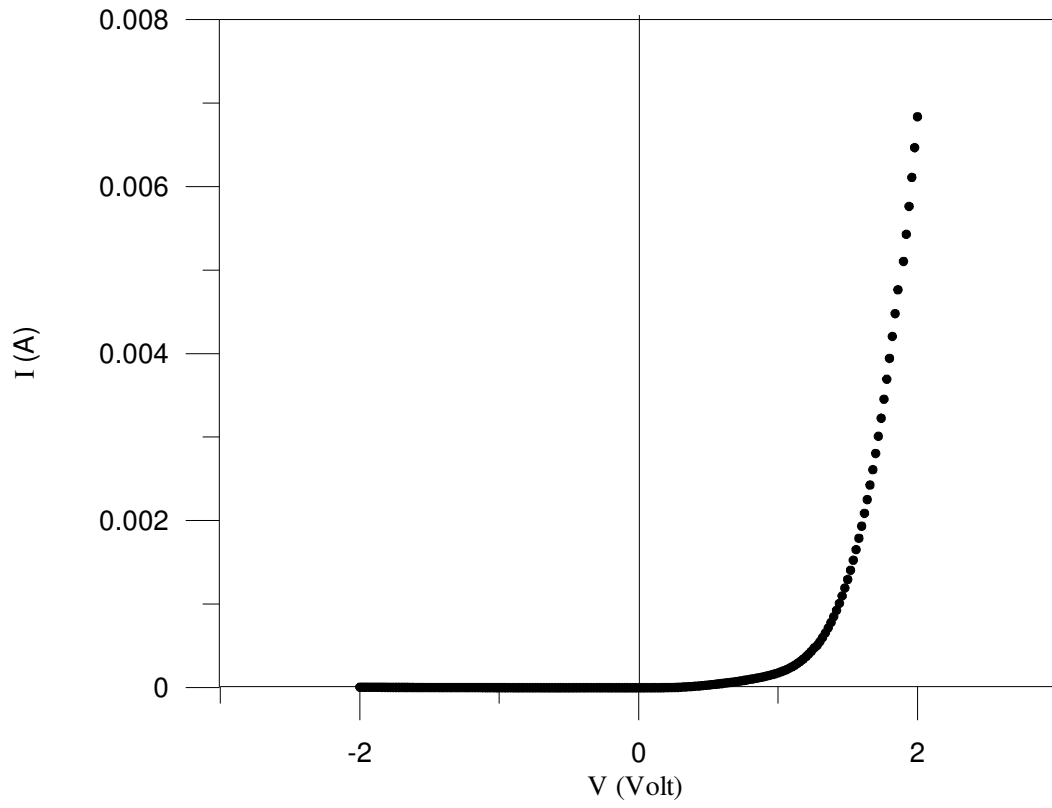
$$dV/d \ln I = ((nkT)/q) + IR_s \quad (5.10)$$

bu denkleme göre I – V karakteristiğinin dV/dlnI- I grafiği çizilirse yüksek gerilim bölgesinde lineer bir bölge elde edilir. Bu lineer bölgeden faydalanılarak denklem 5.10 yardımıyla n idealite faktörü ve R_s seri direnç hesaplandı. Elde edilen değerler Tablo 5.3’ de verildi. Bu sonuçlara bakılırsa yüksek gerilim bölgesinde idealite faktörleri, düşük gerilim bölgesine göre büyük çıkmıştır. Ayrıca I- V karakteristiğine bakılırsa yüksek gerilim bölgesinde meydana gelen bükülme seri direnç etkisinden kaynaklandığı yani ara yerde oksit tabakanın varlığından meydana geldiği söylenebilir. Ara yer durumlarından meydana gelen seri direnç değerleri belirlenerek Tablo 5.3’ de verildi. Bu değerlere bakılırsa sıcaklık artışına bağlı olarak R_s değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu durum metal – yarıiletken ara yüzey durumları açıklanabilir. Schottky diyotu için seri direnç değerleri Cheung metodu kullanılarak hesaplandı. Eşitlik 5.7’den yararlanarak Cheung aşağıdaki denklemi elde etmiştir.

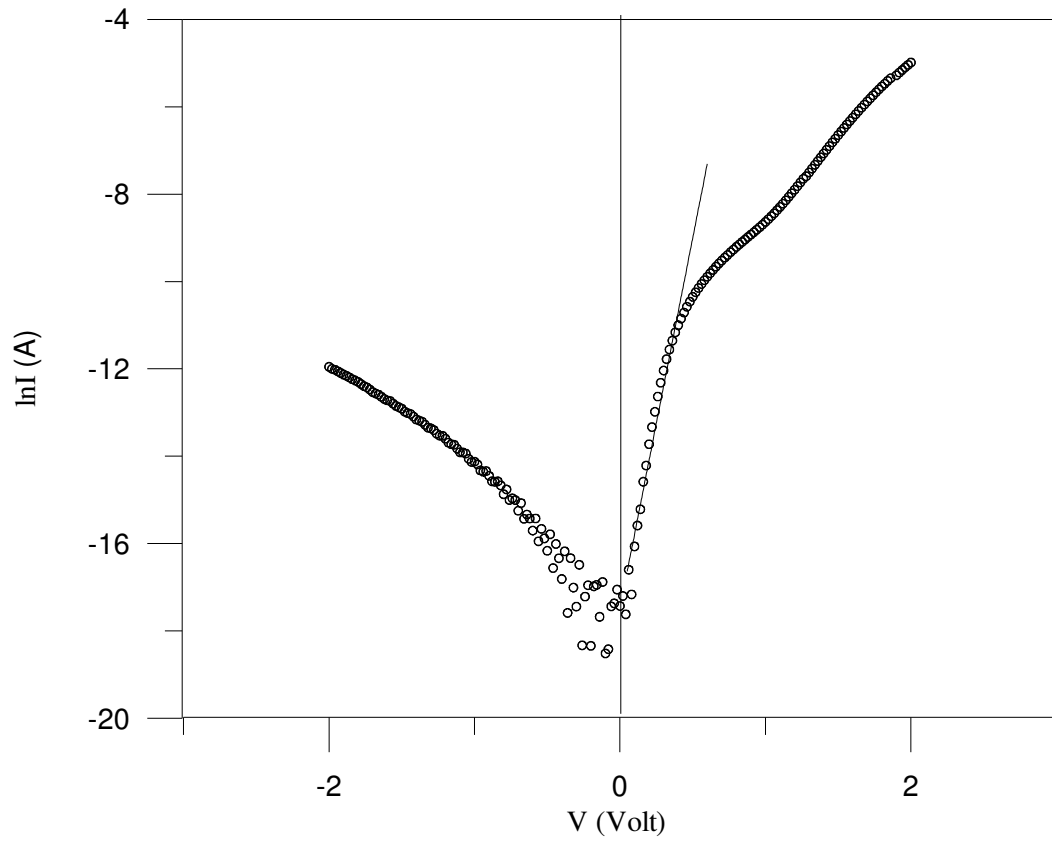
$$H(I) = n\Phi_{Bn} + IR_s \quad (5.11)$$

$$H(I) = V - ((nkT)/q) \ln (I/A^* AT^2) \quad (5.12)$$

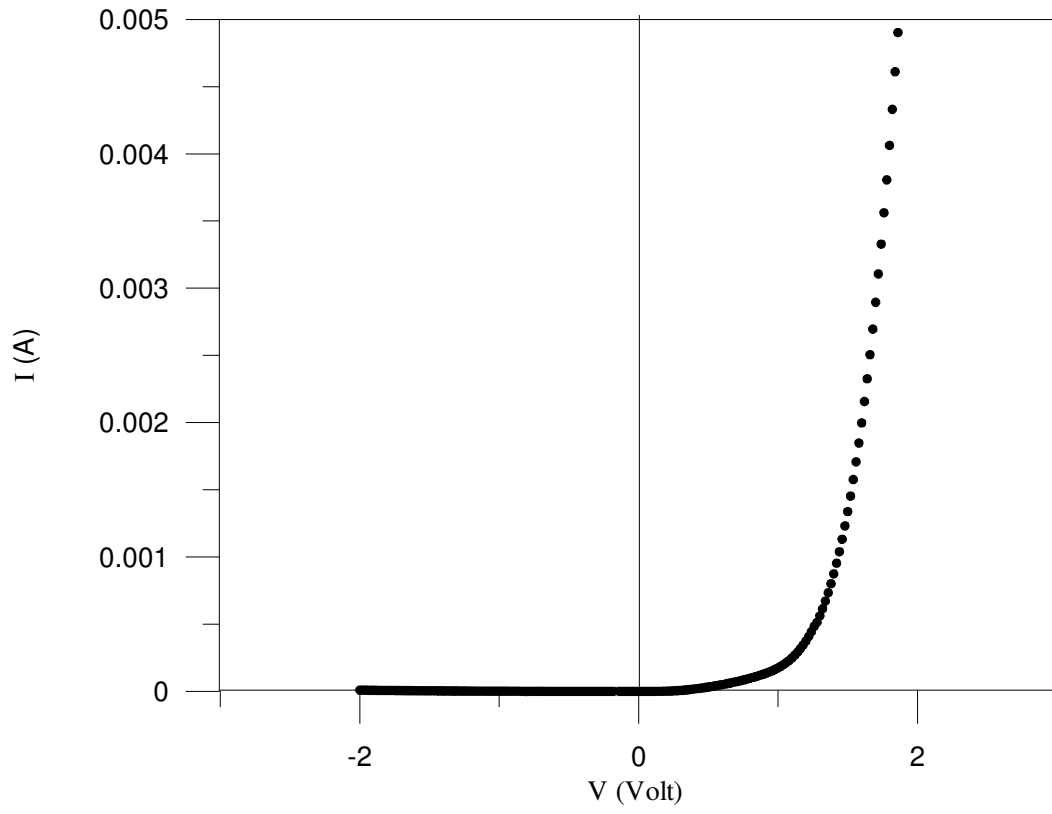
eşitlik 5.12’ den yararlanarak her sıcaklık için H(I)-I grafikleri çizilerek grafikteki eğrinin H(I) eksenini kestiği noktadan Φ_{Bn} değerleri ve eğrinin lineer kısmının eğiminden diyot seri dirençleri R_s bulundu. Bulunan değerler tablo 5.2’ de verilmiştir. Bu sonuçlara bakılırsa elde edilen seri dirençler ve engel yükseklikleri dV/dlnI – I grafiklerinden elde edilen değerlerle uyum içindedir. Artan sıcaklıkla engel yükseklikleri artmakta ve seri direnç azalmaktadır.



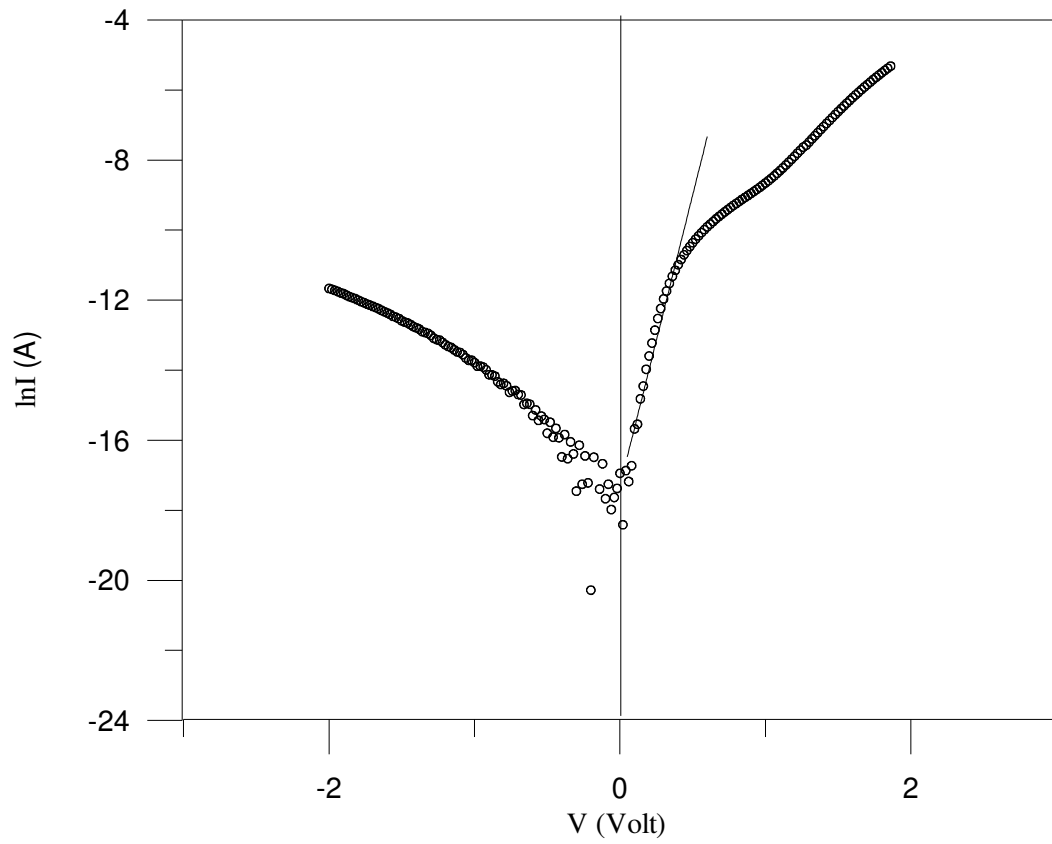
Şekil 5.21. Ag/GaP Schottky Diyotunun 298 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.



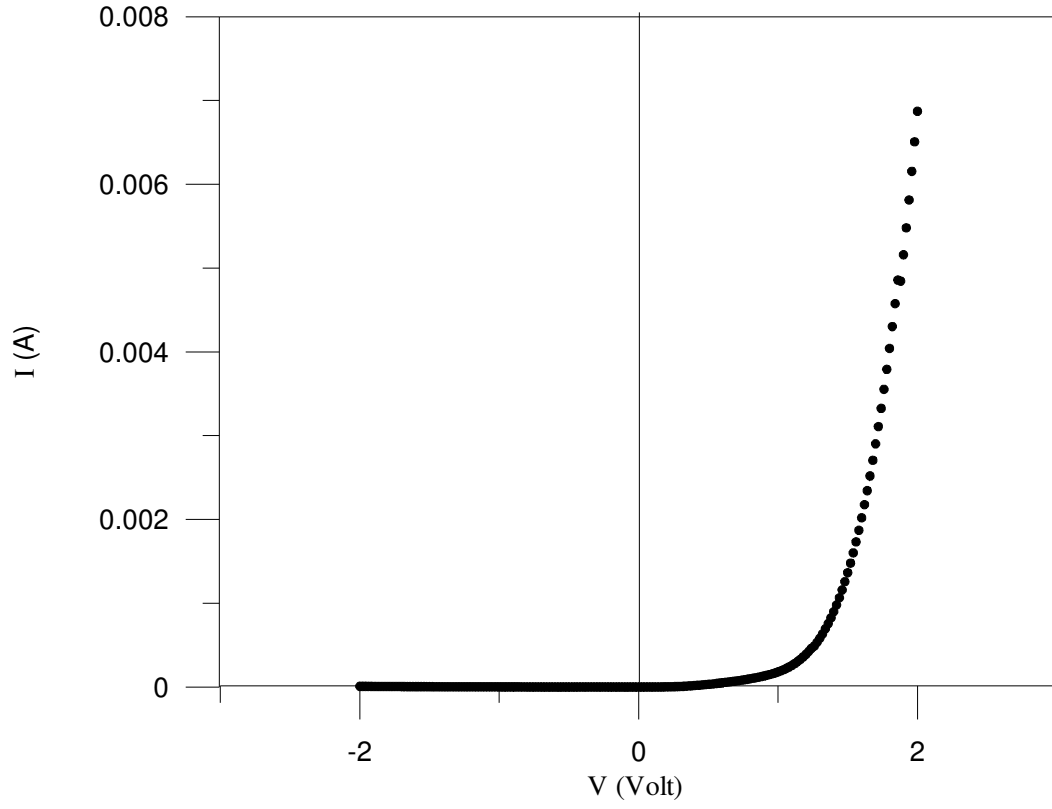
Şekil 5.22. Ag/GaP Schottky Diyotunda 298 K Sıcaklığındaki $\ln I$ - V değişimi.



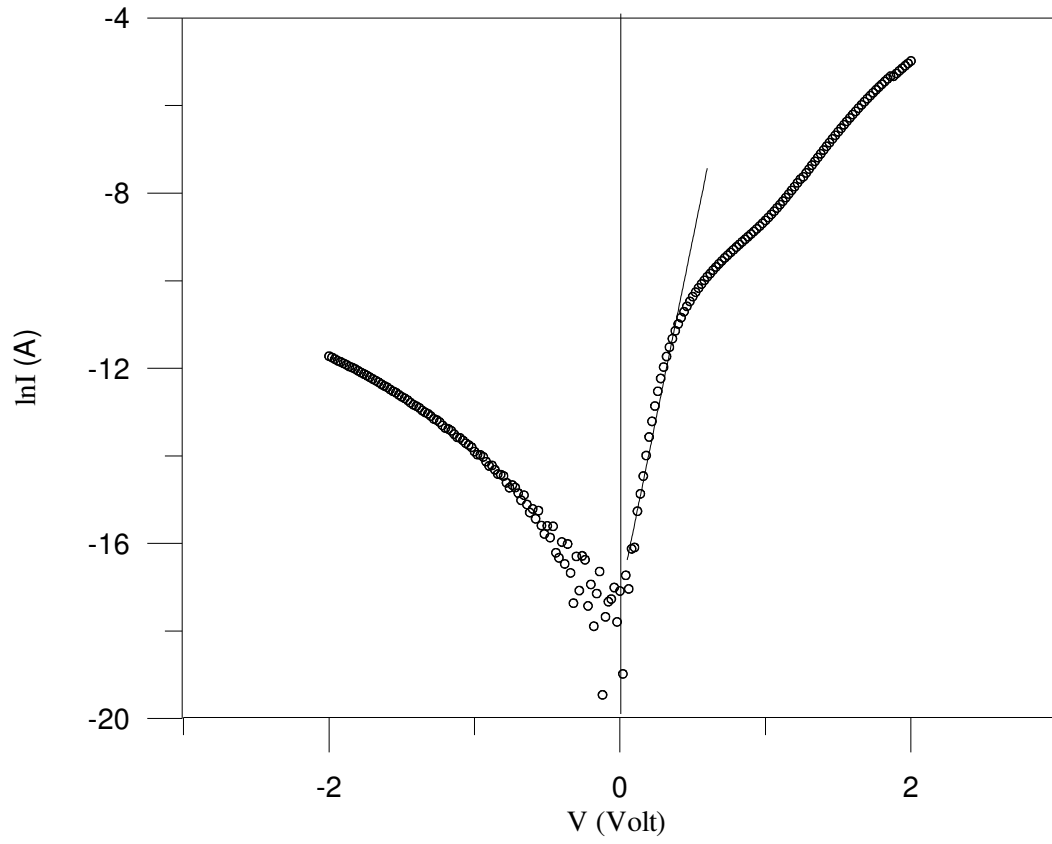
Şekil 5.23. Ag/GaP Schottky Diyotunun 303 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.



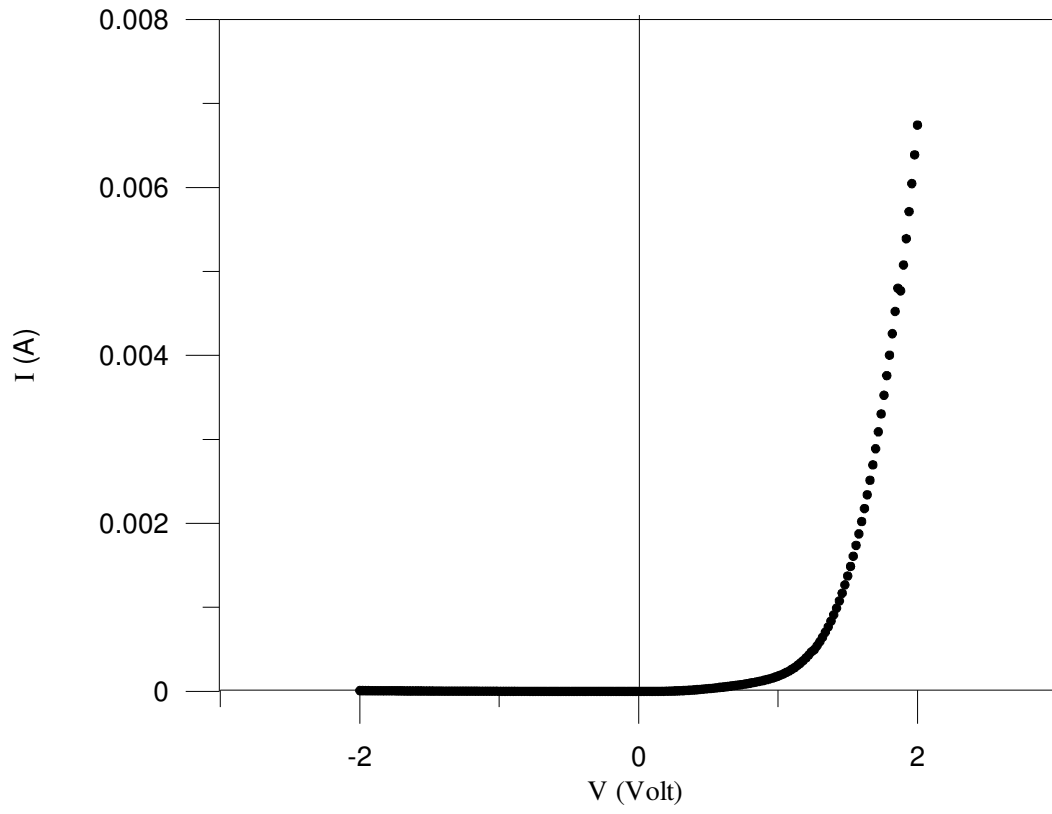
Şekil 5.24. Ag/GaP Schottky Diyotunda 303 K Sıcaklığındaki $\ln I$ -V değişimi.



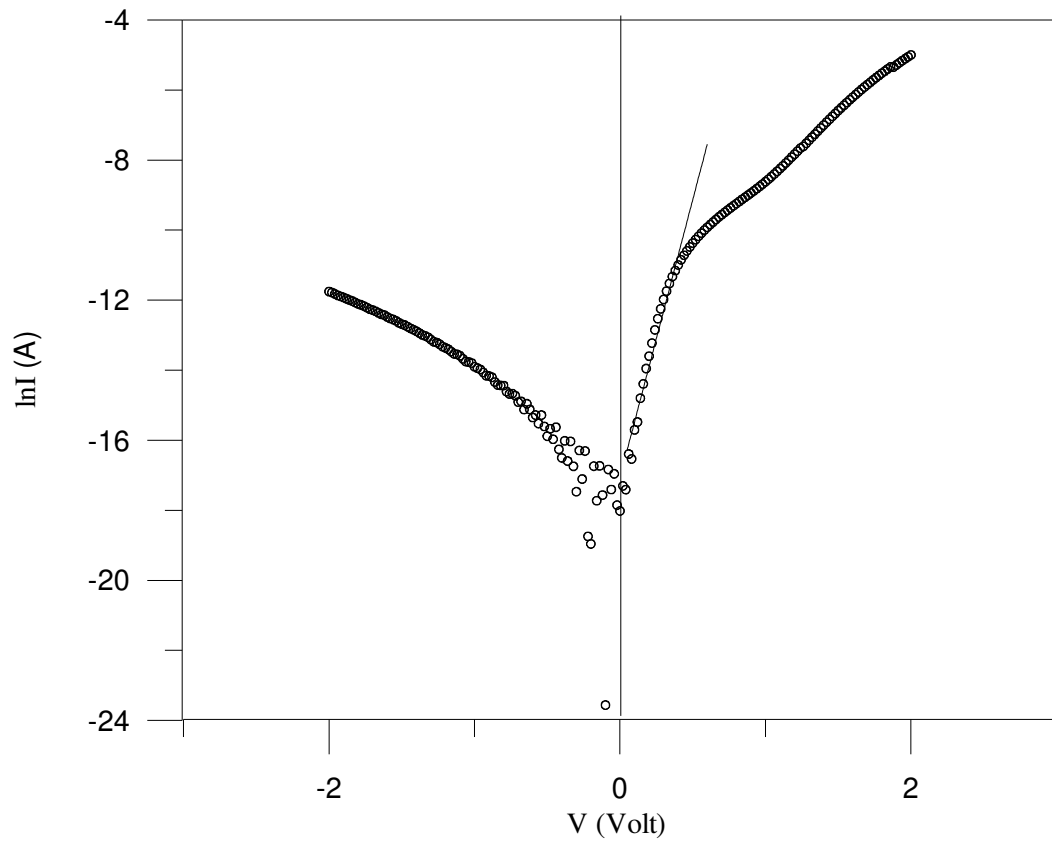
Şekil 5.25. Ag/GaP Schottky Diyotunun 313 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.



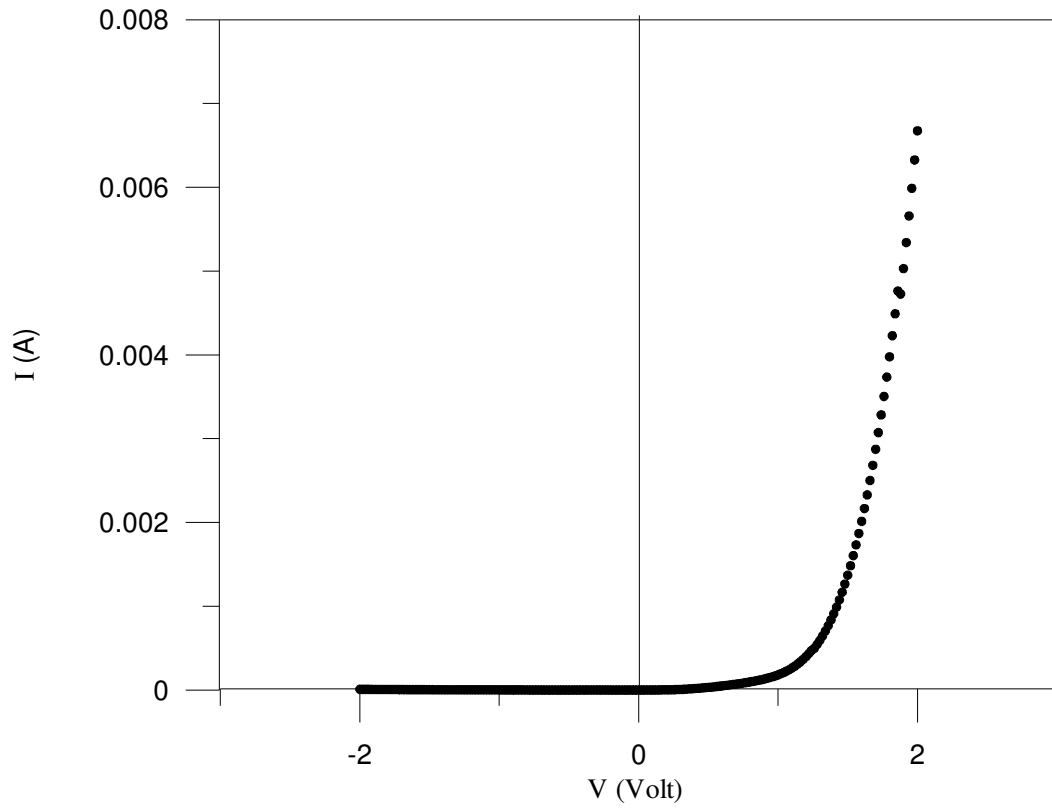
Şekil 5.26. Ag/GaP Schottky Diyotunda 313 K Sıcaklığındaki $\ln I$ -V değişimi.



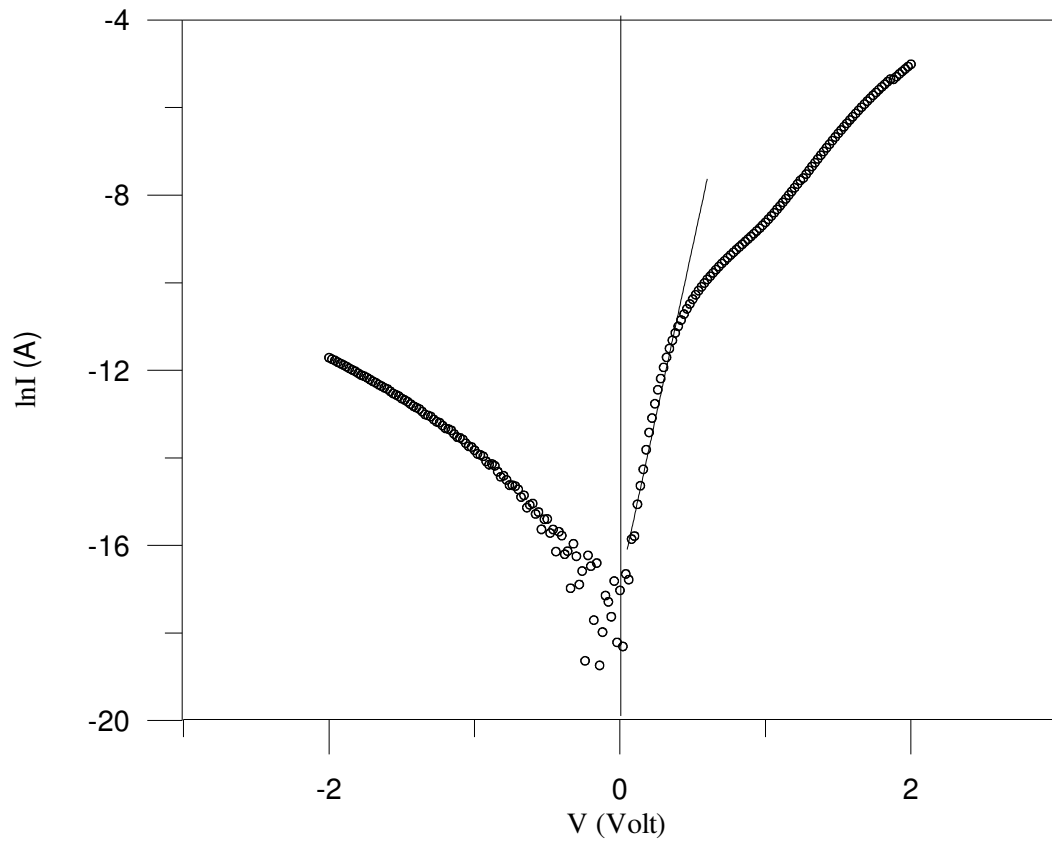
Şekil 5.27. Ag/GaP Schottky Diyotunun 323 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.



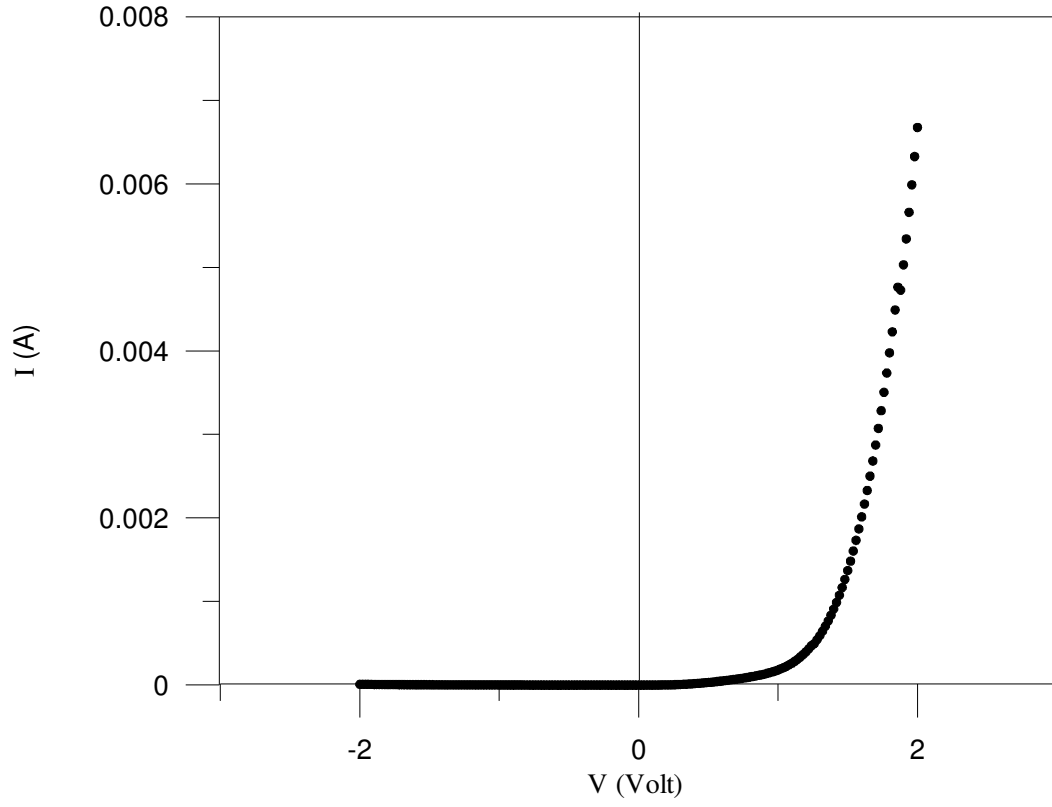
Şekil 5.28. Ag/GaP Schottky Diyotunda 323 K Sıcaklığındaki $\ln I$ -V değişimi.



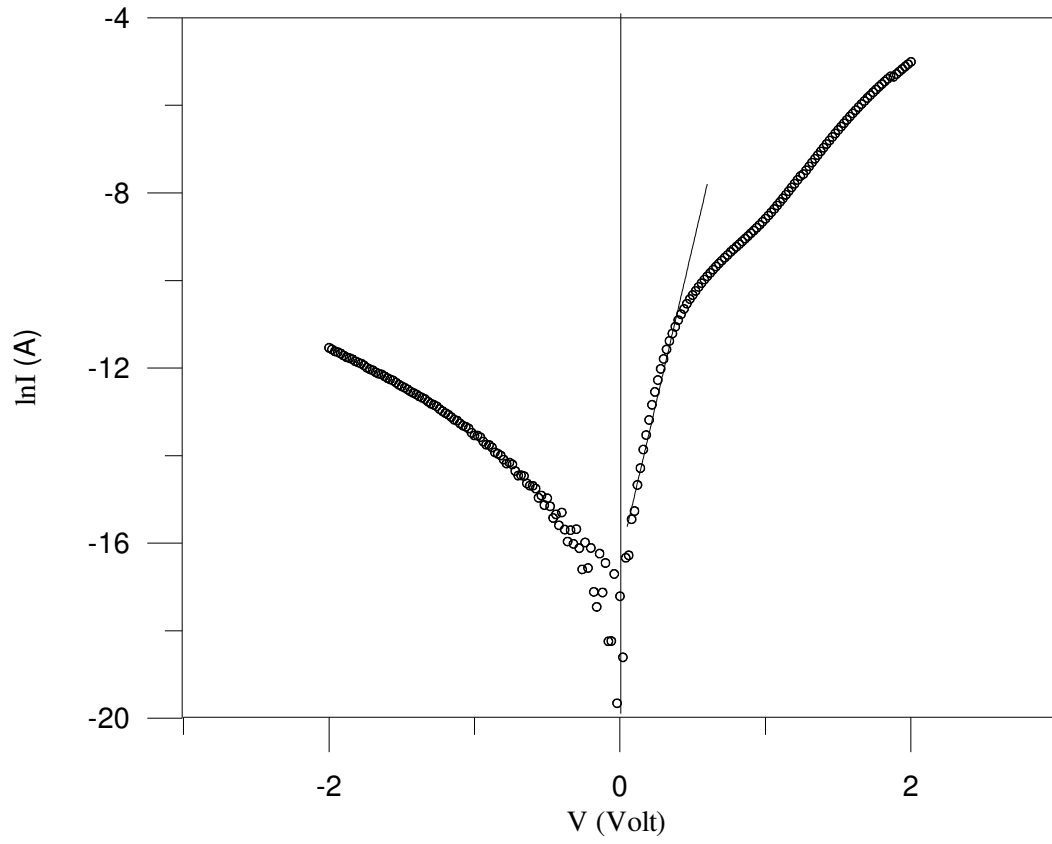
Şekil 5.29. Ag/GaP Schottky Diyotunun 333 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.



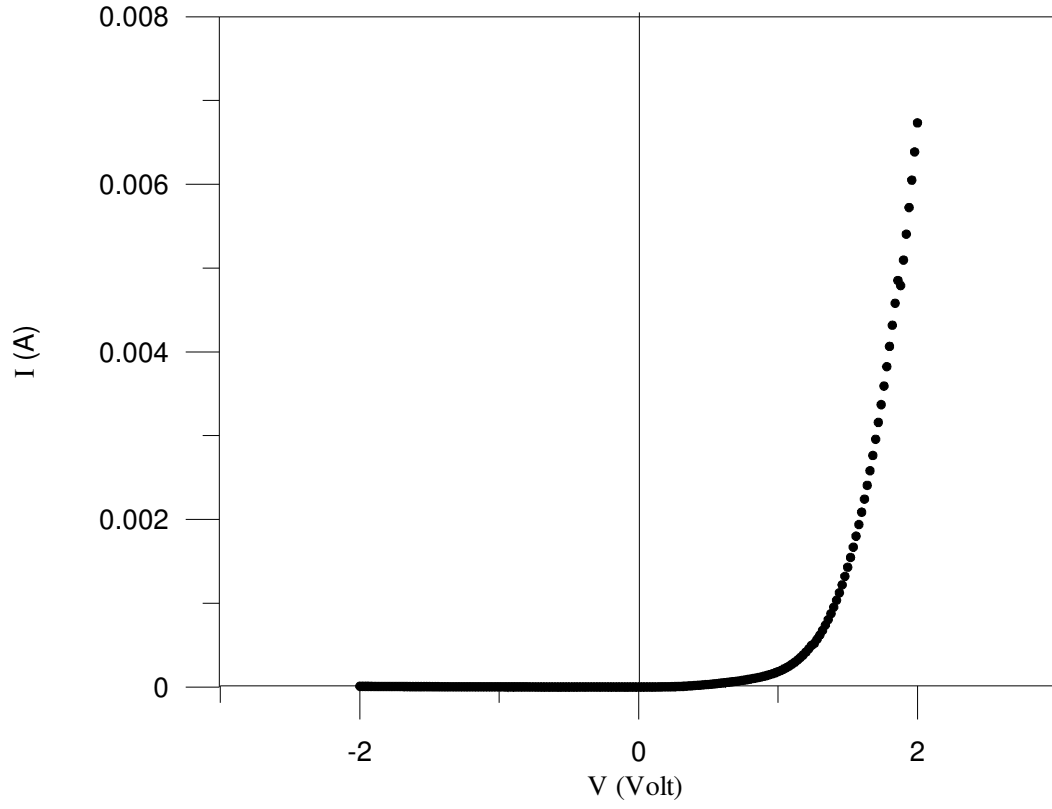
Şekil 5.30. Ag/GaP Schottky Diyotunda 333 K Sıcaklığındaki $\ln I$ - V değişimi.



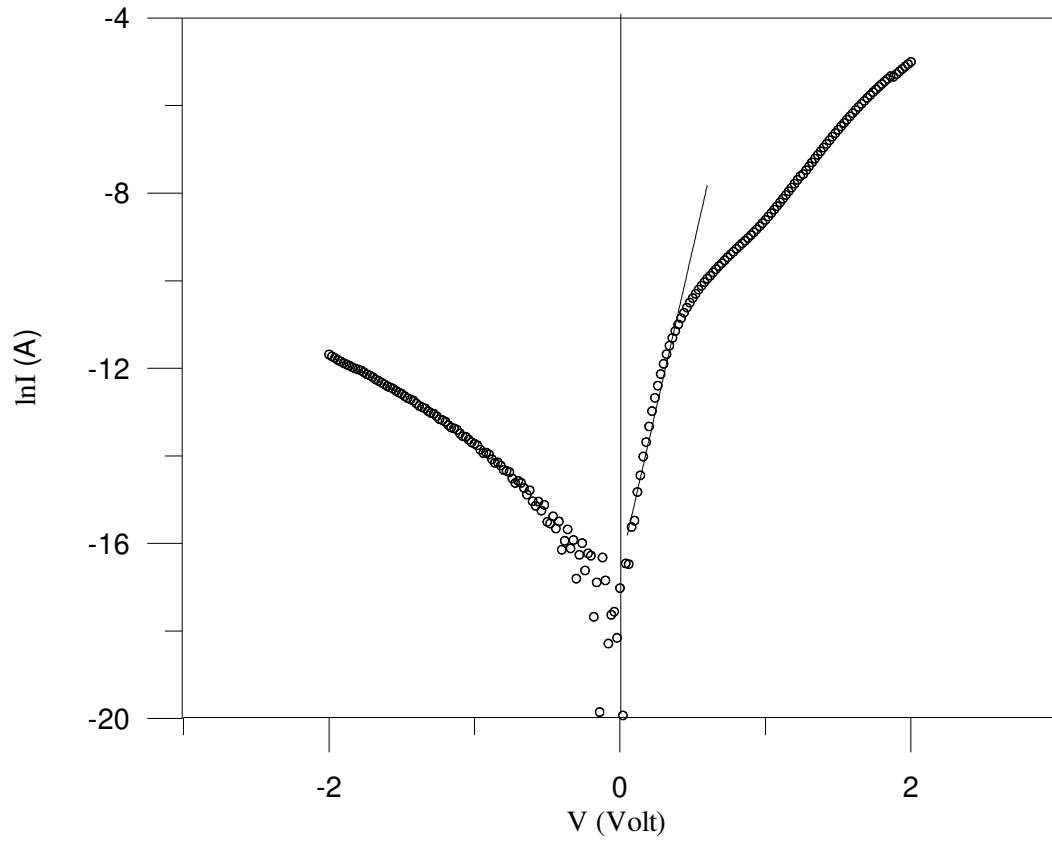
Şekil 5.31. Ag/GaP Schottky Diyotunun 343 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.



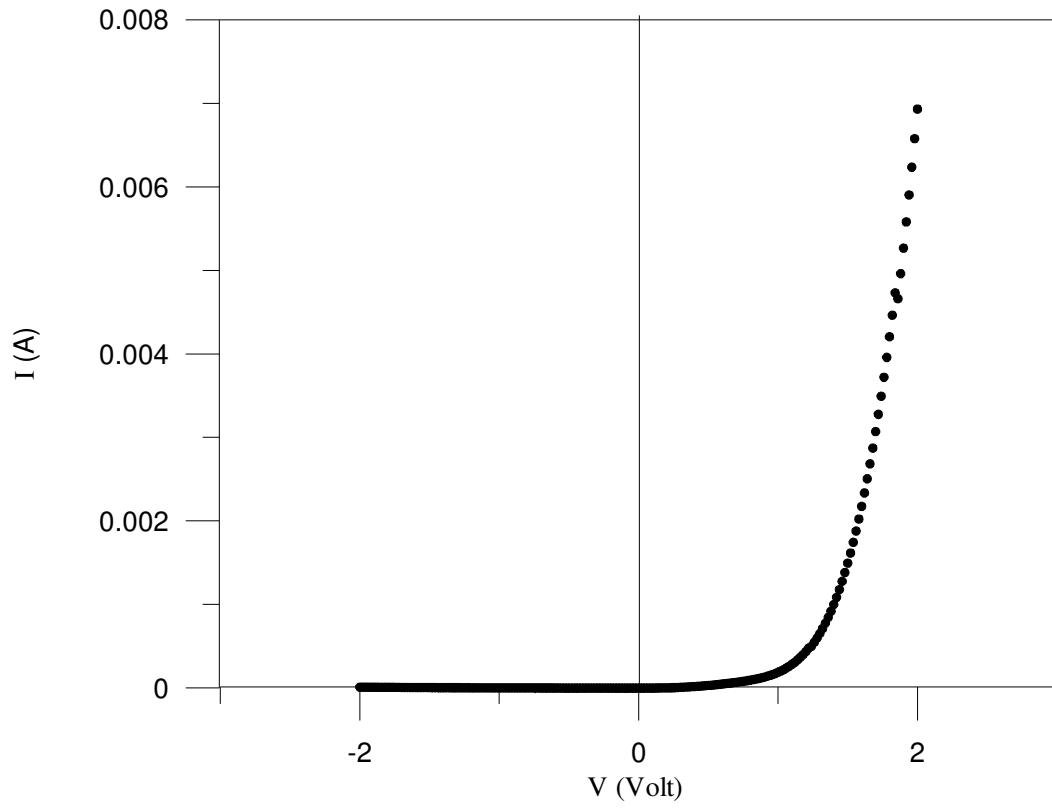
Şekil 5.32. Ag/GaP Schottky Diyotunun 343 K Sıcaklığındaki lnI-V değişimi.



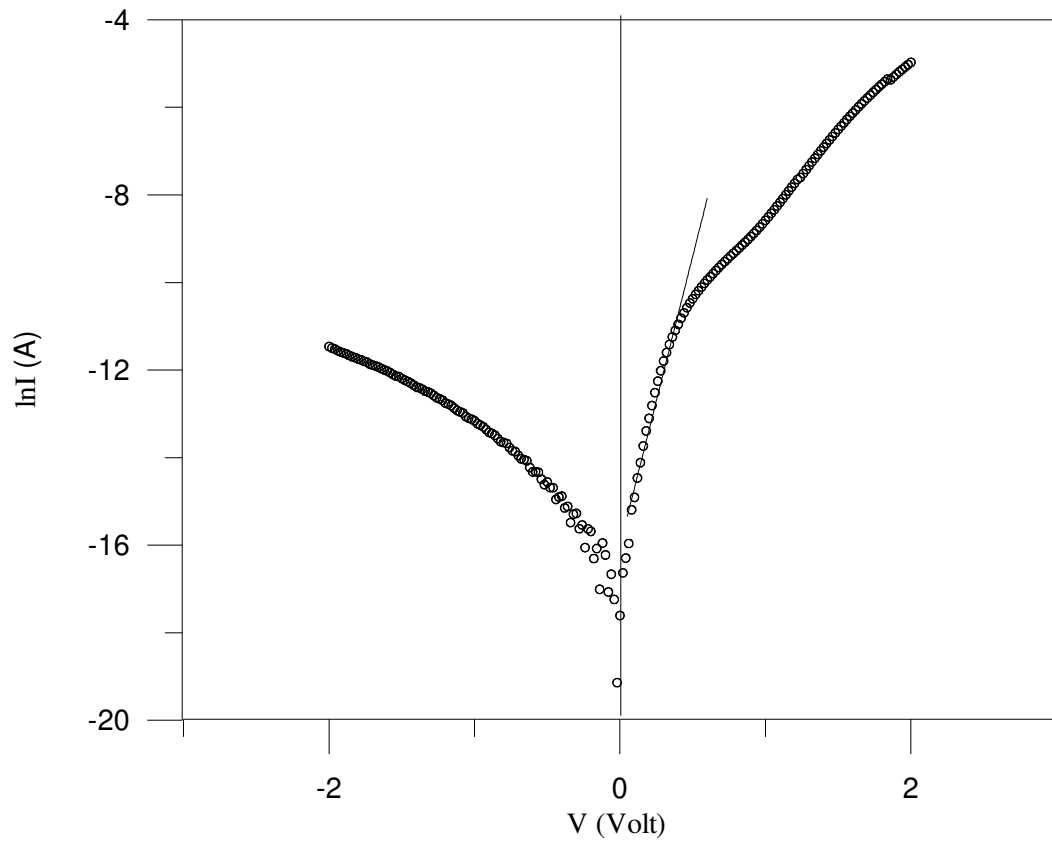
Şekil 5.33. Ag/GaP Schottky Diyotunun 353 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.



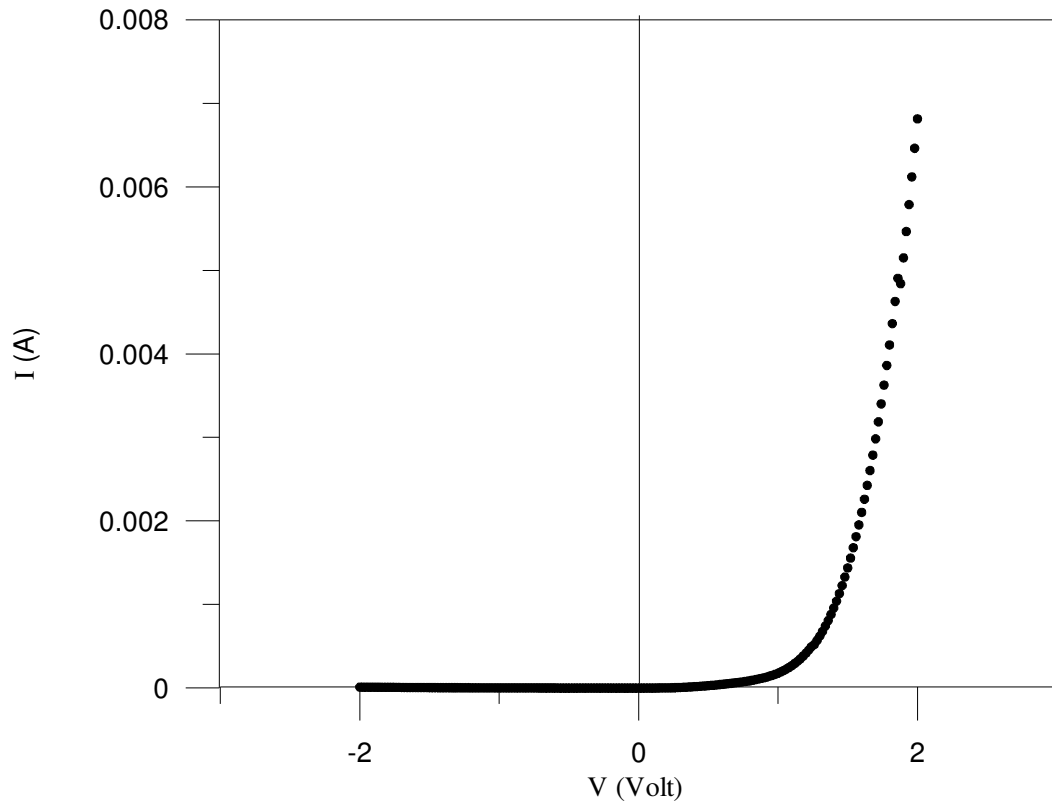
Şekil 5.34. Ag/GaP Schottky Diyotunda 353 K Sıcaklığındaki $\ln I$ - V değişimi.



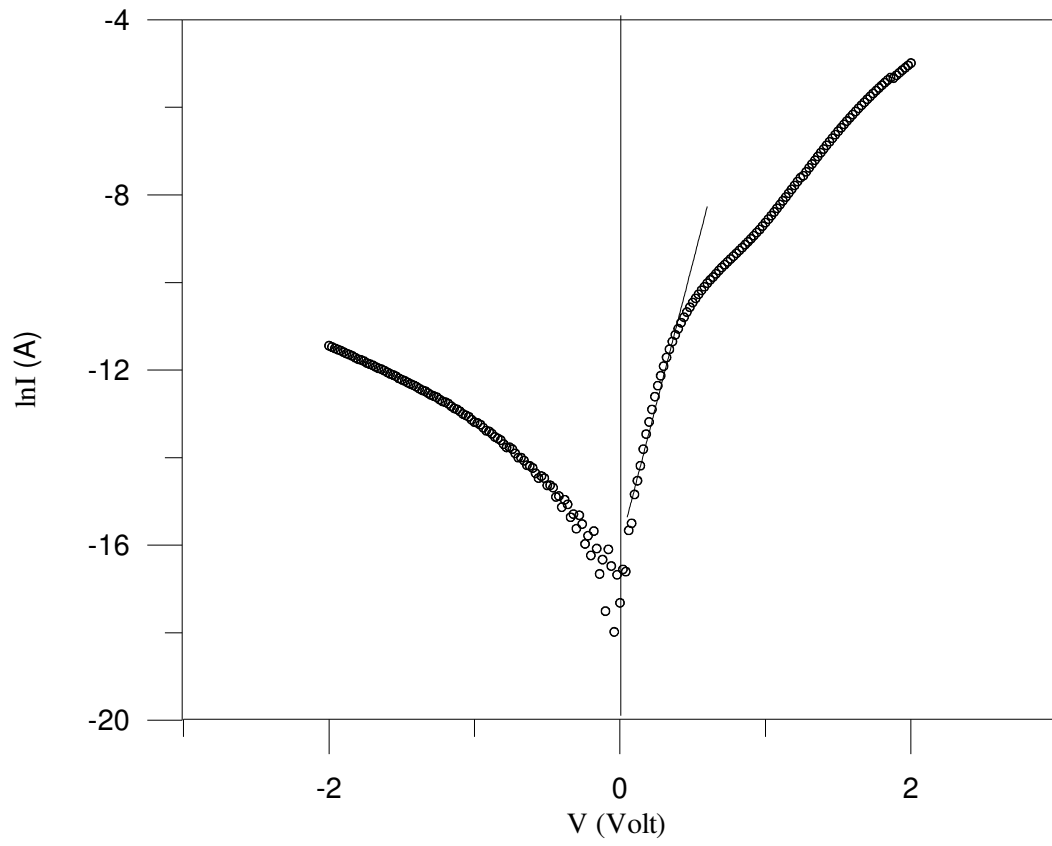
Şekil 5.35. Ag/GaP Schottky Diyotunun 363 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.



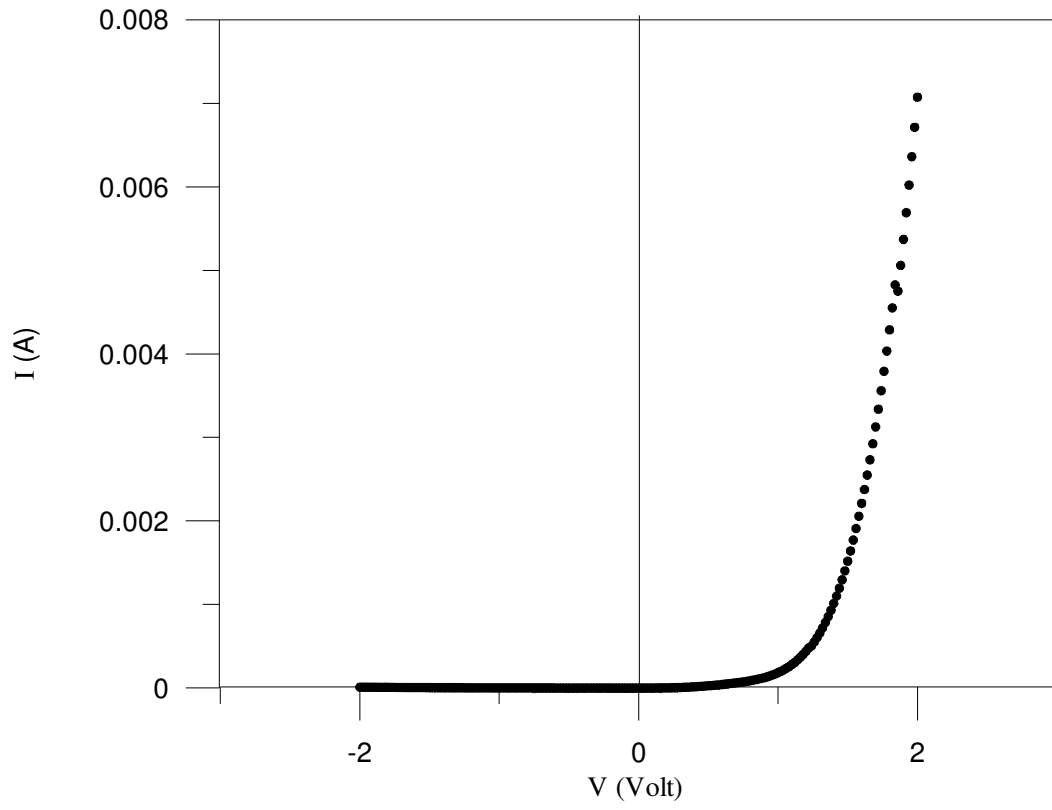
Şekil 5.36. Ag/GaP Schottky Diyotununda 363 K Sıcaklığındaki $\ln I$ -V değişimi.



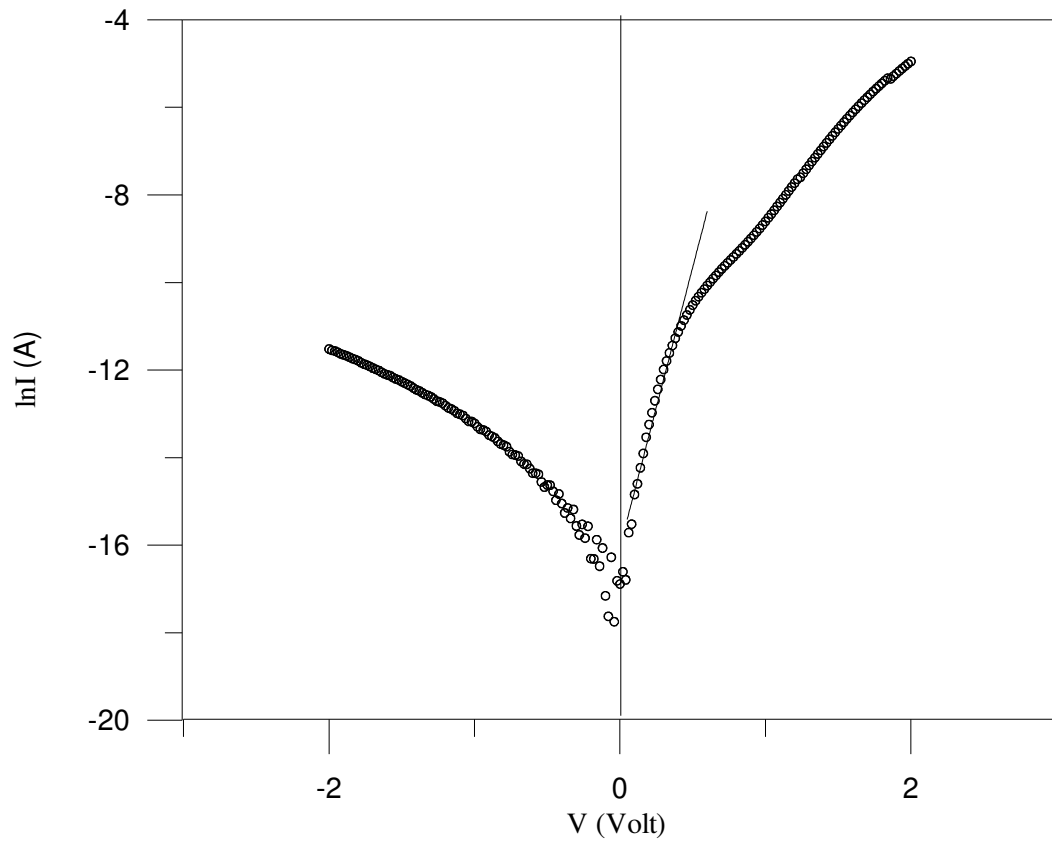
Şekil 5.37. Ag/GaP Schottky Diyotunun 373 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.



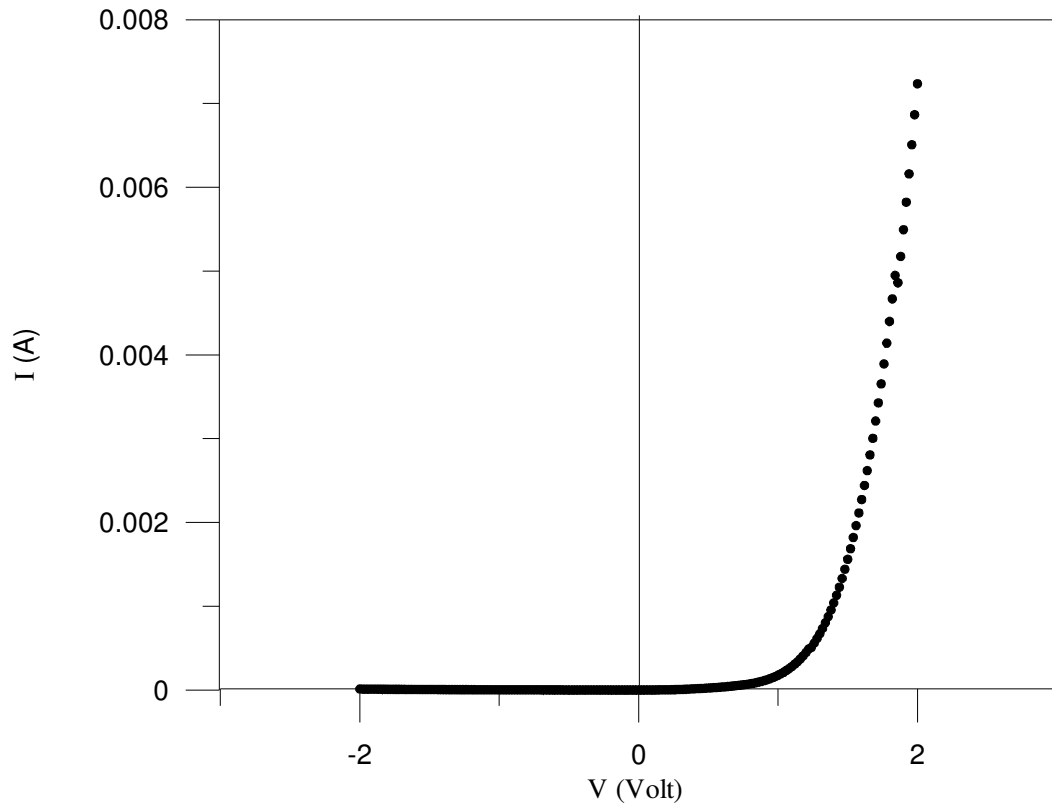
Şekil 5.38. Ag/GaP Schottky Diyotununda 373 K Sıcaklığındaki $\ln I$ -V değişimi.



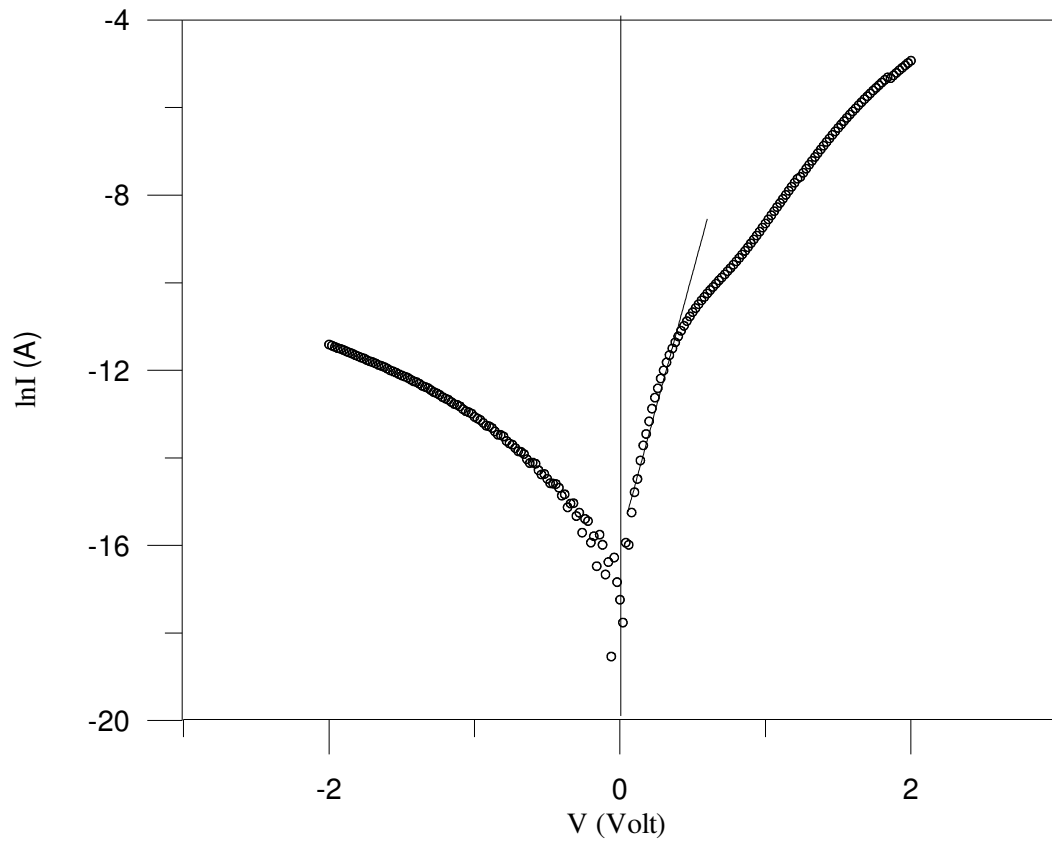
Şekil 5.39. Ag/GaP Schottky Diyotunun 383 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.



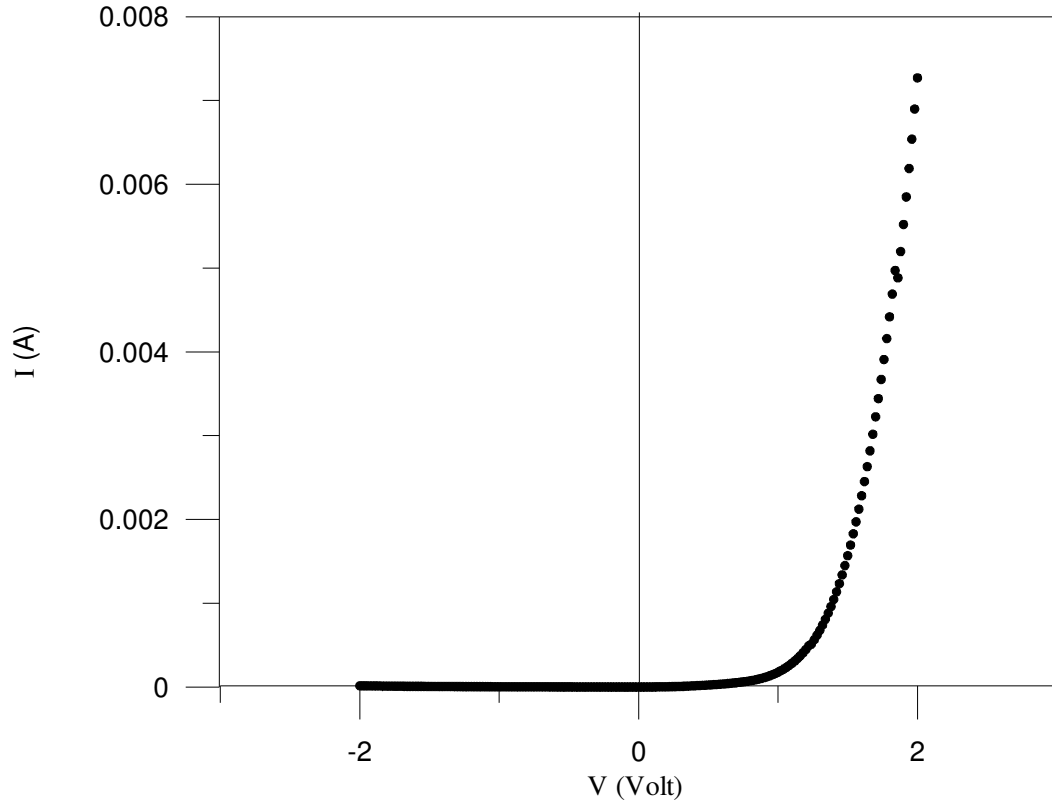
Şekil 5.40. Ag/GaP Schottky Diyotununda 383 K Sıcaklığındaki $\ln I$ -V değişimi.



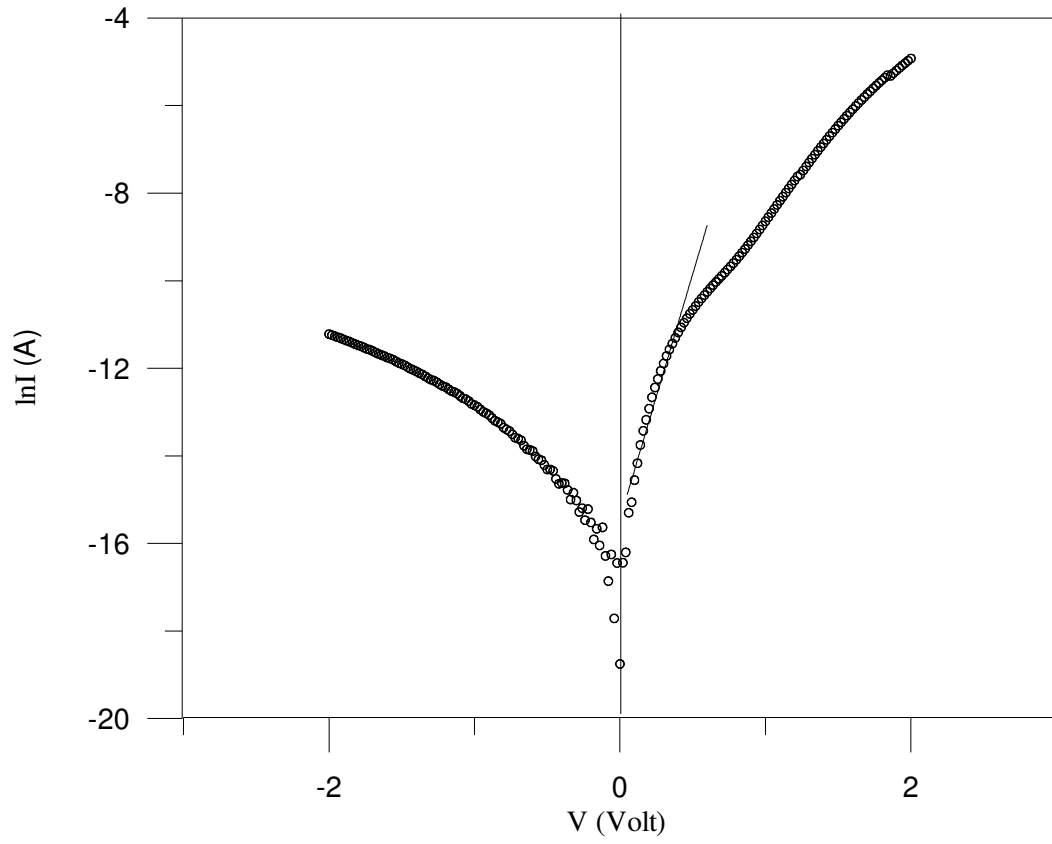
Şekil 5.41. Ag/GaP Schottky Diyotunun 393 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.



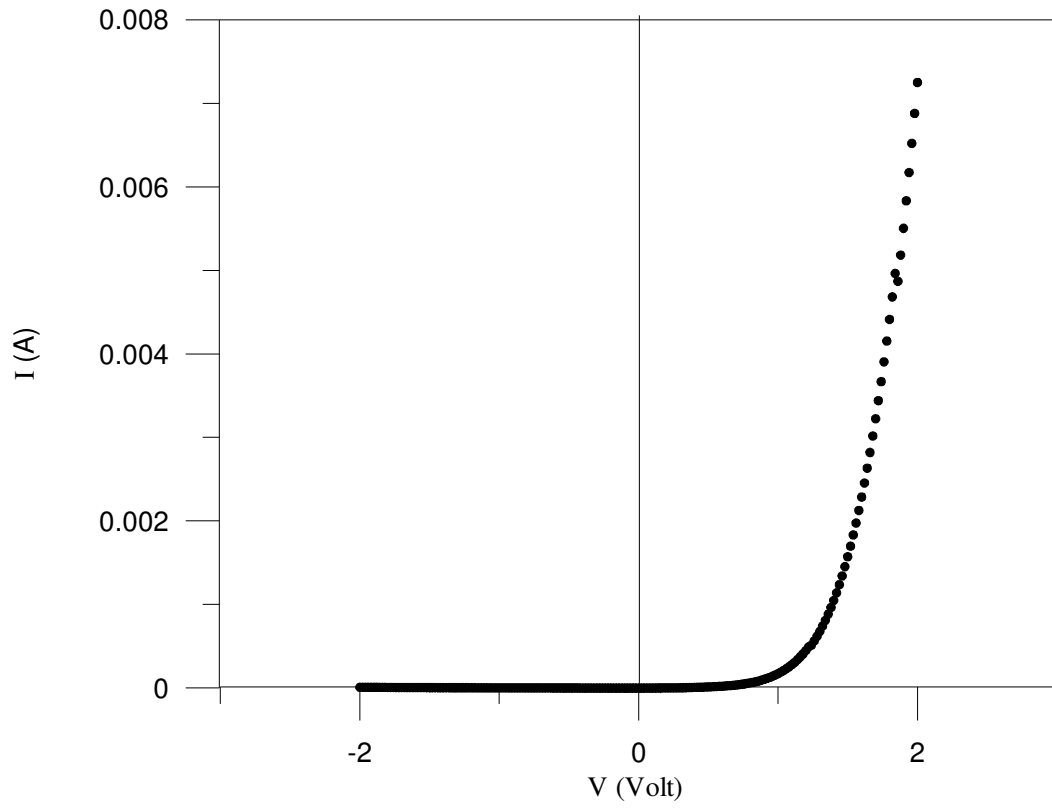
Şekil 5.42. Ag/GaP Schottky Diyotununda 393 K Sıcaklığındaki $\ln I$ -V değişimi.



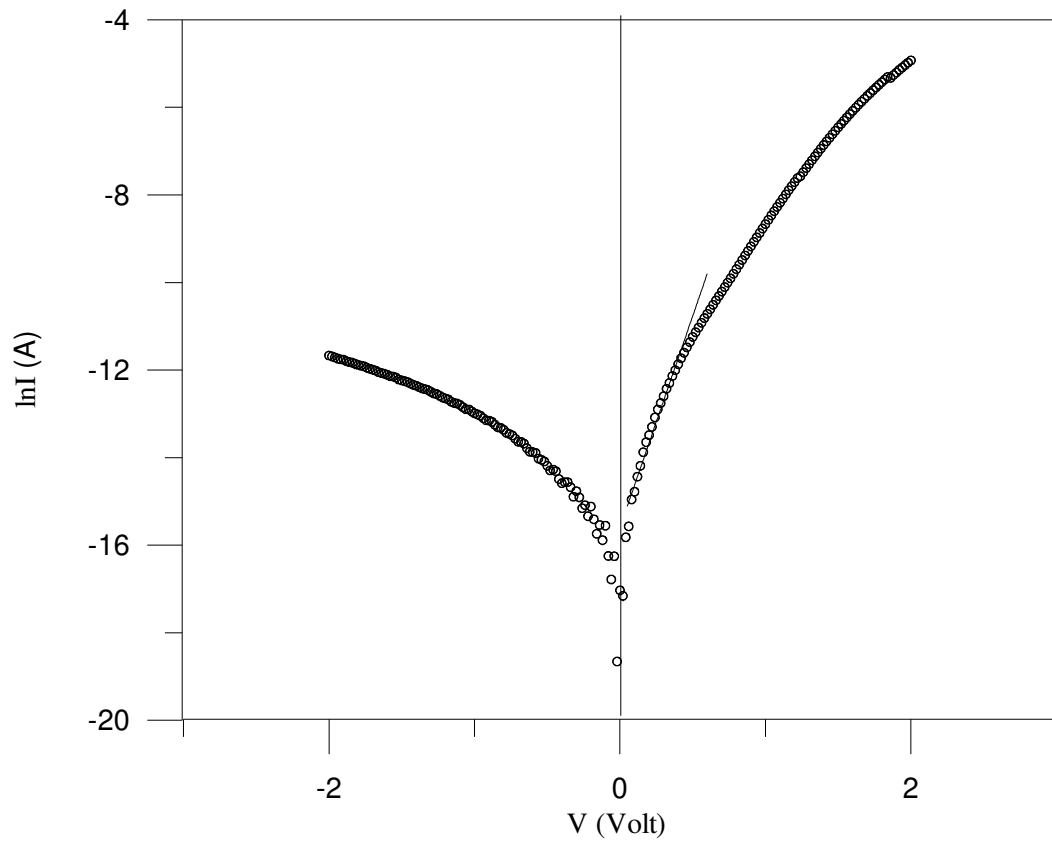
Şekil 5.43. Ag/GaP Schottky Diyotunun 403 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.



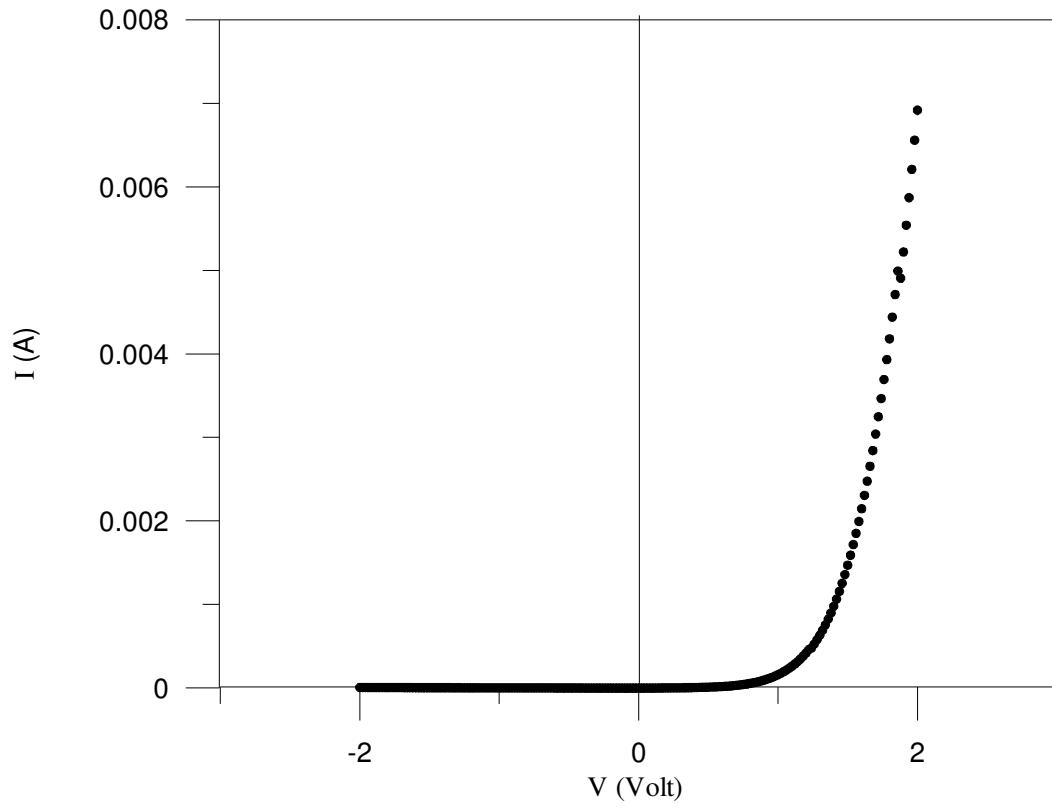
Şekil 5.44. Ag/GaP Schottky Diyotununda 403 K Sıcaklığındaki $\ln I$ - V değişimi.



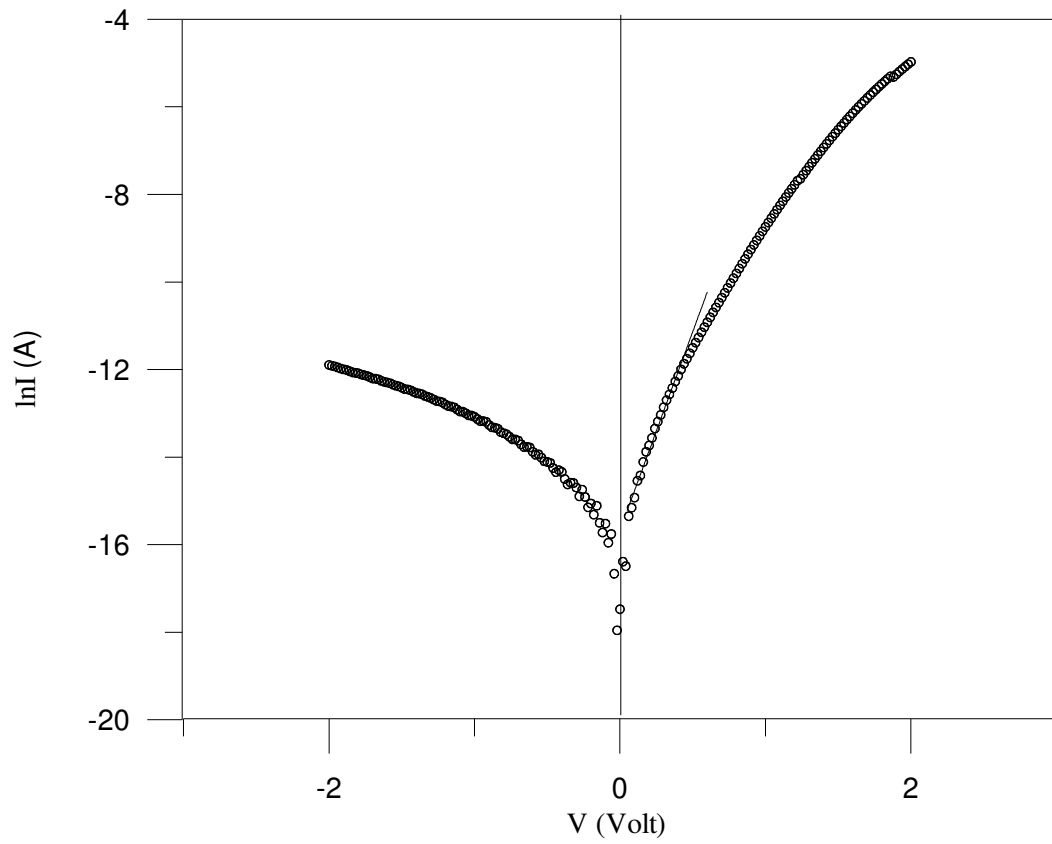
Şekil 5.45. Ag/GaP Schottky Diyotunun 413 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.



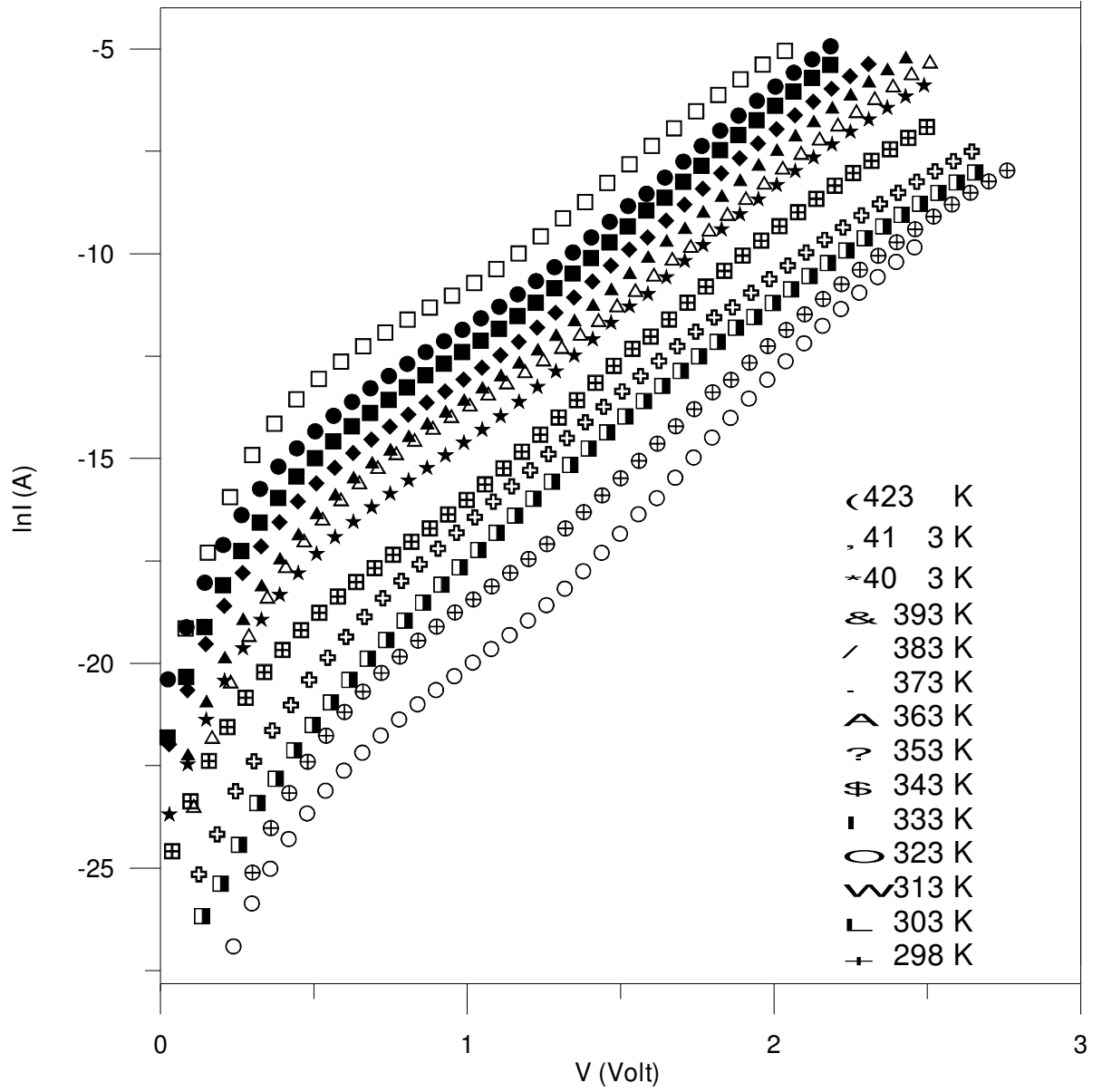
Şekil 5.46. Ag/GaP Schottky Diyotununda 413 K Sıcaklığındaki $\ln I$ -V değişimi.



Şekil 5.47. Ag/GaP Schottky Diyotunun 423 K sıcaklığındaki akım gerilim değişimi.



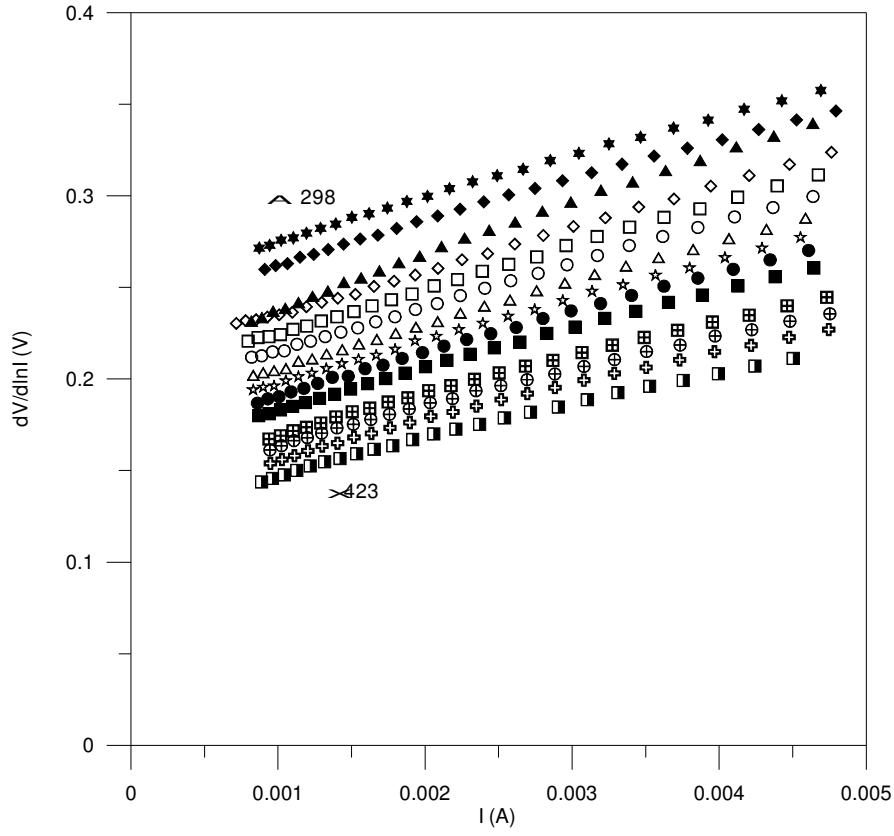
Şekil 5.48. Ag/GaP Schottky Diyotunun 423 K Sıcaklığındaki $\ln I$ -V değişimi.



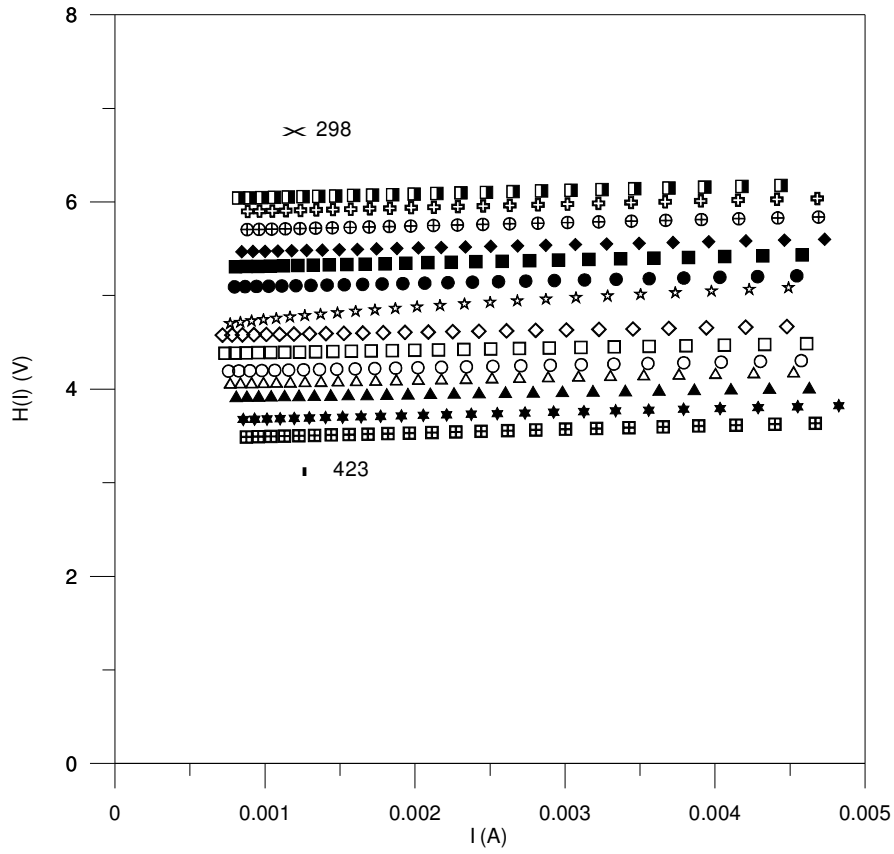
Şekil 5.49. Ag/GaP Schottky Diyotunda 298-423 K Sıcaklığındaki lnI-V değişimi.

Tablo.5.2. 298-423 K sıcaklığı aralığında hesaplanan idealite ve engel yükseklikleri

T(K)	I-V	
	İdealite faktörü (n)	Engel yüksekliği (Φ_{Bn} (eV))
298	3,03	0,54
303	2,91	0,54
313	2,57	0,56
323	2,42	0,57
333	2,41	0,58
343	2,41	0,58
353	2,38	0,61
363	2,37	0,61
373	2,30	0,63
383	2,30	0,64
393	2,28	0,65
403	2,26	0,66
413	2,26	0,68
423	2,26	0,70



Şekil 5.50. Ag/GaP Schottky Diyotunun 298-423 K Sıcaklığındaki $dV/d\ln I$ - I değişimi.

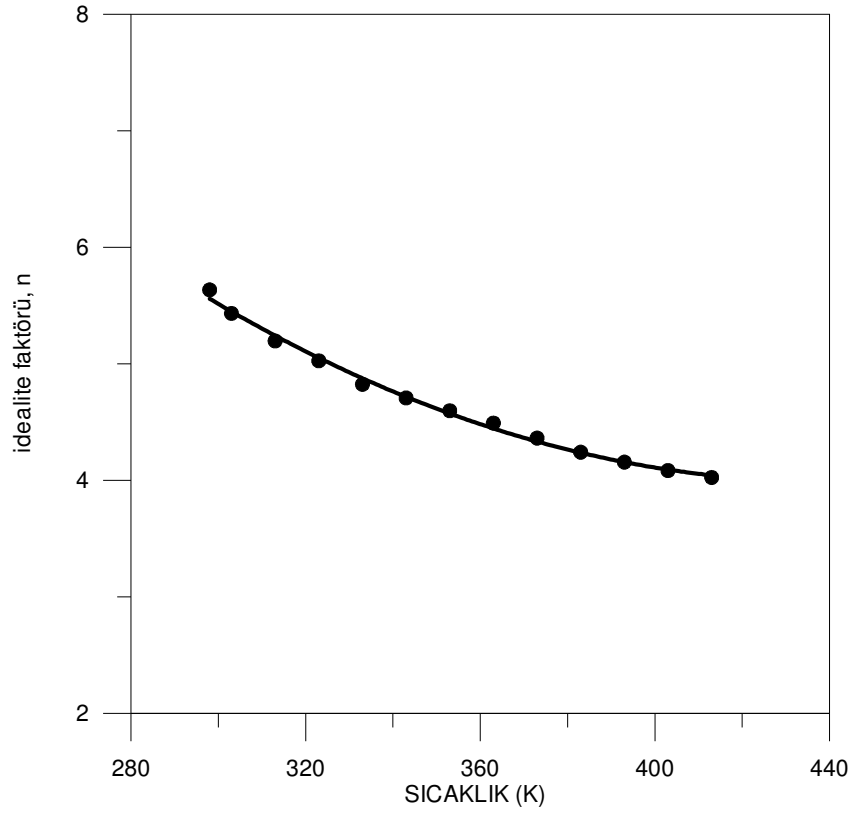


Şekil 5.51. Ag/GaP Schottky Diyotunun 298-423 K Sıcaklığındaki $H(I)$ - I değişimi.

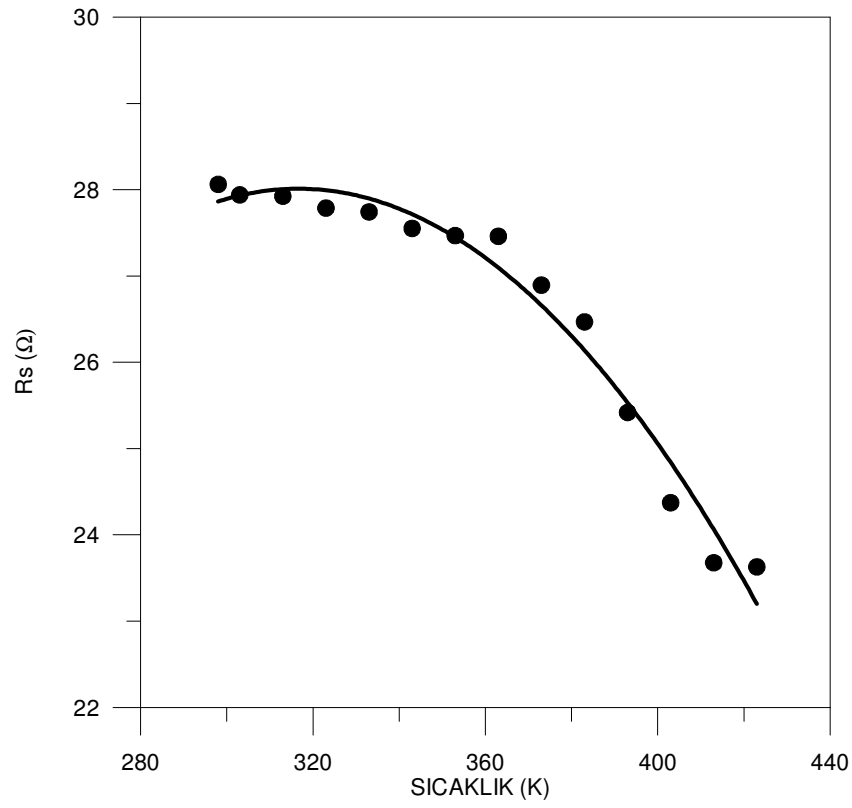
Tablo5.3. Ag/GaP Schottky diyotunun farklı sıcaklıklardaki parametrelerin deneysel değerleri

T(K)	I-V		dV/d(lnI)-I		H(I)-I	
	İdealite Faktörü (n)	Engel yüksekliği Φ_{Bn} (eV)	İdealite Faktörü (n)	Seri direnç R_s (Ω)	Seri direnç R_s (Ω)	Engel yüksekliği Φ_{Bn} (eV)
298	3,03	0,54	8,24	28,06	29,40	0,55
303	2,91	0,54	7,96	27,94	29,35	0,57
313	2,57	0,56	7,82	27,93	29,32	0,58
323	2,42	0,57	7,63	27,79	29,23	0,60
333	2,41	0,58	7,24	27,74	29,19	0,64
343	2,41	0,58	7,00	27,55	29,10	0,66
353	2,38	0,61	6,81	27,47	28,89	0,68
363	2,37	0,61	6,61	27,46	28,82	0,70
373	2,30	0,63	6,42	26,89	28,80	0,72
383	2,30	0,64	6,19	26,47	28,76	0,74
393	2,28	0,65	6,03	25,42	27,60	0,75
403	2,26	0,66	5,90	24,37	26,54	0,76
413	2,26	0,68	5,78	23,88	25,34	0,78
423	2,26	0,70	4,25	23,63	24,37	0,81

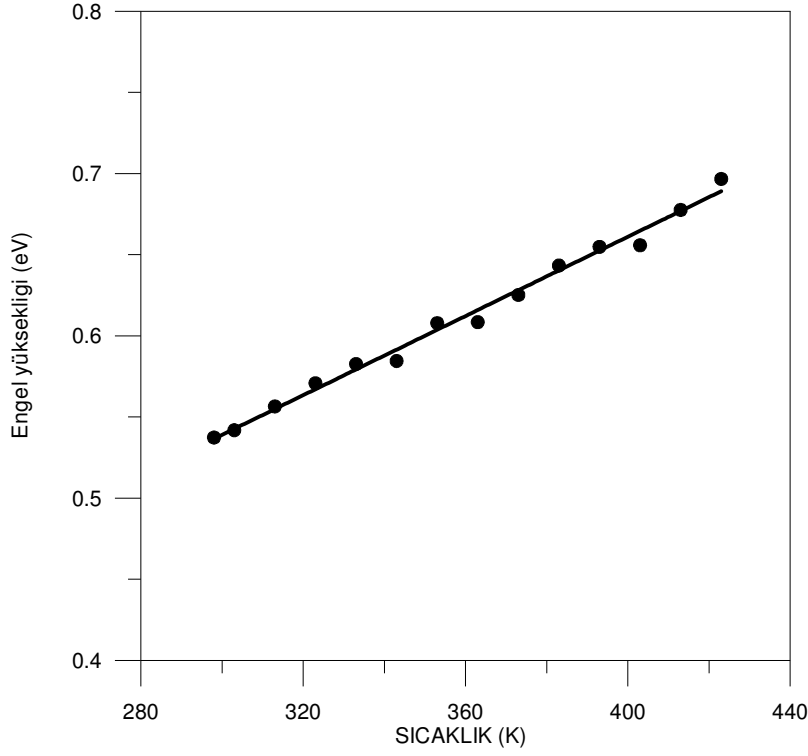
Tablo 5.3 ‘den yararlanarak $n - T$, $\Phi_{Bn} - T$ ve $R_s - T$ grafikleri çizildi.



Şekil 5.52. Ag/GaP Schottky Diyotunda 298-423 K Sıcaklığındaki n -T değişimi.



Şekil 5.53. Ag/GaP Schottky Diyotunda 298-423 K Sıcaklığındaki R_s -T değişimi.



Şekil 5.54. Ag/GaP Schottky Diyotunda 298-423 K Sıcaklığındaki eV-T değişimi.

Şekil 5.52 ve şekil 5.53 ' te görüldüğü üzere idealite faktörü ve seri direnç değerleri sıcaklıkla karşılaştırıldığında ters orantılı bir şekilde değişmektedir. Sıcaklık değerleri arttıkça idealite ve seri direnç değerleri azalmaktadır. Şekil 5.54' te ise engel yüksekliği sıcaklık arttıkça artmaktadır. Sıcaklık arttıkça diyotun iletkenlik özelliğinin artması ile birlikte diyotun akıma karşı göstermiş olduğu zorluk yani seri direnç değerleri azalmıştır. Sıcaklığın artması ile birlikte seri direncin düşmesi, diyotun ideale yaklaşmasının bir göstergesi olduğu için, idealite faktörleri giderek düşmüş diyot ideale doğru yaklaşma eğilimine girmiştir. Artan sıcaklıkla Schottky engel yüksekliğinin artması ve idealite faktörünün azalması metal - yarıiletken ara yüzeyindeki atomik homojensizliğinin bir göstergesi olarak açıklanabilir [5,26-29]. Bu homojensizlik, arayüzey atomik yapının sahip olduğu yüzey kusurlarından kaynaklanabilir [32].

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Katıhal fiziğinde önemli bir yere sahip olan yarıiletken yapıların hazırlanma yöntemlerinin gelişmesi ve farklı akım karakteristik özellikleri sergilemesi sonucunda, metal-yarıiletken kontaklarının da gelişmesine sebep olmuştur. Metal-yarıiletken kontakların sergiledikleri akım-gerilim özellikler p-n eklemelerine benzemesine rağmen onların anahtarlanma hızlarının yüksek olması ve akım kazancının fazla olması nedeniyle son yıllarda metal-yarıiletken kontaklara gösterilen ilgiyi artırmıştır [19,34]. Gerek farklı metal ve yarıiletken kullanılması gerekse hazırlanma çeşitliliği nedeniyle metal yarıiletken kontakların elektronik devrelerdeki kullanım alanları giderek artmaktadır. Yeni yarıiletkenlerin bulunmasından sonra metal-yarıiletken kontaklar polimer tabanlı ve metal kompleks tabanlı yapılması ve bunların elektronik davranışları ilgiyi artırmıştır. Organik tabanlı devre elemanları yapımı gerek maliyet gerekse üretim kolaylığı nedeniyle önemli avantajlara sahiptir [20,31].

Yarıiletken elektroniği teknolojisinde önemli bir konuma sahip olan Schottky diyotlarının yapımı için [100] doğrultuda büyütülmüş, 300µm kalınlıklı ve S katkılı n-GaP kullanıldı. Daha sonra GaP' ın bir yüzeyine Al buharlaştırılarak omik, diğer yüzeyine Ag buharlaştırılarak Schottky kontaklar yapıldı. Hazırlanan Schottky diyotlarının akım-voltaj karakteristikleri on ayrı bölgeden oda sıcaklığında ve 298 - 423 K sıcaklıkları aralığında incelendi. Her bir numune için diyotun idealite faktörleri (n), seri dirençleri (R_s) ve engel yükseklikleri (Φ_{B_n}) hesaplandı. Oda sıcaklığında I – V ile $\ln I - V$ grafikleri çizildi. Grafiklerden yararlanarak idealite faktörü ve engel yükseklikleri hesaplandı. Hesaplanan bu değerler tablo 5.1' de verildi. İdealite faktörü (n) değerlerinin 1,73 ile 3,60 aralığında, engel yüksekliklerinin (Φ_{B_n}) ise 0,50 – 0,69 eV aralığında değiştiği gözlemlendi. 298 - 423 K sıcaklığı aralığında bir numune için idealite faktörü (n) ve engel yüksekliği (Φ_{B_n}) hesaplanarak tablo 5.2' gösterildi. İdealite faktörü (n) değerlerinin 2,26 – 3,03 aralığında, engel yüksekliği (Φ_{B_n}) değerlerinin ise 0,54 – 0,70 eV aralığında değiştiği gözlemlendi. İdealite faktörünün değerinin ideal durumda ($n=1$) olması beklenir ancak pratikte bu duruma hemen hemen hiç rastlanmamıştır. Çünkü engel yüksekliği uygulanan gerilime ve üretim şartlarına sıkıca bağlıdır. Bu bağlılık yalıtkan tabaka üzerinde potansiyel düşmesi dolayısıyla I-V karakteristiğinin değişimine ve idealite faktörünün birden büyük çıkmasına neden olur. Yani engel yüksekliği artan sıcaklıkla artarken idealite faktörü azalmaktadır. Richardson eğrilerinin ideal durumdan sapması metal yarıiletken arasında oluşan engel yüksekliğinin homojensizliğine atfedilebilir [23,24,26-30]. Bu durumda yeterli enerjiye sahip olmayan taşıyıcılar, düşük engeller üzerinden metalden yarıiletkene veya yarıiletkenden metale daha kolay geçerek akımın artmasına ve dolayısıyla idealite faktörünün artmasına neden olur.

Engel yüksekliği ve idealite faktörü değerlerinin kontrol edilmesi amacıyla aynı parametrelerin hesaplanmasında Cheung fonksiyonları kullanıldı. Temel akım denkleminde türetilen denklem 5.10'dan $dV/d(\ln I)$ -I ve denklem 5.11'den $H(I)$ -I Cheung-Cheung

fonksiyonlarının grafikleri çizilmiştir. $dV/d(\ln I)$ -I grafiği şekil 5.50'de ve $H(I)$ -I grafiği ise şekil 5.51'de görüldüğü gibidir. Denklem 5.10'a göre $dV/d(\ln I)$ -I grafiğinin eğiminden seri direnç (R_s) ve lineer kısmın y eksenini kestiği noktadan idealite faktörleri (n) belirlenmiştir. Denklem 5.11'e göre ise $H(I)$ -I grafiğinin eğiminden seri direnç ve lineer bölgenin y eksenini kestiği noktadan ΦB_n tayin edilmiştir. Bulunan sonuçlar Tablo 4.3'de verilmektedir. Farklı sıcaklıklar için çizilen I-V eğrilerinden bulunan idealite faktöründeki artan sıcaklıkla gözlenen azalma Cheung eğrilerinde elde edilen sonuçlarda da gözlenmiştir. Seri direncin sıcaklıkla değişimine bakıldığında, Ag/GaP Schottky diyotun seri direncinin artan sıcaklıkla azaldığı gözlenmiştir. Bulunan sonuçlar diğer çalışmalar ile iyi bir uyum göstermektedir [16, 27,35]

Ancak düşük sıcaklık değerlerinde idealite faktörünün yüksek çıktığı gözlemlendi. Artan sıcaklıkla Schottky engel yüksekliğinin artması ve idealite faktörünün azalması metal - yarıiletken ara yüzeyindeki atomik homojensizliğinin ve metal yarı iletken ara yüzeyinde meydana gelen ara yer durumlarının bir göstergesi olarak açıklanabilir [5,26-29]. Bu homojensizlik, arayüzey atomik yapının sahip olduğu yüzey kusurlarından kaynaklanabilir. Bu durum, elde ettiğimiz Schottky diyotların yüksek sıcaklıklarda daha çok ideal özellik gösterdiğini ve termiyonik emisyon modeline uyduğu deneysel sonuçlarla da uyumlu olduğu gözlenmiştir. Düşük sıcaklıklarda ve yüksek gerilimlerde termiyonik emisyon teorisinden sapmalar olduğu görülmektedir. Buna göre, düşük engel yüksekliğine ve düşük idealiteye sahip diyotlar elde etmek oldukça zordur. Çünkü, metal-yarıiletken ara yüzeyi, yüzey hazırlama işlemine karşı oldukça duyarlıdır [5,25-28].

Son yıllarda yapılan bazı çalışmalar metal-yarıiletken eklemlerde oluşan bariyer yüksekliğindeki homojensizliklerin önemini vurgulamıştır. Ayrıca yapılan son çalışmalarla bariyer yüksekliği ve idealite faktörünün sıcaklığa bağımlılığı, bariyer yüksekliklerinin Gauss dağılımına dayanan ısısal yayılma kuramı ile başarılı bir şekilde açıklanmıştır. Ayrıca Gauss dağılım fonksiyonu ile yapılan benzetişim çalışmaları da bu deneysel sonuçları desteklemektedir. Schottky bariyer diyotun ısısal yayılma teorisine dayalı diyot parametrelerinin sıcaklıkla değişimi üzerine yapılan çalışmada, düşük sıcaklıklarda idealite faktörünün arttığı anormal olarak bariyer yüksekliğinin azaldığı görülmüştür [5,9,21,22].

KAYNAKLAR

1. Ashok, S., Borrego, J.M. and Gutmann, R.J., “Electrical Characteristics of GaAs MIS Schottky Diodes”, Solid , State Electronics, 22: 621-631(1979).
2. Ertürk K., Metal/Si Metal/Si_{1-x} Ge_x/Si Schottky Bariyer Diyotlarının Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007, Bursa.
3. Rideout, V.L., 1978. A review of the theory, technology and applications of metalsemiconductor
4. Rectifiers. Thin Solid Films, 48(3): 261-291.
5. Özmenteş R., Schottky Diyotların Karakteristik Parametrelerinin Belirlenmesinde Frekans Optimizasyonu , Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006, Van.
6. Tung R.T., 2001. Mat. Sci. Eng., 35: 1-138.
7. Sharma, B. L. 1984. Metal-Semiconductor Schottky Barrier Junctions and Their Applications, Plenum Press, p.191-210, New York.
8. Kutluca H., Schottky Diyotların Elektriksel Karakteristiklerinin Sıcaklığa Bağlı İncelenmesi , Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,2007, Ankara.
9. Mott N.F., 1938. Proc Cambr. Phil. Soc., 34: 568.
10. Rhoderick., E.H., Williams,R.H., 1988. Metal-Semiconductors Contacs. Clarendon Pres, Oxford, USA.
11. Schroder, D.K. 1990. Semiconductor Material and Device Cahracterization, John Wiley & Sons, New York.
12. Ziel, A., 1968. Solid State Physical Electronics. Prentice-Hall, Inc., London.
13. Horvath, Z. S., Memeth, M., Gyuro, I., 1987. 5th Internationel School on Physical Problems in Microelectronics. Varna. Bulgaria
14. Zeyrek, S., Altındal, Ş., Yüzer, H., Bülbül, M.M., “Current transport mechanism in Al/SiN/p-Si (MIS) Schottky barrier diodes at low temperatures”,³⁴ Appl. Surf. Sci. 252: 2999-3010 (2006).
15. Williams, R. H., 1985. Physics and Chemistry of III-V Compound Semiconductor Interfaces. (Edited by Wilmsen, C. W.), 57, Plenum Pres, New York and London.
16. Cheung S.K. ve Cheung N.W., 1986. Extraction of Schotky Diode Parameters From *I-V* Characteristics. Appl. Phys. Lett., 49(2): 85-87.
17. Wilson A.H., 1932. Proc. R. Soc. London, Ser. A, 136: 487.
18. Card, H.C., Rhoderick, E. H., 1973. The effect of an interfasel layer on minority carrier injection in forward biased silicon Schootky diyotes. Solid-State Electron., 16: 365-373.
19. Crowell C.R. ve Sze S.M., 1966. Current Transport in Metal-Semiconductor Barriers. Solid State Elect., 9: 1035-1048.
20. Dağdelen F., Metal-Kompleks Yarıiletken Schotky Diyotların Elektronik Özelliklerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004, Elazığ.

21. Bohlin, K.E., "Generalized Norde Plot Including Determination of the Ideality Factor", J. Appl. Phys. 60: 1223 (1986).
22. Sze S.M., Crowell C.R. ve Khang D., 1964. Photoelectric Determination of The Image Force Dielectric Constant For Hot Electrons in Schottky Barriers. J. Appl. Phys., 35: 2534-2536.
23. Tyagi 1991, Introduction to Semiconductor Materials and Devices, John Wiley & Sons, New York, p. 271 – 291.
24. Chand, S., J. Kumar. 1995. Current-voltage characteristics and barrier parameters of Pd₂Si/p-Si (111) Schottky diodes in a wide temperature-range. Semiconductor Science and Technology, 10 (12): 1680-1688
25. Karadeniz, S., M. Şahin., N. Tuğluoğlu., et al. 2004. Temperature-dependent barrier characteristics of Ag/p-SnS Schottky barrier diodes. Semiconductor Science and Technology, 19 (9): 1098-1103
26. Şafak, H., M. Şahin., O.F. Yüksel. 2002. Analysis of I-V measurements on Ag/p-SnS and Ag/p-SnSe Schottky barriers. Solid-State Electronics, 46 (1): 49-52
27. Acar, S., S. Karadeniz., N. Tuğluoğlu., et al. 2004. Gaussian distribution of inhomogeneous barrier height in Ag/p-Si (100) Schottky barrier diodes. Applied Surface Science, 233 (1-4): 373-381
28. Hardikar, S., M. K. Hudait., P. Modak., et al. 1999. Anomalous current transport in Au/low-doped n-GaAs Schottky barrier diodes at low temperatures. Applied Physics A-Materials Science & Processing, 68 (1): 49-55
29. Song, Y. P., R. L. Vanmeirhaeghe., W. H. LAFLERE., et al. 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 Electronics, 29 (6): 633-638
30. Zhu, S., R. L. Van Meirhaeghe., C. Detavernier., et al. 1999. A BEEM study of the temperature dependence of the barrier height distribution in PtSi/n-Si Schottky diodes. Solid State Communications, 112 (11): 611-615
31. Zhengda, P. 1997. Schottky Contacts to Indium Phosphide and their Applications. Mc Master University, p19-36. Canada.
32. Werner, J.H., H.H. Guttler. 1991. Barrier inhomogeneities at Schottky contacts. Journal Of Applied Physics, 69 (3): 1522-1533
33. Wagner, L.F., R.W. Young., A. Sugerman. 1983. A note on the correlation between the schottky-diode barrier height and the ideality factor as determined from IV measurements. Ieee Electron Device Letters, 4 (9): 320-322
34. Schroder, D.K. 1990. Semiconductor Material and Device Cahracterization, John Wiley & Sons, New York.
35. Schmitsdorf, R. F., T. U. Kampen., W. Monch. 1995. Correlation between barrier height and interface structure of Ag/Si(111) schottky diodes. Surface Science, 324 (2-3): 249-256

36. Erol S.,GaP/ Metal Schottky Diyotunun Hazırlanması ve Elektronik Özelliklerinin İncelenmesi
Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010, Elazığ

ÖZGEÇMİŞ

12/07/1972 yılında Elazığ'da doğdum. İlk ve orta öğrenimimi Elazığ' da tamamladıktan sonra 1994 yılında Fırat Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden mezun oldum, daha sonra Katıhal Fiziği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimime başladım. Evli ve bir çocuk annesiyim.