

155720

**İŞİĞA DUYARLI YARIİLETKEN GAZ BOŞALMA YAPISININ
KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ**

Hatice Hilal YÜCEL KURT

DOKTORA TEZİ

(FİZİK)

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2004


ANKARA


Hatice Hilal YÜCEL KURT tarafından hazırlanan IŞIĞA DUYARLI YARIİLETKEN GAZ BOŞALMA YAPISININ KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ adlı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylım.





Prof. Dr. Bahtiyar SALAMOV
Tez Yöneticisi

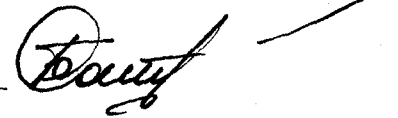
Bu çalışma, jürimiz tarafından Fizik Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. Kemal Çelekoğlu 

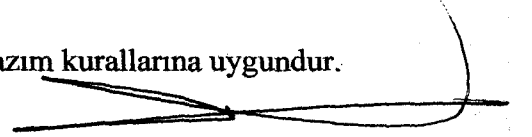
Üye : Prof. Dr. Rauf Süleymanoğlu 

Üye : Prof. Dr. Bülent Akınoğlu 

Üye : Prof. Dr. Tofiq Mammadov 

Üye : Prof. Dr. Bahtiyar Salamov 

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. YARIİLETKEN GAZ BOŞALMA SİSTEMİNİN TEMELLERİ.....	4
2.1. Kısmen İyonlaşmış Gazlarda Akım Akışı.....	4
2.2. Yarıiletken Katotlu Gaz Boşalma Sistemi.....	12
2.3. Yarıiletken Katotlu Gaz Boşalma Sisteminde Akımın Davranışı.....	15
3. DENEYSEL SİSTEM.....	19
3.1. Deney.....	25
4. YARIİLETKEN ELEKTROT İLE GAZ BOŞALMASININ UZAYSAL STABİLİZASYONU.....	29
4.1. İyonizasyon Tipli Yarıiletken Gaz Boşalma Yapısının Akım Voltaj Karakteristikleri.....	29
4.2. Yarıiletken Gaz Boşalma Yapısının Basınca Bağlılığı.....	44
4.3. Paschen Eğrilerinin Yarıiletken Elektrodun R Çapına ve Elektrotlar Arası L Mesafesine Bağlılığı.....	50
4.4. Geniş Çaplı Boşalma Hücresinde Düşük Basınç Townsend Boşalmasının R ve L Parametrelerine Göre İncelenmesi.....	52
4.4.1. Yarıiletken katotlu gaz boşalma hücresinden elde edilen kırılma eğrilerinin deneysel analizi.....	54

5. YARIİLETKEN GAZ BOŞALMA YAPISINDA BOŞALMA AKIMININ KARARSIZLIĞI.....	60
5.1. Uzay Yükünün Homojen Townsend Boşalmasının Kararsızlaşmasına Etkisi.....	60
5.2. Akım Kararsızlıklarının Deneysel Analizi.....	62
5.3. Yarıiletken GaAs daki Yavaş Bölgeler.....	77
5.4. Hareketli Elektronlar ve Negatif Diferansiyel İletkenlik.....	79
5.5. EL2 Kusurları.....	84
5.6. Farklı Basınç ve Farklı Elektrot Çaplarına göre <i>NDD</i> Kararsızlıklarının İncelenmesi.....	87
6. YARIİLETKEN KATOTLU GAZ BOŞALMA HÜCRESİNDE FARKLI ÇAP VE FARKLI ELEKTROTLARARASI MESAFE İÇİN İŞİMANIN DAVRANIŞI.....	92
6.1. İyonizasyon Tipli Görüntü Çeviricinin Işıma Voltaj Grafikleri.....	92
6.2. Gaz Boşalma Parlaklığının Sistem Parametrelerine Bağlılığı.....	101
6.3. KÖ Görüntü Çeviricinin Boşalma Işımasının Basınca Göre Değişimi.....	109
6.4. KÖ Görüntü Çeviriciden Kaydedilen Görüntülerin İncelenmesi.....	110
6.4.1. Deneysel düzenele ilgili yapılan çalışmalar.....	110
6.4.2. KÖ görüntü çeviriciden kaydedilen görüntülerin Image Pro Plus görüntü işlemi programı ile incelenmesi.....	113
6.5. Yarıiletken Fotodedektörlü Bir KÖ Görüntü Çeviricideki Boşalma Işık Emisyonunun Filamentasyonu.....	116
7. YARIİLETKEN KATOTLU GAZ BOŞALMA YAPISINDAN YAYINLANAN İŞİMANIN SPEKTRAL DAĞILIMI.....	125
7.1. Büyük Alanlı Yarıiletken Katotlu UV Işık Kaynağı.....	125
7.2. Yarıiletken Gaz Boşalma Yapısının Spektral Karakteristiği.....	131
8. GENEL SONUÇ.....	134

KAYNAKLAR.....	138
ÖZGEÇMİŞ.....	145



**IŞIĞA DUYARLI YARIİLETKEN GAZ BOŞALMA YAPISININ
KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ
(Doktora Tezi)**

Hatice Hilal YÜCEL KURT

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2004

ÖZET

Bu çalışmada hava ortamında düzlemsel bir boşalma hücreesindeki gaz kırılması, yarıiletken elektrodun farklı R elektrot alan çapları ve farklı L elektrotlar arası mesafeleri için belirlendi. Büyük çaplı GaAs yarıiletken katotlu gaz boşalma sistemin akım voltaj karakteristikleri geniş bir gaz basıncı p (28÷550 Torr) bölgesinde deneysel olarak incelendi. İlk defa L/R parametresinin sistem karakteristikleri üzerindeki etkisi yarıiletken katotlu gaz boşalma hücresi için araştırıldı ve bu parametrenin optimal şartların sağlanması için yeni bir parametre olarak önemli olduğu tespit edildi. Ayrıca gaz boşalma ışımasının davranışı da ilk defa gaz boşalma aralığının farklı R çap değerleri için incelendi. Yarıiletken gaz boşalma yapısı oldukça karmaşık lineer olmayan sistemlerdir. Fiziksel özelliği nedeniyle kararlı duruma ulaşılmadan önce sistem çok karmaşık bir geçiş davranışı gösterebilir. Yine yüksek elektrik alanlarda GaAs elektrodun aktif özelliklerinin, akım osilasyonlarını meydana getirdiği deneysel çalışmalar esnasında tespit edildi. Sunulan osilasyonlar düzlemsel yapının yarıiletken bileşeninin negatif diferansiyel direncinin (NDD) varlığını kanıtlar.

Bilim Kodu : 404.05.01
Anahtar Kelimeler : Negatif diferansiyel direnç, kararsızlık, kırılma, gaz boşalma, GaAs fotodedektör
Sayfa Adedi : 145
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Bahtiyar SALAMOV

**CHARACTERISTIC PROPERTIES OF THE PHOTSENSITIVE
SEMICONDUCTOR GAS DISCHARGE STRUCTURE**

(Ph. D. Thesis)

Hatice Hilal YÜCEL KURT

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

June 2004

ABSTRACT

In this study, gas breakdown in air in a planar gas discharge system is studied experimentally at various interelectrode distances L and different inner diameters R of the electrode areas of the semiconductor cathode. The current voltage characteristics of the gas discharge system with a large-diameter GaAs semiconductor cathode have been studied in a wide range of the gas pressure p (28÷550 Torr). For the first time, the effects of L/R parameter on the system characteristics have been determined for a gas discharge cell with semiconductor cathode and it is found out that this new parameter is vital for the importance of providing the optimal conditions. Moreover, the behaviour of gas discharge emission has also been identified for different values of diameters R as a new outcome of gas discharge structure. Due to physical properties, the system can display a very complicated transient behavior before a stationary state is established. In addition, it has been observed that the active properties of the GaAs electrode cause a kind of current oscillations at high electric fields. Observed oscillations is the evidence of occurrence of negative differential resistance (NDR) of the planar semiconductor component.

Science Code : 404.05.01.
**Key Words : Negative differential resistance, instability,
breakdown, discharge emission, GaAs dedector**
Page Number : 145
Adviser : Prof. Dr. Bahtiyar SALAMOV

TEŞEKKÜR

Bana alıŐma ortamını sađlayan, tez yÖneticiliđimi űstlenen, çalıŐmamın her aŐamasını titizlikle takip ederek, Önerileri ve engin tecrűbesi ile bana yol gÖsteren ve yÖnlendiren; dűzenli, planlı ve anlayarak çalıŐma zevkini bana veren çok deđerli hocam Prof. Dr. Bahtiyar SALAMOV'a teŐekkűrű bir borç bilirim. Yine çalıŐmalarım boyunca bana manevi destek veren kıymetli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Őemsettin ALTINDAL, Yrd. Doç. Dr. Akif ÖZBAY ve Yrd. Doç. Dr. Metin ÖZER'E ayrıca teŐekkűr ederim.

Ayrıca manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan eŐim Erol KURT'a ve sevgili aileme teŐekkűr ederim.

Bu alıŐma 2001K120590 nolu proje ile DPT tarafından desteklenmiŐtir.

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Maksimum akımın basınca bağıllığı.....	44
Çizelge 4.2. Sabit bir basınç ve elektrotlar arası L mesafesi için maksimum akımın yarıiletken elektrodun R çapına göre değişimi.....	44
Çizelge 4.3. Sabit bir basınç ve elektrot çapı R için maksimum akımın elektrotlar arası L mesafesine bağıllığı.....	45
Çizelge 4.4. Aydınlatma yokken sabit bir L ($45 \mu\text{m}$) için yarıiletken elektrodun R çapına bağlı olarak kırılma değerleri.....	50
Çizelge 4.5. Zayıf aydınlatma şiddeti K_1 için sabit bir L ($45 \mu\text{m}$) için yarıiletken elektrodun R çapına bağlı olarak kırılma değerleri.....	50
Çizelge 5.1. Düşük ve yüksek vadi için GaAs'ın mobilitesi	83
Çizelge 6.1. Sabit elektrotlar arası mesafe L ve sabit elektrot çapı R için maksimum boşalma ışımalarının basınca göre değişimi.....	109
Çizelge 6.2. Sabit basınç p ve sabit L için farklı elektrot çaplarına göre maksimum boşalma ışımalarının basınca göre değişimi.....	109
Çizelge 7.1. Spektrum çizgilerinin şiddetinin dalga boyuna göre değişimi.....	128

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. KÖ görüntü çevirici ile kaydedilen elin görüntüsü.....	1
Şekil 2.1 (a) Bir gaz boşalması deneyinin temel yapısı; (b) Gaz boşalmasının şematik akım-voltaj karakteristiği.....	4
Şekil 2.2. Gaz boşalma bölgelerini gösteren diyagram.....	5
Şekil 2.3. Çeşitli gazlar için Paschen eğrileri.....	10
Şekil 2.4 (a) Metal elektrotlar ve seri dirençten oluşan, (b) metal-yarıiletkene sahip gaz boşalma hücresinin şematik diyagramı.....	13
Şekil 2.5. Farklı aydınlatma şiddetleri için yarıiletken katotlu düzlemsel gaz boşalma hücresinin tipik akım-voltaj karakteristiği.....	14
Şekil 2.6. Yarıiletken katotlu boşalma hücresinde kararlılığın oluştuğu bölgeyi gösteren şematik diyagram	15
Şekil 3.1. KÖ-görüntü çevirici sistemin fotoğrafı.....	20
Şekil 3.2. Gaz boşalma hücresinin vakum sistemi.....	21
Şekil 3.3. Bilgisayar ile kontrol ve kumanda edilen deneysel sistemin ölçüm cihazların fotoğrafı.....	22
Şekil 3.4. Gaz boşalma hücresinin fotoğrafı.....	22
Şekil 3.5. Deneysel sistemin ölçüm devresi.....	23
Şekil 3.6. KÖ görüntü çeviricinin blok diyagramı.....	23
Şekil 3.7. Deneysel sistemi oluşturan cihazların şematik gösterimi.....	24
Şekil 3.8. Yarıiletken katotlu gaz boşalma hücresinin basit şeması.....	25
Şekil 4.1. Gaz boşalma sistemi.....	29
Şekil 4.2. $L = 45 \mu\text{m}$ lik sabit elektrotlar arası mesafe için yarıiletken katodun farklı çap değerlerinde kuvvetli aydınlatma şiddeti K_2 için Townsend boşalmasının 2D AVK ları	32

- Şekil 4.3. $L = 45 \mu\text{m}$ lik sabit elektrotlar arası mesafe için yarıiletken katodun farklı çap değerlerinde Townsend boşalmasının 3D AVK ları..... 33
- Şekil 4.4. $L = 93 \mu\text{m}$ lik sabit elektrotlar arası mesafe için yarıiletken katodun farklı çap değerlerinde kuvvetli aydınlatma şiddeti K_2 için Townsend boşalmasının 2D AVK ları 34
- Şekil 4.5. $L = 93 \mu\text{m}$ lik sabit elektrotlar arası mesafe için yarıiletken katodun farklı çap değerlerinde Townsend boşalmasının 3D AVK ları..... 35
- Şekil 4.6. $L = 143 \mu\text{m}$ lik sabit elektrotlar arası mesafe için yarıiletken katodun farklı çap değerlerinde kuvvetli aydınlatma şiddeti K_2 için Townsend boşalmasının 2D AVK ları..... 36
- Şekil 4.7. $L = 143 \mu\text{m}$ lik sabit elektrotlar arası mesafe için yarıiletken katodun farklı çap değerlerinde Townsend boşalmasının 3D AVK ları..... 37
- Şekil 4.8. Sabit elektrotlar arası uzaklık ($L = 45 \mu\text{m}$) için yarıiletken GaAs elektrodun çapına göre maksimum akım-basınç grafikleri. Eğriler yarıiletken katodun üç farklı direncini temsil etmektedir. a) Karanlık; b) zayıf aydınlatma K_1 ; c) kuvvetli aydınlatma K_2 40
- Şekil 4.9. Sabit elektrotlar arası uzaklık ($L = 93 \mu\text{m}$) için yarıiletken GaAs elektrodun çapına göre maksimum akım-basınç grafikleri. Eğriler yarıiletken katodun üç farklı direncini temsil etmektedir. a) Karanlık; b) zayıf aydınlatma K_1 ; c) kuvvetli aydınlatma K_2 41
- Şekil 4.10. Sabit elektrotlar arası uzaklık ($L = 143 \mu\text{m}$) için yarıiletken GaAs elektrodun çapına göre maksimum akım-basınç grafikleri. Eğriler yarıiletken katodun üç farklı direncini temsil etmektedir. a) Karanlık; b) zayıf aydınlatma K_1 ; c) kuvvetli aydınlatma K_2 42
- Şekil 4.11. Sabit elektrotlar arası uzaklık ($L = 323 \mu\text{m}$) için yarıiletken GaAs elektrodun çapına göre maksimum akım-basınç grafikleri. Eğriler yarıiletken katodun üç farklı direncini temsil etmektedir. a) Karanlık; b) zayıf aydınlatma K_1 ; c) kuvvetli aydınlatma K_2 43
- Şekil 4.12. Sabit elektrotlar arası mesafe için ($L = 45 \mu\text{m}$) için farklı çap ve aydınlatma şiddetlerinde basıncın fonksiyonu olarak Paschen eğrileri..... 46
- Şekil 4.13. Sabit elektrotlar arası mesafe için ($L = 93 \mu\text{m}$) için

- farklı çap ve aydınlatma şiddetlerinde basıncın fonksiyonu olarak Paschen eğrileri..... 47
- Şekil 4.14. Sabit elektrotlar arası mesafe için ($L = 143 \mu\text{m}$) için farklı çap ve aydınlatma şiddetlerinde basıncın fonksiyonu olarak Paschen eğrileri.....48
- Şekil 4.15. Sabit elektrotlar arası mesafe için ($L = 323 \mu\text{m}$) için farklı çap ve aydınlatma şiddetlerinde basıncın fonksiyonu olarak Paschen eğrileri..... 49
- Şekil 4.16. $L = 45 \mu\text{m}$ lik sabit elektrotlar arası mesafe için yarı iletken katodun farklı çap değerlerinde Townsend boşalmasının kırılma eğrileri: Karanlık; b) zayıf aydınlatma şiddetinde; c) kuvvetli aydınlatma şiddetinde elde edilmiştir..... 55
- Şekil 4.17. Yarıiletken katodun $R = 9 \text{ mm}$ lik sabit çap değeri için farklı elektrotlar arası mesafe değerlerinde Townsend boşalmasının kırılma eğrileri: a) Karanlık; b) zayıf aydınlatma şiddetinde; c) kuvvetli aydınlatma şiddetinde elde edilmiştir..... 56
- Şekil 4.18. Yarıiletken katodun farklı çap değerleri için U_{min} ve $(E_{dc}/p)_{min}$ değerlerinin $(pL)_{min}$ 'a bağlılığı. Kalın çizgi: $U_{min} = 119 (pL)_{min}$; kesikli çizgi: $(E_{dc}/p)_{min} = 119 \pm 5 \text{ V}/(\text{cm Torr})$ 57
- Şekil 4.19. $L/R = 0,005$ için GaAs katotlu boşalma hücresindeki kırılma eğrileri: a) Karanlıkta; b) zayıf aydınlatma şiddetinde; c) kuvvetli aydınlatma şiddetinde elde edilmiştir..... 58
- Şekil 5.1. Düzlemsel boşalma hücresinin farklı basınçlarda AVK ları. Eğriler $p = 44 \text{ Torr}$, $R = 22 \text{ mm}$, $L = 45 \mu\text{m}$ için farklı aydınlatma şiddetlerinde yarıiletken katodun üç farklı direncini temsil etmektedir..... 63
- Şekil 5.2 (a,b,c) Zayıf aydınlatma şiddetinde (K_1) yarıiletken katodun farklı Çapları (R) için gaz boşalma hücresinin AVK ları: a) $p = 44 \text{ Torr}$; b) $p = 220 \text{ Torr}$; c) $p = 550 \text{ Torr}$. Gaz boşalma aralığının kalınlığı $L = 45 \mu\text{m}$ 65
- Şekil 5.3. Farklı p gaz basınçlarında yarıiletken katotlu gaz boşalma hücresinin AVK ları: a) Karanlık (b) zayıf aydınlatma şiddeti K_1 ve (c) kuvvetli aydınlatma şiddeti K_2 . Elektrot alanlarının çapı $R = 22 \text{ mm}$ ve elektrotlar arası mesafe $L = 45 \mu\text{m}$ dir 67
- Şekil. 5.4. Farklı L kalınlıklı gaz boşalma hücresinin AVK ları: (a) Karanlık (b) zayıf aydınlatma şiddeti K_1 ve (c) kuvvetli aydınlatma şiddeti K_2 . Elektrot alanlarının çapı $R = 18 \text{ mm}$ ve gaz basıncı $p = 66 \text{ Torr}$68

- Şekil 5.5. Boşalma aralığının farklı kalınlıkları için elde edilen AVK lar ve GaAs yarıiletkeninin AVK sı (eğri 5). Elektrot alanlarının çapı $R = 22$ mm..... 70
- Şekil 5.6. Elektrot alanlarının farklı çapları R ve katodun farklı σ iletkenlikleri için maksimum akımın (I_{max}) basınca göre değişimi. Gaz boşalma aralığının kalınlığı $L = 45$ μ m..... 71
- Şekil 5.7. (a-e) GaAs katodun farklı çap (R) ve iletkenlik (σ) değerleri için basınca göre akım osilasyonlarının bölgeleri: a) $R = 5$ mm; b) $R = 9$ mm; c) $R = 12$ mm; d) $R = 18$ mm; e) $R = 22$ mm. Gaz boşalma aralığının kalınlığı $L = 45$ μ m 72
- Şekil 5.8. Farklı p gaz basınçlarında yarıiletken katotlu gaz boşalma hücresinin AVK ları: a) Karanlık (b) zayıf aydınlatma şiddeti K_1 ve (c) kuvvetli aydınlatma şiddeti K_2 . Elektrot alanlarının çapı $R = 18$ mm dir. Gaz boşalma aralığının kalınlığı $L = 323$ μ m 75
- Şekil 5.9. a) N tipi- NDD . b) Lokal diferansiyel öz direncin alana bağıllığı..... 80
- Şekil 5.10. GaAs yarıiletkeninde elektronların bulunduğu enerji minimumları.... 82
- Şekil 5.11. n-tipi GaAs in enerji band diyagramı..... 83
- Şekil 5.12. n-tipi GaAs yarıiletkeninin elektrik alan- akım yoğunluğu grafiği..... 83
- Şekil 5.13. GaAs katodun negatif diferansiyel dirençli akım-voltaj karakteristiği..... 86
- Şekil 5.14 a) Gaz boşalma aralığının olmaması b) olması halinde akım-voltaj karakteristiği..... 87
- Şekil 5.15. Farklı aydınlatma şiddetleri ve farklı basınçlar için GaAs katodun negatif diferansiyel (NDD) dirençli akım voltaj karakteristikleri: $L = 323$ μ m, $R = 9$ mm..... 88
- Şekil 5.16. Farklı elektrot çapları için karanlıkta GaAs katodun negatif diferansiyel dirençli (NDD) akım voltaj karakteristikleri. $L = 323$ μ m, $R = 9-22$ mm..... 89
- Şekil 6.1. Yarıiletken katotlu gaz boşalması hücresi 93
- Şekil 6.2. Farklı p basınçlarında kuvvetli aydınlatma şiddeti için (K_2) fotokatodun farklı R çaplarında KÖ görüntü çevirici hücreden yayınlanan ışık emisyonunun $2D$ davranışı. Boşalma aralığının kalınlığı $L = 45$ μ m 95

Şekil 6.3. Farklı p basınçlarında fotokatodun farklı R çaplarında KÖ görüntü çevirici hücreden yayınlanan ışımaya şiddetinin 3D grafikleri. Boşalma aralığının kalınlığı $L = 45 \mu\text{m}$	96
Şekil 6.4. Farklı p basınçlarında kuvvetli aydınlatma şiddeti için (K_2) fotokatodun farklı R çaplarında KÖ görüntü çevirici hücreden yayınlanan ışık emisyonunun 2D davranışı. Boşalma aralığının kalınlığı $L = 93 \mu\text{m}$	97
Şekil 6.5. Farklı p basınçlarında fotokatodun farklı R çaplarında KÖ görüntü çevirici hücreden yayınlanan ışımaya şiddetinin 3D grafikleri.Boşalma aralığının kalınlığı $L = 93 \mu\text{m}$	98
Şekil 6.6. Farklı p basınçlarında kuvvetli aydınlatma şiddeti için (K_2) fotokatodun farklı R çaplarında KÖ görüntü çevirici hücreden yayınlanan ışık emisyonunun 2D davranışı. Boşalma aralığının kalınlığı $L = 143 \mu\text{m}$	99
Şekil 6.7. Farklı p basınçlarında fotokatodun farklı R çaplarında KÖ görüntü çevirici hücreden yayınlanan ışımaya şiddetinin 3D grafikleri.Boşalma aralığının kalınlığı $L = 143 \mu\text{m}$	100
Şekil 6.8. Sabit elektrotlar arası uzaklık ($L = 45 \mu\text{m}$) için fotokatodun çapına göre maksimum ışımaya-basınç grafiği.....	103
Şekil 6.9. Sabit elektrotlar arası uzaklık ($L = 93 \mu\text{m}$) için fotokatodun çapına göre maksimum ışımaya-basınç grafiği.....	104
Şekil 6.10. Sabit elektrotlar arası uzaklık ($L = 143 \mu\text{m}$) için fotokatodun çapına göre maksimum ışımaya-basınç grafiği.....	105
Şekil 6.11. Sabit elektrotlar arası uzaklık ($L = 323 \mu\text{m}$) için fotokatodun çapına göre maksimum ışımaya-basınç grafiği.....	106
Şekil 6.12 (a,b,c) Farklı p basınçlarında düzlemsel bir boşalma hücresinin ışımaya şiddetinin davranışı: a) Karanlık; b) zayıf aydınlatma şiddeti K_1 ; c) kuvvetli aydınlatma şiddeti K_2 . Boşalma aralığının L kalınlığı $45 \mu\text{m}$ ve elektrot alanlarının çapı $R = 22 \text{ mm}$ dir.....	107
Şekil 6.13. CCD Kontrol Şeması.....	111
Şekil 6.14. KÖ görüntü çeviriciden elde edilen görüntünün deseni.....	111
Şekil 6.15. KÖ görüntü çeviricinin akım voltaj karakteristiği.....	112

- Şekil 6.16-6.23. CCD kamera ile görüntülenen bir homojen öz dirençli plakalı hücredeki farklı besleme voltaj değerleri için alınan ışık emisyonlarının $2D$ ve $3D$ görüntüleri. Detektörün çapı $R = 10$ mm, diğer parametreler ise $p = 100$ Torr, $L = 100$ μm 115
- Şekil 6.24. Farklı K aydınlatma şiddetleri için gaz boşalma hücresindeki ışık emisyonunun üç boyutlu filamentasyon desenleri:
(a) $K_1 = 4 \text{ mWcm}^{-2}$; b) $K_2 = 1.2 \text{ mWcm}^{-2}$. Katodun çapı $R = 20$ mm, $p = 67$ Torr, $L = 80$ μm , $U_0 = 2.2$ kV dur 118
- Şekil 6.25. Yarıiletken katotlu bir sistem için çevirici hücredeki akımının zamana göre değişimi..... 120
- Şekil 6.26. CCD kamera ile görüntülenen plakadaki filament desenleri 122
- Şekil 6.27. Yayınlanan ışımının yoğunluk dağılımı. Kararsızlığın sonucu olarak temelde iki tip desen ortaya çıkabilir: a) hexagonal desen b) şerit desen. $p = 107$ Torr dur; ve a) $U_0 = 1,886$ kV, b) $2,142$ kV 123
- Şekil 7.1. Yarıiletken gaz boşalma yapısındaki ışımının spektrumu..... 127
- Şekil 7.2. Hava ortamında gaz boşalma aralığının spektral çizgilerinin şiddetinin basınca bağlılığı..... 129
- Şekil 7.3.a) Basıncın fonksiyonu olarak sabit elektrotlar arası uzaklık $L = 45$ μm ve sabit elektrot çapı $R = 22$ mm için KÖ görüntü çeviriciden yayınlanan maksimum ışımının $2D$ davranışı b) Elektrot alanlarının farklı çapları R ve katodun farklı σ iletkenlikleri için maksimum ışımının basınca göre $3D$ değişimi. Gaz boşalma aralığının kalınlığı $L = 45$ μm 130
- Şekil 7.4. Yarıiletken gaz boşalma sisteminin (1) ve yarıiletken katodun (2) spektral karakteristiği..... 131
- Şekil 7.5. Yarıiletken gaz boşalma yapıli sistemin katodunun cilalanmış yüzeyi için (1) ve zımpara tozu ile işlenmiş yüzeyi için (2) spektral karakteristikler..... 132
- Şekil 7.6. Gaz boşalma ışımının görüntüleri. (a) Yarıiletken katodun cilalanmış; (b) zımpara tozu ile işlenmiş yüzeyi ve (c) işlenmiş yüzeyin çap boyunca profili $U = 850$ Volt..... 133

SİMGELER ve KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
λ	Dalgaboyu
j	Akım yoğunluğu
dn/dt	Parçacıkların üretim hızı
α	Townsend'in birinci iyonizasyon katsayısı
γ	Townsend'in ikinci iyonizasyon katsayısı
τ	Taşıyıcı ömrü
U_b	Kararlılığın bozulduğu voltaj
K_{max}	Aydınlatma şiddeti
μ	Taşıyıcı hareketliliği
k	Soğurma katsayısı
p	Basınç
L	elektrotlar arası uzaklık
R	elektrot alanının çapı
ρ	öz direnç
σ	iletkenlik
K_1	zayıf aydınlatma şiddeti
K_2	kuvvetli aydınlatma şiddeti
L/R	elektrotlar arası mesafenin elektrot alanının çapına oranı
$2D$	iki boyut
$3D$	üç boyut
U_K	kırılma voltajı
n_e	elektron yoğunluğu
p_e	iyon yoğunluğu
U_o	besleme voltajı

U_g	gaz boşalma aralığına düşen voltaj
U_s	yarıiletkene düşen voltaj
I_{max}	maksimum akım
R_{max}	maksimum radyasyon
I_{Br}	kırılma voltajına karşılık gelen akım değeri
r	boşalma-dış devre sisteminin direnci
C	boşalma-dış devre sisteminin kapasitansı
r_d	boşalmanın diferansiyel direnci
γ_{eff}	etkin ikincil emisyon katsayısı
SI	arıyalıtkan
E_c	kritik elektrik alan
ϵ	geçirgenlik
D	difüzyon katsayısı
E_{th}	eşik elektrik alan
V_{th}	eşik voltajı
U_o	besleme voltajı

Kısaltmalar**Açıklama**

KBI	Kararlı boşalma ışması
AVK	Akım-voltaj karakteristiği
GBS	Gaz boşalma sistemi
NDD	Negatif diferansiyel direnç
KÖ	Kızılötesi
TEE	Transfer edilmiş elektron etkisi
UV	Ultraviyole
YGBY	Yarıiletken gaz boşalma yapısı
GŞT	Görüntü şiddetlendirici tüp
EL2	Derin donör kusuru

1. GİRİŞ

Bu araştırmanın temel hedefi teknolojik bir ürün oluşturmak üzere Kızılötesi görüntü (KÖ) çeviriciyi geliştirmek ve optimize etmek ve yarıiletken katotlu gaz boşalma hücresinin fiziksel süreçlerini daha ayrıntılı anlamaktır. Uzaysal çözünürlüğün optimasyonu, KÖ çeviricinin duyarlılığının artırılması bizim araştırmamızın başlıca konularını oluşturmaktadır. KÖ çevirici ile oda sıcaklığında vücudumuzun parçalarını kaydetmek mümkündür. İlk deneyler çok basit deneysel düzeneklerle yapılmıştır.



Şekil 1.1. KÖ görüntü çevirici ile kaydedilen elin görüntüsü

Bu basit deneysel düzenek ile ana hatları kaydedilebilen yukarıdaki elin görüntüsünden, görüntülerin kalitesinin artırılması gerektiği anlaşılmaktadır. Elektro optik görüntü çeviricilerin kullanımına dayalı olan geleneksel yüksek hızlı fotoğrafıma teknikleri bilimsel ve teknolojik çalışmalarda geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Bu teknikler görünür, ultraviyole ve yakın KÖ spektral bölgelerinde (1) çok verimlidir. Fakat kullanımına doğal bir sınırlama gelmektedir. Fotokatotlar $\lambda \approx 1.3 \mu\text{m}$ den daha yüksek dalga boylarında duyarlılıklarını kaybetmektedir.

KÖ spektral bölgede çalışan yeni tip KÖ görüntü çevirici Kasymov ve Paritskii (2) tarafından önerilmiştir. Bu sistemin çalışma prensibi ışığa duyarlı yarıiletken elektrot vasıtasıyla küçük gaz boşalma aralığı boyunca akım akışının kontrolüne dayanır. Çevirici yapısındaki boşalma şartlarının değerlendirilmesi, akım yoğunluğunun geniş bir bölgesinde boşalmanın Townsend tipi boşalma olduğunu gösterir. Böyle bir boşalmada gaz boşalma aralığındaki yüklü parçacıkların yoğunluğu düşüktür; bu nedenle aralıkta elektrik alanın bozulması ihmal edilir (3-4). Genellikle Townsend

tipi boşalmanın 10^{-6} A mertebesinde oldukça düşük akımlarda meydana geldiği bilinmektedir.

Yarıiletken katotlu gaz boşalma hücresinin çalışma prensibini anlamak için, gaz boşalma sistemlerinde oluşan akım akışının bazı temel mekanizmalarını anlamak gerekir. Gaz boşalma aralığı üzerine düşük voltaj uygularsak, piko amper seviyesinde akım oluştuğunu gözlemleyebiliriz. Bu voltaj değerlerinde gözlenen doyum akım değeri, metal elektrotların yüzeyinde veya boşalma aralığının içinde yük taşıyıcılarını oluşturan dış radyasyonun akım yoğunluğuna bağlıdır. Voltaj arttıkça, elektrik alanda ivmelenen elektronların kinetik enerjisi artar ve voltajın belirli bir değerinde çarpma iyonizasyonu sonucu oluşan iç taşıyıcıların çoğalma süreci önemli rol oynamaya başlar. Bu süreç, voltajın fonksiyonu olarak akımın üstel artışına yol açar. Buna rağmen, iç süreçlerle oluşturulan taşıyıcıların oranı, bu taşıyıcıların rekombinasyon oranından daha azdır. Bu gerçek, akımın dış radyasyon tarafından kontrol edildiğini gösterir. Bu tip boşalmalara "*kendini besleyemeyen boşalma*" denir.

Sonuç olarak, voltaj biraz daha arttırılırsa, taşıyıcı oluşumu, rekombinasyon oranından fazla olmaya başlar. Kırılma (breakdown) voltajında boşalma, kendini besleyemeyen boşalmadan, kendini besleyen boşalmaya geçer. Artık akım, dış elektriksel devre tarafından kontrol edilmeye başlar. Akım yoğunluğunun bazı bölgelerinde boşalma aralığı boyunca voltaj düşüşü akımdan bağımsızdır (Bknz Şekil-2.1). Bu boşalma modu "Townsend Boşalması" olarak adlandırılır. Fiziksel açıdan bu boşalmanın en önemli özelliği, elektrotlar arası aralıkta bulunan uzay yük etkisinin düşük olması ve elektrotlar arasındaki elektrik alanının bozulmasına yol açmamasıdır. Diğer bir karakteristik özellik ise, homojen akım yoğunluğunun, akım yönüne dik olmasıdır. Işımanın dalga boyu, aralıkta bulunan gaza bağlı olmasına karşın, boşalma aralığından yayınlanan ışık emisyonu da homojendir. Daha sonra yarıiletken katotlu gaz boşalama hücresinin çalışma prensibinin, Townsend boşalmasının bazı özelliklerine bağlı olduğunu göreceğiz. Metal elektrotlu boşalma sistemlerinin tersine yanal olarak uzatılmış bir YGB (yarıiletken gaz boşalma) yapısının boşalma aralığında voltaj düşüşü lokalize edilmiştir. Böyle yapılar akım

filamentasyonuna karşı daha kararlıdır çünkü akım yoğunluğunun (j) homojen olmayan bir dalgalanması sisteme empoze edildiğinde elektrik alanın teğetsel bileşeninin ortaya çıkmasının sebep olduğu negatif geri besleme orada mevcuttur. Sonuç olarak dalgalanma türü kararsızlıklar meydana gelmeyebilir. Direnç dağılımlı bir elektrodun varlığı, iyonizasyon aşırı ısınma tip kararsızlıkların gelişimine etki eder. Ref (5) ve (6) da gösterildi ki Townsend boşalmalı bir YGB yapısında direnç dağılımlı elektrot, kararsızlığın gelişim hızını azaltır ve bu şartlar altında kararsızlığı tamamen bastırabilir.

Townsend tipi boşalmaların dinamik özelliklerini incelemeye ilgi, gaz boşalma fiziği alanındaki bilginin artırılmasına ve teknik sistemlerde bu tip boşalmanın kullanımı ile bağlantılı pratik problemleri çözmeye yardım etme ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Ele alınan görüntü çeviricideki boşalmanın dinamik karakteristikleri, fotodedektöre ya pulslu KÖ ya da pulslu besleme voltajı uygulayarak incelenebilir. Yarı yalıtkan GaAs (SI-GaAs) daki lineer olmayan elektronik taşıma özellikleri ile ilgili ayrıntılı bilgilere deneylerimiz sonucunda ulaşılmıştır. Yine deneylerimizde Paschen Kanununun $U_K = f(pL)$ şeklinde olmadığını $U_K = f(pL, L/R)$ şeklinde ifade edilmesi gerektiğini bulduk. Yani kırılma voltajı sadece pL ye değil L/R ye de bağlıdır.

KÖ çeviricinin avantajları ve uygulama alanları şu şekilde sıralanabilir:

- 1,1 μm ile 11 μm aralığındaki spektral duyarlılığı,
- Uygulama alanına bağlı olarak nanosaniye sınırına inebilen yüksek zamansal çözünürlüğü,
- mm başına 16 çizgiye kadar çıkan uzaysal çözünürlüğü,
- Düşük maliyetli deney seti.

Bunların sonucu olarak, KÖ görüntü çevirici aşağıda sıralanan uygulama alanlarında kullanılabilir:

- Hızlı uzaysal çözünürlükteki termografik ölçümler,
- KÖ lazer ışığı profillerinin analizi,
- Hasarsız test etme,
- Oksitlenme (paslanma) süreçlerinin belirlenmesi,
- Lazer ışığı kaynağının görüntülenmesi.

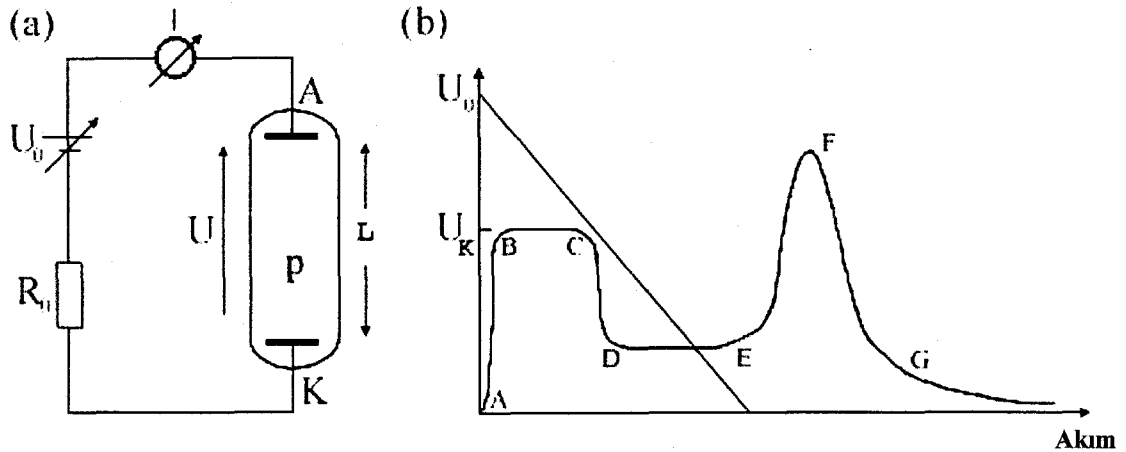
2. YARIİLETKEN GAZ BOŞALMA SİSTEMİNİN TEMELLERİ

Desenlerin kendiliğinden oluşan süreçlerin sonucu olarak meydana gelmesi, termodinamik dengeden uzak bir sistemde oluşur; ki bunların davranışları lineer olmayan kurallarla belirlenir. Bu karakteristikleri sergileyen fiziksel sisteme örnek yarıiletken gaz boşalma sistemidir. Tüm sistemin davranışı gaz boşalması ve yarıiletken elektrodun karakteristikleri tarafından belirlenir. Sistemden düzenli akım akışı, sadece yeterince yüksek bir elektrik alanda gaz ortamında yük taşıyıcılarının üretimi ile mümkündür. Sistemde oluşan bu süreçler gaz boşalmasının lineer olmayan davranışının sebebidir; ki bu da akım-voltaj karakteristiğini düzenler.

Yarıiletken elektrodun yapıldığı malzeme oda sıcaklığında bile çok az iletkenliğe sahip olan SI (semi-insulating) GaAs dır.

2.1. Kısmen İyonlaşmış Gazlarda Akım Akışı

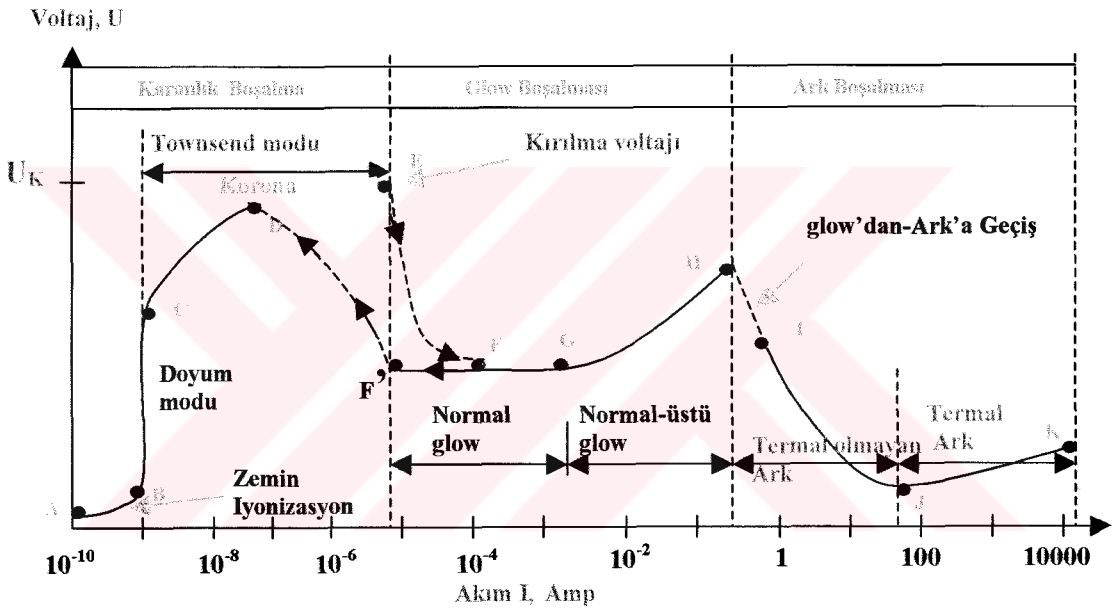
Şekil 2.1 (a) basit bir gaz boşalma düzenineğini göstermektedir.



Şekil 2.1 (a) Bir gaz boşalması deneyinin temel yapısı;

(b) Gaz boşalmasının şematik akım-voltaj karakteristiği; bu karakteristik logaritmik biçime sahiptir ve bu grafikte farklı durumdaki boşalma şartları sunulmaktadır. Bunlar şöyledir: AB: bağlı (kendi-kendine olmayan boşalma); BC: Townsend karanlık boşalması; CD: normal-altı glow boşalması; DE: Glow boşalması; EF: normal-üstü glow boşalması ve FG: ark boşalması

Aralarındaki uzaklık L olan iki elektrot [Anot (A) ve Katot (K)] arası p basıncında bir gaz ya da gaz karışımı ile doldurulmuştur. R_o direnci U_o voltajını sağlayan bir gerilim kaynağına bağlanmıştır. Boşalma akımı (I) ve boşalma voltajı (U) elektrotlar arasında ölçülen önemli değişkenlerdir. Şekil 2.1(b) bir gaz boşalmasının akım-voltaj karakteristiğinin genel sürecini şematik olarak ve akım değerleri ile göstermektedir. Gerçek durum dış devre tarafından belirlenmektedir. En basit durumda bu sadece ohm direnci R_o dir. Bu karakteristik, boşalmanın olduğu farklı şartları gösteren pek çok bölgeye (Şekil 2.2) ayrılabilir.



Şekil 2.2. Gaz boşalma bölgelerini gösteren diyagram

Şekilde, üç genel boşalma bölgesi şekilde görülmektedir bunlar: *karanlık boşalma bölgesi*, *glow boşalması* ve *ark boşalmasıdır*. Bu genel bölgelerin her biri çok ilginç durumları içerir.

Karanlık boşalma

Akım voltaj karakteristiğindeki A ve E arasındaki bölge karanlık boşalma olarak adlandırılır; çünkü korona boşalması ve kırılmanın kendisi hariç boşalma gözle görülemez.

A-B: Sürecin *zemin* iyonizasyon safhasında uygulanan elektrik alan, background radyasyonun oluşturduğu iyonizasyon sonucu oluşan elektron ve iyonları sürükler. Kozmik ışınlar, radyoaktif mineraller ve diğer kaynakların background radyasyonu, havada atmosfer basıncında sabit ve ölçülebilir düzeyde iyonizasyon meydana getirir. Uygulanan elektrik alanda iyonlar ve elektronlar zayıf bir akım oluşturarak elektrotlara doğru hareket ederler.

B-C: Eğer elektrotlar arasındaki voltaj yeterince artırılırsa, sonuçta tüm elektron ve iyonlar sürüklenirler ve akım doyuma ulaşır. Doyum bölgesinde voltaj artarken akım sabit kalır. Akım ışımaya lineer olarak bağlıdır.

C-E: düşük basınçlı boşalma tüpü boyunca uygulanan voltaj C noktasının ötesine artırılırsa, akım exponansiyel olarak artacaktır. Elektrik alan şimdi yeterince yüksektir böylece gaz içindeki mevcut elektronlar nötr bir atomu iyonlaştırmak için anoda ulaşmadan önce yeterince enerji kazanırlar. Elektrik alan daha da kuvvetli olursa, ikincil bir elektronda elektron ve iyon üretiminde bir çığa yol açarak nötr bir atomu iyonlaştırabilir. Akımın exponansiyel olarak arttığı bu bölgeye *Townsend boşalması* denir.

D-E: Yüksek elektrik alan bölgelerinde, Townsend karanlık boşalmalarında meydana gelen *korona boşalmaları*, sivri noktaların, keskin kenarların ve tellerin yakınında elektrik kırılmadan önce meydana gelirler. Eğer koronal akımlar çok yüksekse, korona boşalmaları teknik olarak gözle görülebilir "*glow boşalmaları*" olabilir. Düşük akımlar için, karanlık boşalmalarla uygun olarak tüm korona karanlıktır.

E: Elektriksel kırılma iyon ya da foton çarpması sonucu katottan yayınlanan ikincil elektronlar dolayısıyla, Townsend modunda meydana gelir. U_K kırılma voltajında, akım $10^4 \div 10^8$ lik bir çarpanla artabilir ve genellikle sadece plakalar arasına bağlanan güç kaynağının iç direnci ile sınırlandırılır. Eğer güç kaynağının iç direnci çok yüksekse, boşalma tüpü gazın kırılması için yeterli akımı süremez ve gaz korona modunda kalır. Eğer güç kaynağının iç direnci oldukça küçükse, gaz U_K voltajında kırılmaya uğrayacaktır ve normal glow moduna girecektir. Belirli bir gaz ve elektrot

malzemesi için kırılma voltajı Paschen kanunu olarak ifade edilen pL çarpımına bağlıdır.

Glow boşalması: glow boşalma modu, adını plazmanın parlak olmasından alır. Gaz ışık verir çünkü elektronların enerjisi ve yoğunluğu uyarıcı çarpışmalarla görünür ışığa yapmaya yetecek kadar yüksektir.

F-G: E' den F' ye süresiz geçişten sonra, gaz *normal glow moduna* girer; ki bu modda voltaj akımdan hemen hemen bağımsızdır. Bu modda elektrodun akım yoğunluğu toplam akımdan bağımsızdır. Bu şu anlama gelir; düşük akımlarda plazma katot yüzeyinin çok küçük bir kısmı ile kontak halindedir. Eğer akım F den G ye artarsa, plazma G noktasında tüm katot yüzeyini kaplayıncaya kadar, plazma tarafından işgal edilen katot kesri artar.

G-H: normal-üstü glow modunda katot akım yoğunluğunu doğal değerinin üzerine çıkarmak ve istenen akımı sağlamak için voltaj, toplam akım arttıkça önemli ölçüde artar. G noktasından başlayıp sola hareket edilirse, akım-voltaj karakteristiğinde bir histeris biçimi gözlenir. Boşalma, oldukça düşük akımlarda kendini korur (devam eder) ve F noktasındakinden daha büyük akım yoğunluklarında Townsend bölgesine doğru gerisin geriye geçiş yapar.

Ark boşalmaları

H-K: H noktasında elektrotlar o kadar sıcaktır ki katot, termiyonik olarak elektron salar. Eğer DC güç kaynağı yeterince düşük iç dirence sahipse, boşalma glow-ark geçişine uğrar (H-I). I dan K ya kadar olan bölge ark boşalmasıdır ki boşalma voltajı burada akım arttıkça azalır ta ki J noktasında büyük akımlara ulaşıncaya kadar. Bu noktadan sonra voltaj, akımla birlikte yavaş yavaş artar.

“Çalışma doğrusu” $U = U_o - R_o I$ ile verilir ve bu doğru ile gaz boşalma karakteristik eğrisinin kesiştiği yer *çalışma noktası* olarak adlandırılır. Şekil 2.1(b) deki AB bölgesi tesadüfen (mesela kozmik ışınlar veya doğal radyoaktivite) üretilen yük

taşıyıcıları tarafından oluşturulur ve *kendini besleyemeyen boşalma* olarak adlandırılır. Burada elektrik alan, gaz ortamındaki nötr parçacıkların yük taşıyıcıları tarafından iyonlaştırılmasına izin vermeyecek düzeydedir.

Yük taşıyıcıları tarafından sözü edilen dış etkilerin oluşturulması sadece belirli bir sabit oranla meydana gelir [doyum bölgesinde]. Başlangıçta voltaj arttıkça (bağımlı modda) akımın artışı devam eder; voltaj belirli bir değeri aştıktan sonra akım artışa devam etmez çünkü üretilen bütün yük taşıyıcıları soğurulmuştur. Bağımlı moddaki akım 10^{-10} A den daha küçüktür. Belirli bir kritik voltaj değeri aşıldıktan sonra boşalma bağımsız moda [Şekil 2.1(b) deki BC bölgesi] geçer. Bu durum *Townsend karanlık boşalması* olarak adlandırılır; böyle bir boşalmayı sağlamak için aşılması zorunlu olan eşik değerine U_K *kırılma voltajı* denir.

Eğer birim zamanda katottan sökülen elektronların sayısı N_0 ise, anoda doğru bir elektron çığı gelişir:

$$\frac{dN}{dx} = \alpha N \quad [2.1]$$

ve
$$N(x) = N_0 \exp(\alpha x) \quad [2.2]$$

elde edilir; ki burada α gaz hacminde çarpma iyonizasyonu sonucu yük taşıyıcılarının oluşumunu ifade eder. N elektronların sayısını gösterir. N_0 ise katotta $x = 0$ da elektronların sayısıdır. $\exp(\alpha L)$ terimi gaz çoğalmasını (amplifikasyonunu) gösterir. Eğer katottaki ($x = 0$) fotoakım $i_0 = e N_0$ ise, o zaman ikincil emisyonun yokluğunda anotta kaydedilen akım,

$$i = i_0 \exp(\alpha L) \quad [2.3]$$

Katottan ayrılan bir elektron, $\exp(\alpha L) - 1$ iyonlarını üretir. Eğer elektrotlar arasına uygulanan voltaj kırılma voltajından daha büyükse, kendini-besleyen boşalma meydana gelir. Kendiliğinden bir boşalmanın gerçekleşebilme şartı şu şekilde yazılır (3):

$$\gamma[\exp(\alpha L) - 1] = 1 \quad [2.4]$$

α ve γ katsayılarına Townsend' in 1. ve 2. katsayıları denir. Birinci Townsend katsayısı indirgenmiş (E/p) büyüklüğüne bağlıdır ve asal olmayan gazlar için

$$\alpha(E/p) = A \exp\left(\frac{-Bp}{E}\right) \quad [2.5]$$

yazılabilir. A ve B deneysel sabitleri boşalmanın olduğu gazın cinsine bağlıdır. Yük taşıyıcılarının yoğunluğu yeterince küçük olduğu sürece, boşalma hücresindeki elektrik alan çoğunlukla sabit ve uzay yükünün ihmal edilebilmesinden dolayı potansiyel karakteristikleri lineer olarak düşünülür. Bu nedenle Townsend boşalma modunda α katsayısı sabit olarak kabul edilir.

İkincil iyonizasyon katsayısı γ katoda çarparak elektron sökebilen iyonların kesrini göstermektedir. Bu katsayı katot materyaline, kullanılan gaza ve indirgenmiş alan kuvvetine bağlıdır. Katottan hareket eden bir elektron anoda doğru giderken $[\exp(\alpha L) - 1]$ iyonlarını üretir. Bağımsız (self-sustaining) bir boşalmayı sağlamak için bu iyonlar tarafından katottan koparılan elektronların sayısı en az 1 olmak zorundadır; ki bu durum $\gamma [\exp(\alpha L) - 1] = 1$ [2.4] şartıyla tam olarak ifade edilebilir. Kinetik enerjiye sahip iyonlar katoda çarptıklarında elektron sökemezler (katottan elektron yayınlanmaz) çünkü enerjileri elektron sökmek için çok küçüktür. Daha ziyade bir iyon katot yüzeyine yaklaşıncaya bir alan bozulmasına sebep olur ve bunun sonucunda da orada bir potansiyel bariyeri oluşur; bu bariyer küçük ve dardır. Böylece katottan yayınlanan bir elektron iyonun içine tünelleme ile girer ve onu nötr yapabilir. Bunun neticesinde serbest kalan enerji yeterince büyükse bir tane daha elektron katottan serbest kalabilir. Bu mekanizma soğuk katottan olan ikincil emisyonun en etkin biçimidir.

Kritik indirgenmiş alan kuvveti (alan gücü), E_K/p [2.4] ile ilişkili olan U_K voltajı [2.4] ve [2.5] bağıntılarından belirlenebilir. Eğer $U_K = E_K \cdot L$ bağıntısı dikkate alınırsa;

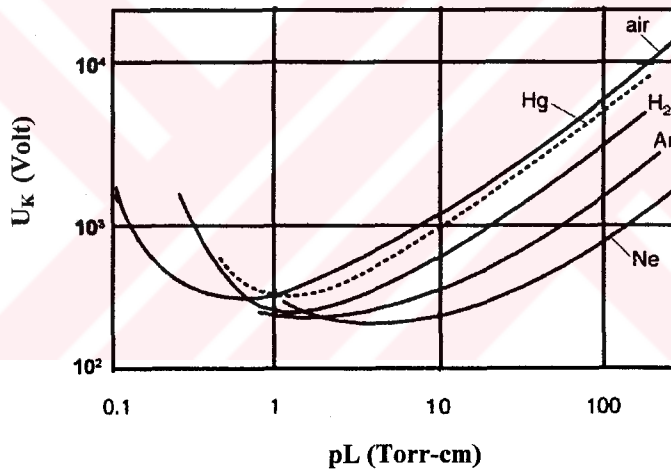
$$U_K = \frac{B(pL)}{C + \ln(pL)} \quad [2.6]$$

$$\frac{E_K}{p} = \frac{B}{C + \ln(pL)} \quad [2.7]$$

$$C = \ln\left(\frac{A}{\ln\left(\frac{1}{\gamma} + 1\right)}\right)$$

yazılabilir.

Eğer katot materyali ve gazın cinsi değişmeden kalırsa kırılma voltajı ve indirgenmiş alan kuvveti sadece pL ye bağlıdır. Boşalma uzunluğu ile gaz basıncının çarpımı olan pL benzerlik parametresi olarak adlandırılır; ve $U_K(pL)$ eğrisi de Paschen eğrisi olarak adlandırılır. Kırılma voltajı hem katot materyaline hem de gaz karışımının bileşimine bağlıdır.



Şekil 2.3. Çeşitli gazlar için Paschen eğrileri

$(pL)_{\min}$ da U_K kırılma voltajı bir minimuma ($U_{K,\min}$) sahiptir. [2.6] dan;

$$U_{K,\min} = \frac{\bar{e}B}{A} \ln\left(\frac{1}{\gamma} + 1\right) \quad [2.8]$$

$$(pL)_{\min} = \frac{\bar{e}}{A} \ln\left(\frac{1}{\lambda} + 1\right) \quad [2.9]$$

olur.

Minimumdaki $(E_K/p)_{\min} = B$ kritik indirgenmiş alan kuvveti, seçimi γ katsayısına bağlı olan katot materyalinden bağımsızdır. Bu minimumun sağında büyük pL değerleri için (E_K/p) yavaşça azalır ve bu nedenle U_K kırılma gerilimi pL ile hemen hemen lineer olarak artar. Bunun sebebi büyük gaz basıncında ya da büyük boşalma uzunluğunda; bir elektronun oldukça küçük indirgenmiş alan kuvvetinde bile yeterli sayıda çarpma iyonizasyon gerçekleştirebilmesidir. Diğer taraftan Paschen eğrisinin minimumunun sol tarafında da artan bir hat vardır. Bu durum azalan (pL) ile birlikte çarpma iyonizasyon ihtimalinin azalması gerçeğine dayanır. Yeterli güce ulaşılabilmesi için, yüksek bir alan gücüne ve yüksek bir gerilime ihtiyaç vardır.

Yük taşıyıcılarının kararlı üretiminden dolayı akım kırılmadan sonra neredeyse sabit kalan $U = U_K$ gerilimiyle artırılabilir. Townsend boşalmasında akım 10^{-10} ÷ 10^{-5} A arasındadır. Akımın gerçek büyüklüğü boşalmanın tesir kesitine bağlıdır.

Zayıf akım ile oluşan ışımaya da çok zayıftır ve fark edilemez ya da güçlülükle fark edilebilir. Şekil 2.1 (b) de ki karakteristikte C noktasının yakınında çok zayıf bir parıltı çıplak gözle görülebilir.

Townsend boşalmasında maksimum mümkün akım yoğunluğu basit bir düşünce tarzının yardımıyla tahmin edilebilir. Üstelik, gaz boşalmasının ürettiği uzay yüklerinin oluşturduğu elektrik alan bozulması sabit olarak düşünülmelidir. İyonların mobiliteleri elektronlarınkinden daha küçük olduğu için bunların yoğunlukları elektronların yoğunluklarından çok daha büyüktür ve boşalma akımı daha çok iyonlar tarafından taşınmaktadır. Bu şartlarda

$n_p \gg n_e$ ve $n_p \cong j/e\mu_p E$ olur; j ; boşalma akım yoğunluğu ve μ_p ; iyonların mobilitesidir; Poisson denkleminde elektrik alanın büyüklüğü

$$\frac{dE}{dx} = \frac{j}{\epsilon_0 \mu_p E} \quad [2.10]$$

ifadesinden elde edilir.

Gazdaki yük taşıyıcı yoğunluğu çok büyük olursa o zaman karanlık boşalma glow boşalması olarak adlandırılan [DE bölgesi Şekil 2.1(b)] boşalmaya geçer. Bu boşalmada var olan yük taşıyıcıları, elektrik alan sürecine ve potansiyele ihmal edilemeyecek şekilde etki eder. Bu durumda [2.4] eşitliği

$$\int_0^L \alpha(E/p) dx = \ln\left(\frac{1}{\gamma} + 1\right) \quad [2.11]$$

olur. Katottan önce “katot düşüşü” olarak adlandırılan olay meydana gelir; ki burada glow boşalmasında akım tesir kesitine bağlı olarak 10^1 A değerine kadar ulaşabilir (7).

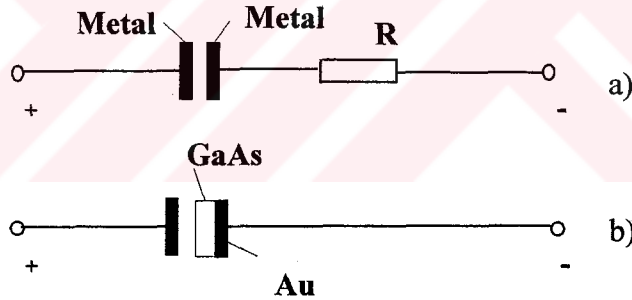
2.2. Yarıiletken Katotlu Gaz Boşalma Sistemi

Işığa duyarlı yarıiletken katotlu paralel gaz boşalma hücresinin davranışı (8,9) yarıiletken fiziği ve gaz boşalma fiziğinde yeni araştırma konularıdır. Gaz boşalma fiziğinde yaklaşık on yıldır, düşük dirençli elektrotlar arasında oluşan gaz boşalmaları üzerinde çalışılmıştır. Böyle bir gaz boşalma hücresinde elektrotlar arasındaki aralık boyunca geçen akım incelenerek birkaç basamak ve tipte gaz boşalmasının olduğu belirlenmiştir (10).

Metal veya ışığa duyarlı, uzaysal dağılmış yüksek dirençli tabaka gibi davranan yarıiletken, katot akım dağılımını ve optik parametreleri oldukça değiştirir. Her iki durum için elektrik şemaları Şekil 2.4 (a) ve Şekil 2.4 (b) de gösterilmektedir. Geçen akımın değerini ve gaz boşalmasının cinsini katodun direnç dağılımının düzenliliği ve kalınlığı belirler (11). İyonizasyon sistemi, geniş bir boşalma akımı değeri bölgesinde oldukça kararlı bir işleme sahiptir ve akım yoğunluğu elektriksel olarak homojen olan düzlemsel yarıiletkenlerde homojen ve sabittir. Bu davranış genellikle gözlenmez. Çünkü "yarıiletken-boşalma" yapısındaki deneysel sonuçlarda, filamentasyon (homojen olmayan akım yoğunluğu dağılımı) (12,13), uzaysal ve zamana bağlı daha karmaşık dağılım olduğu gözlenmiştir (14,15).

Yarıiletken ve gaz boşalma plazması arasındaki kontakta önemsiz ve tahribatsız bir elektronik olay oluşur. Yarıiletken plazma kontağı, üzerinde fazla çalışılmamış bir konudur. Gaz boşalma bölgesindeki akım yoğunluğu uzaysal dağılmış yüksek dirençli tabaka yani yarıiletkenin durumuna bağlıdır ve gaz boşalması ile yayılan ışımaya ve akımın her ikisini kontrol eder. Gaz boşalma ışımadaki ve akımındaki bölgesel değişimler, yarıiletken elektrodun fotoiletkenliğine ve dirençteki bölgesel değişimlere bağlıdır (16,17). Yukarıdaki sistem parametrelerini incelemek, kararlı boşalmanın pratikteki kullanımını için önemlidir.

Gaz boşalması olayının genel durumu hakkında deneysel veri ve yeterli denge teorisini kurmak için akım kararlılığına bağlı gaz boşalma parametreleri hakkında eksiklik vardır. Bu çalışmada basıncın, elektrotlar arası aralığın ve diğer parametrelerin etkilerinin sistematik incelemesi kararlı gaz boşalma durumu için yapıldı.

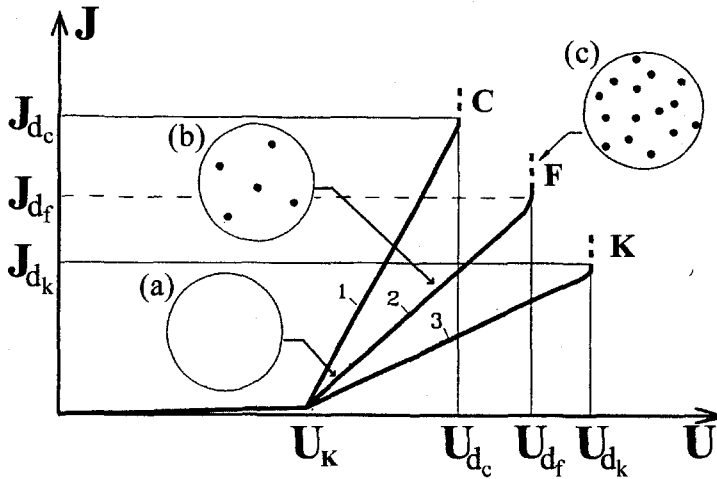


Şekil 2.4 (a) Metal elektrotlar ve seri dirençten oluşan, (b) metal-yarıiletkene sahip gaz boşalma hücresinin şematik diyagramı

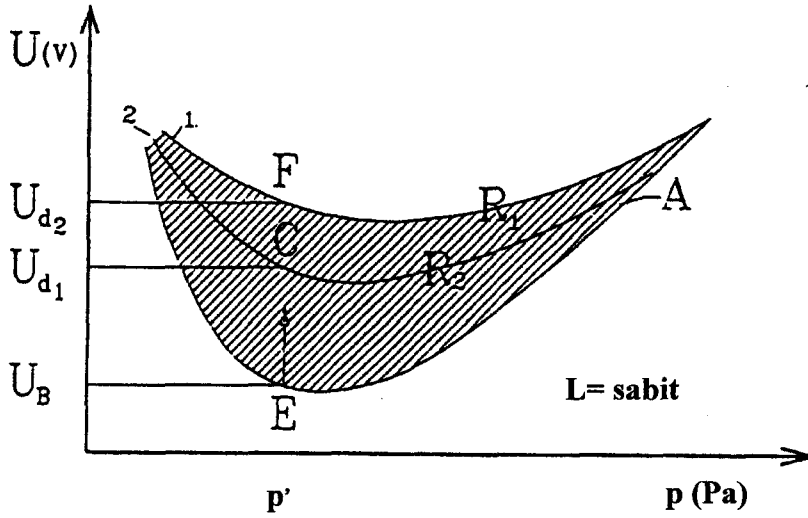
Farklı aydınlatma şiddetleri için bir yarıiletken katotlu gaz boşalma hücresinin akım-voltaj karakteristikleri (AVK) Şekil 2.5'de görülmektedir. AVK' lardan hesaplanabilen gaz boşalma hücresi parametreleri:

1. U_K voltajı, 2. Farklı aydınlatma şiddetinde yarıiletken katodun σ iletkenlik (veya ρ öz direnç) homojenliğinin değişimi ($\sigma = \frac{\partial j}{\partial U}$ veya $\rho = \frac{\partial U}{\partial j}$, burada j akım yoğunluğu), 3. Kararlı Boşalma Işımasının (KBI) bozulduğu U_b voltajı, 4. Bozulma voltajına ait akım değeri I_b dır.

Şekil 2.5 'den görüldüğü gibi, kırılma voltajından sonra elektrotlar arasındaki potansiyel düşmesi yaklaşık olarak sabittir ve elektrik alan yalnız yarıiletken katotta artar. Yarıiletken katodun, direnci yarıiletkenin kalınlığına bağlı ve $10^5 \div 10^8 \Omega$ aralığındadır. Elektrot yakınında gaz boşalma ışımalarının şiddeti Au-GaAs-hava aralığı-SnO₂ devresinin toplam direncine bağlıdır. Filamentasyon olayı, sadece yarıiletkenin direncinin, verilen bir kalınlık için belirli bir kritik değerden küçük olduğu zaman gözlenebilir (17). Şekil 2.5 deki 1, 2, 3, eğrileri yarıiletken katodun farklı aydınlatma şiddeti altındaki R_1, R_2, R_3 farklı dirençleri için AVK ları göstermektedir. C, F, K ise kararlı boşalma ışımalarının sonlarını (a), bozulmanın başlangıcını (b) göstermektedir. Şekil 2.6 gaz boşalma hücresinin kararlı haldeki durumunu göstermektedir, ki bu Şekil 2.5 deki AVK dan elde edilen bilgiden oluşmaktadır. Gaz boşalma hücresine uygulanan U voltajının p basıncına göre grafiği çizilmiştir. Gaz boşalmasının başladığı U_K voltajı, sabit L elektrotlar arası aralıkta (aydınlatma olmaksızın) Paschen eğrisi olarak bilinmektedir (18). Şekil 2.6 deki taralı alan kararlı boşalma ışımaları aralığını göstermektedir. Şekil 2.6 de K_1, K_2 farklı aydınlatma şiddetlerine göre fotoiletkenlik için iki farklı R_1, R_2 direnç değeri vardır. Belirli bir p' basıncında U_K voltajı A Paschen eğrisinden elde edilir (E noktası). Kararlı boşalma ışımaları sırası ile R_1, R_2 dirençleri için U_{d1} (C noktası) ve U_{d2} (F noktası) voltajlarının üzerinde gözlenebilir. Böylece F ve C noktadaki voltaj, R_1 ve R_2 için kararlılığın bozulmaya başladığını karakterize etmektedir.



Şekil 2.5. Farklı aydınlatma şiddetleri için yarıiletken katotlu düzlemsel gaz boşalma hücresinin tipik akım-voltaj karakteristiği



Şekil 2.6. Yarıiletken katotlu boşalma hücresinde kararlılığın olduğu bölgeyi gösteren şematik diyagram

2.3. Yarıiletken Katotlu Gaz Boşalma Sisteminde Akımın Davranışı

İyonizasyon sistemi, geniş bir gaz boşalma bölgesinde oldukça kararlı bir işleme sahiptir ve akım yoğunluğu elektriksel olarak homojen yarıiletken katot kullanıldığı zaman düzlemsel yapı üzerinde homojen ve sabittir. Bu davranış genellikle gözlenmez. Çünkü, “yarıiletken-boşalma” yapısındaki diğer deneysel sonuçlarda, filamentasyon (akım yoğunluğunun homojen olmayan dağılımı) (12,13), uzaysal ve zamana bağlı daha karmaşık dağılımlar olduğu gözlenmiştir (14).

Gazlardaki elektriksel boşalmaların katot bölgesinde görüntülenmesi son yıllarda bu boşalmalarda oluşan fiziksel süreçlerin çok karmaşık bileşenlerini tanımlayan veri ve denklemlerin ele alındığı yüksek hızlı ve büyük hafızalı bilgisayarların sayesinde artmıştır (19,20). Yukarıdaki sistem parametrelerinin incelenmesi kararlı boşalmanın pratik kullanımı için oldukça önemlidir (17).

Şimdilerde, olayın genel durumu hakkında deneysel veri eksikliği vardır, bu durum yeterli denge teorisini (stabilization theory) kurmak için temel olarak gaz boşalma parametreleri üzerindeki akım kararlılığına bağlıdır. Gaz boşalmasının kendi kendini beslediği durumda akımdaki sıkışmaya neden olan asıl mekanizma, moleküller ve atomik gazlardan oluşan iyonizasyon veya termal iyonizasyon kararsızlığıdır (21).

Filamentasyon, Townsend boşalmasından glow boşalmaya geçişin yani gaz boşalmasının tabiatındaki kendiliğinden değişiminin sebebidir. AVK daki negatif diferansiyel direnç etkisiyle oluşan Townsend boşalmasından glow boşalmasına geçişin uzay yükünün mutlak değer kriterine uygun olduğu düşünülmelidir. Elektrik alandaki bozulmanın derecesi, sabit alanlı durumla karşılaştırılabilir. Büyük genlikli gevşeme titreşimleri sadece normal bir katot noktası oluştuğu zaman son bulur (18). Minimum Paschen'ın sol tarafında, τ_{min} değeri pL' nin azalmasıyla belirgin bir şekilde artar. Sağ tarafta kararlı Townsend boşalması bölgesi, pL' nin artmasıyla çok küçük akımlara doğru değişir.

Bir kaç on $\mu\text{m}'$ lik elektrotlar arası aralık ve 0.5 mm kalınlıklı yarıiletkenin kararlı boşalması için gerekli olan öz direncin $10^6 \div 10^7 \Omega\text{cm}'$ ye eşit olduğu deneysel olarak bulunmuştur. Işığın etkisi altında, aydınlatmaya bağlı olarak direncin 3-4 kez azalması filamentasyonu etkilemez (22). Olayın nitel karakteristikleri şu şekildedir: Boşlukta oluşan dalgalanma ve ona eşlik eden akımda artış olur. Hareketlilikteki farklılıktan dolayı, yarıiletken-plazma aralığında yük toplanması meydana gelir. Negatif diferansiyel direnç bölgesi oluşur. Bu durum dalgalanmanın sönmesine ve voltajın düşmesine neden olur.

Gaz boşalma ışımalarının kararlılığı üzerine yarıiletken katodun direnç dağılımının etkisi, boşalma akımının dalgalanmasına neden olan direncin söndürme etkisiyle açığa çıkar (negatif geri besleme (23)).

Bu süreçteki mekanizmaya ait olan kararlılığın farklı kantitatif kriterleri ve iki farklı görüş noktası vardır. (19)' da aşırı ısıtmaya bağlı kararsızlığın hesaplanmasının

temelinde kararsızlıkların boşalma akımının filamentasyonunu belirlediği gösterilmiştir.

$$R_{yar} \geq R_{pl} \quad [2.12]$$

bağıntısı kararlılık şartı olarak kullanılmaktadır. Burada R_{yar} (yüzey alan başına) yarıiletkenin direnci ve $R_{pl} (= U_b / j)$ plazma direncidir. $U = pL$ ifadesinin sağ ve sol tarafı j ile çarpılarak aşağıdaki

$$U_{yar} \geq U_b \quad [2.13]$$

kararlılık şartı elde edilir. Burada U_{yar} yarıiletkene uygulanan voltajdır. Yarıiletkenin birim hacimdeki öz direnci için sınır değeri [2.12] eşitsizliğinden

$$\rho_{yar} \geq U_b / jL \quad [2.14]$$

olarak elde edilmektedir. Burada, L yarıiletkenin kalınlığıdır. Gaz boşalmasının azaldığı [2.12] eşitsizliğinden görülebilir. Büyük bir ρ değerine ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Farklı bir görüşe göre (17), kararlılık için AVK'nın fenomenolojik bir kabulü

$$\rho_{yar} \geq R_{NDR} / L \quad [2.15]$$

bağıntısına götürür. Buradaki R_{NDR} gaz boşalma hücresinin negatif diferansiyel direncidir. [2.14] eşitsizliği akımdan bağımsızdır ve genellikle dirençle seri bağlanan negatif diferansiyel dirençli derişik elementten dolayı AVK'daki monotonluk şartına benzerdir. R_{NDR} değerinin elektrot yüzeyinin durumuna ve emisyon kapasitesine bağlı olduğu deneysel olarak belirlenen belirli bir parametre gibi göz önüne alınmaktadır.

Genel bir ifadeyle, anot olarak bir yarıiletken kullanıldığında filamentasyon genellikle çok küçük voltajların uygulanması ile meydana gelir. Bu, muhtemelen katot yüzeyinin elektron bombardımanına bağlıdır. Bizim deneylerimizde gözlenen akım konsantrasyonu, yarıiletkeni tahrip edici bir etkiye sahip değildir.

Boşalmadaki filamentasyon mekanizması gaz boşalma sisteminde elektrotlar arasındaki akımda titreşimlerin ilerlemesine neden olur. Bu, yarıiletkenin yüzey durumuna yani, elektrotlar arası aralıkta salınan ısımanın şiddetli soğurulması için gerekli olan yarıiletken materyalin duyarlılığına ve özellikle uygulanan voltajın polaritesine, yarıiletkendeki dengede olmayan taşıyıcıların etkin yüzey rekombinasyon hızına, yarıiletken ve gaz boşalma plazması arasındaki ara yüzeyde dağılmış oksidin varlığına bağlıdır (17).

3. DENEYSEL SİSTEM

Bu deneysel çalışmada, KÖ görüntü çevirici sistemi kullanarak paralel düzlem elektrotlu gaz boşalma sisteminin akım-voltaj karakteristikleri geniş bir p (gaz basıncı), L (elektrotlar arası aralık) ve R (elektrot çapı) değerlerine bağlı olarak belirlendi, gaz boşalma sisteminde akımın davranışı incelendi, akımın kararlı olduğu bölgeleri belirleyerek, ışığın şiddeti artırılarak KÖ hızlı kaydetme yöntemlerinin duyarlılık ve çözünürlüğü arttırılmaya çalışıldı.

Şekil 3.1. de görüldüğü gibi KÖ görüntü çevirici sistemin deneysel düzeneğini oluşturan elemanlar; gaz boşalma hücresi, raylı sistem, karanlık kutu, fotoçoğaltıcı, ışık kaynağı, CCD kamera, mekanik vakum pompası ve manometredir.

Gaz boşalma hücresindeki elektrotlar arası aralığa ve gaz basıncına bağlı olarak akım-voltaj (A-V) ve radyasyon-voltaj (R-V) karakteristiklerinin belirlenmesinde, Dijital Multimetre (Keithley 199), Dijital Yüksek Gerilim Güç Kaynağı (Stanfort PS 325. 2500V-25 W) kullanılmıştır. Fotoçoğaltıcı yerine CCD kamera kullanılması sonucunda, gaz boşalma hücresinde elektrotlar arasında oluşan gaz boşalma ışımalarının görüntüsü kaydedilebilir.

Karanlık ve ışık altında A-V ve R-V ölçümlerinin ışıktan etkilenmeden yapılması için saç levhadan oluşan bir kutudan yararlanılmıştır. Işığın yansımaları engellemek için kutunun içi püskürtme ile siyaha boyanmıştır. Kutunun içine yerleştirilen ray üzerine gaz boşalma hücresi, fotoçoğaltıcı, silikon filtre ve mercekleri yerleştirmek için ileri-geri, sağa-sola hareketi sağlayacak tutucu ayaklar yerleştirilmiştir. Işık kaynağı, ucu karanlık kutunun sağ tarafından açılan delikten geçecek şekilde ray üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 3.1.). Işığın şiddetinin değişebilmesi için bir gerilim bölücü ışık kaynağına bağlanmıştır.

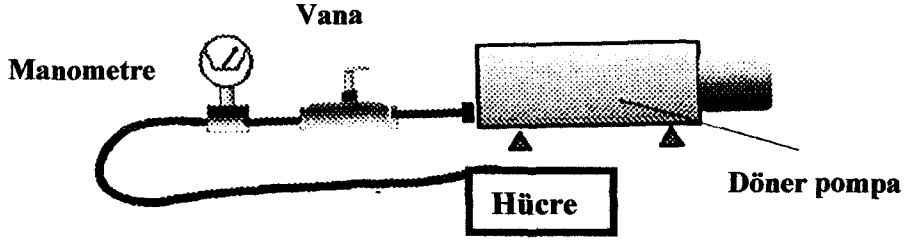
Şekil 3.1'de görüldüğü gibi "Kızılötesi Görüntü Çevirici" isimli deneysel düzeneği oluşturan elemanlar;

1. Karanlık kutu
2. Yük Çoğaltıcı Kamera (LI- μ CAM CCD, Lambert Instrument)
3. Görüntü Şiddetlendirici (I187 Image Intensifier, Lambert Instrument)
4. Görünür ışıma geçirgen filtre (Vis-Bandpass filter)
5. KÖ görüntü çeviricinin gaz boşalma hücresi
6. Si filtre
7. Mercek sistemi
8. Işık kaynağı (halojen lamba)
9. Manometre
10. Mekanik vakum pompası (GVD-050 A, ULVAC SINKU KIKU)



Şekil 3.1. KÖ görüntü çeviricinin fotoğrafı

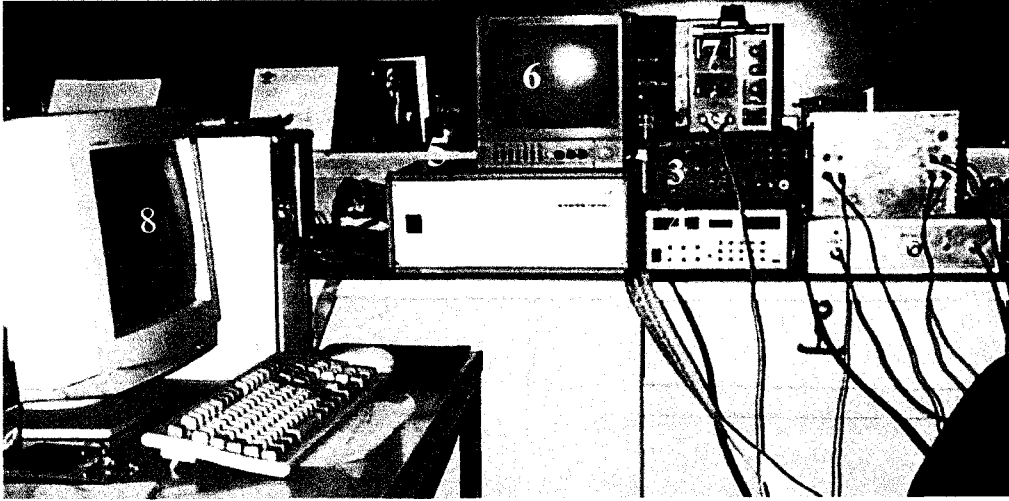
Vakum ortamında gaz boşalma ışmasını görüntülemek ve gerekli ölçümleri yapabilmek için gaz boşalma hücresinden yararlanılmıştır. Bu gaz boşalma hücresi Şekil 3.4. de görüldüğü gibi kurşun kalemin boyutları ile karşılaştırılabilecek kadar küçüktür. Gaz boşalma hücresindeki hava Mekanik Vakum Pompası (ULVAC SINKU KIKU GVD-050 A) ile boşaltılarak ortamın basıncı bir manometre yardımı ile ölçülmüştür (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Gaz boşalma hücresinin vakum sistemi

Gaz boşalma hücresinde elektrotlara yüksek voltaj uygulayabilmek için, gaz boşalma hücresinin etrafını sıkı saran polyamit ve onun dışına da pirinç metalden oluşan bir kılıf kaplanmıştır. Bu kılıfa elektriksel bağlantı uçları yapılmıştır. Fotoçoğaltıcıya yüksek voltaj sağlayan ve akımını yükselten ön yükseltici bir aygıt kullanılmıştır (Şekil 3.3.). Gaz boşalma hücresinden çıkan akımı düzenlemek ve ölçmek için Şekil 3.5. deki devre kullanılmıştır. Şekil 3.3’de deneysel düzeneği oluşturan elemanlar;

1. Direnç devresini içeren kutu (Şekil 3.5)
2. Fotoçoğaltıcıyı besleyen güç kaynağı
3. Dijital Yüksek Gerilim Güç Kaynağı (Stanfort PS 325. 2500V-25 W)
4. Dijital multimetre (Keithley 199)
5. CCD nin kontrol ünitesi
6. CCD den elde edilen görüntüleri gösteren monitör
7. Görüntü şiddetlendiriciyi besleyen güç kaynağı
8. Bilgisayar

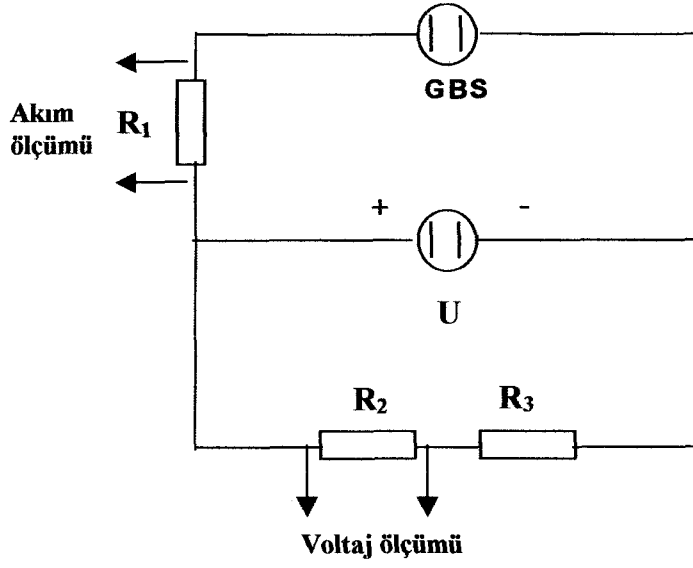


Şekil 3.3. Bilgisayar ile kontrol ve kumanda edilen deneysel sistemin ölçüm cihazlarının fotoğrafı



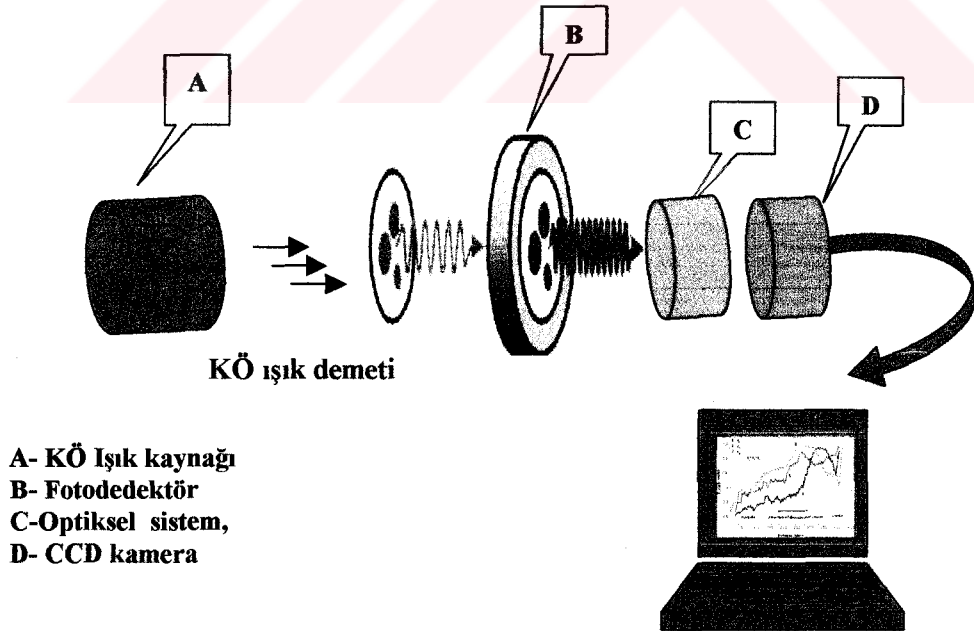
Şekil 3.4. Gaz boşalma hücresinin fotoğrafı

AVK ları ölçen devrede verilen R_1 direnci, gaz boşalma sisteminin akımını sınırlar. $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 10 \text{ M}\Omega$ 'dur. 1500 Voltluk potansiyele sahip ve 1 V hassasiyetli yüksek gerilim güç kaynağı gaz boşalma sistemindeki elektrotlara voltaj uygular. Kendi aralarında seri ve gaz boşalma sistemine paralel bağlı olan R_2 ve R_3 dirençleri, gaz boşalma sistemindeki elektrotların üzerine düşen gerilimi ölçmektedir. A-V ve R-V ölçümlerinde kullanılan dijital multimetre ve dijital yüksek gerilim güç kaynağı gibi ölçüm cihazları bilgisayara takılan A/D çevirici ve interface (IEEE) kartları sayesinde kontrol ve kumanda edilmiştir.

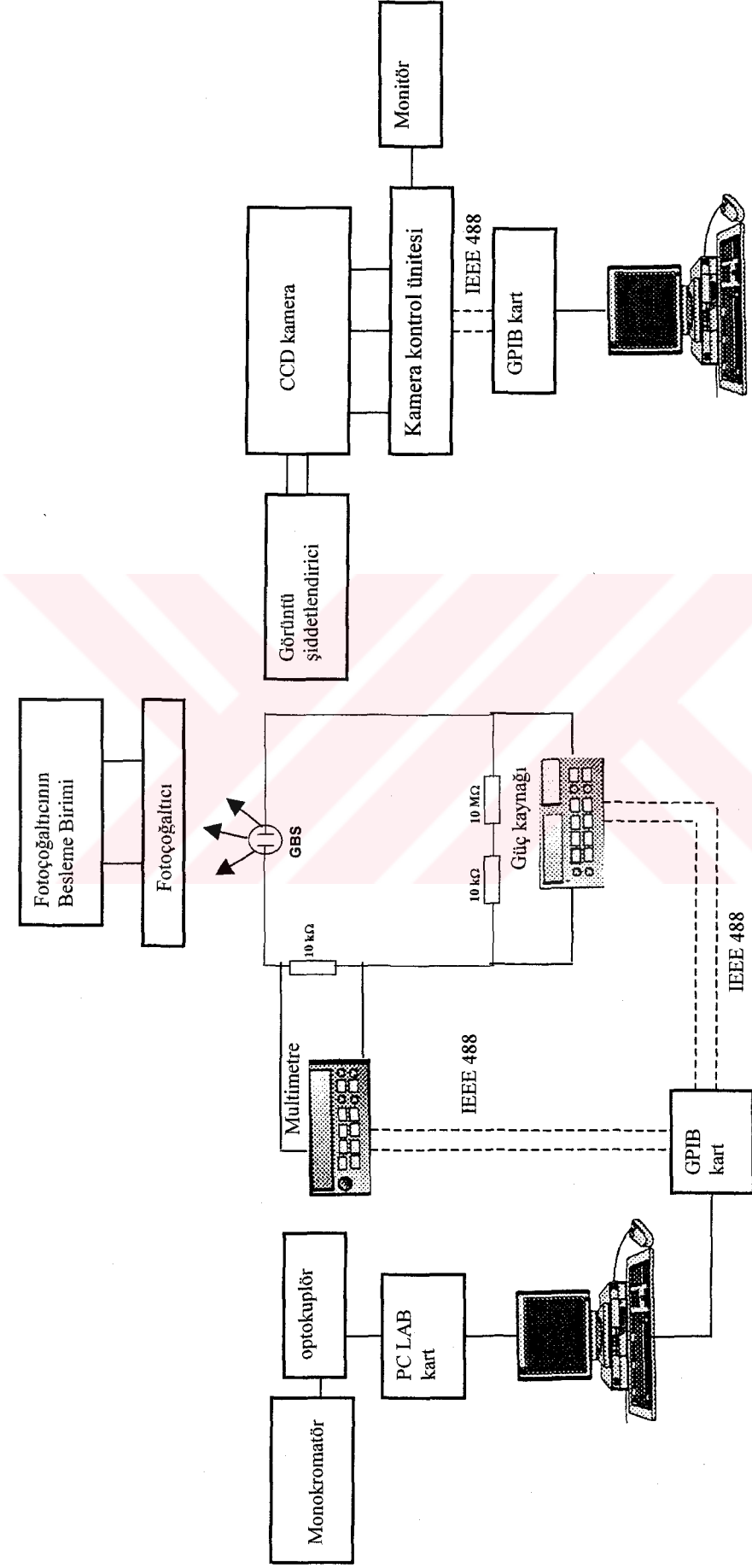


Şekil 3.5. Deneysel sistemin ölçüm devresi

Gaz boşalma hücreesinde oluşan ışımının bir kamera sayesinde film üzerinde kaydedilmesini sağlayan KÖ görüntü çeviricinin blok diyagramı Şekil 3.6.da verilmiştir.



Şekil 3.6. KÖ görüntü çeviricinin blok diyagramı

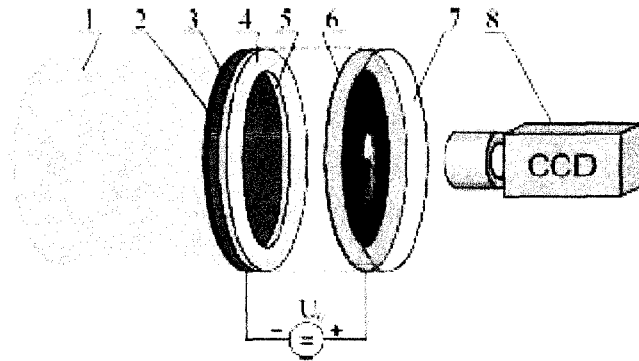


Şekil 3.7. Deneysel sistemi oluşturan cihazların şematik gösterimi

3.1. Deney

Deneyel sistem Şekil 3.8 de gösterilmektedir. Deneyel sistem bir optik tezgah üzerinde düzenlenmiş optiksel bir deneyel düzenek ve gaz boşlama aralığından ibarettir. Optiksel deneyel düzenek (detayları şekilde gösterilmiştir) yarıiletken katodu (3) aydınlatmada homojen bir ışık demeti (1) elde etmek için bir ışık kaynağı ve kolimatör içerir. Işık kaynağı olarak, gücü 150W a kadar olan bir halojen lamba kullanılır. Dijital yüksek gerilim güç kaynağı vasıtasıyla hücrenin elektrotlarına $0 \div 1500$ V aralığında gerilim uygulanabilir. Yarıiletken katot, akkor lambadan (1) çıkan ışığın önüne Si filtre (2) konularak $0.8 \mu\text{m} < \lambda < 1.6 \mu\text{m}$ dalga boylu ışınları geçiren ışık ile homojen olarak aydınlatıldı.

Yarıiletken, uzaysal dağılımlı bir direnç gibi davranır ve yarıiletkenin iletkenliği aydınlatma şiddetini ayarlayarak değiştirilebilir. Yarıiletken elektrodun dış yüzeyi, gaz boşalma hücre sine dc voltaj uygulamada kontaktardan biri olarak kullanılan yarı saydam altın tabaka ile kaplanmıştır. Gaz boşalma aralığının kalınlığı (5) [$L = 45 \div 330 \mu\text{m}$] ve $R = 5 \div 30$ mm çapı yalıtkan mika (4) tarafından oluşturulur ki; ki bu aralık $28 \div 550$ Torr luk p gaz basıncı bölgesinde ki bir gaz ile doldurulmuştur.



Şekil 3.8. Yarıiletken katotlu gaz boşalma hücre sinin basit şeması

Deneysel hava ortamında gerçekleştirilmiştir. Boşalma sonucu yayınlanan ışık, cam bir tabaka (7) üzerindeki saydam bir elektrot (6) boyunca bir CCD kamera (8) kullanarak gözlenmiştir. Yayınlanan gaz boşalma ışık emisyonu bir CCD kamera kullanarak kaydedildi. Bu kamera bir görüntü şiddetlendirici (image intensifier), bir CCD ve kontrol devrelerinden oluşmaktadır. CCD kamera bir bilgisayara bağlantılıdır. Uzaktan kumanda bilgisayarın önemli tüm parametreleri ayarlamasına imkan verir.

Çevirici hücreden gelen modüle edilmiş gaz boşalması ışık emisyonu, uzaysal ve homojenlik bilgisini yeniden elde etmek için dedekte edilmelidir. Bu görüntü şiddetlendiricinin girişindeki fotodedektörü görüntüleyerek gerçekleştirilir. Modüle edilmemiş görüntü, daha sonra CCD kameranın bir parçası olan görüntü sensörünün üzerine yansıtılır. Bu ya mercekler kullanarak ya da CCD formatındaki büyüklüğe görüntüyü getiren gittikçe incelen bir fiber optik görüntü rehberi aracılığıyla yapılır.

Biz, kameranın integre edilmiş bir parçası olan ve görüntü şiddetlendirici içeren LI- μ CAM dijital şiddetlendiricili CCD kamera kullandık. Şiddetlendirici fiber optik kablolarla minimum sinyal kaybını sağlayacak şekilde CCD (frame transfer, 774x580 pixels) ye birleştirilmiştir. Bu mod ve pekçok kamera parametresi tam intensifier kontrolüde dahil olmak üzere, GPIB arabirimini (Interface) kullanan bilgisayar kontrollüdürler. Bu arabirim, ölçümlerin kolay otomasyonuna izin vererek, görüntüleri doğrudan kameradan bilgisayardaki çerçeve hafızaya (frame memory) transfer etmede kullanılır. LI- μ CAM bilgisayar kontrolü ve GPIB görüntü transferi ölçüm ve hesap sırasını tamamen otomatikleştirmek için yazılımla (software) tamamlanır. Referans görüntü kaydedildikten sonra, kamera fotodedektör yüzeyine odaklandırılır ve boşalma ışık emisyonu kaydedilir.

Gaz boşalmasının ışımasından akım yoğunluğu dağılımı tahmin edilebilir (24). Saydam anot (6) ince iletken (SnO_2) tabakasıdır. Yarıiletken tabakanın dış yüzeyinin kalınlığı yaklaşık 40 nm olan Au film ile kaplanmıştır. Bu nedenle, yaklaşık 10% geçirgenlikle görünür ışığa saydamdır. SnO_2 nin tabaka direnci $15 \div 20 \text{ Ohm}/\square$ ve

geçirgenlikle görünür ışığa saydamdır. SnO_2 nin tabaka direnci $15 \div 20 \text{ Ohm}/\square$ ve Au filminin ki ise $10 \text{ Ohm}/\square$ mertebesindedir. Bu dirençler aydınlatma yokken GaAs tabakasının $1.7 \times 10^8 \text{ Ohm}/\square$ direnci ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilir. SnO_2 ve Au elektrot yüksek voltaj güç kaynağı U_o ve seri R_I direncini içeren dış elektronik devreye bağlantılıdır. Araştırılan boşalma modundaki maksimum boşalma akımı $100 \mu A'$ i aşmaz, sonuç olarak saydam anodun yarı çapı boyunca mümkün olan maksimum voltaj düşüşü oldukça küçüktür ve çalışılan yapıdaki akım desenine etkisi yoktur.

Gaz boşalma sisteminin katodu olarak doğal büyüme düzleminde kesilmiş, ($<100>$) yönelmeli yüksek öz dirençli ($\rho \approx 10^7 \text{ } \Omega\text{cm}$) n-tipi GaAs kristal plaka kullanıldı. Elektrotlardan biri yarıiletken ışığa duyar materyalden, diğeri saydam iletken bir tabaka ile kaplı camdan yapılmıştır. Saf GaAs $0.89 \mu\text{m}$ dalga boylu ışığa duyarlıdır. KÖ spektral bölgesinde fotoiletkenliği sağlamak için kullanılan yarıiletken materyal derin-seviye safsızlıkları ile katkılanır (25-27). Cr katkılı olduğu zaman duyarlılık $0.89 \mu\text{m}'$ den $1.3 \div 1.5 \mu\text{m}'$ ye yükselmektedir. Tüm ölçümler oda sıcaklığında yapıldı.

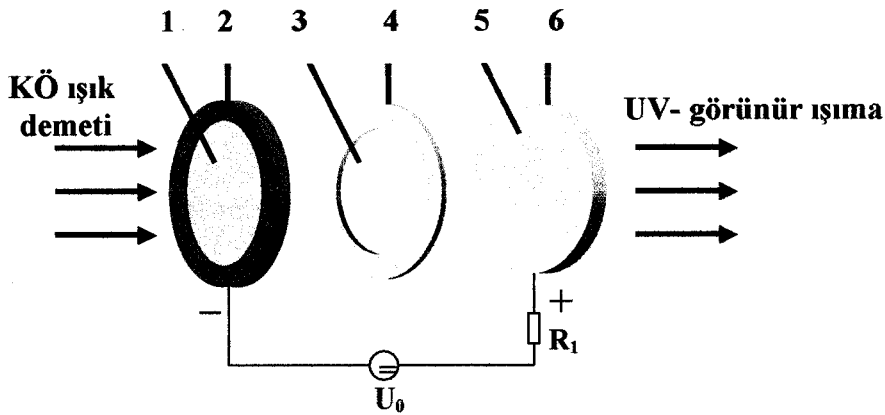
Yarıiletken elektrot (fotodetektör) $\approx 1 \text{ mm}$ kalınlığında ve $\approx 30 \text{ mm}$ çapında disk şeklinde üretilmektedir. Fotodetektörün yüzeylerinden biri boşalma bölgesine dönüktür. Yarı saydam elektriksel kontak fotodetektörün dış yüzeyinde oluşturulur. Sabit ya da pulslu bir voltaj yapının elektrotlarına uygulanır. Boşalma aralığının kırılma voltajını aşan bir uygulama voltajında, kendini besleyen boşalma başlar. Görüntü çeviricideki bir pencere vasıtasıyla bir KÖ görüntü fotodetektör düzlemine düşürülür ki bu da fotodetektörün lokal direncini değiştirir. Gelen KÖ radyasyonun şiddetine göre lokal akım yoğunluğunda ve gaz boşalma parlaklığında bir artış meydana gelir. Böylece KÖ görüntü gazın görünür ışımaya çevrilebilir; ve çeviricideki bir pencere vasıtasıyla gözlenebilir. Boşalma akım yoğunluğu yarıiletken detektörün aydınlatılması ile $10^{-6} \div 1 \text{ A/cm}^2$ bölgesinde değiştirilebilir. Böylece görüntüler KÖ radyasyon şiddetinin geniş bir dinamik bölgesinde kaydedilebilir (25-28). Bu şartlar altında sistemin akımı ya U_o' ı değiştirerek ya da yarıiletkenin yüzeyindeki saydam elektrot boyunca yarıiletken tabakanın uzaysal olarak homojen

aydınlatmasını değiştirerek kontrol edilebilir. Aydınlatma sonucunda serbest yük taşıyıcılarının konsantrasyonu safsızlık-bant ve bant-bant elektronik geçişleri dolayısıyla arttığı için ρ azalır. Böylece hem besleme voltajı hemde ışık şiddeti incelenen fiziksel sistemin bifurkasyon parametreleri olarak hizmet edebilir. Deneyde yarıiletken katodun p gaz basıncı ve iletkenliği sabitlenmiştir ve U_o uygulama voltajı 0 V dan itibaren yavaşça artırılır, böylece gaz tabakasındaki voltaj düşüşü artar. Gazda kırılma için U_o kritik voltaja ulaşır ulaşmaz; boşalmanın homojen tutuşması meydana gelir. Kritik voltajın değeri Paschen eğrisi olarak adlandırılan eğri tarafından belirlenir (29). U_o voltajını artırarak, boşalma akımı I kontrol edilebilir. Bu iki katlı yapı görünür ışığa duyarlı elektrotlar ile sınırlandırılmıştır. U_o voltajı artırıldığı zaman, boşalma süreci gaz dolu aralıkta gelişir. Buna karşılık gelen boşalma akımı gaz ışımasını başlatır. Yanal doğrultuda bunun uzaysal dağılımı cam tabaka boyunca gözlemlenebilir. Kırılmadan hemen sonra, boşalma kesitinden yayınlanan ışımada herhangi bir deseni tanımaya imkan vermez. Uygulama voltajındaki artış, ışımada uzaysal-zamansal osilasyonlar oluşuncaya kadar, gaz boşalma akımının ve gaz boşalma ışımalarının monotonik artışına yol açar. Şunu belirtmeliyiz ki U_o , gaz aralığı ve yarıiletken bileşen üzerindeki voltaj düşüşlerinin toplamıdır. Townsend boşalmasının karakteristik özelliklerinden biri akım değişirken boşalma bölgesindeki voltaj düşüşününün sabit olmasıdır.

4. YARIİLETKEN ELEKTROT İLE GAZ BOŞALMASININ UZAYSAL STABİLİZASYONU

4.1. İyonizasyon Tipli Yarıiletken Gaz Boşalma Yapısının Akım Voltaj Karakteristikleri

Gazlardaki elektriksel boşalma kuvvetli bir dengesizlik sürecidir. Bunun özellikleri çok çeşitlidir gaz içeriğine ve gazın basıncına; boşalma sisteminin geometrisine elektriksel güç besleme moduna v.b. ne bağlıdır. Örneğin, bir dc ya da yüksek frekanslı voltaj kaynağı tarafından beslenen veya bir mikrodalga elektromanyetik alan tarafından uygulanan boşalmaların kararlılığı oldukça farklı olabilir. Boşalma süreçlerinin bu özellikleri pratikte ve ayrıca desen oluşturma deneylerinde etkin olarak kullanılmaktadır (30). Şimdiki araştırmada Şekil 2.1 (bölüm 2) de gösterilen yapıda kendini besleyen boşalmayı sağlamak için bir dc voltaj kaynağı kullandık. Böyle bir boşalma çığ mekanizması dolayısıyla gaz hacmindeki çok sayıda yüklü taşıyıcıların çoğalması ve elektrot süreçleri tarafından desteklenmektedir. Büyük çaplı yarıiletken katodun boşalma sisteminin şeması Şekil 4.1 de gösterilmiştir. Sistemin özelliklerini belirleyen başlıca iki kısım yarıiletken ve gaz tabakasıdır. Yüksek dirençli ($\rho=10^8 \Omega\text{cm}$) SI GaAs katodun çapı 36 mm ve kalınlığı 1 mm dir (9).



Şekil 4.1. Gaz boşalma sistemi: 1 – yarısaydam Au kontak; 2 - GaAs katot; 3 – gaz boşalma aralığı; 4 – mika ; 5 – saydam iletken SnO_2 kontak; 6 - düz cam disk

GaAs ın aydınlatılan kısmına saydam iletken vakum evapirasyonlu *Au* tabaka kaplanmıştır. GaAs oda sıcaklığında (4) 1,42 eV luk bir band aralıklı direk yarıiletkenidir. Radyasyon soğurulduğu zaman elektronlar uyarılır ve valans banttan iletkenlik bandına geçişler yaparlar. İç fotoetki materyalin direncini düşürür. Anot saydam iletken *SnO₂* nin ince bir tabakası ile kaplanmış (30 mm çaplı ve 2 mm kalınlıklı) cam diskdir. Yarıiletken katodun karşı yüzeyi, merkezinde dairesel bir boşluk (3) bulunan yalıtkan mika tabakası (4) ile düz anottan ayrılmıştır. Cam disk ve yarıiletken plaka (yani hem katot hemde boşalma aynı alanları işgal eder) arasındaki aktif elektrot alanları *R* gaz boşalma aralığıdır; bunun genişliği tipik olarak 45 ve 330 μm arasındaki bölgede değiştirilmiştir. Yalıtıkandaki (4) dairesel boşluğun tipik çapları (*R*; yani aktif elektrot alanları) 5,9,12,18,22 mm dir. *Au* ve *SnO₂* elektrot dış elektrik devreye bağlantılıdır; ki bu yüksek voltaj bir dc U_0 kaynağı ve seri R_1 direncinden ibarettir. Hücremizde polyosteren anot ile katodun kısa devre olmasını önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Hücreden geçen akım, hücreye seri olarak bağlı (10 k Ω \pm 1) dış sınırlayıcı direnç boyunca voltaj düşüşünü ölçerek elde edildi.

Yarıiletken katotlu gaz boşalma hücresinde akımın davranışı *p* (28÷550 Torr) luk bir basınç bölgesinde, $L = 45\div330$ μm lik elektrotlar arası mesafe ve $R = 5\div22$ mm lik yarıiletken elektrotun farklı çapları için deneysel olarak incelenmiştir.

Boşalmanın kararlılığı ince boşalma aralıklı (31) bir deneysel düzenek kullanarak sağlanmıştır. Boşalma hücresi boyunca toplam *I* akımı ve elektrotlar arasındaki *V* voltaj düşüşü eş zamanlı olarak kaydedilmiştir.

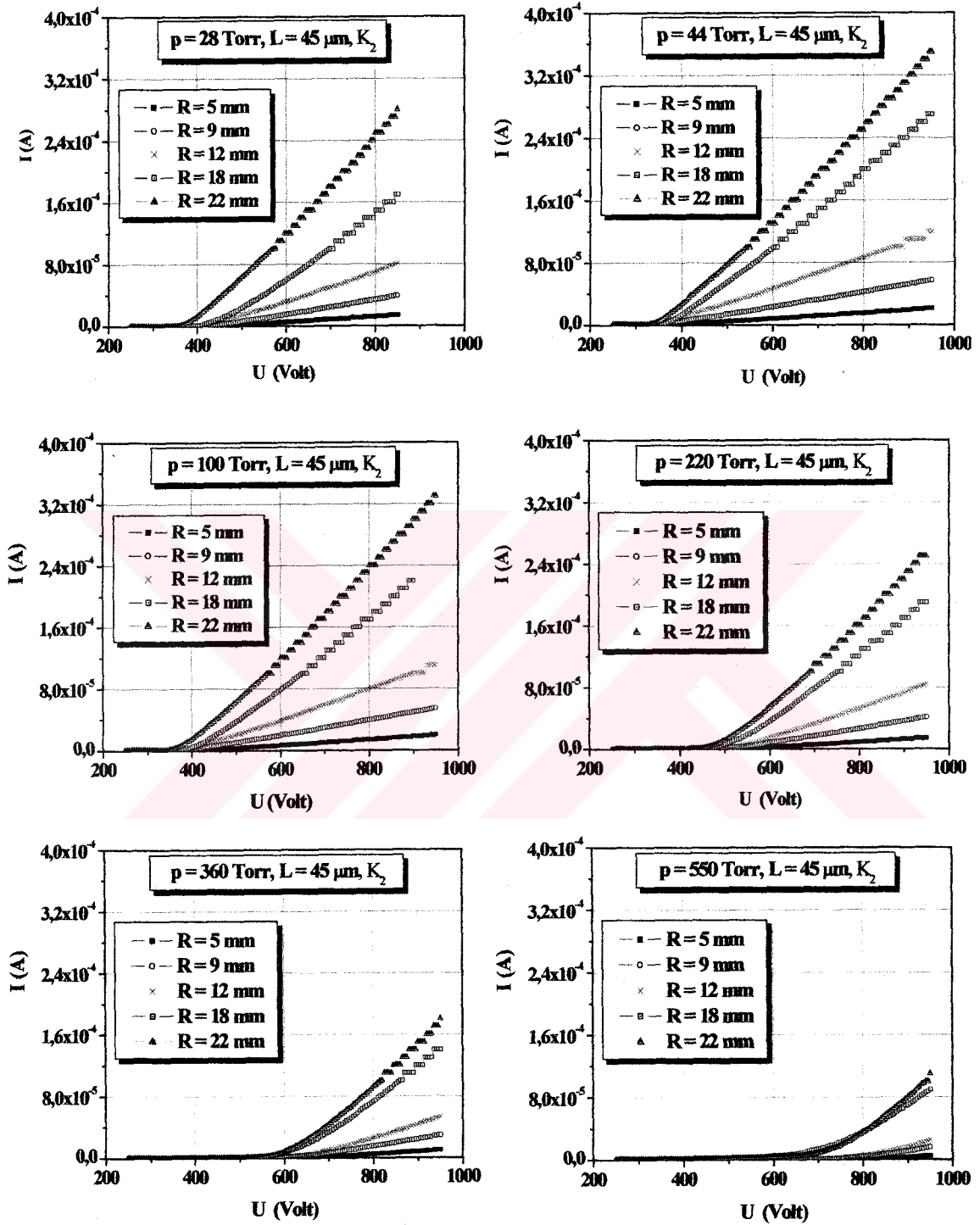
Uzaysal homojen aydınlatma sağlamak için, homojen bir demet basit bir optiksel düzenleme ile hazırlanmıştır. Maksimum aydınlatma şiddeti K_{max} 10^{-4} Wcm^{-2} civarındadır. Katoda gelen ışığın şiddeti filtrelerle değiştirilmiştir. KÖ bölgedeki GaAs ın iletkenliği *Cr* safsızlıklarına mal edilir. Yarıiletkendeki iç fotoetki mekanizması KÖ spektral bölgesinde (32) sistemin duyarlılığının geniş bir bölgesinden sorumludur. Hücrenin boşalma aralığı atmosferik oda basıncı ile

doldurulmuştur ve ölçümler oda sıcaklığında yapılmıştır. U_K kırılma voltajı ± 5 V doğrulukla ölçülmüştür. Kırılma voltajını belirlerken, boşalma voltajının büyüme oranı, $1V/s$ yi aşmaz. Akım eksenini için maksimum duyarlılık 10^{-9} Acm^{-1} dir ve voltaj eksenini için bu $0,5 \text{ Vcm}^{-1}$ civarındadır.

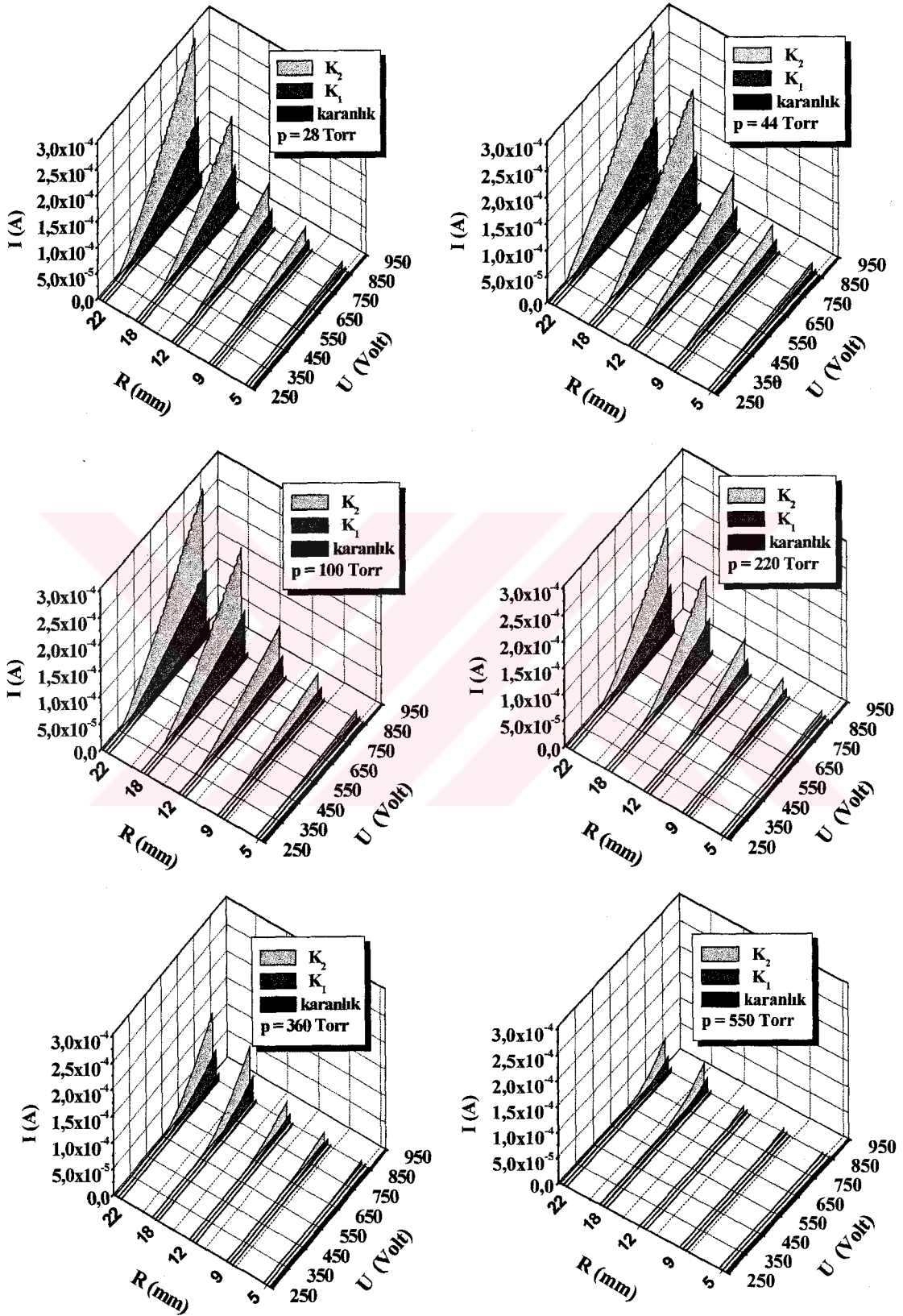
Bu kısımda, aşağıda belirtilen konularda ayrıntılı araştırmalardan elde edilen deneysel grafikler sunulmaktadır. Bunlar şu başlıklar altında sınıflandırılabilir:

- Akımın besleme voltajına bağıllığı
- Akımın yarıiletken elektrodun farklı çap değerlerine ve farklı elektrotlar arası uzaklığa ne şekilde bağıllı olduğu
- Akımın maksimum değerlerinin basınçla nasıl değıştiği ve basıncın bu değerlere olan etkisi
- Paschen eğrilerinin farklı çap ve elektrotlar arası mesafe için elde edilmesi
- Yarıiletken katotlu gaz boşalma hücresinde optimal şartların belirlenmesi
- U_K kırılma voltajının yeni bir parametre olan L/R oranına (elektrotlar arası mesafenin çapa oranı) bağıllığı

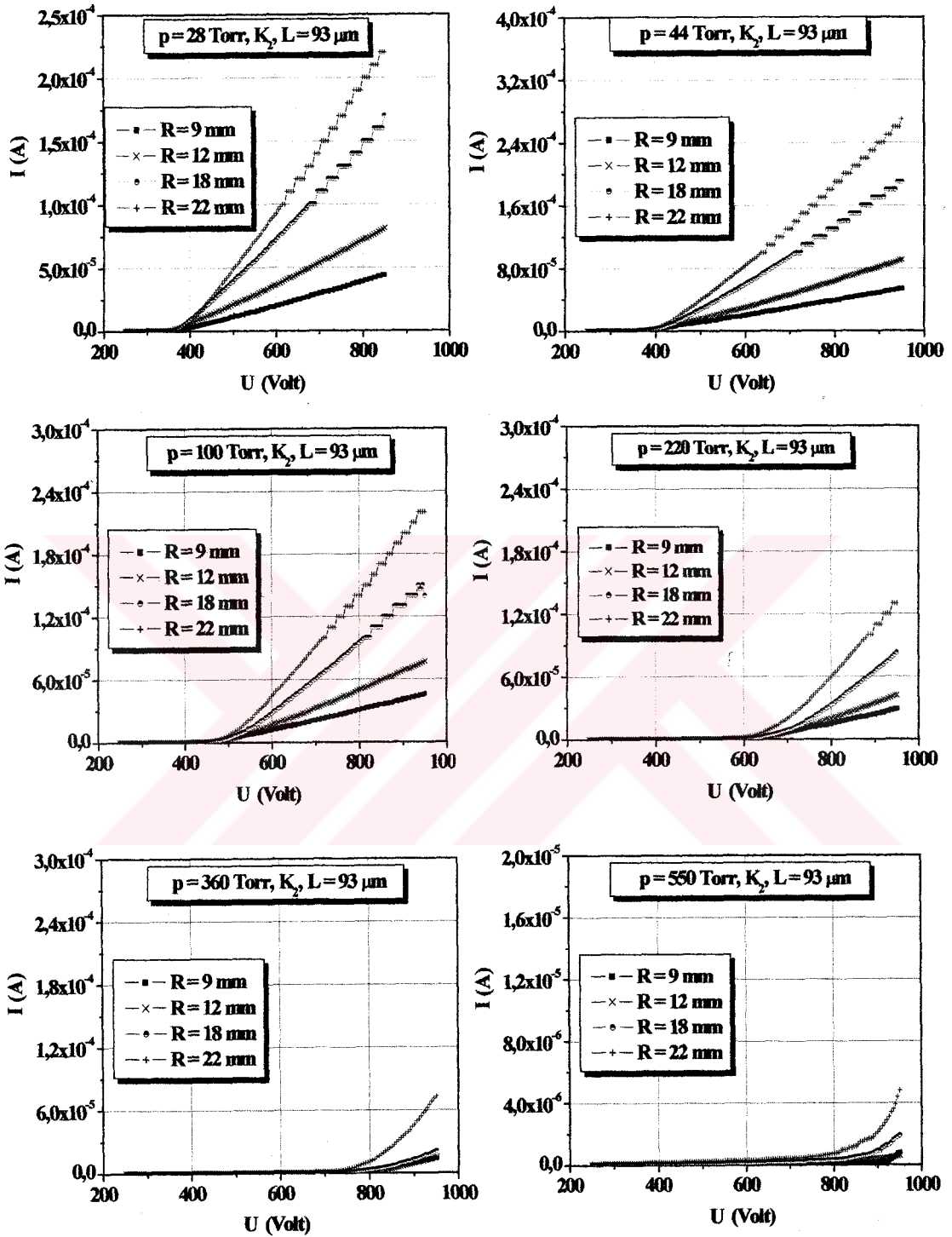
Akımın yarıiletken elektrodun farklı çap değerlerine ve farklı elektrotlar arası uzaklığına bağıllığını gösteren iki boyutlu (2D) ve üç boyutlu (3D) şekiller şu şekildedir:



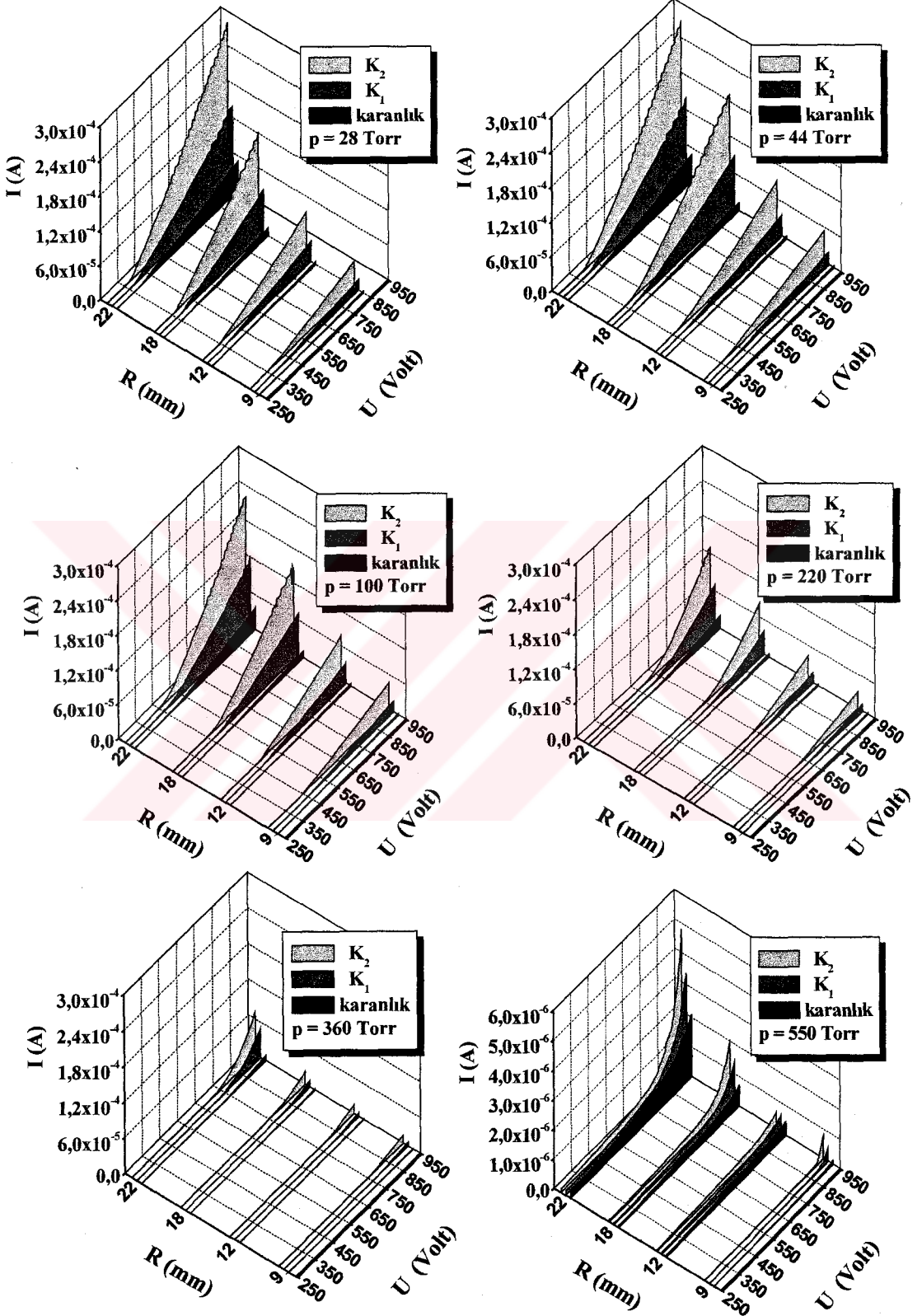
Şekil 4.2. $L = 45 \mu\text{m}$ lik sabit elektrotlar arası mesafe için yarıiletken katodun farklı çap değerlerinde kuvvetli aydınlatma şiddeti K_2 için Townsend boşalmasının 2D AVK ları



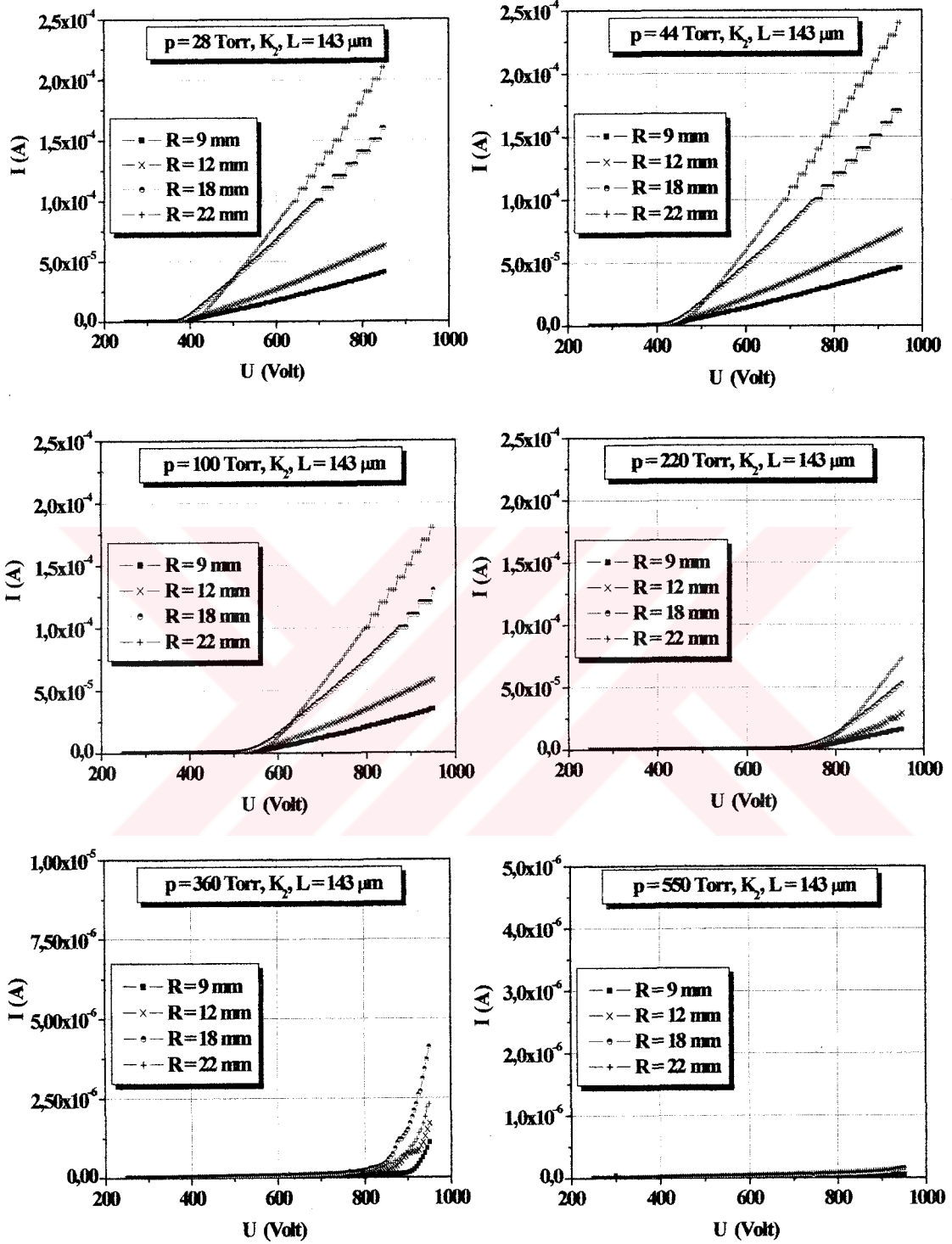
Şekil 4.3. $L = 45 \mu\text{m}$ lik sabit elektrotlar arası mesafe için yarıiletken katodun farklı çap değerlerinde Townsend boşalmasının 3D AVK ları



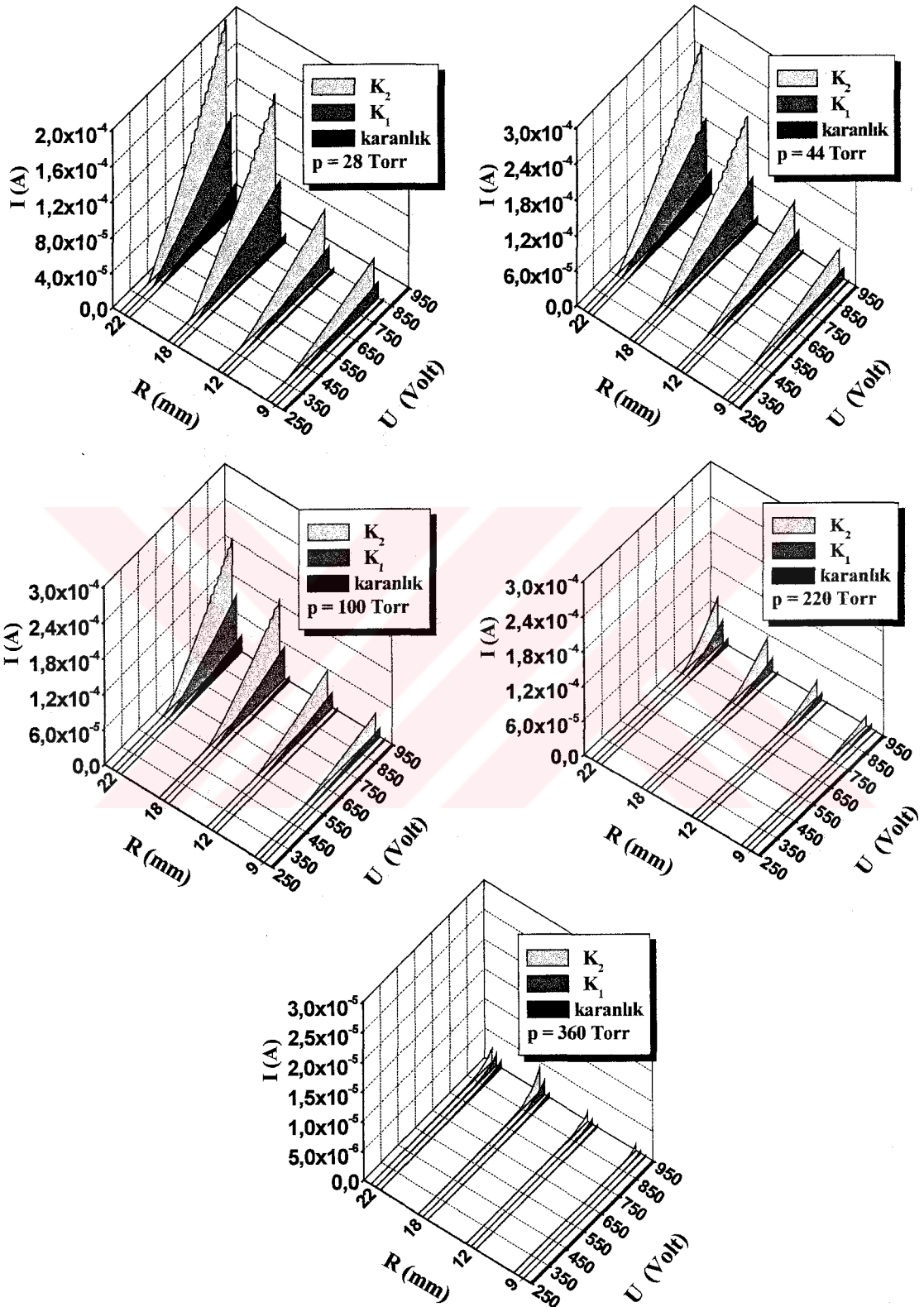
Şekil 4.4. $L = 93 \mu\text{m}$ lik sabit elektrotlar arası mesafe için yarıiletken katodun farklı çap değerlerinde kuvvetli aydınlatma şiddeti K_2 için Townsend boşalmasının $2D$ AVK ları



Şekil 4.5. $L = 93 \mu\text{m}$ lik sabit elektrotlar arası mesafe için yarıiletken katodun farklı çap değerlerinde Townsend boşalmasının 3D AVK ları



Şekil 4.6. $L = 143 \mu\text{m}$ lik sabit elektrotlar arası mesafe için yarıiletken katodun farklı çap değerlerinde kuvvetli aydınlatma şiddeti K_2 için Townsend boşalmasının 2D AVK ları



Şekil 4.7. $L = 143 \mu\text{m}$ lik sabit elektrotlar arası mesafe için yarıiletken katodun farklı çap değerlerinde Townsend boşalmasının 3D AVK ları

Elektronikte kullanılan yarıiletken materyaller yarıiletkenin elektriksel parametrelerinin değişimine kuvvetlice etki eden çok sayıda mikro ve makro kusurları içerir. Materyallerin nicel incelenmesi elektriksel parametrelerin ve yapısal kusurların uzaysal dağılımının bilinmesini gerektirir. Bu nedenle, geniş çaplı (40÷100 mm) yarıiletken plakaların homojenliklerini belirleme metotları elektronik endüstrisinde ve laboratuvar çalışmalarında büyük öneme sahiptir (31,32).

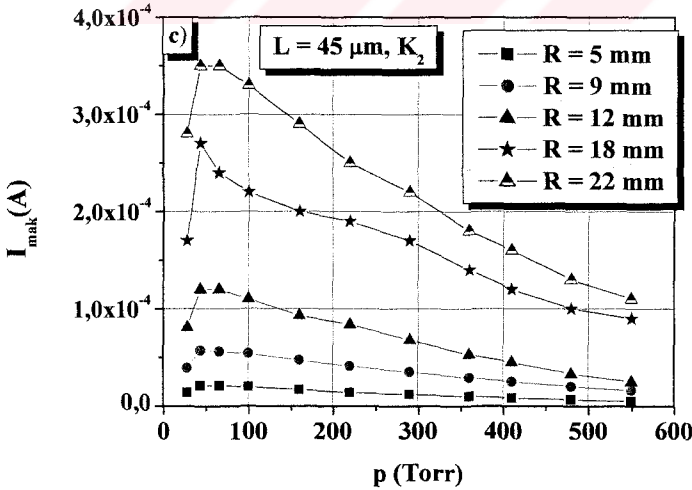
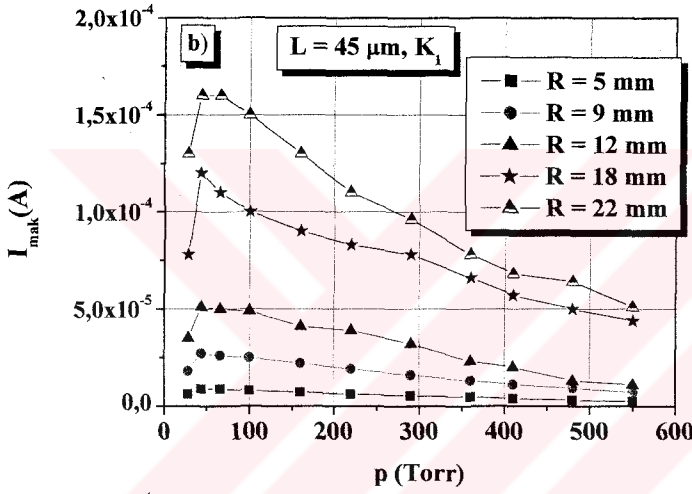
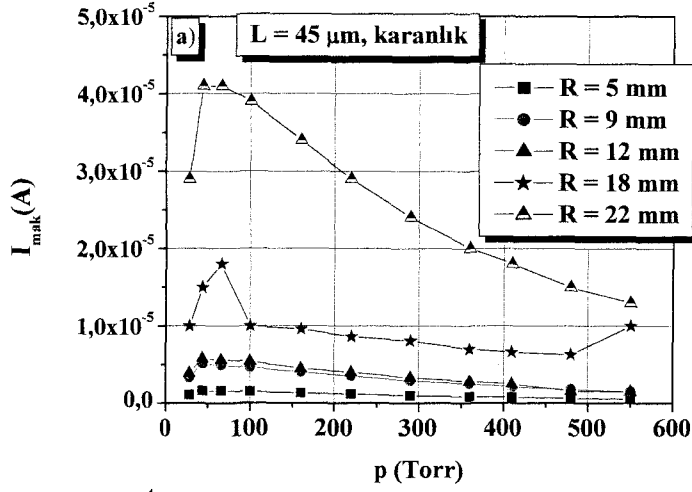
Farklı çap ve elektrotlar arası uzaklıklar için farklı basınçlarda çizilen akım-voltaj grafiklerden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Sabit elektrotlar arası ($L = 45 \mu\text{m}$) uzaklık için çap büyüdükçe akım değerleri büyümektedir. En büyük akım değeri ($3,5 \times 10^{-4} \text{ A}$) $p = 44 \text{ Torr}$ da $R = 22 \text{ mm}$ için, en küçük akım değeri ($5,2 \times 10^{-7} \text{ A}$) $p = 550 \text{ Torr}$ da $R = 5 \text{ mm}$ için elde edilmiştir.
- Aydınlatma şiddetine bağlı olarak akım değeri değişmektedir. En küçük akım değeri aydınlatma yokken; en büyük akım değeri ise aydınlatma şiddeti en büyük (K_2) olduğunda elde edilmektedir. Çünkü aydınlatma şiddetine bağlı olarak yarıiletkenin direnci değişmektedir. Aydınlatma şiddeti artırıldığında yarıiletkenin direnci küçülmekte buna bağlı olarak akım artmaktadır.
- Sabit bir çap değeri ($R = 9 \text{ mm}$) için elektrotlar arası mesafe arttıkça akım değeri küçülmektedir. En küçük akım değeri ($3,6 \times 10^{-9} \text{ A}$) $L = 143 \mu\text{m}$ için, en büyük akım değeri ($5,7 \times 10^{-5} \text{ A}$) $L = 45 \mu\text{m}$ için elde edilmiştir.
- Belli bir voltaj (340 Volt) değerine kadar akım değerleri çok küçüktür. Kırılma voltajından sonra akım voltaj değeriyle orantılı olarak artmaktadır. Elektrotlara uygulanan voltaj artırıldığı zaman, katottan yayınlanan elektronlar gaz içerisinde voltajın özel bir değeri için (kırılma değeri) var olan alan kuvveti nedeniyle mobiliteilerinin belirlediği ortalama bir hızla

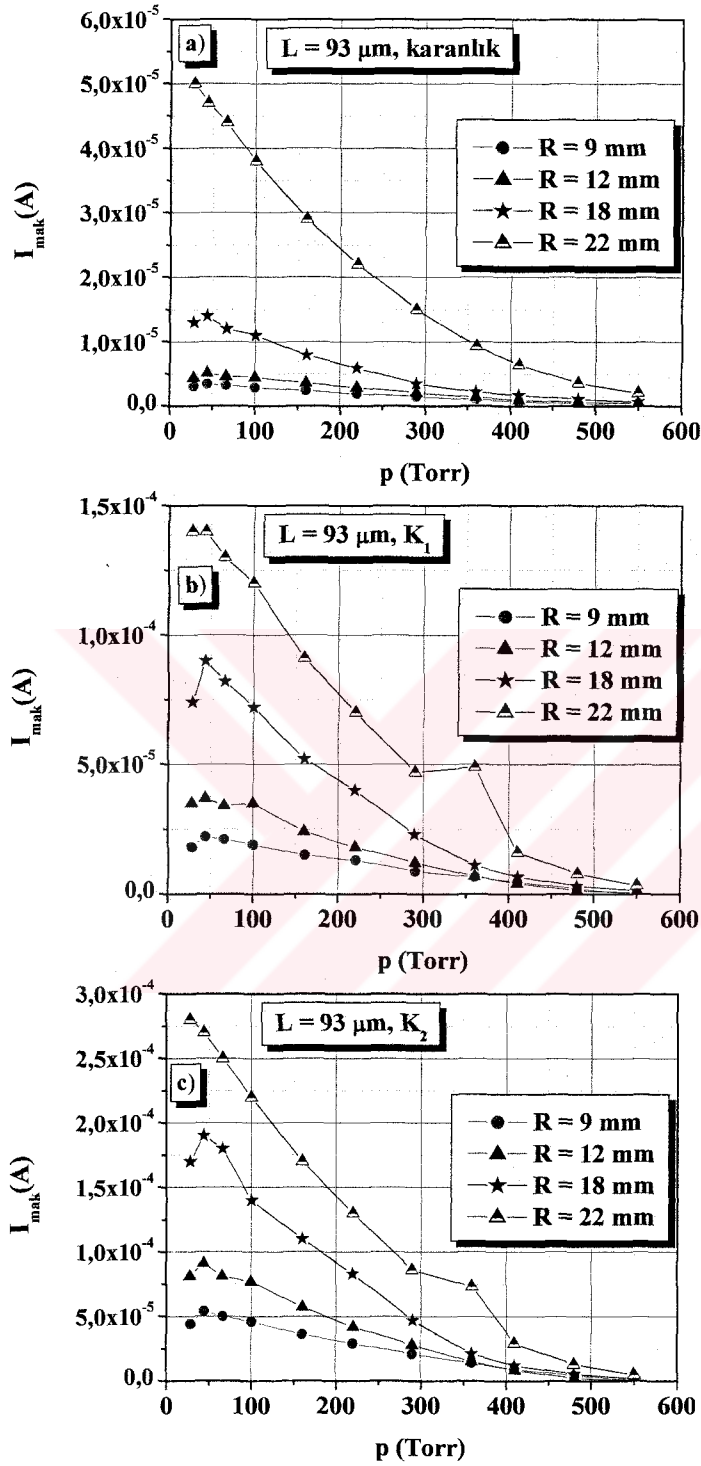
gaz boyunca hareket ettikleri için akım tüm gaz boşalma aralığı boyunca artar. Elektronların çarpma iyonizasyonu gazların kırılmasında en önemli süreçtir.

- Besleme voltajı sabit tutulduğu zaman, ışık şiddetini değiştirerek elektrik akımın değeri kontrol edilebilir, ve desen oluşum süreci görülebilir. Yarı iletkenin aydınlatılması değiştirilmediği zaman, akımı voltajı değiştirerek kontrol edebiliriz. Ayrıca akımın değerini ayarlayabiliriz ve ışık şiddetiyle yarıiletkenin direncini kontrol edebiliriz.
- Townsend tipi boşalmaların dinamik özelliklerini incelemeye ilgi, gaz-boşalma fiziği alanındaki bilginin artırılmasına ve teknik sistemlerde bu tip boşalmanın kullanımı ile bağlantılı pratik problemleri çözmeye yardım etme ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Ele alınan görüntü çeviricideki boşalmanın dinamik karakteristikleri, fotodedektöre ya pulslu KÖ ya da pulslu besleme voltajı uygulayarak incelenebilir.

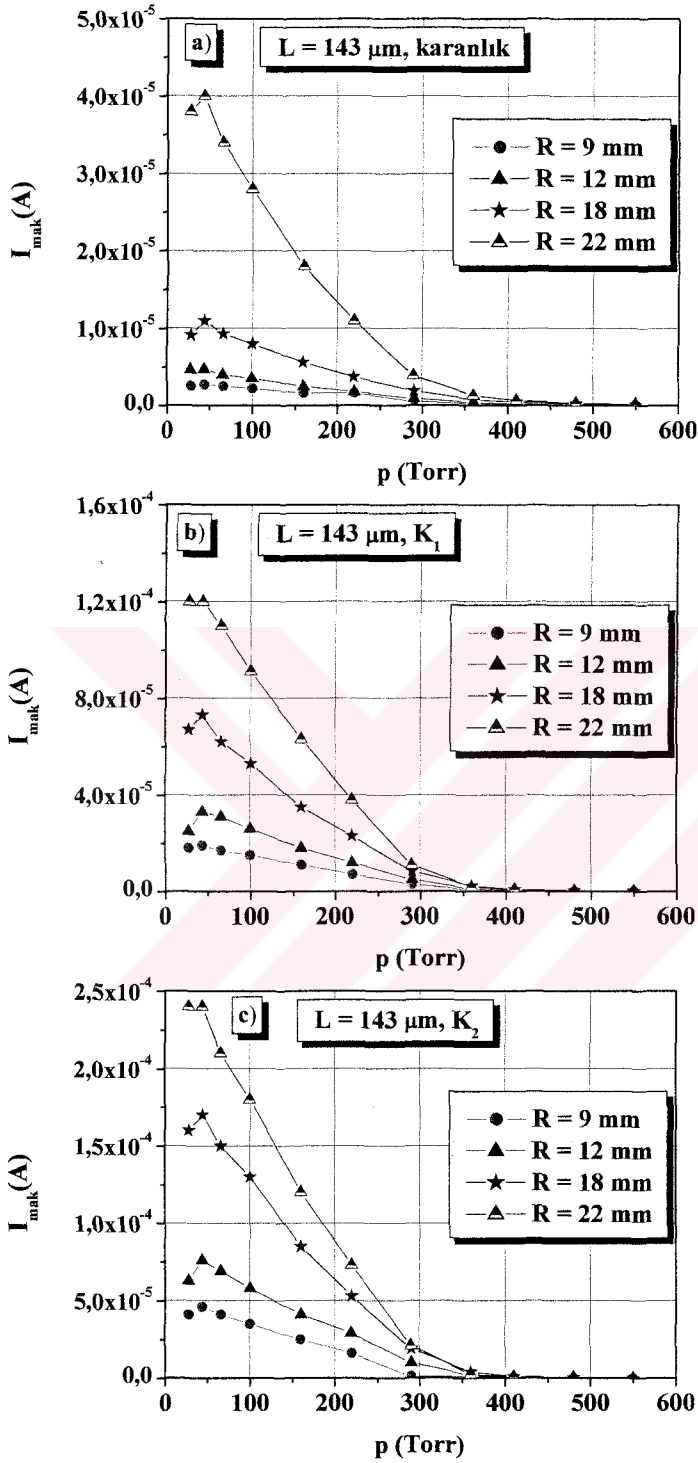
Sabit elektrotlar arası mesafede yarıiletken elektrodun farklı çap değerleri için maksimum akım-basınç grafikleri şu şekildedir:



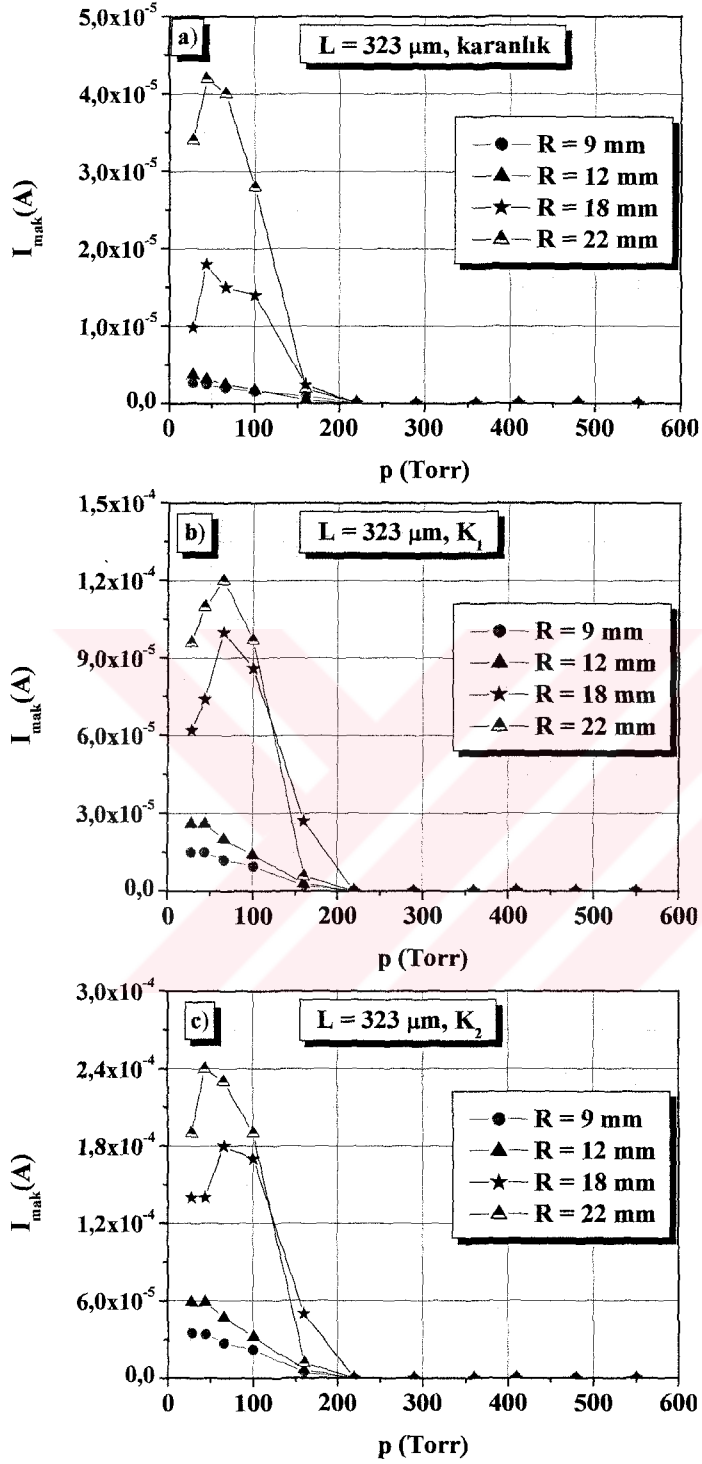
- 4.8. Sabit elektrotlar arası uzaklık ($L = 45 \mu\text{m}$) için yarıiletken GaAs elektrodun çapına göre maksimum akım-basınç grafikleri. Eğriler yarıiletken katodun üç farklı direncini temsil etmektedir a) karanlık; b) zayıf aydınlatma K_1 ; c) kuvvetli aydınlatma K_2



4.9. Sabit elektrotlar arası uzaklık ($L = 93 \mu\text{m}$) için yarıiletken GaAs elektrodun çapına göre maksimum akım-basınç grafikleri Eğriler yarıiletken katodun üç farklı direncini temsil etmektedir. a) Karanlık; b) zayıf aydınlatma K_1 ; c) kuvvetli aydınlatma K_2



Şekil 4.10. Sabit elektrotlar arası uzaklık ($L = 143 \mu\text{m}$) için yarıiletken GaAs elektrodun çapına göre maksimum akım-basınç grafikleri. Eğriler yarıiletken katodun üç farklı direncini temsil etmektedir. a) Karanlık; b) zayıf aydınlatma K_1 ; c) kuvvetli aydınlatma K_2 .



Şekil 4.11. Sabit elektrotlar arası uzaklık ($L = 323 \mu\text{m}$) için yarıiletken GaAs elektrodun çapına göre maksimum akım-basınç grafikleri. Eğriler yarıiletken katodun üç farklı direncini temsil etmektedir. a) Karanlık; b) zayıf aydınlatma K_1 ; c) kuvvetli aydınlatma K_2

4.2. Yarıiletken Gaz Boşalma Yapısının Basınca Bağlılığı

- Basınç arttıkça maksimum akım değerleri azalmaktadır. Sabit elektrotlar arası mesafe $L = 45 \mu\text{m}$ ve sabit elektrot alan çapı $R = 22 \text{ mm}$ için, K_2 aydınlatma şiddetinde maksimum akımın basınca göre değişimi Çizelge 4.1 de görülmektedir. Maksimum basınç grafikleri incelendiğinde en optimal çap değerinin $R = 22 \text{ mm}$ olduğu görülmektedir. Yani bu çap değeri için sistemimiz daha geniş bir kararlılık bölgesinde çalışabilir.

Çizelge 4.1. Maksimum akımın basınca bağlılığı

Basınç Değerleri (Torr)	Maksimum Akım Değerleri (A)
28	2,8E-4
44	3,5E-4
66	3,5E-4
100	3,3E-4
160	2,9E-4
220	2,5E-4
290	2,2E-4
360	1,8E-4
410	1,6E-4
480	1,3E-4
550	1,1E-4

- Maksimum akım değerleri elektrot alanının çapı büyüdükçe artmaktadır. Sabit bir elektrotlar arası mesafe $L = 45 \mu\text{m}$ ve sabit bir aydınlatma şiddeti K_2 için maksimum akımın elektrot alanının çapına R göre değişimi Çizelge 4.2 de görülmektedir:

Çizelge 4.2. Sabit bir basınç ve elektrotlar arası L mesafesi için maksimum akımın yarıiletken elektrodun R çapına göre değişimi

Çap Değerleri (mm)	Maksimum Akım Değerleri (A)
$R = 5$	$2,1 \times 10^{-5}$
$R = 9$	$2,7 \times 10^{-5}$
$R = 12$	$1,2 \times 10^{-4}$
$R = 18$	$2,7 \times 10^{-4}$
$R = 22$	$3,5 \times 10^{-4}$

- Maksimum akım değerleri elektrotlar arası mesafe büyüdükçe azalmaktadır. Sabit elektrot alan çapı $R = 22 \text{ mm}$, ve sabit bir aydınlatma şiddeti K_2 için $p = 44 \text{ Torr}$ da bu durum Çizelge 4.3 de görülmektedir:

Çizelge 4.3. Sabit bir basınç ve elektrot çapı R için maksimum akımın elektrotlar arası L mesafesine bağlılığı

Elektrotlar Arası Uzaklık (μm)	Maksimum Akım Değerleri (A)
$L = 45$	$3,5 \times 10^{-4}$
$L = 93$	$2,7 \times 10^{-4}$
$L = 143$	$2,4 \times 10^{-4}$
$L = 323$	$2,3 \times 10^{-4}$

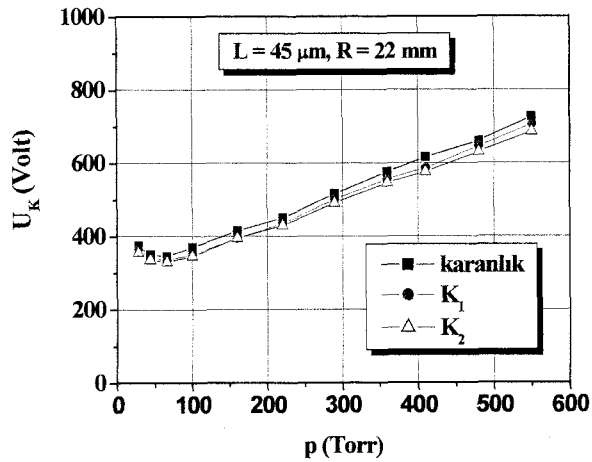
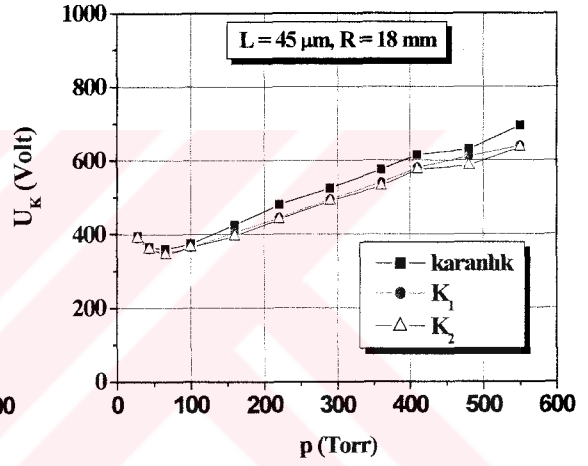
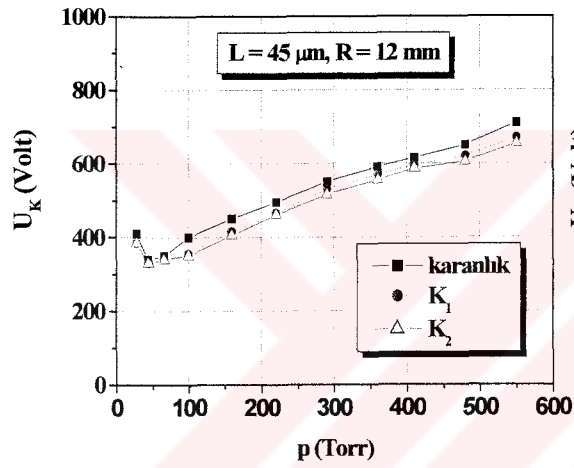
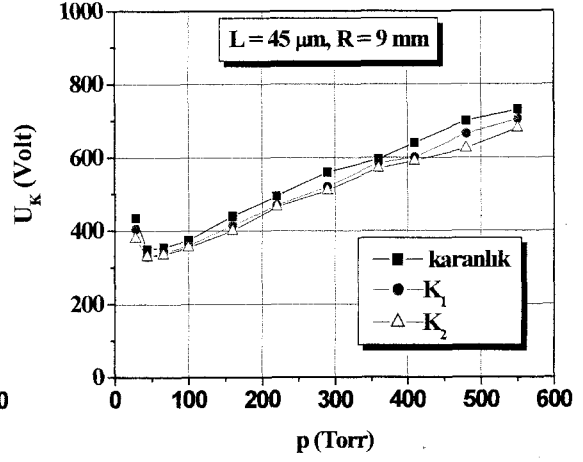
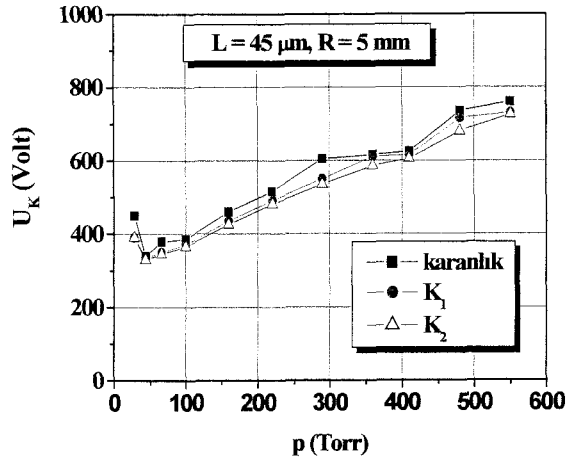
Paschen U_K kırılma voltajının pL çarpımının fonksiyonu olduğunu doğrulamıştır. U_K kırılma voltajının pL çarpımına bağlı olması, Paschen Kanunu olarak bilinmektedir (6).

$$U_K = f(pL) \quad [4.1]$$

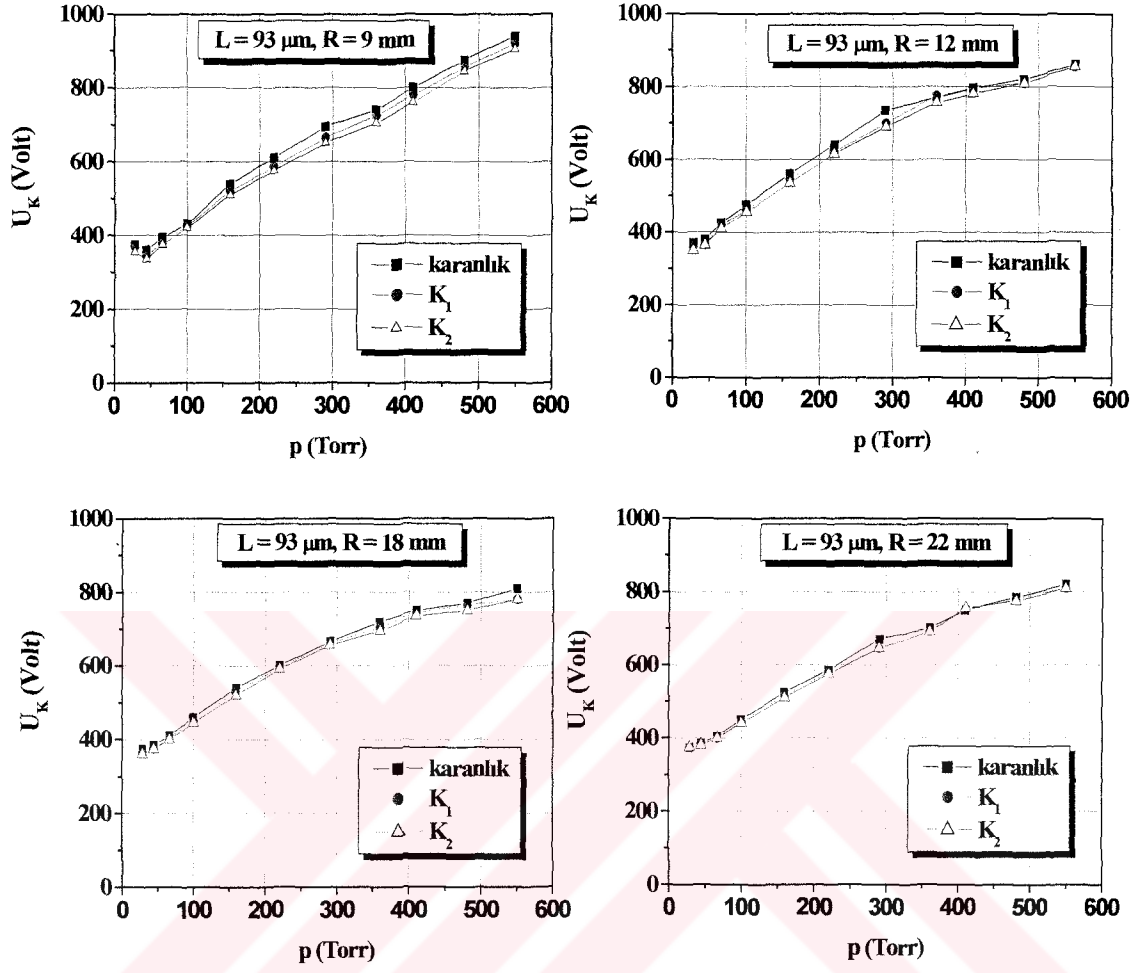
U_K 'nin pL 'ye karşı grafiği gaz ve elektrot materyalinin herhangi bir kombinasyonu için bir tek minimuma sahiptir. U_K voltajının en küçük değeri minimum kırılma voltajı olarak adlandırılmaktadır. Genellikle çok karmaşık kırılma sürecinin ilk elemanı, gaza yeteri kadar güçlü bir alan uygulandığı zaman gazda gelişen *elektron çığıdır*. Bir çığ tesadüfi olarak, örneğin kozmik ışıklardan kaynaklanan çekirdek elektronların küçük bir sayısı ile başlar; hatta bu tek bir elektronla bile başlatılabilir.

Elektrik alanda enerji kazanan bir elektron iyonizasyon potansiyelinden biraz daha büyük bir enerjiye ulaştıkça, gaz atomlarıyla yaptığı çarpışmalarda enerjisini kaybetmek suretiyle gaz atomlarını iyonlaştırır. Sonuç olarak iki yavaş elektron ortaya çıkar. Bu elektronlar alanda tekrar hızlandırılırlar, atomları iyonlaştırırlar; dört elektron üretirler ve bu olay böyle devam eder gider.

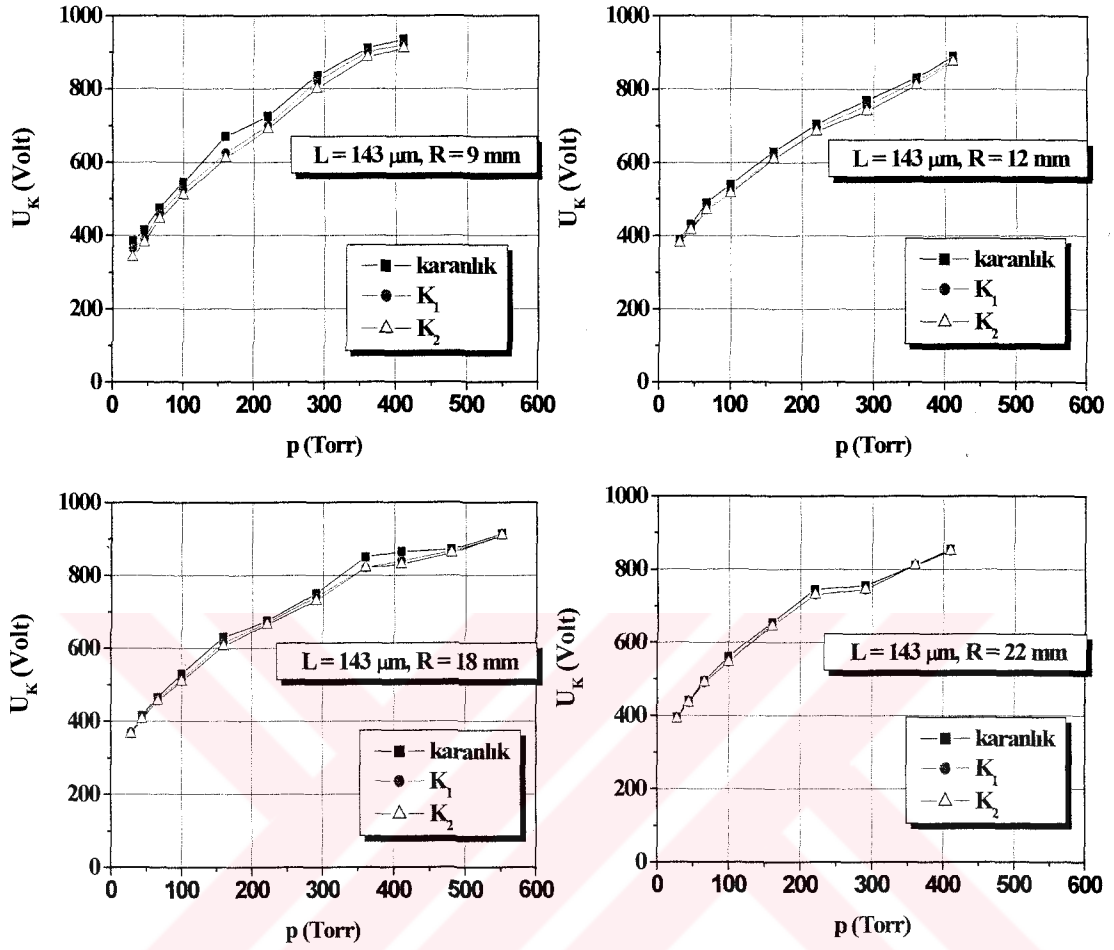
Gaz kırılması esasen bir eşik sürecidir. Bu da elektrik alanın, şartların özel bir setini karakterize eden bir değeri aşması durumunda kırılmanın başlayacağı anlamına gelir. Boşalma aralığı boyunca voltaj veya elektromanyetik radyasyonun şiddeti yavaş yavaş artırıldığı zaman, ortamın durumundaki hiçbir değişiklik fark edilemez. Voltaj veya şiddetin belirli bir değerinde iyonizasyon aniden artar, sistem bir akım algılar ve bir ışımaya gözlenir. Elektrot alanlarının farklı çap R ve farklı elektrotlar arası uzaklık L değeri için Paschen eğrilerinin grafikleri şu şekildedir:



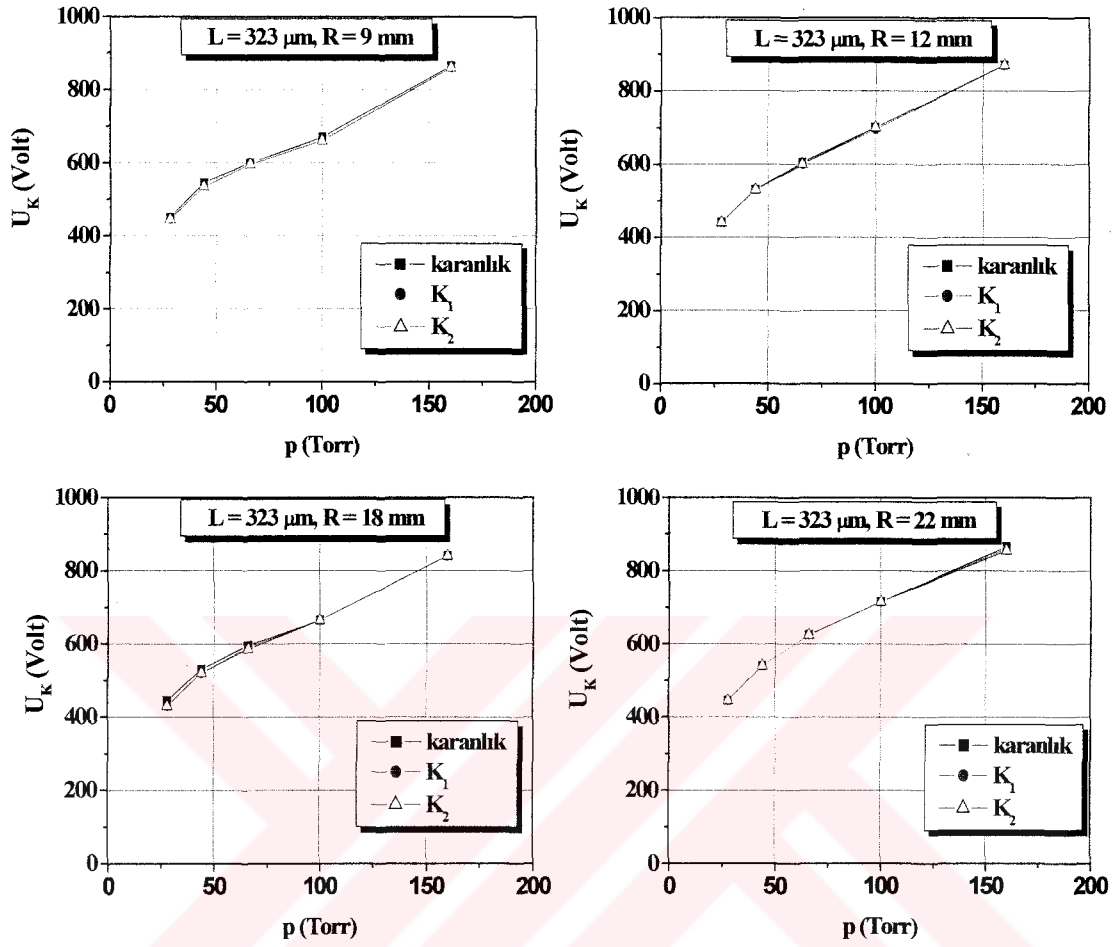
4.12. Sabit elektrotlar arası mesafe için ($L = 45 \mu\text{m}$) için farklı χ ve aydınlatma şiddetlerinde basıncın fonksiyonu olarak Paschen eğrileri



Şekil 4.13. Sabit elektrotlar arası mesafe için ($L = 93 \mu\text{m}$) için farklı çap ve aydınlatma şiddetlerinde basıncın fonksiyonu olarak Paschen eğrileri



Şekil 4.14. Sabit elektrotlar arası mesafe için ($L = 143 \mu\text{m}$) için farklı çap ve aydınlatma şiddetlerinde basıncın fonksiyonu olarak Paschen eğrileri



Şekil 4.15. Sabit elektrotlar arası mesafe için ($L = 323 \mu\text{m}$) için farklı çap ve aydınlatma şiddetlerinde basıncın fonksiyonu olarak Paschen eğrileri

4.3. Paschen Eğrilerinin Yarıiletken Elektrodun R Çapına ve Elektrotlar Arası L Mesafesine Bağlılığı

- Elektrot alanının çap değeri büyüdükçe U_K kırılma voltaj değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Aydınlatma yokken sabit bir $L = 45 \mu\text{m}$ için yarıiletken elektrodun çapına bağlı olarak kırılma değerleri aşağıda verilmektedir:

Çizelge 4.4. Aydınlatma yokken sabit bir L ($45 \mu\text{m}$) için yarıiletken elektrodun R çapına bağlı olarak kırılma değerleri

$L = 45 \mu\text{m}$	$R = 5 \text{ mm}$	$R = 9 \text{ mm}$	$R = 12 \text{ mm}$	$R = 18 \text{ mm}$	$R = 22 \text{ mm}$
p (Torr)	U_K (Volt)	U_K (Volt)	U_K (Volt)	U_K (Volt)	U_K (Volt)
28	450	440	395	390	370
44	350	340	340	365	335
66	365	350	350	360	350
100	390	370	375	375	355
160	470	450	435	425	415
220	515	500	495	475	445
290	600	560	550	525	515
360	610	600	580	560	555
410	645	635	615	615	605
480	710	685	650	630	610
550	735	715	700	710	705

- Sabit bir çap için elektrotlar arası uzaklık arttıkça kırılma voltaj değerleri artmaktadır. Buna tipik bir örnek $R = 9 \text{ mm}$ ve K_I için aşağıda verilmektedir:

Çizelge 4.5. Zayıf aydınlatma şiddeti K_I için sabit bir L ($45 \mu\text{m}$) için yarıiletken elektrodun R çapına çapa bağlı olarak kırılma değerleri

$R = 9 \text{ mm}$	$L = 45 \mu\text{m}$	$L = 93 \mu\text{m}$	$L = 143 \mu\text{m}$	$L = 323 \mu\text{m}$
p (Torr)	U_K (Volt)	U_K (Volt)	U_K (Volt)	U_K (Volt)
28	405	370	365	445
44	330	345	390	540
66	340	380	460	600
100	360	425	525	665
160	415	520	625	
220	470	585	700	
290	520	665	820	
360	585	725	900	
410	600	780	920	
480	665	855		
550	705	920		

- Elektrotlar arası mesafe arttıkça ve elektrot alanının çapı küçüldükçe kırılma voltajının belirlenmesi zorlaşmaktadır. Buna göre gaz boşalma sistemi için optimal durum $p = 44$ Torr, $R = 22$ mm ve $L = 45$ μ m için elde edilir.
- Aydınlatma şiddeti arttıkça kırılma voltaj değeri azalmaktadır. En düşük kırılma voltaj değerleri K_2 için elde edilmiştir.
- Paschen eğrilerinde basınç değeri $L = 45$ μ m için $p = 28$ Torr' dan başlayarak artırıldığında, U_K değerinin $p = 44$ Torr değerine kadar düştüğü daha sonra arttığı tespit edilmiştir. O halde $p = 44$ Torr minimum noktasıdır. Diğer elektrotlar arası mesafeler için Paschen eğrilerinin sol tarafı tespit edilememiştir.
- Paschen kanunu kırılma voltajının gaz basıncı p ve elektrotlar arası L uzaklığıyla nasıl değiştiğini ifade eder. Şu halde kırılma voltajının sadece p ve L ye bağlı olmadığını; aynı zamanda gaz boşalma aralığının çapına da bağlı olduğu sonucunu ilk defa elde etmiş oluyoruz.

4.4. Geniş Çaplı Boşalma Hücresinde Düşük Basınç Townsend Boşalmasının R ve L Parametrelerine Göre İncelenmesi

Bilindiği üzere (33-41), dc gaz boşalmasının kırılma eğrileri, $U_K = f(pL)$ şeklinde paschen kanunu tarafından açıklanır; yani U_K kırılma voltajı p gaz basıncı ve L boşalma aralığının çarpımına bağlıdır. De La Rue ve Muller (42), U_K kırılma voltajının pL çarpımına bağlılığını ilk gözleyenlerdendi. Daha sonraları Paschen, farklı pL değerleri için H_2 , CO_2 ve havadaki dc boşalmalarının kırılma eğrilerini ölçtü ve U_K kırılma voltajının yalnızca pL çarpımına bağlı olduğu sonucuna ulaştı (33). Paschen kanunu çeşitli L aralıkları için ölçülen U_K kırılma eğrilerinin $U_K(pL)$ şeklinde ifade edildiklerinde birbirleri ile çakıştıklarını açıkladı; ancak Townsend ve Mc Collum (42) neonda dc boşalma için kırılma eğrilerini ölçtüler ve buldular ki pL çarpımının eşit değerleri için düzlemsel elektrotlu geniş boşalma aralığından elde edilen kırılma voltajı, küçük boşalma aralığından elde edilenden önemli derecede yüksektir. Sonraki çalışmalar (43-46), pek çok gaz için bu sonucu doğruladı. L aralığı artırıldığı zaman ya da R boşalma tüpünün çapı azaltıldığı zaman, kırılma eğrilerinin daha yüksek pL ve daha yüksek U_K kırılma voltaj değerlerine kaydığı gösterilmiştir. $(E_K/p)_{min}$ yani kırılma eğrisinin minimumundaki gaz basıncına kırılma elektrik alanının oranı herhangi bir L boşalma aralığında, R boşalma aralığı çapında ve γ iyon-elektron yayma oranında sabit kalmaktadır. DC düşük basınçlı gaz boşalması için düzeltilmiş kırılma kanununu elde edildi:

$$U_K = f(pL, L/R) \quad [4.2]$$

Lisovskiy ve arkadaşları (42), kırılma voltajı U_K nın sadece pL nin değil L/R oranında fonksiyonu olduğunu gösterdiler. Aynı zamanda, $(pL)_{min}$ ve U_{min} koordinatları L ve R ye ayrı ayrı değil L/R oranına bağlıdır.

$\gamma \ll 1$ için gaz kırılma denklemi homojen bir dc elektrik alanda aşağıdaki basit forma dönüştürülebilir [detaylı bilgi için bak (42,54)]:

$$A_0 x(pL) \exp\left(-\frac{B_0 x(pL)}{U_{dc}}\right) \left\{ \gamma \exp\left[A_0 x(pL) \times \exp\left(-\frac{B_0 x(pL)}{U_{dc}}\right) - \frac{D_{e0}}{\mu_{e0}} \frac{(2.4)^2}{U_{dc}} \left(\frac{L}{R}\right)^2 \right] - 1 \right\} + \frac{D_{e0}}{\mu_{e0}} \frac{(2.4)^2}{U_{dc}} \left(\frac{L}{R}\right)^2 = 0 \quad [4.3]$$

ki burada

$$\alpha = \frac{D_e}{V_e} \left(\frac{2.4}{R}\right)^2 + \alpha \gamma \left\{ \exp\left[L \left(\alpha - \frac{D_e}{V_e} \left(\frac{2.4}{R}\right)^2 \right) \right] - 1 \right\}$$

ile verilir. Burada α ve γ birinci ve ikinci Townsend katsayılarıdır, D_e enine elektron difüzyon katsayısı, V_e elektronların sürüklenme hızı, μ_{e0} elektron mobilitesi ve A_0 ve B_0 sabitlerdir.

Üstelik ref (42) deki (2) ve (7) denklemlerinden

$$(U_K/pL)_{\min} = (E_K/p)_{\min} = B_0 \quad [4.4]$$

olduğu görülebilir. Bu denklem, boşalma hücresinde L , R ve γ değiştiği zaman, kırılma eğrilerinin $(E_K/p)_{\min}$ değeri her zaman sabit kalacak şekilde değiştiklerini ifade etmektedir. Ref (42) deki formül (3) ve denklem (8) ve (9) dan, $U_{\min} = (U_K)_{\min}$

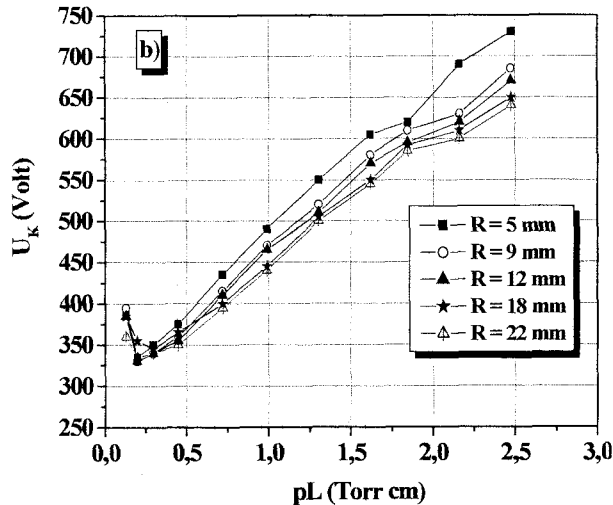
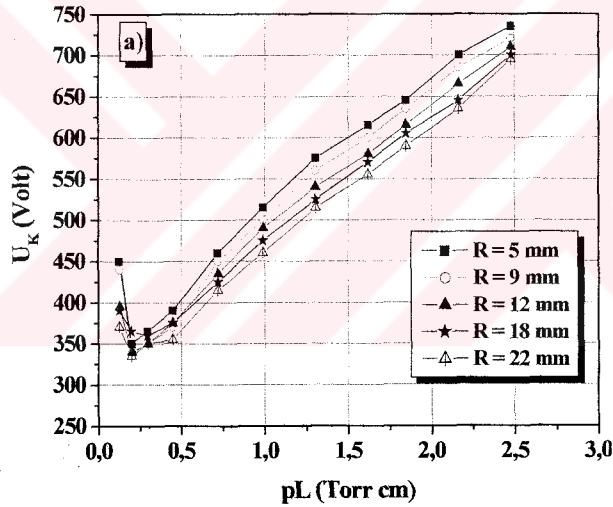
$$\frac{A_0}{eB_0} U_{\min} = \frac{D_{e0}}{\mu_{e0}} \frac{(2.4)^2}{U_{\min}} \left(\frac{L}{R}\right)^2 + \frac{\gamma A_0}{e} \frac{U_{\min}}{B_0} \times \left\{ \exp\left[\frac{A_0}{eB_0} U_{\min} - \frac{D_{e0}}{\mu_{e0}} \frac{(2.4)^2}{U_{\min}} \left(\frac{L}{R}\right)^2 \right] - 1 \right\}$$

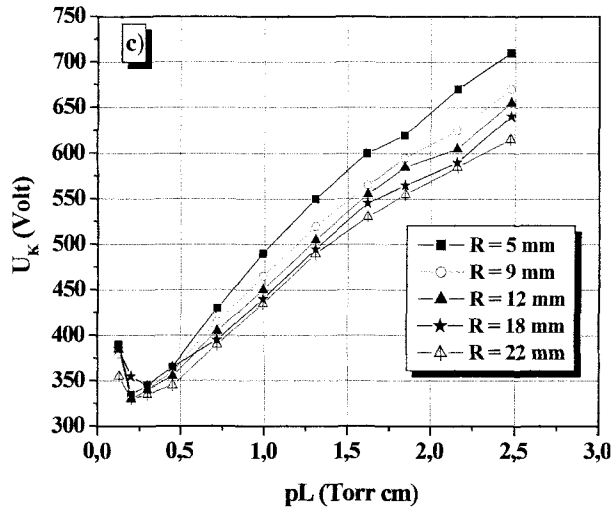
[4.5]

göstermektedir ki $(pL)_{\min}$ ve U_{\min} koordinatları L ve R ye ayrı ayrı değil L/R oranına bağlıdır.

4.4.1. Yarıiletken katotlu gaz boşalma hücresinden elde edilen kırılma eğrilerinin deneysel analizi

Hava ortamında dc gaz boşalmasının kırılma eğrilerini $U_{dc} = 1000$ V dc gerilim ve $p = 28 \div 550$ Torr aralığında ölçümledik. Boşalma aralığının çapları $R = 5 \div 22$ mm aralığında değişmektedir. DC kırılma voltajının ölçmedeki doğruluk ± 5 V dur. Deneysel boyunca kırılma eğrisi ölçümünü L elektrotlar arası uzaklığı belli bir sabit değerde tutup farklı p gaz basınçları için U_K kırılma gerilimi ölçerek gerçekleştirdik. İlk olarak diğer araştırmacıların görüşleriyle uyuşan şekilde ölçümlediğimiz dc kırılma eğrilerini göstereceğiz. Şekil 4.16 yarıiletken katodun farklı çap değerleri için $L = 45 \mu\text{m}$ de elde edilen kırılma eğrilerini göstermektedir.

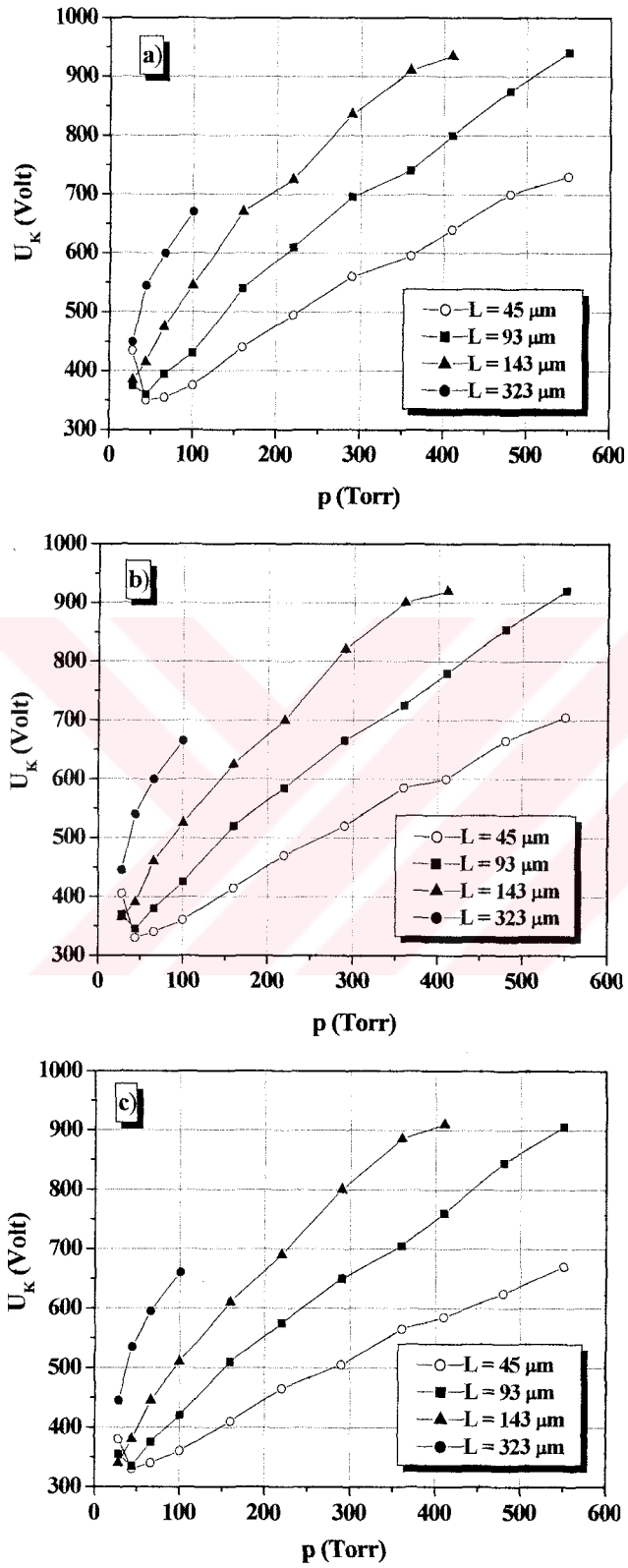




Şekil 4.16. $L = 45 \mu\text{m}$ lik sabit elektrotlar arası mesafe için yarıiletken katodun farklı çap değerlerinde Townsend boşalmasının kırılma eğrileri: a) Karanlık; b) zayıf aydınlatma şiddetinde; c) kuvvetli aydınlatma şiddetinde elde edilmiştir

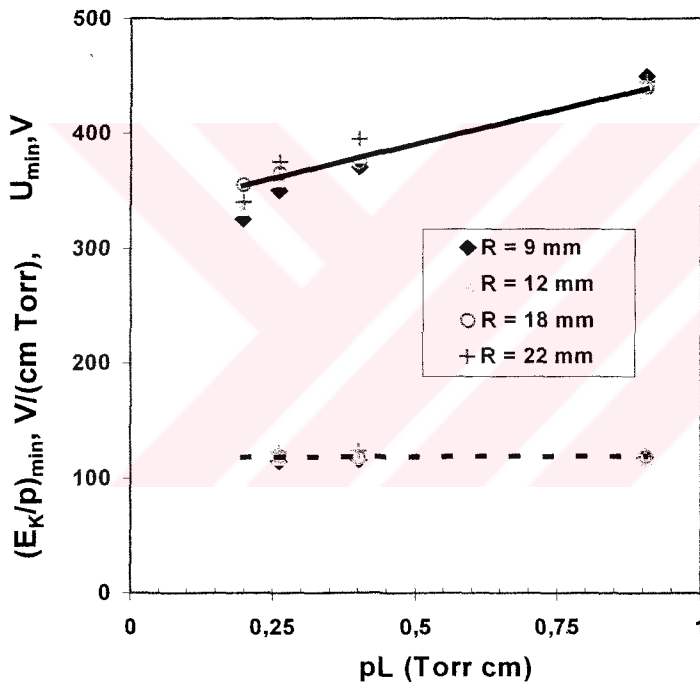
Şekil 4.16 dan görüleceği üzere yarıiletken elektrodun çap değeri büyüdükçe kırılma eğrileri daha küçük U_K kırılma voltaj değerlerine kaymaktadır. Ayrıca görülebileceği üzere U_K katodun artan iletkenliği ile değiştirilebilir.

Şekil 4.16 elektrodun farklı R çap ve katodun farklı σ iletkenlikleri için paralel düzlem geometrili gaz boşalma hücresinin kırılma eğrisini göstermektedir. Bu deneysel sonuçları tartışırken, keyfi geometrik boyutlu yarıiletken katoda ve dar bir boşalma aralığına sahip (yani $L \ll R$ için) düzlemsel gaz boşalma hücresinde dc bir boşalma için, Paschen eğrileri olarak bilinen kırılma eğrilerini belirlemek zorundaydık (3). Şekil 4.16 a,b,c den elektrot alanlarının artan R çapı ile eğrilerin daha düşük kırılma voltajı (U_K) bölgesine değiştiğini görebiliriz. Yine Şekil 4.16 a,b,c den gözlemlendiği üzere, U_K nın değeri katodun iletkenliğinin artması ile değiştirilebilir ve iletkenlik aydınlatma şiddeti ile ayarlanabilir. Diğer bir enteresan sonuç şudur: Paschen eğrisinin sağ branşına karşılık gelen U_K değerleri (yani kırılma voltajlarının U_K değerleri arasındaki fark) bölgesi karanlıkta aydınlatma altındaki değerinden çok daha dardır. Şekil 4.17 sabit çap değeri için farklı elektrotlar arası uzaklıklar için elde edilen kırılma eğrilerini göstermektedir.



Şekil 4.17. Yarıiletken katodun $R = 9$ mm lik sabit çap değeri için farklı elektrotlar arası mesafe değerlerinde Townsend boşalmasının kırılma eğrileri: a) Karanlık; b) zayıf aydınlatma şiddetinde; c) kuvvetli aydınlatma şiddetinde elde edilmiştir

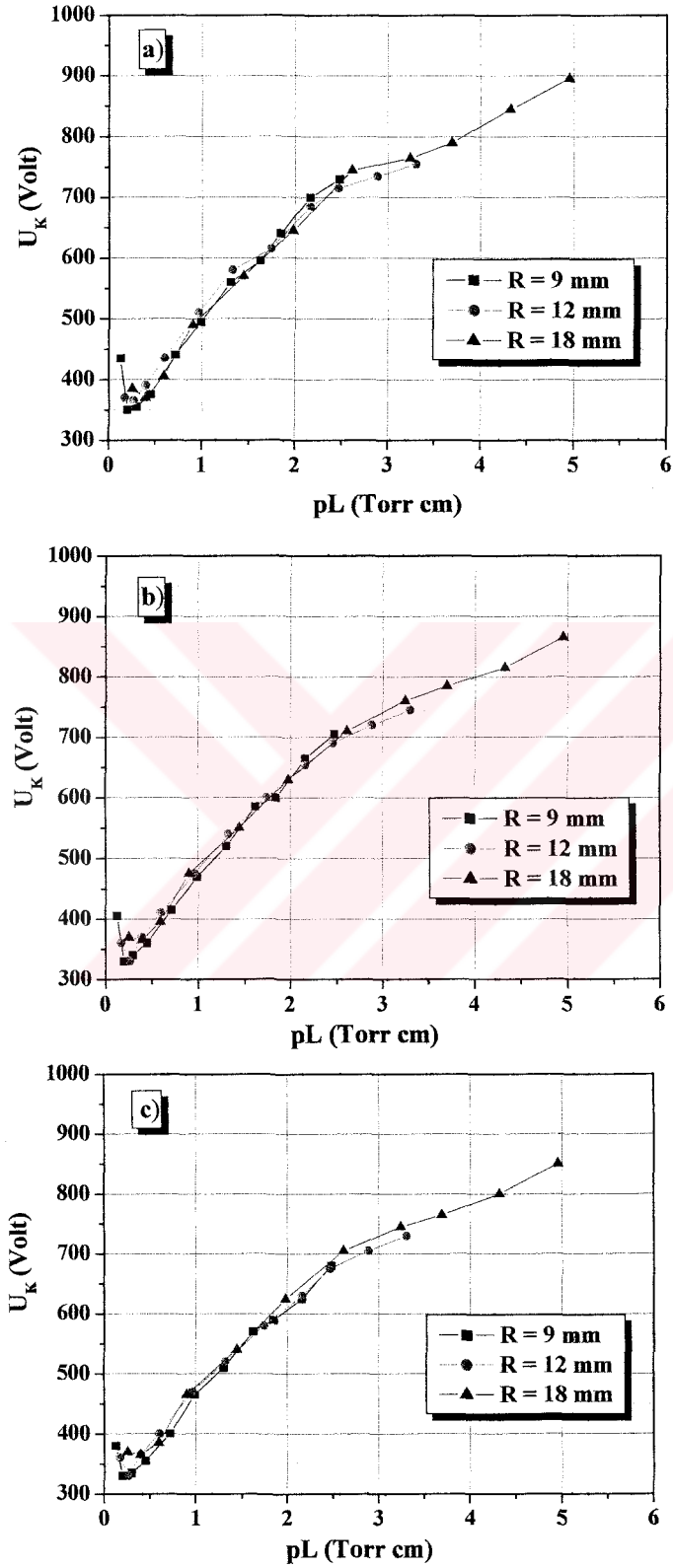
Şekil 4.17 den görüleceği üzere elektrotlar arası mesafe büyüdükçe kırılma eğrileri daha büyük U_K kırılma voltaj değerlerine kaymaktadır. Her durumda elektrotlar arası uzaklığın artmasıyla kırılma eğrilerinin daha yüksek U_K ve pL değerlerine kayması, elektrik alan boyunca difüzyon nedeniyle boşalma tüpünün yan duvarları üzerindeki yüklü parçacık kayıplarının artmasıyla açıklanabilir. Şekil 4.18 U_{min} ve $(E_K/p)_{min}$ değerlerinin $(pL)_{min}$ 'a bağlılığını göstermektedir. Şekil 4.18 de görülüyor ki kırılma eğrisinin ölçülmüş koordinatları için $U_{min} \propto (pL)_{min}$ dur ve $(E_K/p)_{min} \approx \text{SABİT} = 119 \pm 5 \text{ V}/(\text{cm Torr})$ dur.



Şekil 4.18. Yarıiletken katodun farklı çap değerleri için U_{min} ve $(E_K/p)_{min}$ değerlerinin $(pL)_{min}$ 'a bağlılığı. Kalın çizgi: $U_{min} = 119 (pL)_{min}$; Kesikli çizgi: $(E_K/p)_{min} = 119 \pm 5 \text{ V}/(\text{cm Torr})$

Sonuç olarak herhangi L elektrotlar arası uzaklık ve elektrot çapı için minimumdaki $(E_K/p)_{min}$ değeri daima sabit kalmaktadır.

Şekil 4.19. farklı yarıçaplı yarıiletken elektrot için ölçtüğümüz üç kırılma eğrisini göstermektedir. Elektrotlar arası mesafe $L/R = 0,005$ olacak şekilde seçildi.



Şekil 4.19. $L/R = 0,005$ için GaAs katotlu boşalma hücresindeki kırılma eğrileri: a) Karanlıkta; b) zayıf aydınlatma şiddetinde; c) kuvvetli aydınlatma şiddetinde

Görüldüğü gibi üç kırılma eğrisi birbirleriyle örtüşmektedir. Geometrik olarak benzer elektrot boyutlarına ve elektrotlar arası uzaklığa sahip boşalmalar aynı kırılma voltajına sahiptir. Genelleştirilmiş kırılma kanunu [4.2] aşağıdaki anlamdadır:

$L_1, R_1; L_2, R_2$ ölçülerinde iki boşalma hücresi al, bunlar için kırılma eğrilerini ölç ve $U_K = f(p, L_{1,2})$ fonksiyonlarının formunda eğrileri çiz. Bu iki eğri ancak $L_1/R_1 = L_2/R_2$ iken birbirleriyle örtüşür. Diğer bir deyişle, geleneksel Paschen kanunu $U_K = f(pL)$ yalnızca benzer L/R ye sahip boşalma hücreleri için geçerlidir. Elektrot boyutları ve aralarındaki mesafeler geometrik olarak benzer ve gaz basınçları elektrot uzaklığı ile ters orantılı olan boşalmalar eşit kırılma voltajlarına sahiptir.

pL kadar L/R parametresi de Townsend boşalmasının kırılma eğrilerinin anlatımı için önemlidir. Deneysel sonuçlar, farklı R elektrot çapı ve farklı elektrotlar arası mesafeler (L) için GaAs katotlu bir boşalma sisteminde kırılma eğrilerinin $L/R = 0,005$ oranı için birbirleriyle çakıştığını göstermektedir. Genel olarak keyfi L ve R değerlerinde geleneksel Paschen kanunu geçerli olmamakta ve dc kırılma için daha genel bir kanun [4.2] kullanılmalıdır. Açıkçası $L/R = 0$ için geleneksel Paschen kanunu elde ederiz.

Kırılma eğrisinin minimumundaki $(E_K/p)_{min}$ oranı herhangi bir R çaplı gaz boşalma hücresi ve L elektrotlar arası mesafe için sabit olarak gösterilmektedir. Değiştirilmiş bir dc-kırılma kanunu

$$U_K = f(pL, L/R) \quad [4.2]$$

ile verilir. Yani U_K kırılma gerilimi gaz basıncına, L aralığına ve L/R oranına bağlıdır. $U_K = f(pL)$ geleneksel paschen kanunu $L/R \rightarrow 0$ durumu için geçerlidir. Değiştirilmiş Paschen kanunu $U_K = f(pL, L/R)$ bizim deneysel sonuçlarımızla iyi bir uyum içerisindedir; yani kırılma voltajı U_K hem gaz basıncı ve gaz boşalma aralığının genişliğinin çarpımının hem de L/R oranının bir fonksiyonudur.

5. YARIİLETKEN GAZ BOŞALMA YAPISINDA BOŞALMA AKIMININ KARARSIZLIĞI

5.1. Uzak Yükünün Oluşumunun Homojen Townsend Boşalmasının Kararsızlığına Etkisi

Düzlemsel bir boşalma sisteminde akım kararsızlığı, geniş bir elektrotlar arası mesafe (L), farklı basınç (p) ve yarıiletken katodun farklı elektrot çapları (R) için deneysel olarak incelendi. Kararlı bir voltajla sürüldüğü zaman, farklı osilasyon genlikli akım kararsızlıkları üretilir. Osilatör özelliklerinin kontrol parametrelerine bağlılığı araştırılmıştır. Yarıiletken katot uzaysal homojen biçimde aydınlatılarak, akım akışına enine doğrultuda homojen olmayan kararsız durumlar sistemde üretilebilir. Elektrot çapı (R) arttıkça akım yoğunluğunun $U > U_K$ olduğu tüm voltaj bölgesinde arttığını gösterdik. Gözlenen akım osilasyonunun (sisteme yeterince yüksek genlikli bir dc voltaj uygulandığında gaz boşalma aralığı ve yarıiletken katot) iki lineer olmayan bileşendeki süreçlerden kaynaklandığı bilinmektedir.

Küçük voltajlardaki uzaysal homojen Townsend boşalması pL parametresinin geniş bir bölgedeki değerler için gerçekleştirilebilir. Küçük aktif hacimli gaz boşalma sistemleri son yüzyılda büyük bir ilgiye sahiptir. Direnç dağılımlı bir yarıiletken kullanmak akım dağılımını önemli ölçüde değiştirmektedir. İletilen akımın değeri ve boşalmanın tipi yarıiletken katodun direnç dağılımının homojenliği tarafından belirlenir. Bu durum ışığa duyarlı yarıiletken maddelerdeki akım yoğunluğunun uzaysal dağılımının görüntülenmesi ile ilgili bazı pratik uygulamalarda istenen bir durumdur (47,11); çünkü bu çözünürlüğü artırır, güvenilir operasyonun tekniksel realizasyonunu kolaylaştırır ve kullanılan materyalin bölgesini genişletir. Fakat, teknolojik plazma sistemleri, (48,49) katot çapının katot ve anot arasındaki mesafeden çok daha büyük olduğu boşalma hücrelerini sıklıkla kullanır. Şu anda, değişik gazlarda ve değişik boşalma aralıklı geometrilerde homojen boşalmayı optimum şartlarla elde etmek için kapsamlı araştırma mevcuttur (50,51). Bu bakımdan, en elverişsiz faktör enine doğrultuda boşalma homojenliğinin kaybına yol açan kararsızlıkların

gelişimidir. Boşalma akımının kararsızlığı uzay yükünün oluşumunu ve potansiyel dağılımının bozulmasını kapsar. Sonuç olarak, Paschen eğrisinin sağ kolundaki normal-altı boşalmanın AVK ları bir bozulma sergiler çünkü boşalma operasyonu, boşalmanın başlaması (kırılma) için gerekli olanla karşılaştırıldığında daha düşük bir voltaj gerektirir (3,52). Bu şartlar altında, enine kararsızlıklar oldukça düşük boşalma akım yoğunluklarında bile gelişebilir (53,54). Deneyler boşalma şartlarına bağlı olarak enine kararsızlıkların gelişiminin hem uzaysal olarak (homojen olmayan) kararlı boşalmaya hemde relaksasyonun ya da hemen hemen tüm boşalmanın sinüzoidal osilasyonlarının eşlik ettiği osilasyonlu moda yol açabileceğini göstermektedir (53,55). Üstelik, (56) da Astrov ve arkadaşları yarıiletken katotlu boşalma sisteminin uzaysal olarak uzatılmış dengesiz ortamda Hopf bifurkasyonunu incelemek için esnek ve deneysel olarak uygun sistem sunduğunu gösterdiler.

Bu çalışmada, oda sıcaklığında yarıiletken GaAs katodun farklı elektrotlar arası mesafe ve farklı elektrot çapları için dc elektrik alanda akım kararsızlıklarını oda sıcaklığında deneysel olarak inceledik. Deneysel parametrelerin incelenen setinde, hava ortamındaki boşalma için homojen osilasyon yapan seviye açıkça gösterilmiştir.

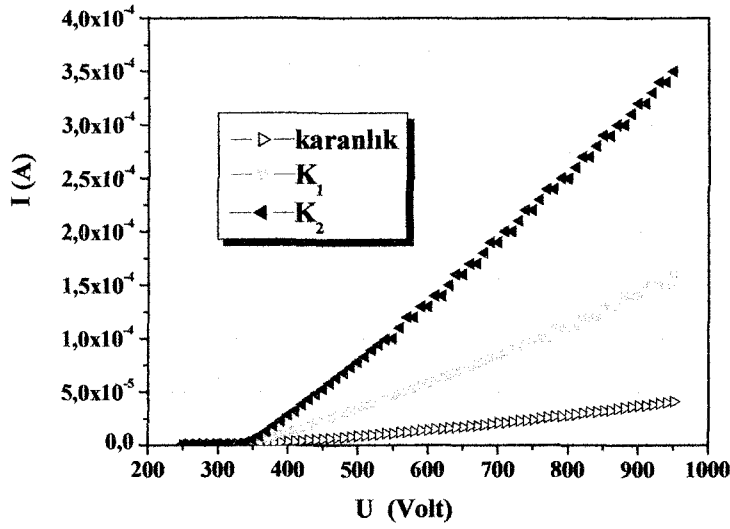
Kontrol parametrelerinden biri, yarıiletken elektrodun iletkenliğidir. Yarıiletkenin ışığa duyarlılığı dolayısıyla iletkenliği aydınlatma ile kontrol edilebilir. Diğer osilasyon yapan gaz boşalma sistemlerinin (57) tersine, yarıiletkene farklı ışık şiddetlerinde uzaysal homojen bir aydınlatma uygulayarak farklı genlikte osilasyon yapan seviyeler oluşturulabilir. Ayrıca, yarıiletken elektrotlu gaz boşalma sistemleri KÖ görüntüleri görünüre dönüştüren hızlı çeviriciler olarak hizmet eder (58). Bu nedenle, bunların çalışma kararlılığını incelemek bu ve diğer tekniksel uygulamalar (31) için önemlidir.

5.2. Akım Kararsızlıklarının Deneysel Analizi

Bu bölümde sunduğumuz deneysel sonuçlar bölüm 4 deki deneysel sistem (Şekil 4.1) kullanılarak elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar $U_o \leq 1000$ V olduğu dc voltajlarda ve $p = 30\div 550$ Torr luk basınçlarda hava ortamında Townsend boşalması için AVK ları ve kırılma eğrilerini ölçerek test edilmiştir. Böyle bir boşalma çığ mekanizması, dolayısıyla yüklü parçacıkların çoğalan sayısı ile ve elektrot süreçleriyle desteklenmektedir. Bir dc voltaj tarafından başlatılan elektriksel boşalmanın en basit modu, Townsend boşalması olarak bilinir. Bu tip bir boşalmanın ilk safhası gaz dolu aralıkta düşük yoğunluklarda gözlenen homojen kendini besleyen boşalmadır. Çok yüksek olmayan pL değerleri için kendini-besleyen boşalmayı başlatmak için gerekli şart (3)

$$\gamma(e^{\alpha d}-1) \quad [5.1]$$

dir. Bu ifade, katodun pozitif iyonlarla bombardımanı (γ süreci) dolayısıyla elektronların ikincil emisyonunun verimliliğini ifade eder. Bu ifade aynı zamanda gaz boşalma aralığında birim uzunluk boyunca sürüklenmeleri esnasında elektronların çoğalma oranını belirler. Kendini-besleyen boşalmanın (59) aralıktaki yük taşıyıcılarının yoğunluğuna bağlı olmadığını belirtmekte fayda vardır. Fiziksel olarak bu şu anlama gelir; gaz boşalma aralığındaki voltaj düşüşü elektrik akımına bağlı değildir. Bu bize “dikey” olarak adlandırılan Townsend boşalmasının AVK sınırı verir. Bu davranış yeteri derecede düşük akım yoğunluklu bölgede gözlenir ki burada gazdaki iyonlaşmış ve uyarılmış parçacıkların çoğalma süreçleri elektronun çoğalma oranı üzerinde güçlü bir etkiye sahip değildir. Şekil 5.1. farklı σ iletkenlikli yarıiletken katoda sahip paralel düzlemsel geometrideki bir gaz boşalma hücresinin AVK sınırı göstermektedir; ki burada iletkenlik yarı-saydam Au kontak boyunca yarıiletkenin homojen aydınlatılması ile değiştirilmiştir.



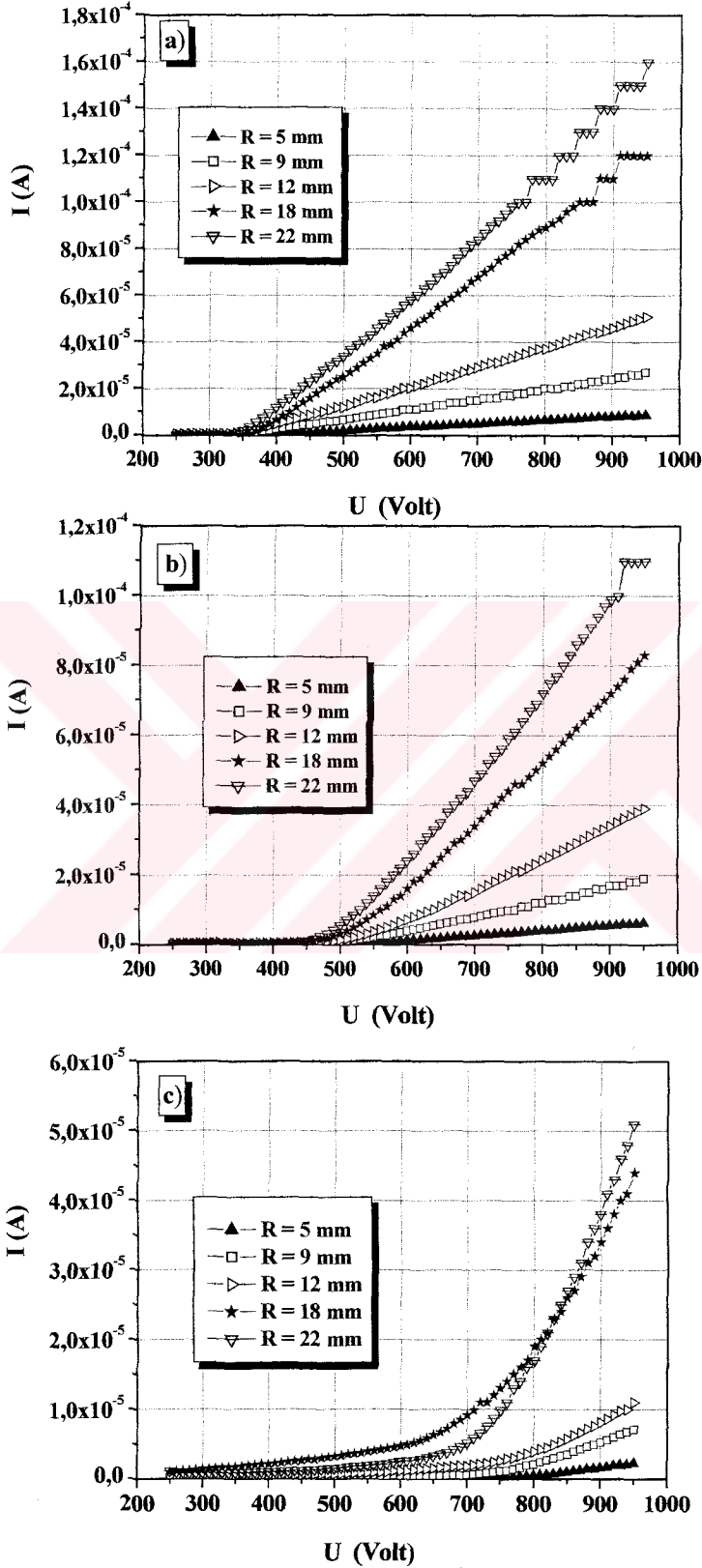
Şekil 5.1. Düzlemsel boşalma hücresinin farklı basınçlarda AVK ları. Eğriler $p = 44$ Torr, $R = 22$ mm $L = 45$ μ m için farklı aydınlatma şiddetlerinde yarıiletken katodun üç farklı direncini temsil etmektedir

Bu AVK hücre parametrelerini belirlemeye imkan verir: 1) Kırılma voltajı U_K ;
 2) farklı K aydınlatma şiddetlerinde (yani $\sigma = \bar{q}/\bar{dU}$ ya da $\rho = \bar{dU}/\bar{q}$ nin değiştiği ki burada $j \rightarrow$ akım yoğunluğudur) yarıiletken katodun σ (ya da ρ öz direnci) iletkenliğinin değişimi. Bu parametreyi ölçmek için, yarıiletkenin direnci üzerine gelen ışık demetinin etkisi ölçülür. Bu aşağıdaki şekilde yapılmıştır. Biz, homojen kararlı Townsend boşalmasının uygun bir U_o değerinde kurulduğunu biliyoruz. Boşalmanın bu modu, kırılma noktası ile negatif diferansiyel direncin gaz karakteristiğinde gözlemlendiği nokta arasındaki düşük akımlar için gözlenmektedir. Sistemin AVK sı, $U > U_K$ ise yarıiletken katodun omik davranışını yansıtan lineer eğriye çok yakındır (32). Bu boşalma modu için boşalma aralığındaki voltaj düşüşü akımdan bağımsızdır. Şekil 5.1 de gösterildiği gibi, bu bölgedeki boşalma aralığı boyunca voltaj düşüşü hemen hemen sabittir ve elektrik alan sadece yarıiletken katotta artar (32). Bu nedenle, AVK ların eğimi GaAs katodun direncini verir. Bu durumda spesifik iletkenlik bu dirençten ve geometrik boyutlardan hesaplanabilir. Yarıiletkenin direnci aydınlatma şiddeti artırıldığı zaman monotonik olarak azalır. Şekil 5.1 de deki 1-3 eğrileri yarıiletken katodun direnci $\rho_1 = 1,3 \times 10^8$ Ω cm den $\rho_3 = 4 \times 10^7$ Ω cm ye azaltıldığı zamanki AVK yı (yani karanlık ve zayıf K_1 aydınlatma ve kuvvetli

aydınlatma K_2 şiddetlerindeki AVK yı) göstermektedir. Genelde, aydınlatma nedeniyle yarıiletken katodun direncinin azalmasının kırılma voltajını karakterize eden voltaj bölgesini azalttığı fark edildi. Aynı zamanda, AVK nın benzer davranışı, elektrot alanlarının (bak Şekil 5.2) farklı çapları R için gaz boşalma hücresinde gözlemlendi. Şekil 5.2 elektrot alanlarının çapları (R) arttıkça $U > U_o$ bölgesinde tüm deneysel şartlar için akım yoğunluğunun arttığını göstermektedir.

AVK bölgelerinde, yarıiletken içindeki dağılımlı direnç tabakasının varlığı, herhangi bir filament oluşumu gözlenmeksizin tüm elektrot yüzeyi üzerinde homojen dağılımlı boşalma ışık emisyonuna yol açarak akımın homojen geçişini yaratır. Şimdiki sistem ile geleneksel olarak kullanılan sistem arasındaki farklar temelde kendini iki şekilde gösteren elektrodun dağılımlı direncinden kaynaklanmaktadır. İlk olarak, yüzeyin etkin ikincil emisyon katsayısı γ katot olarak kullanıldı. İkinci olarak, dağılımlı direnç, negatif geri besleme gibi (detaylı bilgi için bak (11,54)) yarıiletkenin her noktasında akımdaki lokal dalgalanmalara cevap verir. Gaz aralığında boşalmanın başlaması uzaysal olarak homojen kararlı Townsend boşalmasını (11,58) kurar. Ya besleme voltajını U_o ya da aydınlatma şiddetini değiştirerek sistemde global akımın artırılması osilasyonların görülmesine yol açar. Bunlar hem boşalma akımında hemde boşalma ışımalarının şiddetinde (bak Şekil 5.2, $R = 18$ mm ve $R = 22$ mm için) gözlemlenebilir. Yarıiletken katodun aydınlatma şiddetindeki artışa akımın büyümesi eşlik eder. Akım yoğunluğunun bazı kritik değerinde I_{cr} ($j \approx 10^{-4}$ A), sistem osilasyonlu kararsızlık sergilemektedir.

Muhtemelen, yüksek akım yoğunluklarında gözlenen kararsızlıkların başlaması uzay yükünün oluşmasından kaynaklanmaktadır. Bu osilasyon kararsızlıklarının özellikleri başlıca elektrik akımının yoğunluğu tarafından belirlenir. Özellikle, osilasyonlar akım yeterince yüksek olacak şekilde, GaAs katoda kuvvetli bir aydınlatma uygulandığı zaman yarıiletken katot üzerinde oldukça küçük voltaj düşüşleri var olabilir. Şimdiki çalışmanın verisiyle birlikte bu gözlemler, kontrol parametreleri bölgesinde osilasyon kararsızlığının varlığını gösterir. Sistemin kararlılık probleminin teoriksel ve deneysel

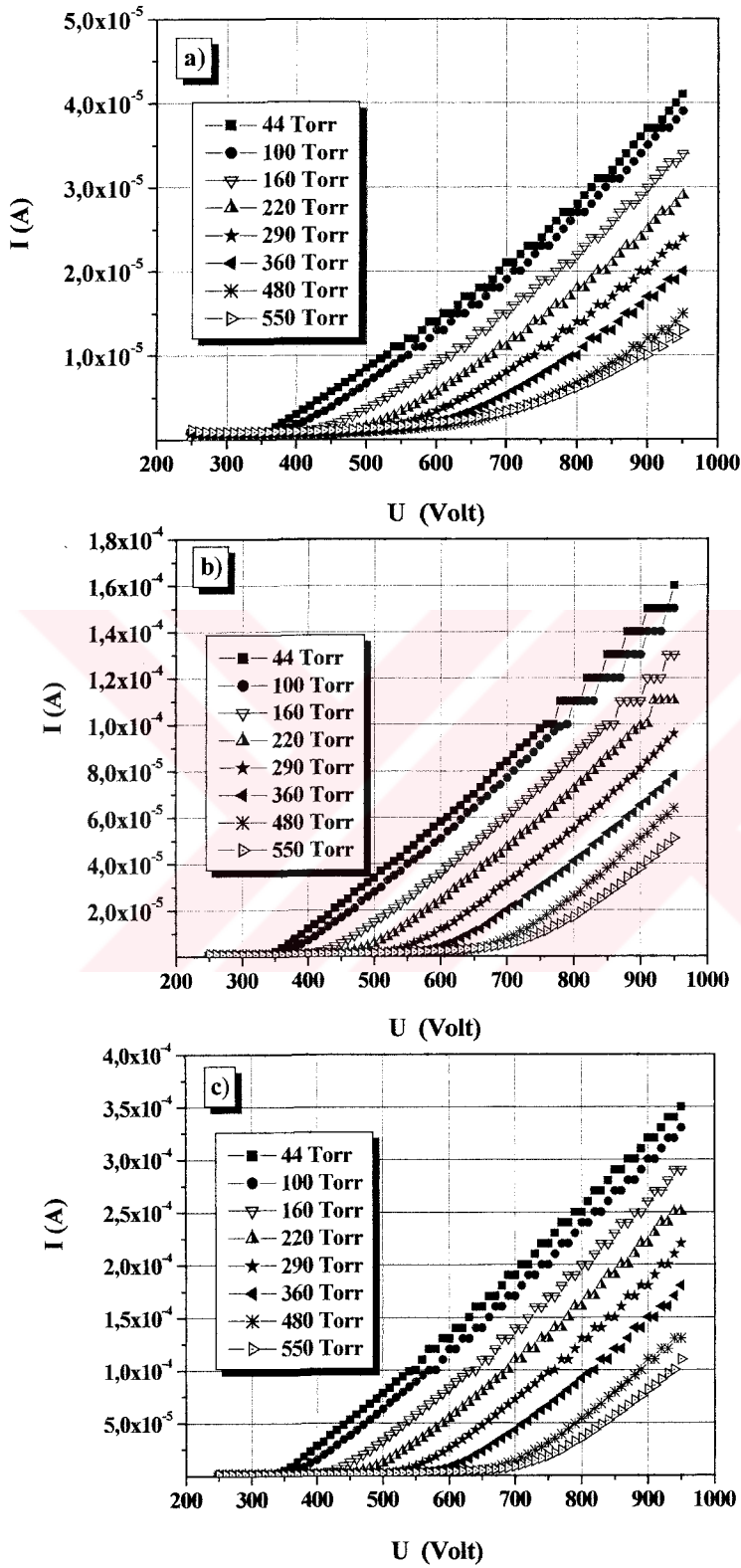


Şekil 5.2 (a,b,c) Zayıf aydınlatma şiddetinde K_I yarıiletken katodun farklı çapları R için gaz boşalma hücresinin AVK ları: a) $p = 44$ Torr; b) $p = 220$ Torr; c) $p = 550$ Torr. Gaz boşalma aralığının kalınlığı $L = 45$ μm

deneysel birlikte ele alınması ile bu etkiden sorumlu olanın gaz boşalmasının (S tipi) lineersizliği olduğunu ileri sürer.

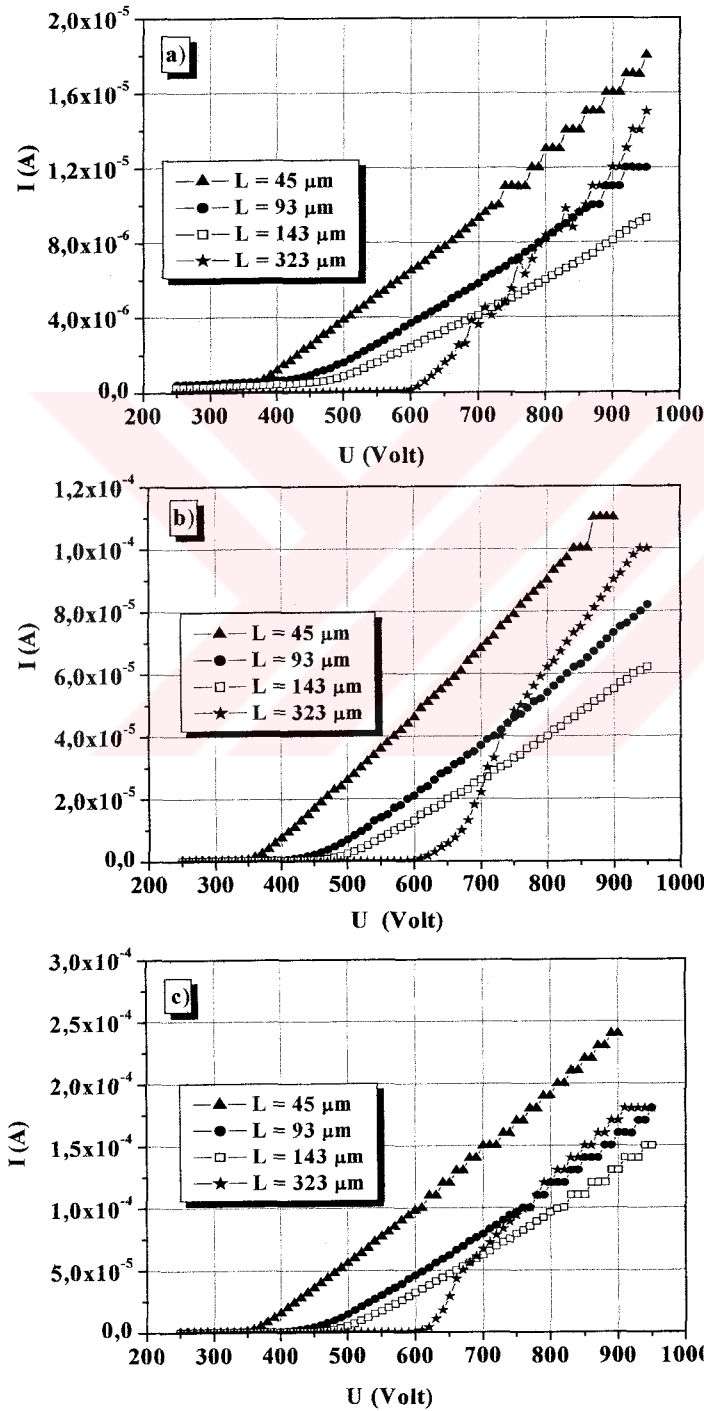
Gözlenen durumun mekanizmasını aydınlatmak için, gaz boşalma aralığı ve yarıiletken katottan oluşan; ki bunlar AVK' lardaki lineersizliklerle karakterize edilir; uzatılmış sistemin dinamiklerinin teoriksel bir analizi gerekmektedir. Osilasyon sisteminin karakteristikleri boşalma aralığının genişliği L ve gaz basıncı p gibi sistemin diğer parametrelerine de bağlıdır. Şekil 5.3 gaz basıncının p geniş bir bölgesinde gaz boşalma hücrelerinin AVK larını göstermektedir.

Üç tipik durum, karanlık, zayıf K_1 ve kuvvetli K_2 olarak katodun aydınlatılması durumu burada gösterilmiştir. Örneğin, $L = 45 \mu\text{m}$ için karanlıkta, 44 ve 550 Torr arasında basınçtaki p değişimler frekansta ve osilasyonun genliğinde sadece çok küçük değişiklikler verir. Aynı zamanda, p 290 Torr dan çok daha küçük olduğu zaman, en büyük genlikle akımın önemli bir osilasyonu zayıf aydınlatmada K_1 görülebilir [bak Şekil. 5.3b, örneğin $I \approx 10^{-4}$ A için), buna karşılık frekans sadece sınırlı olarak etkilenir. Katodun güçlü K_2 aydınlatılması durumunda; ki bu durum sistemde çok osilasyonlu seviyelerin olduğu duruma karşılık gelir, akım osilasyonlarının genliğinde küçük bir değişim voltaj artışı ile kaydedilir (Şekil 5.3c). Üstelik, yarıiletkenin iletkenliğinin fotoelektriksel kontrolü dolayısıyla, gaz boşalma sisteminde farklı lokal iletkenlikli uzaysal olarak uzatılmış pek çok homojen durum yaratmak mümkündür. İletkenliğin osilasyon frekansına etki ettiği gösterilmiştir. Yarıiletken gaz boşalma sistemi kararlı bir voltajla sürüldüğünde, farklı frekanslarda osilasyon yapan bölgeleri içeren desenler üretilir.



Şekil 5.3. Farklı p gaz basınçlarında yarıiletken GaAs katotlu gaz boşalma hücresinin AVK ları: a) Karanlık; b) zayıf aydınlatma şiddeti K_1 ve c) kuvvetli aydınlatma şiddeti K_2 . Elektrot alanlarının çapı $R = 22$ mm ve elektrotlar arası mesafe $L = 45 \mu\text{m}$

Osilasyonun genliği ve frekansı artan U_0 ile artar (31). Bu nedenle, her seviye kendi frekansında (bak, Şekil 5.3a,b,c) osilasyon yapacaktır. Boşalma aralığının kalınlıkları osilasyonun özellikleri üzerinde de etkiye sahiptir (bak Şekil 5.4 a,b,c).

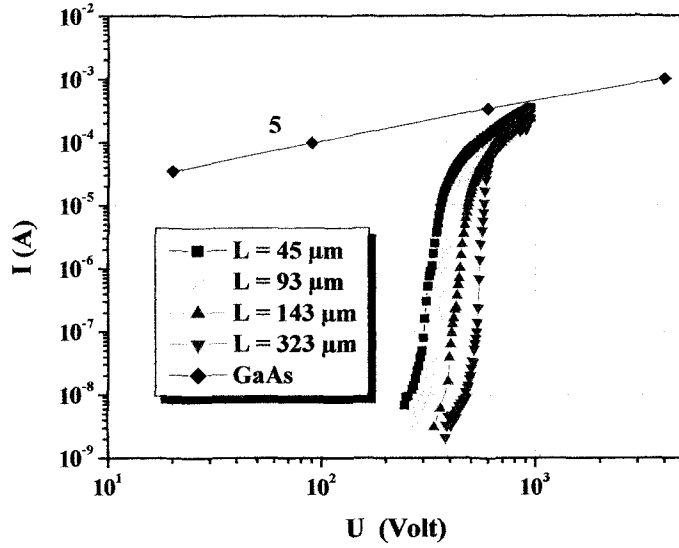


Şekil. 5.4. Farklı L kalınlıklı gaz boşalma hücresinin AVK ları: (a) Karanlık; (b) zayıf aydınlatma şiddeti K_1 ve (c) kuvvetli aydınlatma şiddeti K_2 . Elektrot alanlarının çapı $R = 18$ mm ve gaz basıncı $p = 66$ Torr

Şekil 5.4 deki eğrilerin karşılaştırılması farklı aralıklı sistemlerde (yani $L = 45, 93$ ve $143 \mu\text{m}$), diğer şartlar değişmeden kaldığında, L arttığı zaman akım osilasyonunun genliği ve frekansının değiştiğini göstermektedir.

Sabit bir K aydınlatmasında voltajın artırılması büyük bir genliğe sebep olacaktır. AVK'nın osilasyon davranışı diğer yazarların (56,60) deneysel sonuçları ile açıkçası iyi bir uyum içerisindedir. Frekans ve genlik U_o ve K ya bağlıdır. Akım yoğunluğunun fotoelektrik kontrolü uzatılmış sistemde pek çok osilasyonlu seviyenin kurulmasına imkan verir. Bu seviyelerin her biri farklı ışık şiddeti K ile homojen olarak aydınlatılmaktadır. Böylece, farklı seviyeler farklı frekans ve genlikle osilasyon yapar. Aynı zamanda, L daha ileriye artarsa (yani $L = 323 \mu\text{m}$ için, sistem değişik akım osilasyon davranışları sergiler).

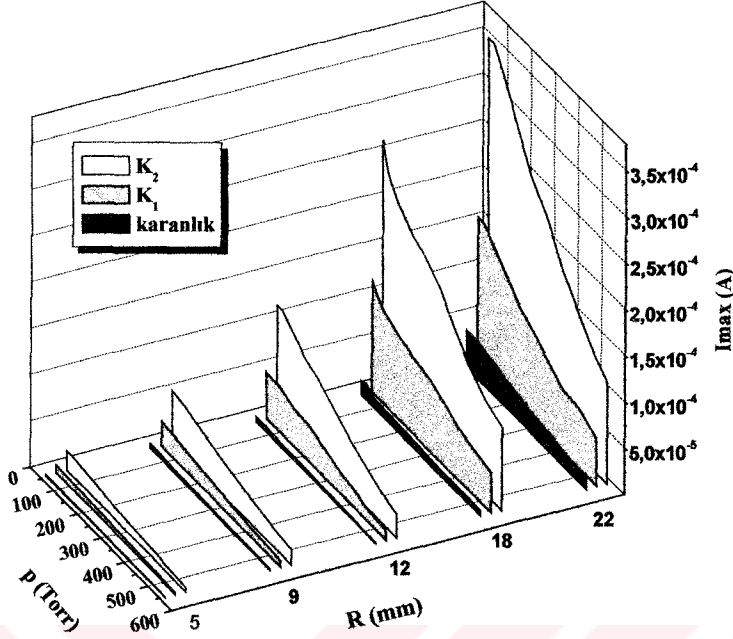
Bahsedildiği gibi, gözlenen akım osilasyonu sisteme yeterince yüksek bir dc-voltaj uygulandığı zaman, iki lineer olmayan bileşendeki (gaz boşalma aralığı ve yarıiletken) süreçlerden kaynaklanmaktadır. Besleme voltajı U_{max} dan daha küçük (yani $I_{max} \approx 10^{-4}$ A, geniş genlikli osilasyonlar başlamadan önce) fakat U_o ' a yakın olduğu zaman, düşük genlikli akım osilasyonları sistemde gözlenir. Si GaAs'ın benzer davranışı daha önceden de gözlenmiştir (bak makale (61)]. $U_o \leq U_{max}$ ' da, U_o in geniş bir değişim bölgesinde, zamanla akımın hem düzenli hem düzensiz değişimleri gözlenebilir. Böyle materyallerde geniş genlikli akım osilasyonlarının ortaya çıkması elektriksel bölgelerin dinamiğinden, yani bunların üretimi, hareketi ve bozulmasından kaynaklanmaktadır. Bu tip numunelerde gözlenen elektriksel kararsızlığın, elektrik alan tarafından taşıyıcıların ısıtılması ile, EL2 olarak adlandırılan merkezler tarafından taşıyıcıların yakalanma oranının artması ile bağlantılı olduğu bilinmektedir (bak. (32, 59-61)). Şekil 5.5. 44 Torr luk bir basınçta, yarıiletken katodun elektrot alanlarının aynı çapı R için fakat farklı boşalma aralığının farklı L mesafeleri (45,93,143 ve 323 μm) için, hücremizde elde edilen AVK ları göstermektedir.



Şekil. 5.5. Boşalma aralığının farklı kalınlıkları için elde edilen AVK lar ve GaAs yarıiletkeninin AVK sı (eğri 5). Elektrot alanlarının çapı $R = 22$ mm

Eğri 5 gaz boşalma aralığı olmadığı zaman GaAs katodun AVK sın temsil etmektedir.

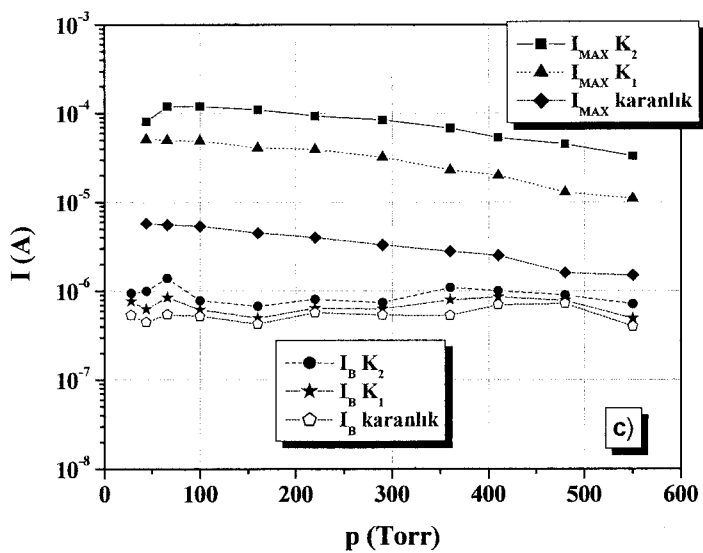
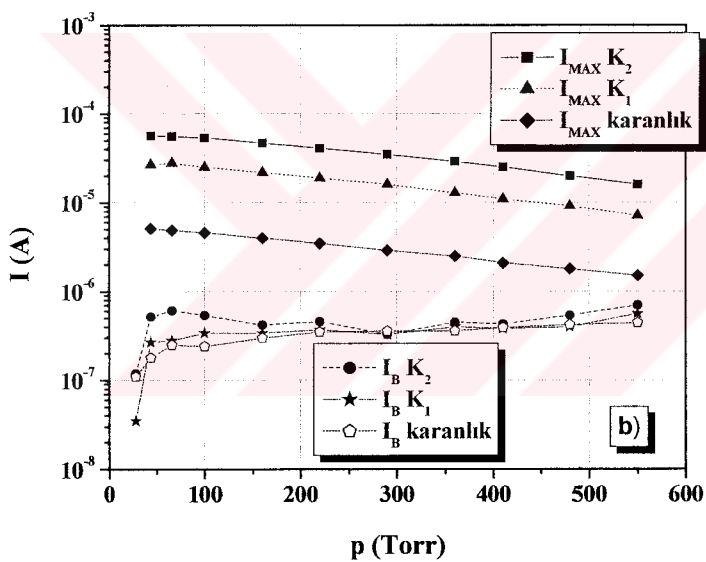
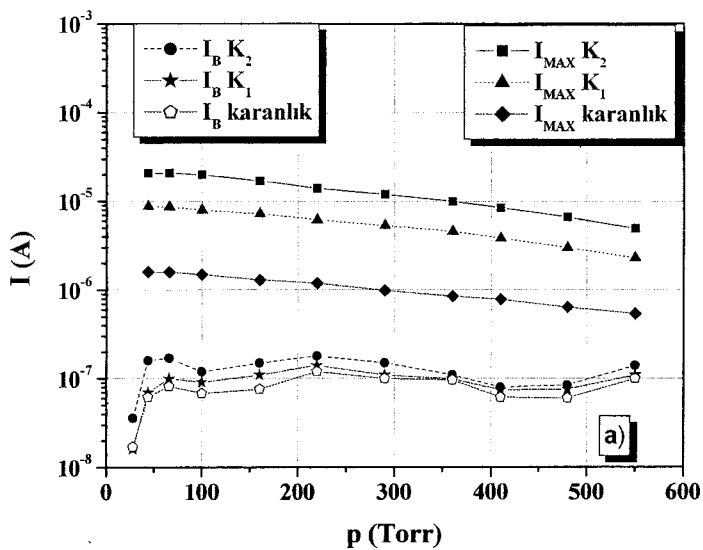
Bu eğriler düzlemsel bir gaz boşalma hücresinde L arttıkça akımın arttığını göstermektedir. Akımdaki daha ileri bir artış yarıiletkenin direnci tarafından sınırlandırılır. Şekil 5.6, elektrot alanlarının farklı R çapları ve farklı σ katot iletkenliği için basınca göre maksimum akımın (I_{max}) değişimini göstermektedir. Şekil 5.6. ayrıca GaAs katodun farklı öz dirençlerine (yani ρ_1 , ρ_2 ve ρ_3) yol açan farklı aydınlatma şiddetleri için ($K_2 > K_1$) I_{max} akım değerlerinin üst sınırlarının değişimini göstermektedir.

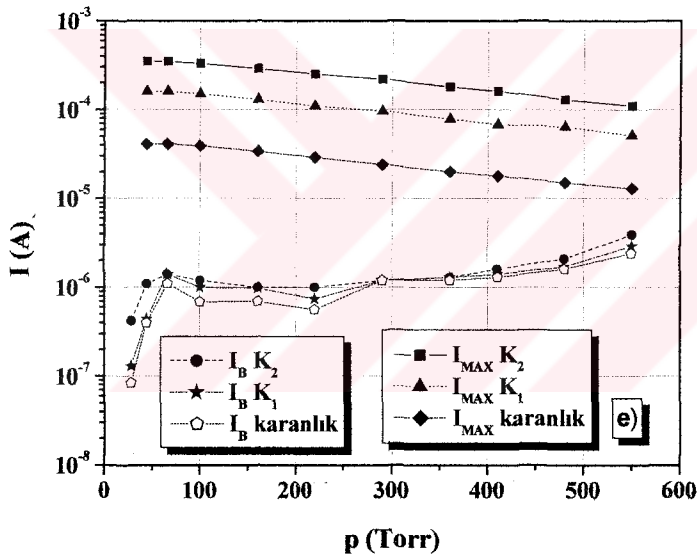
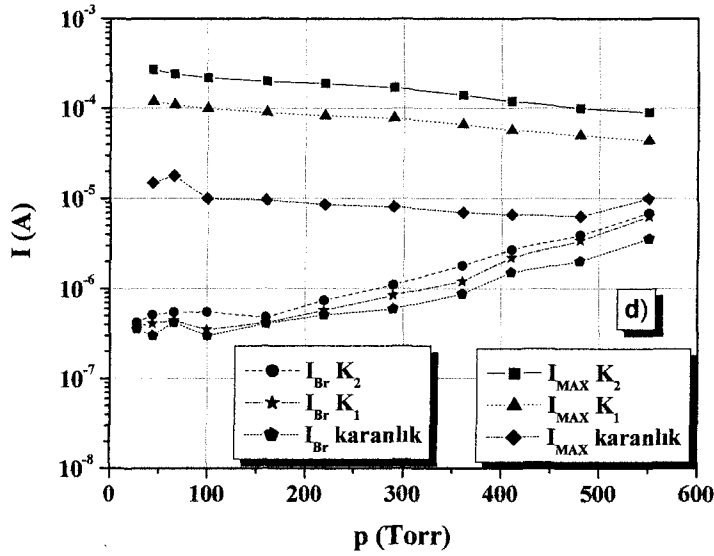


Şekil 5.6. Elektrot alanlarının farklı çapları (R) ve katodun farklı iletkenlikleri (σ) için maksimum akımın (I_{max}) basınca göre değişimi. Gaz boşalma aralığının kalınlığı $L = 45 \mu\text{m}$

Çoğu durumda I_{max} akımının basınca bağıllığı açığa kavuşturulabilir. Buna karşın, sınırlayıcı akımdaki azalma sadece büyük boşalma basınçları için gözlenmiştir.

Şekil 5.7 (a-e) sistemin basıncına göre akım osilasyonlarını içeren kararlılık bölgeleri hakkında daha detaylı bilgi vermektedir. Osilasyon bölgesindeki voltaj yarıiletken katot boyunca olan voltaj düşüştür; oysa 0 dan U_K ya kadar olan voltaj değeri boşalma aralığındaki voltaj düşüştür (22). Şekil 5.7 den görülebileceği üzere, akım osilasyonları bölgesi katodun iletkenliği artırılarak genişletilebilir ve iletkenlik aydınlatma şiddeti ile ayarlanabilir. Bu şekil, K_1 ve K_2 aydınlatma şiddetleri için öz direnç ρ_1 den yani (karanlıkta) ρ_2 ve ρ_3 'e (aydınlatma ile) düşürüldüğü zaman akım osilasyonlarının genişletilmiş bölgesini göstermektedir.





Şekil 5.7. (a-e) GaAs katodun farklı çap (R) ve iletkenlik (σ) değerleri için basınca göre akım osilasyonlarını içeren kararlılık bölgeleri: a) $R = 5$ mm; b) $R = 9$ mm; c) $R = 12$ mm; d) $R = 18$ mm; e) $R = 22$ mm. Gaz boşalma aralığının kalınlığı $L = 45 \mu\text{m}$

Elektrot alanlarının farklı çap (R) değerlerinde GaAs katot için bu diyagramlar düşünüldüğünde aşağıdaki durumlar fark edilir:

- (i) Elektrot alanlarının farklı R çapları için kararlı boşalma akımının ΔI dar bir bölgesi yani (I_{max} ve I_B akımlarının sınırladığı bölgedeki değerler arasındaki fark; ki burada I_B U_B ye karşılık gelen akımdır) p (28÷550 Torr)

basınçları için mevcuttur ve yarıiletken katodun öz direncini $\rho_l = 1,3 \times 10^8$ Ωcm den $\rho_3 = 4 \times 10^7$ Ωcm ye aydınlatma ile değiştirerek kararlılık bölgesini daha da genişletebiliriz.

- (ii) Elektrot alanlarının R çapı azaltıldığı zaman, akım osilasyonlarını içeren kararlılık bölgesi hem düşük hemde yüksek basınç bölgelerinde daralmıştır. Böylece, R deki bir azalma, akım osilasyonunun etkin bölgesini ($\Delta I = I_{\max} - I_B$) yaklaşık olarak 10^{-4} A den 10^{-7} A' e azalmıştır.

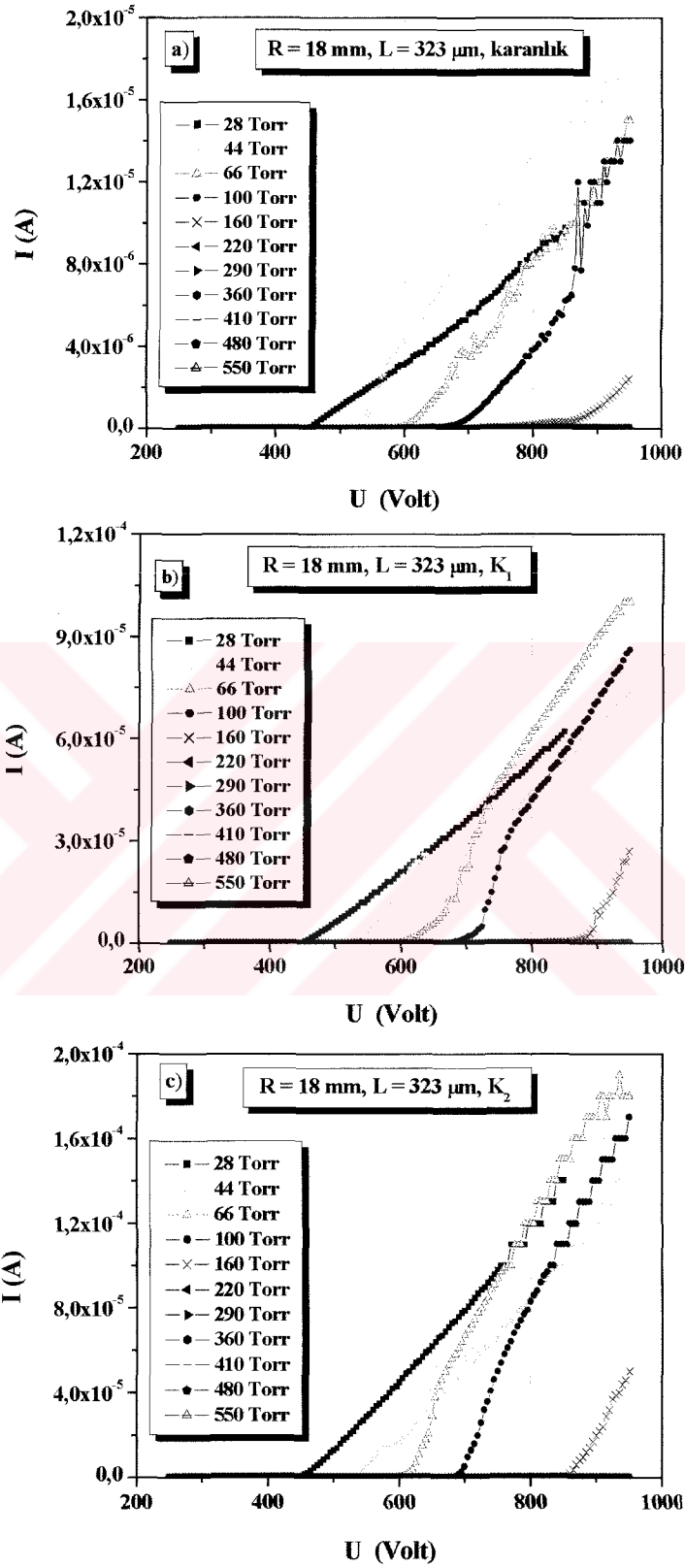
Böyle uzay yükü ile alakalı küçük bir alan homojensizliği bile Townsend boşalmasının kararsızlığına yol açar (Şekil 5.8). Şekil 5.8 de p (28÷550 Torr) basınç aralığında farklı aydınlatma şiddetlerindeki AVK lar görülmektedir. Kararsızlığın gelişiminin detaylı senaryosu dış devre karakteristiklerine (boşalma aralığının geometrisi ve katot materyali) bağlıdır. Kararsızlığın gelişimi boşalmanın sıkışmasına yol açar (52).

Sıkışmanın yanı sıra bir boşalma, toplam boşalma akımı ve voltajının (53,62) osilasyonlarına yol açan kararsızlıkların gelişimini de belirleyebilir. Bunun ancak aşağıdaki şartlardan en az biri sağlandığında olabileceği gösterildi:

$$r < r_d, \Omega_i > 1/(rC) \quad [5.2]$$

ki burada r ve C boşalma-dış devre sisteminin direnci ve kapasitansdır ve r_d boşalmanın diferansiyel direncidir.

Yukarda bahsedilen kararsızlığın gelişimi enine doğrultuda yayılan elektron çığı ile engellenmektedir. Bu süreç elektronların serbest difüzyonu tarafından belirlendiği için, büyük sönüm faktörü bu kararsızlığın gelişimini bastırabilir. Buna karşın, (59) da gösterildiği gibi en tehlikeli olanlar katodun R büyüklüğü tarafından belirlenir. Bu sonuç şu çok iyi bilinen gerçeği (bak (63)) yansıtır;



Şekil 5.8. Farklı p gaz basınçlarında yarıiletken katotlu gaz boşalma hücresinin AVK ları: a) Karanlık; (b) zayıf aydınlatma şiddeti K_1 ve (c) kuvvetli aydınlatma şiddeti K_2 . Elektrot alanlarının çapı $R = 18$ mm dir. Gaz boşalma aralığının kalınlığı $L = 323 \mu\text{m}$

Paschen eğrisinin sağ taraftaki kısmında homojen Townsend boşalmasının gelişimi, ancak gaz boşalma aralığına bir periyotluk kırılma voltajının uygulanma zamanı kararsızlığın gelişim zamanından (τ sn) küçük olduğu zaman gerçekleştirilebilir.

Bu, pulslu bir voltaj kaynağının yardımı ile ve özel seçilmiş materyallerden yapılan elektrotlarla sağlanır. Ayrıca bilinmektedir ki (bak (50,51)) gelen elektronların yüklediği yalıtkan kaplı (tabakalı) elektrotlar gelişmiş boşalma çalışma karakteristiklerini destekler ve kendini-besleyen homojen yüksek basınç boşalmanın oluşumuna imkan verir. Böylece, normal-altı moddaki homojen Townsend boşalmasının çalışma süresi, katot tabakasının ve normal akım yoğunluğunun oluşmasına yol açan enine kararsızlıkların gelişimi ile sınırlandırılır.

Düzlemsel bir gaz boşalma sisteminde Paschen eğrisinin sağ branşında Townsend ve glow boşalmalarının anlatımında katodun etkin ikincil emisyon katsayısı γ_{eff} in değişimi, ki bu da elektron geri saçılım mekanizması ile alakalıdır, dikkate alınmalıdır (62). Katot sınır şartı elektron ve iyon akımları arasında Townsend bağıntısı formunda genellikle ele alınır;

$$J_e(0,t) = \gamma_{eff} J_i(0,t) \quad [5.3]$$

ki burada γ_{eff} katottan ikincil elektron emisyonu için değişik süreçlerin katkılarını yansıtan *ikinci Townsend* katsayısıdır. γ_{eff} katsayısı E/p parametresine kuvvetlice bağlı olduğu için, bu bağıllık kararsız boşalmaların anlatımında hesaba katılmalıdır. Bu yaklaşım Phelps ve Petrovic (64) tarafından geliştirilmiştir, ki burada Ar için γ_{eff} değerleri deneysel sonuçların eksiksiz bir analizine dayandırılarak belirlenmiş ve çizelgelenmiştir. Böylece, Paschen eğrisinin sağ branşında katodun etkin ikincil emisyon katsayısı γ_{eff} ' deki bir değişim hesaba katılmalıdır ki bu değişim elektron geri saçılması etkisi ile alakalıdır. γ_{eff} değeri yayınlanan elektronların başlangıç enerjisine ve uygulanan alanın genliğine bağlıdır.

Bu çalışmada, büyük çaplı yarıiletken katotlu düzlemsel bir gaz boşalma sisteminde hava Townsend ve glow boşalmalarının başlaması değişik elektrotlar arası aralıklar ve katot alanlarının R çapları için deneysel olarak araştırıldı. Üstelik, tüm deney şartları için elektrot alanlarının R çapı arttıkça $U > U_K$ olduğu tüm voltaj bölgesi boyunca akım yoğunluğunun arttığı gösterilmiştir. Dc bir voltajla sürüldüğü zaman sistem farklı osilasyon genlikli akım kararsızlıkları üretir. Düzlemsel bir gaz boşalma sisteminde akım kararsızlıklarının kontrol parametrelerine bağlılığı araştırıldı. Yarıiletken katoda uzaysal homojen aydınlatma uygulayarak akıma enine doğrultuda homojen olmayan kararsız durumlar sistemde üretilebilir. Gözlenen akım osilasyonuna sisteme yeterince büyük bir dc voltaj uygulandığı zaman yarıiletken elektrodun sebep olduğu bölüm 5.5 de gösterilmiştir.

5.3. Yarıiletken GaAs daki Yavaş Bölgeler

Yarıiletken GaAs'a yüksek bir dc voltaj uygulandığında akım osilasyonları meydana gelir. Bu osilasyonlara elektrik alan yükseltmeli (*electric-field-enhanced*) elektron tuzaklamanın sonucu olarak meydana gelen hareketli yüksek elektrik alan bölgeleri sebep olur. 1960' ın başlarında, deney ve teori gösterdi ki eğer numuneye yeterince yüksek bir dc besleme uygulanırsa bir yarıiletken boyunca akım akışı osilasyon yapabilir. Bu osilasyonlara, katottan anoda hareket eden yüksek elektrik alanlı bölgeler sebep olur. Eğer bir bölge numunenin hacminde oluşuyor ise ve elektrotlardan uzak ise, akım düşük bir değerdedir. Bu bölgeler anoda ulaştığında ve orada bozulduğunda , akım artar. Sonra katotta yeni bir bölge oluşur ve akım tekrar düşer. Bu tip bir davranışın en önemli örneği; elektrik alan yükseltmeli elektron transferlerini içeren ve elektronların düşük enerjili, yüksek mobiliteli iletkenlik bant derinliklerinden yüksek enerjili, düşük mobiliteli olan bantlara geçişiyle tanımlanan transfer edilmiş elektron etkisi (*TEE*) dir. Bu durumun *negatif diferansiyel dirence (NDD)* ve *bölgelerin oluşumuna* yol açtığı gösterilebilir. *TEE*, örneğin yüksek katkılı n-GaAs (65) da meydana gelir. Tersine SI GaAs da, bu bölgeler n-GaAs da gözlenenlerden çok daha yavaştır ve *TEE* akım osilasyonlarına yol açmaz. Bir *NDD* 'ye mobilitenin (*TEE* de olduğu gibi) ya da serbest elektron yoğunluğunun elektrik-

alana bağılılığı yol açtığı için; SI GaAs daki yavaş bölgelere kusurlar tarafından tuzaklamanın sebep olduğu düşüncesi doğmaktadır. Elektron tuzaklamasından sorumlu olduğu düşünülen kusur *EL2* kusurudur.

Kusurların önemli rolü ile ilgili problemler, deneysel sonuçların araştırılan numuneye oldukça kuvvetli bağılı olmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek alanlı bölgelerin ilk çalışıldığı günlerde, yüksek dirençli numuneler genellikle oksijen ve *Cr* ile katkılanıyordu; şimdilerde ise numuneler ya katkılanmıyor ya da amaçsız olarak katkılanıyor. Numunedeki lokal elektrik alanları ölçmek için kullanılan Elektro-Optik Pockel etkisini kullanan en son (66-72) deneyler yönlerini, SI GaAs daki tuzaklama sürecini ve bölgeleri daha detaylı anlamaya çevirmiştir. *EL2* kusurlarının özelliklerine oldukça büyük bir ilgi vardır: çünkü SI GaAs, bir parçacık detektör olarak ve optiksel veri stoklaması nedeniyle (73) artan bir öneme sahiptir.

SI GaAs ın taşıma özelliklerinin niçin önemli bir ilgiye sahip olduğu merak edilebilir. Aslında, SI GaAs genelde yalıtıcı bir tabaka olarak kullanılır ve sistemlerin ve devrelerin elektriksel iletkenliğine katkıda bulunmadığı farz edilir. Yinede, devrelerin performansını geliştirmek için SI GaAs ın en iyi kalitede olması çok önemlidir (72-74). Bu gereklilik doğrudan, SI GaAs ın yalıtkan olmasına sebep olan kusurları (özellikle *EL2*) anlamayı gerektirir. SI GaAs daki yüksek-elektrik alanlı bölgelere *EL2*'lerin elektron tuzaklaması sebep olduğu için, bu bölgelerin incelenmesi *EL2* lerin özelliklerini araştırmada doğal bir yöntemdir. Buna ek olarak, SI GaAs daki akım osilasyonları yarıiletken cihazlardaki kararsızlıkların bir örneğidir. Bu tip kararsızlıklar hem sistem uygulamaları (bunlar genelde diyotların çeşitli tiplerinde kullanılır) hem de lineersizliklerin ve kaosların gerçek-zamanını incelemek için öneme sahiptir. SI GaAs daki osilasyonlar çok düşük bir frekansa sahiptir; buda deneylerle numunenin çok detaylı analizine imkan verir.

5.4. Hareketli Elektronlar ve Negatif Diferansiyel Direnç

Serbest elektron yoğunluğu n olan bir yarıiletken düşünelim. Uygulanan dc E elektrik alanının geniş bir bölgesindeki değerler için, numune boyunca elektrik akım akışının yoğunluğu J nin deneysel olarak *Ohm kanununa* uyduğu kanıtlanmıştır.

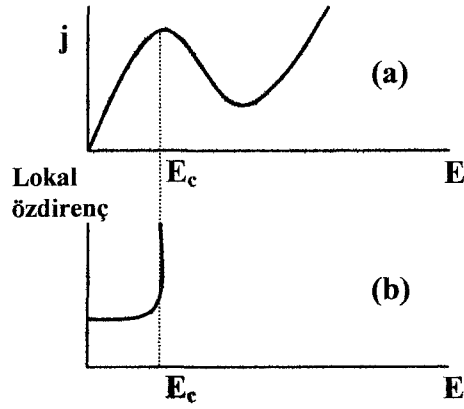
$$\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E} \quad [5.4]$$

Burada σ iletkenliği

$$\sigma = ne\mu \quad [5.5]$$

ile verilir. e temel elektrik yükü ve μ elektron mobilitesidir. Elektrik alan yokken, serbest elektronlar kristal örgü ile termal dengededir. Bu denge elektronlar ve örgü atomları arasındaki çarpışmalar ile sağlanır. Elektrik alan çarpışmalar arasındaki elektronları hızlandırır; bu da elektronların belirli bir miktar enerji kazanmaları manasına gelir. Bu enerjinin bir kısmı çarpışmalar esnasında ısıya dönüşür (Joule etkisi) gerisi ise elektronları kristal örgünün sıcaklığının bir parça yukarısındaki bir değere getirir. Yüksek elektrik alanların olması durumunda, elektron sıcaklığı örgü sıcaklığının çok yukarısına artar ve bu elektronlara *sıcak* denir. Sıcak elektronlar omik olmadığı için şimdi göreceğimiz üzere ilginç elektriksel olaylar meydana gelir.

Shockly (75) yarıiletkenlerdeki yüksek elektrik alanlarını inceleyen ilk kişiydi; fakat bu etkilerin doğru potansiyeli 1960' larda (76-78) anlaşılabilir. n ve μ nün alandan-bağımsız olduğu omik rejime zıt olarak; bu parametrelerden biri yüksek alanlarda değişebilir. Örneğin, çığ kırılma nedeniyle (79) ya da elektron tuzaklama nedeniyle n değişebilir. μ ise örneğin elektronların iletkenlik bandının bir seviyesinden diğer seviyesine farklı bir etkin kütle ile (transfer edilmiş elektron etkisi) transferi tarafından ve acusto-elektrik etkisi (80) tarafından etkilenir. Ohm kanunundan hareketle eğer nE (ya da μE) çarpımını azalır (81), örneğin J-E karakteristiği $dJ/dE < 0$ olduğu bir bölge sergiler.



Şekil 5.9. a) N tipi- NDD b) Lokal diferansiyel özdirencin alana bağıllığı

Bu özellik negatif diferansiyel direnç (NDD) olarak bilinir. Bir NDD kendisini iki farklı formatta gösterir. İlki $S-NDC$ olarak adlandırılır; çünkü $J-E$ karakteristiği S biçimlidir. Bu durumda, NDC numune boyunca yüksek-akım yoğunluklu filamentlerin ortaya çıkması ile birlikte oluşur. İkinci durumda $J-E$ karakteristiği Şekil 5.9 a) da gösterildiği gibi N - biçimlidir. Ohm kanunu kritik bir E_c alanının altındaki alanlar için geçerlidir. NDD bölgesi kararsızdır ve genellikle deneyler boyunca kolay elde edilemez. NDD bölgesindeki bu kararsızlıklar ya sistemin entropisine bakarak ya da elektriksel kararsızlığı analiz ederek incelenebilir. Sze (79)'i izleyerek, bir yarıiletkenin (77) oran denklemini ele alalım:

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{1}{e} \nabla \cdot \mathbf{j} = 0 \quad [5.6]$$

Burada elektronlar için pozitif yükü aldık. Şimdi uzay yük yoğunluğunun n_{eq} denge değerinden küçük bir lokal dalgalanmasının var olduğunu farz edelim. Bu durumda Poisson denklemi

$$\nabla E = \frac{e(n - n_{eq})}{\epsilon}, \quad [5.7]$$

olur; ki burada ϵ geçirgenliktir (elektrik alanın her hangi bir dalgalanma ile değişmediğini farz edelim). Akım yoğunluğu

$$\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E} - eD \nabla n \quad [5.8]$$

ile verilir; D difüzyon katsayısıdır. Denklem [5.8] in diverjansını alırsak ve Eşitlik [5.6] ile birlikte

$$\frac{1}{e} \nabla \cdot \mathbf{j} = \frac{\sigma(n - n_{eq})}{\varepsilon} - D \nabla^2 n \quad [5.9]$$

elde edilir. Bu eşitlik

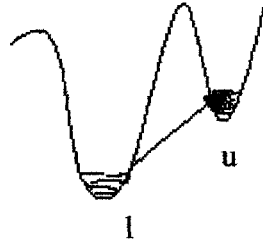
$$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{\sigma(n - n_{eq})}{\varepsilon} - D \nabla^2 n = 0 \quad [5.10]$$

yi verir. Değişkenlere ayırmadan sonra, zamansal bölge de Eşitlik [5.10] için çözüm

$$n - n_{eq} \propto \exp(-et\mu/\varepsilon) \quad [5.11]$$

dir. Kolayca görüleceği üzere NDD başlangıç yük dengesizliğini exponansiyel olarak büyütür; buda numunenin NDD bölgesinde kararsız olduğu anlamına gelir. Numune NDD bölgesine yaklaştırıldığında, lokal pozitif diferansiyel direnç, Şekil 5.9.(b) den görülebileceği gibi uygulanan elektrik alanla artar. Bu şu anlama gelir; *eğer numunenin bir bölgesi dalgalanmalar nedeniyle biraz daha yüksek bir alana sahipse, bu bölgenin direnci artar. Dolayısıyla, bu bölge boyunca akım akışı azalır; ki buda içerde yüksek dirençli bölgenin daha da büyümesine yol açar.* Bölgenin enine uzantısının hızı 10^8 cm/s den daha büyüktür (33). n-GaAs daki serbest elektron hızı yaklaşık olarak 10^7 cm/s olduğu için (ki bu numune boyunca bölgenin hareket hızına üst limit koyar) bölge, katottan anoda hareket etmeden önce tüm numuneyi kaplar. *Yukarıdaki düşünceler göstermektedir ki belirli şartlar altında bir yarıiletken yüksek elektrik alanlarının uygulanması, NDD 'ye ve numune içerisinde hareket eden yüksek alanlı bölgelere yol açabilir.*

GaAs gibi yarıiletkenlerde, termal dengede elektronlar l minimumunda bulunurlar. Yüksek elektrik alanlarda, elektronlar yeterince enerji kazanırlar ve u minimumuna transfer olurlar (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. GaAs yarıiletkeninde elektronların bulunduğu enerji minimumları

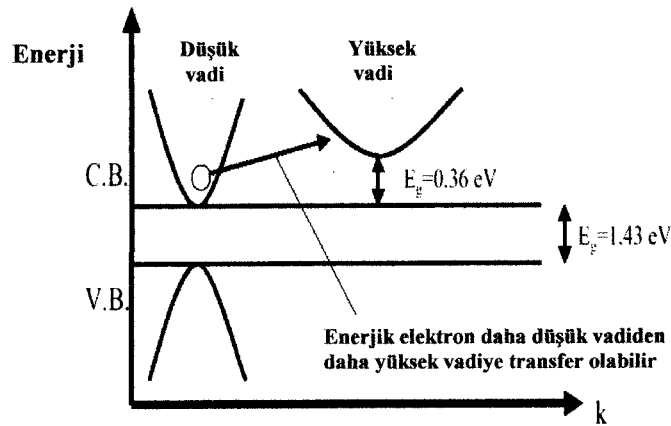
$m_l^* < m_u^*$; ve $\mu_l > \mu_u$ ($\mu = e\tau/m^*$) dir. Toplam akım

$$\mathbf{J} = e[n_l\mu_l + n_u\mu_u]\boldsymbol{\varepsilon} \quad [5.12]$$

ile verilir. Elektron korunumu $n_l + n_u = n$ olmasını gerektirir. Elektronların u minimumuna transfer olmaları yukarıda da bahsedildiği gibi transfer-edilmiş elektron-etkisi (*TEE*) olarak bilinir ve Gunn osilasyonlarından sorumludur. Yüksek alan rejiminde, örnek içindeki elektrik alan dağılımı genelde oldukça homojensizdir. *NDD* modunda, çok yüksek alanlı lokalize olmuş bölgeler oluşur bu bölgeler örneğin uzunluğuna enine doğrultudadır. Her bölge diğer kontağa ulaştığında, dış devre boyunca bir akım pulsu akar. Osilasyonların periyodu bölgenin geçiş zamanı tarafından belirlenir. Yüksek mobiliteli ve düşük taşıyıcı yoğunluklu örnekler ihtiyacı vardır. Kritik voltajın biraz üzerinde, 2000÷4000 V/cm ye karşılık gelen bir elektrik alanda GaAs daki akım zamanın fonksiyonu olarak dalgalanır. Elektronların sürüklenme hızı elektrik alan belirli bir değeri aştığında azalır. n-tipi GaAs için kritik elektrik alan yaklaşık olarak 3000 V/cm dir (81). n tipi GaAs ın enerji-band teorisine göre iletkenlik bandında iki vadi (minimum) vardır ve elektronun etkin kütlesi

$$m^* = \frac{\hbar^2}{\frac{d^2E}{dk^2}} \quad [5.13]$$

ile verilir. Vadi eğrilerinin eğimlerinin değişim oranını $\frac{d^2E}{dk^2}$ gösterir. Daha düşük vadinin eğimi daha yüksek vadinin eğiminden daha büyük olduğu için; düşük vadede

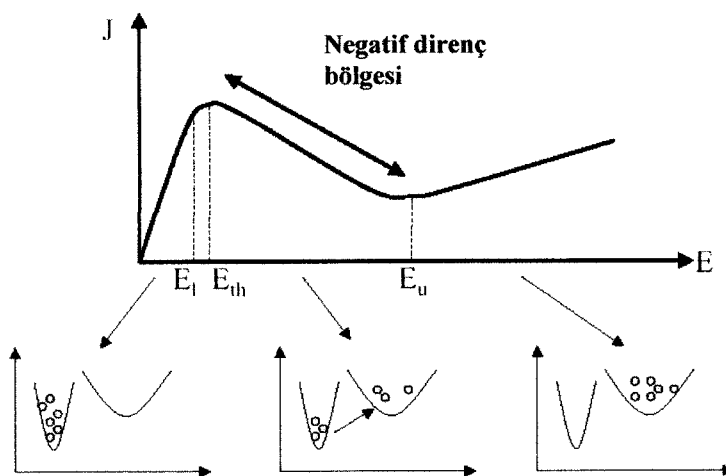


Şekil 5.11. n-tipi GaAs in enerji band diyagramı

bulunan elektronun etkin kütlesi daha yüksek vadide bulunan elektronun etkin kütlesinden daha düşüktür. Bu durumda daha düşük vadide bulunan elektronun mobilitesi daha yüksek vadide bulunan elektronun mobilitesinden daha yüksektir n-tipi GaAs için tablo aşağıdaki gibidir. [5.12] denklemine göre J-E grafiği aşağıda görülmektedir.

Çizelge 5.1. Düşük ve yüksek vadi için GaAs'ın mobilitesi

Vadi	Etkin Kütle	Mobilite
Düşük	0,068	8000
Yüksek	1,2	180



Şekil 5.12. n-tipi GaAs yarıiletkeninin elektrik alan- akım yoğunluğu grafiği

n-tipi GaAs ın iletkenliği $\sigma = e[n_1\mu_1 + n_u\mu_u]$ ile verilir. Sistemin negatif diferansiyel direnci

$$\frac{d\sigma}{dE} = e\left(\mu_1 \frac{dn_1}{dE} + \mu_u \frac{dn_u}{dE}\right) + e\left(n_1 \frac{d\mu_1}{dE} + n_u \frac{d\mu_u}{dE}\right) \quad [5.14]$$

Ohm kanununa göre, $J = \sigma E$

$$\frac{dJ}{dE} = \sigma + \frac{d\sigma}{dE} E \quad [5.15]$$

[5.14] ve [5.15] denklemlerini birleştirip yeniden yazarsak,

$$\frac{1}{\sigma} \frac{dJ}{dE} = 1 + \frac{\frac{d\sigma}{dE}}{\frac{\sigma}{E}} \quad [5.16]$$

elde edilir. Negatif diferansiyel direnç

$$-\frac{\frac{d\sigma}{dE}}{\frac{\sigma}{E}} > 1 \quad [5.17]$$

olduğu zaman ortaya çıkar. Burada E_{th} eşik elektrik alan ve V_{th} eşik voltajıdır.

- E_{th} değerinin üzerinde, bir bölge oluşmaya başlar ve taşıyıcı akışı ile sürüklenir. E arttığı zaman, sürüklenme hızı azalır ve numune negatif diferansiyel direnç gösterir. Eğer voltaj daha da artırılırsa, bölge artar akım azalır.
- Uygulanan voltaj eşik voltajı V_{th} ın altına düşmedikçe bir bölge anoda ulaşmadan önce yok olmaz.
- Yeni bir bölgenin oluşumu E_{th} ın altına E alanının azaltılması ile engellenebilir. Transfer edilmiş elektron etkisi negatif diferansiyel dirence yol açmaktadır.

5.5. EL2 Kusurları

Bir kusur ya da safsızlık tarafından elektron tuzaklaması bölgelerin oluşumuna yol açabilir. Si GaAs da, EL2 kusuru (82) elektron tuzaklaması için en önemli adaydır. Si

GaAs şu günlerde normal olarak Bridgman tekniği ya da liquid encapsulated Czochralski (LEC) methodu (83) ile büyütülür. Bu materyal katkılanır; yani sıg (dar-yüzeysel) donör ve akseptörlerin bağı elektronları ve holleri yasaklanmış enerji aralığının derinlerindeki seviyelere transfer edilir. Bu katkılama ya derin akseptör Cr ile bilinçli olarak doping yaparak ya da; derin donör kusuru *EL2* nin sıg kusur ve safsızlıkları bastırması amacıyla zengin bir As ortamında kristal büyütme yaparak başarılır. Her ne kadar sıg kusurlar küçük bir rol oynasa da, SI GaAs ın varlığı (katkılanmamış ya da bilinçsizce katkılanmış) *EL2* nin var olmasını gerektirir (84): *EL2 SI GaAs ın elektriksel ve optiksel özelliklerini kontrol eder.* n-tipi GaAs ın üretilme prosedürü şekilde görülmektedir. *EL2* nin konsantrasyonu (N_{EL2}) SI GaAs da yaklaşık olarak 10^{16} cm^{-3} dür. N_{EL2} pratikte $10^7 \div 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ bölgesindeki serbest n-elektron yoğunlukları için sabittir.

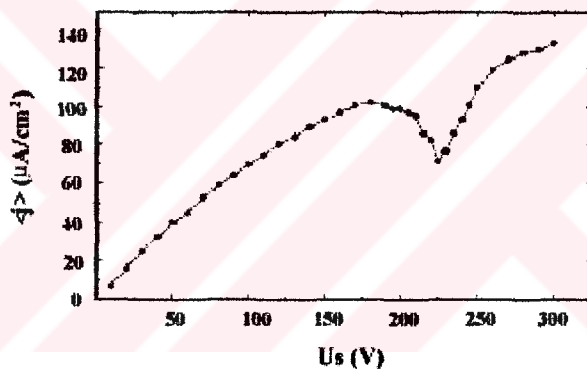
GaAs katodun spesifik iletkenliği, yarıiletken hacmindeki fotoelektrik süreçler nedeniyle halojen bir lambanın ışığı ile uzaysal olarak homojence kontrol edilir. Yarıiletkende küçük değerlerde ölçülen bu değer yaklaşık $2,5 \cdot 10^{-7} (\Omega\text{cm})^{-1}$ de sabitlenir ki burada yarıiletkenin iletkenliği lineerdir. İç fotoetki nedeniyle, GaAs elektrodun spesifik iletkenliği ışık ile aydınlatma tarafından kontrol edilir. Elektrodun dış yüzeyindeki Au kontak, görünür ışığa göre (geçirgenlik katsayısı yaklaşık %10 dur) şeffaf olduğu için bu durum mümkündür. Işık yarıiletken elektrot tarafından soğurulduğu zaman, elektronlar valans banttan iletkenlik bandına uyarılır. İletkenlik gelen ışığın şiddeti ile hemen hemen lineer olarak değişir (57).

Yarıiletken elektrodun uygun spesifik iletkenliği $\sigma_{GaAs} = (0,5 \div 1,18) \times 10^{-7} (\Omega\text{cm})^{-1}$ bölgesindedir. Düşük akım boşalmasının bu aşaması Townsend boşalmasına karşılık gelir (3). Bu modda voltajın artması, yarıiletken elektrodun omik davranışını belirten lineer olarak artan akıma yol açar. Townsend modunda, gaz aralığında voltaj sabittir ve boşalma akımından bağımsızdır. Bu boşalma modu akımdaki daha fazla artış ile; ki buda ya besleme voltajını ya da yarıiletken elektroda uygulanan aydınlatmayı artırarak yapılabilir, kararsızlaştırılabilir. Yüksek elektrik alanlarda iletkenliklerini tek başına gösteren yarıiletken GaAs elektrotla yapılan deneylerde aşağıdaki grafikler elde

edilmiştir (57). Gözlenen veriden şu sonuç çıkarılabilir; yarıiletkendeki voltaj düşüşü belirli bir kritik değere sahip olur olmaz ki bu değer seçilen GaAs tabaka için sabittir; spiral dalgalar ortaya çıkar ve yok olurlar.

Bu nedenle yarıiletkenin özelliklerinin gözlenen kararsızlıkların ortaya çıkmasından sorumlu olduğunu düşünülmektedir (85).

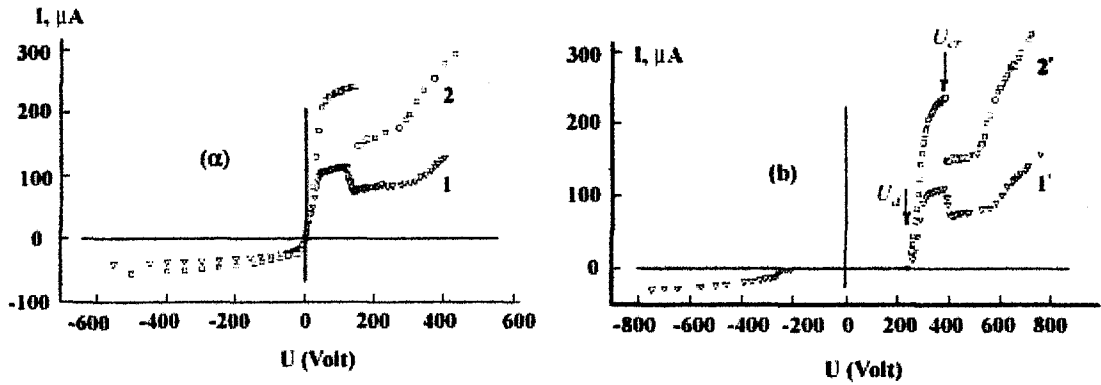
Bu düşüncüyü doğrulamak için, GaAs ın I-V karakteristiğini gaz boşalması olmaksızın ölçüldü (85). Bu ölçümü yapmak için, yarıiletken tabakanın her iki yüzeyi ince Au filmle kaplandı. Verinin bir örneği Şekil 5.13 de görülmektedir. Şekilden açıkça görülmektedir ki yarıiletkendeki voltaj düşüşü yaklaşık 200÷220 V iken GaAs ın I-V karakteristiği kuvvetlice lineersiz olacaktır.



Şekil 5.13. GaAs katodun negatif diferansiyel dirençli akım-voltaj karakteristiği

Burada U_g gaz boşalma aralığındaki voltaj düşüşü ve U_s yarıiletkendeki voltaj düşüşüdür. Şunu belirtmeliyiz ki U_o , gaz aralığı ve yarıiletken bileşen üzerindeki voltaj düşüşlerinin toplamıdır. Bu değerler dönen dalgaların gözleendiği bölgenin merkezine karşılık gelir. Böylece dönen dalgalar gaz boşalmasındaki voltaj düşüşü sabitken ve yarıiletken lineer olmayan modda çalıştığı zaman meydana gelir (85).

Akıma enine doğrultuda olan homojen olmayan kararsız yapıların yarıiletken sisteminde N-tipi I-V karakteristiğe sebep olduğu düşünülmektedir. Bu durumun elektrik bölgelerin homojen yayılmasının kararlılığını kaybetmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. İki tip yapının (bunlardan biri gaz boşalma aralığı diğeri ise yarıiletken) taşıma özellikleri karşılaştırıldığında (Şekil 5.14a) şu önemli sonuç elde edilmiştir:



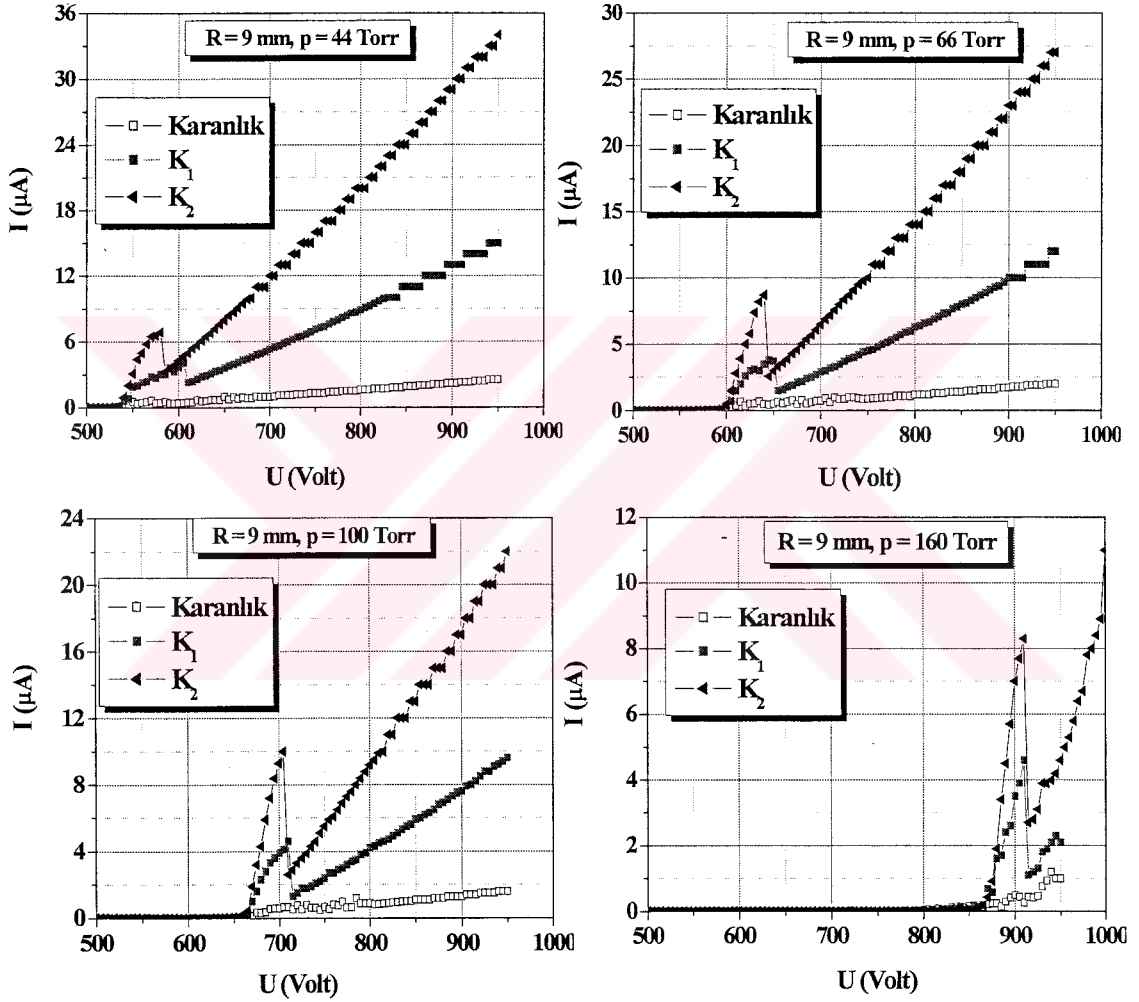
Şekil 5.14 a) Gaz boşalma aralığının olmaması b) olması halinde akım-voltaj karakteristiği

Uzaysal olarak homojen olmayan akım osilasyonları yarıiletken bileşen tarafından oluşturulur. Yani bunlar (homojen olmayan akım osilasyonları) gaz boşalma aralığının yok olması durumunda da mevcuttur. Şekil 5.14 b de gösterilenler gaz boşalmasının olmaması (a) ve olması (b) halinde incelenen yapıların kararlı I-V karakteristiklerinin örnekleridir. 1 ve 1' eğrileri ve 2 ve 2' her iki yapının yarıiletken bileşeni, iletkenliği kontrol eden beyaz bir ışıkla eşit şiddette aydınlatıldığında elde edilmiştir. Her iki yapı için verilerin karşılaştırılması açıkça göstermektedir ki; yapıda gaz boşalma aralığının olması temelde taşıma özelliklerinin karakterini etkilememektedir. Yani Şekil 5.14 (a) ve 5.14 (b) deki veri arasındaki temel fark (b) durumunda gaz dolu aralıkta U_d nin gaz kırılması için kritik voltaja eşit olarak I-V karakteristiklerinin voltaj eksenini boyunca değişmesidir. Ayrıca, I-V karakteristiklerindeki N-tipi kararsızlıklara yarıiletken KÖ ışıkla aydınlatıldığında rastlanmamaktadır (47).

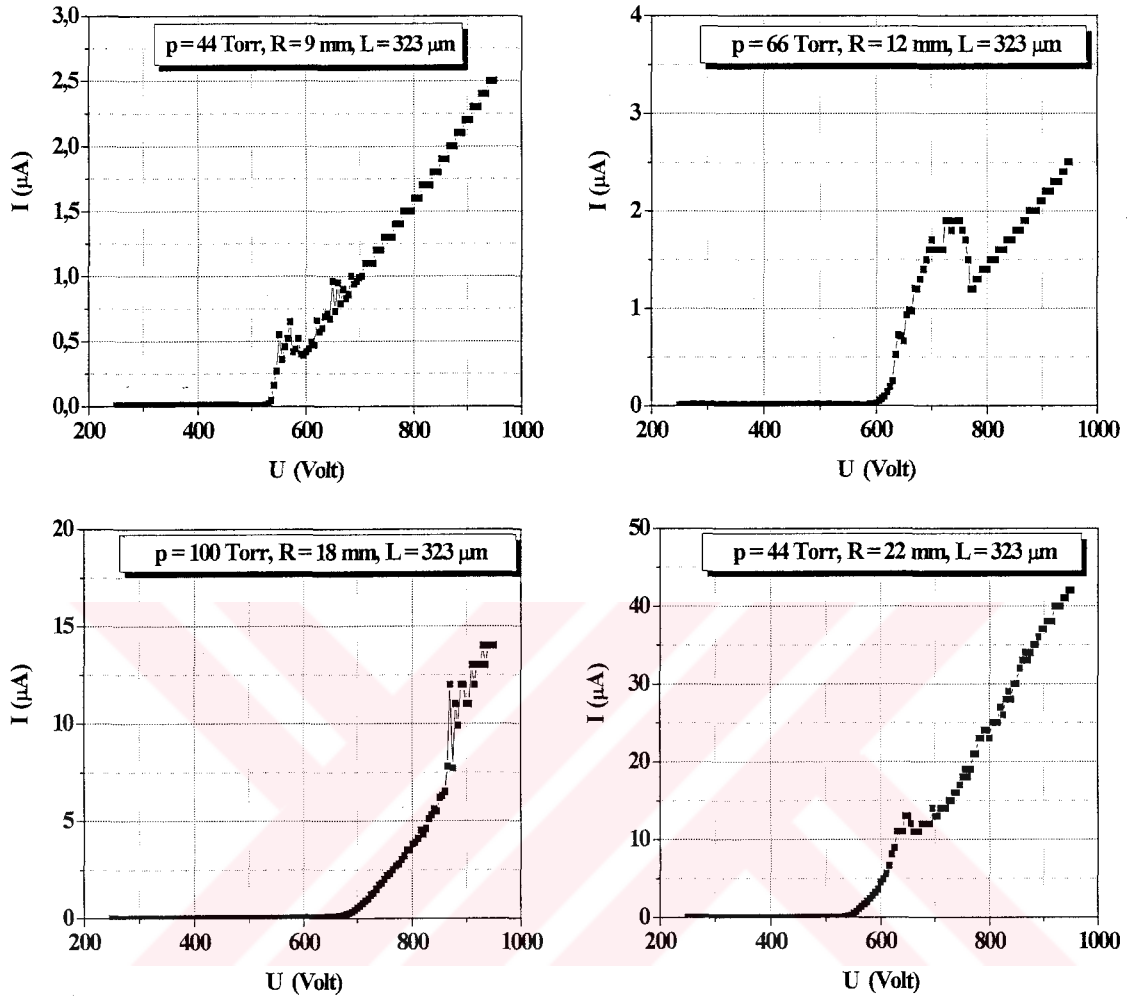
5.6. Farklı Basınç ve Farklı Elektrot Çaplarına Göre NDD Kararsızlıklarının İncelenmesi

Hiçbir yarıiletken kristal materyali mükemmel değildir ve kristal büyütme kontrol etmek için harcanan tüm çabalara rağmen GaAs kristalleri, çok sayıda kristal kusurlarını, dislokasyonları ve safsızlıkları içermektedir. Bu kusurlar GaAs'ın elektronik özellikleri üzerinde ya istenen ya da istenmeyen etkilere sahiptir. Deneylerimizde N-tipi olarak adlandırılan karakteristikler kaydedilmiştir.

Biz daha önce yapılan çalışmalardan (47) farklı olarak KÖ ışık kullandığımızda *NDD* ye rastladık (Şekil 5.15). Farklı çap ($R = 9\div 22$ mm) ve farklı basınçlar için $p = 44\div 160$ Torr $L = 323$ μm lik elektrot aralığında elde ettiğimiz *NDD* grafikleri aşağıdaki gibidir:



Şekil 5.15. Farklı KÖ aydınlatma şiddetleri ve farklı basınçlar için GaAs katodun negatif diferansiyel (*NDD*) dirençli akım voltaj karakteristikleri.
 $L = 323$ μm , $R = 9$ mm



Şekil 5.16. Farklı elektrot çapları için karanlıkta GaAs katodun negatif diferansiyel dirençli (NDD) akım voltaj karakteristikleri. $L = 323$ μm , $R = 9\div 22$ mm

Bu kararsızlıklar gaz boşalması GaAs daki taşıma özellikleri görüntülemeye hizmet ederken, yarıiletken elektrodun lineersizliğinden meydana gelmektedir. Elektriksel bölge kararsızlıklarının yarıiletken elektrotta elektrotun N -tipi I - V karakteristiğine sebep olduğu ref (65) da belirtilmektedir. Bu tip taşıma lineersizliğinin SI GaAs da (bak (47)) yüksek elektrik alan bölgelerinin yayılmasından sorumlu olduğu bilinmektedir. Sunulan karakteristikler düzlemsel yapının yarıiletken bileşeninin negatif diferansiyel direncinin varlığını kanıtlar.

Yarıiletken kristallerin *EL2* merkezleri olarak adlandırılan derin elektronik kusurlarla katılanması nedeniyle oda sıcaklığında yüksek bir dirence sahiptirler. Bu kusurların varlığının materyalin *N*-tipi *NDD* sine ve sonuç olarak örneğe yeterince yüksek genlikli bir dc-voltaj uygulandığında akımda osilasyonlara yol açar. Bu etki, yüksek elektrik alanlarda kinetik enerjileri arttığı zaman, yük merkezlerinin tuzaklama verimliliğinin artması ile kontrol edilir. Osilasyonlar, örnek içindeki yüksek elektrik alanlı bölgelerin oluşumu, hareketi ve bozulması ile alakalıdır .

Yarıyalıtkan GaAs materyallerinde derin vericilerin varlığı *EL2* merkezleri olarak bilinir ki bu Fermi seviyesini band aralığının ortalarına kaydırır ve yüksek elektriksel dirence ($10^7 \div 10^8 \Omega$) neden olur. Çünkü, *EL2* merkezleri bir çok elektriksel ve optiksel mekanizmalara (fiziksel olaylar) katkıda bulunurlar. Bunlar GaAs' in elektriksel parametrelerinin uzaysal olarak değişmesinde baskın rol oynarlar. Bu bölümde deneylerimiz boyunca *NDD* kararsızlıkları ile ilgili elde ettiğimiz sonuçlar şu şekildedir:

- Grafiklerimiz incelendiğinde voltaj artışı ile akımda hafif bir azalmanın kaydedildiği görülmektedir. Sunulan karakteristikler yarıiletken bileşenin negatif diferansiyel direncinin varlığını kanıtlar.
- *NDD* karakteristikleri GaAs fotodedektörün lineersizliğinden kaynaklanmaktadır; halbuki gaz boşalması GaAs fotodedektörün taşıma özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip değildir.
- Genel olarak $p = 28 \div 160$ Torr aralığında $L = 323 \mu\text{m}$ lik elektrotlar arası mesafe için $R = 9 \div 22$ mm lik elektrot çaplarında yarıiletkenin *NDD* karakteristikleri elde edilmiştir. Dikkat edilirse aydınlatma şiddetine, basınca ve yarıiletken elektrodun çapına bağlı olarak bu karakteristikler değişmektedir. Farklı elektrot çapları ve farklı basınçlar için elde ettiğimiz *NDD* grafikleri bugüne kadar yapılan en kapsamlı çalışmadır.
- Yine diğer yapılan çalışmalardan farklı olarak (47) ilk defa biz KÖ ışık ile yarıiletken katot aydınlatıldığında yarıiletkenin *NDD* karakteristiklerine rastladık.

- Uzaysal olarak homojen olmayan akım osilasyonları yarıiletken bileşen tarafından oluşturulur. Yani bunlar (homojen olmayan akım osilasyonları) gaz boşalma aralığının yok olması durumunda da mevcuttur.
- Biz çok yüksek olmayan voltaj bölgesinde ($U = 1000$ Volt) çalıştığımız için *NDD* kararsızlıklarına yarıiletken elektrot sebep olmaktadır. Daha yüksek voltajlarda ise kararsızlıklardan hem yarıiletken hemde gaz boşalması sorumludur.



6. YARIİLETKEN KATOTLU GAZ BOŞALMA HÜCRESİNDE FARKLI ÇAP VE FARKLI ELEKTROTLAR ARASI MESAFE İÇİN İŞİMANIN DAVRANIŞI

6.1. İyonizasyon Tipli Görüntü Çeviricinin İşıma Voltaj Karakteristikleri

Gaz boşalma hücresinden yayınlanan ışık emisyonu, bilgisayarlı bir foton sayma ünitesi kullanarak ölçülmüştür. Ünitenin fotoçoğaltıcı tüpü ultraviyole bölgesinde yüksek duyarlılığa sahiptir; ki gaz boşalma hücresinden yayınlanan ışık emisyonu da bu bölgededir. Sistemdeki KÖ sızıntıyı yok etmek için 330÷700 nm bölgesini geçiren cam bir filtre kullanılmıştır.

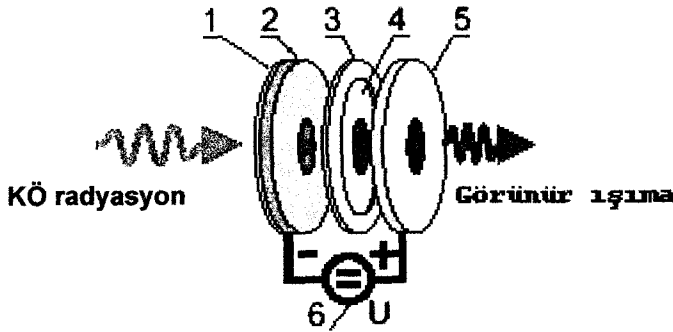
Yayınlanan gaz boşalma ışık emisyonu bir fotoçoğaltıcı kullanarak kaydedildi. Bir gaz boşalma hücresindeki gaz boşalması fotodedektördeki akım yoğunluğu dağılımını bozmaz. Buna karşın boşalma aralığı, monitör olarak ve gazın yaydığı görünür radyasyon emisyonu nedeniyle akımın uzaysal dağılımlarını nicel olarak incelemek için kullanılabilir.

Eğer elektrotlardan biri $10^6 \Omega\text{cm}$ den daha büyük dirençli bir fotodedektör plakası biçiminde yapılırsa, gaz boşalma akımı tüm elektrot yüzeyinde bir gaz boşalma ışık emisyonuna sebep olarak dağılır. Işık emisyonunun homojenliği fotodedektör plakasının direnç dağılımına bağlıdır, ışık emisyon şiddeti boşalma akımı ile orantılıdır. Fotodedektör plakasının direncindeki lokal değişiklikler akım ve gaz boşalma ışık emisyonunun lokal değişikliklerine sebep olur. Akım ve ışık emisyon şiddeti yarıiletken plakasının lokal parametrelerine bağlıdır, dolayısıyla yarıiletken plakadaki homojensizlikler boşalma ışık emisyonundaki düzensizliklerden görüntülenebilir. Görüntü oluşumunun değerlendirilmesi saydam bir anot boyunca kaydedilen boşalma ışık emisyonunun (330÷440 nm) analizlerine dayandırılır (16). Sistem geniş bir dinamik bölgeye sahiptir (en azından 30). Dedekte edilen minimum radyasyon enerji yoğunluğu 8.10^{-3} J/cm^2 dir. Kararlı görüntü çevirim şartları altında sistemin uzaysal çözünürlüğü $R \approx 100 \mu\text{m}$ (yani milimetre başına 10 çizgi

büyükliğünde) dir. Böylece, optik tekniklerle yayınlanan ışığı kaydetmek sistemdeki akım yoğunluğunun yeterli bir karakterizasyonunu sağlar.

Yarıiletkenin bilinen global yük direnci gibi değil uzaysal dağılımlı direnç tabakası gibi davrandığını unutmamalıyız. Dolayısıyla yarıiletken katodun Cr katkılı yüzeyine uzaysal olarak homojen olmayan KÖ ışık dağılımının gönderilmesi yarıiletkende uzaysal direnç dağılımının eşit değişmesine sebep olacaktır. Başka bir deyişle, yarıiletkenin lokal direnci radyasyon şiddeti maksimum iken en düşük değere sahip olacaktır. Tam manasıyla söylemek gerekirse bu durum sadece monokromatik radyasyon durumunda doğrudur. Doğal kaynaklar için ısınan cismin emisyon karakteristikleri kadar yarıiletkenin spektral tepkisinde dikkate alınmalıdır.

Bölüm 2 de bahsedildiği üzere $U = U_o - R_o I$ ile verilen yük çizgisi yarıiletken katodun aydınlatma yokkenki yüksek dirençli durumuna karşılık gelmektedir. Katodu aydınlatarak, direnci azaltılabilir ve böylece yük çizgisi $U = U_o - R_I I$ ile verilecektir. Denelerimiz esnasında voltaj artırıldığı zaman akım artışına paralel olarak gaz boşlama aralığından yayınlanan ışımının şiddetinin de arttığını gözlemledik. Akım yoğunluğu ve ışım şiddeti arasındaki bu basit monotonik ilişki yarıiletken-gaz boşlama yapısının KÖ radyasyon için detektör gibi kullanabileceğimiz açıkça göstermektedir. Yarıiletken katotlu gaz boşalmasının hücre modülünün temel dizaynı ve çalışma prensibi aşağıdaki şekilde (Şekil 6.1) gösterilmiştir:



Şekil 6.1. Yarıiletken katotlu gaz boşalması hücresi. Saydam katot (1), fotoduyar yarıiletken (2), yalıtkan aralık (3), gaz boşalma aralığı (4), saydam anot (5), yüksek voltaj güç kaynağı (6)

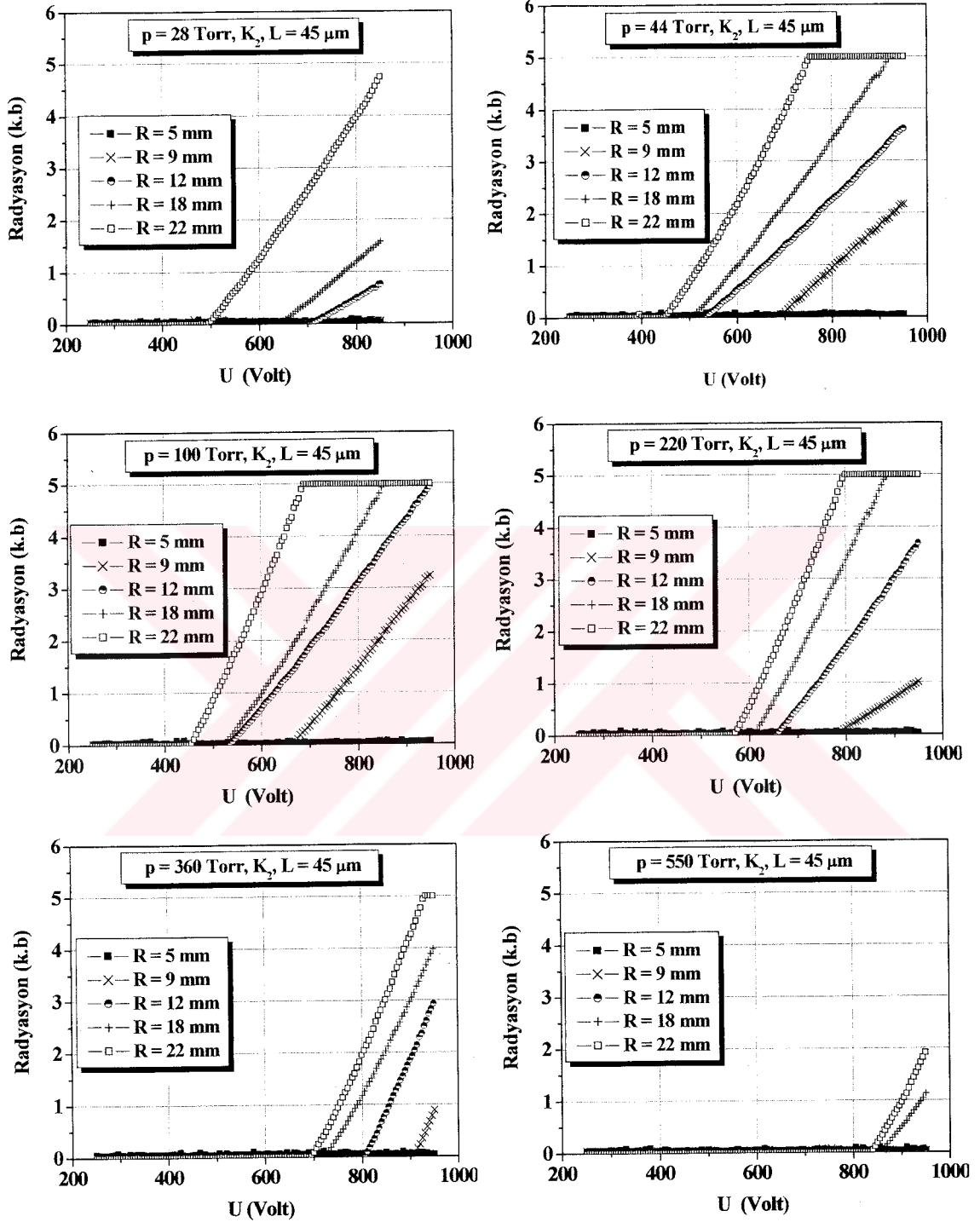
Yarıiletken (2), gelen KÖ radyasyona saydam olan bir elektriksel kontağa sahiptir. Yarıiletkenin çapı 30 mm civarındadır. Gaz boşalma tabakası (4), yarıiletken tabakası ile direk kontak halindedir; ve bunun boyutları yalıtkan aralık (3) tarafından sınırlandırılmıştır; bu yalıtkan aralık $5\div 45 \mu\text{m}$ bölgesinde bir kalınlığa sahiptir ve iç çapı tipik olarak ($5\div 22 \text{ mm}$) dir. Bu çap KÖ çeviricinin aktif alanını sınırlandırır. Saf He, Ne, Ar, N_2 ya da bu gazların karışımları kullanılabilir. Dış elektriksel kontak görünür bölgedeki dalga boylarına saydamdır ve cam bir tabaka üzerine (5) kaplanmıştır. Hücre, $0\div 1500 \text{ V}$ 'luk bir dc voltaj kaynağı ile beslenir. Prensipte olarak KÖ çevirici aşağıdaki şekilde çalışır:

Gelen KÖ radyasyon iç fotoetki dolayısıyla yarıiletkenin iletkenliğini lokal olarak artırır. Bu da boşalma uzayında akım yoğunluğunun lokal artışına sebep olur; ki buna görünür bölgede foton emisyonunun lokal artışı eşlik eder. İyi bir yaklaşımla, gaz boşalması tarafından yayınlanan ışık yoğunluğunun parlaklığı gelen KÖ radyasyonun yoğunluğu ile orantılıdır. Çevrilen görüntüler görünür bölgeye duyarlı uygun bir kamera ile kaydedilir.

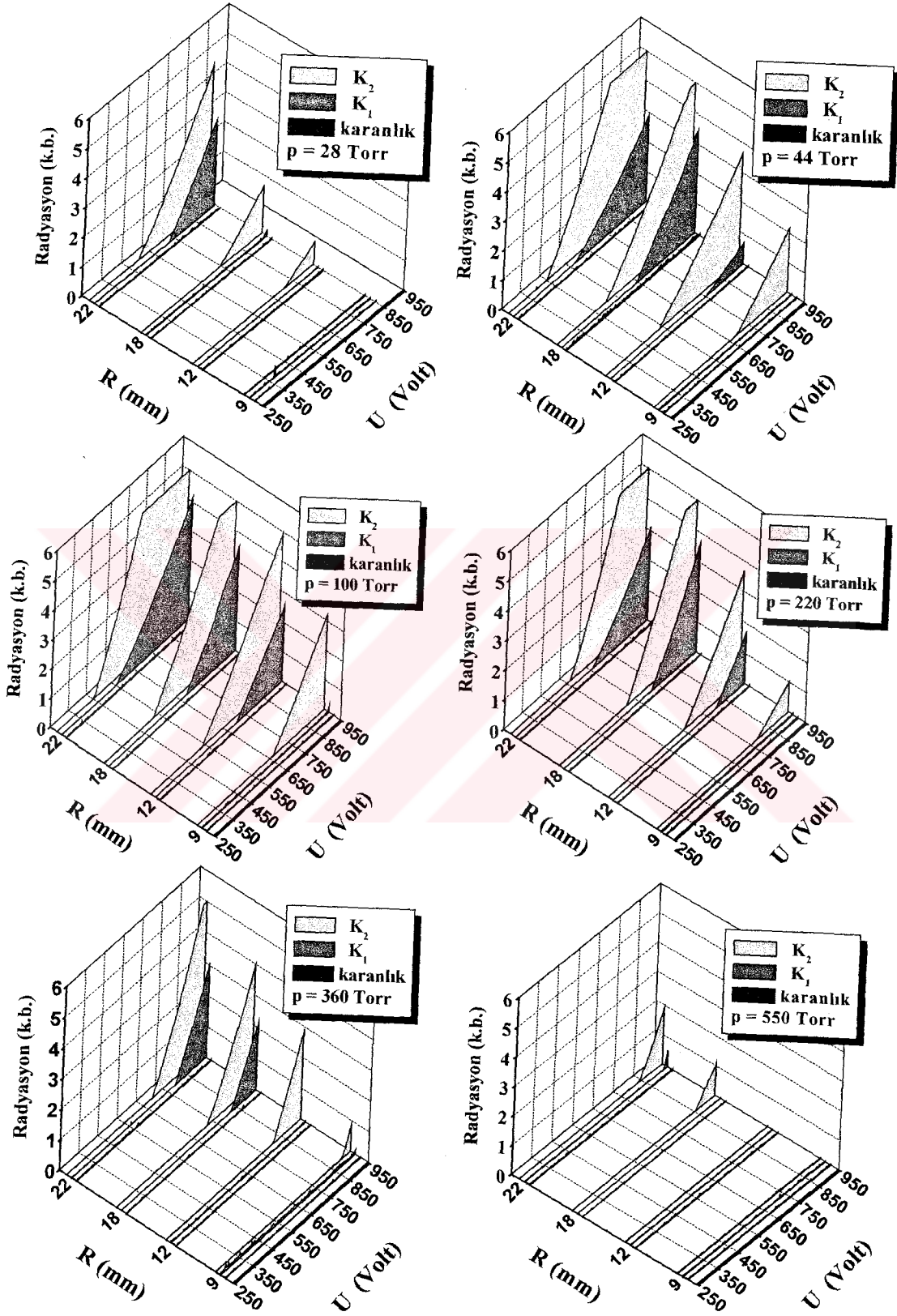
Bu bölümde gaz boşalma aralığından yayınlanan gaz boşalma ışık emisyonunun davranışı farklı elektrotlar arası uzaklık L ve farklı elektrot çap (R) değerleri için ayrıntılı olarak sunulmaktadır. Bu bölüm sırasıyla aşağıda verilen durumları içermektedir:

- Işımanın gaz boşalma besleme voltajına bağlılığı
- Işımanın yarıiletken elektrodun farklı çap değerlerine ($5\div 22 \text{ mm}$) ve farklı elektrotlar arası uzaklığına ($45\div 330 \mu\text{m}$) bağlılığı
- Işımanın maksimum değerlerinin basınçla nasıl değiştiği ve basıncın bu değerlere olan etkisi

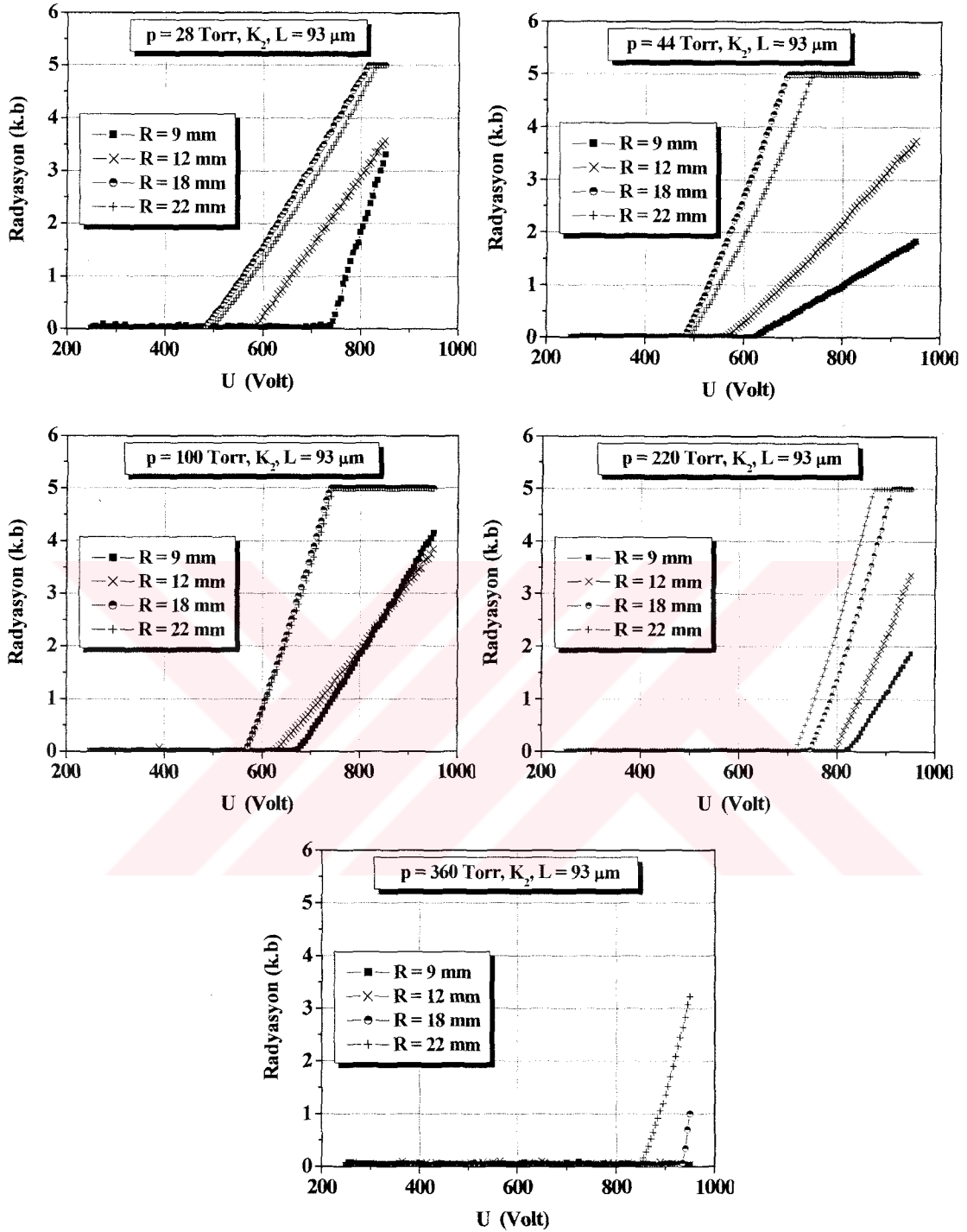
Yarıiletken elektrodun farklı çap değerlerine ($5\div 22 \text{ mm}$) ve farklı elektrotlar arası uzaklığına ($45\div 330 \mu\text{m}$) bağlı olarak ışımavoltaj grafikleri aşağıdakiler gibidir:



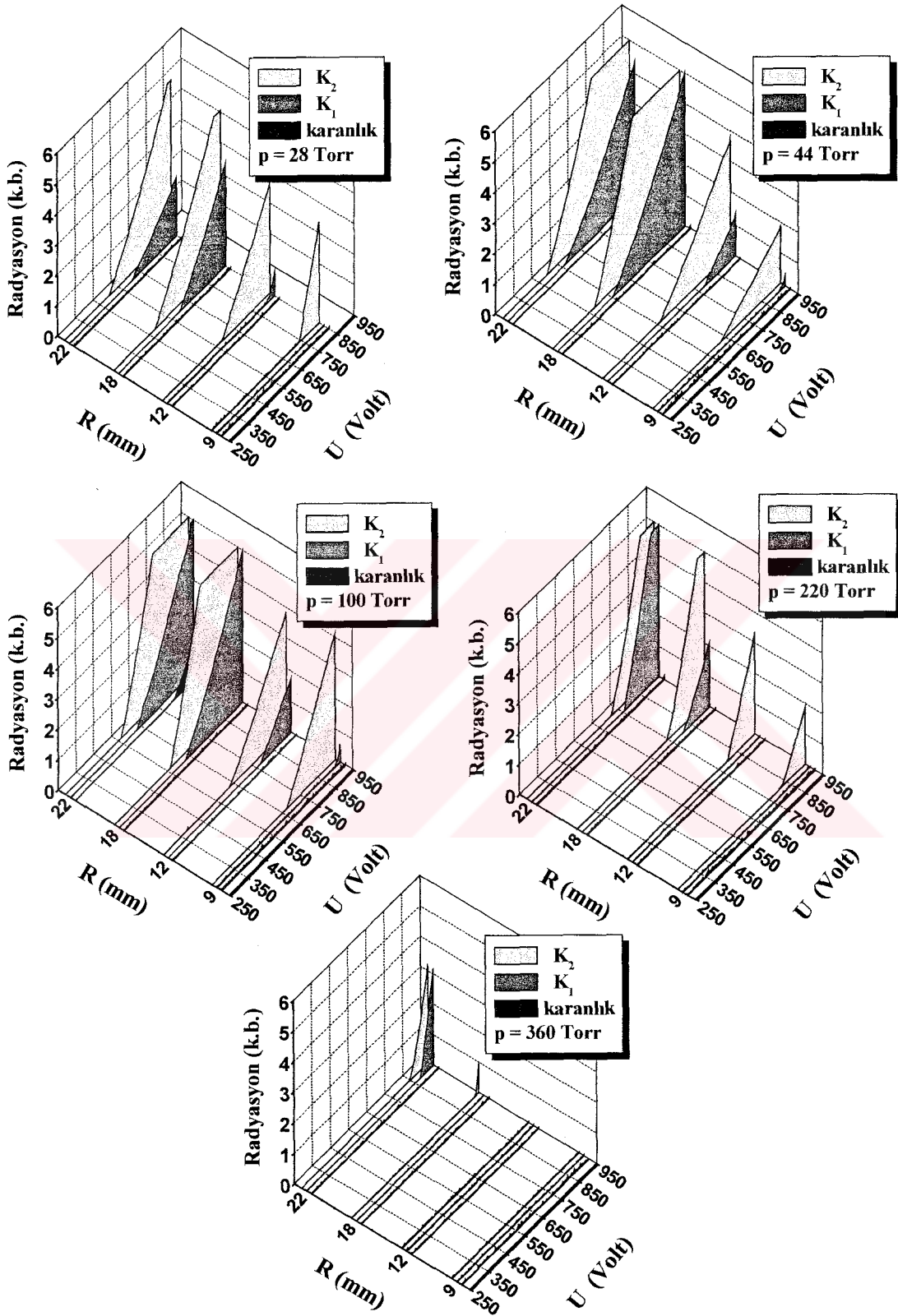
Şekil 6.2. Farklı p basınçlarında kuvvetli aydınlatma şiddeti için (K_2) fotokatodun farklı R çaplarında KÖ görüntü çevirci hücreden yayılan ışık emisyonunun $2D$ davranışı. Boşalma aralığının kalınlığı $L = 45 \mu\text{m}$



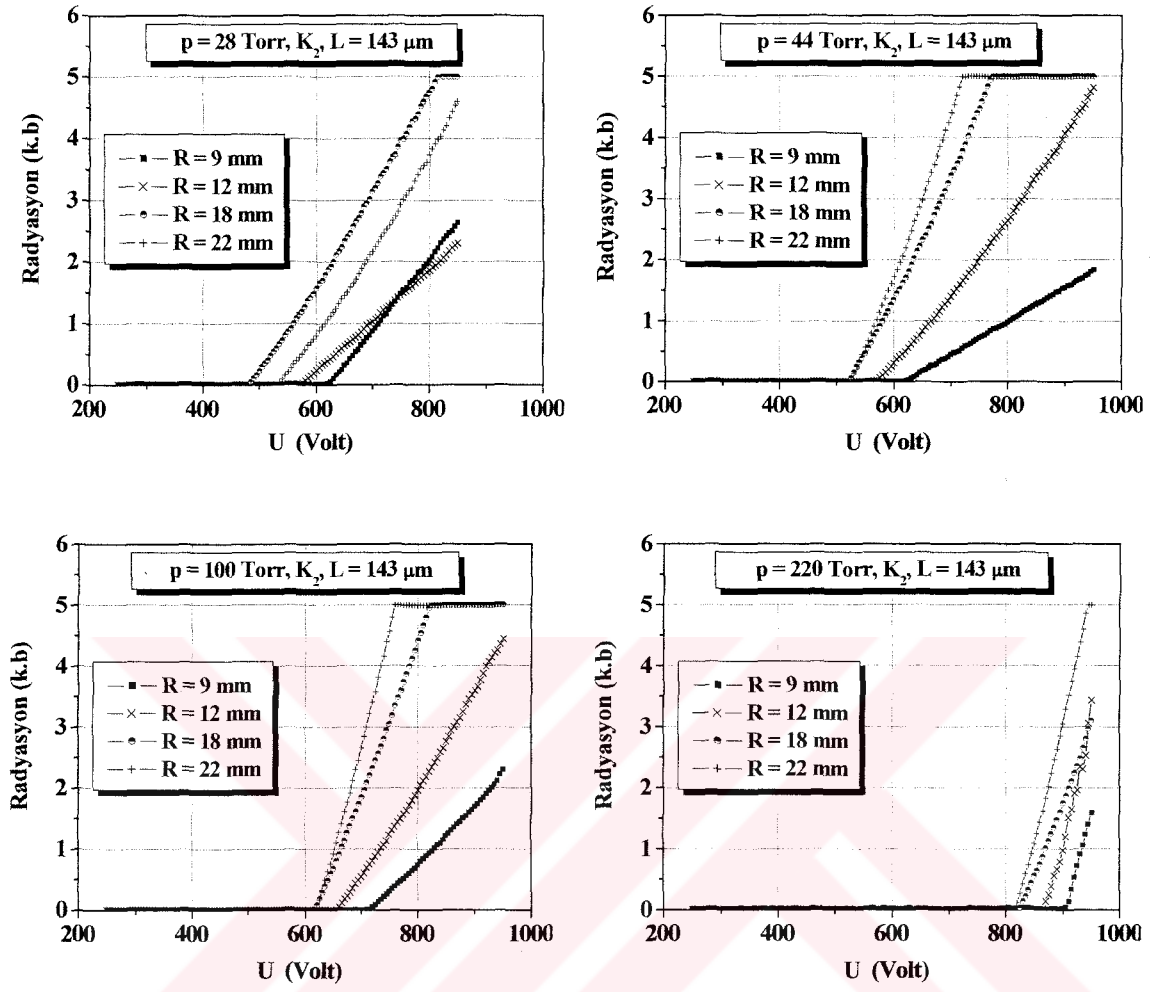
Şekil 6.3. Farklı p basınçlarında fotokatodun farklı R çaplarında KÖ görüntü çevirici hücreden yayınlanan ışımaya şiddetinin 3D grafikleri. Boşalma aralığının kalınlığı $L = 45 \mu\text{m}$



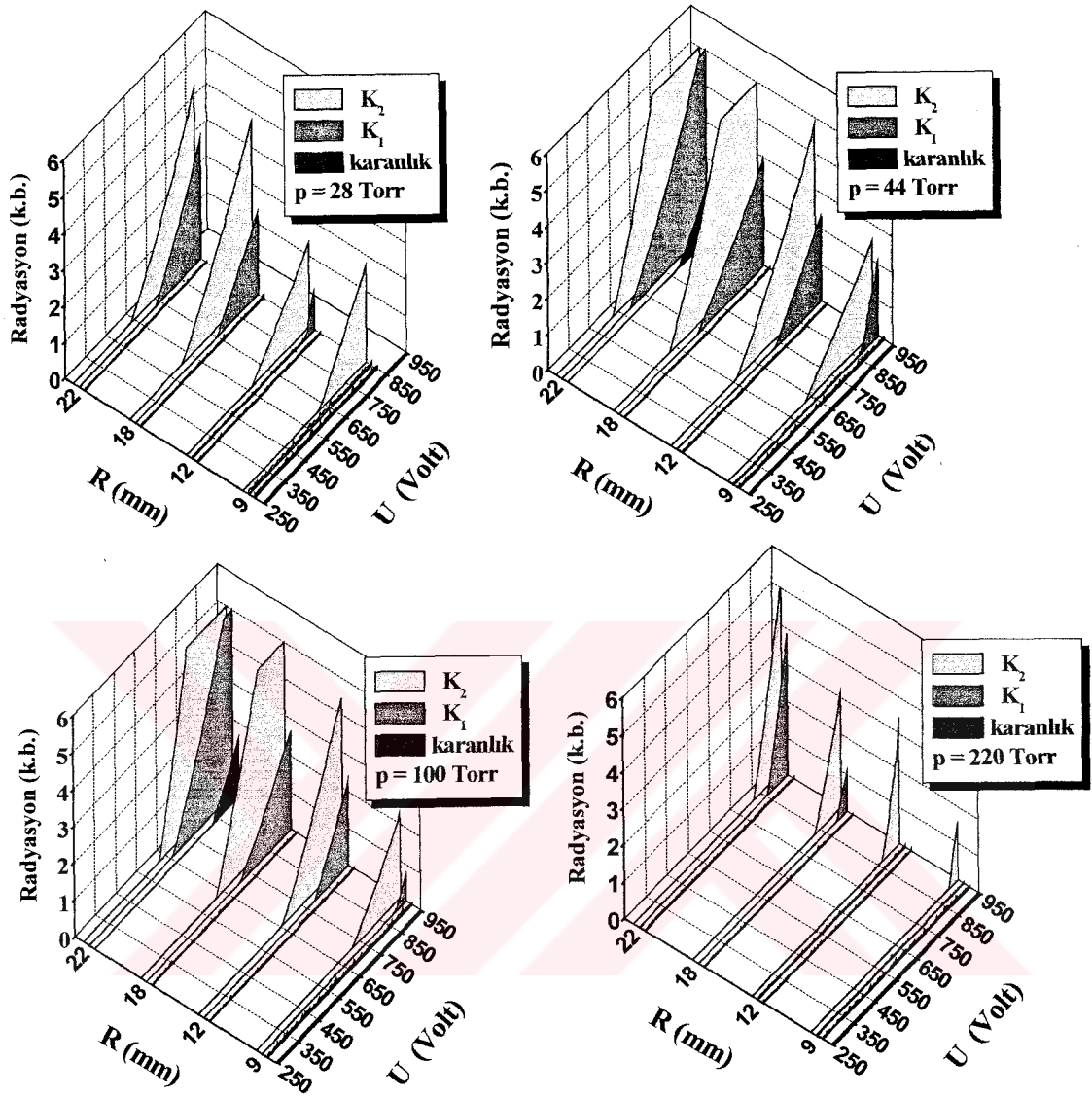
Şekil 6.4. Farklı p basınçlarında kuvvetli aydınlatma şiddeti için (K_2) fotokatodun farklı R çaplarında KÖ görüntü çevirici hücreden yayınlanan ışık emisyonununun $2D$ davranışı. Boşalma aralığının kalınlığı $L = 93 \mu\text{m}$



Şekil 6.5. Farklı p basınçlarında fotokatodun farklı R çaplarında KÖ görüntü çevirici hücreden yayımlanan ışımaya şiddetinin 3D grafikleri. Boşalma aralığının kalınlığı $L = 93 \mu\text{m}$



Şekil 6.6. Farklı p basınçlarında kuvvetli aydınlatma şiddeti için (K_2) fotokatodun farklı R çaplarında KÖ görüntü çevirici hücreden yayılan ışık emisyonunun $2D$ davranışı. Boşalma aralığının kalınlığı $L = 143 \mu\text{m}$



Şekil 6.7. Farklı p basınçlarında fotokatodun farklı R çaplarında KÖ görüntü çevirici hücreden yayınlanan ışımaya şiddetinin 3D grafikleri. Boşalma aralığının kalınlığı $L = 143 \mu\text{m}$

6.2. Gaz Boşalma Parlaklığının Sistem Parametrelerine Bağlılığı

- Radyasyon-Voltaj grafikleri Akım-Voltaj grafikleri ile karşılaştırıldığında, bu grafiklerde paralellik olduğu fakat U_K değerlerinin birbirine eşit olmadığı görülmektedir. Karanlık Townsend Boşalmasına ait olan akım değerleri akım voltaj karakteristiğinden görüleceği üzere çok küçüktür ($10^{-10} \div 10^{-5}$ A). Akımın çok düşük olmasından dolayı gazın ışıma şiddeti (iyonizasyon) çok azdır, Bu durumda akım-voltaj grafiğinden elde edilen kırılma voltajı ile radyasyon-voltaj grafiğinden elde edilen kırılma voltajı birbirine eşit değildir.
- Sabit elektrotlar arası uzaklık için çap büyüdükçe ışıma şiddeti büyümektedir. En büyük ışıma şiddet değeri $R = 22$ mm için elde edilmiştir. $R = 5$ mm için ise ışıma kaydedilmemiştir.
- Aydınlatma yokken (karanlık) ışıma sadece $R = 22$ mm için görülmektedir.
- Işımanın başladığı en küçük akım değeri $4,9 \times 10^{-6}$ A dir.
- Belli bir ışıma şiddetinden sonra $R = 18$ mm ve $R = 22$ mm için grafiklerimizde doyuma ulaşılmıştır. Bu durum ışımayı kaydeden fotoçoğaltıcının duyarlılığı ile ilgilidir.
- Işıma en erken $R = 22$ mm için kaydedilmiştir.
- $2D$ Şekillerden elektrot alanlarının R çaplarının artması ile eğrilerin eğiminin değiştiği görülmektedir.

İyonizasyon sisteminin duyarlılığı sonuç olarak boşalma aralığının ışımasının parlaklığı ile belirlenir. Biz boşalama parlaklığının sistemin farklı parametrelerine bağlılığını araştırdık. Bu parametreler şunlardır:

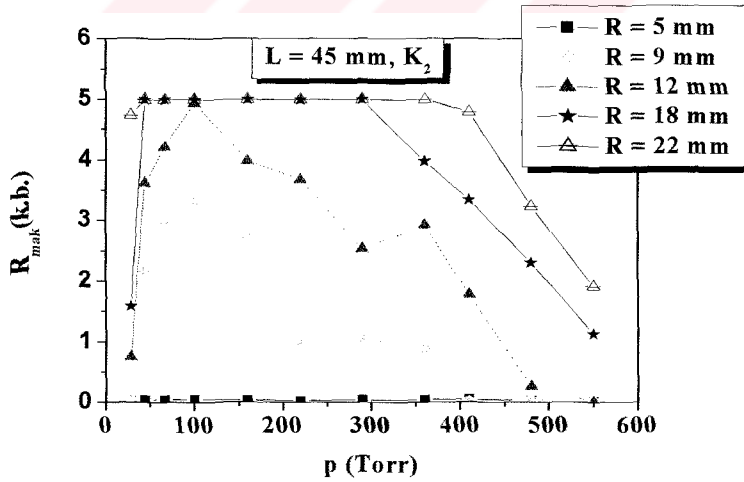
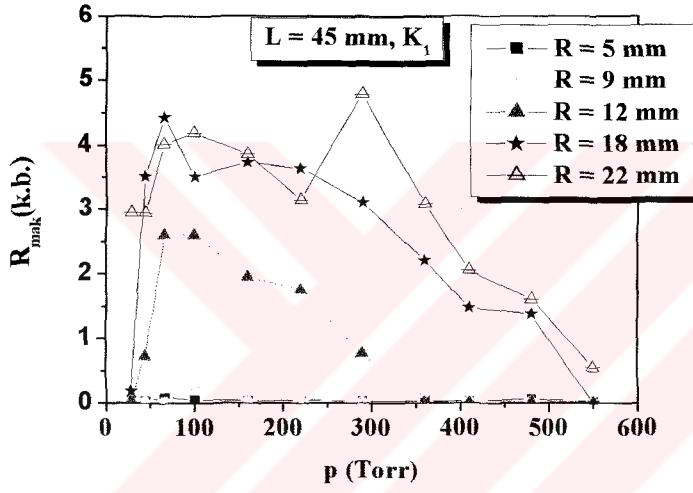
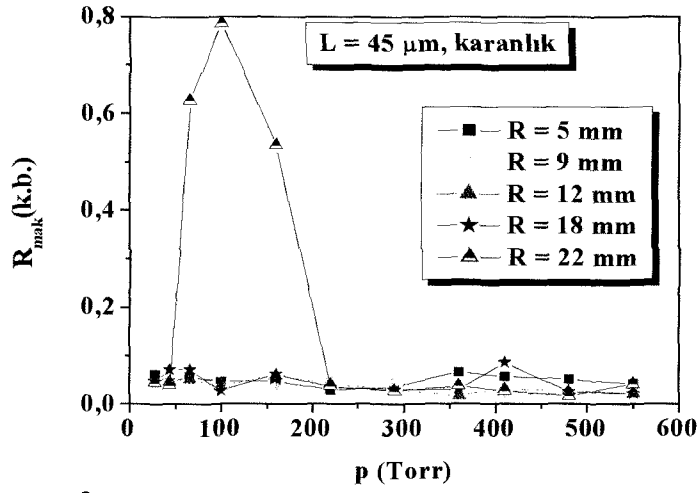
- 1) Uygulama voltajı U , 2) sistemden geçen akım I , 3) basınç p , 4) boşalma aralığı L , 5) belli bir şiddette yarıiletkenin dış aydınlatması

Boşalma ışımasının parlaklığını biz devrede bulunan fotoçoğaltıcının fotoakımının değeriyle değerlendiriyoruz. Sistemde oluşan ışımayı fotoçoğaltıcıya odaklandırdık.

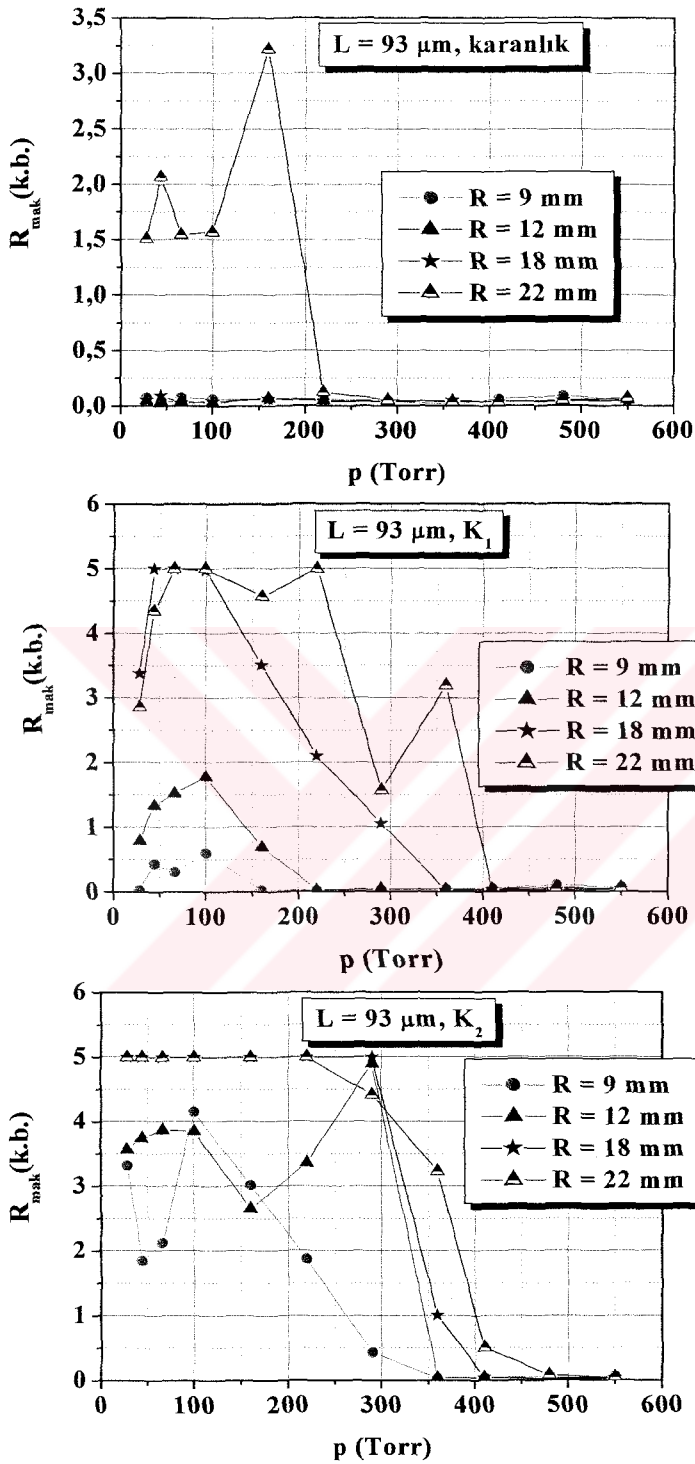
Sonuç olarak sabit bir L değeri için ışımanın maksimum parlaklığı yarıiletken elektrodun çapına R bağlıdır. Madem ışımanın parlaklığı akım ile belirleniyorsa o zaman farklı L ler için maksimum parlaklığa farklı uygulama voltajlarında ulaşılır. Çünkü $U < U_{doym}$ için ışıma ile sistemdeki akım doğru orantılıdır. Dolayısıyla sistemin optimal şartları belirtildiğinde sistemden geçen akımın parametrelere bağlılığını belirtmek gerekir.

Farklı elektrotlar arası uzaklık ve farklı elektrot çapları için maksimum radyasyon-voltaj şekilleri şu şekildedir:

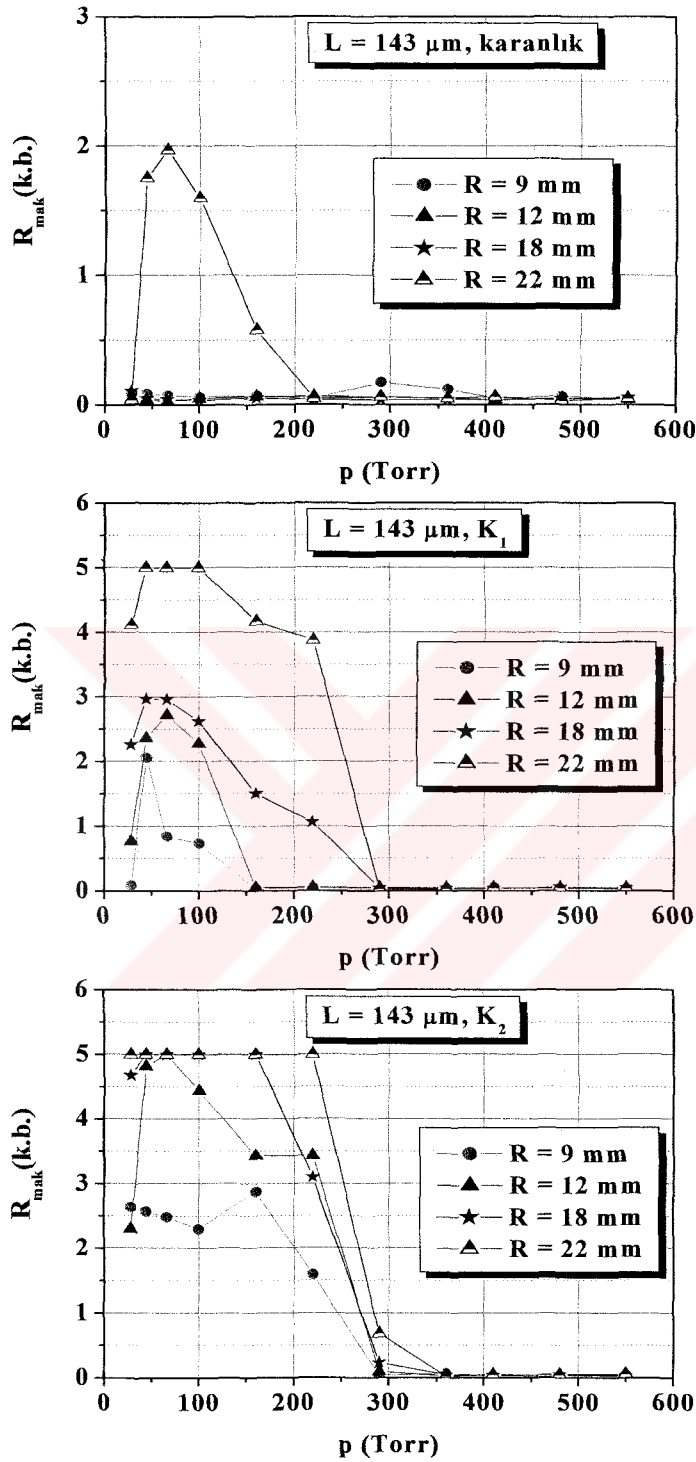




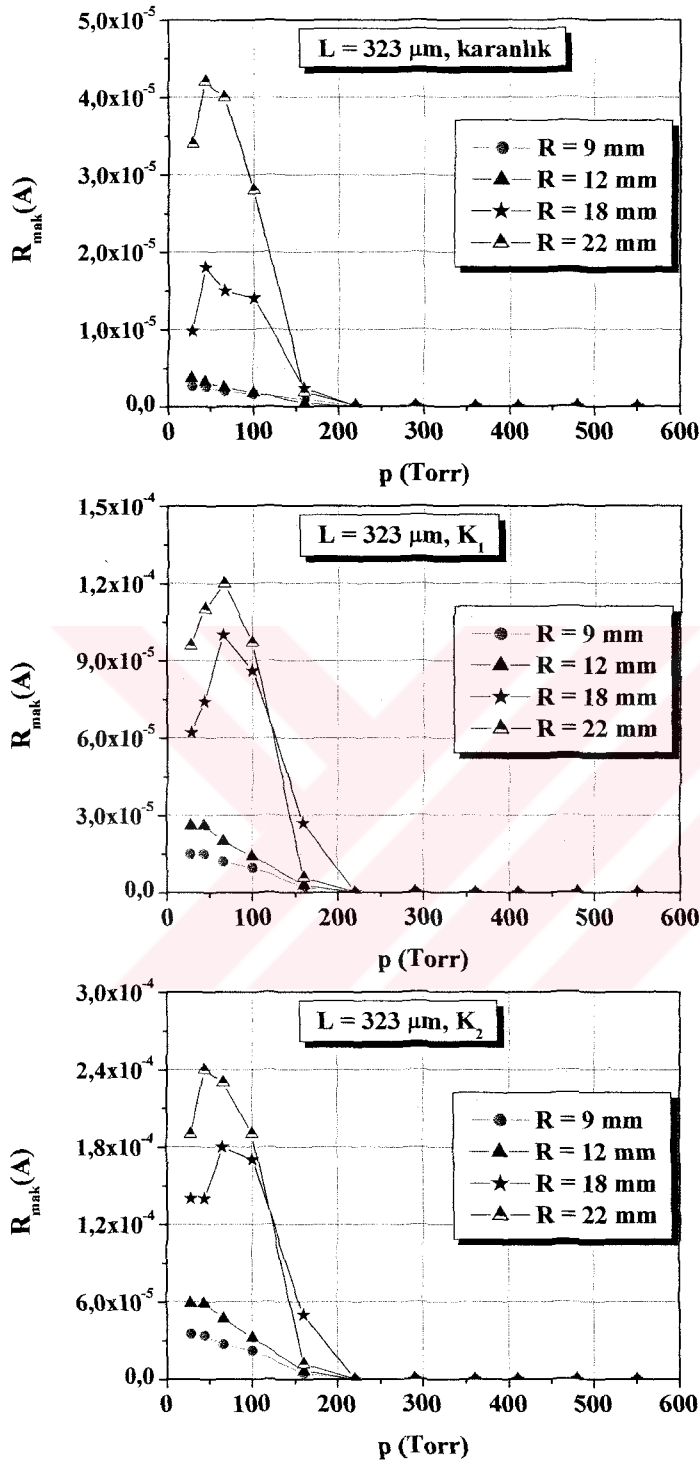
Şekil 6.8. Sabit elektrotlar arası uzaklık ($L = 45 \mu\text{m}$) için fotokatodun çapına göre maksimum ışımabasınç grafiği



Şekil 6.9. Sabit elektrotlar arası uzaklık ($L = 93 \mu\text{m}$) için fotokatodun çapına göre maksimum ışınma-basınç grafiği

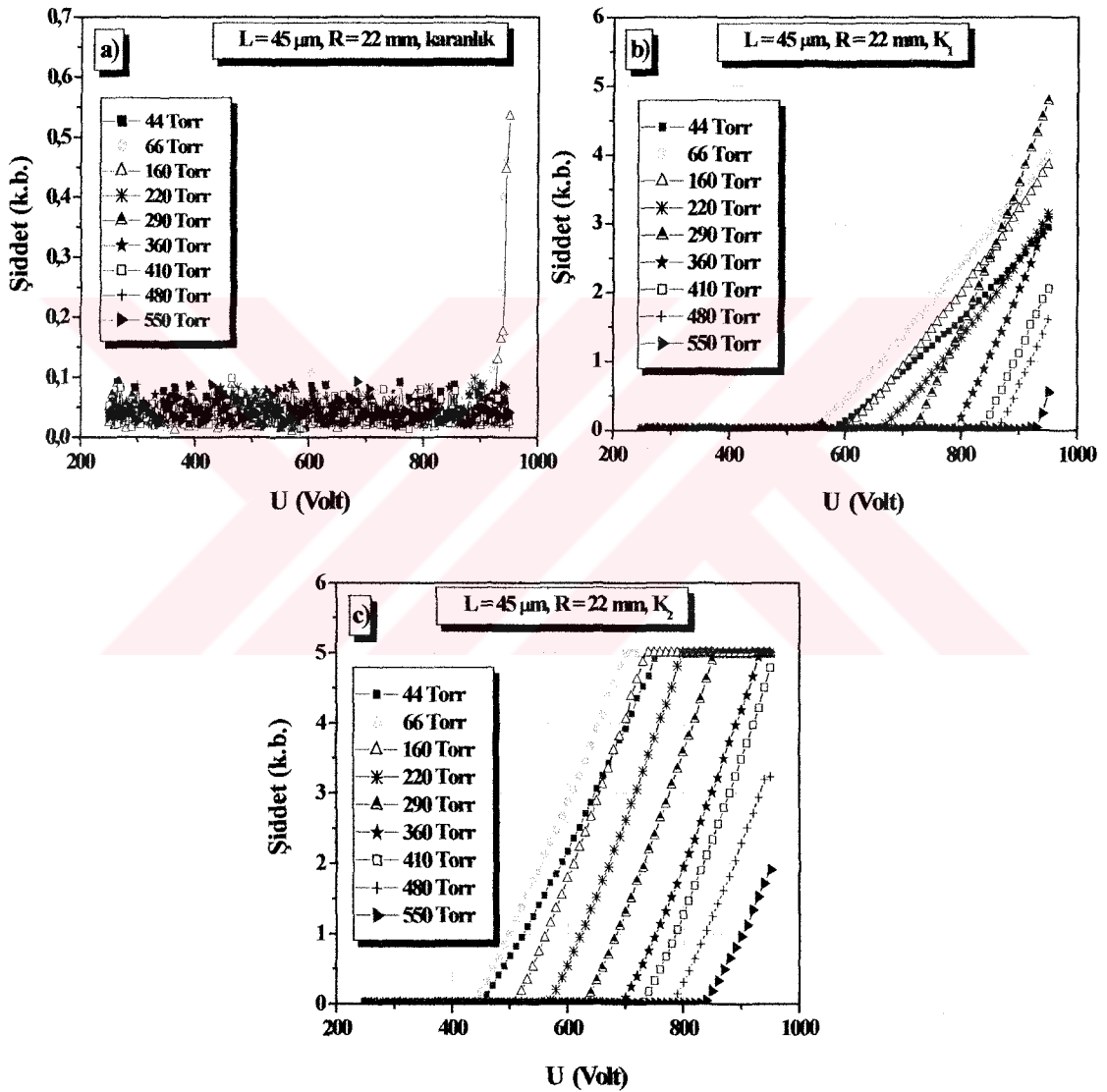


Şekil 6.10. Sabit elektrotlar arası uzaklık ($L = 143 \mu\text{m}$) için fotokatodun çapına göre maksimum ışımabasınç grafiği



Şekil 6.11. Sabit elektrotlar arası uzaklık ($L = 323 \mu\text{m}$) için fotokatodun çapına göre maksimum ışımabasınç grafiği

Şekil 6.12 (a,b,c), bir gaz boşalma hücresinde farklı basınçlarda ışımının davranışını göstermektedir. Osilasyon sisteminin karakteristikleri boşalma aralığının genişliği L ve gaz basıncı p gibi sistemin diğer parametrelerine de bağlıdır. Şekil 6.12 gaz basıncının (p) geniş bir bölgesinde gaz boşalma hücresinin AVK larını göstermektedir.



Şekil 6.12 (a,b,c) Farklı p basınçlarında düzlemsel bir boşalma hücresinin ışımaya şiddetinin davranışı: a) Karanlık; b) zayıf aydınlatma şiddeti K_1 ; c) kuvvetli aydınlatma şiddeti K_2 . Boşalma aralığının L kalınlığı 45 μm ve elektrot alanlarının çapı $R = 22 \text{ mm}$ dir

Boşalma aralığındaki basınçlar osilasyonun özellikleri ve gaz boşalması tarafından yayınlanan ışımanın şiddetini karakterize eden eğrilerin eğimleri üzerinde [bak, $p = 44\div 220$ Torr için Şekil 6.12 (a,b,c)] bir etkiye sahiptir. Şekil 6.12 (b) de eğrilerin karşılaştırılması (yani $p = 44\div 220$ Torr için) diğer şartlar değişmeden kaldığında, farklı p basınçlı sistemde artan p ile eğrilerin eğiminin değiştiğinin açık kanıtını verir. Aynı zamanda boşalma aralığındaki basınçlar osilasyonun özellikleri ve gaz boşalması tarafından yayınlanan ışımanın şiddetini karakterize eden eğrilerin eğimleri üzerinde [bak, $p = 44\div 220$ Torr için Şekil 6.12 (a,b,c)] bir etkiye sahiptir. Şekil 6.12 b de eğrilerin karşılaştırılması (yani $p = 44\div 220$ Torr için) diğer şartlar değişmeden kaldığında, farklı p basınçlı sistemde artan p ile eğrilerin eğiminin değiştiğinin açık kanıtını verir.

Dağılımlı direnç tabakasının varlığı yarıiletken içinde akımın homojen geçişini yaratır; ki bu da filament olmaksızın tüm elektrot yüzeyi boyunca homojen dağılımlı boşalma ışımasına yol açar. Boşalma ışımasının doyumunun özellikle $R = 18$ mm ve $R = 22$ mm için gözlemlendiğine dikkat edilmelidir. Akımın gözlenen değeri de yarıiletkenin direnci tarafından kontrol edilmektedir. İnce boşalma aralıklı hücre için; gaz parlaklığı ile akım yoğunluğu arasındaki orantılılık j nin geniş bir bölgesinde gözlemlenebilir. Gaz boşalma plazması tarafından yayınlanan ışımanın şiddet dağılımı yarıiletken ve plazma arakesitindeki aralıktaki akımın normal bileşeni tarafından belirlenen akımın dağılımını yeniden oluşturur. Bu yarıiletkenin direncinin gaz boşalmasının direncinden çok daha büyük olduğu gerçeğine dayandırılır (56).

6.3. KÖ Görüntü Çeviricinin Boşalma Işımasının Basınca Göre Değişimi

- Basınç arttıkça maksimum radyasyon değerleri belli bir basınç değerine kadar artmakta bu değerden sonra azalmaktadır. Boşalma tarafından yayınlanan ışımının şiddeti hemen hemen akım yoğunluğu ile orantılı olduğu için yine en optimal durum $R = 22$ mm, $L = 45$ μ m ve K_2 aydınlatma şiddeti için elde edilmiştir (Çizelge 6.1). Yani optimal boşalma şartlarında sistemimiz daha geniş basınç bölgesinde çalışabilir.

Çizelge 6.1. Sabit elektrotlar arası mesafe (L) ve sabit elektrot çapı (R) için maksimum boşalma ışımının basınca göre değişimi

Basınç Değerleri (Torr)	Maksimum Radyasyon Değerleri (k.b)
28	4,73633
44	4,99756
66	4,99756
100	4,99756
160	4,99756
220	4,99756
290	4,99756
360	4,99756
410	4,79004
480	3,23242
550	1,91162

- Elektrot alanlarının çapı arttıkça maksimum radyasyon değerleri artmaktadır. $p = 100$ Torr da $L = 45$ μ m ve K_1 aydınlatma şiddetinde farklı elektrot çaplarına göre maksimum radyasyonun değişimi Çizelge 6.2 de görülmektedir:

Çizelge 6.2. Sabit basınç p ve sabit L için farklı elektrot çaplarına göre maksimum boşalma ışımının basınca göre değişimi

Çap Değerleri (mm)	Maksimum Radyasyon Değerleri (k.b)
R = 5	0,05371
R = 9	0,22461
R = 12	2,60742
R = 18	3,5083
R = 22	4,18701

6.4. KÖ Görüntü Çeviriciden Kaydedilen Görüntülerin İncelenmesi

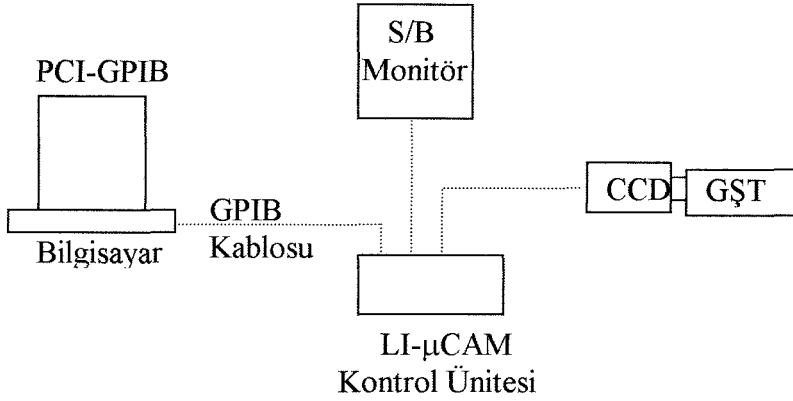
6.4.1. Deneysel düzenele ilgili yapılan çalışmalar

Daha önce yapılan deneylerdeki fotoçoğaltıcı ve fotoğraf makinasının yerine ilk kez yük çoğaltıcı kamera (CCD) (LI- μ CAM CCD, Lambert Instrument) kullanılmıştır. Bu yüzden deneysel düzenele üzerinde bazı değişiklikler yapılmıştır. Bunlarda en önemlisi, CCD'yi sistem içine yerleştirebilmektir. Bunun için, sisteme ek bir bilgisayar dahil edilmiştir. Bu bilgisayara sadece CCD'nin kontrolü için gerek duyulmuştur. Bilgisayarın PCI slotuna takılan National Instruments firmasının üretmiş olduğu "PCI-GPIB" kartı sayesinde bilgisayar CCD ile haberleşebilmektedir. Bu bağlantı için iki metrelik GPIB Ara bağlantı kablosu kullanılmıştır.

PCI-GPIB, tak ve kullan modunda çalışan ve PCI veri yolu üzerinden GPIB'ye uyumlu tüm elektronik cihazlarla haberleşmeyi sağlayan bir karttır. CCD ile beraber gelen program ve kontrol ünitesi sayesinde bilgisayar üzerinden CCD'nin kazanç, kontrast ve pozlandırma ve görüntü dondurma gibi özellikleri kullanılmaktadır.

Ayrıca daha öncede bahsettiğimiz gibi, CCD'nin sadece (336÷450 nm) arasında meydana gelen ışımaya duyarlı olması için, gaz boşalma hücresinin cam disk tarafına (katot uç) bu bölgeyi geçiren filtre yerleştirilmiştir. Görüntü şiddeti çok az olduğundan ve düşük ışımaya şiddetlerini de inceleyebilmek içinde görüntü şiddetlendirici tüp (GŞT) CCD'ye takılmıştır. Ayrıca deneysel düzenele, CCD'den gelen sürekli görüntüyü görebilmek için CCIR modunda çalışan Siyah/Beyaz Monitör'de eklenmiştir.

Eklenen yeni cihazların basit blok diyagramı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir;



Şekil 6.13. CCD kontrol şeması

KÖ ışık kaynağının önüne bir desen yerleştirildiğinde aşağıdaki görüntü elde edilmiştir.



Şekil 6.14. KÖ görüntü çeviriciden elde edilen görüntünün deseni

Tüm bunlara ek olarak, alınan CCD görüntülerini üç boyuta çevirmek, ışık yoğunluğu histogramını incelemek ve görüntü üzerinde bazı hesaplamaları yapabilmek için Image Pro Plus 4.1 (IPP 4.1) programı kullanılmıştır.

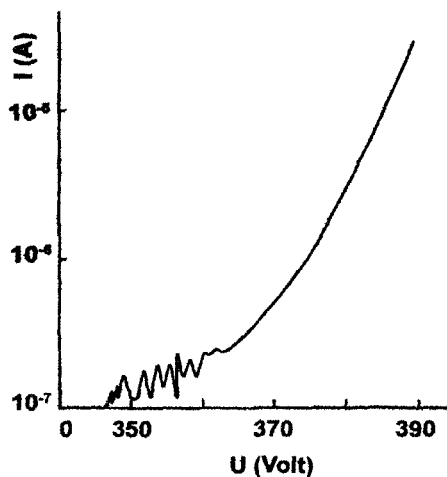
KÖ görüntü çevirici sistemde görüntü oluşumunun mekanizmalarını daha kapsamlı sunmak ve çalışmanın optimal modunu belirlemek için gaz boşalma aralığında oluşan görüntünün kaydedilmesiyle ilgili iki önemli süreçten bahsedelim:

Gaz boşalma hücresinde parçacıkların kazandığı enerji (esnek çarpışmalarda) uyarma ve gaz atomlarının iyonizasyonuna harcanır. Ortalama serbest yol boyunca elektronun kazandığı enerji E/p ile karakterize edilir. Yukarıda bahsettiğimiz enerji kayıplarının (esnek çarpışma, uyarma ve gaz atomlarının iyonizasyonu) dışında

elektrik alan, elektronun gaz iyonizasyonu başlamadan önce elektronun ivlenmesi içinde güç harcar. Boşalmanın şartları değiştiğinde bahsettiğimiz enerji kayıplarının oranı değişir. Düşük enerji bölgesinde genellikle esnek çarpışmalar meydana gelir ve bunun sonucunda gazın sıcaklığı artar. Orta enerji bölgesi esnek çarpışmaların güç kaybının azalmasıyla karakterize edilir ve elektronların uyarıma harcadığı enerji artar, bu harcanan enerji özellikle ışımaya şeklinde ortaya çıkar. Daha yüksek enerjilerde elektronların kaybettiği gücün önemli bir bölümü gaz atomlarının uyarımına ve iyonizasyonuna harcanır. Elektronların yüzeyinin elektron-iyon demeti tarafından kuvvetlice bombardıma uğraması bu bölgeye ait olan bir özelliktir ve şiddetli Penning iyonizasyonundan dolayı elektronların iyonizasyonda kaybettiği enerjinin büyük bir kısmının daha düşük E/p değerlerinde başlar (86).

Gaz karışımlarında ve tek cins gazlarda boşalma aralığının parametrelerine ve şartlarına bağlı olarak enerji kayıplarının süreçlerinin analizi bize iyonizasyon sisteminde görüntü kaydetme yönteminin optimal karakteristiklerini seçmeye imkan verir. Yani parçacıkların kinetik enerjisinin kullanımına dayalı olan fotoğraflık görüntü kaydedilmesinde E/p (optimal karakteristik) oranını artırmak gerekmektedir. Herhangi bir gazın ışınması vasıtasıyla görüntü kaydedilmesinin optimal şartlarını belirlemeye bu datalar izin vermektedir.

Şekil 6.15 sistemin akım voltaj karakteristiğini göstermektedir. Kırılma voltajı $U_K = 345$ Volt dur.



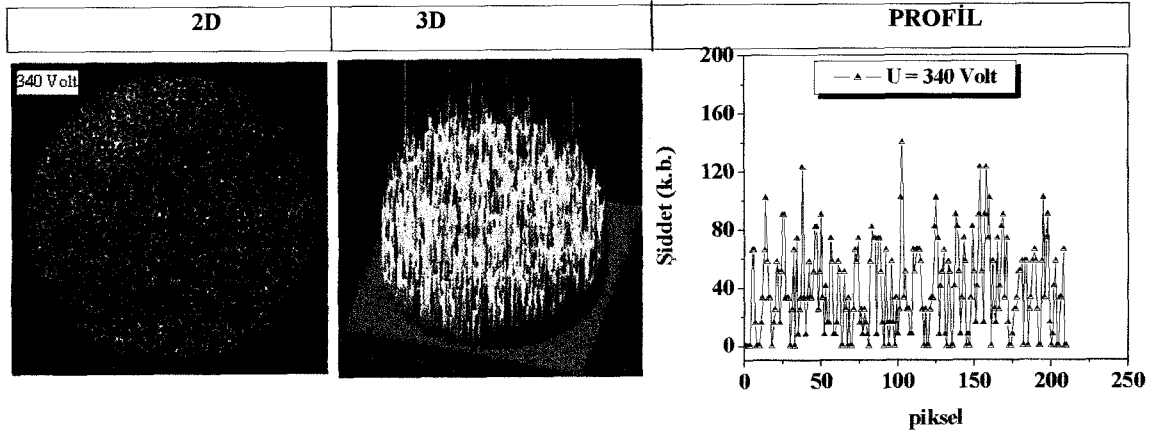
Şekil 6.15. KÖ görüntü çeviricinin akım voltaj karakteristiği

Sisteme $U = 360$ Volt luk besleme voltajı uygulandığında akımda küçük osilasyonlar gözlenir (uyguladığımız bu besleme voltajında akımın değeri 10^{-7} A dir). Bu besleme voltajlarında fotoçoğaltıcı boşalma ışmasını kaydetmeye başlar. Uyguladığımız voltaj kırılma voltajının $15 \div 20$ Volt üzerinde olduğu zaman akımdaki kararsızlıklar kaybolur ve bundan sonra akım voltaj artışıyla monoton şekilde artar. Fakat görülüyor ki elektriksel karakteristikte (Şekil 6.15) kararsızlıklar kırılmadan $15 \div 20$ Volt sonra bitmesine rağmen, bizim boşalma ışmasından elde ettiğimiz desenlerde kararsızlıklar çok daha yüksek voltajlarda halen mevcuttur. Buradan KÖ görüntü çeviriciden optik yöntemle elde edilen görüntülerin daha hassas ve daha ayrıntılı bilgi verdiği önemli sonucu çıkar.

6.4.2. KÖ görüntü çeviriciden kaydedilen görüntülerin Image Pro Plus görüntü işleme programı ile incelenmesi

Image Pro Plus 4.1 programı ile yapılan incelemeler aşağıda anlatılmıştır.

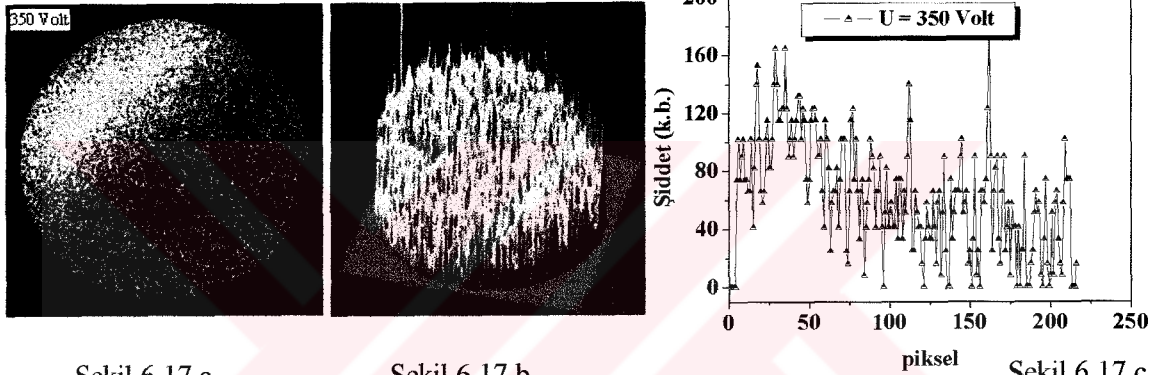
KÖ görüntü çeviriciden kaydedilen iki boyutlu ($2D$) görüntüler, gaz boşalma hücresi içinde meydana gelen ışmanın uzaysal dağılımını daha rahat inceleyebilmek için Image Pro Plus 4.1 programı ile üç boyuta ($3D$) çevrilmiştir. Şekiller dikkatle incelendiği takdirde, ilk iki şekilde (Şekil 6.16.a ve Şekil 6.17.a) boşalma kararsızdır ve ışımaya tüm aktif alanı kaplamamıştır. Bu deney için kırılma voltajı U_K yaklaşık olarak 340 volt bulunmuştur. Voltaj artıka (400 Volt dan sonra), boşalma Townsend bölgesine geçer ve ışımaya kararlı olmaya başlar (Şekil 6.18.a). Voltaj belli bir değere kadar artırılmaya devam edildiği takdirde boşalma, Townsend bölgesinde daha da kararlı olacaktır bunu da profil grafiklerindeki ışmanın davranışından açıkça görmekteyiz. Voltaj daha da artırılırsa boşalma Townsend bölgesinden, glow boşalma bölgesine girecektir. Aktif elektrot alanı boyunca boşalma ışık emisyonunun profil formuna dönüşümünü gösteren grafikler, üç boyutlu desenler arasındaki farkı çok daha etkin bir şekilde göstermektedir. Daha fazla bilgi elde etmek için görüntüler aynı fotodedektör plakası için farklı çalışma voltajlarında elde edilmiştir. Boşalma ışık emisyonundaki kararsızlıklar profil grafikleri sayesinde çok rahat görülmektedir. Maksimum ve minimum boşalma ışık emisyonu şiddetleri arasındaki farkın büyük



Şekil 6.16.a

Şekil 6.16.b

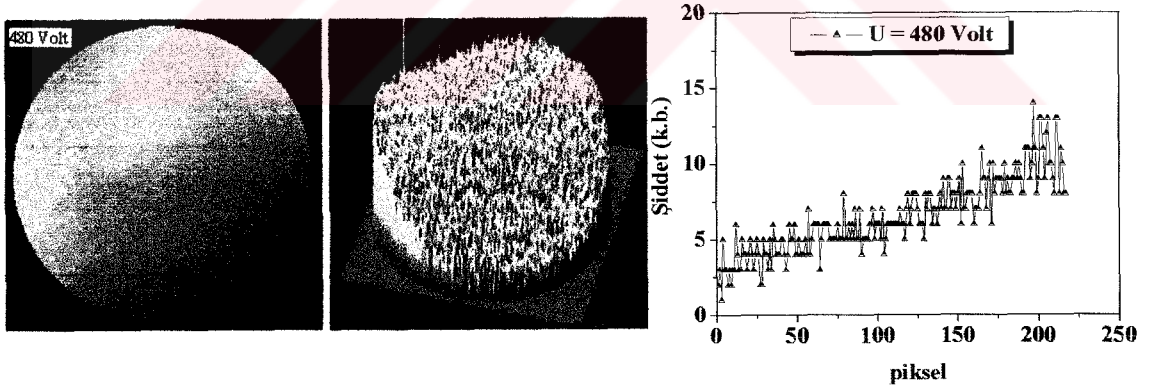
Şekil 6.16.c



Şekil 6.17.a

Şekil 6.17.b

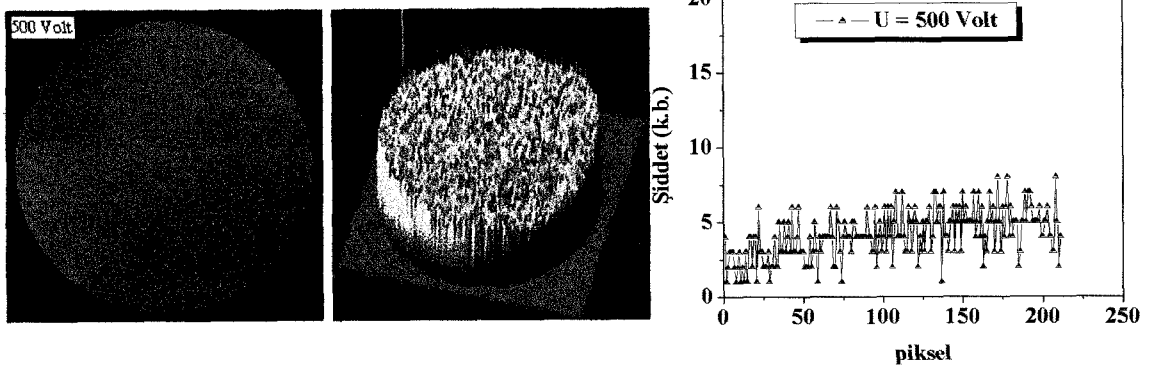
Şekil 6.17.c



Şekil 6.18.a

Şekil 6.18.b

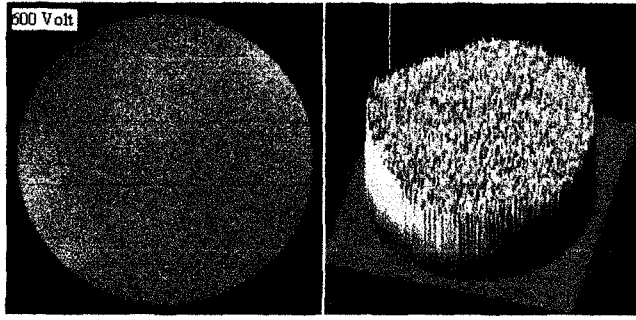
Şekil 6.18.c



Şekil 6.19.a

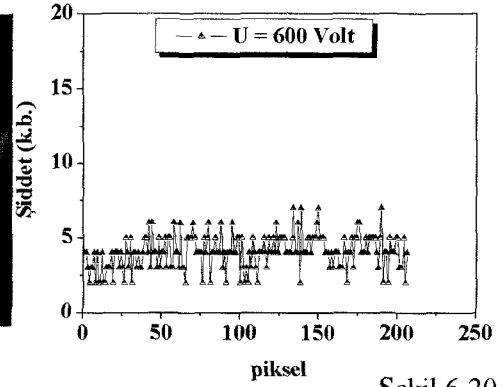
Şekil 6.19.b

Şekil 6.19.c

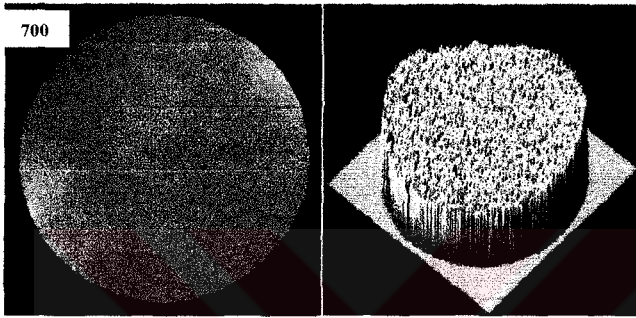


Şekil 6.20.a

Şekil 6.20.b

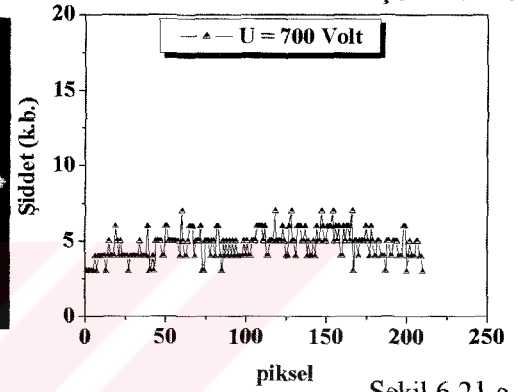


Şekil 6.20.c

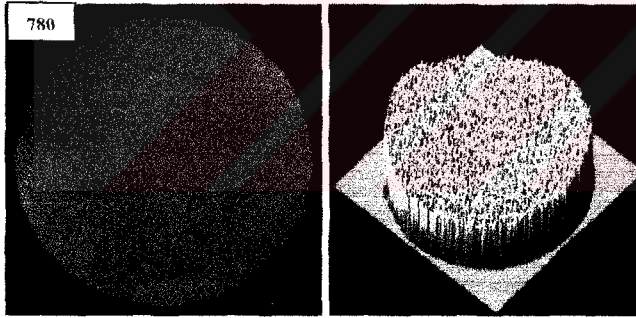


Şekil 6.21.a

Şekil 6.21.b

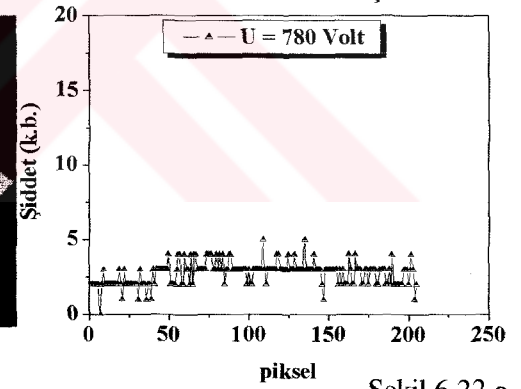


Şekil 6.21.c

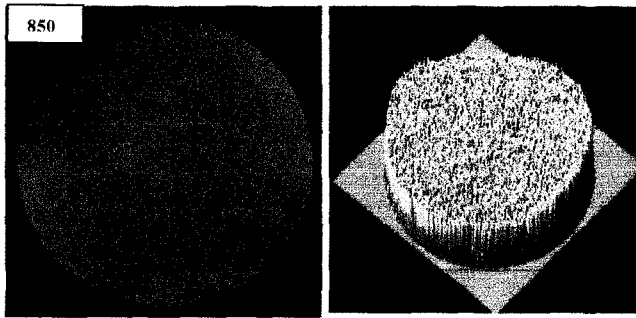


Şekil 6.22.a

Şekil 6.22.b

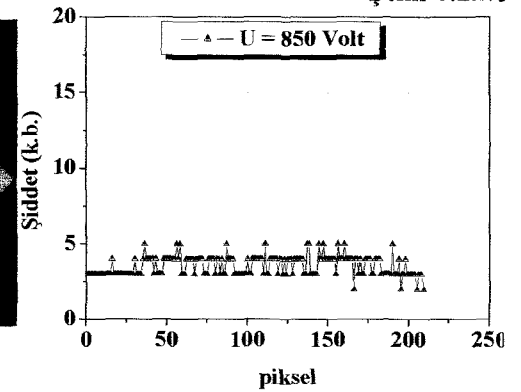


Şekil 6.22.c



Şekil 6.23.a

Şekil 6.23.b



Şekil 6.23.c

Şekil 6.16-6.23. CCD kamera ile görüntülenenen bir homojen öz dirençli plakalı hücredeki besleme voltaj değerleri için alınan ışık emisyonlarının 2D ve 3D görüntüleri. Detektörün çapı $R = 10$ mm, diğer parametreler ise $p = 100$ Torr, $L = 100$ μ m

olması gaz boşalma ışık emisyonunun kararsızlığını (Şekil 6.16.c), küçük olması kararlılığını (Şekil 6.23.c) göstermektedir. Elektrik karakteristiklerden (Şekil 6.15) ve sunduğumuz profil grafiklerinden şunu söyleyebiliriz : KÖ görüntü çevirici için kararlı boşalma deseni $U = 850$ Volt için elde edilmiştir; $U = 850$ Volt için sistemin optimal parametreleri $R = 10$ mm, $p = 100$ Torr ve $L = 100$ μ m dir. Daha sonra akımla boşalma ışığının lineer bağılılığı bozulduğu ve belirsizlikler başladığı için biz 850 V dan sonra görüntü kaydedtik.

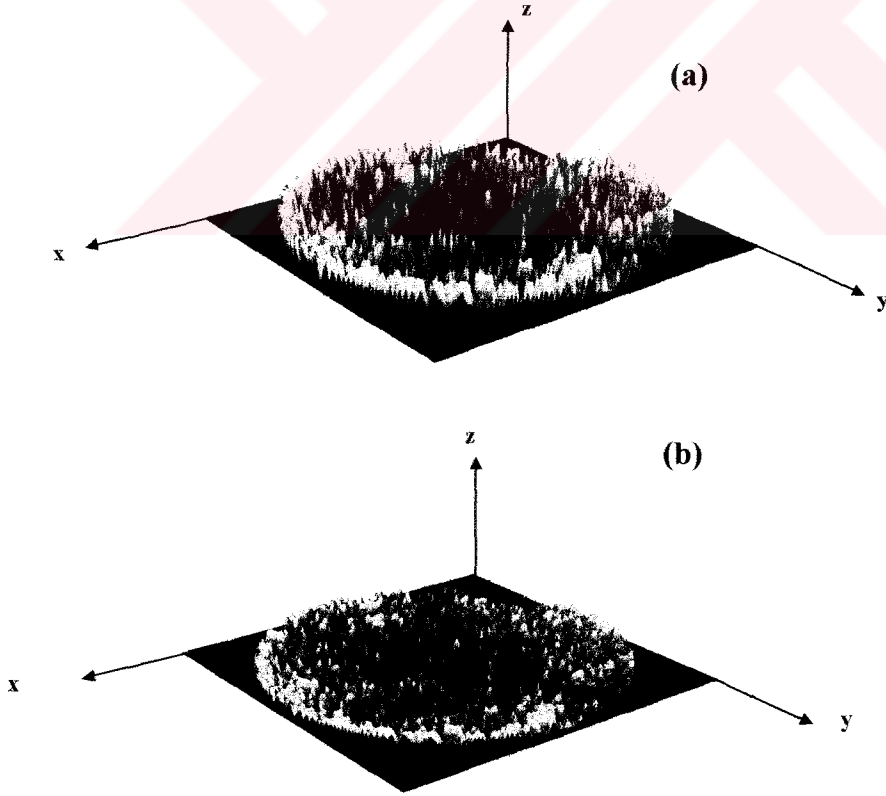
Bir yarıiletken gaz boşalma yapısının kullanımına dayalı olan homojen olmayan akım dağılımının bu nicel inceleme metodunun sadece oldukça düşük akım değerlerinde ve boşalma bölgesi fotodedektörün taşıma özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığına kullanılabilir.

6.5. Yarıiletken Fotodedektörlü Bir KÖ Görüntü Çeviricideki Boşalma Işık Emisyonunun Filamentasyonu

Elektronik ortamlardaki desen-oluşum olayına doğru özel bir ilgi yönelmiştir. Yarıiletkenlerdeki akım filamentleri, Belousov-Zhabotinskii reaksiyonu iyi bilinen örneklerdir (87). Bu çalışmada GaAs yarıiletken katotlu bir KÖ-görüntü çeviricide akım yoğunluğu dağılımının enine uzaysal modülasyonu ile bağlantılı ışık emisyon desenlerini görüntüsü incelendi. GaAs kullanan bir hücrede ışık emisyonu meydana gelir ve bu ışık emisyonu voltaj, voltajın değişim hızı, aydınlatma şiddeti, gaz basıncı ve elektrotların yüzey durumuna bağlı olan akım filamentlerinin uzaysal yapılarını gösterir. Bu nedenle filament oluşumunun değerlendirilmesi, saydam bir anot boyunca kaydedilen boşalma ışık emisyonunun analizlerine dayandırılır. Akım kararlılık sınırının üzerine artırıldığı zaman, kırılma ya da akım filamentleri başlar. Filamentasyon başlıca gaz boşalma aralığında oluşan ve boşalmayı Townsend modundan glow moduna geçiren uzay yükünün oluşmasından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, n-GaAs yüksek elektrik alanlarda sığ donörlerden iletkenlik bandına taşıyıcıların geçişi sırasında çarpma iyonizasyonu nedeniyle S-tipli akım yoğunluğu-alan ilişkisi sergiler. Bir KÖ görüntü çevirici hücrenin özelliklerinin incelenmesi bir boşalma aralıklı yapıda gözlenen uzaysal olarak homojen akım

dağılımının kararsızlığına yarıiletken fotodedektörde yerleşen etkilerin yol açtığını gösterdi. Araştırdığımız yapı çerçevesinde boşalma, yarıiletkendeki akım yoğunluğu dağılımını bozmaz. Buna karşın boşalma aralığı monitör olarak ve gazın görünür ışıma emisyonu nedeniyle akımın uzaysal dağılımlarını incelemede kullanılabilir. Fotoduyar katotlu çevirici sistemlerin davranışları KÖ görüntülerin kaydedilmesinde, yüksek-hızlı fotoğraflamada, yarıiletken fiziğinde ve gaz boşalma fiziğindeki araştırmaların aslında yeni bir konudur (23,60). Böyle bir KÖ çeviricinin etkisi düzlemsel saydam bir anot ve yarıiletken katot arasındaki aralıkta boşalma oluşumuna dayandırılır. Bir KÖ görüntü çevirici boşalma akımının oldukça büyük bir bölgesi için oldukça kararlı bir duruma sahiptir ve akım yoğunluğu elektriksel olarak homojen yarıiletken kullanıldığı zaman tüm düzlemsel yapı boyunca kararlı ve homojendir. Bu davranış çok yaygın değildir, çünkü akım filamentasyonu ve akım yoğunluğunun diğer karmaşık uzaysal-zamansal davranışı yarıiletken-gaz boşalma yapısında gözlenir (87,88). Akım arttığı zaman hücredeki ışık emisyonu kararsız olur yani, ya küçük düzenli osilasyonlar ya da periyodik tekrar eden kırılma meydana gelir. Bu kararsızlık doğar çünkü uzay yükü azalan bir AVK oluşturur (13). Bu çalışmada akım ve ışık emisyon filamentı (yani homojen olmayan akım yoğunluk dağılımı) olduğu zaman, akım akışının uzaysal desenlerinin görüntüsü verilmiştir. Bu duruma elektronik sistemlerdeki küçük genlikli desenlerin oluşumundaki problem açısından bakıldığında enteresandır. Bu bağlamda sonradan filament desenine geçiş de incelenmiştir. Diğer taraftan, küçük-genlikli desenler düşünülen sistemde lokalize olmuş durumları içeren yüksek genlikli desenlerin oluşumu için bir orta aşama gibi davranabilir. Görüntüleri Bölüm 3 de kullandığımız KÖ görüntü çevirici hücre vasıtasıyla elde ettik. Hücrenin boşalma aralığı 100 Torr luk basınç ile doldurulmuştur. Filamentasyon görüntü oluşumunun değerlendirilmesi bunların uygun ışık emisyonunu yoluyla uzaysal çözünürlüklü saydam bir anot boyunca kaydedilen boşalma emisyonunun analizine dayandırılır. İyi bir yaklaşımla boşalma ışık emisyonunun parlaklığı, boşalma akım yoğunluğuna lineer olarak bağlıdır. Işık emisyonu bir CCD kamera kullanarak gözlenmiştir. Boşalma ışık emisyonu, özelliklede toplam akım oldukça geniş bir bölgede kontrol edilebilir. Bu bölge boşalmanın faaliyet gösterdiği Townsend bölgesinde $j \leq 1.5 \mu A / cm^2$ lik oldukça

düşük akım yoğunluklarını içerir. Fiziksel bakış açısından bu tip bir gaz boşalmasının en önemli özelliği, aralıktaki uzay yük etkisinin küçük olması ve bu uzay yükünün elektrotlar arasındaki elektriksel alanı bozmamasıdır (57). Şekil 6.24 (a,b) akım yoğunluğunun enine dağılımının uzaysal bir deseni ortaya çıkan uzaysal desenlerin farklı iki aydınlatma şiddeti için ($K_1 > K_2$), ki bu da GaAs katodun iki farklı direncini oluşturur, gelişimini göstermektedir. Işık emisyon şiddet dağılımının uzaysal deseni boşalma aralığındaki çok sayıda düşey çizgi boyunca alınan datadan hesaplandı. Şekil 6.24 de x ve y doğrultusunda oldukça homojensiz bir boşalma ışık emisyonunu görüyoruz ve Şekil 6.24 farklı karanlık ve parlak bölgeleri içeren z doğrultusundaki ışık emisyonunun uzaysal yapısını göstermektedir. Hemen hemen tüm durumlarda akım kararlılığının kaybolması boşalma ışık emisyonunun kararlılığının kaybolması ve bunun sonucu olarak da görüntülerin çözünürlüğünün kaybolması ile aynı ana rastlar.



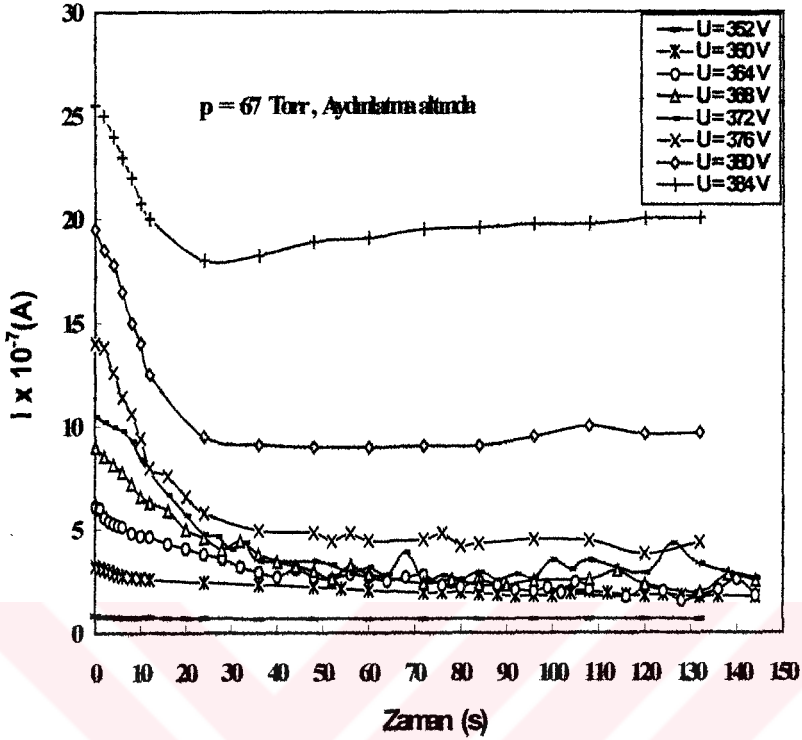
Şekil 6.24. Farklı K aydınlatma şiddetleri için gaz boşalma hücreesindeki ışık emisyonunun üç boyutlu filamentasyon desenleri: (a) $K_1 = 4 \text{ mWcm}^{-2}$; b) $K_2 = 1.2 \text{ mWcm}^{-2}$
Katodun çapı $R = 20 \text{ mm}$, $p = 67 \text{ Torr}$, $L = 80 \text{ }\mu\text{m}$, $U_0 = 2.2 \text{ kV}$ dur

Boşalmadaki filament oluşumu çevirici hücrenin özelliklerini kötüleştirir. Akımın uzaysal dağılımındaki desenlerin oluşumuna, boşalma tarafından yayınlanan görünür bölgedeki (330÷440 nm) ışık emisyonunun yerel dağılımı tarafından eşlik edilir. Bu desen oluşumunun temel özelliği, elektrik akımının besleme voltajının genliği ve katodu aydınlatan ve böylece fotoiletkenliği kontrol eden KÖ ışığın şiddeti tarafından kontrol edilebilmesidir (32).

Kendini-besleyen boşalmalarda akımdaki sıkışmayı içeren temel mekanizmalar sırasıyla molekülde ve atomik gazlarda gelişen iyonizasyon ya da iyonizasyon-termal kararsızlıklarıdır. Akım artırılıyorken filamentasyon görüntüleri farklı j akım yoğunluklu sistem durumlarına karşılık gelir. Işık emisyonunun dağılımı yanal akım yoğunluğu dağılımını yansıtır. Kontrol parametrelerini azaltırken, homojen durum eski haline getirilir. Bu çevirici hücredeki filamentasyon deseni araştırılan parametre uzayının her yerinde fark edilen bazı özel durumlar sergiler:

Biz ışık emisyon parlaklığını artıran noktaların düzenlemeleri olarak düşünülebilecek filamentasyon desenlerini gözledik. Filamentasyon desenlerinin diğer bir tipik özelliği bunların kesinlikle kararlı olmaları, fakat oldukça düşük bir hızla (yaklaşık 0,3 mm/s) aktif alan boyunca sürüklenmeleridir (88). Bir filamentin hızı artan gaz basıncıyla azalır. Katodun kalitesi ve çoğaltabilirliği gibi verimlilikle ilgili tam bir performans için, homojen bir gaz boşalması gereklidir. Tekrar edilebilen boşalma çalışma voltajlarını elde etmede önemli zorluklarla karşılaşmıştır. Düşük basınçlarda, 1 μ A civarının altındaki akımlarda boşalma devam ediyorken boşalma voltajının kötü şekilde sürüklendiğini fark ettik. Dağlama işlemi çoğaltılabilen voltajların meydana getirdiği benimsenmiştir; yani boşalma 0.5 μ A lik bir akımda ve 67 Torr luk bir basınçta 3 dakika devam ettirilmiştir (Şekil 6.29).

Düşük akım çalışma voltajlarına dönüşün, katodun 5÷10 dakikalık eski durumuna dönme (iyileşme) zaman sabitine tekabül ettiği gözlemlendi. Bu nedenle, daha yüksek akımlarda AVK için gereken zamanı minimize yapmaya çaba sarf edildi.



Şekil 6.25. Yarıiletken katotlu bir sistem için çevirici hücredeki akımının zamana göre değişimi

Biz oldukça aktif olan hava ortamında çalıştığımız için, boşalma süresince yük taşıyıcı bombardımanı sonucu yarıiletkenin boşalmaya bakan yüzeyinde oldukça bozulmuş bir tabaka meydana gelir ve bu tabaka katot yüzeyi boyunca akım yoğunluğu ve boşalma ışık emisyonunun yüksek homojensizliğine sebep olur; ve yarıiletken yüzeyinin lokal özellikleri için oldukça şiddetli boşalma gösterir ve önemli bir alan-emisyon akımının muhafaza edilmesini (hafızada tutulmasını) sağlar. Bu katot yüzeyi boyunca akım yoğunluğu ve boşalma ışık emisyonunun yüksek homojenlik derecesinin sebebidir.

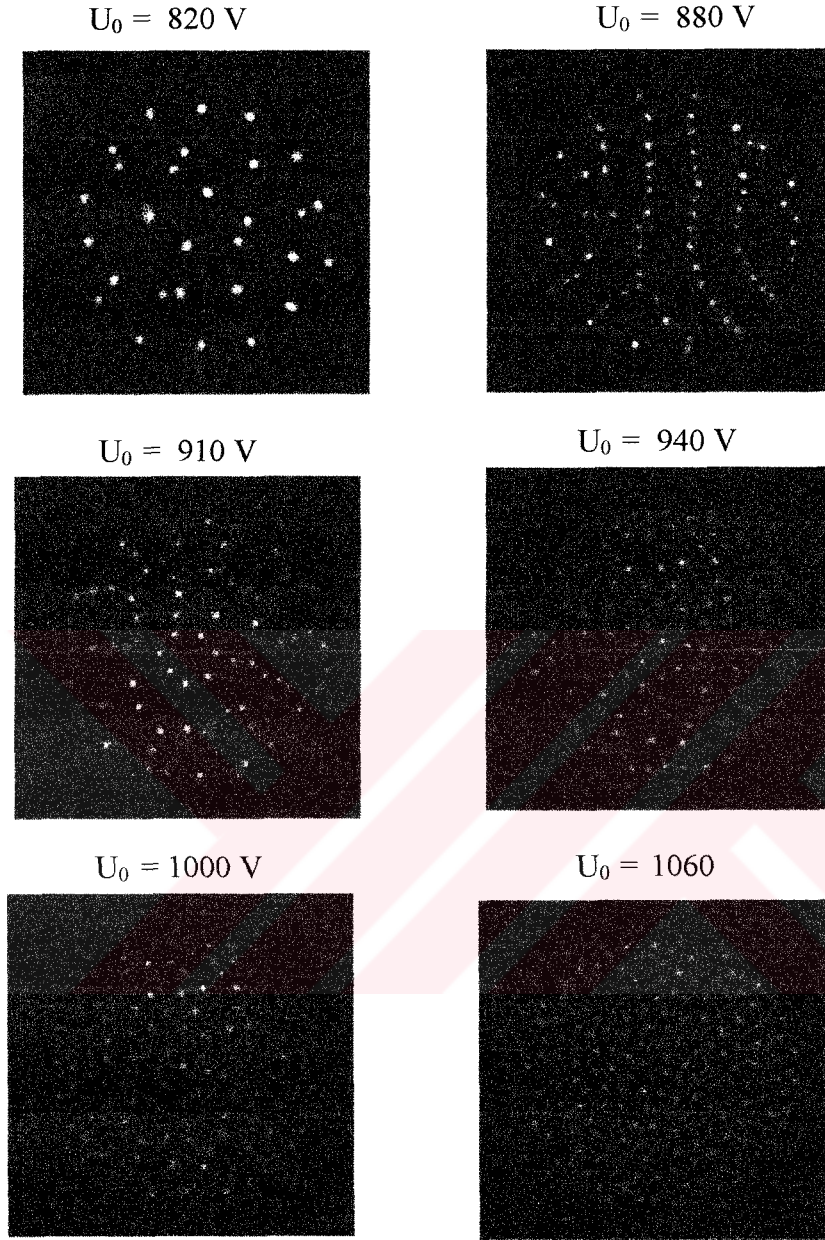
Ayrıca yüzeyi dikkatlice cilalayarak ve boşalmadan önce gelen (önde olan) enerji girişini sınırlayarak sıkışmadan kaçınılabılır (89). Sistemin hücresindeki iyi gelişmiş bir filamentasyon deseninden yola çıkarsak, KÖ ışık şiddetinin çoğalmasının sebep olduğu j deki ilave bir artış, parametrelere bağlı sistemin gelişmesinde farklı senaryolar başlatabilir:

Yukarda anlatılan filamentasyon desenleri durumunda, birbiri arkasında ilerleyen parlak noktalar olur ve sonunda bunlar GaAs katodun direnci azalırken kararsız olurlar (Şekil 6.26). Noktalar böyle yaparak, filament yapısı ile belirlenen örgüdeki sıkıca gömülü oldukları yerden, filamentasyon noktalarının arka arkaya (sıra ile) topluca bulunduğu bir yere geçişe maruz kalırlar.

Elektrotlar arası boşlukta pozitif iyonların artması uzaysal yoğunluk dağılımı akım boyunca değişen uzunlamasına bir elektrik alana sahiptir. Aynı durum boşalma bölgesindeki yük taşıyıcılarının yoğunlukları içinde doğrudur. Böyle bir sistemdeki akımın kısa ve süratli adımlarla hareketi düşünüldüğü zaman, bunun içindeki fiziksel süreçlerin 3 boyutlu temsili ile uğraşma kaçınılmaz olmaktadır (Şekil 6.24a ve şekil 6.24b).

Düzlemsel gaz boşalma sisteminde uzaysal olarak homojen kararlı Townsend boşalması, GaAs katodun oldukça yüksek dirençli olması durumunda uzaysal-zamansal bir istikrarsızlığa uğrar. Katodun daha düşük direncinde ilk bifurkasyon sadece zamansaldır; ki bu durumda homojen osilasyon meydana gelir, uzaysal homojenlik korunur (30).

Uzaysal bir kararsızlık, akım yoğunluğundaki uzaysal dağılımı gösteren ışık emisyonunun dağılımı vasıtasıyla kaydedilebilir. Gaz boşalmasının kendiliğinden oluşum sürecindeki farklı safhalar boşalma ışımalarının uzaysal dinamiklerinin bazı kısa filmleri ile aşağıda gösterilmektedir. Bu durumda, sisteme uygulanan voltaj kontrol parametresi olarak kullanılmaktadır.

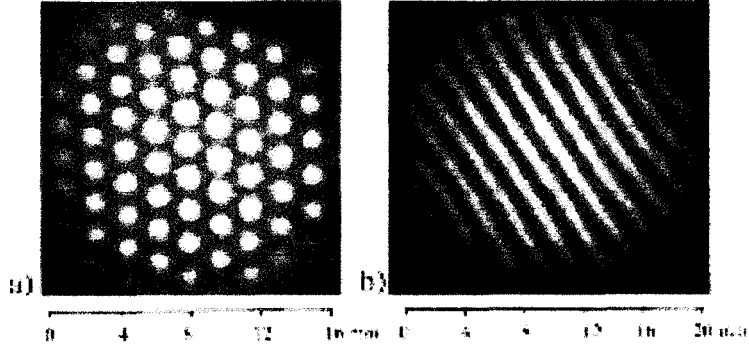


Şekil 6.26. CCD kamera ile görüntülenen plakadaki filament desenleri

Ayrık filamentler: Townsend boşalma safhasının ilk uzaysal-zamansal kararsızlığı, yaratıldıktan hemen sonra ayrılan uzaysal kararsız filamentlere yol açar. Filamentler kararlı olduğu zaman (voltaj artışı ile) yukarıdaki desenler elde gözlenebilir.

Akım yoğunluğu dağılımlarındaki desen oluşum olayı bir dc-sürümlü düzlemsel gaz boşalma yarıiletken sisteminde deneysel olarak araştırıldığında aşağıdaki desenler

gözlenmiştir; bu desenler boşalma aralığındaki bir ışık yoğunluğu dağılımı vasıtasıyla kaydedilmiştir. Uygun şartlar altında, uzaysal olarak homojen boşalma global akım artarken hegzagonal veya şeritli bir geçişe başlar (Şekil 6.27)



Şekil 6.27. Yayınlanan ışımın yoğunluk dağılımı. Kararsızlığın sonucu olarak temelde iki tip desen ortaya çıkabilir: a) hexagonal desen b) şerit desen. $p = 107$ Torr dur; ve a) $U_o = 1,886$ kV, b) $U_o = 2,142$ kV

Sistem parametrelerine özellikle de gaz basıncı ve elektrotlar arası mesafeye bağlı olarak desen kararlı ya da kararsız olabilir. Kararlı yapılar sınıfındaki hexagonal ve şerit desenler, sistemdeki akım kritik bir değeri aştığı zaman ortaya çıkmaktadır (30).

Gaz boşalma sistemleri esasen lineer olmayan sistemlerdir ve kararsızlıkların değişimini açıkça gösterirler. Madde iletiminin temel özellik olduğu kimyasal reaksiyonların tersine, elektronik ortamlardaki desen oluşum olayı yüklü taşıyıcıların taşınması ve elektrik potansiyelinin yeniden dağıtımı ile ilgilidir. Bu bakış açısından elektronik ortamlar temelde kimyasal ve hidrodinamik sistemlerden farklıdır. Düşük akım yoğunluğunda sistemdeki uzaysal olarak homojen boşalma dağılımı yarıiletkenin yüksek direnci nedeniyle kararlıdır. j yi artırırsak boşalma yükü Townsend bölgesinden yanal uzay yüklerinin meydana geldiği yük taşıyıcı yoğunluğu bölgesine geçer; böylece boşalma tabakasının lineer olmayan tabakası başlar. Bu yüzden, lineer olmayan gaz tabakasının desenlerin oluşumundan sorumlu olması beklenir (24).

Sistemlerin karakteristikleri, akım ve ışık emisyon filamentinin, KÖ görüntülerin çözünürlüğünden kuvvetlice etkilendiğini göstermiştir. KÖ ışık ile yarıiletken katodu aydınlatarak boşluktaki filamentlerin yerini değiştirmek mümkündür. Filamentlerin genişliği ve akım yoğunluğu belirli bir parametre seti için hemen hemen aynıdır. Bir filamentasyonun biçimi sistem parametrelerini değiştirirken değişmez. Elde edilen sonuçlar çeviricinin çıkış karakteristiklerini geliştirmede kullanılabilir.



7. YARIİLETKEN KATOTLU GAZ BOŞALMA YAPISINDAN YAYINLANAN IŞIMANIN SPEKTRAL DAĞILIMI

7.1. Büyük Alanlı Yarıiletken Katotlu UV Işık Kaynağı

Yarıiletken gaz boşalma yapılı (YGBY) sistem KÖ ışık ile uyarıldığında, gaz boşalma aralığındaki homojen boşalma ışık emisyonunun, eğer gaz basıncı ve elektrik alan yeterince yüksekse, yarıiletken katotlu büyük alanlı UV (ultraviyole) ışık kaynağı gibi davranabileceği gösterilmiştir. Bu, büyük alanlı GaAs katotlu sistemin gaz boşalma aralığında boşalmanın uzaysal homojen modunun kararlı olmasından dolayıdır. Glow boşalmasının çok sayıda uygulama alanı vardır. Bunlardan bazıları tabaka oluşumu ve aşındırma (etching) için yarıiletken endüstrisi, lazerler için ışık kaynağı, plazma gösteri panelleri gibidir. Yüksek voltajlarda, karanlık Townsend boşalmasından glow boşalmasına geçiş olduğunda soy gaz, hidrojen ve azotta daha erken gözlemlendiği fark edilmiştir. Azottaki glow boşalmasının ışınımı çalışmaları UV bölgede ışık yayılımının etkili ışık kaynağı olarak kullanıldığı gösterildiği için son zamanlarda başlatılmıştır (90,91).

UV ve görünür bölgede büyük alana sahip yarıiletken katotlu düzlemsel gaz boşalma sistemi düzgün ışık yayar. Boşalma ışık yayılımı konusundaki çalışmaya ilgi, gaz boşalma fiziğinin alanındaki artan bilgi gerekliliği ile ilgilidir ve teknik cihazlardaki boşalmanın bu çeşidinin kullanımı ile oluşan pratik problemleri çözmeye yardım etmek içindir (9,92). KÖ radyasyon, hücrenin foton duyarlı katodunu uyarır ve böylece akım yoğunluğunu ve gaz boşalma aralığından UV ve görünür ışık yayılımını kontrol eder. Bu sonuç foton duyarlı katodun bu cihazların içine yerleştirilmesi ve dış foto etki de işlem görmesindedir.

Gaz boşalma ışması ultraviyole bölgede verimli bir ışık kaynağı olarak kullanılabilirdiği için son zamanlarda gaz boşalma ışmasının incelenmesine büyük bir ilgi vardır. Işımanın verimliliğinin geliştirilebilmesi için yarıiletken gaz boşalma sisteminin özelliklerinin detaylı bilinmesi gerekir böylece optimal boşalma şartları belirlenebilir. Pahalı olmayan ve gayet güçlü büyük alanlı ultraviyole ışık kaynakları

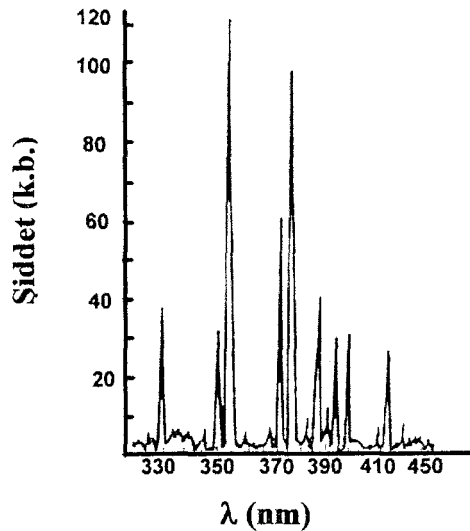
şu anda var olan ultraviyole kaynaklara enteresan bir alternatif sunar. Yüksek E/N değerlerindeki (burada E elektrik alan ve N yük taşıyıcılarının konsantrasyonudur) yarıiletken gaz boşalma sisteminde uzaysal kararlılığı gerçekleştirebilmek için boşalma ışması özel dikkat gerektirir. Çünkü yüksek E/N değerlerinde uzaysal kararlılık daha zor sağlanmaktadır. Bir taraftan ışmanın şiddetli olması için E/N değerinin büyük olması istenirken, diğer yandan yüksek E/N değerlerinde filamentasyon başlamaktadır. Bu nedenle optimal şartların sağlanması gerekmektedir. Işımanın spektrumu boşalma aralığında bulunan gaz karışımının içeriğine ve yapısına bağlıdır. İnce boşalma aralığı durumunda, iyonlaşmış gazdaki iyon ve elektronların elektrot tabakasının yüzeyleriyle etkileşmesi ve aynı zamanda gaz moleküllerinin uyarılmasıyla farklı durumlar beklenebilir. Yarıiletken elektrotlu boşalma hücresinde ışmanın spektrumunun incelenmesi boşalma modunun (yani glow veya yüksek akım yoğunluğu bölgesine ait karanlık Townsend boşalma modu) sınıflandırılmasındaki incelemelerin ilk ve gerekli aşamasıdır. Diğer taraftan teknik açıdan, spektral incelemeler hücredeki akım ve fotoakımın ışın demetine çevrilme verimliliği probleminin çözümü için önemli bir unsurdur.

Bölüm 4 de sunduğumuz geniş çaplı deneysel çalışmaların sonucu, bu bölümde önerdiğimiz cihazın (yarıiletken gaz boşalma yapılı büyük çaplı KÖ görüntü çevirici) uygulamasında büyük bir öneme sahiptir. Aynı zamanda yarıiletken gaz boşalma yapılı KÖ görüntü çevirici, değişik materyalleri ve karmaşık yapıları içeren küçük hacimli hücrelerde meydana gelen mikro boşalmaları kullanır. Bu boşalma karakteristikleri hücrenin geometrisine kuvvetlice bağlıdır. Bu nedenle, geometrik parametreler ve boşalmanın karakteristikleri arasındaki bağın bilinmesi hücrenin optimizasyonu için önemlidir.

Bu bölümde, yarıiletken gaz boşalma yapısında mikro boşalma sistemi gibi (93) davranan küçük hacimli sistemle ilgileniyoruz. Bu sistem küçük boşalma aralıklı yarıiletken gaz boşalma yapılı KÖ görüntü çeviricidir. Hücrenin bileşenlerinden biri yüksek dirençli GaAs yarıiletken fotokatodundan meydana gelir. Boşalma ışık emisyonunu çalışmaya olan ilgi gaz boşalma fiziği alanındaki bilgiyi artırmanın ve teknik sistemlerdeki (9) bu tip boşalmanın kullanımı ile alakalı pratik problemleri

çözmenin gerekliliğinden kaynaklanmaktadır. Boşalma ışımalarının maksimum yayılımı fotokatodun duyarlılığı ile belirlenir. Gaz boşalma aralığındaki basınca bağlı olarak iyonizasyon sisteminin temel karakteristikleri uygulama voltajı ve dış aydınlatma şiddeti ile belirlenir. Verimlilikle ilgili tam bir performans, fotokatodun kalitesi ve yeniden kullanılabilirliği için homojen gaz boşalması gereklidir. Işık sinyallerini kaydetmede sadece toplam ışık şiddetini bilmek değil aynı zamanda fotokatot düzlemindeki iki boyutlu dağılımda bilmek gereklidir. Bu tip problemler otomasyonda, bilgisayar ve görüntüleme sistemlerinde ortaya çıkmaktadır. Bu tip çevirici özelliklerini deneysel olarak incelerken, gaz boşalma aralığında yüksek uzaysal ve zamansal çözünürlüklü gaz parlaklığını gözlemlemek gerekir.

Cr katkılı GaAs fotokatotlu bahsettiğimiz sistemin ilk spektral araştırması ref (94) de yapılmıştır. Daha sonra Salamov tarafından (16) kapsamlı spektral araştırmalar yapılmıştır. Bu bölümde bölüm 3 deki deneysel sistemin fotoçoğaltıcılı kısmı da kullanılmıştır. Bu araştırmalardan, elde edilen gaz boşalma ışımalarının spektrumunun 330÷440 nm dalga boyu aralığında olduğu gösterilmiştir. Bu bölümün amacı gaz boşalma aralığından yayınlanan ışımaya hakkında daha fazla bilgi edinmektir. Işığa duyarlı GaAs katotlu iyonizasyon sisteminde hava ortamında gaz boşalma ışımalarının spektrumu Şekil 7.1 de görülmektedir.



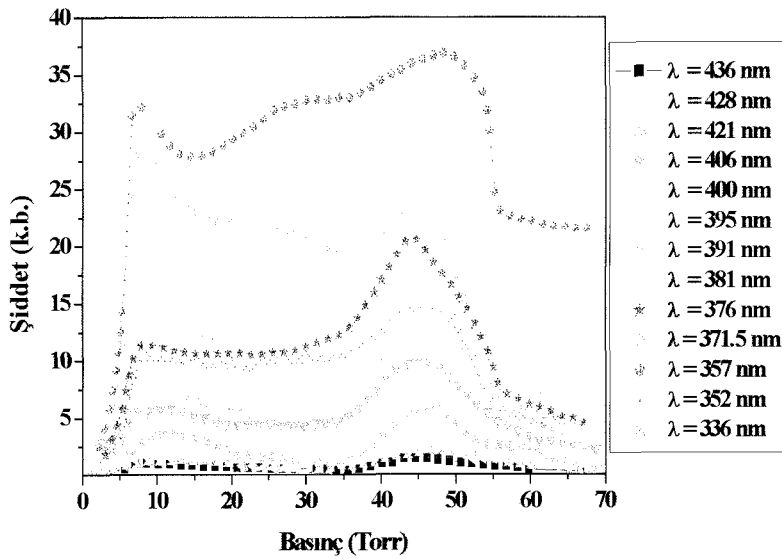
Şekil 7.1. Yarıiletken gaz boşalma yapısındaki ışımaların spektrumu

Spektrum 330÷440 nm dalgaboyu aralığında arka arkaya sıralı çizgilerden oluşmaktadır. Işıma spektrumu en şiddetli 13 çizgiden oluşur. Çizgilerin genişliği çizginin yarı-genişliğinden belirlenir ve 0,01 eV dur. Çizgilerin maksimumlarının yerleşimi ve bağlı şiddetleri en şiddetli 3. çizgi ile karşılaştırıldığında Çizelge 7.1 de sunulmuştur.

Çizelge 7.1. Spektrum çizgilerinin şiddetinin dalga boyuna göre değişimi

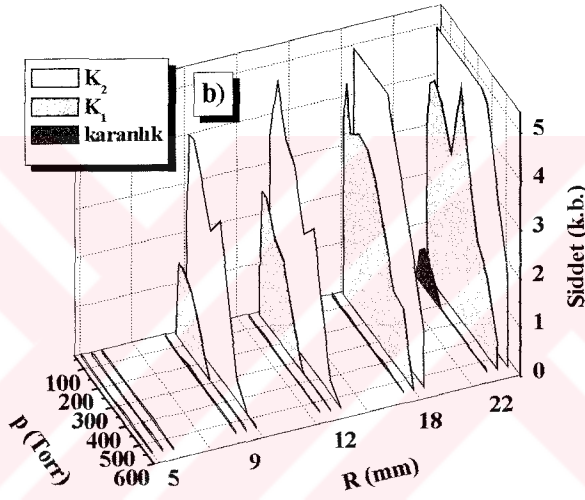
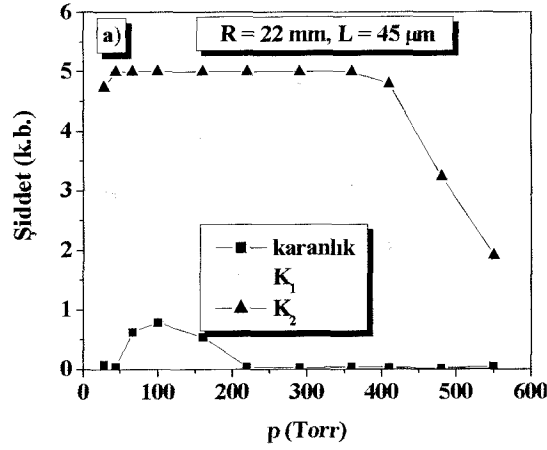
Çizgi sayısı	λ_{max} , nm	Hava için Şiddet (k.b.)
1	337	67.2
2	352	51.2
3	357	100.0
4	371.5	11.5
5	376	35.8
6	381.4	44.6
7	391.4	35.8
8	395	9.43
9	400	21.3
10	406	18.2
11	421	6.9
12	428	24.5
13	436	8.8

Çizgilerin çıkış gücünün (şiddetinin) basınca bağlı olduğu bilinmektedir (Şekil 7.2). Salamov tarafından (16) yapılan araştırmalarda tüm çizgilerin iki maksimuma sahip ve bu maksimumların 45÷50 Torr ve 8 Torr bölgesinde olduğu gösterilmiştir. Birinci maksimum 45 ve 50 Torr'a ikinci maksimum 8 Torr'a aittir. $p = 8$ Torr daki maksimum için 3,7 ve 12' nci çizginin maksimumları açıkça gösterilmektedir. Aynı zamanda, 7 ve 12. çizgiler için 8 Torr daki ışımının şiddeti 45÷50 Torr aralığındaki ışımının şiddetinden daha büyüktür. Farklı gaz ortamlarındaki ışımının spektrumunun değişmediği Salamov tarafından gösterilmiştir (16). Farklı gaz ortamlarında yalnız spektrumu oluşturan çizgilerin şiddeti değişir.



Şekil 7.2. Hava ortamında gaz boşalma aralığının spektral çizgilerinin şiddetinin basınca bağlılığı

Aynı zamanda gaz ışımalarının spektrumunda bu gazı belirten (bu gaza ait) karakteristik çizgiler de bulunmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda (16), Şekil 7.2. den görüleceği üzere $p = 70$ Torr' a kadar ışıma görülmüştür. Ancak biz deneylerimizde önceki yapılan çalışmalardan farklı olarak ilk defa $p = 550$ Torr' a kadar ışımının olduğunu gördük (Şekil 7.3 (a,b)). Şekil 7.3 (b) elektrot alanlarının farklı R çapları ve farklı σ katot iletkenliği için basınca göre maksimum ışımının değişimini vermektedir. Şekil 7.3 (b) ayrıca GaAs katodun farklı öz dirençlerine (yani ρ_1 , ρ_2 ve ρ_3) yol açan farklı aydınlatma şiddetleri için ($K_2 > K_1$) maksimum ışıma değerlerinin üst sınırlarının değişimini göstermektedir.

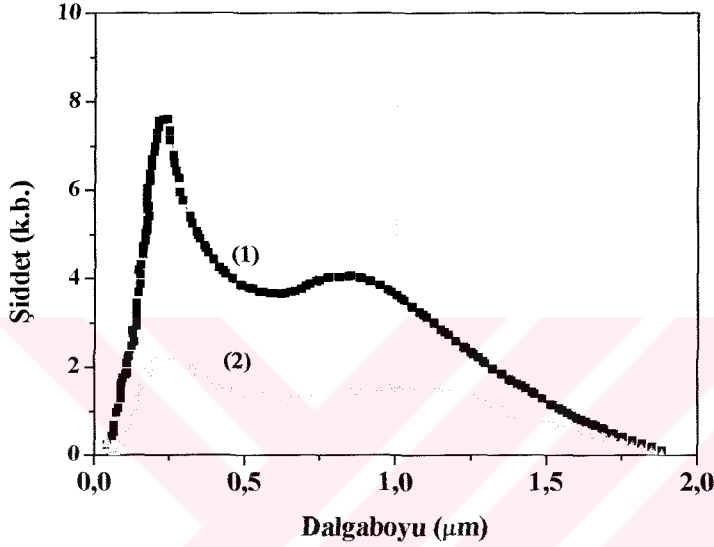


Şekil 7.3. a) Basıncın fonksiyonu olarak sabit elektrotlar arası uzaklık $L = 45 \mu\text{m}$ ve sabit elektrot çapı $R = 22 \text{ mm}$ için KÖ görüntü çeviriciden yayınlanan maksimum ışımının 2D davranışı; b) Elektrot alanlarının farklı çapları R ve katodun farklı σ iletkenlikleri için maksimum ışımının basınca göre 3D değişimi. Gaz boşalma aralığının kalınlığı $L = 45 \mu\text{m}$

Şekil 7.3 den görülmektedir ki optimal boşalma şartlarında kullandığımız YGBY'lı KÖ görüntü çevirici sistemi 1 Atm (760 Torr) basınca kadar çalışabilmektedir. Buradan şu önemli sonuç çıkar: Sistemimizi büyük alanlı ultraviyole ışık kaynağı olarak yüksek basınçlara kadar kullanılabiliriz. Bu sonuç bilimsel çalışmamızın en önemli sonuçlarından biridir.

7.2. Yarıiletken Gaz Boşalma Yapısının Spektral Karakteristiği

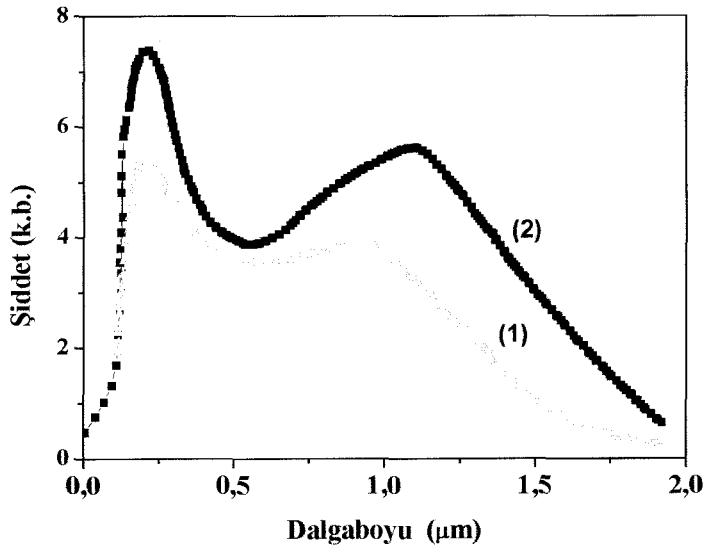
Sistemde oluşan akımın sistemin ışığa duyarlı yarıiletken katodunu aydınlatan ışığın dalgaboyuna bağlılığı spektral karakteristiktir. Şekil 7.4 YGBY'lı sistemin ve ışığa duyarlı yarıiletken katodun spektral karakteristiğini göstermektedir.



Şekil 7.4. Yarıiletken gaz boşalma sisteminin (1) ve yarıiletken katodun (2) spektral karakteristiği

Şekil 7.4 den görülüyor ki yarıiletken gaz boşalma yapısının spektral karakteristiği tamamen yarıiletkenin spektral karakteristiği ile belirlenir. GaAs ın katkı fotoiletkenliği, spektral bölgesinin duyarlılığını ve sonuç olarak YGBY'lı iyonizasyon sisteminin spektral duyarlılığını $\lambda = 1,7 \div 1,8 \mu\text{m}$ ye kadar uzatır.

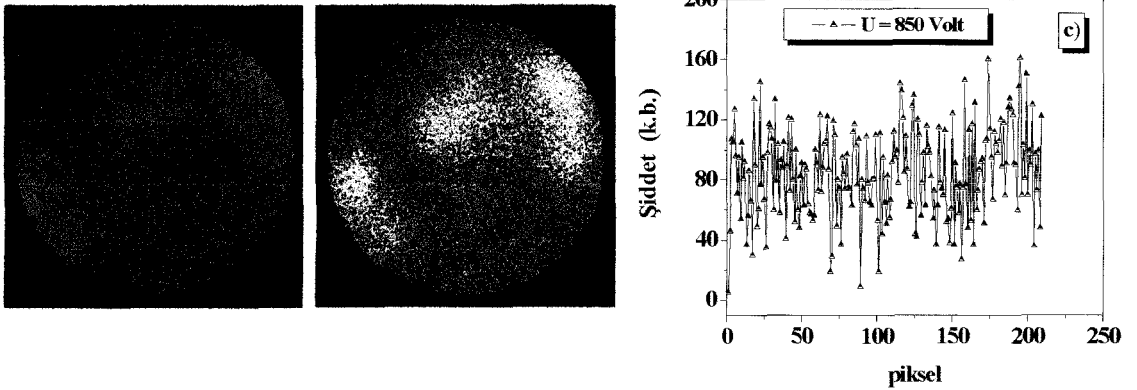
Yarıiletken gaz boşalma yapısının spektral karakteristikleri ışığa duyarlı katodun yüzey işlemine özellikle uzun dalga boyu bölgesinde kuvvetlice bağlıdır. Yüzey homojensizlikleri artınca sistemin ışığa duyarlılığı da artar. Şekil 7.4 de sistemin cilalanmış yüzeyi için (1) ve zımpara tozu ile işlenmiş (No = 14) yüzeyi için (2) spektral karakteristikler sunulmuştur.



Şekil 7.5. Sistemin cilalanmış yüzeyi için (1) ve zımpara tozu ile işlenmiş yüzeyi için (2) spektral karakteristikler

Şekil 7.5 den zımpara tozu ile işlenmiş yüzeyin $\lambda = 1,6\div 1,8$ μm bölgesinde ışığa duyarlılığı yaklaşık üç kere artmıştır. Suni şekilde işlenmiş YGBY'lı yarıiletken iyonizasyon sisteminin ışığa duyarlılığının artması şu sebeplerden kaynaklanabilir:

İşlenmiş yüzey ışığın soğurulmasını artırır; çünkü ışık bu işlem sürecince oluşan homojensizlik merkezlerinden (ki bunlar yansıma merkezleri gibi davranır) çok sayıda yansımaya uğrar. Gelen ışığın dalga boyu yansıtıcı merkezlerin boyutlarına yakın ise maksimum yansıma meydana gelir. KÖ bölgesinde zımpara tozu ile işlenmiş yarıiletken ile sistemin ışığa duyarlılığının artışı doğrulamak ve görüntüleri karşılaştırmak için gaz ortamında boşalma ışmasını dijital CCD kamera ile kaydettik (Şekil 7.6.) . Daha önce (bölüm 6) $U = 850$ Volt' da yarıiletken katodun cilalanmış yüzeyi için profil grafiği verilmişti (Şekil 6.27 c). Yarıiletken işlendiği zaman profilden açıkça görüleceği üzere (Şekil 7.6. c) yarıiletkenin ışığa duyarlılığı artmaktadır. Çapı $R = 20$ mm ve kalınlığı $L = 1$ mm olan disk şeklindeki yarıiletken GaAs plakanın bir yüzeyinde metalik Au kontağı evaperyon yöntemi ile oluşturulmuştur. Bundan sonra bu plaka iki metal elektrot arasında sıkıştırılmıştır. Plakanın serbest kalan yüzeyi tarafından halka şeklinde elektrot yapılmıştır. Işık yarıiletkenin serbest kalan yüzeyine (halka tarafından boş kısmı) normal doğrultuda düşürülmüştür.



Şekil 7.6. Gaz boşalma ışımalarının görüntüleri: a) yarıiletken katodun cilalanmış; b) zımpara tozu ile işlenmiş yüzeyi ve c) işlenmiş yüzeyin çap boyunca profili $U = 850$ Volt

Deneyler, önceden cilalanmış yüzeyin farklı zımpara tozu ile işlenmesinin KÖ bölgesinde ışığa duyarlılığın artırdığını göstermektedir. Genişletilmiş alan üzerindeki yüksek enerjili parçacıkların akışının içine katodun alınan yüzeyi üzerindeki kısmen düşük güçlü fotonu değiştirerek ve yükselterek düzlemsel gaz boşalma sistemi son derece etkili enerji dönüştürücü olabilir. Sistemin katodunu uyarmak için KÖ ışık kullanarak uygulanan boşalma voltajının artırılması ayrıca gösterilmiş ve etkili ikinci elektron yayılım katsayısının değişimine bağlı olarak açıklanır. Bunun değeri, elektrot yüzeyinin şartlarına ve gaz boşalma plazmasındaki iyon bileşenlerinin birleşimine bağlıdır. Bu yüzden son derece parlak UV ve görünür kaynak oluşabilir. Bu UV ışık kaynağının düşük fiyatı ve yüksek gücünün olması bu çalışmanın ilginç olmasını sağlar. Aynı zamanda geleneksel UV lambaları için çok faydalı bir alternatiftir. Bu cihaz KÖ ışık ile kontrol edilen UV radyasyonun hızlı kaynağının bir uygulaması olabilir. Glow boşalma ışık yayılımının özelliği; yayılan yüzeyin büyük alanlı ışık kaynağının gelişimi ve UV radyasyonun yüksek uzaysal homojenliği için ümit vermesidir.

8. SONUÇ VE TARTIŞMA

Gazlardaki elektriksel boşalma kuvvetli bir dengesizlik sürecidir. Bunun özellikleri çok çeşitlidir ve gaz içeriğine ve gazın basıncına; boşalma sisteminin geometrisine elektriksel güç besleme moduna v.b ne bağlıdır. Bu çalışmada akımın kararlı olduğu bölgeler belirlenerek, büyük çaplı yarıiletken katotlu gaz boşalma hücresinin duyarlılık ve çözünürlüğü arttırılmaya çalışıldı. Duyarlılık ve çözünürlüğü arttırmak için yarıiletken katotlu gaz boşalma sistemlerinin özelliklerini detaylı olarak anlamak ve optimum boşalma şartlarını belirlemek gerekmektedir. Bu özellikler, gaz boşalma sistem hücrelerinin tasarlanması için ana özelliklerdir. Gaz ortamının, gaz basıncının boşalma özelliklerine olan etkisi ve yüksek dirençli GaAs yarıiletkenli gaz boşalma sistemindeki akımın davranışları incelenmiştir. Deneysel sonuçlar değerlendirildiğinde; akım-voltaj grafiğinden elde edilen kırılma voltaj (U_K) değerlerinin basınç ve ışığın aydınlatma şiddeti ile doğru orantılı, gaz boşalma aralığının çapı ile ters orantılı olduğu görülmüştür. Yarıiletken katotlu gaz boşalma hücresinden kaydedilen görüntünün çözünürlüğü ve duyarlılığının yüksek olduğu basınç ve çap değerleri araştırılmış ve bu değerler $p = 44$ Torr, $R = 22$ mm ve $L = 45$ μ m olarak bulunmuştur. Deneysel çalışmalarımız boyunca bilimsel anlamda önemli sonuçlar elde ettik. Bu sonuçlar YGBY lı KÖ görüntü çevirici sistemimizin optimasyonu için kullanılacaktır:

1. Elektrot çapı R arttıkça akım yoğunluğunun $U > U_K$ olduğu tüm voltaj bölgesinde arttığını gösterdik. Muhtemelen, yüksek akım yoğunluklarında gözlenen kararsızlıkların başlaması uzay yükünün oluşmasından kaynaklanmaktadır.
2. Paschen eğrilerinde basınç değeri $L = 45$ μ m için $p = 28$ Torr' dan başlayarak artırıldığında, U_K değerinin $p = 44$ Torr değerine kadar düştüğü daha sonra arttığı tespit edilmiştir. O halde $p = 44$ Torr minimum noktasıdır. Diğer elektrotlar arası mesafeler için Paschen eğrilerinin sol tarafı tespit edilememiştir.

3. Geleneksel Paschen kanunu $U_K = f(pL)$ yalnızca benzer L/R ye sahip boşalma hücreleri için geçerlidir. Elektrot boyutları ve aralarındaki mesafeler geometrik olarak benzer ve gaz basınçları elektrot uzaklığı ile ters orantılı olan boşalmalar eşit kırılma voltajlarına sahiptir.
4. Değiştirilmiş Paschen kanunu $U_K = f(pL, L/R)$ bizim deneysel sonuçlarımızla iyi bir uyum içerisindedir; yani kırılma voltajı U_K hem gaz basıncı ve gaz boşalma aralığının genişliğinin çarpımının hem de L/R oranının bir fonksiyonudur. Yarıiletken katot için kırılma voltajının L/R ' ninde fonksiyonu olduğunu ilk defa biz deneysel çalışmalarımız sonucunda tespit ettik; böylece yeni bir parametre (L/R) elde etmiş olduk.
5. pL kadar L/R parametresi de Townsend boşalmasının kırılma eğrilerinin anlatımı için önemlidir. Deneysel sonuçlarımız, farklı R elektrot çapı ve farklı elektrotlar arası L mesafeleri için GaAs katotlu bir boşalma sisteminde kırılma eğrilerinin $L/R = 0,005$ oranı için birbirleriyle çakıştığını göstermektedir.
6. Genel olarak keyfi L ve R değerlerinde geleneksel Paschen kanunu geçerli olmamakta ve dc kırılma için daha genel bir kanun $U_K = f(pL, L/R)$ kullanılmalıdır. Açıkçası $L/R = 0$ için geleneksel Paschen kanunu elde ederiz. Paschen kanunu yalnızca iki durum için geçerlidir:

$L/R \rightarrow 0$ olan boşalma hücrelerinde

Benzer geometrideki boşalma hücrelerinde

7. Genel olarak $p = 28 \div 160$ Torr aralığında $L = 323$ μm lik elektrotlar arası mesafe için $R = 9 \div 22$ mm lik elektrot çaplarında yarıiletkenin NDD karakteristikleri elde edilmiştir. Aydınlatma şiddetine ve basınca bağlı olarak bu karakteristikler değişmektedir. Farklı elektrot çapları, farklı

aydınlatma şiddetleri ve farklı basınçlar için elde ettiğimiz *NDD* grafikleri bugüne kadar yapılan en kapsamlı çalışmadır.

8. Yine diğer yapılan çalışmalardan farklı olarak ilk defa biz yarıiletken katot KÖ ışık ile aydınlatıldığında yarıiletkenin *NDD* karakteristiklerine rastladık.
9. Uzaysal olarak homojen olmayan akım osilasyonları yarıiletken bileşen tarafından oluşturulur. Yani bunlar (homojen olmayan akım osilasyonları) gaz boşalma aralığının olmaması durumunda da mevcuttur.
10. Yarıiletken kristallerin *EL2* merkezleri olarak adlandırılan derin elektronik kusurlarla katkılanması nedeniyle oda sıcaklığında yüksek bir dirence sahiptir. Bu kusurların varlığı, materyalin *N*-tipi *NDD* sine ve sonuç olarak örneğe yeterince yüksek genlikli bir dc-voltaj uygulandığında akımda osilasyonlara yol açar. Bu etki, kinetik enerjileri yüksek elektrik alanlarda arttığı zaman, yük merkezlerinin tuzaklama verimliliğinin artması ile kontrol edilir. Osilasyonlar, örnek içindeki yüksek elektrik alanlı bölgelerin oluşumu, hareketi ve bozulması ile alakalıdır.
11. *NDD* karakteristikleri GaAs fotodedektörün lineersizliğinden kaynaklanmaktadır; halbuki gaz boşalması GaAs fotodedektörün taşıma özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip değildir
12. Elektrik karakteristiklerden ve sunduğumuz boşalma desenlerinden şunu söyleyebiliriz: KÖ görüntü çevirici için kararlı boşalma deseni $U = 850$ Volt için elde edilmiştir. $U = 850$ Volt için sistemin optimal parametreleri $R = 10$ mm, $p = 100$ Torr ve $L = 100$ μ m dir.
13. Sistemin yarıiletken katodu KÖ ışık ile uyarıldığında, gaz boşalma aralığındaki homojen boşalma ışık emisyonu eğer gaz basıncı ve elektrik alan yeterince yüksekse, yarıiletken katotlu büyük alanlı UV ışık kaynağı

gibi davranabilir. Bu, büyük alanlı GaAs katotlu hücrede ışık yayan dar bir aralıkta boşalmanın uzaysal homojen modunun kararlı olmasından dolayıdır.

14. Optimal boşalma şartlarında kullandığımız YGBY'lı KÖ görüntü çevirici sistemi 1 Atm (760 Torr) basınca kadar çalışabilmektedir. Buradan şu önemli sonuç çıkar: Sistemimizi büyük alanlı ultraviyole ışık kaynağı olarak yüksek basınçlara kadar kullanabiliriz. Bu sonuç bilimsel çalışmamızın en önemli sonuçlarından biridir.

15. KÖ görüntü çeviriciden optik yöntemle elde edilen görüntülerin daha hassas ve daha ayrıntılı bilgi verdiği önemli sonucu deneylerimiz sonucunda anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Field, J. E., "High-speed photography", *Contemp. Phys.*, 24: 439-445 (1983).
2. Kasymov, Sh. S. and Paritskii, L. G., "High speed conversion of infrared images with a planar gas discharge system", *deposited in VINITI N2693*, 15: 142-148 (1974).
3. Raizer, Y. P., "Gas Discharge Physics", *Springer*, Berlin, 330-448 (1991).
4. Ward, A. L., "Effect of space charge in cold-cathode gas discharges", *Phys. Rev.*, 112: 852-1857 (1958).
5. Astrov, Yu. A. and Portsel, L. M., "Experimental evidence for zigzag instability of solitary stripes in a gas discharge system", *deposited in VINITI N1494*, 22: 332- 415 (1980).
6. Astrov, Yu. A. and Portsel, L. M., "Stability of a uniform steady self-sustaining discharge in a resistive electrode-discharge gap structure", *Sov. Phys. Tech. Phys.*, 26: 1480-1488 (1981).
7. Strumpel, A.C., "Spatiotemporal filamentary patterns in a dc-driven planar gas discharge system", Ph. D. thesis, *Munster University available from the Institute of Applied Physics*, Germany, 1-148 (2001).
8. Salamov, B.G., Çolakoğlu, K., Altındal, Ş. and Özer, M., "Enhancement of the sensitivity of an ionization type semiconductor photographic system", *J. Photogr. Sci.*, 44: 110-115 (1996).
9. Salamov, B. G., Çolakoğlu, K. and Altındal Ş., "Recording the resistance inhomogeneity in high-resistivity semiconductors plates", *Infrared. Phys. & Technol.*, 36: 661-668 (1995).
10. Howatson, A. M., "An Introduction to Gas Discharges", *Pergamon*, Oxford, 7-142 (1965).
11. Salamov, B. G., Ellialtıoğlu, Ş., Akınoğlu, B.G., Lebedeva, N.N. and Paritskii, L.G., "Spatial stabilization of Townsend and glow discharges with a semiconducting cathode", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 29: 628-633 (1996).
12. Boyers, D. G., Tiller, W. A., "Corona discharge photography", *J. Appl. Phys.*, 44: 3102-3112 (1973).
13. Radehaus, Ch., Dirksmeyer, T., Willebrand, H. and Purwins, H.G., "Pattern formation in gas-discharge systems with high impedance electrodes", *Phys. Lett. A.*, 125: 92-94 (1987).

14. Willebrand, H., Hünteler, T., Niedernostheide, F. G., Dohmen, R., Purwins, H. G., "Periodic and turbulent behavior of solitary structures in distributed active media", *Phys. Rev. A.*, 45: 8766-8775 (1992).
15. Willebrand, H., Mathiessen, K., Niedernostheide, F. G., Dohmen, R., Purwins, H. G., "Spatio-temporal oscillations during filament splitting in gas-discharge systems", *Phys. Lett. A.*, 153: 437- 445 (1991).
16. Salamov, B. G., Lebedeva, N. N., Zeinally, A. Kh., "Spectral characteristic photographic system with ionization type", *Sov. Phys. Tekh. Phys.*, 32: 1193-1197 (1987).
17. Kartujanskii, A. L., "Nonsilver Photographic Process", *Khimia*, Leningrad, 1-134 (1984).
18. Rayzer, U. P., "Physics of Gas Discharge", *Nauka*, Moskow, 1-114 (1987).
19. Druyvesteyn, M. J., Penning, F. M., "Mechanism of electrical discharges in gases of low pressure", *Rew. Mod. Phys.*, 12: 87-174 (1940).
20. Gundersen, M., Schaefer, G., "Physics and Applications of Pseudoparks", *Plenum*, New York, 1-255 (1990).
21. Lodygin, A. N., Paritskii, L. G. and Khaidarov, Z., "Some characteristics of the photocurrent in semiinsulating GaAs with plasma contacts", *Sov. Phys. semicond.*, 17: 983-988 (1983).
22. Lebedeva, N. N., Orbukh, V. L., Salamov, B. G., "Investigation of the effect of discharge plasma stabilization by a semiconductor", *J. Phys. III.*, 6: 797-805 (1996).
23. Ridley, B. K., "Specific negative resistance in solids", *Proc. Phys.*, 82: 954-966 (1963).
24. Ammelt, E., Astrov, Yu. A., Purwins, H. -G., "Stripe turing structures in a two dimensional gas discharge system", *Phys. Rev. E.*, 55: 6731-6740 (1997).
25. Astrov, Yu. A., Beregulín, E. V., Valov, P. M., Paritskii, L. G., Portsel, L. M., S. Ryvkin, M. and Sreseli, O. M., "Photographic device for high-speed measurement of the spatial distribution of the output from a pulsed CO₂ laser", *Sov. Phys. Tech. Phys.*, 23: 231-238 (1978).
26. Astrov, Yu. A., Egorov, V. V., Kasymov, Sh. S., Murugov, V. M., Paritskii, L. G., Ryvkin, S. M. and Sheremet'ev, Yu. M., "Novoe fotograficheskoe ustroystvo dlya issledovaniya harakteristic lazernogo izlucheniya", *Sov. Phys. Quantum Electron.*, 4: 1681-1687 (1977).

27. Astrov, Yu. A., Akhmedova, M. M., Lebedev, A. A., Mamadalimov, A. T., Portsel, L. M., Paritskii, L. G., Yusupov, P.O., "Investigation of response of ionization - type semiconductor image converter", *Sov. Tech. Phys. Lett.*, 3: 701-706 (1977).
28. Astrov, Yu. A., Willebrand, H., Portsel, L. M., Teperick, S. P. and Purwins, H. -G., "Speed properties of a semiconductor-discharge gap IR image converter studied with a streak camera system", *J. Appl. Phys.*, 74 : 2159-2166 (1993).
29. Boyers, D. G. and Tiller, W. A., "Plasma bubble domains", *Appl. Phys. Lett.*, 41: 28-31 (1982).
30. Astrov, Yu. A., Ammelt, E., Teperich, S. and Purwins, H. -G., "Hexagon and stripe Turing structures in a gas discharge system", *Phys. Lett. A.*, 211: 184-190 (1996).
31. Salamov, B. G., Çolakoğlu, K., Altındal, Ş. and Özer, M., "A stable discharge glow in gas discharge system with semiconducting cathode", *J. Phys. III.*, 7: 927-936 (1997).
32. Salamov, B. G., Altındal, Ş., Özer, M., Çolakoğlu, K. and Bulur, E., "Characteristic features of an ionization system with semiconducting cathode", *Eur. Phys. J. AP.*, 2: 267-273 (1998).
33. Paschen, F., "Paschen law", *Annalen der physik und chemie* ., 37: 69-84 (1889).
34. Townsend, J. S., "Electricity in Gases", *Clarendon*, Oxford, 1-72 (1915).
35. Meek, J. M and Craggs, J. D., "Electrical Breakdown of Gases", *Clarendon* Oxford, 1-28 (1953).
36. Von Engel, A., "Ionized Gases", *Clarendon*, Oxford, 215-228 (1955).
37. Llewellyn Jones, M. A., "Ionization Growth and Breakdown", *Springer*, Berlin, 1- 48 (1956).
38. Loeb, L. B., "Electrical Breakdown of Gases with Steady or Direct Current Impulse Potentials", *Springer*, Berlin, 445-462 (1956).
39. Brown, S. C., "Basic Data of Plasma Physics", *Wiley*, New York, 12-26 (1959).
40. Lisovsky, V. A. and Yegorenkov, V. D., "Low-pressure gas breakdown in combined fields", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 27: 2340-2348 (1994).
41. Phelps, A. V and Petrovic, Z. Lj, "Cold-cathode discharges and breakdown in argon: surface and gas phase production of secondary electrons", *Plasma Sources Sci. & Technol.*, 8 : R21-R44 (1999).

42. Lisovskiy, V. A., Yakovin, S. D. and Yegorenkov, V. D., "Low-pressure gas breakdown in uniform dc electric field", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 33: 2722-2730 (2000).
43. Jacques, L. and Bruynooghe, W., "On phenomena in ionized gases", *15th Int. Conf.*, Minsk, 609-618 (1981).
44. Jacques, L., Bruynooghe, W., Boucique, R and Wieme, W., "Experimental determination of the primary and secondary ionisation coefficients in krypton and xenon", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 19: 1731-1739 (1986).
45. Yumoto, M., Sakai, T., Ebinuma, Y., Fujiwara, Y and Aihara, M., Lisovskiy, V.A., et al "On high voltage engineering", *8th Int. Symp.*, Yokohama, 2729-2739 (1993).
46. Auday, G., Guillot, P., Galy, J and Brunet, H., "Experimental study of the effective secondary emission coefficient for rare gases and copper electrodes", *J. Appl. Phys.*, 83: 5917-5921 (1998).
47. Astrov, Y. A. and Purwins, H. G., "Spatiotemporal structures in a transversely extended semiconductor system", *Tech. Phys. Lett.*, 28: 910-912 (2002).
48. Godoy-Cabrera O., Benitez-Read, J. S., R. Lopezcallejas, and Pacheco-Sotelo, J., "High voltage resonant inverter for dielectric discharge barrier cell plasma applications", *Int. J. Electronic*, 87: 361-376 (2000).
49. Kogelschatz, U., "Industrial innovation based on fundamental physics", *Plasma Sources Sci. & Technol.*, 11: A1-A6 (2002).
50. Yokoyama, T., Kogoma, M., Kanazawa, S., Moriwaki, T., and Okazaki, S., "The improvement of the atmospheric-pressure glow plasma method and the deposition of organic films", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 23: 374-377 (1990).
51. Mangolini, L., Orlov, K., Kortshagen, U., Heberlein, J. and Kogelschatz, U., "Radial structure of a low-frequency atmospheric-pressure glow discharge in helium", *Appl. Phys. Lett.*, 80: 1722-1724 (2002).
52. Tsendin, L. D., "Encyclopedia of Low-Temperature Plasma", *Nauka*, Moscow, 16-24 (2000).
53. Kaganovich, I. D., Fedotov, M. A. and Tsendin, L. D., "Ionization instability of Townsend discharge", *Tech. Phys.*, 39: 241-246 (1994).
54. Kolobov, V. I. and Fiala, A., "Transition from a Townsend discharge to a normal discharge via two-dimensional modeling", *Phys. Rev. E*, 50: 3018-3032 (1994).

55. Petrovic, Z. Lj. and Phelps, A. V., "Oscillation of low-current electrical discharges between parallel-plane electrodes in dc discharges", *Phys. Rev. E*, 47: 2806-2815 (1993).
56. Strumpel, C., Astrov, Y. A. and Purwins, H. G., "Nonlinear interaction of homogeneously oscillating domains in a planar gas discharge system", *Phys. Rev. E*, 62: 4889-4897 (2000).
57. Strumpel, C., Astrov, Y. A. and Purwins, H. G., "Spatiotemporal filamentary patterns in a dc-driven planar gas discharge system", *Phys. Rev. E*, 63: 026409-0264016 (2001).
58. Salamov, B. G., Buyukakkas, S., Ozer, M and Colakoglu, K., "Behaviour of current in gas discharge system between parallel-plane electrodes", *Eur. Phys. J. AP.*, 2: 275-279 (1998).
59. Kudryavtsev, A. A and Tsandin, L. D., "Townsend discharge instability on the right-hand branch of the Paschen curve", *Tech. Phys. Lett.*, 28: 1036-1039 (2002).
60. Strumpel, C., Astrov, Y. A. and Purwins, H. G., "Multi-oscillatory patterns in a hybrid semiconductor gas discharge system", *Phys. Rev. E*, 65: 066210-066215 (2002).
61. Neumann, A., "Slow domains in semi-insulating GaAs", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 90: 1-26 (2001).
62. Germanova K., Donchev V., Hardalov Ch. And Nikolov L., "EL2 in photoconductivity spectra of Cr-doped GaAs bulk crystals", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 20: 1507-1511 (1987).
63. Velikhov, E. P., Kovalev, A. S. and Rakhimov, A. T., "Physical Phenomena in Gas -Discharge Plasma", *Nauka*, Moscow , 294-308 (1987).
64. Phelps, A. V., "Abnormal glow discharges in Ar: experiments and models", *Plasma Sources Science & Technology*, 10 (2): 329-343 (2001).
65. Gunn, B., "Gun effect", *Solid State Commu.*, 1: 88-92 (1963).
66. Willing, B., "Nonlinear electronic transport and structure formation in semiconductors", Ph.D.thesis, *University of Nijmegen*, The Netherlands, 9007641-7 (1994).
67. Willing, B. and Maan, J. C., "Nonlinear transport in semiinsulating GaAs - critical fields and nucleation of high-field domains", *Phys. Rev. B*, 49: 13995-13998 (1994).

68. Willing, B. and Maan, J. C., "Non-linear transport and structure formation in semi-insulating GaAs", *J. Phys: Condens. Matter*, 8: 7493-7508 (1996).
69. Neumann, A., Willing, B., Jansen, A. G. M., et al. "Slow domains in semiinsulating GaAs in high magnetic-fields", *J. Appl. Phys.*, 78: 5186-5188 (1995).
70. Piazza, F., Christianen, P. C. M. and Maan, J. C., "Electric field dependent EL2 capture coefficient in semi-insulating GaAs obtained from propagating high field domains", *Appl. Phys. Lett.*, 69: 1909-1911 (1996).
71. Piazza, F., Christianen, P. C. M. and Maan, J. C., "Propagating high-electric-field domains in semi-insulating GaAs", *Phys. Rev. B*, 55: 15591-15600 (1997).
72. Wacker, A., Scholl, E., "Criteria for stability in bistable electrical devices with S- or Z-shaped current voltage characteristic", *J. Appl. Phys.*, 78 : 7352-7357 (1995).
73. Alex, V. and Weber, J., "Optical data storage in semi-insulating GaAs", *Appl. Phys. Lett.*, 72: 1820-1822 (1998).
74. Kirkpatrick, C. G., Chen, R. T., Holmes, D. E., Asbeck, P. M., Elliott, K. R., Fairman, R. D. and Oliver, J. R., "Semi-insulating GaAs", *Academic*, New York, (1984).
75. Shockley, W., "Electrons and Holes in Semiconductors", *Van Nostrand*, New York, 334-357 (1951).
76. Tokumaru, Yozo., "Current oscillations by two bulk negative-resistance effects in photoexcited GaAs", *Appl. Phys. Lett.*, 14: 212-213 (1969).
77. Rajbenbach, H., Verdiell, J. M. and Huignard, J. P. "Visualization of electrical domains in semi- insulating GaAs: Cr and potential use for variable grating mode operation", *Appl. Phys. Lett.*, 53: 541-543 (1988).
78. Neumann, A., Willing, B., Jansen, A. G. M., Wyder, P. and Deltour, R., "Slow domains in semi-insulating GaAs in high magnetic fields", *J. Appl. Phys.*, 78: 5186-5188 (1995).
79. Sze, S. M., "Physics of Semiconductor Devices 2nd ed", Wiley, New York, 362-390 (1981).
80. Hartnagel, H., "Semiconductor Plasma Instabilities", *Heinemann*, London, 91-106 (1969).
81. Schwarz, G., Lehmann, C., Scholl, E., "Symmetry-breaking multiple current filamentation in n-GaAs", *Physica B*, 272 : 270-273 (1999).

82. Viehmann, Walter., "Current oscillations in photoexcited gallium-arsenide", *Appl. Phys. Lett.*, 14: 39-41 (1969).
83. Look, D. C., "Imperfections in III/V Materials", *Academic*, New York, 221-252 (1993).
84. Blakemore, J. S. and Dobrilla, P., "Factors affecting the spatial distribution of the principal midgap donor in semi-insulating gallium arsenide wafers", *J. Appl. Phys.*, 58: 204-207 (1985).
85. Gurevich, E. L., Moskalenko, A. S. , Zanina, A. L., Astrov, Yu. A. , Purwins, H.-G. "Rotating waves in a planar dc-driven gas-discharge system with semi-insulating GaAs cathode", *Phys. Lett. A.*, 307: 299-303 (2003).
86. Portsel, L. M. and Astrov, Y.A., "Glow dynamics in a semiconductor-gas discharge image converter", *J. Appl. Phys.* , 81: 1077-1086 (1997).
87. Scholl, E., Niedernostheide, F. -J., Parisi, J., Prettl, W., Purwins, H., "Evolution of Spontaneous Structures in Dissipative Continuous Systems", *Springer*, Berlin, 446-494 (1998).
88. Astrov, Y. A., Müller, I., Ammelt, E., Purwins, H. -G., "Zigzag destabilized spirals and targets", *Phys. Rev. Lett.*, 80: 5341-5344 (1998).
89. Paritskii, L.G. and Khaidarov, Z., "Spatial stabilization of the current in a semiconductor gas discharge system", *Semicond.*, 27: 1108-1113 (1993).
90. Panchenko, A. N. and Tarasenko, V. F., "Radiation characteristics of subnormal glow discharge in mixtures of inert gases and halogens", *Optics and Spectroscopy*, 84: 337-339 (1998).
91. Kogelschatz, U., Esrom, H., Zhang, J. Y., Boyd, I. W., "High-intensity sources of incoherent UV and VUV excimer radiation for low-temperature materials processing", *Appl. Surf. Sc.*, 168: 29-36 (2000).
92. Willebrand, H., Astrov, Yu. A., Portsel L., Teperick, S., Gauselmann T., "An effective infrared-visible conversion technique for remote quantitative measurements of thermal fields", *Infrared. Phys. & Technol.*, 36: 809-817 (1995).
93. Schoenbach, K.H., El-Habachi, A., Shi, W. H., Ciocca.,M., "High-pressure hollow cathode discharges", *Plasma Sources Sci. & Technol.*, 6: 468-477 (1997).
94. Astrov, Y. A., Drojbin, Y.A., Ivashneva, P. P., "Semiconductors", *IV. All Union Scientific and Technical Conference* , Russia, 335-340 (1982).

ÖZGEÇMİŞ

Bu çalışmayı yapan Hatice Hilal YÜCEL KURT, 15.04.1976 yılında Kırşehir 'de doğdu. İlk ve ortaokulu Kırşehir 'de, liseyi Ankara Keçiören Lisesi 'nde tamamladı. 1993 yılında Gazi Eğitim Fakültesi Fizik Bölümü 'nü kazandı. 1997 Haziranında mezun olup aynı yılın Eylül ayında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 'nün açmış olduğu Yüksek Lisans sınavını kazandı; ve 27 Ocak 1998 de Araştırma Görevlisi olarak Gazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü 'nde göreve başladı. 2000 yılında aynı enstitüde doktora programına kayıt oldu. Halen Fen-Edebiyat Fakültesinde görevine devam etmektedir.

