

ATMOSFERİK BASINÇ GAZ BOŞALMA PLAZMALARIN İNCELENMESİ

ÖZLEM FİKİRLİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2012

ANKARA

Özlem FİKİRLİ tarafından hazırlanan “ATMOSFERİK BASINÇ GAZ BOŞALMA PLAZMALARIN İNCELENMESİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Hatice Hilal KURT
Tez Danışmanı, Fizik



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

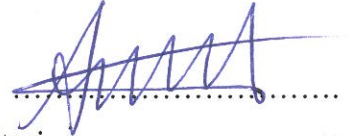
Prof. Dr. Selim ACAR
Fizik, Gazi Üniversitesi



Doç. Dr. Hatice Hilal KURT
Fizik, Gazi Üniversitesi



Doç. Dr. Abdullah YILDIZ
Enerji Sistemleri Mühendisliği, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi



Tarih: 04/06/2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



TEZ BİLDİRİMİ

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

Özlem FİKİRLİ

ATMOSFERİK BASINÇ GAZ BOŞALMA PLAZMALARIN İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Özlem FİKİRLİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2012

ÖZET

Bu çalışmada, GaP yarıiletken katodun, hava ortamında düzlemsel bir gaz boşalma hücresindeki akım karakteristiği ve ışıma karakteristiği incelenmiştir. Farklı elektrod çapları ($D=12\text{mm}$ ve 15mm) ve elektrotlar arası mesafe değerleri ($d=45\text{ }\mu\text{m}$, $90\text{ }\mu\text{m}$, $143\text{ }\mu\text{m}$, $240\text{ }\mu\text{m}$, $323\text{ }\mu\text{m}$, $445\text{ }\mu\text{m}$ ve $525\text{ }\mu\text{m}$) için yapılan deneyler tekrarlanmıştır. Elektrod çapı ve elektrotlar arası mesafenin etkisi geniş bir basınç aralığında incelenmiştir. $p=28\text{ Torr}$ 'dan başlayarak atmosferik basınç düzeyine ($p=690\text{ Torr}$) kadar ölçümler alınmıştır. Böylelikle akım ve ışıma karakteristiklerine basıncın etkisi incelenmiştir. Akım ve ışıma karakteristikleri, elektrotlar arası mesafe ve elektrod çapının artışıyla doğru orantılı olarak kararsızlaşmaktadır. Bu çalışma, GaP'nin hem direkt band aralıklı hem de indirekt band aralıklı davranış göstermesi sebebiyle önem taşımaktadır. Ayrıca GaP, diğer pahalı ve daha toksik yarıiletkenlere alternatif bir yarıiletken malzemedir.

Bilim Kodu : 202.1.147

Anahtar Kelimeler : Townsend boşalması, glow boşalması, kararlı gazlar, GaP

Sayfa Adedi : 66

Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Hatice Hilal KURT

**INVESTIGATION OF ATMOSPHERIC PRESSURE GAS DISCHARGE
PLASMAS**

(M. Sc. Thesis)

Özlem FİKİRLİ

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

June 2012

ABSTRACT

This study has investigated the current characteristic and radiation characteristic of GaP semiconductor cathode in air ambient in a plane gas discharge cell. The experiments conducted for different electrode diameters ($D=12\text{mm}$ and 15mm) distance values between electrodes ($d=45\text{ }\mu\text{m}$, $90\text{ }\mu\text{m}$, $143\text{ }\mu\text{m}$, $240\text{ }\mu\text{m}$, $323\text{ }\mu\text{m}$, $445\text{ }\mu\text{m}$ and $525\text{ }\mu\text{m}$) have been repeated. The effect of electrode diameter and distance between electrodes has been examined in a wide range of pressure. Measurements starting from $p=28\text{ Torr}$ to the atmospheric pressure level ($p=690\text{ Torr}$) have been made. Thus, the impact of pressure on current and radiation characteristics has been investigated. Current and radiation characteristics become unstable in direct proportion to the increase in the distance between the electrodes and electrode diameter. This study is significant from the point that the GaP shows a behavior of both direct bandwidth and indirect bandwidth. In addition to this, GaP is an alternative semiconductor material to the other expensive and more toxic semiconductors.

Science Code : 202.1.147

Key Words : Townsend discharge, Glow discharge, inert gases, GaP

Page Number : 66

Adviser : Assoc. Prof. Dr. Hatice Hilal KURT

TEŞEKKÜR

Bana çalışma ortamını sağlayan, tez yöneticiliğimi üstlenen, çalışmamın her aşamasını titizlikle takip ederek, önerileri ve engin tecrübesi ile bana yol gösteren ve yönlendiren; düzenli, planlı ve anlayarak çalışma zevkini bana veren çok değerli hocam Doç. Dr. Hatice Hilal KURT'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca manevi destekleriyle beni hiç bir zaman yalnız bırakmayan sevgili aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1.GİRİŞ	1
2. GAZ BOŞALMASI İLE İLGİLİ TEORİK BİLGİ	3
2.1. Gaz Boşalması ve Plazma	3
2.2. Gaz Boşalma Teorileri.....	7
2.3. Gaz Boşalmalarının Sınıflandırılması	8
2.4. DC Boşalmasının Akım Voltaj Karakteristikleri	9
2.5. Towsend Boşalması.....	11
2.6. Glow Boşalması	16
3. YARI İLETKEN DEDEKTÖRLER.....	19
3.1.Yarı İletken Dedektörlerin Özellikleri	19
3.2. Yarı İletken Dedektör Türleri.....	19
3.3.Yarı İletken Dedektörlerin Üstünlükleri.....	20
4. GaP İLE İLGİLİ TEORİK BİLGİ	22
4.1. GaP'ın Moleküler Yapısı.....	22
4.2. GaP Genel Özellikleri	23

	Sayfa
4.3. GaP IR Spektrumu.....	24
4.4. GaP İç Kusurları.....	25
5. KIZIL ÖTESİ GÖRÜNTÜ ÇEVİRİCİ SİSTEM.....	27
6. DENEYSEL SİSTEM.....	32
6.1. Deneysel Sistemin Elemanları.....	32
6.2. Deney.....	37
7. DENEY VERİLERİ VE SONUÇLAR.....	41
7.1. GaP’ın Akım Karakteristiğinin Elektrotlar Arası Mesafeye Bağımlılığı.....	41
7.2. GaP’ın Akım Karakteristiğinin Elektrodun Çapına Bağımlılığı.....	46
7.3. GaP’ın Işıma Karakteristiğinin Elektrotlar Arası Mesafeye Bağımlılığı.....	48
7.4. GaP’ın Işıma Karakteristiğinin Elektrodun Çapına Bağımlılığı.....	50
7.5. GaP’ın Negatif Diferansiyel Direnç Etkisi ve Histerisis Davranışlarının İncelenmesi.....	51
7.6. GaP’ın Akım-Zaman Grafikleri.....	54
7.7. GaP’ın Işıma-Zaman Grafikleri.....	56
8. SONUÇ VE YORUMLAR.....	59
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	66

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4. 1. GaP'ın genel özellikleri ve temel parametreler	23

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Gaz boşalma hücresi	3
Şekil 2.2. Gaz boşalma tüpündeki akım-voltaj grafiği.....	10
Şekil 2.3. Hava, N ₂ , Ne, He ,H ₂ ve Ar için Paschen eşik eğrileri.....	12
Şekil 2.4. Havanın Paschen eşik eğrileri.....	12
Şekil 2.5. Kuru hava için iyonizasyon katsayısı α , bağlılık katsayısı η ve düzenlenen iyonizasyon katsayısı α/N	15
Şekil 4.1. GaP nano parçacıklarının kızıl ötesi geçiş spektrumu	24
Şekil 4.2. GaP nanoparçacıklarında, kendi kendini besleyen Gai kusurunun ESR spektrumu	26
Şekil 4.3. GaP nanoparçacıklarının oda sıcaklığında mor ötesi-görünür soğurma spektrumu	27
Şekil 6.1. Deneysel sistemin ölçüm devresi.....	35
Şekil 6.2. Kızıl ötesi görüntü çeviricinin blok diyagramı	36
Şekil 6.3. Deneysel sistemi oluşturan cihazların şematik gösterimi	36
Şekil 6.4. Yarı iletken katotlu gaz boşalma hücresinin basit şeması	38
Şekil 7.1. GaP akım karakteristiğinin elektrotlar arası mesafeye bağımlılığı.....	42
Şekil 7.2. GaP'ın akım karakteristiğinin elektrodun çapına bağımlılığı.....	46
Şekil 7.3. D=15 mm için ışıma karakteristiğinin elektrotlar arası mesafeye bağımlılığı.....	48
Şekil 7.4. D=12 mm için ışıma karakteristiğinin elektrotlar arası mesafeye bağımlılığı.....	49
Şekil 7.5. GaP'ın ışıma karakteristiğinin elektrodun çapına bağımlılığı	50
Şekil 7.6. GaP'ın negatif diferansiyel direnç etkisi ve histerisis davranışı.....	52
Şekil 7. 7. GaP'ın akım-zaman grafiği.....	55

Şekil	Sayfa
Şekil 7.8. GaP'ın $D=12$ mm, $d=445$ μm , $p=220$ Torr için akım-voltaj grafiği.....	56
Şekil 7.9. GaP'ın ışıma-zaman grafikleri.....	57
Şekil 7.10. GaP'ın $D=12\text{mm}$, $d=445$ μm , $p=100$ Torr için akım-voltaj ve ışıma-voltaj grafikleri	58

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Plazma görüntüleri.....	4
Resim 5.1. Kızıl ötesi (KÖ) görüntü çevirici ile kaydedilen elin görüntüsü.....	30
Resim 6.1. KÖ görüntü çeviricinin fotoğrafı.....	32
Resim 6.2. Gaz boşalma hücresinin fotoğrafı.....	33
Resim 6.3. Gaz boşalma hücresinin vakum sistemi.....	34
Resim 6.4. Bilgisayar ile kontrol ve kumanda edilen deneysel sistemin ölçüm cihazların fotoğrafı.....	34

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
D	Elektrod çapı
d	Elektrotlar arası mesafe
α	Townsend'ın birinci katsayısı
$\square$	Townsend'ın ikinci katsayısı
U_B	Eşik voltajı
J	Akım yoğunluğu
η	Bağılılık katsayısı
A	Aydınlanma şiddeti
Kısaltmalar	Açıklama
ABGB	Atmosferik basınç Glow boşalması
KÖ	Kızıl ötesi
YGB	Yarıiletken gaz boşalma

1.GİRİŞ

Son zamanlarda, plazma uygulamaları çok çeşitli teknolojik görevlerde hızlıca gelişen bir trende sahiptir. Bunlardan biri dengesiz plazma oluşumudur. Çünkü kararlı olmayan şartlar, farklı parametreleri ayarlayarak dıştan kontrol edilebilir. Townsend boşalmaları gibi düşük akım boşalmaların incelenmesi oldukça basit şartlar altında hacim ve yüzey reaksiyon katsayılarının belirlenmesine imkan verir. Düşük sıcaklık dengesiz plazmalar *mikroelektronikte, imalat sanayinde ve diğer endüstriyel uygulamalarda* son derece önemli bir araçtır. Atmosferik basınç plazmaların uygulamaları ucuz gaz karışımlarıyla plazma işlemi, *düşük enerji tüketimi* ve kısa işlem süreci gibi pekçok önemli avantaja sahiptir. Kimyasal olarak reaktif gazlarda plazma süreçlerini kontrol etmek kolaydır ve de bunlarla yüzey işlemleri gerçekleştirmek son derece önemlidir. Plazmaların yüzey ile etkileşimleri dağlama (etching), temizleme gibi kavramları içerir. Üstelik plazma yüzey etkileşimi yüzey enerjisinin değişimine ve materyalden yüzey yüklerinin kaldırılmasına yol açar.

Son yıllarda [1-2], elektronik mikrop plazma sistemlerinin incelenmesine büyük ilgi gösterilmeye başlandı. Mikrop plazma sistemleri 1 mm'nin altındaki plazma boyutları ile ve atmosferik basınçlara kadar faaliyet gösterebilir olması ile karakterize edilir. Mikro plazmalar eşsiz karakteristikleri ve yüksek iyon yoğunlukları ile artan öneme sahiptirler. Geleneksel yüksek basınç plazma teknolojileri çok şiddetli elektrik alanlar gerektirir, plazma üretim sistemleri hem çok ağır hem de yüksek basınçta çalışan sistemler için uygun değildir. Bu anlamda, yeni üretilen plazma sistemleri hem daha ekonomik hem de kullanımı yüksek basınç gerektiren uygulamalar için çok elverişlidir [3-4]. Yüksek basınçlarda plazma üretmek, vakum şartlarına ihtiyacın ortadan kalkması sebebiyle de ayrıca ekonomiktir. Zaten günümüz teknolojisi artan maliyetleri düşürme çabasıdadır. Bizim çalıştığımız yarıiletken gaz boşalma elektronik sistemi aynı zamanda büyük alanlı ve verimli ultraviyole ışık kaynağı olarak görev yapmaktadır [5-6]. Bundan dolayı da, bu sistemlerin yüksek basınçlarda

kararlılığını incelemek bu ve benzeri teknolojik uygulamalar için son derece önemlidir.

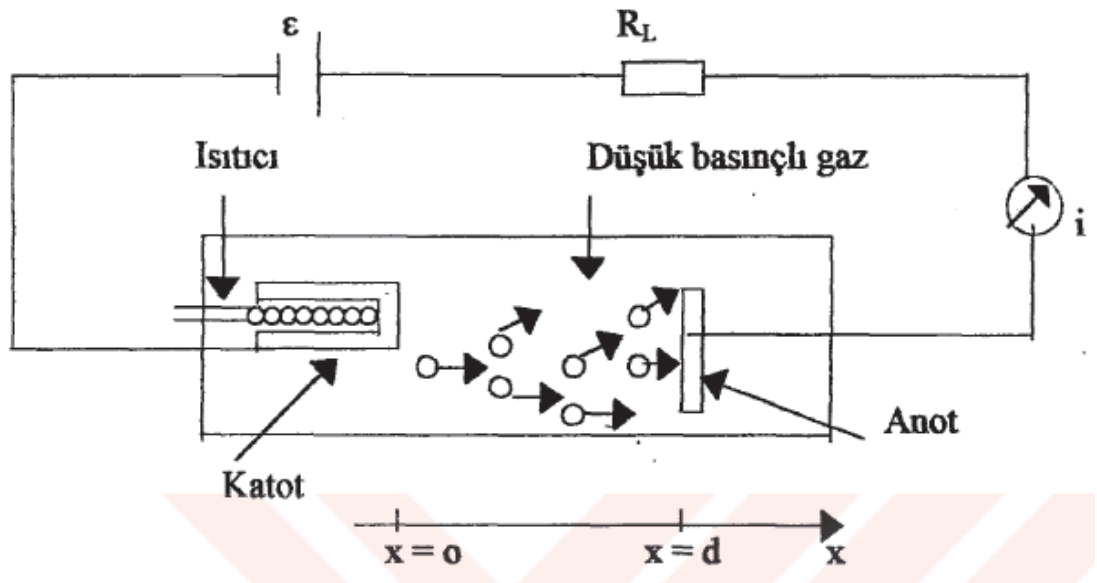
Bu tez için III-V grubu bir yarıiletken olan GaP'ın plazma ortamında karakteristik özelliklerine bakılmıştır. GaP, çinko sülfür yapıya sahiptir ve T_d özel grubun üyesidir. Band yapısı karmaşıktır ve elektronlar ile fononların arasındaki bağlaşım kuvvetlidir. Elektron-optik fonon etkileşimi yarı iletken nanomateriyallerin elektronik özellikleri ve optik özellikleri üzerinde çok büyük etkiye sahiptir ve cihaz uygulamaları için çok önemlidir [7]. GaP'ın oda sıcaklığında 446 nm'li dalga boyuyla direkt geçiş bölgesine ve 559 nm'li dalga boyuyla indirekt geçiş bölgesine sahip indirekt bir yarı iletken olduğu bilinmektedir. GaP, polar dielektrik materyaldir. Dış elektrik alanının etkisinde GaP nanokatısı kutuplanabilir [8]. GaP, lüminesans diyot, akusto optik modülatör ve optik kısıtlayıcı olarak kullanılır [9].

2. GAZ BOŞALMASI İLE İLGİLİ TEORİK BİLGİ

2.1. Gaz Boşalması ve Plazma

Genel olarak dış etkilerden korunmuş nötr bir gaz elektrik akımını iletmez. Belirli bir hacimdeki gazın içine iki elektrot konur ve bunlara gerilim uygulanırsa, gerilimin belirli bir değerinde elektrotlar arasında ani bir akım yükselmesi olur ve böylece hava veya gaz yalıtkan halden iletken hale geçer.

Gaz boşalması, hava veya gazın yalıtkan durumdan iletken duruma geçme olayıdır. Boşalmanın değişik türleri vardır. Bu türler gazın basıncı ve boşalmayı sağlayan kaynağın akımına göre değişir.



Şekil 2.1. Gaz boşalma hücresi [10]

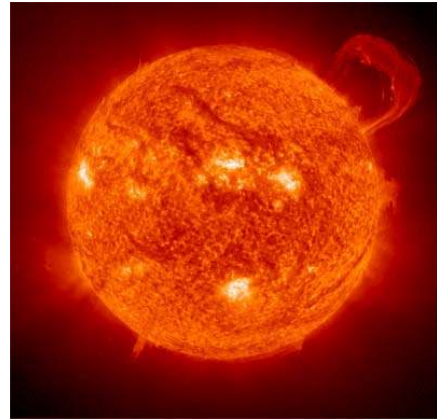
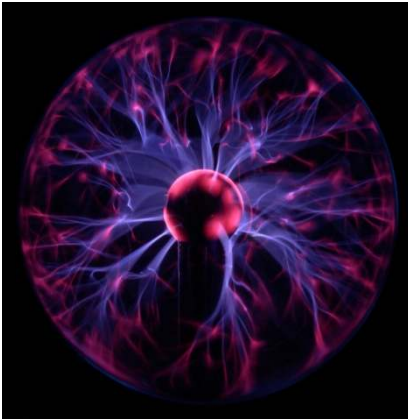
Bir dc güç kaynağına bağlanan iki metal elektrot bir cam tüp içine yerleştirilir (şekil 2.1). Tüp boşaltılabilir (vakumlu ortam) yada farklı basınçlarda değişik gazlarla (Ne, Ar,...) doldurulabilir. Yapılan deneylerde, elektrotlar arasındaki voltaj ve akım ölçülür.

Bu klasik sistem, uzun yıllardır boşalma süreçlerinin incelenmesi için kullanılmaktadır. Tüpün iki ucu arasına yerleştirilen elektrotlara yüksek voltaj uygulandığında cam tüp içerisindeki gaz basıncına bağlı olarak elektrotlar arasında gaz boşalması olayı oluşur.

Gaz boşalmaları sırasında maddenin dördüncü hali olan plazma oluşur. Plazma, kimya ve fizikte “iyonize olmuş gaz” anlamına gelmektedir. İyonize gaz için kullanılan plazma kelimesi 1920’li yıllardan beri fizik literatüründe yer almıştır [11]. Plazma ilk defa Langmuir tarafından incelenmiştir. Günümüzde henüz plazma fiziği hakkında çok az şey bilinmektedir. Bugüne kadar plazma dalında sadece bir kişinin Nobel ödülü alması da bunun göstergesidir.

Evrende en çok bulunan hal plazma halidir ve evrenin %99’undan fazlası plazma halindedir. Evrendeki tüm yıldızlar, Güneş, Gezegenler ve Gezegenler arası boşluklar, üzerinde yaşadığımız Dünya plazma halinden başlayarak bugünkü hallerini almışlardır. Gerçekte plazma hali bir maddenin ilk halidir.

Dünya’da bulunan maddelerin büyük çoğunluğu katı, sıvı ve gaz hallerindedir. Maddenin plazma hali örneğin yıldırımında, mum alevinde, kutup ışığında ve neon lambaları gibi elektrik boşalmalı lambalarda gözlenir.



Resim 2.1. Plazma görüntüleri [12-13]



Resim 2.2. (Devam) Plazma görüntüleri [14]

Yüksek sıcaklık, yüksek voltaj yada yüksek basınç maddeyi plazma haline getirir. Plazma üretildiği yonteme, korunma biçimine, kullanıldığı alana, yoğunluğuna, basıncına, sıcaklığına ve kullanıldığı gazın cinsine göre adlandırılabilir.

Plazma, dış ortama karşı elektriksel olarak nötrdür. Yani plazma içerisindeki pozitif yüklerin sayısı, negatif yüklerin sayısına eşittir. Plazma içerisindeki ayrışma, iyonizasyon ve bu olayların tersi olan yeniden yapılanma (rekombinasyon) olayları sürekli meydana gelir. Adı geçen bu olaylar kendi aralarında plazma içerisinde bir dinamik denge halinde bulunurlar. Plazma iyi bir elektrik ve ısı iletkenidir. Plazma içerisindeki parçacıklar bir enerji taşıyıcısıdır. Dolayısıyla elektrik ve ısı enerjisini de iletirler. Plazma içerisindeki hızlarının yüksek oluşu nedeniyle özellikle elektronlar elektrik ve ısı iletiminde esas rolü oynarlar. Plazma yüksek sıcaklık ve enerji yoğunluğuna sahiptir. Plazmanın sıcaklığı, enerji yoğunluğu, iyonizasyon derecesi ve plazma çıkış hızı (elektron hızı) plazma ekseninde maksimumdur.

Gelişmiş ülkelerde plazma teknolojisi yaygın olarak kullanılır. Bugün bu teknoloji, biyolojide, kağıt endüstrisinde, uzay endüstrisinde, elmas yapımında, yarı iletken teknolojisinde, kristal büyültmede, radar ve füzyon araştırmalarında denenmekte yada kullanılmaktadır. Plazma, iyi, etkin ve doğru kullanılırsa yeni alanlarda da yaşamımıza girebilecek ucuz bir enerji kaynağı gibi gözüküyor.

Yüksek sıcaklıktaki plazmalara ark boşalmaları örnek verilebilir. Düşük sıcaklıktaki plazmalar ise laboratuvar koşullarında bir gaz ortamına değişik değerlerde potansiyel uygulamakla oluşturulur ve bunun sonucunda elektrik boşalmaları oluşur [15].

Gaz boşalmaları temel olarak kendini besleyen boşalmalar ve kendini besleyemeyen boşalmalar olarak ikiye ayrılır.

Elektrotlar arasına düşük bir voltaj uygulandığında alan bir akım üreterek yükleri zıt işaretli elektrotlara çeker. Eğer bir gaz, bir radyoaktif veya bir X-ışını kaynağı ile şiddetlice aydınlatılırsa, 10^{-6} A'e kadar bir akım meydana getirebilir. Yine de meydana gelen iyonizasyon, gazın ışık yaymasına yetmeyecek kadar küçüktür. Sadece bir dış iyonlayıcı kaynakla var olabilen bir boşalma ve elektrik akımı kendini besleyemeyen olarak adlandırılır.

Voltaj arttırıldıkça, kendini besleyemeyen bu boşalma akımı, iyonizasyon tarafından üretilen yüklerin çoğu rekombinasyon olmadan önce elektrotlardan uzaklaştırıldığı için artar. Eğer alan bütün yeni yükleri taşımayı başarır, akım büyümesini durdurur ve doyuma ulaşılır.

Voltaj daha da fazla arttırılırsa, akım voltajın belirli bir değerinde keskin olarak artar ve ışıma gözlenir. Bunlar en önemli süreçlerden biri olan Breakdown'un (eşik) göstergesidir. Gazın yalıtkan halden iletken hale geçtiği potansiyel değeri eşik voltajı (U_B) olarak adlandırılır. $p \approx 1$ Torr'da ve $d \approx 1$ cm'lik elektrotlar arası mesafede eşik voltajı birkaç yüz voltur. Eşik az sayıda elektron veya bu süreci uyarmak için bilinçli olarak enjekte edilen az sayıda elektronlarla başlatılır. Bu durumdaki boşalma birden kendini besleyen olur [10].

Bir pozitif iyonun katot yüzeyinden kopardığı elektron sayısı $\square$ ile gösterilir ve Townsend'ın ikinci iyonlaşma katsayısı adını alır. Bir elektron katottan çıkıp anoda varıncaya kadar $e^{\alpha \cdot d}$ adet elektron ve $(e^{\alpha \cdot d} - 1)$ adet de pozitif iyon meydana getirdiğinden, $(e^{\alpha \cdot d} - 1)$ adet pozitif iyonun katottan çözdüğü elektron sayısı $\gamma(e^{\alpha \cdot d} - 1)$

olur. Eğer bu sayı 1'e eşit ise, bu durumda katottan çıkan bir elektron anoda varıncaya kadar, kendisi için bir yedek elektron hazırlamış demektir. Dolayısıyla boşalma kendi kendini besler. Bu nedenle

$$\gamma(e^{\alpha \cdot d} - 1) = 1 \quad (2.1)$$

denklemine boşalmanın kendi kendini besleme koşulu denir. Bu denklem,

$$\alpha \cdot d = \ln(1 + 1/\gamma) \quad (2.2)$$

şeklinde de yazılabilir. Burada $\alpha \cdot d$, elektronun toplam iyonlaşma katsayısını gösterir ve hava için $\alpha \cdot d = 20$ 'dir.

$$\alpha = p \cdot f_1(E/p) \text{ ve } \gamma = f_3(E/p) \quad (2.3)$$

olduğu düşünülür ve E yerine de U_B/d konulursa (2.3) denklemi

$$p \propto f_1(U_B / pd) = \ln \left[1 + \frac{1}{f_3(U_B / pd)} \right] \quad (2.4)$$

şekline gelir. Burada U_B boşalmanın kendi kendini besleme koşuluna karşı düşen eşik gerilimidir. p basıncı, d ise elektrotlar arasındaki açıklığı karakterize eder. Eğer $\gamma(e^{\alpha \cdot d} - 1)$ ifadesi 1'e eşit değilse boşalma kendini besleyemeyendir denir [15].

2.2. Gaz Boşalma Teorileri

Gazlarda boşalma olayları üzerindeki araştırmalar bir asırdır sürmektedir. Townsend, 1900'lü yılların başında yaptığı bir deney sonucunda mor ötesi ışıkla aydınlatılan elektrot yüzeyinden kopan elektronların, mor ötesi ışık kaynağı kaldırıldıktan sonra bile hızla çoğalarak karşı elektroda ilerlediğini farketmiştir. Gaz boşalmaları ile ilgili

deneysel çalışmalar, Townsend'ın adını taşıyan teorisini öne sürmesiyle başlamıştır. Sonraki yıllarda teorik çalışmalar ve fiziksel parametrelerin ölçülmesi çalışmaları yapılmıştır. Townsend Teorisi bugün hala gazlarda boşalma olaylarının açıklanmasında temel oluşturmaktadır.

Townsend Teorisi, düzgün olmayan alanlı ve büyük açıklıklı elektrot sistemlerindeki boşalma olaylarını açıklamakta yetersiz kalmıştır. Sonraki araştırmalar, düzgün olmayan alanda boşalma olayları üzerine yoğunlaşmıştır. Bu araştırmalar sonunda 1939'da Loeb ve Meek ve bunlarla aynı anda Raether tarafından düzgün olmayan alanlı elektrot sistemlerindeki gaz boşalma olaylarını daha iyi açıklayabilen Kanal Teorisi öne sürülmüştür.

Kanal Teorisi'nin öne sürülmesinden sonra, bir yandan deneysel çalışmalar devam ederken diğer yandan da bu teoriye göre eşik veya korona başlangıç ölçütünden yararlanarak teorik hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Deneysel çalışmalardan ampirik bazı formüller de geliştirilmiştir. Ampirik formüllerin yeterli doğrulukta sonuç vermemesi ve sadece belirli durumlarda geçerli olması gibi olumsuzluklar nedeniyle çalışmalar, gaz boşalmalarının fiziksel modelinin bilgisayarda sayısal yöntemlerle benzetilmesi üzerinde yoğunlaşmıştır.

1970'lerde Nasser tarafından düzgün olmayan alanlı elektrot sistemlerindeki gaz boşalma olaylarını açıklayacak şekilde geliştirilen ve Townsend Teorisi'nin tamamlayıcısı olan bu teori, bugün boşalma olaylarının fiziksel gelişimini açıklayabilen tek teori olarak araştırmaların merkezinde yer almaktadır [16].

2.3. Gaz Boşalmalarının Sınıflandırılması

Gaz boşalma fiziği büyük miktardaki deneysel verileri ve teorik modelleri ile oldukça karışık ve ilginç bir alandır. Bilinen çeşitli boşalma tipleri bulunmaktadır. Gaz boşalmasını karakterize eden parametreler arasında; gaz tipi, basınç, sıcaklık,

gaz boşalma bölgesinin şekli ve düzlemsel boyutları, elektrotlar ve sınırların yapısı ile enerji kaynağının çeşidi sayılabilir.

İçsel olarak gaz boşalması; elektrik alan ve elektrik alanın homojenliği, iyonizasyon oranı, parçacıkların enerji dağılımı, yük taşıyıcılarının genel yerel dağılımı ve plazmanın içindeki baskın mekanizma ile karakterize edilir [17].

Boşalma özelliklerinin çeşitliliği gaz boşalmalarının sınıflandırılmasını bir yada iki parametre temelinde doğru ve tam olarak yapılmasını imkansız kılmaktadır. Ancak bazı özel noktalara dayalı olarak çeşitli sınıflandırmalar yapmak mümkün olabilmektedir.

Uygulanan alanların frekans aralığı gaz boşalmasını sınıflandırma amacıyla kullanılabilir [17].

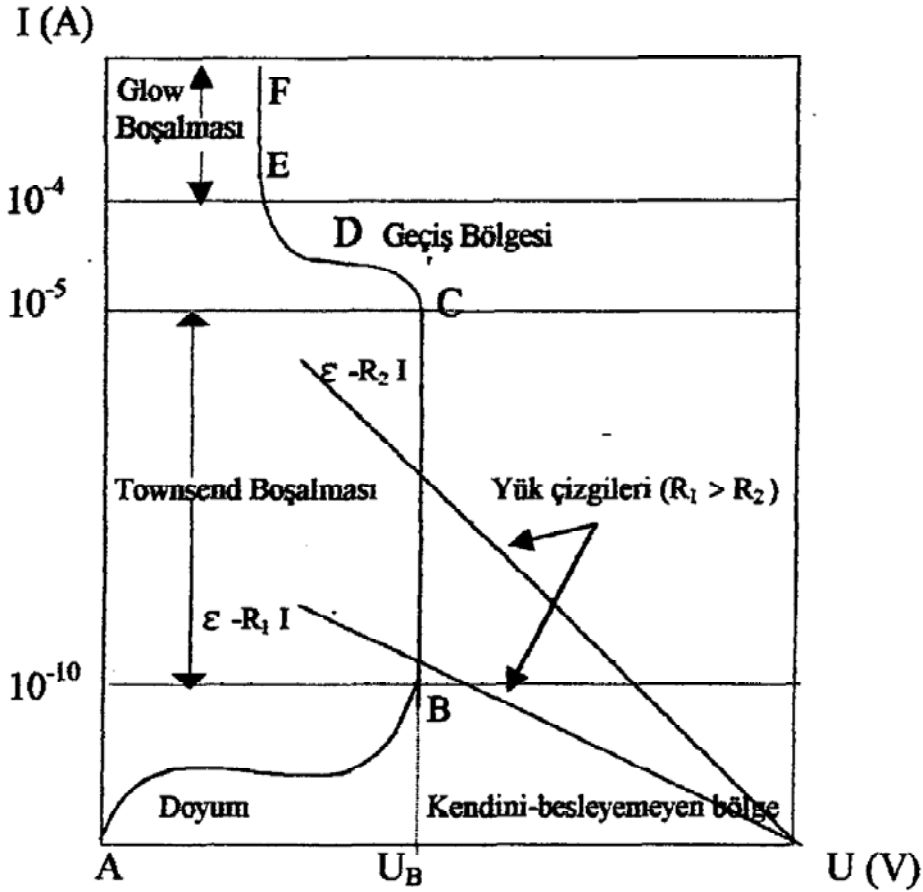
1. DC, düşük frekanslı, pulslu alanlar (çok kısa pulslar hariç)
2. Radyo frekans alanları ($f \approx 10^5$ - 10^8 Hz)
3. Mikrodalga alanları ($f \approx 10^9$ - 10^{11} Hz)
4. Optik alanlar

DC uygulaması ile başlamak uzay yükü, glow ve ark şartları, indüktif çiftlenimli plazma, mikrodalgada da bulunduğundan dolayı daha öğretici olacaktır [17].

2.4. DC Boşalmasının Akım Voltaj Karakteristikleri

Gaz boşalması negatif ve pozitif olarak beslenen katot ve anot arasına doğru akım (dc) elektrik alanı uygulanarak oluşturulur. Uygulanan voltaj U ve direnç R 'ye bağlı olarak çeşitli bölgelerde yük çizgisi, akım voltaj karakteristikleri ile kesişebilir bu bağlamda boşalmanın hangi modunun oluşacağını tanımlar.

Havası boşaltılmış bir gaz boşalma tüpündeki akım-voltaj grafiği şekil 2.2 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.2. .Gaz boşalma tüpündeki akım-voltaj grafiği [10]

Şekilde farklı gerilim değerleri için oluşan gaz boşalma bölgeleri görülmektedir. Bunlar Doyum bölgesi, Townsend bölgesi ve Glow bölgesidir. Gaz boşalma hücresindeki elektrotlara U_B eşik voltajından daha küçük bir voltaj uygulandığında gaz yalıtkandır. U_B eşik voltajından daha büyük veya buna eşit bir voltaj değeri uygulandığında yalıtkanlık bozulur ve ışıma oluşur. Eşik noktasındaki yüksek akım yoğunluğu, elektrotlar arasındaki aralığa ve gaz basıncına bağlıdır. Doyum bölgesinde yük taşıyıcılarının rekombinasyon oranı ile yük taşıyıcılarının oluşum oranı orantılıdır. Bu bölge sadece düşen ışımının yoğunluğuna bağlıdır. Townsend bölgesinde ise yük taşıyıcılarının oluşum hızı, rekombinasyon hızından yüksektir;

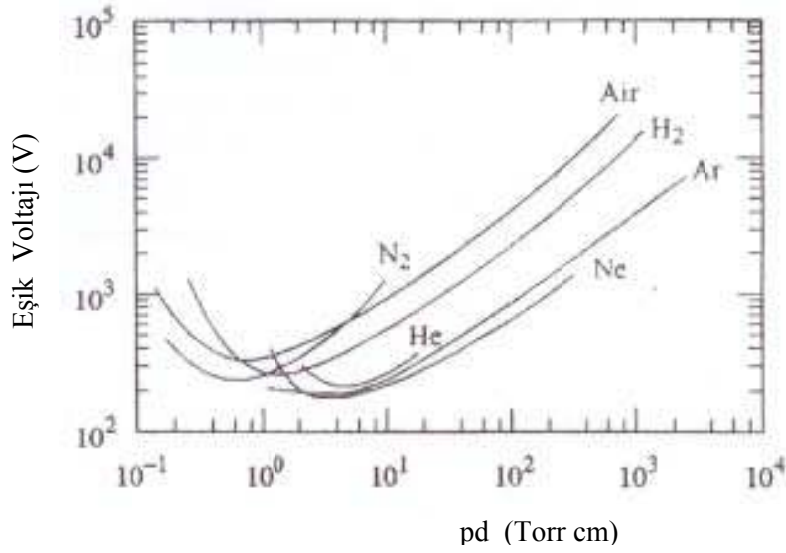
akım hızlı şekilde artışa geçer. Burada zincirleme bir iyonizasyon değil bir çoğalma söz konusudur. Artık gaz boşalması dışarıdan gelen ışımaya değil devreye bağlıdır.

2.5. Townsend Boşalması

Bizim göz önünde tuttuğumuz, bu tezin amacı için, yüksek basınç olan atmosferik basınçtır. Bu basınç, düşük basınçtaki geleneksel sınıflandırma ile benzer olan boşalma tiplerini karakterize etmek için de kullanışlıdır. Bu diyagram meşhur Druyvesteyn ve Penning tarafından verilen bir grafiğin değiştirilmiş versiyonudur (1940). Bu aslında, elektrot alanı 10 cm^2 ve elektrotlar arası mesafesi 50 cm olan 1 Torr Ne içindeki boşalma ile ilgiliydi. Yine de birçok temel kavram atmosferik basınçta hava ortamında boşalmayı uygulamaktadır. Hava ortamında atmosferik basınçta cm^3 başına 10-100 elektron üretimine yol açan bir miktar doğal radyoaktivite olduğu için, elektrik alan uygulanırsa biz her zaman bir dakika temel akımını çizebiliriz. Hava ortamında atmosferik basınçta akım yoğunluğunun doymuşluk değeri toplamı 10^{-18} A cm^2 civarındadır ve istatistik dalgalanmalara maruz kalır. Ek olarak elektronlar üretmek için katodun x-ışını ışınlaması ya da ultraviole aydınlatması kullanılırsa bu oldukça artırılabilir. Eğer elektronların dış kaynakları kapatılırsa (kendi kendini besleyemeyen bölge) bu bölge içinde akım taban akıma düşer. Bir kez gaz boşluğunun U_B eşik voltajına ulaşıldığında, Townsend boşalması ile başlayan kendi kendini besleyen boşalma bölgesine gireriz. Townsend boşalmasının aralığı uzay yükün uygulanan dış alan üzerindeki göz ardı edilebilir etkisi ile karakterize edilir. Bu durum normalde $j = 10^{-15} - 10^{-6} \text{ A cm}^{-2}$ akım yoğunluğu aralığında yerine getirilebilir [18].

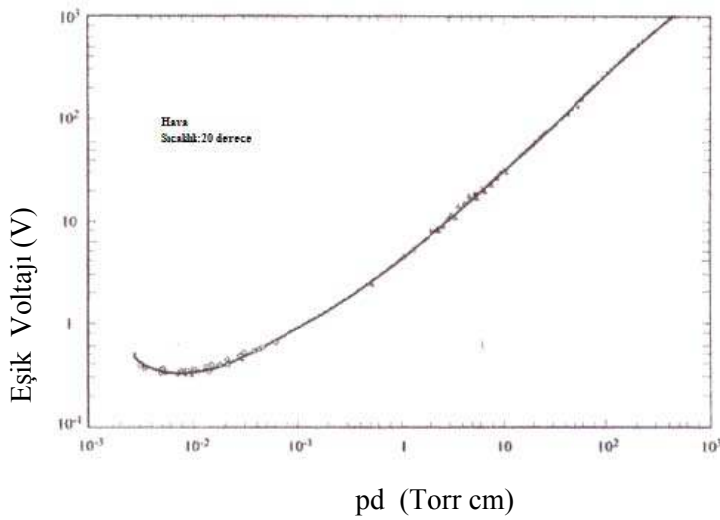
1889'da Paschen tarafından bulunan deneysel bağıntıya göre verilen bir gaz için eşik voltajının değeri basınç p değeri ile elektrotlar arası mesafe d çarpımının fonksiyonudur, $U_B = f(pd)$ veya gazın yoğunluğunun N olduğu durumda $U_B = f(Nd)$ olarak formüleştirebiliriz [18].

Eski bağıntılar sadece verilen sıcaklıklar için geçerlidir, genellikle oda sıcaklığı, ikinci bağıntı daha evrensel olurken sıcaklığa bağlı değildir. Farklı gazların Paschen eşik eğrisinin bazı örnekleri şekil 2.3'te verilir.



Şekil 2.3. Hava, N₂, Ne, He, H₂ ve Ar için Paschen eşik eğrileri [18]

Havanın atmosferik basınç izolasyon özellikleri yüksek voltaj mühendisliğinde temel ilgi olduğundan beri havanın Paschen eğrisi son derece önemlidir (şekil 2.4).



Şekil 2.4. Havanın Paschen eşik eğrileri [18]

Havanın eşik voltajının üzerinde nemin bir etkisi olduğundan bahsedilmelidir. Küçük katkı maddeleri, %1 su buharında minimuma ulaşan ve tekrar yükselen eşik voltajını düşürür (Protasevich 2000, p 69). Bunun yanında 1MHz civarında bir minimum değer ile eşik voltajının göze çarpan bir frekans bağımlılığı vardır [18].

Paschen eğrisi gazın iyonlaşma kat sayısından α ve temel çıgın iyonu başına düşen katotta üretilen ikincil elektronların sayısını ölçen γ kat sayısından elde edilebilir. Birinci Townsend katsayısı, iyonlaşma katsayısı α , E alan yönünün içinde 1 cm sürüklenen tek elektronun yörüngesinde üretilen elektronların sayısını tanımlar. İkinci Townsend katsayısı γ katod maddesi ile gaza bağlıdır ve pozitif iyonların, fotonların, hızlı atomların, yarı kararlı atomların ve moleküllerin katkısını içerir. Teorik olarak gazın foto-iyonizasyonu gibi yoğunluk süreçleri de kendine yeten kriterle karşılaşmak için ikincil elektronlar üretebilir. Ama katotta serbest bırakılan elektronlar tüm mesafede anoda yolculuk ederler ve seyir halinde oluşturulan elektronlardan daha fazla iyonlaşma üretirler. Bu nedenle eşğin başlangıcı katottaki γ -etkileri tarafından belirlenir.

γ 'nın karakteristik değerleri 10^{-4} ile 10^{-1} arasındadır. Townsend'a (1915) göre homojen alandaki mevcut amplifikasyon bunun gibi yazılabilir

$$I=I_0 \frac{e^{ad}}{1-\gamma(e^{ad}-1)} \quad (2.6)$$

ve bir aralığın içindeki mevcut amplifikasyon sonsuz büyüklüğe eğilim gösterdiği zaman eşığe ulaşılır :

$$\gamma(e^{ad} -1) = 1 . \quad (2.7)$$

Akımın kendini besleyen kararlı durumu için olan bu Townsend kriteri, homojen alanlardaki kararlı eşik için genel kriter olarak kullanılmıştır.

Eğer iyonlaşma katsayısı α Townsend tarafından önerilen bir ilişki ile değerlendirilirse, A ve B'nin gazı karakterize eden sabitler olduğu durumda,

$$\frac{\alpha}{p} = A e^{-Bp/E} \quad (2.8)$$

yazılabilir. Eşik voltajı U_B basit ilişki ile verilir

$$U_B = \frac{Bpd}{\ln(Apd) - \ln\left[\frac{1+\gamma}{\gamma}\right]} \quad (2.9)$$

Kuru havadaki hesaplamalar için iyonlaşma katsayısı α , modern yazımda yaklaşık olarak

$$\frac{\alpha}{N} = A e^{-BN/E} \quad (2.10)$$

şeklinde değerlendirilir. Burada N moleküler yoğunluk, $A = 1.4 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2$, ve $B = 660 \text{ Td}$ ($1 \text{ Td} = 10^{-21} \text{ V m}^2$ 'ye karşılık gelir)'dir. Bu ilişki $10 \text{ Td} \leq E/N \leq 150 \text{ Td}$ (1984) aralığındaki deneysel veriler için Wagner (1971), Moruzzi ve Price (1974) tarafından değerlendirilmiştir. E/N 'den daha yüksek aralıklar için deneysel veriler Raja Rao ve Govinda Raju (1971), Maller ve Naidu (1976) tarafından değerlendirilmiştir. İyonlaşma için daha gelişmiş analitik tahminleri ve havadaki E/N 'den daha geniş bir aralığı kapsayan bağıllık katsayılarını Morrow ve Lowke (1997) ya da Chen ve Davidson'da (2003) bulmak mümkündür.

Paschen eğri denkleminin minimumunda ($U_{\min}$ ve $\delta = pd / (pd)_{\min}$) karakteristik değerler kullanmak, genişletilmiş bir pd -aralığı tutan Paschen kanununun sadeleştirilmiş formu gibi yazılabilir ve homojen bir alanda eşik voltajının bir hesaplamasını elde etmek için kullanılabilir [18].

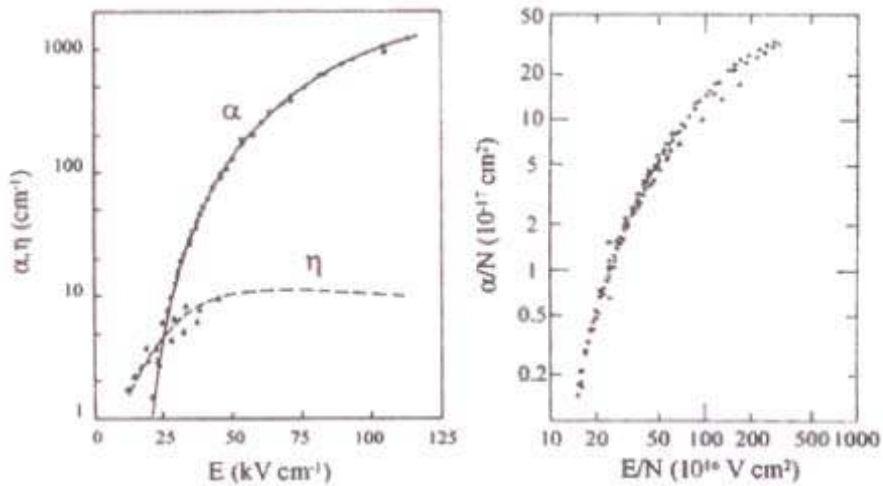
$$U_B / U_{\min} = \frac{\delta}{1 + \ln \delta} \quad (2.11)$$

Hava için katot materyaline bağlı olarak $U_{\min} = 230-370 \text{ V}$, $(pd)_{\min} \approx 0.6 \text{ Torr.cm}$ 'dir. Daha önce de bahsedildiği gibi, ardışık elektron çığları ve katottaki geri besleme mekanizması sayesinde gaz eşiğinin orjinal konsepti 1915'de Townsend tarafından tasarlanmıştır. Sonra daha detaylı açıklamalar Loeb (1939), Little (1956), Raether (1964), Hess (1976), Dutton (1978,1983), Raizer (1986,1991), Boeck ve Pfeiffer (1999)'da bulunabilir. Argon ortamında farklı γ geri besleme mekanizmalarının katkıları üzerinde detaylı bir inceleme yakın geçmişte Phelps ve Petrovic (1999) tarafından yayınlanmıştır. Elektronegatif gazlar için temel Townsend eşik kriterinin (2.6) önemli bir ilavesi Geballe ve Reeves (1953) tarafından formülleştirilmiştir. Bağlılık katsayısı η iken etkili iyonlaşma katsayısı $\alpha_{\text{eff}} = \alpha - \eta$ olur ve kendine yeten durum

$$\text{---} [\exp(\alpha - \eta)d - 1] = 1 \quad (2.12)$$

olur.

Oda sıcaklığında kuru hava için iyonlaşma ve bağlılık katsayıları şekil 2.5 'de çizilir.



Şekil 2.5. Kuru hava için iyonizasyon katsayısı α , bağlılık katsayısı η ve düzenlenen iyonizasyon katsayısı α/N [18]

100 Td noktasının E/N değerine eşit olan $25 \text{ kV cm}^{-1} \text{ bar}^{-1}$ civarında, E/p değeri ile karşılaşılır. Bu değerde havanın etkili iyonlaşma katsayısı sıfıra eşittir çünkü

iyonlaşmaya sebep olan elektron çarpışmaları elektron bağlılık reaksiyonları tarafından dengelenir. Daha yüksek alanlarda iyonlaşma, daha düşük alanlarda elektron bağımlılığı baskındır.

Townsend boşalma (ışıksız boşalma) aralığı mevcut yoğunluk tarafından karakterize edilir. Plazma içindeki yük yoğunluğu uygulanan elektrik alan üzerinde etkiye sahip olmadığı için, Townsend boşalma aralığı düşüktür. Farkedilebilir bir ışık yayılmadığından dolayı iyonlaşma derecesi düşüktür. Bu boşalma içinde biz katottan anoda elektron yoğunluğunun üssel bir gelişimini gözlemleriz ve pratikte bütün yoğunluk pozitif iyonlar ile doldurulur. Göreceli olarak yüksek bir voltaj kendine yeten durumla (Denklem 2.7) karşılaşmak için gereklidir [18].

2.6. Glow Boşalması

Akım yoğunluğu, 10^{-5} 'in ötesinde 10^{-4} Acm^{-2} 'ye artırıldığında Townsend boşalması, Glow boşalmasına dönüşür. Şimdi, uzay yük alanları önemli bir rol oynar ve boşalmayı devam ettirmek için gerekli olan voltaj değeri düşer. Pozitif yük alanları ile yüksek elektrik alanları, katot düşüş bölgeleri ile katodun yanında şekillenir. Yarı-nötr plazmanın pozitif bir kolonu katot bölgesini anot bölgesine bağlar. Bir Townsend boşalmasından Glow boşalmasına geçişte meydana gelen kompleks olay yakın geçmişte Sijacic ve Ebert tarafından ele alınmıştır (2002).

Normal Glow boşalmasının teorisi, katot tabakasına kendini besleme durumu için Townsend koşulu uygulanmasıyla von Engel ve Steenbeck tarafından formüle edilmiştir (1934). Geniş bir basınç ve akım yoğunluğu için parametreler; j akım yoğunluğu, U_{cf} katot düşüş bölgesine karşılık gelen voltaj ve d_{cf} (j/p^2) katot düşüş bölgesinin yoğunluğudur, U_{cf} ve pd_{cf} sabitlerdir. Paschen eğrisinin minimumunda olduğu gibi U_{cf} ve pd_{cf} 'nin değerleri aynı düzendedir. Bu, j/p^2 ve U_{cf} 'nin elde edilen kombinasyonlarının katot tabakasında asgari güç harcanımına karşılık gelmesini sağlar (Steenbeck'in minimum prensibi). Katot materyaline son derece bağlı olan havadaki bir Glow boşalması için karakteristik değerler $j/p^2 = 200 - 570 \mu\text{A} / (\text{cm}$

tor)², $U_{cf} = 230 - 370$ V, ve $pd_{cf} = 0.22 - 0.52$ Torr.cm'dir. Bu bağıntılardan, atmosferik basınçtaki Glow boşalmaların, yüksek akım yoğunluğunda son derece ince katot tabakaları ile çalışabilmesi anlaşılır olur.

Normal katot düşüşündeki iki durum Glow boşalmalarının karakteristik bir özelliğidir ve anormal katot düşüşündeki bu durum ayırt edilmelidir. Normal Glow boşalmasında akım katot alanının sadece bir kısmını kaplar ve yüzey alanı akım miktarı ile orantılı kaplanır. Bu durumda normal katot düşüş voltajı pratikte, akım ve basınçtan bağımsızdır. Eğer akım tüm katot yüzeyini kaplamak için gereken değerin ötesinde artırılırsa, akım yoğunluğunun ve katot düşüş voltajının arttığı bir bölgeye girilir (Normal üstü Glow boşalması, şekil 2.4.1'de F→H bölgesi, bazen kural dışı Glow boşalmasına işaret). Normal üstü Glow boşalması, teknik uygulamalar için büyük ilgi çekmiştir.

Akım normal üstü Glow boşalması safhasına çıktığında gereken voltaj 10 V'a kadar düşer ve ark boşalması başlar. Atmosferik basınçta ark boşalmalarının çoğundaki plazma, lokal termodinamik kararlılıkta dengeye yaklaşır (termal plazma). Termal plazmalar bu tezin kapsamı dışındadır [18].

Atmosferik basınç nontermal boşalma, aslında elektron sıcaklığı gaz sıcaklığından çok yüksek olduğundan, zayıf iyonize olmuş süreksiz denge durumu gibi tanımlanır. Atmosferik basınç Glow boşalması (ABGB) terimi, uzaysal birim plazma yapısı düşük basınç Glow boşalmasına benzediği için kullanılmaktadır. ABGB, uzaysal yapısıyla değil, elektrod konfigürasyonu ile karakterize edilen filamental dielektrik bariyer boşalmasından açıkça ayrılmaktadır [19].

ABGB'de temel ilgi, vakum sistemleri ihtiyacını minimize ettiği ve materyallerin sürekli kullanımına izin verdiği için, mevcut düşük basınç plazma kaynaklarının değiştirilmesi üzerinedir. Temel bakış açısıyla, basıncın 10^{-1} 'den 10^5 Pa'a kadar uygulanan geniş aralığının, hem gaz fazındaki hem de plazma materyallerin uygulamasında limit fenomendeki temel süreçlerin kapsamlı olarak anlaşılmasını

sağlaması beklenmektedir. Şimdiye kadar, ABGB, formasyon tekniklerinde göze çarpan gelişmeler sağlamıştır. Aslında ABGB sadece endüstriyel uygulamaların verimliliğinin geliştirilmesi için değil, karbon nanotüpleri [20-21], silikon oksit nanoparçacık depozisyonu [22] ve amorf/kristal silikon film depozisyonu [23-24] gibi temel materyallerin bileşimi için de kullanışlıdır. Hepsi ABGB'nin kapsamında detaylı olarak incelenmiştir.

ABGB'nin keşfinden beri, düşük frekans güç kaynakları (10-100 KHz) bazı uygulamalarda rutin olarak kullanılmaktadır [25].

3. YARI İLETKEN DEDEKTÖRLER

3.1.Yarı İletken Dedektörlerin Özellikleri

Yarı iletken dedektörlerin önemli özellikleri şu şekildedir;

1. Geniş enerji aralığında radyasyona karşı yanıtları doğrusaldır.
2. Belirli bir boyut için etkinlikleri yüksektir. Yapılarında yüksek yoğunlukta sert madde kullanılmaktadır.
3. Vakum altında çalışırlar.
4. Manyetik alandan etkilenmezler.
5. Farklı geometrik yapılarda tasarlanması mümkündür.
6. Puls doğma zamanları hızlıdır [26].

3.2. Yarı İletken Dedektör Türleri

Günümüzde kullanılan birçok yarı iletken dedektörün yapımında farklı maddeler kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra dedektörlerin yapım yöntemleri de değişiklik göstermektedir. Bu değişiklikler paralelinde yarı iletken dedektörlerin, yüzey engelli silikon dedektörler, difüz eklemli dedektörler, lityum birikimli silikon dedektörler, sadece tüketim bölgesi dedektörler ve germanyum dedektörler gibi birçok türleri vardır [26].

Silikon ve germanyumun dedektör yapısı için en popüler madde olmalarının en önemli nedeni yük transfer özelliklerinin son derece yüksek olmasıdır. Pratik olarak istenilen boyutlarda dedektörler yapılabilir. Başka bir bakış açısıyla yaklaşacak olursak yarı iletken dedektörleri temelde direkt bant aralıklı yarı iletken dedektörler ve indirekt bant aralıklı yarı iletken dedektörler olarak da ayırmak mümkündür [26].

Direkt bant aralıklı yarı iletkenlerde valans bandının maksimumu ile iletkenlik bandının minimumu 1.Brillion bölgesinin merkezinde bulunan gama noktası diye

bilinen $\vec{k} = 0$ noktasında oluşur. Direkt geçiş $\vec{k}$ değerinde önemli bir değişikliğe yol açmaz çünkü soğurulan fotonun dalga vektörü küçüktür. Doğrudan soğurma olayında, bir foton kristal tarafından soğurulurken, bir elektron ve bir deşik yaratılır. İletkenlik bandı minimumu ve valans bandı maksimumu aynı momentumda olduğu için, elektron valans bandından iletkenlik bandına momentumunu değiştirmeden geçebilir [27].

Kuantum mekaniksel verimlilik, bir yarı iletkenin taşıyıcıları fotona ne kadar iyi çevirdiğinin bir ölçüsüdür. Direkt bant aralıklı yarı iletkenlerin quantum mekaniksel verimliliği, indirekt bant aralıklı yarı iletkenlere göre çok yüksektir. Bu özelliklerinden ötürü direkt bant aralıklı yarı iletken dedektörler, optiksel düzenekler için daha kolay çalışma alanı oluştururlar ve daha hızlı çalışırlar. Direkt bant aralıklı yarı iletken dedektörlere GaAs örnek verilebilir.

İndirekt bant aralıklı yarı iletkenlerde iletkenlik bandı minimumu ile valans bandı maksimumu aynı doğrultuda değildir. Elektronun, valans bandının maksimumundan iletkenlik bandının minimumuna geçiş yapabilmesi için, enerjisinin yanı sıra momentumunu da değiştirmesi gerekir. İndirekt geçiş hem foton, hem fonon içerir; foton enerji sağlar, fonon ise momentum sağlar. Minimum enerji aralığında doğrudan bir foton geçişi, dalga vektörü korunumu koşuluyla sağlanamaz çünkü bu enerji aralığında foton momentumu çok küçüktür [27]. Momentum farklarından ötürü direkt bant aralıklı yarı iletken dedektörlere göre indirekt bant aralıklı yarı iletken dedektörler daha yavaş çalışırlar. İndirekt bant aralıklı yarı iletken dedektörlere GaP örnek verilebilir.

3.3.Yarı İletken Dedektörlerin Üstünlükleri

Yarı iletken dedektörlerin radyasyon dedektörlerine göre bazı avantajları şunlardır;

1. Hacimce daha küçüktürler,
2. Daha hızlıdırlar,

3. Gelen enerji ile orantılı bir yüksek enerji ayırma gücü verecek şekilde dizayn edilebilirler.
4. Puls yüksekliği ile enerji arasında son derece iyi bir lineer bağıntı gösterirler.
5. Tepkileri çok çabuk olmakla beraber uygun boyutları ve ince pencereleri vardır.
6. Çevredeki manyetik alanlara karşı duyarsızdırlar.
7. Özel şekillerde bile yapımları kolaydır ve değişken parçacık enerjileri için duyarlılıkları vardır [26].

4. GaP İLE İLGİLİ TEORİK BİLGİ

4.1. GaP'ın Moleküler Yapısı

Galyum fosfat bileşiği (GaP) izometrik sfalerit yapının içinde kristalleşen ve F^- 43m grup simetrisine uyan III–V tipi yarı iletkenlerden biridir [28]. İzometrik sfalerit yapı, kovalent bağlar boyunca en yakınlarındaki ile dört yüzlü olarak bağlanan atomlar tarafından biçimlenen en basit kristal yapıdır. Yarı iletken özelliklerinin seçkin teknolojik önemi sayesinde, GaP ve diğer III–V bileşimleri araştırmacılardan fazlaca dikkat çektiler. GaP, birkaç teknolojik uygulamanın arasında genellikle kırmızıdan yeşile kadar görünen aralıklara dalga boyu gönderen ışık yayıcı diyotlarda kullanılır [29]. Buna ek olarak, GaP nanotelleri biyolojik uygulamalar için de kullanılmıştır [30]. GaP'ın içindeki belirgin yüksek basınç safhalarının oluşumunu belirlemek ve araştırmak için oldukça fazla gayret edilmiştir. 20 GPa'nın üstündeki basınçlarda GaP'ın sfalerit safhası ilk başta β -Sn tipinde yapıya sahip olmak için düşünülen metal safhaya bir değişim geçirir [31–32]. Son zamanlardaki çalışmaların çoğu aç dispersiyonlu X-ışını kırınımı sayesinde GaP'ın Cmc₂m simetrisine sahip olan güncel yüksek basınç safhasını göstermektedir [33–34]. Hidrostatik basınç altında safha değişimiyle ilgili deneysel verilerin içinde fazla miktarda bilgi bulunmaktadır. Bu bilgilere rağmen, birkaç birinci prensip hesaplamasından başka GaP'ın özelliklerini çalışmak için kullanılan moleküler dinamikler simülasyonu olan hiçbir çalışma yayınlanmamıştır [35–36]. Mujica ve Needs yüksek basınç yapısal özelliklerinin birinci prensip hesaplamasını uygulamışlardır ve GaP'ın Cmc₂m yapısının sabit olduğunu göstermişlerdir [35].

GaP, çinko sülfür yapının üyesidir. Çinko sülfür örgüsünün kübik simetrisi çift kırılım sergilememektedir [37] ama genellikle yarım-evre eşleme teknikleriyle çalışan veya ilave çift kırılım materyaline ihtiyaç duyulan iki farklı frekansın faz uyumunu başarmaktadır [38–39].

4.2. GaP Genel Özellikleri

GaP önemli bir yarı iletken materyaldir. Kuantum uygulamaları ve optoelektronik uygulamalar için sıkça kullanılır. GaP, geniş dalga boyu aralığında çalışmasıyla ön plana çıkmaktadır. Yapısal özellikleri, faz diagramı ve kuantum noktalarındaki fonon etkisi önemli bilimsel ilgi uyandırmaktadır.

GaP, T_d özel grubun üyesidir. Band yapısı karmaşıktır ve elektronlar ile fononların arasındaki bağlaşım kuvvetlidir. Elektron-optik fonon etkileşimi yarı iletken nanomateriyallerin elektronik özellikleri ve optik özellikleri üzerinde çok büyük etkiye sahiptir ve cihaz uygulamaları için çok önemlidir [7].

GaP'ın oda sıcaklığında 446 nm'li dalga boyuyla direkt geçiş bölgesine ve 559 nm'li dalga boyuyla indirekt geçiş bölgesine sahip indirekt bir yarı iletken olduğu bilinmektedir. GaP nanoparçacıklarının 407 nm'de direkt geçişini ve 480 nm'in üstünde indirekt geçiş bölgesini yorumlayan çalışmalar bulunmaktadır. GaP kuantum noktalarındaki (QDs) benzer durum Mi'ci'c et al tarafından incelenmiştir [40]. Bunun üstündeki durumlar GaP nanoparçacıklarının floresan spektrumunda doğrulanmaktadır [41].

GaP, lüminesans diyot [42] , akusto optik modülatör [43] ve optik kısıtlayıcı [44] olarak kullanılır.

Çizelge 4. 1. GaP'ın genel özellikleri ve temel parametreler

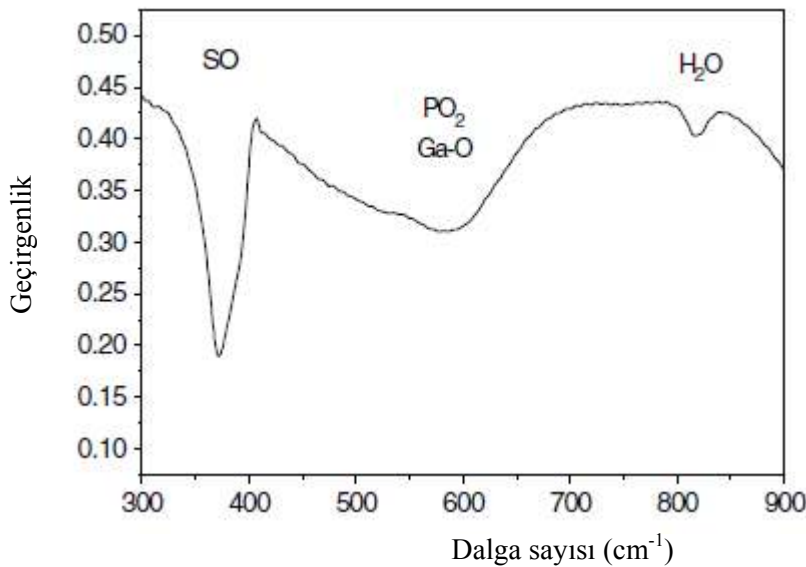
Kristal yapı	Çinko sülfür
Grup simetrisi	$F^- 43m$
Örgü sabiti (300 K)	0,5451 nm
En yakın komşu uzaklık (300 K)	0,2360 nm
Yoğunluk (300 K)	4,129 g.cm ⁻³
m_e^*/m_0	0,22
m_h^*/m_0	0,79
E_g enerji aralığının yapısı	İndirekt
E_g enerji aralığı (300 K)	2,272 eV
E_g enerji aralığı (0 K)	2,350 eV
Deşik etkin kütlesi	0,67

Elektron etkin kütlesi	0,13
------------------------	------

4.3. GaP IR Spektrumu

Optik çalışma nanomateryallerin bütün tanımlamasını ortaya çıkarmak için gereklidir. Kızıl ötesi (IR) spektroskopi, teoride ve uygulamada yüzey optik fonon modlarının absorpsiyonunun incelenmesinde etkilidir.

SO mod'un üstü GaP nano parçacıklarının kızıl ötesi spektrumunda direkt olarak gözlenebilir. Şekil 4.1 GaP parçacıklarının 300'den 900 cm^{-1} 'e kadar sıralanan Fourier dönüşüm kızıl ötesi (FTIR) geçiş spektrumunu göstermektedir.



Şekil 4.1. GaP nano parçacıklarının kızıl ötesi geçiş spektrumu [45]

Spektrum, sırasıyla 372 cm^{-1} , 586 cm^{-1} ve 816 cm^{-1} 'de üç farklı band göstermektedir. GaP nano parçacıklarının içinde atmosferden absorbe edilen bir miktar su bulunduğu ve (GaP nano parçacıkları hazırlanırken veya havaya maruz kalarak oksitlendiği için) GaP nano parçacıklarının içindeki kadar GaP nano parçacıklarının yüzeyinde oksijen atomları bulunduğu kızıl ötesi spektrumda açıkça görülmektedir [46].

Raman ve kızıl ötesi spektroskopileri, GaP nano parçacıklarının titreşimsel özelliklerinin çalışılmasında kanıtlanmış kullanışlılığa sahiptir. Yüzey mod

özelliğinin çalışılmasının iç kusurlarla ilişkilendirilmesi GaP nano materyalinin optik ve elektronik yöntemlere dayalı gelişimi için temeldir.

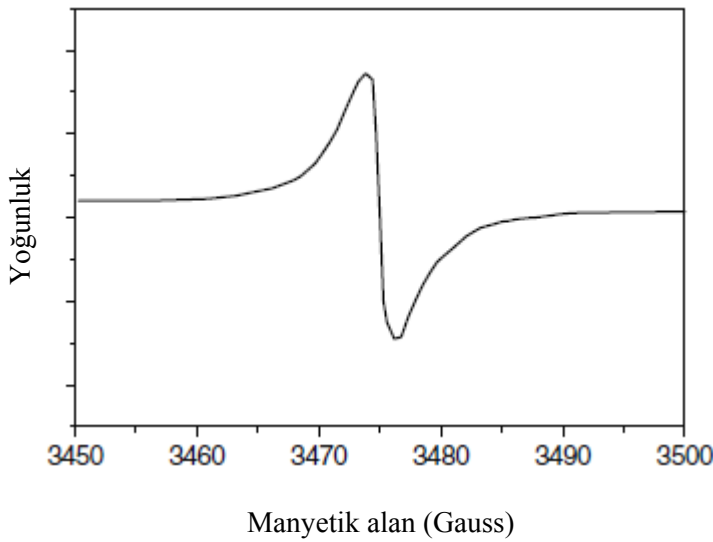
4.4. GaP İç Kusurları

Raman ve kızılötesi spektrumların ikisi de GaP nano parçaları içinde meydana gelen yüzeysel optiksel (SO) fonon modlarını işaret ederler. SO modu GaP nano parçalarının yüzeyinin üzerindeki bozukluklardan meydana gelir.

Şimdiye kadar, GaP nano yapısal materyallerinin çalışması üzerindeki raporlar nano parçalar [47-48], nanoteller [49-50], nano kemerler [51] ve nano çubuklar [52] gibi bulunmaktadır.

GaP nano materyal indirekt band boşluk yarı iletkenidir ama yabancı maddeleri ve bozuklukları optoelektronik alanların içindeki geniş uygulamalarına olanak veren direk boşluk davranışına neden olabilir. GaP nano kristalinin fotoluminesans spektrumunun (PL) içinde Chen et al [47] 330 nm'de yayımlama pikini incelemiştir ve GaP nano kristalinin içinde arayüz ya da iç kusurların varlığına işaret edilen pikleri belirtmiştir. Aslında, GaP nano tellerinin spektrumunun içindeki karakteristik ışık emisyon bandını bulan Liu et al [50], atomik boşluklar gibi yabancı elementlerden ve ikizler gibi yapı bozukluklarının geniş sayısından meydana gelen kırmızı değişimi göstermiştir. Magnetik yankılama esas bozuklukları bulabilir ve GaP kristallerinin nokta bozukluklarının analizleri elektron spin rezonans (ESR) tekniği tarafından yürütülmüştür [53-54]. Yüksek performans yarı iletken aletleri üretmek için, yarı iletken nano materyallerinin içindeki esas nokta bozukluklarıyla ilgili deneysel bir çalışma temeldir. ESR sayesinde GaP nano parçalarının içindeki esas nokta bozuklukları bulunmuştur ve mor ötesi ile görünür soğurma, Raman saçılması (RS) ve GaP nano parçalarının kızıl ötesi spektrumu incelenmiştir. Bildiğimiz gibi, GaP nano parçalarının titreşimsel özellikleri RS ve kızıl ötesi spektroskopileri kullanılarak çalışılabilirken, mor ötesi-görünür soğurma spektrumu GaP nano parçalarının enerji band yapısını sergileyebilir. Nokta bozukluklarına bağlı

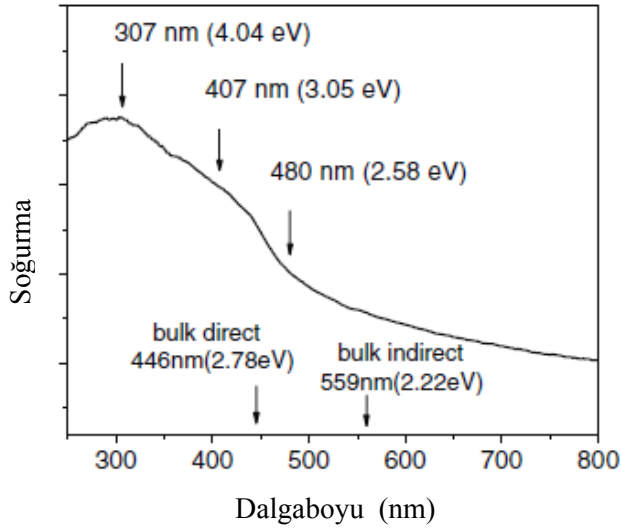
optiksel özellikler dizayn aletlerinin üstündeki direk karıştırmalara sahiptir ve böylece optiksel özellikleri ve GaP nano parçalarının içindeki bozuklukları çalışmak için gereklidir [45]. GaP nano parçalarının içindeki esas nokta bozuklukları ESR tekniğiyle incelenmiştir. Şekil 4.2 GaP nano parçalarının ESR soğurmanın birinci üretilmiş kavisini sergiler. Ama, Ga antisitenin varlığı ve P boşluğu göz ardı edilemez çünkü günümüz deneyinde ve 50K sıcaklıkların üstünde Ga antisitesinin ESR görünmeyebilen sinyal olan ilgili gerçeklerin içinde varlıkları tanımlanamaz [45].



Şekil 4.2. GaP nanoparçacıklarında, kendi kendini besleyen Ga_i kusurunun ESR spektrumu [45]

Lee Czochralski [55] (LEC) tekniğine özetlenen likit tarafından geliştirilen oksijen GaP'ın kafesinin içindeki Ga_i 'nin mümkün yerleri incelemiştir ve en yakın katyon komşuları ile tam Td simetrisi sağlayan bölgeleri önermiştir. Bu arada, çift pozitif yük alanları Ga_i^{++} gibi Ga_i 'nin muhtemel elektronik yapısını göz önüne almıştır ve en az iki bozukluk enerji seviyelerinde (+/++) Ga_i için boşluk enerjisi içindeki üç sabit yük alanını belirtmiştir ve (++)/+++ bozukluk-bozukluk etkileşimleri için göz önüne alır. Ek olarak, daha favori gözükten ve bir sıg verici gibi Ec-0.9 eV üzerindeki uzanan Ga_i (+/++)'yi kanıtlamıştır. Bu nedenle, Ga_i bozukluklarının GaP materyali

n-tipi olmaya eğilimlidir. Şekil 4.3 hazırlanan GaP nano parçalarının mor ötesi-görünür soğurma spektrumlarını göstermektedir.



Şekil 4.3. GaP nanoparçacıklarının oda sıcaklığında mor ötesi-görünür soğurma spektrumu [45]

Soğurma spektrumu 307 nm (4.04 eV) civarında pik göstermektedir, 407 nm (3.05 eV)'de dirsek oluşturur ve 480 nm (2.58 eV)'in üstünde 800 nm civarına kadar uzanmaktadır [45].

İç kusurlar GaP nano parçacıklarının optik özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. GaP nano parçacıklarının içindeki Ga_i kusurları elektron-spin rezonans (ESR) ile gösterilmektedir. Optiksel özelliklerin iç kusurlarla ilişkilendirilmesinin gelecekte optiksel nano yöntemlerinde potansiyel uygulamalara sahip olmasına izin vermesini umuyoruz [45].

5. KIZIL ÖTESİ GÖRÜNTÜ ÇEVİRİCİ SİSTEM

Geçtiğimiz yıllarda fiziğin “eski moda” konularından biri olan düşük akım gaz boşalma fizigi tekrar gündeme gelmiştir. Bu ilgi özellikle yeni nesil elektronik cihazlardan “mikro boşalma” cihazlarının geliştirilmesi yönünden önem kazanmıştır.

Bunların özellikleri küçük bir hacme ve göreceli olarak düşük güç sarfiyatına sahip olmalarıdır. Mikro boşalma cihazlarının çevirme, yükseltme ve sinyal işlemede kullanılmasına olan ilginin sebeplerinden biri de aktif gaz boşalma ortamının oldukça homojen ve parametrelerinin tamamen kontrol edilebilir olmasından kaynaklanmaktadır. Cihazın yarıiletken elektrodunun iletkenliği ışık kaynağından gelen aydınlatma ile kontrol edilebilir. Bu kontrol hem genel (bu durumda tabakanın iletkenliği uzaysal olarak homojen kalır) hem de bölgesel olabilir [56].

Uzaysal genişliğe sahip cisimlerin sıcaklık dağılımlarının uzaktan ölçülmesi birçok teknik uygulama için önem taşımaktadır. Örnek olarak, motorların paslanma süreçleri, yüksek aktivasyon enerjisine sahip kristal büyütme veya kimyasal dönüşüm reaksiyonları verilebilir [57]. Uzaktan sıcaklık ölçümü özellikle savunma sanayi uygulamalarının en önemli araştırma konularından biridir. Oldukça hassas cihazlara olan ihtiyaç, kızıl ötesi teknolojinin ileri teknoloji seviyesine yükselmesini sağlamıştır. Çeşitli saf ve saf olmayan yarıiletken materyaller, piroelektrik tabakalar ve bolometreler bu amaç doğrultusunda kullanılmışlardır. Günümüzün modern kızıl ötesi detektör sistemleri sıcaklık çözünürlüğü mK aralığında piksel sayısı 512 x 512 mertebesinde üretilmiş CCD - matris readout teknolojisini temel almaktadır. Bu oldukça karmaşık matrisler genellikle savunma sanayi uygulamaları için üretilmekte ve detektör çiplerinin yüksek üretim maliyetlerinden dolayı ticari kullanım için çok pahalı olmaktadır. Son zamanlarda örneğin güvenlik görüntüleme sistemlerinde kullanılan daha düşük maliyetli bolometre matrisleri piyasaya çıkmıştır. Gelen radyasyon deseni bu görüntüleme sistemleri ile görüntülenmektedir [57]. Ancak bunlar sıcaklık deseni değil, görünür olmayabilen ısımanın dağılım desenidir. Bazı

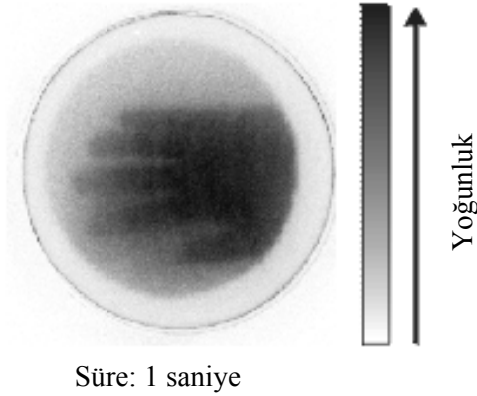
özel uygulamalar için termal histeresise sahip materyallerde foto holografik yöntemleri veya temel alan foto emülsiyonlu kimi alternatif algılama teknikleri geliştirilmiştir [58].

Kızıl ötesi ışımanın spektral dönüşümü için benzer bir düzenek kullanarak yapılan ilk deneme 1966 [59] yılında olmuştur. Yeni tür iyi bilinen bir elektro-fotografik süreç önerilmiştir. Bir yüksek dirence sahip fotoiletken tabaka korona boşalması ile yüklenmiştir. Yakın kızıl ötesi dalga boyu aralığındaki bir görüntü üzerine geldiğinde tabaka bölgesel olarak fotoiletkenlik süreci ile boşalmaktadır. Bu yöntem ile fotoiletken bölge üzerinde uzaysal potansiyel dağılımı oluşturulmaktadır [57].

Fotoiletken, metal iletkenin düzlem yüzeyi ile yakın konulduğunda, metal tabaka ile fotoiletken arasındaki hava dolu aralıkta geçici elektriksel kırılmalar gözlenmektedir. Bu kırılma olayı boyunca olan ışık parlaklığının uzaysal dağılımı, fotoiletken yüzeydeki ‘donmuş’ potansiyelin dağılımını yansıtmaktadır [57]. Bu aynı zamanda üzerine yansıtılmış olan kızıl ötesi görüntünün uzaysal dağılımıdır. Bu tekniğin geliştirilmesi [60]’de önerilmiştir. Yazarlar düzlem YGB yapısını iki eş potansiyel elektrot arasında kurmuşlardır. Hatta bu cihaz sürekli çalışma modunda kullanılmıştır [58].

Kızıl ötesi (KÖ) görüntü çevirici yukarıda bahsedilen mikro boşalma cihazlarından biridir. Bu araştırmanın temel hedefi teknolojik bir ürün oluşturmak üzere KÖ görüntü çeviriciyi geliştirmek, optimize etmek ve yarıiletken katotlu gaz boşalma hücresinin fiziksel süreçlerini daha iyi anlayabilmektir. Uzaysal çözünürlüğün optimizasyonu, KÖ görüntü çeviricinin duyarlılığının artırılması, ancak sistemin çok iyi analiz edilmesi ve en iyi performansı veren parametrelerin seçilmesi ile mümkün olacaktır.

KÖ görüntü çevirici kızıl ötesi spektrumdaki bir görüntüyü görünür bölgeye taşımaktadır. İnsan vücudu $\sim 37,5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta olup kızılötesi ışıma yaptığından KÖ görüntü çevirici ile Resim 5.1.’deki gibi görüntülenebilmektedir.



Resim 5.1. KÖ görüntü çevirici ile kaydedilen elin görüntüsü [10]

KÖ spektral bölgede çalışan yeni tip KÖ görüntü çevirici Kasymov ve Paritskii [61] tarafından önerilmiştir. Bu sistemin çalışma prensibi ışığa duyarlı yarıiletken elektrot vasıtasıyla küçük gaz boşalma aralığındaki akım akışının kontrolüne dayanır.

KÖ çeviricinin avantajları şunlardır; 1,1 μm ile 11 μm aralığındaki spektral duyarlılık, uygulama alanına bağlı olarak nanosaniye sınırına inebilen yüksek zamansal çözünürlük, mm başına 16 çizgiye kadar çıkan uzaysal çözünürlüğü, düşük maliyet.

KÖ görüntü çeviricinin uygulama alanları, hızlı uzaysal çözünürlükteki termografik ölçümler, gece görüş sistemleri, KÖ lazer ışığı profillerinin analizi, hasarsız test etme, oksitlenme (paslanma) süreçlerinin belirlenmesi, lazer ışığı kaynağının görüntülenmesi olarak sayılabilir.

Desenlerin kendiliğinden oluşan süreçlerin sonucu olarak meydana gelmesi, davranışları lineer olmayan kurallarla belirlenen termodinamik dengeden uzak bir sistemde oluşur. 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 bulunan gaz ortamındaki yük taşıyıcılarının üretimi ile

mümkündür. Sistemde oluşan bu süreçler gaz boşalmasının lineer olmayan davranışının sebebidir. Bu süreçler aynı zamanda akım-voltaj karakteristiğini de düzenler [57].

Bu tezin deneylerinde kullanılan yarı iletken elektrodun yapıldığı malzeme SI (yarı iletken) GaP'dır.

6. DENEYSEL SİSTEM

Bu deneysel çalışmada kızıl ötesi görüntü çevirici sistemi kullanarak paralel düzlem elektrotlu gaz boşalma sisteminin akım-voltaj karakteristikleri geniş bir p (gaz basıncı), d (elektrotlar arası mesafe) ve D (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 artırılmaya çalışıldı [10].

6.1. Deneysel Sistemin Elemanları

Resim 6.1.'de görüldüğü gibi kızıl ötesi görüntü çevirici sistemin deneysel düzeneğini oluşturan elemanlar; gaz boşalma hücresi, raylı sistem, karanlık kutu, fotoçoğaltıcı, ışık kaynağı, mekanik vakum pompası ve manometredir.



Resim 6.1. KÖ görüntü çeviricinin fotoğrafı [17]

Deney düzeneğini oluşturan elemanlar: 1. Işık kaynağı (halojen lamba), 2. Mercek sistemi, 3. Si filtre, 4. Yarıiletken katotlu gaz boşalma hücresi, 5. Fotoçoğaltıcı, 6. Vakum pompası, 7. Vakum vana, 8. Dijital manometre, 9. Işık geçirmez optik kutu, 10. Optik kızak, 11. Tutucu

Gaz boşalma hücreesindeki elektrotlar arası mesafeye ve gaz basıncına bağlı olarak akım-voltaj (I-V) ve radyasyon-voltaj (R-V) karakteristiklerinin belirlenmesinde, dijital multimetre (Keithley, 199), dijital yüksek gerilim güç kaynağı (Stanfort PS 325. 2500 V-25 W) kullanılmıştır. Fotoçoğaltıcı yerine CCD kamera kullanılması sonucunda, gaz boşalma hücreesinde elektrotlar arasında oluşan gaz boşalma ışımalarının görüntüsü kaydedilebilir.

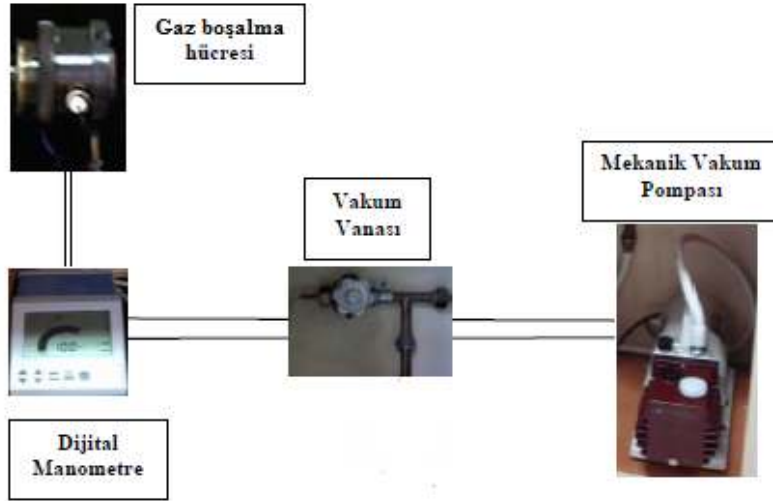
Karanlık ve ışık altında I-V ve R-V ölçümlerinin ışıktan etkilenmeden yapılması için saç levhadan oluşan bir kutudan yararlanılmıştır. Işığın yansımalarını engellemek için kutunun içi püskürtme ile siyaha boyanmıştır. Kutunun içine yerleştirilen ray üzerine gaz boşalma hücresi, fotoçoğaltıcı, silikon 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. Işık şiddetinin değiştirilebilmesi için bir gerilim bölücü ışık kaynağına bağlanmıştır [10].

Vakum ortamında gaz boşalma ışımalarını görüntülemek ve gerekli ölçümleri yapabilmek için gaz boşalma hücrelerinden yararlanılmıştır. Bu gaz boşalma hücresi resim 6.2.'de görüldüğü gibi kurşun kalemin boyutlarıyla karşılaştırılabilecek kadar küçüktür.



Resim 6.2. Gaz boşalma hücresinin fotoğrafı [17]

Gaz boşalma hücreesindeki hava mekanik vakum pompası (ULVAC SINKU KIKU GVD-050 A) ile boşaltılarak ortamın basıncı bir manometre yardımı ile ölçülmüştür.



Resim 6.3. Gaz boşalma hücresinin vakum sistemi [17]

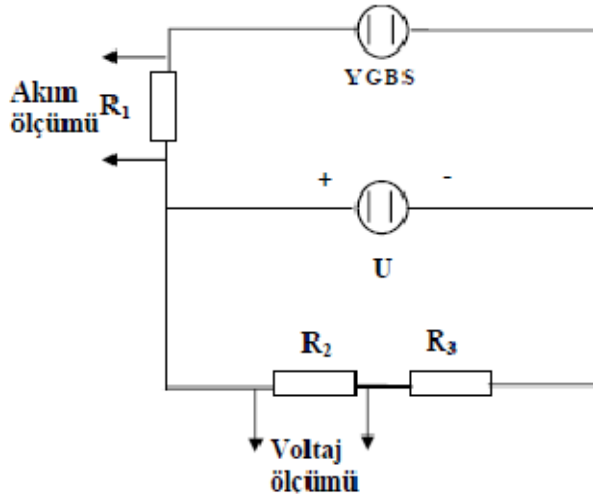
Gaz boşalma hücresinde elektrotlara yüksek voltaj uygulayabilmek için, gaz boşalma hücresinin etrafını sıkı saran polyamit ve onun dışında da pirinç metalden oluşan bir kılıf kaplanmıştır. Bu kılıfa elektriksel bağlantı uçları yapılmıştır. Foto çoğaltıcıya yüksek voltaj sağlayan ve akımını yükselten ön yükseltici bir aygıt kullanılmıştır. (Resim 6.4.)



Resim 6.4. Bilgisayar ile kontrol ve kumanda edilen deneysel sistemin ölçüm cihazların fotoğrafı [17]

Bu deneysel düzeneği oluşturan elemanlar; 1.Bilgisayar ile yazılım, 2.CCD kamera, 3.CCD'ye bağlı görüntü monitörü, 4.CCD'nin kontrol ünitesi, 5.Görüntü şiddetlendiriciyi besleyen güç kaynağı, 6.Dijital multimetre, 7.Dijital elektrometre, 8.Gaz boşalma hücrelerini besleyen güç kaynağı, 9.Direnç devresini içeren kutu, 10.Fotoçoğaltıcıyı besleyen güç kaynağı. (Bu deneyin verileri alınırken CCD kamera kullanılmamış olup sadece fotoçoğaltıcıdan destek alınmıştır.)

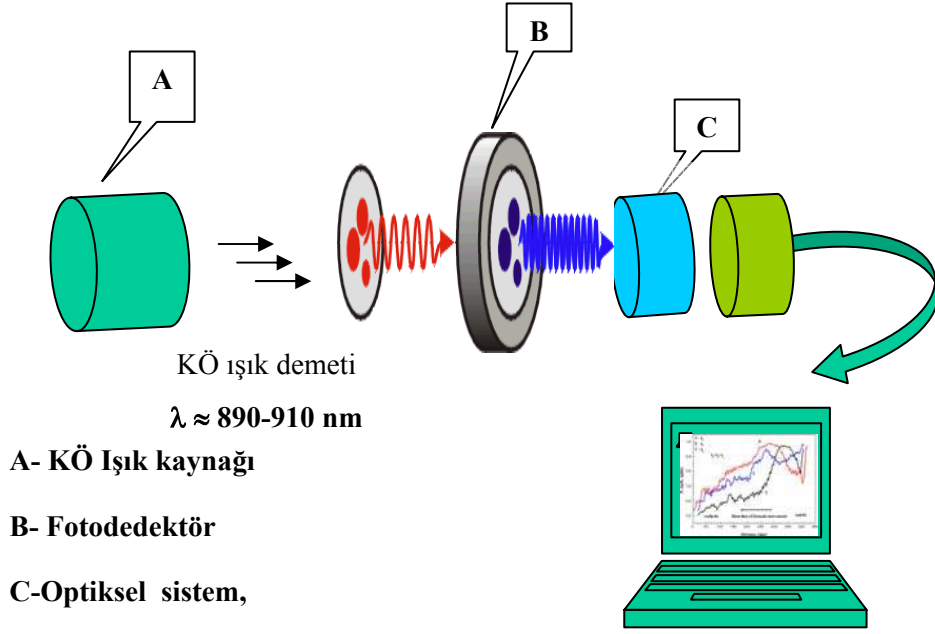
Gaz boşalma hücrelerinden çıkan akımı düzenlemek ve ölçmek için Şekil 6.1'deki devre kullanılmıştır.



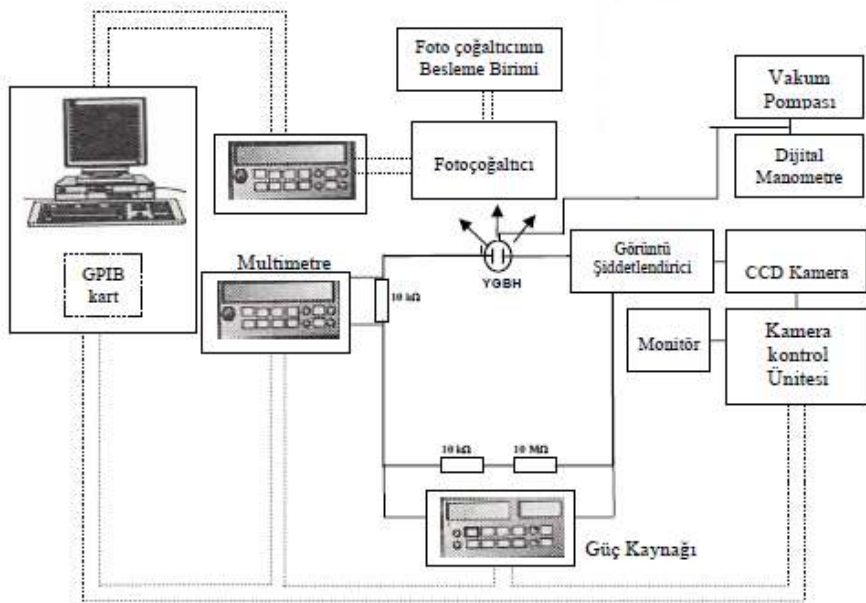
Şekil 6.1. Deneysel sistemin ölçüm devresi [17]

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. I-V ve R-V ölçümlerinde kullanılan dijital multimetre ve dijital yüksek gerilim güç kaynağı gibi ölçüm cihazları bilgisayara takılan A/D çevirici ve arayüzey (IEEE) kartları sayesinde kontrol ve kumanda edilmiştir.

Gaz boşalma hücresinde oluşan ışımının bir kamera sayesinde film üzerinde kaydedilmesini sağlayan kızıl ötesi görüntü çeviricinin blok diyagramı Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2. Kızıl ötesi görüntü çeviricinin blok diyagramı



Şekil 6.3. Deneysel sistemi oluşturan cihazların şematik gösterimi [17]

6.2. Deney

Deneysel sistem Şekil 6.4'te gösterilmektedir. Deneysel sistem bir optik tezgah üzerinde düzenlenmiş optiksel bir deneysel düzenek ve gaz boşalma aralığından ibarettir. Optiksel deneysel düzenek yarı iletken katodu aydınlatmada homojen bir ışık demeti elde etmek için bir ışık kaynağı ve kolimatör içerir. Işık kaynağı olarak, gücü 150 W'a kadar olan holajen bir lamba kullanılır. Dijital yüksek gerilim güç kaynağı vasıtasıyla hücrenin elektrotlarına 200-2000 V aralığında gerilim uygulanabilir. Yarı iletken katot, akkor lambadan çıkan ışığın önüne silisyum filtre konularak $890 \text{ nm} < \lambda < 910 \text{ nm}$ dalga boylu ışınları geçiren ışık ile homojen olarak aydınlatıldı. Bu dalga boyları için enerji değerlerini sınır noktalarda ($\lambda = 890 \text{ nm}$ ve 910 nm) hesaplayalım.

$$E = hc / \lambda \quad (6.1)$$

$\lambda = 890 \text{ nm}$ için;

$$E = \frac{6,626075 \times 10^{-34} \text{ J.s} \times 2,99792458 \times 10^8 \text{ m/s}}{890 \times 10^{-9}} \text{ J} \quad (6.2)$$

$$E = 0,022319632 \times 10^{-17} \text{ J}$$

$$E = \frac{0,022319632 \times 10^{-17}}{1,60217733 \times 10^{-19}} \text{ eV} \quad (6.3)$$

$$E = 1,3930812 \text{ eV}$$

$\lambda = 910 \text{ nm}$ için;

$$E = \frac{6,626075 \times 10^{-34} \text{ J.s} \times 2,99792458 \times 10^8 \text{ m/s}}{910 \times 10^{-9}} \text{ J} \quad (6.4)$$

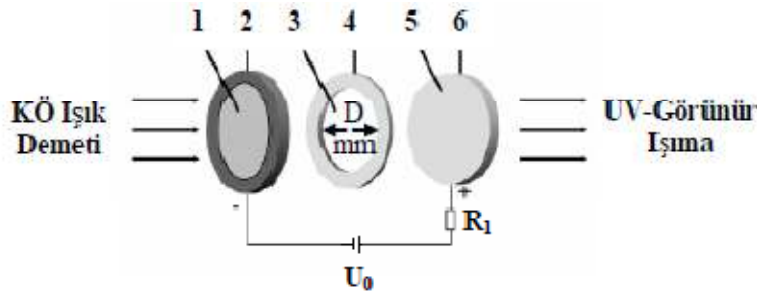
$$E = 0,021829091 \times 10^{-17} \text{ J}$$

$$E = \frac{0,021829091 \times 10^{-17}}{1,60217733 \times 10^{-19}} \text{ eV} \quad (6.5)$$

$$E = 1,3624641 \text{ eV}$$

Bu tez için yapılan deneysel çalışmalar oda sıcaklığında yapılmış olup GaP yarı iletken kullanılmıştır. GaP'n yasak enerji aralığı $E_g (300 \text{ K}) = 2,272 \text{ eV}$ 'tur. Burstain'e göre $E < E_g$ olduğunda kızıl ötesi absorblanamaz. Bizim sistemimizde kullandığımız dalga boyları için enerjiyi hesapladığımızda; sınır değerler için $E < E_g$

olduğunu görürüz. Bu durumda GaP'ın kızıl ötesini absorblaması beklenmez iken GaP'ın kusurlarından ötürü yasak enerji aralığı E_g düşer. Bunun sonucunda gönderdiğimiz ışık absorblanabilmektedir.



Şekil 6.4. Yarı iletken katotlu gaz boşalma hücresinin basit şeması; 1.Yarı saydam Au tabaka, 2.Katot (GaP), 3.Gaz boşalma aralığı, 4.Mika, 5.Anot (SnO₂), 6.Düz cam disk [17].

Yarı iletken uzaysal dağılımlı bir direnç gibi davranır ve yarı iletkenin iletkenliği aydınlatma şiddetini ayarlayarak değiştirilebilir. Yarı iletken elektrodun dış yüzeyi, gaz boşalma hücresine dc voltaj uygulamada kontaktardan biri olarak kullanılan yarı saydam altın tabaka ile kaplanmıştır. Gaz boşalma aralığının kalınlığı d (45-525 μm) ve çapı D (12-15 mm) yalıtkan mika tarafından oluşturulur ki; bu aralık 28-690 Torr'luk p gaz basıncı bölgesindeki bir gaz ile doldurulmuştur.

Deneyler hava ortamında gerçekleştirilmiştir. Gaz boşalmasının ışımasından akım yoğunluğu dağılımı tahmin edilebilir. Yarı saydam anot ince iletken SnO₂ tabakasıdır. Yarı iletken tabakanın dış yüzeyi, kalınlığı yaklaşık 40 nm olan Au film ile kaplanmıştır. Bu nedenle, yaklaşık %10 geçirgenlikle görünür ışığa saydamdır. SnO₂'nin tabaka direnci 15-20 $\Omega \text{ sq}^{-1}$ 'dir ve geçirgenlikle görünür ışığa saydamdır. Au filminin tabaka direnci ise 10 $\Omega \text{ sq}^{-1}$ mertebesindedir. Bu dirençler aydınlatma yokken GaP tabakasının direnci ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilir. SnO₂ ve Au elektrot yüksek voltaj güç kaynağı U_0 ve seri R_1 direncini içeren dış elektronik devreye bağlantılıdır. Araştırılan boşalma modundaki maksimum boşalma akımı 100

μA 'i aşmaz, sonuç olarak yarı saydam anodun yarı çapı boyunca mümkün olan maksimum voltaj düşüşü oldukça küçüktür ve çalışılan yapıdaki akım desenine etkisi yoktur [57].

Yarıiletken elektrot (fotodedektör) ≈ 1 mm kalınlığında ve ≈ 30 mm çapında disk şeklinde üretilmektedir. Fotodedektörün yüzeylerinden biri boşalma bölgesine dönüktür. Yarı saydam elektriksel kontak fotodedektörün dış yüzeyinde oluşturulur.

Sabit yada pulslu bir voltaj yapının elektrotlarına uygulanır. Boşalma aralığının eşik voltajını aşan bir uygulama voltajında, kendini besleyen boşalma başlar. Görüntü çeviricideki bir pencere vasıtasıyla bir kızıl ötesi görüntü fotodedektör düzlemine düşürülür ki bu da fotodedektörün lokal direncini değiştirir. Gelen kızıl ötesi radyasyonun şiddetine göre lokal akım yoğunluğunda ve gaz boşalma parlaklığında bir artış meydana gelir. Böylece kızıl ötesi görüntü gazın görünür ışımaya çevrilebilir ve çeviricideki bir pencere vasıtasıyla gözlenebilir. Boşalma akım yoğunluğu yarı iletken dedektörün aydınlatılmasıyla 10^{-6} -1 A/cm² bölgesinde değiştirilebilir. Böylece görüntüler kızıl ötesi radyasyon şiddetinin geniş bir dinamik bölgesinde kaydedilebilir. Bu şartlar altında sistemin akımı ya U_0 'ı değiştirerek yada yarı iletkenin yüzeyindeki saydam elektrot boyunca yarı iletken tabakanın uzaysal olarak homojen aydınlatmasını değiştirerek kontrol edilebilir. Aydınlatma sonucunda serbest yük taşıyıcılarının konsantrasyonu safsızlık-band ve band-band elektronik geçişleri dolayısıyla arttığı için p azalır [57].

Deneyde yarı iletken katodun p gaz basıncı ve iletkenliği sabitlenmiştir. U_0 uygulama voltajı 0 V'dan itibaren yavaşça arttırılır, böylece gaz tabakasındaki voltaj düşüşü artar. Gazda kırılma için U_0 eşik voltaja ulaşır ulaşmaz, boşalmanın homojen tutuşması meydana gelir. Eşik voltajın değeri Paschen eğrisi olarak adlandırılan eğri tarafından belirlenir. U_0 voltajını arttırarak boşalma akımı I kontrol edilebilir. Bu iki katlı yapı görünür ışığa duyarlı elektrotlar ile sınırlandırılmıştır. U_0 voltajı artırıldığı zaman, boşalma süreci gaz dolu aralıkta gelişir. Buna karşılık gelen boşalma akımı gaz ışımalarını başlatır. Yanal doğrultuda bunun uzaysal dağılımı cam tabaka boyunca

gözlemlenebilir. Kırılmadan hemen sonra, boşalma kesitinden yayınlanan ışıma herhangi bir deseni tanımaya imkan vermez. Uygulama voltajındaki artış, ışımada uzaysal-zamansal osilasyonlar oluşuncaya kadar, gaz boşalma akımının ve gaz boşalma ışımasının monotonik artışına yol açar [57]. Şunu belirtmeliyiz ki U_0 , gaz aralığı ve yarı iletken bileşen üzerindeki voltaj düşüşlerinin toplamıdır. Townsend boşalmasının karakteristik özelliklerinden biri akım değişirken boşalma bölgesindeki voltaj düşüşünün sabit olmasıdır [57].

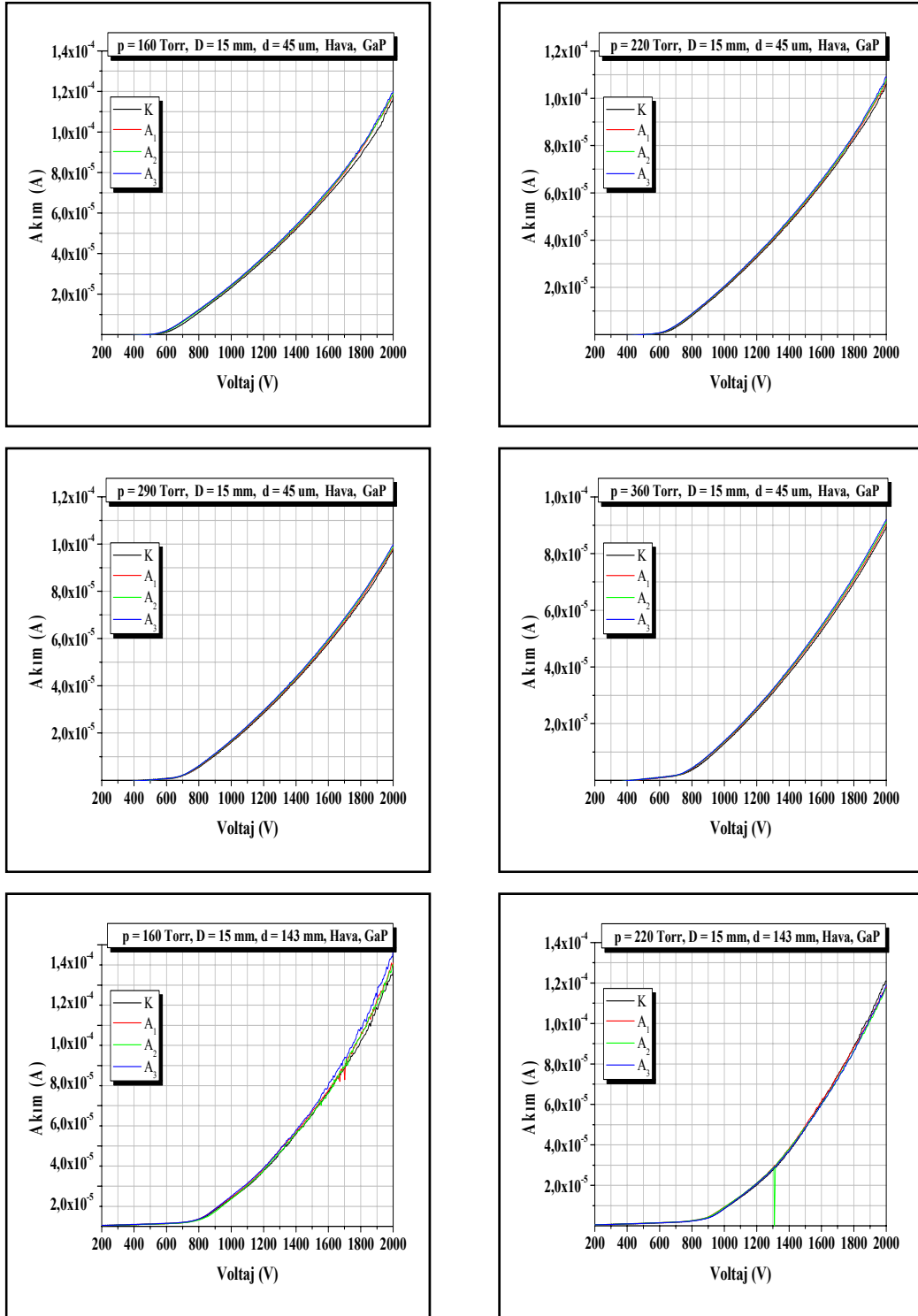
7. DENEY VERİLERİ VE SONUÇLAR

Bu deneysel çalışmada III-V grubu yarıiletken olan GaP kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar hava ortamında ve oda sıcaklığında yapılmış olup $D=12$ mm ve $D=15$ mm olmak üzere iki farklı elektrod çapı için çalışma yapılmıştır. Her iki çap için de yedi farklı elektrotlar arası mesafe için ölçümler alınmıştır. Elektrotlar arası mesafe $d=43$ μm , 90 μm , 143 μm , 240 μm , 323 μm , 445 μm ve 525 μm olarak değiştirilmiştir. Aynı elektrotlar arası mesafe, elektrod çapı ve basınçta yapılan ölçümler karanlık, aydınlık1 ($A1$ =zayıf aydınlatma şiddeti), aydınlık2 ($A2$ =orta aydınlatma şiddeti) ve aydınlık3 ($A3$ =kuvvetli aydınlatma şiddeti) olmak üzere 4 farklı değer için tekrarlanmıştır. Direkt band aralıklı yarıiletkenlerde (örneğin GaAs), hava ortamında yapılan benzer çalışmalarla kıyaslandığında GaP çalışması için süre yaklaşık iki katına çıkmıştır. GaP çalışmalarında sürenin uzaması indirekt band aralıklı olmasından kaynaklanmaktadır.

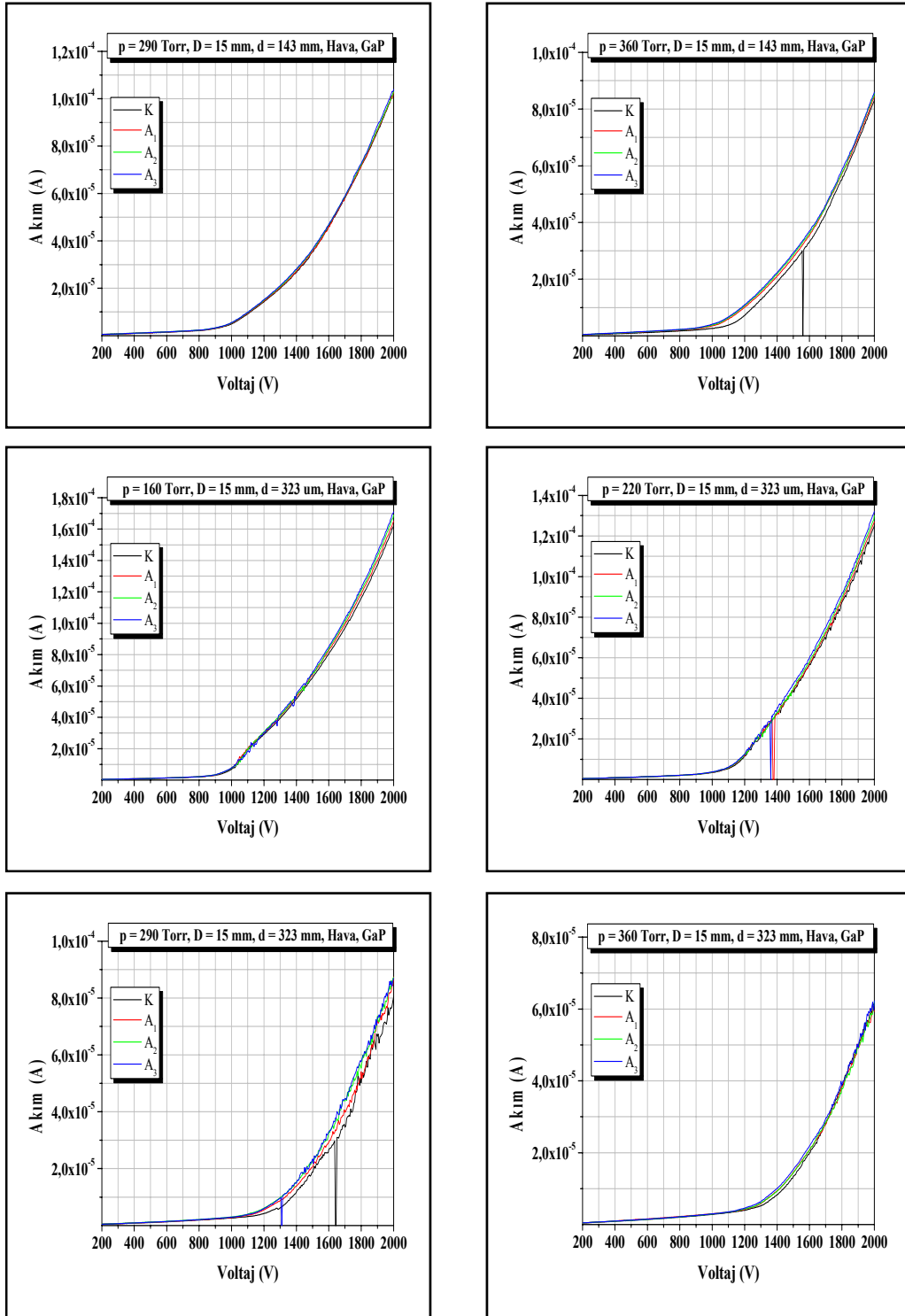
Deneysel çalışmalarla GaP'ın akım karakteristiği, ışıma karakteristiği, eşik voltajı, negatif diferansiyel direnç etkisi ve histerisis davranışı incelenmiştir. Aynı zamanda bu karakteristik değerlerin elektrotlar arası mesafe ve elektrod çapına bağımlılığına bakılmıştır.

7.1. GaP'ın Akım Karakteristiğinin Elektrotlar Arası Mesafeye Bağımlılığı

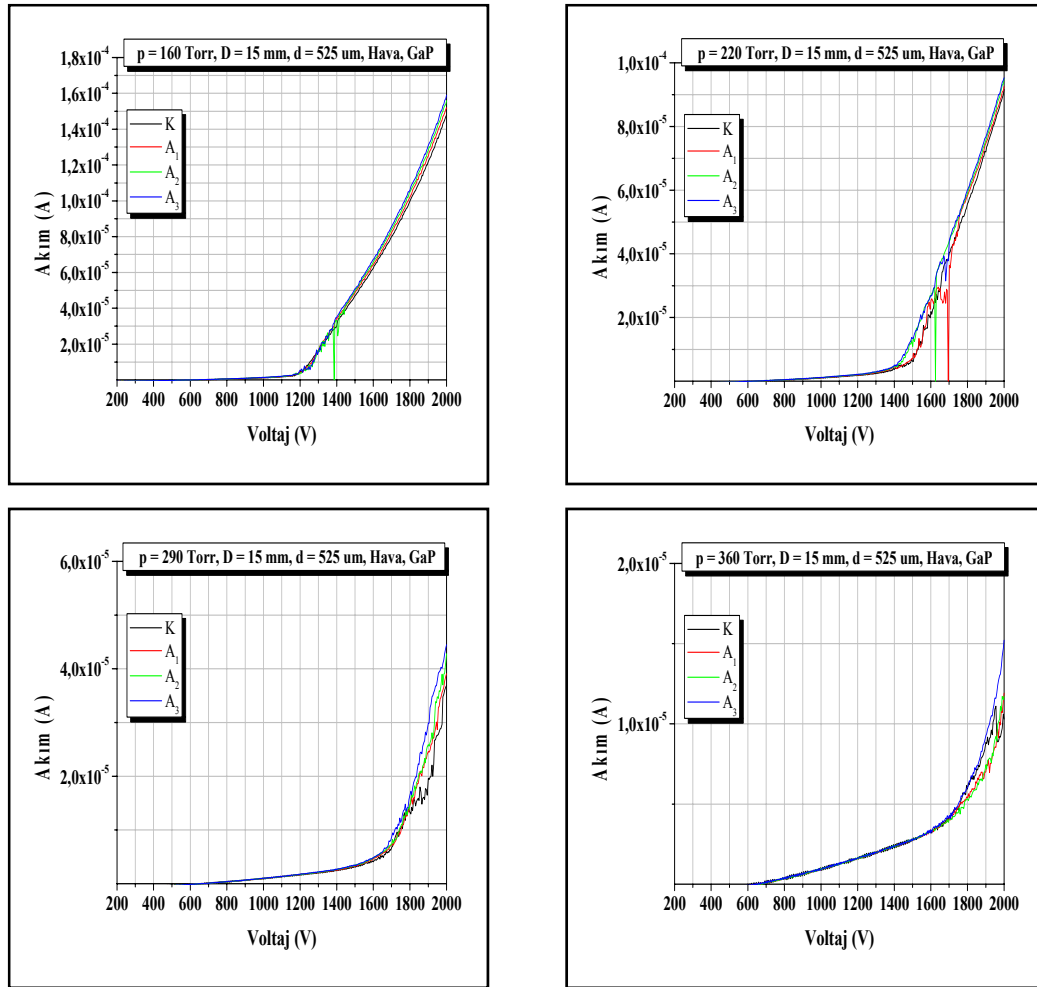
GaP'ın akım karakteristiğinin elektrotlar arası mesafeye bağımlılığını incelemek üzere $D=15$ mm elektrod çapı için $d=45$ μm , 143 μm , 323 μm ve 525 μm elektrotlar arası mesafede $p=160$ Torr, 220 Torr, 290 Torr ve 360 Torr basınçları incelenmiştir.



Şekil 7.1. GaP akım karakteristiğinin elektrotlar arası mesafeye bağımlılığı



Şekil 7.1. (Devam) GaP akım karakteristiğinin elektrodlar arası mesafeye bağımlılığı



Şekil 7.1. (Devam) GaP akım karakteristiğinin elektrodlar arası mesafeye bağımlılığı

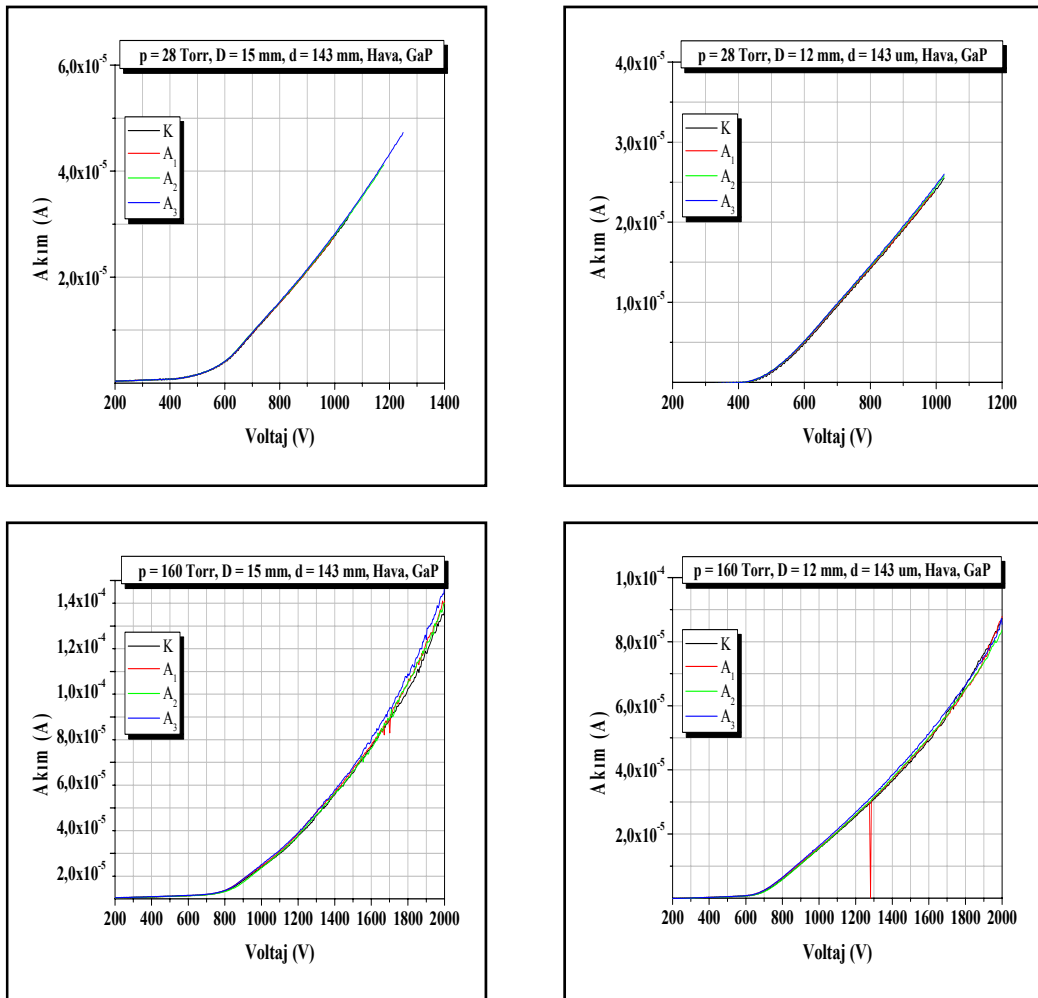
Deneyler esnasında, kızıl ötesi ışık kaynağı ile katot olarak kullanılan GaP homojen olarak aydınlatılmıştır. Aydınlatma yarıiletkenin fotoiletkenliğinin artmasına neden olmaktadır. Uzaysal homojen aydınlanmayı sağlamak için, homojen ışık basit optiksel deneysel düzenele hazırlanmıştır. Aydınlanma şiddeti A , filtrelerin kullanılmasıyla 10^{-6} - 10^{-2} Wcm^{-2} değerleri arasında değişmektedir. Maksimum aydınlanma şiddeti 8×10^{-2} Wcm^{-2} civarındadır. GaP indirekt band aralıklı bir yarıiletkenidir. Kızıl ötesi ışık absorbe edildiğinde, elektronlar uyarılır ve valans banddan iletim bandına geçişler olur. Bu iç fotoetki, materyalin öz direncini düşürür. İletkenlik σ , neredeyse yarıiletkeni aydınlatmakta kullanılan ışığın şiddetiyle lineer olarak değişir. Yukarıdaki grafiklerden de bu etki açıkça görülmektedir. Bütün grafikleri tek tek ele aldığımızda karanlık, aydınlık1, aydınlık2 ve aydınlık3 eğrileri

incelenirse; ışık şiddetinin en fazla olduğu A3 eğrisinde iletkenlik daha fazladır ki A3 eğrilerinde K, A1 ve A2 eğrilerine göre aynı voltaj değerlerinde akım, daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Örneğin $D = 15$ mm, $d = 525$ μm ve $p = 290$ Torr grafiğinde 2000V için akım değerlerine bakıldığında, karanlık için $3,69 \times 10^{-5}$ A, aydınlık1 için $3,91 \times 10^{-5}$ A, aydınlık2 için $4,28 \times 10^{-5}$ A ve aydınlık3 için $4,45 \times 10^{-5}$ A değerindedir. Aydınlık şiddeti arttıkça iletkenlik ve buna bağlı olarak akım artmıştır. Gaz aralığının iletkenliği, eşik değerine ulaştıktan sonra büyük ölçüde artar. Bu artış, iyonizasyon akımının değerine bağlı iken uygulanan voltajın polaritesine bağlı değildir. Tüm bu sonuçlar, yarıiletken yüzeyinin yüklenmesinden dolayı oluşan iyonizasyon alanının kapatılmasından sonra gaz aralığında difüzyon-sürüklenme denge durumunun oluşması prensibiyle açıklanabilir [62]. Başlangıçta uygulanan eşik öncesi voltaj $U_0 \leq U_B$ 'dir ve elektrik alan yapı boyunca düzgün olarak dağılmıştır. Yarıiletkenin direnci, iyonize olmamış gazın direncinden çok daha düşük olduğu için, yarıiletkenin yüzeyinde yük birikim farkedilebilir. Bu yüzden elektrik alan gaz aralığını iter ve bu sebeple eşik öncesi durumda yarıiletken katodun aydınlatılması yapıdaki akımın değerine etki etmez [62]. Yukarıda incelediğimiz örnek grafiğe tekrar dönecek olursak ($D = 15$ mm, $d = 525$ μm ve $p = 290$ Torr) eşik voltajına ulaşıncaya kadar (bu koşullar için ≈ 1705 V) K, A1, A2 ve A3 grafiklerinin birbirinden ayrılmadığını yani akımın hemen hemen aynı değerlerde olduğunu gözleriz. Böylece eşik öncesi farklı aydınlatma şiddetlerinin akım değerini etkilemediği gösterilir. Eşikten sonra iyonize gazın direnci yarıiletkenin direncinden çok küçük olduğundan, elektrik alanın yeniden dağılımı gözlenir. Sonuç olarak, elektrik alan gaz aralığından yarıiletken boyunca uygulanır ve yüklü kapasitör, iyonizasyon alanının kapatılmasından sonra yarıiletkenin yüzeyinde şekillenir. Gazdaki yük taşıyıcılarının konsantrasyonları küçüktür. Bu yüzden bizim sistemimizde elektrotlar arası mesafe, gaz aralığının boyutuna çok yakın olacaktır. Böylece elektrotlar arası mesafe gaz aralığındaki iletkenliği belirler. Bu yüzden gaz aralığındaki taşıyıcıların difüzyon-sürüklenme denge durumu, kalıcı gaz iletkenliğinin kararlılığını garantiler [62]. Grafikler genel olarak incelendiğinde; $d = 45$ μm , 143 μm , 323 μm ve 525 μm için grafikler alınmıştır. Bütün elektrotlar arası mesafe değerleri için 160 ve 220 Torr eğrileri daha kararlı durumu

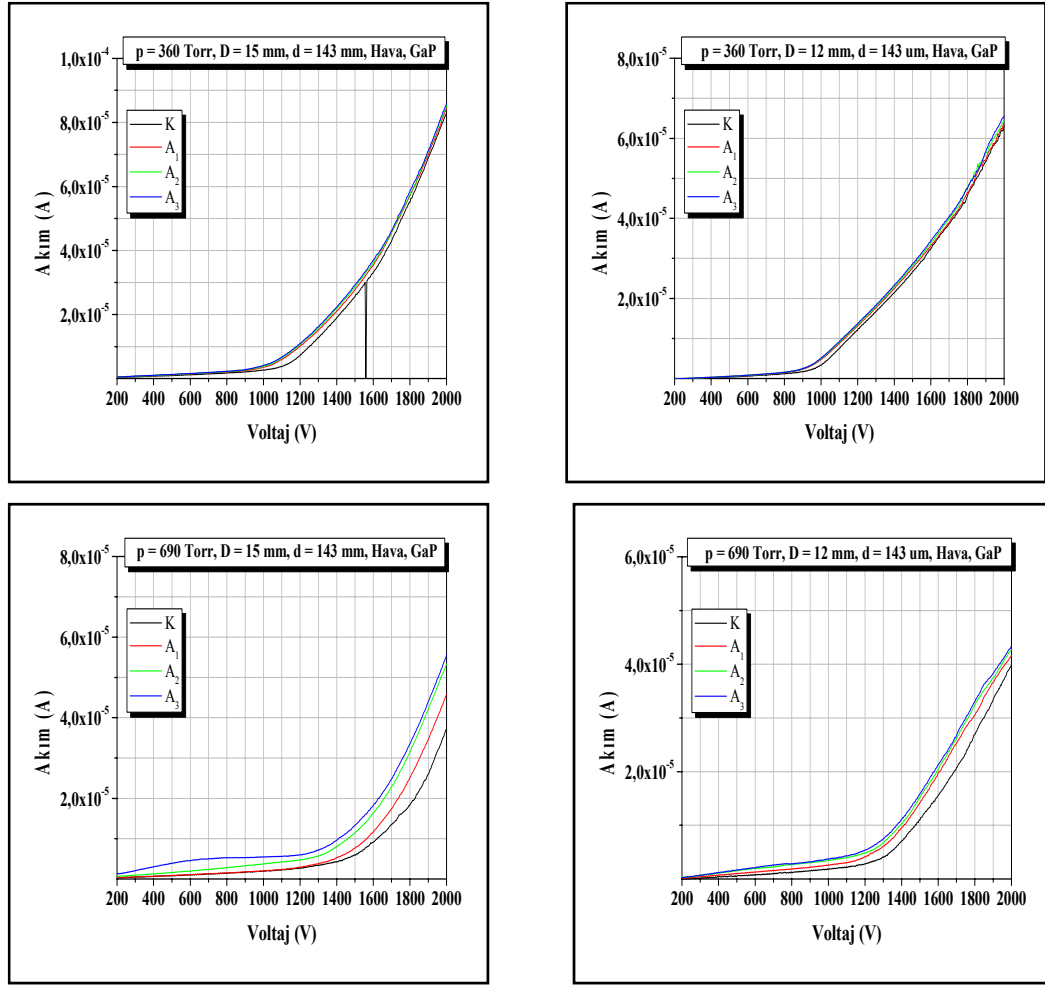
göstermektedir. Farklı mesafeler için aynı basınç değerleri incelendiğinde, $d=45\ \mu\text{m}$ için akım karakteristikleri daha karardır. $d=143\ \mu\text{m}$ için akım karakteristiği $d=45\ \mu\text{m}$ 'ye göre daha kararsız olmakla beraber, elektrotlar arası mesafenin daha büyük olduğı grafiklere göre daha karardır. $d=323\ \mu\text{m}$ 'de GaP'ın ışığa duyarlılığı artmış ve kararsızlığın aydınlanma şiddetiyle doğru orantılı artışı gözlenmiştir. $d=525\ \mu\text{m}$ 'de ise eğriler aydınlanma şiddetiyle orantılı olarak tamamen farklılaşmıştır.

7.2. GaP'ın Akım Karakteristiğinin Elektrodun Çapına Bağımlılığı

GaP'ın akım karakteristiğinin elektrodun çapına bağımlılığı $D=12\ \text{mm}$ ve $15\ \text{mm}$ için, $d=143\ \mu\text{m}$ 'de $p=28\ \text{Torr}$, $160\ \text{Torr}$, $360\ \text{Torr}$ ve $690\ \text{Torr}$ grafikleriyle incelendi.



Şekil 7.2. GaP'ın akım karakteristiğinin elektrodun çapına bağımlılığı



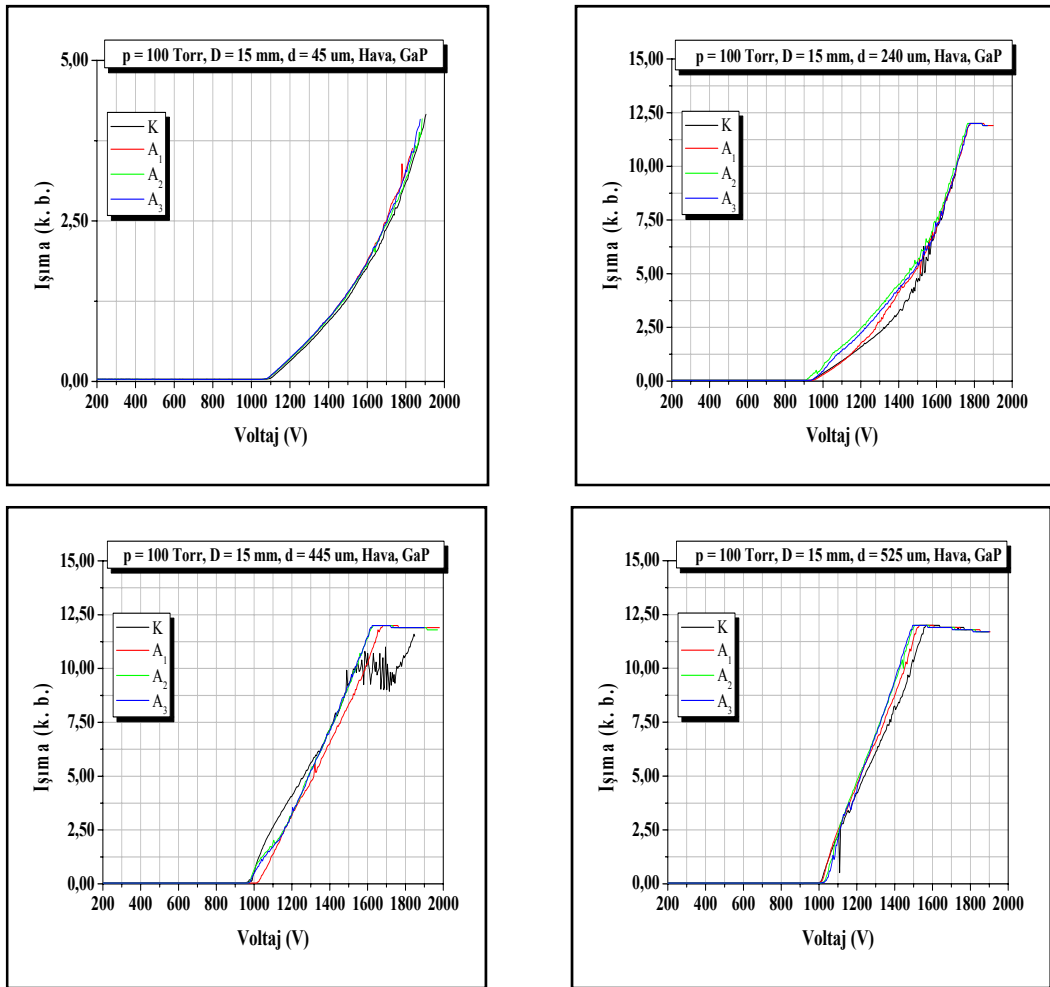
Şekil 7.2. (Devam) GaP'ın akım karakteristiğinin elektrodun çapına bağımlılığı

Düşük basınçta her iki elektrod çapı için akım karakteristiği daha karardır. Atmosferik basınçta çıkıldıkça ışığa duyarlılık artmış ve kararsızlıklar başlamıştır. D=12 mm ve D=15 mm'yi karşılaştırdığımızda ise elektrod çapı ile akım arasında doğru bir orantı olduğu görülmektedir. Bunun sebebi elektrod çapı büyümesiyle boşalmanın daha büyük bir aktif alanda gerçekleşmesidir. Sistemimizden aldığımız deneysel verileri genel olarak incelediğimizde D=15 mm'de D=12 mm'ye göre akım değerleri daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Örneğin D=15 mm, d=143 μm , p=690 Torr için 2000V'da A3 akım değeri $5,56 \times 10^{-5}$ iken D=12 mm, d=143 μm , p=690 Torr için 2000V'da A3 akım değeri $4,35 \times 10^{-5}$ 'dir. Grafikler tek tek ele alınacak olursa; sadece p=690 Torr ve d=143 μm için çizilen D=15 mm ve D=12 mm

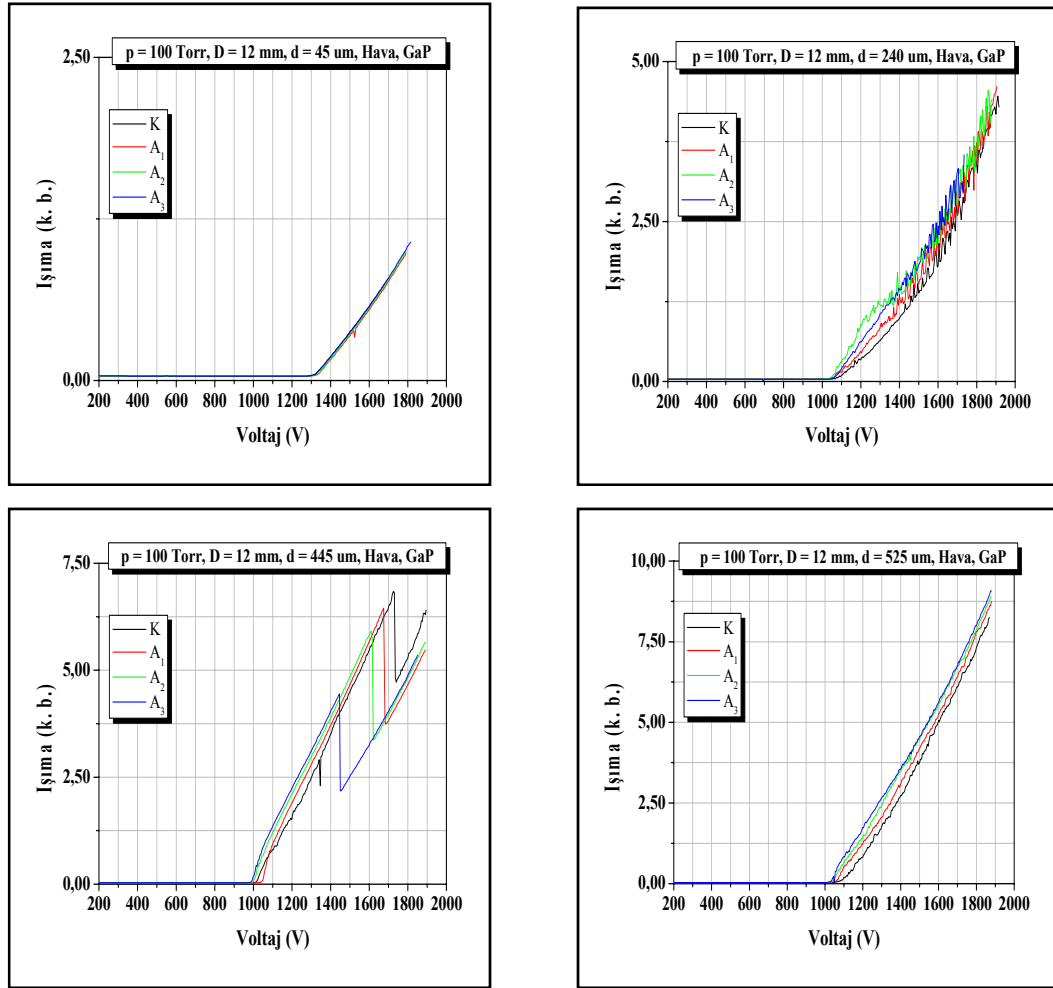
grafikleri farklılık gösterir. Bu grafiklerin sadece karanlık eğrilerinde $D=12$ mm'nin akım karakteristiği $D=15$ mm'den çok az büyük çıkmıştır. Burada genellemenin dışında bir deneysel sapma vardır. Bunun yanı sıra eğer eşik voltajına bakacak olursak aynı değerler için $D=15$ mm için $U_B=1415$ V, $D=12$ mm için $U_B=1375$ volt şeklindedir. Bu sonuçlar doğrultusunda, eşik voltajının da elektrodun çapıyla doğru bir orantı izlediğini söyleyebiliriz.

7.3. GaP'ın Işıma Karakteristiğinin Elektrotlar Arası Mesafeye Bağımlılığı

$D=12$ mm ve $D=15$ mm'den alınan iki grup incelenmiştir. Her iki grupta da $p=100$ Torr basınç için çizilen grafikler ele alınmıştır.



Şekil 7.3. $D=15$ mm için ışım karakteristiğinin elektrotlar arası mesafeye bağımlılığı



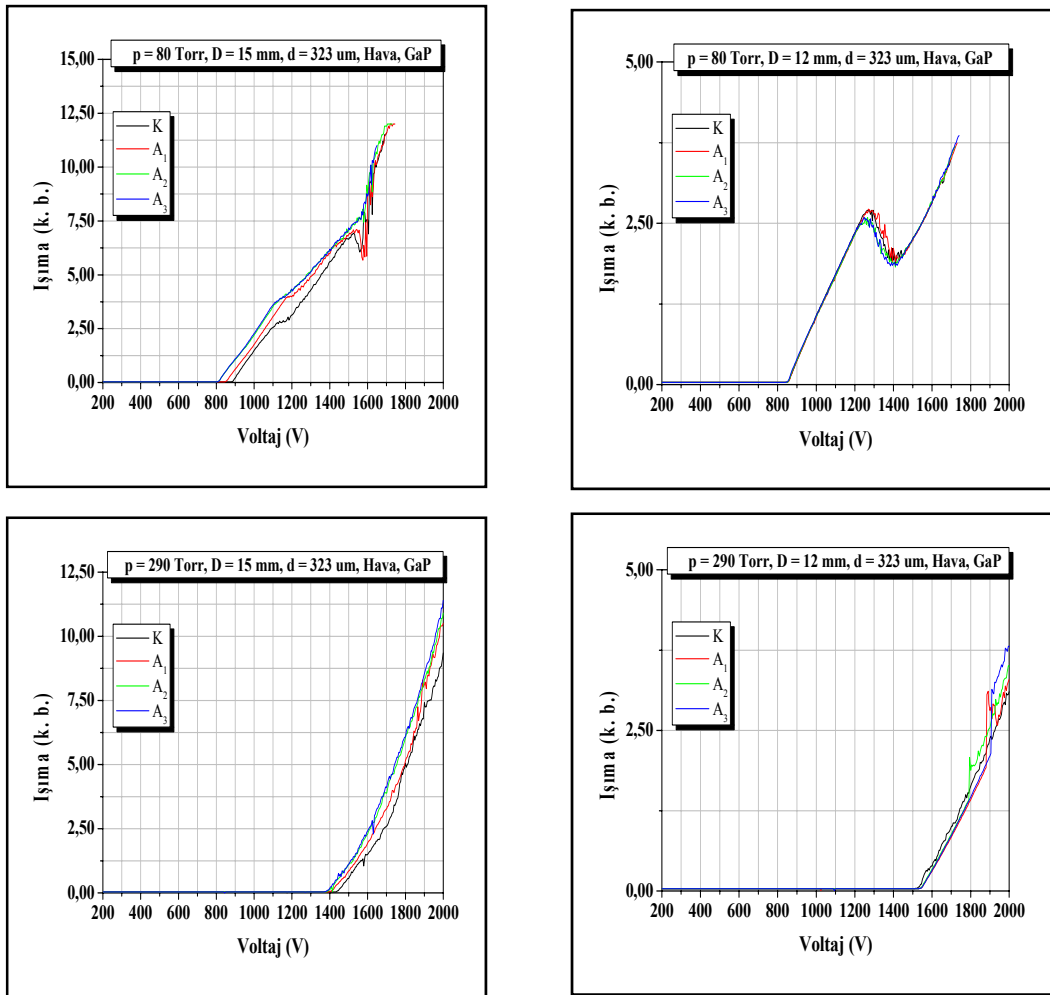
Şekil 7.4. D=12 mm için ışıma karakteristiğinin elektrotlar arası mesafeye bağımlılığı

Tüm grafiklerde başlangıçta ışıma olmamıştır. Bunun sebebi eşik voltajına ulaşmadan önce gazın ışıma yapmamasıdır. Gazın iletken hale geçmesi ve ışıma yapması ancak eşik voltajına eşit veya daha büyük voltaj değerlerinde mümkündür. Eşik voltajına ulaşıldıktan sonra grafiklerde K, A1, A2 ve A3 için ışıma eğrileri gözükür. Elektrotlar arası mesafe arttıkça ışıma değerleri yükselmiş ve kararsızlıklar artmıştır. Burada diğer grafiklerden farklı olarak D=12 mm, d=445 μ m, p=100 Torr grafiğinde önce artan sonra azalıp tekrar artan bir grafik görmekteyiz. Bunun sebebi negatif diferansiyel direnç etkisidir. Konuyla ilgili detaylı bilgi Bölüm 7.5’de verilmiştir.

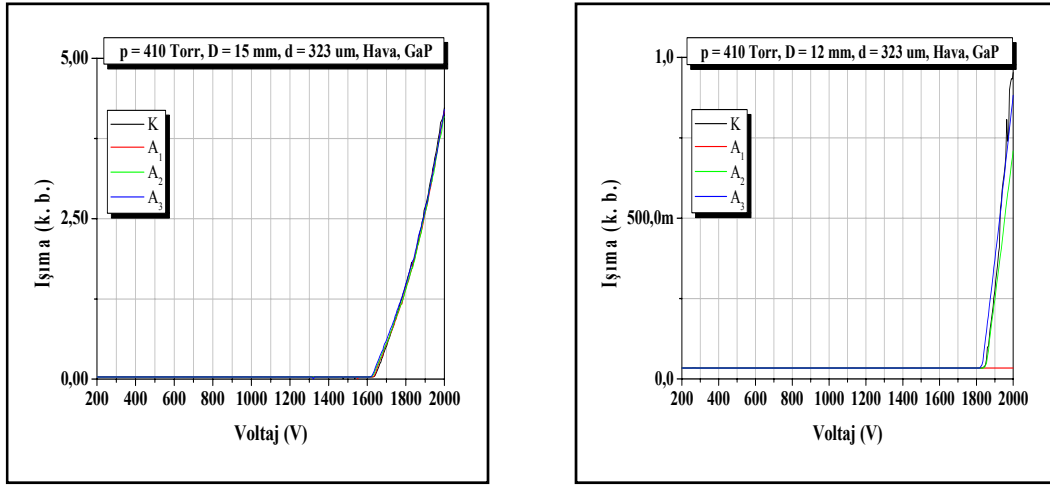
7.4. GaP'ın Işıma Karakteristiğinin Elektrodun Çapına Bağımlılığı

GaP'ın ışıma karakteristiğinin elektrodun çapına bağımlılığına bakarken, $D=12$ mm ve $D=15$ mm için elektrotlar arası mesafe $d=323$ μm için inceleme yapılmıştır.

Basınç değerleri ise $p=80$ Torr, 290 Torr ve 410 Torr seçilmiştir.



Şekil 7.5. GaP'ın ışıma karakteristiğinin elektrodun çapına bağımlılığı

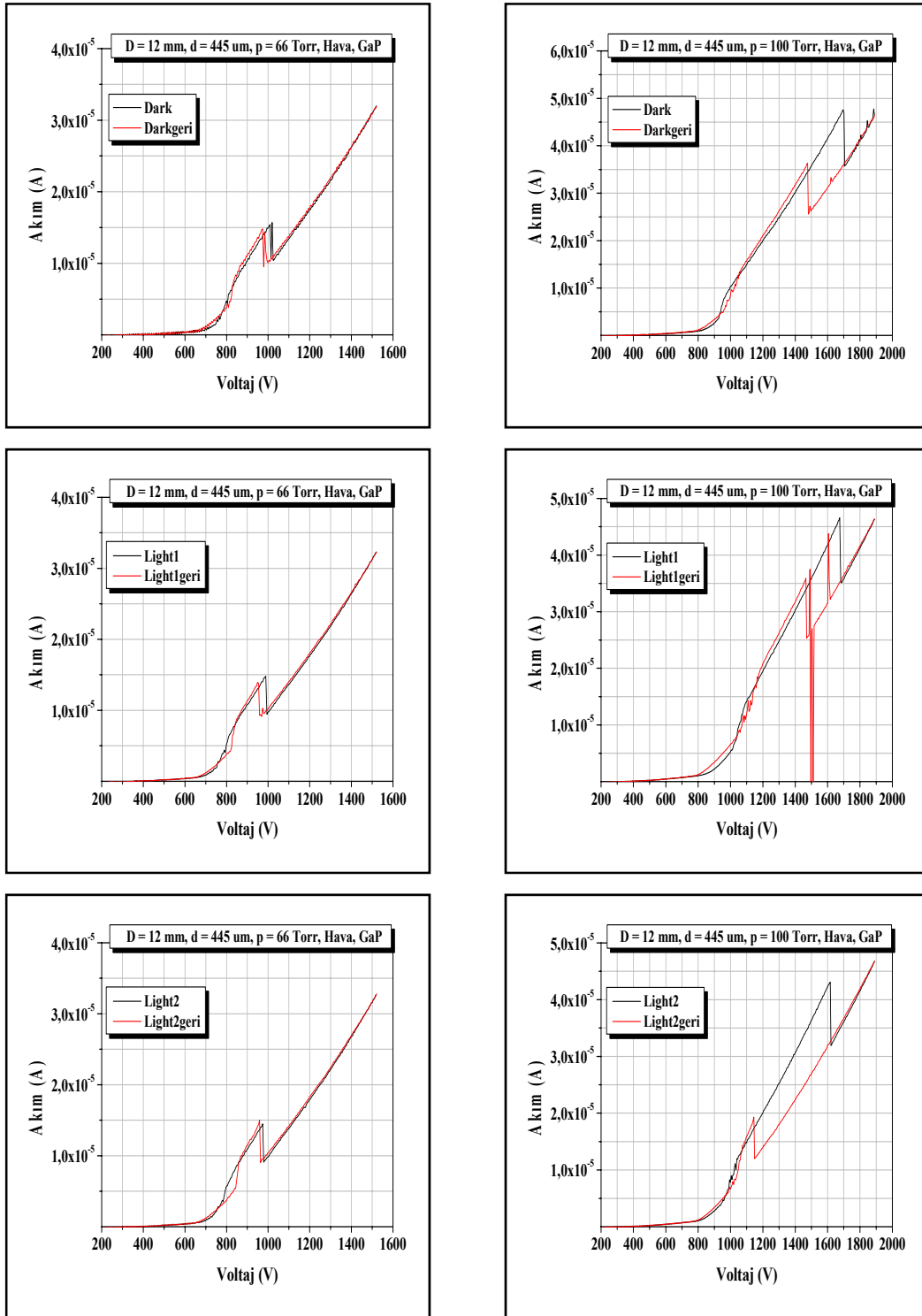


Şekil 7.5. (Devam) GaP'ın ışıma karakteristiğinin elektrodun çapına bağımlılığı

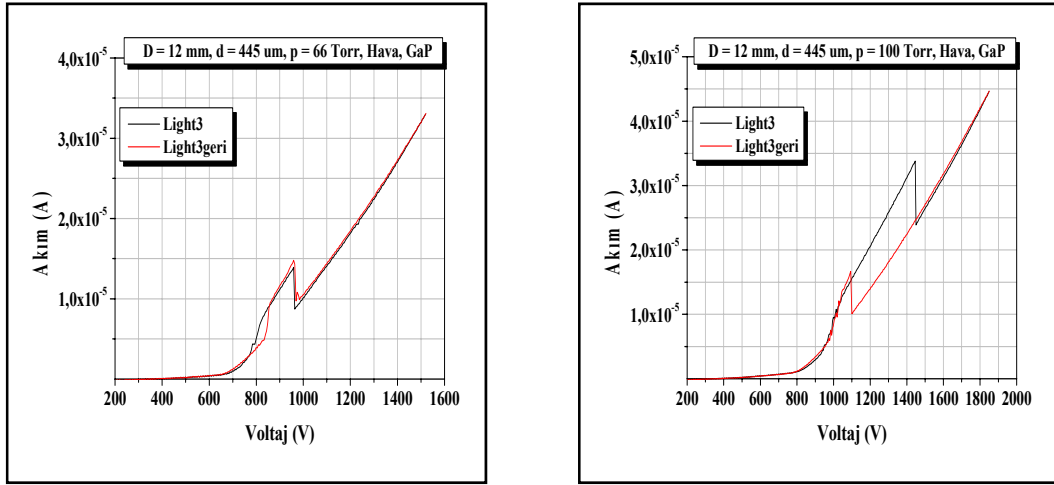
Grafiklerden artan basınç değeriyle ışıma karakteristiğinin kararlı hale geldiğini söyleyebiliriz. Elektrodun çapına baktığımızda; $D=15$ mm grafiklerinde, $D=12$ mm grafiklerine göre ışıma daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Sonuç olarak ışıma değeri ile elektrodun çapı arasında doğru orantı vardır. $D=12$ mm, $d=323$ μ m, $p=290$ Torr grafiğine baktığımızda eğrilerin Bölüm 7.3'te verilen örnek grafiğe ($D=12$ mm, $d=445$ μ m, $p=100$ Torr) benzer şekilde farklılaştığı görülür. Yine bunun da sebebi negatif diferansiyel direnç etkisidir. Her iki grafikte de $D=12$ mm değerinde negatif diferansiyel direnç etkisi ortaya çıkarken aynı parametreler için $D=15$ mm grafiğinde bu etki görülmemiştir. Işıma karakteristiği için $D = 12$ mm'nin negatif diferansiyel direnç etkisine daha hassas olduğu söylenebilir.

7.5. GaP'ın Negatif Diferansiyel Direnç Etkisi ve Histerisis Davranışlarının İncelenmesi

GaP'ın negatif diferansiyel direnç etkisi ve histerisis davranışları $D=12$ mm elektrod çapı, $d=445$ μ m elektrotlar arası mesafe değerleri için incelenmiştir. $p=66$ Torr ve 80 Torr basınçlarında karanlık, aydınlık1, aydınlık2 ve aydınlık3 grafiklerine bakılmıştır.



Şekil 7.6. GaP'ın negatif diferansiyel direnç etkisi ve histerisis davranışı



Şekil 7.6. (Devam) GaP'ın negatif diferansiyel direnç etkisi ve histerisis davranışı

Gaz boşalma bölgesi ile elektriksel olarak ara yüzey oluşturan GaP katodun nonlineer karakteristiği de incelenmiştir. Yarı iletken materyalin geçiş özellikleri, akım kaçakları, akım kararsızlıkları, akımdaki ve/veya voltajdaki süreksizlikler, akım verme ve histerik akım-voltaj fenomenleri gibi kararsızlıkları sunar. Bu gibi kararsızlıklar, materyallerin çoğu türünde, sıcaklık aralıklarında ve uyarılma durumlarında bulunur [63]. Bu yüzden, negatif diferansiyel direncin varlığı, yarıiletken materyaldeki kendine özgü kararsızlığın karakteristik özelliği gibi görülebilir. Negatif diferansiyel direnç, lineer olmayan elektriksel bir durumdur. Eğer akım yoğunluğu, elektrik alanın bazı değerlerinde lineer olarak bağımlı değilse iletkenlik negatif olacaktır. Bu durumda

$$\sigma = dJ/dE < 0 \quad (7.1)$$

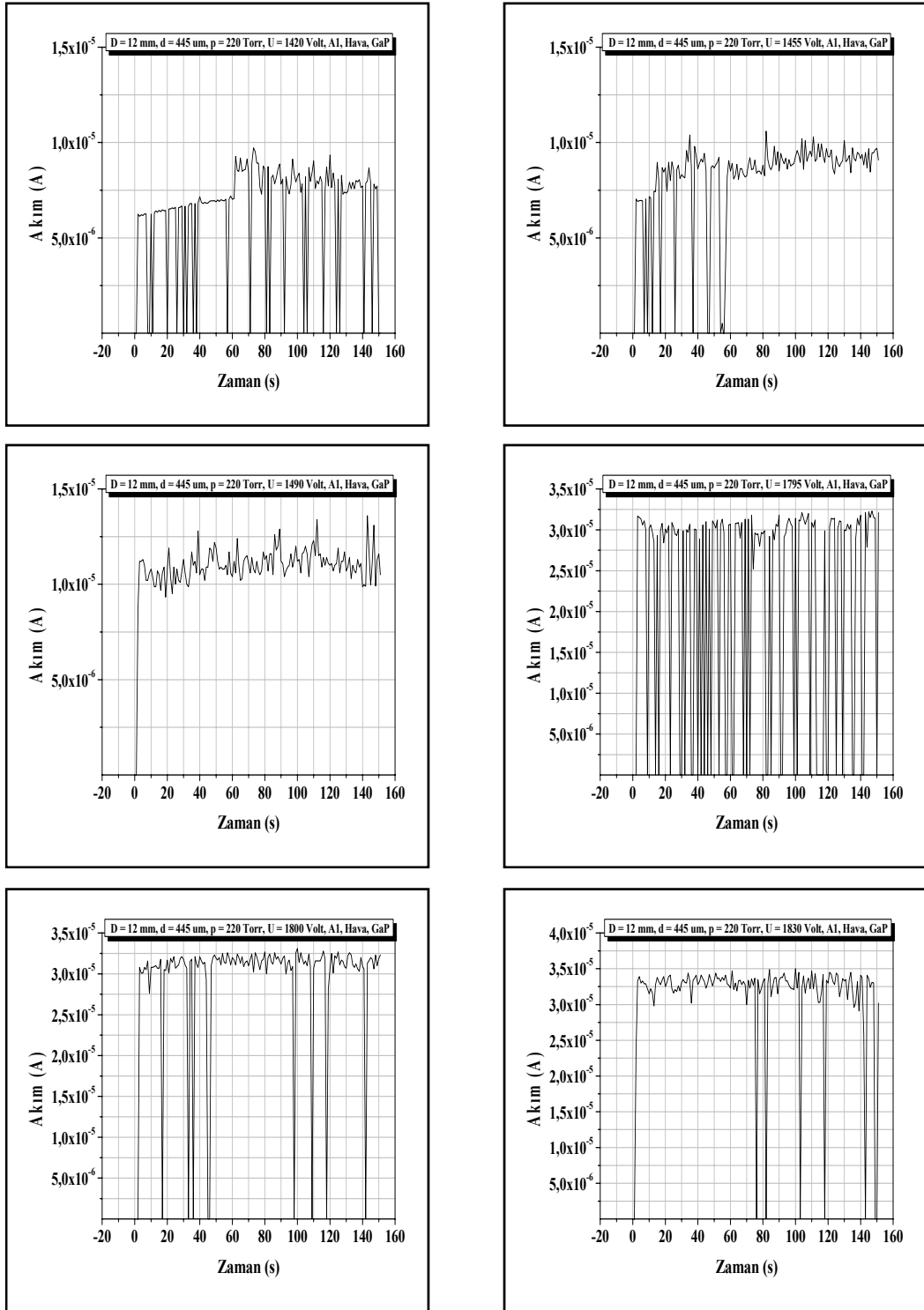
olacaktır. Yani bazı elektrik alan değerlerinde akım yoğunluğu artmasına rağmen elektrik alan azalmaktadır. Bu durum bizim deneysel çalışmalarımızda da tespit edilmiş olup, ayrıca tünel diyotlarda da karşılaşılan bir durumdur. Negatif diferansiyel direnç, GaP'ın akım ve ışım karakteristiğinde keskin bir düşüş etkisi gösterir.

EL2, derin donör tipi kusurlardır. EL2'lerin yerlerini tespiti yönelik çalışmalar halen

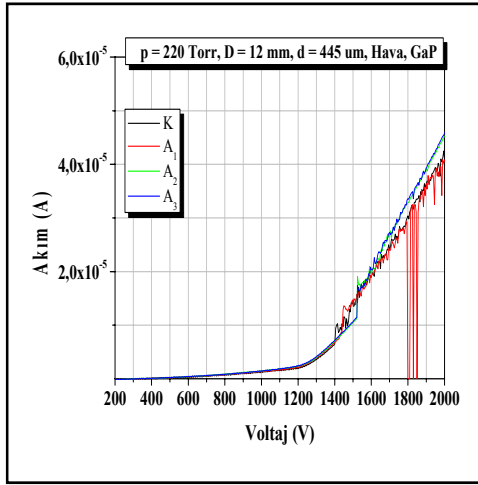
sürmektedir. Doğası oldukça karmaşıktır. Biz, sistemimizde bu kusurların yerlerini tespitten ziyade akım-voltaj ve ışıma-voltaj karakteristiklerine etkisini (eşik voltajından sonra voltaj artmasına rağmen akım ve ışıma değerlerinin düşmesiyle) tespit edebiliyoruz. GaP'ta EL2 kusuru elektron tuzağı gibi davranan en önemli kusurdur. EL2 kusurunun özelliklerine oldukça büyük bir ilgi vardır. GaP'ın kullanıldığı yerlerde devrelerin performansını geliştirmek için en iyi kalitede olması hayati önem taşır. Bu gereksinim direk olarak, GaP'ın yalıtılmasına neden olan kusurların (özellikle EL2), eksiksiz anlaşılmasını gerektirir. EL2 kusurlarının elektron tuzağı davranışıyla yüksek elektrik alandan ötürü, GaP'ta alanlar oluşur. Bu alanların çalışılması, EL2'nin özelliklerinin bulunması için doğal yoldur [62]. Yarıiletken katod yüzeyindeki birikmiş aktif yük alanının etkileşimi, EL2 kusurlarının doğasını ve GaP'ın elektronik geçiş özelliklerini etkiler. Çeşitli derecelerdeki elektrodların CVC histerisislerinin gaz doymuşluğuna bağlı olması gözlemlenir. Düşük gaz doymuşluğunun zayıf elektrod yüzeyleri kendini göz ardı edilebilir olarak açıkça gösterir. Bu durumda akım ölçüm işlemi CVC davranışını etkileyebilir [62]. Yukarıdaki grafikleri inceleyecek olursak akım karakteristiğinin önce artan, sonra azalan ve tekrar artan bir eğri çizdiğini görürüz. Burada akımın azalmasına sebep olan etki negatif diferansiyel direnç etkisidir. Grafikleri incelediğimizde, p=66 Torr'da bu etkinin p=100 Torr'a göre daha kısa süre etki ettiğini görürüz. Sonuç olarak artan basınç değerlerinde negatif diferansiyel direncin daha geniş bir aralıkta etki ettiğini söylemek mümkündür.

7.6. GaP'ın Akım-Zaman Grafikleri

GaP'ın D=12 mm, d= 445 μ m, p=220 Torr için akım-zaman grafikleri incelenmiştir. Akım-zaman grafiğini tek başına yorumlamak doğru değildir. Grafiklerin daha açıklayıcı olması için aynı değerlerdeki akım-voltaj grafiği de verilmiştir.



Şekil 7. 7. GaP'ın akım-zaman grafiği

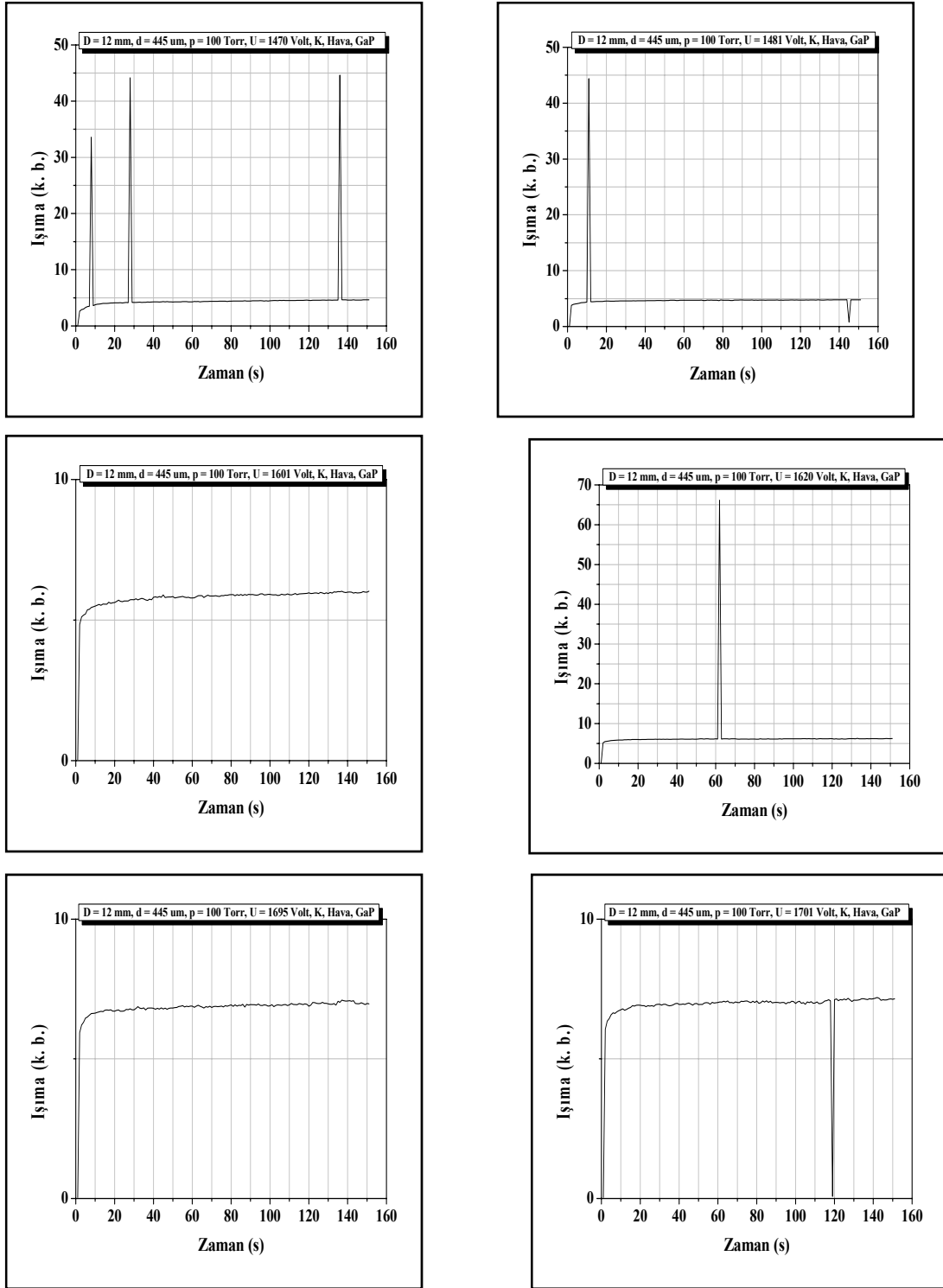


Şekil 7.8. GaP'ın $D=12$ mm, $d=445$ μ m, $p=220$ Torr için akım-voltaj grafiği

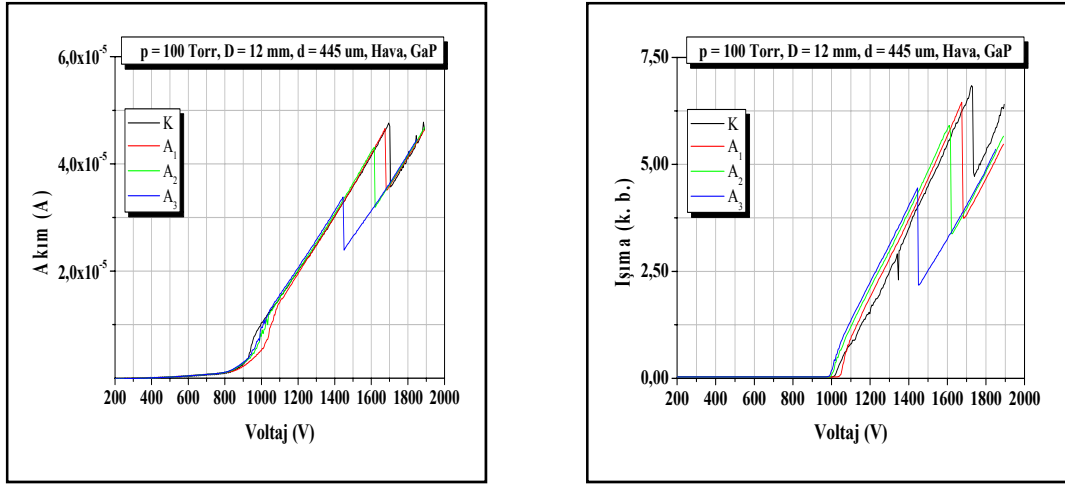
Akım-voltaj grafiğinde kararsızlıkların başlamasıyla beraber (≈ 1400 V) akım-zaman grafiklerinde de osilasyonlar başlamıştır. Kararsızlığın en fazla olduğu bölge ise osilasyonların en sık olduğu noktadır (≈ 1800 V). 1400-1500 V aralığında ise akım-voltaj grafiğinde negatif diferansiyel direnç etkisi gözlenir. Bu değerler arasındaki akım-zaman grafiklerinde de kararsızlığın azaldığı noktalara göre daha fazla osilasyon meydana gelmiştir. Sonuç olarak akım-zaman grafiklerinde, kararsızlığın olduğu noktalarda osilasyonlar meydana gelir ve osilasyon sıklığı kararsızlıkla doğru orantılıdır. Osilasyon oluşumunda bir diğer etken ise negatif diferansiyel direnç etkisidir. Meydana gelen osilasyon sıklığı negatif diferansiyel direnç etkisiyle de doğru orantı gösterir.

7.7. GaP'ın Işıma-Zaman Grafikleri

GaP'ın ışıma-zaman grafikleri $D=12$ mm elektrod çapı, $d=445$ μ m elektrotlar arası mesafe ve $p=690$ Torr basıncı için incelenmiştir. GaP'ın ışıma-zaman grafiklerinin daha net değerlendirilebilmesi için aynı koşullarda ($D=12$ mm, $d=445$ μ m, $p=690$ Torr) akım-voltaj ve ışıma-voltaj grafikleri verilmiştir.



Şekil 7.9. GaP'ın ışıma-zaman grafikleri



Şekil 7.10. GaP'ın $D=12$ mm, $d=445$ μ m, $p=100$ Torr için akım-voltaj ve ışıma-voltaj grafikleri

Akım-voltaj grafiğine baktığımızda 1450-1700 V aralığında negatif diferansiyel direnç etkisi gözlenmektedir. Aynı etki ışıma-voltaj grafiğinde de kendisini göstermektedir. Akım-zaman grafiğinden bahsederken Bölüm 7.6'da negatif diferansiyel direncin etkili olduğu yerlerde daha fazla sayıda osilasyon meydana geldiğinden bahsetmiştik. Işıma-zaman grafiğine baktığımızda aynı etkiyi görememekteyiz. Grafikleri incelediğimizde çok az osilasyon gözleriz. Zaten akım voltaj ve ışıma voltaj karakteristikleri de bu durumu desteklemektedir. Dikkat edilirse negatif diferansiyel direnç bölgesinde akım ve ışıma kararsızlıkları çok az görülmektedir.

8. SONUÇ VE YORUMLAR

Gazlardaki elektriksel boşalma süreci esnasında hücrede plazma ortamı oluşur. Plazma, dış ortama karşı elektriksel olarak nötrdür. Yani plazma içerisindeki pozitif yüklerin sayısı, negatif yüklerin sayısına eşittir. Plazma içerisindeki ayrışma, iyonizasyon ve bu olayların tersi olan yeniden yapılanma (rekombinasyon) olayları sürekli meydana gelir. Adı geçen bu olaylar kendi aralarında plazma içerisinde bir dinamik denge halinde bulunurlar. Plazma iyi bir elektrik ve ısı iletkenidir.

Deneyler açıkça göstermektedir ki hava ortamında boşalma çok farklı özellikler sergilemektedir. Bazı koşullarda kararsız durumlar da tespit edilmiştir. Ancak bu tür kararsızlıkları tespit etmek atmosferik basınçlarda sistemin karalı ve kontrol edilebilir işlemini gerçekleştirmek için son derece önemlidir.

Bu çalışmada plazma ortamında GaP yarıiletken katodun akım ve ışıma karakteristikleri ele alınmıştır. Çalışmalar hava ortamında ve oda sıcaklığında yapılmıştır. GaP, hem direkt geçiş bölgesine hem de indirekt geçiş bölgesine sahip indirekt band aralıklı bir yarı iletkenidir. Bu özellik GaP'taki negatif diferansiyel direnç etkisi ile ortaya çıkar. Negatif diferansiyel direnç etkisinin olduğu noktalarda GaP tıpkı direkt band aralıklı yarı iletken gibi davranır ve bu noktalarda serbest yük oluşumu süreci daha hızlı olduğu için, negatif diferansiyel direnç etkisiyle akım ve ışıma değerleri daha hızlı bir artış gösterir. Bunun sonucunda kararsızlık bu etkiyle doğru orantılı olarak artar.

Deney sonuçlarını genel olarak ele aldığımızda GaP'ta akım ve ışıma karakteristiklerinin elektrotlar arası mesafe ve elektrod çapının artışıyla doğru orantılı olarak arttığı ve kararsızlaştığı söylenebilir. İlgili bölümlerde verilen akım-voltaj, ışıma-voltaj grafiklerini incelediğimizde bu sonucu görebiliriz.

Deneyisel çalışmalar yapılırken incelenen bir diğer parametre ise basınçtır. Bulduğumuz sonuçlar, kızıl ötesi ışık ile kontrol edilen homojen termal olmayan atmosferik basınç plazmaların elde edilmesinde kullanılabilir. Optimal boşalma

şartlarında kullandığımız plazma sistemi 690 Torr basınca kadar çalışabilmektedir. Buradan şu önemli sonuç çıkar: Sistemimizi yüksek basınçlara kadar kullanabiliriz. Bunun yanı sıra basıncın artmasıyla da hem akım hem de ışıma karakteristiğinde kararsızlıklar artmıştır. GaP yarıiletken dedektör basınç arttıkça ışığa duyarlı bir hale gelir. Yüksek basınçlarda, farklı aydınlatma şiddetleri için (K, A1, A2, A3) çizilen akım ve ışıma eğrileri farklılık göstermiştir. Sonuç olarak GaP, fotodedektör olarak kullanıma düşük basınç değerlerine göre atmosferik basınçta daha uygundur. Düşük basınçlarda iyi çalışan fotodedektörlerin vakum sistemi maliyeti göz önünde bulundurulursa, GaP atmosferik basınçta daha elverişli çalışan bir fotodedektör olarak maliyet düşüklüğü avantajı sağlar. Bununla birlikte, yapılan çalışmaların oda sıcaklığında olması sebebiyle, GaP'ın optik cihazlarda kullanımı için ayrı bir soğutma ya da ısıtma sistemi gerekmemektedir. Bu sebeplerden ötürü optik cihazlarda GaP'ın kullanımı daha elverişlidir.

Bir diğer avantajı ise negatif diferansiyel direnç etkisinin ışıma-zaman grafiğine çok az yansımastır. Negatif diferansiyel direnç etkisi, ışıma zaman grafiğinde neredeyse yok denecek kadar az osilasyona neden olduğu için, farklı gaz ortamları incelenirken, bu ortamların ışıma üzerine etkisi daha net ortaya konabilir.

KAYNAKLAR

1. Sauli, F., "GEM: A new concept for electron amplification in gas detectors", *Nucl. Instrum. Methods A*, 386 531-534 (1997).
2. Becker, K. H., Schoenbach, K. H. ve Eden, J. G., "Microplasmas and applications", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 39 R55-R70 (2006).
3. Klar, H. ve Morgner, H., "Angular distribution of negative ions formed in dissociative attachment", *J. Phys. B : Atom. Molec. Phys.*, 12 2369-2377 (1979).
4. Gericke, K. H., Gelner, C. ve Scheffler, P., "Microstructure electrodes as a means of creating uniform discharges at atmospheric pressure", *Vacuum*, 65 291-297 (2002).
5. Salamov, B. G., Buyukakkas, S., Ozer, M. ve Colakoglu, K., "Behavior of current in gas discharge system between parallel-plane electrodes", *Eur. Phys. J. Appl. Phys.*, 2 275-279 (1998).
6. Salamov, B. G., Colakoglu, K. ve Altındal, S., "Recording the resistance inhomogeneity in high-resistivity semiconductors plates", *Infrared Phys. & Technol.*, 36 661-668 (1995).
7. Wang, X. J., Wang, L. L., Huang, W. Q., Tang, L. M., Zou, B. S. ve Chen, K. Q., "A surface optical phonon assisted transition in a semi-infinite superlattice with a cap layer", *Semicond. Sci. Technol.* 21 751 (2006).
8. Zhang, Z. C. ve Li, J.-L., "Dielectric characteristic and local phase transition of gallium phosphide nanosolid", *J. Mater. Sci.* 46: 5079 5084 (2011).
9. Liu, F., Li, Y., Xing, Q., Chai, L., Hu, M., Wang, C., Deng, Y., Sun, Q. ve Wang, C., "Three-photon absorption and Kerr nonlinearity in undoped bulk GaP excited by a femtosecond laser at 1040 nm", *J. Opt.* 12 095201 (2010).
10. Yücel, H. H., "Yüksek hızlı ölçümler için yarı iletken gaz boşalma aralık yapısının karakteristikleri", Y. Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü* (1999).
11. İnternet: <http://tr.wikipedia.org/wiki>, "Plazma (fizik)" (2012).
12. İnternet: <http://www.turkcebilgi.com>, "Plazma (fizik) resimleri" (2012).
13. İnternet: <http://www.setterfield.org>, "The plasma model of creation" (2012).
14. İnternet: <http://www.dijitalmagazin.net>, "Maddenin 4.hali plazma" (2012).

15. Hansu, F., “Bariyer boşalmasının gaz-dielektrik ve sıvı-dielektrik sistemlerinin sorbsiyon özellikleri üzerine etkisi”, Y. Lisans Tezi, **İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi** (2005).
16. Yıldırım, H., Kalenderli, Ö., “Korona başlangıç geriliminin yük benzetim yöntemiyle hesabı”, **İTÜ Dergisi / D Mühendislik**, 4 25-36 (2005).
17. İnalöz, A., “Yarıiletken gaz boşalma sisteminde plazma süreçlerinin özellikleri”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü** (2010).
18. Becker, K. H., Kogelschatz, U., Schoenbach, K. H. ve Barker, R. J., “Non equilibrium air plasmas at atmospheric pressure”, **Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia**, 29-35 (2005).
19. Nozaki, T., Okazaki, K., “Carbon nanotube synthesis in atmospheric pressure Glow discharge: a review”, **Plasma Processes and Polymers** (2008).
20. Nozaki, T., Kimura, Y. ve Okazaki, K., “Carbon nanotubes deposition in glow barrier discharge enhanced catalytic CVD”, **J. Phys. D: Appl. Phys.** 35 2779 (2002).
21. Nozaki, T., Ohnishi, K., Okazaki, K. ve Kortshagen, U., “Fabrication of vertically aligned single-walled carbon nanotubes in atmospheric pressure non-thermal plasma CVD”, **Carbon** 45 364 (2007).
22. Jidenko, N., Jimenez, C., Massines, F. ve Borra, J. P., “Nano-particle size-dependent charging and electro-deposition in dielectric barrier discharges at atmospheric pressure for thin SiO_x film deposition”, **J. Phys. D: Appl. Phys.** 40 4155 (2007).
23. Kakiuchi, H., Ohmi, H., Kuwahara, Y., Matsumoto, M., Ebata, Y., Yasutake, K., Yoshii, K. ve Mori, Y., “High-rate deposition of intrinsic amorphous silicon layers for solar cells using very high frequency plasma at atmospheric pressure”, **Jpn. J. Appl. Phys.** 45 3587 (2006).
24. Kitabatake, H., Suemitsu, M., Kitahata, H., Nakajima, S., Uehara, T. ve Toyoshima, Y., “Incubation-free growth of polycrystalline Si films by plasma-enhanced chemical vapor deposition using pulsed discharge under near atmospheric pressure”, **Jpn. J. Appl. Phys.** 44 L683 (2005).
25. Nozaki, T. ve Okazaki, K., “Carbon Nanotube Synthesis in Atmospheric Pressure Glow Discharge: A Review”, **Plasma Processes and Polymers** (2008).

26. Olçay, İ., “Radyasyon dedeksiyonunda kullanılan yarıiletken dedektör tipleri, özellikleri ve kullanım alanları”, Y. Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü* (2007).
27. Ulu, Y. A., “ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ nanoyapılarının kimyasal aşındırma yöntemi ile incelenmesi”, Y. Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü* (2007).
28. Ribeiro-Silva, C. I., Rino, J. P., Luis, G. V., Gonçalves, Alves ve Picinin, A., “An effective interaction potential for gallium phosphide”, *J. Phys.: Condens. Matter* 23 055801 (2011).
29. Hatami, F., Lordi, V., Harris, J. S., Kostial, H. ve Masselink, W. T., “Red light-emitting diodes based on InP/GaP quantum dots”, *J. Appl. Phys.* 97 096106 (2005).
30. Waldemar, H., Martensson, T., Prinz, C., Gustavsson, P., Montelius, L., Samuelson, L. ve Martin, K., “Gallium phosphide nanowires as a substrate for cultured neurons”, *Nano Lett.* 7 2960 (2007).
31. Baublitz, M. ve Ruoff, A. L., “Diffraction studies of the high pressure phases of GaAs and GaP”, *J. Appl. Phys.* 53 6179 (1982).
32. Hu, J. Z., Black, D. R. ve Spain, I. L., “GaP at ultrahigh pressure”, *Solid State Commun.* 51 285 (1984).
33. Nelmes, R. J., McMahon, M. I. ve Belmonte, S. A., “Nanoexistence of the diatomic β -tin structure”, *Phys. Rev. Lett.* 79 3668 (1997).
34. Aquilanti, G., Libotte, H., Crichton, W. A., Pascarelli, S., Trapananti, A. ve Itié, J.-P., “High-pressure phase of GaP: Structure and chemical ordering”, *Phys. Rev. B* 76 064103 (2007).
35. Mujica, A. ve Needs, R. J., “Theoretical study of the high-pressure phase stability of GaP, InP and InAs”, *Phys. Rev. B* 55 9659 (1997).
36. Mujica, A., Muñoz, A. ve Needs, R. J., “Theoretical study of the cinnabar phases in GaAs and GaP”, *Phys. Rev. B* 57 1344 (1998).
37. Rivoire, K., Lin, Z., Hatami, F., Masselink, W. T. ve Vučković, J., “Second harmonic generation in gallium phosphide photonic crystal nanocavities with ultralow continuous wave pump power”, *Optics Express*, 17 22609-22615 (2009).
38. Eyres, L. A., Turreau, P. J., Pinguet, T. J., Ebert, C. B., Harris, J. S., Fejer, M. M., Becouarn, L., Gerard, B. ve Lallier, E., “All-epitaxial fabrication of thick, orientation-patterned GaAs films for nonlinear optical frequency conversion”, *Appl. Phys. Lett.* 79 904-906 (2001).

39. Liscidini, M., Locatelli, A., Andreani, L. C. ve De Angelis, C., “Maximum-Exponent Scaling Behavior of Optical Second-Harmonic Generation in Finite Multilayer Photonic Crystals”, *Phys. Rev. Lett.* 99 053907 (2007).
40. Mičić, O. I., Sprague, J. R., Curtis, C. J., Jones, K. M., Machol, J. L., Nozik, A. J., Giessen, H., Fluegel, B., Mohs, G. ve Peyghambarian, N., “Synthesis and characterization of InP, GaP and GaInP2 quantum dots”, *J. Phys. Chem.* 99 7754 (1995).
41. Yue, L. Y., Zhang, Z. C. ve Chen, X., “Absorption and fluorescence spectra of gallium phosphide (GaP) nanoparticles”, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 16 863 (2006).
42. Kish, F. A. et al, “Very high-efficiency semiconductor wafer-bonded transparent-substrate $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}/\text{GaP}$ light emitting diodes”, *Appl. Phys. Lett.* 64 2839–41 (1994).
43. Fuss, I. ve Smart, D., “Cryogenic gallium phosphide acusto-optik deflectors”, *Appl. Opt.* 30 4526–7 (1991).
44. Rychnovsky, S. J., Allan, G. R., Venzke, C. H., Smirl, A. L. ve Boggess, T. F., “Optical nonlinearities and optical limiting in GaP at 532 nm in nonlinear and electro-optic materials for optical switching”, *Bellingham, WA: SPIE Optical Engineering Press* 191–6 (1992).
45. Zhang, Q. X., Zhang, Z. C. ve Wang, B. P., “Study on optical properties associated with intrinsic defects in GaP nanoparticles”, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 41 185403 (2008).
46. Zhang, Q. ve Zhang, Z. C., “Surface mode absorption and infrared optical properties of gallium phosphide nanoparticles”, *Appl. Phys. A Materials Science and Processing* 91 631 635 (2008).
47. Chen, L. Y., Luo, T., Huang, M. X., Gu, Y. L., Shi, L. ve Qian, Y. T., “A mild reduction-phosphidation approach to nanocrystalline GaP”, *Solid State Commun.* 132 667 (2004).
48. Gao, S. M., Cui, D. L., Huang, B. B. ve Jiang, M. H., “Study on the factors affecting the particles size of GaP nanocrystalline materials”, *J. Cryst. Growth* 192 89 (1998).
49. Liu, B. D., Bando, Y., Tang, C. C. ve Xu, F. F., “Synthesis of GaP nanowires with Ga_2O_3 coating”, *Appl. Phys. A* 80 1585 (2005).
50. Liu, B. Y., Wei, L. W., Ding, Q. M. ve Yao, J. L., “Synthesis and optical study of GaP nanowires”, *Nanotechnology* 15 1745 (2004).

51. Seo, H. W., Bae, S. Y. ve Park, J., Yang, H., Kang, M., Kim, S., Park, J. C., Lee, S. Y., “Nitrogen-doped gallium phosphide nanobelts”, *Appl. Phys. Lett.* 82 3752 (2003).
52. Tang, C., Fan, S., de la Chapelle, L. M., Dang, H. ve Li, P., “Synthesis of gallium phosphide nanorods”, *Adv. Mater.* 12 1346 (2000).
53. Kaufmann, U., Schneider, J. ve Räuber, A., “ESR detection of antisite lattice defects in GaP, CdSiP₂ and ZnGeP₂”, *Appl. Phys. Lett.* 29 312 (1976).
54. Palczewska, M., Jasinski, J., Korona, K., Kaminska, M., Bourret, E. D. ve Elliot, A. G., “Antisite defects created in neutron irradiated GaP crystals”, *J. Appl. Phys.* 78 3680 (1995).
55. Lee, K. M., “Observation of the Ga self-interstitial defect in GaP”, *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* 104 449 (1988).
56. Raizer, Y.P., “Gas discharge physics”, *Springer, Berlin* 330 448 (1991).
57. Yücel, Kurt, H. H., “Işığa duyarlı yarıiletken gaz boşalma yapısının karakteristik özellikleri”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü* (2004).
58. Ward, A. L., “Effect of space charge in cold-cathode discharges”, *Phys. Rev.* 112: 852 1857 (1958).
59. Astrov, Yu. A. ve Portsel, L. M., “Experimental evidence for zigzag instability of solitary stripes in a gas discharge system”, deposited in *VINITI N* 1494, 22:332 415 (1980).
60. Astrov, Yu. A. ve 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).
61. 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).
62. Sadiq, Y., Kurt, H. ve Salamov, B. G., “Memory effect in semiconductor gas discharge electronic devices”, *Journal of Phys. D: Appl. Phys.*, volume 41, pp. 225204 (2008).
63. Shaw, M. P., Mitin, V. V., Schöll, E. ve Grubin, H. L., “The physics of instabilities in solid state electron devices”, *New York: Plenum* (1992).

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Soyadı, adı : FİKİRLİ, Özlem
Uyruğu : T.C.
Doğum yeri ve tarihi :Ankara, 28.07.1984
Telefon : 0 (312) 360 79 69
e-mail : ozlemfikirli_84@hotmail.com

EĞİTİM

Lise	Gazi Anadolu Lisesi	1999-2002
Üniversite	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi	2002-2008
Üniversite	Anadolu Üniversitesi	2009-

İŞ TECRÜBELERİ

Sanovel İlaç Tic. Ve San. A.Ş. 01.07.2010-

YABANCI DİLLER

İngilizce

Rusça