

# Çift Gaz Boşalma Aralıklı Plazma Hücrelerinde *GaAs* Yarıiletken Yüzeyindeki Oksitlenmenin Sistem Karakteristiklerine Etkisi

Hilal Yücel KURT, Gülcan KALKAN, Metin ÖZER, Evrim TANRIVERDİ, Duygu YİĞİT

Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 06500, Teknikokullar/ANKARA

## ÖZET

*GaAs* yarıiletken katotlu çift gaz boşalma aralıklı plazma hücrelerinde sistem karakteristiklerinin oksitlenme nedeniyle kararsızlık sergilediği deneysel olarak elde edilmiştir. Sistem karakteristikleri geniş bir gaz basıncı ( $p = 28 - 342$  Torr), elektrotlar arası mesafe ( $d_1 = 50 \mu\text{m}$   $d_2 = 50 - 320 \mu\text{m}$ ) ve  $D = 9$  mm lik yarıiletken katot çapı için deneysel olarak araştırıldı.  $U = 200-2000$  Volt besleme gerilimi altında, Paschen eğrisinden kritik voltaj değerleri belirlendi.

**Anahtar Kelimeler:** Gaz boşalması, *GaAs*, plazma, oksitlenme, çift aralık

## The Effect of The Oxidation on *GaAs* Semiconductor Surface to the System Characteristics in A Double-Gapped Plasma Cell

### ABSTRACT

The system characteristic in a double gap gas discharge plasma cell with *GaAs* cathode has been identified to be unstable due to the oxidation, experimentally. The experimental studies include the system characteristics in a wide range of pressures ( $p = 28 - 342$  Torr), interelectrode distances ( $d_1 = 50 \mu\text{m}$   $d_2 = 50 - 320 \mu\text{m}$ ) and semiconductor cathode diameter  $D$  (9 mm). Under the applied voltage  $U=200-2000$ , the critical voltage values from the Paschen curves are determined.

**Keywords:** Gas discharge, *GaAs*, plasma, oxidation, double gap

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yarıiletken gaz boşalma sistemlerine yönelik yayınlanan birçok araştırmalar yapılmıştır; bunlardan biri çift boşalma aralıklı plazma hücresi olarak adlandırılır. Şimdiye kadar araştırmacıların dikkati, sistemin yüksek hızı ile yüksek dinamik duyarlılık problemlerine odaklandı [1,2]. Uzaysal kararlılık görüntü çevirici sistemin temel parametrelerinden biridir. Bu yüzden, en iyi kararlılığı elde etmek için görüntü kalite bozulmasının fiziksel nedenleri ve yarıiletken gaz boşalma çevirici hücresinin optimizasyonunu anlamak büyük önem taşımaktadır. Plazmanın yarıiletken katodun yüzeyinde oksitlenme nedeniyle oluşturduğu deformasyon sistemden elde edilen görüntü kalitesini bozmaktadır.

Deneysel çalışmalarımızdan elde edilen sonuçlar çift boşalma aralıklı görüntü çeviricinin uzaysal çözünürlüğünü artırmak için kullanılacaktır. Gaz boşalma fiziğinde en temel olaylardan biri gazların kırılmasıdır. Yani belirli bir kritik voltaj (Breakdown) değerinden sonra elektrotlar arasındaki gazın yalıtkan halden iletken hale geçmesidir. Gaz boşalmasının başlangıç süreçleri, uygulamaların geniş bir sahasında önemli bir yere sahiptir. Gazın kırılmasında kaçınılması gereken en

önemli süreç elektrik yalıtımıdır. Çift boşalma aralıklı mikro boşalma sistemleri 1 mm nin altındaki plazma boyutu ile ve 1 atm' e uzanan çalışma basıncı ile karakterize edilir. Mikro plazmalar zayıfça iyonize olmuş ve yüksek iyon yoğunluğuna sahip eşsiz karakteristikleri ile son yıllarda büyük ilgi çekmektedir. Diğer taraftan, küçük hacim işgal etmeleri, düşük enerji tüketimi, yüksek basınçlarda plazma oluşturulması ve bunların teknolojik sistemlere uygulanabilirliği nedeniyle özel bir alakaya sahiptir. Son yıllarda, yarıiletken gaz boşalma sistemi kullanılarak deneysel olarak yarıiletkenin kararsızlıklarının incelenmesi önem kazanmaktadır. Yüksek özdirençli bir yarıiletken ile ince bir düzlem boşalma aralığı meydana geldiğinde sandviç şekline benzer bir hücre elde edilir. Yarıiletkenin oksitlenmesi sonucu ortaya çıkan kararsızlıklar ve osilasyonlar, sistemin verimli çalışmasını engellemektedir. Sonuç olarak, bu kararsızlıkların analizi pratik olarak önemlidir [3,4]

### 2. DENEYSEL SİSTEM (EXPERIMENTAL SETUP)

Bu deneysel çalışmada, çift gaz boşalma aralıklı plazma [5] hücresinde paralel düzlem elektrotlu gaz boşalma sisteminin akım-voltaj karakteristikleri geniş bir  $p$  gaz basıncı,  $d$  elektrotlar arası mesafe (Simetrik boşalma aralığına sahip  $d_i, d_j$  ( $i = 1 ; j = 2$ ) ve  $D$  elektrot çapına bağlı olarak belirlendi, akımın davranışı incelendi, tek boşalma aralıklı çevirici hücresinden farklı olarak,  $U_B$

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

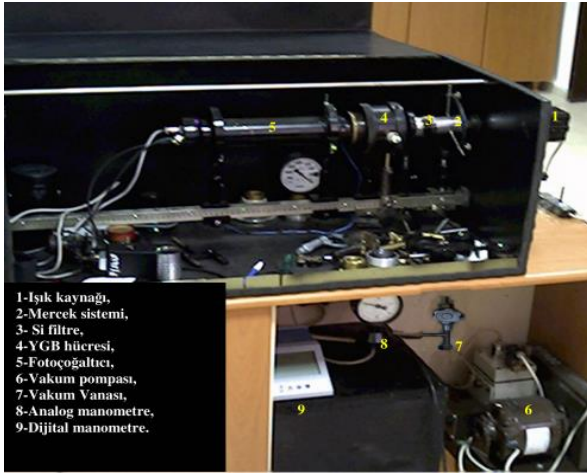
e-posta: hkurt@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2014.17.4, 161-165

breakdown (kırılma) değerlerinin daha büyük olduğu ve sistemin daha küçük akım değerlerinde ( $I = 2.5 \times 10^{-6} A$ ) kararsızlaştığı tespit edildi. Buna karşılık çift boşalma aralığından dolayı, akım-voltaj ve akım-zaman grafiklerinde modülasyonlar gözlemlendi.

Şekil 1’de görüldüğü gibi “çift gaz boşalma aralıklı plazma hücresi” isimli deney düzeneği şu elemanlardan oluşur.

1. Işık kaynağı(halojen lamba),
2. Mercek sistemi,
3. Si filtre,
4. Yarıiletken gaz boşalma hücresi,
5. Fotoçoğaltıcı,
6. Vakum pompası,
7. Vakum Vanası,
8. Analog manometre
9. Dijital manometre



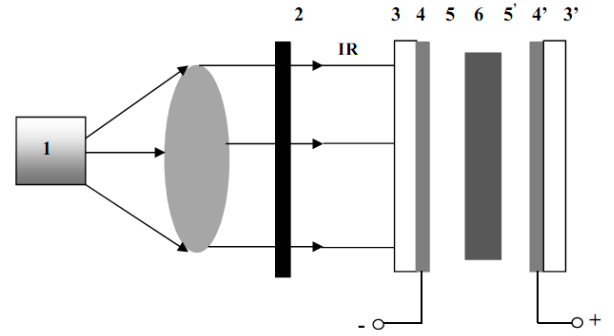
Şekil 1 Yarıiletken gaz boşalma sisteminin fotoğrafı

Karanlık ve ışık altında A-V ölçümlerinin ışıktan etkilenmeden yapılabilmesi için saç levhadan oluşan bir kutudan yararlanılmış ve ışığın yansımalarını engellemek için kutunun içi püskürtme ile siyaha boyanmıştır. Kutunun içine yerleştirilen ray üzerine gaz boşalma hücresi, foto çoğaltıcı, silikon filtre ve mercekleri yerleştirmek için ileri, sağa-sola hareketi sağlayacak tutucu ayaklar yerleştirilmiştir. Karanlık kutunun sağ tarafında açılan delikten geçecek şekilde ışık kaynağı, ray üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 1).

Işığın şiddetini değiştirebilmek için bir gerilim bölücü ışık kaynağına bağlanmıştır. Işık kaynağının önüne mercek sistemi takılmış ve çift gaz boşalma aralıklı görüntü çevirici hücre homojen ışıkla aydınlatılmıştır. Si filtre, ışık kaynağından çıkan ışığın sadece KÖ ışığını geçirmekte, böylece hücre yakın KÖ dalga boyuyla ( $0,8 \mu m < \lambda < 1,6 \mu m$ ) aydınlatılmaktadır. Çift gaz boşalma aralıklı hücrede ortam, Vakum Pompası ile boşaltılarak ortamın basıncı bir dijital manometreyle ölçülmüştür. Akım-voltaj karakteristiklerinin (AVK) belirlenmesinde; Dijital Multimetre ve Dijital Yüksek Gerilim Güç Kaynağı kullanılmıştır. Dijital Yüksek Geri-

lim Güç Kaynağı olarak Stanford PS 325. 2500V-25 W, Dijital Multimetre olarak Keithley 199, Vakum Pompası olarak Ulvac Sıncu Kıku GVD- 050 A cihazları kullanılmıştır. İyonizasyon sistemlerinde, görüntü çeviricilerde ve de bazı tip lazerlerde yarıiletken önemli bir rol oynar [6-7]. Bu yüzden, yarıiletkeneye bağlı boşalmaları incelemek pratik önem kazanır [8]. Çift boşalma aralıklı plazma hücresinde akım dağılımı çok değişir. Boşalmanın tipi ve akım iletiminin değeri katodun direnç dağılımının homojenliğiyle (oksitlenme olup olmamasıyla) ve onun kalınlığıyla saptanır.

Yarıiletken katotlu plazma sisteminde boşalmanın aktif bileşenlerinin iyonlaştırıcı etkisi önemlidir [5,9]. Aslında yarıiletkeneye taşıyıcıların üretimi; çok yüksek direnç değerine sahip katot ve sonuç olarak düşük yoğunluklu dengeli taşıyıcılar ve foto taşıyıcılar, bir gaz boşalma plazmasının etkisi altında önemli olmaktadır. Bu taşıyıcıların üretimi, çok ince tabakada meydana gelmektedir (kısa-dalga boylu ışık,  $\sim 100$  eV elektron ve iyonlar). Taşıyıcılar, yarıiletkenin iç derinliklerine nüfus ederler ki burada iletimi ayarlarlar (kısa-dalga boylu ışık,  $\sim 100$  eV elektron ve iyonlar) [5]. Şekil 2 çift boşalma aralıklı plazma hücresini göstermektedir.



Şekil 2 Çift boşalma aralıklı plazma hücresinin deneysel düzeneği: 1, ışık kaynağı; 2, Si filtresi; 3ve 3' düz cam diskler; 4 ve 4',düzlemsel saydam  $SnO_2$  elektrotlar; 5 ve 5', simetrik kısa boşalma gaz boşalma aralıkları; 6, düzlemsel fotoduyarlı GaAs yarıiletken plaka.

Cr katkılı yarı-iletken ( $\rho \approx 10^7 \Omega cm$ ) n-tipi GaAs, bir yarıiletken plaka olarak kullanıldı. Bu değiştirilmiş hücrede düzlemsel fotoduyarlı GaAs yarıiletken plaka (6) iki düzlemsel saydam elektrot arasındadır, bu elektrotlar saydam iletkenler (4 ve 4') gibi davranan ince bir  $SnO_2$  tabaka filmle kaplı cam (3 ve 3') disklerdir. Yarıiletken plaka (6) akkor bir ışık kaynağıyla (1) aydınlatılmıştır ki bu ışık kaynağı, fotoiletkenliği arttırmaya neden olur.

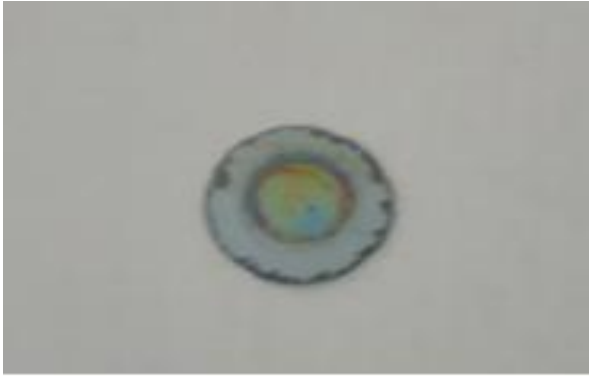
Bir Si filtre (2) GaAs fotoiletkenliğinin fonksiyonu olması için  $0,8 \mu m < \lambda < 1,6 \mu m$  dalga boyu boyunca kullanılmıştır. GaAs plakanın çapı 30 mm'dir ve kalınlığı 1 mm'dir. Yarıiletken  $0,89 \mu m$ 'nin üstündeki dalga boyuna fotoduyarlıdır. KÖ bölgede, GaAs'ın fotoiletkenliği Cr katkısıyla artırılmıştır. Cr katkılı olduğunda duyarlılık  $0,89 \mu m$ 'den  $1,3-1,5 \mu m$ 'ye yükselmektedir. Fotoduyarlı alanın tipik çapı 20 mm'dir. Boşalma ışık emisyonunun meydana geldiği yer olan simetrik

küçük boşalma aralığı (5 ve 5') 50  $\mu\text{m}$  -320  $\mu\text{m}$  arasında değişmektedir. 1,5 kV'ın üstündeki potansiyel bir fark hücrenin iki düzlemsel elektrotun arasına uygulanmıştır. Boşalma aralığı havayla doldurulmuştur. Bütün ölçümler yarıiletken plakayı hem *KÖ* ile aydınlatarak hem de karanlıkta oda sıcaklığında yapılmıştır.

### 3. SONUÇ VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Oksitlenme, her zaman yüzey değişikliğinin bir şeklidir [10]. Bir metal veya yarı iletken yüzeyi oksijen/hava plazma ortamına daldırıldığında, oksit tabakası yüzey üzerinde oluşturulabilir. Plazma türü (nötr, elektronlar, pozitif ve negatif iyonları) yayılma ile alt tabakaya ulaşabilir ve oksit katmanını genellikle 10 nm ince dir. Bir pozitif eğilimin(etki), yüzeye uygulandığı zaman elektronlar ve negatif iyonlar, alt tabakaya doğru hızlandırılır ve oksit büyümesi uyarılır. Oksit tabakaları birkaç  $\mu\text{m}$  kalınlığında ulaşabilir.

Bazı durumlarda, bir negatif eğilim yüzeye uygulanır. Oksit katmanının kalınlığı, pozitif iyonların bombardımanı tarafından geliştirilebilen, yayılmazdır. Bu durumda, büyüme hızı ve oranı arasındaki püskürtme – sökmeye ulaşılabilir. Elektrik, basınç ve oksijen oranı gibi plazma parametreleri değiştirilerek, oksit tabakasının kalınlığı doğru bir şekilde kontrol edilebilir. Anodizasyon ve plazma oksitlenmesinin avantajı termal oksidasyondan daha düşük sıcaklıklarda uygulanmasıdır. Plazma oksitlenmesinin diğer bir uygulaması, ECR reaktörleri ile yüksek  $T_c$  süper iletkenlerinin üretiminde oluşmaktadır [10].



Şekil 3. Hava dolu hücrede GaAs yarıiletkenin zamanla oksitlenmesi.



Şekil 4. GaAs yarıiletkenin oksitlendikten sonra temizlenmiş hali.

GaAs katodun deney yapılırken zamanla oksitlendiği gözlenmiştir. Şekil 3 de yüzey paslanmış görünümündedir. Deneysel verilerimizi daha sağlıklı alabilmemiz için yüzeyin temizlenerek oksit tabakasından arındırılması gerekmektedir. Eğer temizlemeyi yapmazsak akımın kontrolünü yapmakta güçlük çekeriz. Şekil 4 GaAs yarıiletkenin temizlenmiş halidir. Deneysideki verilerimizi daha sağlıklı yapabilmek için yarıiletkeni zaman zaman temizleyerek gerçekleştirdik. Yarıiletken katot temizlendikten ve oksit tabakası kaldırdıktan sonra ancak doğru ölçümler elde edilebilir.

Elektrik alanda enerji kazanan bir elektron, iyonizasyon potansiyelinden daha büyük bir enerjiye sahip olduğunda gaz atomlarıyla çarpışmalar yapar. Bu elektron enerjisini kaybederek gaz atomlarını iyonlaştırır. Bu olayın sonucunda iki yavaş elektron meydana gelir. Bu elektronlar elektrik alanda tekrar hızlandırılırlar, atomları iyonlaştırırlar; dört elektron üretirler ve süreç böyle devam eder. Oksijence aktif olan plazma ortamında zamanla yarıiletken katodun yüzey özellikleri ve direnci oluşan oksit tabakası nedeniyle değişmeye başlar. Bu değişim aniden sistemin kararsızlaşmasının belirtisi olan akım filamentasyonuna (homojen olmayan akım yoğunluğu) yol açar. Ayrıca bu oksit tabakasının varlığı kırılma voltajı (breakdown) olarak adlandırılan gazın iletken hale dönüştüğü eşik voltajının karakteristiğine de etki eder. Bu çalışmada çift boşalma aralıklı plazma hücresi kullanıldığı için diğer tek boşalma aralıklı plazma sisteminden farklı olarak yarıiletkenin her iki yüzeyi de plazma ile etkileşim halindedir bu nedenle de yarıiletkenin her iki yüzeyinde de oksitlenmenin yol açtığı deformasyon oluşur.

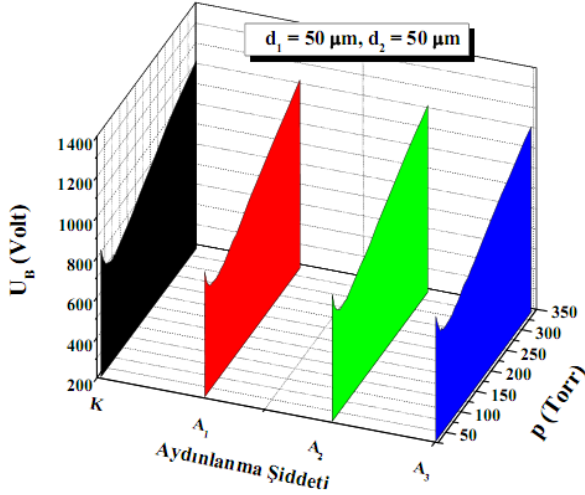
Kırılma oluşumunun temel ilkesi elektron çığıdır. Boşalma aralığı boyunca voltaj veya elektromanyetik radyasyonun şiddeti yavaş yavaş artırıldığı zaman, ortamın durumundaki hiçbir değişiklik fark edilmez. Voltaj veya şiddetin belirli bir değerinde iyonizasyon aniden artar, sistem bir akım algılar ve bir ışığa gözlenir.

Gaz kırılması bir eşik sürecidir. Paschen,  $U_B$  kırılma voltajının  $pd$  çarpımının fonksiyonu olduğunu bulmuştur.  $U_B$  kırılma voltajının  $pd$  çarpımına bağlı olması Paschen Kanunu olarak bilinmektedir [11,12].

$$U_B = \psi(pd) \quad (1.1)$$

Böylece  $U_B$  kırılma voltajı  $p$  gaz basıncı ve  $d$  boşalma aralığının çarpımına bağlıdır. Gaz boşalmasının kırılma eğrileri, Paschen kanunuyla açıklanır.

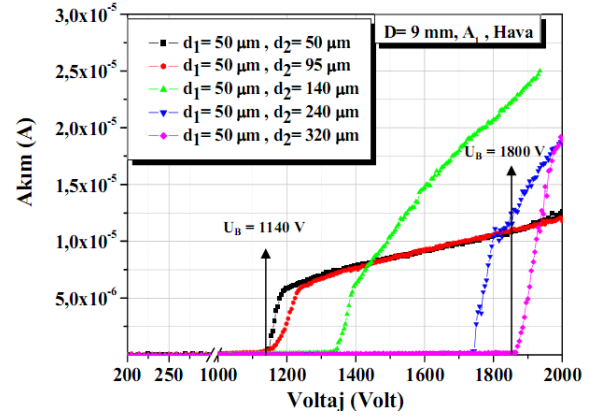
$U_B$  voltajının en küçük değerine minimum kırılma voltajı denir. Elektrot alanın çapı  $D$  ve elektrotlar arası uzaklık  $d$  değeri için Paschen eğrilerinin grafikleri incelenmiştir: Böylece  $U_B$  kırılma voltajı  $p$  gaz basıncı ve  $d$  boşalma aralığının çarpımına bağlıdır. Gaz boşalmasının kırılma eğrileri, Paschen kanunuyla açıklanır



Şekil 5.  $D = 9$  mm lik çap değerinde  $d_1 = 50 \mu\text{m}$ ,  $d_2 = 50 \mu\text{m}$  lik çift boşalma aralığında ve farklı aydınlatma şiddetlerinde ( $K$ ,  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ) basıncın fonksiyonu olarak Paschen eğrilerin 3D grafikleri.

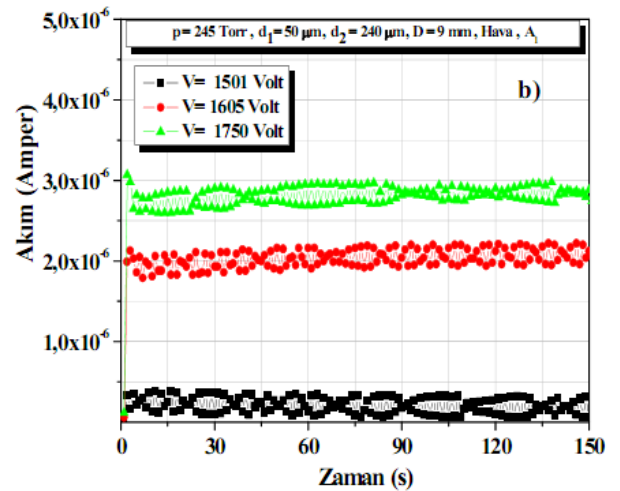
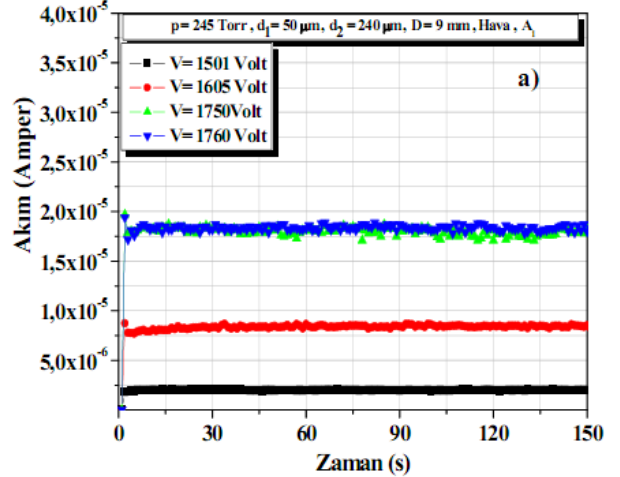
- Aydınlatma şiddetine bağlı olarak akım değeri değişmektedir. En küçük akım değeri aydınlatma yokken: en büyük akım değeri ise aydınlatma şiddeti ( $A_3$ ) olduğunda elde edilmektedir. Çünkü aydınlatma şiddetine bağlı olarak yarıiletkenin direnci değişmektedir. Aydınlanma şiddeti artırıldığında yarıiletkenin direnci küçülmekte buna bağlı olarak akım artmaktadır.
- Belli bir voltaj değerine kadar akım değeri çok küçüktür. Kırılma voltajından sonra ( $U_B$ ) akım voltaj değeriyle orantılı olarak artmaktadır. Elektronlara uygulanan voltaj artırıldığı zaman katottan yayınlanan elektronlar gaz içerisinde voltajın özel bir değeri için akım tüm gaz boşalma aralığı boyunca hareket ettikleri için akım tüm gaz boşalma aralığı boyunca artar. Elektronların çarpma iyonizasyonu gazların kırılmasında en önemli süreçtir.

Şekil 6 çift gaz boşalma aralıklı plazma hücresinde elektrotlar arası mesafelerin ( $d_1, d_2$ ) değişimine göre akım-voltaj grafiğini göstermektedir. Şekilden görüleceği üzere  $d_1$  sabit tutulup  $d_2$  artırıldığında  $U_K$  kırılma voltajının daha büyük voltaj değerlerine kaydığı gözlenmektedir. Yani gazın iletken hale geçmesi daha büyük uygulama voltaj değerlerinde gerçekleşmektedir. Örneğin,  $d_1 = 50 \mu\text{m}$ ,  $d_2 = 50 \mu\text{m}$  iken  $U_B = 1140$  Volt iken;  $d_1 = 50 \mu\text{m}$ ,  $d_2 = 320 \mu\text{m}$  iken  $U_B$  yaklaşık 1800 Volt değerindedir. Buna karşın sistemden elde edilen akım değerleri artan elektrotlar arası mesafe ile ters olarak azalmaktadır.



Şekil 6. Zayıf aydınlatma şiddeti  $A_1$  için farklı elektrotlar arası mesafelerde  $d_1 = 50 \mu\text{m}$ ,  $d_2 = 50-320 \mu\text{m}$  ve  $D=9$ mm lik yarıiletken katot çapı için AVK' lar.

Şekil 7 a) yarıiletken katodun temizlenmiş durumuna ait olan akım-zaman grafiğini gösterirken; şekil 7 b) yarıiletken katodun oksijence aktif plazma ortamı ile etkileşimi sonucu oluşan kararsız akım-zaman grafiklerini göstermektedir. Şekil 7b den görüleceği üzere akım zaman grafiklerinde modülasyonlar izlenmektedir.



Şekil 7. a) Oksitlenmemiş yarıiletken katot için akım-zaman grafiği; b) Oksitlenme sonrası akım- zaman grafiği

Şekillerden anlaşılacağı üzere oksitlenme sistem karakteristikleri üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Ayrıca yarıiletken yüzeyinin direnç dağılımını değiştirerek akımın zamanla dalgalanmasına yol açmaktadır. Bu nedenle eğer oksidasyondan kaçınmak istiyorsak oksijenle aktif hava ortamı yerine mesela Helyum gibi kararlı olan soy gazlar plazma ortamı için kullanılabilir.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışma kapsamında, çift boşalma aralıklı yeni mikro plazma sisteminden elde edilen plazma karakteristikleri optimal plazmaların oluşturulmasında kullanılacaktır. Uygun şartlarda laboratuvarımızda çift boşalma aralıklı elektronik mikro boşalma sistemlerini kullanarak sistemin dinamik özelliklerini incelemek için gerçekleştirdiğimiz deneyler, konuyla alakalı süreçlerin özelliklerini nicel olarak daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır. Çift gaz boşalma aralıklı görüntü çevirici hücreni avantajı yarıiletken üzerine Au kontak yapılmaksızın yarıiletken katodun kullanılabilmesidir [5,14]. Yarıiletkenin her iki yüzü de gaz atomlarıyla bombardıman edilmiştir. Yarıiletkenin yüzeyinde meydana gelen oksitlenme akımının davranışına olumsuz yönde etki etmektedir. Çift gaz boşalma aralıklı plazma sistemleri yarıiletken katodun direnç dağılımındaki değişiklikleri belirlemek için kullanılmaktadır.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Gazi Üniversitesi **BAP 05/2012-47** ve **BAP 05/2012-72** kodlu projeler tarafından desteklenmiştir.

#### 5. KAYNAKÇA (REFERENCES)

1. G. Kalkan, "Çift Gaz Boşalma Aralıklı Görüntü Çevirici Hücrede Elektriksel Karakteristiklerin İncelenmesi", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, (2010).
2. S. Çetin, "Fotodetektörün Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi İçin İyonizasyon Tipli Kızılötesi Görüntü Çevirici Sistemlerin Uygulanması", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, (2010).
3. P. Hartmann, Z. Donko, G. Bano, L. Szalai and K. R. Oza, *Plasma Sources Sci. Technol.*, 9: 183, (2000)
4. C.Strumpel, Y.A. Astrov and H.G.Purwins, *Phys.Rev. E* 62: 4889, (2000).
5. B.G. Salamov, B.G. Akinoglu and N.N. Lebedeva, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 32: 2068, (1999).
6. A. Bogaerts, E. Neyts, R. Gijbels and J. Mullen, *Spectrochimica Acta Part B*, 57: 609, (2002).
7. N. N Lebedeva, V. I. Orbukh and B. G. Salamov, *J. Physique III* 6: 797 (1996).
8. E. I. Ivanova, B. V. Novogrudskii and L. G. Paritskii, *Sov. Phys.-Semicond.*, 6: 1585, (1973).
9. S. K. Dhali and P. F. Williams, *J. Appl. Phys.*, 62: 4696 (1987).
10. B.G. Salamov, K. Colakoglu and S. Altındal, *Infrared Phys. Technol.*, 36: 661, (1995).
11. W. Shockley, "Electrons and Holes in Semiconductors", Van Nostrand, New York, 334-357, (1951).
12. F. Paschen, *Annalen der physik und chemie*. 37: 69 (1889).