

# Kızılötesi GaAs Fotodetektör Kararsızlıklarının İncelenmesi

Hilal Yücel KURT<sup>1,\*</sup>, Sadık ÇETİN<sup>1</sup>, Evrim TANRIVERDİ<sup>1</sup>, Duygu YİĞİT<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 06500, Teknikokullar/ANKARA

Başvuru:27/08/2014 Düzeltme:03/09/2014 Kabul: 05/09/2014

---

## ÖZET

Kızılötesi (KÖ) fotodetektör kararsızlıkları tek gaz boşalma aralıklı iyonizasyon tipli KÖ görüntü çevirici sistemde deneysel olarak Townsend ve Glow modunda araştırıldı. Bu türden sistemlerde, gaz boşalması durumunda, katodun elektronik özelliğinde olabilecek herhangi bir değişim istenmeyen bir duruma yol açabilir ve sistemde zamansal ve mekansal kararsızlıklar olabilmektedir. Bu kararsızlıkların belirlenmesi iyonizasyon tipli KÖ görüntü çevirici olarak kullanılan sistemin optimizasyonunda son derece önemlidir. Deneysel sonuçlarımıza göre 1500 V üzerinde görüntü çeviriciye uygulanan voltajlarda akımın dalgalanmalar gösterdiği ve GaAs yarıiletkeninin geniş yüzeyinde bu kararsızlıkların deformasyona yol açtığı tespit edildi.

**Anahtar Kelimeler:** kızılötesi fotodetektör, gaz boşalma plazması, kırılma voltajı

## ABSTRACT

The IR photodetector instabilities in a single gap gas discharge IR image converter system with ionization type have been explored experimentally under the Townsend and glow discharge modes. In such systems under gas discharge conditions, any changes in the electrical feature of the cathode can yield to an undesired situation and there can be spatio-temporal instabilities in the system. The determination of these instabilities in an ionization type IR image converter device is vital to realize the optimization of the system. According to our experimental results, it has been found that current indicates fluctuations for the applied voltage of the image converter beyond 1500 V and these instabilities cause some deformations on the large surface of GaAs semiconductor.

**Key words:** infrared photodetector, gas discharge plasma, breakdown voltage

---

\*Corresponding author, e-mail: hkurt@gazi.edu.tr

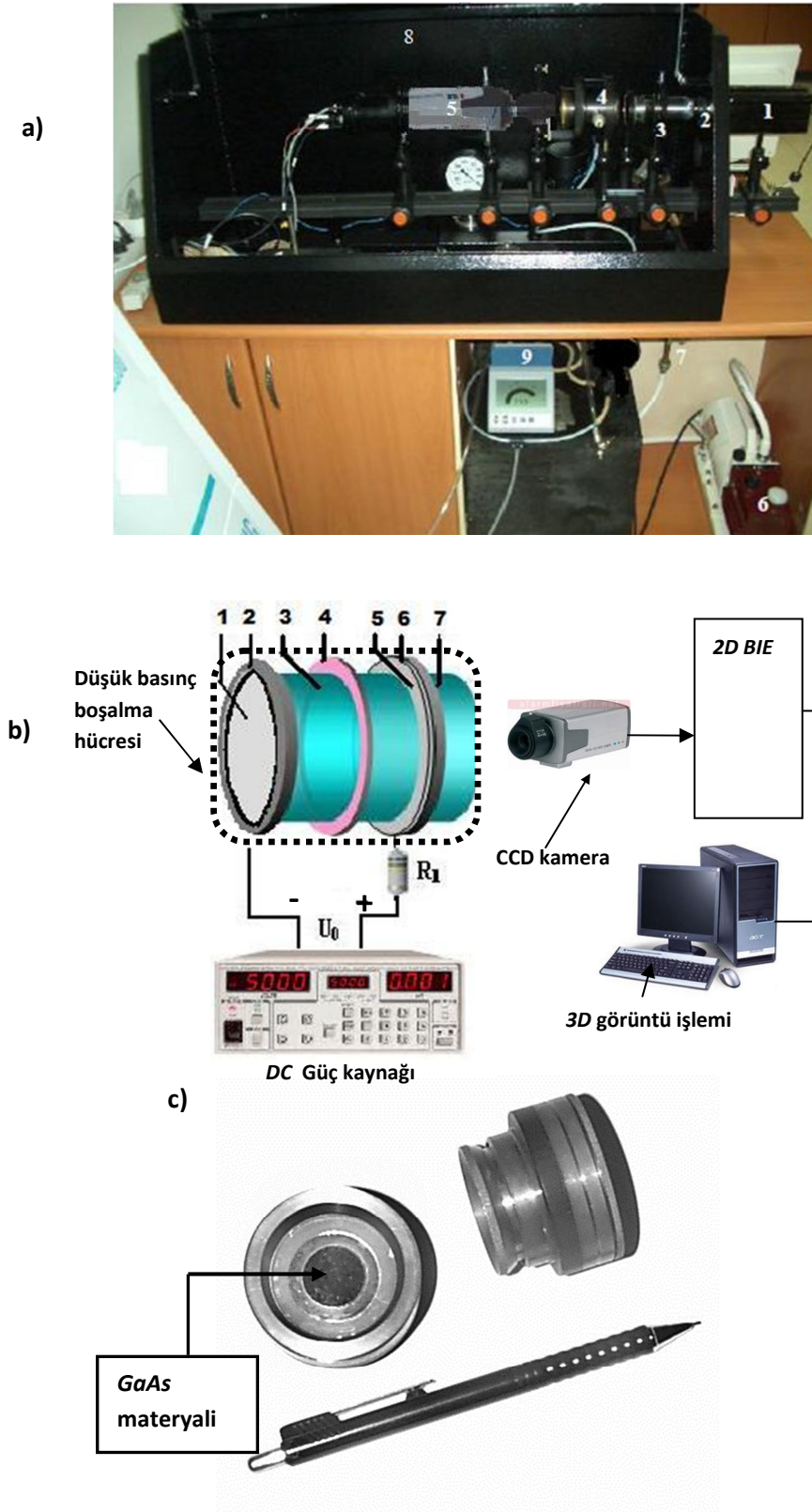
## 1. GİRİŞ

Yarıiletken elektrotlar ile gaz boşalma düzenekleri, genellikle, Kızılötesi sinyalleri görünür bölgeye dönüştürmek için kullanılmaktadır [1-5]. Gaz Boşalması için iki yöntem vardır. Bunlar Townsend ve Glow boşalmasıdır [6]. Townsend boşalması düşük akım üretimi vs. yapan çok zayıf bir boşalmadır [7]. Uzak yükü, Townsend boşalması tarafından üretildiğinden, gaz aralığı içindeki elektrik alanı oldukça küçük etki edip, bozabilmektedir. Elektronlar tüm aralıkta aynı enerjiye sahiptir. Bu durumda, anot çevresinde ortam içindeki hareketli atomlardan maksimum ışık salınımı gözlenmektedir [8-9]. Townsend boşalması karmaşık bir durum olduğu için, gaz boşalma aralığı  $d$ , elektrot şekli, doldurulan gazın türü ve basınç  $p$ , boşalmanın karakterinde önemli rol oynamaktadır. Townsend boşalmasından farklı olarak, yüksek uzay yükü üretimi ile güçlü bir boşalma, Glow boşalma durumunda meydana gelmektedir [5,10]. Townsend tipi boşalmaların dinamik özelliklerini incelemeye ilgi, gaz boşalma fiziği alanındaki bilginin artırılmasına ve teknik sistemlerde bu tip boşalmanın kullanımı ile bağlantılı pratik problemleri çözmeye yardım etme ihtiyacından kaynaklanmaktadır [11]. Yarıiletken elektrotlar ile gaz boşalma düzenekleri,

genellikle, Kızılötesi sinyalleri görünür bölgeye dönüştürmek için kullanılmaktadır [1-5].

## 2. DENEYSEL SİSTEM

Mikroelektronik gaz boşalma sisteminin (MGBS) tam kurulumu Şekil 1(a) da gösterilmektedir [12]. Boşalma hücresinin temel parçası *GaAs* hücrenin katot kısmında yerleşmiştir. Toplam test sistemi; sağdan sola doğru, dış ışık kaynağı, kaynaktan yayılan görünür ışık için optik lens, bir silikon filtre, bir boşalma hücresi, bir *CCD* kamera, bir vakum pompası, bir siyah kutu ve dijital manometreden oluşmaktadır. Tüm kurulumun detaylı şematik diyagramı, sandviç benzeri yapıyla gösterilmiş (şekil 1(b)). Gaz boşalma aralığı iki elektrot arasına yerleştirilmiştir. Bunlardan biri  $SnO_2$  ile kaplı cam tabaka diğeri ise bir yarıiletkenden oluşmuştur (*GaAs* vs.) Bu aralık,  $45\mu m$  den  $323\mu m$  ye kadar farklı kalınlıklara ayarlanabilir. *CCD* kamera ile kaydedilen boşalma ışık emisyonu (*BIE*), bir *PC* ye aktarılır.(şekil 1(b)). *BIE* nun elektriksel özelliğini ölçmek için bir *PC*, bazı interface sistemler kullanılır. Hücreden geçen elektriksel akım ve hücre üzerindeki voltajı ölçmek için, bir Keithley 199 marka multimetre ve bir Stanford PS 325 tip yüksek voltaj güç kaynağı kullanılır. Bu ölçümler yazılımlar ile dijitalleştirilir [12].



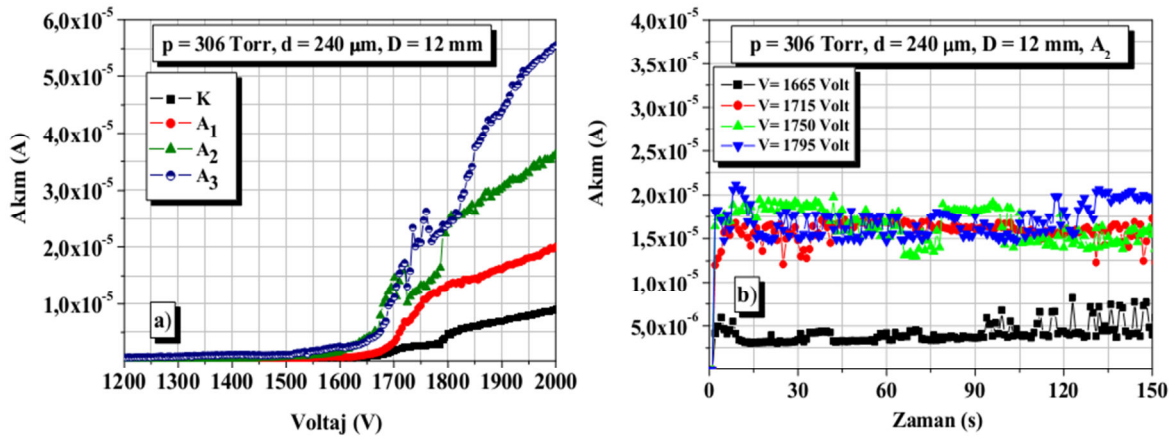
**Şekil 1. (a)** MGBS: 1) Işık kaynağı; 2) Optik lens; 3) Silikon filtre 4) Gaz iyonizasyon sistemi; 5) CCD kamera; 6) Vakum pompası; 7) Vakum vanası; 8) Deney kutusu ve 9) Dijital manometre ; **(b)** Sandwich tipli iyonizasyon hücresinin şeması, ölçüm ve kaydetme sistemi: 1) *GaAs* materyali; 2) Numune tutucu; 3) Mikroboşalma aralığı; 4) Yalıtkan mika; 5) Saydam iletken  $SnO_2$ ; 6) Cam disk, 7) Görünür ışık demeti. Noktalı kısım (c) kısmında gösterilmiştir. *GaAs* materyali hücrenin ortasında yerleşmiştir. Elektrotlar arası  $d$  mesafesi *GaAs* ile saydam  $SnO_2$  arasındaki mikro mesafedir [12].

### 3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Küçük aktif hacimli gaz boşalma sistemleri son yüzyılda büyük bir ilgiye sahiptir. Direnç dağılımlı bir yarıiletken kullanmak akım dağılımını önemli ölçüde değiştirmektedir [5]. İletilen akımın değeri ve boşalmanın tipi yarıiletken katodun direnç dağılımının homojenliği tarafından belirlenir. Yarıiletken gaz boşalma yapılarında nonlineer plazma davranışlarını anlamada büyük ilerlemeler kaydedilmesine rağmen, yeterli anlatımı sağlamada fiziksel mekanizmalar hakkındaki bilgiler yetersiz kalmaktadır. Bu çalışma kapsamında, Townsend ve glow boşalma modunda yarıiletken fotodetektörün sergilediği kararsız boşalma şartları araştırılmıştır. Townsend plazma modunda yarıiletken elektrotlu mikroplazma hücresinde bu tip kararsızlıkların araştırılması sistemimizin  $KÖ$  görüntü çevirici olarak kullanılmasından dolayı son derece önemlidir. Üstelik elde edilecek sonuçlar kararlı ve homojen boşalmalara gereksinim duyulan düşük-güç mikro boşalma sistemlerinin gelişiminde

kullanılabilecektir. Boşalma bölgesine ve dış devre elemanına bağlı olarak gaz boşalma bölgesinde düzenli küçük genlikli osilasyonlar, relaksasyon osilasyonları ya da periyodik olarak tekrar eden brekdown meydana gelebilir [13]. Bu üç boşalma modu yarıiletken elektrotlu boşalma sistemlerinde birbirinden ayırt edilebilir.

Şekil 2 farklı aydınlatma şiddetleri için  $GaAs$  fotodetektörün neden olduğu kararsızlıkları göstermektedir. Bu kararsızlıklar gaz boşalması  $GaAs$  daki taşıma özellikleri görüntülemeye hizmet ederken, yarıiletken elektrodun lineersizliğinden meydana gelmektedir. Elektriksel bölge kararsızlıklarının yarıiletken elektrotta elektrotun  $N$ -tipi  $I$ - $V$  karakteristiğine sebep olmaktadır. Bu tip taşıma lineersizliğinin  $SI GaAs$  da (bak [12]) yüksek elektrik alan bölgelerinin yayılmasından sorumlu olduğu bilinmektedir. Sunulan karakteristikler düzlemsel yapının yarıiletken bileşeninin negatif diferansiyel direncinin varlığını kanıtlar.

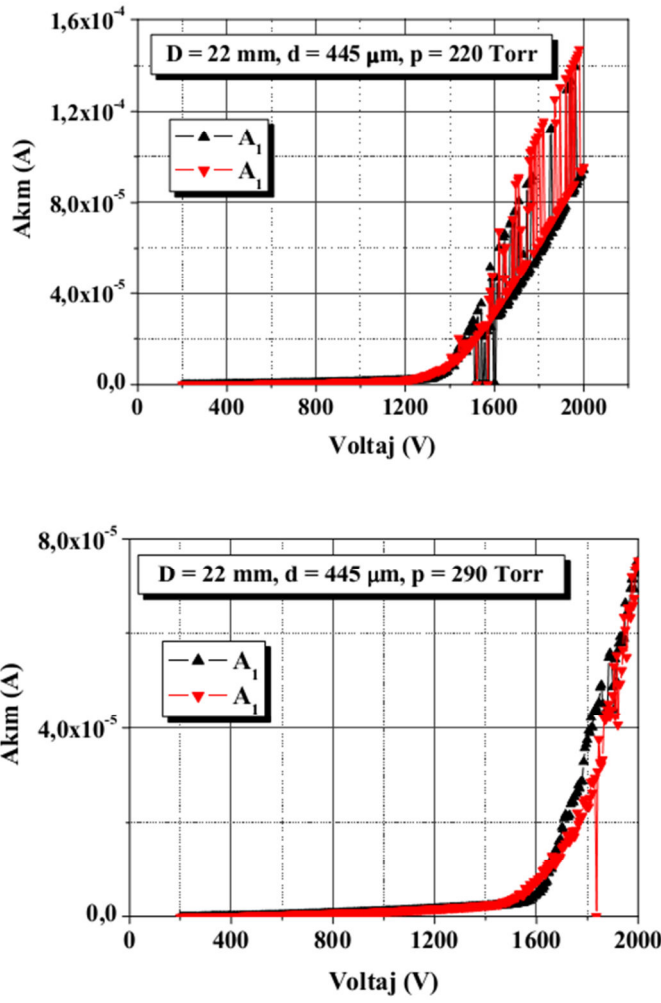


Şekil 2. (a) Yarıiletken katodun farklı aydınlatma şiddetleri altında akım- voltaj karakteristiği ( $AVK$ ); (b) Kuvvetli aydınlatma şiddeti altında ( $A_2$ ) yarıiletken katodun akım zaman karakteristiği

$N$  tipli  $AVK$  özellikle  $A_2$  aydınlatma şiddeti için net olarak gözlenmektedir [2,13]. Ayrıca bu aydınlatma şiddetine ait olan Akım zaman grafiği de bu kararsızlıkları teyit etmektedir.

Şekil 3 (a,b) de ise elektrotların gaz doyumuyla bağlı olarak geri dönüşüm (histerisiz) davranışları incelenmiştir. Şekil 3 (a,b) ileri ve geri beslem altında voltaja bağlı olarak akımdaki değişmeyi göstermektedir. Dikkat edilirse şekil 3(a) da sistem ileri ve geri beslem altında aynı davranışı göstermektedir buda sistemin  $p = 220$  Torr da kararlı çalışmasının bir göstergesidir ve teknolojik uygulamalar için son derece önemlidir. Yani hem voltaj artarken hemde voltaj azalırken yapılan ölçümler birbir örtüşmektedir ve histerisiz genişliği mevcut değildir.

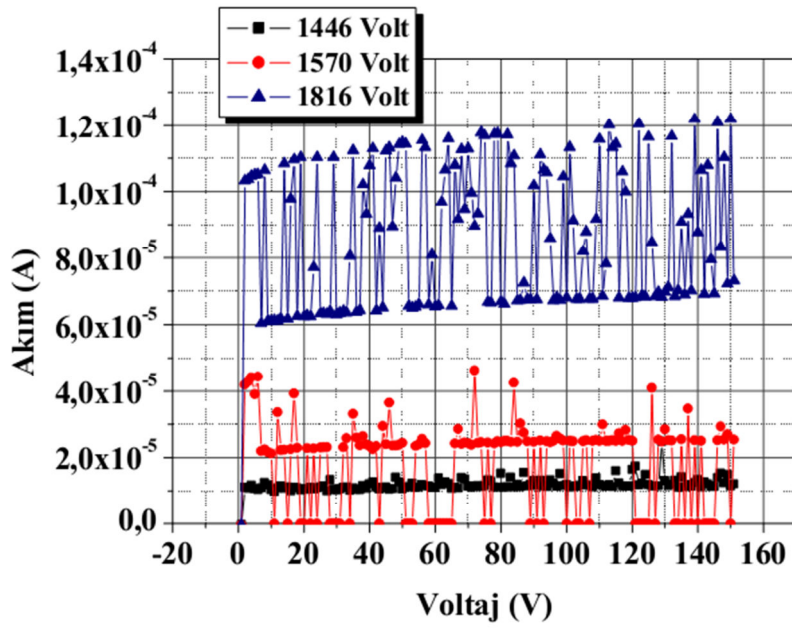
Şekil 3 (b) de ise sistem ileri ve geri beslem durumunda farklı davranış sergilemektedir ve histerisiz genişliği mevcuttur. Histerisiz sistemin çift kararlı durumunun bir göstergesidir. Histerisiz durumuna hem yarıiletkendeki safsızlıklar ve tuzaklar hem de gaz etki etmektedir. Ayrıca histerisiz sistemin yalnız şu andaki durumuyla değil aynı zamandaki geçmişteki durumuna da bağlıdır. Örneğin gaz önceden kırılmaya uğradığı zaman bir sonraki iyonizasyon daha düşük kırılma voltajlarında olabilmektedir. Çünkü sistemi besleyen dış besleme voltajı kapatılsa dahi yüklerin aktivizasyonu belli bir süre için devam edebilmektedir. Ayrıca yarıiletken gaz boşalma aralığında aktif olan bu yükler yarıiletken ile etkileşerek yarıiletkenin elektriksel ve optiksel karakteristiklerinde değişikliklere yol açabilmektedirler.



Şekil 3 (a,b).  $D = 22$  mm ve  $d = 445$   $\mu$ m için histeresiz grafikleri; a)  $p = 220$  Torr için, b)  $p = 290$  Torr için  $A_1$  zayıf aydınlatma seviyesi altında

220 Torr için histeresiz davranışı görülmezken 290 Torr için görülmesi plazmanın sistem özelliklerine etkisini göstermektedir. Makroskopik olarak histeresiz geçmişteki olayların ve enerji dağılımının (dissipation) eşlik ettiği dış sürücüye cevapta gösterilen gecikmedir. Son birkaç yılda, histeresiz üzerindeki dikkatin çoğu dengesiz durumların relaksasyon zamanı ile sürücü kuvvetin zaman skalası arasında gerçekleşen yarıştan doğan dinamik etkiler üzerinde yoğunlaştı. Enteresan

olan, pek çok sistemin histeresiz davranışı göstermesidir [14]. Şekil 4, Şekil 3 (a) daki geri dönüşüm grafiğine ait ve değişik voltajlar için (1446-1816 Volt) çizilen akım-zaman grafiklerini göstermektedir. Şekilden anlaşıldığı üzere düşük voltaj bölgesi yani 1446 Volt için akımın zamanla değişimi kararlı iken, yüksek voltajlar için  $AVK$  yı doğrular şekilde  $AVK$  da ki kararsız bölgeye ait voltajlarda akım-zaman grafiği da kararsız olmaktadır [15].

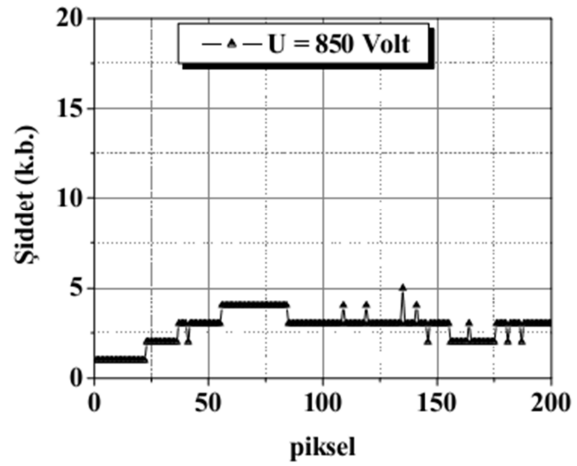
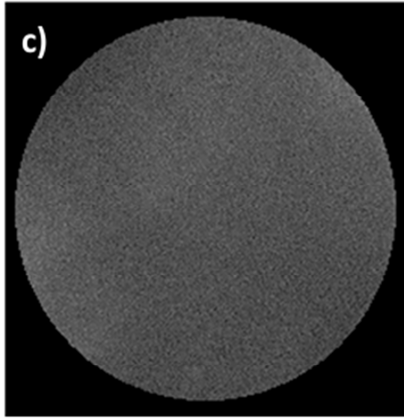
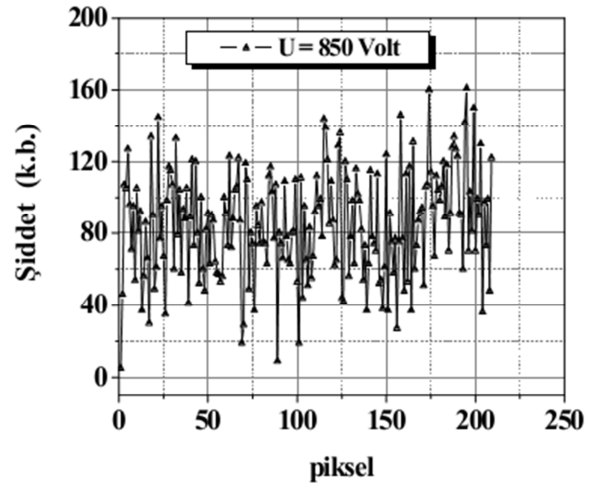
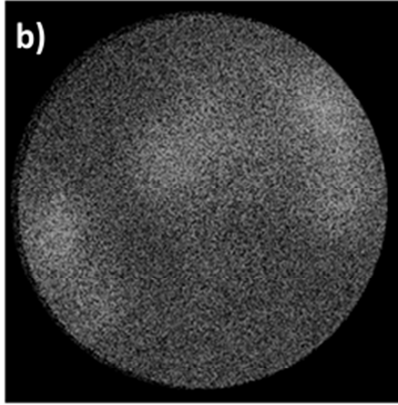
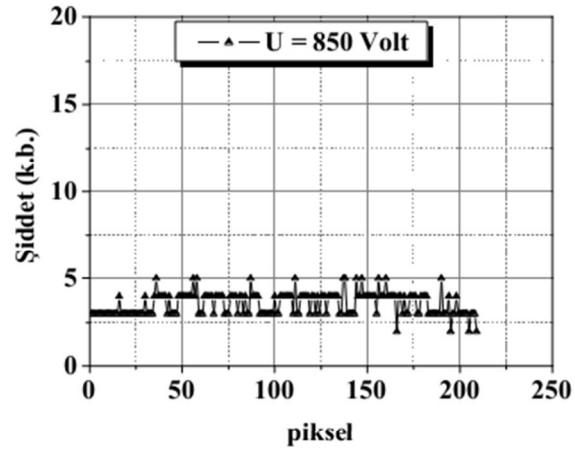
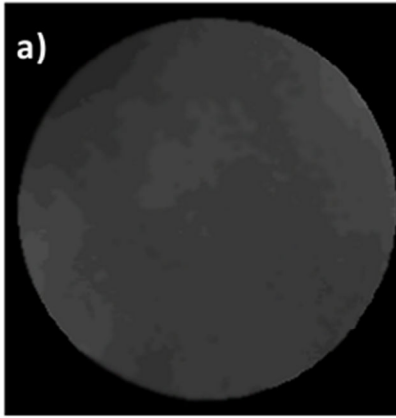


Şekil 4.  $D = 22$  mm lik yarıiletken elektrot çapı,  $d = 445$   $\mu\text{m}$  lik elektrotlar arası mesafe,  $p = 220$  Torr ve  $A_1$  aydınlatma seviyesi için akım – zaman grafiği

Şekil 5 zımpara tozu ile işlenmiş (b) ve işlenmemiş yüzeylerin (a) görüntülerini göstermektedir [5,16]. Şekil 5 (c) ise plazma işlemine tabii tutulmuş yarıiletken yüzeyinden alınan görüntü ve buna ait profil grafiğini göstermektedir. Görüleceği üzere uygun şartlar altında plazma ile yüzeyin etkileşimi yüzeyin özelliklerinde düzelmeye yol açmaktadır. Zımpara tozu ile yüzey

temizlendiğinde yüzeyin ışığa duyarlılığı 24 kat artmıştır [5]. Çünkü işlenmiş yüzey ışığın soğurulmasını artırır; ışık bu işlem sürecince oluşan homojensizlik merkezlerinden (ki bunlar yansıma merkezleri gibi davranır) çok sayıda yansımaya uğrar [5].





**Şekil 5.** Tek gaz boşalma aralıklı plazma sisteminden elde edilen gaz boşalma ışmasının görüntüleri: **a)** yarıiletken katodun cilalanmış; **b)** zımpara tozu ile işlenmiş yüzeyi ve bu görüntülere ait yüzeyin çap boyunca profilleri **c)** Plazma ile işlenmiş yüzeye ait görüntü ve profil grafiği. Çapı  $D = 20$  mm ve kalınlığı  $L = 1$  mm olan

Deneyler, önceden cilalanmış yüzeyin farklı zımpara tozu ile işlenmesinin KÖ bölgesinde ışığa duyarlılığın arttırdığını göstermektedir [5]. Genişletilmiş alan üzerindeki yüksek enerjili parçacıkların akışının içine katodun alınan yüzeyi üzerindeki kısmen düşük güçlü fotonu değiştirerek ve yükselterek düzlemsel gaz boşalma sistemi son derece etkili enerji dönüştürücü olabilir. Yine deneylerimizden plazma ile yüzeyin etkileşiminin yüzey özelliklerini değiştirebileceği gösterilmiştir. Bunun değeri; elektrot yüzeyinin şartlarına ve gaz boşalma plazmasındaki iyon bileşenlerinin birleşimine bağlıdır.

#### 4. SONUÇLAR

GaAs katotlu Mikroelektronik gaz boşalma sistemi (MGBS) deneysel olarak araştırıldı ; sistem karanlık ve farklı KÖ aydınlatma şiddetleri altında çalıştırıldı.Uygun deneysel parametreler ayarlandığında sistemin N-tipi AVK ve histeresis davranışları gösterdiği tesbit edildi. Ayrıca uygun elektrotlar arası mesafe ve basınç değerleri kullanıldığında GaAs materyalin KÖ ışık ile optiksel olarak uyarılabileceği bu özelliklerinin KÖ dedeksiyon sistemlerinde ilaveten UV- görünür spektral bölge uygulamalarına katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.Deneysel ölçümlerimiz göstermiştir ki GaAs dedektörün histeresis davranışı plazma – yüzey etkileşimi ve elektron tuzakları nedeniyle dedektörün yüzeyinde yük birikmesi tarafından kontrol edilir. GaAs in oda sıcaklığında çalışması ve optoelektronik sistemlerde geniş uygulama alanı bulması sebebiyle önemli olduğunu belirtmeliyiz [17].

Ayrıca çeşitli parametrelerin materyal özellikleri üzerine etkisi (zımparalama, plazma ile etkileşim) deneysel olarak incelenmiştir. GaAs materyalin elektriksel ve optiksel özelliklerindeki değişme optoelektronik uygulamalarda önemli rol oynar. Optoelektronik uygulamalarda safsızlık seviyelerinin foto-effect mekanizması GaAs materyalin ışığı soğurmasını artırır böylece yüksek verimlilik elde edilir.

#### TEŞEKKÜR

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

#### KAYNAKÇA

[1] N. Lodygin, L.M. Portsel, Y. A. Astrov, *Contrib. Plasma Phys.*52 (2012) 682.

- [2] L.M. Portsel, Y. A. Astrov, I. Reimann, E. Ammelt, H. G. Purwins, *J. Appl. Phys.* 85 (1999) 3960.
- [3] J. Fillard, Rev. *Phys. Appl.* 23 (1988) 765.
- [4] H. Y. Kurt, S.Cetin, B.G.Salamov, *IEEE Transactions on Plasma Science.*39 (2011) 1086.
- [5] H. Y. Kurt, S.Cetin, A.Yurtseven, *Korozyon.* 20 (2013) 1.
- [6] Yu. P. Raizer “Gas Discharge Physics”, Berlin: *Springer*, (1999)
- [7] Z. Liang, H. Y. Luo, X. X. Wang, L. V. Bo, Z. C. Guang, L. M. Wang, *Chin. Phys. Lett* 25 (2008) 2136.
- [8] H. Luo, Z. Liang, X. Wang, Z. Guan and L. Wang, *Appl. Phys.Lett.* 91 (2007) 221504.
- [9] Z. L. Petrovic, A. V. *Phelps, Phys. Rev. E* 56 (1997) 5920.
- [10] L. Haiyun, L. Zhuo, W.Xinxin, G. Zhicheng, W.Liming, *J. Phys.D: Appl. Phys.* 43 (2010) 155201.
- [11] Yu. A. Astrov, H.Willebrand, L. M. Portsel, S. P. Teperick and H. G. Purwins, *J. Appl. Phys.* 74 (1993) 2159.
- [12] H. Y. Kurt, *Chin. Phys. B.* 23 (2014) 015201.
- [13] A. Neumann, *J. Appl. Phys.* 90 (2001) 1.
- [14] J. Ortin and J. Goicoechea, *Phys. Rev. B* 58 (1998) 9.
- [15] S.Çetin,“Fotodetektörün Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi İçin İyonizasyon Tipli Kızılötesi Görüntü Çevirici Sistemlerin Uygulanması”, *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [16] S. Kıymaz, “Kızılötesi Görüntü Çeviricideki elektrot yüzeylerinin incelenmesi”, *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, 2001.
- [17] [17] H. Y. Kurt, A.Inalöz, B.G.Salamov, Optoelectronics and Advanced Materials, *Rapid Communications.* 4 (2010) 205.