



HARİCİ UYGULANAN MANYETİK ALANIN MİLİMETRE DALGA/TERAHERTZ DEDEKTÖRÜ OLARAK KULLANILAN PARILTILI DEŞARJ LAMBALARINDAKİ PLAZMA IŞIMA OPTİK SPEKTRUMUNA OLAN ETKİSİNİN DENEYSEL GÖSTERİMİ

Asaf Behzat ŞAHİN

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, TÜRKİYE
absahin@ybu.edu.tr

(Geliş/Received: 31.05.2019; Kabul/Accepted in Revised Form: 20.08.2019)

ÖZ: Bu çalışmada, Parıltılı deşarj lambaları (GDD) içindeki plazma bölgesinde meydana gelen optik ışımada meydana gelen, milimetre dalga radyasyon ve harici elektromanyetik alana bağlı değişimler gözlemlenmiş ve ölçülmüştür. Milimetre dalganın (MD) tek başına uygulandığı zaman optik ışımada görülen etkinin göreceli olarak %3 civarı olduğu görülmektedir. Elektromanyetik alanın (EM) etkisi ile ışınımında %5'lik bir artış oluşmaktadır. 600 Gauss şiddetinde bir manyetik alanın uygulanması, plazma bölgesi optik ışımalarının milimetre dalga radyasyona karşı hassasiyetini 0.4 dB kadar arttırmıştır. Daha yüksek manyetik alan değerlerinin denenmesi planlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Terahertz, Plazma, Milimetre dalga, Manyetik alan

Experimental Demonstration of the Effect of the Externally Applied Magnetic Field on the Plasma Optical Radiation Spectrum of the Glow Discharge Lamps which are used as milimeter wave/Terahertz detectors

ABSTRACT: In this study, the optical emission from a Glow Discharge Device (GDD) lamp plasma that is affected by both magnetic and milimeter wave electric field is observed and recorded. Milimeter wave radiation has increased the optical emission by %3. Electromagnetic field has also increased the emission by %5. A magnetic field of 600 Gauss has increased the optical emission sensitivity to milimeter wave by 0.4 dB. In the future, higher magnetic field values will be studied.

Keywords: Terahertz, Plasma, Milimeter wave, Magnetic field

GİRİŞ (INTRODUCTION)

100 GHz - 10 THz arasındaki elektromanyetik frekans aralığına Terahertz Bandı denmektedir ve bu band uzay teknolojisi, ilaç sanayii, iletişim vb. uygulamalar için gittikçe önem kazanmaktadır. THz radyasyonunun plazmalar ile etkileşimi, THz radyasyonunun plazma ortamında iletimi, yansımaları ve absorpsiyonu şimdiye değin çeşitli çalışmalarda araştırılmıştır (Lewis, 2014; Hafez ve diğ., 2016). Terahertz dalga sensörleri, iletişim, malzemelerin tanımlanması, görüntüleme, kalite kontrol veya biyokimyasal gibi farklı uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde mikrodalga frekansı katıhal ve yarıiletken teknolojilerinin gelişmesi sonucu, milimetre ve milimetre altı dalga boyu sistemler giderek yaygınlaşmaktadır. (Tonouchi, 2007). Ek olarak, doğrudan ve heterodin çalışan diyot dedektörler, Foto iletken genişbantlı THz anten sensörleri, Termal sensörler, Schottky bariyer diyotları, alan etkili

transistör dedektörleri gibi değişik ölçüm teknikleri vardır. (Semerci T. ve diğ., 2016; Ilin K.S. ve diğ., 2000). Manyetik alanın plazmalar üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Plazma ortamı, nötr bir gaz üzerine, elektronları gaz atomundan koparmak için yeterli miktarda enerji (elektrik alan) uygulandığında ortaya çıkar. Plazma ortamları, plazma yoğunluğu, plazma frekansı, çarpışma frekansı ve plazma sıcaklığı gibi parametreler ile karakterize edilir (Bellan, 2008). Bu parametreler, plazma ortamından geçen elektromanyetik dalganın iletimini, yansımalarını ve soğurulmasını belirler. Bu nedenle, terahertz dalgası, belirgin bir soğurma etkisi ve yansıma olmadan, THz tekrarlanmasına yakın yüksek çarpışma frekansına sahip yoğun bir plazmayı geçebilir (Yuan C.-X. ve diğ., 2012). Ayrıca, Parıltı Deşarj Lambalar (Glow Discharge Device-GDD) Terahertz/milimetre dalga radyasyon sensörü olarak kullanılabilirler, böylece THz alıcı ve THz görüntüleme gibi uygulamalarda yer bulurlar (Sizov ve Rogalski, 2010; Sizov, 2010). Bu nedenle, neon gösterge lambaları veya GDD'ler THz sinyalleri için düşük maliyetli dedektör olarak önerilebilir (Haddad ve diğ., 2013; Çınar ve diğ., 2013; Abramovich ve diğ., 2009; Rozban D. ve diğ., 2008).

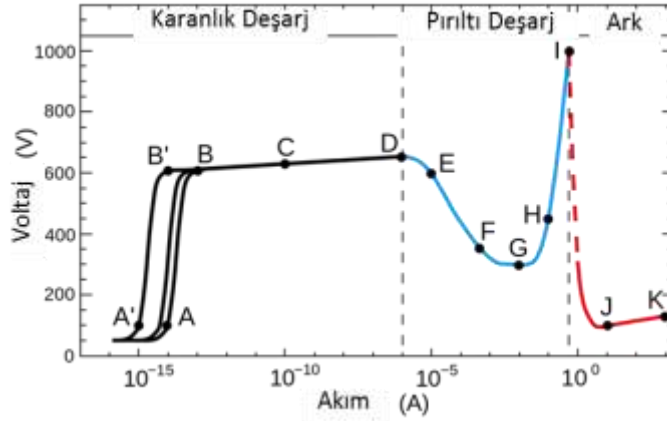
Terahertz teknolojisindeki gelişmeler sayesinde tıbbi tetkik, güvenlik taraması, askeri tanıma, radyo uzay bilimi, iklimsel incelemeler, yüksek hızlı veri iletişimi, kimyasal ve biyolojik tespit alanlarına yönelik uygulamalar ve çalışmalar ortaya çıkmıştır. THz dalgalarının plazma ortamında yayılma özellikleri ve plazma ile etkileşimi halen yeni uygulamalar bulunan ve her gün yeni yayın çıkan alanlardır.

THz spektrumunda son yıllarda yeni kaynakların geliştirilmesi yeni uygulamaların önün açmıştır. Terahertz kaynağı olarak çeşitli cihaz ve teknikler kullanılmaktadır; katı hal elektronik kaynakları, Kuantum Şelale Çukuru Lazerler, ElektroOptik Rektifikatörler, Fotoiletken yapılar, vb. Bu çalışmada katı hal elektronik kaynağı (Schottky Diyot) kullanılmıştır. Schottky diyotlarının doğrusal olmayan özelliği sayesinde ile mikrodalga frekansı sinyaller frekans çarpma katlama yöntemi ile milimetre dalga ve Terahertz frekanslarına çıkarılmaktadır..

Çalışmamızda, Milimetre Dalga/THz radyasyonunun GDD içindeki plazma alanının optik ışması ve akım değeri üzerindeki etkisini inceledik. Önceki çalışmalardan farklı olarak, plazma bölgesini kapsayan bir manyetik alan oluşturulmuştur. Manyetik akı şiddeti B , deneyimizdeki diğer bir etkidir. Manyetik alanı sabit bir mıknatıs veya elektromanyetik bir bobin ile elde etmek mümkündür. Fiziksel hareket olmadan, akım değerini değiştirerek manyetik akı şiddeti değerini ve manyetik alan yönünü değiştirmenin kolay olması sebebi ile elektromanyetik bir bobbin tercih edilmiştir.

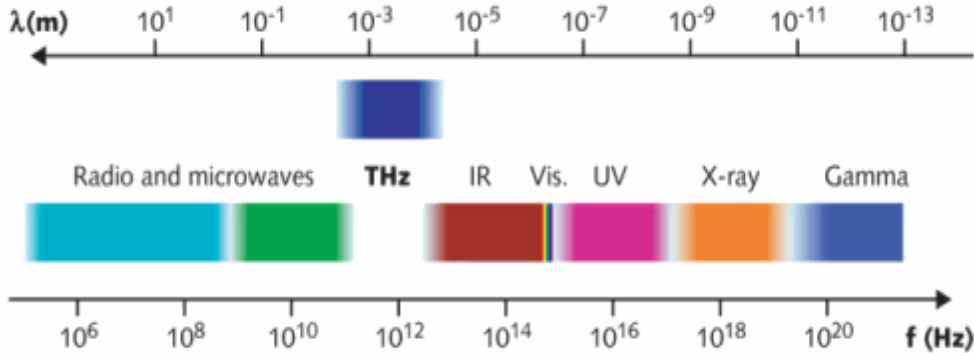
MATERYAL ve YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

Terahertz tespit tekniklerinin geliştirilmesi ihtiyacını göz önüne alarak, terahertz radyasyon ve manyetik alanların soğuk plazma GDD'ler üzerindeki etkileri, plazma optik emisyon spektroskopisi tekniği kullanılarak deneysel olarak araştırılmıştır. Neon gösterge lambaları yani GDD'ler terahertz radyasyonu için ucuz dedektörler olarak kullanılabilirler. Plazma halini maddenin dördüncü hali olarak kabul edilmektedir ve genelde yüksek sıcaklık veya füzyon plazması ve düşük sıcaklık plazma olarak iki gruba ayrılır. GDD içinde oluşturulan plazma düşük sıcaklık plazma grubuna girmektedir. GDD içindeki parıltı veya pırıltı deşarjı, bir elektrik alanı etkisi ile düşük basınçlı gazda oluşan bir plazmadır. Gaz karışımı temel olarak Argon ve Neon gibi asal gazlardan oluşur ve basınç oranları tipik olarak 10^{-2} ila 10^{-5} atm arasındadır. Bu deşarj mekanizması, düşük basınçlı vakum altında elektrotlar üzerine bir DC voltaj uygulanarak başlatılır.



Şekil 1. Deşarj Plazmalarında Voltaj ve Akım arasındaki tipik ilişki
 Figure 1. Voltage-Current Relationship in the discharge plasma

Plazma ortamında, 10^{-15} ve 10^{-6} Amper arası (A-D) akım artarken elektrik alan voltaj değeri eşik değerinden (B'-B) sonra yavaşça artar. 10^{-5} Amper değeri geçildikten sonra ışıklı-parıltılı- uyarım deşarjı gerçekleşir. (D-G) aralığında akım ve gerilim ilişkisi negatiftir, bu negative ilişki sayesinde GDD'ler bir kapasitör ile osilatör olarak da kullanılabilirler. (G-I) aralığında akım 1 Amper değerlerine yaklaşır ve parıltılı ışımaya elektrik arkına dönüşür (Tonouchi, 2007). Deneylerde kullandığımız GDD lambalar 0.1 A üzeri akımlarda elektrodların yanması sebebi ile çalışmaz hale gelmektedirler. Elektromanyetik (EM) spektrumda terahertz bölgesi (THz) (0.1 ila 10 THz), kızılötesi ve mikrodalga bant arasında bulunur, terahertz radyasyon, milimetre ve milimetre-altı dalgaları, T ışınları veya THz aralığı olarak adlandırılır.



Şekil 2. Elektromanyetik Spektrum
 Figure 2. Electromagnetic Spectrum

Gazlarda plazma hali, nötr gaz atomlarından bir veya daha fazla elektronu koparacak şiddette elektrik alanı uygulandığında meydana gelir. Plazma ortamının parametreleri plazma yoğunluğu, plazma frekansı, plazma sıcaklığı ve çarpışma frekansıdır (Bellan, 2008). Bu parametreler, plazma içinden geçen elektromanyetik dalganın iletimini, yansımaları ve emilimini etkiler. Terahertz radyasyonu, belirgin bir emme gücü ve yansıma olmadan THz tekrarlanmasına yakın yüksek çarpışma frekansına sahip yoğun bir plazmayı geçebilir (Yuan ve diğ., 2012; Yuan ve diğ., 2010). Aynı şekilde, homojen olmayan çarpışma frekansı değerine sahip bir plazma ortamından terahertz radyasyonu kayıpsız geçebilir. DC akım ile oluşturulmuş Parıltılı Deşarj Plazma ortamında terahertz dalganın iletimi, plazmanın elektrik alanının yönü ve dalganın polarizasyonuna bağlıdır. Aynı zamanda, Parıltılı Deşarj Plazma içeren GDD komponentlerin THz dalga şiddetine orantılı olarak GDD üstünden akan akımda görülen değişimin hassasiyeti [mA/mW], GDD içindeki elektrik alanının THz dalganın polarizasyon yönü ile paralel olduğu

oranda artmaktadır. Plazma ortamındaki doğrusal olmayan ilişkilerden dolayı THz dalga polarizasyonunun plazma elektrik alan yönüne dikey olduğu durumda da az da olsa değişim hassasiyeti görülmektedir.

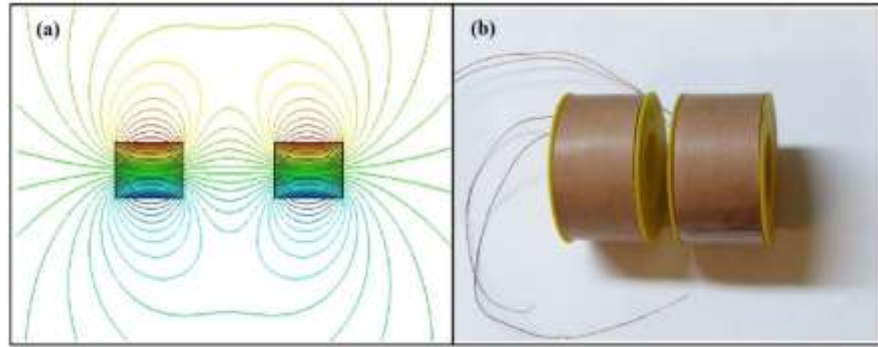
Manyetik alan kuvveti B , çalışmada test edilen ana etkidir. B Manyetik alanı tabii bir miktarda veya elektromanyetik bobin ile elde edilebilir. Deney düzenine göz önünde bulundurularak kullanım kolaylığı açısından elektromanyetik bobin tercih edilmiştir. Manyetik akı yoğunluğu olarak en az $B \approx 200,300$ Gauss hedeflenmiş olup, tel çapına göre ($\phi = 0.361$ mm) veya Amerikan standardı (AWG No: 27) kullanılmış, çerçeve boyutları ($d_{iç} = 28.0$ mm, $c = 12.0$ mm, $b = 27.0$ mm) olarak tasarlanmıştır. $d_{iç}$ iç çap, c bobinin yüksekliği, b bobinin genişliği ve N bobin sarım sayısı ($N = 2016$ n). Ölçülen direnç yaklaşık olarak $R = 44 \Omega$ olmuştur. Maksimum akım değeri (I), DC güç kaynağının maksimum değeri 30V bağlı olarak;

$$I_{30V} = (30 \text{ V}) / (44 \Omega) = 0.681 \text{ Amp} = 681.8 \text{ mA}$$

Solenoidin orta noktasında DC manyetik akı yoğunluğu B ;

$$B_{orta} = \mu_0 I * (N / L)$$

Böylece, 30 VDC güç kaynağı kullanarak solenoidin orta noktasında bir DC manyetik akı yoğunluğu tahmin edebilir. $N = 2016$ n, $L = b = 27$ mm, ve $I_{30V} = 0.6818$ Amp ise, maksimum B değeri= 639.72 Gauss çıkar.



Şekil 3. (a) İki solenoid bobin arasındaki manyetik akı dağılımı. (b) Deneyde kullanılan bobinler.

Figure 3. (a) Magnetic flux distribution between two solenoids (b) The solenoids used in the experiment

Tek bir solenoid bobini kullanıldığında, eksen merkezinden uzaklaştıkça manyetik alan yönlerindeki bozulma olacağından ve manyetik alan uygulayacağımız GDD lambasına aynı anda milimetre dalga/THz dalgası uygulanabilmesi için iki adet bobin kullanmayı tercih ettik (Şekil 3b). Zıt akımlı iki solenoid arasındaki mesafe az olduğunda, eksen manyetik alan yönü eksen (Şekil 3a) boyunca kalmaktadır. Birbirine bakan iki simetrik EM bobin arasındaki boşluğa eksen ile aynı yönde GDD lambasını yerleştirilmiştir.

Çalışmada kullanılan parıltılı deşarj dedektörleri, GDD, (Neon Gösterge Lambaları) içerisinde abnormal plazma bölgeleri oluşmaktadır (Şekil 4). GDD'ler, cam tüp içinde iki paralel tungsten elektrot içermektedir, 10^{-2} atmosferde Argon ve Neon gaz karışımı bulunan GDD iç yüzeyi, optik ışımaya rengini kırmızı-infrared den yeşile çevirmek için floresan fosfor kaplıdır. Ayrıca, GDD düşük maliyeti nedeniyle ucuz bir mikrodalga/milimetre dalga/THz sinyali dedektörü olarak kullanılmaktadır.

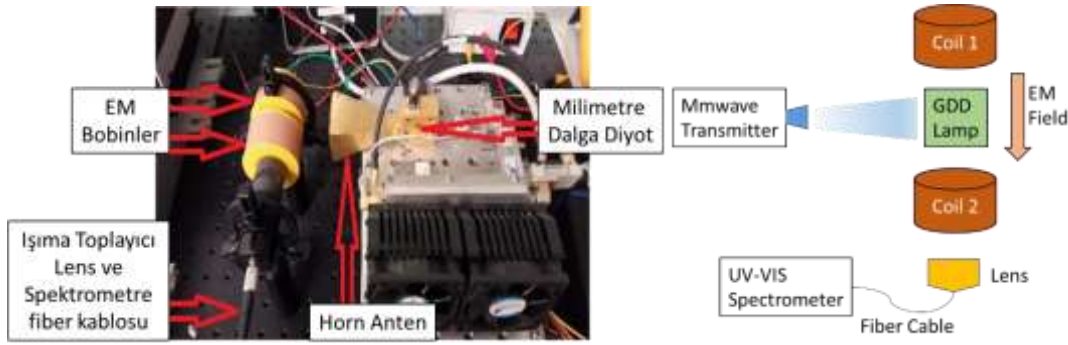


Şekil 4. GDD (Neon Gösterge) Lambası

Figure 4. GDD or Neon indicator lamps

GDD içindeki abnormal plazmadan yayılan optik ışımının spectrum değerlerini ölçmek ve kaydetmek için, geniş ölçüm aralıklı UV / VIS / NIR (Dalga boyu aralığı 200 - 1100 nm) AvaSpec ULS3648 StarLine Spektrometre kullanılmıştır. Spektrometre ışık şiddeti ölçümleri, bilinen kalibrasyon ışık kaynağına ($\mu\text{W} / \text{cm}^2$ cinsinden) göreceli olarak ışınım verilerine çevrilmiştir.

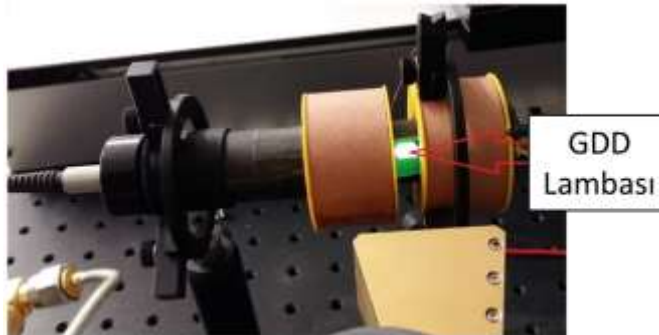
Abnormal plazma optik ışması üzerinde milimetre dalga/terahertz dalgası ve manyetik alanın bileşik etkisini incelemek için, şekilde gösterildiği gibi, iki elektromanyetik bobin, GDD lambası, milimetre kaynak sistemi ve spektrometre kullanılmıştır. Elektromanyetik akı kaynağı olan EM bobinler arasındaki 1 cm'lik aralığa, aynı eksen üzerinde olacak şekilde üzeri silindirik siyah kâğıt kaplı GDD lambası yerleştirilmiştir. Dış ortamdaki ışık değişimlerinin Spektrometre ölçümlerini etkilememesi için fiber optik kablo bağlantılı olan ışın toplayıcı lens bu şekilde izole edilmiştir ve sadece GDD üzerindeki optik ışımayı toplamıştır. GDD lambası, seri bağlantılı 5.6 kilo ohm'luk bir direnç ile 120VDC kaynağa bağlanmıştır. GDD lambası üzerindeki ortalama DC akım 10mA'dir.



Şekil 5. Deneysel Düzeneğin Fotoğrafı ve Şeması

Figure 5. Photograph and schematics for the experimental setup

GDD lambasına yan taraftan, horn anten aracılığı ile 300mW gücünde 60GHz milimetre dalga sinyali yönlendirilmiştir. 4 cm mesafede birim alan milimetre dalga şiddeti yaklaşık $210\text{mW}/\text{cm}^2$ veya $2.1\text{mW}/\text{mm}^2$ hesaplanmıştır. Bu yerleşimde EM manyetik alanı GDD elektrik alanına dik konumda, GDD elektrik alanı ve milimetre dalga polarizasyonu paraleldir. Siyah silindirik kağıt boru ile GDD üzerindeki optik ışıma, ışın toplayıcı lens ve fiber optik kablo (UVIR)ile spektrometreye aktarılmaktadır. Spektrometre ölçümleri USB kablo ile bilgisayara kaydedilmiştir. Deney esnasında i) manyetik alan (EM) ve milimetre dalga (MD) uygulanmamış (baz), ii) manyetik alan uygulanmış ve milimetre dalga uygulanmamış, iii) manyetik alan uygulanmamış ve milimetre dalga uygulanmış, iv) manyetik alan ve milimetre dalga uygulanmış olarak GDD optik ışınım spektrum analizleri yapılmıştır. İndüktif ısınma nedeni ile GDD akım değeri 0.3 A değerine sınırlanmıştır, bu değer karşılığı olan toplam manyetik akı yoğunluğu yaklaşık 600 Gauss eder.



Şekil 6. GDD lambasının konumunun detayı

Figure 6. Detail of the GDD lamp position

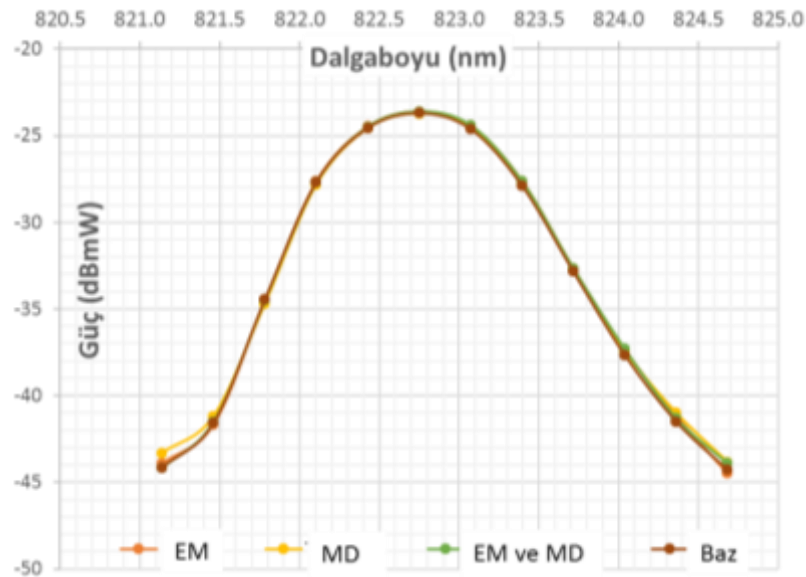
Spektrum ölçümlerinde Neon emisyon dalgaboyu olan kızılötesi 821.0 - 825.0 nm spektrumu üzerinde durulmuştur (Çizelge 1), bu dalgaboyu aralığı yüksek bir ışınım değerine sahiptir. Kalibreli kaynağa göre düzeltilmiş optik ışınım şiddet yoğunlukları dalgaboyuna (nm) ışık şiddeti (dBmW) cinsinden grafikler ile verilmiştir (Şekil 7).

Çizelge 1. Neon emisyon spektrumu (821.0 – 825.0 nm) (Bellan 2008).

Table 1. Neon Emission Spectrum

Ion	Dalga boyu (nm)	A_{ki} (s ⁻¹)	E_i (eV)	E_k (eV)	Lower Level Conf.	Upper Level Conf.	g^k
Ne II	821.3046		36.1788192	37.68800503	$2s^22p^4(^3P)4p$	$2s^22p^4(^3P)5s$	4
Ne II	821.45712		34.63187023	36.14077580	$2s^22p^4(^3P)3d$	$2s^22p^4(^3P)4p$	6
Ne VIII	821.7	2.32e+06	[140.76269]	[142.2711]	$1s^23p$	$1s^23d$	6
Ne IX	822.1	4.25e+05	1 071.8384	1 073.3461	$1s3p$	$1s3d$	5
Ne II	824.4328		36.1788192	37.68227852	$2s^22p^4(^3P)4p$	$2s^22p^4(^3P)5s$	2
Ne I	824.86823		18.63679141	20.13945716	$2s^22p^5(^2P^{\circ}_{3/2})3p$	$2s^22p^5(^2P^{\circ}_{1/2})3d$	3

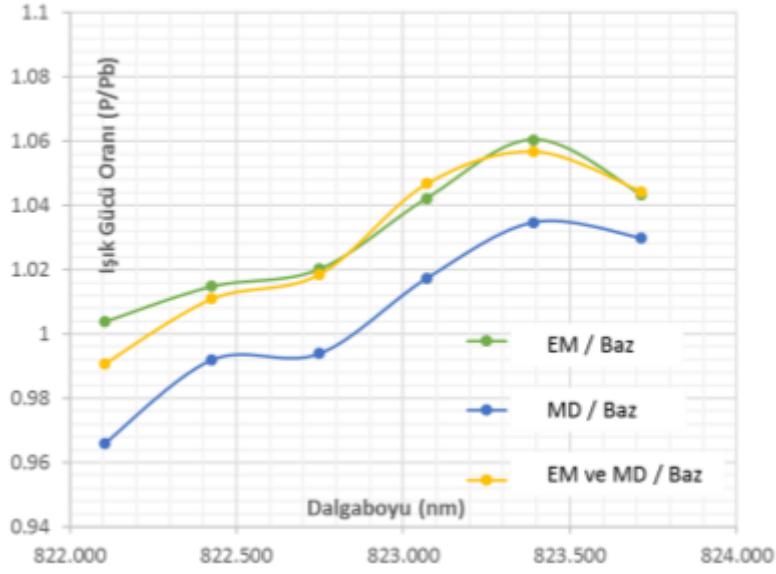
BULGULAR (RESULTS)



Şekil 7. Optik Işıma Spektrum Dağılımı

Figure 7. Optical Radiation Spectrum Distribution

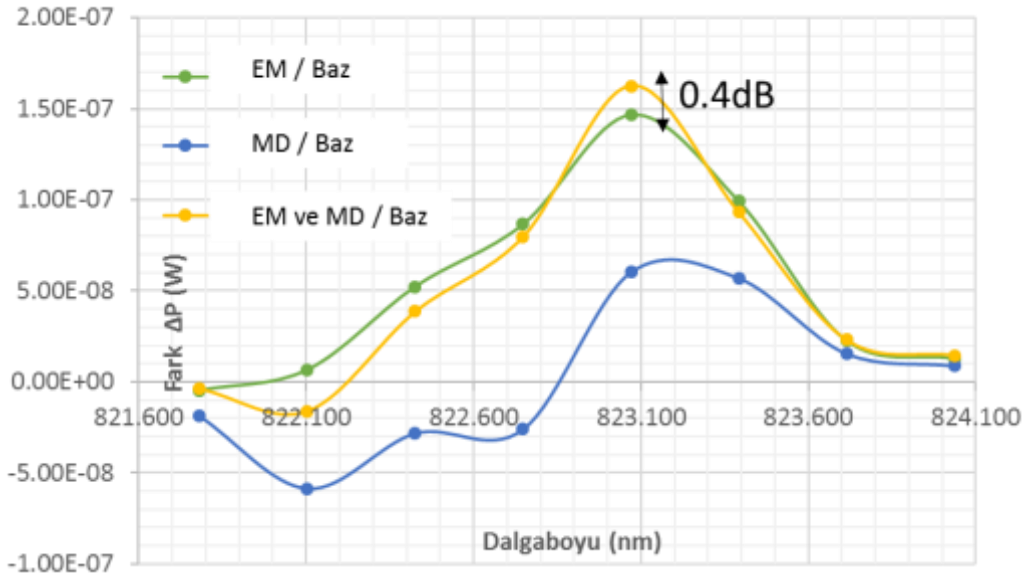
Baz Spektrumuna göre diğer spektrum ölçümlerinin oransal ve logaritmik fark grafikleri elde edilmiştir. Sonuçlar, şekil 8.'de ve 9. da verilmiştir. Şekillerde EM, sadece elektromanyetik alanın uygulandığı, MD, sadece milimetre dalga'nın uygulandığı, EM ve MD hem manyetik alanın hem milimetre dalga'nın uygulandığı durumdur.



Şekil 8. Spektrum değerlerinin Baz spektrum değerine doğrusal oranı

Figure 8. Linear ratios of the spectra with respect to the base spectrum

Milimetre dalganın (MD) tek başına uygulandığı zaman spektrumda görülen etkinin göreceli olarak %3 civarı olduğu görülmektedir. Buna karşın, elektromanyetik alanın (EM) etkisi ile ışımda %5'lik bir artış oluşmaktadır. Elektromanyetik alan uygulanmakta iken, milimetre dalganın uygulanmasının pozitif bir etki yaptığı ve ışımda ek bir artış olduğu görülmüştür. GDD plazma yoğunluğu, hem manyetik alan hem de milimetre dalganın etkisi ile artmış ve bu ışımda pozitif bir etki yapmıştır. Bu fark yaklaşık 0.4dB bir kazanca karşılık gelmektedir.



Şekil 9. Watt cinsinden EM, MD, EM ve MD Spektrum-Baz Spektrum Farkları

Figure 9. EM, MD, EM and MD spectra – base spectrum difference in W

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

GDD lambaların milimetre dalga/THz dedektörü olarak kullanımında artık GDD plazma optik ışımda milimetre dalga sinyale bağlı olarak görülen değişim üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu çalışma ile harici bir manyetik alan uygulanmasının GDD plazma optik ışıması üzerinde pozitif bir etki olabileceği gösterilmiştir. Gelecek çalışmalarda manyetik ve milimetre dalga çok yüksek frekans harici elektrik alanın, GDD plazma elektrik alanında olan etkisinin teorik olarak incelenmesi, daha yüksek elektromanyetik akı yoğunluklarının uygulanması ve farklı frekans milimetre dalga/THz kaynakların denenmesi üzerinde durulacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Abramovich A., Kopeika N. S., Rozban D., 2009, "THz polarization effects on detection responsivity of glow discharge detectors (GDDs)," *IEEE Sensors Journal*, Cilt 9, ss. 1181-1184.
- Bellan P. M., 2008, *Fundamentals of plasma physics*: Cambridge University Press.
- Çınar K., Altan H., Şahin A. B., 2013, "THz transmission and detection through glow discharge detectors," in *SPIE Defense, Security, and Sensing*, ss. 87160J-87160J-9.
- Haddad J., Bousquet B., Canioni L., Mounaix P., 2013, "Review in terahertz spectral analysis," *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, Cilt 44, ss. 98-105.
- Hafez H., Chai X., Ibrahim A., Mondal S., Férachou D., Ropagnol X., Ozaki T., 2016, "Intense terahertz radiation and their applications," *Journal of Optics*, Cilt 18, p. 093004.
- Ilin K.S, Lindgren M., Currie M., Semenov A. D., Goltsman G. N., Sobolewski R., 2000, "Picosecond hot-electron energy relaxation in NbN superconducting photodetectors," *Appl. Phys. Lett.* 76, p. 2752-2754.
- Lewis R. A., 2014, "A review of terahertz sources," *Journal of Physics D: Applied Physics*, Cilt. 47, p. 374001.
- Rozban D., Kopeika N. S., Abramovich A., Farber E., 2008, "Terahertz detection mechanism of inexpensive sensitive glow discharge detectors," *Journal of Applied Physics*, Cilt 103, p. 093306.
- Semerci T., Demirhan Y., Miyakawa N., Wang H. B., Ozyuzer L., 2016, "Thin film like terahertz bolometric detector on Bi2212 single crystal," *Opt. Quantum. Electron.* 48, p. 3401-3411.
- Sizov F., 2010, "THz radiation sensors," *Opto-electronics review*, Cilt 18, pp. 10-36.
- Sizov F., Rogalski A., 2010, "THz detectors," *Progress in Quantum Electronics*, Cilt 34, ss. 278-347.
- Tonouchi M., 2007, "Cutting-edge terahertz technology," *Nat. Photonics* 1, p. 97-105.
- Yuan C.-X., Zhou Z., Yue F., 2012, "Terahertz waves propagation in a bounded plasma slab with high plasma density and high collision frequency," in *Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA)*, 2012 Fifth International Conference on, pp. 608-613.