



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Kutuplanmaya Bağlı Mikrodalga Plazma Etkileşiminin Floresan Lamba Dizisi ile İncelenmesi

İbrahim AKKAYA ^{a,*}, Yavuz ÖZTÜRK ^b

^a İzmir Biyotıp ve Genom Merkezi (iBG), İzmir, TÜRKİYE

^b Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ege Üniversitesi, İzmir, TÜRKİYE

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: ibrahim.akkaya@ibg.edu.tr

ÖZET

Yapılan bu çalışmada, floresan lamba dizisi ile kutuplanmaya bağlı mikrodalga etkileşimi incelenmiştir. Bu etkileşim, 10,5 GHz frekansında alıcı ve verici kullanılarak araştırılmıştır. Floresan lamba dizisi 220V/50 Hz şehir şebekesi kullanılarak sürülmüştür. Alıcıya ulaşan mikrodalga sinyalinde, lamba dizisinin enerjili durumda %77,5 ve enerjisiz durumunda ise %8,7 kutuplanmaya bağlı değişim gözlenmiştir. Tasarlanan floresan dizisinin kutuplayıcı olarak kullanılması durumunda yok etme oranı 6,35 dB olan bir kutuplayıcı elde edilebileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Floresan dizi, Mikrodalga, Plazma, Kutuplayıcı

Investigation of Polarization Dependent Interaction of Microwave and Plasma by Using Fluorescent Lamp Array

ABSTRACT

In this study, polarization-dependent microwave interaction with a fluorescent lamp array was investigated. This interaction was examined with a receiver and transmitter at 10.5 GHz frequency. The fluorescent lamp array was driven by 220V/50 Hz mains. Measured microwave signal change was around 77.5% in the energized state and 8.7% in the non-energized state of the lamp array due to polarization. It has been shown that if an array is used as a polarizer in this way, a polarizer with an extinction ratio of 6.35 dB can be obtained.

Keywords: Florescent array, Microwave, Plasma, Polarizer

I. GİRİŞ

Floresan lambaların uçlarındaki flaman içinde düşük basınç altında civa buharı ve argon gazı bulunmaktadır. Yüzeyleri ise floresan malzemelerle kaplıdır. Flamanlardan kopan elektronların ve uygulanan elektrik alan altında hızlanarak civa atomlarını iyonize etmesi sonucu oluşan plazma yapısı ile morötesi bölgede ışık oluşturmaktadır. Morötesi ışık ise floresan malzeme ile etkileşime girerek, kullanılan floresan malzeme tipine bağlı olarak görünür ve yakın kırmızı-altı bölgede yayın yapmasına neden olmaktadır. Bu şekildeki plazma yapısına sahip olan floresan lambaların kolay bulunabilir ve ucuz temin edilebilir olması en büyük avantajlarından birisidir.

Literatürde tek plazma tipi yapılar ile mikrodalga etkileşimi üzerine çalışmalar bulunmaktadır [1-3]. Bu çalışmalarda, floresan lamba tipi yapılar içinde oluşan plazma ile mikrodalga etkileşimi, dalga kılavuzu veya oyuk (Cavity) tipi yapılar içinde incelenmiştir [1-3]. Son yıllarda yapılan araştırmalarda ise matris şeklinde dizilmiş plazma yapıları ile mikrodalga etkileşimi araştırılmıştır [4-6]. Bu çalışmalarda, iki boyutlu plazma yapılarının elektromanyetik dalgalar için fotonik bant aralık yapısını gösteren durumlarını teorik, benzetim ve deneysel yöntemler kullanılarak incelemiştir [5-7]. Ancak bu araştırmalarda elektromanyetik dalganın kutuplanmasına (polarizasyonuna) bağlı etkileşimlerin irdelenmediği görülmüştür.

Optik ve mikrodalga sistemlerinin önemli bir parçası olan kutuplayıcı (polarizer) tipi cihazların geliştirilmesine yönelik araştırmalar devam etmektedir. Elektromanyetik dalgalar için kutuplayıcı olarak grafin [8], metalik ızgara [9], yarı-metalik yapılar [10] vb. gibi birçok yapılar üzerine de araştırmalar yapılmaktadır. Fakat bu çalışmalarda plazma gibi dış alan kontrollü olarak elde edilen kutuplayıcı yapıları kısıtlıdır [11].

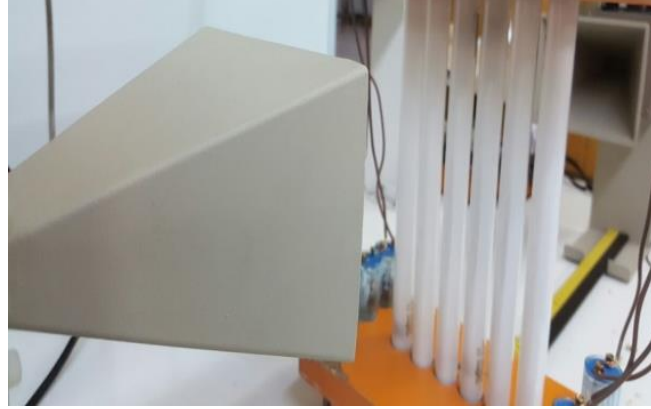
Sunulan çalışmada, incelenen literatürde yapılan araştırmalardan farklı olarak, bir dizi plazma kaynağının mikrodalga kutuplanması üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu etkileşim *Pasco Science* lisans ve lisansüstü laboratuvar seti kullanılarak 10,5 GHz frekansta incelenmiştir. Plazma kaynağı olarak da, kolayca bulunabilecek aydınlatma amaçlı kullanılan floresan lamba dizisi kullanılmıştır. Floresan lamba kullanmanın en büyük avantajı yeterli şiddette elektrik alan uygulandığında plazma oluşturabilmesidir. Literatür taramamız sonucunda, bu çalışmanın plazma mikrodalga etkileşimleri konusunda katkı sağlayacağını düşünmekteyiz. Ayrıca önerilen plazma yapısının, kutuplayıcı (polarizer) olarak kullanılacak şekilde ve kutuplanmaya bağlı mikrodalga modülatörü olarak geliştirilebileceği de yapılan bu çalışma neticesinde öngörülmektedir.

II. DENEYSEL VE TEORİK METOT

Çalışmada WA-9314C model *Pasco Science* mikrodalga deney seti kullanılmıştır. Yaklaşık 10,5 GHz frekansta ve 15 mW gücünde çalışan WA-9801 model, doğrusal kutuplu (polarize) yayın yapan mikrodalga verici ve WA-980 model kendi içinde ayarlı yükselticisi bulunan mikrodalga alıcı antenler kullanılmıştır.

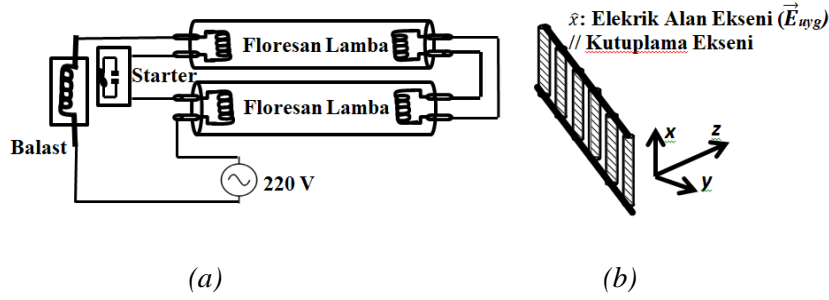
Floresan tipi lambalarda civa iyonları ve elektronlar, uygulanan dış elektrik alan altında plazma yapısı oluşturmaktadır. Plazma dizisi ile doğrusal kutuplu mikrodalga etkileşimini incelemek için Şekil 1'de gösterildiği gibi bir dizi floresan lamba yapısı oluşturulmuştur. Hazırlanan lamba dizisi, her biri 6 W gücünde 6 adet beyaz ışık veren floresan lambalar (Global T5/6W, RPC) ile oluşturulmuştur. Kullanılan

lambalar; 16 mm çapına, 225 mm uzunluğuna, 0,8 mm cam kalınlığına sahiptir. Şekil 1’de gösterilen lambalar, aralarında 5 mm mesafe olacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 1. Verici ile alıcı arasında bulunan ve tasarlanan floresan lamba dizisi

Lambalar Şekil 2 (a)’da gösterildiği gibi ikişer adet seri bağlanarak, her bir ikili lamba, 40 W bobinli balast ve bir adet yol-verici (starter) ile yaklaşık 220 V etkin şebeke gerilimi ile sürülmüştür. Akan akım değeri ise 5,6 - 6 mA etkin değer aralığında ölçülmüştür. Gerilim, lambaların uçlarına uygulandığı için plazma oluşturan elektrik alan \vec{E}_{uyg} , $\pm\hat{x}$ yönünde (Şekil 2 (b)) olacaktır. Bu \hat{x} yönde kutuplanmış elektromanyetik dalganın, elektrik alanının \vec{E}_{dalga} soğrulması düşük seviyede olacaktır. Elektrik alan yönüne dik (\hat{y} yönünde) polarize olmuş, \hat{z} yönünde yayılan mikrodalganın soğrulması ise plazma frekansına bağlı olarak yüksek seviyede olacaktır. Bu sebeple kutuplama eksenini \hat{x} yönünde tanımlanmıştır.



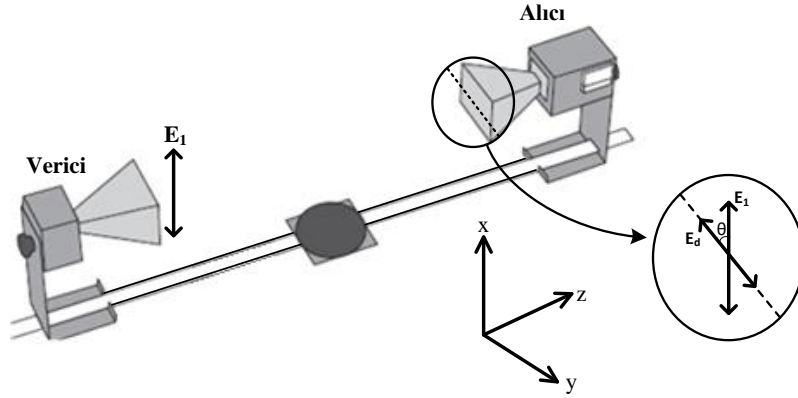
Şekil 2. a) Floresan lambaların devresi, b) Kutuplanma eksenini

Verici antenin kutuplu yayın yaptığı ve alıcının kutuplanmaya bağlı olarak ölçüm yaptığı da unutulmamalıdır. Bu durumda, alıcı anten ancak elektromanyetik dalganın kendi kutuplu anteni doğrultusundaki izdüşümünü algılayacaktır. Alıcının ve vericinin kutuplanmaya bağlı özelliği, arada herhangi bir malzeme olmadan denenmiştir. Sonrasında tasarlanmış floresan dizisi ile ölçümler alınmıştır.

Şekil 3’te görüldüğü gibi verici E_1 elektrik alanıyla gösterilen \hat{x} yönünde polarize yayın yapmaktadır. Alıcının kutuplama eksenini, \hat{x} eksenini ile θ açısı yaptığında, idealde sadece E_d izdüşümünün alanından etkilenecektir. Bu sebeple I_0 şiddetinde yayın yapan verici için alıcıda ölçülen şiddet I_{d1} ,

$$I_{d1} = I_0 \cos^2(\theta) \quad (1)$$

olarak hesaplanabilir.

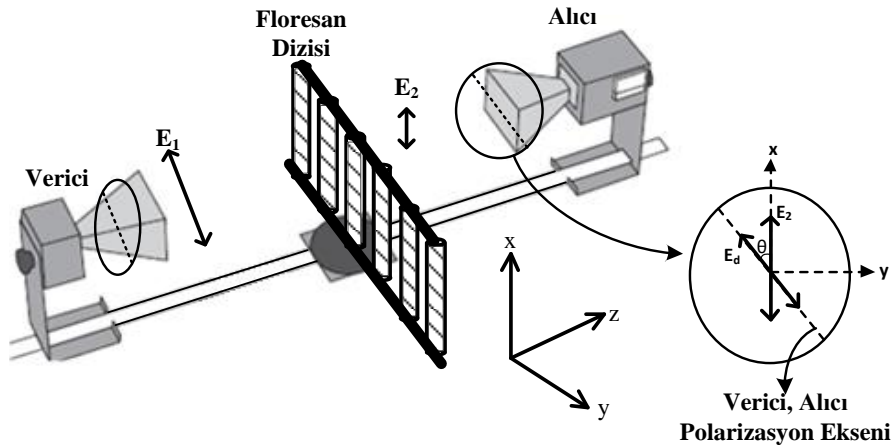


Şekil 3. Mikrodalga alıcı – verici çiftinin kutuplanma özellikleri

Planlanan ikinci ölçümde, floresan lamba dizisi sabit tutularak alıcı ve verici aynı anda aynı θ açılı değerlerine döndürülmüştür. Şekil 4’te gösterilen sistemde; vericiden çıkan E_1 elektrik alanı \hat{x} eksenini ile θ açısı yapmaktadır. Kutuplama eksenini, \hat{x} eksenini yönünde olan ideal bir kutuplayıcıdan geçtikten sonra E_2 elektrik alanı, E_1 elektrik alanının katı olacaktır. Alıcının üzerine düşen elektrik alanda E_d , E_2 elektrik alanının katı olacaktır. Dolayısıyla I_0 şiddetinde yayın yapan verici için, ideal durumda alıcıya düşen şiddet I_{d2} :

$$I_{d2} = I_0 \cos^4(\theta) \quad (2)$$

olarak hesaplanabilir. Bu hesaplamalarda vericinin yayın örgüsü ve saçılmalar hesaba katılmamıştır.



Şekil 4. Floresan dizisi yerleştirilerek, alıcı ve vericinin kutuplanma eksenlerinin aynı açılarla döndürüldüğü ölçüm sistemi

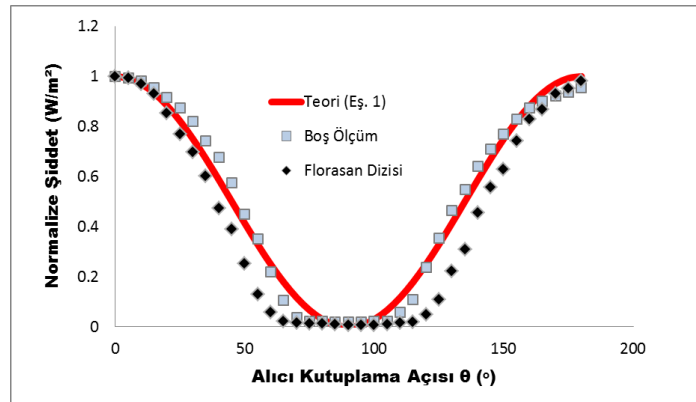
Plazma mikrodalga etkileşimlerinde soğrulma değerinin plazma frekansına bağlı olduğu bilinmektedir. Drude modeli kullanılarak, plazma frekansı f_p :

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{ne^2}{m_e \epsilon_0} \right)^{1/2} \quad (3)$$

ifadesiyle belirlenebilmektedir. Bu ifadede, n elektron yoğunluğu, e elektron yükü, m_e elektron kütlesi, ϵ_0 vakum elektik geçirgenliğini temsil etmektedir. Teorik olarak plazma frekansı, yapının elektromanyetik dalgada sönümlenme olmadan ilerleyebileceği en düşük frekansı belirlemektedir. Eşitlik 3 kullanılarak yapılan hesaplamada, plazma frekansının 10,5 GHz olması için elektron yoğunluğunun yaklaşık olarak $1,37 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$ olması gerekmektedir. Bu değer civa ve argon içeren yapıların elektron yoğunluğunun ölçüldüğü çalışmalarda bulunan aralıktadır. Bu değerler yaklaşık olarak $3,5 \times 10^{16}$ ile $3 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$ aralığında ölçülmüştür [12-14]. Ayrıca 5,6 mA etkin akım değeri için sürüklenme hızı ($v_d = J/ne$), n değeri $1,37 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$ için yaklaşık 443 m/s olarak hesaplanmıştır. Burada akım yoğunluğu J değeri hesaplanırken floresan lambada oluşan etkin plazma yarıçapı, lambda iç yarıçapının $1/\sqrt{2}$ katı olarak alınmıştır [15].

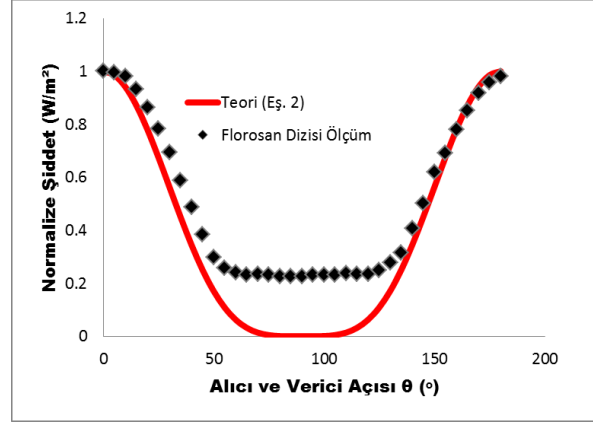
III. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

İlk aşamada mikrodalga verici ve alıcı Şekil 3'te gösterildiği gibi yerleştirilmiştir. Alıcı eksenini, saat yönünde x eksenini ile 5'er derecelik açı değişimleri ile döndürülerek elektromanyetik alan şiddeti ölçülmüştür. Aynı ölçüm floresan lambalar açık durumda iken tekrarlanmıştır. Ölçümlerde θ açısı, x eksenine göre belirlenmiş ve $0^\circ - 180^\circ$ aralığında değiştirilmiştir. Şekil 5'te görüldüğü gibi aldığımız ölçümler Eşitlik 1 ile verilen $\cos^2(\theta)$ eğrisine uymaktadır. Ancak $\cos^2(\theta)$ değerleri ve değişimi, 90° açı civarında düşük olmaktadır. Ayrıca alıcının gösterdiği doğrusal olmayan karakteristik özelliği sebebi ile teorik sonuçtan farklılıklar olacağı deney seti üreticisinin yayınladığı laboratuvar kitapçığında da bulunmaktadır [16]. Bu nedenlerle, alınan ölçümler teoriden farklılaşmaktadır. Floresan dizisinin kutuplanma eksenini ile verici kutuplama eksenlerinin aynı olması sebebiyle ölçüm sonucunu değiştirmemesi beklenmektedir. Ancak floresan dizisi ile yapılan ölçümden elde edilen eğri, boş durumda yapılan ölçümden elde edilen eğriye göre daha çabuk 0 W/m^2 'ye yakın değerlere düşmektedir. Eğrilerde görülen farklılıkların, floresan dizisinin saçıcılık özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 5. Floresan dizisi varken ve yokken, verici sabitken alıcı döndürülerek alınan ölçüm

Floresanlar dizisi, enerjili durumda iken verici ve alıcı aynı şekilde döndürülerek ikinci ölçüm yapılmıştır. Hem alıcı hem de verici, kutuplanmaya bağlı çalışmaları için aynı anda döndürmek floresan dizisinden oluşturduğumuz kutuplayıcıyı döndürmek ile aynı sonucu verecektir. Ölçüm sonucu ve Eşitlik 2 kullanılarak elde edilen teori Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 6. Floresan dizisi varken, alıcının ve vericinin aynı açılarla döndürülerek alınan ölçüm

Floresan lambaların elektrikli ve elektriksiz durumları arasındaki farkı görmek için aldığımız ölçümde ise; floresan lamba dizisi enerjisiz durumda iken alıcı ve verici döndürülmüştür. Bu durumda en fazla % 8,7 şiddet değişimi gözlenmiştir. Floresan dizisinin enerjili durumda kutuplayıcıya benzer yapıda davrandığı açıkça görülmektedir. Bir kutuplayıcı; kutuplanma derecesi ve yok etme oranı (extinction ratio) gibi parametreler ile değerlendirilebilmektedir. Bu parametreleri belirleyebilmek için ilk olarak kutuplayıcıya ulaşan dalganın kutuplayıcı eksenine paralel olduğu durumda geçiş (transmission) verimi K_1 hesaplanmalıdır. K_1 değeri floresan dizisi mevcut iken ve mevcut değilken alınan ölçümlerin oranından 0,949 olarak hesaplanmıştır. Diğer bir değer olan K_2 ise kutuplayıcıya ulaşan dalganın, kutuplanma eksenine dik bileşenin geçiş verimidir. K_2 değeri ise floresan dizisinin kutuplanma eksenine dik olarak ulaşan durum için floresan olan ve olmayan ölçümlerin oranından 0,22 olarak hesaplanmıştır. İdeal bir kutuplayıcıda $K_1=1$ ve $K_2=0$ olmalıdır. Elde edilen değerler kullanılarak, kutuplanma derecesi $(K_1-K_2)/(K_1+K_2)$ ifadesiyle 0,62 olarak hesaplanmıştır. Yok etme değeri ise $10\log(K_1/K_2)$ ifadesiyle 6,35 dB olarak hesaplanmıştır. Bu değerler ideal veya ticari kutuplayıcılarla karşılaştırıldığında oldukça düşük seviyedir. Ticari bir kutuplayıcıda yok etme oranının en azından 20 dB olması beklenir. Ayrıca deney sisteminin eğitim seti ile kurulması, deney yapılan ortamda yansıma engelleyici olmaması, floresanların ve monte edilen düzeneğin saçıcılık özelliği göstermesi sebebiyle ölçümler ideal şartlarda yapılamamıştır. Fakat elde edilen deneysel sonuçlar plazma yapısı ile elektromanyetik dalga etkileşiminin kutuplanmaya bağlı etkileşimini göstermektedir. Bu etkileşim kullanılarak modülatör, kutuplayıcı ve izolatör gibi olası uygulamaların geliştirilebileceği görülmektedir.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada 10,5 GHz frekansında yayılan elektromanyetik dalga ve floresan lamba dizisi ile oluşturulan plazma yapısının kutuplanmaya bağlı etkileşmesi incelenmiştir. Plazmayı oluşturan elektrik alan yönündeki kutuplanmada soğrulma ve etkileşim düşüktür. Ancak dalga kutuplanmasının floresan lamba eksenine dik olması durumunda ise elektromanyetik dalga soğrulmaktadır. Floresan lambalar kapalı konumdayken değişimlerin % 8,7 olmasına rağmen gelen ve geçen ışığın şiddetinde fazla bir

değişiklik görülmemektedir. Bu sonuç floresan dizisinin açık iken kutuplayıcı gibi fakat kapalı iken kutuplayıcı olmayacak şekilde davrandığını göstermektedir. Floresan lamba dizisi kullanılarak kutuplanma derecesi 0,62 iken yok etme oranı 6,35 dB olan kutuplayıcı elde edilmiştir.

Floresan lamba kullanılarak elde edilen plazma dizisi elektromanyetik dalga etkileşimi konusunda ilk çalışmalarımız sunulmuştur. Çalışma, piyasada bulunan en basit floresan lambaları ile yapılmıştır. Tasarladığımız floresan dizisi sisteminin geliştirilmesi mümkündür. Bu çalışmanın sonuçları ile plazma modülatör, kutuplayıcı ve plazma incelemeleri gibi uygulamaların geliştirilebileceğini göstermektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] B. Keržar and P. Weissglas, “Plasma microwave interaction”, *Journal of Applied Physics*, vol. 36, no. 8, pp. 2479-2484, 1965.
- [2] H. K. Malik and A. K. Aria, “Microwave and plasma interaction in a rectangular waveguide: Effect of ponderomotive force”, *Journal of Applied Physics*, vol. 108, no. 1, 2010.
- [3] G. J. M. Hagelaar, K. Hassouni and A. Gicquel, “Interaction between the electromagnetic fields and the plasma in a microwave plasma reactor”, *Journal of Applied Physics*, vol. 96, no. 4, pp. 1819-1828, 2004.
- [4] O. Sakai, T. Sakaguchi, Y. Ito and K. Tachibana, “Interaction and control of millimeter-waves with microplasma arrays”, *Plasma Phys. Controlled Fusion*, vol. 47, pp. 617–627, 2005.
- [5] O. Sakai, T. Sakaguchi and K. Tachibana, “Photonic bands in two dimensional microplasma arrays I. Theoretical derivation of band structures of electromagnetic waves”, *Journal of Applied Physics*, vol. 101, 2007.
- [6] Q. Li-Mei, Y. Zi-Qiang, L. Feng, G. Xi and L. Da-Zhi, “Dispersion characteristics of two-dimensional unmagnetized dielectric plasma photonic crystal”, *Chin. Phys. B*, vol. 19, no. 3, 2010.
- [7] B. Wang, and M. A. Cappelli, “A tunable microwave plasma photonic crystal filter”, *Applied Physics Letters*, vol. 107, no. 17, 2015.
- [8] Q. Bao, H. Zhang, B. Wang, Z. Ni, C. H. Y. X. Lim, Y. Wang, D. Y. Tang and K. P. Loh, “Broadband graphene polarizer”, *Nature photonics*, vol. 5, no. 7, pp. 411-415, 2011.
- [9] J. S. Cetnar, S. Vangala, W. Zhang, C. Pfeiffer, E. R. Brown and J. Guo, “High extinction ratio terahertz wire-grid polarizers with connecting bridges on quartz substrates”, *Optics Letters*, vol. 42, no. 5, pp. 955-958, 2017.
- [10] M. Grande, G.V. Bianco, M.A. Vincenti, D. de Ceglia, P. Capezzuto, M. Scalora, A. D’Orazio and G. Bruno, “Optically transparent microwave polarizer based on quasi-metallic graphene”, *Scientific Reports*, vol. 5, 2015.

- [11] S. J. Boehm, L. Kang, D. H. Werner and C. D. Keating, “Field-switchable broadband polarizer based on reconfigurable nanowire assemblies”, *Advanced Functional Materials*, vol. 27, no. 5, 2017.
- [12] W. McColl, C. Brooks and M. Brake, “Electron density and collision frequency of microwave-resonant-cavity-produced discharges”, *Journal of Applied Physics*, vol. 74, no. 6, pp. 3724–3735, 1993.
- [13] C. Motta, A. Fonseca, G. Gomes and H. Maciel, “Electron number density and collision frequency measurements in a microwave surface wave discharge”, *IEEE Conf. Pulsed Power Plasma Sci. Conf. (PPPS)*, 2001, pp. 1304–1307, Las Vegas NV-USA, doi: 10.1109/PPPS.2001.1001789, 2001.
- [14] M. K. Howlader, Y. Yang and J. R. Roth, “Time-resolved measurements of electron number density and collision frequency for a fluorescent lamp plasma using microwave diagnostics”, *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 33, no. 3, pp. 1093-1099, 2005.
- [15] B. Wang, and M. A. Cappelli, “A plasma photonic crystal bandgap device”, *Applied Physics Letters*, vol. 108, no. 16, 2016.
- [16] Pasco Scientific, (May 19, 2017) Experiment Guide for the PASCO Model WA-931: Microwave Modulation Kit, [Online] Available: https://www.pasco.com/file_downloads/Downloads_Manuals/Microwave-Optics-Experiment_Guide-WA-9314C.pdf.