



Çift Başlı Ok Şeklindeki Mükemmel Soğurucuda Dielektrik Ara Katmanların Absorbans Karakteristiğine Etkileri

Effects of Dielectric Spacer on Absorption Characteristics of Double-Headed Arrow Shaped Perfect Absorber

Aytaç Onur¹, Mustafa Türkmen¹, Sabri Kaya¹

¹Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye
aytac.onur@saglik.gov.tr, turkmen@erciyes.edu.tr, sabrikaya@erciyes.edu.tr

Özetçe—Bu çalışmada, dielektrik ara katmanların çift başlı ok şeklindeki mükemmel soğurucunun (MS) absorbans karakteristiğine etkileri incelenmiştir. MS nanoanten dizisi zaman domeninde sonlu farklar (FDTD) yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Ayrıca yapının elektrik alan dağılımları farklı dielektrik ara katmanlar için elde edilmiştir. MS dizisinin kırılma indisi değişimine karşı hassasiyetini kontrol etmek için, yapının üzerine farklı kırılma indisine sahip dielektrik malzemeler konularak incelenmiştir. Çift-bant rezonans cevabı, yüksek elektrik alan değerleri ve kırılma indisi hassasiyeti ile çift başlı ok şeklindeki MS nanoanten dizileri kızılötesi bölgede biyo-algılama uygulamaları için kullanılabilirler.

Anahtar Kelimeler — mükemmel soğurucular; biyo-algılama; nanoparçacık.

Abstract—In this study, effects of dielectric spacer on absorption characteristics of double-headed arrow shaped perfect absorber (PA) are investigated. The PA nanoantenna array is analyzed by using the FDTD (Finite Difference Time Domain) method. Also the electric field distributions of PA array are obtained for different dielectric layers. To analyze the refractive index sensing capability of the PA array, the sensitivity characteristics are investigated by loading different refractive indexed dielectric cladding media. Owing to the dual-band spectral response, enhanced electric fields, and refractive index sensitivity, the double-headed arrow PA nanoantenna array can be used for bio-sensing applications in infrared regime.

Keywords—perfect absorbers; biosensing; nanoparticle.

I. GİRİŞ

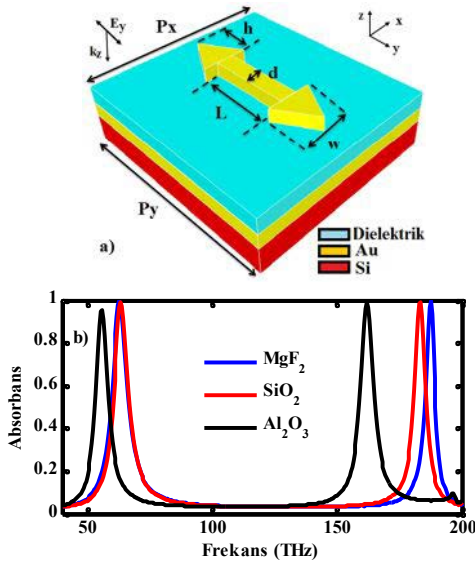
Plazmonik mükemmel soğurucular (MS), rezonans frekanslarında gelen radyasyonun büyük bir bölümünü soğuran plazmonik tabanlı nano aygıtlardır [1-4]. Mükemmel soğurucular belirli bir geometride yapılandırılmış, kullanılan ışığın dalgaboyundan küçük metal parçacık ya da açıklık dizileri şeklinde tasarlanmaktadır. Bu yapılarda düz bir metal film ile şekillendirilmiş parçacıklar ya da açıklıklar arasına yerleştirilen bir dielektrik ara katman ile elektromanyetik soğurum artırılmaya çalışılmaktadır. Plazmon enerjisini kullanan ve metal-dielektrik kompoziti olan bu soğurucular ışığı oda sıcaklığında ve çok küçük boyutlarda hapseden ve istenildiği gibi yönlendirebilen, hapsedilen yakın alan dağılımlarının geleneksel nanoanten dizilerine göre daha yüksek olması nedeniyle ışık-madde etkileşimini artıran, nano boyutlardaki optik nanoanten dizileridir [1-13]. Altın nanoparçacık tabanlı çift bant mükemmel soğurucu dizileri ile PMMA içerisindeki C-H ve C=O arasındaki bağlar algılanabilmektedir [2, 14]. Mükemmel soğurucular atomlar arasındaki bağların, molekül yada virüs gibi hedef analitlerin algılanmasında bir biyosensör olarak kullanılabilirler. Çift bant rezonansa sahip MS dizileri rezonans frekansları ayarlanarak kızılötesi bölgede birden fazla molekül yada proteinin aynı anda biyo-algılanmasında yararlı olabilirler.

Bu çalışmada, Onur ve ark. [15] tarafından literatüre sunulmuş olan çift başlı ok şeklinde nanoparçacıklara dayalı mükemmel soğurucu dizisinin farklı dielektrik ara katmanlar (MgF_2 , SiO_2 ve Al_2O_3) için frekansa bağlı olarak reflektans (R), transmitans (T) ve absorbans (A) cevabı incelenmiştir. MS dizisinin analizi zaman domeninde sonlu farklar (FDTD) [16] yöntemi kullanılarak

Biyomalzeme 1

2. Gün / 28 Ekim 2016, Cuma

gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlarda y polarizasyonlu ışık kaynağı kullanılmıştır. Şekil 1.a'da birim hücresi görülen çift başlı ok şeklindeki MS yapısında taban malzemesi olarak 300 nm kalınlığında silisyum kullanılmıştır. Taban malzemesinin üzeri 200 nm altın film ile kaplanmış, altın film üzerine ise $t_s=100$ nm kalınlığında bir dielektrik ara katman yerleştirilmiştir. Nanoanten yapısının son katmanı olarak $t_{Au}=50$ nm kalınlığında altın nanoparçacıklar yerleştirilmiştir. İncelenen MS dizisinin periyodu 1450 nm ($P_x = P_y = 1450$ nm) olarak belirlenmiştir. Dielektrik ara katman üzerine yerleştirilen üst ve alt ikizkenar üçgenlerin yüksekliği h ve taban genişlikleri w 'dir. İkizkenar üçgenlerin ortasında yer alan dikdörtgen parçacığın genişliği d ve uzunluğu L 'dir. (Şekil 1.a). Şekil 1.b'de çift başlı ok şeklindeki mükemmel soğurucunun farklı dielektrik katmanlar için (MgF_2 , SiO_2 ve Al_2O_3) frekansa bağlı olarak elde edilen absorptans cevabı verilmiştir. Kullanılan tüm dielektrik katmanlar için absorptans değeri bire yakın olmaktadır. Malzemelerin dielektrik sabitleri için Palik'in [17] sunmuş olduğu yaklaşım kullanılmıştır.

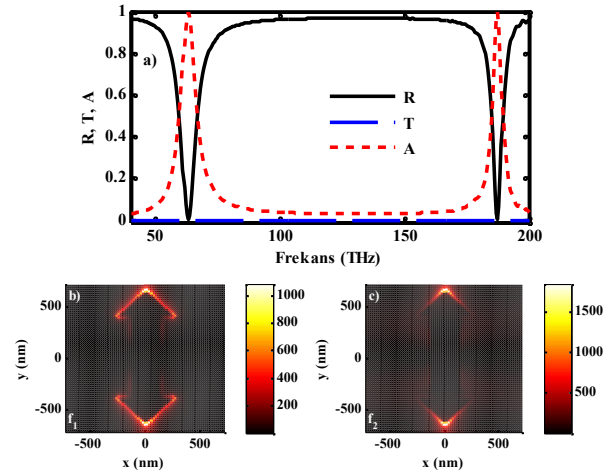


Şekil 1.(a) Çift başlı ok şeklindeki MS dizisinin birim hücresi (b) Çift başlı ok şeklindeki MS dizisinin farklı dielektrik katmanlar için absorptans spektrumu

II. NÜMERİK ANALİZ

MS nanoanten dizisinde dielektrik ara katman olarak MgF_2 ($n = 1.37$) kullanılması durumunda elde edilen reflektans (R), transmitans (T) ve absorptans (A) cevabı Şekil 2.a'da verilmiştir ($L = 800$ nm, $h = 250$ nm, $w = 500$ nm, $d = 250$ nm, $P = 1450$ nm, $t_{Au} = 50$ nm ve $t_s = 100$ nm). Absorptans değeri $A = 1 - R - T$ formülü ile hesaplanmıştır [2]. Şekil 2.a'da görüldüğü gibi MS dizisi kızılötesi frekans bölgesinde çift-bant rezonansa sahiptir. Elde edilen iki rezonans noktasından birincisinde ($f_1 = 63$ THz) absorptans % 99.5, ikinci rezonans noktasında ($f_2 = 187.5$ THz) absorptans değeri % 99.7 olarak elde edilmiştir (Şekil 2.a). Dielektrik ara katman olarak MgF_2

kullanılması durumunda f_1 ve f_2 rezonans frekanslarında dielektrik katman ve altın nanoparçacıkların birleştiği ara yüzeyde elektrik alan dağılımları sırasıyla Şekil 2.b ve 2.c'de verilmiştir. Elektrik alan dağılımlarının üçgenlerin keskin köşelerinde yoğunlaştığı ve gönderilen ışığa göre birinci rezonans frekansında 900 kattan ikinci rezonans frekansında 1400 kattan daha büyük değerde olduğu görülmektedir. Elektrik alan değerlerinin yüksek olması yüzey artırılmış kızılötesi soğurum (SEIRA: Surface Enhanced Infrared Absorption) tekniği kullanılarak yapılan biyo-algılama uygulamaları için istenen bir durumdur.

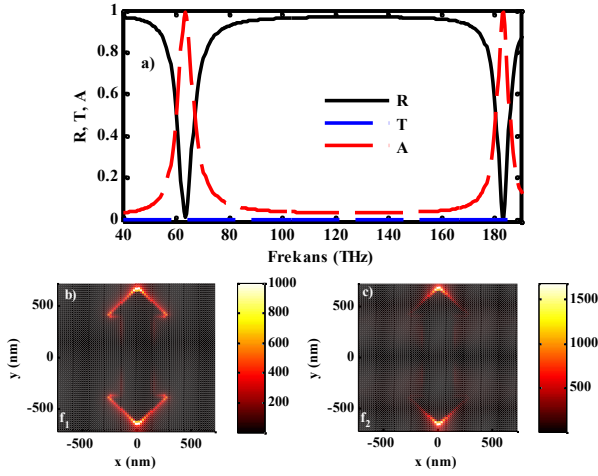


Şekil 2.(a) MgF_2 kullanılan MS dizisinin spektral cevabı. MgF_2 dielektrik ara katman için (b) f_1 ve (c) f_2 rezonans frekanslarında toplam elektrik alan $|E|^2/|E_{in}|^2$ dağılımları

Çift başlı ok şeklindeki mükemmel soğurucu yapısında dielektrik ara katman olarak SiO_2 ($n = 1.5$) kullanılması durumunda elde edilen spektral cevabı Şekil 3.a'da sunulmuştur. Elde edilen iki adet rezonans noktasından birincisinde ($f_1 = 63.5$ THz) absorptans % 98.9, ikinci rezonans noktasında ($f_2 = 183$ THz) absorptans değeri % 98.7 olarak elde edilmiştir. Dielektrik ara katman olarak SiO_2 kullanılması ile rezonans frekanslarında (f_1 ve f_2) oluşan elektrik alan dağılımları sırasıyla Şekil 3.b ve 3.c'de verilmiştir. Mükemmel soğurucu yapısında dielektrik ara katmanı değişiminde yüksek absorptans yeteneğini koruduğu ve üçgenlerin keskin köşelerinde elektrik alan dağılımlarının yüksek olduğu görülmüştür. Elektrik alan dağılımlarının üçgenlerin keskin köşelerinde yoğunlaştığı ve gönderilen ışığa göre birinci rezonans frekansında 900 kattan ikinci rezonans frekansında ise 1400 kattan daha büyük değerde olduğu görülmektedir.

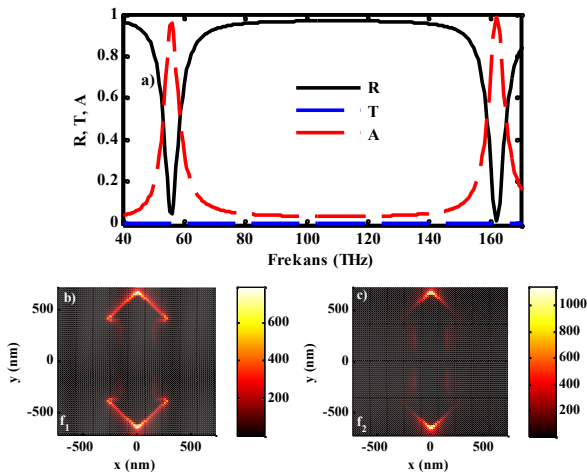
Biyomalzeme 1

2. Gün / 28 Ekim 2016, Cuma



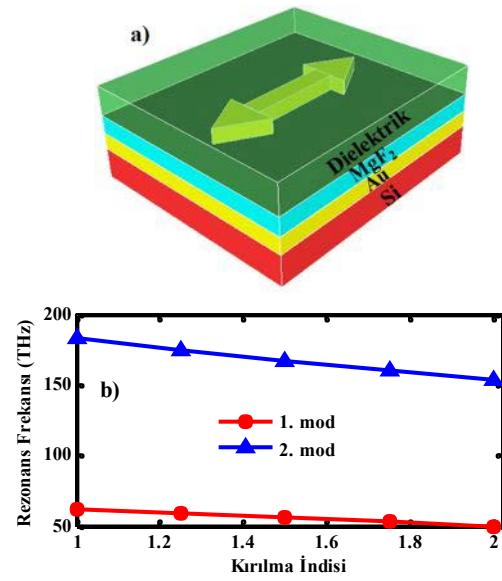
Şekil 3.(a) SiO₂ kullanılan MS dizisinin spektral cevabı. SiO₂ dielektrik ara katman için (b) f_1 ve (c) f_2 rezonans frekanslarında toplam elektrik alan $|E|^2/|E_{int}|^2$ dağılımları

Çift başlı ok şeklindeki mükemmel soğurucu yapısında dielektrik ara katman olarak Al₂O₃ ($n = 1.76$) kullanılması durumunda elde edilen spektral cevabı Şekil 4.a'da verilmiştir ($L = 800$ nm, $h = 250$ nm, $w = 500$ nm, $d = 250$ nm, $P = 1450$ nm, $t_{Au} = 50$ nm ve $t_S = 100$ nm). Elde edilen iki adet rezonans noktasından birincisinde ($f_1 = 56$ THz) absorptans % 95.6 ve ikinci rezonans noktasında ($f_2 = 162$ THz) absorptans değeri % 98.8 olarak elde edilmiştir. Dielektrik ara katman olarak Al₂O₃ kullanılması ile rezonans frekanslarında (f_1 , f_2) oluşan elektrik alan dağılımları sırasıyla Şekil 4.b ve 4.c'de verilmiştir. Dielektrik ara katman olarak 100 nm kalınlığında Al₂O₃ kullanıldığında da MS dizisinin yüksek absorptans hassasiyetini koruduğu ve yüksek elektrik alan dağılımlarına sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.(a) Al₂O₃ kullanılan MS dizisinin spektral cevabı. Al₂O₃ dielektrik ara katman için (b) f_1 , (c) f_2 rezonans frekanslarında toplam elektrik alan $|E|^2/|E_{int}|^2$ dağılımları

Çift başlı ok şeklindeki çift bantlı rezonansa sahip MS dizisinin kırılma indisi değişimine hassasiyetini analiz etmek için, Şekil 5.a'da görüldüğü gibi MS nanoanten yapısının üzeri 100 nm kalınlığında farklı kırılma indisine sahip dielektrik ($n = 1, n = 1.25, n = 1.5, n = 1.75, n = 2$) malzemeler ile kaplanmıştır ($L = 800$ nm, $h = 250$ nm, $w = 500$ nm, $d = 250$ nm, $P = 1450$ nm, $t_{Au} = 50$ nm ve $t_S = 100$ nm). MS dizisinin kırılma indisi değişimine karşı çok hassas olduğu ve farklı kırılma indislerine göre yapıya ait iki rezonans frekansının da lineer olarak değiştiği gözlemlenmiştir (Şekil 5.b).



Şekil 5.(a) Farklı kırılma indisli dielektrik malzeme ile kaplanmış MS dizisinin birim hücresi (b) Kırılma indisine bağlı olarak rezonans frekanslarının lineer değişimi

III. SONUÇLAR

Sonuç olarak bu çalışmada, kızılötesi frekans bölgesinde biyo-algılama uygulamalarında kullanılacak çift başlı ok şeklinde metal-dielektrik-metal kompoziti altın nanoparçacık tabanlı çift-bant MS dizisinin farklı dielektrik ara katmanlar için spektral cevabı incelenmiştir. MS dizilerinin absorptans yeteneğinin dielektrik ara katmanlara bağımlılığı ve kırılma indisine hassasiyeti FDTD yöntemi ile incelenmiş ve elektrik alan dağılımları hesaplanmıştır. En yüksek absorptans değeri ve elektrik alan dağılımı dielektrik ara katman olarak MgF₂ kullanılan PA dizisinden elde edilmiştir. Çift-bant rezonans cevabı, yüksek elektrik alan değerleri ve kırılma indisi hassasiyeti ile çift başlı ok şeklindeki MS dizisi kızılötesi bölgede biyo-algılama uygulamalarında aynı anda birden fazla molekülün veya proteinin algılanmasında kullanılabilirler.



IV. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK (Proje No: 115E209) ve Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (FDA-2016-6501) tarafından desteklenmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Liu, N., Mesch, M., Weiss, T., Hentschel M., and Giessen, H., "Infrared perfect absorber and its application as plasmonic sensor", *Nano Lett.*, 10(7):2342-2348, 2010.
- [2] Chen, K., Adato, R., and Altug, H., "Dual-band perfect absorber for multispectral plasmon-enhanced infrared spectroscopy". *ACS Nano*, 6(9):7998-8006, 2012.
- [3] Jamali, A. A., and Witzigmann, B., "Plasmonic perfect absorbers for biosensing applications", *Plasmonics*, 9(6): 1265-1270, 2014.
- [4] Hedayati, M. K., Faupel, F., and Elbahri, M., "Review of plasmonic nanocomposite metamaterial absorber", *Materials*, 7(2):1221-1248, 2014.
- [5] Anker, J.N., Hall, W. P., Lyandres, O., Shah, N. C., Zhao, J., and Van Duyne, R.P., "Biosensing with Plasmonic Nanosensors", *Nature Materials*, 7(9):442-453, 2008.
- [6] Liu, X., Starr, T., Starr, A. F., and Padilla, W. J., "Infrared Spatial and Frequency Selective Metamaterial with Near-Unity Absorbance", *Phys. Rev. Lett.*, 104:207403-1 - 207403-4, 2010.
- [7] Hao, J., Wang, J., Liu, X., Padilla, W. J., Zhou, L., and Qiu, M., "High performance optical absorber based on a plasmonic metamaterial", *Appl. Phys. Lett.*, 96:251104-1 - 251104-3, 2010.
- [8] Hao, J., Zhou, L., and Qiu, M., "Nearly total absorption of light and heat generation by plasmonic metamaterials", *Phys. Rev. B*, 83:165107-1 - 165107-12, 2011.
- [9] Zhang, B., Zhao, Y., Hao, Q., Kiraly, B., Khoo, I. C., Chen, S., and Huang, T. J., "Polarization-independent dual-band infrared perfect absorber based on a metal-dielectric-metal elliptical nanodisk array", *Optics Express*, 19(16):15221- 15228, 2011.
- [10] Hedayati, M. K., Javaherirahim, M., Mozooni, B., Abdelaziz, R., Tavassolizadeh, A., Chakravadhanula, V.S.K., Zaporojtchenko, V., Strunkus, T., Faupel, F., and Elbahri, M., "Design of a perfect black absorber at visible frequencies using plasmonic metamaterials", *Adv. Mater.*, 23:5410-5414, 2011.
- [11] Li, G., Chen, X., Li, O., Shao, C., Jiang, Y., Huang, L., Ni, B., Hu, W., and Lu, W., "A novel plasmonic resonance sensor based on an infrared perfect absorber", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 45:205102-1 - 205102-5, 2012.
- [12] Hedayati, M. K., Faupel, F., and Elbahri, M., "Tunable broadband plasmonic perfect absorber at visible frequency", *Appl Phys A*, 109:769-773, 2012.
- [13] Zhang, B., Hendrickson, J., and Guo, J., "Multi-spectral near perfect metamaterial absorbers using spatially multiplexed plasmon resonance metal square structures", *JOSA B*, 30(3):656-662, 2013.
- [14] Cetin, A. E., Korkmaz, S., Durmaz, H., Aslan, E., Kaya, S., Paiella, R., and Turkmen, M., "Quantification of Multiple Molecular Fingerprints by Dual-Resonant Perfect Absorber", *Advanced Optical Materials*, 4(8): 1274-1280, 2016.
- [15] Onur, A., Turkmen, M., and Kaya, S., "Double-Headed Arrow Gold Nanoparticle Based Perfect Absorber for Infrared Sensing applications", *12th International Nanoscience and Nanotechnology Conference*, s. 113, 2016.
- [16] The numerical simulations are carried out using a finite-difference-time-domain package (Lumerical FDTD Solutions). www.lumerical.com
- [17] Palik, E. D., "Handbook of Optical Constants of Solids", Academic, FL, 1985.