

Üç Bantta Mükemmel Soğurum Gösteren Yatay ve Dikey Olarak Yerleştirilmiş Papyon Şeklinde Açıklıklardan Oluşan Nanoanten Dizisi

Aytaç Onur* ve Mustafa Türkmen
Erciyes Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Kayseri
*aytac.onur@saglik.gov.tr, turkmen@erciyes.edu.tr

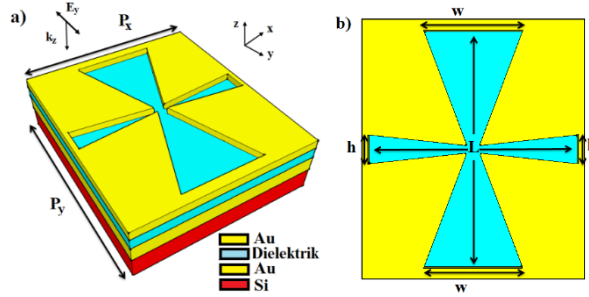
Özet: Bu çalışmada, kızılötesi bölgede biyo-algılama uygulamalarında kullanılacak yatay ve dikey olarak yerleştirilmiş papyon şeklinde nano-açıklıklara dayalı yeni bir mükemmel soğurucu (MS) dizisi sunulmuştur. Sunulan MS nanoanten dizisinin analizi FDTD yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MS dizisi üç-bant spektral cevaba sahip olup rezonans frekansları yapının geometrik boyutları değiştirilerek ayarlanabilmektedir. Üç-bant rezonans cevabı, ayarlanabilir frekans değişimleri ve yüksek elektrik alan değerleri ile sunulan MS nanoanten dizileri kızılötesi bölgede biyo-algılama uygulamaları için kullanışlı olabilirler. Bu yapı üç farklı numunenin aynı anda tespiti için kullanılabilir.

Abstract: In this study, a novel plasmonic perfect absorber (PA) array based on bowtie shaped nanoapertures placed horizontally and vertically for bio-sensing applications in infrared regime is presented. The proposed PA nanoantenna array is analyzed by using the FDTD (Finite Difference Time Domain) method. The PA nanoantenna array has a triple-band spectral response, and the resonance frequencies can be tuned by varying the geometrical dimensions. Owing to the triple-band adjustable spectral response and enhanced electric fields, the proposed PA nanoantenna array can be useful for bio-sensing applications in infrared regime. This structure can be used to detect three different samples simultaneously.

1. Giriş

Plazmonik mükemmel soğurucular (MS), rezonans frekanslarında kendilerine gönderilen radyasyonun tamamına yakın bir bölümünü soğuran ve nanometre boyutlarında tasarlanan optik nanoanten dizileridir. [1-4]. Plazmon enerjisini kullanan ve metal-dielektrik kompoziti olan bu soğurucular ışığı oda sıcaklığında ve nano boyutlarda hapsedebilen ve istenildiği şekilde yönlendirebilen özel yapılardır. MS dizileri hapsedilen yakın alan dağılımlarının geleneksel nanoanten dizilerine göre daha yüksek olması nedeniyle ışık-madde etkileşimini artıran optik nanoanten dizileridir. MS dizileri altın nano parçacık ya da nano açıklık modellerinde tasarlanabilmektedir. Bu yapılarda düz bir metal film ile şekillendirilmiş parçacıklar ya da açıklıklar arasına yerleştirilen bir dielektrik ara katman ile elektromanyetik soğurum artırılmaya çalışılmaktadır. Mükemmel soğurucular, polarizasyon ve kırılma indisi hassasiyetleri, geometrik boyutları ya da katman kalınlığı parametrelerinin değişimi ile ayarlanabilen spektral cevapları ve rezonans frekanslarında elde edilen yüksek soğurum özellikleri ile son yıllarda dikkat çekici bir araştırma alanı haline gelmiştir [1-5].

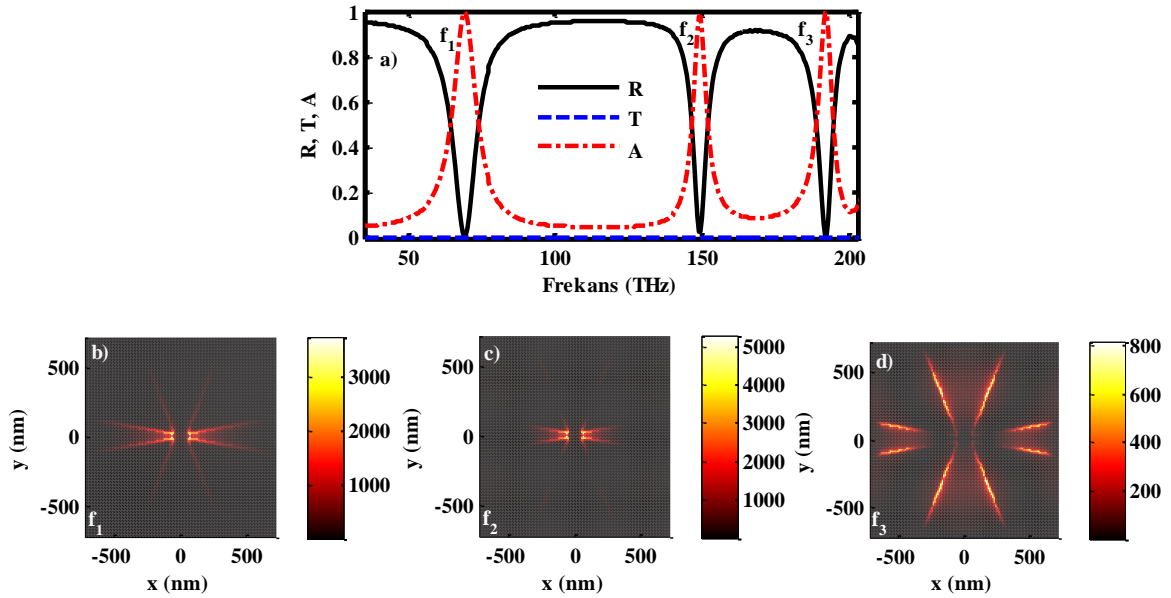
Bu çalışmada, kızılötesi bölgede biyo-algılama uygulamalarında kullanılacak yatay ve dikey olarak yerleştirilmiş papyon şeklinde nano-açıklıklara dayalı yeni bir mükemmel soğurucu (MS) dizisi sunulmuştur. Şekil 1.a'da görülen nanoanten yapısında taban malzemesi olarak 300 nm kalınlığında silikon kullanılmıştır. Taban malzemesinin üzeri 200 nm altın film ile kaplanmış, altın film üzerine ise 150 nm kalınlığında dielektrik bir ara katman yerleştirilmiştir. Nanoanten yapının son katmanı olarak 50 nm kalınlığında altın kullanılmıştır. Sunulan MS dizisinin periyodu 1450 nm ($P_x = P_y = 1450$ nm) olarak belirlenmiştir. Malzemelerin dielektrik sabitleri için Palik'in [6] sunmuş olduğu yaklaşım kullanılmıştır. Altın katman içerisinde; yükseklikleri 1000 nm olan ve taban genişlikleri $w = 1000$ nm olan iki adet ikizkenar üçgen açıklık alt ve üst kollara yerleştirilmiştir. Şekil 1.b'de geometrik parametreleri verilen yapıda alt ve üst açıklıkların taban genişlikleri w ile, sağ ve sol kollardaki açıklıkların taban genişlikleri ise h ile gösterilmiştir. Yükseklikleri 800 nm olan dört üçgen açıklık yapının merkezinde iç içe geçmekte ve oluşan anten şeklini eni ve boyu L ile gösterilmektedir. MS dizisi birim hücrelerinde $L = 1350$ nm, $w = 650$ nm ve $h = 250$ nm olarak belirlenmiştir. MS dizisinin nümerik analizi gerçekleştirilirken y yönünde polarizasyonlu ışık kaynağı kullanılmıştır.



Şekil 1. (a) Yatay ve dikey papyon şeklindeki MS dizisinin birim hücresi (b) Üstten görünümü

2. Nümerik Analiz

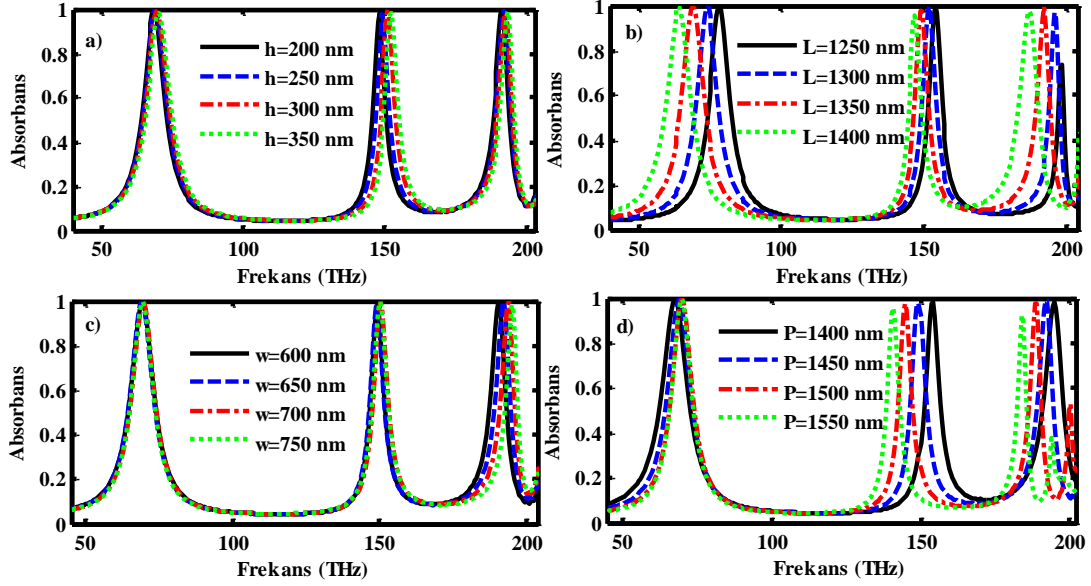
Bu çalışmada, kızılötesi bölgede biyo-algılama uygulamaları için tasarlanan MS dizisinin analizi FDTD [7] yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Nano-açıklık tabanlı MS dizisinde dielektrik ara katman olarak MgF_2 ($n = 1.37$) kullanılması durumunda frekansa bağlı olarak reflektans (R), transmitans (T) ve absorptans (A) cevabı Şekil 2.a'daki gibi elde edilmiştir. Absorptans (soğurma) değeri $A = 1 - R - T$ formülü ile hesaplanmıştır [2]. Sunulan MS nanoanten dizisi üç-bant rezonansa sahiptir. Elde edilen üç adet rezonans noktasından birincisinde ($f_1 = 69.5$ THz) absorptans % 99.9 ve ikinci rezonans noktasında ($f_2 = 149.5$ THz) absorptans değeri % 97.7 ve üçüncü rezonans noktasında ($f_3 = 182.5$ THz) % 99.9 olarak elde edilmiştir. Dielektrik ara katman olarak MgF_2 kullanılması durumunda rezonans frekanslarında (f_1 , f_2 ve f_3) oluşan elektrik alan dağılımları Şekil 2.b, Şekil 2.c'de ve Şekil 2.d'de sırasıyla verilmiştir. MS dizisi papyonlar şeklinde tasarlanarak üçgenlerin keskin noktalarında elektrik alan değerlerinin yüksek olması sağlanmıştır. Dielektrik ara katman olarak MgF_2 kullanılarak MS dizisinin soğurma yeteneği artırılmıştır. Elektrik alan dağılımlarının üçgen açıklıkların keskin noktalarında yoğunlaştığı ve gönderilen ışığa göre rezonans frekanslarında sırasıyla, 3000, 5000 ve 800 kattan daha büyük değerlerde olduğu görülmektedir. Elektrik alan değerlerinin yüksek olması SEIRA (Surface Enhanced Infrared Absorption) uygulamaları için istenilen ve tercih edilen bir durumdur. Geleneksel nanoanten dizilerinde bu değer en fazla 600 civarında olmaktadır [1-5].



Şekil 2. (a) MgF_2 kullanılan MS dizisinin spektral cevabı. MgF_2 dielektrik ara katman için (b) f_1 , (c) f_2 ve (d) f_3 rezonans frekanslarında toplam elektrik alan $|E|^2/|E_{int}|^2$ dağılımları.

Şekil 3'te önerilen MS dizisinin farklı h , L , w ve P parametre değerleri için spektral değişimleri görülmektedir. h (sol ve sağ kollarında bulunan üçgen açıklıkların taban genişliği) arttırıldığında birinci rezonans frekansı sağa kaymakta yani artmaktadır (Şekil 3.a). L (papyon şeklindeki açıklığın eni ve boyu) arttırıldığında, tüm rezonans frekansları belirgin bir şekilde sola kaymakta yani azalmaktadır (Şekil 3.b). Şekil 3.c'de w (alt ve üst kollarında

bulunan üçgen açıklıkların taban genişliği) değişimi için absorpsiyon spektrarı verilmiştir, alt ve üst kollarda bulunan üçgen açıklıkların taban genişliği arttığında yapının tüm rezonans frekansları artmaktadır. Bu artış birinci ve ikinci rezonans frekansında hafifçe gerçekleşirken üçüncü rezonans frekansında belirgin bir şekilde olmaktadır. Absorpsiyon spektrasının periyoda (P) bağımlılığı Şekil 3.d'de görülmektedir, periyot değişiminden tüm rezonans frekansı etkilenmekte ve periyot artırıldığında birinci rezonans noktası sağa kaymakta, ikinci ve üçüncü rezonans noktaları ise sola kaymaktadır. Mükemmel soğurucu dizisinin optik özellikleri yapının geometrik parametrelerine bağımlıdır (Şekil 3). Önerilen mükemmel soğurucu dizisinin rezonans frekansları yapının geometrik parametreleri değiştirilerek ayarlanabilmektedir. Bu durum tasarlanan yapının algılanmak istenilen analitin rezonans frekansına göre ayarlanabilmesine ve nanoanten dizisinin farklı geometrik şekillerle farklı frekans değerleri için kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 3. (a) h değişimi (b) L değişimi (c) w değişimi (d) Periyot (P) değişimi

3. Sonuç

Sonuç olarak bu çalışmada, kızılötesi bölgede biyo-algılama uygulamalarında kullanılacak yatay ve dikey olarak yerleştirilmiş papyon şeklinde yeni bir metal-dielektrik-metal kompoziti nano-açıklık tabanlı mükemmel soğurucu dizisi sunulmuştur. MS dizisinin spektral cevabı ve geometrik parametrelere bağımlılığı FDTD yöntemi ile incelenmiş ve rezonans frekanslarında oluşan elektrik alan dağılımları hesaplanmıştır. Üç-bant rezonans cevabı, ayarlanabilir frekans değişimleri, yüksek elektrik alan değerleri ile sunulan nano açıklık tabanlı MS dizisi kızılötesi bölgede biyo-algılama uygulamalarında aynı anda birden fazla molekülün algılanmasında kullanılabilme potansiyeline sahiptir. Bu yapı üç farklı numunenin aynı anda tespiti için kullanılabilir.

Kaynaklar

- [1] Liu N. Mesch M., Weiss T., Hentschel M. ve Giessen H., "Infrared perfect absorber and its application as plasmonic sensor," Nano Lett., cilt.10 no.7, s.2342-2348, 2010.
- [2] Chen K., Adato R. Altug ve H., "Dual-band perfect absorber for multispectral plasmon-enhanced infrared spectroscopy," ACS Nano, cilt.6 no.9, s.7998-8006, 2012.
- [3] Jamali A.A. ve Witzigmann B., "Plasmonic perfect absorbers for biosensing applications", Plasmonics, cilt.9, no.6, s.1265-1270, 2014.
- [4] Cetin A. E., Turkmen M., Aksu S., Etezadi D., Altug H., "Multi-resonant compact nanoaperture with accessible large nearfields", Applied Physics B, 118 (1): 29-38, 2015.
- [5] Aslan E., Turkmen M., "Square fractal-like nanoapertures for SEIRA spectroscopy: An analytical, numerical and experimental study", Sensors and Actuators A: Physical, 259: s. 127-136, 2017.
- [6] Palik E.D., "Handbook of Optical Constants of Solids", Academic, FL, 1985.
- [7] The numerical simulations are carried out using a finite-difference-time-domain package, Lumerical FDTD™, www.lumerical.com.