

Biyo-Algılama Uygulamaları için Nano-Açıklık Tabanlı Çift Bantlı Plazmonik Mükemmel Soğurucular

Aytaç Onur*, Mustafa Türkmen, Sabri Kaya
Erciyes Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Kayseri

*aytac.onur@saglik.gov.tr, turkmen@erciyes.edu.tr, sabrikaya@erciyes.edu.tr

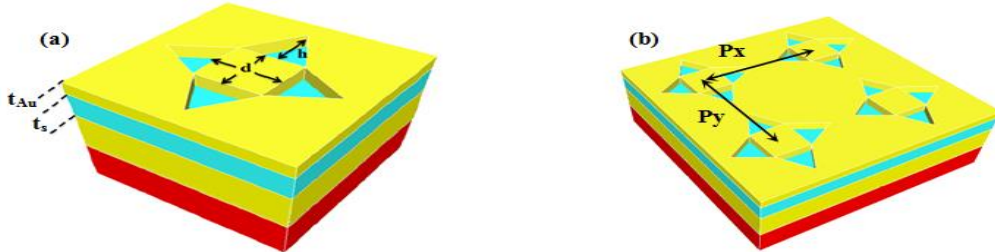
Özet: Bu çalışmada, kızılötesi bölgede biyo-algılama uygulamalarında kullanılacak yıldız şeklinde nano-açıklıklara dayalı yeni bir mükemmel soğurucu (MS) dizisi sunulmuştur. Sunulan MS nanoanten dizisinin analizi FDTD yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MS dizisi çift-bant spektral cevaba sahip olup rezonans frekansları yapının boyutları ya da katman kalınlıkları değiştirilerek ayarlanabilmektedir. Çift-bant rezonans cevabı, ayarlanabilir frekans değişimleri, yüksek elektrik alan değerleri ve kırılma indisi hassasiyeti ile sunulan MS nanoanten dizileri kızılötesi bölgede biyo-algılama uygulamaları için kullanışlı olabilirler.

Abstract: In this study, a novel plasmonic perfect absorber (PA) array based on star-shaped nanoapertures 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 dual-band spectral response, and the resonance frequencies can be tuned by varying the geometrical dimensions or thicknesses of used materials. Owing to the dual-band adjustable spectral response, enhanced electric fields, and refractive index sensitivity, the proposed PA nanoantenna array can be useful for bio-sensing applications in infrared regime.

1. Giriş

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 daha 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 hapsedebilen 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 [1-4].

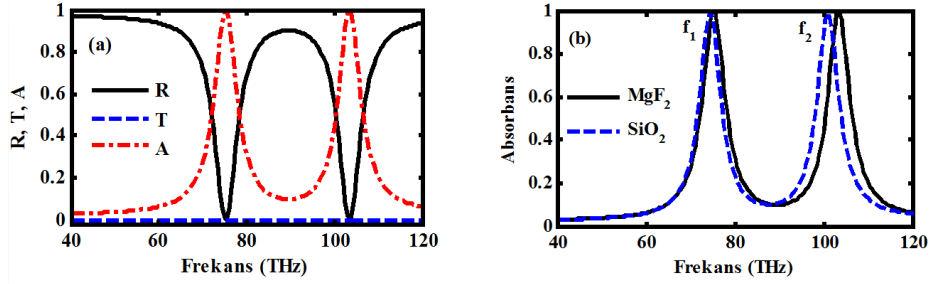
Bu çalışmada, kızılötesi bölgede biyo-algılama uygulamalarında kullanılacak yıldız şeklinde nano-açıklıklara dayalı yeni bir mükemmel soğurucu (MS) sunulmuştur. Şekil 1.a'da görülen yıldız şeklindeki açıklık nanoanten yapısında taban malzemesi olarak 500 nm kalınlığında silikon kullanılmıştır. Taban malzemesinin üzeri 200 nm altın film ile kaplanmış, altın film üzerine ise $t_s = 100$ nm kalınlığında dielektrik bir ara katman yerleştirilmiştir. Nanoanten yapının son katmanı olarak $t_{Au} = 50$ nm kalınlığında altın kullanılmıştır. Sunulan MS dizisinin periyodu 2000 nm ($P_x = P_y = 2000$ nm) olarak belirlenmiştir. Malzemelerin dielektrik sabitleri için Palik'in [5] sunmuş olduğu yaklaşım kullanılmıştır. Altın katman içerisinde yükseklikleri $h = 500$ nm ve taban genişlikleri $d = 700$ nm olan 4 adet ikizkenar üçgen açıklıklar Şekil 1'deki gibi oluşturulmuştur. MS dizisinin analizi gerçekleştirilirken x yönünde polarizasyonlu ışık kaynağı kullanılmıştır. Şekil 1.b'de MS dizisi verilmiştir.



Şekil 1. (a) Yıldız şeklindeki nano-açıklık tabanlı MS dizisinin birim hücresi (b) MS dizisi

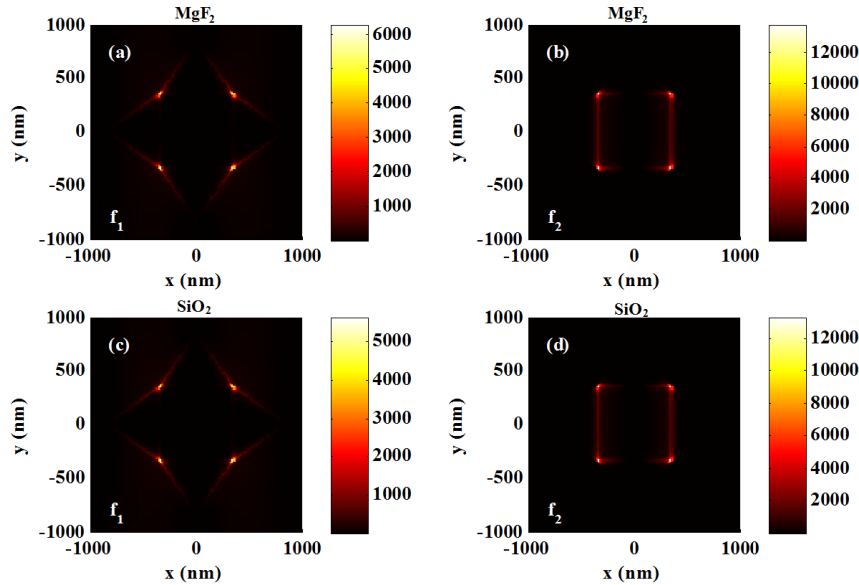
2. Nümerik Analiz

Bu çalışmada, kızılötesi bölgede biyo-algılama algılamaları için sunulan MS dizisinin analizi FDTD yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yıldız şeklindeki 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 olmaktadır. Absorptans (soğurum) değeri $A = 1 - R - T$ formülü ile hesaplanmıştır [1-4]. Sunulan MS nanoanten dizisi çift-bant rezonansa sahiptir. Elde edilen iki adet rezonans noktasından ilkinde ($f_1 = 75$ THz) absorptans % 99.8 ve ikinci rezonans noktasında ($f_2 = 103.5$ THz), absorptans değeri % 99.9 olarak elde edilmiştir. Dielektrik ara katman olarak kullanılan MgF_2 yerine SiO_2 ($n = 1.5$) kullanıldığında ise rezonans noktalarının sola kaydığı ve absorptans değerlerinin % 99'un üzerinde olduğu görülmüştür (Şekil 2.b).



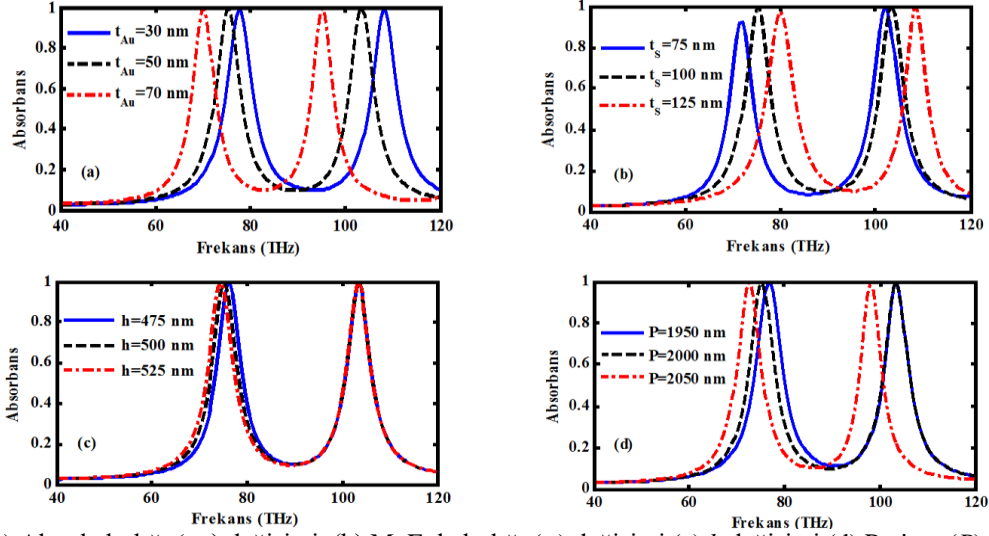
Şekil 2. (a) MgF_2 kullanılan MS dizisinin spektral cevabı (b) Farklı dielektrikler için absorptans spektrumu

Dielektrik ara katman olarak MgF_2 ve SiO_2 kullanılması durumunda rezonans frekanslarında (f_1 ve f_2) oluşan elektrik alan dağılımları Şekil 3'te verilmiştir. MS dizisi yıldız şeklinde oluşturularak üçgenlerin keskin noktalarında elektrik alan değerlerinin yüksek olması sağlanmıştır. Dielektrik ara katman olarak MgF_2 ve SiO_2 kullanılarak MS dizisinin soğurma yeteneği artırılmıştır. Elektrik alan dağılımlarının üçgen açıklıkların kesişme noktalarında yoğunlaştığı ve gönderilen ışığa göre 5000 kattan daha büyük değerde olduğu görülmektedir. Elektrik alan değerlerinin yüksek olması SEIRA (Surface Enhanced Infrared Absorption) uygulamaları için istenen bir durumdur [1-4]. Geleneksel nanoanten dizilerinde bu değer en fazla 1600 civarında olmaktadır [1-4].



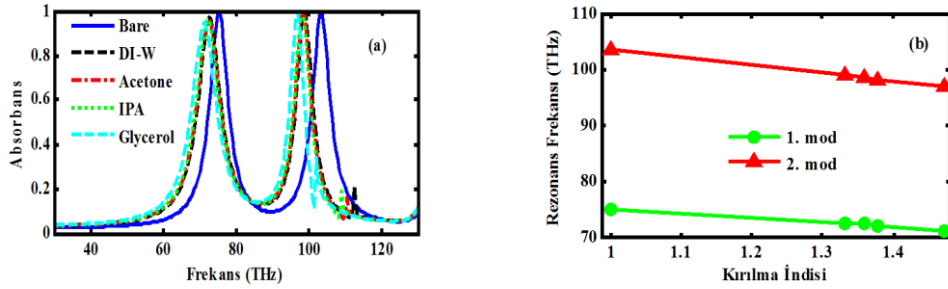
Şekil 3. (a, b) MgF_2 ve (c, d) SiO_2 dielektrik ara katmanlar için rezonans frekanslarında (f_1 ve f_2) toplam elektrik alan $|E|^2/|E_{int}|^2$ dağılımları

Şekil 4'te MS dizisinin farklı parametrelerinde yapılan değişikliklere karşı absorptans spektrumundaki değişimler verilmiştir. Altın katmanı t_{Au} artırıldığında rezonans noktaları sola kaymakta yani azalmaktadır (Şekil 4.a). Dielektrik ara katman MgF_2 'nin kalınlığı (t_s) artırıldığında rezonans frekansları artmaktadır (Şekil 4.b). Üçgen açıklıkların yüksekliği (h) artırıldığında ilk rezonans frekansında azalırken ikinci rezonans frekansı değişmemektedir (Şekil 4.c). Yapının periyodu artırıldığında ise rezonans frekansları azalmaktadır (Şekil 4.d). Sunulan MS dizisinin rezonans frekansları geometrik parametrelerin değiştirilmesiyle kolaylıkla ayarlanabilmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. (a) Altın kalınlığı (t_{Au}) değişimi (b) MgF_2 kalınlığı (t_s) değişimi (c) h değişimi (d) Periyot (P) değişimi

Bu çalışmada, MS dizilerinin kırılma indisi değişimine hassasiyetini tespit etmek amacıyla MS dizileri, iyonsuz su (DI-Water) ($n=1.3325$), aseton (Acetone) ($n=1.3591$), izopropil alkol (IPA) ($n=1.3776$) ve gliserol (Glycerol) ($n=1.4722$) gibi farklı kırılma indisli malzemeler içerisinde gömülerek absorbans spektrumları incelenmiştir (Şekil 5.a). Ortamın kırılma indisi ve rezonans frekansları arasındaki ilişki Şekil 5.b'de görüldüğü gibi elde edilmiştir. Ortamın kırılma indisi artarken, her iki mod için rezonans frekansları azalmaktadır.



Şekil 5.(a) Farklı kırılma indisli malzemeler için MS dizisinin absorbans spektrumu (b) Kırılma indisi-rezonans frekansı arasındaki ilişki

3. Sonuç

Sonuç olarak bu çalışmada, kızılötesi bölgede biyo-algılama uygulamalarında kullanılacak yeni bir metal-dielektrik-metal kompoziti nano-açıklık tabanlı MS dizileri sunulmuştur. MS dizilerinin rezonans cevabının geometrik parametrelere bağımlılığı ve kırılma indisine hassasiyeti FDTD yöntemi ile incelenmiş ve elektrik alan dağılımları hesaplanmıştır. Çift-bant rezonans cevabı, ayarlanabilir frekans değişimleri, yüksek elektrik alan değerleri ve kırılma indisi hassasiyeti ile sunulan MS dizisi kızılötesi bölgede biyo-algılama uygulamalarında aynı anda birden fazla molekülün algılanmasında kullanılabilme potansiyeline sahiptir.

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

Kaynaklar

- [1] N. Liu, M. Mesch, T. Weiss, M. Hentschel, and H. Giessen, "Infrared perfect absorber and its application as plasmonic sensor," *Nano Lett.*, cilt.10 no.7, s.2342-2348, 2010.
- [2] K. Chen, R. Adato, and H. Altug, "Dual-band perfect absorber for multispectral plasmon-enhanced infrared spectroscopy," *ACS Nano*, cilt.6 no.9, s.7998-8006, 2012.
- [3] A.A. Jamali ve B. Witzigmann, "Plasmonic perfect absorbers for biosensing applications", *Plasmonics*, cilt.9, no.6, s.1265-1270, 2014.
- [4] M. K. Hedayati, F. Faupel, ve M. Elbahri, "Review of plasmonic nanocomposite metamaterial absorber materials", cilt.7 no.2, s.1221-1248, 2014.
- [5] E.D. Palik, "Handbook of Optical Constants of Solids", Academic, FL, 1985.