

Ardışık Nanoantennelerle Plazmon Enerji Soğurum Miktarının Artırılması

Fusun Taşçı*, Mustafa Türkmen, Sabri Kaya
Erciyes Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Kayseri

*fusuntasci@gmail.com, turkmen@erciyes.edu.tr, sabrikaya@erciyes.edu.tr

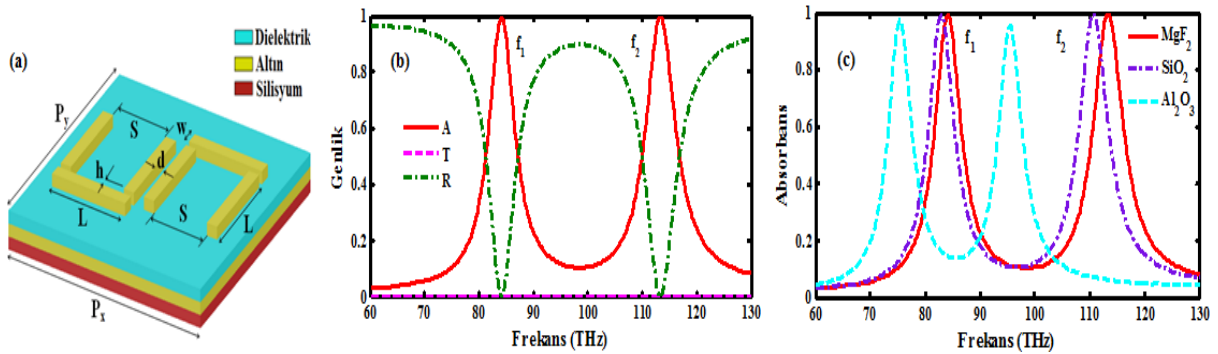
Özet: Bu çalışmada, ardışık yerleştirilmiş (kaskat) π şeklindeki nanoantennelerle çift bantlı mükemmel soğurucu (MS) dizileri tasarlanmıştır. MS dizilerinin analizleri FDTD metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Geometrik parametrelerin ve kullanılan dielektrik malzemelerin MS dizilerinin absorptans karakteristiğine etkisi nümerik olarak incelenmiştir. % 99 üzerinde plazmon enerji soğurum miktarı, çift-bant rezonans cevabı, ayarlanabilir frekans değişimleri, yüksek elektrik alan değerleri ve kırılma indisi hassasiyeti ile sunulan MS nanoantenn dizisi yüzey artışlı kızılötesi absorptans (SEIRA) uygulamalarında kullanılabilir.

Abstract: In this study, cascaded π shaped dual-band perfect absorber (PA) nanoantenna arrays are designed. Proposed PA arrays are analyzed by using FDTD method. The effects of geometrical parameters and dielectric spacer on the absorbance characteristics of MS arrays are investigated numerically. Due to the absorbance value over 99 %, the dual-band adjustable spectral response, enhanced electric fields, and refractive index sensitivity, the proposed PA nanoantenna array can be useful for surface-enhanced infrared absorption (SEIRA) applications.

1. Giriş

Mükemmel soğurucular (MS), kırılma indisi ve polarizasyon hassasiyetleri, geometrik veya maddesel parametre değişimleri ile ayarlanabilen spektrumları, rezonans değerlerindeki şiddetli soğurma pikleri gibi optik özellikleri nedeniyle son zamanlarda büyük dikkat çekmiştir [1-4].

Kaskat π şeklindeki parçacık tabanlı nanoantenneler optik uygulamalar için Çetin ve ark. [5] tarafından sunulmuştur. Bu çalışmada ise yüzey artışlı kızılötesi absorptans (SEIRA) uygulamaları için kaskat π şeklindeki parçacık tabanlı nanoantenneler ile MS dizileri oluşturulmuştur. Kaskat π şeklindeki MS nanoantenn dizisi Şekil 1(a)'da görüldüğü gibi asimetric olarak yerleştirilmiş iki adet π şeklindeki nanoantenneden oluşmaktadır. Sunulan MS dizisinde silisyum taban malzemesinin üzeri 100 nm altın (Au) ve 100 nm dielektrik malzeme ile kaplanmıştır. Dielektrik katmanın üzerine yerleştirilen altın nanoçubukların kalınlığı ise 120 nm'dir. Şekil 1.a'da L nanoçubukların uzunluğunu, w nanoçubukların genişliğini, P = P_x = P_y nanoantenn dizisinin periyodunu, d ortadaki dikey nanoantenneler arasındaki açıklığı, h dikey ve yatay nanoçubuklar arasındaki mesafeyi, S ise π şeklindeki nanoçubukların genişliğini göstermektedir. Bu çalışmada, MS nanoantenn dizisinin analizleri FDTD metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, x-yönünde polarizeli ışık kaynağı kullanılmıştır. Geometrik parametreler: L = 800 nm, w = 110 nm, d = 200 nm, h = 40 nm, S = 580 nm ve P = 2100 nm olarak seçilmiştir.

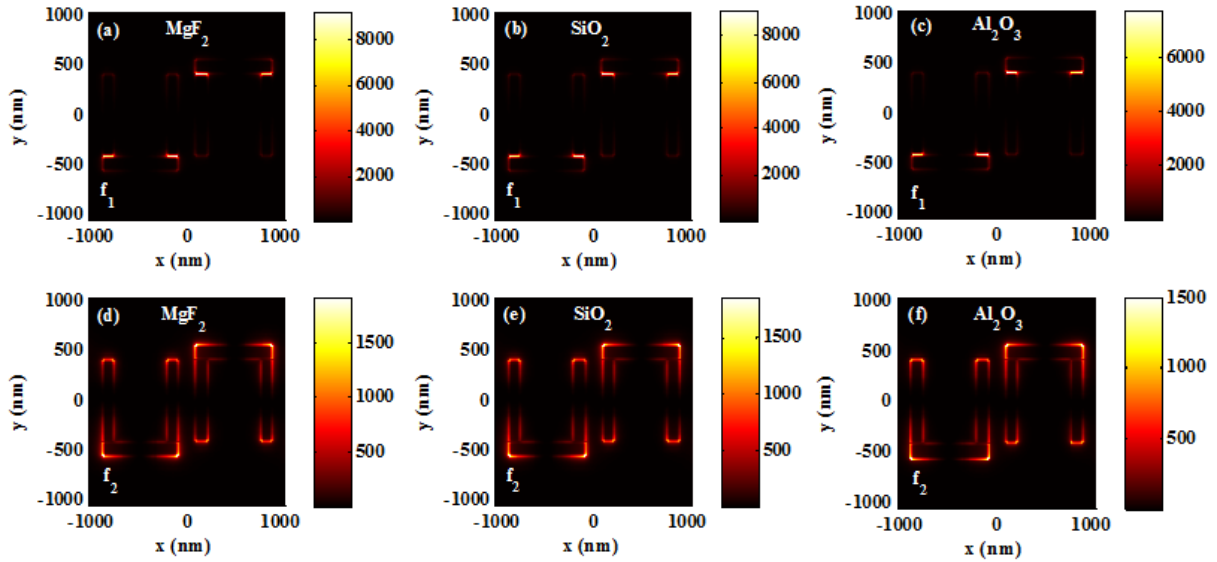


Şekil 1.(a) Kaskat π şeklindeki MS nanoantenn dizisi (b) Kaskat π şeklindeki MS dizisinin spektral cevabı (c) Farklı dielektrik ara katmanlar için kaskat π şeklindeki MS dizisinin absorptans spektrumu

2. Nümerik Analizler

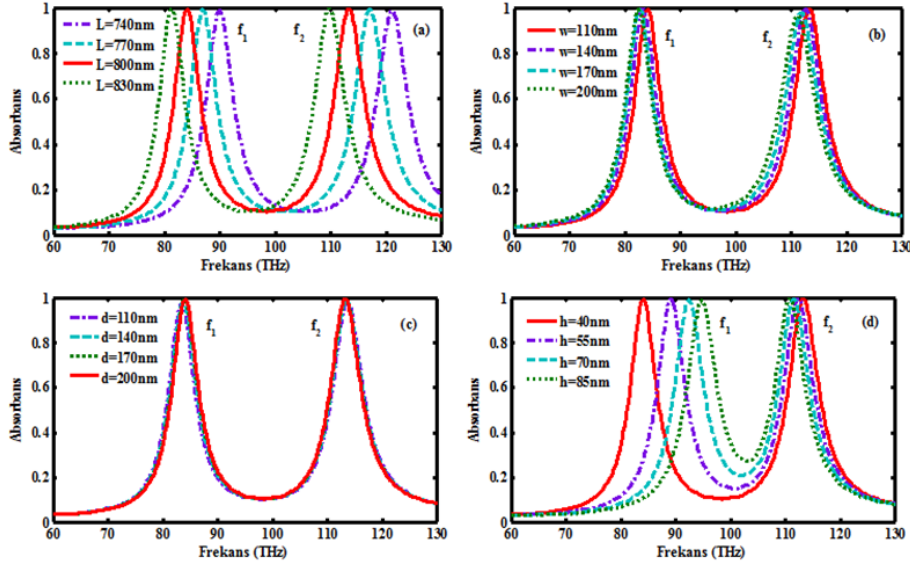
Şekil 1.b'de dielektrik ara katman olarak MgF_2 kullanılması durumunda MS nanoanten dizilerinin reflektans (R), transmittans (T) ve absorptans (A) spektrumları verilmiştir. Absorptans (soğurum) değeri $A = 1 - R - T$ formülü ile hesaplanmıştır [1-4]. Kaskat π şeklindeki MS nanoanten dizisinin kızılötesi frekans bölgesinde çift rezonansa sahip olduğu Şekil 1.b'den açıkça görülmektedir. Kaskat π şeklindeki MS nanoanten dizisinde dielektrik ara katman olarak farklı malzemeler (MgF_2 , SiO_2 ve Al_2O_3) kullanılması durumunda absorptans spektrumundaki değişim Şekil 1.c'de görülmektedir. MS dizinin rezonans frekansları ve absorptans genlikleri, MgF_2 ara katmanı için en yüksek değerlere sahipken Al_2O_3 ara katmanı için en düşük değerlere sahiptir. MgF_2 ara katmanı için birinci ($f_1 = 84$ THz) ve ikinci ($f_2 = 113$ THz) rezonans frekanslarında absorptans değerleri % 99.5 ve % 99.7 olarak elde edilmiştir. Tek bir π yapısının kullanılması durumunda elde edilen absorptans değeri % 80 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada kaskat π yapısı kullanılarak plazmon enerjisi soğurum miktarı (absorptans değeri) % 99 üzerine çıkarılmıştır.

Şekil 2'de, MS nanoanten dizisinin Şekil 1.c'de verilen rezonans frekansları için metal-dielektrik ara yüzeyindeki yakın alan artışları (elektrik alan şiddeti dağılımı) ($|E|^2/|E_{inl}|^2$) verilmiştir. İki rezonans frekansı için de yakın alan artışları MgF_2 ara katmanı için en yüksek değerlere sahipken, Al_2O_3 ara katmanı için en düşük değerlere sahiptir. Yakın alan artışları tüm ara katmanlar için birinci rezonansa gönderilen ışığa göre 7000 kattan, ikinci rezonansa ise 1500 kattan daha büyük bir değerdedir. Bu nedenle sunulan nanoanten dizisi SEIRA uygulamalarında kullanılabilir.



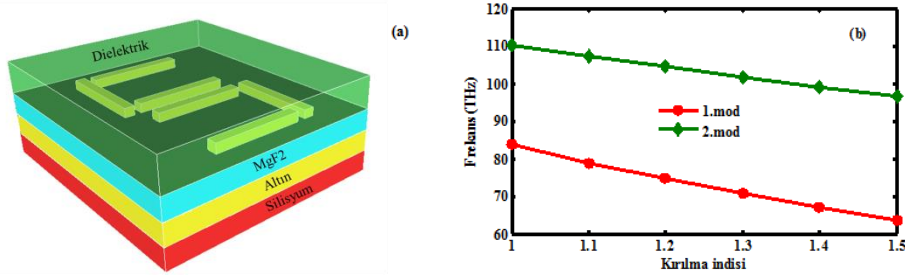
Şekil 2. Farklı dielektrik ara katmanlar için sunulan nanoanten dizisinin rezonans frekanslarındaki yakın alan (elektrik alan şiddeti) dağılımları ($|E|^2/|E_{inl}|^2$) (a, b, c) MgF_2 , SiO_2 ve Al_2O_3 için birinci rezonanstaki dağılımlar, (d, e, f) MgF_2 , SiO_2 ve Al_2O_3 için ikinci rezonanstaki dağılımlar

Bu çalışmada ayrıca geometrik parametrelerin MS nanoanten dizisinin absorptans karakteristikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir (Şekil 3). Diğer parametreler sabit iken nanoçubuk uzunluğundaki (L) artış her iki modun da düşük frekanslara kaymasına neden olmaktadır (Şekil 3.a). Benzer bir davranış w artışı için de geçerlidir, ancak w değişiminin etkisi L'ye göre daha azdır (Şekil 3.b). Diğer parametreler sabit iken, π şeklindeki nanoantenler arasındaki mesafe (d) arttıkça her iki rezonansın frekansı da değişmemektedir (Şekil 3.c). Yatay ve dikey nanoçubuklar arasındaki mesafe (h) arttıkça ise birinci rezonans frekansı artarken ikinci rezonans frekansı düşmektedir (Şekil 3.d). Şekil 3'ten görüldüğü gibi sunulan MS dizisinin rezonans noktaları geometrik parametrelerin değiştirilmesi ile ayarlanabilmektedir.



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

Bu çalışmada, kaskat π şeklindeki çift-bant MS nanoanten dizisinin kırılma indisi değişimine hassasiyetini belirlemek için MS nanoanten dizisinin üzeri 220 nm kalınlığında farklı kırılma indisli dielektrik malzemelerle (cladding medium) kaplanmıştır (Şekil 4.a). Kaplanan dielektrik malzemenin kırılma indisi arttıkça, her iki rezonans frekansı da lineer olarak azalmaktadır (Şekil 4.b). Sunulan çift-bant MS dizileri, kırılma indisi değişimine karşı yüksek hassasiyete sahiptir.



Şekil 4. (a) Farklı kırılma indisli dielektrik malzemelerle kaplanan kaskat π şeklindeki çift-bant MS dizisi (b) Kırılma indisine bağlı olarak rezonans frekanslarının değişimi

3. Sonuç

Sonuç olarak bu çalışmada, SEIRA uygulamalarında kullanılabilecek çok katmanlı yeni bir ardışık parçacık tabanlı MS nanoanten dizisi sunulmuştur. Sunulan MS nanoanten dizileri, % 99'un üzerinde absorban değeri, geometrik parametrelerindeki değişimlere göre ayarlanabilir çift-bant rezonansı, yüksek elektrik alan değerleri ve yüksek kırılma indisi hassasiyeti ile SEIRA uygulamalarında kullanılabilirler.

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

Kaynaklar

- [1] A.A. Jamali ve B. Witzigmann, "Plasmonic perfect absorbers for biosensing applications", Plasmonics, cilt.9, no.6, s.1265-1270, 2014.
- [2] X. Liu, T. Starr, A.F. Starr ve W.J. Padilla, "Infrared spatial and frequency selective metamaterial with near-unity absorbance" Phys. Rev. Lett. cilt.104, s.207403, 2010.
- [3] K. Chen, R. Adato, ve H. Altug, "Dual-band perfect absorber for multispectral plasmon-enhanced infrared spectroscopy," ACS Nano, cilt.6 no.9, s.7998–8006, 2012.
- [4] N.I. Landy, S. Sajuyigbe, J.J. Mock, D.R. Smith ve W.J. Padilla, "Perfect metamaterial absorber" Phys. Rev. Lett. cilt.100, no. 20, s.207402, 2008.
- [5] A. E. Çetin, A. Artar, M. Turkmen, A. A. Yanık, H. Altug, "Plasmon induced transparency in cascaded Pi-shaped metamaterials". Optics Express, cilt. 19, no.23 s.22607-22618, 2011.