بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان و بلوچستان،
زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

کد مقاله : ۲-۱۸۵۵-۱۰-A

بهبود عددی فیلتر نانوساختارپلاسمونی در محدوده طول موج مرئی و مادون قرمز

امین دلفانی، علی میر*، علی فرمانی، عبدالصمد حمیدی

گروه الکترونیک، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

چکیده - در این مقالهبا استفاده از روش حل عددی تفاضل محدود در حوزه زمان، یک فیلتر پلاسمونی فلز-دی‌الکتریک-فلز دندان-شکل با ساختار نامتقارن پیشنهاد شده است. برای دستیابی به تشدید تنظیم پذیر، از تغییر ویژگی هندسی ساختار استفاده شده است. با درنظر گرفتن تک دندانه بودن ساختار امکان تشدید دو مد m=0, m=1 فراهم شده است. نتایج عددی نشان می‌دهد با درنظرگرفتن ابعاد مطلوب، امکان دستیابی به مد اول با ضریب کیفیت بالا و تیز برقرار خواهد شد. انتظار می رود ساختار پیشنهادی با درنظرگرفتن تعداد دندانه‌های بیشتربرای کاربردهای عملی در محدوده طول موج‌های مخابراتی مورد توجه محققان قرار گیرد.

کلید واژه- فیلتر پلاسمونی؛ نانوساختار

Numerical Improvement in a Nanostructure Plasmonics Filter at Visible and Infrared Wavelengths

Amin Delfani, Ali Mir*, Ali Farmani, Abdolsmad Hamidi

Department of Electrical Engineering, Lorestan University, Khorramabad, Iran

Abstract-In this paper, a metal-dielectric-metal-tooth-shaped plasmonic filter with an asymmetric structure is proposed using the finite difference time domain (FDTD) method. To achieve adjustable resonance, a change in the geometric properties of the structure has been used. Considering the single-toothed structure, it is possible to intensify the two modes m = 0, m = 1. Numerical results show that, considering the desired dimensions, it will be possible to achieve the first mode with a high-quality factor sharp coefficient. The proposed structure is expected to be considered by researchers considering the number of more teeth for practical applications in the range of telecommunication wavelengths.

Keywords: Plasmonics Filter; Nano structure

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

مقدمه

با توجه به علاقه زیاد به "پلاسمونی"، از ساختارهای نانو فلزی برای کاربردهای نوری استفاده شده است. تشدید نوری، معروف به تشدید پلاسمون سطحی (SPR) ، برای محققان بسیار جالب است زیرا این پدیده نوری منحصر به فرد تعامل قوی با نور در یک حجم کم از فضا را نشان می دهد[۱]. پلاریتون پلاسمون سطحی (SPP) برانگیختگی الکترومغناطیسی هستند که در رابط بین فلزات و مواد دی الکتریک پخش می شوند.[۲]. پلاسمونیک به طور معمول در طول موجهای مرئی و IR در فلز عمل می کنند، اما در فرکانس های پایین تر، به سمت مادون قرمز دور یا منطقه تراهرتز، طیف، به علت نفوذپذیری از آنجایی که فلز رسانا است، از بین می رود.[۴-۳]. در کل برای ایجاد ادوات پلاسمونی از دو حالت فلز-دی الکتریک–فلزMIMیا دی الکتریک–فلزدی الکتریکIMI استفاده می شود که در پژوهش های قبل‌تر محققان از فلزات طلا و نقره استفاده می‌کردند [۵-۱۰]. یکی از معمول ترین سازه های مورد استفاده در طراحی فیلترها، رزوناتور دایره ای نانو دیسک (CNR) است. فرکانس تشدید قابل تنظیم با تغییر شعاع آنها بدست می‌آید. فیلترهای رنگ پلاسمونی PCF با استفاده از یک لایه نوری بدون ساختار ضخیم نوری، اخیراً به دلیل قابلیت اطمینان، سهولت در ساخت و قابلیت تنظیم رنگ بالا، توجه زیادی را به عنوان جایگزینی برای فناوری‌های رنگی به وجود آورده‌اند. بااین حال، راندمان انتقال نسبتاً پایین آنها (۳۰٪) برای کاربردهای عملی باید به میزان قابل توجهی بهبود یابد. یکی دیگر از انواع بسیار زیاد فیلتر بر اساس خاصیت پلاسمونی، فراموا کایرال (MM) هستند. در همه این ادوات ارزشمند مدل‌سازی فیلتر با ابعاد زیر طول موج و با قابلیت تنظیم‌پذیری همچنان مورد توجه گروه های تحقیقاتی است.

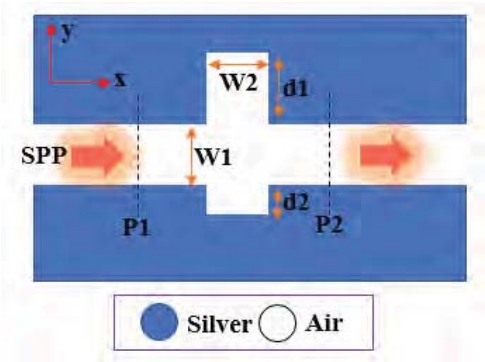
پیش از این کارهای ارزشمندی در حوزه این نوع فیلتر انجام شد. اما در این مقاله ابعاد ساختار جهت رسیدن به بهینه ترین پاسخ در نرم افزار لومریکال مورد ارزیابی قرار گرفت و بهترین نتایج و ابعاد بدست آمد.

بنابراین در این مقاله یک فیلتر دندان شکل مبتنی بر نقره با ابعاد زیر طول موج و با روش حل عددی تفاضل محدود در حوزه زمان پیشنهاد شده است.

ساختار پیشنهادی

شکل (۱) ساختار پیشنهادی مبتنی بر فلز-دی الکتریک-فلز را نشان می‌دهد. تحلیل ساختار به روش حل عددی دو بعدی و تفاضل محدود در حوزه زمان است. در ساختار مقادیر پارامترهای هندسی عبارتند از: w1=w2= 100 nm و d1=250 nm, d2=100 nm.

ضرایب دی‌الکتریک لایه‌ها، وابسته به فرکانس و از بسته نرم‌افزار لومریکال استخراج و از منبع نوری موج تخت در محدوده ۴۰۰-۲۰۰۰nm استفاده شده و برای محاسبه انتقال نور، شرایط مرزی PML لحاظ شده است.



شکل ۱-ساختار پیشنهادی فیلتر پلاسمونی

برای نشان دادن تلفات نقره، تابع دی‌الکتریک نقره با استفاده از تقریب مدل درود طبق رابطه زیر تعریف می-شود:

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

Error! Bookmark not defined.

$$\varepsilon_m(\omega) = \varepsilon(\infty) - \frac{\omega_p^2}{\omega(\omega - i\gamma)}$$

در این معادله، $\varepsilon(\infty)$ تابع دی‌الکتریک در فرکانس‌های بالا، ω_pفرکانس پلاسما،ω فرکانس زاویه‌ایی و γمقدار میرایی تعریف می‌شوند. برای محاسبه توان انتقالی از رابطه T=P2/P1استفاده شده که در آن P1، توان در درگاه ورودی و P2 توان در درگاه خروجی است. وقتی منبع نور تخت به ساختار اعمال می‌شود، پلاسمون سطحی در مرز هوا-نقره منتشر می‌شود. در این شرایط نور دچار تلفات شدید خواهدشد و نور انتقالی به صفر می‌رسد. طول موج تشدید از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۱۱]:

$$\lambda_m(\omega) = \frac{4n_{eff}d}{(2m+1) - \frac{\theta}{\pi}} \quad (۲)$$

در این رابطه ضریب شکست با استفاده مد سولوشن در نرم افزار لومریکال محاسبه شده است و برای هر دو مد محاسبه شده است. λ_m طول موج نور انتقالی می باشد. θ میزان جابجایی فاز را نشان می دهد.

برخلاف مقاله [۱۱]، در اینجا محدوده هوا بصورت عددی مدل شده است.

$$n_{air}(\lambda, T_0, p_0) = n_0 + \frac{A_1\lambda^2}{B_1\lambda^2 - 1} + \frac{A_2\lambda^2}{B_2\lambda^2 - 1}$$

(۳)

در این رابطه پارامترها عبارتند از: α = 3.4785 × 103 K1, n0=1.000064328, T0=15 C, p0=101.3 kP, A1 = 2.94981 × 102 µm2, A2 = 2.554 × 104 µm2, B1 = .146 µm2, B2 = 41 µm2

همانطور که پیش از این اشاره گردید ساختار پیشین [۱۱] بدون درنظر گرفتن روش بهینه سازی ابعاد اولیه درنظر گرفته شده بود. اما در این مقاله با درنظر گرفتن روش بهینه سازی الگوریتم ازدحام ذرات بهترین ابعاد مورد ارزیابی قرار گرفتند.

روش پیشنهادی الگوریتم ازدحام ذرات در نرم افزار لومریکال براساس کد زیر عمل می کند:

```
function Initialize ;
x_{i,d}(it +1) (thickness) ←x_{i,d}(thickness);
for each layer i in S do;
for each dimension d in D do;
//initialize all layer'thickness;
xi,d=Rnd(xmin, xmax);
end for;
//initialize layer best thickness;
pb_i= x_i;
//update global best thickness;
if f(pb_i) <f(gb) then
gb ←pb_i ;
  end if;
  end for;
else
  return Initialize;
end
```

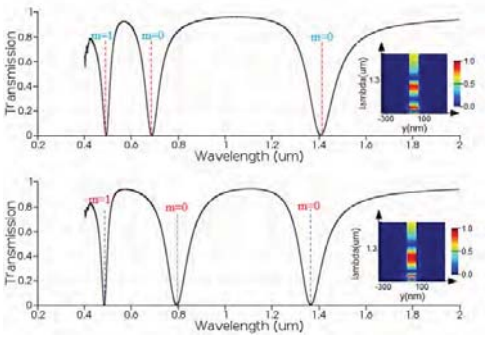
همانطور که در شبه کد بالا مشاهده می شود، با تخمین یک ارتفاع اولیه و با تکرار نتایج بهترین ضخامت و ارتفاع برای ساختار پیشنهادی محاسبه می گردد.

البته نتایج نشان می دهد که گرچه اختلاف بسیار کمی نتایج با یکدیگر دارند اما میزان شیفت نمودار انتقالی افزایش چشمگیری خواهد داشت.

همان طور که در شکل ۲ مشاهده می شود، برای m=1 تشدید انتقال در طول موج ۵۰۰ nm رخ داده است و برای m=0 تشدید در ۷۰۰ nm و ۱۴۱۰ nm رخ داده است. برای تنظیم ساختار مقدار d1=240 nm شد. در این حالت با این تغییر کوچک برای حالت m=1 تقریبا تغییری مشاهده نشد اما برای m=0 تشدید انتقال در ۸۰۰ nm و

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

nm ۱۳۸۰ رخ داده‌اند. از این مزیت برای طراحی فیلتر جهت طول موج مدنظر می توان استفاده کرد.



شکل ۲-محاسبه پروفایل میدان و نمودار انتقالی ساختار (الف) d1=250 nm (ب) d1=240 nm

با درنظر گرفتن روش بهینه سازی، فیلتر طول موج های پایین تر فراهم شده است. از طرفی برخلاف کارهای پیشین حداقل ارتفاع ۲۴۰ نانومتر و حداکثر آن ۲۵۰ نانومتر بدست آمده است. در حالی که در کارهای پیشین ابعاد ۳۲۵ نانومتر بعنوان بهترین ارتفاع تعریف شده بود.

نتیجه‌گیری

بصورت خلاصه، یک فیلتر دندان-شکل در محدوده طول موج فروسرخ نزدیک پیشنهاد شد. ساختار پیشنهادی دارای ابعاد زیر طول موج است و باتوجه به ساختار فلز-دی‌الکتریک-فلز ساختار می‌توان با کنترل ویژگی های هندسی ساختار طول موج تشدید را کنترل کرد. با در نظر گرفتن عدم تقارن در دندانه بالا و پایین امکان دستیابی به مد اول با ضریب کیفیت بالا فراهم شده است. نتایج بدست آمده نشان می دهد از ساختار پیشنهادی می‌توان برای فیلترهای پلاسمونی مجتمع استفاده کرد.

مرجع‌ها

[1] Do YS, Park JH, Hwang BY, Lee SM, Ju BK, Choi KC. Plasmonic color filter and its fabrication for large-area applications. Advanced Optical Materials. 2013 Feb;1(2):133-8.

[2] 2. Khani S, Danaie M, Rezaei P. Design of a single-mode plasmonic bandpass filter using a hexagonal resonator coupled to graded-stub waveguides. Plasmonics. 2019 Feb 15;14(1):53-62.

[3] Tao J, Hu B, He XY, Wang QJ. Tunable subwavelength terahertz plasmonic stub waveguide filters. IEEE transactions on nanotechnology. 2013 Oct 9;12(6):1191-7.

[4] McCrindle IJ, Grant J, Drysdale TD, Cumming DR. Hybridization of optical plasmonics with terahertz metamaterials to create multi-spectral filters. Optics express. 2013 Aug 12;21(16):19142-52

[5] Golfazani, A. Jeddi, et al. "Analytical and Numerical Models of a Highly Sensitive MDM Plasmonic Nano-structure in Near-infrared Range." Plasmonics (2020): 1-6.

[6] Khosravian, Elham, Hamid Reza Mashayekhi, and Ali Farmani. "Tunable plasmonics photodetector in near-infrared wavelengths using graphene chemical doping method." AEU-International Journal of Electronics and Communications 127 (2020): 153472.

[7] Farmani, Homa, and Ali Farmani. "Graphene sensing nanostructure for exact graphene layers identification at terahertz frequency." Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures 124 (2020): 114375.

[8] Moradian, Fatemeh, et al. "A multimode graphene plasmonic perfect absorber at terahertz frequencies." Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures (2020): 114159.

[9] Moradiani, Fatemeh, et al. "Systematic engineering of a nanostructure plasmonic sensing platform for ultrasensitive biomaterial detection." Optics Communications (2020): 126178.

[10] Amoosoltani, Narjes, et al. "A plasmonic nano-biosensor based on two consecutive disk resonators and unidirectional reflectionless propagation effect." IEEE Sensors Journal (2020).

[11] Wang, Hongqing, et al. "The transmission characteristics of asymmetrical multi-teeth-shaped plasmonic waveguide structure." IEEE Photonics Technology Letters 28.21 (2016): 2467-2470.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.