بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸

طراحی فیلتر پلاسمونیکی مبتنی بر تشدیدگر حلقوی شکافدار و موجبر MIM

فاطمه عبدالعلی‌پور[۱] ، مریم پورمحی‌آبادی[۲]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد، [۲]استادیار

آزمایشگاه الکترونیک نوری، دانشکده فنی- بخش مهندسی برق، دانشگاه شهید باهنر کرمان

Fatemeh.abdolalipoor@gmail.com, Pourmahyabadi@uk.ac.ir

چکیده - یکی از مسائل مهم در طراحی فیلترهای نوری، ضریب کیفیت ساختار است. در این مقاله یک فیلتر پلاسمونیکی بر اساس ساختار فلز-دی الکتریک-فلز ، طراحی و با استفاده از روش تفاضل محدود در حوزه زمان، تحلیل عددی شده است. ساختار شامل یک حلقه شکافدار است که به موجبرهای ورودی و خروجی تزویج شده است. استفاده از ساختار پلاسمونیک، باعث کاهش پراکندگی و تحدید بیشتر نور می‌شود. نتایج بدست آمده نشان می دهد که این ساختار، تحدید نور را در ابعاد زیر طول موج به خوبی انجام داده و با تغییر ابعاد هندسی ساختار و تغییر زاویه شکاف می توان طول موج تشدید و دامنه آن را تنظیم کرد. این ساختار دارای ضریب کیفیت ۲۸/۱۹ در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر است.

کلید واژه- تشدیدگر حلقوی شکافدار ، فیلتر پلاسمونیک، ضریب کیفیت، موجبر MIM

Design of Plasmonic Filter Based on Split Ring Resonator and MIM Waveguide

Fatemeh Abdolalipoor, Maryam Pourmahyabadi

Optoelectronic Laboratory, Electrical Engineering Department, Shahid Bahonar University

Fatemeh.abdolalipoor@gmail.com, Pourmahyabadi@uk.ac.ir

Abstract- One of the most important issues in the design of optical resonators is the quality factor. In this paper, a plasmonic filter based on metal-dielectric-metal structure is designed and numerically analysed by finite difference time domain method. This structure consists of a split ring resonator coupled by input and output waveguides. The use of plasmonic structure revealed decreases of scattering and further light confinement. The performance of this structure in the term of light confinement at the subwavelength range is good. Also the resonance amplitude and wavelength can be adjusted by changing the split angle and geometrical parameters. This structure has a quality factor of 28.19 at the wavelength of 1550 nm.

Keywords: Split-ring resonator, Plasmonic filter, Quality Factor, MIM waveguide.

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-20]

مقدمه

یکی از مهم ترین ادوات نوری که کاربرد گسترده ای در انتخابگری طول موج دارد، فیلتر پلاسمونیک است. فیلترهای پلاسمونیک در سالهای اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. اگر چه فیلتر های نوری و دی مالتی پلکسرها با کیفیت بالا را می توان با کریستالهای فوتونی [2],[1] طراحی و پیاده سازی کرد، ادوات پلاسمونیک مساحت کمتری نسبت به ادوات کریستال فوتونی مشابه، روی تراشه دارند و بر محدودیت پراش نور غلبه می کنند [3].

پلاریتون پلاسمون سطحی (SPP) امواج الکترومغناطیسی هستند که در فصل مشترک فلز- دی الکتریک تشکیل می-شوند و بر محدودیت های پراش نور در مقیاس نانو غلبه می‌کنند. در بین ادوات پلاسمونیکی دو ساختار فلز-عایق-فلز (MIM) و عایق- فلز-عایق (IMI) به دلیل ویژگی تشدید پلاسمون‌های محلی، بیشتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. ساختارهای MIM تحدید نور بیشتری نسبت به ساختارهای IMI دارند و برای ادوات نوری یکپارچه مناسب-تر هستند[4]. طرحی از تشدیدگر حلقوی پلاسمونیکی شکافدار در سال 2014 ارائه شده است [5]،که با تنظیم زاویه شکاف، مدهای تشدید چندگانه برانگیخته، تضعیف و یا حذف می شوند. فیلتر پلاسمونیکی تنظیم پذیر با تشدیدگر حلقوی مبتنی بر موجبر MIM شامل دو شکاف ارائه شده است که شکاف ها در بالا و پایین ساختار قرار گرفته اند [6]. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که با تنظیم عرض شکاف ها در تشدیدگر حلقوی، مدهای تشدید قابل تنظیم هستند و طول موج قله های انتقال رابطه غیر خطی با عرض شکاف دارد. در سال ۲۰۱۷، تشدیدهای پلاسمونیک در تشدیدگر حلقوی شکافدار شش ضلعی مورد بررسی قرار گرفته اند [7]. در این طرحها، بازدهی انتقال برای مدهای فرد، بیشتر از مدهای زوج بوده و زاویه شکاف نیز، برای انتقال مؤثر مدهای زوج، محاسبه شده است.

در این مقاله، با بررسی ابعاد هندسه ساختار تشدیدگر حلقوی پلاسمونیکی و همچنین تغییر زاویه شکاف نسبت به موجبر های ورودی و خروجی، یک فیلتر بهینه برای عملکرد در طول موج مخابراتی ۱۵۵۰ نانومتر پیشنهاد شده است. ساخت آسان و کاهش ابعاد فیلتر پلاسمونیکی، از مزایای این ساختار است. در ادامه ابتدا به تحلیل تشدیدگرهای حلقوی پلاسمونیکی پرداخته و سپس طرح پیشنهادی و نتایج حاصل از شبیه سازی با روش تفاضل محدود در حوزه زمان (FDTD) ارائه شده است.

اصول تشدیدگر حلقوی پلاسمونیک

پلاسمون‌ها یا نوسانات الکترون‌های آزاد در یک محیط پلاسمایی، نقش عمده‌ای در خواص نوری فلزات دارند. به منظور توصیف ویژگی‌های کیفی الکترون‌های آزاد در فلزات از مدل درود استفاده می‌شود. گذردهی فلز (ε_m) به صورت رابطه زیر بیان می‌شود.

$$\varepsilon_m = \varepsilon_\infty - \frac{w_p^2}{w(w+i\gamma)} \qquad (1)$$

که در آن، ε_∞ گذردهی فلز در فرکانس بی نهایت، w_p فرکانس پلاسما،w فرکانس زاویه ای تابش الکترومغناطیسی برخوردی و γ فرکانس میرایی برخورد الکترون است. در واقع تشدیدگر نوری مثل یک فیلتر عمل می کند که می-تواند بر اساس شرایط تشدید، طول موج هایی از سیگنال ورودی را عبور دهد یا حذف کند. شرط تشدید در تشدیدگر حلقوی به صورت زیر بیان می شود:

$$N_{eff}L = m\lambda \qquad (2)$$

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-20]

که N_{eff} ضریب شکست مدهای SPP تزویج شده در حلقه، m عدد مد، λ طول موج و L طول موثرSPP ها است و برای تشدیدگر حلقوی دایروی کامل به صورت زیر بیان می شود:

$$L = 2\,\pi R_m \qquad (3)$$

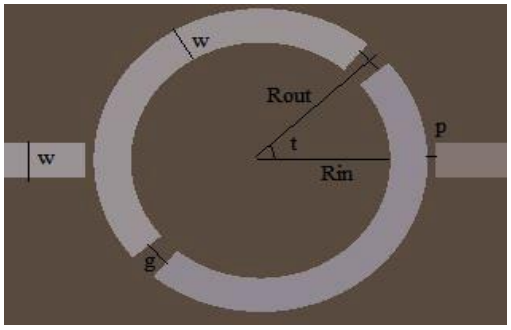
که R_m شعاع حلقه است[8]. یکی از مسائل مهم در طراحی تشدیدگرهای نوری پلاسمونیکی، ضریب کیفیت ساختار است. برای محاسبه ضریب کیفیت از رابطه (4) استفاده می شود.

$$Q = \frac{\omega}{\Delta\omega} = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \qquad (4)$$

که در آن ω فرکانس زاویه ای تشدید و $\Delta\omega$ پهنای باند، λ طول موج تشدید و $\Delta\lambda$ نیز عرض طیفی خطی است.

طرح پیشنهادی

ساختار طرح پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است. این ساختار بر اساس موجبر MIM دو بعدی طراحی شده و شامل دو موجبر ورودی و خروجی و یک حلقه تشدید شکافدار است که بین دو موجبر تزویج شده است. استفاده از شکاف باعث افزایش پلاریزاسیون میدان الکتریکی و اثر تزویج دوقطبی ها در ناحیه شکاف می شود. از فلز نقره و دی الکتریک هوا در ساختار MIM استفاده شده است. فلز نقره دارای مقاومت اهمی کمتری نسبت به سایر فلزات است و یکی از رایج ترین فلزات مورد استفاده در حوزه پلاسمونیک است[3].



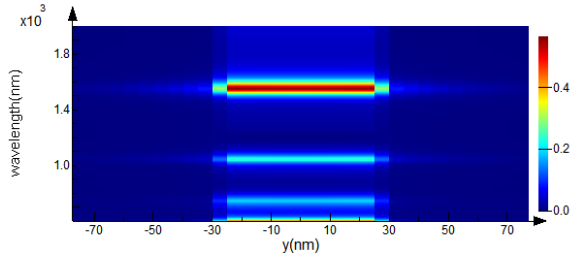
شکل ۱- ساختار فیلتر پلاسمونیکی پیشنهادی

با تغییر شعاع حلقه و تغییر زاویه شکاف می‌توان طول موج طیف خروجی و دامنه آن را تنظیم کرد. با جاروب کردن پارامترهای شعاع حلقه و زاویه شکاف، بهترین پارامترهای هندسی برای عملکرد بهینه ساختار فیلتر پلاسمونیکی پیشنهادی در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر عبارتنداز:

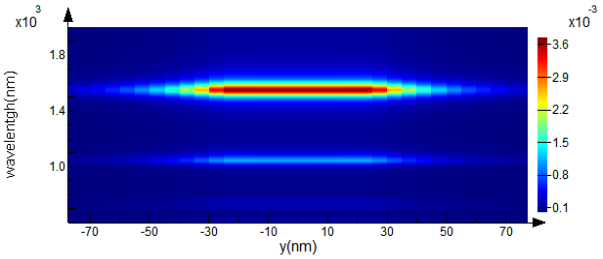
W=50 nm, g=10 nm, R_{in}=174 nm, R_{out}=224 nm, p=3 nm, t=45^0.

نتایج شبیه سازی

جهت بررسی و ارزیابی عملکرد ساختار پیشنهادی، مشخصه طیف خروجی ساختار و ضریب کیفیت به دست آمده است. امواج نوری از سمت موجبر ورودی به ساختار تابیده و از شرایط مرزی لایه تطبیق کامل (PML) در شبیه سازی استفاده شده است. توزیع میدان های الکتریکی و مغناطیسی در شکل ۲ نشان داده شده است. میدان های الکتریکی و مغناطیسی در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر دارای شدت بیشتری هستند.



(الف)



(ب)

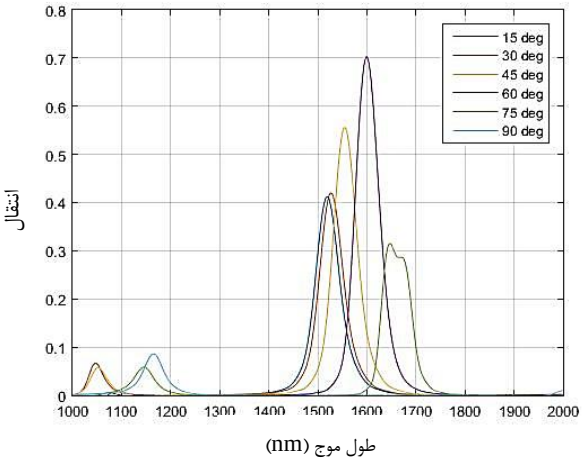
شکل۲- توزیع (الف) میدان الکتریکی، (ب) میدان مغناطیسی

مشخصه طیف خروجی ساختار پیشنهادی بر حسب طول موج برای مقادیر مختلف زاویه شکاف در شکل ۳ نشان داده شده است. ساختار پیشنهادی در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر دارای قله ۰/۵ و ضریب کیفیت ۲۸/۱۹ است. همچنین در

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-20]

طول موج ۱۵۹۷ دارای قله ۰/۶۸ و ضریب کیفیت ۳۰/۱ است.



شکل ۳- مشخصه طیف خروجی ساختار پیشنهادی

جدول شماره ۱، مقایسه ای از نتایج طرح های موجود مشابه در این زمینه و ساختار پیشنهادی ارائه داده است. در طرح پیشنهادی در این مقاله یک مصالحه ای بین طول موج تشدید و قله انتقال برقرار شده است.

جدول ۱- مقایسه نتایج طرح پیشنهادی با سایر طرح های موجود

مرجع	طول موج تشدید(nm)	نوع مد	حداکثر قله	ضریب کیفیت
[5]	1617	TM	0/25	16/17
[6]	1095	TM	0/45	22/9
[7]	1280	-	0/32	21/3
[9]	1235	p-polarized	0/7	1/7
طرح پیشنهادی	1550	TM,TE	0/55	28/19
طرح پیشنهادی	۱۵۹۷	TM,TE	0/68	30/1

با توجه به ضریب کیفیت خوب این ساختار در طول موج مخابراتی ۱۵۵۰ نانومتر و همچنین تک مدی ساختار در باندهای مخابراتی، می‌توان از این ساختار در مدارهای مجتمع نوری استفاده کرد.

نتیجه گیری

در این مقاله یک فیلتر پلاسمونیکی مبتنی بر ساختار MIM با عملکرد در طیف طول موج های مخابراتی ارائه شده است. با تغییر ابعاد هندسی حلقه تشدیدگر و زاویه شکاف نسبت به موجبرهای ورودی و خروجی، مدهای تشدید مختلفی برانگیخته، تضعیف و یا حذف شده اند. علت این پدیده، پلاریزاسیون میدان های الکتریکی در محل شکاف ها است. ابعاد بهینه ساختار برای عملکرد در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر ارائه شده است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که این فیلتر دارای ضریب کیفیت 28/19 در طول موج مخابراتی ۱۵۵۰ نانومتر است.

مرجع‌ها

[1] A. Dideban, H. Habibiyan, H. Ghafoorifard, “Photonic crystal channel drop filters based on fractal structures”, Physica E 63, pp304–310, 2014.

[2] A. Dideban, H. Habibiyan, H. Ghafoorifard, “Photonic crystal channel drop filter based on ring-shaped defects for dwdm systems”, Physica E 87, pp77-83, 2017.

[3] Khani, Shiva, Danaie, Mohammad, Rezaei, Pejman. “Realization of single-mode plasmonic bandpass filters using improved nanodisk resonators”. Optics Communications. 420, pp 147-156, 2018.

[4] Zhu, Jia & Wang, Qi & Shum, Ping & Huang, Xu Guang, A Simple Nanometeric Plasmonic Narrow-Band Filter Structure Based on Metal–Insulator–Metal Waveguide. IEEE Transactions on Nanotechnology, 10. 1371-1376,2011.

[5] Chen, Jing, Li, Yudong, et al, Tunable Resonances in the Plasmonic Split-Ring Resonator. IEEE Photonics Journal, 6. pp 1-6, 2014.

[6] Zheng, Gaige, Xu, Linhua, et al, Tunable plasmonic filter with circular metal–insulator– metal ring resonator containing double narrow gaps. Pramana,86,2015.

[7] I. Zand, *et al.*, “Metal–insulator–metal nanoscale loop–stub structures”, IEEE Photonics Journal, vol. 4, pp. 2136-2142, 2012.

[8] Md. Zia Ur Rahman, et al. “Ultra-Wide-Band Band-Pass Filters Using Plasmonic MIM Waveguide-Based Ring Resonators.” IEEE Photonics Technology Letters 30, pp 1715-1718, 2018.

[9] X.Zhai, et al, “A subwavelength Plasmonic Waveguide Filter with a Ring Resonator”, Journal of Nanomaterials, pp 1-6,2013.

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-20]