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

طراحی و شبیه‌سازی فیلتر میان‌گذر مبتنی بر اثر شفافیت القایی پلاسمونی

مرتضی منصوری، مریم قدرتی، علی فرمانی و علی میر
دانشگاه لرستان، دانشکده فنی و مهندسی، گروه الکترونیک
mansuri.mo@fe.lu.ac.ir, ghodrati.ma@fe.lu.ac.ir, Farmani.a@lu.ac.ir, mir.a@lu.ac.ir

چکیده - در این مقاله یک فیلتر میان‌گذر بر اساس پدیده شفافیت القایی پلاسمونی در مقیاس نانومتر، که شامل یک کاواک تشدیدی و موجبر فلز- دی‌الکتریک- فلز است معرفی می‌شود. داشتن پهنای باند توقف وسیع، تیزی مناسب در فرکانس عبور، ابعاد کوچک و تنظیم‌پذیری از مزایای ساختار فیلتر پیشنهادی است. برای تحلیل و شبیه‌سازی ساختار مذکور از روش تفاضل محدود در حوزه‌ی زمان (FDTD)، استفاده شده است.

کلید واژه- تفاضل محدود در حوزه زمان، شفافیت القایی پلاسمونی، فیلتر میان‌گذر، فلز- دی‌الکتریک- فلز.

Design and simulation **of a** band-pass filter based on plasmonic-induced transparency

Morteza Mansouri, Maryam Ghodrati, Ali Farmani, and Ali Mir
School of Electrical and Computer Engineering, Lorestan University, Khoramabad
mansuri.mo@fe.lu.ac.ir, ghodrati.ma@fe.lu.ac.ir, Farmani.a@lu.ac.ir, mir.a@lu.ac.ir

Abstract- In this paper we introduce a band pass filter based on plasmonic induced transparency **in** nanometer scale, which includes a resonant cavity and a metal-dielectric-metal waveguide. Wide stop-band, sharp transition band, small dimensions and tunability are the advantages of the filter structure. The finite-difference time-domain method is used to analyze and simulate this structure.

Keywords: Band- pass filter, finite-difference time-domain, metal- dielectric- metal, plasmon- induced transparency.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-12]

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

مقدمه

با توجه به پیشرفت روزافزون فناوری و افزایش سرعت انتقال اطلاعات، مجتمع‌سازی مدارها امری لازم و ضروری به شمار می‌رود. از طرفی برخی محدودیت‌هایی که در حوزه‌ی الکترونیک وجود دارد از جمله تلفات زیاد و تاخیر ذاتی سبب شد که محققان به استفاده از مدارهای مجتمع نوری در ابعاد نانومتری گرایش پیدا کنند[۳-۱]. یکی از محدودیت‌هایی که در راستای مجتمع‌سازی مدارهای نوری وجود دارد، این است که نمی‌توانند ابعادی کمتر از نصف طول موج داشته باشند [۶-۴]. استفاده از خصوصیات انتشار امواج پلاسمون پلاریتون سطحی (SPP[۱]) روشی برای غلبه بر این محدودیت است. نوسان-های جمعی الکترون‌های آزاد در سطح فلز به وسیله امواج الکترومغناطیسی، پلاسمون سطحی(SP[۲])، نام دارد که در مرز مشترک فلز- دی‌الکتریک به وجود می‌آید و سپس در امتداد مرز مشترک فلز- دی‌الکتریک به صورت نمایی میرا می‌شوند [۸-۷]. در صورتی که بردار موج نور فرودی با بردار موج نوسان الکترون‌های سطحی یکسان شود پلاسمون‌های سطحی شکل می‌گیرند، که این حالت زمانی به وجود می‌آید که تحت زاویه مشخص فرود، کاهش در بازتابش نور از ساختار دیده شود [۸-۷]. برهمکنش نور فرودی با پلاسمون‌های سطحی به وجود آمده در مرز مشترک فلز- دی‌الکتریک، امواج پلاسمون پلاریتون سطحی را به وجود می‌آورد. مدهای پلاسمونی دارای دو حالت تاریک و روشن هستند که به نوع جفت‌شدگی نور فرودی با پارامترهای ساختار مورد نظر بستگی دارد. مد تاریک با نور فرودی به صورت مستقیم برهم‌کنش ندارد در حالی که مد روشن به طور مستقیم با نور فرودی برهم-کنش می‌کند و میزان پراکندگی آن زیاد است. برهم‌کنش قوی بین دو مد تاریک و روشن تحت اثر شفافیت القایی پلاسمونی (PIT[۳])، عنوان می‌شود. پژوهش‌های انجام شده در مورد PIT بیشتر بر روی افزاره‌های پلاسمونی مانند فیلترها [۱] ، نانو حسگرها [۲] و به ویژه بر روی افزاره-های نور آهسته[۴]، متمرکز شده است [۳]. همچنین با توجه به هدایت امواج پلاسمون پلاریتون سطحی توسط موجبرهای فلز- دی‌الکتریک- فلز در ابعاد نانومتر، تاکنون ساختارهای بسیاری همچون دی‌مالتی‌پلکسر [۴]، تقسیم-کننده توان [۵]، فیلتر [۶] و گیت منطقی [۷] در این راستا طراحی و بررسی شده است. نظر به اینکه فیلترها یکی از اجزای کلیدی برای محدوده‌ی وسیعی از کاربردها در ارتباطات نوری هستند لذا محققان و پژوهشگران ساختارهای مختلفی را برای ایجاد فیلترهای موجبر پلاسمونی بررسی نموده‌اند. با توجه به وجود مشکلاتی همچون اندازه‌های بزرگ و تلفات زیاد انتقال، و با توجه به اینکه فیلترها یکی از اجزای جدایی‌ناپذیر سامانه‌های مخابراتی محسوب می‌شوند لذا طراحی و ارائه ساختارهای جدید در راستای بهبود این پارامترها امری ضروری است. در این مقاله با استفاده از اثر شفافیت القایی پلاسمونی، یک فیلتر میان‌گذر پیشنهاد شده است و سعی شده با تغییر در ساختار تشکیل‌دهنده فیلتر مورد نظر، ساختاری کوچک‌تر ارائه شود.

ساختار فیلتر پیشنهادی و روش شبیه‌سازی

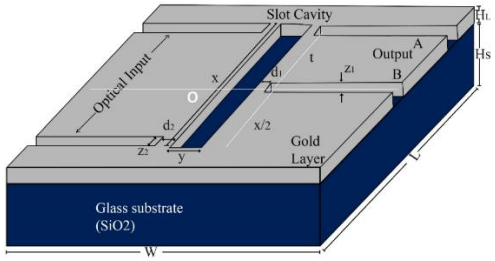
نمای سه بُعدی ساختار فیلتر پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است. ساختار مورد نظر شامل چهار موجبر فلز- دی‌الکتریک- فلز و یک نانو کاواک شکافی مستطیلی شکل است. طراحی انجام شده بر پایه شفافیت القایی پلاسمونی است و با دو باند عبور در نظر گرفته شده است که با تنظیم دقیق هندسه و کاواک تشدیدگر تنظیم‌پذیری و

[۱] Surface Plasmon Polariton
[۲] Surface Plasmon
[۳] Plasmon-Induced Transparency
[۴] Slow Light

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-12]

قابلیت انتخاب را در ساختار ایجاد نموده‌ایم. ابعاد ساختار فیلتر مورد نظر در مقیاس نانو است و قابلیت مجتمع‌شدن را دارد. در ساختار پیشنهاد شده، W و L برابر ۷۰۰ نانومتر، H_S ، ارتفاع لایه دی‌الکتریک ۲۰۰ نانومتر، H_L، ارتفاع لایه فلزی ۱۰۰ نانومتر، Z_1 و Z_2، پهنای موجبر ورودی و خروجی ۵۰ نانومتر، y، پهنای کاواک ۳۰ نانومتر، x، طول کاواک ۵۰۰ نانومتر، d_1 و d_2، فاصله موجبرهای ورودی و خروجی از کاواک ۱۵ نانومتر، x/2 برابر ۲۵۰ نانومتر و t برابر ۲۲۵ نانومتر در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که چون پهنای موجبرها از طول‌موج‌های مورد بررسی بسیار کوچک‌تر می‌باشد فقط مود اصلی، TM_0، تحریک و انتشار می‌یابد.



شکل۱: نمای سه بعدی ساختار فیلتر میان‌گذر پیشنهاد شده

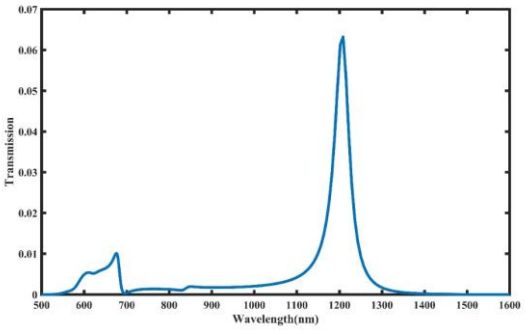
در ساختار پیشنهاد شده بخش دی‌الکتریک، سیلیکا با ضریب گذردهی نسبی ۳/۹ و بخش فلزی، طلا در نظر گرفته شده است. ضریب گذردهی الکتریکی طلا، بنابر مدل درود به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\varepsilon_m(\omega) = \varepsilon_\infty - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 - j\gamma\omega} \qquad (۱)$$

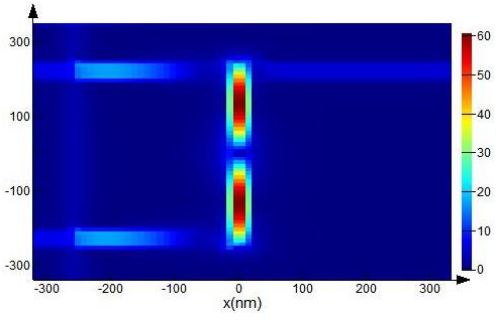
در رابطه (۱)، ε_∞ گذردهی الکتریکی در فرکانس بی‌نهایت، γ فرکانس زاویه‌ای میراکننده و ω_p فرکانس پلاسمای حجمی است که مقدار این پارامترها به جنس فلز وابسته است. برای فلز طلا $\varepsilon_\infty = 6.9$، $\gamma = 0.07\ \text{eV}$ و $\omega_p = 8.9\ \text{eV}$ است. برای شبیه‌سازی انتشار امواج از روش تفاضل محدود در حوزه زمان، FDTD، به عنوان ابزاری قدرتمند برای تحلیل مسائل الکترومغناطیس، استفاده شده است که روشی تفاضلی بر مبنای گسسته-سازی شکل دیفرانسیلی معادلات ماکسول در حجم و بازه زمانی موردنظر است. در طی فرآیند شبیه‌سازی معادلات ماکسول به صورت عددی توسط روش دو بُعدی FDTD حل می‌شوند. در این روش، فضای شبیه‌سازی به مش‌های بسیار ریز تقسیم می‌شود که بُعد این مش‌ها متناسب با بُعد فضای شبیه‌سازی تعیین می‌گردد. ابعاد مش‌های واحد در شبیه‌سازی بر اساس سلول واحد (یی[۵])، به اندازه ۵ نانومتر در نظر گرفته شده است. همچنین از روش CPML[۶] برای شرایط مرزی جذبی در شبیه‌سازی و تحلیل ساختار فیلتر موردنظر استفاده شده است. برای اعمال الگوریتم FDTD، از نرم‌افزار متلب بهره گرفتیم.

بحث و نتایج شبیه‌سازی

طیف انتقال توان و توزیع میدان الکتریکی از موجبر خروجی A، در شکل ۲ (الف) و (ب) نشان داده شده است.



(الف)



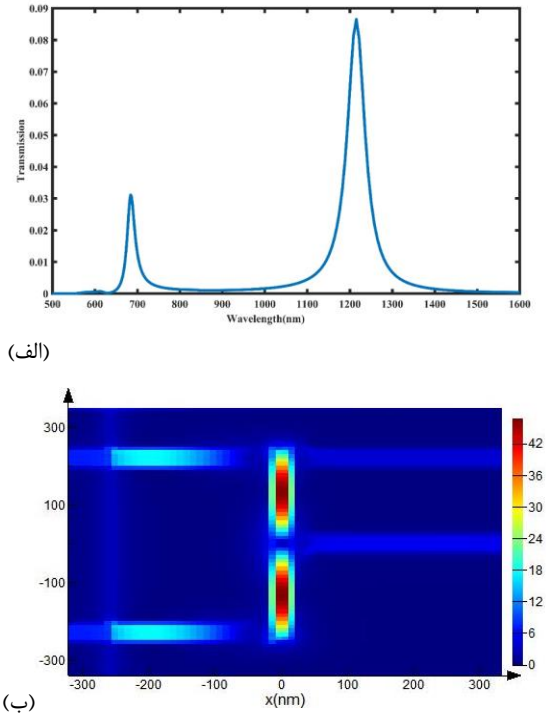
(ب)

شکل۲: الف) طیف انتقال توان ب) توزیع میدان الکتریکی از موجبر خروجی A، در طول موج ۱/۲ میکرومتر برای ساختار فیلتر پیشنهاد شده

[۵] Yee
[۶] Convolutional Perfectly Matched Layers

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.
[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-12]

با توجه به طیف انتقال توان، یک قله تشدید در طول موج ۱/۲ میکرومتر مشاهده می‌شود که این امر به دلیل جفت-شدگی پلاسمون پلاریتون سطحی درون نانو کاواک شکافی است که درون کاواک منتشر شده و منجر به افزایش میزان جذب در لایه فلزی می‌گردد. همچنین با توجه به توزیع میدان الکتریکی، عبور نور از موجبرهای ورودی و نانو کاواک شکافی و موجبر خروجی A، به روشنی دیده می‌شود. بررسی‌های انجام شده در شکل ۳ نشان می‌دهد زمانی که دو موجبر خروجی A و B در لایه فلزی قرار داده می‌شود دو قله تشدیدی در طول موج‌های ۰/۷ میکرومتر و ۱/۲ میکرومتر به علت مد تاریک و روشن در طیف انتقال توان دیده می‌شود. از هم‌پوشانی این دو تشدید پدیده شفافیت القایی پلاسمونی در طیف عبور مشاهده می‌گردد که باعث کاهش میزان جذب می‌شود.



شکل۳: الف) طیف انتقال توان ب) توزیع میدان الکتریکی موجبر خروجی B، در طول موج ۱/۲ میکرومتر برای ساختار فیلتر پیشنهاد شده

نتیجه‌گیری

در این مقاله ساختار یک فیلتر میان‌گذر مبتنی بر اثر شفافیت القایی پلاسمونی در مقیاس نانومتر ارائه شد. برای شبیه‌سازی ساختار مورد نظر از روش عددی تفاضل محدود در حوزه زمان استفاده شده است. مجتمع‌پذیر بودن، تنظیم‌پذیر بودن از ویژگی‌های شاخص ساختار فیلتر پیشنهادی است. همچنین با تغییر در پارامترهای ساختاری دستیابی به عملکرد بهتر و مطلوب‌تر امکان‌پذیر می‌باشد.

مرجع‌ها

[1] X. Yang, X. Hu, Z. Chai, C. Lu, H. Yong, and Q. Gong, "Tunable ultra- compact chip-integrated multichannel filter based on plasmon induced transparencies," Appl. Phys. Lett., Vol. 104, No. 22, pp. 221114, 2014.

[2] A. Alipour, A. Farmani, A. Mir, "High Sensitivity and Tunable Nanoscale Sensor Based on Plasmon-Induced Transparency in Plasmonic Metasurface," IEEE Sensors Journal, Vol. 18, No. 11, pp 7047 - 7054. 2018.

[3] Q. Wang, H. Meng, B. Huang, H. Wang, X. Zhang, W. Yu, C. Tan, X. Huang, and S. Li, "Dual coupled-resonator system for plasmon-induced transparency and slow light effect," Opt. Commun., Vol. 380, No. 380, pp. 95-100, 2016.

[4] A. Dolatabady and N. Granpayeh, "A novel multichannel Demultiplexer in two dimensional plasmonic waveguides with nanodisk resonator," 20th Iranian Conf. on Electrical Engineering, Iran, pp. 1334-1338, 2012.

[5] H. Chu, P. Bai, E. Li, and W. Hoefer, "Hybrid Dielectric-Loaded Plasmonic Waveguide-Based Power Splitter and Ring Resonator: Compact Size and High Optical Performance for Nanophotonic Circuits," Plasmonics, Vol. 6, No. 3, pp. 591-597, 2011.

[6] F. Hu, H. Yi, .Z. Zhou, "Band-pass plasmonic slot filter with band selection and spectrally splitting capabilities," Optics Express., Vol. 19, No. 6, pp. 4848-4855, 2011.

[7] A. Dolatabady and N. Granpayeh, "All optical logic gates based on two dimensional plasmonic waveguide with nanodisk resonator," J. Opt. Soc. Korea., Vol. 16, No. 4, pp. 432- 442, 2012.

[8] L. Liu, S.-X. Xia, X. Luo, X. Zhai, Y.-B. Yu, and L.-L. Wang, "Multiple detuned-resonator induced transparencies in MIM plasmonic waveguide," Optics Communications., Vol. 418, pp. 27–31, 2018.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-12]