



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 : ۱-۲۵۶۹-۱۰-A

طراحی نانو فیلتر پلاسمونی با استفاده از یک موجبر شیاردار و چهار کاواک جفت شده

محمدیوسف قره‌داشلی، امین قادی و سعید میرزانژاد

دانشکده فیزیک دانشگاه مازندران، بابلسر

m.y.gharedashly@gmail.com, a.ghadi@umz.ac.ir, saeed@umz.ac.ir

چکیده - این مقاله در مورد مطالعه و طراحی نانو فیلتر پلاسمونی با استفاده از یک موجبر شیاردار و چهار کاواک جفت شده است. در سامانه نوری طراحی شده تغییرات طیف عبور را با جابجا کردن مکان کاواک‌ها در جهت محور x با شبیه سازی عددی و روش FDTD بررسی کردیم. این کاواک‌ها در چند طول موج فیلترینگ می‌کنند و با تغییر کاواک‌ها این طول موج تشدید فانو شیفت پیدا می‌کند. ما در این نانوفیلتر از چهار کاواک استفاده کردیم که با جابجایی کاواک‌های دوم و چهارم شیفت رزونانسی به سمت طول موج‌های بزرگتر یعنی در محدوده ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ نانومتر و در محدوده ۱۴۰۰ تا ۱۶۰۰ نانومتر به سمت طول موج‌های کوچکتر داشتیم. همچنین در قسمت پیک‌های λ_3^{res} با جابجایی کاواک‌ها پهنای پیک‌ها در نصف ارتفاع بصورت قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند برای فیلترینگ نوری در مقیاس نانو در مدارهای مجتمع تمام نوری کاربرد های زیادی داشته باشند.

کلید واژه- نانو فیلتر، پلاسمون پلاریتون های سطحی، تشدید فانو، موجبر فلز- عایق- فلز

Design of plasmonic nano-filter using a baffle waveguide and four coupled cavity

Mohammad Yusuf Gharehdashly, Amin Ghadi, Saeed Mirzanejad

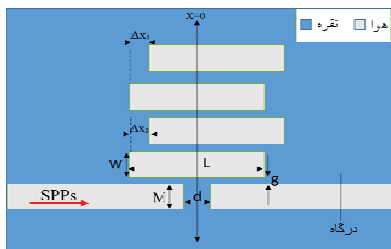
Department of Physics, University of Mazandaran, Babolsar

m.y.gharedashly@gmail.com, a.ghadi@umz.ac.ir, saeed@umz.ac.ir

Abstract- This article is about study and design of plasmonic nano-filters using a baffle waveguide and four coupled cavities. In the designed optical system, we studied the changes in the transmission spectrum by shifting the location of the cavities in the direction of the x-axis by numerical simulation and the FDTD method. These cavities filters some wavelengths and with changing cavity positions, the resonance wavelength shifts. In this nano filter, we used four cavities, that with changing the second and the fourth cavities, we have resonance shift to higher wavelengths for the resonance between 1000nm up to 1200nm, and to lower wavelengths for the resonance between 1400nm up to 1600nm. Also, full width at half maximum decreases with changing the position of cavity for λ_3^{res} . The results of this study can have many applications for nanoscale optical filtering in all-optical integrated circuits.

Keywords: Nano- filter, Surface plasmon polaritons (SPPs), Fano resonance, Metal-insulator-metal (MIM) waveguide

عمل کند. همچنین با جابجایی کاواک‌ها تغییرات قابل ملاحظه‌ای در پهنای طیف‌ها در نصف ارتفاع ایجاد می‌شود. تغییرات طیف طول‌موج نانوفیلتر با تغییر مکان کاواک‌ها نشان داده خواهد شد که باعث می‌شود تا از آن در مدارات مجتمع اپتیکی استفاده شود. در شکل (۱) هندسه سامانه نوری طراحی شده است، در این شکل $L=400 \text{ nm}$ ، $W=50 \text{ nm}$ ، $M=50 \text{ nm}$ و بترتیب طول، عرض کاواک‌ها و عرض موجبر شیاردار هستند. $d=20 \text{ nm}$ پهنای شیار موجبر را نشان می‌دهد. $g=10 \text{ nm}$ عرض فضای بین موجبر و کاواک‌ها را نشان می‌دهد. چشمه نوری تزریق شده به موجبر، مد موجبر پلاسمونی در نظر گرفته شده است که تحریک آن باعث برانگیخته شدن پلاسمون‌ها در کل سامانه می‌شود. از آنجا که پهنای موجبر خیلی کمتر از طول‌موج امواج نور ورودی است، فقط یک مد با قطبیدگی TM در سامانه نوری می‌تواند انتشار یابد که در این شبیه‌سازی برای انتشار این مد از منبع نور Mode در نرم افزار استفاده شد. شرط مرزی مورد استفاده نیز شرط مرزی PML^۱ می‌باشد و در قسمت مش نیز $\Delta x=0.5$ و $\Delta y=0.75$ قرار داده شده است. ثابت دی‌الکتریک وابسته به طول‌موج نقره با مدل درود طبق معادله: $\epsilon_m = \epsilon_\infty - \omega_p^2 / (\omega^2 + i\omega\gamma)$ با پارامترهای $\epsilon_\infty = 3.7$ ، $\omega_p = 9.1 \text{ eV}$ ، $\gamma = 0.018 \text{ eV}$ مدل شده است که ϵ_∞ ثابت دی‌الکتریک در فرکانس بی‌نهایت، γ فرکانس برخورد الکترون و ω_p فرکانس پلاسمای حجمی است [۵].



^۱Perfectly matched layer

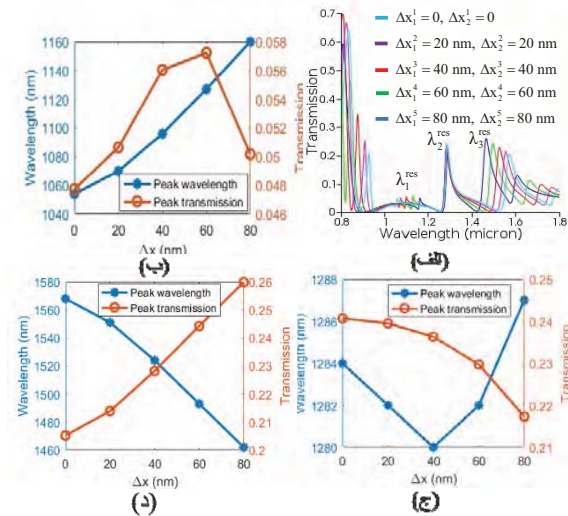
مقدمه

یکی از ادوات پرکاربرد در سامانه‌های نوری فیلترهای پلاسمونی هستند. بنابراین در مورد این ادوات، مطالعات و بررسی‌های بسیاری بخصوص در مدارهای مجتمع نوری صورت گرفته است. فیلترها بصورت اشکال مختلف مانند حلقه [۱]، مستطیل [۲] و غیره در سامانه‌های نوری کاربرد داشته‌اند. پلاسمون پلاریتون‌های سطحی به دلیل افزایش قابل توجه شدت میدان نوری، محدودیت پراش نور را ندارند، بنابراین در طراحی این نانو فیلترها نقش اساسی را ایفا می‌کنند [۳]. موجبرهای فلز-دی‌الکتریک-فلز مبتنی بر آن‌ها نیز می‌تواند نور را در ابعاد نانو و در ساختار بسیار ریز هدایت کند [۴]. تشدید فانو به عنوان یک اثر تداخل بینیک حالت موضعی و یک نوار پیوسته در سامانه‌های نوری ظاهر می‌شود و یک مقطع عرضی خط تیز و نامتقارن دارد و بخاطر این مشخصه مهم در طراحی نانو فیلترها و بیوسنسورهای پلاسمونی بسیار حساس در مقیاس نانو بکار می‌رود [۵]، [۶]. در این شبیه‌سازی، فیلترینگ نوری با استفاده از تشدید فانو در سامانه‌ی پلاسمونی متشکل از یک موجبر شیاردار MIM همراه با چهار کاواک جفت شده، مورد بررسی قرار می‌گیرد. ویژگی‌های عبور امواج نوری از سامانه‌ی نوری با روش عددی تحلیل شده است.

روش و محاسبات

نانوفیلتر پلاسمونی طراحی و بصورت عددی با روش FDTD با استفاده از نرم‌افزار لومریکال شبیه‌سازی می‌شود. کارهایی که اخیراً در این زمینه صورت گرفته [۵]، شامل یک موجبر و یک تا چند کاواک بوده است که در این مقاله با جابجایی کاواک‌ها در حالت‌های مختلف مشاهده می‌شود که شیفت رزونانسی وجود دارد که باعث می‌شود فیلتر در طول‌موج مورد نظر ساخته‌شود و در آن طول‌موج

میزان عبور آن ۹۰ نانومتر تا جابجایی ۶۰ نانومتر بصورت صعودی شیفت پیدا می‌کند اما برای λ_2^{res} و λ_3^{res} اینچنین نمی‌شود. در قسمت پیک‌های λ_3^{res} پهنای پیک‌ها در نصف ارتفاع بصورت کاهش می‌یابد ولی برای بقیه اینطور نمی‌شود. این نتیجه برای طراحی فیلتر موردنظر در طول موج مدنظر می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد.

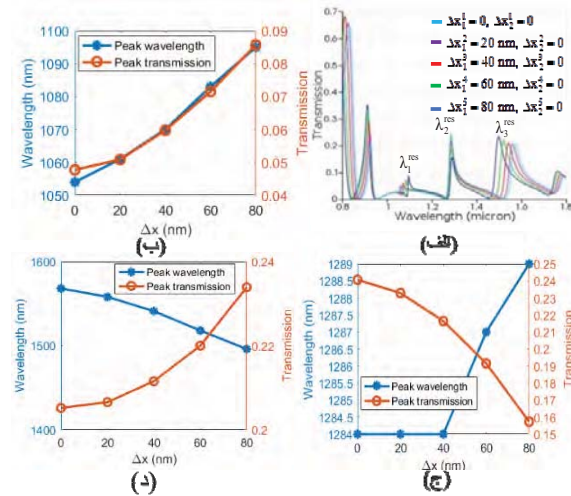


شکل ۳: (الف) طیف عبور سیستم نوری در درگاه خروجی موجبر (ب) وابستگی عبور و طول موج تشدید فانو به جابجایی کاواک‌ها در بخش λ_1^{res} ، (ج) وابستگی عبور و طول موج تشدید به جابجایی کاواک‌ها در بخش λ_2^{res} ، (د) وابستگی عبور و طول موج تشدید به جابجایی کاواک‌ها در بخش λ_3^{res} .

با توجه به شکل‌های (۱) و (۴) وقتی Δx_1 و Δx_2 بترتیب ۸۰ و ۸۰- نانومتر جابجا می‌شوند طول موج تشدید فانو λ_1^{res} ۱۰۰ نانومتر شیفت پیدا می‌کند و میزان عبور آن ۱۳۰ نانومتر تا جابجایی ۶۰ نانومتر بصورت صعودی شیفت پیدا می‌کند اما برای λ_2^{res} و λ_3^{res} اینچنین نمی‌شود. در قسمت پیک‌های λ_3^{res} پهنای پیک‌ها در نصف ارتفاع کاهش می‌یابد ولی برای بقیه اینطور نمی‌شود. این نتیجه برای تنظیم اینک فیلتر در چه طول موجی عمل کند مفید است و می‌تواند جابجایی‌های نانومتری بر روی طول موج تشدید ایجاد کند. با توجه به شکل‌های (۱) و (۵) وقتی Δx_1 و Δx_2 بترتیب ۱۲۰ و ۸۰ نانومتر جابجا

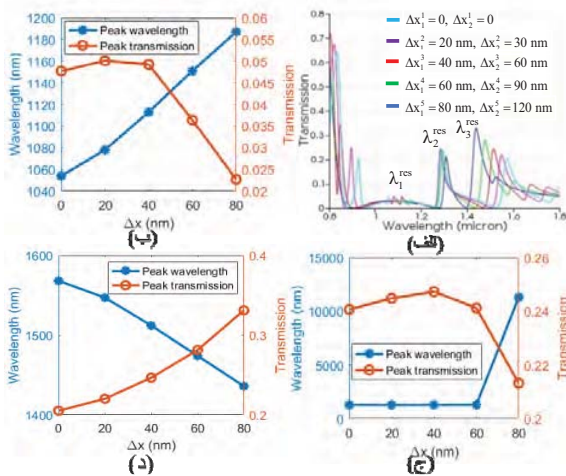
شکل ۱: شمای ساده ای از سامانه نوری پلاسمونیک شامل یک موجبر چهار کاواک در بالا و نمادهای پارامتر هندسی

قسمت (الف) هر یک از شکل‌های زیر، طیف‌های عبور سیستم نوری در درگاه خروجی موجبر را برای حالت‌های مختلف جابجایی کاواک‌ها و بخش‌های (ب)، (ج) و (د) نیز وابستگی طول موج و میزان عبور تشدید فانو را بر حسب جابجایی کاواک‌ها نمایش می‌دهد. با توجه به شکل‌های (۱) و (۲) وقتی Δx_1 ۸۰ نانومتر جابجا می‌شود طول موج تشدید فانو λ_1^{res} ۵۰ نانومتر بصورت صعودی شیفت پیدا می‌کند و میزان عبور آن ۴۰ نانومتر بصورت صعودی شیفت پیدا می‌کند اما برای λ_2^{res} و λ_3^{res} اینچنین نمی‌شود. با جابجایی کاواک‌ها در قسمت پیک‌های λ_3^{res} پهنای پیک‌ها در نصف ارتفاع کاهش می‌یابد ولی برای بقیه اینطور نمی‌شود. این نتیجه برای تنظیم اینک فیلتر در چه طول موجی عمل کند مفید است و می‌تواند جابجایی‌های نانومتری بر روی طول موج تشدید ایجاد کند.



شکل ۲: (الف) طیف عبور سیستم نوری در درگاه خروجی موجبر، (ب) وابستگی عبور و طول موج تشدید فانو به جابجایی کاواک‌ها در بخش λ_1^{res} ، (ج) وابستگی عبور و طول موج تشدید به جابجایی کاواک‌ها در بخش λ_2^{res} ، (د) وابستگی عبور و طول موج تشدید به جابجایی کاواک‌ها در بخش λ_3^{res} .

با توجه به شکل‌های (۱) و (۳) وقتی Δx_1 و Δx_2 ۸۰ نانومتر جابجا می‌شوند طول موج تشدید λ_1^{res} ۱۰۰ نانومتر و



شکل ۵: (الف) طیف عبور سیستم نوری در درگاه خروجی موجبر، (ب) وابستگی عبور و طول موج تشدید فانو به جابجایی کاواکها در بخش λ_1^{res} ، (ج) وابستگی عبور و طول موج تشدید به جابجایی کاواکها در بخش λ_2^{res} ، (د) وابستگی عبور و طول موج تشدید به جابجایی کاواکها در بخش λ_3^{res} .

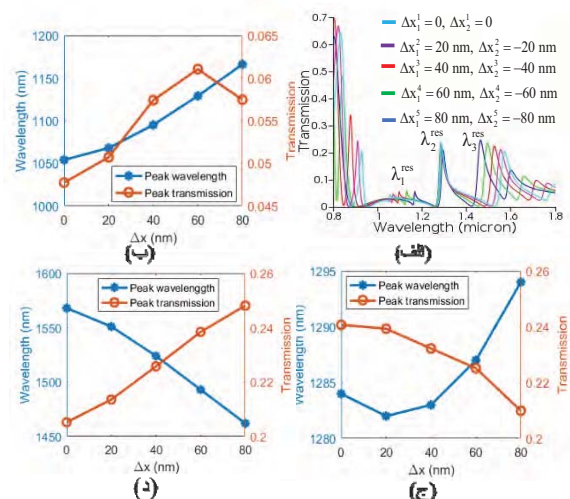
نتیجه گیری

در این پژوهش، سامانه نوری پلاسمونی پیشنهادیشیبه سازی شد و از ترکیب تشدید فانو با موجبر MIM، تغییرات طیف عبور با تغییر مکان کاواکها بررسی شد به عبارتی با جابجا کردن کاواکها از صفر تا ۸۰ نانومتر شیفت طول موج و میزان عبور امواج نوری از موجبر را بررسی کردیم و در نتیجه تاثیر کنترل نانو فیلتر پلاسمونیرا با استفاده از روش FDTD در نرم افزار لومریکالبدست آوردیم. این نانو فیلتر در پردازش سیگنالهای نوری، ارتباطات نوری و مدارهای مجتمع کاربردهای بسیاری زیادی دارد.

مرجع ها

- [۱] T.-B. Wang, X.-W. Wen, C.-P. Yin, and H.-Z. Wang, "The transmission characteristics of surface plasmon polaritons in ring resonator," *Optics express*, vol. 17, no. 26, pp. 24096-24101, 2009.
- [۲] A. Setayesh, S. R. Mirnaziry, and M. S. Abrishamian, "Numerical investigation of tunable band-pass\band-stop plasmonic filters

می شوند طول موج تشدید λ_1^{res} ، ۱۵۰ نانومتر بصورت صعودی ولی میزان عبور آن تقریباً ۱۰۰ نانومتر بصورت نزولی شیفت پیدا می کند اما برای λ_2^{res} و λ_3^{res} اینچنین نمی شود. در قسمت پیکهای λ_3^{res} پهنای پیکها در نصف ارتفاع کاهش می یابد ولی برای بقیه اینطور نمی شود. این نتیجه برای طراحی فیلتر موردنظر در طول موج مدنظر می تواند مورد استفاده قرار بگیرد.



شکل ۴: (الف) طیف عبور سیستم نوری در درگاه خروجی موجبر، (ب) وابستگی عبور و طول موج تشدید فانو به جابجایی کاواکها در بخش λ_1^{res} ، (ج) وابستگی عبور و طول موج تشدید به جابجایی کاواکها در بخش λ_2^{res} ، (د) وابستگی عبور و طول موج تشدید به جابجایی کاواکها در بخش λ_3^{res} .

- with hollow-core circular ring resonator," *Journal of the Optical Society of Korea*, vol. 15, no. 1, pp. 82-89, 2011.
- [۳] W. L. Barnes, A. Dereux, and T. W. Ebbesen, "Surface plasmon subwavelength optics," *nature*, vol. 424, no. 6950, pp. 824-830, 2003.
- [۴] T. Xu, Y.-K. Wu, X. Luo, and L. J. Guo, "Plasmonic nanoresonators for high-resolution colour filtering and spectral imaging," *Nature communications*, vol. 1, no. 1, pp. 1-5, 2010.
- [۵] Z. Chen, X. Song, G. Duan, L. Wang, and L. Yu, "Multiple Fano resonances control in MIM side-coupled cavities systems," *IEEE Photonics Journal*, vol. 7, no. 3, pp. 1-10, 2015.
- [۶] A. Farmani, A. Mir, M. Bazgir, and F. B. Zarrabi, "Highly sensitive nano-scale plasmonic biosensor utilizing Fano resonance metasurface in THz range: numerical study," *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, vol. 104, pp. 233-240, 2018.