بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

طراحی جداکننده‌ی فرکانسی پلاسمونی برای طول‌موج‌های پنجره‌ی دوم و سوم مخابراتی

ناصر هاتفی کرگان، میلاد زارع زردینی

زاهدان- دانشگاه سیستان و بلوچستان- دانشکده علوم-گروه فیزیک

چکیده - در این مقاله عبور یک موجبر پلاسمونی فلز-دی‌الکتریک-فلز حاوی شیار حلقوی مستطیلی بررسی می‌شود. وجود یک شیار باعث ایجاد نقاط کمینه و بیشینه در طیف عبور موجبر پلاسمونی می‌شود. فاصله‌ی طول‌موجی بین نقاط کمینه و بیشینه قابل تنظیم نیست و همچنین افت عبور از بیشترین مقدار به کمترین مقدار سریع نیست، ولی توالی چند شیار حلقوی باعث می‌شود که عبور در یک بازه صفر و در بازه‌ی دیگری قابل قبول باشد و همچنین افت عبور از مقدار بیشینه به مقدار کمینه سریع شود. بنابراین از این ساختارها می‌توان برای فیلتر کردن امواج الکترومغناطیسی استفاده کرد که در این مقاله با استفاده از چند شیار حلقوی مستطیلی یک جداکننده‌ی فرکانسی برای طول-موج‌های پنجره‌ی دوم و سوم مخابراتی طراحی می‌شود.

کلید واژه- جداکننده‌ی فرکانسی، فیلتر پلاسمونی، موجبر پلاسمونی

Designing a Frequency Splitter for Second and Third Telecommunication Windows

Naser Hatefi Kargan, Milad Zare Zardini

Department of Physics, Faculty of Science, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan

Abstract- In this paper the transmittance of a metal-dielectric-metal waveguide containing rectangular ring shaped grooves is investigated. The presence of one rectangular ring shaped groove in the waveguide causes the transmittance spectrum of the waveguide to have points with maximum and minimum transmittance values on the spectrum. The wavelength difference between the maximum and minimum points is not tunable, and the transition from maximum value of transmittance to minimum value is not fast. However, by using a few rectangular ring shaped grooves inside the metal-dielectric-metal waveguide it is possible to make the transmittance zero in a range of wavelengths, while having acceptable values for transmittance in another wavelength ranges, and in addition the transition from maximum value of transmittance to minimum value is fast. Therefore these structures can be used for filtering electromagnetic waves, where in this paper by using a few rectangular ring shaped grooves a frequency splitter is designed for second and third telecommunication windows.

Keywords: Frequency Splitter, Plasmonic Filter, Plasmonic Waveguide

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

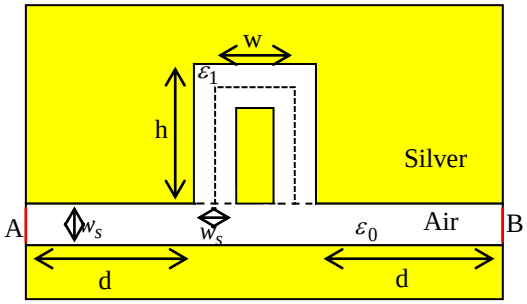
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

۱- مقدمه

پلاسمون پلاریتون‌های سطحی[۱](SPPs) امواج نوری هستند که در سطح فلز-دی‌الکتریک به دام افتاده و با نوسان الکترون‌های آزاد فلز کوپل می‌شوند. این نور در مقیاس‌های زیرطول‌موج به دام می‌افتد و حتی برخی از نانوساختارهای پلاسمونی می‌توانند نور را در ناحیه‌ی تقریبی یک نانومتر محدود کنند [۱]. موجبرهای فلز-دی‌الکتریک-فلز[۲](MIM)، یکی از ساده‌ترین انواع موجبرها هستند که در آن‌ها پلاسمون‌های سطحی با طول انتشار قابل قبول انتشار می‌یابند و هنوز هم با توجه به بهبودهایی که برای انواع موجبرهای پلاسمونی صورت گرفته است کاربردهای خود را حفظ کرده و به دلیل کاربردهای زیاد مورد توجه هستند. ساختارهای زیادی بر اساس موجبرهای MIM ساخته شده‌اند، از قبیل: موجبرهای U شکل [۲]، جداکننده‌های فرکانسی [۳،۴]، ترکیب‌کننده‌های فرکانسی Y شکل [۵]، کوپل‌کننده‌ها [۶،۷]، تداخل‌سنج‌های ماخ-زندر [۸] و سوئیچ‌های نوری پلاسمونی [۹]. در این مقاله یک ساختار برای فیلتر کردن پلاسمون پلاریتون‌های سطحی طراحی شده و سپس با توجه به خواص مشاهده شده از آن یک جداکننده فرکانسی برای طول‌موج‌های ۱۳۱۰ و ۱۵۵۰ نانومتر طراحی خواهد شد. این ساختار با ایجاد اختلاف فاز در بخشی از موج نوری منتشرشونده در موجبر MIM که به داخل شیار نفوذ می‌کند و ترکیب مجدد این موج با موج منتشرشونده در مسیر مستقیم می‌تواند بعضی از طول‌موج‌ها را از موجبر MIM عبور ندهند.

۲- مدل‌شبیه‌سازی

شکل ۱ یک موجبر پلاسمونی MIM حاوی شیار حلقوی مستطیلی را نشان می‌دهد. بخش‌های زرد رنگ، فلز نقره بوده و نواحی سفید رنگ دی‌الکتریک هستند. برای به دست‌آوردن مقدار ضریب دی‌الکتریک نقره در فرکانس‌های مختلف از برازش مقادیر تجربی که توسط جانسون و کریستی ارائه شده است استفاده شده است [۱۰]. ضریب دی‌الکتریک هوا برابر یک است و با استفاده از دی‌الکتریک‌های قابل تنظیم ثابت دی‌الکتریک در بازه وسیعی قابل تنظیم است [۱۱].



شکل ۱: موجبر MIM حاوی شیار حلقوی مستطیلی.

موج الکترومغناطیسی از سمت چپ وارد موجبر می‌شود. SPPهای برانگیخته‌شده در سطح فلز در یک مد ارتعاشی گسترش پیدا می‌کنند و هنگام عبور از ابتدای شیار حلقوی مستطیلی شکل مقداری از موج SPP برانگیخته شده به شیار نفوذ می‌کند و بقیه موج در مسیر مستقیم انتشار می‌یابد. SPPsهای عبوری از شیارها پس از عبور از حلقه در سمت دیگر شیار با موج عبوری در مسیر مستقیم تداخل پیدا می‌کنند. بدلیل اختلاف طول مسیر و همچنین یکی نبودن ماده دی‌الکتریک داخل حلقه و موجبر SPPهای عبوری از شیار با SPPهای عبوری در مسیر مستقیم اختلاف فاز پیدا می‌کنند. اگر هنگام تداخل اختلاف فاز بین دو موج مضرب زوجی از π باشد تداخل سازنده صورت می‌گیرد و موج بدون تضعیف به حرکت خود در موجبر ادامه می‌دهد اما اگر هنگام تداخل اختلاف فاز مضرب فردی از π باشد تداخل در انتهای شیار مخرب بوده و با تضعیف دامنه‌ی موج اجازه انتشار به موج الکترومغناطیسی داده نمی‌شود. وجود این رفتار باعث ایجاد شکاف در طیف عبور موجبرهای MIM حاوی شیار حلقوی مستطیلی می‌شود.

برای انجام محاسبات، با استفاده از روش تفاضل متناهی معادله‌ی موج در حوزه فرکانس برای ساختار شکل ۱ حل می‌شود. برای حل شرایط مرزی جذبی کامل در نواحی بیرونی موجبر اعمال می‌شود که موج پراکنده‌شده را جذب می‌کند. برای تحریک موج در داخل موجبر فرض شده است موج تخت TM به ورودی موجبر می‌تابد. با محاسبه نسبت توان خروجی از پورت B به توان فرودی به پورت A درصد عبور به دست می‌آید

۳- نتایج شبیه‌سازی

شکل ۲-(a) عبور موجبر شکل ۱ را برای حالت $\varepsilon_0 = 1$، $\varepsilon_1 = 1$، $d = 100\,\text{nm}$، $w = 75\,\text{nm}$ و $w_s = 50\,\text{nm}$ به

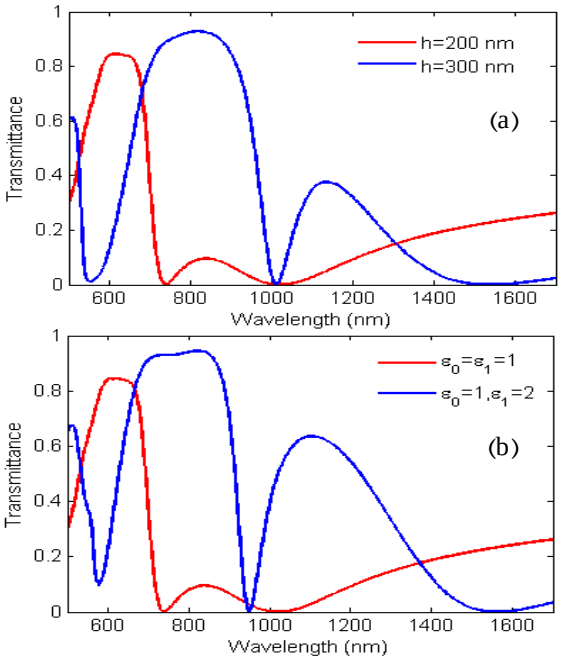
[۱] Surface Plasmon Polaritons

[۲] Metal-Insulator-Metal

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

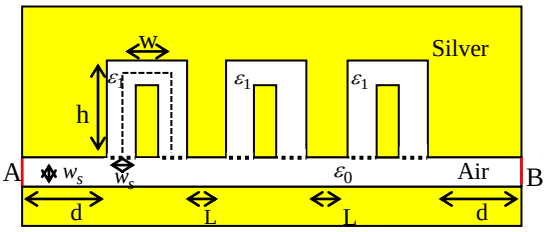
ازای hاهای مختلف و شکل ۲-(b) عبور موجبر شکل ۱ را برای حالت $d=100\,\text{nm}$، $w_s=50\,\text{nm}$ و $w=75\,\text{nm}$ به ازای ضریب دی‌الکتریک‌های مختلف داخل شیار نمایش می‌دهد.



شکل ۲: عبور موجبر شکل ۱ برای (a) ارتفاع hاهای مختلف و (b) برای جنس مختلف ماده داخل شیار.

تغییر ارتفاع h باعث تغییر اختلاف راه و در نتیجه تغییر اختلاف فاز موج رونده در داخل شیار نسبت به موج رونده در مسیر مستقیم موجبر MIM می‌شود. همچنین تغییر ماده داخل شیار باعث تغییر ضریب شکست مؤثر شیار و در نتیجه تغییر اختلاف فاز موج رونده در داخل شیار نسبت به موج رونده در مسیر مستقیم موجبر MIM می‌شود. تغییر اختلاف فاز باعث تغییر طول‌موج عبور کمینه موجبر MIM حاوی شیار حلقوی مستطیلی می‌شود. از شکل ۲ این نتیجه گرفته می‌شود که با تغییر جنس ماده داخل شیار و همچنین ارتفاع شیار می‌توان طول‌موج عبور کمینه را تغییر داد. در ادامه به بررسی اثر وجود چند شیار حلقوی مستطیلی در یک موجبر MIM پرداخته می‌شود. شکل ۳ یک موجبر MIM حاوی سه شیار حلقوی مستطیلی شکل با ابعاد و جنس یکسان را نشان می‌دهد (عرض ناحیه‌ی دی‌الکتریک در همه‌جا یکسان است).

عبور موجبر شکل ۱ برای حالت $\varepsilon_1=3.2$، $\varepsilon_0=1$، $d=100\,\text{nm}$، $w=75\,\text{nm}$، $h=200\,\text{nm}$ و $w_s=50\,\text{nm}$ و موجبر شکل ۳ برای حالت $\varepsilon_1=3.2$، $\varepsilon_0=1$، $d=100\,\text{nm}$، $w=50\,\text{nm}$، $h=200\,\text{nm}$، $w_s=50\,\text{nm}$ و $L=126\,\text{nm}$ (موجبر حالت اول) محاسبه شده و در شکل ۴-(a) نشان داده شده است. ابعاد و همچنین جنس شیار شکل ۱ با شیارهای شکل ۳ برابر است. تنها تفاوت شکل ۱ و ۳ در تعداد شیارها است.

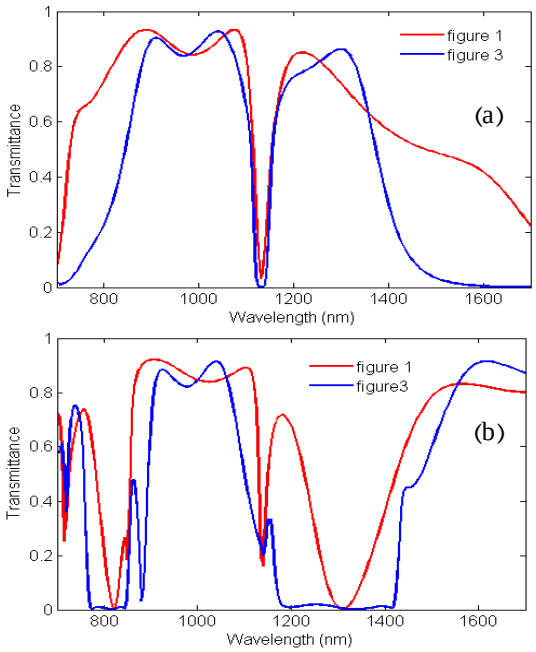


شکل ۳: موجبر MIM حاوی سه شیار حلقوی مستطیلی. ابعاد و جنس شیارهای سه‌گانه برابر است.

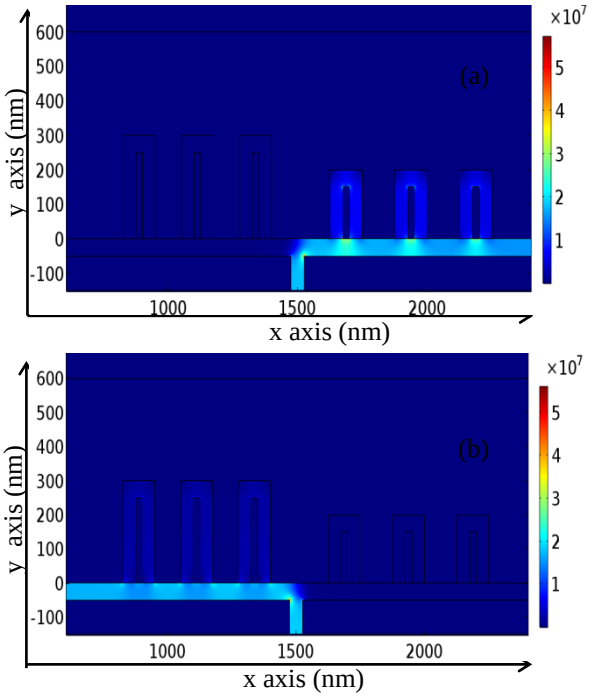
با توجه به وجود بازتاب در بخش‌های مختلف شکل ۳ عبور کل موجبر به ابعاد این فواصل بستگی خواهد داشت. در طول‌موج‌هایی که عبور موجبر شکل ۱ با یک حلقه‌ی تکی صفر است انتظار می‌رود عبور کل موجبر شکل ۳ که شامل سه حلقه با ابعاد و جنس یکسان است در کنار طول‌موجی که در آن عبور یک حلقه‌ی تکی صفر می‌شود در یک بازه صفر شود. هرچند در این حالت یعنی وجود چند حلقه‌ی مستطیلی به دلیل وجود بازتاب در بخش‌های مختلف آن، عبور این موجبر در طول‌موج‌هایی که عبور صفر نیست به‌شدت به ابعاد حلقه‌ی مستطیلی وابسته است. برای موجبر حالت اول پارامترهای جنس و ابعاد طوری محاسبه شده‌اند که برای موجبر حالت اول عبور برای طول‌موج ۱۳۱۰ نانومتر درحدود ۸۰٪ و در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر صفر باشد. همچنین عبور موجبر شکل ۱ برای حالت $h=300\,\text{nm}$، $\varepsilon_0=1$، $\varepsilon_1=5.7$، $d=100\,\text{nm}$، $w=50\,\text{nm}$ و $w_s=50\,\text{nm}$ و موجبر شکل ۳ برای حالت $\varepsilon_1=5.7$، $\varepsilon_0=1$، $d=100\,\text{nm}$، $w=50\,\text{nm}$، $h=300\,\text{nm}$، $w_s=50\,\text{nm}$ و $L=39\,\text{nm}$ (موجبر حالت دوم) که جنس و ابعاد شیارها باهم برابر است محاسبه شده است که در شکل ۴-(b) نشان داده شده است. در این حالت نیز در یک بازه در کنار طول‌موجی که در آن عبور یک حلقه‌ی تکی صفر می‌شود عبور کل موجبر حاوی چند حلقه صفر می‌شود. برای موجبر حالت دوم پارامترها طوری محاسبه شده‌اند که عبور برای طول‌موج ۱۳۱۰ نانومتر درحدود صفر و در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر بیش از ۸۰ ٪ باشد.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]



شکل ۴: عبور موجبر شکل‌های ۱ و ۳ به ازای (a) حالت $\varepsilon_1 = 3.2$ ، $h = 200\,\text{nm}$ و (b) حالت $h = 300\,\text{nm}$ ، $\varepsilon_1 = 5.7$.



شکل۵: چگالی انرژی منتشر شده برای جداکننده‌ی فرکانسی طراحی شده برای حالتی که طول موج نور منتشر شونده (a) ۱۳۱۰ نانومتر و (b) ۱۵۵۰ نانومتر است.

از شکل ۴ این نتیجه حاصل می‌شود که چنانچه موجبر حالت اول در سمت راست و موجبر حالت دوم در سمت چپ یک موجبر T شکل قرار داده شود ساختار ارائه شده با توجه به اینکه که موجبر حالت اول (دوم) نور با طول‌موج ۱۳۱۰ نانومتر (۱۵۵۰ نانومتر) را عبور می‌دهد و نور با طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر (۱۳۱۰ نانومتر) را عبور نمی‌دهد، قادر خواهد بود موج نوری با دو طول‌موج ۱۳۱۰ و ۱۵۵۰ نانومتر را در دو طرف مختلف هدایت کند. شکل ۵ نتایج حاصل از شبیه-سازی جداکننده‌ی فرکانسی را نمایش می‌دهد. موج نوری از پایین وارد جداکننده می‌شود چنانچه طول‌موج نور ۱۳۱۰ نانومتر باشد با عبور ۷۵٪ به سمت راست و اگر طول‌موج نور ۱۵۵۰ نانومتر باشد با عبور ۸۲/۳٪ به سمت چپ هدایت می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

وجود شیار حلقوی مستطیلی در موجبرهای MIM باعث ایجاد کمینه‌ها و بیشینه‌ها در طیف عبور این موجبرها می-شود که مکان آن‌ها به طول شیار و جنس ماده دی‌الکتریک داخل شیار وابسته است. توالی چند شیار باعث ایجاد یک گستره‌ی عبور صفر در طیف عبور این موجبرها می‌شود که کاربردهای زیادی از جمله طراحی جداکننده‌ی فرکانسی دارد که در این مقاله یک جداکننده فرکانسی برای پنجره‌ی دوم و سوم مخابراتی طراحی شده که قادر است امواج نوری با طول موج‌های ۱۳۱۰ و ۱۵۵۰ نانومتر را در دو طرف مختلف با عبوری بیش از ۷۵٪ هدایت کند.

مراجع

[1] S.A. Maier, Plasmonic:Fundamentals and Applications, Springer, USA, 2007.
[2] T.W. Lee, S.K. Gray, “Subwavelength light bending by metal slit structures”, Opt. Express, Vol. 13, pp. 9652-9659, 2005.
[3] H. Zhao, X. Guang, J. Huang, “Novel optical directional coupler based on surface plasmon polaritons”, Physica E, Vol. 40, pp. 3025-3029, 2008.
[4] Y. Fu, K. Li, F. Kong, “Enhanced optical transmission through a silver plate with a slit array”, Optik, Vol. 121, pp. 259-262, 2010.
[5] H. Gao, H. Shi, C. Wang, C. Du, X. Luo, Q. Deng, , Y. Lv, X. Lin, H. Yao, “Surface plasmon polariton propagation and combination in Y-shaped metallic channels”, Opt. Express, Vol. 13, pp.10795-10800, 2005.
[6] Q. Zhang, X.G. Huang, X.S Lin, J. Tao, X.P. Jin, A subwavelength coupler-type MIM optical filter, Opt. Express, Vol. 17, pp. 7549-7554, 2009.
[7] R.A. Wahsheh, Z. Lu, M.A.G. Abushagur, “Nanoplasmonic couplers and splitters”, Opt. Express, Vol. 17, pp. 19033-19040, 2009.
[8] Z. Han, L. Liu, E. Forsberg, “Ultra-compact directional couplers and Mach-Zehnder interferometers employing surface plasmon polaritons”, Opt. Commun., Vol. 259, pp. 690-695, 2006.
[9] C. Min, G. Veronis, “Absorption switches in metal-dielectric-metal plasmonic waveguides”, Opt. Express, Vol. 17, pp. 10757-10766, 2009.
[10] P.B. Johnson, R.W. Christy, “Optical constants of the noble metals”, Phys. Rev. B, Vol. 6, pp. 4370-4379, 1972.
[11] L.B. Konga, S. Lib, T.S. Zhangb, J.W. Zhaic, F.Y.C. Boeyd, J. Mad, “Electrically tunable dielectric materials and strategies to improve their performances”, Prog. Mater. Sci., Vol. 55, pp. 840-893, 2010.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]