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

شبیه‌سازی یک تقسیم‌کننده‌ی توان پلاسمونیک با سه بخش گوه‌ای‌شکل عایق روی فلز

محسن صالحی و نصرتا... گرانپایه

دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی برق، تهران، ایران.

granpayeh@kntu.ac.ir ms.salehi@mail.kntu.ac.ir

چکیده – در این مقاله یک تقسیم‌کننده‌ی توان پلاسمونیک جدید با نوارهای عایق روی یک صفحه‌ی فلزی پیشنهاد و شبیه‌سازی شده است. موج در فرکانس نوری در موجبر نواری سیلیکون-پلاسمونیک ورودی وارد یک بخش باریک‌شونده‌ی گوه‌ای‌شکل شده و با تزویج به دو بخش گوه‌ای‌شکل مجاور خود که سر آنها در جهت مخالف قرار گرفته، با تلف قابل قبولی به دو موجبر خروجی تقسیم‌کننده می‌رود. این افزاره به علت استفاده از بخش‌های گوه‌ای‌شکل، پهنای باند بالایی دارد. استفاده از سطح مشترک عایق-فلز و در نتیجه انتشار موج در مد پلاسمونیک باعث کوچکترشدن اندازه‌ی افزاره نسبت به تقسیم‌کننده‌ی توان غیرپلاسمونیک با طراحی مشابه شده است. نوارهای خروجی می‌توانند از جنس سیلیکون یا یک ماده‌ی عایق با ضریب شکست متفاوت مثلاً پلیمر باشند. در این‌صورت چنین تقسیم‌کننده‌ای می‌تواند در اتصال سایر افزاره‌های پلاسمونیک به یکدیگر مانند اتصال موجبر سیلیکونی به یک مدولاتور ماخ-زندر شامل دو مدولاتور فاز پلاسمونیک پلیمری به‌کار برده شود.

کلید واژه- افزاره‌ی پلاسمونیک، تقسیم‌کننده‌ی توان، موجبر سیلیکونی.

Simulation of a Plasmonic Power Splitter with Three Taper Dielectric on Metal Sections

Mohsen Salehi and Nosrat Granpayeh

K.N. Toosi University of Technology, Faculty of Electrical Engineering, Tehran, Iran.

Abstract- In this paper, a new plasmonic power splitter with dielectric stripes on a metal surface is proposed and simulated. Wave at optical frequency in input silicon-plasmonic stripe waveguide enters a taper section, couples to two adjacent tapers with their tips in opposite direction and goes to output waveguides of the splitter with acceptable loss. This device is broadband due to implementation of taper sections. Using the silicon-metal interface and therefore excitation of the plasmonic mode has resulted in smaller size of the device comparing to a non-plasmonic power splitter with a similar design. Output stripes could be out of silicon or another dielectric material with different refractive index. In this way such a power divider could be useful in connecting other plasmonic devices such as a silicon waveguide to a Mach-Zehnder modulator, consisting of two phase polymer plasmonic modulators.

Keywords: Power Splitter, Plasmonic Device, Silicon Waveguide.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

شبیه‌سازی یک تقسیم‌کننده‌ی توان پلاسمونیک با سه بخش گوه‌ای‌شکل عایق روی فلز

ms.salehi@mail.kntu.ac.ir granpayeh@kntu.ac.ir

۱- مقدمه

تقسیم‌کننده‌ی توان نوری یک افزاره‌ی مهم در اتصال بخش‌های مختلف در یک مدار نوری است. در طراحی یک تقسیم‌کننده‌ی توان نوری رسیدن به پهنای باند مناسب، تلف کم و اندازه‌ی کوچک مطلوب است. تقسیم‌کننده‌های توان نوری با روش‌های مختلفی مانند تداخل چند مد [۱-۳]، اتصال Y-شکل [۴ و ۵]، تزویج بین موجبرهای شکافی [۶ و ۷]، تزویج بین موجبرهای گوه‌ای‌شکل [۸ و ۹] و استفاده از تشدیدگرهای مستطیلی‌شکل [۱۰] طراحی شده‌اند.

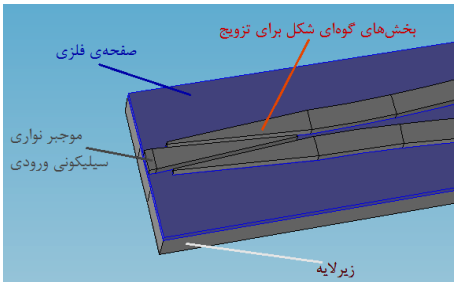
برخی از این تقسیم‌کننده‌ها پلاسمونیک [۳، ۵، ۶، ۷ و ۱۰] و برخی دیگر بر اساس موجبرهای سیلیکون-روی-عایق [۱، ۲، ۴، ۸ و ۹] طراحی شده‌اند. در این میان افزاره‌های پلاسمونیک اندازه‌ی کوچکتر و تمرکز شدیدتر میدان را نسبت به افزاره‌های غیرپلاسمونیک دارند [۳، ۵، ۶، ۷ و ۱۰]. همچنین افزاره‌هایی که بر مبنای تداخل چند مد یا تشدیدگرها کار می‌کنند به خاطر طراحی در یک طول‌موج خاص، پهن‌باند نیستند [۱-۳].

یک راه مناسب برای طراحی تقسیم‌کننده‌ی توان استفاده از یک ساختار موجبری پلاسمونیک با دو عایق متشکل از یک لایه‌ی SiO_2 فشرده شده بین یک لایه‌ی سیلیکونی و یک صفحه‌ی نقره است [۵]. از سویی دیگر یک روش اخیراً ارائه شده‌ی غیر پلاسمونیک ولی مناسب برای تقسیم توان نوری با پهنای باند بالا و تلف بسیار کم، استفاده از موجبرهای سیلیکونی باریک‌شونده بر روی یک زیرلایه‌ی عایق است [۹].

در این مقاله روش موجبر پلاسمونیک بر روی صفحه‌ی نقره [۵] ساده‌سازی و با روش موجبرهای سیلیکونی باریک‌شونده بر روی زیرلایه‌ی عایق [۹] ترکیب شده و یک ساختار جدید تقسیم‌کننده‌ی توان نوری ارائه و به صورت سه‌بعدی شبیه‌سازی شده است. مقصود از ساده‌سازی، حذف نوار SiO_2 و استفاده از یک نوار سیلیکونی به تنهایی روی صفحه‌ی فلزی است. نوارهای خروجی می‌توانند سیلیکونی یا از جنس یک ماده با ضریب شکست متفاوت باشند. نشان داده شده است که این تقسیم‌کننده با اندازه‌ای کوچک موج را با تلفی کم و در پهنای باندی مناسب در مد پلاسمونیک تقسیم می‌کند.

۲- ساختار تقسیم‌کننده‌ی توان سیلیکون-پلاسمونیک

مطابق شکل ۱ این تقسیم‌کننده‌ی توان از یک موجبر نواری سیلیکونی باریک‌شونده در سمت چپ و دو موجبر با بخش گوه‌ای شکل مشابه در دو طرف آن برای تزویج نور و انتقال آن به سمت راست تشکیل شده است. نوارهای سیلیکونی روی یک صفحه‌ی فلزی به ضخامت ۱۰۰ نانومتر و صفحه‌ی فلزی روی یک زیرلایه‌ی SiO_2 قرار دارد.



شکل ۱- ساختار تقسیم‌کننده‌ی توان پلاسمونیک با ۳ بخش گوه‌ای‌شکل

قسمت نوک‌تیز در هر سه بخش گوه‌ای شکل به علت محدودیت‌های ساخت نه به صورت کاملاً نوک‌تیز، بلکه با یک عرض ۳۰ نانومتری و همچنین فاصله‌ی بین بخش‌های باریک‌شونده تا کمترین مقدار عملی ۵۰ نانومتر درنظر گرفته شده است [۹].

موج در این ساختار همواره در مد پلاسمونیک است. شبیه‌سازی این ساختار به صورت سه‌بعدی و با روش المان محدود و بر اساس مد غالب منتشرشده در ساختار انجام شده است.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

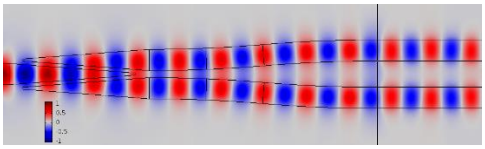
۳- نتایج شبیه‌سازی و بحث

در این بخش نتایج توزیع میدان در تقسیم‌کننده‌ی توان و نیز اتلاف افزاره ارائه و بحث می‌شود. ازآنجاکه مد اصلی انتشاری در سطح مشترک عایق-فلز TM است، به ترسیم میدان الکتریکی عرضی (عمود بر سطح مشترک) بسنده شده است.

۳-۱- تقسیم‌کننده با نوارهای ورودی و خروجی سیلیکونی

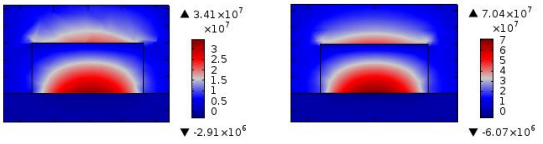
در حالت اول، هم نوار ورودی و هم نوارهای خروجی سیلیکونی فرض شده‌اند. ضریب شکست سیلیکون برابر $n_{Si}=3.48$ است. با استفاده از پیمایش پارامترهای هندسی افزاره برای داشتن کمترین اتلاف، مقدار عرض نوار سیلیکونی ۳۱۰ نانومتر، ضخامت آن ۱۵۵ نانومتر و طول قسمت گوه‌ای‌شکل ۲۰۵۰ نانومتر حاصل شده است. طول کل قطعه کمتر از ۶ میکرومتر است.

در شکل ۲ توزیع میدان الکتریکی عرضی از نمای بالای تقسیم‌کننده مشاهده می‌شود. ملاحظه می‌شود که موج از سمت چپ پس از ورود به بخش باریک‌شونده‌ی گوه‌ای‌شکل، میدان خود را به تدریج به دو بخش گوه‌ای‌شکل مجاور تزویج می‌کند.



شکل ۲- نمای بالای توزیع میدان الکتریکی عرضی.

شکل ۳ توزیع میدان الکتریکی عرضی را در سطح مقطع عرضی در موجبر نواری ورودی (الف) و در یکی از موجبرهای نواری خروجی (ب) نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که بخش اصلی میدان به سطح مشترک سیلیکون-فلز تزویج شده است که آن را برای کاربرد احتمالی در یک افزاره‌ی فعال با اندازه‌ی کوچک مناسب می‌سازد. همچنین شکل میدان پس از تقسیم حفظ شده است. مقدار $S_{21}=-5.5dB$ در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر در این تقسیم‌کننده حاصل شده است.

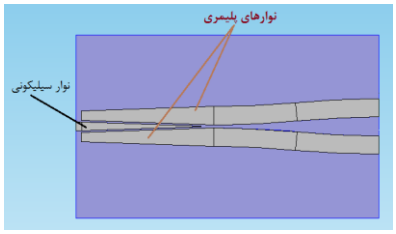


(ب) (الف)

شکل ۳- توزیع میدان الکتریکی عرضی در سطح مقطع عرضی در موجبر نواری ورودی (الف) و خروجی (ب).

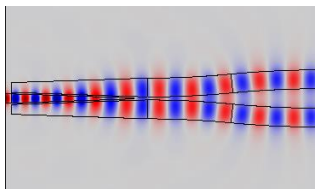
۳-۲- تقسیم‌کننده با نوار ورودی سیلیکونی و نوار خروجی پلیمری

در حالت دوم، نوارهای خروجی از جنس پلیمر فرض می‌شوند. یک ماده‌ی مناسب برای کاربرد در افزاره‌های فعالی مانند مدولاتور فاز پلاسمونیک، پلیمر با ضریب شکست $n_{Pol}=1.68$ است. برای تزویج موج به نوارهای پلیمری در بخش‌های گوه‌ای‌شکل و هدایت صحیح موج در آنها لازم است ابعاد بخش‌های پلیمری در مقایسه با حالت سیلیکونی در ضریب n_{Si}/n_{Pol} ضرب شوند. شکل ۴ بزرگتر شدن ابعاد نوارهای پلیمری را نشان می‌دهد.



شکل ۴- تقسیم‌کننده با نوار ورودی سیلیکونی و نوارهای خروجی پلیمری

شکل ۵ توزیع میدان الکتریکی عرضی تقسیم‌کننده با نوارهای خروجی پلیمری را نشان می‌دهد. بدین ترتیب تزویج موج مشابه شکل ۲ در حالت اول انجام شده است.

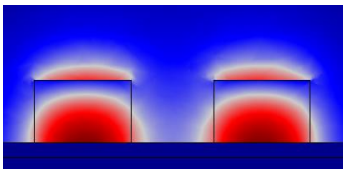


شکل ۵- توزیع میدان الکتریکی عرضی از نمای بالای تقسیم‌کننده با نوارهای خروجی پلیمری

شکل ۶ نیز توزیع میدان الکتریکی در سطح مقطع عرضی نوارهای پلیمری پس از ناحیه‌ی تزویج را نشان می‌دهد.

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

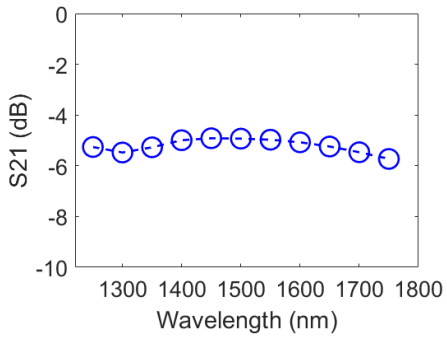
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]



شکل ۶- توزیع میدان الکتریکی در سطح مقطع عرضی نوارهای پلیمری

شکل ۷ طیف S_{21} تقسیم‌کننده با نوارهای خروجی پلیمری را نشان می‌دهد. مقدار $S_{21}=-5dB$ در این حالت حاصل شده است. این بهبود می‌تواند بدین علت باشد که فاصله‌ی ۵۰ نانومتری بین بخش‌های گوه‌ای‌شکل نسبت به طول‌موج موثر در نوار پلیمری، مقداری کمتر در مقایسه با حالت اول دارد و بنابراین تزویج نور به نوارهای خروجی بیشتر می‌شود.

برای تقسیم توان به تعداد زوج می‌توان چند تقسیم کننده مشابه را به صورت آبشاری پشت سرهم قرارداد. با استفاده از گرافین به جای فلز ساختار می‌توان تلفات آن را کاهش داده و ضمنا با بایاس گرافین نسبت خروجی‌های افزاره را قابل تنظیم نمود.



شکل ۷- طیف S_{21} تقسیم‌کننده با نوارهای خروجی پلیمری

۴- نتیجه‌گیری

یک تقسیم‌کننده‌ی توان پلاسمونیک جدید با موجبرهای نواری عایق باریک‌شونده‌ی گوه‌ای‌شکل روی سطح فلز بررسی شد. این تقسیم‌کننده موج ۱۵۵۰ نانومتر را با $S_{21}=-5.5dB$ با نوارهای سیلیکونی خروجی و $S_{21}=-5dB$ با نوارهای پلیمری خروجی تقسیم می‌کند. این افزاره با اندازه‌ی کوچک و تلف کم در پهنای باند زیاد، مناسب برای اتصال افزاره‌های پلاسمونیک مانند اتصال موجبر سیلیکونی به یک مدولاتور پلاسمونیک پلیمری ماخ-زندر است. برای تقسیم توان خروجی به بیش از دو قسمت، می‌توان چند تقسیم کننده‌ی مشابه را به صورت آبشاری پشت سرهم قرارداد.

مراجع

[1] C. Pan and B. M. A. Rahman, "Compact Polarization-Independent MMI-Based 1× 2 Power Splitter Using Metal-Cap Silicon-on-Insulator Waveguide," IEEE Photon. J., Vol. 8, No. 3, pp. 7101014 (1-15), 2016.

[2] Y. Xu and j. Xiao, "An Ultracompact Polarization-Insensitive Silicon-Based Strip-to-Slot Power Splitter," IEEE Photonic Technol. Lett., Vol. 28, No. 4, pp. 536-539, 2016.

[3] Y. Song, J. Wang, M. Yan, and M. Qiu, "Efficient coupling between dielectric and hybrid plasmonic waveguides by multimode interference power splitter," J. Opt., Vol. 13, No. 7, pp. 075002 (1-8), 2011.

[4] S. H. Tao, Q. Fang, J. F. Song, M. B. Yu, G. Q. Lo, and D. L. Kwong, "Cascade wide-angle Y-junction 1×16 optical power splitter based on silicon wire waveguides on silicon-on-insulator," Opt. Express, Vol. 16, No. 26, pp. 21456-21461, 2008.

[5] H. S. Chu, P. Bai, E. P. Li, and W. R. J. 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] N. Nozhat and N. Granpayeh, "Analysis of the plasmonic power splitter and MUX/DEMUX suitable for photonic integrated circuits," Opt. Commun., Vol. 284, No. 13, pp. 3449-3455, 2011.

[7] A. A. Reiserer, J. S. Huang, B. Hecht, and T. Brixner, "Subwavelength broadband splitters and switches for femtosecond plasmonic signals," Opt. Express, Vol. 18. No. 11, pp. 11810-11820, 2010.

[8] X. Li, H. Xu, X. Xiao, Z. Li, J. Yu, and Y. Yu, "Compact and low-loss silicon power splitter based on inverse tapers," Opt. Lett., Vol. 38, No. 20, pp. 4220-4223, 2013.

[9] Y. Wang, S. Gao, K. Wang, and E. Skafidas, "Ultra-broadband and low-loss 3 dB optical power splitter based on adiabatic tapered silicon waveguides," Opt. Lett., Vol. 41, No. 9, pp. 2053-2056, 2016.

[10] Y. Chang and C. H. Chen, "Design of a Broadband Plasmonic Unequal-Power Splitter with a Rectangular Ring Resonator," Plasmonics, Vol. 10, No. 3, pp 739–743, 2015.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]