بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷

طراحی و شبیه سازی تزویج‌گر جهت‌دار خمیده 3dB با پهنای باند زیاد مبتنی بر موجبرهای پلاسمونیکی

مهسا بابایی و عباس ظریفکار

شیراز، دانشگاه شیراز، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، بخش مخابرات و الکترونیک

zarifkar@shirazu.ac.ir m.babaei@shirazu.ac.ir

چکیده – در این مقاله، یک تزویج‌گر جهت‌دار خمیده با پهنای باند زیاد و مبتنی بر موجبرهای هایبرید پلاسمونیک ارایه شده است. ساختار این تزویج‌گر از موجبرهای خمیده و مستقیم پلاسمونیکی تشکیل شده است که سبب عدم وابستگی توان خروجی تزویج‌گر به طول موج و بهبود پهنای باند می‌شود. تزویج‌گر جهت دار طراحی شده با ابعاد 20 μm ×3 μm ، **دارای نرخ تقسیم تـوان** 3dB±1 **و پهنای باند حدود** 500nm **در طول موج مرکزی** 1600nm **می‌باشد که نشان دهنده بهبود قابل توجه پهنای باند تزویج‌گر نسـبت بـه تزویج‌گرهای مشابه پیشین است.**

کلید واژه- ساختار خمیده ، تزویج‌گر پهن باند، تزویج‌گر جهت‌دار، مقسم توان 3 دسی بل، موجبر هایبرید پلاسمونیک

Design and Simulation of a Broadband 3dB Curved Directional Coupler based on Plasmonic Waveguides

Mahsa Babaei and Abbas Zarifkar

zarifkar@shirazu.ac.ir m.babaei@shirazu.ac.ir

Abstract- In this paper, a broadband curved directional coupler based on plasmonic waveguides is presented. The proposed coupler consists of a combination of curved and straight coupled plasmonic waveguides which results in a wavelength-independent directional coupler with an improved bandwidth. The designed coupler with dimension of 20 μm ×3 μm shows a splitting ratio of 3 dB± 1 dB and a bandwidth about 500nm at the central wavelength of 1600 nm which denotes considerable improvement of the bandwidth compared to previously reported coupler structures.

Keywords:Broadband Coupler,Directional Coupler, Curved Structure,3dB Power Splitter,Hybrid Plasmonic Waveguide

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

1 مقدمه

تزویج‌گرهای نوری به عنوان ادواتی ضروری در سیستم-های مخابرات نوری محسوب می‌شوند. وظیفه یک تزویج-گر نوری، ترکیب یا جداسازی نور در این سیستم‌ها است. در مدارهای مجتمع فوتونیکی، تزویج‌گرهایی با ابعاد کوچک و عدم وابسته به طول موج، بسیار مطلوب بوده و به طور معمول در تداخل‌گرهای ماخ زندری (MZI) و برای ساخت ادواتی از قبیل سوییچ‌های نوری، تسهیم ساز بر اساس طول موج[1] (WDM) و فیلترها به کار می‌روند [1,2].

در ساختارهای ماخ زندر، مقسم‌های توان مهم‌ترین بخش-های ساختار بوده و تعیین کننده پهنای باند، نسبت تمایز[2] (ER) و هم‌شنوایی[3] می‌باشند و لذا با طراحی مناسب مقسم‌های توان، می توان به ادواتی با کارایی بالا دست یافت [3].

ساختارهای ممکن برای مقسم توان 2×2 می‌توانند تداخل‌گر چند موده[4] (MMI) [3,4]، تزویج‌گرهای آدیاباتیک[4,5]، تزویج‌گرهای پریودیک زیرطول‌موجی[5] (SWG) [4] و تزویج‌گرهای جهت دار[6] (DC) باشند [5].

در بین ساختارهای فوق، DCها به دلیل تلفات کم، مورد توجه بیشتری قرار گرفته‌اند اما به واسطه پاشندگی موجبر نوری، حساسیت زیادی به طول موج دارند[5] که به نوبه خود باعث محدودیت در پهنای باند آن‌ها می‌شود [2]. به منظور کاهش وابستگی نرخ تزویج به طول‌موج در بخش مقسم‌توان، می‌توان موجبرهای تزویج‌گرجهت‌دار را به صورت نامتقارن طراحی کرد [6]. از سوی دیگر در موجبرهای هایبرید پلاسمونیکی در مقایسه با موجبرهای SOI[7]، امواج نوری می‌توانند در مقیاس‌های زیر طول موج محدود شوند که این به نوبه خود سبب افزایش پهنای باند می‌شود [7-9].

در سال 2016، چن[8] و همکاران سوییچ نوری ماخ زندری مبتنی بر SOI و با تزویج‌گرهای خمیده طراحی کردند که دارای پهنای باند 140nm و تلفات کمتر از 1dB بود. با این حال، در این طراحی به دلیل فاصله کم بین دو موجبر، فرایند ساخت با مشکل رو به رو است و از طرفی با زیاد شدن این فاصله، طول تزویج و در نتیجه ابعاد کلی ساختار زیاد می‌شود [5].

در سال 2017، چن[9] و همکاران یک تزویج‌گر SOI با بخش‌های خمیده و مستقیم را طراحی کردند که با در نظر گرفتن این بخش مستقیم در ساختار تزویج‌گر موفق شدند یک پارامتر تنظیم پذیر برای بهبود مشخصات به ساختار اضافه نمایند. در ساختار پیشنهادی، پهنای باند 88nm حاصل شده است [4].

در سال 2017، جانجان و همکاران با بهینه سازی ابعاد، یک تزویج‌گر جهت‌دار پهن باند مبتنی بر ساختار هایبرید پلاسمونیک را ارایه دادند و با استفاده از ان در ساختار سوییچ ماخ زندری به پهنای باند 250nm دست یافتند[9].

در این مقاله با استفاده همزمان از ساختارهای خمیده و هایبرید پلاسمونیک (به صورت سیلیکون-پلیمر-فلز)، تزویج‌گری با پهنای باند بهبود یافته نسبت به ساختارهای پیشین ارایه شده است.

[1] Wavelength division multiplexing
[2] extinction ratio
[3] Cross talk
[4] Multi-mode interferometer
[5] Sub-Wavelength-Grating
[6] Directional coupler

[7] Silicon on Insulator
[8] S. Chen
[9] F. R. Chen

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

2 تزویج‌گر جهت‌دار خمیده مبتنی بر موجبرهای هایبرید پلاسمونیک

2.1 هندسه ساختار:

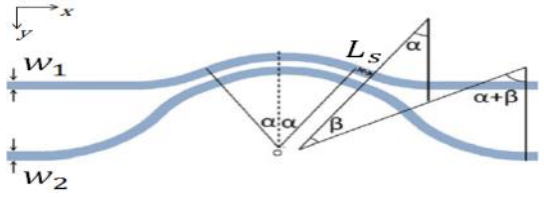
مطابق شکل 1-الف، تزویج‌گر جهت‌دار پیشنهادی شامل ناحیه تزویج با فاصله g بین دو موجبر است که از دو بخش مستقیم و خمیده تشکیل شده است. بخش‌های ورودی و خروجی تزویج‌گر که در آن‌ها موجبرها به هم نزدیک و از هم دور می‌شوند متقارن هستند. شکل 1-ب سطح مقطع ساختار در قسمت میانی تزویج‌گر را نشان می‌دهد. پارامترهای ساختاری اصلی این تزویج‌گر عبارتند از: شعاع موجبر خارجی (R_1)، شعاع موجبر داخلی (R_2)، عرض موجبر(W)، طول قسمت خمیده(L_c) و طول قسمت مستقیم (L_s). طول قسمت خمیده از رابطه زیر به دست می‌آید [4]:

$$L_c = 2\alpha.R_c \quad (1)$$

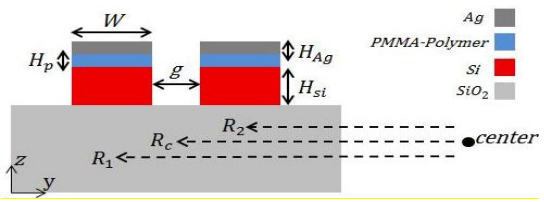
که در آن R_c فاصله مرکز o تا وسط gap بین دو موجبر بوده و از رابطه زیر به دست می‌آید [4]:

$$R_C = R_1 - (w_1 + g)/2 = R_2 + (w_2 + g)/2 \quad (2)$$

مطابق شکل 1-الف، α و β زوایای بخش‌های خمیدگی ساختار می‌باشند.



(الف)



(ب)

شکل 1: ساختار هندسی: الف) نمای بالا از تزویج‌گر جهت‌دار خمیده. W عرض موجبر، L_c طول بخش خمیده، L_s طول بخش مستقیم، α و β زوایای بخش‌های خمیده [4]. ب) سطح مقطع در بخش میانی تزویج‌گر. R_1 شعاع موجبرخارجی، R_2 شعاع موجبر داخلی، H_{si} ضخامت سیلیکون، H_p ضخامت‌پلیمر، H_{Ag} ضخامت نقره

2.2 شبیه سازی و نتایج:

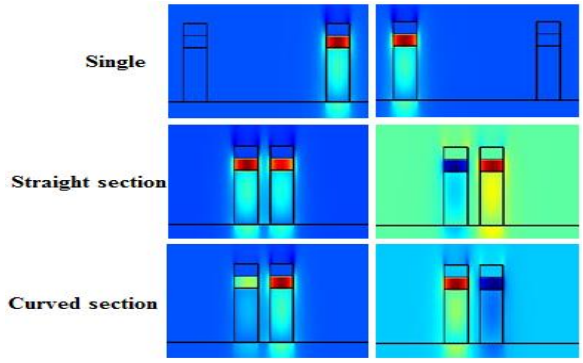
ابعاد ساختار به صورت، $w_1=w_2$=400nm، g=200nm، R_c=26μm، L_s=1.8μm، L_c=8.1μm و α=β در نظر گرفته می‌شود [4]. در ساختار هایبرید پلاسمونیکی پیشنهادی، یک لایه سیلیکون به ضخامت 220nm روی زیرلایه ای از جنس SiO_2 لایه نشانی شده است. ماده پلیمری PMMA[10] با ضریب شکست n=1.6، ثابت پاکلز r_{33}=200 pm/V و ضخامت 50nm بین سیلیکون و لایه فلزی از جنس نقره با ضخامت 50nm، استفاده شده است.

در طول مشخص L_{3dB}، نیمی از توان نور از یک موجبر به موجبر دیگر تزویج می‌شود[9]:

$$L_{3dB} = \lambda / 4(n_s - n_a) \quad (3)$$

n_s و n_a به ترتیب ضریب شکست موثر برای مود متقارن و نامتقارن تزویج‌گر است.

پروفایل میدان برای مودهای TM اول و دوم در نقاط مختلف در طول تزویج‌گر در شکل 2 نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود، در بخش‌های خمیده و مستقیم که جزیی از ناحیه تزویج محسوب می‌شوند، مود اساسی به دو مود متقارن و نامتقارن تقسیم می‌شود.

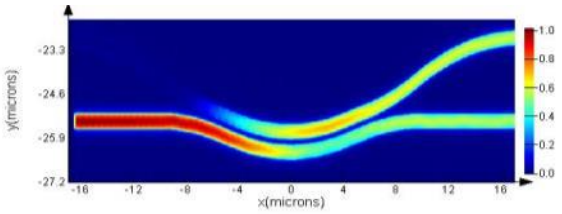


شکل 2: مود اول و دوم TM در طول موج 1600nm و در نقاط مختلف تزویج‌گر

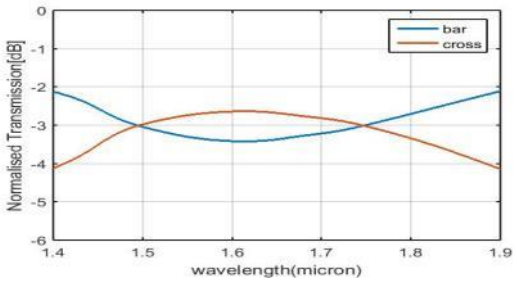
[10] polymethylmethacrylate

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

با شبیه سازی ساختار تزویج‌گر به روش 3D-FDTD[11]، پروفایل میدان در طول موج 1600nm در شکل 3 نشان داده شده است. شکل 4 طیف توان خروجی در پورت‌های bar و cross را در بازه طول موجی 1400-1900 nm نشان می‌دهد. مطابق شکل، توان خروجی وابستگی کمی به طول موج دارد به طوری که پهنای باند 3dB±1 حدود 500nm است. این مقدار پهنای باند به طور قابل ملاحظه‌ای از مقادیر گزارش شده در تحقیقات پیشین بزرگ‌تر است که به ویژگی نامتقارن و پلاسمونیکی بودن ساختار پیشنهادی برمی‌گردد.



شکل3: پروفایل میدان در تزویج‌گر 3dB در طول موج 1600nm



شکل4: طیف توان خروجی تزویج‌گر 3dB

در جدول ۱ مقایسه بین نتیجه به دست آمده در این کار با چندین تحقیق پیشین ارایه شده است. چنان که دیده می‌شود پهنای باند به طور قابل توجهی بهبود یافته است.

جدول۱. مقایسه نتایج با تحقیقات پیشین

Type	3dB ±1dB Bandwidth
Ref. [1]	75 nm
Ref. [2]	100 nm
Ref. [3]	85 nm
Ref. [4]	88 nm
Ref. [9]	250 nm
This work	500 nm

[11] Finite-difference time-domain

3 نتیجه‌گیری

در این مقاله نشان داده شد که استفاده از تزویج‌گرهای جهت دار خمیده پلاسمونیکی سبب عدم وابستگی توان خروجی به طول موج و در نتیجه افزایش پهنای باند تزویج‌گر می‌شود. مقسم توان 3dB طراحی شده دارای پهنای باند حدود 500nm می‌باشد که بهبود قابل توجهی را نسبت به ساختارهای قبلی نشان می‌دهد.

مرجع‌ها

[1] Z. Lu, H. Yun, Y. Wang, Zh. Chen, F. Zhang, A. F. Jaeger, and L. Chrostowski, "Broadband silicon photonic directional coupler using asymmetric-waveguide based phase control", Optics Express, vol.23, no.3, pp. 3795-3808, 2015

[2] P. Hang Fu,Y. Chou Tu, and D. Wei Huang, "Broadband optical waveguide couplers with arbitrary coupling ratios designed using a genetic algorithm", Optics Express, vol.24, no.26, pp. 30547–30561, 2016

[3] H. Wang, X. Li, M. Zhang and K. Chen, "Broadband 2 × 2 lithium niobate electro-optic switch based on a Mach–Zehnder interferometer with counter-tapered directional couplers", Applied Optics, vol.56, no.29, pp.8164-8168, 2017

[4] F. R. Chen, R. Ong, Y. L. Ang, Th. Lim, E. Png and T. H. Tan, "Broadband Silicon-On-Insulator directional couplers using a combination of straight and curved waveguide sections", Scientific Reports, vol.7, no.7246, 2017

[5] S. Chen , Y. Shi, S. He, and D. Dai, "Low-loss and broadband 2 × 2 silicon thermo-optic Mach–Zehnder switch with bent directional couplers ", Journal of Optics letters, vol. 41, no. 4, pp. 836-839, 2016

[6] Y. Luo, YuYu, Mengyuan Ye, Ch. Sun and X. Zhang, "Integrated dual-mode 3 dB power coupler based on tapered directional coupler", Scientific Reports, vol.6, 2016

[7] Q. Lu, D. Chen, G. Wu, "Low-loss hybrid plasmonic waveguide based on metal ridge and semiconductor nanowire", Optics Communications, pp.64-68, 2013

[8] R. F. Oulton, V. J. Sorger, D. A. Genov, D. F. P. Pile and X. Zhang, "A hybrid plasmonic waveguide for subwavelength confinement and long-range propagation", nature photonic, vol.2, pp. 496-500, 2008

[9] B. Janjan, D. Fathi, M. Miri and M.Ghaffari, "Ultra-wideband high-speed Mach–Zehnder switch based on hybrid plasmonic waveguides", Applied Optics, vol.56, no.6, pp. 1717-1723, 2017

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