بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

فیلترهای افزایشی-کاهشی مبتنی بر تزویج‌کننده‌های جهتی سیلیکون برروی عایق با تزویج درجهت مخالف بااستفاده از توری‌های براگ

آزاده کریمی، فرزین امامی و نجمه نزهت

دانشکده مهندسی برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران

چکیده – در این مقاله، فیلترهای افزایشی-کاهشی مبتنی بر تزویج‌کننده های جهتی سیلیکون برروی عایق با تزویج در جهت مخالف و توری‌های براگ مورد بررسی قرار گرفته‌اند. پیاده‌سازی فیلتر با استفاده از موجبرهای نواری با توری ایجادشده برروی دیواره موجبرها منجر به ایجاد باند توقف در طول موج ۱/۶۹ میکرومتر و طول موج کاهشی در ۱/۵۶ میکرومتر می‌شود. علاوه براین فیلتر افزایشی-کاهشی پیاده‌سازی‌شده با استفاده از موجبرهای ریب دارای باند توقف در طول موج ۱/۵۸ میکرومتر و طول موج کاهشی در ۱/۵۳ میکرومتر می‌باشد. در این مورد توری برروی دیواره موجبرها وبین دو موجبر ایجادشده‌است. همچنین تنظیم طول موج کاهشی بوسیله تغییرات ساختاری انجام‌شده‌است.

کلید واژه- توری‌های براگ، تزویج‌کننده جهتی با تزویج در جهت مخالف، سیلیکون برروی عایق، موجبر ریب، موجبر نواری.

Add-Drop Filters Based on Grating-Assisted Contra-Directional Couplers

Azadeh Karimi, Farzin Emami, Najmeh Nozhat

Faculty of Electrical and Electronic Engineering, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran

Abstract- Add-drop filters based on grating-assisted contra-directional couplers are investigated. It is shown that the implementation of the add-drop filter using strip waveguides with sidewall corrugated Bragg gratings results a stop-band with the central wavelength at 1.69 μm and a drop port wavelength at 1.56 μm. Moreover, the studied add-drop filter with rib waveguides shows the stop-band with the central wavelength at 1.58 μm and a drop port wavelength at 1.53 μm. In this case the gratings are corrugated on the sidewalls of the waveguides and between them. The drop port wavelength can be adjusted by altering the structural parameters.

Keywords: Bragg gratings, contra-directional coupler, rib waveguide, silicon-on-insulator, strip waveguide.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-11-15]

۱- مقدمه

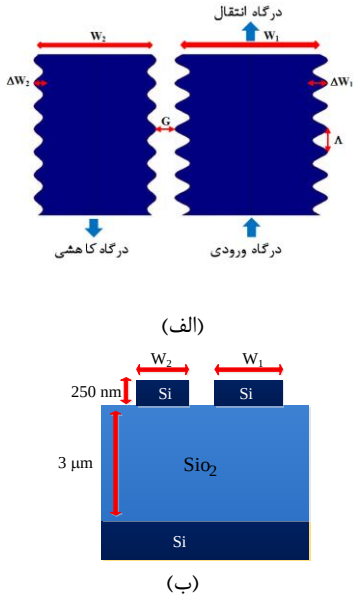
توری‌های براگ از اجزای اصلی تشکیل‌دهنده بسیاری از ادوات نوری مورد استفاده در کاربردهایی نظیر مخابرات نوری، سیستم‌های حسگر و پردازش سیگنال‌های نوری هستند [۱]. از جمله این ادوات، فیلترهای تسهیم‌سازی تقسیم طول‌موجی [۲]،و فیلترهای افزایشی-کاهشی و تزویج‌کننده‌های مبتنی بر توری [۳] می‌باشند. در سال‌های اخیر پیاده‌سازی ادوات نوری با استفاده ازموجبرهای نوری سیلیکون برروی عایق با توری ایجادشده برروی این موجبرها بدلیل سازگاری خوب پایه سیلیکون برروی عایق با تکنولوژی نیمه‌هادی-اکسید-فلز مکمل و محدودیت مناسب نور در لایه سیلیکونی بدلیل اختلاف بالای ضریب‌شکست بین سیلیکون و دی‌اکسید سیلیکون بسیار مورد توجه قرار گرفته اند [۴].

اکثر ادوات نوری مبتنی بر موجبرهای سیلیکون برروی عایق با توری ایجادشده برروی آنها ،ادواتی با دو درگاه هستند. از این رو همواره نیاز به استفاده از چرخاننده‌های نوری در کنار این ادوات می‌باشد که این امر منجر به افزایش پیچیدگی و هزینه مدارات مجتمع نوری می‌شود. تزویج‌کننده‌های غیر متقارن مبتنی بر توری با تزویج در جهت مخالف می‌توانند به عنوان چرخاننده مورد استفاده قرار گیرند. اخیرا این تزویج‌کننده‌ها بر روی پایه سیلیکون برروی عایق با توری ایجادشده برروی موجبرهای نواری [۵]، توری ایجادشده برروی موجبرهای ریب و یا بین آنها [۳و۶] و همچنین در ساختار فیلترهای افزایشی-کاهشی ، به عنوان ادواتی با چهار درگاه، [۳] مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

در این مقاله، در ابتدا فیلتر افزایشی-کاهشی مبتنی بر تزویج‌کننده جهتی سیلیکون بر روی عایق با تزویج در جهت مخالف با توری ایجادشده برروی دیواره‌های موجبرهای نواری مورد بررسی قرار گرفته‌است. در این فیلتر، طول‌موج درگاه کاهشی را می توان بوسیله تغییر پهنای موجبر دوم تنظیم نمود. در ادامه یک فیلتر افزایشی-کاهشی پیاده‌سازی‌شده با استفاده از موجبرهای سیلیکون برروی عایق ریب و توری ایجاد شده برروی موجبرها و در فاصله بین دو موجبر پیشنهادشده‌است.

۲- فیلتر افزایشی-کاهشی با توری ایجادشده برروی دیواره موجبرهای نواری

ساختار یک فیلتر افزایشی-کاهشی مبتنی بر تزویج‌کننده جهتی سیلیکون برروی عایق با تزویج در جهت مخالف با استفاده از توری های براگ ایجادشده برروی دیواره موجبرهای نواری در شکل ۱ نشان داده شده‌است.



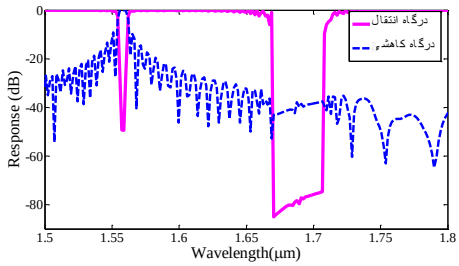
شکل ۱: ساختار فیلتر افزایشی-کاهشی با استفاده از توری‌های براگ ایجاد شده برروی دیواره موجبرهای نواری: (الف) نمای از بالا (ب) نمای جانبی.

این فیلتر ازدو موجبر نواری غیر متشابه با توری‌های سینوسی ایجاد شده برروی دیواره‌های هر دو موجبر تشکیل شده است. هر موجبر از یک لایه سیلیکون به ضخامت ۲۵۰ نانومتر برروی لایه اکسید به ضخامت ۳ میکرومتر، ایجادشده برروی زیربنای سیلیکونی، تشکیل‌شده‌است. پهنای موجبر ورودی، W_1 وپهنای موجبر دوم، W_2 ، پهنای توری ایجادشده برروی موجبر ورودی، ΔW_1 و پهنای توری ایجادشده برروی موجبر دوم، ΔW_2 به ترتیب برابر هستند با ۵۰۰ نانومتر، ۴۰۰ نانومتر، ۵۰ نانومتر و ۳۰ نانومتر. همچنین، دوره تناوب توری ایجادشده برروی هردو موجبر، Λ ، طول موجبرها ، L و فاصله بین موجبرها، G ، به ترتیب برابر هستند با ۳۱۸ نانومتر، ۴۰۰ میکرومتر و۶۰ نانومتر. توری ایجاد شده برروی موجبرها دارای دوره کاری ۵۰٪ می‌باشد.

همانگونه که اشاره شد، این فیلتر مبتنی بر تزویج‌کننده

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-11-15]

جهتی با تزویج در جهت مخالف می‌باشد. در واقع در این تزویج‌کننده دو نوع تزویج صورت می‌گیرد. یکی از این تزویج‌ها، تزویج بین موجبری در جهت مخالف بوده که بین مد عرضی منتشرشونده در جهت رفت در موجبر ورودی و مد عرضی منتشرشونده در جهت عکس در موجبر دوم صورت می‌گیرد. نوع دیگر تزویج، تزویج درون موجبری بوده که بین امواج منتشرشونده در جهت رفت و برگشت مربوط به هر مد صورت می‌گیرد. در شکل ۲، پاسخ درگاه‌های کاهشی وانتقال فیلتر نشان داده‌شده‌است.



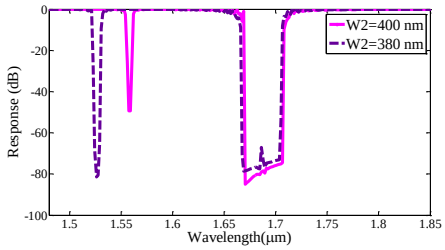
شکل۲: پاسخ درگاه‌های کاهشی و انتقال فیلتر افزایشی-کاهشی با توری براگ ایجادشده برروی دیواره موجبرهای نواری.

همانگونه که در شکل دیده می‌شود، پاسخ درگاه انتقال شامل یک باند توقف در اطراف طول‌موج ۱/۶۹ میکرومتربوده که ناشی از تزویج درون موجبری رخ داده در موجبر ورودی می‌باشد. همچنین طول موج کاهشی، ناشی از تزویج بین موجبری، برابربا ۱/۵۶ میکرومتر بوده که تطابق خوبی با نتایج گزارش‌شده در (۵) دارد. میزان تزویج‌صورت‌گرفته در طول‌موج کاهشی ۵۰- دسی‌بل می‌باشد. طول‌موج‌های ناشی از تزویج‌درون موجبری، λ_1، و تزویج بین موجبری، λ_D، با استفاده ازشروط انطباق فاز بیان‌شده در معادلات (۱) و (۲) نیز قابل محاسبه می‌باشند. شروط انطباق فاز را می‌توان به‌شکل زیر بیان نمود [۳]:

$$\lambda_D = 2\Lambda n_{av} = \Lambda(n_1 + n_2) \qquad (۱)$$

$$\lambda_1 = 2\Lambda n_1 \qquad (۲)$$

در معادلات فوق، n_1 وn_2 به ترتیب ضرایب شکست موثر مد های منتشرشونده در جهت رفت در موجبر ورودی وبرگشت در موجبر دوم می‌باشند. به منظوربکارگیری این فیلتر به عنوان یک تسهیم‌کننده نیاز است که طول موج درگاه کاهشی، λ_D ، قابل تنظیم باشد. طبق معادله (۱) تنظیم طول‌موج درگاه کاهشی با استفاده از تغییر W_2 امکان‌پذیر می‌باشد. با کاهش W_2 ، ضریب شکست موثر مد منتشر شونده در موجبر دوم، n_2 ، کاهش یافته که این کاهش منجر به انتقال طول موج درگاه کاهشی به سمت طول‌موج‌های کوتاه‌تر می‌شود. پاسخ درگاه انتقال فیلتر به ازای دو مقدار متفاوت از W_2 در شکل ۳ نشان‌داده‌شده‌است.



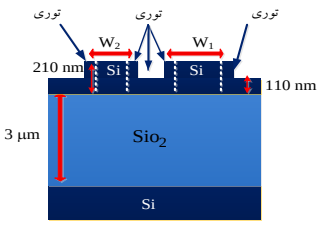
شکل۳: پاسخ درگاه انتقال فیلتر افزایشی-کاهشی با توری براگ ایجادشده برروی دیواره موجبرهای نواری به ازای مقادیر متفاوت از W_2.

همانگونه که انتظار می‌رود، با کاهش W_2 به میزان ۲۰ نانومتر، طول موج درگاه کاهشی از ۱/۵۶ میکرومتر به ۱/۵۳ میکرومتر انتقال می‌یابد، حال‌آنکه طول موج λ_1 تقریبا بدون تغییر می‌باشد. عدم تغییردر λ_1 به این‌دلیل است که به دلیل ثابت بودن پهنای موجبر ورودی ضریب شکست موثر مد منتشر شونده در موجبر ورودی، n_1 ، تغییر نکرده‌است. همچنین کاهش پهنای موجبر دوم منجر به افزایش تزویج شده‌است به نحوی که میزان تزویج از ۵۰- دسی‌بل به حدود ۸۰- دسی‌بل رسیده‌است.

۳- فیلتر افزایشی-کاهشی با توری ایجادشده برروی دیواره موجبرهای ریب وبین دو موجبر

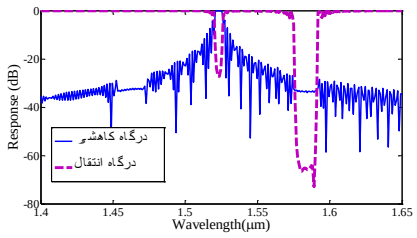
به منظور پیاده‌سازی فیلترهای افزایشی-کاهشی از موجبرهای ریب نیز می‌توان استفاده‌نمود. در ادامه یک فیلتر افزایشی-کاهشی مبتنی بر تزویج‌کننده جهتی سیلیکون برروی عایق با تزویج در جهت مخالف معرفی‌شده‌است که در آن از موجبرهای ریب با توری‌براگ ایجادشده برروی دیواره موجبرها و بین دو موجبر استفاده‌شده‌است. نمای جانبی این فیلتردر شکل ۴ نشان‌داده‌شده‌است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-11-15]



شکل۴: نمای جانبی فیلتر افزایشی-کاهشی مبتنی‌بر تزویج‌کننده جهتی سیلیکون برروی عایق با تزویج درجهت مخالف با استفاده از توری‌های براگ ایجاد شده برروی دیواره موجبرهای ریب و بین دو موجبر

در طراحی این فیلتر دو موجبر ریب غیر متشابه بکاربرده‌شده‌است که توری‌های سینوسی برروی دیواره موجبرها وبین دو موجبر ایجادشده‌اند. در موجبرهای ریب ارتفاع لایه سیلیکونی ۲۱۰ نانومتر بوده که ۱۱۰ نانومتر آن مربوط به بخش مسطح می‌باشد. همچنین ضخامت لایه سیلیکونی مسطح بین دو موجبر ۱۱۰ نانومتر می باشد. پهنای موجبر ورودی، W_1 ،پهنای موجبر دوم، W_2 ، پهنای توری ایجادشده برروی موجبر ورودی، ΔW_1 و پهنای توری ایجادشده برروی موجبر دوم، ΔW_2 و ارتفاع توری ایجاد شده بین دو موجبر، h_g ، به ترتیب برابر هستند با ۶۰۰ نانومتر، ۴۰۰ نانومتر، ۵۰ نانومتر، ۳۰ نانومتر و ۱۶/۵ نانومتر. همچنین، دوره تناوب توری ایجادشده برروی هردو موجبر، Λ ، طول موجبرها ، L و فاصله بین موجبرها، G ، به ترتیب برابر هستند با ۳۰۰ نانومتر، ۲۱۰ میکرومتر و۲۰۰ نانومتر. توری ایجادشده برروی موجبرها دارای دوره‌کاری ۵۰٪ می‌باشد. پاسخ درگاه‌های کاهشی وانتقال فیلتر در شکل ۵ نشان داده‌شده‌اند.



شکل۵: پاسخ درگاه‌های کاهشی و انتقال فیلتر افزایشی-کاهشی با توری براگ ایجادشده برروی دیواره موجبرهای ریب وبین دو موجبر.

همانگونه که در شکل ۵ نشان‌داده‌شده‌است، باند توقف در پاسخ درگاه انتقال در اطراف طول‌موج ۱/۵۸ میکرومتر رخ داده که ناشی از تزویج درون موجبری رخ داده در موجبر ورودی می‌باشد. همچنین طول موج کاهشی، ناشی از تزویج بین موجبری، ۱/۵۳میکرومتر می‌باشد که در مقایسه با فیلتر بیان‌شده در بخش قبل به میزان ۰/۰۳ میکرومتر به سمت طول‌موج‌های کوتاهتر جابجا شده‌است. همچنین میزان تزویج‌صورت‌گرفته ۲۷- دسی‌بل می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله مطالعه فیلترهای افزایشی-کاهشی مبتنی بر تزویج‌کننده جهتی با تزویج در جهت مخالف و توری براگ با معرفی دو ساختار متفاوت انجام‌گرفته است. در ساختار اول به‌منظور پیاده‌سازی تزویج‌کننده از دو موجبر نواری استفاده‌شده و توری برروی دیواره‌های هر دو موجبر ایجادشده است. در پاسخ درگاه انتقال این ساختار یک باند توقف در اطراف طول‌موج ۱/۶۹ میکرومتر دیده می‌شود. همچنین طول‌موج کاهشی برابر با ۱/۵۶ میکرومتر بوده که کاهش پهنای موجبر دوم به میزان ۲۰ نانومتر منجر به‌جابجایی این طول‌موج به طول‌موج ۱/۵۳ میکرومتر می‌شود. در ساختار دوم، تزویج‌کننده از دو موجبر ریب تشکیل شده که توری برروی دیواره‌های هر دو موجبر و بین موجبرها ایجاشده‌است. در این فیلتر باند توقف در اطراف طول‌موج ۱/۵۸ میکرومتر واقع‌شده وطول‌موج کاهشی برابر با ۱/۵۳ میکرومتر می‌باشد.

مراجع

[1] N. K. Berger, B. Levit, B. Fischer, M. Kulishov, D. V. Plant, and J. Aza˜na, *Temporal differentiation of optical signals using a phase-shifted fiber Bragg grating*, **Opt. Exp.** 15 (2006) 371–377.

[2] X. Wang, W. Shi, R. Vafaei, N. A. F. Jaeger, and L. Chrostowski, *Uniform and sampled Bragg gratings in SOI strip waveguides with sidewall corrugations*, **IEEE Photon. Technol. Lett.** 23 (2011) 290–292.

[3] W. Shi, X. Wang, C. Lin, H. Yun, Y. Liu, T. Baehr-Jones, M. Hochberg, N. A. F. Jaeger, and L. Chrostowski, *Silicon photonic grating-assisted, contra-directional couplers*, **Opt. Exp.** 21 (2013) 3633-3650.

[4] X.Wang, W. Shi, H. Yun, S. Grist, N. A. F. Jaeger, and L. Chrostowski, *Narrow-band waveguide Bragg gratings on SOI wafers with CMOS-compatible fabrication process*, **Opt. Exp.** 20 (2012) 15547–15558.

[5] Tan, D.T.H., Ikeda, K., Zamek, S., Mizrahi, A., Nezhad, M. P., Krishnamoorthy, A. V., Raj, K., Cunningham, J. E., Zheng, X., Shubin, I., Luo, Y., Fainman, Y., *Wide Bandwidth, Low Loss 1 by 4 Wavelength Division Multiplexer on Silicon for Optical Interconnects*, **Opt. Exp.** 19 (2011) 2401-2409.

[6] Shi, W., Wang, X., Zhang, W., Chrostowski, L., Jaeger, N.A.F., *Contradirectional Couplers in Silicon-on-Insulator Rib Waveguides*, **Opt. Lett**. 36 (2011) 3999-4001.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-11-15]