

فیلترهای افزایشی-کاهشی مبتنی بر تزویج کنندههای 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 تزویج کننده 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 پیادهسازی شده با استفاده از موجبرهای ریب دارای باند توقف در طول موج ۱/۵۸ میکرومتر میشود. علاوه براین فیلتر افزایشی-میکرومتر میباشد. در این مورد توری برروی دیواره موجبرها وبین دو موجبر ایجادشده است. همچنین تنظیم طول موج کاهشی بوسیله تغییرات ساختاری انجامشدهاست.

کلید واژه- توریهای براگ، تزویج کننده 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 μ m and a drop port wavelength at 1.56 μ m. Moreover, the studied add-drop filter with rib waveguides shows the stop-band with the central wavelength at 1.58 μ m and a drop port wavelength at 1.53 μ m. 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.

۱– مقدمه

توریهای براگ از اجزای اصلی تشکیل دهنده بسیاری از ادوات نوری مورد استفاده در کاربر دهایی نظیر مخابرات نوری، سیستمهای حسگر و پردازش سیگنالهای نوری هستند [۱]. از جمله این ادوات، فیلترهای تسهیم سازی تقسیم طول موجی [۲]،و فیلترهای افزایشی-کاهشی و تزویج کنندههای مبتنی بر توری [۳] می باشند. در سالهای اخیر پیاده سازی ادوات نوری با استفاده ازموجبرهای نوری سیلیکون برروی عایق با توری سیلیکون برروی این موجبرها بدلیل سازگاری خوب پایه سیلیکون برروی عایق با تکنولوژی نیمه هادی-اکسید-فلز مکمل و محدودیت مناسب نور در لایه سیلیکونی بدلیل اختلاف بالای ضریب شکست بین سیلیکون و دی اکسید 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. تزویج کنندههای غیر متقارن مبتنی بر توری با تزویج در جهت مخالف میتوانند به عنوان چرخاننده مورد استفاده قرار گیرند. اخیرا این تزویج کنندهها بر روی پایه سیلیکون قرار گیرند. اخیرا این تزویج کنندهها بر روی پایه سیلیکون اروی عایق با توری ایجادشده برروی موجبرهای نواری آه]، توری ایجادشده برروی موجبرهای ریب و یا بین آنها به عنوان ادواتی با چهار درگاه، [۳] مورد استفاده قرار گرفتهاند.

در این مقاله، در ابتدا فیلتر افزایشی-کاهشی مبتنی بر تزویج کننده جهتی سیلیکون بر روی عایق با تزویج در جهت مخالف با توری ایجادشده برروی دیوارهای موجبرهای نواری مورد بررسی قرار گرفتهاست. در این فیلتر، طول موج 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 تزویج کننده 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، تشکیل شده است. پهنای موجبر ورودی، W وپهنای موجبر دوم، W_2 ، پهنای موجبر ورودی، اW وپهنای ورودی، 1W و پهنای توری ایجادشده برروی موجبر دوم، ورودی، 1W و پهنای توری ایجادشده برروی موجبر دوم، ایجادشده برروی هردو موجبر، ۸ ، طول موجبرها ، *L* و فاصله بین موجبرها، *G* ، به ترتیب برابر هستند با ۳۱۸ ایجاد شده برروی ایجاد شده فاصله بین موجبرها، *G* ، به ترتیب برابر هستند با ۳۱۸ برروی موجبرها دارای دوره کاری ۵۰٪ میباشد.

همانگونه که اشاره شد، این فیلتر مبتنی بر تزویجکننده

جهتی با تزویج در جهت مخالف میباشد. در واقع در این تزویج کننده دو نوع تزویج صورت می گیرد. یکی از این تزویجها، تزویج بین موجبری در جهت مخالف بوده که بین مد عرضی منتشرشونده در جهت مخت د موجبر ورودی و مد عرضی منتشرشونده در جهت عکس در موجبر دوم صورت می گیرد. نوع دیگر تزویج، تزویج درون موجبری بوده که بین امواج منتشرشونده در جهت رفت و برگشت مربوط به هر مد صورت می گیرد. در شکل ۲، پاسخ در گاههای کاهشی وانتقال فیلتر نشان داده شده است.



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

همانگونه که در شکل دیده می شود، پاسخ در گاه انتقال شامل یک باند توقف در اطراف طول موج ۱/۶۹ میکرومتربوده که ناشی از تزویج درون موجبری رخ داده در موجبر ورودی می باشد. همچنین طول موج کاهشی، ناشی از تزویج بین موجبری، برابربا ۱/۵۶ میکرومتر بوده که تطابق خوبی با نتایج گزارش شده در (۵) دارد. میزان که تطابق خوبی با نتایج گزارش شده در (۵) دارد. میزان می باشد. طول موجهای ناشی از تزویج درون موجبری، ا Λ ، تزویج بین موجبری، α ، با استفاده از شروط انطباق فاز بیان شده در معادلات (۱) و (۲) نیز قابل محاسبه می باشد. شروط انطباق فاز را می توان به شکل زیر بیان نمود [۳]:

$$\lambda_{\rm D} = 2\Lambda n_{\rm av} = \Lambda \left(n_1 + n_2 \right) \tag{1}$$

 $\lambda_1 = 2\Lambda n_1 \tag{(Y)}$

در معادلات فوق، $n_1 e_2$ 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)

 W_2 تنظیم طول موج درگاه کاهشی با استفاده از تغییر W_2 امکان پذیر می باشد. 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 طول موجهای کوتاه تر می شود. پاسخ درگاه انتقال فیلتر به ازای دو مقدار متفاوت از W_2 در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: پاسخ درگاه انتقال فیلتر افزایشی-کاهشی با توری براگ ایجادشده برروی دیواره موجبرهای نواری به ازای مقادیر متفاوت از .W₂

۳۰ میزان ۲۰ سیرود، با کاهش W_2 به میزان ۲۰ نانومتر، طول موج درگاه کاهشی از ۱/۵۶ میکرومتر به λ_1 میکرومتر انتفال مییابد، حالآنکه طول موج λ تقریبا بدون تغییر میباشد. عدم تغییردر λ به ایندلیل است که به دلیل ثابت بودن پهنای موجبر ورودی ضریب شکست موثر مد منتشر شونده در موجبر ورودی، n_1 شکست موثر مد منتشر شونده در موجبر ورودی، دوم 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 ۱یجادشده برروی دیواره موجبرهای ریب

وبين دو موجبر

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



شکل۴: نمای جانبی فیلتر افزایشی-کاهشی مبتنیبر تزویج کننده 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 مى باشد. همچنين ضخامت لايه سيليكوني مسطح بين دو موجبر ١١٠ نانومتر مي باشد. یهنای موجبر ورودی، W₁ ، یهنای موجبر دوم، W₂ ، یهنای توری ایجادشده برروی موجبر ورودی، ΔW_1 و پهنای توری ایجادشده برروی موجبر دوم، ΔW_2 و ارتفاع توری ایجاد شده بین دو موجبر، $h_{
m g}$ ، 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 $T \cdot r$ نانومتر، ۲۱۰ میکرومتر و۲۰۰ نانومتر. توری ایجادشده برروی موجبرها دارای دورهکاری ۵۰٪ میباشد. پاسخ درگاههای کاهشی وانتقال فیلتر در شکل ۵ نشان دادەشدەاند.



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 نشانداده شده است، باند توقف در پاسخ درگاه انتقال در اطراف طول موج 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 طول موجهای کوتاهتر جابجا شدهاست. همچنین میزان تزویج صورت گرفته ۲۷ - دسی بل می باشد.

۴- نتیجهگیری

در این مقاله مطالعه فیلترهای افزایشی-کاهشی مبتنی بر تزویج کننده جهتی با تزویج در جهت مخالف و توری براگ با معرفی دو ساختار متفاوت انجام گرفته است. در ساختار اول بهمنظور پیادهسازی تزویج کننده 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 طول موج کاهشی برابر با ۱/۵۶ می شود. همچنین طول موج کاهشی برابر با ۱/۵۶ میکرومتر موده که کاهش پهنای موجبر دوم به میزان ۲۰ میکرومتر می شود. در ساختار دوم، تزویج کننده از دو موجبر ریب تشکیل شده که توری برروی دیوارههای هر دو موجبر و بین موجبرها ایجاشدهاست. در این فیلتر باند توقف در اطراف طول موج ۱/۵۸ میکرومتر واقع شده وطول موج کاهشی برابر با ۱/۵۳ میکرومتر واقع شده

مراجع

- N. K. Berger, B. Levit, B. Fischer, M. Kulishov, D. V. Plant, and J. Azaⁿa, *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.