



بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران  
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران  
۸ تا ۱۰ بهمن ماه ۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز



## فیلترهای افزایشی-کاهشی مبتنی بر تزویج کننده های جهتی سیلیکون بر روی عایق با تزویج در جهت مخالف با استفاده از توری های 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 بر روی عایق با تزویج در جهت مخالف و توری های براگ مورد بررسی قرار گرفته اند. پیاده سازی فیلتر با استفاده از موجبرهای نواری با توری ایجاد شده بر روی دیواره موجبرها منجر به ایجاد باند توقف در طول موج  $1/69$  میکرومتر و طول موج کاهشی در  $1/56$  میکرومتر می شود. علاوه بر این فیلتر افزایشی-کاهشی پیاده سازی شده با استفاده از موجبرهای ریب دارای باند توقف در طول موج  $1/58$  میکرومتر و طول موج کاهشی در  $1/53$  میکرومتر می باشد. در این مورد توری بر روی دیواره موجبرها و بین دو موجبر ایجاد شده است. همچنین تنظیم طول موج کاهشی بوسیله تغییرات ساختاری انجام شده است.

کلید واژه- توری های براگ، تزویج کننده جهتی با تزویج در جهت مخالف، سیلیکون بر روی 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  $1.69 \mu\text{m}$  and a drop port wavelength at  $1.56 \mu\text{m}$ . Moreover, the studied add-drop filter with rib waveguides shows the stop-band with the central wavelength at  $1.58 \mu\text{m}$  and a drop port wavelength at  $1.53 \mu\text{m}$ . 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 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 از موجبرهای نوری سیلیکون بر روی عایق با توری ایجادشده بر روی این موجبرها بدلیل سازگاری خوب پایه سیلیکون بر روی عایق با تکنولوژی نیمه‌هادی-اکسید-فلز مکمل و محدودیت مناسب نور در لایه سیلیکونی بدلیل اختلاف بالای ضریب شکست بین سیلیکون و دی‌اکسید سیلیکون بسیار مورد توجه قرار گرفته اند [۴].

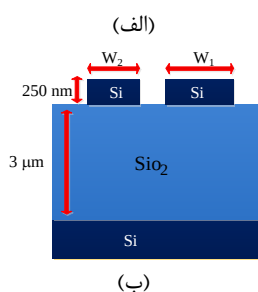
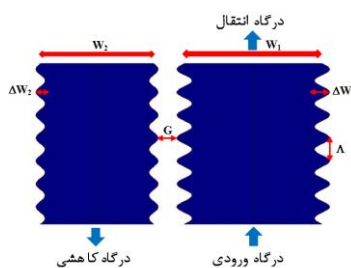
اکثر ادوات نوری مبتنی بر موجبرهای سیلیکون بر روی عایق با توری ایجادشده بر روی آنها، ادواتی با دو درگاه هستند. از این رو همواره نیاز به استفاده از چرخاننده‌های نوری در کنار این ادوات می‌باشد که این امر منجر به افزایش پیچیدگی و هزینه مدارات مجتمع نوری می‌شود. تزویج‌کننده‌های غیر متقارن مبتنی بر توری با تزویج در جهت مخالف می‌توانند به عنوان چرخاننده مورد استفاده قرار گیرند. اخیراً این تزویج‌کننده‌ها بر روی پایه سیلیکون بر روی عایق با توری ایجادشده بر روی موجبرهای نوری [۵]، توری ایجادشده بر روی موجبرهای ریب و یا بین آنها [۶ و ۳] 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 بر روی دیواره‌های موجبرهای نوری مورد بررسی قرار گرفته‌است. در این فیلتر، طول موج درگاه کاهشی را می‌توان بوسیله تغییر پهنای موجبر دوم تنظیم نمود. در ادامه یک فیلتر افزایشی-کاهشی پیاده‌سازی شده با استفاده از موجبرهای سیلیکون بر روی عایق ریب و توری ایجاد شده بر روی موجبرها و در فاصله بین دو موجبر پیشنهادشده‌است.

## ۲- فیلتر افزایشی-کاهشی با توری ایجادشده

## بر روی دیواره موجبرهای نوری

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

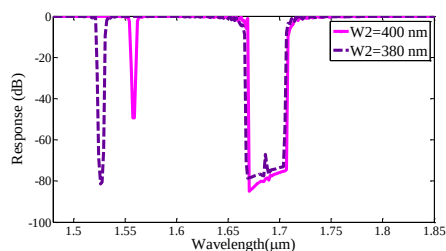


شکل ۱: ساختار فیلتر افزایشی-کاهشی با استفاده از توری‌های براگ ایجاد شده بر روی دیواره موجبرهای نوری: (الف) نمای از بالا (ب) نمای جانبی.

این فیلتر ازدو موجبر نوری غیر متشابه با توری‌های سینوسی ایجاد شده بر روی دیواره‌های هر دو موجبر تشکیل شده است. هر موجبر از یک لایه سیلیکون به ضخامت ۲۵۰ نانومتر بر روی لایه اکسید به ضخامت ۳ میکرومتر، ایجادشده بر روی زیربنای سیلیکونی، تشکیل شده‌است. پهنای موجبر ورودی،  $W_1$  و پهنای موجبر دوم،  $W_2$ ، پهنای توری ایجادشده بر روی موجبر ورودی،  $\Delta W_1$  و پهنای توری ایجادشده بر روی موجبر دوم،  $\Delta W_2$  به ترتیب برابر هستند با ۵۰۰ نانومتر، ۴۰۰ نانومتر، ۵۰ نانومتر و ۳۰ نانومتر. همچنین، دوره تناوب توری ایجادشده بر روی هر دو موجبر،  $\Lambda$ ، طول موجبرها،  $L$  و فاصله بین موجبرها،  $G$ ، به ترتیب برابر هستند با ۳۱۸ نانومتر، ۴۰۰ میکرومتر و ۶۰ نانومتر. توری ایجاد شده بر روی موجبرها دارای دوره کاری ۵۰٪ می‌باشد.

همانگونه که اشاره شد، این فیلتر مبتنی بر تزویج‌کننده

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 موج های کوتاه تر می شود. پاسخ درگاه انتقال فیلتر به ازای دو مقدار متفاوت از  $W_2$  در شکل ۳ نشان داده شده است.



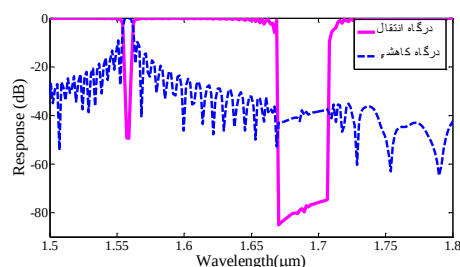
شکل ۳: پاسخ درگاه انتقال فیلتر افزایشی-کاهشی با توری براگ ایجاد شده بر روی دیواره موجبرهای نواری به ازای مقادیر متفاوت از  $W_2$ .

همانگونه که انتظار می رود، با کاهش  $W_2$  به میزان ۲۰ نانومتر، طول موج درگاه کاهشی از ۱/۵۶ میکرومتر به ۱/۵۳ میکرومتر انتقال می یابد، حال آنکه طول موج  $\lambda_1$  تقریباً بدون تغییر می باشد. عدم تغییر در  $\lambda_1$  به این دلیل است که به دلیل ثابت بودن پهنای موجبر ورودی و ضریب شکست موثر مد منتشر شونده در موجبر ورودی،  $n_1$ ، تغییر نکرده است. همچنین کاهش پهنای موجبر دوم منجر به افزایش تزویج شده است به نحوی که میزان تزویج از ۵۰- دسی بل به حدود ۸۰- دسی بل رسیده است.

### ۳- فیلتر افزایشی-کاهشی با توری ایجاد شده بر روی دیواره موجبرهای ریب و بین دو موجبر

به منظور پیاده سازی فیلترهای افزایشی-کاهشی از موجبرهای ریب نیز می توان استفاده نمود. در ادامه یک فیلتر افزایشی-کاهشی مبتنی بر تزویج کننده جهتی سیلیکون بر روی عایق با تزویج در جهت مخالف معرفی شده است که در آن از موجبرهای ریب با توری براگ ایجاد شده بر روی دیواره موجبرها و بین دو موجبر استفاده شده است. نمای جانبی این فیلتر در شکل ۴ نشان داده شده است.

جهتی با تزویج در جهت مخالف می باشد. در واقع در این تزویج کننده دو نوع تزویج صورت می گیرد. یکی از این تزویج ها، تزویج بین موجبری در جهت مخالف بوده که بین مد عرضی منتشر شونده در جهت رفت در موجبر ورودی و مد عرضی منتشر شونده در جهت عکس در موجبر دوم صورت می گیرد. نوع دیگر تزویج، تزویج درون موجبری بوده که بین امواج منتشر شونده در جهت رفت و برگشت مربوط به هر مد صورت می گیرد. در شکل ۲، پاسخ درگاه های کاهشی و انتقال فیلتر نشان داده شده است.



شکل ۲: پاسخ درگاه های کاهشی و انتقال فیلتر افزایشی-کاهشی با توری براگ ایجاد شده بر روی دیواره موجبرهای نواری.

همانگونه که در شکل دیده می شود، پاسخ درگاه انتقال شامل یک باند توقف در اطراف طول موج ۱/۶۹ میکرومتر بوده که ناشی از تزویج درون موجبری رخ داده در موجبر ورودی می باشد. همچنین طول موج کاهشی، ناشی از تزویج بین موجبری، برابر با ۱/۵۶ میکرومتر بوده که تطابق خوبی با نتایج گزارش شده در (۵) دارد. میزان تزویج صورت گرفته در طول موج کاهشی ۵۰- دسی بل می باشد. طول موج های ناشی از تزویج درون موجبری،  $\lambda_1$  و تزویج بین موجبری،  $\lambda_D$ ، با استفاده از شروط انطباق فاز بیان شده در معادلات (۱) و (۲) نیز قابل محاسبه می باشند. شروط انطباق فاز را می توان به شکل زیر بیان نمود [۳]:

$$\lambda_D = 2\Lambda n_{av} = \Lambda(n_1 + n_2) \quad (1)$$

$$\lambda_1 = 2\Lambda n_1 \quad (2)$$

در معادلات فوق،  $n_1$  و  $n_2$  به ترتیب ضرایب شکست موثر مد های منتشر شونده در جهت رفت در موجبر ورودی و برگشت در موجبر دوم می باشند. به منظور بکارگیری این فیلتر به عنوان یک تسهیم کننده نیاز است که طول موج درگاه کاهشی،  $\lambda_D$ ، قابل تنظیم باشد. طبق معادله (۱)

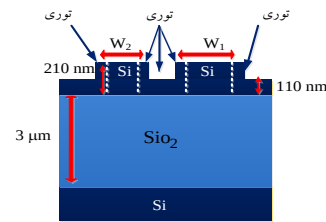
ورودی می‌باشد. همچنین طول موج کاهشی، ناشی از تزویج بین موجبری،  $1/53$  میکرومتر می‌باشد که در مقایسه با فیلتر بیان شده در بخش قبل به میزان  $0.3\%$  میکرومتر به سمت طول موج‌های کوتاه‌تر جابجا شده‌است. همچنین میزان تزویج صورت گرفته  $27$  - دسی بل می‌باشد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله مطالعه فیلترهای افزایشی-کاهشی مبتنی بر تزویج کننده جهت با تزویج در جهت مخالف و توری براگ با معرفی دو ساختار متفاوت انجام گرفته است. در ساختار اول به منظور پیاده سازی تزویج کننده از دو موجبر نواری استفاده شده و توری بر روی دیواره‌های هر دو موجبر ایجاد شده است. در پاسخ درگاه انتقال این ساختار یک باند توقف در اطراف طول موج  $1/69$  میکرومتر دیده می‌شود. همچنین طول موج کاهشی برابر با  $1/56$  میکرومتر بوده که کاهش پهنای موجبر دوم به میزان  $20$  نانومتر منجر به جابجایی این طول موج به  $1/53$  میکرومتر می‌شود. در ساختار دوم، تزویج کننده از دو موجبر ریب تشکیل شده که توری بر روی دیواره‌های هر دو موجبر و بین موجبرها ایجاد شده است. در این فیلتر باند توقف در اطراف طول موج  $1/58$  میکرومتر واقع شده و طول موج کاهشی برابر با  $1/53$  میکرومتر می‌باشد.

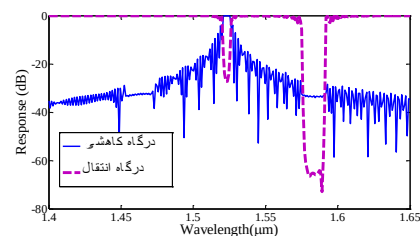
#### مراجع

- [1] N. K. Berger, B. Levit, B. Fischer, M. Kulishov, D. V. Plant, and J. Azaña, 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.



شکل ۴: نمای جانبی فیلتر افزایشی-کاهشی مبتنی بر تزویج کننده جهتی سیلیکون بر روی عایق با تزویج در جهت مخالف با استفاده از توری‌های براگ ایجاد شده بر روی دیواره موجبرهای ریب و بین دو موجبر

در طراحی این فیلتر دو موجبر ریب غیر متشابه بکاربرده شده است که توری‌های سینوسی بر روی دیواره موجبرها و بین دو موجبر ایجاد شده‌اند. در موجبرهای ریب ارتفاع لایه سیلیکونی  $210$  نانومتر بوده که  $110$  نانومتر آن مربوط به بخش مسطح می‌باشد. همچنین ضخامت لایه سیلیکونی مسطح بین دو موجبر  $110$  نانومتر می‌باشد. پهنای موجبر ورودی،  $W_1$ ، پهنای موجبر دوم،  $W_2$ ، پهنای توری ایجاد شده بر روی موجبر ورودی،  $\Delta W_1$  و پهنای توری ایجاد شده بر روی موجبر دوم،  $\Delta W_2$  و ارتفاع توری ایجاد شده بین دو موجبر،  $h_g$ ، به ترتیب برابر هستند با  $600$  نانومتر،  $400$  نانومتر،  $50$  نانومتر،  $30$  نانومتر و  $16/5$  نانومتر. همچنین، دوره تناوب توری ایجاد شده بر روی هر دو موجبر،  $\Lambda$ ، طول موجبرها،  $L$  و فاصله بین موجبرها،  $G$ ، به ترتیب برابر هستند با  $300$  نانومتر،  $210$  میکرومتر و  $200$  نانومتر. توری ایجاد شده بر روی موجبرها دارای دوره کاری  $50\%$  می‌باشد. پاسخ درگاه‌های کاهشی و انتقال فیلتر در شکل ۵ نشان داده شده‌اند.



شکل ۵: پاسخ درگاه‌های کاهشی و انتقال فیلتر افزایشی-کاهشی با توری براگ ایجاد شده بر روی دیواره موجبرهای ریب و بین دو موجبر

همانگونه که در شکل ۵ نشان داده شده است، باند توقف در پاسخ درگاه انتقال در اطراف طول موج  $1/58$  میکرومتر رخ داده که ناشی از تزویج درون موجبری رخ داده در موجبر