

بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، خوزستان، ایران. ۱۴۰۰ بهمن ۱۴۰۰



# مهندسی مشخصات طیفی میکرورزوناتور حلقوی تمام-گذر سیلیکونی با استفاده از گریتینگ براگ

فائزه بهرامی چناقلو، امیر حبیبزاده شریف\* و افشین احمدپور

دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

fa\_bahrami@sut.ac.ir, \*sharif@sut.ac.ir, af\_ahmadpour@sut.ac.ir

چکیده – امروزه، مدارهای مجتمع نوری فوق فشرده با پهنای باند وسیع، نقش مهمی در پردازش سیگنالهای فوق سریع نوری ایفا میکنند. در این مقاله طراحی، تحلیل و مهندسی مشخصات طیفی میکرورزوناتور حلقوی تمام-گذر سیلیکونی مبتنیبر گریتینگ براگ ارائه شده است. نتایج بدست آمده از روش FDTD سهبعدی در حوزه فرکانس نشان میدهند که با تغییر پارامترهای هندسی گریتینگ براگ، پهنای باند سهدسیبل میکرورزوناتور حلقوی مبتنیبر گریتینگ براگ در طول موج رزونانس نزدیک به ۱۵۵۰ نانومتر در مقایسه با میکرورزوناتور حلقوی مرسوم به اندازه ۲۹ درصد افزایش یافته است.

كليد واژه - پردازش سيگنال، فوتونيک سيليکونی، گريتينگ براگ، ميکرورزوناتور حلقوی.

### Engineering the Spectral Characteristics of Silicon All-Pass Microring Resonator Using Bragg Grating

Faezeh Bahrami-Chenaghlou, Amir Habibzadeh-Sharif\*, and Afshin Ahmadpour

Faculty of Electrical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran fa\_bahrami@sut.ac.ir, \*sharif@sut.ac.ir, af\_ahmadpour@sut.ac.ir

Keywords: Signal processing, Silicon photonics, Bragg grating, Microring resonator.

## طراحی و تحلیل میکرورزوناتور حلقوی تمام-گذر سیلیکونی

میکرورزوناتور حلقوی، یک رزوناتور موج متحرک است که معمولاً دایروی بوده و با خم شدن موجبر نوری ساخته می شود [۳]. در شکل ۱ ساختار میکرورزوناتور حلقوی سيليكونى فوق فشرده متداول و سطح مقطع عرضى حلقه و موجبر مستقیم نشان داده شدهاند. مواد به کار رفته در هسته، زیرلایه و پوسته به ترتیب از جنس سیلیکون، سیلیکون اکساید و هوا هستند. به منظور تحقق عملکرد میکرورزوناتور حلقوی در حوالی باند طول موج مخابراتی ۱۵۵۰ نانومتر، شعاع میانگین حلقه برابر با ۲/۰۵ میکرومتر طراحی شده است. همچنین، به منظور عملکرد این ساختار در ناحیه کوپلینگ بحرانی، لازم است شکاف هوایی (g) بین موجبر مستقیم و حلقه به گونهای تنظیم شود که پرش فاز  $\pi$  میکرورزوناتور حلقوی در طول موج رزونانس، مساوی باشد. شکل ۲ نمودارهای انتقال شدت و پاسخ فاز  $g = 9 \cdot , \circ$  nm میکرورزوناتور حلقوی تمام–گذر را به ازای نشان میدهد. مطابق شکل ۲ (الف)، عمق شکاف و پهنای باند سهدسیبل میکرورزوناتور حلقوی در طول موج رزونانس ۱۵۵۱/۱۵ نانومتر به ترتیب برابر با ۱۹/۷۴ – دسیبل و ۱/۲۶ نانومتر هستند. علاوه بر این، مطابق شکل ۲ (ب)، پرش فاز  $\pi$  میکرورزوناتور حلقوی در طول موج رزونانس، مساوی است. بنابراین، می توان نتیجه گرفت که میکرورزوناتور حلقوی در ناحیه کویلینگ بحرانی قرار گرفته است. از طرفی، شکل ۳ پروفایل میدان الکتریکی مود اول هدایتی شبه TE موجبر طراحی شده را نشان میدهد. بر اساس نتایج شبیهسازیها، این مود در طول موج ۱۵۵۱/۱۵ نانومتر (فرکانس ۱۹۳/۲۷۱ تراهرتز) دارای ضریب شکست مؤثر ۲/۱۱۰۴ بوده و میدان الکتریکی آن از حبس شدگی مودی خوبی در ناحیه هسته برخوردار است.

#### مقدمه

میکرورزوناتور حلقوی به دلیل فشرده بودن، تکامل در ساخت و قابلیت یکپارچهسازی با فناوری CMOS از جایگاه ویژهای در کاربردهای مدارهای مجتمع نوری مثل فیلترها، سوئیچها، مدولاتورها، حافظهها، یردازشگرها و حسگرهای نوری برخوردار است [۱–۳]. از طرفی، پردازش سیگنالهای فوق سريع نوري مستلزم طراحي پردازشگرهاي تمام-نوري با پهنای باند وسیع است [۲]. تاکنون، طرحهای متعددی برای پردازش سیگنالهای فوق سریع نوری مبتنیبر میکرورزوناتور حلقوی ارائه شدهاند [۱-۳]. بر اساس مدلسازی شبه تحلیلی نشان داده شده است که با استفاده از گریتینگ براگ بر روی حلقه میکرورزوناتور حلقوی مى توان مشخصات طيفى ميكرورزوناتور را كنترل كرد [۴، ۵]. در کار قبلی ما [۶] برای اولین بار، یک پردازشگر مبتنىبر ميكرورزوناتور حلقوى پلاسمونى با استفاده از گریتینگ براگ در دیواره داخلی حلقه طراحی شده و نشان داده شده است که ایجاد گریتینگ براگ در دیواره داخلی حلقه مىتواند منجر به افزايش پهناى باند سەدسيبل میکرورزوناتور حلقوی پلاسمونی شود. در این مقاله برای اولین بار بر اساس دانسته های ما، طراحی، تحلیل و مهندسی مشخصات طيفى يک ميکرورزوناتور حلقوى تمام-گذر سیلیکونی فوق فشرده با شعاع ۲ میکرومتر مبتنیبر گریتینگ براگ در دیواره داخلی حلقه ارائه شده است. با تغییر پارامترهای هندسی گریتینگ براگ میتوان پهنای باند سهدسیبل و طول موج کاری میکرورزوناتور حلقوی را مهندسی نمود. نتایج شبیهسازیهای روش FDTD سهبعدی در حوزه فرکانس نشان میدهند که در طول موج کاری نزدیک به ۱۵۵۰ نانومتر و ناحیه کوپلینگ بحرانی، پهنای باند میکرورزوناتور حلقوی مبتنیبر گریتینگ براگ در مقایسه با میکرورزوناتور حلقوی متداول (بدون گریتینگ براگ) افزایش یافته است. بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، خوزستان، ایران، ۱۲– ۱۴ بهمن ۱۴۰۰

کوپلینگ یکسان باشند. مطابق نتایج ارائه شده در شکل ۵، به ازای h = 1 و h = 1 و h = 1 و نیز h = 1 و نیز h = 1 و ، طرح پیشنهادی (شکل ۴) دارای طول موج  $\Lambda = \circ r \circ nm$ رزونانس نزدیک به ۱۵۵۰ نانومتر (یکسان با طول موج رزونانس میکرورزوناتور حلقوی متداول) است. از طرفی، مطابق شکل ۶، با توجه به لزوم یکسان بودن رژیم کاری میکرورزوناتورهای حلقوی مبتنی ر گریتینگ و متداول، می ایست مقدار g برای دو حالت مذکور ( $h = 1.1 \cdot nm$  و و  $\Lambda = 1$  و  $\Lambda = 1$ برابر با ۹۰ و ۸۸ نانومتر طراحی شود. نتایج ارائه شده در شکلهای ۶ (الف و ج) نشان میدهند که در طول موج کاری نزدیک به ۱۵۵۰ نانومتر، پهنای باند سهدسیبل میکرورزوناتور حلقوی مبتنیبر گریتینگ براگ در مقایسه با پهنای باند سهدسیبل میکرورزوناتور حلقوی متداول (شکل ۲ (الف)) افزایش یافته است. این امر می تواند منجر به افزایش سرعت پردازشگرهای تمام-نوری مبتنیبر میکرورزوناتور حلقوی شود. همچنین، در شکلهای ۶ (ب و د)، پرش فاز مساوی  $\pi$  در طول موج رزونانس نشان میدهد که میکرورزوناتور حلقوی مبتنیبر گریتینگ براگ مشابه میکرورزوناتور حلقوی متداول، در ناحیه کوپلینگ بحرانی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که ساختار طراحی شده میکرورزوناتور حلقوی مبتنی بر گریتینگ براگ در مقایسه با میکرورزوناتور حلقوی متداول دارای شعاع کوچکتری بوده و در نتیجه، از ابعاد فشردهتری برخوردار است.



شکل ۴: میکرورزوناتور حلقوی تمام-گذر سیلیکونی مبتنیبر گریتینگ براگ در دیواره داخلی حلقه.



مهندسی مشخصات طیفی میکرورزوناتور حلقوی تمام-گذر مبتنیبر گریتینگ براگ

در شکل ۴ ساختار طراحی شده میکرورزوناتور حلقوی مبتنیبر گریتینگ براگ با دوره تناوب  $\Lambda$  نشان داده شده است. ارتفاع و عرض گریتینگ به ترتیب، h و  $\Lambda/ = d$ هستند. به منظور مقایسه عملکرد میکرورزوناتورهای حلقوی مبتنیبر گریتینگ و متداول، میبایست هر دو ساختار دارای طول موج رزونانس تقریباً یکسان و ناحیه بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، خوزستان، ایران، ۱۲– ۱۴ بهمن ۱۴۰۰

شد. پهنای باندهای سهدسیبل ۱۶۷/۵ گیگاهرتز و شد. پهنای باندهای سهدسیبل ۱۶۷/۵ گیگاهرتز و گریتینگ براگ به ازای nm ۱۱۰ nm و nm ۱۲۰ م و نیز  $\Lambda = 1$  و nm ۲۰ ا و nm ۲۰ nm و ۲۰ nm e ۲ nm

#### مرجعها

- [1] Liu F, Wang T, Qiang L, et al. "Compact optical temporal differentiator based on silicon microring resonator," Opt Express, Vol. 17, No. 7, pp. 104A,-104A7, 7...A.
- [Y] A. Ahmadpour, A. Habibzadeh-Sharif, and F. Bahrami-Chenaghlou, "Electrically Tuned Fractional-Order Temporal Differentiator in Silicon Photonics," Photo. Nan. – Funda. App., Vol. ٤٧, pp. 10.989, 7071.
- [<sup>Y</sup>] F. Bahrami-Chenaghlou, A. Habibzadeh-Sharif, and A. Ahmadpour, "Full-wave analysis and design of optical fractional-order temporal differentiators based on ultra-compact microring resonator," J. Modern Opt., Vol. <sup>1</sup>Y, No. <sup>1</sup>, pp. <sup>AA</sup>.-<sup>AAA</sup>, <sup>Y</sup>.<sup>Y</sup>.
- [2] Y. M. Kang, A. Arbabi, and L. L. Goddard, "A microring resonator with an integrated Bragg grating: a compact replacement for a sampled grating distributed Bragg reflector," Opt. Quant. Electron., Vol. 21, No. 9, pp. 7A9-79V, Y...9.
- [°] Y. M. Kang, A. Arbabi, and L. L. Goddard, "Engineering the spectral reflectance of microring resonators with integrated reflective elements," Opt. Express, Vol. 14, No. 17, pp. 17417–17470, 7.1..
- [7] A. Ahmadpour, A. Habibzadeh-Sharif, and F. Bahrami-Chenaghlou, "Design and comprehensive analysis of an ultra-fast fractional-order temporal differentiator based on a plasmonic Bragg grating



شکل ۵: منحنیهای انتقال شدت به ازای (الف)  $h = 11 \cdot nm$  (ب)  $h = 17 \cdot nm$ 



نتيجهگيرى

طراحی، تحلیل و مهندسی مشخصات طیفی میکرورزوناتور حلقوی تمام-گذر سیلیکونی مبتنیبر گریتینگ براگ ارائه

### بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، خوزستان، ایران، ۱۲– ۱۴ بهمن ۱۴۰۰

microring resonator," Opt. Express, Vol. ۲۹, No. ۲۲, pp. ۳٦٢٥٧, ۲۰۲۱.