بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

طراحـــی فیلتر افزاینده و کاهنده بر پایه‌ی تشدیدگر حلقوی بلور فوتونی چندتایی در هندسه‌ی موازی

طیبه مهین روســتا، سیده مهری حمیـدی

تهران، ولنجک، دانشگاه شهید بهشتی، پژوهشکده لیزر و پلاسما، آزمایشگاه مگنتو پلاسمونیک

چکیده - یکی از کاربردهای بسیار مهم تشدیدگرهای حلقوی بلور فوتونی، فیلتر افزاینده و کاهنده می‌باشد که یکی از بلوک‌های اصلی سازنده برای سیستم‌های تقسیم طول موجی بشمار می‌رود. تشدیدگرهای حلقوی بلور فوتونی دارای مزایای بسیاری مانند کنترل پذیری ابعاد و انعطاف پذیری در طراحی، تنوع در شکل حلقه، اتلاف پایین با فاکتور کیفیت بالا، گزینش طیفی بالا و اتلاف خمشی مستقل از ابعاد هستند. در این مقاله فیلتر افزاینده و کاهنده و جدا کننده توان بر پایه‌ی تشدیدگر حلقوی بلور فوتونی چندتایی در هندسه‌ی موازی مورد بررسی قرار گرفته است. ساختار طراحی شده می‌تواند بعنوان یک فیلتر افزاینده و کاهنده بهینه در طول موج $\lambda = 1.55\mu m$ و یک جداکننده‌ی توان 1×3 در طول موج $\lambda = 1.65\mu m$ بکار گرفته شود.

کلید واژه- بلور فوتونی، تشدیدگر حلقوی، فیلتر فزاینده و کاهنده، جداکننده‌ی توان

Design of add drop filter based on multiple parallel Photonic Crystal ring resonator

Tayebeh Mahinroosta, Seyedeh Mehri Hamidi

Magnetoplasmonic Lab, Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Abstract- : One of the most important applications of photonic crystal ring resonator are add drop filters that is considered one of the major building blocks for WDM systems. PC ring resonator have many advantages such as scalability in size, flexibility in design, versatility of a ring-shape, low loss with high quality factor, no size-dependent bending loss and high spectral selectivity. In this report, we have been analyzed add drop filters and power splitters based on multiple parallel Photonic Crystal ring resonator. Designed structure can be used as a optimized add drop filter in the wavelength $\lambda = 1.55\mu m$ and power splitter in the $\lambda = 1.65\mu m$.

Keywords: photonic crystal, ring resonator, add drop filters, power splitter

[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-29]

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

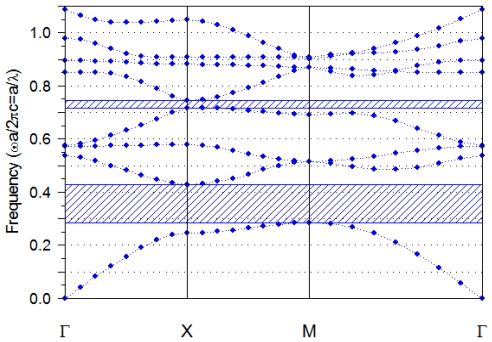
۱- مقدمه

میکرو تشدیدگرهای حلقوی به عنوان یک راه حل قابل اطمینان در سیستم‌های ارتباطی مطرح شده اند[۱] که انتشار موج الکترومغناطیسی در آن‌ها از استفاده از اصل بازتاب کلی داخلی پیروی می‌کند که محدودیت در کاهش ابعاد بعلت افزایش تلفات تشعشعی بصورت نمایی در شعاع حلقه ایجاد می‌کند[۲]. همچنین، عملکرد میکرو تشدیدگر حلقوی به ناهمواری سطح و فاصله‌ی نانومتری بین تشدیدگر حلقوی و موجبر مستقیم بسیار حساس می‌باشد[۳]. از این رو تشدیدگرهای حلقوی بلور فوتونی توجه بسیاری از محققان در سراسر جهان بدلیل ویژگی-هایی مانند بازده، سرعت عملکرد، قابلیت تنظیم در پهنای باند وسیع، انتخاب طیفی بالا، سادگی ساخت، کوچکی و گستره طیفی آزاد بالای آن‌ها، به خود جلب نموده است. قابلیت انعطاف در تنظیم فرکانس، نوع مد تشدیدکننده‌ی بلور فوتونی و کوچک بودن ساختار، استفاده از آن را در مدارهای مجتمع نوری امکان پذیر می‌نماید[۲, ۴-۶]. از این رو با استفاده از بلورهای فوتونی می‌توان تشدیدگرهای حلقوی ساخت که در عین کوچکی دارای ضریب کیفیت بالاست و تلفات تشعشعی نیز به میزان زیادی کاهش یافته می‌یابد[۷, ۸].

۲- طراحی شبکه بلور فوتونی

تمام ساختارهای پیشنهادی، از نوع بلور فوتونی دو بعدی با شبکه‌های مربعی، میله‌های این ساختار از جنس سیلیکون با ضریب شکست $n_1 = 3.59$، محیط اطراف از جنس هوا با ضریب شکست $n_2 = 1$ بمنظور شبیه‌سازی ساختار بلور فوتونی عمل کننده در طول موج‌های مخابراتی انتخاب شده است. همچنین ثابت شبکه و شعاع حفره‌ها را به ترتیب $a = 0.54\mu m$ و $r/a = 0.185$ انتخاب شده است. شکل ۱، ساختار نواری فرکانسی بلور فوتونی که محاسبات آن با استفاده از روش بسط امواج تخت برای مد قطبش TM (میدان الکتریکی عمود با محور میله) انجام شده، را نشان می‌دهد. در این شکل، محور عمودی فرکانس‌های نرمالیزه شده به سرعت نور و محور افقی نقاط تقارن اولین ناحیه بریلیون متصل شده، را نشان می‌دهد. محدوده نوار فرکانسی از $a = 0.284\lambda$ تا $a = 0.429\lambda$ می‌باشد. طول موج‌های متناظر با این ثابت شبکه در محدوده‌ی $1.258\mu m$ تا $1.901\mu m$ قرار می-گیرد.

تشدیدگرهای حلقوی در مقایسه با نقص‌های نقطه‌ای و خطی، به دلایلی چون مقیاس پذیری در اندازه ساختار و پارامترهای زیاد طراحی از جمله شعاع پراکننده‌ها، شعاع میله‌های کوپلینگ، فاصله‌ی میله‌ها و ضریب شکست ساختار، انعطاف پذیری و سازگاری بهتری را در طراحی ساختار ارائه می‌دهند.



شکل ۱: ساختار نواری فرکانسی بلور فوتونی شبکه مربعی با میله سیلیکون برای مد قطبش TE

۳- طراحی تشدیدگر حلقوی بلور فوتونی چندتایی در هندسه‌ی موازی

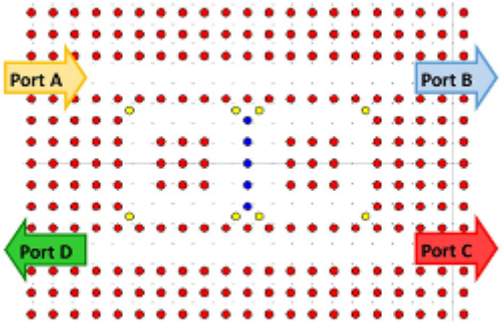
تشدیدگرهای حلقوی دوتایی بلور فوتونی در هندسه‌ی موازی را بر اساس نحوه قرارگیری حلقه‌های تشدیدکننده نسبت بهم و طول تزویج ما بین حلقه‌های تشدیدکننده تقسیم‌بندی می‌نماییم.

حالت اول، حالتی است که حلقه‌های تشدیدگر نسبت به یکدیگر به صورت هم خط آرایش یافته‌اند، بر اساس طول تزویج بین آن‌ها به شش آرایش مختلف طبقه‌بندی می-گردند (شکل ۲) همانگونه که مشاهده می‌شود، طول تزویج ما بین حلقه‌ها از یک میله تا شش میله افزایش یافته است.

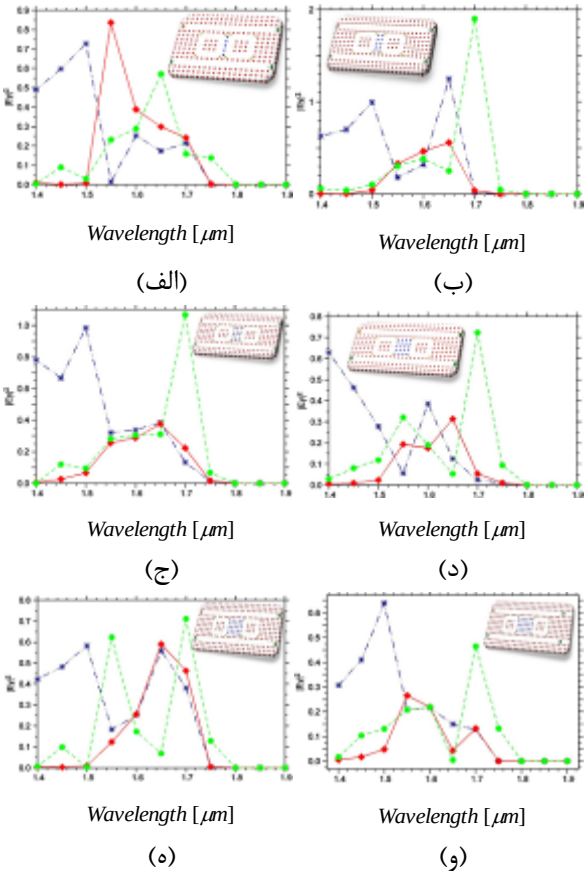
شکل ۲: طبقه بندی تشدیدگر حلقوی دوتایی بر اساس طول تزویج ما بین حلقه‌های تشدیدکننده با $a = 0.54\mu m$ و $R = 0.185a$

[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-29]

کانال‌های خروجی ساختار در شکل ۳ نمایش داده شده است.



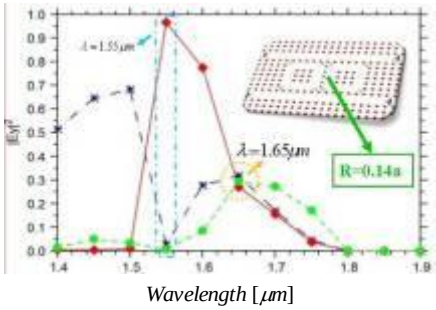
شکل ۳: شماتیکی از نمایش کانال‌های خروجی در ساختار نانو-تشدیدگرحلقوی دوتایی بلورفوتونی در هندسه‌ی موازی



شکل ۴: پاسخ طیفی توان انتقالی ساختار تشدیدگر حلقوی دوتایی بر بلور فوتونی در هندسه‌ی موازی، نمودار خط‌پر (کانال C)، خط تیره (کانال D) و خط تیره – دو نقطه (کانال B)

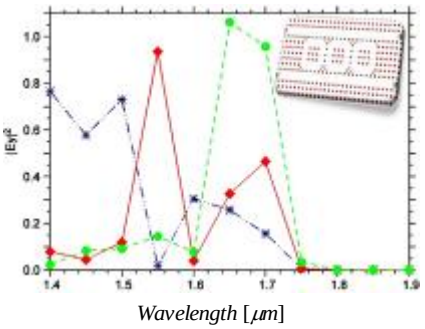
تقریبا هر کدام از ساختارهای طراحی شده در شکل ۴ می‌تواند در ادوات تمام نوری کاربردی باشد. اما در ساختار پیشهادی اول، تحقق هدف فیلتری بیشتر نمایان است. از این رو ساختار، بعنوان یک ساختار مرجع در نظر گرفته شده است. بر همین اساس اثر افزایش طول تزویج جانبی مبنی بر ساختار مرجع در حالت دوم از طبقه بندی تشدیدگرهای حلقوی دوتایی بلور فوتونی در هندسه موازی مورد بررسی قرار گرفت.

حالت (الف) را بعنوان ساختار کاربردی در نظر گرفته، شعاع میله‌های تزویج‌گر را از $R=0.185a$ به $R=0.14a$ تغییر داده و اثر تغییر شعاع میله‌های تزویج را بررسی می‌نماییم.



شکل ۵: بررسی تاثیر تغییر شعاع میله‌های تزویج‌گر بر روی پاسخ طیفی توان انتقالی تشدیدگر حلقوی دوتایی بلور فوتونی در هندسه‌ی موازی

همانگونه که از شکل ۵ مشهود است، با کاهش شعاع میله‌های تزویج‌گر شدت خروجی کانال فرودی (کانال C) در طول موج $\lambda=1.55\mu m$ به مقدار یک و شدت دو کانال خروجی دیگر به مقدار صفر رسیده است. علاوه بر این، در طول موج $\lambda=1.65\mu m$ شدت هر سه کانال خروجی برابر گردیده است. این ساختار بعنوان ساختار بهینه‌ی طراحی، انتخاب شده است. با توجه به شرایط بهینه‌ی شبیه سازی تشدیدگر حلقوی دوتایی حاصل شده، به همین صورت می‌توان تشدیدگر حلقوی سه‌تایی در هندسه‌ی موازی نیز طراحی نمود.

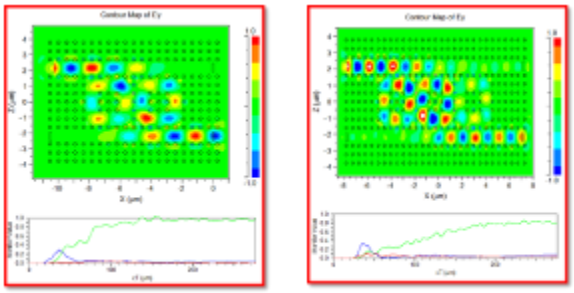


شکل ۶: پاسخ طیفی توان انتقالی تشدیدگر حلقوی سه‌تایی بلور فوتونی در هندسه‌ی موازی

۴- نتایج

[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-29]

نتایج شبیه‌سازی برای تشدیدگر حلقوی دوتایی و سه‌تایی به ترتیب به ازای طول‌موج‌های تشدیدی‌شان $\lambda = 1.55\mu m$ و $\lambda = 1.415\mu m$ در شکل ۷ نشان داده شده است. در مقایسه بین تشدیدگرهای حلقوی چندتایی آرایش یافته به صورت موازی مشاهده می‌شود، که هرکدام از ساختارها در طول موج تشدیدی منحصر بفردشان می‌توانند بعنوان یک فیلتر فرود/ فزود عمل می-نماید.



(ب) (الف)

شکل ۷: نتایج شبیه سازی عددی پاسخ طیفی (الف) تشدیدگر حلقوی دوتایی در $\lambda = 1.55\mu m$، (ب) تشدیدگر حلقوی سه‌تایی در $\lambda = 1.415\mu m$

۵- نتیجه گیری

نانو تشدیدگر حلقوی دوتایی در هندسه‌ی موازی را بر اساس نحوه قرارگیری حلقه‌های تشدیدکننده نسبت بهم و طول تزویج ما بین حلقه‌های تشدیدکننده به دو حالت طبقه بندی نموده ایم. حالت اول، حالتی است که حلقه-های تشدیدگر نسبت به یکدیگر به صورت هم خط آرایش یافته‌اند، بر اساس طول تزویج بین آن‌ها به شش آرایش مختلف طبقه‌بندی می‌گردند. ساختار بهینه زمانی که تنها طول تزویج شامل یک میله باشد، انتخاب می‌گردد.

ساختار طراحی شده در طول موج $\lambda = 1.55\mu m$ همانند یک فیلتر فرود و فزود و در طول موج $\lambda = 1.7\mu m$، شدت هر سه کانال خروجی (B، C و D) برابر می‌گردد که می‌تواند بعنوان یک جداکننده 1×3 بکار رود. همچنین این ساختار دارای پنجره‌ی کاهندگی در محدوده‌ی طول موجی $\lambda = 1.5\mu m$ تا $\lambda = 1.6\mu m$ می‌باشد.

سپس بمنظور مهندسی ساختار طراحی، تاثیر کاهش شعاع میله‌های طول تزویج از $R = 0.185a$ به $R = 0.14a$ مورد بررسی قرار گرفته است. شدت خروجی کانال فرودی در طول موج $\lambda = 1.55\mu m$ به طور دقیق به مقدار یک و شدت دو کانال خروجی دیگر دقیقا به مقدار صفر رسیده است. علاوه بر این، در طول موج $\lambda = 1.65\mu m$ شدت هر سه کانال خروجی برابر گردیده است. ساختار طراحی شده بر مبنای نانو تشدیدگر حلقوی دوتایی می‌تواند بعنوان یک فیلتر افزاینده و کاهنده و یک جداکننده‌ی طول موجی 1×3 بهینه بکار گرفته شود. نیز پنجره‌ی کاهندگی با کاهش شعاع به محدوده‌ی طول موجی $\lambda = 1.5\mu m$ تا $\lambda = 1.65\mu m$ تغییر یافته است.

۶-مراجع

[1] Little B.E., Laine J. P., and Chu S.T., *Surface-roughness-induced contradirectional coupling in ring and disk resonators*, **Opt. Lett.** 22 (1997) 4-6.

[2] Qiang Z., Zhou W., and Soref R.A., *Optical add-drop filters based on photonic crystal ring resonators*, **Opt. Express**. 15 (2007) 1823-1831.

[3] Liu C.-Y., *Tunable ultracompact electro-optical photonic crystal ring resonator*, **Journal of Modern Optics**. 60 (2013) 1337-1342.

[4] Kim S., *Two-dimensional photonic crystal hexagonal waveguide ring laser*, **Applied Physics Letters**. 81 (2002) 2499-2501.

[5] Chiu W.Y., *A photonic crystal ring resonator formed by SOI nano-rods*, **Opt. Express**. 15 (2007) 15500-15506.

[6] Mansouri-Birjandi M.A., Moravvej-Farshi M.K., and Rostami A., *Ultrafast low-threshold all-optical switch implemented by arrays of ring resonators coupled to a Mach-Zehnder interferometer arm: based on 2D photonic crystals*, **Applied Optics**. 47 (2008) 5041-5050.

[7] Zhang Z. and Qiu M., *Compact in-plane channel drop filter design using a single cavity with two degenerate modes in 2D photonic crystal slab*, **Opt. Express**. 13 (2005) 2596-2604.

[8] Goldring D., Levy U. and Mendlovic D., *Highly dispersive micro-ring resonator based on one dimensional photonic crystal waveguide design and analysis*, **Opt. Express**. 15 (2007) 3156-3168.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-07-29]