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

افزایش پهنای باند در CROW تقویت کننده رامان

مهدی محمدرحیم زاده[۱]،دکتر فاطمه بازوبند[۲]

۱.کارشناسی ارشد مهندسی الکترونیک،دانشگاه آزاد فسا

۲. هیات علمی گروه فیزیک- دانشکده علوم پایه -دانشگاه فسا- ایران

چکیده:دراین مقاله ساختاری از میکروتشدیدگرهای حلقوی جفت شده با نام CROW بعنوان تقویت‌کننده رامان بررسی می‌شود. استفاده از تشدیدگرهای حلقوی برای تقویت سیگنال در مدارهای مجتمع نوری گزینه مناسبی است چرا که به‌علت خودانباشتگی میدان در آنها و افزایش شدت، اثرات غیرخطی از جمله اثر رامان ظاهرمی‌شوند و با همراهی پمپ مناسب با سیگنال موردنظر می‌توان آن را تقویت‌کرد. دراین تحقیق افزایش پهنای منطقه طیفی تقویت‌شده بواسطه اثر رامان موردنظراست. تاثیر تعداد حلقه‌ها و ضرایب جفت‌شدگی بین آنها جهت افزایش پهنای باند تقویت‌شده مورد بررسی قرارخواهدگرفت. معادلات حاکم بر میدان‌ها را با استفاده از روش ماتریسی نوشته و با بررسی طیف فرکانسی کانال خروجی با استفاده از نرم افزار متمتیکا تقویت سیگنال ارسالی را بررسی می‌کنیم.

کلید واژه: تقویت‌کننده رامان، میکروتشدیدگرهای حلقه‌ای، ضرایب جفت‌شدگی

Increasing the Bandwidth of CROW Raman Amplifier

Mehdi Mohammad-Rahimzadeh[۱], Fatemeh Bazouband[۲]

Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University of Fasa Branch, Fasa, Iran, Mehdi.mr.rahimzadeh@gmail.com
Department of Physics, Faculty of Science, Fasa University, Fasa, Iran, fbazooband@gmail.com

Abstract: In this study the combination of coupled micro-ring resonators named as CROW is investigated as Raman amplifier. Utilizing the ring resonators in the integrated optical circuits are the appropriate candidates for signal amplification. Because the self-feedback of light inside the rings leads to field enhancement and appearing the nonlinear effects like Raman effect and the desired signal can be amplified by accompanying the appropriate pump. In this paper increasing the bandwidth of amplification by Raman effect is desired. The effect of number of rings and coupling coefficients between them on increasing the amplified bandwidth are explored. The governing equations of fields are written by Matrix method. The frequency spectrum of output channel is studied by Mathematica software to investigate the signal amplification.

Keywords: Raman amplifier, micro-ring resonators, coupling coefficients.

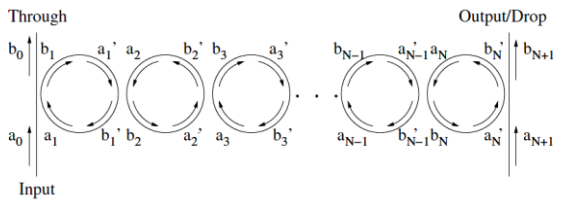
[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-26]

مقدمه

با توجه به سرعت بالای نورو امکان ساخت افزاره‌های مجتمع نوری برای انتقال داده، برخی از سامانه‌های الکترونیکی به تدریج جای خود را به سامانه‌های نوری داده‌اند. تشدیدگرهای حلقه‌ای به‌عنوان اجزای موثری در سیستم-های مخابرات نوری مورد توجه قرارگرفته‌اند [۱]. تقویت سیگنال یکی از کارکردهای اصلی سیستم‌های نوری روی یک تراشه می‌باشد. تقویت‌کننده‌های رامان به عنوان عناصری مهم در سیستم‌های مخابرات نوری بر اساس بهره رامان که نتیجه‌ای از پراکندگی رامان القایی است عمل می‌کنند. ترکیبات تشدیدگرهای حلقوی بخاطر پس‌خوران نوری که در حلقه‌ها اتفاق می‌افتد بعنوان تقویت‌کننده‌های رامان استفاده‌شده‌اند [۲-۴]. در این مقاله ترکیبی از تشدیدگرهای حلقه‌ای به نام CROW همچون مرجع [۳] به‌عنوان تقویت‌کننده رامان مورد استفاده قرارگرفته با این تفاوت که در مرجع [۳] رویکرد یافتن پمپ مناسب مورد نظر بوده و در این مقاله با بکارگیری پمپ مناسب حاصل از مرجع [۳] به دنبال افزایش پهنای باند تقویت می‌باشیم.

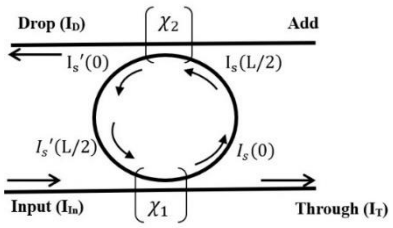
معرفی ساختار و معادلات میدان

تشدیدگر حلقه‌ای موجبری به شکل حلقه است که نور از طریق موجبر مستقیم به درون حلقه وارد یا از ان خارج می‌گردد. زمانی‌که محیط حلقه مضربی از طول موج باشد، شدت میدان درون حلقه بر اثر پس‌خوران مثبتی که حاصل می‌شود، چندین برابر بزرگتر شده و این طول‌موج‌ها بعنوان طول موج تشدید ساختار شناخته می‌شوند. این حلقه‌ها می‌توانند به طریق مختلف به هم جفت شوند. در این تحقیق



شکل ۱: ساختار یک CROW متشکل از N میکروحلقه

ساختار CROW که زنجیره ای از حلقه‌ها بصورت سری به یکدیگر جفت شده‌اند را مورد بررسی قرارمی‌دهیم شکل (۱). حلقه‌های ابتدایی و انتهایی به موجبر تختی چون فیبر نوری جفت شده‌اند و نور به علت جفت‌شدگی بین تشدید-گرهای همجوار منتشر می‌شود. برای سادگی نشان دادن میدانها ساختار تک حلقه و دوموجبرتخت در شکل (۲) نشان داده شده‌است. از کانال ورودی I_{IN} پمپ اولیه به همراه سیگنال وارد موجبر تخت شده و از منطقه جفت‌شدگی وارد حلقه می‌شود. طول‌موج‌های تشدید از کانال Drop خارج شده (کانال پیاده‌شونده) و درنتیجه در کانال Through فیلتر می‌شوند. از این‌رو در این تحقیق کانال Drop بعنوان کانال انتقالی بررسی می‌شود.



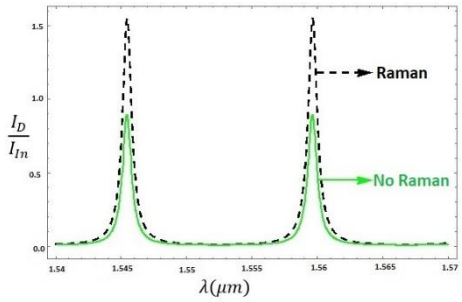
شکل ۲: نمایش میدان‌ها در ساختار تک حلقه و دو موجبر

شدت میدان سیگنال $I_s(\cdot)$ زمانی‌که به $I_s(L)$ می‌رسد طبق رابطه (۱) تحت تاثیر ضریب بهره رامان gr و شدت پمپ I_{po} به مقدار $I_s(L)$ افزایش می‌یابد.

$$I_s(L) = I_s(\cdot)\exp(g_R I_{po} - \alpha)L/۲ \quad (۱)$$

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-26]

α ضریب افت حلقه است که دراین مقاله ازآن صرفه‌نظر شده‌است. دیگر مقادیر ثابت استفاده شده در این تحقیق عبارت‌اند از شدت پمپ اولیه: $ip0 = ۲۰ * ۱۰^{۱۴} W/m^{۲}$ محیط حلقه $L = ۵۰$ و جنس حلقه‌ها از سیلیکون با ضریب شکست $n = 3.4$ می‌باشد. در شکل (۳) نمودار شدت میدان کانال انتقالی ساختار تک حلقه و دوموجبر با ضرایب جفت‌شدگی $\chi_۱ = \chi_۲ = ۰.٤$ برای حالتی که اثر رامان اعمال‌شده (نمودار خط چین) با زمانی‌که این اثر لحاظ نشده (نمودار خط پر) مقایسه شده‌است. به واسطه اثر رامان سیگنال حدود یک و نیم برابر تقویت شده‌است. درواقع بواسطه همراهی پمپ مناسب با سیگنالهای مورد نظر که همان طول‌موج‌های تشدید ساختار هستند اثرغیرخطی رامان در حلقه ظاهر شده و منجر به انتقال انرژی پمپ به سیگنال و تقویت آن می‌شود.



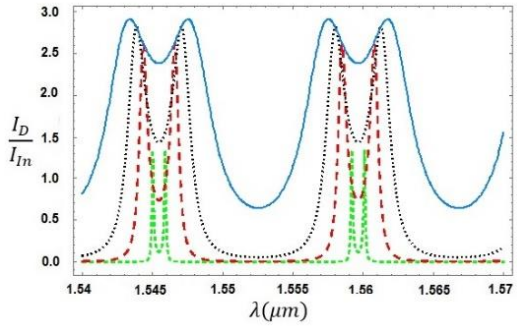
شکل ۳: مقایسه شدت میدان بهنجار شده کانال Drop در حضور اثررامان (نمودار خط‌چین) با حالتی‌که این اثر لحاظ نشده است (نمودار خط‌پر).

در ادامه به‌دنبال تقویت بیشتر سیگنال و همچنین افزایش پهنای منطقه تقویت شده هستیم و ساختار با تعداد حلقه های بیشتر را مورد بررسی قرار می‌دهیم. برای یافتن میدان-های انتشاری درون حلقه‌ها و همچنین میدان کانال‌های خروجی، با استفاده از تابع انتقال منطقه جفت شدگی [۵] ماتریس انتقال حلقه Nام به N+۱ ام را بر اساس نمادهای میدان شکل (۱) بصورت رابطه (۲) و با ضرب این ماتریس به تعدا حلقه‌ها میدان خروجی از کانال انتقالی را بدست می‌آوریم. با رسم طیف فرکانسی این کانال با نرم‌افزار متمتیکا به بررسی رفتار آن می‌پردازیم.

$$\begin{pmatrix} E_{a,j+1} \\ E_{b,j+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{i}{\chi_j} e^{\frac{(i\kappa-\alpha)L_{j+1}}{2}} & \frac{-ir_j}{\chi_j} e^{\frac{(i\kappa-\alpha)L_{j+1}}{2}} \\ \frac{ir_j}{\chi_j} e^{\frac{(-i\kappa+\alpha)L_{j+1}}{2}} & \frac{-i}{\chi_j} e^{\frac{(-i\kappa+\alpha)L_{j+1}}{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_{a,j} \\ E_{b,j} \end{pmatrix} \quad (2)$$

بحث و بررسی نتایج

در شکل (۳) دیدیم که همراهی پمپ مناسب با سیگنال مورد نظر منجر به ظهور اثر غیرخطی رامان و تقویت سیگنال شد. در این بخش برای افزایش پهنای منطقه تقویت‌شده تاثیر تعداد حلقه‌ها و ضرایب جفت‌شدگی مختلف را بررسی خواهیم‌کرد. در شکل (۴) شدت میدان انتقالی ساختار CROW با دوحلقه برای ضرایب جفت-شدگی مختلف با یکدیگر مقایسه شده‌است. مقادیر ضرایب جفت‌شدگی $\chi = ۰.۲, ۰.۵, ۰.۷\ ۰.۹$ به‌ترتیب در نمودارهای سبز، قرمز، سیاه و آبی رنگ درنظرگرفته شده‌است. در نمودار آبی رنگ ($\chi = ۰.۹$) شاهد افزایش دو برابری شدت میدان به نسبت نمودار سبز رنگ ($\chi = ۰.۲$) می باشیم. چرا که در ضرایب جفت‌شدگی بزرگتر میدان بیشتری از موجبر مستقیم وارد حلقه‌ها شده و انباشتگی میدان درون حلقه نیز بیشتر اتفاق می‌افتد.



شکل ۴: مقایسه شدت انتقالی CROW دوحلقه برای ضرایب جفت‌شدگی مختلف

برای بررسی تعداد حلقه‌های بیشتر در شکل (۵) تقویت کننده پنج حلقه با اثررامان (نمودار آبی رنگ) و ساختار پنج حلقه بدون اثر رامان(نمودار مشکی رنگ) با هم مقایسه می‌شود. در این مقایسه، شدت میدان بهنجار شده خروجی

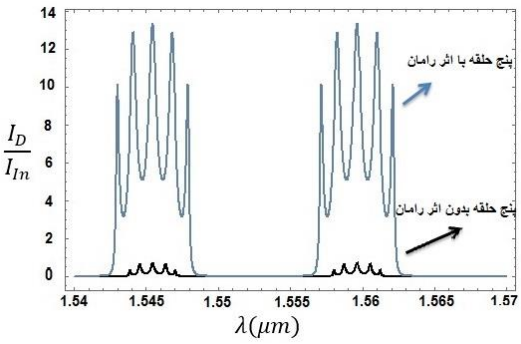
[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-26]

زمانی‌که اثر رامان داریم نسبت به حالتی که این اثر رامان وجود ندارد تقریبا چهارده برابر شده‌است در حالی‌که در شکل (۳) با وجود تک‌حلقه تنها شاهد تقویت ۱/۵ برابری سیگنال بودیم.

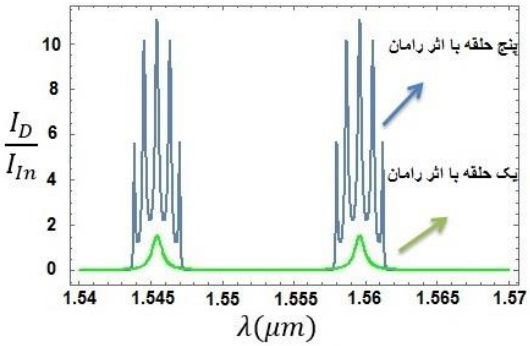
درنهایت برای بهتر دیده شدن تاثیر تعداد حلقه‌ها در شکل (۶) نمودار شدت بهنجار شده کانال انتقالی برای ساختار CROW پنج حلقه با یک حلقه مقایسه شده‌است. همانطور که ملاحظه می‌شود، با وجود پنج حلقه شدت میزان تقویت سیگنال‌های تشدید ساختار نسبت به تک حلقه بیش از پنج برابر شده‌است و علاوه بر تقویت قابل ملاحظه سیگنال، افزایش پهنای باند تقویت نیز دیده می‌شود. چراکه انباشتگی میدان در درون حلقه‌های متوالی اتفاق افتاده و بواسطه مناطق جفت‌شدگی بین حلقه‌ها این میدان‌های انباشته به حلقه‌های مجاور منتقل شده و شامل انباشتگی بیشتری می‌شود. بنابراین علاوه بر تقویت سیگنال که بخاطر حضور پمپ و ظهور اثر غیرخطی رامان رخ می‌دهد، میدان سیگنال با انتقال این انباشتگی‌ها بواسطه مناطق جفت‌شدگی از حلقه‌ای به حلقه دیگر نیز خود را تقویت می‌کنند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق ساختاری از تشدیدگرهای حلقوی با نام CROW که حلقه‌ها بطور سری به یکدیگر جفت‌شده‌اند به عنوان تقویت‌کننده رامان مورد مطالعه قرارگرفت. ساختار با تک‌حلقه خود را بعنوان نماینده‌ای مناسب برای تقویت سیگنال نشان داد چرا که با همراهی پمپ مناسب و ظهور اثرغیرخطی رامان شدت میدان خروجی حدود ۲ برابر افزایش پیدا کرد. تاثیر ضرایب جفت‌شدگی مختلف بر میزان تقویت مورد بررسی قرارگرفت. در نهایت با بکارگیری ساختار پنج حلقه در ضرایب جفت‌شدگی مناسب افزایش ۱۴ برابری شدت میدان نسبت به‌حالتی که اثر رامان وجود نداشت ملاحظه شد. پهنای منطقه تقویت شده نیز نسبت به ساختار تک حلقه حدود پنج برابر افزایش یافت.



شکل ۵: مقایسه شدت انتقالی CROW پنج حلقه باوجود اثر رامان و بدون اثر رامان.کلیه ضرایب جفت‌شدگی ۰/۶ است.



شکل (۶) مقایسه شدت انتقالی CROW تقویت کننده رامان پنج حلقه با تک حلقه. کلیه ضرایب جفت‌شدگی ۰/۶ است.

مرجع‌ها

[۱] J. Heebner, R. Grover, and T. Ibrahim; “Optical Microresonators Theory, Fabrication, and Applications”, Springer, (۲۰۰۸), Chap. ۲,۳, ۷,۲۰۰۰.

[۲] A. Seyedfaraji, *Opt. and Quantum Electron.* **۵۲**, ٤٧٨ (۲۰۲۰).

[۳] Sh. Keyvaninia, , E. Daghigh Ahmadi, F. Farman, R. Taghiabadi and AR Bahrampour, In Solid State Lasers and Amplifiers III proceeding, ٦٩٩٨ (۲۰۰۸).

[٤] AR. Bahrampour, F. Bazouband, V. Nickfarjam, *Opt. Commun.* **۲۸۳**, ۲۹۳۹ (۲۰۱۰).

[٥] D. Marcuse, Bell Syst.Tech J. **٥٢**, ٨١٧(١٩٧٣).

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-26]