



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



افزایش پهنای باند در CROW تقویت کننده رامان

مهدی محمد رحیم 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: در این مقاله ساختاری از میکروتشدیدگرهای حلقوی جفت شده با نام CROW بعنوان تقویت کننده رامان بررسی می شود. استفاده از تشدیدگرهای حلقوی برای تقویت سیگنال در مدارهای مجتمع نوری گزینه مناسبی است چرا که به علت خودانباشتگی میدان در آنها و افزایش شدت، اثرات غیرخطی از جمله اثر رامان ظاهر می شوند و با همراهی پمپ مناسب با سیگنال مورد نظر می توان آن را تقویت کرد. در این تحقیق افزایش پهنای منطقه طیفی تقویت شده بواسطه اثر رامان مورد نظر است. تاثیر تعداد حلقه ها و ضرایب جفت شدگی بین آنها جهت افزایش پهنای باند تقویت شده مورد بررسی قرار خواهد گرفت. معادلات حاکم بر میدان ها 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 می کنیم.

کلید واژه: تقویت کننده رامان، میکروتشدیدگرهای حلقه ای، ضرایب جفت شدگی

Increasing the Bandwidth of CROW Raman Amplifier

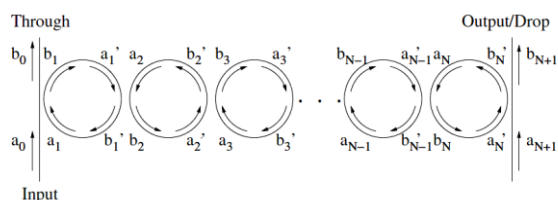
Mehdi Mohammad-Rahimzadeh^۱, Fatemeh Bazouband^۲

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, fbazouband@gmail.com

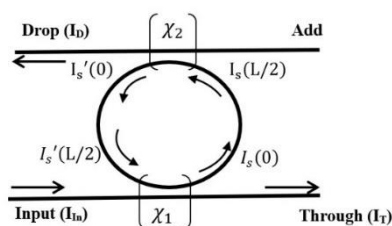
Abstract: In this study the combination of coupled micro-ring resonators named as CROW is investigated as Raman amplifier. Utilizing the ring resonators in the integrated optical circuits are the appropriate candidates for signal amplification. Because the self-feedback of light inside the rings leads 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.



شکل ۱: ساختار یک CROW متشکل از N میکرو حلقه

ساختار CROW که زنجیره ای از حلقه ها بصورت سری به یکدیگر جفت شده اند را مورد بررسی قرار می دهیم شکل (۱). حلقه های ابتدایی و انتهایی به موجب تختی چون فیبر نوری جفت شده اند و نور به علت جفت شدگی بین تشدیدگرهای همجوار منتشر می شود. برای سادگی نشان دادن میدانها ساختار تک حلقه و دوموجبر تخت در شکل (۲) نشان داده شده است. از کانال ورودی I_{IN} پمپ اولیه به همراه سیگنال وارد موجب تخت شده و از منطقه جفت شدگی وارد حلقه می شود. طول موج های تشدید از کانال Drop خارج شده (کانال پیاده شونده) و در نتیجه در کانال Through فیلتر می شوند. از این رو در این تحقیق کانال Drop بعنوان کانال انتقالی بررسی می شود.



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

شدت میدان سیگنال $I_s(0)$ زمانی که به $I_s(L)$ می رسد طبق رابطه (۱) تحت تاثیر ضریب بهره رامن gr و شدت پمپ I_{po} به مقدار $I_s(L)$ افزایش می یابد.

$$I_s(L) = I_s(0) \exp(gr I_{po} - \alpha)L/2 \quad (1)$$

مقدمه

با توجه به سرعت بالای نور و امکان ساخت افزارهای مجتمع نوری برای انتقال داده، برخی از سامانه های الکترونیکی به تدریج جای خود را به سامانه های نوری داده اند. تشدیدگرهای حلقه ای به عنوان اجزای موثری در سیستم های مخابرات نوری مورد توجه قرار گرفته اند [۱]. تقویت سیگنال یکی از کارکردهای اصلی سیستم های نوری روی یک تراشه می باشد. تقویت کننده های رامن به عنوان عناصری مهم در سیستم های مخابرات نوری بر اساس بهره رامن که نتیجه ای از پراکندگی رامن القایی است عمل می کنند. ترکیبات تشدیدگرهای حلقوی بخاطر پس خوران نوری که در حلقه ها اتفاق می افتد بعنوان تقویت کننده های رامن استفاده شده اند [۲-۴]. در این مقاله ترکیبی از تشدیدگرهای حلقه ای به نام CROW همچون مرجع [۳] به عنوان تقویت کننده رامن مورد استفاده قرار گرفته 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 می باشیم.

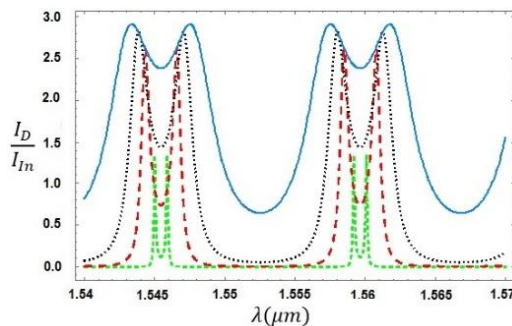
معرفی ساختار و معادلات میدان

تشدیدگر حلقه ای موجبری به شکل حلقه است که نور از طریق موجبر مستقیم به درون حلقه وارد یا از آن خارج می گردد. زمانی که محیط حلقه مضربی از طول موج باشد، شدت میدان درون حلقه بر اثر پس خوران مثبتی که حاصل می شود، چندین برابر بزرگتر شده و این طول موج ها بعنوان طول موج تشدید ساختار شناخته می شوند. این حلقه ها می توانند به طریق مختلف به هم جفت شوند. در این تحقیق

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

بحث و بررسی نتایج

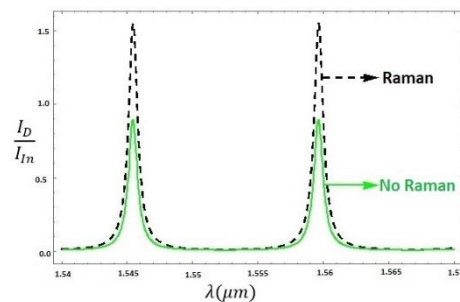
در شکل (۳) دیدیم که همراهی پمپ مناسب با سیگنال مورد نظر منجر به ظهور اثر غیرخطی رامان و تقویت سیگنال شد. در این بخش برای افزایش پهنای منطقه تقویت شده تاثیر تعداد حلقه‌ها و ضرایب جفت‌شدگی مختلف را بررسی خواهیم کرد. در شکل (۴) شدت میدان انتقالی ساختار CROW با دو حلقه برای ضرایب جفت‌شدگی مختلف با یکدیگر مقایسه شده است. مقادیر ضرایب جفت‌شدگی $\chi = 0.2, 0.5, 0.7, 0.9$ به ترتیب در نمودارهای سبز، قرمز، سیاه و آبی رنگ در نظر گرفته شده است. در نمودار آبی رنگ ($\chi = 0.9$) شاهد افزایش دو برابری شدت میدان به نسبت نمودار سبز رنگ ($\chi = 0.2$) می باشیم. چرا که در ضرایب جفت‌شدگی بزرگتر میدان بیشتری از موجبر مستقیم وارد حلقه‌ها شده و انباشتگی میدان درون حلقه نیز بیشتر اتفاق می افتد.



شکل ۴: مقایسه شدت انتقالی CROW دو حلقه برای ضرایب جفت‌شدگی مختلف

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

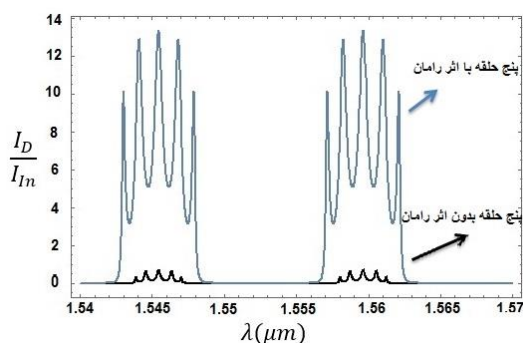
α ضریب افت حلقه است که در این مقاله از آن صرفه نظر شده است. دیگر مقادیر ثابت استفاده شده در این تحقیق عبارتند از شدت پمپ اولیه: $ip0 = 20 \times 10^4 W/m^2$ محیط حلقه $L = 50 \mu m$ و جنس حلقه‌ها از سیلیکون با ضریب شکست $n = 3.4$ می باشد. در شکل (۳) نمودار شدت میدان کانال انتقالی ساختار تک حلقه و دوموجبر با ضرایب جفت‌شدگی $\chi_1 = \chi_2 = 0.4$ برای حالتی که اثر رامان اعمال شده (نمودار خط چین) با زمانی که این اثر لحاظ نشده (نمودار خط پر) مقایسه شده است. به واسطه اثر رامان سیگنال حدود یک و نیم برابر تقویت شده است. درواقع بواسطه همراهی پمپ مناسب با سیگنالهای مورد نظر که همان طول موجهای تشدید ساختار هستند اثر غیرخطی رامان در حلقه ظاهر شده و منجر به انتقال انرژی پمپ به سیگنال و تقویت آن می شود.



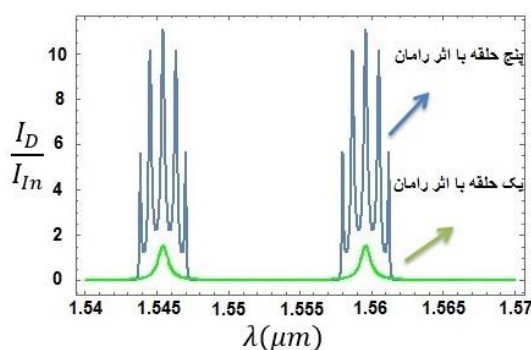
شکل ۳: مقایسه شدت میدان بهنجار شده کانال Drop در حضور اثر رامان (نمودار خط چین) با حالتی که این اثر لحاظ نشده است (نمودار خط پر).

در ادامه به دنبال تقویت بیشتر سیگنال و همچنین افزایش پهنای منطقه تقویت شده هستیم و ساختار با تعداد حلقه های بیشتر را مورد بررسی قرار می دهیم. برای یافتن میدان های انتشاری درون حلقه‌ها و همچنین میدان کانال های خروجی، با استفاده از تابع انتقال منطقه جفت شدگی [۵] ماتریس انتقال حلقه N ام به $N+1$ ام را بر اساس نمادهای میدان شکل (۱) بصورت رابطه (۲) و با ضرب این ماتریس به تعداد حلقه‌ها میدان خروجی از کانال انتقالی را بدست می آوریم. با رسم طیف فرکانسی این کانال با نرم افزار متمیتیکا به بررسی رفتار آن می پردازیم.

ساختار پنج حلقه در ضرایب جفت‌شدگی مناسب افزایش ۱۴ برابری شدت میدان نسبت به حالتی 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 با وجود 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, ۴۷۸ (۲۰۲۰).
- [۳] Sh. Keyvaninia, E. Daghigh Ahmadi, F. Farman, R. Taghiabadi and AR Bahrampour, In Solid State Lasers and Amplifiers III proceeding, ۶۹۹۸ (۲۰۰۸).
- [۴] AR. Bahrampour, F. Bazouband, V. Nickfarjam, *Opt. Commun.* ۲۸۳, ۲۹۳۹ (۲۰۱۰).
- [۵] D. Marcuse, *Bell Syst. Tech. J.* ۵۲, ۸۱۷ (۱۹۷۳).

زمانی که اثر رامان داریم نسبت به حالتی که این اثر رامان وجود ندارد تقریباً چهارده برابر شده است در حالی که در شکل (۳) با وجود تک حلقه تنها شاهد تقویت ۱/۵ برابری سیگنال بودیم.

در نهایت 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 شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، با وجود پنج حلقه شدت میزان تقویت سیگنال‌های تشدید ساختار نسبت به تک حلقه بیش از پنج برابر شده است 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 تقویت کننده رامان مورد مطالعه قرار گرفت. ساختار با تک حلقه خود را بعنوان نماینده‌ای مناسب برای تقویت سیگنال نشان داد چرا که با همراهی پمپ مناسب و ظهور اثر غیرخطی رامان شدت میدان خروجی حدود ۲ برابر افزایش پیدا کرد. تاثیر ضرایب جفت‌شدگی مختلف بر میزان تقویت مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت با بکارگیری