بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۴-۱۲ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

بررسی رفتار حرارتی ساختار ریزحلقه مبتنی بر موجبر بازتابی براگ ربع‌موجی در تولید هارمونی دوم

مجتبی گندم‌کار [۱،*]، مرتضی حاجتی [۲]

[۱،*] دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور دزفول، gandomkar@jsu.ac.ir
[۲] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی برق الکترونیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، m.hajati@gmail.com

چکیده - در این مقاله، تولید هارمونی دوم نور در ساختار تشدیدکننده‌ی ریزحلقه با موجبر بازتابی براگ ربع‌موجی حلقوی بررسی و رفتار حرارتی آن با در نظر گرفتن اثرات ترمواپتیک به روش عددی المان محدود شبیه‌سازی خواهد شد. ساختار پیشنهادی از خاصیت پاشندگی بسیار قوی موجبر بازتابی براگ برای بهبود تطبیق فاز و افزایش راندمان تولید هارمونی دوم استفاده می‌کند اما نسبت به ساختار مشابه با موجبر $AlGaAs/AlO_x$ حساسیت دمایی بیشتری از خود نشان می‌دهد. در این بررسی نشان داده می‌شود که با حدود ۶ درجه سانتی‌گراد تغییر در دمای محیط، می‌توان بین دو طول‌موج فعال مجاور در تولید هارمونی دوم سوئیچ کرد. همچنین امکان اصلاح خطای ساخت موجبر با جبران حدود ۴۰ نانومتر خطا در عرض موجبر به روش تنظیم حرارتی بررسی و تأیید می‌شود.

کلید واژه- تشدیدکننده‌های ریزحلقه، تولید هارمونی دوم، موجبر بازتابی براگ، اثر ترمواپتیک، سوئیچ حرارتی، تنظیم حرارتی.

Thermal Analysis of Bragg Reflection Waveguide based Microrings for Second Harmonic Generation

Mojtaba Gandomkar [1,*] and Morteza Hajati [2]

[1,*] *Department of Electrical and Computer Engineering, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran, gandomkar@jsu.ac.ir*
[2] *M.Sc. in Electronis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Iran.*

Abstract- In this paper, second harmonic generation (SHG) in microring (MR) resonator with Bragg reflection waveguide (BRW) is investigated numerically using finite element method. Our proposed structure uses strong modal dispersion properties of BRW for enhancement of SHG process in microrings MRs. By considering thermo-optic effect, we show that the proposed device is more sensitive to temperature in comparison with previously studied AlGaAs/AlOx waveguide, which makes it more suitable for use in thermal applications. According to the simulation results, six degrees of centigrade is sufficient for switching between active wavelengths of the structure and thermal tuning. Thermal compensation of fabrication tolerances of the structure is also investigated.

Keywords: Bragg reflection waveguides, microring resonator, second harmonic generation, thermal tuning, thermal switching.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

۱- مقدمه

امروزه با رشد روش‌های ساخت قطعات و مدارهای مجتمع نوری و تولید موجبرهای نیم‌رسانا در ابعاد کوچک، راه‌های مختلفی برای افزایش راندمان تولید هارمونی دوم در موجبرها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در ده سال اخیر تحقیقات مختلفی در مورد تولید هارمونی دوم نور در ریزحلقه‌ها و ریزصفحه‌ها به صورت تئوری و عملی گزارش شده است [۱-۵]. در این مقاله قصد داریم با قرار دادن موجبر بازتابی براگ ربع‌موجی از جنس AlGaAs/GaAs در ساختار ریزحلقه، اثر تغییر دمای محیط بر رفتار ساختار پیشنهادی خود را در تولید هارمونی دوم بررسی کنیم. ساختار پیشنهادی برای تولید هارمونی دوم از طول‌موج مخابراتی λ^{ω} = ۱٫۵۵ میکرومتر به طول‌موج $\lambda^{2\omega}$ = ۰٫۷۷۵ میکرومتر طراحی شده است.

در تولید هارمونی دوم مسأله تطبیق فاز از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. تاکنون برای جبران پاشندگی ماده، پاشندگی موجبر، و پاشندگی ناشی از خمیدگی و رسیدن به شرایط تطبیق فاز در ریزحلقه‌ها راه‌های مختلفی مانند استفاده از پاشندگی مد [۱] و روش تطبیق فاز دو شکستی با یک ساختار چندلایه AlGaAs/AlO_x/AlGaAs [۲] پیشنهاد شده است. در این مقاله، از موجبر بازتابی براگ برای این کار در ریزحلقه استفاده می‌شود.

موجبر بازتابی براگ یک موجبر چندلایه از جنس AlGaAs/GaAs است که برای برقراری شرایط تطبیق فاز بین طول موج پایه و هارمونی دوم، از مد بازتاب داخلی کلی در هارمونی پایه و از مد بازتاب براگ در هارمونی دوم استفاده می‌کند. استفاده از مد بازتاب براگ در هارمونی دوم سبب کاهش قابل توجه ضریب شکست مؤثر موجبر در طول‌موج هارمونی دوم (حتی کمتر از ضریب شکست همه لایه‌ها) شده و با وجود پاشندگی زیاد، امکان تطبیق فاز موج‌های هارمونی پایه و دوم را فراهم می‌کند [۶].

موجبر بازتابی براگ، یک موجبر تک‌جنس محسوب می‌شود و برخلاف موجبر AlGaAs/AlO_x تلفات ناشی از زبری سطوح بین لایه‌ها را نخواهد داشت. در این موجبر همپوشانی بین نورهای تعامل کننده‌ی درون ساختار، به دلیل تطبیق فاز مدهای عرضی مرتبه اول، نسبت به تطبیق فاز با پاشندگی مد افزایش می‌یابد [۶-۷]. همچنین همه انرژی نوری در ماده غیرخطی AlGaAs حرکت می‌کند و راندمان تبدیل انرژی در آن بالاتر است. در این موجبر پارامترهای طراحی متنوعی از جمله ضخامت لایه‌ها، جنس لایه‌ها و شعاع حلقه برای بهینه کردن کارایی آن فراهم است. بعلاوه، این ساختار برای مجتمع‌سازی یکپارچه با ادوات الکترونیک نوری چندلایه نیز مناسب می‌باشد.

در این ساختار، تغییر دما به دلیل پدیده ترمواپتیک باعث تغییر ضریب شکست مواد به کار رفته در لایه‌های مختلف ساختار موجبر شده و ضریب شکست مؤثر قطعه را تغییر می‌دهد. به این ترتیب طول‌موج‌های تشدید ریزحلقه و در نهایت طول‌موج فعال قطعه تغییر خواهد کرد. در ادامه ضمن بررسی اثرات دمایی بر کارایی ساختار، اهمیت کنترل دما در ساختار ریزحلقه نشان داده خواهد شد.

لازم است ذکر شود تلفات خطی در تعیین طول‌موج فعال قطعه که موضوع این مقاله است دخالت نمی‌کند. به همین دلیل برای سادگی در بیان رفتار قطعه، اثر تلفات درون ساختار موجبر ریزحلقه در نظر گرفته نشده و به مرجع [۲] ارجاع داده می‌شود.

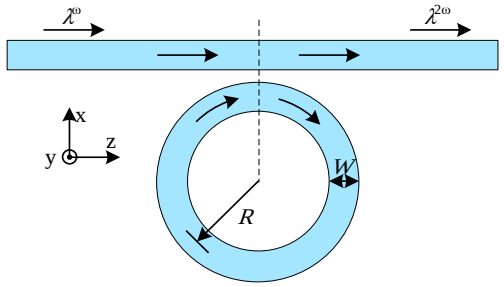
۲- ساختار موجبر پیشنهادی

نمایی از افزاره پیشنهادی در شکل ۱ نمایش داده شده که از یک ریزحلقه تک‌کاناله تشکیل شده است. در این ساختار ، نور ورودی در هارمونی پایه با قطبش TE و با فرکانس زاویه‌ای ω_p وارد قطعه شده و حین چرخش در موجبر حلقوی غیرخطی، نوری با قطبش TM و با فرکانس زاویه‌ای هارمونی دوم $\omega_s = 2\omega_p$ تولید می‌کند.

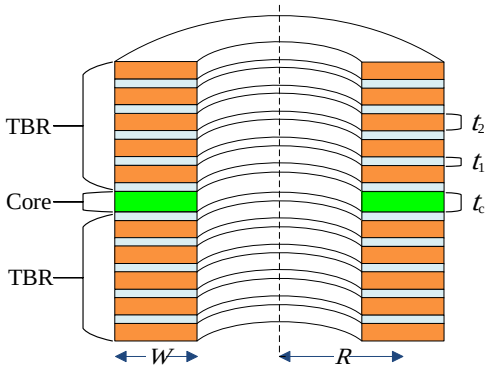
از میان انواع مختلف موجبرهای بازتابی براگ [۶-۷]، ما در این مقاله از موجبر بازتابی براگ ربع‌موجی استفاده کرده‌ایم [۶]. در این نوع از موجبرها، آینه‌های بازتاب دهنده براگ بالا و پایین از توالی دو لایه با ضخامت t_1 و t_2 معادل یک‌چهارم طول‌موج نور در ماده تشکیل شده‌اند. هسته موجبر با ضخامت t_c در میان این دو آینه قرار دارد (شکل ۲). به دلیل وجود رابطه ربع‌موجی، معادلات پاشندگی مدهای عرضی در هارمونی پایه و هارمونی دوم ساده‌تر شده و این کار به تحلیل راحت‌تر این موجبرها منجر شده است.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]



شکل ۱: ساختار ریزحلقه برای تولید هارمونی دوم. R و W به ترتیب شعاع و عرض ساختار ریزحلقه را تشکیل می‌دهند.



شکل ۲: سطح مقطع چند لایه‌ی موجبر ریزحلقه پیشنهادی بر پایه موجبر بازتابی براگ برای تولید هارمونی دوم.

۳- طراحی موجبر پیشنهادی

برای افزایش شدت نور و تولید هارمونی دوم در ساختار ریزحلقه، لازم است هر دو طول‌موج هارمونی پایه و دوم در طول‌موج تشدید ریزحلقه قرار گرفته باشند. در این صورت مد کمانی هارمونی پایه، m_p و مد کمانی هارمونی دوم، m_s دو عدد صحیح خواهند بود. در اینجا قطبش نور نسبت به محورهای اپتیکی ماده AlGaAs، حین حرکت نور به دور حلقه، مدام در حال تغییر علامت است و به همین دلیل لازم است تطبیق فاز مجازی ناشی از خمیدگی موجبر نیز لحاظ شود. در این شرایط شرط تطبیق فاز مجازی به صورت رابطه‌ی $m_s = 2m_p+2$ استفاده شده است [۱].

برای برقرار کردن شرط براگ ابتدا جنس لایه‌های موجبر با انتخاب غلظت نسبی آلومینیم در آن‌ها با فرض $Al_xGa_{1-x}As$ به صورت $(x_1, x_2, x_c) = (۰/۶۲، ۰/۸، ۰/۲)$ تعیین می‌شود. در این صورت ضرایب شکست لایه‌های موجبر در هارمونی پایه و هارمونی دوم نیز به کمک مدل مرجع [۸] به دست می‌آیند.

شرط براگ فقط در $\lambda^{2\omega}$ با طراحی ضخامت لایه‌ها بر اساس مدل یک بعدی [۶] اعمال می‌شود. به کمک شبیه‌سازی عددی دو بعدی روی مدهای عرضی قطعه به روش اجزای محدود [۲] می‌توان عرض موجبر را نیز برای طراحی نهایی انتخاب نمود. برای مثال با انتخاب شعاع ریزحلقه برابر با μm ۱۰ و همچنین با انتخاب شماره‌های مد کمانی هارمونی پایه و هارمونی دوم به صورت جفت مد $(m_p, m_s) = (۱۲۱، ۲۴۴)$، شرایط تولید هارمونی دوم در ضخامت‌های $t_c = ۳۲۷$ nm، $t_1 = ۱۰۳$ nm و $t_2 = ۲۲۴$ nm و عرض $W = ۹۴۹$ nm فراهم گردید [۹]. این طراحی در ادامه به عنوان محور بحث در نظر گرفته خواهد شد. با تغییر عرض موجبر می‌توان جفت مدهای مجاور را نیز فعال کرد [۲].

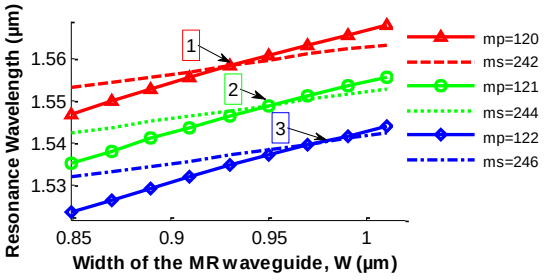
۴- بررسی آثار دمایی در موجبر پیشنهادی

جهت بررسی اثرات دمایی در فرایند تولید هارمونی دوم در ساختار موجبر پیشنهادی، ضریب ترمواپتیک $(\partial n/\partial T)$ ماده برای هارمونی پایه (طول‌موج ۱/۵۵ میکرومتر) و هارمونی دوم (طول‌موج ۰/۷۷۵ میکرومتر) به ترتیب برابر ۲/۳۳ و ۶/۹۵ $(10^{-4}/^{o}C)$ در نظر گرفته شده است. برای سادگی محاسبات و با تقریب قابل قبول ضریب ترمواپتیک AlGaAs با GaAs یکسان و مستقل از غلظت نسبی آلومینیم در آن فرض شده است.

برای بررسی تنظیم حرارتی و سوئیچ حرارتی در قطعه طراحی شده در بخش قبل، ابتدا برای سه جفت مد کمانی مجاور $(m_p, m_s) = (۱۲۰، ۲۴۲)$، $(۱۲۱، ۲۴۴)$ و $(۱۲۲، ۲۴۶)$ در هارمونی پایه و هارمونی دوم، طول‌موج تشدید ریزحلقه بر اساس تابعی از عرض موجبر ریزحلقه در دمای اتاق $(\Delta T = 0\ ^{o}C)$ در شکل ۳ ترسیم شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، در نقطه تقاطع ۲ با عرض $W = ۹۴۹$ nm و طول‌موج ۱/۵۴۷۸ میکرومتر شرایط تشدید، تطبیق فاز مجازی و براگ برای جفت مد اصلی (۱۲۱، ۲۴۴) فراهم شده است. با ثابت ماندن ضخامت لایه‌های موجبر بازتابی براگ طبق طراحی و تغییر عرض موجبر، طول‌موج فعال قطعه تغییر می‌کند. یعنی در عرض ۹۳۵ nm جفت مد مجاور (۱۲۰، ۲۴۲) و در عرض ۹۷۶ nm جفت مد مجاور (۱۲۲، ۲۴۶) انتخاب می‌شوند (به ترتیب نقاط تقاطع ۱ و ۳). به عبارت دیگر می‌توان چنین نتیجه گرفت که با حدود ۴۱ نانومتر تغییر در عرض موجبر پیشنهادی، طول‌موج فعال قطعه از ۱/۵۵۹۰ به ۱/۵۴۰۲ میکرومتر سوئیچ خواهد کرد.

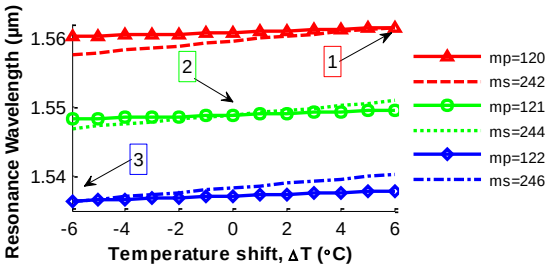
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]



شکل ۳: تغییرات طول‌موج تشدید ریزحلقه با تغییر عرض موجبر در دمای اتاق برای سه جفت مد کمانی مجاور در هارمونی پایه (منحنی‌های توپر) و هارمونی دوم (منحنی‌های خط‌چین). برای مقایسه آسان‌تر منحنی‌ها، طول‌موج هارمونی دوم در ۲ ضرب شده است.

در ادامه با فرض $W = ۹۴۹$ nm، یعنی همان عرض موجبر لازم برای تولید هارمونی دوم در جفت مد اصلی (۱۲۱، ۲۴۴)، در شکل ۴ طول‌موج تشدید ساختار پیشنهادی نسبت به تغییر دما برای همان سه جفت مد کمانی مجاور رسم شده است. ملاحظه می‌شود که با تغییر در دمای محیط به اندازه $\Delta T = \pm 6\ ^{o}C$ نسبت به دمای اتاق، جفت مد اصلی (۱۲۱، ۲۴۴) غیر فعال شده و جفت مد (۱۲۰، ۲۴۲) یا (۱۲۲، ۲۴۶) فعال می‌شود و طول‌موج تطبیق فاز از ۱٫۵۴۷۸ میکرومتر به ترتیب به ۱٫۵۶۱۵ یا ۱٫۵۳۶۵ میکرومتر سوئیچ می‌کند.



شکل ۴: تغییرات طول‌موج تشدید ریزحلقه براساس تغییرات دمایی موجبر پیشنهادی برای سه جفت مد کمانی مجاور در هارمونی پایه (منحنی‌های توپر) و هارمونی دوم (منحنی‌های خط‌چین). برای مقایسه آسان‌تر منحنی‌ها، طول‌موج هارمونی دوم در ۲ ضرب شده است.

نقاط تقاطعی که با شماره‌های ۱، ۲ و ۳ در شکل‌های ۳ و ۴ مشخص شده‌اند متناظر با یکدیگر هستند. با مقایسه کردن این دو شکل می‌توان نتیجه گرفت که سوئیچ کردن طول‌موج فعال در شکل ۴ در اثر تغییر ۶± درجه‌ای در دمای محیط، معادل تغییر ۴۱ نانومتری عرض موجبر ریزحلقه از ۹۳۵nm به ۹۷۶nm در شکل ۳ است. به عبارت دیگر می‌توان دریافت که تنظیم حرارتی علاوه بر سوئیچ طول‌موج فعال، برای جبران خطای ساخت در عرض موجبر یا سایر ابعاد به خوبی قابل استفاده است.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

با مقایسه اثرات حرارتی در ریزحلقه‌ای با موجبر بازتابی براگ ربع‌موجی و موجبر $AlGaAs/AlO_x$ در [۳] مشاهده می‌شود در شرایط نسبتاً مشابه، موجبر براگ برای سوئیچ بین دو طول‌موج فعال مجاور در فرایند تولید هارمونی دوم به ۴ درجه سانتیگراد تغییر دمای کمتری نیاز دارد. دلیل افزایش حساسیت حرارتی ساختار این مقاله نسبت به کار قبلی، استفاده از موجبر تک‌جنس با پایه GaAs در آن است که از AlO_x ضریب ترموپتیک بیشتری دارد. اگرچه حساسیت حرارتی بیشتر، عملکرد ساختار را با مشکل مواجه می‌کند اما برای ساخت مدولاتور نوری حرارتی و دماسنج دقیق نوری جذابیت بیشتری به آن می‌دهد.

مراجع

[1] Z. Yang, P. Chak, A. D. Bristow, *et. al*, "Enhanced second-harmonic generation in AlGaAs microring resonators," Optics Letters, Vol. 32, Issue 7, p. 826, 2007.

[2] M. Gandomkar and V. Ahmadi, "Design and analysis of enhanced second harmonic generation in $AlGaAs/AlO_x$ microring waveguide," Optics Express, Vol. 19, Issue 10, pp. 9408-9418, 2011.

[3] M. Gandomkar and V. Ahmadi, "Thermo-optical switching enhanced with second harmonic generation in microring resonators," Optics Letters, Vol. 36, Issue 19, pp. 3825-3827, 2011.

[4] S. Mariani, A. Andronico, *et. al*, "Second-harmonic generation in AlGaAs microdisks in the telecom range," Optics Letters, vol. 39, no. 10, p. 3062, 2014.

[5] P. Kuo, J. Bravo-Abad and G. Solomon, "Second-harmonic generation using -quasi-phasematching in a GaAs whispering-gallery-mode microcavity," Nature Communications, vol. 5, p. 3109, 2014.

[6] B. R. West and A. S. Helmy, "Properties of the quarter-wave Bragg reflection waveguide: theory" J. Opt. Soc. Am. B, Vol. 23, Issue 6, pp. 1207-1220, 2006.

[7] P. Abolghasem and A. S. Helmy, "Matching layers in Bragg reflection waveguides for enhanced nonlinear interaction," IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 45, Issue 6, pp. 646, 2009.

[8] S. Gehrsitz, F. Reinhart, C. Gourgon, *et. al*, "The refractive index of $Al_xGa_{1-x}As$ below the band gap: Accurate determination and empirical modeling," Journal of Applied Physics, vol. 87, no. 11, p. 7825, 2000.

[9] M. Hajati, M. Gandomkar, "Utilization of Bragg Reflection Waveguides in Microring Resonators for Enhanced Second Harmonic Generation," 21st Iranian conference on Optics and photonics, Tehran, 2015.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]