

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



طراحی و تحلیل لیزر تابنده عمود بر سطح کاواک تک مود مبتنی بر کریستال نوری نجمه عباسیان، مریم پورمحی آبادی

دانشکده مهندسی برق، دانشگاه شهید باهنر کرمان

ايميل: najme.abasian@yahoo.com

چکیده- لیزرهای تابنده عمود بر سطح کاواک (وکسل) به عنوان یک منبع نوری برای ارتباطات نوری کوتاه برد و کم هزینه، مورد توجه قرار گرفته اند. در این مقاله با استفاده از تحلیل عددی FDTD نشان می دهیم استفاده از ساختار کریستال نوری در لیزرهای وکسل باعث افزایش توان نوری و تک مود بودن، در طیف وسیعی از طول موجها میشود. همچنین با بکارگیری روزنه اکسید در ساختار وکسل کریستال نوری، می توان به میزان حذف مود جانبی SMSR ≈ ۴۰dB دست یافت. به منظور حذف مودهای اضافی و تک مود شدن طیف نوری طرح جدیدی که در آن شعاع حفره های حلقه داخلی در الگوی کریستال نوری به نصف کاهش داده می شود، ارائه گردید که در نتیجه طیف نوری خروجی بهتری با میزان JBSR «۶۰dB بدست آمد. نتایج نشان از برتری این طرح نسبت به سایر طرحهای موجود دارد.

كليد واژه- تك مود، كريستال نوري، ليزر تابنده عمود برسطح كاواك (وكسل)، ميزان حذف مود جانبي.

Design and Analysis of Single Mode Photonic Crystal Vertical Cavity Surface Emitting Laser

Najme Abbasian, Maryam Pourmahyabadi

Department of Electrical Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

Abstract - Vertical Cavity Surface Emitting Laser (VCSEL) as a light source for short-range optical communication with the lowest cost is recently considered. Using the photonic crystal structure in VCSELs provides single-mode operation over a wide wavelength range along with high output power. In this paper, these influences are investigated by Finite Difference Time Domain (FDTD) method. It is also shown, the output spectrum will be improved and the side mode suppression ratio will be increased (SMSR) ($\approx \mathbf{f} \cdot dB$) by using an optimized oxide aperture in photonic crystal VCSEL. In order to eliminate the sided modes and provide the single-mode operation, a novel design in which the air-holes radius of the inner ring of the optical crystal structure is reduced by half, is presented. The achieved result (SMSR $\approx \mathbf{\hat{f}} \cdot dB$) revealed the superior performance of the proposed photonic crystal VCSEL in comparison to the other existing VCSELs.

Keywords: Single mode, Photonic crystal, Side mode suppression ratio, Vertical cavity surface emitting laser.

۱– مقدمه

یکی از ادوات اصلی مورد استفاده در مخابرات نوری کوتاه برد، لیزرهای وکسل میباشند. لیزر وکسل دارای مزیتهایی از جمله تک مود بودن طیف خروجی، سرعت مدولاسيون بالا، پرتو خروجي دايروي با زاويه واگرايي کوچک، در نتیجه بازدهی تزویج به فیبر بالا، قیمت بسیار پایین و اندازهی کوچک است [۵-۱]. وکسلها به طور ذاتی به صورت تک مود طولی منتشر می شوند، اما یک سری مودهای جانبی نیز وجود دارد، که به دلیل کوتاه بودن طول کاواک ایجاد می شوند [۶]. راههای زیادی برای رسیدن به عملکرد تک مودی وکسلها تاکنون گزارش شده است: از جمله استفاده از روزنه اکسید و روزنه کاشت که نیازمند چگالی جریان زیاد می باشد، ترکیب روزنههای اکسیدی و روزنههای کاشتی، افزایش طول کاواک نوری و استفاده از کریستال نوری میباشد. استفاده از حفرههای هوای متناوب بر روی آینههای براگ (DBR¹) لیزر وکسل کمک میکند که به خروجی تک مودتری دست یابیم. ویژگیهای لیزر وکسل، آن را برای بسیاری از کاربردها از جمله مخابرات نوری کوتاه برد، اتصالات نوری، ذخیرهی اطلاعات نوری، حسگرهای ردیابی گاز وغیره مناسب می سازد [۱۰-۷]. در این مقاله تأثیر استفاده از کریستال نوری بر عملکرد تک مودی لیزر وكسل، تأثير بكارگيرى روزنه اكسيد در پايينترين لايه آینههای براگ بالایی، بهینه سازی ساختار جهت بهبود عملكرد تك مودى طيف خروجى ليزر وكسل كريستال نوری مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۲- ساختار طرح پیشنهادی

لیزر وکسل متشکل از سه قسمت عمده میباشد که عبارتند از: آینههای براگ پایین، ناحیه فعال و آینههای براگ بالا. ناحیه فعال در بین دو دسته آینه، موسوم به آینههای براگ بالا و پایین قرار گرفتهاند [۱۱]. در این نوع لیزر، تعداد آینههای براگ بالا از آینههای براگ پایین بیشتر میباشد اما بازتاب پذیری کمتری دارند. در ساختار لیزر وکسل برخلاف بقیه لیزرها نور به طور عمود بر لایه فعال، انتشار می یابد. بنابراین بهره فقط در مسافت

کوتاهی تقویت می شود، لذا از آینههای براگ در بالا و پایین ناحیه فعال استفاده می شود. در شکل ۱ نمای کلی ساختار لیزر وکسل کریستال نوری نشان داده شده است.



شکل ۱ نمای سه بعدی لیزر و کسل کریستال نوری در ساختار لیزر و کسل کریستال نوری پیشنهادی، جنس لایه های متناوب آینه براگ از ماتاوب در بالا و پایین ناحیه فعال قرار گرفته اند. کریستال نوری در آینههای براگ بالایی به فرم یک شبکه شش ضلعی با حفرههای هوا و یک نقص در مرکز آن، قرار گرفته است. نسبت b/d (ط قطر حفرهها و a فاصله بین مراکز حفرهها یا ثابت شبکه) برابر Δ/۰ و ثابت شبکه بین مراکز حفرههای هوا سا۲/۰ است. عمق حفرهها ما است. است. است. (ا) ما سا

۳- نتایج شبیه سازی

در این تحقیق، جهت بررسی ویژگیهای ساختار، از نرم-افزار FDTD سه بعدی شبیه استفاده شده است. در روش FDTD، پنجره محاسباتی به شبکههای مستطیلی تبدیل شده و مؤلفههای میدانهای الکتریکی و مغناطیسی بر روی این شبکه گسستهسازی شده و با حل فرم تفاضلی معادلات کرل ماکسول، محاسبه میشوند. درشبیهسازی، یک منبع موج صفحهای در ناحیه فعال قرار داده میشود. طیف خروجی را میتوان با قرار دادن مانیتور در مسیر عبور نور در آینههای براگ بالا، بدست آورد.

در این بخش ابتدا، مقایسهای بین عملکرد لیزر وکسل معمولی و لیزر وکسل کریستال نوری صورت میگیرد. سپس به بررسی تأثیر شعاع روزنه اکسید برروی عملکرد تک مودی طیف سیگنال نوری خروجی در لیزر وکسل کریستال نوری پرداخته میشود. شکل ۲ طیف خروجی لیزر وکسل معمولی، طیف خروجی لیزر وکسل کریستال نوری و قیاس بین توان نوری لیزر وکسل معمولی و لیزر کریستال نوری را نشان می دهد که حاکی از افزایش قابل توجه مقدار توان نوری لیزر وکسل مبتنی بر کریستال نوری است.

¹ Distributed Bragg Reflector

۲۳ تا ۲۵ دیماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی



شکل ۲ الف) طیف نوری خروجی لیزر وکسل معمولی ب) طیف نوری خروجی لیزر وکسل مبتنی کریستال نوری ج) مقایسه توان نوری لیزر وکسل و لیزر وکسل کریستال نوری

در لیزرهای وکسل اولیه، به دلیل عبور جریان از کل ناحیه فعال، جریان آستانه و توان مصرفی بالا است. در نتيجه با افزايش دما، كارآيي ليزر افت قابل توجهي بهمراه داشت. برای کاهش جریان آستانه و بهبود بازدهی لیزر، جریان ورودی را به یک ناحیه محدود میکنیم. کوچک بودن محل عبور جريان به تک مود بودن طيف خروجي نیز کمک میکند. بنابراین با ترکیب دو روش استفاده از کریستال نوری و استفاده از روزنه اکسید، عملکرد لیزر بهبود مى يابد [17]. براى انتخاب اندازه قطر روزنه اكسيد (D) یارهای محدودیتها وجود دارد. کوچکتر بودن شعاع روزنه اکسید، تلفات بر روی حفرهها را کاهش میدهد و نور کمتری کاواک را ترک کرده و به سمت حفرههای هوا می رود. در نتیجه با جریان آستانه کمتر، خروجی تک مودتری بدست میآید [۱۴]. از طرفی قطر روزنه اکسید باید از قطر روزنه تابشی بزرگتر باشد تا مطمئن شویم مود تابشی کاملا توسط کریستال نوری محاصره شده است. قطر روزنه اکسید بایستی به صورت D>۲a-b باشد تا منجر به بهبود تک مودی گردد.

در ساختار پیشنهادی اول، پارامترهای ساختار [۱۲] را بهینه کرده و با انتخاب قطر مناسب μπ ۱/۲ برای روزنه اکسید در پایین ترین لایه آینه براگ بالایی، طیف خروجی با SMSR بالا بدست میآید. شکل ۳ طیف خروجی لیزر وکسل کریستال نوری را در حالت بدون استفاده از روزنه اکسید را نشان میدهد. در این حالت

میزان SMSR در حدود ۳۰dB است. شکل ۴ طیف خروجی را در حالتی که در روزنه اکسید ساختار لیزر وکسل کریستال نوری بکار رفته است، را نشان میدهد. همانطور که مشاهده میشود وجود روزنه اکسید به میزان تک مود بودن کمک میکند و مقدار SMSR را به بالای F۰dB افزایش میدهد. زیرا در این حالت، لایه اکسید به صورت یک عایق الکتریکی عمل کرده و به دلیل داشتن ضریب شکست کوچک، در ضریب شکست محلی تغییر ایجاد کرده و باعث تحدید بیشتر فوتونها و درنتیجه بهبود SMSR می شود.



شکل ۳. طیف سیگنال خروجی لیزر وکسل کریستال نوری در حالت بدون استفاده از روزنه اکسید



شکل۴. طیف سیگنال خروجی لیزر وکسل کریستال نوری در حالت استفاده از روزنه اکسید با Ro=۰/۶ μm

در ساختار پیشنهادی دوم، برای بهبود بیشتر در طیف سیگنال خروجی، الگوی کریستال نوری را تغییر داده و با حذف بسیاری از مودهای اضافی که در شکل ۴ دیده میشود، به خروجی تک مودتری دست می یابیم. بدین منظور قطر حفرههای حلقه داخلی الگوی کریستال نوری منظور قطر حفرههای حلقه داخلی الگوی کریستال نوری را کاهش می دهیم. با بررسی مقادیر مختلف، بهترین مقدار برای اندازه قطر این حفرهها، نصف قطر حفره حلقه-مای بیرونی بدست آمده است. همچنین، فرکانس موج نوری را میتوان با تغییر شعاع حفرههای داخلی، اندکی تغییر داد. نمودار این ساختار و طیف خروجی مربوط به آن در شکل ۵ نشان داده شده است.

با توجه به نتایج بدست آمده، عملکرد تک مودی خروجی نسبت به حالت قبل بهبود مییابد و مودهای اضافی کمتر میشود و مقدار SMSR نزدیک به ۶۰dB می رسد.

طرحهای گوناگونی وجود دارد که از روزنه اکسید در ساختار وکسل کریستال نوری استفاده کردهاند. در جدول ۱ میزان SMSR بدست آمده از طرحهای پیشین و طرحهای پیشنهادی، مقایسه گردیده است. با توجه به

- D. S. Song, S. H. Kim, H. G. Park, C. K. Kim, and Y. H. Lee, "Single-fundamental-mode photonic-crystal vertical-cavity surface-emitting lasers," Appl. Phys. Lett. A., (Y.Y.Y., YA.J.YA.Y.
- [Y] A. J. Danner, J. J. Raftery, P. O. Leisher, and K. D. Choquette, "Single mode photonic crystal vertical cavity lasers," Appl. Phys. Lett. AA, (Y •• 7), 1115-1113
- [^κ] C. Chen, P. O. Leisher, C. Long, D. M. Grasso, and K. D. Choquette, "High Speed Electro-Absorption Modulation of Composite Resonator Vertical Cavity Laser," IET Optoelectron., ^κ, (^κ··^۹), ^۹^κ-⁹¹.
- [1] M.S. Alias, S. Shaari, P.K. Choudhury, S.M. Mitani, "Highly confined and continuous single-mode operation of self-align photonic crystal oxide VCSEL" Laser Phys. 19 (1999).
- [°] A.J. Danner, T.S. Kim and K.D. Choquette" Single fundamental mode photonic crystal vertical cavity laser with improved output power" Electronics Letters 1Vth March (Y···°).
- [1] K. D. Choquette, D. F. Siriani, A. M. Kasten, M. P. Tan, J. D. Sulkin, P. O. Leisher, J. J. Raftery and A. J. Danner, "Single mode photonic crystal vertical cavity surface emitting lasers," Advances in Optical Technologies, (^Y · ^Y).
- [Y] S. Matsuo, K. Takeda, T. Sato, M. Notomi, A. Shinya, Nozaki, H. Taniyama, K. Hasebe, and T. Kakitsuka, in European Conference and Exhibition on Optical Commu-nication, Optical Society of America, (Y·YY).
- [^A] A. V. Krishnamoorthy, K. W. Goossen, W. Jan, X. Zheng, R.Ho, G. Li, R. Rozier, F. Liu, D. Patil, J. Lexau, H. Schwetman, D. Feng, M. Asghari, T. Pinguet, and J. Cunningham, IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 14, 704, (1.11).
- [9] M. Mansuripur and G. Sincerbox" Principles and techniques of optical data storage", Proc. IEEE Ao, 1VA., (199V).
- [1] B. G. Griffin, A. Arbabi, A. M. Kasten, K. D. Choquette and L. L. Goddard, "Hydrogen detection using a functionalized photonic crystal vertical cavity laser," Quantum Electronics, IEEE Journal of, vol. £A, (Y.)Y), 17-17A.
- [11] T. Czyszanowski, M. Dems, R. P. Sarzala, K. Panajotov and K. D. Choquette, "Photonic Crystal VCSELs: Detailed Comparison of Experimental and Theoretical Spectral Characteristics," Selected Topics in Quantum Electronics, IEEE Journal of, vol. 14, (Y+1Y), 1-A.
- [14] P. S. Ivanov, P.J. Heard, M.J. Cryan, and J. M. Rorison, "Comparative Study of Mode Control in ertical-Cavity Surface-Emitting Lasers with Photonic Crystal and Micropillar Etch", IEEE Journal of Quantum Electronics, 54(9), (Y.19).
- [15] T. Czyszanowski, R.P. Sarzała, Ł.Piskorski, M.aciej Dems, M. Wasiak, W. Nakwaski, S. Member, IEEE, and K. Panajotov, "Comparison of Usability of Oxide Apertures and Photonic Crystals Used to Create Radial Optical Confinements in Too-nm GaInP VCSELs", IEEE Journal of Quantum Electronics, 57(11), Yory.
- [10] A. J. Danner, T. S. Kim, and K. D. Choquette, "Single fundamental mode photonic crystal vertical cavity laser with improved output power," Electron. Letters, £1, (1...0), Y10-Y11.
- [17] M.S. Alias, S. Shaari, "Analysis of single-mode condition and high-order modes discrimination in photonic crystal VCSEL", Proc. Optical Fiber Comm. Conf., (Y. 1Y).

۲۳ تا ۲۵ دیماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی نتایج جدول می بینیم که در طرحهای پیشنهادی، پارامتر SMSR به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. بدین ترتیب در این تحقیق، ابتدا با بکارگیری کریستال نوری طیف خروجی از حالت چند مود خارج شد (شکل۲)، یعنی در این حالت مودهای جانبی دارای توان روزنه اکسید در ساختار وکسل کریستال نوری و بهینه سازی قطر آن، فاصله مود پایه با اولین مود جانبی را افزایش دادیم. نهایتا با تغییر الگوی کریستال نوری، این فاصله را بیشتر و طیف خروجی را بهبود دادیم.



شکل۵ الف) سطح مقطح وکسل کریستال نوری با یک حلقه داخلی با قطر μm //۰ب) طیف نوری خروجی

معيار (SMSR(dB	مرجع
٣٠	مرجع [١٣]
٣٠	مرجع [۱۵]
٣٠	مرجع [١٢]
۳۵	مرجع [۱۶]
۴۰	ساختار پیشنهادی اول
۶۰	ساختار پیشنهادی
	دوم

جدول ۱: مقایسه SMSR طرحهای پیشین و طرحهای پیشنهادی

۴- نتیجهگیری

در این مقاله نشان دادیم استفاده از کریستال نوری در عملکرد تک مودی و میزان توان نوری خروجی لیزر وکسل موثر است. سپس با بکارگیری روزنه اکسید، میزان SMSR را به HodB افزایش دادیم، اما هنوز مودهای جانبی زیادی در کنار مود اصلی وجود دارد. به منظور حذف آنها در الگوی کریستال نوری تغییر ایجاد کرده و قطر حلقه داخلی نصف قطر حلقههای بیرونی در نظر گرفته شد. بدین ترتیب در این حالت مقدار SMSR به Bod افزایش یافت و مودهای اضافی بسیاری حذف شد.