



بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹



کد مقاله : ۲-۱۹۲۴-۱۰-A

طراحی و شبیه‌سازی یک حسگر بلور فوتونی به منظور اندازه‌گیری فشار

افشین طاهری، علی رضا غفاری، محمود صیفوری، سعید علیایی*

دانشکده مهندسی برق، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، تهران، ایران s_olyaee@srttu.edu*

چکیده - در این مقاله با استفاده از ساختارهای دوبعدی بلور فوتونی به طراحی و شبیه‌سازی یک حسگر فشار جدید در راستای ایجاد ساختاری با حساسیت بالا پرداخته می‌شود. به منظور ایجاد ساختار از یک موجبر اصلی برای انتقال نور از ورودی در ترکیب با یک تشدیدگر حلقوی و همچنین موجبر خروجی بهره برده شده است. بیشترین حساسیت حسگر در فشار ۱ گیگاپاسکال برابر ۱۰ نانومتر بر گیگاپاسکال بوده و بهترین ضریب کیفیت در فشار ۳ گیگاپاسکال برابر ۲۱۲۲ است. همچنین میزان اندازه ساختار در حدود ۲۷۲ میکرومتر مربع به دست آمده است که نسبت به ساختارهایی در این حیطه بسیار کوچک و دارای سادگی و انعطاف پذیری بالا است. برای استخراج شکاف باند فوتونی از روش PWE و همچنین به منظور استخراج نتایج طیف خروجی ساختارهای طراحی شده از روش FDTD بهره برده شده است.

کلید واژه- تشدیدگر حلقوی، حسگر فشار، شکاف باند فوتونی، بلور فوتونی

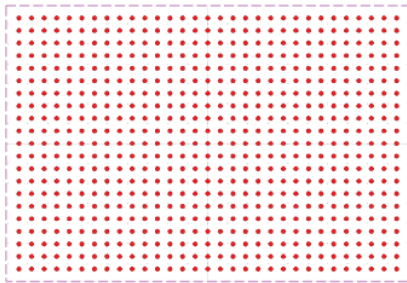
Design and simulation of a crystal photonic sensor for pressure measurement

Afshin Taheri, Alireza Ghaffari, Mahmood Seifouri, Saeed Olyaei*

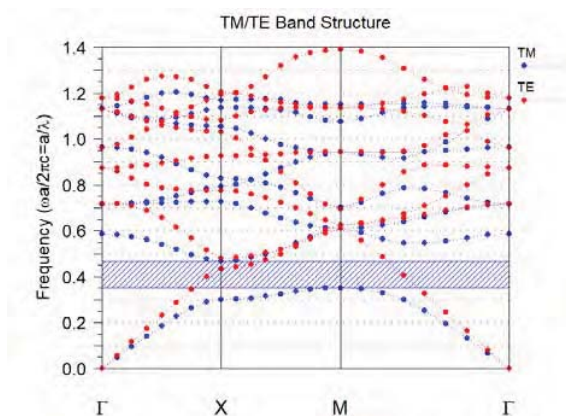
Faculty of Electrical Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran. *s_olyaee@srttu.edu

Abstract- In this paper, a new pressure sensor in order to create a high-sensitivity structure by using two-dimensional photonic crystal structures is designed and simulated. To create the structure, a main waveguide is used to transmit light from the input in combination with a ring resonator as well as the output waveguide. The maximum sensitivity of the sensor at a pressure of 1 GPa is equal to 10 nm/GPa and the best quality factor at a pressure of 3 GPa is equal to 2122. Also, the size of the structure is about $272\mu\text{m}^2$, which is very small compared to structures in this field and has high simplicity and flexibility. PWE method has been used to extract the photonic band gap and also FDTD method has been used to extract the output spectra of the designed structures.

Keywords: ring resonator, pressure sensor, photonic band gap, photonic crystal.



شکل ۱- ساختار اولیه بلور فوتونی بدون اعمال نقص درون ساختار.



شکل ۲- نمودار شکاف باند ساختار حسگر فشار پیشنهادی.

۱- مقدمه

طراحی بلور فوتونی از حوزه‌های جدیدی است که در سال‌های اخیر بشدت مورد توجه قرار گرفته است. افزاره‌های بسیار زیادی مانند موجبر، فیبر نوری، خم‌ها، شکافندها، تشدیدگرها، حسگرها و ... وجود دارد که قابلیت پیاده‌سازی روی تیغه‌های بلور فوتونی را دارند [۱-۳]. یکی از مهم‌ترین مزایای بلورهای فوتونی، وجود باند ممنوعه در آن‌ها است. با استفاده از این خاصیت ذاتی می‌توان به کاربردهایی چون فیلترهای نوری، کلیدهای نوری، حسگرها و دیگر قطعات همانند، دسترسی پیدا کرد [۴-۸]. یکی از موارد کاربرد بلورهای فوتونی، حسگرهای بلور فوتونی است. در این مقاله به طراحی و شبیه‌سازی نوع جدیدی از حسگر فشار با استفاده از ساختارهای بلور فوتونی پرداخته شده است [۸-۱۰].

۲- ساختار طراحی شده مربعی میله‌ها در بستر

هوا

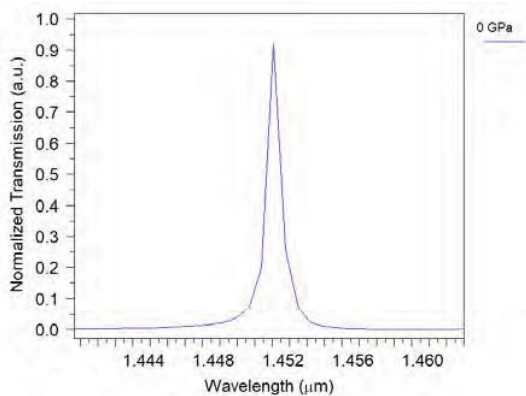
در این مقاله از ساختار مربعی بلور فوتونی متشکل از میله‌های دی‌الکتریک سیلیسیوم (Si) با ضریب شکست $3/42$ در بستر هوا استفاده شده است. ثابت شبکه برابر 630 نانومتر و شعاع میله‌ها برابر 106 نانومتر است. شکل (۱) شمای این ساختار را نشان می‌دهد.

در شکل (۲) نمودار شکاف باند نشان داده شده است. مطابق نمودار به دست آمده، ساختار دارای یک نوار باند در محدوده $0.352 \leq a/\lambda \leq 0.469$ در مود TM است. با توجه به طول موج پنجره سوم مخابراتی یعنی 1550 نانومتر مقدار ثابت شبکه برابر 630 نانومتر محاسبه می‌شود.

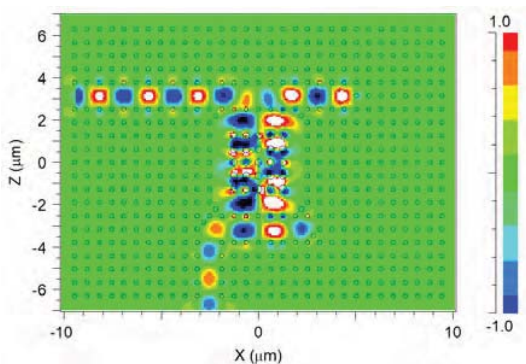
۳- ایجاد نقص و طراحی ساختار حسگر

ساختار نهایی در شکل (۳) نشان داده شده است. تشدیدگر از نوع حلقوی با برداشتن تعدادی میله و تغییر شعاع میله‌های مرکزی ایجاد شده است. جهت ایجاد ساختار از یک موجبر اصلی برای انتقال نور از ورودی در ترکیب با یک تشدیدگر حلقوی و همچنین موجبر خروجی بهره برده شده است. اساس کار این ساختار بر مبنای عملکرد تشدید نور است. استفاده از این تشدیدگر علاوه بر به دست آوردن نتایج مناسب، ساختاری با انعطاف‌پذیری بالا و ساده و کوچک را محقق ساخته است که در کنار استفاده از اثرات خطی طراحی جدید و منطقی و بسیار کاربردی را ارائه نموده است. وقتی که فرکانس نور ورودی و فرکانس تشدیدگر بر یکدیگر منطبق باشند بیشترین میزان تزویج نور به خروجی وجود خواهد داشت.

در محدوده شکاف باند فوتونی قرار دارد، هیچگونه نشتی به داخل بلور نداشته و بدون تلفات از موج عبور خواهد کرد.

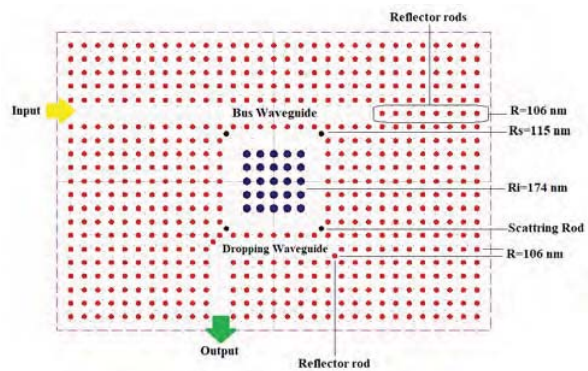


شکل ۴- نمودار طیف تشدید ساختار حسگر فشار پیشنهادی بدون اعمال هرگونه فشار.



شکل ۵- توزیع میدان نوری در ساختار حسگر فشار پیشنهادی در طول موج ۱۴۵۲nm.

با توجه به نتایج شبیه‌سازی مشخص است که ضریب شکست با فشار نسبت مستقیم دارد یعنی هرچه قدر فشار اعمالی بر ساختار افزایش یابد ضریب شکست نیز افزایش می‌یابد. با توجه به شکل (۶) که طیف انتقالی به‌هنجار شده را به ازای فشار ۰ تا ۴ گیگاپاسکال نشان می‌دهد می‌توان دریافت که با افزایش فشار، طول موج تشدید به طول موج‌های بلندتر جابه‌جا می‌شود.



شکل ۳- ساختار حسگر فشار پیشنهادی مبتنی بر بلور فوتونی دوبعدی.

۴- نتایج شبیه‌سازی

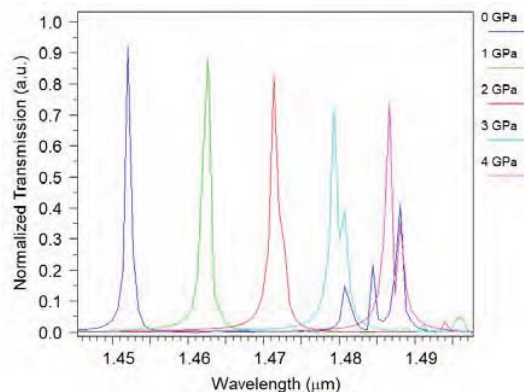
در تمامی شبیه‌سازی‌های انجام شده فرض بر این است که فشار تنها در یک جهت بر ساختار وارد می‌شود تا محاسبات کمتری مورد نیاز باشد. اصول کار این حسگرها بر این اساس خواهد بود که با انتشار موج نوری در موج بلور فوتونی و در نتیجه برهم‌کنش آن با کاواک تشدید، مشخصات موج عبوری تغییر نموده و در نتیجه آشکارساز این تغییرات را نشان بدهد [۵-۱۰].

در این شبیه‌سازی‌ها طول موج کاواک تشدید به مشخصات ساختار وابسته بوده و با تغییرات فشار تغییر نمود. با اعمال فشار ضریب شکست مواد دی‌الکتریک تغییر نموده و در نتیجه طول موج تشدید کاواک تغییر خواهد نمود. از این اصل برای اندازه‌گیری میزان فشار وارد شده استفاده خواهد شد. برای محاسبه طیف انتقالی خروجی، حسگر با یک موج پالس گاوسی در ورودی موجبر تحریک شده است. شکل (۴) طیف انتقالی خروجی را نشان می‌دهد.

در این حالت طول موج تشدید برای کاواک برابر ۱۴۵۲ نانومتر به دست آمده است. با مشخص شدن طول موج تشدید کاواک، در ادامه موجی با طول موجی برابر طول موج تشدید کاواک به ورودی اعمال می‌شود. شکل (۵) شبیه‌سازی انتقال نور در موج بر را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشخص می‌شود به علت آنکه نور عبوری

۶- مرجع‌ها

- [1] E. Lidorikis, Q. Li, C.M. Soukoulis, "Wave propagation in nonlinear multilayer structures", Phys. Rev. B 54 (1996) 10249-10252.
- [2] H. Inouye, M. Arakawa, J.Y. Ye, T. Hattori, H. Nakatsuka, K. Hirao, "Optical properties of a total-reflection-type one-dimensional photonic crystal", IEEE J. Quantum Electron. 38 (2002) 867-871.
- [3] D. Biallo, M. De Sario, A. D'Orazio, V. Marrocco, V. Petruzzelli, M. A. Vincenti, F. Prudeniano, T. Stomeo, M. Grande, G. Visimberga, R. Cingolani, M. De Vittorio, "High sensitivity photonic crystal pressure sensor", Journal of the European Optical Society, (2007) 335-340.
- [4] Bui Thanh Tung, Dzung Viet Dao, Taro Ikeda, Yoshiaki Kanamori, Kazuhiro Hane, Susumu Sugiyama, "Investigation of strain sensing effect in modified single-defect photonic crystal nanocavity", Optical Society of America, (2011) 242-244.
- [5] S.Olyae, A. A.Dehghani, "High Resolution and Wide Range Pressure Sensor Based on Two-Dimensional Photonic Crystal", Photonic Sensors, (2012) 247-251.
- [6] S. Olyae and A. A. Dehghani, "Ultrasensitive pressure sensor based on point defect resonant cavity in photonic crystal", Sensor Letters, Vol. 11, No. 10, pp. 1854-1859, 2013.
- [7] P. Palizvan, S. Olyae, and M. Seifouri, "High sensitive optical pressure sensor using nano-scale plasmonic resonator and MIM waveguides", Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics, Vol. 13, No. 10, pp. 1449-1453, 2018.
- [8] Marvin J. Weber, Ph.D. Lawrence Berkeley National Laboratory University of California, "Handbook of Optical Materials", (2003) 285-287.
- [9] D. Biallo, A. D'Orazio, M. De Sario, V. Marrocco, V. Petruzzelli, M. Vincenti, F. Prudeniano, T. Stomeo, M. Grande, G. Visimberga, R. Cingolani, M. De Vittorio, "Design of a Photonic Crystal Microcavity Pressure Sensor", EOS Topical Meeting on Nanophotonics, Metamaterials and Optical Microcavities TOM 3, 187-188 (2006).
- [10] A. Ghaffari, Design and simulation of a photonic crystal pressure sensor, (In Persian), Thesis, ShahidRajae University, April 2020.



شکل ۶- طیف تشدید خروجی به‌هم‌چراشده حسگر فشار پیشنهادی از ۰ GPa الی ۴ GPa.

در جدول (۱) پارامترهای عملیاتی حسگر فشار موردنظر در فشارهای مختلف گردآوری شده است.

جدول ۱- پارامترهای عملیاتی حسگر فشار پیشنهادی در سطوح مختلف فشار.

فشار بر حسب GPa	درصد انتقال %	ضریب کیفیت	طول موج بر حسب nm	ضریب شکست موثر	حساسیت بر حسب nm/GPa
۰	۹۲	۲۶۸۰	۱۴۵۲	۳/۴۲	***
۱	۸۸	۱۸۲۷	۱۴۶۲	۳/۴۵۹۸	۱۰
۲	۹۳	۱۹۶۱	۱۴۷۱	۳/۴۹۹۷	۹/۵
۳	۷۳	۲۱۲۲	۱۴۷۹	۳/۵۳۹۵	۹
۴	۷۴	۲۱۱۲	۱۴۸۶	۳/۵۷۹۴	۸/۵

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله طراحی و شبیه‌سازی نوع جدیدی از حسگر فشار بلور فوتونی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهند که با اعمال مقادیر مختلف فشار طول موج تشدید به سمت طول موج‌های بلندتر جابه‌جا می‌شود. با توجه به نتایج شبیه‌سازی مشخص شد که ضریب شکست با فشار نسبت مستقیم دارد. بیشترین حساسیت حسگر در فشار ۱ گیگاپاسکال برابر ۱۰ نانومتر بر گیگاپاسکال بوده و بهترین ضریب کیفیت در فشار ۳ گیگاپاسکال برابر ۲۱۲۲ به دست آمده است. عملکرد طرح پیشنهادی برای اندازه-گیری فشار مناسب بوده و حساسیت بالایی به دست آمده است.