بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸

طراحی و بهینه سازی نانو حسگر دما فوتونیک کریستالی

پردیس کاظمی اسفه، زهرا اعلایی*

دانشکده مهندسی برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران.

Email: kazemipardis@gmail.com

Email: alaie.zahra@yahoo.com

چکیده – در این مقاله، ما تلاش به بهینه سازی یک نانو حسگر فوتونیک کریستالی برای سنجش دما در محدوده ۰ تا ۵۴۰ درجه سانتی‌گراد، نموده ایم. این نانو حسگر توسط دو موجبر و یک رزوناتور حلقه شش ضلعی طراحی شده است و در یک شبکه شش ضلعی فوتونیک کریستالی قرار دارد. ماکزیمم پارامترهای عملیاتی فاکتور کیفیت، حساسیت دما و بازده انتقال به ترتیب برابر ۶۲۸/۷۴ ، ۶۵/۵۵ pm/°C و ۱۰۰٪ است و از کیفیت بالایی برخوردار هستند. ابعاد نانو حسگر طراحی شده فشرده و کوچک می‌باشد، بنابراین برای استفاده در مدارهای مجتمع نوری بسیار مناسب است.

کلید واژه- حساسیت دما، سنسور دما فوتونیک کریستالی، سنسور نوری، فوتونیک کریستال.

Design and optimization of photonic crystal nano temperature sensor

Pardis Kazemi Esfeh, Zahra Alaei*

Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

Email: kazemipardis@gmail.com

Email: alaie.zahra@yahoo.com

Abstract- In this article we try to optimization photonic crystal nano sensor for sensing temperature from 0 to 540 degrees centigrade. **This nano sensor designed with two waveguides and one hexagonal ring resonator in hexagonal photonic crystal lattice. Maximum operation parameters: quality factor, temperature sensitivity, and transmission efficiency are 628.74, 65.55 pm/°C, and 100%, respectively; hence, these are good quality. The dimensional of designed nano sensor is compact and small, so it is very suitable for optical integrated circuits.**

Keywords: Optical Sensor, Photonic Crystal, Photonic Crystal Temperature Sensor, Temperature Sensitivity.

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-20]

مقدمه

حسگرهای مورد استفاده در صنایع در حساسیت و محدوده اندازه‌گیری و همچنین توان انتقال دارای محدودیت‌هایی می‌باشند. با توجه به توسعه صنایع که نیازمند توانایی عملکرد بالاتری از حسگرها می‌باشد، تحقیقات بر روی حسگرهای فوتونیک کریستالی گسترش یافته است. حسگرهای فوتونیک کریستالی دارای مزیت‌هایی از جمله تلفات کم، سرعت بالا، قدرت بالا و ابعاد کوچک می‌باشند.

حسگر، پارامترهای فیزیکی و پارامترهای بیولوژیکی را حس کرده و تحلیل می‌کند و طبق آن ها پاسخ می دهد. تاکنون، حسگرهای مختلف الکترونیکی بسیاری طراحی شدند، اما این حسگرها محدودیت‌هایی دارند، که این محدودیت ها با توسعه حسگرهای نوری کاهش یافته یا از بین می روند [۲-۱]. در این مقاله، یک نانو حسگر فوتونیک کریستالی برای سنجش دما در محدوده ۰ تا ۵۴۰ درجه سانتی‌گراد طراحی گردیده است و همچنین تلاش بر این شده است که این نانو حسگر دارای کیفیت بالا از لحاظ فاکتور کیفیت، بازده انتقال و حساسیت باشد. نانو حسگر دما پیشنهاد شده در این مقاله، مبتنی بر فوتونیک کریستال های دوبعدی می‌باشد و در محدوده نانومتر کار می‌کند، همچنین شامل یک رزوناتور حلقه شش ضلعی و دو موجبر است.

ساختار مقاله به این صورت است که در قسمت دوم، به بیان روش سنجش حسگر فوتونیک کریستالی دما پرداخته شده است. در قسمت سوم، طراحی ساختار و بررسی شکاف باند فوتونی نانو حسگر دما فوتونیک کریستالی مبتنی بر رزوناتور حلقه شش ضلعی با روش بسط امواج تخت (PWE)[1] انجام شده است. در قسمت چهارم، شبیه سازی و بررسی نتایج نانو حسگر دما فوتونیک کریستالی با روش تفاضل محدود در حوزه زمان (FDTD)[2] ارائه شده است، و در قسمت آخر مقاله با نتیجه گیری به پایان رسیده است.

روش سنجش و طراحی حسگر دما فوتونیک کریستالی

حسگر دما مبتنی بر تغییرات ضریب شکست است و با توجه به اثر ترمواپتیک سنجش را انجام می‌دهد. زمانی که دمای حسگر افزایش می‌یابد، ضریب شکست تغییر می‌کند که منجر به تغییر شکاف باند فوتونی و طول موج رزونانس ساختار فوتونیک کریستال می‌شود. به طور معمول، رابطه‌ی بین ضریب شکست و دما با توجه به رابطه (۱) به دست می‌آید[۳-۴]:

$$n = n_0 + \alpha\, \Delta T \qquad (۱)$$

در این رابطه، n_0 ضریب شکست بدون اعمال دما، α ضریب ترمواپتیک می‌باشد که مقدار آن برای سیلیکون $۲/۴ \times ۱۰^{-۴}$ /°C است ، و ΔT اختلاف دما است[۳-۴]. با افزایش دما، ضریب شکست سیلیکون به صورت خطی افزایش می‌یابد. بنابراین طول موج رزونانس نیز به طور خطی افزایش می‌یابد.

طراحی ساختار و بررسی شکاف باند فوتونی نانو حسگر دما فوتونیک کریستالی

ساختار نانو حسگر پیشنهاد شده شامل میله های دایره‌ای سیلیکونی با ضریب شکست $n = ۳/۴۲$ هستند که در بستری از هوا با ضریب شکست $n = ۱$ در یک شبکه شش ضلعی فوتونیک کریستالی قرار گرفته‌اند. همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است، تعداد میله‌های سیلیکونی در ساختار فوتونیک کریستالی در جهت X و Z، به ترتیب ۱۹ و ۱۷ است. شعاع میله‌ها $r = ۲۴۱/۵$ nm و ثابت شبکه $a = ۸۰۵$ nm است. همچنین شعاع میله های زرد رنگ، که میله های داخلی حلقه رزوناتور نامیده می‌شوند، برابر

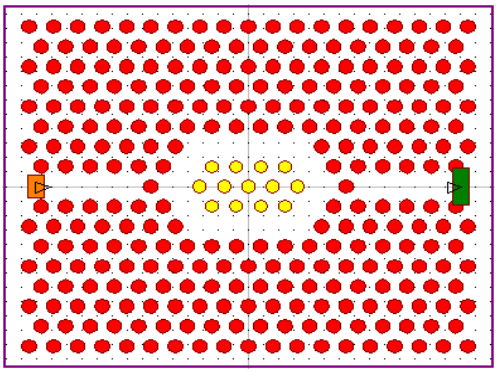
[1] Plane Wave Expansion

[2] Finite Difference Time Domain

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

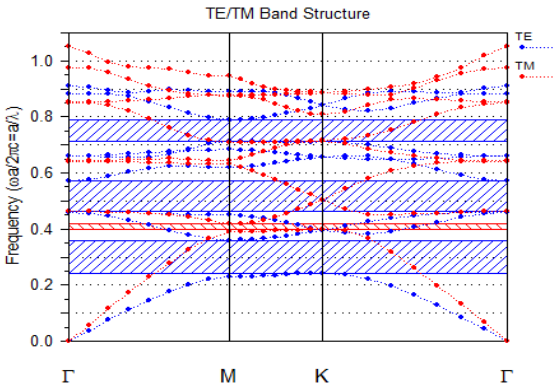
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-20]

r_{in} = ۲۱۰ nm می‌باشد. ابعاد ساختار بسیار فشرده و کوچک بوده و برابر ۲۰۴/۱۲ μm^2 است.



شکل (۱) : ساختار نانو حسگر دما فوتونیک کریستالی.

شکاف باند فوتونی نانو حسگر دما فوتونیک کریستالی طراحی شده با استفاده از روش PWE بدست آمده است و نمودار آن در شکل (۲) نشان داده شده است. بدست آوردن شکاف باند فوتونی بسیار مهم می‌باشد زیرا توسط آن مقادیر بهینه برای طراحی حسگر فوتونیک کریستالی دما به دست می‌آید.



شکل (۲) : نمودار شکاف باند فوتونی نانو حسگر دما فوتونیک کریستالی.

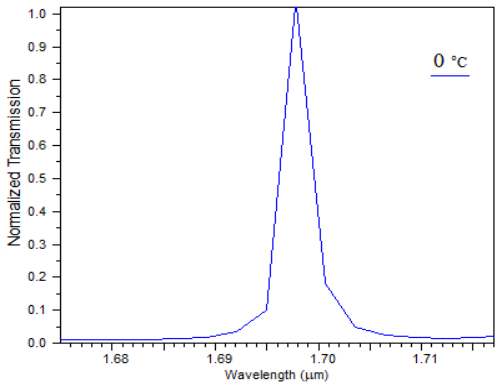
نمودار نمایش داده شده در شکل (۲)، دارای سه شکاف باند TE و یک شکاف باند TM است که مقادیر دقیق آن‌ها در جدول (۱) آمده است. ما در این مقاله از شکاف باند TE با مقادیر طول موج ۱۴۰۵ nm تا ۱۷۴۲ nm، استفاده می‌کنیم. زیرا در محدوده طول موج‌های پنجره سوم مخابراتی قرار دارد و برای طراحی نانو حسگر دما مناسب می‌باشد.

جدول (۱) : فرکانس و طول موج نمودار شکاف باند فوتونی نانو حسگر دما فوتونیک کریستالی.

طول موج (λ) (nm)	فرکانس (a/λ)	شکاف‌باند فوتونی
۱۰۲۰ – ۱۱۳۰	۰/۷۱۲ – ۰/۷۸۹	TE
۱۴۰۵ – ۱۷۴۲	۰/۴۶۲ – ۰/۵۷۳	TE
۱۹۳۰ – ۲۰۱۷	۰/۳۹۹ – ۰/۴۱۷	TM
۲۲۳۶ – ۳۳۱۳	۰/۲۴۳ – ۰/۳۶۰	TE

شبیه سازی و بررسی نتایج ساختار نانو حسگر دما

سنجش دما در ساختارهای فوتونیک کریستالی مبتنی بر تغییرات ضریب شکست می‌باشد، با تغییر دما، ضریب شکست به طور خطی تغییر می‌نماید و همچنین موجب تغییر طول موج رزونانس به طور خطی می‌شود. توسط روش FDTD، طیف نرمالیزه شده خروجی از رزوناتور حلقه شش ضلعی فوتونیک کریستالی، بدون اعمال دما (۰°C)، در شکل (۳) نشان داده شده است، در این نمودار طول موج رزونانس ۱۶۹۷/۶ nm، بازده انتقال ٪۱۰۰ و فاکتور کیفیت آن ۶۲۸/۷۴ می‌باشد.



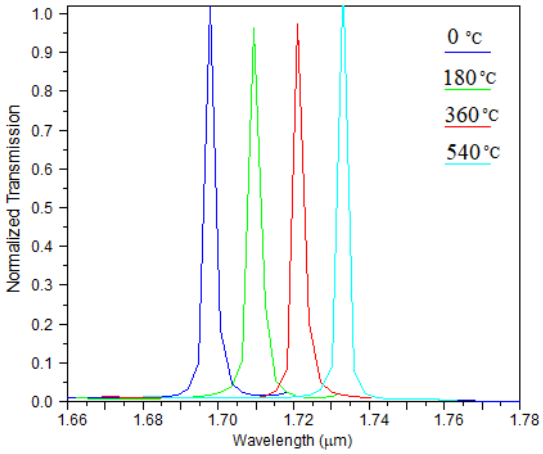
شکل (۳): طیف نرمالیزه شده خروجی نانو حسگر بدون اعمال دما.

برای بررسی اثر دما بر روی نانو حسگر طراحی شده، نمودار طیف‌های نرمالیزه شده خروجی در دماهای مختلف در محدوده ۰ تا ۵۴۰ درجه سانتی‌گراد در شکل (۴) نشان داده شده است. این محدوده‌ی بسیار بالای دمایی برای استفاده در صنایع مختلف به خصوص صنعت پتروشیمی مناسب می‌باشد. لازم به ذکر است که به دلیل تاثیرات جبران‌ناپذیر

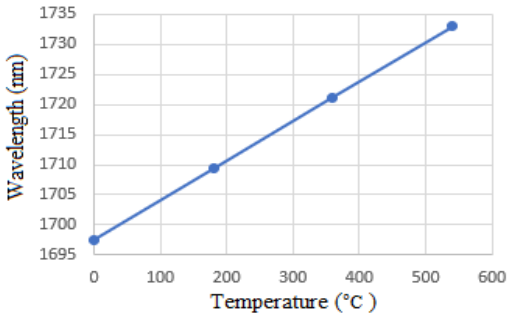
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-20]

دمایی در دماهای بسیار بالا و اثرات ناچیز آن‌ها در گام‌های دمایی پایین، گام‌های دمایی انتخاب شده در این مقاله ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با توجه به شکل (۵)، طبق انتظار، مشاهده می‌شود که با افزایش دما، طول موج رزونانس نیز به طور خطی تغییر می‌کند و به منطقه ای با طول موج‌های بالاتر انتقال می‌یابد. اختلاف هرکدام از طیف‌های رزونانس خروجی نرمالیزه ۱۱/۸ nm می‌باشد. طول موج رزونانس، بازده انتقال، فاکتور کیفیت و حساسیت دما از حسگر طراحی شده در سطوح مختلف دما در جدول (۲) آورده شده است. با توجه به جدول، حداکثر بازده انتقال، فاکتور کیفیت و حساسیت دما به ترتیب ۱۰۰٪ ، ۶۲۸/۷۴ و ۶۵/۵۵ pm/°C است. همچنین نتایج بدست آمده از این ساختار به خصوص فاکتور کیفیت نسبت به مراجع [۱]، [۲] و [۵] که فاکتور کیفیت آن ها به ترتیب برابر ۵۸۲/۶۶، ۱۵۰ و ۲۱۳ می‌باشد، بهبود یافته و از کیفیت بالاتری برخوردار است.



شکل (۴) : طیف‌های رزونانس خروجی نرمالیزه برای دماهای ۰ تا ۵۴۰ درجه سانتی‌گراد.



شکل (۵) : رابطه‌ی خطی بین طول موج و دما.

جدول (۲) : پارامترهای عملیاتی نانو حسگر در دماهای مختلف.

حساسیت دما (pm/°C)	فاکتور کیفیت	راندمان انتقال (٪)	طول موج رزونانس (nm)	ضریب شکست (RIU)	دما (°C)
....	۶۲۸/۷۴	۱۰۰	۱۶۹۷/۶	۳/۴۲	۰
۶۵/۵۵	۵۶۹/۸	۹۶/۵۵	۱۷۰۹/۴	۳/۴۶۳۲	۱۸۰
۶۵/۵۵	۵۹۳/۴۸	۹۷/۴۲	۱۷۲۱/۲	۳/۵۰۶۴	۳۶۰
۶۵/۵۵	۶۱۸/۹۳	۱۰۰	۱۷۳۳	۳/۵۴۹۶	۵۴۰

نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک نانو حسگر دما در یک شبکه شش ضلعی فوتونیک کریستالی طراحی شد که با توجه به ابعاد و پارامترهای عملیاتی از کیفیت خوبی برخوردار است. بازده انتقال، فاکتور کیفیت و حساسیت دما در بهترین حالت به ترتیب برابر ۱۰۰٪ و ۶۲۸/۷۴ و ۶۵/۵۵ pm/°C است. ابعاد این نانو حسگر برابر ۲۰۴/۱۲ μm^2 می‌باشد، که به علت فشرده بودن و سایز کم بسیار مناسب و قابل استفاده برای مدارهای مجتمع نوری است.

مرجع‌ها

[۱] کاظمی اسفه، اعلایی، نانو سنسور دما مبتنی بر فوتونیک کریستال های دو بعدی با وضوح تشخیص بالا، هشتمین همایش ملی مهندسی برق مجلسی، ۱۳۹۸.

[2] T. Dharchana, A. Sivanantharaja, S. Selvendran, “Design of Pressure Sensor Using 2D Photonic Crystal,”. Advances in Natural and Applied Sciences. pp. 26-30, 2017.

[3] MT. Tinker, JB. Lee, “Thermal and optical simulation of a photonic crystal light modulator based on the thermo-optic shift of the cut-off frequency,”. Optics Express. pp, 7174-7188, 2005.

[4] R. Rajasekar, S. Robinson, “Nano-Pressure and Temperature Sensor Based on Hexagonal Photonic Crystal Ring Resonator,” Plasmonics. 14. 1-13. 2018.

[5] J. Boruah, Y. Kalra, RK. Sinha, “Demonstration of temperature resilient properties of 2D silicon carbide photonic crystal structures and cavity modes,”. Optik. pp, 1663-1666, 2014.

[6] Fu. H-w, H. Zhao, X-g. Qiao, Y. Li, D-z. Zhao, Z. Yong, “Study on a novel photonic crystal temperature sensor,”. Optoelectron Letters. pp, 419-422, 2011.

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-20]