

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



بررسی اثر دما روی شدت بازتابی کاواک فیبری تداخلسنج فابری-پرو مبتنی بر تار نوری بلور فوتونی

فاطمه شهشهانی، معصومه میرخندان

گروه فیزیک، دانشگاه الزهرا(س)، تهران

چکیده –در این مقاله، اثر دما روی شدت بازتابی کاواک فیبری فابری– پرو مبتنی بر ساختار بلور فوتونی بهطور تئوری بررسی شده است. مدلسازی بر اساس برهمنهی دو مد مختلف و وابستگی توان بازتابی فیبر نوری به دما انجام شده است. محاسبات عددی نشان میدهد دو مد با طول موج ۱/۵ و ۱/۶ میکرومتر در بازهی ۲۵ تا ۲۳۵ درجه سانتیگراد بیشترین حساسیت را به دما نشان میدهد.

کلید واژه- تار بلور فوتونی، تداخلسنج فابری-پرو، حسگر دما، فیبر نوری.

Analysis of Temperature Effect on the Reflected Optical Intensity of Fabry-Perot Interferometer Based on the Photonic Crystal fiber

Fateme Shahshahani, Masome Mirkhandan

Department of Physics, Alzahra University, Tehran, Iran

Abstract- In this paper, the operation of Fabry-Perot optical fiber based on photonic crystal structure considering the temperature variations is theoretically analyzed. Modeling has been done on basis of the superposition of two modes with different wavelengths and the temperature dependence of reflected optical intensity. Numerical calculations show that the superposition of two modes with wavelengths 1.5 μ m and 1.6 μ m, has the most temperature sensitivity in the range of 25°C to 235°C.

Keywords: photonic crystal fiber, Fabry-Perot interferometer, temperature sensor, fiber optic.

۱– مقدمه

استفاده از تارهای بلور فوتونی به علت حجم کم، قابلیت شبکه سازی، تاثیرناپذیری از میدانهای الکترومغناطیسی، مقاومت در برابر خوردگی با مواد شیمیایی و قابلیت اندازه گیری از راه دور، در مخابرات نوری و صنایع مختلف روز به روز بیشتر مورد توجه قرار می گیرد. این تارها، برخلاف فیبرهای معمولی، فقط از یک ماده ساخته شده-اند. همچنین، تنوع مؤلفه های هندسی تارهای بلور فوتونی مانند اندازه و فاصله حفره ها، موجب انعطاف بیشتر آنها در طراحی المان های فیبری می شود [۱].

سنجش دقیق ضریب شکست، دما، فشار و حسگرهای تعیین نوع گاز، بوسیله ساختارهای فیبر نوری مبتنی بر بلور فوتونی، این نوع حسگر را از حسگرهای دیگر متمایز ساخته است. حسگرهای فیبر نوری، معمولا بر مبنای تداخلسنجی یا فیبر توری براگ^۱ طراحی می شوند [۳-۲].

سازوکار حسگر فیبر نوری میتواند بر اساس هر یک از مؤلفههای شدت، بسامد، قطبش و یا فاز نور بازتابی باشد. حسگرهایی که بر مبنای شدت موج کار میکنند، از امتیازاتی مانند روش استفاده آسان و قیمت پایین نیز برخوردارند [۴].

در این مقاله، اثر دما روی شدت نور بازتابی از یک فیبر نوری بلور فوتونی که در انتهای یک فیبر نوری تکمد استاندارد (SMF^۲) قرار گرفته، بررسی شده است. شبیه سازی با استفاده از نرمافزار MATLAB انجام شده است. در بخش دوم مقاله مبانی نظری بطور مختصر ذکر شده، در بخش سه به بررسی نتایج عددی پرداخته شده است. در بخش آخر نتیجه گیری پژوهش ارائه شده است.

۲- مبانی نظری

در شکل ۱ طرح سادهای از تار بلور فوتونی شبیه سازی-شده در این پژوهش نشان داده شده است⁷. تار بلور فوتونی از جنس سیلیکا و طول آن برابر mm ۰/۵ mm

¹ Fiber Brag Grating

² Single Mode Fiber

^۲ این ساختار در مرجع (۳) برای ساخت حسگری بر مبنای درصد بازتاب قابری-پرو پیشنهاد و ساخته شده است.

شبکه μ ۲ و شعاع هستهی جامد آن μ $\frac{2}{\sqrt{3}}$ است. همچنین، فیبر تکمد، هستهای از جنس سیلیکا و شعاعی برابر با شعاع هستهی جامد تار بلور فوتونی، μ $\frac{2}{\sqrt{3}}$ داراست. روزنه عددی فیبر تکمد ۲/۰ در نظر گرفته شده است. ضریب شکست و ضریب انبساط خطی سیلیکا به ترتیب ۱/۴۵۷۵ [۳]و $\Gamma/3$ سا/۲ انتخاب شدهاند. تغییرات دمایی ضریب شکست نیز $\Gamma/3$.



شکل ۱: ساختار فابری-پرو استفاده شده در شبیهسازی. a_{SMF} شعاع فیبر تکمد ، PCF شعاع هسته جامد تار بلور فوتونی ، L طول PCF ، Λ ثابت شبکه، R1 ضریب بازتاب سطح جداکننده فیبر تک مد و تار بلور فوتونی و R2 ضریب بازتاب دیوارهی انتهایی تار بلور فوتونی است.

برای محاسبه ی ضریب شکست مؤثر غلاف تار بلور فوتونی، 4 میله سازی موثر شبیه سازی $r = \sqrt{\frac{\sqrt{3}}{2\pi}} \Lambda$ شده و شعاع مؤثر هر سلول واحد از رابطه ی $\Lambda = \sqrt{\frac{\sqrt{3}}{2\pi}} \Lambda$ شده و شعاع مؤثر هر سلول واحد از رابطه مکست مؤثر کل بدست آمده است [۶]. همچنین ضریب شکست مؤثر کل فیبر تکمد و تار بلور فوتونی با بدست آوردن مد مجاز منتشر شده در آنها محاسبه می شود 7 [۷].

جدول ۱: ضرایب شکست فیبر تکمد و تار بلور فوتونی برای هریک از طول d/Λ موجهای تداخلی با در نظر گرفتن نسبت قطر حفره به فاصله حفرهها، d/Λ موجهای تداخلی با در نظر گرفتن نسبت قطر حفره به فاصله حفرهها، d/Λ ستون دوم ضریب شکست مؤثر فیبر تکمد (n_{SMF}) . ستون سوم ضریب شکست مؤثر غلاف تار بلور فوتونی (n_{FSM}) و ستون چهارم ضریب شکست مؤثر تار بلور فوتونی (

d/Λ=0.5	n _{SMF}	n _{FSM}	n _{PCF}
$\lambda_1 = 1.3 \ \mu m$	1.4448	1.4189	1.4332
λ ₃ =1.5 μm	1.4442	1.4124	1.4272
d/Λ=0.6			
$\lambda_2=1.4 \ \mu m$	1.4444	1.3946	1.4249
λ ₃ =1.5 μm	1.4442	1.3899	1.4210

⁴ Effective index of the Fundamental Space-filling Mode ⁵ Effective Index Method

· برای مطالعه دقیق روش محاسبه به مرجع ۶ و۷ مراجعه شود.

 $\lambda_4 = 1.6 \ \mu m$ 1.4440 1.3855 1.4171

محل اتصال دو فیبر، بهطور طبیعی مانند آینه عمل می-کند، اما فقط بخشی از نور بازتاب می گردد. ضریب بازتاب سطح جداکننده فیبر تک مد و تار بلور فوتونی، R، و دیوارهی انتهایی تار بلور فوتونی، R₂، (شکل۱) با استفاده از معادلات فرنل محاسبه می شوند.

$$R_{1} = \frac{\left(n_{SMF} - n_{PCF}\right)^{2}}{\left(n_{SMF} + n_{PCF}\right)^{2}} \tag{1}$$

$$R_{2} = \frac{(n_{PCF} - n_{air})^{2}}{(n_{PCF} + n_{air})^{2}}$$
(7)

که در آن n_{air} ضریب شکست هوا و برابر ۱ است [۸]. شدت بازتابی کل تداخلسنج فابری-پرو که در این مقاله تار بلور فوتونی است،از رابطهی زیر بدست میآید:

$$\frac{I}{I_0} = \frac{R_1 + R_2 + 2\sqrt{R_1 R_2} \cos \Phi}{1 + R_1 R_2 + 2\sqrt{R_1 R_2} \cos \Phi}$$
(°)

$$\Phi = \frac{4\pi n_{PCF} L}{\lambda_i} \tag{f}$$

در اثر افزایش دما سیلیکا منبسط شده و طول تار بلور فوتونی افزایش مییابد. ضریب شکست موثر تار بلور فوتونی نیز با ضریب ۲^{۰٬-۱۰×۱/۱۹} بیشتر خواهد شد. در نتیجه تغییرات فاز در تداخلسنج تغییر کرده و شدت موج تداخلی بازتابی، در رابطه ۳، تابعی از دما خواهد بود.

۳- بررسی نتایج عددی

ضریب شکست مؤثر ساختار بلور فوتونی با استفاده از روش ضریب شکست مؤثر برای نسبتهای ۵/۰=//b و مراجه و در جدول ۱ درج شده است. طبق محاسبات، وابستگی دمایی ضریب شکست موثر فقط به مقدار ۲۰۰۰۱ واحد تغییر ایجاد میکند، که قابل چشم-پوشی است. در شکل۲ تغییرات شدت بهنجار موج بازتابی حاصل از برهم نهی دوتایی مدهای مختلف با طول موج-

های ۱/۳µm ، ۱/۴µm و ۱/۶µm در تار نوری بلور فوتونی که نسبتهای *d/Λ* آنها برابر ۰/۵ و ۰/۶ در نظر گرفته شده، در بازه دمایی ۵۰۰–۲۵ درجه سانتیگراد نشان داده شده است.

همانطور که در شکل ۲ مشاهده میشود، تغییرات شدت بهنجار موج بازتابی از PCF نسبت به دما رفتار سینوسی دارد. برای بهتر مشخص شدن قسمت خطی نمودارها، در شکل ۳ بازهی دمایی به ۲۵۰ ۲۵ کاهش داده شده است.



از شکل ۳ میتوان دریافت که برهمنهی دو طول موج $\lambda_1 = 1/7$ و برهمنهی طول $\lambda_2 = 1/6$ و برهمنهی طول $\lambda_1 = 1/7$ و برهمنهی طول موج های $\lambda_1 = 1/6$ و $\lambda_2 = 1/8$ با 8/-8/16 در بازه موج های ۲۵–۲۵ درجه سانتیگراد تغییرات خطی دارند. بازه دمایی تغییرات خطی شدت بهنجار برای برهمنهی دو طول موج ۲۵–۲۵ درجه سانتیگراد قرار می گیرد.



اینجا نشاندهندهی حساسیت دمایی شدت موج بازتابی به دما است. همانطور که مشاهده می شود بیشترین حساسیت، در بیشینهی منحنی روی می دهد. نقطهی صفر این نمودارها نیز بیان کننده ی عدم تغییر شدت نسبت به دما است.



با توجه به شکلهای ۳ و ۴، میتوان نتیجه گرفت که شدت بهنجار حاصل از برهمنهی طول موجهای $\lambda_1=1/٣$ μm و $\lambda_2=1/۵$ μm حسگر دمایی مناسبی برای دمای کمتر از ۵۰°۵ نیست. در حالیکه فیبر نوری بلور فوتونی با دو طول موج $\lambda_1=1/۵$ μm نوری بلور اوتونی با دو طول موج $\lambda_2=1/۶$ μm نفران میدهد.



شکل ۵:شدت موج تداخلی بازتابی بهنجار برحسب دما با نسبتهای مختلف d/A

تغییرات ضریب حساسیت دمایی، K، به دما برای دو طول موج $\lambda_1=1/4$ و $\lambda_2=1/8$ بهازای نسبتهای مختلف d/A، در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود ضریب K به ازای d/A=0/8 در بازهی

وسيعتري از دما تغييرات دارد.

۴- نتیجهگیری

تغییرات شدت بهنجار موج بازتابی از یک تار نوری بلور فوتونی، حاصل از برهمنهی دوبهدوی مدهای مختلف با طول موجهای ۱/۳µ۳ ، ۱/۳µ۳ و ۱/۶µ۳ بر حسب دما، بررسی شد. نتایج بدست آمده نشان داد که فیبر بلور فوتونی به ازای برهم نهی دو طول موج فیبر بلور فوتونی به ازای برهم نهی دو طول موج تا 1/2 در بازه دمایی 1/2 در بازه دمایی 2° ۲۵ تا 2° ۲۳۵۲ ضمن ایجاد بیشترین تغییرات شدت در موج بازتابی، بزرگترین بازه دمایی را بهطور یکبهیک پوشش میدهد.

مراجع

- [1] Wang R., Yao J., Miao Y., Lu Y., Xu D., Luan N., Musideke M., Duan L., and Hao C., A reflective photonic crystal fiber temperature sensor probe based on infiltration with liquid mixtures, Sensors, vol. 13, no. 6 (2013) 7916–25.
- [2] Harun S. W., Yasin M., Rahman H. A., Arof H., Fiber Optic Temperature Sensors, www.INTECHopen.com (2008).
- [3] Ding W., and Jiang Y., Miniature Photonic Crystal Fiber Sensor for High-Temperature Measurement, IEEE Sensors Journal, vol. 14, no. 3 (2014) 786– 789.
- [4] Annamdas V., Review on Developments in Fiber Optical Sensors and Applications, vol. 1, no. 1 (2012) 1–16.
- [5] Laouar R., Colby E., England J., Noble R., Measurement of thermal dependencies of PBG fiber properties, Conf.Proc. C110328 ,SLAC-PUB, Stanford Uni, (2011) 1343-1345.
- [6] Li Y. F., Wang C. Y., Wang Z. H., Hu M. L., and Chai L., Solution of the fundamental space filling mode of photonic crystal fibers: numerical method versus analytical approaches, Applied Physics B, vol. 85, no. 4 (2006) 597-601.
- [7] Mitschke F., *Fiber Optics*, p. 35, Springer, 2009.
- [8] Tsai W.and Lin C., A Novel Structure for the Intrinsic Fabry – Perot Fiber-Optic Temperature Sensor, IEEE journal of lightwave technology, vol. 19, no. 5 (2001) 682–686.
- [9] Thompson B. J., Fiber Optic Sensors, p. 37, CRC, 2008.