



بیست و دومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران  
و هشتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران  
۶ تا ۸ بهمن ماه ۱۳۹۴، دانشگاه یزد



## طراحی حسگر تنش و دما مبتنی بر موجبر توری براگ با پوسته کامپوزیت

ندا رحمن شکر گزار<sup>۱</sup>، سیده مریم سیدی<sup>۱</sup>، علی رستمی<sup>۲</sup> و قاسم رستمی<sup>۲</sup>

پردیس بین الملل ارس دانشگاه تبریز<sup>۱</sup>، دانشکده فناوریهای نوین دانشگاه تبریز<sup>۲</sup>

چکیده - در این مقاله، هدف طراحی حسگر نوری با پوسته کامپوزیت و حساسیت بالا میباشد، از تئوری محیط موثر برای موجبر کامپوزیت استفاده گشته و با استفاده از یک مدل پیشنهادی، شبکه توری براگ در طول معینی از پوسته کامپوزیت تعبیه گشته و تاثیرات تنش و دما بر روی طول موجهای حسگر و همچنین بر روی بازتابش و انتقال بر حسب طول موج مورد بررسی قرار گرفته است. مشاهده میشود، با اعمال تنش و دما، ضریب شکست موثر، حسگر فیبر نوری، موجبر مستطیلی، پوسته کامپوزیت، تنش قرمز شیفت می یابد.

کلید واژه- فیبر توری براگ، ضریب شکست موثر، حسگر فیبر نوری، موجبر مستطیلی، پوسته کامپوزیت، تنش

## Strain and temperature sensor design based on bragg grating waveguide with composite cladding

N. R.Shokrgozar<sup>1</sup>, S.M.Seyyedi<sup>1</sup>, A. Rostami<sup>2</sup> and Gh.Rostami<sup>2</sup>

1.Aras International Campus, University of Tabriz,

2.School of Engineering-Emerging Technology, University of Tabriz

Abstract- The purpose of this article is to design optical sensors with composite clad and high sensitivity, the effective medium theory was applied to slab waveguide, and, using a suggested model, a Fiber Bragg Grating is located in an specific length of composite clad of slab waveguide and effects of strain and temperature on the wavelength of the sensor and reflection and transfer based on wavelength is analyzed. It is observed that with apply strain and temperature, the reflective index has an increasing trend and reflection tends toward high wavelength, infrared area.

Keywords: Fiber Bragg Grating, Effective Reflective Index, Optical Fiber Sensor, Slab Waveguide, Composite Clad, Strain

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت [www.opsi.ir](http://www.opsi.ir) قابل دسترسی باشد.

## ۱- مقدمه

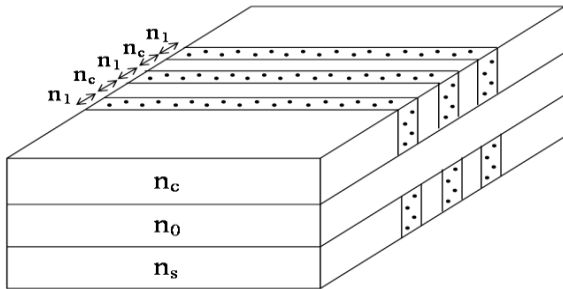
در دهه های اخیر، تحقیقات گسترده ای برای افزایش دقت، عملکرد و حساسیت، تاثیرات تنش و دما در حسگرهای فیبر نوری انجام گشته است. اساس کار حسگر فیبر نوری اصل بازتاب داخلی کلی در درون هسته فیبر است [۱]. حسگرهای فیبر نوری و موجبرهای مستطیلی امکان اندازه گیری پارامترهای مختلف مانند تنش، دما، غلظت و فشار را در محیط های مختلف فراهم می کند. اما محدودیت هایی از جمله هزینه بالا، دقت و قابلیت اطمینان در حسگر مطرح می شود [۲]. همچنین، مطالعات زیادی جهت طراحی حسگرهای توری براگ انجام گشته است. حسگرهای توری براگ از تغییر ضریب شکست متناوب در هسته فیبر جهت فیلتر کردن موج استفاده می کند [۳]. از این نوع حسگر جهت اندازه گیری فشار، دما، شتاب، جابجایی، خمش، لرزش، زاویه کج شدگی، جریان الکتریکی، امواج آکوستیک استفاده می شود [۴]. از طرفی، حسگر طراحی شده در [۵]، حسگر دما است که نانوذرات کروی طلا در یک لایه دی الکتریک در اطراف هسته در بخش کوچکی از فیبر جا سازی شده است. طراحی حسگر فیبر نوری بر اساس رزونانس پلاسمون سطحی در [۶] استفاده گشته است، جهت طراحی پوسته را چند لایه کرده و قسمتی از پوسته را حذف کرده و با فیلم نانو ذرات آلیاژ طلا و نقره پوشش داده اند.

در این مقاله، ابتدا اساس کار طراحی حسگر شرح داده می شود و معادلات مربوط به روابط انعکاسی و عبوری در فیبر توری براگ و آنالیز مدال موجبر بیان گشته است. همچنین با استفاده از تئوری محیط موثر و شبکه توری براگ در پوسته موجبر کامپوزیت به بررسی آثار ناشی از دما و تنش پرداخته شده است. در نهایت شبیه سازیهای مربوط به تاثیرات دما و تنش در حسگر طراحی شده و آنالیز مدال مربوطه بررسی خواهد شد.

## ۲- تئوری و فرمولاسیون

شکل ۱ موجبر نوری را نشان می دهد که در آن ضریب شکست هسته  $n_0$  بیشتر از روکش فلزی  $n_c$  و زیرلایه  $n_s$

است، بنابراین نور در هسته با بازتاب داخلی کلی محدود می گردد.



شکل (۱) فیبر توری براگ با پوسته کامپوزیت

همانطور که مشخص است نانوذرات به روکش و زیرلایه موجبر مستطیلی به صورت توری براگ اعمال گشته است. برای محاسبه تاثیر نانوذرات در ضریب شکست از مدل درود استفاده شده است. سپس، با استفاده از تئوری محیط موثر به بررسی ساختار کامپوزیت پرداخته گشته است و از مدل ماکسول-گارتن در این خصوص استفاده شده است [۷]. جهت آنالیز انتشار موج در موجبرهای مستطیلی، از مد TE و TM استفاده شده است. با در نظر گرفتن ضریب شکست یکنواخت، معادله پراکندگی به صورت معادله (۱) به دست می آید.

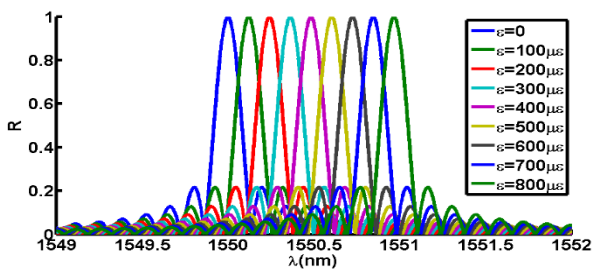
$$2u\sqrt{1-b} = m\pi + \tan^{-1} \sqrt{\frac{b}{1-b}} + \tan^{-1} \sqrt{\frac{b+\gamma}{1-b}} \quad (1)$$

$$\begin{cases} u^2 + \omega^2 = k^2 a^2 (n_1^2 - n_s^2) \equiv v^2 \\ u = v\sqrt{1-b}, \omega = v\sqrt{b}, \gamma = \frac{n_s^2 - n_0^2}{n_1^2 - n_s^2} \end{cases} \quad (2)$$

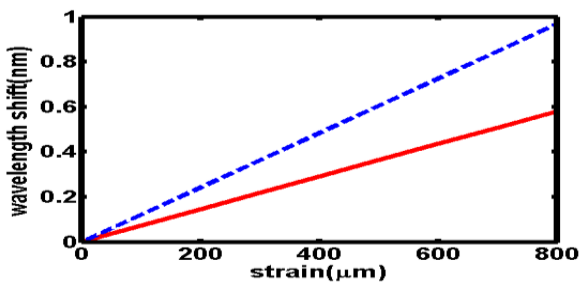
که  $v$  فرکانس نرمالیزه است  $\gamma$  عدم تقارن ضریب شکست روکش فلزی را نشان می دهد. معادلات (۱) و (۲) برای موجبرهای مستطیلی معمولی صادق است. از این رو، به جای ضریب شکستهای استفاده شده در رابطه (۲) از ضریب شکستهای به دست آمده از طریق تئوری محیط موثر که در آن تاثیر نانوذرات نیز اعمال شده است، استفاده می گردد [۷]. از طرفی، در این کار از حسگر فیبر نوری با روکش توری براگ استفاده شده است. اصل اساسی که پراشه فیبری براگ بر اساس آن کار می کند، بازتاب فرنل است. عموم پراشه ها دارای یک ضریب شکست متغیر سینوسی در یک طول مشخص هستند.

### ۳- نتایج حاصل از شبیه سازی

ابتدا در شکل ۲ تغییرات طول موج به ازای تنش های مختلف را نشان می دهد. مشاهده می شود که با اعمال تنش های افزایشی به حسگر طراحی شده بازتابش به سمت طول موج های بزرگتر شیفت پیدا می کند، از این رو حساسیت بالای حسگر به راحتی قابل درک است. با توجه به شکل بدون اعمال تنش، حداکثر بازتابش در طول موج ۱۵۵۰nm رخ میدهد، در حالیکه با اعمال تنش ۸۰۰ میکرواسترین حداکثر بازتابش در طول موج ۱۵۵۱ nm رخ میدهد.



شکل ۲) تغییرات طول موج بر حسب بازتابش به ازای تنشهای مختلف



شکل ۳) تغییرات طول موج به ازای تنشهای مختلف (خط ممتد قرمز برای حسگر براگ گرتینگ و خط چین آبی برای حسگر طراحی شده است).

شکل ۳، تغییرات طول موج با اعمال تنش را به صورت خطی نشان می دهد. با اعمال نانو ذرات در حسگر براگ گرتینگ و با اعمال تنش میزان حساسیت حسگر افزایش می یابد. با بررسی شکل ۴ مشاهده می شود که با افزایش طول حسگر می توان تنش های کوچکتری را اندازه گیری کرد، طول حسگر طراحی شده یک عامل مهم در تعیین حساسیت حسگر است. نتیجه اینکه حسگر با طول بیشتر دارای وضوح بهتری است بنابراین یک توازن بین رزولوشن حسگر و طول حسگر مورد ساخت برقرار می شود تا مناسب کار باشد.

طول موج بازتابی ( $\lambda_B$ ) که طول موج براگ نامیده می شود، در رابطه (۳) نشان داده شده است.

$$\lambda_B = 2 \Lambda n_{eff} \quad (3)$$

$n_{eff}$  ضریب شکست موثر پراشه در هسته فیبر و  $\Lambda$  دوره تناوب پراشه است [۸]. جهت بررسی چگونگی بازتابش در فیبر توری براگ و تاثیر تنش و دما در آن، ابتدا با تقسیم طول حسگر بر دوره تناوب، تعداد شبکه های گرتینگ بدست می آید و در نهایت بازتابش از روی آن محاسبه می شود. همچنین، با در نظر گرفتن طول مشخص برای حسگر توری براگ برای مثال  $L=6mm$ ،  $N$  تعداد گرتینگ به دست می آید.

$$N = \frac{2 * n * L}{\lambda_0} \quad (4)$$

که در آن،  $\lambda_0$  پیک طول موج و  $n$  ضریب بازتابش فیبر است، همچنین طیف بازتابی  $R_i$  را می توان با استفاده معادله (۵) به دست آورد.

$$R_i = \frac{\lambda_0}{\pi * N * \Delta \lambda_i} * \sin \left( \frac{\pi * N * \Delta \lambda_i}{\lambda_0} \right) \quad (5)$$

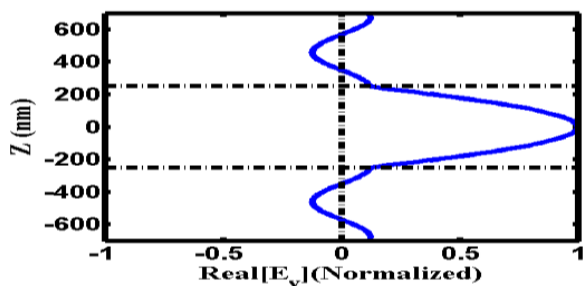
با توجه به معادله (۵) طول موج براگ وابسته به فاصله تناوبی توری و ضریب شکست موثر از فیبر نوری است. در عمل، حساسیت تنش در حسگر توری براگ توسط معادله (۶) بدست می آید.

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda_0} = (1 - \rho) \epsilon_{ax} \quad (6)$$

که در اینجا  $K$  فاکتور اندازه گیری است که می توان آن را به صورت  $K = 1 - \rho$  نوشت و  $\epsilon_{ax} = \frac{\Delta l_{ax}}{l_0}$  تنش محوری است. منظور کششی یا فشاری است که بر توری براگ اعمال می شود. همچنین، جهت بررسی تاثیر دما بر فیبر توری براگ از معادله (۷) استفاده می گردد.

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda_0} = a_\delta \Delta T \quad (7)$$

که  $a_\delta = \frac{\delta n/n}{\delta T}$  است که مقداری در حدود  $5 \times 10^{-6} k$  تا  $8 \times 10^{-6} k$  دارد [۸].



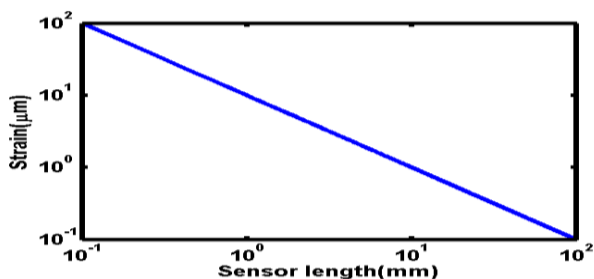
شکل ۷) بررسی آنالیز مدال حسگر فیبر نوری با پوسته گریپینگ کامپوزیت شده در  $m=0$

#### ۴- نتیجه گیری

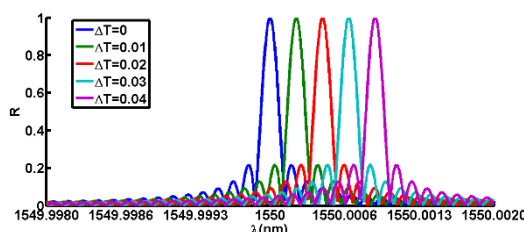
در این مقاله، حسگر توری براگ با پوسته کامپوزیت مورد تحلیل قرار گرفت و حساسیت آن نسبت به دما و تنش مورد بررسی قرار گرفت. این حساسیت بدین معناست که میتوان پراشه فیبری براگ را به عنوان عنصر حساس در حسگرهای فیبر نوری به کار برد. در حسگرهای فیبر نوری، تغییرات تنش و دما، باعث تغییر در طول موج براگ میشود و طول موج انعکاسی به سمت طول موجهای بزرگتر شیفต์ پیدا میکند. شایان ذکر است حساسیت حسگر طراحی شده در مقایسه با حسگر توری براگ ۶۶ درصد افزایش پیدا کرد.

#### ۵- منابع

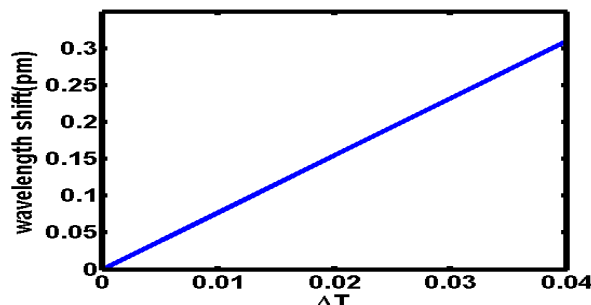
- [1] D.Zhou, "Optical Fiber Sensors for Temperature and Strain Measurement", University of Waterloo in fulfillment of the thesis requirement, 2010.
- [2] F.T.S.Yu and Sh.Yin, "Fiber optic sensors", The Pennsylvania State University, 2002.
- [3] A.Iadicicco, A.Cusano and S.Campopiano, "Thinned Fiber Bragg Gratings as Refractive Index Sensors", IEEE Sensors Journal. VOL. 5, NO. 61288-1294, 2005.
- [4] J.L.Kou, M.Ding, J.Feng, Y.Q.Lu, F.Xu and G.Brambilla, "Microfiber-Based Bragg Gratings for Sensing Applications", College of Engineering and Applied Sciences and National Laboratory of Solid State Microstructures, Nanjing University, 2012.
- [5] S.K.Sivastava and B.D.Gupta, "Simulation of a localized surface plasmon resonance based fiber optic temperature sensor", Department of Physics, Indian Institute of Technology Delhi. Vol. 27, No, 2010.
- [6] A.K.Sharma and B.D.Gupta, "Fibre-optic sensor based on surface plasmon resonance with Ag-Au alloy nanoparticle films", Institute of Physics Publishing, 2005.
- [7] K.Okomoto, "Fundamentals of Optical Waveguides", Second Edition. Academic Press is an imprint of Elsevier, 2006.
- [8] X. Zhang, W.Peng, Y.Liu, H.Li, Zh.ling, Q.Yu, X. Zhou, W. Yao, Y. Wang, and Y. Liang, "Cladding-Mode Obtained by Core-Offset Structure and Applied in Fiber Bragg Grating Sensor", IEEE Asia Communications and Photonics, 2011.



شکل ۴) تحلیل دقت حسگر با تغییر طول آن



شکل ۵) تغییرات طول موج بر حسب بازتابش به ازای تغییرات دمایی شکل ۵ تغییرات دمایی به ازای تغییرات طول موج را نشان می دهد. با اعمال دما به حسگر طراحی شده بازتابش در طول موج های بزرگتر رخ میدهد. مشاهده می شود که این حسگر حساس به تغییرات دما با گام ۰.۰۱ بوده، که این نشانگر حساسیت بالای حسگر است.



شکل ۶) تغییرات طول موج بر حسب به ازای تغییرات دمایی

با توجه به شکل ۶ مشاهده می شود که با تغییر دما تغییرات طول موج خطی خواهد بود. بطوریکه با اعمال دمای ۰.۰۱ طول موج براگ مقدار ۰.۰۷۷۴ و با دو برابر کردن دما این مقدار به ۰.۱۵۴۹ خواهد رسید. آنالیز مدال مربوط به مد پایه در شکل ۷ نشان داده شده است و همانطوریکه انتظار می رفت آنالیز مودال شکل موج در هسته حسگر بصورت سینوسی است، با گریپینگ کردن پوسته آنالیز مودال شکل موج از حالت میرایی خارج گشته و به صورت سینوسی می گردد، یعنی دوام نور در پوسته زیاد می شود.