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

ساخت توری گام بلند بر روی موجبر پلیمری آلائیده به رنگینه‌ی آزو با استفاده از روش رنگ‌پریدگی نوری

سروش مهاجری ناو، عزالدین مهاجرانی، محمدرضا شریفی‌مهر و محسن کوهکن

ایران، تهران، دانشگاه شهید بهشتی، پژوهشکده لیزر و پلاسما، آزمایشگاه فوتونیک مواد آلی و پلیمرها

چکیده – برای ساخت توری، ضریب‌شکست هسته‌ی موجبر به وسیله‌ی یک لیزر دیودی با طول‌موج ۴۷۳ نانومتر و بهره‌گیری از پدیده‌ی رنگ‌پریدگی نوری مدوله شده و با روش نوشتن نقطه به نقطه، توری‌هایی با گام‌هایی از مرتبه‌ی ۱۰۰ میکرومتر روی موجبر ایجاد شده است. برای ساخت هسته و پوسته‌ی موجبر نیز به ترتیب از سیستم میهمان-میزبان *PMMA-DR1* و پلیمر *PVA* استفاده شده است. پس از ایجاد توری، نور با روش تزویج منشوری وارد موجبر شده و طیف عبوری مربوط به این توری ها بوسیله‌ی طیف‌سنج مورد بررسی قرار گرفته است. ارزان بودن و آسانی ساخت از مزایای این کار تجربی می‌باشد.

کلید واژه- تزویج منشوری، توری گام بلند، رنگ‌پریدگی نوری، موجبر اپتیکی

Fabrication of Long Period Grating on Azo Dye-doped Polymer Waveguide Using Photobleaching Method

Soroush Mohajeri Nav, Ezedin Mohajerani, Mohammad Reza Sharifimehr and Mohsen Kouhkan

Organic Materials & Polymers Photonics Laboratory, Laser & Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Abstract- In this article, for grating fabrication, the waveguide core refractive index is modulated using diode laser with 473 nm wavelength and the photobleach phenomenon, using this method, grating with pitch size in order of 100 micrometers was fabricated using point-by-point writing method. In order to fabrication of waveguide core and cladding, PMMA-DR1 guest-host system and PVA polymer is used, respectively. After fabrication of grating on waveguide, light is coupled into the waveguide using a prism and transmission spectrum of the fabricated grating was investigated using a spectrometer. The advantages of this experimental work is inexpensive and easy to build.

Keywords: Long period grating, Optical waveguide, Photobleach, Prism coupling.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-02]

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

۱- مقدمه

امروزه نیاز به انتقال حجم بالایی از اطلاعات در سریع‌ترین زمان ممکن، بشر را به سمت استفاده از تکنولوژی مخابرات نوری سوق داده است؛ همچنین از دیگر عوامل پیشرفت در صنایع مربوط به تکنولوژی نوری، نیاز روز افزون بشر به حسگرهای مختلف برای کنترل محیط پیرامون است. موادی که در تکنولوژی مخابرات نوری و حسگرها مورد استفاده قرار می گیرند، در دو دسته‌ی آلی و معدنی قرار داده می‌شوند. مواد آلی از نظر داشتن ضریب الکترواپتیک بالاتر، پهنای باند بیشتر، ضریب‌دی‌الکتریک پائین‌تر و قیمت کمتر نسبت به مواد معدنی برتری دارند. از مواد آلی در ساخت مدولاتورها، تزویج‌گرها، حسگرها و فیلترها استفاده می‌شود. در این مقاله به ساخت توری‌های گام بلندی که هم در مخابرات نوری و هم در حسگرهای نوری کاربرد دارند پرداخته شده است. هدف از انجام این کار، ساخت یک توری گام بلند برروی یک موجبر پلیمری آلائیده شده به رنگینه‌ی آزو و استفاده از آن به عنوان فیلتر طول‌موجی است. این توری‌ها را می‌توان بر روی فیبرهای نوری و یا بر روی موجبرهای تخت و کانالی ایجاد نمود. از آنجا که ساخت موجبرهای نوری تخت که از فیلم‌های نازکی تشکیل شده‌اند آسان بوده و می‌توان گستره‌ی وسیعی از مواد را در ساخت‌شان استفاده نمود، در این کار تجربی از موجبر تخت استفاده شده است. توری‌های گام بلند، شرایط لازم برای تزویج نور از مدی از هسته که رو به جلو حرکت می‌کند را به مدهایی از پوسته در همان جهت فراهم می‌کنند. این توری‌ها اولین بار توسط ونگسارکار[۱] در سال ۱۹۹۵ پیشنهاد شدند[1]. در این مقاله با نوردهی هسته‌ی موجبر، ضریب‌شکست متناوبی با دوره‌ی تناوبی در حدود چند صد میکرومتر ایجاد شده است. این تغییر متناوب ایجاد شده در ضریب‌شکست، باعث تزویج نور از مد هسته به داخل مدهای پوسته می‌شود. ویژگی جالب این نوع توری‌ها این است که چون نور را به مد پوسته تزویج کرده و مد مربوط به پوسته خودبخود بر اثر پراکندگی، جذب و غیره از بین می‌رود، دیگر نیازی به فیلترکردن مد خاصی نمی‌باشد.

۲- بخش نظری

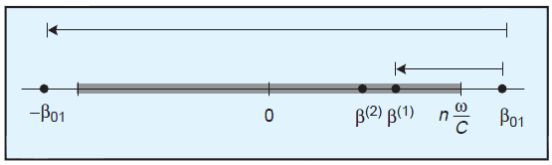
در این قطعات معمولاً با پرتودهی هسته‌ی موجبر، ساختار ضریب شکست متناوبی در آن ایجاد می‌شود. این تغییر متناوب ایجاد شده باعث می‌شود نور از مدهای مربوط به هسته، به مدهایی از پوسته که هم‌جهت با مدهای هسته حرکت می‌کنند تزویج شود؛ تزویج نور بین این دو مد از هسته و پوسته به طول‌موج وابسته است. شدت نور تزویج شده به مد پوسته بر اثر اتلاف‌های ناشی از پراکندگی، جذب و سایر پدیده‌ها به سرعت افت کرده و از بین می‌رود، در نتیجه در طیف خروجی از موجبر، شدت مربوط به محدوده‌ای از طول‌موج‌ها افت کرده و در اصطلاح گفته می‌شود این محدوده از طول‌موج‌ها فیلتر شده است. شرط لازم برای تزویج نور بین این مدها شرط تطبیق فاز نام دارد که با معادله‌ی زیر بیان می‌شود[1]:

$$\Delta\beta^{(m)} = \beta_{01} - \beta^{(m)} = \frac{2\pi}{\Lambda} \qquad (۱)$$

$\Delta\beta^{(m)}$ اختلاف بین ثابت‌های انتشار مد اولیه‌ی هسته و m امین مد از پوسته و Λ گام توری است. باید توجه نمود که این رابطه فقط شرط تطبیق فاز بین اولین مد هسته با مدهای مختلف پوسته است و برای تزویج نور از مدهای مرتبه‌ی بالاتر هسته به داخل مدهای پوسته هم از روابط مشابه‌ایی استفاده می‌شود. با توجه به $\beta = n\frac{\omega}{c}$ و $\omega = \frac{2\pi}{\lambda}c$ و با جایگذاری روابط $\beta_{01} = \frac{2\pi n_{eff}}{\lambda^{(m)}}$ و $\beta^{(m)} = \frac{2\pi n_{eff}^{(m)}}{\lambda^{(m)}}$، شرط تطبیق فاز را به صورت زیر هم می‌توان نوشت[6]:

$$\lambda^{(m)} = (\delta n_{eff}^{(m)})\Lambda \qquad (۲)$$

که $\lambda^{(m)}$ طول‌موج مرکزی ناحیه‌ی حذف شده و $\delta n_{eff}^{(m)} = n_{eff} - n_{cl}^{(m)}$ اختلاف بین ضرایب‌شکست موثر اولین مد هسته و مدهای پوسته است[2]. بنابراین تنها به ازای طول‌موج‌های خاصی شرط تطبیق فاز برقرار خواهد شد. این شرط می‌تواند به طور هم‌زمان بین چند مد از هسته و پوسته برقرار باشد، در نتیجه در طیف خروجی یک یا چند افت که ناشی از تزویج بعضی از طول‌موج‌ها بین مد پوسته و هسته است، مشاهده می‌شود. توری‌های گام بلند شباهت زیادی با توری‌های براگ دارند اما توری‌های براگ گام‌های کوتاهی از مرتبه‌ی۱ میکرومتر دارند، در حالیکه گام توری‌های گام بلند به طور نوعی از مرتبه‌ی ۱۰۰ میکرومتر است. برای فهم بیشتر نحوه‌ی عملکرد توری‌های گام بلند و تفاوت آن‌ها با توری‌های براگ، از نموداری به نام نمودار بتا استفاده می‌شود[1]. که این نمودار در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱: نمودار β و استفاده از آن برای شرط تطبیق فاز.

در شکل (۱)، β_{01} و $-\beta_{01}$ به‌ترتیب ثابت انتشار اولین مد هسته در جهت جلو و عقب هستند، $\beta^{(1)}$ و $\beta^{(2)}$ نیز به‌ترتیب ثابت‌های انتشار مربوط به مد مرتبه‌ی اول و دوم پوسته می‌باشند. در توری‌های براگ، نور از مدی با ثابت انتشار β_{01} به مدی از هسته با ثابت انتشار $-\beta_{01}$ تزویج می‌شود در صورتی‌که در توری‌های گام بلند نور از مدی با ثابت انتشار β_{01} به مدهایی از پوسته با ثابت انتشار $\beta^{(1)}$ یا $\beta^{(2)}$ تزویج می‌شود. همان‌طورکه در شکل (۱) نیز مشاهده می‌شود، $\Delta\beta$ مربوط به توری‌های براگ از $\Delta\beta$ مربوط به توری‌های گام بلند

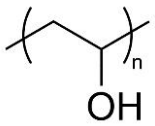
[۱] Vengsarkar

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-02]

بسیار بزرگ‌تر است و بنابراین طبق معادله‌ی (۱)، Λ مورد نیاز توری‌های گام بلند بسیار بزرگ‌تر از توری های براگ است.

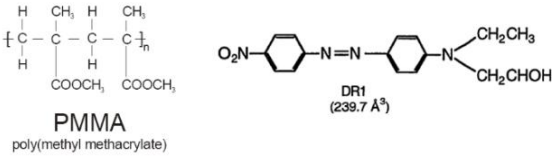
۲-۱- مواد مورد استفاده و ساخت نمونه

برای پوسته‌ی موجبر از پلیمر پلی‌وینیل‌الکل (PVA) تهیه شده از شرکت آلدریچ استفاده شده است. این پلیمر در آب ۸۵ تا ۹۰ درجه بخوبی حل می‌شود. ساختار شیمیایی این ماده در شکل (۲) آورده شده است.



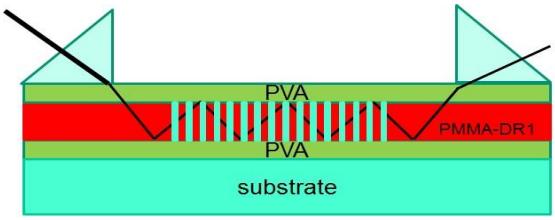
شکل۲: ساختار شیمیایی پلیمر پلی وینیل الکل.

برای هسته‌ی موجبر از سیستم میهمان-میزبان PMMA-DR1 (۵٪ جرمی) استفاده شده، که در آن، پلیمر PMMA (پلی‌متیل‌متاکریلات) نقش میزبان را داشته و رنگینه‌ی Disperse Red1 به‌عنوان میهمان به آن افزوده می‌شود. هردوی این مواد از شرکت آلدریچ خریداری شده و حلال مشترک آن‌ها دی‌کلرومتان است. ساختار شیمیایی این مواد نیز در شکل (۳) آورده شده است.



شکل ۳: ساختار شیمیایی پلیمر PMMA و رنگینه‌ی DR1.

برای ساخت موجبر ابتدا یک لایه PVA با ضخامت ۳ میکرومتر برای ایجاد پوسته‌ی موجبر بوسیله‌ی لایه‌نشانی چرخشی بر روی زیرلایه (لام شیشه‌ایی) نشانده شد. به دلیل حساسیت جواب آزمایش به ضریب‌شکست پوسته، نمونه به مدت ۲۴ ساعت در کوره‌ای با دمای ۷۵ درجه قرار داده شد تا حلال آن به طور کامل خارج شود؛ سپس هسته‌ی موجبر که از یک لایه PMMA-DR1 با ضخامت حدوداً ۵ میکرون تشکیل شده است، به روش لایه‌نشانی فروبردنی بر روی لایه‌ی PVA ایجاد شد. به‌منظور تبخیر حلال، این ساختار نیز به مدت ۳ ساعت در کوره‌ای با دمای ۷۵ قرار داده شد. در این مرحله توری موردنظر با استفاده از روش نقطه به نقطه و به‌وسیله‌ی لیزر دیودی با طول موج ۴۷۳ نانومتر بر روی هسته‌ی موجبر ایجاد شد.

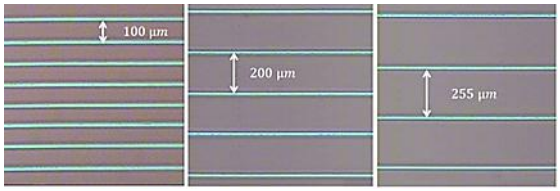


شکل ۴: ساختار نمونه و توری ایجاد شده بر روی هسته‌ی موجبر.

شکل (۴) ترتیب قرار گرفتن لایه‌ها، توری ایجاد شده بر روی هسته‌ی موجبر و روش تزویج نور به داخل موجبر را نشان می‌دهد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود دو منشوری که بالای نمونه قرار دارند نور را به داخل موجبر تزویج کرده و از آن خارج می‌کنند. این روش تزویج نور را روش تزویج دو منشوری می‌نامند. بیشینه‌ی جذب PMMA-DR1 در طول‌موج ۴۸۸ نانومتر است، که به طول‌موج لیزر ما نزدیک است. پرتوی لیزر توسط مولکول‌های رنگینه جذب شده و به خاطر بالا بودن شدت نور فرودی مولکول‌های رنگینه تخریب شده و کوچک‌تر می‌شوند و ضریب‌شکست مربوط به نواحی نوردهی شده به خاطر تغییر در ساختار مولکول رنگینه کاهش پیدا می‌کند و بدین ترتیب ضریب‌شکست موجبر مدوله می‌شود[3]. در مرحله آخر پوسته‌ی بالایی موجبر مشابه با پوسته‌ی پایینی موجبر لایه‌نشانی شد. منبع نوری مورد استفاده، لامپ هالوژن-دوتریوم بوده و از طیف‌سنج Ocean Optic USB2000 برای آشکارسازی طیف خروجی استفاده شده است[4]. برای ایجاد توری‌هایی با گام‌های مناسب نیاز به تعیین ضریب‌شکست است که در این‌جا از روش پله‌ی فازی برای این منظور استفاده شده است[5].

۲-۲- نتایج تجربی

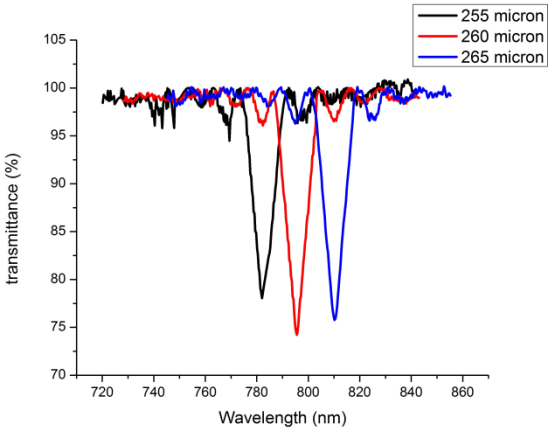
مقادیر ضریب‌شکست هسته و پوسته به ترتیب ۱.۵۰۳ و ۱.۴۹۵ به‌دست آمد. باید توجه نمود که ضریب‌شکستی که در روابط قرار می‌گیرد، ضریب‌شکست موثر است و با ضرائب‌شکست اندازه‌گیری شده اندکی متفاوت است.



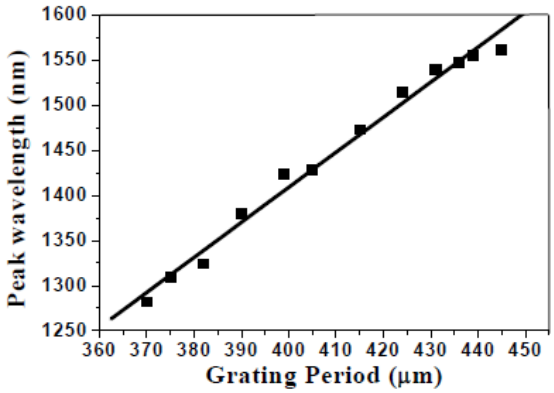
شکل ۵: نمونه‌ایی از توری‌های ایجادشده بر روی هسته‌ی موجبر که توسط لنز 4x میکروسکوپ نوری گرفته شده است.

در شکل (۵) تصویر میکروسکوپی چند نمونه از توری‌های گام بلند با گام‌های متفاوت مشاهده می‌شود. هر کدام از این توری‌ها، محدوده‌ی طول‌موجی مربوط به خود را در طیف خروجی حذف می‌کنند. برای جابه‌جایی نمونه زیر نور لیزر از پایه‌ی متحرکی با دقّتی در حدود ۱۲۰ نانومتر استفاده شده است. بنابراین می توان گفت فاصله‌ی شیارهای توری دارای خطایی حدوداً از مرتبه‌ی ۱۰۰ نانومتر می‌باشند.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-02]



شکل ۶: طیف عبوری سه توری مختلف که به ترتیب دارای گام‌های ۲۵۵، ۲۶۰ و ۲۶۵ میکرون هستند.



شکل۷: نمودار مربوط به توری گام‌بلند ایجاد شده برروی یک موجبر پلیمری[7].

در شکل (۶)، نمودار مقایسه‌ی عملکرد سه توری مختلف با گام‌های ۲۵۵ ، ۲۶۰ و ۲۶۵ میکرون آورده شده است. در این شکل، محور عمودی نمودار، درصد عبور طیف‌های مختلف منبع نوری را نشان می‌دهد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، با افزایش گام توری، طول‌موج مرکزی ناحیه‌ی فیلتر شده به سمت طول‌موج‌های بلندتر جابه‌جا می‌شود. بنابراین برای حذف محدوده طول‌موج‌های موردنظر، می‌توان گام‌های متناظر با همان محدوده طول‌موج‌ها را بر روی موجبر ایجاد نمود.

نتایج حاصل از توری‌های ساخته شده در این کار تجربی با توری‌های دیگر قابل مقایسه بوده و دارای مزایایی همچون ارزانی ساخت، سادگی و در دسترس بودن روش ساخت می‌باشد. در شکل ۷ نمونه‌ای از نتایج کارهای مشابه را می‌بینیم. همانطور که پیداست در این نمودار هم با افزایش گام توری، طول موج مرکزی به سمت طول موجهای بزرگتر جابجا می‌شود.

۳- نتیجه‌گیری

با استفاده از یک لیزر دیودی با طول‌موج ۴۷۳ نانومتر و به روش رنگ‌پریدگی نوری توری‌هایی با گام‌های ۲۵۵، ۲۶۰ و ۲۶۵ میکرون بر روی هسته‌ی موجبر ایجاد شد. با تزویج طیفی از طول‌موج‌ها در محدوده‌ی مرئی تا مادون قرمز به داخل موجبر و تحلیل طیف خروجی بوسیله‌ی طیف‌سنج، نموداری از طول‌موج‌های عبوری از موجبر به صورت شکل (۶) به‌دست آمد. این شکل نشان می‌دهد که با ایجاد توری‌هایی با گام‌های مختلف می‌توان نواحی طول‌موجی مورد نظر متناظر با آن گام‌ها را از طیف ورودی حذف نمود. نتایج بدست آمده از این کار تجربی را با نتایج مشابه مقایسه کردیم و دیدیم که توری‌های ساخته شده عملکرد مشابه‌ای داشته و بعلاوه دارای مزایایی همچون آسانی ساخت، ارزان بودن و در دسترس بودن می‌باشند.

مراجع

[1] A. M. Vengsarkar, P. J. Lemaire, J. B. Judkins, V. Bhatia, T. Erdogan, and J. E. Sipe, "Long-period fiber gratings as band-rejection filters," *J. Lightwave Technol.*, **14**(1), 58-65 (1996)

[2] S. W. James, and R. P. Tatam, "Optical fibre long-period grating sensors: characteristics and application," Meas.Sci. Technol. **14**(5), R49–R61 (2003).

[3] Amin Azari, Ezedin Mohajerani, Zahra Abedi, Zahra Eslami, "Fabrication of channel waveguides in dye-doped polymer films by a beam-processing machine based on photo induced bleaching," Appl. Opt. **52,** 7228-7232 (2013)

[4] Stephen W. James, Serhiy Korposh, Seung-Woo Lee, and Ralph P. Tatam. A long period grating-based chemical sensor insensitive to the influence of interfering parameters. Optics Express, Vol. 22, Issue 7, pp. 8012-8023 (2014)

[5] S.R.Hosseini and M. T. Tavassoly " Investigation of correlation properties of light fields by Fresnel diffraction from a step ", *Proc. SPIE* 9066, Eleventh International Conference on Correlation Optics, 906607, December 17 (2013)

[6] Khaliq S, James S W and Tatam R P 2002 Enhanced sensitivity fibre optic long period grating temperature sensor *Meas. Sci. Technol.* **13** 792–5

[7] Tsoi, H.C.; Wong, W.H.; Pun, E.Y.B., "Polymeric long-period waveguide gratings," *Photonics Technology Letters, IEEE* , vol.15, no.5, pp.721,723, May 2003

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-02]