



بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران  
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران  
۸ تا ۱۰ بهمن ماه ۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز



## ساخت تزویجگر مجتمع پلیمری با استفاده از توریهای حجمی

محمد حسین فتحی فروشانی و علیرضا غروی

آزمایشگاه مواد و قطعات فوتونیک، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه شیراز

چکیده - در این تحقیق روش ساخت تزویجگر توری حجمی هولوگرامی، بر روی فیلمهای پلیمری، ارائه داده شده است. این آزمایش توسط لیزر با طول موج ۵۳۲ نانومتر و با ماکزیمم توان ۱۵۰ میلیوات انجام شد. تزویجگر توری حجمی مجتمع به روش کاملا نوری و با بهره‌گیری از مشخصه ایزومریزاسیون سیس-ترانس کروموفورهای آزو انجام شد، که ساختار توری با استفاده از تداخل الگوهای دو پرتوی هم‌دوس لیزر ایجاد می‌شود. پس از پیاده‌سازی توری، بازده نور تزویج شده ۳/۸٪ بدست آمده است.

کلید واژه- تزویجگر توری حجمی، توری براگ، فیلم پلیمری، کروموفورهای آزو.

## Fabrication of Polymeric integrated blazed volume grating coupler

Mohammad Hossein Fathi Foroushani, Alireza Gharavi

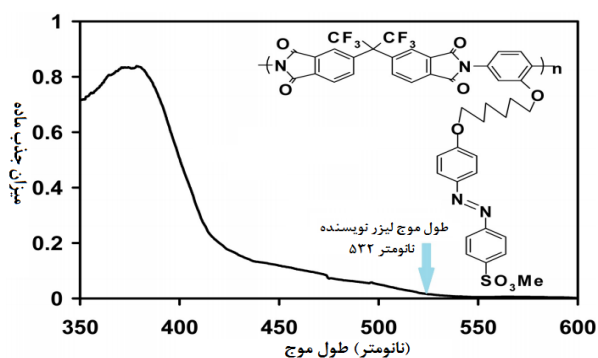
Photonic laboratory, School of electrical & computer engineering, Shiraz university

Abstract- In this paper fabrication of a holographic blazed grating coupler on polymeric films is presented. This experiment was implemented with 532nm laser with a peak power of 150mw. The volume grating coupler was fabricated using an all optical technique based on cis-trans isomerization property of azo chromophores. After implementation of grating coupler, the measured efficiency of grating was 3.8%.The grating structure was fabricated using interference patterns of two coherent laser beams.

Keywords: Volume grating coupler, Bragg grating, Polymeric film, Azo chromophore.

## ۱- مقدمه

است. روش سنتز کردن ماده در مرجع شماره [۳] همین مقاله آمده است. برای آماده کردن یک فیلم لایه نازک از این نوع پلیمر، ۳۰۰ میلی گرم از ماده پلیمری درون ۲ میلی لیتر از ماده دیمتیل فورمامید (DMF) حل می-شود. محلول ایجاد شده را از یک صافی ۰/۲ میکرومتری عبور داده و پس از آن محلول بر روی یک زیر لایه از جنس شیشه به ابعاد ۲/۵×۳/۸ سانتی متر مربع به روش لایه نشانی گردشی با سرعت گردش ۲۴۰۰ دور بر دقیقه لایه نشانی می-شود. در مرحله بعد، فیلم ایجاد شده در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۵ دقیقه خشک شده و سپس جهت بهبود فیلم ایجاد شده تا دمای ۱۶۰ درجه سانتی گراد به مدت ۶۰ دقیقه حرارت داده می شود. ضخامت و ضریب شکست فیلم با استفاده از روش تزویج منشوری [۴] تعیین شد. در این روش از لیزر ۸۳۰ نانومتر به عنوان منبع نوری استفاده شد، که ضخامت فیلم ۹/۵ میکرون و ضریب شکست فیلم برای قطبش TE در همین طول موج ۱/۶ محاسبه شد.



شکل (۱) ساختار شیمیایی و طیف جذب ماده پلیمری. جذب پلیمر در این طول موج جهت ایجاد توری مناسب است.

## ۳- ساخت تزویجگر توسط توری حجمی کج

به طور معمول ساخت توری در آزمایشگاه فوتونیک دانشگاه شیراز با استفاده از تکنیک ایجاد هولوگرام انجام می شود. از آنجاییکه توری ها در حالت عادی بردار موجی عمود بر صفحه فیلم دارند، در این حالت مطمئناً شرایط لازم برای تزویج نور داخل فیلم به صورت مفید و موثر مهیا نیست. برای تزویج نور داخل فیلم های لایه نازک، طوری که نتیجه کارآمدی داشته باشد باید هر دو شرط براگ و تطبیق فاز برقرار باشد. برای ساخت تزویجگر با استفاده از توری های حجمی، توسط شرایط تطبیق فاز و

امروزه در تمام جهان تلاش متخصصین در جهت رسیدن به تکنولوژی ساخت مدارات مجتمع نوری ارزان قیمت می باشد. یکی از نامزدهای اصلی برای ساخت ادوات نوری مجتمع، فیلم های پلیمری هستند. تهیه کردن پلیمرها و کار کردن با آنها آسان، سریع و از نظر قیمتی نیز به صرفه تر از نیمه هادی ها می باشند. ادوات مجتمع نوری مختلف مانند موجبرها، مدولاتورهای ماخ زندر، تزویجگرها، توری ها، بلورهای فوتونی و کلیدهای تمام نوری با استفاده از مواد پلیمری [۱] ساخته می شوند. در میان مواد آلی کروموفورهای آزو پتانسیل زیادی برای کاربردهای مدارات مجتمع نوری از خود نشان داده اند. کروموفورهای آزو زمانیکه به صورت شیمیایی به ستون اصلی<sup>۱</sup> می چسبند و یا درون مواد پلیمری مثل پلی ایمیدها آرایش می یابند، با تابش نور به آنها در اثر ایزومراسیون سیس-ترانس رنگینه های آزو، باعث تغییر ضریب شکست ماده می شوند [۲]. تزویج نور از فضای آزاد به داخل فیلم ها و یا بالعکس، قسمت بسیار مهمی از هر مدار نوری را تشکیل می دهد. برای رسیدن به این هدف روش های بسیاری از جمله تزویجگر بازتابی، روش تزویج منشوری و یا از طریق ساخت عناصر مجتمع نوری مثل تزویجگرهای هدایتی ناپایدار و یا ایجاد تزویجگر با استفاده از ایجاد توری های پراش تدبیر شده است. در این میان هر چند تزویجگرهای با توری های پراش دارای راندمان کمی می-باشند ولی این تزویجگرها مزایای زیادی از جمله قابلیت انتخاب طول موج، قابلیت قطع و وصل به صورت فعال، قابلیت ایجاد طرح های بسیار کوچک و داشتن محل اتصال کم را ارائه می دهند. در این مقاله ما روش ساخت یک تزویجگر با استفاده از توری های حجمی کج را جهت استفاده در مدارات مجتمع نوری، با استفاده از یک روش ساخت کاملاً نوری بیان می کنیم. در این آزمایش از فیلم های پلیمری به عنوان محیط هدایت کننده نور استفاده می شود.

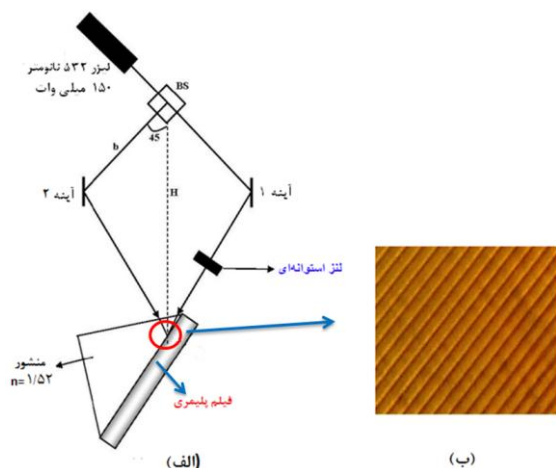
## ۲- آماده سازی ماده پلیمری

ساختار شیمیایی و طیف جذب ماده پلیمری استفاده شده برای ایجاد فیلم های پلیمری در شکل ۱ نشان داده شده

<sup>۲</sup> Dimethyl Formamide

<sup>۱</sup> backbone

با توجه باینکه مولفه‌های  $k_x$  و  $k_z$  تعیین شدند، حال می‌توان زوایای برخورد پرتوهای نویسنده توری  $\theta_{f1}$  و  $\theta_{f2}$  را با مراجعه به بردار عمود به فیلم به دست آورد. از آنجاییکه بر روی سطح فیلم از یک منشور استفاده شده، می‌توان با استفاده از قانون اسنل و روابط مثلثاتی، زوایای لازم برای دستگاه نشان داده در شکل ۳-الف) را به دست آورد. طراحی‌های انجام شده برای زاویه تزویج نور عمود بر سطح فیلم می‌باشد. برای تزویج نور به صورت عمود داخل فیلم ( $\theta_c = 0^\circ$ )، مقادیر زیر را بدست می‌آیند. ضریب شکست فیلم در طول موج نور نویسنده توری  $n_g @ \lambda_w = 1.615$ ، ضریب شکست منشور در همین طول موج  $n_p = 1.52$ ، ثابت انتشار مد داخل فیلم برای طول موج ۹۸۰ نانومتر که برای تزویج نور داخل فیلم استفاده می‌شود  $\beta = 10.253 \times 106$ ، مولفه  $x$  بردار توری کج  $k_x = 10.253 \times 106$ ، مولفه  $z$  از بردار توری کج  $k_z = 10.249 \times 106$ ، زاویه پرتو اول نویسنده توری در فضای آزاد نسبت به سطح منشور  $\theta_{air1} = 57.46^\circ$ ، زاویه پرتو دوم نویسنده توری در فضای آزاد نسبت به سطح منشور  $\theta_{air2} = 32.75^\circ$  و فاصله بین جداکننده پرتوها نسبت به سطح فیلم  $H = 33$  سانتی متر می‌باشد.



شکل ۳-الف) شمای کلی دستگاه نویسنده توری کج. عدسی استوانه-ای در مسیر پرتوی دوم باعث کاهش اندازه نقطه این پرتو می‌شود. BS: جداساز پرتو (ب) تصویری از یک توری حجمی با دوره تناوب ۱ میکرون که توسط روش هولوگرافی ایجاد شده.

دلیل قرار گرفتن منشور در بالای سطح فیلم، جلوگیری از انحراف زوایا می‌باشد. پس از قرار دادن منشور روی سطح فیلم، فاصله خالی بین منشور و فیلم را توسط مایع تطبیق ضریب شکست پر می‌کنیم، که ضریب شکست آن باید

فلوکوت<sup>۳</sup> ( $k_m = k_u - mk_g$ ) که  $k_u$ ،  $k_m$  و  $k_g$  به ترتیب بردارهای  $k$  مربوط به موج پراش، موج مرجع و توری می‌باشند.) روابط زیر بدست می‌آید [۵].

$$k_{xi} = \beta - mk_x \quad (1)$$

$$k_{zi} = \sqrt{(n_g k_0)^2 - (nk_0)^2} - mk_z \quad (2)$$

که  $k_{xi}$  و  $k_{zi}$  به ترتیب مولفه‌های  $x$  و  $z$  موج پراش یافته،  $n$  ضریب شکست موثر مد هدایت شده،  $n_g$  ضریب شکست توری،  $\beta$  ثابت انتشار مد  $lm$  و  $m=0, \pm 1, \pm 2, \dots$  می‌باشند. علاوه بر این مطابق با شرط براگ [۶]:

$$|k_d| = k_0 n_g \quad (3)$$

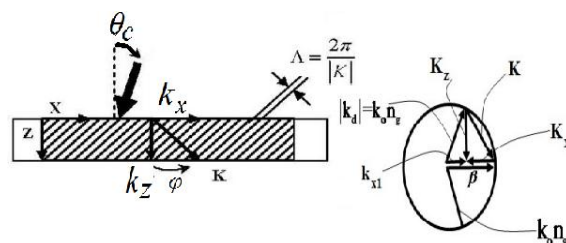
که  $k_d$  بردار موج مد پراش یافته است. بنابراین با یک تقریب خوب مولفه  $z$  از بردار توری به صورت زیر تعیین می‌شود.

$$k_z^2 = (k_0 n_g)^2 - (\beta - k_x)^2 \quad (4)$$

مولفه  $k_x$  مربوط به بردار توری، با تعیین زاویه‌ای که نور برای تزویج شدن با سطح فیلم دارد، تعیین می‌شود. که زاویه تزویج نور جزء ملزومات محاسبات، جهت تعیین زاویه بردار توری می‌باشد [۷].

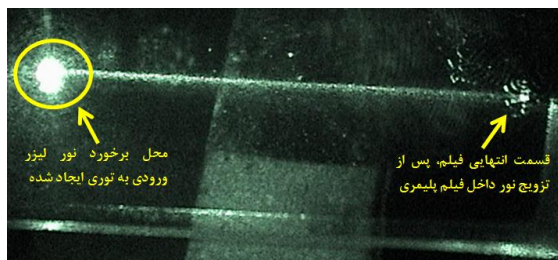
$$\sin(\theta_c) = \frac{(\beta - k_x)}{k_0} \quad (5)$$

که  $\theta_c$  زاویه تزویج نور می‌باشد.  $k_x$  و  $k_z$  به ترتیب مولفه‌های  $x$  و  $z$  بردار توری می‌باشند. شکل ۲ یک طرحواره کلی از بردار توری را نشان می‌دهد.



شکل ۲) دیاگرام یک تزویجگر با توری حجمی در یک موجبر و دیاگرام بردار موج آن. همانطور که نشان داده شده است شرط تطبیق فاز و شرط براگ باید برقرار باشند.  $\varphi$  زاویه بردار موج توری نسبت به خط عمود بر سطح فیلم است.

توری ( $\Delta n$ ) ایجاد شده را افزایش می‌دهد و افزایش  $\Delta n$  باعث افزایش راندمان حاصله می‌شود.



شکل ۴) نمای تزویج نور ۹۸۰ نانومتر داخل فیلم پلیمری توسط توری حجمی، که با روش ایجاد هولوگرام روی سطح فیلم ایجاد شده است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش آسان و سریع جهت ساخت یک تزویجگر مجتمع، با استفاده از ایجاد توری‌های کج را ارائه دادیم. روش ایجاد توری کج کاملاً نوری بوده و مبنی بر مشخصه ایزومراسیون سیس-ترانس، مربوط به کروموفورهای آزو می‌باشد. توری کج ایجاد شده مربوط به این تزویجگر با استفاده از روش تداخل دو پرتو ساخته شده است. همچنین برای افزایش بازدهی نور تزویج شده نیاز به افزایش  $\Delta n$  می‌باشد. راه حل پیشنهادی برای افزایش  $\Delta n$ ، استفاده از طول موج طیف ماورای بنفش به جای طول موج ۵۳۲ نانومتر می‌باشد.

#### مراجع

- [1] Kim S. K., Hung Y. C., Yuan W., Cha D. H., Geary K., Fetterman H. K., Ha S. M., Pei Q., Luo J., Zhou H., Jen A. K. Y., Kwon M. S., Steier W. H., *Metal-slotted Polymer Optical Waveguide Device*, **Appl. Phys. Lett.**, 90, 243507, (2007).
- [2] Kenji H., Hajime I., Mohamad A., Itoh M., Umegaki S., Yatagai T., *Holographic Recording and Control of Diffraction Efficiency Using Photoinduced Surface Deformation on Azo-polymer Films*, **Jpn.J.Appl.Phys.**, Vol.41 (2002).
- [3] Saadeh H., Gharavi A., Yu D., and Yu L., *Polyimides with a Diazo Chromophore Exhibiting High Thermal Stability and Large Electrooptic Coefficients*, **Macromolecules**, 30, 5403, (1997).
- [4] Ab-Rahman M. S., Zaman M. H. M., *The Measurement of Refractive Index and Thickness of Planar Waveguide Using Couple Mode Theory Method – The Programming Highlight*, **Aust. J. Basic & Appl. Sci.**, (2009).
- [5] Shultz S. M., *High Efficiency Volume Grating Coupler*, p.151, **PhD Thesis Georgia Institute of Technology**, (1999)
- [6] Kogelnick H., Sosnowski T. P., *Holographic Thin Film Couplers*, **The Bell System Technical Journal**, September 1970.
- [7] Villalaz R. A., *Volume Grating Couplers for Optical Interconnects Analysis, Design, Fabrication and Testing*, p.102, **PhD Thesis Georgia Institute of Technology**, (2004).

بین شیشه و فیلم باشد و بیشتر نزدیک به مقدار فیلم انتخاب شود. شکل ۳-الف)، یک شمای کلی از دستگاه نویسندگی توری کج را به صورت کامل نمایش می‌دهد. از آنجاییکه زوایای پرتوهای نویسندگی توری در فضای آزاد، منشور و فیلم به دست آمده‌اند، حال می‌توان طول بازوی دستگاه، یعنی همان محل قرار گرفتن آینه‌ها در شکل ۳-الف) را تعیین کرد. طول بازوی آینه‌ها (در شکل ۳ با  $b$  مشخص شده) دوره تناوب توری ایجاد شده را برای تزویج طول موج ۹۸۰ نانومتر، با زاویه تزویج  $\theta_c = 0^\circ$  تنظیم می‌کند. دوره تناوب توری ایجاد شده در شرایط عملی حدود ۴۳۳ نانومتر بدست آمد. در شکل ۳-ب) تصویر یک توری ایجاد شده با این روش نشان داده شده، که دوره تناوب تصویر جهت نمایش دقیق تر، نسبت به نمونه عملی افزایش داده شده است.

$$b = \frac{H \tan(\phi)}{\sin 45^\circ + \cos 45^\circ \tan(\phi)} \quad (6)$$

$$\phi = \frac{(\theta_{air1} + \theta_{air2})}{2} \quad (7)$$

پس از انجام محاسبات، دستگاه نویسندگی توری را مطابق با مشخصه‌های حاصله از این محاسبات، تنظیم کرده و سپس اقدام به ایجاد توری با مشخصات مورد نظر می‌کنیم. بعد از آن نور با طول موج ۹۸۰ نانومتر را درون فیلم تزویج می‌کنیم. شکل ۴ تصویر نور تزویج شده داخل فیلم را نشان می‌دهد. جهت اندازه‌گیری میزان نور تزویج شده داخل فیلم، یک منشور در مسیر عبور نور تزویج شده قرار داده می‌شود. با این کار نور داخل فیلم را به بیرون فیلم منتقل کرده و پس از آن توسط یک توان‌سنج، توان نور خارج شده را اندازه‌گیری می‌کنیم. میزان بازدهی نور تزویج شده توسط توری ایجاد شده، ۳/۸٪ بدست آمد. در این آزمایش جهت ایجاد هولوگرام نوری از یک لیزر ۵۳۲ نانومتر با ماکزیمم توان ۱۵۰ میلی‌وات استفاده شده است. به دلیل زیاد بودن زاویه پرتوی دوم نویسندگی توری با سطح فیلم، اندازه نقطه این پرتو پس از برخورد با سطح فیلم بسیار پهن تر از نقطه پرتوی اول می‌شود. که استفاده از یک عدسی استوانه‌ای<sup>۴</sup> در مسیر عبور پرتوی دوم باعث هم اندازه شدن هردو پرتو می‌شود. انجام این عمل به میزان قابل توجهی تغییرات ضریب شکست

<sup>۴</sup> Cylindrical Lens