بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - 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 پیاده سازی 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.

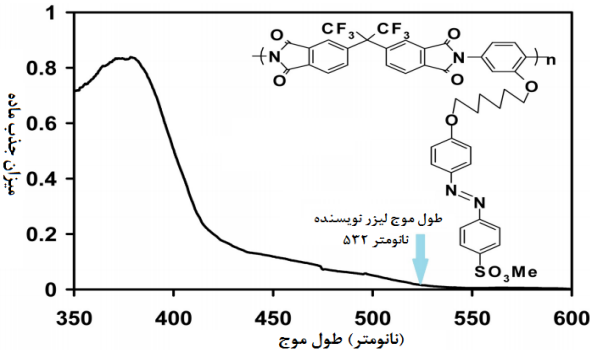
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

۱- مقدمه

امروزه در تمام جهان تلاش متخصصین در جهت رسیدن به تکنولوژی ساخت مدارات مجتمع نوری ارزان قیمت می‌باشد. یکی از نامزدهای اصلی برای ساخت ادوات نوری مجتمع، فیلم‌های پلیمری هستند. تهیه کردن پلیمرها و کار کردن با آنها آسان، سریع و از نظر قیمتی نیز به صرفه تر از نیمه هادی‌ها می‌باشند. ادوات مجتمع نوری مختلف مانند موجبرها، مدولاتورهای ماخزندر، تزویجگرها، توری-ها، بلورهای فوتونی و کلیدهای تمام نوری با استفاده از مواد پلیمری[۱] ساخته می‌شوند. در میان مواد آلی کروموفورهای آزو پتانسیل زیادی برای کاربردهای مدارات مجتمع نوری از خود نشان داده‌اند. کروموفورهای آزو زمانیکه به صورت شیمیایی به ستون اصلی[۱] می‌چسبند و یا درون مواد پلیمری مثل پلی ایمیدها آلایش می‌یابند، 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 می‌دهد. برای رسیدن به این هدف روش‌های 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 توری‌های پراش تدبیر شده است. در این میان هرچند تزویجگرهای با توری‌های 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 طرح‌های بسیار کوچک و داشتن محل اتصال کم را ارائه می‌دهند. در این مقاله ما روش ساخت یک تزویجگر با استفاده از توری‌های حجمی کج را جهت استفاده در مدارات مجتمع نوری، با استفاده از یک روش ساخت کاملا نوری بیان می‌کنیم. در این آزمایش از فیلم-های پلیمری به عنوان محیط هدایت کننده نور استفاده می‌شود.

۲- آماده سازی ماده پلیمری

ساختار شیمیایی و طیف جذب ماده پلیمری استفاده شده برای ایجاد فیلم‌های پلیمری در شکل۱ نشان داده شده است. روش سنتز کردن ماده در مرجع شماره[۳] همین مقاله آمده است. برای آماده کردن یک فیلم لایه نازک از این نوع پلیمر، ۳۰۰میلی گرم از ماده پلیمری درون ۲میلی‌لیتر از ماده دیمتیل فورمامید[۲](DMF) حل می-شود. محلول ایجاد شده را از یک صافی ۰/۲میکرومتری عبور داده و پس از آن محلول بر روی یک زیر لایه از جنس شیشه به ابعاد ۳/۸×۲/۵ سانتی‌متر مربع به روش لایه نشانی گردشی با سرعت گردش ۲۴۰۰ دور بر دقیقه لایه نشانی می‌شود. در مرحله بعد، فیلم ایجاد شده در دمای ۱۲۰درجه سانتی گراد به مدت ۲۵ دقیقه خشک شده و سپس جهت بهبود فیلم ایجاد شده تا دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد 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 ۹/۵میکرون و ضریب شکست فیلم برای قطبش TE در همین طول موج ۱/۶ محاسبه شد.



شکل۱) 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 مطمئنا شرایط لازم برای تزویج نور داخل فیلم به صورت مفید و موثر مهیا نیست. برای تزویج نور داخل فیلم‌های لایه نازک، طوری که نتیجه کارآمدی داشته باشد باید هر دو شرط براگ و تطبیق فاز برقرار باشد. برای ساخت تزویجگر با استفاده از توری‌های حجمی، توسط شرایط تطبیق فاز و

[۱] backbone

[۲] Dimethyl Formamide

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

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

$$k_{Xi} = \beta - mk_X \qquad (۱)$$

$$k_{Zi} = \sqrt{(n_g k_0)^2 - (nk_0)^2} - mk_Z \qquad (۲)$$

که k_{xi} و k_{zi} به ترتب مولفه‌های x و z موج پراش یافته، n ضریب شکست موثر مد هدایت شده، n_g ضریب شکست توری، β ثابت انتشار مد mام و m=0,±1,±2,… می‌باشند. علاوه‌براین مطابق با شرط براگ[۶]:

$$|k_d| = k_0 n_g \qquad (۳)$$

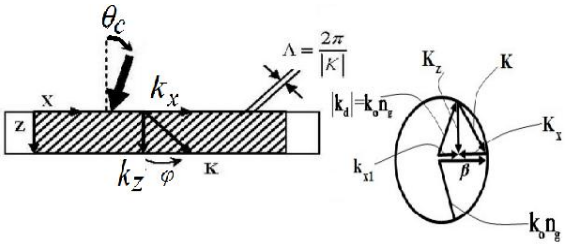
که k_d بردار موج مد پراش یافته است. بنابراین با یک تقریب خوب مولفه z از بردار توری به صورت زیر تعیین می‌شود.

$$k_Z^2 = (k_0 n_g)^2 - (\beta - k_z)^2 \qquad (۴)$$

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].

$$\sin(\theta_c) = \left(\frac{\beta - k_x}{k_0}\right) \qquad (۵)$$

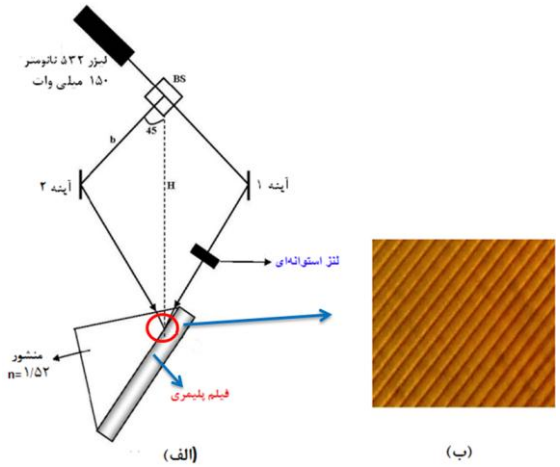
که θ_c زاویه تزویج نور می‌باشد. kx و k_z به ترتیب مولفه‌های x و z بردار توری می‌باشند. شکل۲ یک طرحواره کلی از بردار توری را نشان می‌دهد.



شکل۲) 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. φ زاویه بردار موج توری نسبت به خط عمود بر سطح فیلم است.

[۳] Floquet

با توجه باینکه مولفه‌های k_x و k_z تعین شدند، حال می‌توان زوایای برخورد پرتوهای نویسنده توری θ_{f1} و θ_{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 $n_{g@w} = 1.615$، ضریب شکست منشور در همین طول موج $n_p = 1.52$، ثابت انتشار مد داخل فیلم برای طول موج ۹۸۰نانومتر که برای تزویج نور داخل فیلم استفاده می‌شود $\beta = 10.253\times106$، مولفه x بردار توری کج $kx = 10.253\times106$، مولفه z از بردار توری کج $k_z = 10.249\times106$، 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.



شکل۳-(الف)شمای کلی دستگاه نویسنده توری کج. عدسی استوانه‌ای در مسیر پرتوی دوم باعث کاهش اندازه نقطه این پرتو می‌شود. BS: جداساز پرتو (ب) تصویری از یک توری حجمی با دوره تناوب ۱میکرون 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

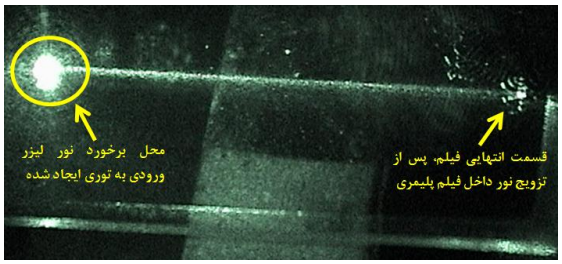
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

بین شیشه و فیلم باشد و بیشتر نزدیک به مقدار فیلم انتخاب شود. شکل۳-(الف)، یک شمای کلی از دستگاه نویسنده توری کج را به صورت کامل نمایش می‌دهد. از آنجاییکه زوایای پرتوهای نویسنده توری در فضای آزاد، منشور و فیلم به دست آمده‌اند، حال می‌توان طول بازوی دستگاه، یعنی همان محل قرار گرفتن آینه‌ها در شکل۳-(الف) را تعیین کرد. طول بازوی آینه‌ها (در شکل۳ با b مشخص شده) دوره تناوب توری ایجاد شده را برای تزویج طول موج ۹۸۰نانومتر، با زاویه تزویج $\theta_c = 0^\circ$ تنظیم می‌کند. دوره تناوب توری ایجاد شده در شرایط عملی حدود ۴۳۳ نانومتر بدست آمد. در شکل۳-(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.

$$b = \frac{H\ \tan(\varphi)}{\sin 45^\circ + \cos 45^\circ (\tan(\varphi))} \qquad (۶)$$

$$\phi = (\theta_{air1} + \theta_{air2})/2 \qquad (۷)$$

پس از انجام محاسبات، دستگاه نویسنده 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. شکل۴ 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 اندازه گیری 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 نویسنده 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[۴] در مسیر عبور پرتوی دوم باعث هم اندازه شدن هردو پرتو می‌شود. انجام این عمل به میزان قابل توجهی تغییرات ضریب شکست توری (Δn) ایجاد شده را افزایش می‌دهد و افزایش Δn باعث افزایش راندمان حاصله می‌شود.



شکل۴) 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 کاملا 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 Δn می‌باشد. راه حل پیشنهادی برای افزایش Δn، 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., *Hologhraphic 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 Chromophor Exhibiting High Termal 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] Shaultz S. M., Hight 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).

[۴] Cylindrical Lens

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]