



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



ساخت تزویجگرهای کانالی بر فیلم های پلیمری با استفاده از ایزومراسیون نوری رنگدانه های آزو

سید رفیع میرموسوی امیر آبادی، امیدرضا دانشمندی و علیرضا غروی

آزمایشگاه فوتونیک، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه شیراز

چکیده - در این تحقیق روشی آسان و سریع برای ساخت تزویجگرهای کانالی بر لایه های پلیمری دارای رنگدانه های آزو ارائه می گردد. در این روش با تابش مستقیم لیزر 532nm بر روی فیلم پلیمری حاوی رنگدانه های آزو، پدیده ایزومراسیون نوری رخ می دهد و نهایتاً دوشکستی در پلیمر ایجاد می گردد. از این ویژگی جهت ساخت تزویجگرهای کانالی 3-dB و ضربدری و موازی با پهنای $17\text{ }\mu\text{m}$ استفاده شده است.

کلیدواژه - تزویجگر جهتی نوری، ایزومراسیون رنگدانه های آزو، مدارات مجتمع نوری.

Fabrication of Channel Directional Couplers Using Photoisomerization of Azo Chromophores

Seyed Rafie Mir Mousavi Amirabadi, Omidreza Daneshmandi and Alireza Gharavi

Photonics Laboratory School of Electrical and Computer Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran

Abstract- In this work we introduce a quick and easy method to fabricate channel directional couplers on polymeric films functionalized with azo chromophores. In this method using direct 532 nm laser beam on polymers film to form a waveguide functionalized with azo chromophores, cause photoisomerization of chromophores which induces the necessary birefringence in the polymeric to maintain waveguiding.

Keywords: Optical directional coupler, photoisomerization of azo chromophores, Optical integrated circuit.

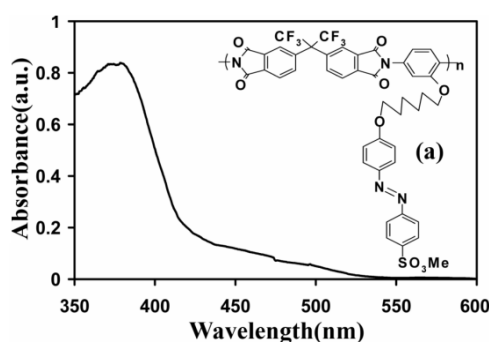
۱- مقدمه

سریع در فرآیند ساخت است.

۲- مراحل آزمایش

۲-۱- تولید فیلم پلیمری

در این آزمایش، از یک پلیمر پلی ایمید که رنگدانه‌های آزو به آن متصل گردیده، استفاده شده است. فیلم پلیمری که در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفته، از دو لایه ماده PVOH^۷ با ضخامت $1\ \mu\text{m}$ که از بالا و پایین، یک لایه پلیمری با ضخامت $2/5\ \mu\text{m}$ را احاطه کرده اند، ساخته شده است. این فیلم پلیمری توسط لایه نشانی چرخشی^۸ بروی یک بستر شیشه‌ای با ابعاد $4 \times 2/5\ \text{cm}^2$ ایجاد می‌گردد [۲]. در شکل (۱) ساختار شیمیایی و طیف جذبی مواد پلیمری مورد استفاده در این آزمایش نشان داده شده است.



شکل ۱: (الف) ساختار شیمیایی و (ب) طیف جذبی مواد پلیمری مورد استفاده در آزمایش [۲].

۲-۲- ایجاد ساختار تزویجگر نوری بروی

فیلم پلیمری

در اثر تابش مستقیم نور قطبیده بر روی فیلم پلیمری، ایزومراسیون سیس- ترانس^۹ مولکول‌های آزو صورت گرفته که به سبب بازآرایی مجدد مولکول‌ها، ایجاد دوشکستی^{۱۰} و نهایتاً افزایش ضریب شکست در محل تابش می‌گردد که می‌توان از این خاصیت برای ساخت موجبر با ابعاد مطلوب استفاده نمود. در این آزمایش، برای ساخت تزویجگر

اپتیک مجتمع در ۱۰ سال اخیر به‌عنوان یک زمینه فعال پژوهشی پیشرفت‌های چشمگیری برای ساخت قطعات نوری با عملکرد بالا، با استفاده از تکنیک‌های هدایت موج داشته است [۱].

در سال‌های اخیر پلیمرهای نوری به خاطر روش‌های ساخت آسان و متنوع و کم هزینه و سازگاری آنها با انواع مختلفی از بسترها^۱ که امکان مجتمع سازی آنها با مدارات مجتمع الکترونیکی وجود دارد، توجه زیادی را در زمینه ساخت مدارات مجتمع نوری به خود جلب کرده‌اند. از دیگر ویژگی‌های این مواد، فرآیند ساخت دمای پایین و تطابق ضریب شکست آنها (برای این نوع پلیمر حدود $1/6$) با ضریب شکست فیبرهای نوری (حدود $1/5$) می‌باشد [۲]. موجبرهای اپتیک از عناصر کلیدی افزاره‌های فوتونی هستند. موجبرها تنها هدایت میدان الکترومغناطیسی را انجام نمی‌دهند بلکه ساختارهای متنوعی که توسط آنها ایجاد می‌گردد، عملیات سوئیچ کردن، مالتی‌پلکس (تسهیم کننده) و دی‌مالتی‌پلکس کردن سیگنال‌های اپتیک را نیز انجام می‌دهند. از جمله ساختارهایی که توسط موجبرها پیاده‌سازی می‌شوند، تزویجگر جهتی نوری^۲ است که از این ساختار می‌توان برای ساخت مقسم‌های توان^۳، مدولاتور، سوئیچ‌ها و فیلترهای نوری استفاده نمود. در این تحقیق، از پلیمر پلی‌ایمید^۴ برای ساخت تزویجگر استفاده شده است. علاوه بر این، روش ساخت ارائه شده با روش‌های رایج متفاوت می‌باشد چرا که تمامی روش‌های استفاده شده بر پایه زدایش^۵، لیتوگرافی نوری^۶ و ... است که مشکل آن‌ها استفاده از مواد سمی و روش‌های سخت و پر هزینه با روند ساخت طولانی مدت است. در صورتیکه در این روش، هیچ‌گونه تغییر فیزیکی و شیمیایی در فیلم پلیمری ایجاد نشده (مانند زدایش) و دارای تکرارپذیری آسان و

^۱ Substrate

^۲ Optical Directional Coupler

^۳ Power Splitter

^۴ Polyimide

^۵ Etching

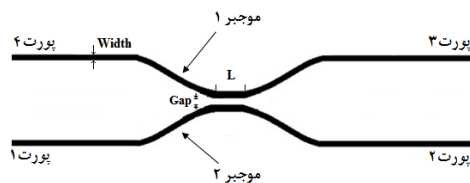
^۶ Photo-lithography

^۷ Poly Vinyl Alcohol

^۸ Spin Coating

^۹ Cis-Trans Isomerization

^{۱۰} Birefringence



شکل ۲: تصویر شماتیک تزویجگر ساخته شده با پارامترهای $L = 500 \mu m$ و گپ $6 \mu m$ و پهنای هر موجبر $17 \mu m$.

در تزویجگرها می‌توان با تغییر طول تزویج l_c ، میزان نور منتقل شده به هر کدام از پورت‌های خروجی را تغییر داد. طول تزویج به حداقل مسافتی که میدان موجود در یک موجبر پس از طی آن به موجبر دیگر تزویج می‌گردد، گفته می‌شود.

$$l_c = \frac{2\pi}{\sqrt{\kappa_1 \kappa_2}} \quad (1)$$

κ_1 ضریب تزویج در موجبر ۱ و κ_2 ضریب تزویج در موجبر ۲ می‌باشد و روابط آنها بصورت زیر است:

$$\kappa_1 = kn \int_S [\delta n_1(x, y)] e_1(x, y) \cdot e_2(x, y) ds \quad (2)$$

$$\kappa_2 = kn \int_S [\delta n_2(x, y)] e_1(x, y) \cdot e_2(x, y) ds \quad (3)$$

δn_1 و δn_2 به ترتیب تغییر ضریب شکست در موجبر ۱ و موجبر ۲، و e_1 و e_2 به ترتیب میدان الکتریکی در موجبر ۱ و موجبر ۲ است. همچنین k عدد موج در فضای آزاد، n ضریب شکست فیلم پلیمری، S سطح مقطع موجبر و ds جز دیفرانسیلی سطح مقطع موجبر می‌باشد. از طرفی، انتقال توان بین دو موجبر زمانی صورت می‌گیرد که ثابت انتشار موج در ناحیه تزویج آنها دارای تطبیق فاز^{۱۳} باشند:

$$\Delta\beta = \beta_1 - \beta_2 = 0 \quad (4)$$

β_1 و β_2 به ترتیب ثابت انتشار در موجبر ۱ و ۲ است. به علت تقارن کامل در ساختار، ضریب تزویج موجبرها یکسان است و داریم:

$$\kappa \equiv \sqrt{\kappa_1 \kappa_2} \quad (5)$$

بنابراین رابطه (۱) بصورت زیر تغییر می‌کند:

$$l_c = \frac{2\pi}{\sqrt{\kappa}} \quad (6)$$

نوری از لیزر 532 nm با روش نوشتن مستقیم استفاده شده است. برای ایجاد تزویجگر از دستگاه موجبر نویس که دارای یک جایگاه متحرک با ۳ درجه آزادی در راستای X و Y و Z با دقت $0.1 \mu m$ استفاده شده است. با کنترل جایگاه متحرک توسط کامپیوتر، الگوی تزویجگر با ابعاد مطلوب بر روی فیلم پلیمری ایجاد می‌گردد [۳]. هنگامی که دو موجبر نوری به اندازه کافی در مجاورت یکدیگر قرار گیرند، برهم‌کنش بین قسمت‌های میراشونده^{۱۱} مدهای در حال انتشار در موجبرها، به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. این امر سبب انتقال توان بین آنها یا اصطلاحاً تزویج توان می‌گردد. اگر موجبرهای تزویج شده، بصورت موازی قرار گرفته باشند و مدهای در حال انتشار، دارای سرعت فاز یکسان باشند، در این حالت بیشترین تبادل توان صورت خواهد گرفت. تحت شرایط ایده‌آل، توان انتقالی از یک موجبر به موجبر دیگر می‌تواند بصورت همدوس^{۱۲} با یکدیگر جمع شوند که ممکن است بخشی از توان و یا کل توان از یک موجبر به موجبر دیگر منتقل گردد، به ساختارهایی که چنین رفتارهایی را از خود نشان می‌دهند تزویجگرهای جهتی می‌گویند. این ساختارها با وجود سادگی خود، بصورت گسترده‌ای در قطعات اپتو-الکترونیکی استفاده می‌شوند [۴]. تزویجگرها می‌توانند طوری طراحی گردند که مستقل از طول موج باشند بطوریکه تنها توان نور ورودی را با نسبت مطلوب بین پورت‌های خروجی تقسیم نمایند. این دسته از کوپلرها را می‌توان تزویجگرهای مستقل از طول موج نامید.

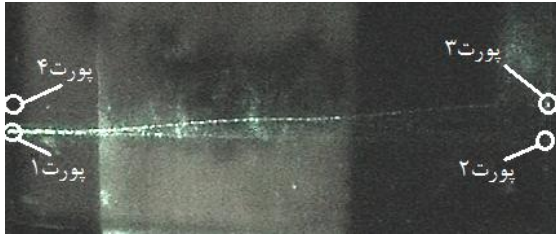
در این آزمایش تزویجگری با طول 38 mm ، فاصله بین دو بازو $1400 \mu m$ ، گپ (فاصله بین دو موجبر در ناحیه تزویج) $6 \mu m$ و عرض هر موجبر $17 \mu m$ ساخته شده است. طول ناحیه تزویج (L)، برابر با مسافتی است که دو بازوی تزویجگر بصورت موازی در کنار هم قرار گرفته اند. این فاصله برابر $500 \mu m$ می‌باشد. در شکل (۲) می‌توان تصویر شماتیک تزویجگر ساخته شده در این آزمایش را مشاهده نمود.

¹³ Phase-Matching

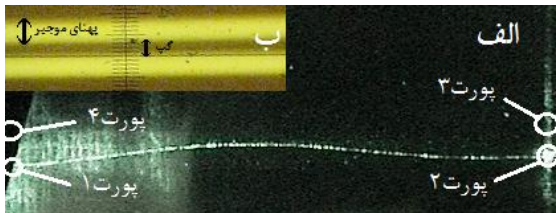
¹¹ Evanescent

¹² Coherence

۳۸ dbm - و میزان نور خروجی از پورت ۲ حدودا برابر با ۳۸/۲ dbm - می باشد.



شکل ۴: الف) تزویج نور ۹۸۰nm درون تزویجگر ضربدری ، نور از پورت ۱ وارد و از پورت ۳ خارج می گردد.



شکل ۵: الف) تزویج نور ۹۸۰nm درون تزویجگر موازی ، نور از پورت ۱ وارد و از پورت ۲ خارج می گردد. ب) مشاهده پهنای موجبر و عرض گپ زیر میکروسکوپ قطبیده در ناحیه تزویج.

از دیگر مزایای تزویجگرهای ساخته شده، غیرفعال بودن آنها است.

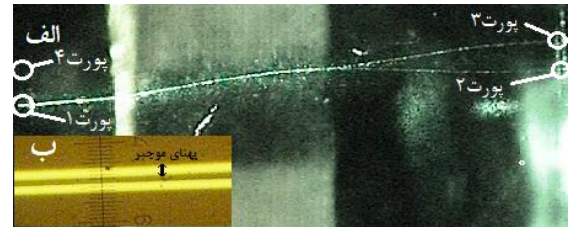
۳- نتیجه گیری

در این تحقیق روشی آسان و سریع برای ساخت تزویجگرهای کانالی بر لایه های پلیمری دارای رنگدانه های آزو ارائه و از روش نوشتن مستقیم برای ساخت تزویجگر استفاده شد. سپس با تغییر طول ناحیه تزویج، توانایی ساخت تزویجگرهای ۳-dB ، ضربدری و موازی با پهنای ۱۷ μm بدست آمده است.

مراجع

- [1] Schmidt R. v., and Alferness R., *Directional coupler switches, modulators, and filters using alternating $\Delta\beta$ techniques*, *Circuits and Systems, IEEE Transactions on*, vol. 26(1979) pp. 1099-1108.
- [2] Karimi-Alavijeh H., Parsanasab G.M., Baghban M.A. , Sarailou E., Gharavi A., Javadpour S., et al., *Fabrication of graded index waveguides in azo polymers using a direct writing technique*, *Applied Physics Letters*, vol. 92(2008) pp. 041105-041105-3.
- [3] Quan Y. j., Han Q. j., Ran P. d., Zeng F. p., Gao L.p., and Zhao C.h., *A photonic wire-based directional coupler based on SOI*, *Optics Communications*, vol. 281(2008) pp. 3105-3110.
- [4] Chen C.L., *Foundations for guided-wave optics*: Wiley.com, 2006.

بنابراین می توان با تغییر و تنظیم طول L بصورت ضربدری از L_c نحوه انتقال و تقسیم توان بین پورت های خروجی تزویجگر را تغییر داد [۴]. اگر در یک تزویجگر جهتی، مقدار L بصورت ضربدری از نصف L_c اختیار شود یعنی $L = \left[m + \frac{1}{2} \right] L_c$ ، توان ورودی بصورت یکسان بین پورت های خروجی تقسیم می گردد که به آن تزویجگر ۳-dB گفته می شود. از این ساختار می توان به عنوان ترکیب کننده توان نیز استفاده نمود. در شکل (۳) نمونه ای از تزویجگر ۳-dB ساخته شده بروی فیلم پلیمری مشاهده می شود که میزان نور ورودی از پورت ۱ حدودا برابر با ۳۸ dbm و میزان نور خروجی از هر کدام از پورت های ۲ و ۳ حدودا برابر با ۴۱ dbm - می باشد که توسط طیف سنج نوری^{۱۴} اندازه گیری شده است .



شکل ۳: الف) تزویج نور ۹۸۰nm درون تزویجگر ۳-dB ، نور از پورت ۱ وارد و از پورت های ۲ و ۳ خارج می گردد. ب) مشاهده پهنای موجبر و عرض گپ زیر میکروسکوپ قطبیده در ناحیه تزویج. (اندازه هر واحد مدرج از این خطوط معادل ۳/۳۳ μm).

اگر طول ناحیه تزویج ضربدری از طول تزویج (L_c) باشد یعنی $L = [2m+1]L_c$ ، به چنین ساختاری، تزویجگر ضربدری^{۱۵} می گویند و در صورتیکه که طول برهمکنش ضربدری زوجی از طول تزویج باشد یعنی $L = [2m]L_c$ ، تزویجگر موازی^{۱۶} نامیده می شود. شکل (۴) نمونه ساخته شده تزویجگر ضربدری را نشان می دهد که میزان نور ورودی از پورت ۱ حدودا برابر با ۳۸ dbm - و میزان نور خروجی از پورت ۳ حدودا برابر با ۳۹ dbm - می باشد و شکل (۵) تزویجگر موازی بر روی فیلم پلیمری را نشان می دهد که میزان نور ورودی از پورت ۱ حدودا برابر با

¹⁴ Optical Spectrum Analyser

¹⁵ Cross Directional Coupler

¹⁶ Parallel Directional Coupler