بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - 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 پلیمریِ دارای رنگدانه های آزو ارائه می گردد. در این روش با تابش مستقیم لیزر $۵۳۲nm$ بر روی فیلم پلیمری حاوی رنگدانه های آزو ،پدیده ایزومراسیون نوری رخ می دهد و نهایتا دوشکستی در پلیمر ایجاد می گردد. از این ویژگی جهت ساخت تزویجگرهای کانالی $۳-dB$ و ضربدری و موازی با پهنای $۱۷\ \mu m$ استفاده شده است.

کلید واژه- 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.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-21]

۱- مقدمه

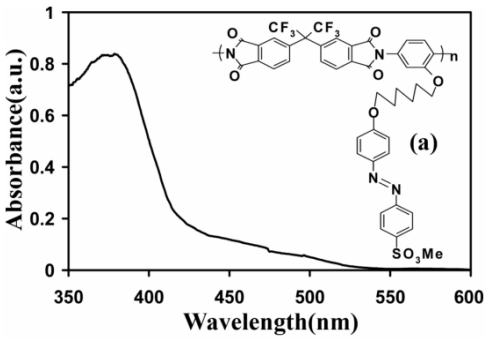
اپتیک مجتمع در ۱۰ سال اخیر به‌عنوان یک زمینه فعال پژوهشی پیشرفت‌های چشمگیری برای ساخت قطعات نوری با عملکرد بالا، با استفاده از تکنیک‌های هدایت موج داشته است[۱].

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 پلیمرحدود ۱/۶) با ضریب شکست فیبرهای نوری (حدود ۱/۵) می‌باشد [۲]. موجبرهای اپتیکی 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 اپتیکی 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، سوئیچ ها 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 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 μm ۱که از بالا و پایین، یک لایه پلیمری با ضخامت μm ۲/۵ را احاطه کرده اند، ساخته شده است. این فیلم پلیمری توسط لایه نشانی چرخشی [۸] بروی یک بستر شیشه‌ای با ابعاد cm^2 ۴×۲/۵ ایجاد می‌گردد[۲]. در شکل(۱) ساختار شیمیایی و طیف جذبی مواد پلیمری مورد استفاده در این آزمایش نشان داده شده است.



شکل۱: الف) ساختار شیمیایی و ب) طیف جذبی مواد پلیمری مورد استفاده در آزمایش[۲] .

۲-۲- ایجاد ساختار تزویجگر نوری بروی فیلم پلیمری

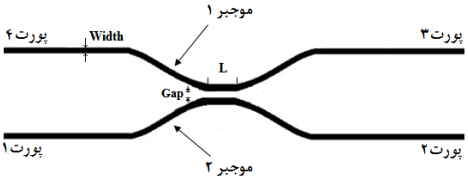
در اثر تابش مستقیم نور قطبیده بر روی فیلم پلیمری، ایزومراسیون سیس- ترنس[۹] مولکول‌های آزو صورت گرفته که به سبب بازآرایی مجدد مولکول ها، ایجاد دوشکستی[۱۰] و نهایتا افزایش ضریب شکست در محل تابش می‌گردد که می‌توان از این خاصیت برای ساخت موجبر با ابعاد مطلوب استفاده نمود. در این آزمایش، برای ساخت تزویجگر

[1] Substrate
[2] Optical Directional Coupler
[3] Power Splitter
[4] Polyimide
[5] Etching
[6] Photo-lithography
[7] Poly Vinyl Alcohol
[8] Spin Coating
[9] Cis-Tranc Isomerization
[10] Birefringence

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-21]

نوری از لیزر ۵۳۲ 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 ۰/۱ μm 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[11] مدهای در حال انتشار در موجبرها، به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. این امر سبب انتقال توان بین آنها یا اصطلاحا 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[12] 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 طول۳۸ mm ، فاصله بین دو بازو ۱۴۰۰ μm ، گپ (فاصله بین دو موجبر در ناحیه تزویج) ۶ μm و عرض هر موجبر ۱۷ μmساخته 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 ۵۰۰ μm می باشد. در شکل(۲) می‌توان تصویر شماتیک تزویجگر ساخته شده در این آزمایش را مشاهده نمود.



شکل۲: 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 ازپورت‌های 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.

$$l_c = \frac{2\pi}{\sqrt{\kappa_1 \kappa_2}} \qquad (۱)$$

κ_1ضریب تزویج در موجبر۱ و κ_2 ضریب تزویج در موجبر۲ می‌باشد و روابط آنها بصورت زیر است:

$$\kappa_1 = kn\int_s [\delta n_1(x,y)]e_1(x,y)\cdot e_2(x,y)ds \qquad (۲)$$

$$\kappa_2 = kn\int_s [\delta n_2(x,y)]e_1(x,y)\cdot e_2(x,y)ds \qquad (۳)$$

δn_1 و δn_2به ترتیب تغییر ضریب شکست در موجبر۱ و موجبر۲، و e_1 و e_2به ترتیب میدان الکتریکی در موجبر۱ و موجبر۲ است. همچنین k عدد موج در فضای آزاد، n ضریب شکست فیلم پلیمری، sسطح مقطع موجبر و dsجز 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[13] باشند:

$$\Delta\beta = \beta_1 - \beta_2 = 0 \qquad (۴)$$

β_1 و β_2 به ترتیب ثابت انتشار در موجبر۱ و۲ است. به علت تقارن کامل در ساختار، ضریب تزویج موجبر ها یکسان است و داریم:

$$\kappa \equiv \sqrt{\kappa_1 \kappa_2} \qquad (۵)$$

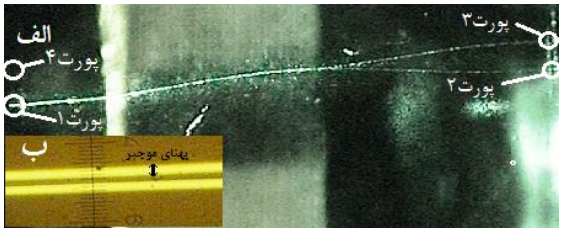
بنابراین رابطه(۱) بصورت زیر تغییر می‌کند:

$$l_c = \frac{2\pi}{\sqrt{\kappa}} \qquad (۶)$$

[11] Evanescent
[12] Coherence
[13] Phase-Matching

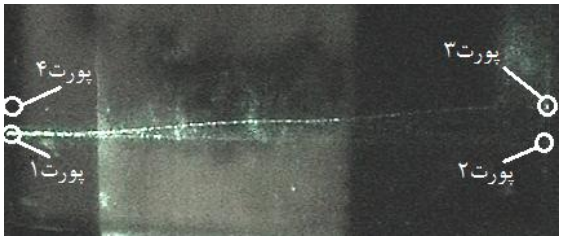
[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-21]

بنابراین می‌توان با تغییر و تنظیم طول L بصورت مضربی از l_c، نحوه انتقال و تقسیم توان بین پورت‌های خروجی تزویجگر را تغییر داد[۴]. اگر در یک تزویجگر جهتی، مقدار L بصورت مضرب فردی از نصف l_c اختیار شود یعنی $L=\left[m+\frac{1}{2}\right]l_c$، توان ورودی بصورت یکسان بین پورت‌های خروجی تقسیم می‌گردد که به آن تزویجگر ۳-dB گفته می‌شود. از این ساختار می‌توان به‌عنوان ترکیب کننده توان نیز استفاده نمود. در شکل(۳) نمونه‌ای از تزویجگر ۳-dB ساخته شده بروی فیلم پلیمری مشاهده می‌شود که میزان نور ورودی از پورت۱حدودا برابر با dbm ۳۸- و میزان نور خروجی از هر کدام از پورت‌های۲ و۳ حدودا برابر با dbm ۴۱- می باشد که توسط طیف سنج نوری[14] اندازه گیری شده است .

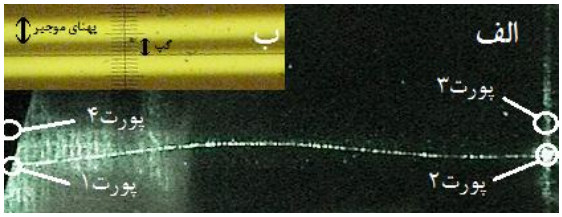


شکل ۳: الف) تزویج نورnm۹۸۰ درون تزویجگر dB -۳، نور از پورت ۱ وارد و از پورتهای ۲و۳ خارج می گردد. ب) مشاهده پهنای موجبر و عرض گپ زیر میکروسکوپ قطبیده در ناحیه تزویج. (اندازه هر واحد مدرج از این خطوط معادل μm ۳/۳۳).

اگر طول ناحیه تزویج مضرب فردی از طول تزویج (l_c) باشد یعنی $L=[2m+1]l_c$، به چنین ساختاری، تزویجگر ضربدری[15] می‌گویند و در صورتیکه که طول برهمکنش مضرب زوجی از طول تزویج باشد یعنی $L=[2m]l_c$ ، تزویجگر موازی[16] نامیده می‌شود. شکل(۴) نمونه ساخته شده تزویجگر ضربدری را نشان می‌دهد که میزان نور ورودی از پورت۱حدودا برابر با dbm ۳۸ - و میزان نور خروجی از پورت۳ حدودا برابر با dbm ۳۹- می باشد و شکل(۵) تزویجگر موازی بر روی فیلم پلیمری را نشان می دهد که میزان نور ورودی از پورت۱ حدودا برابر با dbm ۳۸ - و میزان نور خروجی از پورت۲ حدودا برابر با dbm ۳۸/۲- می باشد.



شکل۴: الف) تزویج نورnm۹۸۰درون تزویجگر ضربدری ، نور از پورت ۱ وارد و از پورت ۳خارج می‌گردد.



شکل۵: الف) تزویج نورnm۹۸۰درون تزویجگر موازی ، نور از پورت ۱ وارد و از پورت۲ 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- نتیجه‌گیری

در این تحقیق روشی آسان و سریع برای ساخت تزویجگرهای کانالی بر لایه های پلیمریِ 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 μm ۱۷ بدست آمده است.

مراجع

[1] Schmidt R. v., and Alferness R., *Directional coupler switches, modulators, and filters using alternating Δβ 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.

[14] Optical Spectrum Analyser
[15] Cross Directional Coupler
[16] Parallel Directional Coupler

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-21]