بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

ساخت مدولاتور الکترو- اپتیک ماخزنر پلیمری آزو

سمانه حامدی و علیرضا غروی

آزمایشگاه تحقیقاتی مواد و قطعات فتونیک، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه شیراز، ایران

چکیده - در این مقاله مدولاتور الکترواپتیک پلیمری بر پایه رنگدانه آزو ساخته شده است. ماده پلیمری استفاده شده دارای دمای شیشه ۲۰۰ درجه سانتی گراد است که به روش کرونا قطبیده شده و سپس موجبر نوری با ساختار تداخل‌سنج ماخزنر با روش سریع و کاملا نوری با عرض ۱۰ میکرون، طول ۴ سانتی‌متر و فاصله دوبازو ۱۴۰۰ میکرون برروی آن ایجاد شده است. با توجه به اثر الکترو- اپتیک، اعمال ولتاژ به یکی از بازوهای موجبر منجر به مدولاسیون شدت نور خروجی ماخزنر می‌شود. در طول موج ۹۸۰ نانومتر، ولتاژ نیم‌موج ۴۰۰ ولت و نسبت خاموشی۳۰٪ به دست آمده است.

کلید واژه- ایزومریزاسیون نوری، اثر الکترو- اپتیک، تداخل‌سنج ماخزنر، رنگدانه آزو و مدولاسیون

Fabrication of an Azo Ploymeric Mach-Zehnder Electro- Optic Modulator

Samaneh Hamedi and Alireza Gharavi

Photonics Laboratory, Department of Electrical Engineering, School of Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran

Abstract- A polymeric electro- optic (EO) modulator based on an azo choromohore is fabricated. The polymeric material used, has $\mathbf{T_g = 200^\circ C}$ which is poled with corona poling method. Then a Mach- Zehnder modulator was fabricated using an all optical method with 10um width, 4cm length and 1.4mm spacing between the two arms. Because of the electro- optic effect, introducing the voltage to one arm, leads to modulation of output intensity of Mach- Zehnder. A half wave voltage of $\mathbf{V_\pi = 400V}$ and extinction ratio of 30% at 980 nm laser was observed.

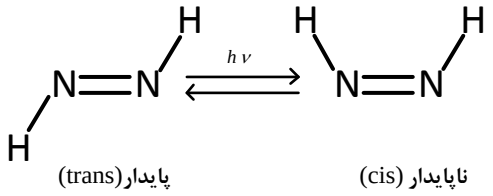
Keywords: photo isomerization, electro-optic effect, Mach- Zehnder interferometer, Azo choromohore, modulation

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

۱- مقدمه

محدودیت اصلی سیستم های مخابراتی کنونی که مبتنی بر شبکه های فیبر نوری هستند، محدودیت سرعت پردازش سیستم های الکترونیکی نسبت به قابلیت انتقال بسیار سریع داده‌های نوری با استفاده از شبکه‌های فیبر نوری است. شبکه‌های مخابرات نوری با ظرفیت بالا، نرخ بیت و ارسال سریع اطلاعات نیازمند مدولاتورهای الکترو- اپتیکی با کارایی بالا است[۱].

در چند دهه گذشته تلاش‌های زیادی برای شناسایی مواد غیرخطی شروع شده است. در بین آن‌ها ویژگی نوری غیرخطی برخی از این مواد مانند پلیمرهای آزو (azo) بزرگترین جذابیت را دارد[۲و ۳]. ویژگی مولکول آزو فرآیند ایزومریزاسیون نوری (Photo-isomerization) است. مانند شکل (۱) مواد پلیمری حاوی رنگدانه‌ی (Choromophere) آزو، شامل دو ایزومر سیس (ناپایدار) (cis) و ترانس (پایدار) (trans) هستند. با وجود اینکه از لحاظ ساختار مولکولی یکسانند ولی توزیع فضایی متفاوتی دارند. نقاطی از پلیمر که به آن نور لیزر پلاریزه تابانده شده حالت ایزومری آن عوض می‌شود. این باعث جهت دهی رنگدانه‌ها و در نهایت باعث زیاد شدن ضریب انکسار محل نور داده شده نسبت به بخش‌هایی از پلیمر که نور به آنها برخورد نکرده، می‌شود.



شکل ۱: ایزومررهای سیس و ترانس رنگدانه آزو، حالت سیس ناپایدار بوده و سریع به حالت ترانس باز می‌گردد.

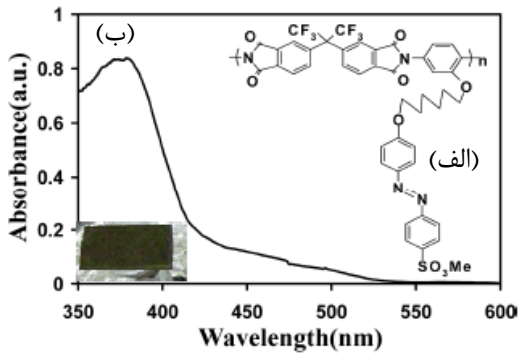
ویژگی فیلم‌های پلیمری در مقایسه با کریستال‌های غیرخطی فرایند ساخت ساده و ارزان آن‌ها است. ویژگی فیزیکی بهبود یافته دیگر مواد پلیمری، تلفات نوری کم و پایداری حرارتی بالاتر برای تولید اثرات مرتبه دوم (SHG) است[۴و ۵].

استفاده از تداخل‌سنج ماخزنر علاوه بر کاهش ولتاژ مدولاسیون، منجر به ساخت قطعات کوچکتر و فشرده‌تر می‌شود که به سادگی می‌تواند با مدارهای دیگر مجتمع شود[۵-۷].

در این مقاله مدولاتور الکترو- اپتیک ماخزنر با استفاده از پلیمرهای نوری غیرخطی با دمای شیشه بالا بر اساس فرایند ایزومریزاسیون نوری ساخته شده و سپس با تزویج نور لیزر و اعمال ولتاژ به یکی از بازوهای موجبر ماخزنر، تاثیر ضریب الکترو- اپتیک بر روی مدولاسیون شدت بررسی شده است.

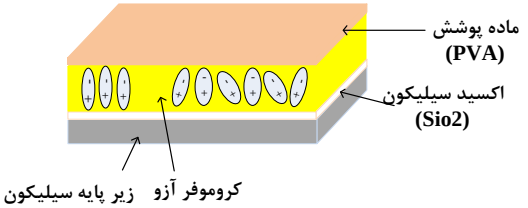
۲- روش انجام آزمایش

ساختار شیمیایی و طیف جذب ماده پلیمری نوری غیرخطی مورد استفاده در شکل (۲) نشان داده شده است. این ماده نوعی مولکول آزو است که به یک پلیمر میزبان متصل شده است. برای طراحی و ساخت یک موجبر نوری نیاز به دو نوع ماده با ضریب شکست متفاوت برای هسته و پوشش است. فیلم پلیمری مانند شکل (۳) بر روی زیرلایه سیلیکون به روش لایه نشانی چرخشی تهیه می‌شود. فیلم شامل یک لایه هسته (پلیمر نوری- غیرخطی) است که بین اکسید سیلیکون و لایه پوشش بالایی (Poly Vinyl Alcohol) ساندویچ شده است. با روش تزویج منشوری ضخامت تقریبی و ضریب شکست لایه‌ها به‌دست آمده است. در طول موج ۸۳۰ نانومتر، ضریب شکست اکسید سیلیکون ۱/۵، ماده هسته ۱/۵۷، ماده پوشش بالا ۱/۵۲، ضخامت پلیمر غیرخطی حدود ۳ میکرون و لایه پوشش رو ۴ میکرون به دست آمده است. برای تحقق اثر غیرخطی مرتبه دوم غیرصفر و ویژگی الکترو-اپتیک، کروموفرها باید به صورت ساختار ملکولی غیر متقارن طراحی شوند. از طریق فرایند قطبی‌کردن (جهت دهی کروموفرها در حضور میدان الکتریکی) فیلم های نازک پلیمری غیر متقارن می‌شوند و سپس اثر الکترو-اپتیک و هارمونیک مرتبه دوم فعال می‌شود. فرایند



شکل ۲: (الف) ساختار شیمیایی رنگدانه‌ی آزو متصل شده به پلیمر، (ب) طیف جذب ماده استفاده شده.

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

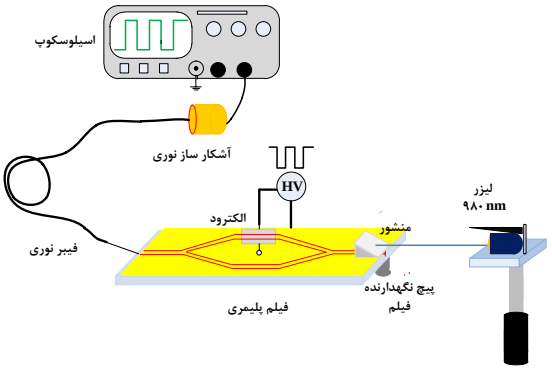


شکل ۳: شکل لایه‌های فیلم نازک پلیمر برای ساخت موجبر ماخزنر.

قطبی‌کردن (poling)، شامل افزایش دمای پلیمر تا نزدیک دمای شیشه (T_g) و سپس اعمال میدان الکتریکی ثابت قوی است که ذرات نوری غیرخطی را تحت میدان بچرخاند. دوقطبی‌های دائمی یک گشتاور ایجاد می‌کنند که منجر به هم جهت شدن آن‌ها در جهت میدان الکتریکی می‌شود. درحالیکه هنوز میدان اعمال می‌شود، ماده را تا دمای اتاق خنک کرده تا رنگدانه‌ها ثابت و هم-راستایی حفظ شود. روش‌های متفاوتی برای قطبی‌کردن وجود دارد که در این مقاله از روش کرونا استفاده شده است[۸]. پس از قطبی کردن پلیمر با استفاده از خواص ایزومریزاسیون نوری، با حرکت پرتو لیزر با طول موج ۵۳۲ نانومتر بر سطح فیلم و کنترل مسیر حرکت نور، موجبر با ساختار تداخل‌سنج ماخزنر با عرض ۱۰ میکرون، طول۴ سانتی متر و فاصله دو بازو ۱۴۰۰ میکرون ساخته شده است[۹]. با توجه به رابطه خطی ضریب شکست و میدان الکتریکی (اثر پاکلز)، اعمال ولتاژ به یکی از بازوهای موجبر، تغییر فازی متناسب با تغییر ضریب شکست مانند رابطه (۱) بوجود می‌آورد.

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} L\Delta n_z = \frac{\pi L n^3 r_{33} V}{\lambda d} \qquad (۱)$$

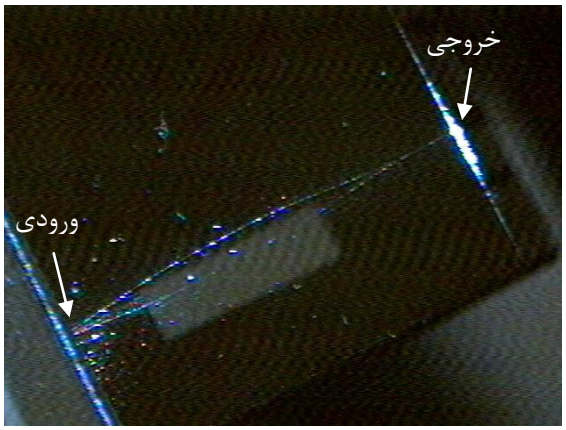
که $\lambda(\mu m)$ طول موج منبع نور، L طول ناحیه برهمکنش و Δn_z تغییر ضریب شکست به علت میدان الکتریکی است. برای اعمال ولتاژ به موجبر، الکترود نقره با ابعاد ۱ ×۰/۳ سانتی‌متر و ضخامت حدود ۱۰ نانومتر بر روی بازوی ماخزنر نشانده شده است. همزمان با اعمال ولتاژ همان‌گونه که در شکل (۴) مشخص است به وسیله‌ی یک تزویجگر منشوری، نور لیزر ۹۸۰ نانومتر به ماخزنر تزویج شده است. پس از تزویج نور، سیگنال خروجی ماخزنر با استفاده از فیبر نوری دریافت و به آشکارساز منتقل می-شود. در نهایت با استفاده از اسیلوسکوپ تغییرات خروجی آشکار ساز در اثر اعمال ولتاژ ثبت می‌شود.



شکل ۴- چیدمان آزمایشگاهی برای مدولاسیون الکترو- اپتیک و تزویج نور لیزر ۹۸۰ نانومتر همزمان با اعمال ولتاژ ثابت به ماخزنر.

۳- نتایج آزمایش

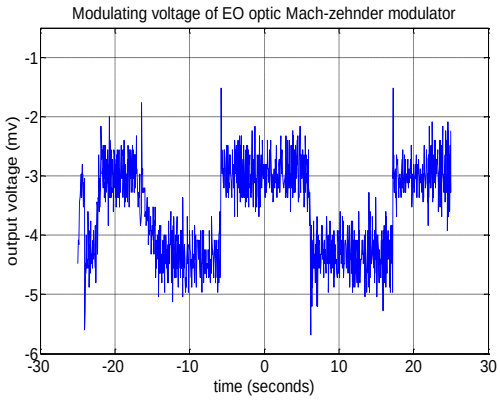
شکل (۵) تصویر نور تزویج شده در موجبر ماخزنر که با استفاده از دوربین مادون قرمز گرفته شده است را نشان می‌دهد.



شکل ۵ - تصویر نور تزویج شده به ماخزنر با الکترود.

برای یک ماخزنر ساخته شده از ماده نوری غیرخطی، هنگامیکه ولتاژ نیم‌موج به یکی از بازوها اعمال شود، تغییر فاز π در یکی از پرتوها تولید می‌شود و دو پرتو پس از بازترکیب تداخل غیرسازنده داشته و شدت نور خروجی تغییر می‌کند. برای به‌دست آوردن مدولاسیون ذکر شده نیاز به اعمال ۴۰۰ ولت می‌باشد. این به دلیل مقدار کم ضریب غیرخطی بوجود آمده در پلیمر می‌باشد. تصویر نور مدوله شده در شکل (۶) نشان داده شده است. تغییر شدت نور خروجی مدولاتور به ازای تغییر ولتاژ، نشان-دهنده این است که فیلم پلیمری قطبیده شده و دارای ضریب الکترو- اپتیک است. با توجه به تصویر نور مدوله شده و رابطه (۲)، نسبت خاموشی (Extinction Ratio) حدود ۳۰٪ به دست آمده است.

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



شکل ۶- تغییرات زمانی سیگنال مدوله شده‌ی خروجی ماخزنر همزمان با اعمال ولتاژ ثابت به یک بازوی آن.

$$\eta_{\max} = \frac{I_{V=0} - I_{V\max}}{I_{V=0}} = 0.305 \qquad (۲)$$

اگر تغییر فاز مطلوب برای مدولاتور ماخزنر π باشد و رابطه (۱) را بر حسب ولتاژ حل شود، ولتاژ مدولاسیون یا ولتاژ نیم‌موج مانند رابطه زیر به دست می‌آید.

$$V_\pi = \frac{\lambda d}{n^3 r_{33} L} \qquad (۳)$$

که $\lambda(\mu m)$ طول موج منبع نور، $d(\mu m)$ ضخامت ماده الکترو-اپتیک، n ضریب شکست ماده الکترو-اپتیک، $r_{33}(pm/V)$ ضریب الکترو-اپتیک ماده نوری غیرخطی و L طول ناحیه برهمکنش است. با استفاده از رابطه ولتاژ نیم‌موج (رابطه ۳) به ازای ضریب شکست ۱/۵۷ و طول برهمکنش ۱ سانتی‌متر ضریب الکترو- اپتیک مدولاتور ماخزنر ۰/۸۱ pm/v به دست آمده است.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله مدولاتور الکترو- اپتیک پلیمری بر پایه رنگدانه آزو ساخته شده است. ماده پلیمری استفاده شده دارای دمای شیشه ۲۰۰ درجه سانتی گراد به روش کرونا قطبیده شد و سپس موجبر نوری با ساختار تداخل‌سنج ماخزنر به طول ۴ سانتی‌متر و عرض ۱۰ میکرون، با روش سریع و کاملا نوری بر روی آن نوشته شد. تزویج نور ۹۸۰ نانومتر همزمان با اعمال ولتاژ ۴۰۰ ولت به یکی از بازوهای ماخزنر، شدت نور خروجی با نسبت خاموشی ۳۰٪ مدوله شد.

مراجع

[1] Frede Nalwa H S., *Handbook of Organic Electronics and Photonics*, **American Scientific Publisher,** 2008.

[2] Bauer S., Poled polymers for sensors and photonic applications, **J. Appl. Phys.** 80 (1996) 5531-5558.

[3] Victor M. Ch.,b, Jiann T. L., Hui H. W., Jian H. Lina., Tzer-Hsing H., Chia-Chen H., *One- and Two-Photon Induced Molecular Conformation*change and Reorientation and Related Third-Order Nonlinearities in Phenylamine Azo-Dye Polymer Thin Films, **Optics Comm. 209 (**2002) 451–460.

[4] Peyghambarian N., Norwood R A., Organic Optoelectronics: Materials and Devices for Photonic Applications, Part I, **Optics and Photonics News**, (2005) 30-35.

[5] Kim S.Ku., Pei Q., Fetterman H. R., Olbright B. C., Dalton L.R., *Photoassisted Corona Poled YLD-124/DR1-co-PMMA Electrooptic Device Using Photoisomerization*, **ieee photon. tec. Let.** 23, (2011) 845-847.

[6] Enami Y., Mathine D., DeRose C. T., Norwood R. A., Luo J., Jen A. K.-Y., Peyghambarian N., *Transversely tapered hybrid electro-optic polymer/sol-gel Mach–Zehnder waveguide* modulators, **Appl. Phys. Lett** . 92, (2008) 193508_1-193508_3.

[7] William M. J. G., Michael J. R., Lidija S.,Yurii A V., *Ultra-compact, low RF power, 10 Gbs silicon Mach-Zehnder modulator*, **Optics Express.** 15, (2007) 17106-17113.

[8] Hamedi s., Gharavi A., Corona Poling of an AZO Nonlinear Optical Polymer with High Glass Transition and Temporal Stability, **19th ICPET**, Iran, Zahedan, (2012) 30.

[9] Karimi Alavijeh H., Parsanasab G. M., Baghban M. A., Sarailou E., Gharavi A., avadpour S., Shkunov V., *Fabrication of graded index waveguides in azo polymers using a direct writing technique*, **App. Phys. Lett.** 92, (2008) 041105_1-041105_3.

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