



لیف
پلیمری
ماخ‌زنر
کترو-اپتیکی

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



ساخت مدولاتور الکترو-اپتیک ماخ‌زنر پلیمری آزو

سامانه حامدی و علیرضا غروی

آزمایشگاه تحقیقاتی مواد و قطعات فتوالکترونیک، 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 تداخل سنج ماخ‌زنر با روش سریع و کاملاً نوری با عرض ۱۰ میکرون، طول ۴ سانتی‌متر و فاصله دوبازو ۱۴۰۰ میکرون بروی 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 نیمه موج ۴۰۰ ولت و نسبت خاموشی ۳۰٪ به دست آمده است.

کلید واژه- ایزومریزاسیون نوری، اثر الکترو-اپتیک، تداخل سنج 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

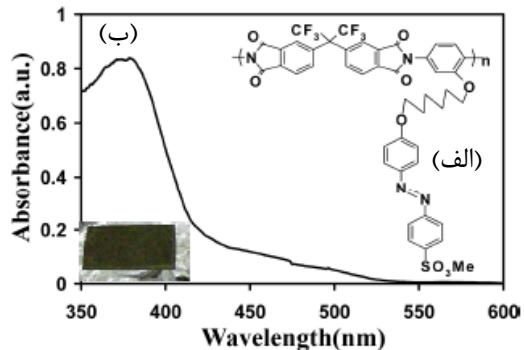
Abstract- A polymeric electro- optic (EO) modulator based on an azo chromophore is fabricated. The polymeric material used, has $T_g = 200^\circ\text{C}$ which is poled with corona poling method. Then a Mach- Zehnder modulator was fabricated using an all optical method with 10um width, 4cm length and 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 $V_{\pi} = 400\text{V}$ and extinction ratio of 30% at 980 nm laser was observed.

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

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 ضربیک الکترو-اپتیک بر روی مدولاسیون شدت برسی 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 ضربیک 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) (Poly Vinyl Alcohol) ساندوبیج شده است. با روش تزویج منشوری ضخامت تقریبی و ضربیک شکست لایه‌ها به دست آمده است. در طول موج ۸۳۰ نانومتر، ضربیک 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 تحقیق اثر غیرخطی مرتبه دوم غیرصفر و ویژگی الکترو-اپتیک، کروموفرها باید به صورت ساختار ملکولی غیر متقاض طراحی شوند. از طریق فرایند قطبی کردن (جهت دهی کروموفرها در حضور میدان الکتریکی) فیلم های نازک پلیمری غیر متقاض می‌شوند و سپس اثر الکترو-اپتیک و هارمونیک مرتبه دوم فعال می‌شود. فرایند

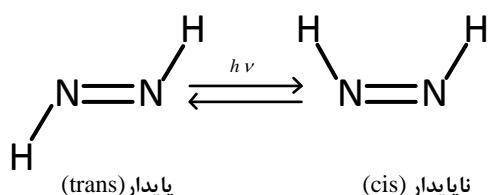


شکل ۲: (الف) ساختار شیمیایی رنگدانه‌ی آزو متصل شده به پلیمر، (ب) طیف جذب ماده استفاده شده.

۱- مقدمه

محدودیت اصلی سیستم‌های مخابراتی کنونی که مبتنی بر شبکه‌های فیبر نوری هستند، محدودیت سرعت پردازش سیستم‌های 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].

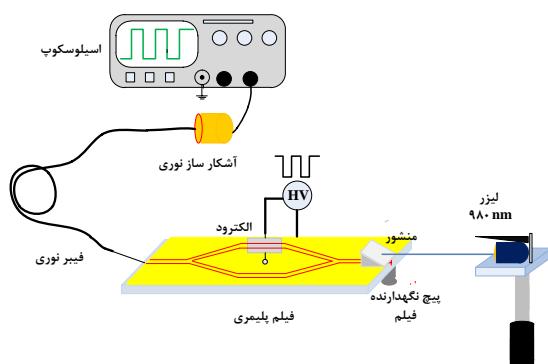
در چند دهه گذشته تلاش‌های زیادی برای شناسایی مواد غیرخطی شروع شده است. در بین آن‌ها ویژگی نوری غیرخطی برخی از این مواد مانند پلیمرهای آزو (azo) بزرگترین جذابیت را دارد [۲ و ۳]. ویژگی مولکول آزو (Photo-isomerization) فرآیند ایزومریزاسیون نوری است. مانند شکل (۱) مواد پلیمری حاوی رنگدانه‌ی (Chromophore) 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 ضربیک انکسار محل نور داده شده نسبت به بخش‌هایی از پلیمر که نور به آنها برخورد نکرده، می‌شود.



شکل ۱: ایزومرهای 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 [۴ و ۵].

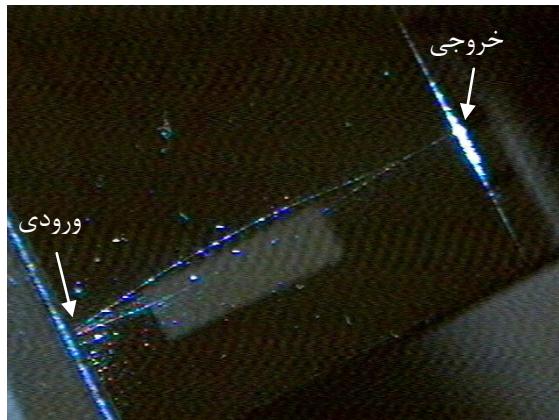
استفاده از تداخل‌سنجد ماخزنر علاوه بر کاهش ولتاژ مدولاسیون، منجر به ساخت قطعات کوچکتر و فشرده‌تر می‌شود که به سادگی می‌تواند با مدارهای دیگر مجتمع شود [۷-۵].



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

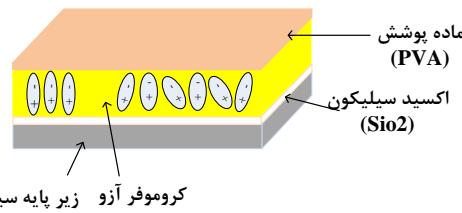
۳- نتایج آزمایش

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 نیم موج به یکی از بازوها اعمال شود، تغییر فاز π در یکی از پرتوها تولید می‌شود و دو پرتو پس از بازنگری تداخل غیرسازنده داشته و شدت نور خروجی تغییر می‌کند. برای به دست 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، نشان‌دهنده 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.



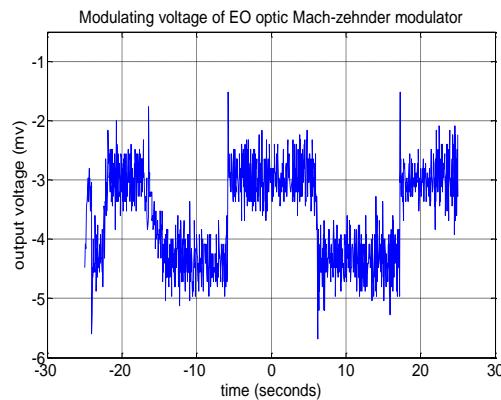
شکل ۳: شکل لایه‌های فیلم نازک پلیمر برای ساخت موجبر ماخزنر.

قطبی کردن (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. در حالیکه هنوز میدان اعمال می‌شود، ماده را تا دمای اتاق خنک کرده تا رنگدانه‌ها ثابت و هم‌راستایی حفظ شود. روش‌های متفاوتی برای قطبی کردن 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 تداخل‌سنجه ماخزنر با عرض ۱۰ میکرون، طول ۴ سانتی‌متر 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.

$$(1) \Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} L \Delta n_z = \frac{\pi L n^3 r_{33} V}{\lambda d}$$

که (μm) λ طول موج منبع نور، L طول ناحیه برهمنکش و Δn_z تغییر ضریب شکست به علت میدان الکتریکی است. برای اعمال ولتاژ به موجبر، الکترود نقره با ابعاد $1 \times ۰/۳$ 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 می‌شود. در نهایت با استفاده از اسیلوسکوپ تغییرات خروجی آشکار ساز در اثر اعمال ولتاژ ثبت می‌شود.

- [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 Conformationchange 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*, *iee photon. tec. Lett.* 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 ICPE**, 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.



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

$$\eta_{\max} = \frac{I_{V=0} - I_{V \max}}{I_{V=0}} = 0.305 \quad (2)$$

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

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

که $\lambda(\mu\text{m})$ طول موج منبع نور، $d(\mu\text{m})$ ضخامت ماده الکترو-اپتیک، n ضریب شکست ماده الکترو-اپتیک، $r_{33}(\text{pm/V})$ ضریب الکترو-اپتیک ماده نوری غیرخطی و L طول ناحیه برهمنکنش است. با استفاده از رابطه (۳) نیم موج (رابطه ۳) به ازای ضریب شکست $1/57$ و طول برهمنکنش 1 سانتی‌متر ضریب الکترو-اپتیک مدولاتور ماخزنر $v/\text{pm} = 0.081$ 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 تداخل‌سننج ماخزنر به طول ۴ سانتی‌متر و عرض ۱۰ میکرون، با روش سریع و کاملاً 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.