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

بهبود عملکرد سوئیچ تمام اپتیکی فیلم پلیمری حاوی رنگینه DR1 با استفاده از دو پرتو پمپ

زهرا اسلامی، حسین مهرزاد و عزالدین مهاجرانی

آزمایشگاه پلیمر و مواد آلی، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، اوین، تهران

چکیده - در این مقاله سوئیچ تمام اپتیکی با نویز کم و پایداری بالا در فیلم پلیمری *(PMMA)* حاوی رنگینه آزو *(DR1)* با استفاده از دو پرتو در دو مرحله گزارش شده است. برای مقایسه، به ترتیب از تک پرتو با قطبش خطی(*mw* ۹)، دو پرتو با قطبش های خطی – دایروی *(mW* ۹ و *۴/۹ mW)* و دو پرتو با قطبش های عمود بر هم *(mW* ۹ و *۳/۳ mW)* برای پمپ نمونه استفاده کردیم. نتایج آزمایشات نشان داد که سرعت قطع در سوئیچینگ، با استفاده از دو پرتو پمپ افزایش یافته است. بنابراین سوئیچ در فرکانس های بالا بدست آمد.

کلید واژه- دو پرتو پمپ، رنگینه آزو، سوئیچ تمام اپتیکی، فیلم پلیمری (*PMMA*)

Improvement of all-optical switching performance based on azo dye-doped polymer film using two pump beams in two step

Zahra eslami, Hossein Mehrzad,Ezeddin mohajerani

Laser and plasma research institute, Shahid Beheshti University, G.C., Evin, 1983963113, Tehran, Iran

Abstract-Pumping poly methyl methacrylate (PMMA) films doped with azobenzene chromophore Disperse Red 1 (DR1) with two pump beams in two step, all-optical switching effects with very low background and high stability are demonstrated. For comparison, we used respectively the single linearly polarized beam (9 mW),linear–circular polarized beams (9mW and 4.9 mW) and two cross-linearly polarized beams (9 mW and 3.3 mW) to pump the film. High frequency switching is obtained, Because the experimental measurement and analysis showed that the turn off speed of the all-optical switching could be obviously increased by use of two pump beam method.

Keywords: All-optical switching, Azo dye, poly methyl methacrylate (PMMA) films, two pump beams

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

۱- مقدمه

در علم فوتونیک ابزارهای سوئیچنگ نقش بسزایی در کنترل نور دارند. در سال‌های اخیر پلیمرهای حاوی ترکیبات آزو به علت ویژگی‌های منحصربه‌فرد که کاربردهای مختلفی را به دنبال دارد، توجهات بسیاری را به خود معطوف کرده است. از جمله ویژگی‌های رنگینه‌های آزو می‌توان به پایداری گرمایی و نوری مناسب، حلالیت بالا و تهیه‌ی آسان آن اشاره کرد . یکی از پدیده‌های مربوط به رنگینه‌های آزو که کاربردهای زیادی در سوئیچنگ تمام اپتیکی، حافظه‌های نوری و ساخت توری دارد، جهت‌گیری این مولکول‌ها با تابش نور خطی است. ساختار مولکول آزو از باند دوگانه N-N بین دو حلقه فنیل تشکیل شده است. با تابش نور لیزر مولکول از حالت ترنس به سیس گذار می‌کند که باعث ایجاد اثر فتوکرومیک و دوشکستی القایی می‌شود [۱و۲]. چگونگی اندازه گیری راستا و میزان دوشکستی القایی در برخی مقالات گذارش شده است [۳]. از این اثر دوشکستی القایی برای ذخیره سازی نوری اطلاعات استفاده می‌شود [۴]. هنوز مشکلات زیادی از جمله سرعت پاسخ کم (در حدود میلی ثانیه)، نویز بالا و پایداری اندک در فرآیندهای سوئیچ اپتیکی وجود دارد که نیاز به حل دارد. پاسخ زمانی به عوامل زیادی از قبیل مشخصات ماده مانند اندازه، نوع ساخت و مشخصات شیمیایی، ضخامت ماده و طول موج جذب نور توسط ماده بستگی دارد [۵]. امروزه مهمترین مشکل سوئیچینگ تمام اپتیکی، چگونگی دستیابی به سرعت پاسخ و عمق مدولاسیون بالا در توان کم پمپ است. در تکنیک پمپ پروب عادی که از روش‌های اندازه-گیری سوئیچ اپتیکی است، از یک پرتو پمپ استفاده می‌شود. در این روش نویز بالایی وجود دارد [۶]. در این مقاله سوئیچ تمام اپتیکی در تکنیک پمپ پروب با استفاده از دو پرتو پمپ در دو مرحله بهینه شده و نتایج با پمپ پروب معمول مقایسه شده است. در مرحله اول از دو پرتو پمپ با قطبش خطی-دایروی و در مرحله دوم از دو پرتو پمپ با قطبش‌های عمود بر هم استفاده شد.

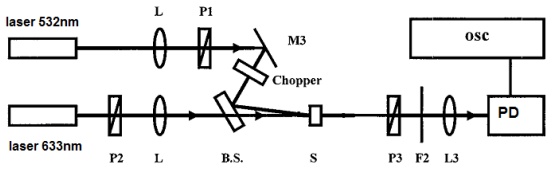
۲- بخش تجربی

۲-۱: مواد

رنگینه مورد استفاده DR1 با غلظت ۹۵ درصد است که از شرکت آلدریچ خریداری شده است. پلیمر میزبان پلی-متال متاکریلات (PMMA) است. در این آزمایش از ترکیب ۵ درصد جرمی رنگینه به پلیمر استفاده شده است. رنگینه و پلیمر به صورت جداگانه در حلال دی-کلرومتان حل شد. برای حل شدن کامل رنگینه و پلیمر محلول‌ها به مدت چندین دقیقه در اولتراسونیک قرار داده شد. برای خالص‌سازی نمونه صافی کاغذی برای محلول پلیمر و صافی سرنگی برای محلول رنگینه به کار برده شد. سپس۲ محلول با هم ترکیب کرده و دوباره در اولتراسونیک قرار داده شد تا به خوبی حل شود. از روش لایه‌نشانی غوطه‌وری برای لایه‌نشانی ماده استفاده شد.

۲-۲: چیدمان آزمایش

شکل ۱ چیدمان مربوط به آزمایش چیدمان دوشکستی القایی را نشان می‌دهد که در آن از یک تک پرتو برای پمپ کردن نمونه استفاده شده است. از لیزر هلیوم نئون (۶۳۳ nm) و لیزر دیودی (۵۳۲ nm) به ترتیب به عنوان نور پروپ و پمپ استفاده شد. مطابق شکل، نمونه بین دو پلاریزور عمود بر هم قرار گرفته است. راستای قطبش نور پمپ نسبت به نور پروب تابیده شده به نمونه ۴۵ درجه انتخاب شد تا ماکزیمم دو شکستی اندازه‌گیری شود . نور خروجی از آنالیزور توسط آشکارساز نوری جمع آوری شد.

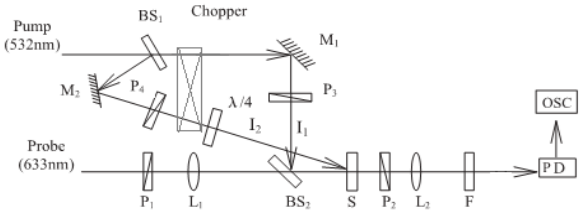


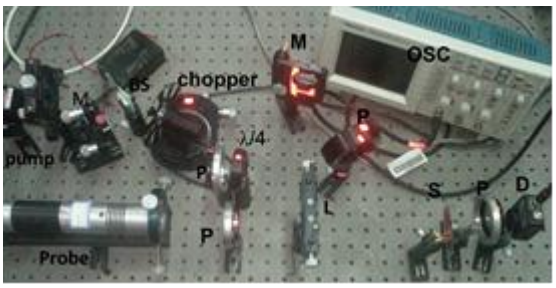
شکل ۱:چیدمان دوشکستی القایی: Ps: پلاریزور، Ls: لنز، Ms: آینه، s: نمونه، F: فیلترسبز، PD: آشکارساز ، OSC: اسیلوسکوپ، BS: شکافنده پرتو.

در مرحله دوم از دو پرتو پمپ با قطبش خطی-دایروی به طور همزمان استفاده شد. مطابق شکل ۲، نور پمپ توسط شکافنده پرتو به دو پرتو تقسیم شده و قطبش پرتو I_1 توسط پلاریزور P_3 که با راستای محور پلاریزور P_1 زاویه ۴۵ درجه (ماکزیمم دو شکستی) می‌سازد، به قطبش خطی تبدیل شد. قطبش پرتو I_2 نیز با عبور از پلاریزور P_4 و تیغه $\lambda/4$ به قطبش دایروی تغییر داده شد. این دو پرتو پمپ به یک نقطه از نمونه که محل عبور پرتو پروب بود، تابانده شد. از چاپر برای کنترل فرکانس نور تابیده شده استفاده شده است، به طوریکه دو پرتو عبوری از چاپر با

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

فرکانس یکسان ولی در فاز مخالف (با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه) مدوله شدند. از فیلتر F برای جلوگیری از ورود پرتو پمپ به آشکارساز استفاده شد. جهت پلاریزورهای P_1 و P_2 عمود بر هم است.





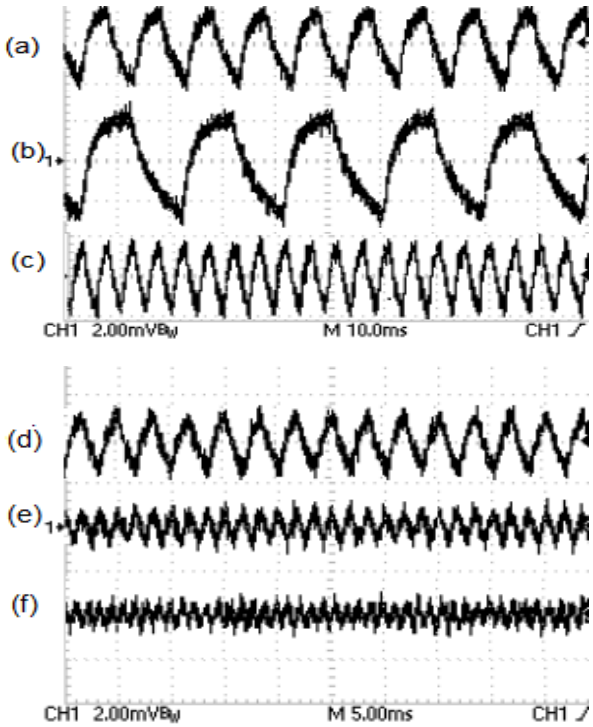
شکل۲: Ps: پلاریزور، Ls: لنز، Ms: آینه، s: نمونه، F: فیلترسبز، PD: آشکارساز ، OSC: اسیلوسکوپ، BS: شکافنده پرتو.

در مرحله سوم آزمایش از دو پرتو با قطبش های خطی عمود بر هم استفاده شد. با حذف تیغه$\lambda/4$ در چیدمان شکل ۲، قطبش پرتو I_2 خطی انتخاب شد. با استفاده از پلاریزورهای P_3 و P_4، قطبش پرتو های I_1 وI_2 ، خطی و عمود بر هم انتخاب شد. زاویه بین پلاریزورهای P_1 و P_3، ۴۵ درجه انتخاب شد. با استفاده از چاپر مانند مرحله دوم دو پرتو پمپ با فرکانس یکسان اما در فاز مخالف مدوله شد. در هر زمان وقتی پرتو I_1 روشن است، پرتو I_2 قطع می‌شود و بالعکس. آنالیز اطلاعات گرفته شده توسط آشکارساز نوری متصل به اسیلوسکوپ انجام گرفت.

۳- نتایج و بحث:

۳-۱: سوئیچ اپتیکی توسط تکنیک پمپ پروب

قبل از تابش پرتو پمپ، نمونه همسانگرد است و هیچ نوری به آشکار ساز نمی‌رسد. بعد از تابش نور پمپ، رنگینه‌ها از حالت ترنس به سیس گذار انجام می‌دهند. احتمال گذار از حالت ترنس به حالت سیس با فاکتور $\sigma_T\cos^2\varphi$ برابر است. σ_T سطح مقطع جذب مولکول در حالت ترنس و φ زاویه بین محور مولکول آزو و جهت قطبش نور پمپ است. چون مولکول در حالت سیس ناپایدارتر از حالت ترنس است، از طریق فرآیند گرمایی یا جذب نور پمپ به حالت ترنس برمی‌گردد. با تابش نور پمپ، در نهایت جهت ممان دوقطبی مولکول‌های آزو در چرخه سیس ترنس عمود بر راستای قطبش نور پمپ قرار می‌گیرد و در نمونه یک ناهمسانگردی القایی ایجاد می‌شود و این ناهمسانگردی باعث به وجود آمدن دوشکستی القایی می‌شود. بنابراین شدت نور رسیده به آشکارساز زیاد شده و با خاموش کردن نور پمپ این شدت دوباره به صفر می‌رسد [۵و۲]. زمانی که فرکانس نور پمپ بالا می‌رود، رنگینه‌ها فرصت کافی برای برگشت به حالت اولیه را ندارند. در نتیجه دوشکستی القایی در زمان قطع شدن نور پمپ، به طور کامل پاک نمی‌شود. بنابراین در فرکانس‌های بالاتر سوئیچ اپتیکی قابل توجهی مشاهده نمی‌شود. شکل ۳ سوئیچ اپتیکی را در فرکانس‌های مختلف برای حالت تک پرتو پمپ نشان می‌دهد.



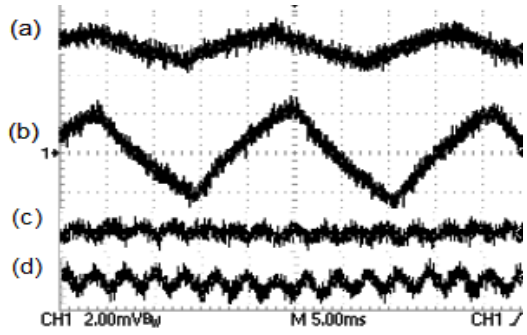
شکل ۳: سوئیچ تمام اپتیکی توسط تک پرتو پمپ با قطبش خطی (9 mw)در فرکانس های مختلف:
(a):100Hz,(b):50Hz,(c):200Hz,(d):300Hz,(e):600Hz,(f):900Hz.

۳-۲: سوئیچ تمام اپتیکی توسط دو پرتو پمپ با قطبش خطی-دایروی

در چیدمان دوم، از دو پرتو پمپ استفاده شده است. از

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

پرتو خطی برای پمپ کردن نمونه و از پرتو دایروی برای پاک کردن دوشکستی ایجاد شده و سرعت بخشیدن به فرآیند واهلش رنگینه‌ها استفاده شد. پرتو دایروی هم به دلیل رندم‌سازی جهت‌گیری رنگینه‌ها و هم از طریق اثر گرمایی، باعث افزایش سوئیچ اپتیکی و عمق مدولاسیون در فرکانس‌های بالا می‌گردد. اثر گرمایی که به علت استفاده از دو پرتو پمپ است، از حالت تک پمپ بیشتر بوده که به چرخش رنگینه‌ها سرعت می‌بخشد و واهلش گرمایی رنگینه‌ها را افزایش می‌دهد. شکل ۴ مقایسه‌ای برای حالت تک پمپ و دو پمپ خطی-دایروی در فرکانس‌های مختلف را نشان می‌دهد.

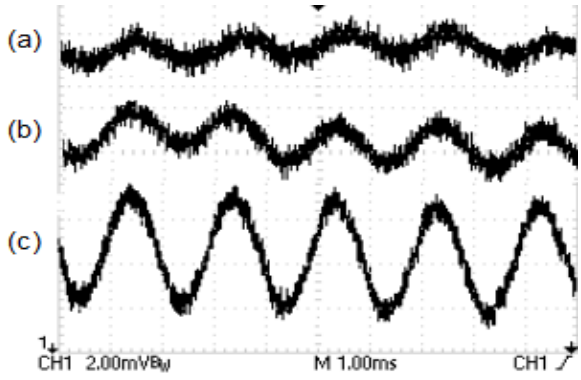


شکل ۴: سوئیچ اپتیکی DR1 در فرکانس 50Hz : (a) توسط تک پرتو خطی پمپ (9 mw) , (b) توسط دوپرتو خطی (9 mw) - پرتو دایروی (4.9 mw).

سوئیچ اپتیکی DR1 در فرکانس 300Hz : (c) توسط تک پرتو خطی پمپ(9 mw), (d) توسط دوپرتو خطی(9 mw)- پرتو دایروی(4.9 mw)

۳-۳: سوئیچ تمام اپتیکی توسط دو پرتو پمپ با قطبش عمود بر هم

در چیدمان سوم، که از دو پرتو پمپ خطی عمود بر هم استفاده شده است، وقتی پرتو I_1 روشن است، جهت‌گیری رنگینه‌ها عمود بر قطبش خطی I_1 است. زمانی که I_1 توسط چاپر خاموش و پرتو I_2روشن می‌شود، رنگینه‌ها موازی جهت قطبش I_2 می‌باشند. بنابراین طبق فرمول $\sigma_T\cos^2\varphi$ چون زاویه φ صفر است، بیشترین برهمکنش با میدان I_2 را داشته و در جهت عکس اولیه پمپ می‌شوند. بنابراین شدت رسیده به آشکارساز از ماکزیمم به صفر می‌رسد و همین فرآیند با چاپ شدن چاپر تکرار می‌شود. شکل ۵ سوئیچ اپتیکی در این مرحله را نشان می‌دهد.



شکل ۵: سوئیچ اپتیکی DR1 در فرکانس 500Hz : (a) توسط تک پرتو خطی پمپ، (9 mw) (b) توسط دوپرتو خطی (9 mw)- دایروی(4.9 mw) , (c) توسط دو پرتو پمپ با قطبش عمود بر هم (9 mw,3.3 mw).

نتیجه‌گیری

در این مقاله از دو روش برای بهبود عملکرد سوئیچ تمام اپتیکی فیلم پلیمری حاوی DR1 در تکنیک پمپ پروب استفاده شد. روش اول استفاده از دو پرتو پمپ با قطبش خطی-دایروی بود که در آن از پرتو دایروی برای سرعت بخشیدن به پاک کردن دوشکستی القایی استفاده شد که افزایش عمق مدولاسیون در فرکانس بالا را به دنبال داشت. درمرحله دوم از دو پرتو پمپ با قطبش خطی عمود بر هم استفاده شده و سوئیچ اپتیکی به میزان قابل توجهی در مقایسه با روش دوم افزایش یافت.

مراجع

[1] Wu S, Yao S, Luo D, She W, Wang H. , *All-optical switching properties of poly(methyl methyacrylate) azobenzene composites*, **Journal Of Materials Science.** 38 (2003) 401-405.

[2] Qi S, Zhang C, Yang X, Chen K, Zhang L, Wang X, Xu T, Tian J, Zhang G. , *Experimental study of photoinduced birefringence in azo-dye-doped polymer*, **International Journal For Light And Electron Optics.** 6 (2004) 253–256.

[3] Chuang Ch, Lin Sh, Chao Yu., Dynamic characterization of photo-alignment of azo-dye-doped polymer using phase modulated polarimetry, **Optical Materials.** 35(3) (2013) 366-371

[4] Chuang C, Hsiao Y, Lin Sh , Chao Y., Real-time measurement of photo-induced effects in 9,10-phenanthrenequinone-doped poly(methyl methacrylate) photopolymer by phase-modulated ellipsometry**, Optics Communications.** 283 (2010) 3279-3283.

[5] Luo Y, She W, Wu S, Zeng F, Yao S. , *Improvement of all-optical switching effect based on azobenzene-containing polymer films*, **Applied Physics**. B.80 (2005) 77-80.

[6] Xu T, Zhu W, Lin Y, Liang A., *Improvement of all-optical switching performance based on azo dye-doped polymer film using two cross-linearly polarized pump beams*, **optic**. 124 (2013) 305-308.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]