

**لیزر تابی حالت جامد ارگانیک با سه طول موج از کریستال مایع هالوگرافی با پلیمر پخش شده**

**چکیده**

لیزر تابی حالت‌جامد ارگانیک با سه طول‌موج از لیزر بازخورد توزیع‌شده (DFB) از کریستال مایع هالوگرافی با پلیمر پخش‌شده (HPDLC) و تخدیر رنگ‌شده با پلیمر نیمه‌رسانا (MEH-PPV) و رنگ لیزر (DCM) و توسط روش هالوگرافی یک مرحله‌ای نشان داده‌شده و مرکز آن در 605.5 و 611.9 و 671.1 نانومتر قرار دارد. محدوده تنظیم وابستگی به دما برای لیزر HPDLC DFB با تخدیر رنگ و سه طول‌موج به‌اندازه 8 نانومتر بوده است. انتشار لیزر از مرتبه 9 ام در HPDLC DFB با MEH-PPV به‌عنوان محیطی فعال نیز موردبررسی قرارگرفته و ویژگی‌های قطبی‌سازی-s ایده آلی نشان داده است. انکسار برای لیزر تابی دو طول‌موج با DSM به‌عنوان محیطی فعال، ترتیب مرتبه 9 ام و 8 ام است. نتایج این کار روشی برای ساخت تمام سامانه‌های فشرده و مقرون‌به‌صرفه لیزر هوشمند حالت‌جامد ارائه می‌دهد. این روش در تحقیقات علمی و کاربردی و درجایی که انتشار چندین طول‌موج موردنیاز است، کاربرد دارد

**کلمات کلیدی:** کریستال مایع هالوگرافی با پلیمر پخش ده؛ بازخورد توزیع‌شده؛ لیزر تابی سه طول‌موج؛ ترتیب انکسار

**1. دیباچه**

لیزرهای ارگانیک حالت‌جامد (OSSLs) توجه علمی قابل‌توجهی را به خود جذب کرده‌اند چون فشرده، مقرون‌به‌صرفه، عملیاتی در آستانه‌ای پایین هستند و قابلیت تنظیم و طیف وسیعی دارند. علاوه بر این، OSSLs قابلیت دستیابی به تزریق الکتریکی را نیز دارد، این کار باعث تبدیل آن‌ها به منبع لیزری هوشمند و نویدبخش برای طیف‌سنجی، فوتونیک یکپارچه و سنجش می‌شود.

OSSLs معمولاً برای محیط تخدیر رنگ ارگانیک لیزر را یا فیلم پلیمر نیمه‌رسانا را به‌عنوان محیط فعال در نظر می‌گیرد. پیکربندی حفره مانند بازخورد توزیع‌شده (DFB)، انعکاس‌دهنده براگ توزیع‌شده (DBR) و میکرو حفره برای ارائه بازخورد مثبت و گزینش حالت لیزر تابی مورداستفاده قرارگرفته است. پیکربندی DFB گزینش حالت ایده آلی ارائه می‌دهد و در میان این پیکربندی‌ها در آستانه‌ای پایین عمل می‌کند. پیکربندی DFB را می‌توان با فرایندهای قالب‌ریزی و نقش‌پذیری ایجاد کرد. علاوه بر این، توری کریستال مایع هالوگرافی با پلیمر پخش‌شده (HPDLC) را می‌توان با پیکربندی مناسب DFB توسط جداسازی فاز پلیمر القاشده (PIPS) انجام داد. علاوه بر این، توری HPDLC نسبت به دیگر فرایندهای قالب‌ریزی و نقش‌پذیری مزایایی دارند. این مزایا برای مقرون‌به‌صرفه بودن، سادگی در ساخت و تولید انبوه آن است.

OSSLs طول‌موج چندگانه خصوصاً در حوزه ارتباطات و آزمایشگاه روی یک تراشه، دستگاه‌های مفید و نویدبخش هستند چون لیزر تابی چند طول‌موجی را می‌توان با لیزری هوشمند به دست آورد. برای دستیابی به چنین هدفی، دیائو[[1]](#footnote-1)و همکارانش لیزر تابی دو طول‌موج از فیلم نیمه‌رسانا و تخدیر رنگ را با استفاده از HPDLC به‌عنوان حفره نوسان گزارش دادند. ژانگ[[2]](#footnote-2)و همکارانش لیزر تابی دو طول‌موج با انتشار سطح را از لایه دانه ترکیب‌شده و با استفاده از دو پلیمر نیمه‌رسانا نشان دادند. بااین‌حال، آن‌ها تنها دو نوع از محیط بهره را مورداستفاده قراردادند و نتوانستند دیدگاه‌هایی برای راهنمایی به دست آورند. لیزر تابی سه طول‌موج برای OSSLs از HPDLC به‌عنوان حفره نوسان تاکنون نشان داده نشده است.

در کار قبلی، کریستال مایع هالوگرافی با پلیمر پخش‌شده و لیزر بازخورد توزیع‌شده را از ترتیب مختلف انکسار نشان دادیم و اعتقادداریم که ترکیب ترتیب انکسار و LC باعث ایجادn جذابیت بیشتر در لیزر HPDLC DFB می‌شود. در این مطالعه، لیزر تابی سه طول‌موج از کریستال مایع هالوگرافی با پلیمر پخش‌شده و لیزر بازخورد توزیع‌شده با HPDLC تخدیر رنگ و فیلم پلیمر نیمه‌رسانا به‌عنوان محیط فعال نشان داده‌شده است و تا جایی که اطلاع داریم این موضوع برای اولین بار بوده است. فیلم پلیمر نیمه‌رسانا روی لایه شیشه به اسپین پوشش داده‌شده بوده و بین لایه شیشه و توری فیلم HPDLC قرارگرفته است. انتشار لیزر از ترتیب انکسار 9 ام برای لیزر HPDLC DFB موردبررسی قرارگرفته است. علاوه بر این، رنگ لیزر (DCM) در توری HPDLC تخدیر شده است. رنگ لیزر DCM و فیلم پلیمر نیمه‌رسانا هر دو در دستگاهی به‌صورت کپسول قرارگرفته‌اند تا از اکسید شدن و تنزل نور پرتو القاشده جلوگیری کنند. لیزر تابی دو طول‌موج نیز از ترتیب انکساری متفاوت از DCM به‌دست‌آمده است. نتایج تجربی نشان دادند که لیزر تابی طول‌موج چندگانه درزمانی که حالات چند حفره‌ای در طیف بهره وجود داشته باشد، رخ می‌دهد. این دستگاه لیزر ویژگی‌های سبک‌وزنی، هوشمندی، مقرون‌به‌صرفگی و ساخت آسان را داشته، از عملیات و تنظیم سه طول‌موج بهر می‌برد و در حوزه‌های سنجش و طیف‌سنجی نویدبخش خواهد بود.

**2. موارد و روش‌ها**

**2.1. آماده‌سازی نمونه**

فیلم پلی (MEH-PPV) به‌عنوان لایه محیط فعال در نظر گرفته‌شده است. MEH-PPV (فناوری پلیمر سبک) با نرخ وزن 0.6wt% در تتراهیدروفوران حل‌شده است. محلول‌ها برای 72 ساعت به هم زده شدند تا از کفایت حل‌شدگی اطمینان حاصل شود. قطره‌ای از محلول MEH-PPV روی تکه‌ای از لایه شیشه‌ای که از پیش تمیز و یون‌های آن حذف‌شده برای قالب‌ریزی اسپین تزریق می‌شود. ضخامت فیلم MEH-PPV توسط سرعت متغیر اسپین کنترل‌شده و توسط پروفیلر سطح اندازه‌گیری می‌شود. این ضخامت برای عملیات لیزر تابی مناسب در 75 نانومتر کنترل‌شده است. تمام آزمایش‌ها تحت شرایط فراگیر انجام‌گرفته‌اند.

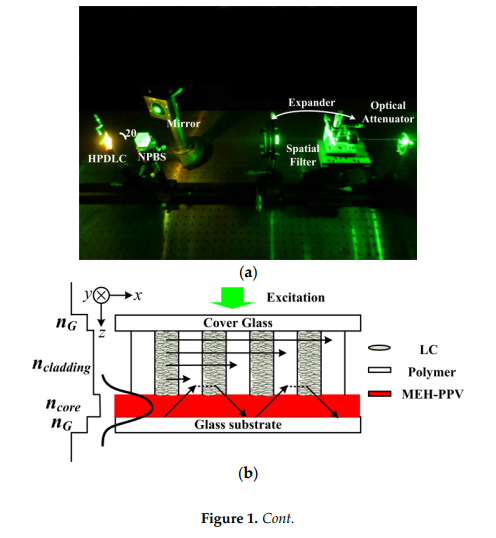
فیلم توری HPDLC برای کریستال مایع هالوگرافی با پلیمر پخش‌شده توسط پلیمر سازی هالوگرافی پرتو القاشده در فیلم MEH-PPV ثبت‌شده است. ترکیب محیط هالوگرافی برای HPDLC عمدتاً حاوی مونومر آکریلات و فتالیک گلیکول دی اکریلات و کریستال‌های مایع نماتیک بوده است. ان-وینیل پیرولیدون مونومر با پیوند متقابل نیز برای رقیق‌سازی به ترکیب اضافه‌شده است. رز بنگال[[3]](#footnote-3) و N- فنیل گلیسین به ترتیب به‌عنوان آغازگر پرتو و کمک آغازگر مورداستفاده قرارگرفته‌اند. رنگ لیزر رأی ایجاد لیزر HPDLC DFB با تخدیر رنگ به ترکیب اضافه‌شده است. این ترکیب که با میله‌ای مغناطیسی به مدت 48 ساعت برای سیستم مواد همگن هم زده‌شده است توسط فعالیت مویرگی در اتاق تاریک به سلول شیشه‌ای خالی تزریق شد. سلول خالی از دولایه شیشه‌ای ایجادشده است. یکی از آن‌ها یک فیلم MEH-PPV با اسپین قالب‌ریزی شده داشت و دیگری صرفاً لایه‌ای از شیشه بود. ضخامت سلول توسط فاصله سازهایی به‌اندازه 9 میکرومتر کنترل‌شده است. این فاصله به‌اندازه کافی برای تزریق رنگ لیزر DCM در جهت جذب کافی انرژی تحریک برای ساخت نوسان لیزر تابی در زمان پمپاژ پرتو ضخامت داشته است. شاخص انکسار در کریستال مایع با پلیمر پخش‌شده (PDLC، (LC با پلیمر و هم‌راستایی تصادفی )) برابر با 1.543 در 589.0 نانومتر است.

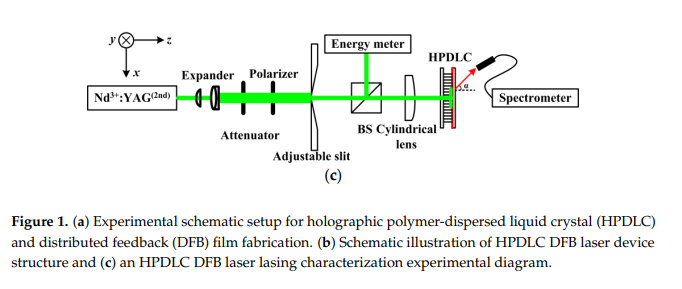
**2.2. ساخت توری HPDLC**

فیلم عبور توری غیر اریب HPDLC توسط تابش به سلول به مدت سه دقیقه توسط دو پرتو لیزر آلومینیوم یتیم نئویمیم دو برابر با فرکانس پیوسته قطبی شده – s، پرتودرمانی شده است. این موضوع در شکل 1a نشان داده‌شده است. پرتو ثبت‌شده گسترش داده‌شده و پالایه گردیده تا تابش متحدالشکل را تضمین کند. متغیر تضعیف‌کننده نوری در مسیر پرتو قرار داده‌شده تا شدت پرتو را تنظیم نماید. پرتوهای لیزر هم‌فاز در زمان ساخت توری HPDLC، ابتدا از ترکیب پیش پلیمر عبور می‌کنند. این موضوع در شکل 1a نشان داده‌شده است. انرژی درزمانی که فیلم MEH-PPV در برابر پرتوهای لیزر هم‌فاز قرار می‌گیرد، به‌شدت جذب خواهد شد. بنابراین، نمی‌توان میدان تداخل را به صورتی کارآمد ساخت. فیلم HPDLC باعث حفاظت فیلم MEH-PPV در برابر اکسید شدن و تنزل پرتو القاشده می‌شود. تناوب فیلم توری HPDLC توسط معادله زیر مشخص می‌شود:



که در آن  برابر با تناوب توری HPDLC،  طول‌موج ثبت‌شده لیزر در خلأ و  برابر با نصف زاویه تقاطع بین دو پرتو ثبت‌شده است. زاویه تقاطع را می‌توان برای دستیابی به تناوب‌های توری مختلف در آزمایش تغییر داد. شکل 1b ساختار دستگاه را بدون تخدیر رنگ نشان می‌دهد. شکل 1b,c با یکدیگر توافق داشته و مکمل یکدیگر هستند. نمونه در هر دو شکل 1b,c به صورتی معکوس تحریک‌شده است. شکل 1b مکانیسم ساخت نوسان در لیزر تابی را نشان داده و شکل 1c مجموعه سیگنال‌های لیزر تابی را نشان می‌دهد. سیگنال لیزر تابی همراه بااتصال توری بوده و در شکل 1c نشان داده‌شده است. جزییات را می‌توان در بخش 3.2 یافت.





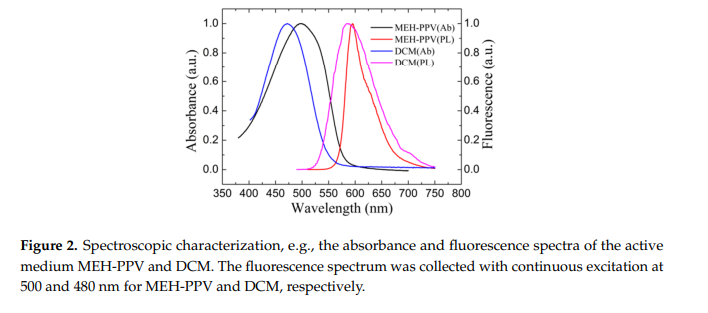
**2.3. ویژگی‌ای لیزر تابی**

نمونه‌ها برای ویژگی‌های لیزر تابی به‌صورت معکوس توسط فرکانس دو برابر شده لیزر پالس دهی شده  و کلید دهی شده Q، تحریک نوری شدند. این لیزر پالس دهی شد ه، پمپاژ پالسی به‌اندازه 10 nm و نرخ تکرار 10 Hz و طول‌موج تحریک 532nm فراهم می‌کند (صنایع اوپتوالکترونیک جدید) که در شکل 1c نشان داده‌شده است. سیگنال لیزر تابی خروجی توسط طیف‌سنج توری همراه با فیلتر جمع‌آوری‌شده است. این طیف‌سنج محدودیت وضوحی به‌اندازه 0.23nm داشته است. انرژی تحریک توسط شکاف پرتو قطبی نشده (BS) و با هدایت بخشی از انرژی رخداد به انرژی سنج نظارت‌شده است. این کار به‌صورت به لحظه بوده است. پمپاژ پرتو لیزر، بسط داده و میزان شد و تنها بخش مرکزی انتخاب گردید تا پمپاژ متحدالشکل تضمین شود. در ادامه، پرتو تحریک توسط لنزهای لوله‌ای مجدداً شکل‌دهی می‌شوند تا با توجه به نمونه نورمال، پرتو تحریکی با زاویه 0 و ابعاد 3mm در 1mm ایجاد گردد. علاوه بر این، قطبی ساز برای تنظیم قطبیت رخداد مورداستفاده قرارگرفته است. تضعیف‌کننده نوری متغیر برای تنظیم انرژی پمپ شده مورداستفاده قرارگرفته است تا شدت انتشار خروجی را به‌عنوان تابعی از انرژی تحریک موردبررسی قرار دهد.

**3. نتایج و مباحثه**

**3.1. ویژگی‌های اسپکتروسکوپی**

طیف خالص فیلم، مشخصات اصلی ساختار الکترونیکی و ارتعاشی در ماده ارگانیک را نشان می‌دهد. محیط فعال را می‌توان توسط فهم ساختار الکترونیکی و الکترونیکی به‌خوبی مورداستفاده قرارداد. به‌طورکلی، طول‌موج لیزر تحریک باید با بیشترین طول‌موج جذب تطابق داشته باشد تا به صورتی مؤثر به معکوس جمعیت دستیابی شود. علاوه بر این، حالات حفره باید در طیف بهره در محیط فعال برای عملیات انتشار لیزر تابی و بر اساس قوانین لیزر مشمول شود. علاوه بر این، حالت لیزر تابی باید در موقعیتی بهینه شود که محیط فعال برای عملیاتی با آستانه پایین به‌صورت سامانه‌ای چهار سطحی است. شکل 2 مشخصات اسپکتروسکوپی در فیلم MEH-PPV محیط فعال و رنگ لیزر DCM را نشان می‌دهد. طیف جذب در فیلم MEH-PPV با پوشش اسپین و رنگ لیزر DCM توسط طیف‌سنج UV-VIS-NIR,UV-3101PC انجام‌گرفته است. رنگ لیزر DCM برای ویژگی‌های اسپکتروگرافی، با نرخ وزن 0.5% در DPHPA/NVP تخدیر شده و در ادامه توسط اقدام مویرگی به داخل سلولی شیشه‌ای تزریق‌شده است. طیف فوتولومینسانس توسط طیف‌سنج F-7000FL اندازه‌گیری شده و طول‌موج‌های تحریک در ابعاد 500nm و 480nm انتخاب‌شده‌اند تا به ترتیب با قله جذب در MEH-PPV و DCM تطابق داشته باشند. طیف گسترده جذب نشان‌دهنده تک قله‌ای است که در باند طیفی مرئی برای MEH-PPV و DCM به ترتیب در 500.8nm و 480nm قرار دارد و جذب در این موقعیت بیشینه است. پهنای کامل در نصف مقادیر بیشینه (FWHM) در طیف جذب برای DCM و MEH-PPV به ترتیب 90nm و 120nm هستند. طیف جذب تصدیق می‌کند که جذب برای هر دو محیط فعال درزمانی که در 532nm به نمونه پرتو پمپاژ می‌شود، کافی است. قله‌های طیف PL نشان‌دهنده ساختاری ارتعاشی و الکترونیکی هستند، پهنای انتشار 0-0 و 0-1.  نشان‌دهنده انتقال از کف حالت تحریک منفرد به کف حالت اصلی است. این موضوع متناظر با سیستم سه سطحی است.  نشان‌دهنده انتقال از کف حالت تحریک منفرد به اولین سطح ارتعاشی از حالت اصلی است. مولکول‌ها در ادامه از طریق آرامش حرارتی به کف حالت اصلی می‌رسند. این موضوع متناظر با سیستم چهار سطحی است. قله‌های  و  در طیف PL برای DCM و MEH-PPV به ترتیب مراکزی در 590nm و 634nm دارند. درنتیجه، جابه‌جایی بزرگ استوک‌ها (محدوده طیفی بین قله جذب و قله فلوئورسنس) در DCM و MEH-PPV، انتشارات فلوئورسنس خود را از جذب جابه‌جا می‌کنند و آن‌ها را گزینه‌های خوبی برای استفاده در محیط فعال قرار می‌دهند.



**3.2. مکانیسم لیزر HPDLC DFB**

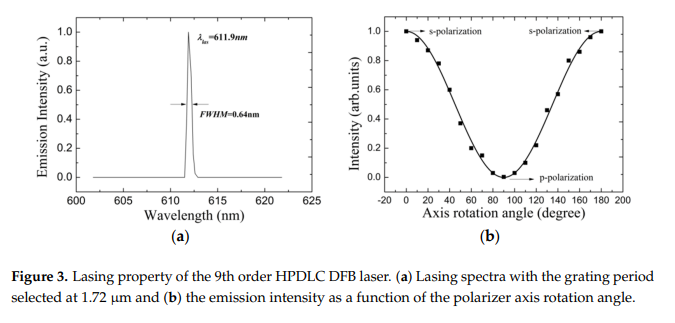
طبق تئوری موج جفت شده در مورد لیزر DFB، طول‌موج لیزر تابی  در خلأ از لیزر HPDLC DFB را می‌توان به‌صورت معادله زیر نشان داد



که در آن  برابر با شاخص انکسار مؤثر در حالت لیزر تابی،  برابر با تناوب توری HPDLC و m برابر با ترتیب انکسار است. معادله 2 نشان می‌دهد که تناوب توری HPDLC و ترتیب انکسار را می‌توان تغییر داد تا طول‌موج متغیر لیزر تابی از لیزر HPDLC DFB انتخاب شود. قابلیت تنظیم را می‌توان برای ترتیب انکسار ثابت از طریق تناوب‌های متغیر توری به دست آورد. محدوده قابل تنظیم برابر با طیف بهره‌ای است که لیزر تابی در آن کار می‌کند.

میدان نور درزمانی که در فرایند تحریک برای لیزر تابی HPDLC DFB از میان پیکربندی راهنمای موج لایه شیشه/فیلم meh-ppv/توری HPDLC عبور می‌کند، تقویت می‌شود. شاخص انکسار در فیلم MEH-PPV بالاتر از فیلم توری HPDLC و لایه شیشه است به‌طوری‌که میدان نور اساساً در فیلم MEH-PPV محدود می‌شود. این موضوع در شکل 1b نشان داده‌شده است. علاوه بر این، میدان نور ناپایدار در توری HPDLC حرکت می‌کند و با استفاده از جابه‌جایی گوس-هائنچن[[4]](#footnote-4) مسافتی را طی می‌کند. (جابه‌جایی گوس – هائنچمن در زمان انعکاس داخلی کلی رخ می‌دهد. زمانی که انعکاس داخلی کلی رخ دهد، موج نوری رخداد از محیط شاخص انکسار بالا در محدوده محیط به محیط شاخص انکسار پایین در عمق یک  جابه‌جا می‌شود. هیچ انتقال توانی به محیط شاخص انکسار پایین رخ نمی‌دهد. فاصله بین ورودی و خروج موج نوری رخداد در حدود نصف یک  است. این مقدار همان جابه‌جایی گوس- هائنچمن است) . درنتیجه، میدان نوری توسط توری HPDLC گزینش و فشرده می‌شود. در ادامه، میدان نوری ناپایدار مجدداً به فیلم MEH-PPV بازمی‌گردد. بنابراین، میدان نوری توسط فیلم MEH-PPV بیشتر تقویت می‌شود و توسط توری HPDLC بیشتر فشرده می‌گردد. در چنین فرایندی، بازخورد مثبت ایجادشده و لیزر درنهایت کار می‌کند. این موضوع در شکل 1b نشان داده‌شده است.

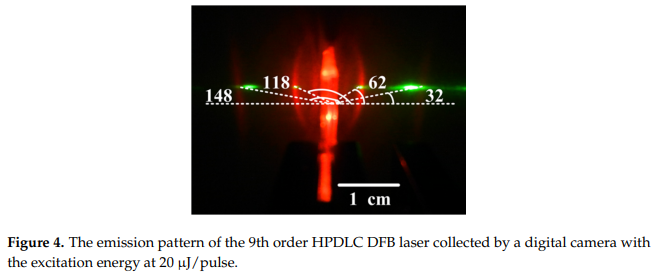
شکل 3 مشخصات لیزر تابی در ترتیب 9ام لیزر HPDLC DFB را نشان می‌دهد. تناوب توری 1.72 میکرومتر در نظر گرفته‌شده است تا ترتیب 9 ام لیزر HPDLC DFB به دست آید. عرض مسیر در فلوئورسنس در MEH-PPV باانرژی تحریک تا آستانه لیزر تابی کاهش پیدا می‌کند. همان‌طور که در شکل 3A نشان داده‌شده، طول‌موج مرکزی در انتشار لیزر تابی برابر با 611.9 نانومتر بوده و عرض کامل آن برابر با نصف مقدار بیشینه و 0.64 نانومتر است. همان‌طور که در شکل 2 نشان داده‌شده، این طیف در مقایسه با طیف فلوئورسنت به‌شدت فشرده‌شده است، این موضوع فشرده‌سازی و گزینش ایدئال طیفی در توری HPDLC را نشان می‌دهد. مؤلفه کیفیت  به بزرگی 956 است. تک قله و مؤلفه کیفیت، لیزر تابی و عملیات حالت طولی منفرد خوبی را تصدیق می‌کنند. شاخص انکسار مؤثر در حالت لیزر تابی 611.9nm برابر با 1.60 است. یک‌قطبی ساز پیش از سیستم شناساگر قرار داده‌شده تا قطبی‌سازی در پرتوهای انتشار را موردبررسی قرار دهد. شدت انتشار به‌صورت تابعی از زاویه دوران محور قطبی ساز در شکل 3b نشان داده‌شده است. نقاط مربعی تجربی بوده و خط ممتد کسینوسم تناسب با داده تجربی است. میزان قطبی‌سازی  به بزرگی 99% است. این موضوع مشخصات قطبی‌سازی-s عالی در پرتوهای انتشار را مورد تأیید قرار می‌دهد.



تشعشع لیزر تابی برای ترتیب انکسار m>1 خارج‌ازمسیر موج و با زاویه  همراه است. این زاویه متناسب با نرمال سطح لیزر HPDLC DFB و اتصال توری است. این موضوع در شکل 1c نشان داده‌شده است. حرکت در حالت هدایت‌شده در لیزر HPDLC DBF را می‌توان به‌صورت زیر نشان داد

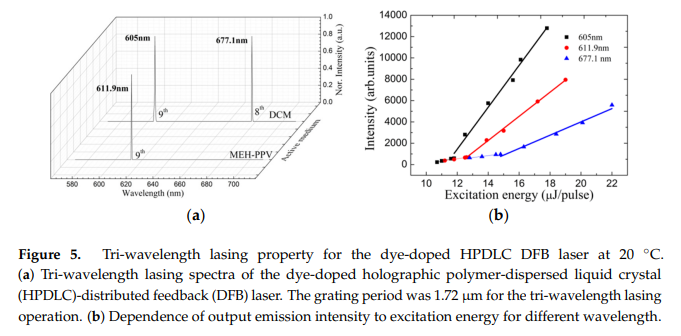


که دران k برابر با شماره موج در نوری است که در فیلم MEH-PPV حرکت می‌کند، n یک عدد اینتیجر است و  شماره موج در توری HPDLC بوده و K0 شماره موج نور در خلأ است. شکل 4 الگوی انتشار در ترتیب 9ام لیزر HODLC DFB را نشان می‌دهد. زاویه‌های انتشار برابرند با 32 و 62 و 118 و 148 که با محاسبات تئوری انجام‌شده توسط معادله 3 قرابت خوبی دارد.



**3.3. لیزر تابی سه طول‌موج از لیزر HPDLC DFB با تخدیر رنگ**

انتشار لیزر تابی چند طول‌موجی درزمانی عمل می‌کند که حالات حفره در طیف بهره وجود داشته باشد. اثبات‌شده که DCM طیف فلوئورسنت وسیعی دارد. این موضوع در شکل 2 نشان داده‌شده است. علاوه بر این، انتشار لیزر تابی گزارش‌شده برای DCM با تناوب‌های مختلف توری HPDLC به‌عنوان حفره نوسانی از 574 تا 685 نانومتر بوده است. بنابراین، انتشار لیزر تابی دو طول‌موج بین دو ترتیب انکسار مجاور هم عمل می‌کند. این اتفاق درزمانی رخ می‌دهد که طبق معادله 2 دو حالت حفره در طیف بهره در رنگ لیزر DCM وجود داشته باشد. در کار قبلی، گزارش داده‌شده که انتشار لیزر تابی برای MEH-PPV محدوده‌ای از 590 تا 657 نانومتر دارد، درنتیجه لیزر تابی دو طول‌موج نمی‌تواند در این مطالعه عمل کند. لیزر HPDLC DFB با تخدیر رنگ DCM با تناوب توری گزینش‌شده به‌اندازه 1.72 میکرومتر ایجادشده است تا انتشار لیزر تابی سه طول‌موج حاصل شود. شکل 5a طیف لیزر تابی در لیزر HPDLC DFB با تخدیر رنگ را نشان می‌دهد. انتشار لیزر تابی با استفاده از مکانیسم بازخورد توزیع‌شده برای هر دو محیط فعال MEH-PPV و DCM از مرز نمونه در یک‌زمان جمع‌آوری‌شده است. انتشار لیزر تابی، مرکزی در 605.0 و 611.9 و 677.1 نانومتر دارد که در شکل 5a نشان داده‌شده است. طیف لیزر تابی خوب، نشان‌دهنده اتکاپذیری در لیزر HPDLC DFB سه طول‌موج است. لیزر تابی 605.0 و 677.1 نانومتر از DCM دریافت شده و تأیید می‌کند که این تئوری منطقی است. لیزر تابی 611.9 از MEH-PPV دریافت شده که تأیید می‌کند لیزر تابی از DCM و MEH-PPV به‌صورت مستقل پخش می‌شوند. علاوه بر این، ترتیب انکسار برای لیزر تابی 605 و 611.9 و 677.1 به ترتیب 9 و 9 و 8 ام است. شاخص انکسار مؤثر در لیزر تابی 605 و 611.9 و 677.1 به ترتیب 1.58 و 1.60 و 1.572 است. شکل 5b استقلال شدت انتشار خروجی تا انرژی تحریک در لیزر سه طول‌موج را نشان می‌دهد. شدت لیزر تابی باانرژی تحریک، تا آستانه به‌آرامی بالا می‌رود. آستانه لیزر تابی برای لیزر تابی 605.0 و 611.9 و 677.1 به ترتیب 11.8 و 12.6 و 14.8 میکرو ژول بر پالس است. آستانه لیزر تابی برای لیزر تابی 677.1 بیشتر از لیزر تابی 605 است چون بهره شبکه در مرز بهره به‌شدت کاهش پیدا می‌کند. این اتفاق حتی اگر در ترتیب انکسار پایین‌تر کار کند هم رخ می‌دهد. بهره شبکه برای لیزر تابی 611.9 کوچک‌تر از لیزر تابی 605 و ازاین‌رو مقدار آستانه بالاتر است.



**3.4. مشخصات تنظیم برای لیزر تابی سه طول‌موج توسط بالا بردن دما**

لیزر تابی با توجه به لایه LC نماتیک مثبت در توری هالوگرافی HPDLC، توسط دمای عملیاتی مختلفی تنظیم می‌شود. درزمانی که دما تغییر می‌کند، پیکربندی مولکولی از حالت فاز نماتیک به فاز ایزوتروپیک تبدیل می‌شود (انتقال N-I). دمای انتقال N-I برای LC TEB-30A به‌کاربرده شده در این مطالعه برابر با 61.3 است. نمونه در طول پمپاژ نوری در تماس کامل با صفحه داغ بوده و دمای نمونه توسط ترموستاتی بین 20 تا 70 درجه کنترل‌شده است. شکل 6 مشخصات تنظیم برای لیزر HPDLC DFB با لیزر تابی سه طول‌موج توسط افزایش دما را نشان می‌دهد. قله‌های باریک در هر طول‌موج لیزر تابی دیده می‌شود. این موضوع نشان‌دهنده این است که فعالیت لیزر حفظ می‌شود. مرکز طول‌موج توسط دما به محدوده بالاتری از انرژی جابه‌جا می‌شود. دلیل چنین اتفاقی این است که شاخص انکسار میانگین در LC با دما کاهش پیدا می‌کند و این موضوع بنا بر معادله 2 منجر به کاهش در شاخص انکسار مؤثر حالت می‌شود. طول‌موج مرکز برای لیزر تابی 605.0، درزمانی که دما از 20 به 70 افزایش پیدا کند، به 596.5 جابه‌جا می‌شود. این اتفاق متناظر با 8.5 نانومتر جابه‌جایی آبی است. در دیگر لیزر تابی از DCM، مرکز طول‌موج درزمانی که دما از 20 به 70 افزایش پیدا کند، از 677.1 به 669.5 جابه‌جا می‌شود. این موضوع متناظر با 7.6 نانومتر جابه‌جایی آبی است. در مورد لیزر تابی از MEH-PPV، در زمان افزایش دما از 20 به 70، مرکز طول‌موج از 611.9 به 603.0 نانومتر جابه‌جا می‌شود. این موضوع متناظر با 8.9 نانومتر جابه‌جایی آبی است که در شکل 6a نشان داده‌شده است. به عبارتی، محدوده تنظیمات وابسته به دما برای لیزر HPDLC DFB با تخدیر رنگ و سه طول‌موج برابر با 8nm است. شکل 6b وابستگی آستانه لیزر تابی در حال کار به دمای عملیات را نشان می‌دهد. آستانه لیزر تابی برای لیزر تابی، درزمانی که دما از 20 به 70 افزایش داشته باشد، از 11.8 به 14.9 میکرو ژول بر پالس افزایش پیدا می‌کند. در دیگر لیزر تابی از DCM، آستانه لیزر تابی درزمانی که دما از 20 به 70 افزایش پیدا کند، از 14.8 به 19.4 میکرو ژول بر پالس افزایش می‌یابد. در لیزر تابی از MEH-PPV، آستانه لیزر تابی درزمانی که دما از 20 به 70 درجه افزایش پیدا کند، از 12.6 به 15.3 میکرو ژول بر پالس افزایش می‌یابد. دلیل چنین افزایشی در آستانه لیزر تابی این است که طبق تئوری موج متصل شده، اتصال با افزایش دما کاهش پیدا می‌کند. دستگاه لیزر با مشخصات سبک‌وزنی، هوشمندی، مقرون‌به‌صرفگی و بهره‌گیری از تولید هالوگرافی تک‌مرحله‌ای، عملیات با سه طول‌موج و قابلیت تنظیم میزان وابستگی به دما در حوزه‌های سنجش و طیف‌سنجی نویدبخش است.

**4. نتیجه‌گیری**

به‌طور خلاصه، لیزر تابی ارگانیک با سه طول‌موج از کریستال مایع هالوگرافی با پلیمر پخش‌شده و لیزر بازخورد توزیع‌شده با پلی پلیمر نیمه‌رسانا (MEH-PPV) و رنگ لیزر (DCM) توسط هالوگرافی تک‌مرحله‌ای به‌دست‌آمده است. مرکز این موج‌ها برای DCM در 605 و برای MEH-PPV در 611.9 و برای DCM در 677.1 نانومتر قرار دارد. انتشار لیزر از لیزر HPDLC DFB ترتیب 9 ام با MEH-PPV به‌عنوان محیط فعال نیز موردبررسی قرار گرفت. این بررسی مشخصاتی قطبی‌سازی s بسیار خوبی نشان داد. تناوب توری برای دستیابی به لیزر تابی با سه طول‌موج به‌اندازه 1.72 میکرومتر در نظر گرفته‌شده است. ترتیب انکسار برای لیزر تابی با دو طول‌موج و با DCM به‌عنوان محیط فعال برابر با 9 ام و 8 ام است. محدوده تنظیم وابستگی به دما برای لیزر HPDLC DFB تخدیر رنگ با سه طول‌موج برابر با 8 نانومتر است. اعتقادداریم که نتایج این تحقیق، روشی برای ساخت سامانه‌های لیزر هوشمند، حالت‌جامد، مقرون‌به‌صرفه و فشرده کمک می‌کند. این لیزرها در تحقیقات علمی و کاربردی که انتشار چنین طول‌موج موردنیاز است، کاربرد دارند.

**References**

1. Llobera, A.; Juvert, J.; Gonzalez-Fernandez, A.; Ibarlucea, B.; Carregal-Romero, E.; Buttgenbach, S.; Fernandez-Sanchez, C. Biofunctionalized all-polymer photonic lab on a chip with integrated solid-state light emitter. Light Sci. Appl. 2015, 4, e271. [CrossRef]

2. Samuel, I.D.W.; Turnbull, G.A. Organic semiconductor lasers. Chem. Rev. 2007, 107, 1272–1295. [CrossRef] [PubMed]

3. Chenais, S.; Forget, S. Recent advances in solid-state organic lasers. Polym. Int. 2012, 61, 390–406. [CrossRef]

4. Grivas, C.; Pollnau, M. Organic solid-state integrated amplifiers and lasers. Laser Photonics Rev. 2012, 6, 419–462. [CrossRef]

5. Zhang, Y.F.; Forrest, S.R. Existence of continuous-wave threshold for organic semiconductor lasers. Phys. Rev. B 2011, 84, 241301. [CrossRef]

6. Woggon, T.; Klinkhammer, S.; Lemmer, U. Compact spectroscopy system based on tunable organic semiconductor lasers. Appl. Phys. B Lasers Opt. 2010, 99, 47–51. [CrossRef]

7. Mhibik, O.; Forget, S.; Ott, D.; Venus, G.; Divliansky, I.; Glebov, L.; Chenais, S. An ultra-narrow linewidth solution-processed organic laser. Light Sci. Appl. 2016, 5, e16026. [CrossRef]

8. Vannahme, C.; Dufva, M.; Kristensen, A. High frame rate multi-resonance imaging refractometry with distributed feedback dye laser sensor. Light Sci. Appl. 2015, 4, e269. [CrossRef]

9. Bulovic, V.; Kozlov, V.G.; Khalfin, V.B.; Forrest, S.R. Transform-limited, narrow-linewidth lasing action in organic semiconductor microcavities. Science 1998, 279, 553–555. [CrossRef] [PubMed]

10. Tessler, N.; Denton, G.J.; Friend, R.H. Lasing from conjugated-polymer microcavities. Nature 1996, 382, 695–697. [CrossRef]

11. Whitworth, G.L.; Zhang, S.; Stevenson, J.R.Y.; Ebenhoch, B.; Samuel, I.D.W.; Turnbull, G.A. Solvent immersion nanoimprint lithography of fluorescent conjugated polymers. Appl. Phys. Lett. 2015, 107, 163301. [CrossRef]

12. Vasdekis, A.E.; Tsiminis, G.; Ribierre, J.C.; O’Faolain, L.; Krauss, T.F.; Turnbull, G.A.; Samuel, I.D.W. Diode pumped distributed Bragg reflector lasers based on a dye-to-polymer energy transfer blend. Opt. Express 2006, 14, 9211–9216. [CrossRef] [PubMed]

13. Hermann, S.; Shallcross, R.C.; Meerholz, K. Simple Fabrication of an Organic Laser by Microcontact Molding of a Distributed Feedback Grating. Adv. Mater. 2014, 26, 6019–6024. [CrossRef] [PubMed]

14. Bunning, T.J.; Natarajan, L.V.; Tondiglia, V.P.; Sutherland, R.L. Holographic polymer-dispersed liquid crystals (H-PDLCs). Annu. Rev. Mater. Sci. 2000, 30, 83–115. [CrossRef]

15. Clark, J.; Lanzani, G. Organic photonics for communications. Nat. Photonics 2010, 4, 438–446. [CrossRef]

16. Vannahme, C.; Klinkhammer, S.; Lemmer, U.; Mappes, T. Plastic lab-on-a-chip for fluorescence excitation with integrated organic semiconductor lasers. Opt. Express 2011, 19, 8179–8186. [CrossRef] [PubMed]

17. Diao, Z.H.; Deng, S.P.; Huang, W.B.; Xuan, L.; Hu, L.F.; Liu, Y.G.; Ma, J. Organic dual-wavelength distributed feedback laser empowered by dye-doped holography. J. Mater. Chem. 2012, 22, 23331–23334. [CrossRef]

18. Zhang, G.Y.; Liu, L.J.; Liu, M.H.; Liu, Y.G.; Peng, Z.H.; Yao, L.S.; Wang, Q.D.; Wang, S.X.; Cao, Z.L.; Ma, J.; et al. Tunable surface-emitting dual-wavelength laser from a blended gain layer with an external holographic grating feedback structure. Opt. Mater. Express 2016, 6, 3320–3329. [CrossRef]

19. Liu, M.H.; Liu, Y.G.; Zhang, G.Y.; Peng, Z.H.; Li, D.Y.; Ma, J.; Xuan, L. Organic holographic polymer dispersed liquid crystal distributed feedback laser from different diffraction orders. J. Phys. D Appl. Phys. 2016, 49, 465102. [CrossRef]

20. Huang, W.; Diao, Z.; Liu, Y.; Peng, Z.; Yang, C.; Ma, J.; Xuan, L. Distributed feedback polymer laser with an external feedback structure fabricated by holographic polymerization technique. Org. Electron. 2012, 13, 2307–2311. [CrossRef]

21. Tammer, M.; Monkman, A.P. Measurement of the anisotropic refractive indices of spin cast thin poly(2-methoxy-5-(20 -ethyl-hexyloxy)-p-phenylenevinylene) (MEH-PPV) films. Adv. Mater. 2002, 14, 210–212. [CrossRef]

22. Vannahme, C.; Klinkhammer, S.; Christiansen, M.B.; Kolew, A.; Kristensen, A.; Lemmer, U.; Mappes, T. All-polymer organic semiconductor laser chips: Parallel fabrication and encapsulation. Opt. Express 2010, 18, 24881–24887. [CrossRef] [PubMed]

23. Samuel, I.D.W.; Namdas, E.B.; Turnbull, G.A. How to recognize lasing. Nat. Photonics 2009, 3, 546–549. [CrossRef]

24. Kogelnik, H.; Shank, C.V. Coupled-Wave Theory of Distributed Feedback Lasers. J. Appl. Phys. 1972, 43, 2327–2335. [CrossRef]

25. Steinle, T.; Kumar, V.; Floess, M.; Steinmann, A.; Marangoni, M.; Koch, C.; Wege, C.; Cerullo, G.; Giessen, H. Synchronization-free all-solid-state laser system for stimulated Raman scattering microscopy. Light Sci. Appl. 2016, 5, e16149. [CrossRef]

26. Liang, S. T. Physical Optics; Chapter 1; Electronics Industry: Beijing, China, 2011.

27. Ziebarth, J.M.; McGehee, M.D. Measuring the refractive indices of conjugated polymer films with Bragg grating outcouplers. Appl. Phys. Lett. 2003, 83, 5092–5094. [CrossRef]

28. Turnbull, G.A.; Andrew, P.; Barnes, W.L.; Samuel, I.D.W. Photonic mode dispersion of a two-dimensional distributed feedback polymer laser. Phys. Rev. B 2003, 67, 165107. [CrossRef]

29. Lozano, G.; Rodriguez, S.R.K.; Verschuuren, M.A.; Rivas, J.G. Metallic nanostructures for efficient LED lighting. Light Sci. Appl. 2016, 5, e16080. [CrossRef]

30. Kapon, E.; Hardy, A.; Katzir, A. The Effect of Complex Coupling-Coefficients on Distributed Feedback Lasers. IEEE J. Quantum Electron. 1982, 18, 66–71. [CrossRef]

31. Schneider, D.; Rabe, T.; Riedl, T.; Dobbertin, T.; Kroger, M.; Becker, E.; Johannes, H.H.; Kowalsky, W.; Weimann, T.; Wang, J.; et al. Ultrawide tuning range in doped organic solid-state lasers. Appl. Phys. Lett. 2004, 85, 1886–1888. [CrossRef]

32. Criante, L.; Lucchetta, D.E.; Vita, F.; Castagna, R.; Simoni, F. Distributed feedback all-organic microlaser based on holographic polymer dispersed liquid crystals. Appl. Phys. Lett. 2009, 94, 111114. [CrossRef]

33. Cornil, J.; Beljonne, D.; Calbert, J.P.; Bredas, J.L. Interchain interactions in organic pi-conjugated materials: Impact on electronic structure, optical response, and charge transport. Adv. Mater. 2001, 13, 1053–1067. [CrossRef]

34. Riechel, S.; Lemmer, U.; Feldmann, J.; Benstem, T.; Kowalsky, W.; Scherf, U.; Gombert, A.; Wittwer, V. Laser modes in organic solid-state distributed feedback lasers. Appl. Phys. B Lasers Opt. 2000, 71, 897–900. [CrossRef]

35. Kakiuchida, H.; Tazawa, M.; Yoshimura, K.; Ogiwara, A. Thermal control of transmittance/diffraction states of holographic structures composed of polymer and liquid crystal phases. Sol. Energy Mater. Sol. Cells 2010, 94, 1747–1752. [CrossRef]

1. Diao [↑](#footnote-ref-1)
2. Zhang [↑](#footnote-ref-2)
3. Rose Bengal [↑](#footnote-ref-3)
4. Goos-Haenchen [↑](#footnote-ref-4)