

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

چکیده

لیزر تابی حالت جامد ارگانیک با سه طول موج از لیزر بازخورد توزیع شده (DFB) از کریستال مایع هالوگرافی با پلیمر پخش شده (HPDLC) و تخدیر رنگ شده با پلیمر نیمه‌رسانا (MEH-PPV) و رنگ لیزر (DCM) و توسط روش هالوگرافی یک مرحله‌ای نشان داده شده 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 طول موج به اندازه 8 نانومتر بوده است. انتشار لیزر از مرتبه 9 ام در HPDLC DFB با MEH-PPV به عنوان محیطی فعال نیز مورد بررسی قرار گرفته و ویژگی‌های قطبی‌سازی S-ایده آلی نشان داده است. انکسار برای لیزر تابی دو طول موج با DSM به عنوان محیطی فعال، ترتیب مرتبه 9 ام و 8 ام است. نتایج این کار روشی برای ساخت تمام سامانه‌های فشرده و مقرون به صرفه لیزر هوشمند حالت جامد ارائه می‌دهد. این روش در تحقیقات علمی و کاربردی و درجایی که انتشار چندین طول موج مورد نیاز است، کاربرد دارد.

کلمات کلیدی: کریستال مایع هالوگرافی با پلیمر پخش ده؛ بازخورد توزیع شده؛ لیزر تابی سه طول موج؛ ترتیب

انکسار

1. دیباچه

لیزرهای ارگانیک حالت جامد (OSSLs) توجه علمی قابل توجهی را به خود جذب کرده‌اند چون فشرده، مقرون به صرفه، 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 سنسج 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 توزیع شده (DFB)، انعکاس‌دهنده براگ توزیع شده (DBR) و میکرو حفره برای ارائه بازخورد مثبت و گزینش حالت لیزر تابی مورد استفاده قرار گرفته 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 پخش شده (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 مقرون به صرفه بودن، سادگی در ساخت و تولید انبوه آن است.

OSSLs طول موج چندگانه خصوصاً در حوزه ارتباطات و آزمایشگاه روی یک تراشه، دستگاه‌های مفید و نویدبخش هستند چون لیزر تابی چند طول موجی را می‌توان با لیزری هوشمند به دست آورد. برای دستیابی به چنین هدفی، دیانوا و همکارانش لیزر تابی دو طول موج از فیلم نیمه‌رسانا و تخدیر رنگ را با استفاده از HPDLC به‌عنوان حفره نوسان گزارش دادند. ژانگ و همکارانش لیزر تابی دو طول موج با انتشار سطح را از لایه دانه ترکیب شده و با استفاده از دو پلیمر نیمه‌رسانا نشان دادند. باین حال، آن‌ها تنها دو نوع از محیط بهره را مورد استفاده قرار دادند و نتوانستند دیدگاه‌هایی برای راهنمایی به دست آورند. لیزر تابی سه طول موج برای OSSLs از HPDLC به‌عنوان حفره نوسان تاکنون نشان داده نشده است.

¹ Diao

² Zhang

در کار قبلی، کریستال مایع هالوگرافی با پلیمر پخش شده و لیزر بازخورد توزیع شده را از ترتیب مختلف انکسار نشان دادیم و اعتقاد داریم که ترکیب ترتیب انکسار و LC باعث ایجاد n جذابیت بیشتر در لیزر HPDLC DFB می شود. در این مطالعه، لیزر تابی سه طول موج از کریستال مایع هالوگرافی با پلیمر پخش شده و لیزر بازخورد توزیع شده با HPDLC تخدیر رنگ و فیلم پلیمر نیمه رسانا به عنوان محیط فعال نشان داده شده است و تا جایی که اطلاع داریم این موضوع برای اولین بار بوده است. فیلم پلیمر نیمه رسانا روی لایه شیشه به اسپین پوشش داده شده بوده و بین لایه شیشه و توری فیلم HPDLC قرار گرفته است. انتشار لیزر از ترتیب انکسار 9 ام برای لیزر HPDLC DFB مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر این، رنگ لیزر (DCM) در توری HPDLC تخدیر شده است. رنگ لیزر DCM و فیلم پلیمر نیمه رسانا هر دو در دستگاهی به صورت کپسول قرار گرفته اند تا از اکسید شدن و تنزل نور پرتو القاشده جلوگیری کنند. لیزر تابی دو طول موج نیز از ترتیب انکساری متفاوت از DCM به دست آمده است. نتایج تجربی نشان دادند که لیزر تابی طول موج چندگانه در زمانی که حالات چند حفره ای در طیف بهره وجود داشته باشد، رخ می دهد. این دستگاه لیزر ویژگی های سبک وزنی، هوشمندی، مقرون به صرفگی و ساخت آسان را داشته، از عملیات و تنظیم سه طول موج بهره می برد و در حوزه های سنسجش و طیف سنجی نوید بخش خواهد بود.

2. موارد و روش ها

2.1. آماده سازی نمونه

فیلم پلی (MEH-PPV) به عنوان لایه محیط فعال در نظر گرفته شده است. MEH-PPV (فناوری پلیمر سبک) با نرخ وزن 0.6wt% در تتراهیدرو فوران حل شده است. محلول ها برای 72 ساعت به هم زده شدند تا از کفایت حل شدگی اطمینان حاصل شود. قطره ای از محلول MEH-PPV روی تکه ای از لایه شیشه ای که از پیش تمیز و یون های آن حذف شده برای قالب ریزی اسپین تزریق می شود. ضخامت فیلم MEH-PPV توسط سرعت متغیر اسپین کنترل شده و توسط پروفیلر سطح اندازه گیری می شود. این ضخامت برای عملیات لیزر تابی مناسب در 75 نانومتر کنترل شده است. تمام آزمایش ها تحت شرایط فراگیر انجام گرفته اند.

فیلم توری HPDLC برای کریستال مایع هالوگرافی با پلیمر پخش شده توسط پلیمر سازی هالوگرافی پرتو القاشده در فیلم MEH-PPV ثبت شده است. ترکیب محیط هالوگرافی برای HPDLC عمدتاً حاوی مونومر آکریلات و فتالیک گلیکول دی اکریلات و کریستال های مایع نماتیک بوده است. ان-وینیل پیرولیدون مونومر با پیوند متقابل نیز برای رقیق سازی به ترکیب اضافه شده است. رز بنگال^۳ و N- فنیل گلیسین به ترتیب به عنوان آغازگر پرتو و کمک آغازگر مورد استفاده قرار گرفته اند. رنگ لیزر رأی ایجاد لیزر HPDLC DFB با تخدیر رنگ به ترکیب اضافه شده است. این ترکیب که با میله ای مغناطیسی به مدت 48 ساعت برای سیستم مواد همگن هم زده شده است توسط فعالیت مویرگی در اتاق تاریک به سلول شیشه ای خالی تزریق شد. سلول خالی از دولایه شیشه ای ایجاد شده است. یکی از آن ها یک فیلم MEH-PPV با اسپین قالب ریزی شده داشت و دیگری صرفاً لایه ای از شیشه بود. ضخامت سلول توسط فاصله سازهایی به اندازه 9 میکرومتر کنترل شده است. این فاصله به اندازه 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 پخش شده (PDLC)، (LC با پلیمر و هم راستایی 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 a1 نشان داده شده است. پرتو ثبت شده گسترش داده شده و پالایه گردیده تا تابش متحدالشکل را تضمین کند. متغیر تضعیف کننده نوری در مسیر پرتو قرار داده شده تا شدت پرتو را تنظیم نماید. پرتوهای لیزر هم فاز در زمان ساخت توری HPDLC، ابتدا از ترکیب پیش پلیمر عبور می کنند. این موضوع در شکل 1a نشان داده شده است. انرژی در زمانی که فیلم MEH-PPV در برابر پرتوهای لیزر هم فاز قرار می گیرد، به شدت جذب خواهد شد. بنابراین، نمی توان میدان تداخل را

³ Rose Bengal

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:

$$\Lambda = \frac{\lambda_{rec}}{2 \sin(\theta)}, \quad (1)$$

که در آن Λ برابر با تناوب توری HPDLC، $\lambda_{rec} = 532 \text{ nm}$ طول موج ثبت شده لیزر در خلأ و θ برابر با نصف زاویه تقاطع بین دو پرتو ثبت شده 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 تحریک شده 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 با اتصال توری بوده و در شکل 1c نشان داده شده است. جزییات را می‌توان در بخش 3.2 یافت.

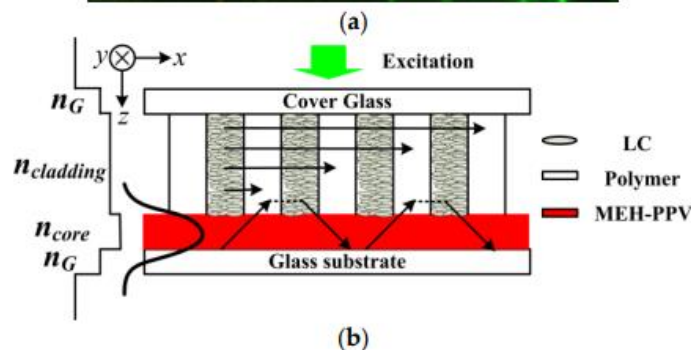
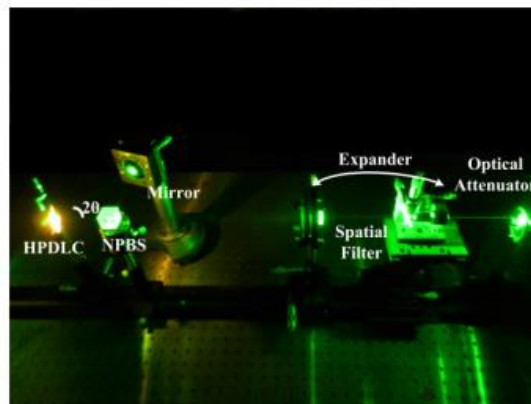


Figure 1. Cont.

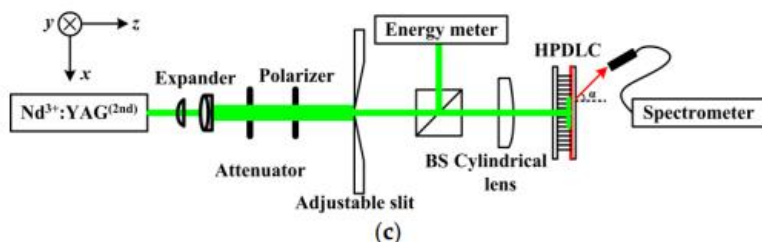


Figure 1. (a) Experimental schematic setup for holographic polymer-dispersed liquid crystal (HPDLC) and distributed feedback (DFB) film fabrication. (b) Schematic illustration of HPDLC DFB laser device structure and (c) an HPDLC DFB laser lasing characterization experimental diagram.

2.3. ویژگی‌های لیزر تاب‌ی

نمونه‌ها برای ویژگی‌های لیزر تاب‌ی به صورت معکوس توسط فرکانس دو برابر شده لیزر پالس دهی شده $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ و کلید دهی شده Q، تحریک نوری شدند. این لیزر پالس دهی شده، پمپاژ پالسی به اندازه 10 nm و نرخ تکرار 10 Hz و طول موج تحریک 532nm فراهم می‌کند (صنایع اپتوالکترونیک جدید) که در شکل 1c نشان داده شده است. سیگنال لیزر تاب‌ی خروجی توسط طیف‌سنج توری همراه با فیلتر جمع‌آوری شده است. این طیف‌سنج محدودیت وضوحی به اندازه 0.23nm داشته است. انرژی تحریک توسط شکاف پرتو قطبی نشده (BS) و با هدایت بخشی از انرژی رخداد به انرژی سنج نظارت شده است. این کار به صورت 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 مورد استفاده قرار گرفته است. تضعیف‌کننده نوری متغیر برای تنظیم انرژی پمپ شده مورد استفاده قرار گرفته است تا شدت انتشار خروجی را به عنوان تابعی از انرژی تحریک مورد بررسی 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 به خوبی مورد استفاده قرار داد. به طور کلی، طول موج لیزر تحریک باید با بیشترین طول موج جذب تطابق داشته باشد تا به صورتی مؤثر به معکوس جمعیت دستیابی شود. علاوه بر این، حالات حفزه 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 به صورت 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 انجام گرفته 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 تزریق شده است. طیف فوتولومینسانس توسط طیف‌سنج F-7000FL اندازه‌گیری شده و طول موج‌های تحریک در ابعاد 500nm و 480nm انتخاب شده‌اند 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 در زمانی 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. S_{0-0} نشان‌دهنده انتقال از کف حالت تحریک منفرد به کف حالت اصلی است. این موضوع متناظر با سیستم سه سطحی است. S_{0-1} 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 S_{0-0} و S_{0-1} در طیف PL برای DCM و

MEH-PPV به ترتیب مراکزی در 590nm و 634nm دارند. در نتیجه، 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.

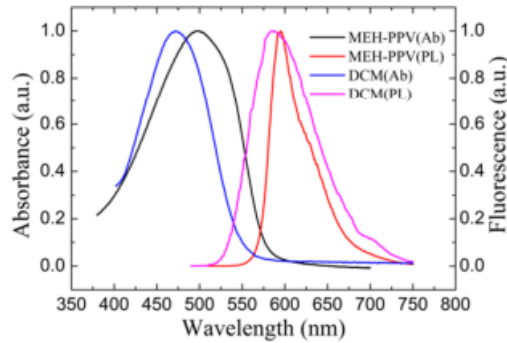


Figure 2. Spectroscopic characterization, e.g., the absorbance and fluorescence spectra of the active medium MEH-PPV and DCM. The fluorescence spectrum was collected with continuous excitation at 500 and 480 nm for MEH-PPV and DCM, respectively.

3.2 مکانیسم لیزر HPDLC DFB

طبق تئوری موج جفت شده در مورد لیزر DFB، طول موج لیزر تابی λ_{las} در خلأ از لیزر HPDLC DFB را می‌توان به صورت معادله زیر نشان داد

$$\lambda_{las} = \frac{2n_{eff}\Lambda}{m}, \quad (2)$$

که در آن n_{eff} برابر با شاخص انکسار مؤثر در حالت لیزر تابی، Λ 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 طول موج 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 در زمانی 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 به طوری که میدان نور اساساً در فیلم MEH-PPV محدود می‌شود. این موضوع در شکل 1b نشان داده شده است. علاوه بر این، میدان نور ناپایدار در توری HPDLC حرکت می‌کند و با استفاده از جابه‌جایی گوس-هائینچن⁴ مسافتی را طی می‌کند. (جابه‌جایی گوس - هائینچمن 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 λ جابه‌جا می‌شود. هیچ انتقال توانی به محیط شاخص انکسار پایین رخ نمی‌دهد. فاصله بین ورودی و خروج موج نوری رخداد در حدود نصف یک λ است. این مقدار همان جابه‌جایی گوس-هائینچمن است). در نتیجه، 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 ایجاد شده و لیزر در نهایت کار می‌کند. این موضوع در شکل 1b نشان داده شده است.

شکل 3 مشخصات لیزر تابی در ترتیب 9ام لیزر HPDLC DFB را نشان می‌دهد. تناوب توری 1.72 میکرومتر در نظر گرفته شده است تا ترتیب 9 ام لیزر HPDLC DFB به دست آید. عرض مسیر در فلوتورسنس در MEH-PPV بانرژی تحریک تا آستانه لیزر تابی کاهش پیدا می‌کند. همان‌طور که در شکل 3A نشان داده شده، طول موج 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 داده شده، این طیف در مقایسه با طیف فلوتورسنس به شدت فشرده شده است، این موضوع فشرده‌سازی و گزینش ایدئال طیفی در توری HPDLC را نشان می‌دهد. مؤلفه کیفیت $Q (Q = \lambda/\Delta\lambda)$ 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. یک قطبی ساز پیش از سیستم شناساگر قرار داده شده تا قطبی‌سازی در پرتوهای انتشار را مورد بررسی قرار دهد. شدت انتشار به صورت تابعی از زاویه دوران محور قطبی ساز در شکل 3b نشان داده شده است. نقاط مربعی تجربی بوده و خط ممتد کسینوسم تناسب با داده تجربی

⁴ Goos-Haenchen

است. میزان قطبی سازی $((I_{\parallel} - I_{\perp}) / (I_{\parallel} + I_{\perp}) \times 100\%)$ به بزرگی 99٪ است. این موضوع مشخصات قطبی سازی S- عالی در پرتوهای انتشار را مورد تأیید قرار می دهد.

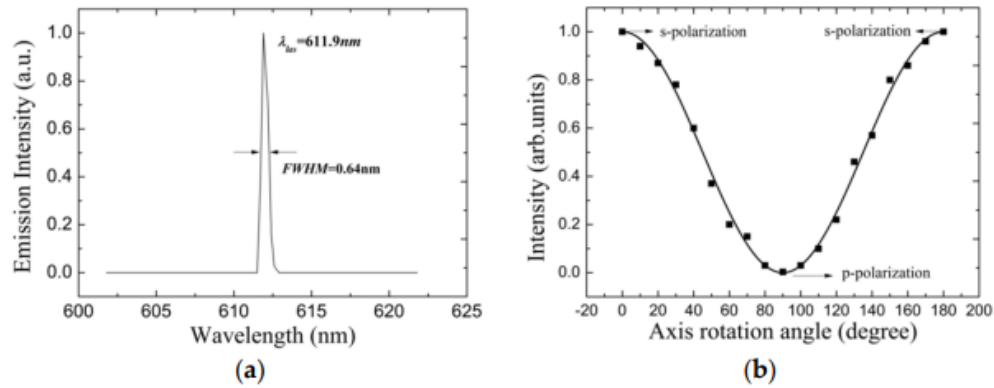


Figure 3. Lasing property of the 9th order HPDLC DFB laser. (a) Lasing spectra with the grating period selected at $1.72\ \mu\text{m}$ and (b) the emission intensity as a function of the polarizer axis rotation angle.

تثعشع لیزر تابی برای ترتیب انکسار $m > 1$ خارج از مسیر موج و با زاویه α همراه است. این زاویه متناسب با نرمال سطح لیزر HPDLC DFB و اتصال توری است. این موضوع در شکل 1c نشان داده شده است. حرکت در حالت هدایت شده در لیزر HPDLC DBF را می توان به صورت زیر نشان داد

$$k^2 = (nG_0 - k_0 \sin \alpha)^2, \quad (3)$$

که در آن k برابر با شماره موج در نوری است که در فیلم MEH-PPV حرکت می کند، n یک عدد اینتیجر است و G_0 شماره موج در توری HPDLC ($G_0 = 2\pi\Lambda^{-1}$) بوده و k_0 شماره موج نور در خلأ است. شکل 4 الگوی انتشار در ترتیب 9ام لیزر HODLC DFB را نشان می دهد. زاویه های انتشار برابرند با 32 و 62 و 118 و 148 که با محاسبات تئوری انجام شده توسط معادله 3 قرابت خوبی دارد.

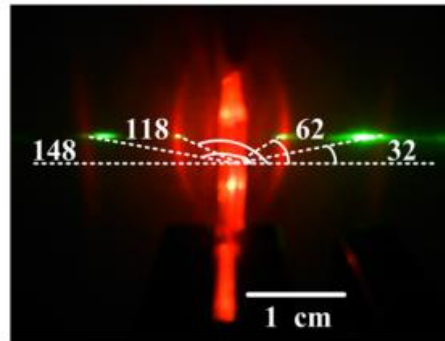


Figure 4. The emission pattern of the 9th order HPDLC DFB laser collected by a digital camera with the excitation energy at $20 \mu\text{J}/\text{pulse}$.

3.3. لیزر تابی سه طول موج از لیزر HPDLC DFB با تخدیر رنگ

انتشار لیزر تابی چند طول موجی در زمانی عمل می‌کند که حالات حفره در طیف بهره وجود داشته باشد. اثبات شده که DCM طیف فلوئورسنت وسیعی دارد. این موضوع در شکل 2 نشان داده شده است. علاوه بر این، انتشار لیزر تابی گزارش شده برای DCM با تناوب‌های مختلف توری HPDLC به عنوان حفره نوسانی از 574 تا 685 نانومتر بوده است. بنابراین، انتشار لیزر تابی دو طول موج بین دو ترتیب انکسار مجاور هم عمل می‌کند. این اتفاق در زمانی رخ می‌دهد که طبق معادله 2 دو حالت حفره در طیف بهره در رنگ لیزر DCM وجود داشته باشد. در کار قبلی، گزارش داده شده که انتشار لیزر تابی برای MEH-PPV محدوده‌ای از 590 تا 657 نانومتر دارد، در نتیجه لیزر تابی دو طول موج نمی‌تواند در این مطالعه عمل کند. لیزر HPDLC DFB با تخدیر رنگ DCM با تناوب توری گزینش شده به اندازه 1.72 میکرومتر ایجاد شده است تا انتشار لیزر تابی سه طول موج 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 توزیع شده برای هر دو محیط فعال MEH-PPV و DCM از مرز نمونه در یک زمان جمع‌آوری شده است. انتشار لیزر تابی، مرکزی در 605.0 و 611.9 و 677.1 نانومتر دارد که در شکل 5a نشان داده شده است. طیف لیزر تابی خوب، نشان‌دهنده اتکاپذیری در لیزر HPDLC DFB سه طول موج 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 به صورت 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 طول موج را نشان می‌دهد. شدت لیزر تابی با انرژی تحریک، تا آستانه به آرامی 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 به شدت کاهش پیدا می‌کند. این اتفاق حتی اگر در ترتیب انکسار پایین تر کار کند هم رخ می‌دهد. بهره شبکه برای لیزر تابی 611.9 کوچک تر از لیزر تابی 605 و از این رو مقدار آستانه بالاتر است.

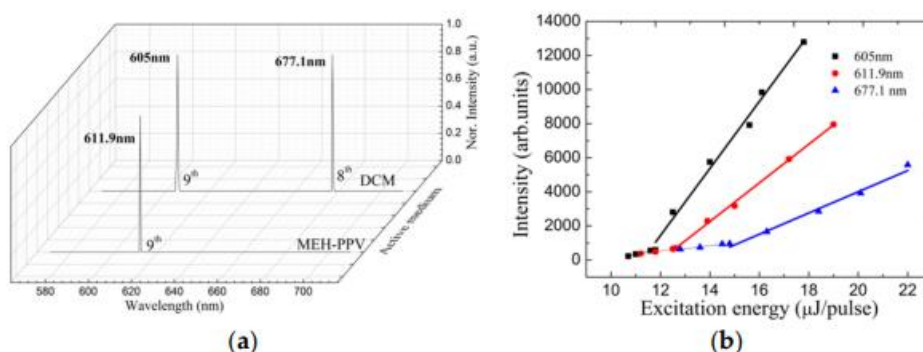


Figure 5. Tri-wavelength lasing property for the dye-doped HPDLC DFB laser at 20 °C. (a) Tri-wavelength lasing spectra of the dye-doped holographic polymer-dispersed liquid crystal (HPDLC)-distributed feedback (DFB) laser. The grating period was 1.72 μm for the tri-wavelength lasing operation. (b) Dependence of output emission intensity to excitation energy for different wavelength.

3.4. مشخصات تنظیم برای لیزر تابی سه طول موج توسط بالا بردن دما

لیزر تابی با توجه به لایه LC نماتیک مثبت در توری هالوگرافی HPDLC، توسط دمای عملیاتی مختلفی تنظیم می‌شود. در زمانی 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 به کار برده 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 کنترل شده

است. شکل 6 مشخصات تنظیم برای لیزر HPDLC DFB با لیزر تابی سه طول موج توسط افزایش دما را نشان می‌دهد. قله‌های باریک در هر طول موج لیزر تابی دیده می‌شود. این موضوع نشان‌دهنده این است که فعالیت لیزر حفظ می‌شود. مرکز طول موج 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. طول موج مرکز برای لیزر تابی 605.0، در زمانی 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 طول موج در زمانی 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 طول موج از 611.9 به 603.0 نانومتر جابه‌جا می‌شود. این موضوع متناظر با 8.9 نانومتر جابه‌جایی آبی است که در شکل 6a نشان داده شده است. به عبارتی، محدوده تنظیمات وابسته به دما برای لیزر HPDLC DFB با تخدیر رنگ و سه طول موج برابر با 8 nm است. شکل 6b وابستگی آستانه لیزر تابی در حال کار به دمای عملیات را نشان می‌دهد. آستانه لیزر تابی برای لیزر تابی، در زمانی 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 در زمانی 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 در زمانی 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 طول موج 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 مورد بررسی 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. اعتقاد داریم که نتایج این تحقیق، روشی برای ساخت سامانه‌های لیزر هوشمند، حالت جامد، 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.; Namas, 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]