



مطالعه تجربی سامانه نوری بهبود یافته برای لیزرهای حالت جامد با دمش دیود نور گسیل

سیدمرتضی زاهدی دیزجی^{۱*}، امیرحسین فرهد^{۱*}، محمد محمودی^۲

۱. پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۱۴۳۹۹-۵۱۱۱۳، تهران- ایران

۲. دانشکده فیزیک، دانشگاه زنجان، صندوق پستی: ۴۵۳۷۱-۳۸۷۹۱، زنجان- ایران

*Email: afarahbod@aeoi.org.ir

مقاله‌ی پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۳/۳

چکیده

در این مقاله، نوعی سامانه نوری برای دمش محیط فعال لیزرهای حالت جامد به کمک دیودهای نورگسیل با هدف ارتقای نوسان‌گر مجموعه گداخت لیزری معرفی شده است. سامانه نوری مذکور براساس هدایت پرتوهای نوری از منابع دیودهای نورگسیل به میله لیزر با استفاده از سطوح تمام بازتابان استوار است. سه پیکربندی مختلف برای سامانه دمش با مقطع چهار، پنج و شش وجهی طراحی، و هندسه آن‌ها با روش ردیابی تصادفی پرتو در سه بعد بهینه‌سازی شدند. سامانه‌های دمش ساخته شده با موفقیت برای دمش میله لیزر از جنس Ce:Nd:YAG به قطر ۳ میلی‌متر و منابع دیودهای نورگسیل با طیف سفید ۱۰ وات به کار گرفته شدند. با استفاده از پیکربندی پنج وجهی، ۴ ژول انرژی الکتریکی به ۳۵ دیود نورگسیل تحویل شد و نوسانگر لیزر میخه‌های لیزر با ساختار مدی اینس-گوسی و انرژی بیش از ۷۰۰ میکرو ژول با نرخ تکرار ۱ هرتز پدید آورد. همچنین تپ‌های سویچ Q با انرژی متوسط ۳۵ میکرو ژول و پهنای پالس ۲۳۰ نانوثانیه با سامانه دمش نوری بهینه‌سازی شده تولید شدند. بهبود بیش‌تر سامانه دمش نوری بر پایه دیودهای نورگسیل می‌تواند منجر به تولید باریکه لیزر با انرژی چند میلی ژول شود.

کلیدواژه‌ها: سامانه دمش نوری، گداخت لیزری، لیزر با دمش دیود نور گسیل، محیط فعال Ce:Nd:YAG، مد عرضی اینس-گوسی

Experimental study of the improved optical system for the LED-pumped solid-state lasers

S.M. Zahedi^{1,2}, A.H. Farahbod^{*1}, M. Mahmoudi²

1. Plasma and Nuclear Fusion Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box:14399-51113, Tehran-Iran

2. Department of Physics, University of Zanjan, P.O.BOX: 45371-38791, Zanjan - Iran

Research Article

Received 1.4.2021, Accepted 24.5.2021

Abstract

In this article, an optical system for pumping the active medium of solid-state lasers with light-emitting diodes (LEDs) is introduced to upgrade the master oscillator of the laser fusion facility. The optical system is based on the guiding of optical rays from light-emitting diode sources to laser rods by means of total reflecting surfaces. Three different configurations with four, five, and six segments have been designed and their geometry is optimized with 3D random ray-tracing method to obtain the best performance. The pump systems have been fabricated and successfully applied to pump a 3 mm diameter Ce:Nd:YAG laser rod with 10 watts white spectrum LEDs. Using five segments configuration and 4 Joules electrical energy delivered to 35 LEDs, the laser oscillator produced laser spikes with multi-mode Ince-Gaussian transverse beam structure and more than 700 micro-joules laser energy at a 1 Hz repetition rate. Moreover, the Q-switched pulses with an average energy of about 35 micro-joules and 230 ns pulse-width have been generated with the optimized optical pump system. More improvement to the LED-pump system is possible, which can be led to an efficient multi-mJ laser beam.

Keywords: Optical pumping system, Laser fusion, LED-pumped laser, Ce:Nd:YAG active medium, Ince-Gaussian transverse mode



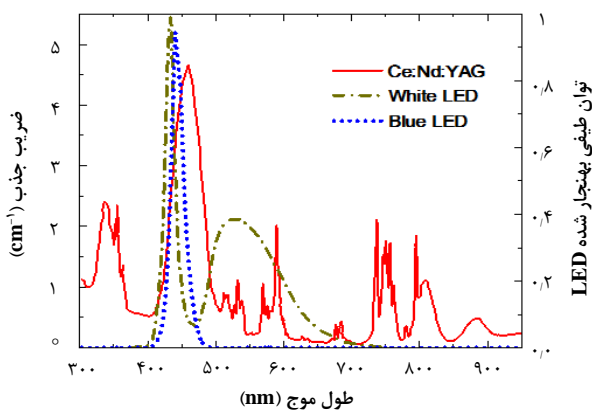
۱. مقدمه

دمش به سوی محیط فعال لیزر طراحی و مورد مطالعه تجربی قرار گیرد [۹، ۱۰]. سامانه نوری دمش بهبود یافته، با هدف ارتقای نوسانگر اصلی سامانه گداخت لیزری مورد مطالعه تجربی و محاسباتی قرار گرفته است تا بتوان به باریکه لیزر با کیفیت لازم و نوسانگر لیزر پایدار با قابلیت تکرارپذیری و سهولت کنترل دست یافت.

در مقاله حاضر، پس از معرفی ساختار سامانه دمش، چگونگی بهینه‌سازی سامانه مذکور و نتایج حاصل از کاربرد سامانه هدایت‌کننده پرتو برای دمش محیط فعال حالت جامد $Ce:Nd:YAG$ به کمک دیودهای نورگسیل و عملکرد نوسانگر لیزر مجهز به سامانه دمش بهینه‌سازی ارایه شده است.

۲. ساختار سامانه دمش و نوسانگر لیزر

نمایه تابش نشری از دیود نور گسیل، نزدیک به یک توزیع لامبرتی^۲ است و به دلیل زاویه دید^۳ زیاد برای گسیل تابش در حد ۱۲۰ درجه، جمع‌آوری بخش عمده شار تابشی و هدایت آن به سوی محیط فعال به کمک سامانه‌های نوری بسیار مشکل است. جهت طراحی سامانه نوری دمش، از رویکرد ردیابی تصادفی پرتو در ۳ بعد^۴، در محیط نرم‌افزار TracePro، برای شبیه‌سازی چگونگی هدایت پرتوهای منابع دمش از سطوح تمام بازتابان به سوی محیط فعال استفاده شده است. برای طراحی سامانه نوری، طیف نشری دیودهای نور گسیل و طیف جذبی محیط فعال $Ce:Nd:YAG$ مطابق با شکل ۱، در محیط نرم افزار لحاظ شده است.



شکل ۱. رفتار بینایی توان تابشی به ترتیب دیود نور گسیل سفید (خط- نقطه) و آبی (خط چین)، و بیناب جذبی محیط فعال $Ce:Nd:YAG$ (خط پیوسته) [۱].

جایگزین نمودن دیودهای نور گسیل^۱ (LED) با روش مرسوم استفاده از لامپ‌های درخش برای دمش نوری محیط‌های فعال لیزرهای حالت جامد از مزایای متعددی نظیر عمر بالا، صرفه اقتصادی، قابلیت کنترل منابع دمش، بروز حداقل تنش گرمایی و جذب مؤثر تابش‌های در محیط فعال برخوردار است [۱-۳]. تولید دیودهای نور گسیل پر توان و با دوام در گستره وسیعی از بیناب از ناحیه آبی تا مادون قرمز نزدیک، امکان دمش مؤثر و اطمینان‌بخش محیط‌های بهره‌بردار حالت جامد نظیر را فراهم آورده است [۲-۶]. منابع همدوس دمش حاصل از باریکه‌های لیزرهای نیم‌رسانا نیز از محسنات بسیاری نظیر تطبیق بینایی و کارایی بالای فرایند دمش برخوردار هستند. اما گرانی و محدودیت توان نوری قابل حصول برای دمش تپی کاربرد گسترده آن‌ها را با محدودیت روبه‌رو می‌سازد.

با توجه به محدودیت توان تابشی هر LED، چگونگی انتقال مؤثر توان تابشی تعداد قابل توجهی دیود نوری به محیط فعال یکی از مهم‌ترین چالش‌های فنی پیش‌روی در استفاده از دیودهای نور گسیل به شمار می‌آید. یکی از روش‌های غلبه بر این مشکل، استفاده از مبدل و متمرکزکننده نوری $Ce:YAG$ است که البته این رویکرد نیز با صرف هزینه قابل توجه تهیه بلور $Ce:YAG$ و ساخت روبرو است [۷، ۸].

در پژوهش‌های مراجع ۲ و ۶، دمش نوری بر پایه هدایت مستقیم پرتوهای دیودهای نور گسیل با کم‌ترین فاصله سطح تابنده‌ها تا سطح جانبی محیط فعال لیزر و نرخ تکرار بسیار پایین تپ لیزر در حد ۰/۰۱ هرتز استوار است. روش مذکور علی‌رغم سادگی اجرا و جفت‌شدگی مناسب جذب میان تابش‌ها و محیط فعال، محدودیت‌های جدی نظیر دشواری خنک‌سازی دیودهای نوری و محیط فعال را به همراه دارد. بدین طریق افزایش تعداد دیودهای نوری به منظور ارتقای انرژی خروجی نوسانگر لیزر و افزایش نرخ تکرار تپ لیزر امکان‌پذیر نیست.

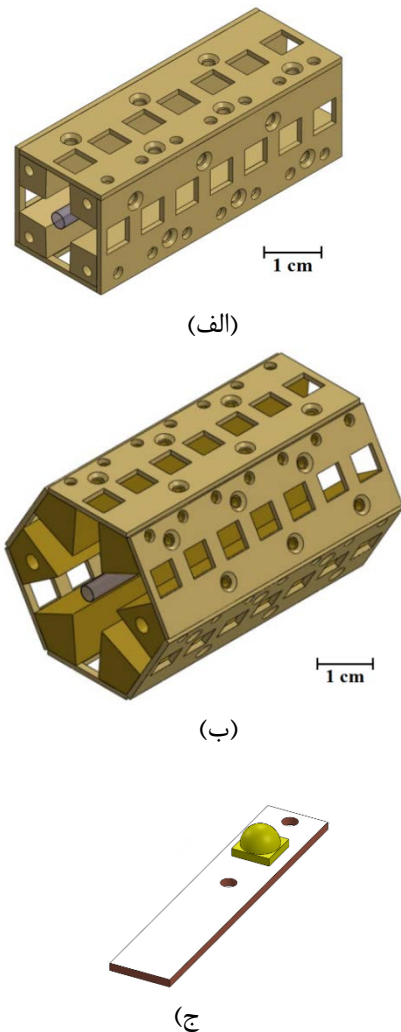
با توجه به محدودیت‌های اشاره شده و به منظور دستیابی به بهترین جفت‌شدگی نوری میان منابع دمش دیود نور گسیل و محیط‌های فعال حالت جامد نظیر $Nd:YAG$ ، $Ce:Nd:YAG$ و $Nd:YLF$ ، از روش پرتویابی تصادفی دسته پرتوهای خروجی از چشمه‌های نوری برای محاسبه جذب انرژی در محیط فعال استفاده شد تا سامانه نوری پر بازدهی مبتنی بر سطوح تمام بازتابان برای هدایت پرتوهای چشمه

2. Lambertian

3. Viewing Angle

4. 3D Monte-Carlo Ray Tracing





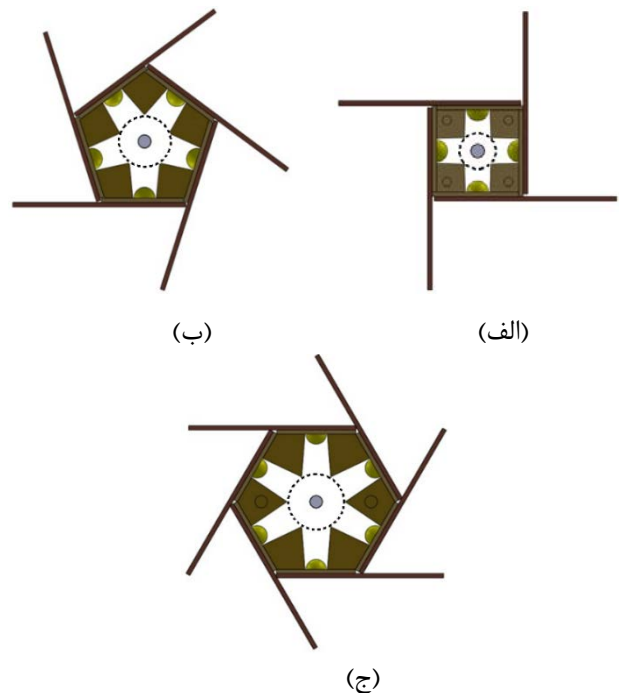
شکل ۳. چیدمان سامانه هدایت‌کننده پرتو، با تقارن، الف) چهار، ب) شش‌وجهی با ۷ دیود نور گسیل در هر وجه، ج) دیود نور گسیل ۱۰ وات نصب شده بر روی هیت سینک.

برای شبیه‌سازی، بیش از ۱۵۰۰ پرتو گسیل یافته از هر LED با راستای انتشار تصادفی و با گام طیفی ۵ نانومتر از ۴۰۰ تا ۷۵۰ نانومتر برای هر پرتو استفاده شده است. برخی از پرتوها پس از بازتاب‌های متوالی از سطوح داخلی تمام بازتابان سامانه دمش، در میله لیزر جذب می‌شوند. بازتابندگی سطوح بازتابان سامانه دمش ۰/۹۲ انتخاب شده است که نزدیک به مقادیر تجربی گزارش شده برای ضریب بازتاب سطح پرداخت شده نقره می‌باشد [۱۲].

برای مطالعه ردیابی پرتو، محیط فعال به ۱۸۰۰۰ منطقه متشکل از مجموعه‌ای از سلول‌های موازی مکعب مستطیلی تقسیم شد. با محاسبه مسافت طی شده درون هر سلول برای هر پرتو و استفاده از ضریب جذب، توان دمش جذب شده در داخل هر سلول محاسبه و نتایج ذخیره می‌شوند. با جمع توان تابشی جذب شده برای تمامی مناطق، توان تابشی جذب شده در محیط فعال به دست می‌آید.

منابع نوری دمش از ۴ الی ۶ آرایه LED، هر یک حاوی ۷ عدد دیود نور گسیل ۱۰ وات XPH۵۰/۲ ساخت شرکت CREE و طیف نشری سفید، با بیشینه توان تابشی در ۴۶۰ نانومتر و تابش قابل توجه در محدوده طیفی ۵۰۰ تا ۶۲۵ نانومتر، برای دمش مؤثر میله لیزر به قطر ۳ میلی‌متر استفاده شده است [۱۱]. تمام دیودهای نورگسیل بر روی صفحات خنک‌کننده^۱ نصب شده‌اند و برخلاف تجربه‌های گذشته [۲، ۶]، امکان عملکرد دیودها با آهنگ تکرار بالا از مرتبه ۱ هرتز و بیش تر برای دمش محیط فعال لیزر بدون داغ شدن و آسیب دیدن تراشه‌های LED وجود دارد.

سطح مقطع سه سامانه مختلف دمش نوری میله لیزر بر پایه بازتابنده‌های هدایت‌کننده پرتو در شکل ۲ نشان داده شده است. گشودگی دهانه سامانه هدایت‌کننده پارامتر مهمی است و به قطر دایره مماس بر دهانه سامانه دمش وابسته است. هر وجه سامانه دمش شامل هفت LED است که به طور مؤثر میله لیزر به طول ۶۰ میلی‌متر را مورد تابش می‌دهد. طرح سه‌بعدی سامانه دمش ۴ و ۶ وجهی در شکل ۳ نشان داده شده است. سطوح بازتابنده از جنس برنج ساخته، و پس از پرداخت، قطعات با بالاترین درجه بازتابندگی آبکاری نقره شدند.



شکل ۲. سطح مقطع سامانه دمش بر پایه بازتابنده‌های هدایت‌کننده پرتو به ترتیب با تقارن، الف) چهار، ب) پنج و ج) شش‌وجهی. در هر حالت دهانه داخلی سامانه با دایره خط چین نشان داده شده است. میله لیزر در مرکز قرار دارد و LEDها بر روی هیت سینک مسی نصب شده‌اند.

1. Heat-Sink



نتایج شبیه‌سازی‌ها برای توان تابشی جذب شده در محیط فعال برحسب قطر دایره مماس بر دهانه سامانه هدایت‌کننده پرتو دیوهای نورگسیل به سوی محیط فعال برای سه ساختار مختلف مورد نظر در شکل ۵ نشان داده شده است. نمودارها نشان می‌دهند که با افزایش تعداد وجوه، توان تابشی جذب شده در میله لیزر کمی افزایش می‌یابد و برای ساختار ۵ وجهی به مقدار بهینه می‌رسد. مقدار بهینه قطر دایره مماس بر دهانه سامانه هدایت‌کننده پرتو، سه ساختار مختلف دمش شکل ۲. با چهار، پنج و شش وجه به ترتیب ۸، ۱۲ و ۱۳ میلی‌متر است. همچنین، با استفاده از بازتابنده‌های نفوذی^۱ مناسب نظیر صفحات نازک تفلون با بازتابندگی ≥ 0.95 در محدوده وسیع بینایی ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر به عنوان سطوح بازتابنده سامانه دمش [۱۳]، بازدهی جفت شدگی نوری میان منابع دمش و محیط فعال حدود ۲۰ درصد افزایش می‌یابد. بدین ترتیب، با توجه به یافته‌های تجربی بخش ۳ و نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها، دست‌یابی به باریکه لیزر Ce: Nd: YAG از مرتبه میلی ژول با جایگزین نمودن دیوهای نور گسیل سفید با LEDهای ۱۰ وات با طیف تابشی آبی و بهبود بازتابندگی سطوح بازتابنده سامانه دمش کاملاً امکان‌پذیر است.

۳. یافته‌های تجربی

برای فراهم نمودن امکان مقایسه کارایی سامانه دمش مورد نظر با یافته‌های مرجع ۶ و ۱۴ که در آن از آرایش جفت شدگی نزدیک برای دمش محیط فعال استفاده شده است، از تشدیدگر نوری به کار رفته در مراجع مذکور به طول هندسی ۱۴ سانتی متر، متشکل از یک آینه تخت و آینه کروی با شعاع انحنای ۵۰ سانتی‌متر به ترتیب با ضریب بازتاب ۹۳ و ۹۸ درصد استفاده شد. سوئیچ Q انفعالی نیز به کمک بلور Cr^{۴+}: YAG با تراگسیل اولیه^۲ ۹۶ درصد و پوشش ضد بازتاب در ۱۰۶۴ نانومتر بر روی هر دو سطح صورت گرفت. بانک خازنی آرایه‌های LED متشکل از دو خازن ۴۷۰۰ میکرو فارادی است که به صورت سری با یک دیگر قرار گرفته‌اند و به کمک یک سوئیچ ترانزیستوری ۶۰۰ ولتی از نوع IGBT با بیشینه جریان گذرای مجاز کلکتور ۳۰۰ آمپر، در مدار دیوهای نورگسیل تخلیه می‌شوند [۶]. انرژی دمش با انتگرال‌گیری زمانی از توان الکتریکی به دست می‌آید، رابطه (۲).

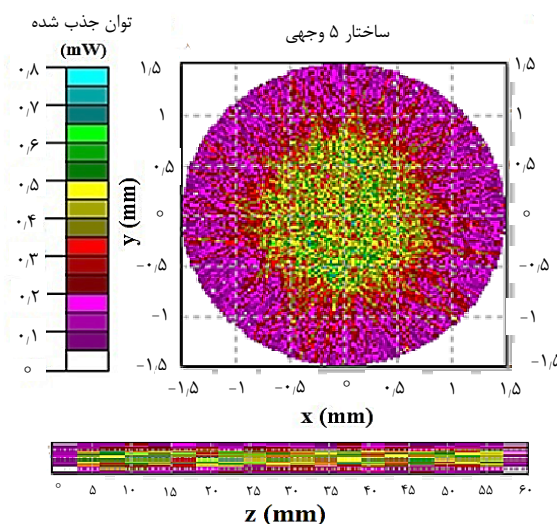
$$E_p = \int_0^{\tau_p} V_{led}(t) I_{led}(t) dt \quad (2)$$

در شکل ۴ نمونه‌ای از نمایه توزیع شارحجمی توان تابشی جذب شده برای ساختار ۵ وجهی دمش، در مقطع عرضی محیط فعال از جنس Ce: Nd: YAG در فاصله ۲۰/۵ میلی‌متر از انتهای میله لیزر، و همچنین در راستای طول محیط فعال آورده شده است. برای این شبیه‌سازی طول محیط فعال لیزر ۶۰ و قطر آن ۳ میلی‌متر است. در نمایه شکل ۴، رنگ سبز به معنای حداکثر توان تابشی جذب شده و رنگ سفید به معنای حداقل جذب است.

برای یک تیغه به ضخامت ρ ، بازده جذب طی عبور یک پرتو یکنواخت با زاویه تابش صفر با رابطه (۱) تعریف می‌شود [۲].

$$\eta_a = \int_0^{\infty} E(v)(1 - e^{-\alpha(v)\rho}) dv / \int_0^{\infty} E(v) dv \quad (1)$$

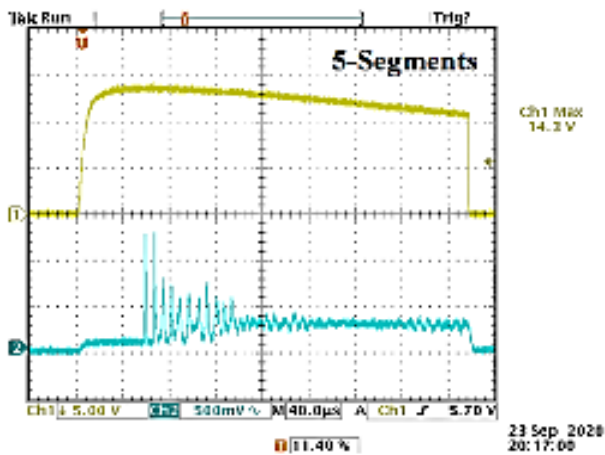
در رابطه فوق، ν فرکانس تابش، $\alpha(\nu)$ ضریب جذب محیط فعال و $E(\nu)$ توان تابشی دیود نور گسیل مطابق با شکل ۱ است. محاسبه بازده جذب برای میله‌ای به قطر $\rho = 3 \text{ mm}$ ، نشان می‌دهد که $\eta_{a-white} \approx 3 \eta_{a-blue} \cdot \eta_{a-blue}$ و $\eta_{a-white}$ به ترتیب بازدهی جذب LED آبی با نشر حداکثری در ۴۶۰ نانومتر و بازدهی جذب LED سفید است. نتایج شبیه‌سازی با نرم‌افزار Trace-Pro که در آن پرتوهای دمش چندین مرتبه از محیط فعال با زاویه تابش تصادفی عبور می‌کنند، تأیید می‌کند که جایگزینی LED سفید با LED آبی، به میزان قابل توجهی توان تابشی جذب شده در میله لیزر را افزایش می‌دهد.



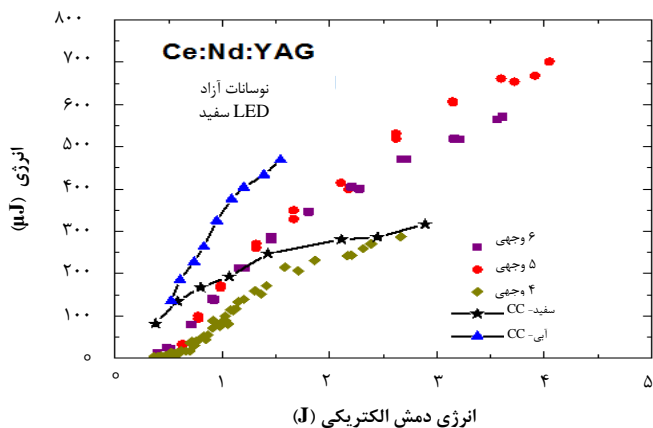
شکل ۴. نمونه‌ای از نمایه محاسبه شده توزیع شارحجمی توان تابشی جذب شده برای ساختار ۵ وجهی دمش در مقطع عرضی محیط فعال در فاصله ۲۰/۵ میلی‌متر از انتهای میله لیزر، و همچنین در راستای طول میله لیزر.



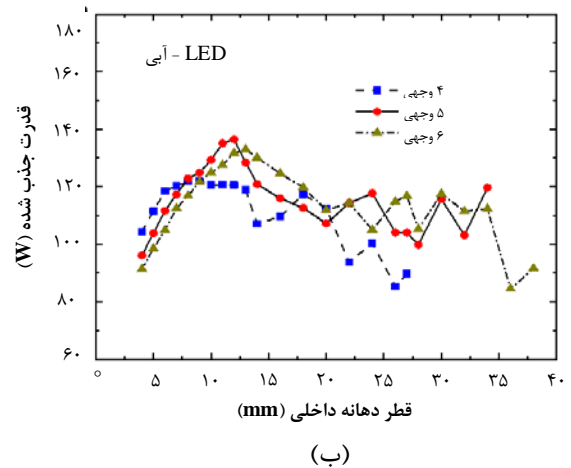
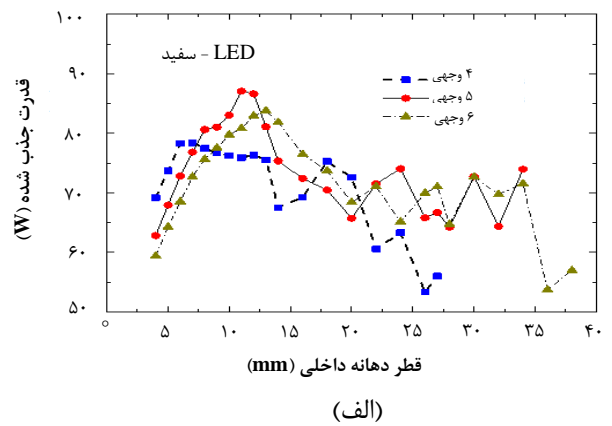
در شکل ۷ مقایسه‌ای میان آرایش‌های گوناگون دمش برحسب انرژی باریکه لیزر و انرژی دمش به عمل آمده است. برای آرایش جفت شدگی نزدیک با دیودهای نور گسیل سفید از ۴ ردیف ۱۶ تایی دیود نور گسیل ۱۰ وات، و برای جفت شدگی نزدیک با دیودهای نور گسیل آبی از ۴ ردیف ۳۲ تایی دیود نور گسیل ۱ وات استفاده شده است [۱۴]، در حالی که برای سامانه دمش بهینه‌سازی شده ۵ وجهی تنها ۳۵ دیود نورگسیل ۱۰ وات به کار رفته است. بدین ترتیب نمودارها به خوبی مزیت سامانه دمش بهینه‌سازی شده را نسبت به آرایش دمش جفت شدگی نزدیک نشان می‌دهد.



شکل ۶. موقعیت میخه‌های لیزر (پایین) نسبت به تپ جریان دیودهای نور گسیل با بیشینه ۱۴۳ آمپر (بالا) برای محیط فعال Ce:Nd:YAG و آرایش دمش ۵ وجهی.



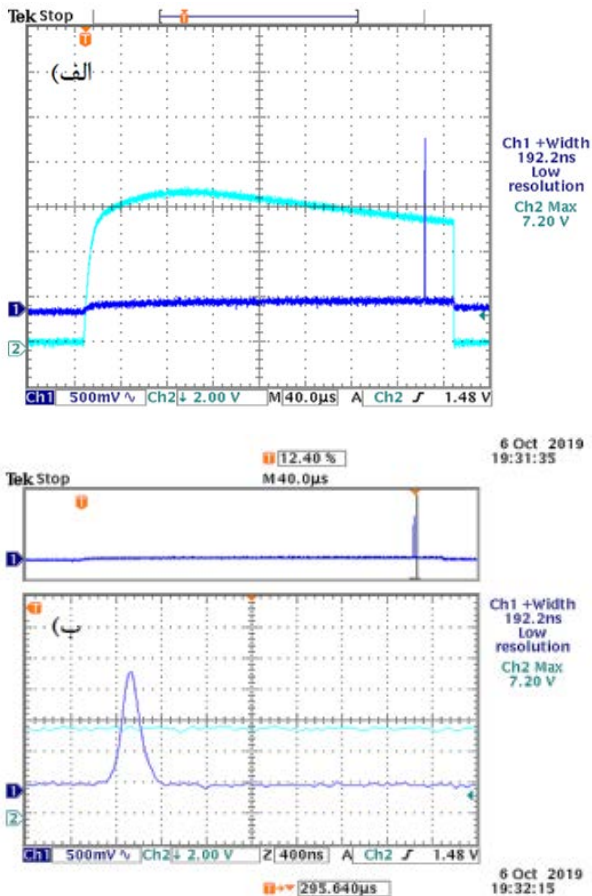
شکل ۷. مقادیر تجربی انرژی باریکه لیزر نوسانگر لیزر برحسب انرژی الکتریکی دمش برای ساختارهای ۴، ۵ و ۶ وجهی. جهت مقایسه انرژی مشاهده شده برای نوسانگر با دمش به روش جفت شدگی نزدیک (CC) با دیود نورگسیل سفید و آبی به ترتیب با (خط ستاره) و (خط مثلث) نشان داده شده است.



شکل ۵. بستگی توان تابشی جذب شده در محیط فعال، (الف) بیناب سفید (ب) بیناب آبی، برحسب قطر دایره مماس بر دهانه سامانه هدایت‌کننده پرتو دیودهای نورگسیل به سوی محیط فعال برای ساختارهای ۴، ۵ و ۶ وجهی.

$I_{led}(t)$ و $V_{led}(t)$ به ترتیب مقادیر تجربی اندازه‌گیری شده برای اختلاف پتانسیل و جریان کل LEDها می‌باشند. پهنای زمانی تپ دمش نیز در تمام حالات $\tau_p=320 \mu s$ است. حداکثر مقدار مجاز انرژی دمش برای ساختارهای چهار، پنج و شش وجهی به ترتیب ۲،۷، ۳،۴ و ۴،۱ ژول است. انرژی باریکه لیزر نوسانگر نیز با انتگرال‌گیری عددی از شدت ثبت شده تپ لیزر به کمک ترکیبی از یک آشکارساز سریع و حساس نیمه‌رسانا با پهنای باند ۵۰ مگاهرتز، کالیبره شده برحسب انرژی و اسیلوسکوپ تکترونیکس TDS۳۰۵۲B با پهنای باند ۵۰۰ مگاهرتز صورت گرفت. نمونه‌ای از رفتار نوسانات آزاد لیزر به ازای تپ کل جریان مجموعه دیودهای نورگسیل کم و بیش مربعی با پهنای ۳۲۰ میکروثانیه و بیشینه ۱۴۳ آمپر در شکل ۶ نشان داده شده است. پهنای زمانی هر میخه لیزر از مرتبه ۱ میکروثانیه است و اولین میخه لیزر حدود ۶۰ میکروثانیه از لحظه آغاز فرایند دمش پدید آمده است.





شکل ۸. الف) موقعیت تک تپ سویچ Q نسبت به تپ جریان دیودهای نور گسیل، ب) رفتار زمانی تپ سویچ Q متنظر با شکل الف. در تمام موارد بیشینه جریان عبوری از دیودهای نورگسیل ۷۲ آمپر است.

۴. نتیجه‌گیری

یافته‌های تجربی حاصل از کاربرد سامانه دمش بر پایه هدایت پرتوهای دیودهای نورگسیل به کمک سطوح تمام بازتابان نشان می‌دهد که کارایی روش مذکور قابل مقایسه با آرایش جفت شدگی نزدیک است که در آن دیودهای نورگسیل در کم ترین فاصله از سطح جانبی میله لیزر قرار دارند. در آرایش دمش معرفی شده در این مقاله، سطوح تابنده دیودهای نور گسیل در فاصله تقریبی ۲۰ میلی‌متر از سطح جانبی میله لیزر قرار دارند که بدین ترتیب علاوه بر خنک‌سازی مناسب دیودها، امکان خنک‌سازی میله لیزر برای دمش محیط فعال با آهنگ تکرار بیش از ۱ هرتز نیز فراهم آمده است که مزیت قابل توجهی نسبت به آرایش جفت شدگی نزدیک به شمار می‌آید. شبیه سازی‌های عددی تأیید می‌کنند که بهبود بیش‌تر سامانه دمش با استفاده از سطوح بازتابنده با بازتابندگی بالا مانند تفلون و دیودهای نورگسیل‌های آبی پر قدرت امکان‌پذیر است که سبب افزایش انرژی و عملکرد نوسانگر لیزر می‌شود. همچنین، سامانه

با قرار دادن بلور YAG:Cr^{۴+} با تراگسیل اولیه ۹۶ درصد درون تشدیدگر لیزر و در نزدیکی آینه عقب، تپ سویچ Q با پهنای زمانی در حد ۲۰۰ نانوثانیه به ازای جریان ۷۰ الی ۸۵ آمپر از مجموعه دیودهای نوری پدید آمد. شکل ۸ رفتار زمانی تپ سویچ Q، متنظر با جریان بیشینه ۷۲ آمپر عبوری از دیودهای نورگسیل را نشان می‌دهد. با افزایش انرژی دمش، زمان لازم برای تولید تپ سویچ Q کاهش یافته و قطاری از تپ‌های سویچ Q تا ۵ تپ لیزر با انرژی $\sim 35 \mu J$ و پهنای پالس $\approx 220 ns$ پدید می‌آید. انرژی آستانه دمش جهت بروز تک تپ سویچ Q، $E_{th_white} = 17 J$ است. تحت شرایط و تلفات نوری یکسان، مشاهدات تجربی نشان می‌دهند که انرژی آستانه دمش برای تولید تک تپ سویچ Q با استفاده از ۱۲۸ عدد دیود نور گسیل با طیف نشری آبی در ۴۶۰ نانومتر در آرایش جفت شدگی نزدیک برابر با $E_{th_blue} = 0.68 J$ است [۱۴]. با توجه به $\eta_{a_blue} \approx 3\eta_{a_white}$ برای جذب بیناب نشری LED آبی و سفید برای محیط فعال Ce:Nd:YAG، ملاحظه می‌شود که رابطه $E_{th_white} \approx E_{th_blue} \eta_{a_blue} / \eta_{a_white}$ برقرار است که نشان‌دهنده کارایی نوری کم و بیش برابر آرایش جفت شدگی نزدیک با آرایش دمش به روش هدایت پرتو از سطوح تمام بازتابان است. نمایه‌های مدی مشاهده شده برای نوسانگر Ce:Nd:YAG نیز همانند دمش محیط فعال به روش جفت شدگی نزدیک از ساختار اینس-گوسی^۱ برخوردار است [۱۵] و نمایه مد عرضی تابعی از انرژی دمش و تنظیمات تشدیدگر لیزر است. با افزایش انرژی دمش و گذر از انرژی دمش E_p که تابعی از تلفات نوری تشدیدگر و آرایش هندسی سامانه دمش است، نمایه مدی پایدار و تثبیت شده‌ای پدید می‌آید [۱۵].

سامانه دمش بهینه‌سازی شده علاوه بر محیط فعال Ce:Nd:YAG با موفقیت برای دستیابی به نوسان لیزر و تولید تپ سویچ Q برای نوسانگر با محیط‌های فعال Nd:YAG و Nd:YLF مورد استفاده قرار گرفت. بیشینه انرژی نوسانات آزاد لیزر دریافت شده از میله لیزر Nd:YAG با طول ۶۰ و قطر ۳ میلی‌متر برای سامانه دمش ۵ و ۶ وجهی به ترتیب ۳۰ و ۴۵ میکرو ژول، و برای محیط فعال Nd:YLF با طول ۵۰ و قطر ۳ میلی‌متر در حد ۱۵ میکرو ژول اندازه‌گیری شد. نوسانگر با کیفیت لیزر با محیط فعال بلور Nd:YLF با برش c، به دلیل نوسان بر روی طول موج ۱۰۵۳ نانومتر و سازگاری با گذار لیزری مرتبط با محیط فعال تقویت‌کننده‌های شیشه فسفات آلاییده با یون Nd^{۳+} برای نوسانگر مجموعه گداخت لیزری مورد توجه قرار دارد. از این روی ارتقای انرژی نوسانگر Nd:YLF و Nd:YAG با سامانه بهینه‌سازی شده دمش و استفاده از دیودهای نور گسیل با قله تابش بر روی نوار جذبی غالب بلور Nd:YLF در ۸۱۰ نانومتر [۱۶، ۱۷] از اولویت ویژه‌ای برخوردار است.



9. S.M. Zahedi, et al, *Optimization of the pumping system of the LED-pumped Ce:Nd:YAG laser, The 1th conference on optoelectronics, Applied optics and Microelectronics, Namin. Ardabil*, 13-15 August, (2019) (in Persian).
10. S.M. Zahedi, et al, *Beam guiding system for pumping of solid-state lasers with light emitting diodes, The 1th conference on optoelectronics, Applied Optics and Microelectronics, Namin. Ardabil*, 13-15 August, (2019) (in Persian).
11. Cree® XLamp® XHP50.2 LEDs, *Product family data sheet, CREE company* (2018).
12. W. Koechner, *Solid-state laser engineering, 6th Edition, Springer* (2006).
13. M. Janecek, *Reflectivity spectra for commonly used reflectors, IEEE Transactions on Nuclear Science*, **59(3)**, 490 (2012).
14. M. Tarkashvand, A.H. Farahbod, S.A. Hashemizadeh, *Study of the spatiotemporal behavior of LED-pumped Ce:Nd:YAG laser, International Journal of Optics and Photonics*, **14(1)**, 75 (2020).
15. F. Hokmabadi, A.H. Farahbod, A. Nazari-Golshan, *Dependence of mode profile on the pumping configuration of a LED-pumped Ce:Nd:YAG laser, Journal of Nuclear Science and Technology*, **95(2)**, 40 (2021).
16. T. Zhao, *Light-emitting-diode-pumped active Q-switched Nd:YLF laser, Opt. Lett.*, **44(8)**, 1956 (2019).
17. C.Y. Cho, *Energy scale-up and mode-quality enhancement of the LED-pumped Nd:YAG Q-switched laser achieving a millijoule green pulse, Opt. Letters*, **44 (13)**, 3202 (2019).

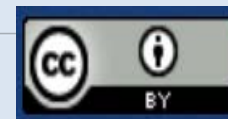
دمش بهینه‌سازی شده با موفقیت برای دستیابی به نوسان لیزر در محیط‌های فعال Nd:YLF و Nd:YAG نیز مورد استفاده قرار گرفت. با این حال، LEDهای طیف سفید یا آبی برای دمش محیط‌های فعال مذکور چندان کارآمد نیستند و کارآیی مورد نظر با LEDهای مادون قرمز به ویژه برای محیط فعال Nd:YLF با هدف کاربرد سامانه دمش برای نوسانگر اصلی مجموعه گداخت لیزری مورد نظر مؤلفین است.

مراجع

1. B. Villars, E.S. Hill, C.G. Durfee, *Design and development of a high-power LED-pumped Ce:Nd:YAG laser, Opt. Lett.*, **40(13)**, 3049-3052 (2015).
2. M. Tarkashvand, A.H. Farahbod, S.A. Hashemizadeh, *First demonstration of green and amber LED-pumped Nd:YAG laser, Laser Physics*, **28**, 055801 (2018).
3. A. Barbet, et al, *Revisiting of LED pumped bulk laser: first demonstration of Nd:YVO4 LED pumped laser, Opt. Lett.*, 6731-6734 (2014).
4. C.Y. Cho, et al, *LED-side-pumped Nd:YAG laser with >20% optical efficiency and the demonstration of an efficient passively Q-switched LED-pumped solid-state laser, Opt. Letters*, **42(12)**, 2394 (2017).
5. C. Jung, et al, *Lasing Characteristics of a LED-Pumped Nd:KGW Laser, New Physics: Sae Mulli*, **68(4)**, 477-485 (2018).
6. M. Tarkashvand, A.H. Farahbod, S.A. Hashemizadeh, *Iranian Journal of Physics Research, Passively Q-switched LED-Pumped Ce:Nd:YAG Laser*, **18(3)**, 478 (2018) (in Persian).
7. A. Barbet, et al, *Light-emitting diode pumped luminescent concentrators: a new opportunity for low-cost solid-state lasers, Optica*, **3(5)**, 465 (2016).
8. P. Pichon, et al, *High-radiance light sources with LED-pumped luminescent concentrators applied to pump Nd:YAG passively Q-switched laser, Optics and Laser Technology*, **96**, 7-12 (2017).

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



استناد به این مقاله

سیدمرتضی زاهدی دیزجی، امیرحسین فرهید، محمد محمودی (۱۴۰۱)، مطالعه تجربی سامانه نوری بهبود یافته برای لیزرهای حالت جامد با دمش دیود نور گسیل، ۱۰۱، ۴۸-۵۴

DOI: 10.24200/nst.2022.1446

Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1446.html

