بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین
کنفرانس مهندسی و فناوری
فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۴-۱۲ بهمن ۱۴۰۰

مطالعه تجربی رفتار نمایه مدی برای لیزرهای حالت جامد با دمش دیود نورگسیل و سامانه دمش نوری بهبود یافته

سید مرتضی زاهدی دیزجی [۲و۱]، امیر حسین فرهبد*[۲] و محمد محمودی[۱]

[۱] دانشکده فیزیک دانشگاه زنجان، زنجان
[۲] پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، کارگر شمالی، تهران
*afarahbod@aeoi.org.ir

چکیده – در این مقاله یافته های تجربی حاصل از به کارگیری سامانه دمش بهبود یافته برای دمش محیط های فعال با آلایش Nd^{3+} به کمک آرایه های دیودهای نورگسیل با بیناب نشری سفید مورد بررسی قرار گرفته است. برای سامانه دمش از ۳۵ دیود نورگسیل ۱۰ واتی و ساختار ۵ وجهی با ۷ دیود نور گسیل در هر وجه استفاده شده است. کارایی لیزر با ساختار مذکور برای محیط‌های بهره حالت جامد Nd:YAG، Ce:Nd:YAG و Nd:YLF و تشدیدگر با تلفات نوری یکسان در رژیم کاری نوسان آزاد مقایسه شده است. همچنین بستگی ساختار مدی نوسانگر لیزر با محیط‌های فعال مختلف در ناحیه بینابی دمش مورد مطالعه تجربی قرار گرفته است.

کلید واژه- سامانه دمش نوری، لیزر با دمش دیود نور گسیل، محیط فعال آلائیده به Nd^{3+}، مد اینس-گاوسی

Experimental Study of Mode Profile Behavior of LED-Pumped Solid-State Lasers with Improved Optical Pumping System

Seyyed Morteza Zahedi Dizaji [۱, ۲], Amir Hossein Farahbod* [۲], and Mohammad Mahmoudi [۱]

[۱] *[illegible], [illegible], [illegible]*

[۲] *[illegible], [illegible], [illegible], Tehran*

Abstract: In this paper, the experimental findings where have been obtained by applying an optimized pumping system and arrays of white spectrum light-emitting diodes to pump Nd^{+3} doped active medium are presented. The pumping system has a pentagon transverse geometry that is consisted of ۷ arrays of ten watts LED on each side and a total of ۳۵ light-emitting diodes. The laser performance of the later pumping structure was compared for solid-state active medium such as Ce:Nd:YAG, Nd:YAG, and Nd:YLF, with equal optical losses, under laser relaxation oscillations. In addition, the dependence of mode structure of the laser oscillator with a different active medium in the white spectrum region has been studied experimentally.

Keywords: *Optical pumping system, LED-pumped laser, Nd^{3+} Doped active medium, Ince-Gaussian mode*

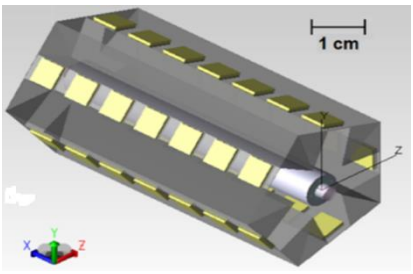
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

مقدمه

دمش لیزرهای حالت جامد با دیودهای نور گسیل (LED) در سال های اخیر به دلیل طول عمر بالای منابع دمش، بروز حداقل تنش گرمایی در محیط فعال، جذب موثر تابش ها و قابلیت کنترل منابع دمش بسیار مورد توجه واقع شده است[۱و۲]. معهذا کیفیت باریکه خروجی نوسانگر لیزر با دمش دیود نورگسیل، به دلیل نرخ پایین دمش و ویژگی های نمایه فضایی شدت LED ، به دمش و بهره نوری نایکنواخت محیط فعال لیزر منجر می‌شود. همچنین هندسه منابع دمش به صورت تعداد محدودی منابع نقطه ای سبب می‌شود که توزیع عرضی شدت میدان لیزر، از توزیع های کلاسیک شناخته شده لاگر-گاوسی برای مختصات استوانه‌ای یا هرمیت-گاوسی برای مختصات دکارتی متابعت نکند[۳] و نوسانگر لیزر به سهولت بر روی مدهای عرضی اینس-گاوسی در مختصات بیضوی نوسان نماید[۴]. نمایه‌های مدی مذکور کاربردهای قابل توجهی در حوزه تله ها و انبرک های نوری دارد[۵]. در مقاله حاضر نتایج حاصل از کاربرد سامانه هدایت کننده پرتو [۶] برای دمش محیط‌های فعال آلائیده به Nd^{3+} جهت افزایش قابلیت انعطاف پذیری طراحی و بهبود عملکرد سامانه دمش نوری دیودهای نورگسیل و رفتار نمایه مدی نوسانگر لیزر در ناحیه بینابی سفید مورد بررسی قرار گرفته است.

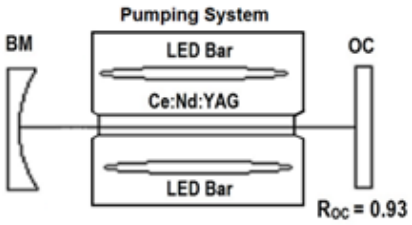
ساختار سامانه دمش و نوسانگر لیزر

ساختار نوری سامانه دمش بر پایه ایده های ارائه شده در مرجع ۶ قرار دارد که در آن هدایت پرتوهای نشر یافته از دیودهای نور گسیل به کمک سطوح تمام بازتابان به سوی میله محیط فعال لیزر هدایت می‌شوند. شبیه سازی ساختار نوری به کمک پرتویابی تصادفی و نرم افزار Trace Pro و با لحاظ کردن طیف نشری دیودهای نور گسیل و طیف جذبی محیط فعال صورت گرفته است. با توجه به نتایج محاسبات و شبیه سازی‌ها، طراحی و ساخت سامانه دمش بر پایه مقطع هندسه ۵ وجهی صورت گرفته است، شکل ۱.



شکل ۱: سامانه نوری هدایت کننده پرتو با مقطع ۵ وجهی حاوی ۷ دیود نور گسیل در هر وجه [۵].

منابع نوری دمش از ۵ 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 ۶۲۵-۵۰۰ نانومتر، برای دمش موثر میله لیزر به قطر ۳ میلی متر استفاده شده است. تمام دیودهای نورگسیل بر روی صفحات خنک کننده نصب شده اند و برخلاف تجربه گذشته [۲و۷]، امکان عملکرد دیودها با آهنگ تکرار بالا از مرتبه ۱۰ هرتز و بیشتر برای دمش محیط فعال لیزر بدون داغ شدن و آسیب دیدن تراشه های LED وجود دارد.



شکل ۲: تشدیدگر نوری به همراه سامانه دمش.OC آینه حروجی نوسانگر با ضریب بازتابندگی ۰/۹۳ و BM آینه عقبی تمام بازتابان نوسانگر با شعاع انحنای ۵۰ سانتیمتر که به فاصله ۱۴ سانتیمتر از OC قرار گرفته است.

تشدیدگر نوری مورد استفاده از نوع پایدار به طول ۱۴ سانتیمتر، متشکل از دو آینه تخت و کروی با شعاع انحنای ۵۰ سانتیمتر به ترتیب با ضریب بازتاب ۹۳ و ۹۸

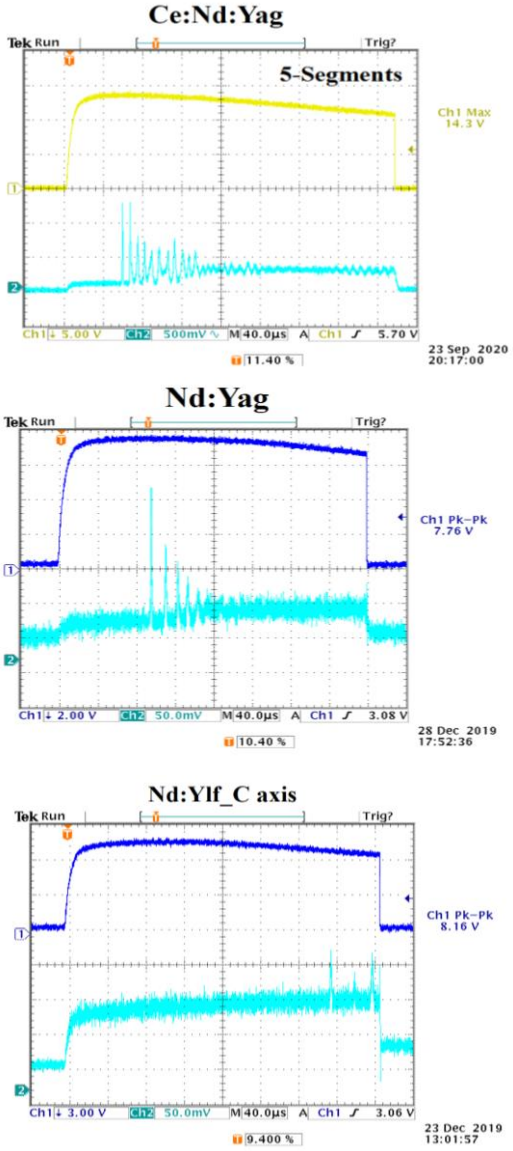
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

درصد است. بانک خازنی آرایه های LED متشکل از دو خازن ۴۷۰۰ میکروفارادی است که با یکدیگر به صورت سری قرار گرفته اند و به کمک یک سوییچ ترانزیستوری از نوع IGBT در مدار دیودهای نورگسیل تخلیه می شوند.

یافته های تجربی

مشاهده رفتار زمانی تپ لیزر به کمک ترکیبی از یک آشکارساز سریع نیمه رسانا به همراه تقویت کننده با پهنای باند ۵۰ مگاهرتز و اسیلوسکوپ تکترونیکس TDS۳۰۵۲B صورت گرفت. نمونه ای از رفتار نوسانات آزاد لیزر به ازای عبور یک تپ جریان کم و بیش مربعی با پهنای ۳۲۰ میکروثانیه و بیشینه دامنه ۷۷/۶ آمپر از مجموعه دیودهای نورگسیل در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴ پهنای زمانی هر میخه لیزر از مرتبه ۱ میکروثانیه است و اولین میخه لیزر حدود ۱۰۰ میکروثانیه از لحظه آغاز فرایند دمش برای Nd:YAG و Ce:Nd:YAG پدید آمده است. اما برای Nd:YLF با نرخ دمش برابر با Nd:YAG ، به دلیل بهره نوری به مراتب کوچکتر بروز اولین میخه لیزری در لحظه حدود ۲۷۰ میکروثانیه حادث می شود. با این حال، Nd:YLF در مقایسه با Nd:YAG از مزیت مهم طولانی تر بودن طول عمر فلورسانس گذار لیزر برخوردار است. بنابراین، با افزایش طول عمر فلورسانس، امکان ذخیره سازی انرژی بیشتر در محیط فعال با افزایش زمان دمش و عدم تغییر تعداد دیودهای نورگسیل فراهم می‌شود.

چگونگی توزیع عرضی شدت باریکه لیزر یا نمایه مدی از مهترین شاخصه های یک نوسانگر لیزر به شمار می آید که از اهمیت کاربردی فراوانی برخوردار است. برای این منظور بررسی رفتار مد عرضی نوسانگر با سامانه دمش بهبود یافته شکل ۱ به کمک دوربین نمایه سنج CCD مدل WincamD ساخت شرکت Gentec به همراه صافی

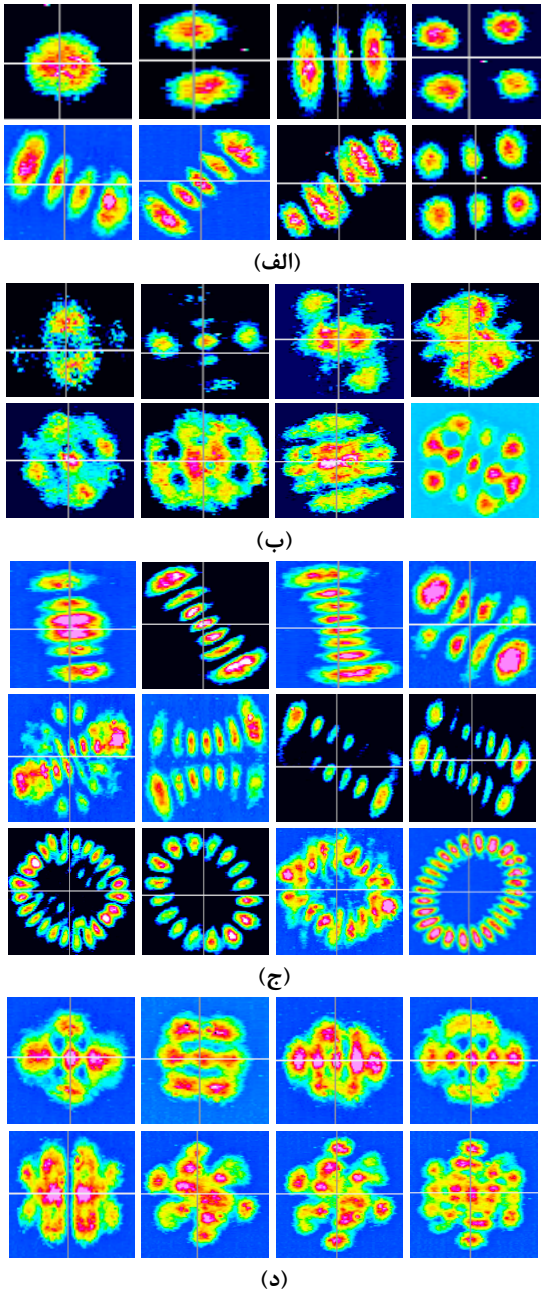


شکل (۴) : موقعیت میخه های لیزر (پایین) نسبت به تپ جریان دیودهای نور گسیل (بالا) برای محیط های گوناگون لیزر.

های نوری تضعیف کننده شدت و در فاصله ۴۰ سانتیمتری از آینه خروجی نوسانگر صورت گرفت. به دلیل نرخ دمش پایین محیط های فعال لیزر و ناهمگونی توزیع تابش دمش در راستای محور میله لیزر، نوسانگر لیزر به سادگی با کمترین انحراف زاویه‌ای آینه‌های تشدیدگر که با تغییر تلفات پراشی تشدیدگر همراه است و یا تغییرات نرخ دمش بر روی مدهای گوناگون اینس-گاوسی به نوسان در می آید[۸]. نمایه های مدی تجربی مشاهده

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

شده برای نوسانگر لیزر متناظر برای محیط های فعال گوناگون در شکل (۵) آورده شده است.



شکل (۵) : نمایه های مدی تجربی مشاهده شده برای نوسانگر لیزر به ترتیب متناظر با محیط های فعال الف) مشترک برای هر سه محیط فعال، ب) Ce:Nd:YAG، ج) Nd:YAG، و د) Nd:YLF_c-axis

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر الگوی های مدی مشاهده شده حاصل از کاربرد سامانه دمش بهبود یافته بر پایه هدایت پرتو دیودهای نورگسیل به کمک سطوح تمام بازتابان مورد بررسی قرار گرفت. در آرایش نوری مورد استفاده، دمش نایکنواخت محیط فعال در راستای محور نوری محیط فعال، به ازای هندسه و تلفات معلوم تشدیدگر نوری و نوع محیط فعال لیزر می تواند به سهولت سبب نوسان تشدیدگر بر روی مدهای عرضی مراتب بالا شود که مزیتی برای تولید پایدار و کاربردی مدهای عرضی اینس-گاوسی مراتب بالا به شمار می آید.

مرجع‌ها

[۱] C.Y. Cho, C.C. Pu, K.W. Su, and Y.F. Chen, *LED-side-pumped Nd:YAG laser with >20% optical efficiency and the demonstration of an efficient passively Q-switched LED-pumped solid-state laser*, Optics Letters, Vol. ٤٢, No. ١٢, p,p, ٢٣٩٦-٢٣٩٧, ٢٠١٧.

[۲] M. Tarkashvand, A.H. Farahbod, S.A. Hashemizadeh, *First demonstration of green and amber LED-pumped Nd:YAG laser*, Laser Physics. Vol. ٢٨, p.p. ٠٥٥٨٠١-٧, ٢٠١٨.

[۳] W. Koechner, Solid-state laser engineering, ٦th editon, Springer (٢٠٠٦).

[٤] M.A. Bandres, J.C. Gutierrez-Vega, *Ince–Gaussian beams*, Opt. Lett. Vol. ٢٩, No. ٢, pp.١٤٤-١٤٦, ٢٠٠٤.

[٥] M. Woerdemann, C. Alpmann, C. Denz, *Optical assembly of micro-particles into highly ordered structures using Ince–Gaussian beams*, Appl. Phys. Lett. Vol. ٩٨ , pp. ١١١١٠١-٣, ٢٠١١.

[۶] سید مرتضی زاهدی دیزجی، امیرحسین فرهبد، محمد محمودی، سعید قنبری، بهینه *سازی سامانه دمش برای لیزر Ce:Nd:YAG با دمش دیود نور گسیل*، اولین کنفرانس اپتوالکترونیک، اپتیک کاربردی و میکروالکترونیک، نمین، اردبیل (۱۳۹۸).

[۷] مصطفی ترکاشوند، امیر حسین فرهبد، سید علی هاشمی زاده، *لیزر Ce:Nd:YAG با دمش دیود نورگسیل و سوییچ Q انفعالی*، مجله پژوهش فیزیک ایران، جلد ۱۸، شماره ۳ ، ۴۷۷ . (۱۳۹۷)

[۸] فائزه حکم آبادی، امیر حسین فرهبد، اکبر نظری گلشن، *بستگی نمایه مدی به آرایش دمش برای لیزر Ce:Nd:YAG با دمش دیود نور گسیل*، مجله علوم و فنون هسته ای، ۹۵جلد، ۴۰ (۱۴۰۰).

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]