بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷

مطالعه تجربی ساختار مدی نوسانگر لیزر با دمش دیود نورگسیل

فائزه حکم آبادی[۱]، امیر حسین فرهبد*[۲]، سمیرا تاج آبادی[۱] و اکبر نظری گلشن[۱]

[۱] گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شاهد، تهران
[۲] پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، تهران

*E-mail: afarahbod@aeoi.org.ir

چکیده– ساختار مدی نوسانگر لیزر حالت جامد از اهمیت کاربردی بسیاری برخوردار است. دمش محیط فعال لیزر با دیود نورگسیل در مقایسه با لامپ درخش از مزیت کنترل فراوان بر روی توزیع شدت دمش در موضع محیط فعال بهره مند است. در پژوهش حاضر، بستگی ساختار مدی یک نوسانگر لیزر با محیط فعال Ce:Nd:YAG و دمش دیودهای نور گسیل در ناحیه بینابی آبی به توزیع شدت دمش مورد مطالعه تجربی قرار گرفته است. مشاهدات نشان می دهند که به ازای یک هندسه و طراحی معلوم می توان با کنترل جریان عبوری از نوارهای دیودهای نور گسیل به ساختار های گوناگون مد عرضی برای نوسانگر لیزر دست یافت. ساختار های مدی مشاهده شده طیف وسیعی از مدهای ویژه اینس-گاوسی و حالت های مرزی هرمیت-گاوسی و لاگر-گاوسی تشدیدگر لیزر را شامل می شوند و از پایداری مدی قابل توجهی برخوردار هستند.

کلید واژه- ساختار مد عرضی، لیزر با دمش دیود نور گسیل، محیط فعال Ce:Nd:YAG، مدهای اینس-گاوسی

Experimental Study of Mode Structure of a LED-pumped Laser Oscillator

Faezeh Hokmabadi[1], Amir Hossein Farahbod[*2], Samira Tajabadi[1] and Akbar Nazare Golshan[1]

[1] Department of Physics, Shahed University, Tehran
[2] Department of Plasma and Nuclear Fusion, Nuclear Institute of Science and Technology, Tehran

*E-mail: afarahbod@aeoi.org.ir

Abstract- Mode structure of a solid-state laser oscillator is a very important technical issue in laser applications. The laser pumping with light emitting diodes has superiority over the flashlamps for controlling the pump intensity distribution over the active medium. In the present research, the mode structure of a LED-pumped Ce:Nd:YAG laser oscillator and its dependency on the intensity of pump intensity is experimentally studied. The observations indicate that for the pumping geometry and with controlling the LEDs current, it is possible to obtain different transverse mode structures. The observed mode structures cover a wide spectrum of Ince-Gaussian and the limiting well known Laguree-Gaussian and Hermite-Gaussian mode structure of the laser resonator and have a considerable mode stability.

Keywords: Transverse mode structure, LED-pumped laser , Ce:Nd:YAG active medium, Ince-Gaussian modes

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

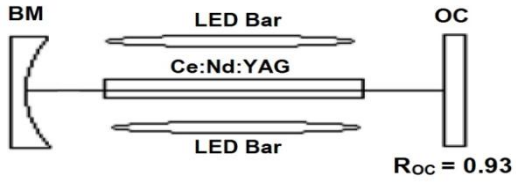
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-18]

مقدمه

افزایش قابل ملاحظه توان نوری دیودهای نورگسیل[1] و مزایای دمش محیط های فعال حالت جامد به کمک آنها طی دو دهه گذشته منجر به لیزرهای تپی با دمشLED با انرژی از مرتبه میلی ژول شده است[۱]. معهذا هندسه منابع دمش دیود نورگسیل که غالباً به صورت تعداد محدودی چیدمان نواری متشکل از منابع نقطه ای است، سبب می شود که در حالت کلی توزیع عرضی شدت و رفتار مکانی میدان تشدیدگرهای نوری پایدار، با تقریب بسیار خوب توزیع های کلاسیک شناخته شده لاگر-گاوسی $LG_{n,l}$ برای هندسه استوانه ای، و هرمیت-گاوسی HG_{n_x,n_y} برای هندسه دکارتی نباشد و نوسانگر لیزر به سهولت بر روی مدهای عرضی اینس-گاوسی[2] $IG^{\sigma}_{p,m}$ با تقارن زوج $\sigma=e$ یا فرد $\sigma=o$، در مختصات بیضوی نوسان نماید[۲]. مدهای IG در حالت های مرزی برای شاخص بیضی گونی[3] $\varepsilon=0$ و $\varepsilon\to\infty$ به ترتیب به سوی مدهای LG و HG میل می نمایند[۲]. نمایه های مدی IG کاربردهای قابل توجهی در حوزه تله ها و انبرک های نوری دارد [۳]. تاکنون رفتار مدی لیزرهای حالت جامد با دمش دیودهای نور گسیل و بستگی نمایه مدی به پارامترهای گوناگون هندسی و نوری محیط فعال و منابع دمش مورد بررسی قرار نگرفته است. در این پژوهش، به روش تجربی، رفتار نمایه مدی نوسانگر لیزر Ce:Nd:YAG با دمش دیودهای نور گسیل در ناحیه بینابی آبی، به توزیع شدت دمش مورد بررسی قرار گرفته است.

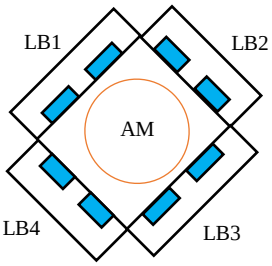
ساختار تجربی

نوسانگر لیزر متشکل است از میله محیط فعال Ce:Nd:YAG به طول ۶۰ و قطر ۳ میلیمتر، که دمش آن



شکل ۱: آرایش نوری نوسانگر Ce:Nd:YAG با دمش دیود نور گسیل. آینه حروجی نوسانگر (OC) با ضریب بازتابندگی ۰/۹۳ و آینه عقبی (BM) تمام بازتابان نوسانگر با شعاع انحنای ۵۰ سانتیمتر که به فاصله ۱۴ سانتیمتر از OC قرار گرفته است.

به کمک ۱۲۸ دیود نور گسیل آبی ۱ واتی در ناحیه ۴۶۰ نانومتر صورت می گیرد، شکل۱. هر نوار دیود نور گسیل از دو قطعه، هر یک حاوی ۱۶ دیود تشکیل شده است. ساختار نوری نوسانگر از آینه تخت خروجی OC، و آینه کروی عقبی BM، با شعاع انحنای ۵۰ سانتیمتر و ضریب بازتابندگی ۹۸ درصد در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر که به فاصله ۱۴ سانتیمتر از یکدیگر قرار دارند، تشکیل یافته است. مقطع سامانه دمش محیط فعال در شکل ۲ نشان داده شده است که مشابه ساختار گزارش شده در مرجع [۴] است. دمش نوسانگر با تپ مربعی ۳۱۰ میکروثانیه ای صورت می گیرد. مدار الکتریکی دمش به نحوی طراحی شده است که جریان عبوری از هر یک از نوارهای دیودهای نورگسیل[4] به طور مستقل قابل کنترل باشد. فاصله سطح تابنده دیودها از سطح جانبی میله لیزر کمتر از ۱ میلیمتر است. اندازه گیری ها نشان می دهند که حداکثر انرژی خروجی نوسانگر در حد ۲۰۰ میکروژول است.



شکل۲: مقطع ساختار دمش لیزر حاوی محیط فعال AM و چهار نوار دیود نورگسیل LB .

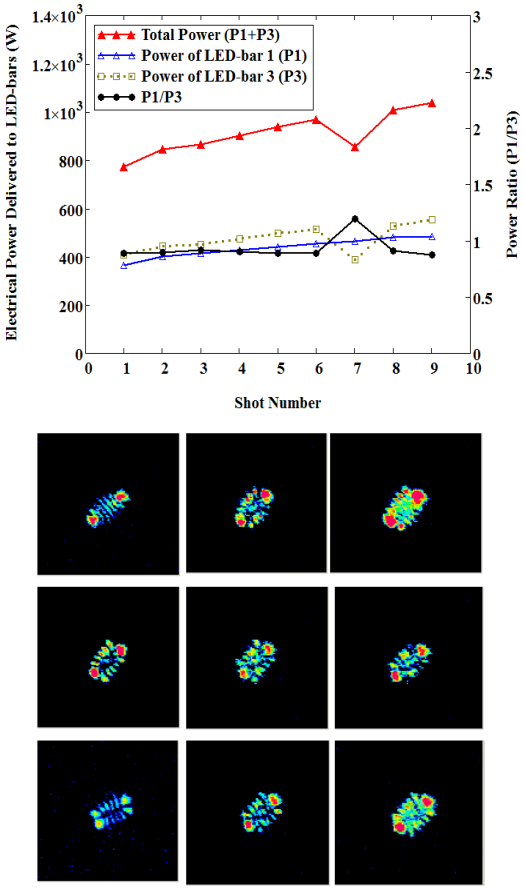
[1] Light emitting diode (LED)
[2] Ince-Gaussian (IG)
[3] Ellipticity
[4] LED-bars (LB)

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

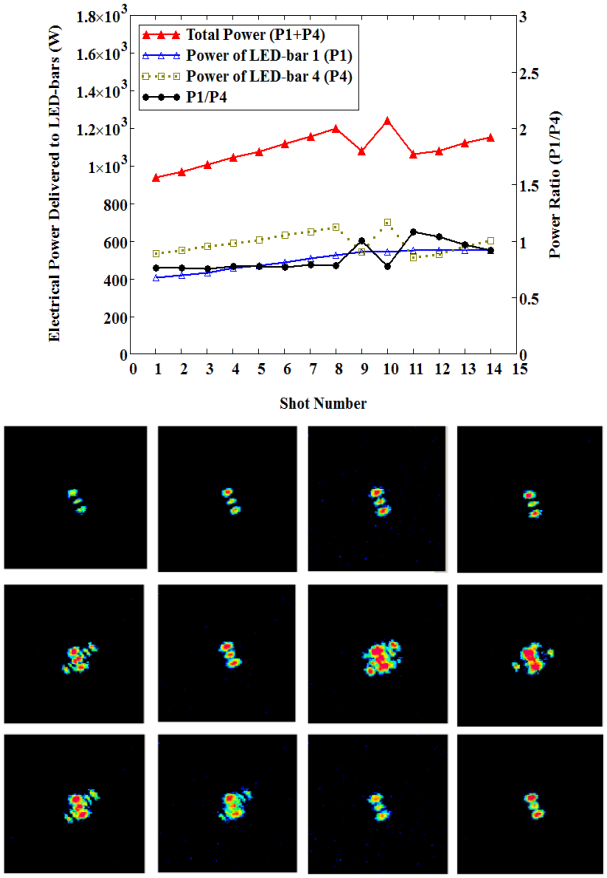
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-18]

یافته های تجربی

بررسی رفتار مد عرضی نوسانگر به کمک ثبت نمایه شدت مقطع عرضی باریکه لیزر، به وسیله دوربین نمایه سنج CCD مدلWincamDساخت شرکت Gentec به همراه صافی های نوری تضعیف کننده شدت و در فاصله ۲۵ سانتیمتری از آینه خروجی نوسانگر صورت گرفت. برای ثبت هر نمایه مدی تا ثبت نمایه بعدی ۹۰ ثانیه تاخیر زمانی جهت خنک سازی دیودهای نوری و رفع گرمایش لحاظ شد. جهت بررسی حساسیت نمایه مدی نوسانگر به توزیع شدت و توان کل نوری دمش، ابتدا نسبت تنها دو نوار دیود LB1 و LB3 که در مقابل یکدیگر قراردارند با توان تحریک کم و بیش برابر P۱/ P۳□۱ مورد استفاده قرار گرفت و LB2 و LB4 خاموش نگه داشته شد، شکل۳.



شکل۳: بالا) توان الکتریکی و نسبت توان تحویل شده به نوارهای دیودهای نور گسیل LB1 و LB3 . پایین) نمایه مدی $IG_{۶,۶}$ خروجی نوسانگر لیزر با تقارن زوج (اولین نمایه مدی ردیف اول، چپ) و تقارن فرد (سایر نمایه ها) به ازای توان دمش متناظر با نمودارهای بالا.



شکل۴: نظیر شکل ۳ برای نوارهای دیود نور گسیل LB1 و LB4 . نمایه های مدی $IG_{۲,۲}$ و $IG_{۶,۴}$ با تقارن زوج در تصاویر مشاهده می شود.

مشاهدات مشابهی نیز برای نوارهای دیود LB1 و LB4 که در مجاورت یکدیگر نصب شده اند، با خاموش نگه داشتن LB2 و LB3 صورت گرفت، شکل۴. در هر دو حالت علیرغم افزایش توان الکتریکی کل از حدود ۸۰۰ به ۱۱۰۰ وات، عملاً تغییرات قابل توجهی در نمایه اولیه مدی نوسانگر مشاهده نشد. مشاهدات بیشتر نشان دادند که با افزایش نسبت توان تحریک نوارهای دیود نوری LB3 و LB4 که در کنار یکدیگر قرار دارند تا P۳ / P۴□۲ و ثابت نگه داشتن توان کل در حد ۹۰۰ وات نیز نمایه مد عرضی نوسانگر پایدار و کم و بیش بدون تغییر باقی می ماند، شکل ۵. با فعال نگه داشتن ۳ نوار دیود نورگسیلLB1، LB2 و LB3 و افزایش همزمان توان کل تا ۱۲۰۰ وات و نسبت میانگین توان تحویل شده به نوارهای دیودی (P۱+P۲) / ۲ به نوار دیود نورگسیل سوم P۱۲/۲P۳ تا ۲/۵، تنها تغییر نمایه مدی از مد TEM.ع یا

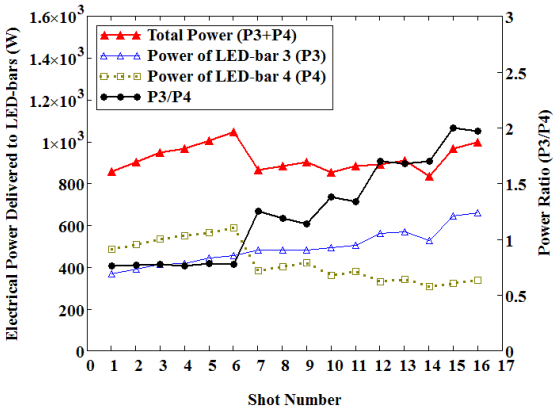
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

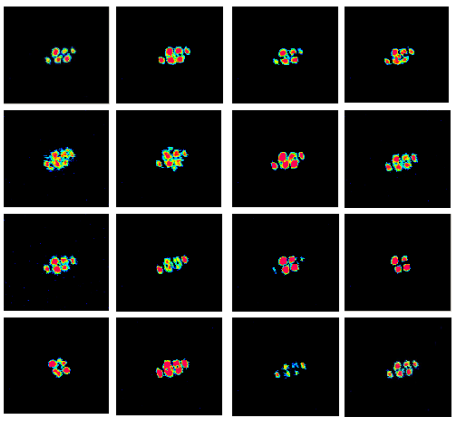
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-18]

$IG_{۶,۶}$به مد ترکیبی نزدیک به $TEM_{۱۴}$ و تثبیت آن از توان کل بیش از ۶۰۰ وات مشاهده شد، شکل ۶.

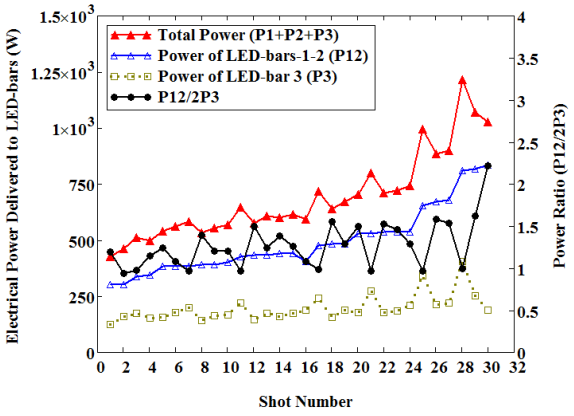
بحث و نتیجه‌گیری

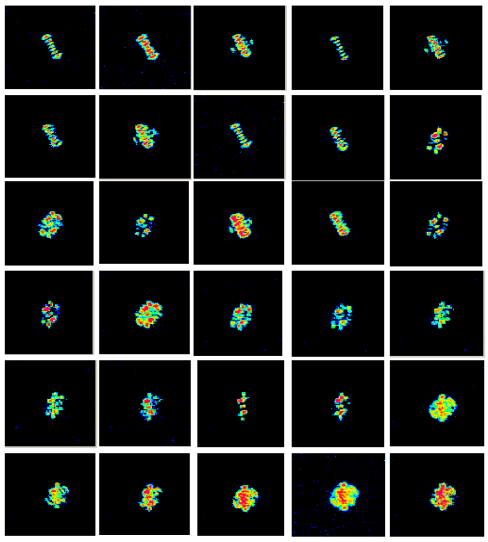
مشاهدات تجربی نشان می دهند که نوسانگر لیزر با دمش دیودهای نورگسیل و ساختار ساده ارائه شده برای جفت شدگی چشمه نوری دمش و محیط فعال از پایداری قابل توجهی در تولید نمایه های مد عرضی مراتب بالا برخوردار است. حساسیت ناچیز ساختار مدی به توزیع شدت و توان کل دمش، مزیت مهمی برای رویکرد مورد بحث جهت تولید پایدار و کاربردی مدهای عرضی اینس-گاوسی مراتب بالا به شمار می آید. تجربه نشان می دهد که در عمل با جهت دهی زاویه ای اولیه کوچکی میان صفحه های نوارهای دیود های نوری و سپس تنظیم توان نوارهای دیودها می توان به طیف گسترده ای از نمایه های مدی با پایداری مناسب دست یافت که نشانی از تاثیر توزیع شدت دمش بر ساختار نمایه مد عرضی نوسانگر است.





شکل۵: نظیر شکل ۴ برای نوارهای دیود نور گسیل LB3 و LB4 . نمایه های مدی $IG_{۲,۲}$ و $IG_{۳,۳}$ با تقارن زوج در تصاویر مشاهده می شود.





شکل۶: نظیر شکل ۵ برای نوارهای دیود نور گسیل LB1، LB2 و LB3 و نمایه های گوناگون مدی (به متن مراجعه شود).

مرجع‌ها

[1] P. Pichon , A. Barbet, D. Blengino , P. Legavre, T. Gallinelli , F. Druon , J.-P. Blanchot , F. Balembois, S. Forget, S. Chénais, P. Georges "High-radiance light sources with LED-pumped luminescent concentrators applied to pump Nd:YAG passively Q-switched laser", Optics and Laser Technology, Vol. 96, pp. 7–12, 2017.

[2] M.A. Bandres, J.C. Gutierrez-Vega, "Ince–Gaussian beams", Optics Letters, Vol. 29, No. 2, pp.144-146, 2004.

[3] M. Woerdemann, C. Alpmann, C. Denz, Optical assembly of micro-particles into highly ordered structures using Ince–Gaussian beams, Applied Physics Letters, Vol. 98 , pp. 111101-3, 2011.

[4] M. Tarkashvand, A. H. Farahbod, S.A. Hashemizadeh, "First demonstration of green and amber LED-pumped Nd:YAG laser", Laser Physics, Vol. 28, pp. 055801-7 , 2018.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-18]