بیست و چهارمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و
دهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۱۰ الی ۱۲ بهمن ۹۶ - دانشگاه شهرکرد
24th Iranian Conference on Optics and Photonics (ICOP 2018) and
9th Iranian Conference on Photonics Engineering and Technology (ICPET 2018)
Jan 30 - Feb 1 , 2018 - Shahrekord University

مشاهده تجربی نوسان لیزر Nd:YAG با دمش دیود نورگسیل سبز و نارنجی

مصطفی ترکاشوند[۱و۲]، امیر حسین فرهبد[۱*]، سید علی هاشمی زاده[۲]

[۱] پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، انتهای کارگر شمالی، تهران
[۲] دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران
[*] E_mail: afarahbod@aeoi.org.ir

چکیده - در این مقاله مشاهدات تجربی حاصل از دمش محیط فعال Nd:YAG توسط دیود های نور گسیل سبز(۵۲۰nm) و نارنجی (۵۹۲nm)، برای نخستین بار مورد بررسی قرار گرفته است. تشدیدگر نوسانگر از نوع پایدار نیم تخت با طول کلی ۱۴۰ mm است. نوسانگر لیزر با نرخ تکرار پایین در حد ۰/۱ Hz و رژیم کاری نوسان آزاد عمل می نماید. انرژی باریکه لیزر به ازای انرژی الکتریکی دمش ۲/۶ J (۰/۷)ناشی از LED سبز (نارنجی) برابر با ۱۰۷ µJ (۵۲ µJ) است و میخه های لیزر بسته به نرخ دمش، به فاصله ۲۸۰-۲۱۰ µs بعد از لبهٔ ابتدایی تپ دمش آغاز می شوند. همچنین نمایه مد عرضی تشدیدگر و بازدهی جذب تابش دمش مورد مطالعه قرار گرفته است.

کلید واژه- لیزر حالت جامد با دمش دیود نور گسیل، ساختار مد عرضی، بازدهی جذب

Experimental observation of green and amber LED-pumped Nd:YAG laser

M. Tarkashvand[1, 2], A.H. Farahbod[1*], S.A. Hashemizadeh[2]

[1] Department of laser-plasma interactions, NSTRI, Tehran, Iran
[2] Faculty of science, Payame Noor University, P.O. Box 19395-3697, Tehran, Iran.

Abstract- The experimental observations of a green (520 nm) and amber (592 nm) light emitting diode (LED) pumped Nd: YAG laser oscillation, for the first time is reported. The laser resonator is a stable semi-planar with a total length of 140 mm. Green (amber) LED-pumped laser has been produced 107 (52) µJ laser energy, at 2.6 (0.7) J electrical pump energy. The oscillator operates at low laser repetition rate (about 0.1 Hz) in free-running mode where spiking initiates about 210-280 µs after the leading edge of pump pulse. Moreover, the transverse mode profiles of resonator and pump absorption efficiency have been studied in some details.

Keywords: LED-pumped solid-state laser, transverse mode structure, absorption efficiency

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

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

۱- مقدمه

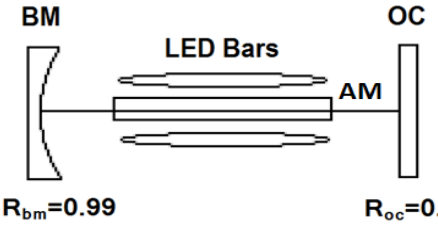
با اختراع دیود نور گسیل (LED) با تابش در ناحیه آبی بیناب در سال ۱۹۹۳ توسط ناکامورا و کاربرد گسترده آن در صنایع روشنایی[۱]، دمش محیط فعال لیزر های حالت جامد به کمک دیودهای نور گسیل به دلیل افزایش فزاینده کارآیی و بازدهی دیودهای نور گسیل مجدداً مورد توجه قرارگرفته است. ارزانی، ولتاژ کاری پایین، کاهش گرمای ایجاد شده در محیط فعال، کیفیت بالای پرتو خروجی لیزر، عمر بالا و همچنین سبکی و حجم کم از مزایای دمش نوری محیط فعال لیزر به کمک LED به شمار می رود. البته بیشینه توان نوری LED ها بمراتب کوچکتر از لامپ های درخش است و در حال حاضر تنها می توان از آنها برای نوسانگر و تقویت کننده های کیفی و کم توان لیزر استفاده نمود.

در حال حاضر دیودهای نور گسیل به عنوان منابع نوری دمش لیزر، به دلیل طول عمر بالا، ارزانی و پایداری عالی مورد توجه قرار دارند. بلور های حالت جامد آلاییده با عناصر نادر خاکی مانند Nd:YAG، Nd:Ce:YAG، $Nd:YVO_4$ و فلزات گذار نظیر Ti:Sapphire، توسطLED های با قله تابش در طول موج ۷۵۰ (۸۵۰ و۴۵۰) نانومتر برای دمش محیط بهره لیزر با انرژی خروجی از مرتبه میکرو ژول تا میلی ژول و بهرهٔ اپتیکی حدود ۰/۵٪ مورد استفاده قرار گرفته اند [۴-۲].

در این پژوهش، برای نخستین بار نوسان لیزر Nd:YAG با دمش نوارهای LED با قله تابش در طول موج ۵۲۰ (سبز) و ۵۹۲ (نارنجی) نانومتر مورد بررسی قرار گرفته است. لیزر در حالت نوسان آزاد و مد عرضی مراتب بالا و انرژی خروجی ۵۰μJ و ۱۰۰μJ به ترتیب با دمش در ناحیه طول موج سبز و نارنجی عمل می نماید. جهت مقایسه، محیط فعال Nd:Ce:YAG با ابعاد هندسی مشابه و نوار های LED با تابش در ناحیه آبی با طول موج مرکزی ۴۶۰nm، خروجی با مد عرضی گوسی $TEM_{o,o}$ و انرژی ۲۲۰ میکرو ژول به دست آمد.

۲- آرایش تجربی

برای چیره شدن بر اتلاف نوری ناشی از پراش، جذب و گذردهی آینه ها، یک تشدیدگر کوچک با طول هندسی L_g، ۱۴۰mm، و آیینه های با انعکاس بالا استفاده شد، شکل۱. آینهٔ عقب(BM) تشدیدگر یک آینهٔ کروی با شعاع ۵۰۰mm و آینهٔ خروجی(OC) تخت است. بازتابندگیBM وOC درnm ۱۰۶۴ به ترتیب R_{bm}= ۰/۹۹ و R_{oc}=۰/۹۳ است. میله لیزر(AM) از جنس Nd:YAG با چگالی یک درصد اتمی Nd^{3+}، طول کلی L_r = ۵۸mm و قطر میله $2a_r$ =۳ mm است.



شکل ۱: آرایش نوسانگر لیزر Nd:YAG با دمش دیود نور گسیل.

چهار نوارLED به طور عرضی میله لیزر را مورد تابش قرار می دهند. هر نوار LED از دو قطعه تشکیل شده است که خود شامل دو ردیف LED به فاصلهٔ ۳ میلیمتر از یکدیگر می باشد. تعداد دیودهای نور گسیل سبز(نارنجی) هر نوار برابر با ۳۲(۴۰) است. قطعات LED با طول موج ۵۲۰nm بخش سبز رنگ ماتریس LED های سه رنگ RGB کارخانه EPILEDS، نوع NE-50WFGB-8C6B است که پس از برش، اتصالات الکتریکی میان آنها برقرار، و به صورت مناسبی در کنار یکدیگر نصب شده اند تا میله لیزری را به طور عرضی مورد تابش قرار دهند، شکل۲. LED های نارنجی نیز از ماتریس دیود های نور گسیل NE-50WYGB-10C5 شرکت EPILEDS تهیه شده است.

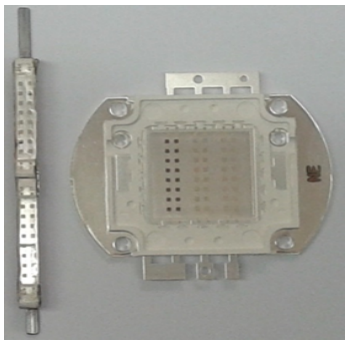
جریان تخلیه دیودهای نور گسیل یک تپ تقریباً مربعی سر تخت به طول مدت τ_p= ۳۱۲ μs است که پهنای آن طولانی تر از طول عمر تراز بالایی Nd^{3+} در گارنت τ_p= ۲۴۰μs است. انرزی دمش E_p با استفاده از رابطهٔ

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

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

(۱) به دست می آید که در آن V_{ch} ولتاژ شارژ بانک خازنی و I_p جریان کل عبوری از LED ها است.

$$E_p = \tau_p V_{ch} I_p \qquad (۱)$$



شکل۲: نمونه نوار LED تهیه شده(چپ)، از ماتریس RGB دیود های نور گسیل(راست).

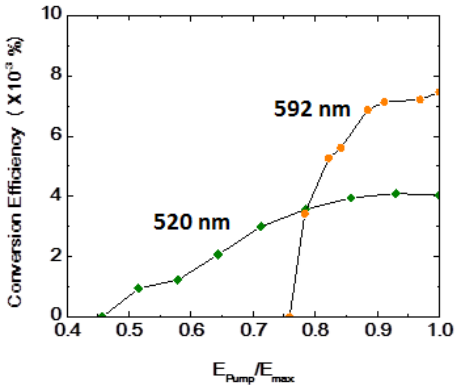
جفت شدگی پرتو های خروجی از LED ها با سطح خارجی میلهٔ لیزر به قطر ۳ mm با توجه به واگرایی تمام زاویهٔ حدود ۱۲۰ درجه دیودهای نوری، از اهمیت بسیاری برخوردار است. سطح خارجی میلهٔ لیزر در نزیک ترین فاصله ممکن، حدود ۱ mm از سطح تابشی نوار LED ها قرار دارد. طراحی و تلاش ویژه ای برای خنک سازیLED ها انجام نگرفته است لذا برای جلوگیری از گرمایش بیش از حد و آسیب به LED ها، مدار تخلیه با نرخ تکرار پایین، در حدود ۰/۱ Hz به کار گرفته شده است.

۳- بازدهی جذب پرتوهای دمش

برای مقایسه میان انواع مختلف LED به عنوان منابع دمش، مطابق رابطهٔ (۲) بازدهی جذب تابش های دمش را برای برشی از محیط فعال تعریف کردیم که در آن $\alpha(\nu)\ (cm^{-1})$ ضریب جذب وابسته به فرکانس تابش، ρ ضخامت و $I(\nu)$ توان طیفی چشمه دمش می باشد. برای دمش یکنواخت و بدون هر گونه توزیع زاویه ای پرتو تابش، بازدهی جذب، η، با رابطه (۲) تعریف می شود.

$$\eta = \int_0^\infty I(\nu)(1-e^{-\alpha(\nu)\rho})d\nu \Big/ \int_0^\infty I(\nu)d\nu \qquad (۲)$$

برای محاسبهٔ عددی انتگرال معادلهٔ (۲) از توان طیفیLED های سبز و نارنجی ارائه شده از سوی کارخانه سازنده و ضریب جذب طیفی Nd:YAG، استفاده شده است. نتایج محاسبات برای محیط Nd:YAG با ضخامت $\rho = ۳$ mm که در شکل ۳ آمده است نتایج نشان می دهند که LED های نارنجی با قلهٔ تابش در ۵۹۲ نانومتر از نظر جذب تابش نسبت به LED های سبز دارای برتری است. اما ویژگی های ضعیف الکتریکی LED های نارنجی، سبب می شود که انرژی کل دمش بسیار کمتر از LED های سبز باشد.



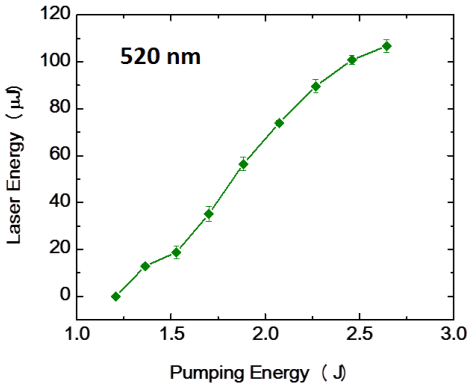
شکل۳: بازدهی تبدیل انرژی برحسب انرژی بهنجار شده دمش برای LED با گسیل در ۵۲۰ (سبز) و ۵۹۲ (نارنجی) نانومتر.

۴- مشاهدات تجربی

شکل ۴ انرژی باریکه لیزر را برحسب انرژی الکتریکی دمش برای LED سبز در ۵۹۲ نانومتر نشان می دهد. برای اندازه گیری انرژی لیزر از یک فوتو دیود PIN کالیبره شده استفاده شده است. بیشینه انرژی اپتیکی لیزر ۱۰۷ µJ می باشد، که به ازای انرژی دمش ۲/۶J به دست آمده است. بیشینه انرژی لیزر برای دمش با LED های نارنجی و انرژی دمش ۰/۷ J نیز برابر با ۵۲ µJ است. در شکل۴ بازده تبدیل انرژی لیزر به انرژی دمش E_{laser}/E_P بر حسب انرژی دمش بهنجارشده E_P/E_{max}، برای دو طول موج دمش ترسیم شده است که جذب بیشتر تابش های نارنجی خود را به صورت بازدهی بهتر دمش نشان می دهد.

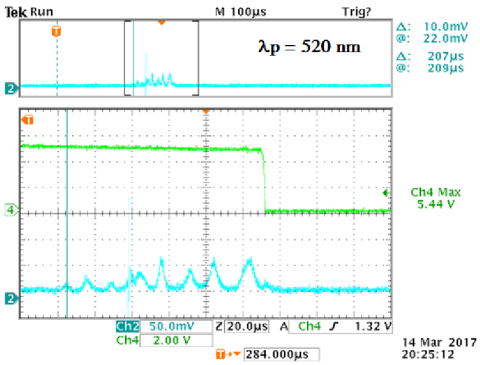
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

رفتار زمانی میخه های لیزر برای طول موج دمش ۵۲۰ نانومتر در شکل ۵ آورده شده است، که در آن جریانLED ها ۵۴/۴A و پهنای زمانی تپ دمش برابر با ۳۱۲µs است. زمان لازم برای آغاز نوسان لیزری نسبت به لبهٔ ابتدائی جریان دمش، یا به عبارت دیگر زمان ایجاد اولین میخهٔ لیزری ۲۰۹ میکروثانیه پس از آغاز پالس جریان دیودهای نور گسیل است.



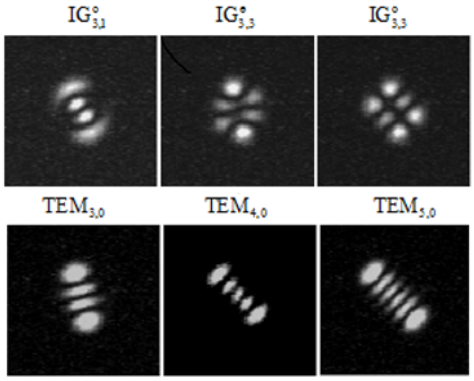
شکل۴: انرژی باریکه لیزر برحسب انرژی دمش برای LED با گسیل در ۵۲۰ (سبز) نانومتر.

برخی از نمایه های مدی لیزر مشاهده شده در فاصلهٔ cm ۱۳ از آینهٔ خروجی لیزر و با انرژی دمش کم و بیش برابر در شکل ۶ نشان داده شده است. مدهای اینس-گوسی [۶ و ۵] و مدهای هرمیت- گوسی مرتبه بالا با مختصر تفاوت در نامیزانی آینه های تشدیدگر قابل دستیابی است. دلیل به وجود آمدن مد اینس-گوسی، علاوه بر نامیزانی نوری، تعداد و محل قرار گرفتن نوارهای LED



شکل۵: رفتار زمانی میخه های لیزر (آبی) برای LED با گسیل در ۵۲۰ نانومتر. بخش انتهایی پالس جریان (سبز) با دامنه ۵۴/۴ آمپر.

است که موجب بروز نا یکنواختی نسبی دمش محیط فعال می شود.



شکل۶: نمایه های تجربی مشاهده شده برای شدت مدی لیزر برای دمش در ۵۹۲ نانومتر با تفاوت جزیی در نامیزانی تشدیدگر نوری.

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای اولین بار، دمش لیزرNd:YAG توسط دیود های نور گسیل سبز و نارنجی با مرتبهٔ تکرار پایین(در حد ۰/۱ Hz) بررسی، و ساختار مدی لیزر و تأثیر مولفه های منابع دمش بر آن مورد مطالعه قرار گرفته است. ازآنجا که منبع دمش LED برای ایجاد تپ های لیزری دلخواه، به آسانی قابل کنترل هستند، این امر می تواند به ابداع فناوری های جدیدی در حوزهٔ لیزر های حالت جامد منجر شود.

مراجع

[1] Bhardwaj J., Cesaratto J.M., Shchekin O.B., Soer W.A., Götz W., Bonné R., Song Z.F., Breejen J.: Progress in LED technology for solid-state lighting, Proc. SPIE 10124, Light-Emitting Diodes: Materials, Devices, and Applications for Solid State Lighting XXI, 1012417 (2017).

[2] Barbet A., Balembois F., Paul A., Blanchot J.P., Viotti A.L., Sabater J., Druon F., Georges P.: Revisiting of LED pumped bulk laser: first demonstration of Nd:YVO_4 LED pumped laser, Opt. Lett. **39**, 6731 (2014).

[3] Villars B., Hill E.S., Durfee C.G.: Design and development of a high-power LED-pumped Ce:Nd:YAG laser, Opt. Lett. **40**, 3049 (2015).

[4] Huang K.Y., Su C.K., Lin M.W., Chiu Y.C., Huang Y.C.: Efficient 750-nm LED-pumped Nd:YAG laser, Opt. Express **24**, 12043 (2016).

[5] Bandres M.A., Gutiérrez-Vega J.C.: Ince–Gaussian beams, Opt. Lett. **29**, 144 (2004).

[6] Bandres M.A., Gutiérrez-Vega J.C.: Ince–Gaussian modes of the paraxial wave equation and stable resonators, J. Opt. Soc. Am. A **21**, 5, 873 (2004).

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]