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

تقویت کننده نوری چند عبوری Ce:Nd:YAG با دمش دیود نورگسیل

سمیرا تاج آبادی[۱]، امیر حسین فرهبد*[۲]، فائزه حکم 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

چکیده– ویژگی های آرایش نوری ویژه ای متشکل از یک نوسانگر لیزر سوییچ Q با محیط فعال Ce:Nd:YAG و دمش دیودهای نورگسیل با تابش بینابی سفید، به همراه یک تقویت کننده چهار عبوری با محیط فعال Ce:Nd:YAG و دمش دیودهای نور گسیل در ناحیه بینابی آبی مورد مطالعه تجربی و محاسبه قرار گرفت. نتایج محاسبات نشان می دهند که طی چهار عبور تپ نوسانگر با انرژی در محدوده ۱۰ الی ۱۰۰ میکرو ژول و پهنای زمانی ۱۲۰ نانوثانیه به ازای ضریب اولیه بهره $\approx ۰/۰۱۵\ cm^{-۱}$ تقویت کننده، بهره در حد ۱/۳ حاصل می شود که با مشاهدات تجربی سازگار است. علاوه بر آن، محاسبه نشان می دهد که آرایش تقویت کننده با دو محیط فعال و ۷ عبور از میان محیط های فعال می تواند سبب ارتقای بهره تا ۱/۶ شود.

کلید واژه- تقویت کننده نوری چند عبوری، لیزر با دمش دیود نور گسیل، محیط فعال Ce:Nd:YAG

LED-pumped Ce:Nd:YAG Multi-pass Optical Amplifier

Samira Tajabadi[1], Amir Hossein Farahbod*[2], Faezeh Hokmabadi[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

Abstract- Characteristics of a special design optical configuration where consist of a white light LED-pumped Q-switched Ce:Nd:YAG laser oscillator and a four-pass blue light LED-pumped Ce:Nd:YAG optical amplifier is studied experimentally and calculated numerically. The results of calculations show that a 120 ns laser pulse in the range of 10-100 microjoules, after four pass and the amplifier initial gain coefficient $\approx 0.015\ cm^{-1}$, the gain is 1.3, that is consistent with the experimental observations. Moreover, the numerical results show that a seven-pass amplifier with two active medium increases the gain up to 1.6.

Keywords: Multi-pass optical amplifier, LED-pumped laser , Ce:Nd:YAG active medium

مقدمه

محیط های فعال لیزر با دمش دیودهای نور گسیل اخیراً مورد توجه پژوهشگران فناوری لیزر قرار گرفته است [۱-۴]. تولید دیودهای نور گسیل پر توان و با دوام در گستره وسیعی از بیناب از ناحیه آبی تا مادون قرمز نزدیک[۵]، امکان دمش موثر و اطمینان بخش محیط

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

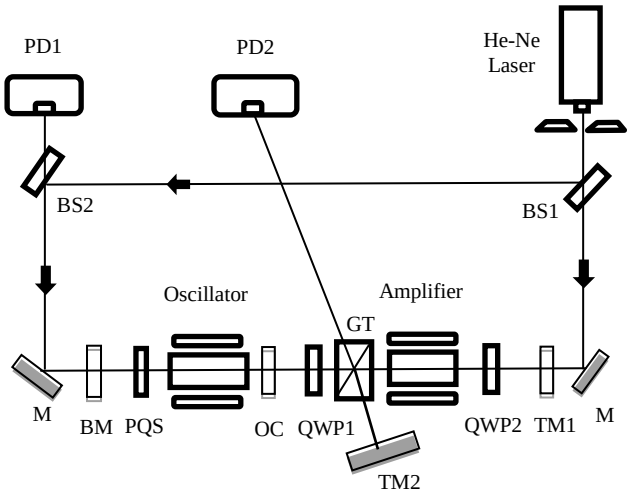
[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-22]

های بهره حالت جامد نظیر Nd:YAG، Ce:Nd:YAG، $Nd:YVO_4$ و Nd:KGW را فراهم آورده است.

نوسانگرهای لیزر با دمش دیودهای نورگسیل به دلیل عدم وجود ضربه و امواج اکوستیکی حاصل از دمش با لامپ درخش می توانند از پایداری و کیفیت بسیار مناسبی برخوردار باشد. با اینحال غالباً انرژی خروجی نوسانگرهای با دمش دیودهای نور گسیل از مرتبه ۰/۱ الی ۱ میلی ژول است و نیازمند تقویت شدن می باشند[۶].

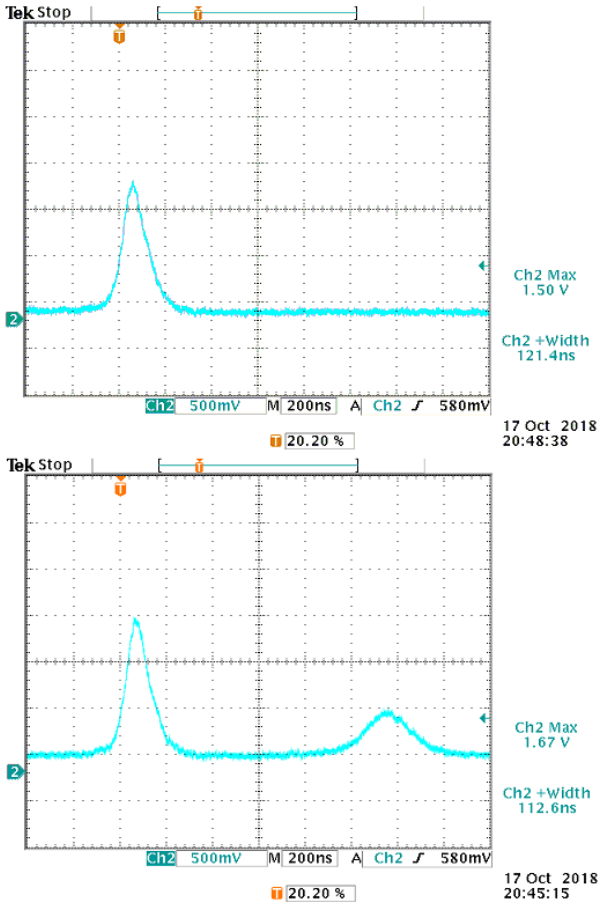
ساختار تجربی

نوسانگر-تقویت کننده مورد بررسی با دمش دیودهای نور گسیل، متشکل است از یک نوسانگر با محیط فعال Ce:Nd:YAG با دمش ۶۴ دیود نور گسیل سفید ۱۰ واتی، و تقویت کننده چهار عبوری با محیط فعال از جنس بلورCe:Nd:YAG با دمش ۱۲۸ دیود نور گسیل آبی ۱ واتی در ناحیه ۴۶۰ نانومتر، شکل۱.



شکل ۱: آرایش نوری نوسانگر-تقویت کننده ۴ عبوری با دمش دیود نور گسیل. PD آشکارساز دیود نوری، GT قطبی کننده گلن تامسون، BS شکافنده پرتو، PQS سوییچ کیو انفعالی، TM آینه با پوشش دی الکتریک تمام بازتابان، OC آینه حروجی نوسانگر، BM آینه عقبی نوسانگر، M آینه با پوشش آلومینیم، QWP تیغه ربع موج.

ساختار نوری نوسانگر از دو آینه کروی عقبی و خروجی با شعاع انحنای ۳۰۰ سانتیمتر با ضریب بازتابندگی ۹۷ درصد در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر، به ترتیب BM و OC، که به فاصله ۱۵ سانتیمتر از یکدیگر قرار گرفته اند و دو تیغه سوییچ Q از جنس Cr^{+4}:YAG هر یک با تراگسیل اولیه ۹۶ درصد تشکیل یافته است که به صورت متوالی در کنار آینه عقب نوسانگر قرار گرفته اند. فرایند دمش نوسانگر با یک تپ مربعی ۳۱۰ میکروثانیه ای صورت می گیرد که در پی آن یک الی دو تپ سوییچ Q با پهنای ۱۰۵ الی ۱۳۰ نانوثانیه به فاصله حدود ۲۷۰ میکروثانیه از لحظه آغاز دمش پدید می آید، شکل ۲. پهنای جریان برای دیودهای نورگسیل تقویت کننده ۶۰۰ میکروثانیه است و تنظیم زمانی میان لحظه دمش محیط فعال نوسانگر و تقویت کننده برای دریافت بیشینه تقویت تپ به نحوی تنظیم شده است که تپ سوییچ Q نوسانگر پس از ۵۹۰ میکروثانیه از آغاز دمش تقویت کننده از آن عبور نماید.



شکل۲: نمونه هایی از رفتار زمانی تپ خروجی از نوسانگر. بالا) تک تپ، پایین) دو تپ که به فاصله ۱/۱ میکروثانیه از یکدیگر پدید آمده اند. پهنای نخستین تپ در دو تصویر به ترتیب در حد ۱۲۱ و ۱۱۳ نانوثانیه می باشد.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-22]

باریکه ناقطبیده خروجی نوسانگر پس از عبور از قطبی کننده GT به دو باریکه همسان با قطبش متعامد تقسیم می شود که باریکه عبوری پس از تقویت و عبور از محیط فعال و تیغه ربع موج QWP2 از آینه TM1 باز می تابد و با عبور مجدد از QWP2 با تغییر قطبش و عبور دوم از تقویت از GT خارج و پس از بازتاب از TM2 مسیر طی شده را مجدداً در جهت مخالف پیموده و پس از دو عبور دیگر از تقویت کننده از GT عبور کرده و پس از بازتابش از OC و دو عبور از QWP1 از GT خارج می شود و به آشکارساز PD2 وارد می شود. به دلیل یکسان بودن آینه های نوسانگر و برای مقایسه تپ خروجی تقویت کننده با آن نمونه ای از تپ لیزر نوسانگر به کمک آینه M به سوی آشکارساز PD1 هدایت می شود. فاصله OC از TM1، ۳۳ سانتیمتر، و فاصله TM2 از مرکز GT، ۱۰ سانتیمتر است.

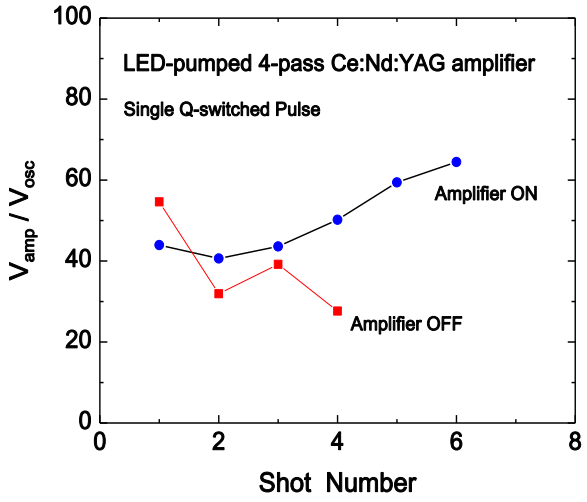
برای هم محورسازی و تنظیم نوری نوسانگر-تقویت کننده، از باریکه یک لیزر He-Ne که پس از تقسیم به کمک شکافنده پرتو BS1 و هدایت پرتوهای حاصل به کمک آینه های M و BS2 در دو سوی مخالف در راستای محور نوری نوسانگر و تقویت کننده انتشار می یابند و بررسی بازتابش آنها از سطوح نوری قطعات استفاده شده است.

یافته های تجربی

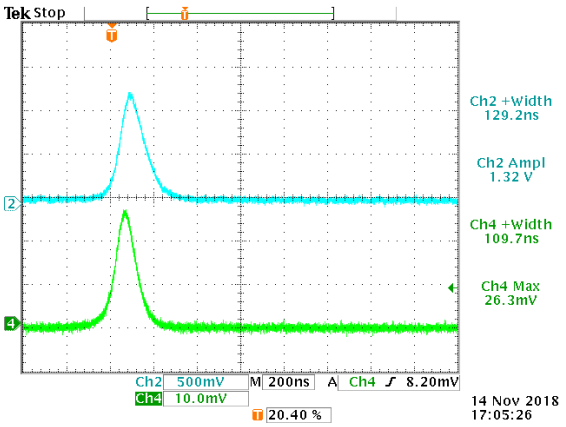
جهت بررسی رفتار تقویت کننده، نسبت دامنه تپ خروجی از تقویت کننده به دامنه تپ ورودی به آن، در دو حالت که در آن دمش محیط فعال تقویت کننده صورت می گیرد $(V_{amp} / V_{osc})_{ON}$، و حالتی که تقویت کننده خاموش است $(V_{amp} / V_{osc})_{OFF}$، اندازه گیری شد. به دلیل متفاوت بودن حساسیت آشکارسازهای PD1 و PD2، از نسبت میانگین دامنه سیگنال های ثبت شده در دو حالت اخیر مطابق با رابطه (۱) برای محاسبه بهره تقویت کننده استفاده شد تا نیازی به فرایند مشکل کالیبره نمودن آشکارسازها بر حسب انرژی تپ لیزر نباشد. در تمام حالت ها تنها یک تپ سوییچ Q با میانگین پهنای زمانی ۱۲۰ نانوثانیه از تقویت کننده عبور می نماید.

$$G=(V_{amp} / V_{osc})_{ON} / (V_{amp} / V_{osc})_{OFF} \quad (۱)$$

با تحلیل داده های نمودارهای شکل ۳، و استفاده از رابطه (۱)، میانگین بهره تقویت کننده بدست می آید: $\langle G\rangle=۱/۳۱۴\pm۰/۱۵۴$. شکل ۴ نمونه ای از رفتار زمانی تپ ورودی و تپ خروجی تقویت کننده را نشان می دهد.



شکل۳: رفتار نسبت دامنه تپ خروجی از تقویت کننده به دامنه تپ ورودی به آن در دو حالت بدون دمش تقویت کننده (Amplifier OFF)، و با دمش تقویت کننده (Amplifier ON). در هر دو حالت تک تپ لیزر از ساختار نوری تقویت کننده عبور نموده است.



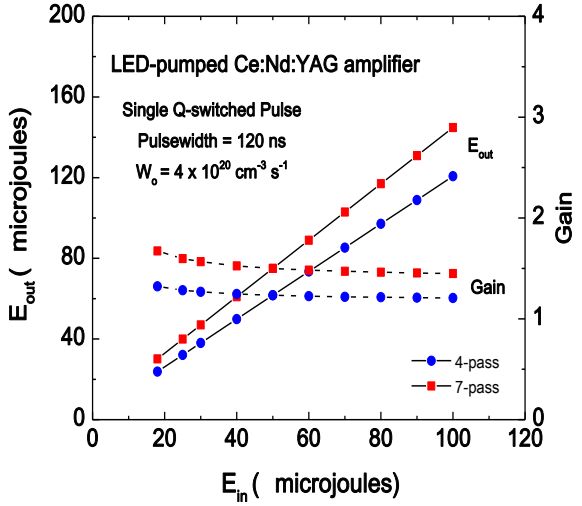
شکل۴: نمونه رفتار تپ خروجی از تقویت کننده (آبی، بالا) و تپ ورودی به آن (سبز، پایین).

به دلیل عدم نصب خنک کننده بر روی دیودهای نورگسیل نوسانگر و تقویت کننده، جهت عدم وارد آمدن آسیب ناشی از گرمایش حاصل از تخلیه الکتریکی بانک

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-22]

خازنی دمش درون مجموعه دیودهای نورگسیل، میان اندازه گیری دو داده متوالی ۲۱۰ ثانیه فاصله زمانی برای خنک سازی طبیعی اتصالات نیم رسانای دیودها لحاظ شد. بدین ترتیب ثبت داده های تجربی فراوان جهت بررسی کمی دقیق ویژگی های تقویت کننده تحت شرایط گوناگون مقدور نشد.



شکل۵: نتایج حاصل از محاسبه عددی برای تقویت کننده ۴ و ۷ عبوری به ترتیب با یک و دو محیط فعال با نرخ دمش $W_0 \approx ۴\times۱۰^{۲۰}\ cm^{-۳}s^{-۱}$ برای هر محیط فعال، به ازای تپ ورودی گاوسی با پهنای ۱۲۰ نانوثانیه.

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، رفتار تقویت کننده ۴ عبوری حالت جامد Ce:Nd:YAG مورد مطالعه قرار گرفت و ضریب بهره در حد ۱/۳ برای تک تپ با نمایه زمانی کم و بیش گاوسی با انرژی ۳۰≈ میکروژول با پهنای ۱۲۰±۱۰ ns بدست آمد. نتایج حاصل با آنچه از مدل محاسباتی بر پایه حل معادلات نرخ وابسته به زمان و مکان در راستای انتشار تپ لیزر بدست می آید سازگار است[۸]، شکل ۵. محاسبه نشان می دهد که افزودن محیط فعال دوم میانQWP1 و قطبی کننده GT به ازای نرخ دمش برابر با وضعیت موجود $W_0 \approx ۴\times۱۰^{۲۰}\ cm^{-۳}s^{-۱}$ معادل با ضریب بهره $g_0 \approx ۰/۰۱۵\ cm^{-۱}$، که به حدود ۳۰ میکروژول انرژی خروجی برای نوسانگر منجر می شود، سبب افزایش تعداد عبورهای همراه با تقویت تپ از ۴ به ۷ و افزایش ضریب بهره تا ۱/۶ خواهد شد، شکل ۵. افزایش بیشتر عبورها از مرتبه ۱۰۰ برای تقویت تپ های ورودی کم انرژی، مستلزم استفاده از سوییچ های الکترواپتیکی به روش تقویت کننده های احیاگر برای به تله انداختن نور میان محیط های بهره و سپس خارج نمودن باریکه تقویت شده در لحظه مناسب می باشد [۹].

مرجع‌ها

[1] A. Barbet, F. Balembois, A. Paul, J.P. Blanchot, A.L. Viotti, J. Sabater, F. Druon, P Georges. “Revisiting of LED pumped bulk laser: first demonstration of Nd:YVO_4 LED pumped laser”, Opt. Lett. Vol. 39, No. 23, pp. 6731-6734, 2014.

[2] K.Y. Huang, C.K. Su, M.W. Lin, Y.C. Chiu, Y.C. Huang, “Efficient 750-nm LED-pumped Nd:YAG laser”, Opt. Express Vol. 24, No. 11, pp. 12043-12054, 2016.

[3] 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.

[4] C. Jung, J. Yi, B. Lee, S. Lee, J. Lim, W. Jung, K. Kim, “Lasing Characteristics of a LED-Pumped Nd:KGW Laser”, New Physics: Sae Mulli, Vol. 68, No. 4, pp. 477-485, 2018.

[5] J. Bhardwaj, J.M. Cesaratto, O.B. Shchekin, W.A. Soer, W. Götz, R. Bonné, Z.F. Song, J. Breejen, “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.

[۶] مصطفی ترکاشوند، امیر حسین فرهبد، "مطالعه تجربی تقویت کننده Nd:YAG با دمش دیود نوری" چهارمین کنفرانس لیزر و کاربردهای آن، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ۱۲-۱۳ آبان ۱۳۹۵.

[7] P. Pichon, A. Barbet, J. P. Blanchot, F. Druon, F. Balembois, P. Georges, “LED-pumped alexandrite laser oscillator and amplifier”, Opt. Lett., Vol. 42, No. 20, pp. 4191-4194, 2017.

[8] L.M. Frantz, J.S. Nodvik “Theory of Pulse Propagation in a Laser Amplifier”, J. Appl Phys. Vol. 34, No.8 , pp. 2346-2349, 1963.

[9] W.H. Lowdermilk, J.E. Murray, “The multipass amplifier: Theory and numerical analysis”, J. Appl. Phys. Vol. 51, No. 5, pp. 2436-2444, 1980.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-22]