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

طراحی و شبیه سازی لیزر پالسی Nd:YAG بر پایه ساختار نوسانگر-تقویت کننده

سومر حمیدی[۱]، عباس ملکی[۱]، یاسر نجفی ودود[۱]، مجید بابایی[۱]، حسن عبادیان[۱]

[۱]شاهین شهر،دانشگاه صنعتی مالک اشتر،پژوهشکده علوم و فناوری اپتیک و لیزر

yasern253@gmail.com

چکیده - در این مقاله به طراحی لیزرپالسی Nd:YAG توان بالا با ساختار نوسانگر-تقویت‌کننده به روش دمش دیودی پرداخته‌شده است. در این مقاله از یک طبقه نوسانگر باانرژی خروجی ۳۰۰ میلی ژول با پهنای پالس ۱۳ نانوثانیه به‌عنوان منبع اصلی و سه طبقه تقویت‌کننده تک بار عبور استفاده‌شده است که درنهایت انرژی ۳ ژول در طول‌موج ۱۰۶۴ نانومتر حاصل‌شده است.ضریب بهره کل در طبقات تقویت کننده ۱۰ و بازده نوری به نوری در کل سامانه لیزر۳۰ درصد به دست آمده است.

کلید واژه-نوسانگر،تقویت کننده،ضریب تقویت،انرژی اشباع

Design and Simulation of pulsed Nd:YAG laser based on Master Oscillator Power Amplifier (MOPA) structure

Sommer Hamede, Abbas Maleki, Yaser Najafi vadod, Majid Babaei Tuski , Hassan Abadian

Shahin Shahr, Malek Ashtar University of Technology, Optics and Laser Science and Technology Research Center

yasern253@gmail.com

Abstract- In this paper design of a high-power pulsed Nd:YAG laser in oscillator-amplifier structure by diode pumping method has been presented. In this paper, an oscillator stage with an output energy of 300 mJ with a pulse width of 13 nanoseconds is used as the main source and three stages of single-pass amplifier, which finally produces 3 joules of energy at a wavelength of 1064 nm. The total gain coefficient in the amplifier stages is 10 and the optical to optical efficiency is obtained in the whole 30% laser system.

Keywords:Oscillator,Amplifier, gain coefficient, saturation energy

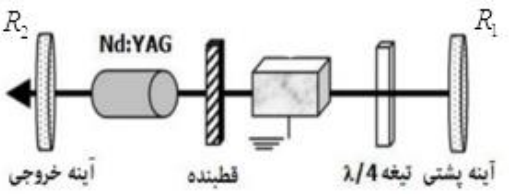
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

مقدمه

در حال حاضر با استفاده از روش نوسانگر- تقویت کننده ، لیزرهای پرانرژی پالسی تولید می کنند[۱,۲].این نوع لیزرها در حوزه های مختلف علمی،پزشکی، صنعتی و نظامی مورد استفاده قرار می گیرند[۵-۳]. جهت افزایش انرژی پالس لیزرهای حالت جامدی همچون Nd:YAG از طبقات تقویت کننده یک بار عبور یا دو بار عبور بهره می برند[۶,۷]. در این مقاله ساختار MOPA که شامل یک طبقه نوسانگر با انرژی خروجی ۳۰۰ میلی ژول و سه طبقه تقویت کننده که انرژی نوسانگر را به ۳ ژول افزایش می دهند طراحی شده است.

نوسانگر لیزر

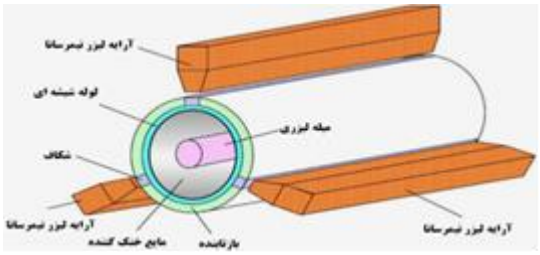
جهت طراحی طبقات تقویت کننده و بهینه سازی بازده تقویت، انتخاب نوسانگر مناسب که کیفیت پرتو بالایی داشته باشد بسیار مهم می باشد. در این مقاله از نوسانگر، مطابق شکل زیراستفاده شده است:



شکل(۱): بخش نوسانگر لیزری

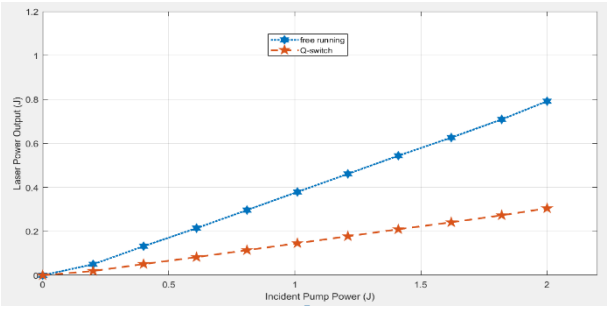
در شکل(۱) $R_1 = 3m$ و $R_2 = 4m$ و طول مشدد $55cm$ در نظر گرفته شده است.

در این لیزر از میله Nd:YAG با طول ۱۱۰ میلی متر و قطر ۶/۳ میلی متر با درصد دوپ Nd^{+3} ۱/۱٪ استفاده شده است. جهت دمش محیط فعال لیزری از لیزر دیودهای پالسی که دارای انرژی ۲ژول در طول موج ۸۰۸ نانو متر هستند،استفاده شده است. در شکل (۲)، طرحواره ای از محفظه دمش ۳ طرفه مشاهده می گردد:



شکل۲:طرحواره ای از طرح دمش ۳ طرفه محفظه دمش نوسانگر

در شکل (۳)، نمودار انرژی خروجی نوسانگر در حالت رانش آزاد و کلید زنیQ نشان داده شده است:



شکل ۳ : انرژی نوری خروجی نوسانگر برحسب انرژی نوری دمشی مختلف

لازم به توضیح است که در نوسانگر از سلول الکترواپتیکی برای فرآیند کلیدزنیQ استفاده شده است.

طبقات تقویت کننده

در لیزرهای پرتوان صنعتی و نظامی جهت افزایش انرژی لیزر از تقویت‌کننده یک‌بار عبور و یا چند بار عبور استفاده می شود[۷]. تعداد طبقات به میزان انرژی و رژیم کاری لیزر بستگی دارد. در طراحی طبقات تقویت کننده جهت دست یابی به انرژی بیشینه، با به‌کارگیری تلسکوپ بین طبقات، قطر لکه پرتو خروجی از طبقه نوسانگر با دهانه طبقه تقویت کننده منطبق می شود. . فرآیند تقویت انرژی تپ نوری لیزر و همچنین میزان تقویت به‌وسیله ضریب بهره تقویت (G) نشان داده می شود. در حالت کلی تقویت انرژی تپ های لیزری در دو حالت نمایی و خطی انجام می شود که به میزان چگالی انرژی ورودی به طبقه تقویت‌کننده در مقایسه با چگالی اشباع محیط فعال تقویت‌کننده بستگی دارد. اگر

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

چگالی انرژی (انرژی در واحد سطح) پرتو ورودی به طبقه تقویت کننده از چگالی انرژی اشباع محیط فعال لیزری کوچک‌تر باشد، تقویت نمایی و چنانچه چگالی انرژی پرتو ورودی از شدت اشباع محیط فعال بزرگ‌تر باشد تقویت به شکل خطی انجام می شود[۷].

انرژی ذخیره‌شده در تراز بالایی (Estored برحسب ژول)، میزان اشباع محیط فعال تقویت‌کننده (Esaturation برحسب J/cm^2) و چگالی انرژی ذخیره‌شده در واحد حجم محیط فعال (Jst) به ترتیب از روابط زیر محاسبه می شود[۷]:

$$E_{stored} = nh\nu_p \qquad (۱)$$

$$E_{saturation} = \frac{h\nu_p}{\sigma} = \frac{J_{st}}{g_0} \qquad (۲)$$

$$J_{st} = \frac{E_{st}}{V_R} \qquad (۳)$$

در روابط بالا n چگالی وارونگی جمعیت، $h\nu_p$ انرژی نوری دمش، σ سطح مقطع گسیل القایی محیط فعال، g_0 بهره سیگنال کوچک و V_R حجم محیط فعال تقویت‌کننده است.

انرژی خروجی از هر طبقه تقویت کننده برحسب انرژی ورودی به آن از رابطه زیر حاصل می شود[۷]:

$$E_{out-amp} = E_s Ln\{1+[\exp(\frac{E_{in}}{E_s})-1]\times\exp(g_0 l)\} \qquad (٤)$$

در حالتی که چگالی انرژی ورودی E_{in} از شدت اشباع E_s محیط بهره خیلی بیشتر باشد (رژیم اشباع) ضریب اشباع از رابطه زیر محاسبه می شود:

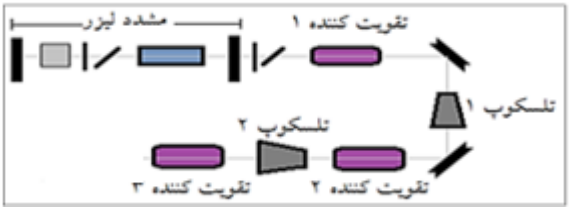
$$E_{in} >> E_s \Rightarrow G = G_s = 1+\frac{E_s}{E_{in}} g_0 l \qquad (۵)$$

مشخصات محیط فعال لیزری و انرژی نوری دمشی لیزر دیود طبقات تقویت‌کننده‌ها در جدول ۱ارائه‌شده است:

جدول ۱ : ابعاد میله‌های لیزری طبقات تقویت و انرژی دمشی نوری لیزر دیودها

	طول میله ماده فعال (mm)	قطر میله ماده فعال (mm)	انرژی نوری دمش لیزر دیود (J)
طبقه ۱	۱۱۵	۷	۲
طبقه ۲	۱۱۵	۹	٤
طبقه ۳	۱۱۵	۱۱	٤

جهت دستیابی به انرژی خروجی۳ ژول از سه طبقه تقویت کننده با ساختار یک بار عبور استفاده شده است(شکل۴). در کلیه طبقات تقویت کننده ها از کاواک سرامیکی سه طرف دمش استفاده شده است:



شکل ۴ : چیدمان لیزر با ساختار نوسانگر-تقویت‌کننده.

در جدول۲نتایج محاسبات انرژی خروجی از طبقات تقویت‌کننده‌ها آورده شده است:

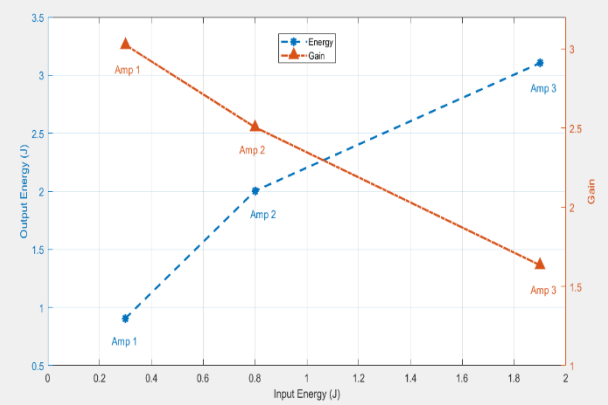
جدول ۲ : نتایج محاسبات انرژی خروجی از طبقات تقویت کننده ها

	طبقه ۱	طبقه ۲	طبقه ۳
$E_{in\text{-}pump}(J)$	۲	٤	٤
$E_{in\text{-}theo\text{-}opt}(J)$	۰/۳	۰/۸	۱/۹
$2r_R(mm)$	۷	۹	۱۱
$g_0(cm^{-1})$	۰/۲۵۵	۰/۲٤۸	۰/۱٦٦
$J_{st}(J/cm^3)$	۰/۱۳۵۵	۰/۱٦٤	۰/۱۰۹
$E_{out\text{-}theo}(J)$	۰/۸	۱/۹	۳/۰۷
G_{theo}	۲/٦٦	۲/٤	۱/٦

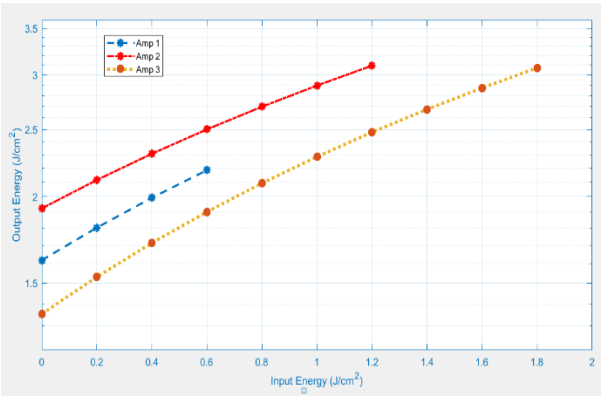
سطرهای جدول ۲ از بالا به پائین به ترتیب نشان‌دهنده انرژی دمشی لیزر دیود در هر طبقه، انرژی نوری محاسبه‌شده ورودی هر طبقه، قطر میله لیزری، بهره سیگنال کوچک، چگالی انرژی ذخیره‌شده، انرژی نوری خروجی محاسبه‌شده از هر طبقه و همچنین ضریب بهره تقویت محاسباتی هستند.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

در شکل‌های ۵ و ۶ انرژی خروجی از هر طبقه تقویت‌کننده به ترتیب برحسب انرژی دمشی لیزر دیود و انرژی نوری ورودی به طبقات تقویت کننده ارائه‌شده است.



شکل۵: انرژی نوری تقویت‌شده خروجی از طبقات تقویت برحسب انرژی دمشی لیزر دیود



شکل۶: چگالی انرژی نوری خروجی از هر طبقه تقویت‌کننده برحسب چگالی انرژی نوری ورودی

نتیجه گیری

جهت دست‌یابی به انرژی‌های بالاتر و همچنین جلوگیری از تخریب قطعات اپتیکی درون لیزر از ساختار نوسانگر-تقویت کننده یک‌بار عبور که نسبت به روش چند بار عبور ایمن تر است، استفاده می شود. نتایج شبیه سازی ها نشان می دهد با افزایش نرخ تکرار لیزر و انرژی دمشی،توان متوسط افزایش می یابد در نتیجه حرارت بیشتری در میله لیزر تولید می شود. با افزایش گرما،عدسی گرمایی قویتر و منجر به کانونی شدن پرتو لیزر و کاهش کیفیت پرتو خروجی می‌گردد. در این مقاله با استفاده از ساختار MOPA که از یک طبقه نوسانگر با انرژی خروجی ۳۰۰میلی ژول با پهنای زمانی ۱۳ نانو ثانیه به عنوان منبع اصلی استفاده کردیم و در نهایت با استفاده از سه طبقه تقویت کننده تک بار عبور انرژی خروجی از نوسانگر به ۳ ژول افزایش داده شد. همچنین در این شبیه سازی ضریب بهره کل در طبقات تقویت کننده ۱۰ و بازده نوری به نوری در کل سامانه لیزر ٪۳۰ به دست آمده است.

[1] https://www.ESKLPA-laser.com/home.html
[2] https://www.quantel-laser.com/home.html
[3] Yehoshua Kalisky, “The status of high-power lasers and their applications in the battlefield” *Optical Engineering* 49, 2010.
[4] A. D. Mcaulay, “Military Laser Technology for Defense” *Wiley*, 2011.
[5] www.as.northropgrumman.com
[6] N. Hodgson and H. Weber, “Optical Resonators”, *Springer*, 2005.
[7] W. Koechner, “Solid State Laser Engineering”, *Springer*, 2006.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]