

طراحی لیزر پالسی Nd:YAG با هندسه ی تیغه ای بر مبنای ساختار نوسانگر-تقویت کننده

جواد صالحی نظام آبادی^۱، عباس ملکی^۱، مسعود کاوش تهرانی^۱ و حمید سلمانی نژاد^۱

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

چکیده - در این مقاله به طراحی لیزر پالسی Nd:YAG با هندسه ی تیغه ای بر مبنای ساختار نوسانگر-تقویت کننده پرداخته شده است. جهت کاهش اثرات حرارتی و در نتیجه افزایش کیفیت پرتو خروجی لیزر، از هندسه ی تیغه ای در طبقات تقویت کننده استفاده شده و با استفاده از معادله ی تقویت انرژی فرانتز-نودویک در هندسه ی تیغه ای، انرژی بهینه ی خروجی از طبقات تقویت کننده محاسبه شده است. یکی از کمیت های مهم در تقویت انرژی، عامل پر شدگی تیغه است که در حالت تابش موازی و عمود به ترتیب برای لکه ی 5mm و 5.73mm، مقادیر $f=0.99$ و $f=0.93$ بدست آمده است. همچنین خروجی نهایی انرژی طبقات تقویت 928mJ محاسبه شده است که با 850mJ انرژی خروجی تجربی مطابقت خوبی داشته است.

کلیدواژه- هندسه ی تیغه ای، عامل پر شدگی، بلور Nd:YAG، طبقات تقویت کننده

Design of a pulsed Nd:YAG laser with slab geometry based on a master oscillator power amplifier configuration

J. Salehi Nezam Abadi¹, A. Maleki¹, M. Kavosh Tehrani¹ H.Salmani Nejad¹

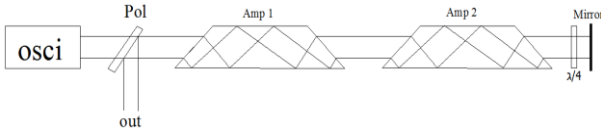
¹ Optic & Laser Science & Technology Research Center, Malek-ashtar University Of Technology, Shahin Shahr, Isfahan

Abstract- In this paper, the design of a slab geometry based on a master oscillator power amplifier (MOPA) structure has been described. The slab geometry has been used for decreased of the thermal lensing effects that the output beam quality is increased. By using the Frantz-Nodvik equation of the amplifier energy in the slab geometry, the optimum output energy from amplified stages has been calculated. The fill factor in one of the important parameters of the energy amplification process, that in the parallel and perpendicular of the input surface are obtained for beam diameters of 5.18 and 5.73 mm ; respectively. Also the extracted energy from last stage 928 mJ was calculated. This calculations data have been good agreement with the experimental results.

Keywords: Fill factor, Nd:YAG crystal, Slab geometry, stage amplifier

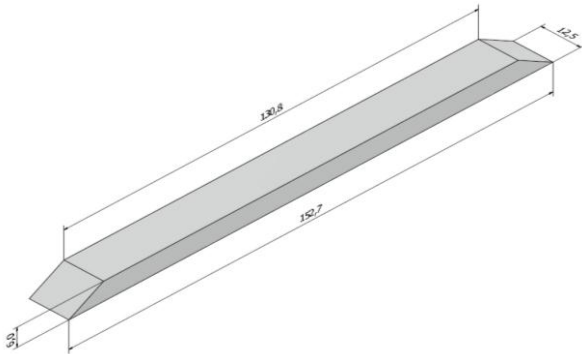
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

۱- مقدمه



شکل (۱): طرحواره ی ساختار لیزری MOPA : شامل یک طبقه ی نوسانگر و دو طبقه ی تقویت کننده ی دو بار عبور

همچنین در شکل (۲)، هندسه ی تیغه همراه با ابعاد تیغه که در محاسبه ی انرژی استفاده شده است، آورده شده است:



شکل (۲): هندسه و ابعاد تیغه: ضخامت تیغه 6mm، عرض تیغه 12.5mm و طول تیغه 130mm

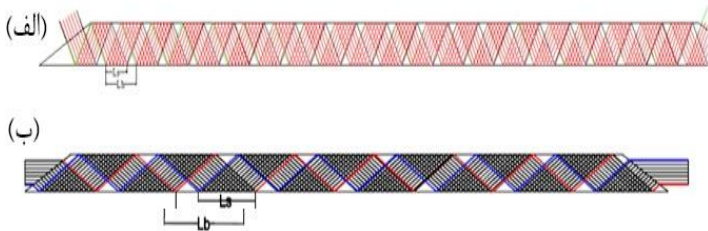
مقدار زاویه ی θ که همان زاویه ی بازتاب داخلی کلی از سطح پایین تیغه است برابر 32.47° درجه می باشد.

۲-۱- عامل پرشدگی تیغه f

در اثر حرکت زیگ زاگ پرتو درون هندسه ی تیغه ای، کسری از حجم تیغه بوسیله ی پرتو عبوری اشغال می شود. میزان پر شدگی چنانچه که در شکل (۳) نشان داده شده از رابطه ی زیر بدست می آید:

$$f = \frac{L_s}{L_b} \quad (2)$$

که در آن L_s ، ردپای پرتو در سطح پایین تیغه و L_b فاصله ی بین بازتاب های متوالی را نشان می دهد.



شکل (۳) تیغه و مسیر زیگ زاگ پرتو: الف) تابش عمودی ب) تابش موازی

لیزر پالسی Nd:YAG پرتوان با دمش دیود لیزری به عنوان یکی از پر کاربردترین لیزرها در زمینه ی صنعت و تحقیقات محسوب می شود [۱-۳]. در سال ۱۹۶۹ مارتین و کرنویچ برای کمینه کردن اثر پدیده ی عدسی گرمایی، هندسه ی تیغه (SLAB) را به عنوان جایگزین هندسه ی میله ای برای محیط فعال لیزری پیشنهاد نمودند. در لیزرهای پرتوان Nd:YAG از هندسه ی تیغه ای برای طبقات تقویت کننده استفاده می شود [۴و۵].

در این مقاله، به طراحی ساختار هندسه ی تیغه ای در طبقات تقویت کننده لیزر پالسی Nd:YAG پرداخته شده است. بدین منظور، ابتدا با استفاده از معادله ی فرانتز-نودویک کمیت های موثر بویژه عامل پرشدگی f حالت تابش موازی و عمود پرتو به سطح شیب دار تیغه، جهت استخراج انرژی بیشینه از تیغه، بهینه شده است. مقدار f برای تابش موازی و عمود برای لکه ی 5.18 و 5.73mm به ترتیب 0.93 و 0.99 بدست آمده است. پس از استخراج انرژی بیشینه، صحت معادله ی انرژی فرانتز-نودویک با نتایج آزمایشگاهی مورد راستی آزمایی قرار گرفت.

۲-۲ مبانی طراحی ساختار MOPA

محاسبه ی تقویت انرژی در طبقات تقویت کننده از معادله ی انرژی فرانتز-نودویک، مطابق رابطه ی (۱) انجام می شود [۶].

$$E_{out} = (F_{sat} A \cos \theta) / f(2-f) \cdot \ln \{ 1 + [\exp \{ E_{in} / (F_{sat} A \cos \theta (1/f(2-f))) \}] - 1 \} \cdot \exp \{ E_{stored} / (F_{sat} A \cos \theta) \} \quad (1)$$

که در آن f عامل پرشدگی تیغه، F_{sat} شار اشباع محیط تقویت کننده، A سطح مقطع تیغه، θ زاویه ی بازتاب داخلی کلی از سطح تیغه، E_{in} انرژی ورودی به تیغه، E_{stored} انرژی ذخیره شده در تیغه می باشد.

در این تحلیل از ساختار لیزری MOPA که دارای دو طبقه تقویت کننده با ساختار تیغه است، استفاده شده است که طرحواره ی آن در شکل (۱) ارائه شده است:

عامل پرشدگی	قطر ورودی (mm)	طبقه و مرحله ی عبور
0.54	3	Amp1 Pass1
0.72	4	Amp2 Pass1
0.90	5	Amp2 Pass2
0.93	5.5	Amp1 Pass2

۳- فرآیند محاسبه ی انرژی تقویت کننده ها

چنانچه ذکر گردید در ساختار MOPA از دو طبقه ی تقویت کننده با هندسه ی تیغه استفاده شده است. بنابراین با استفاده از مقادیر مختلف f و رابطه ی فرانتز-نودویک انرژی تقویت شده در هر مرحله و در هر طبقه محاسبه می شود. در طبقات تقویت کننده از لیزر دیود های شبه پیوسته با انرژی 1.6J در طول موج 808 nm استفاده شده است. طبق رابطه ی زیر، مقدار انرژی ذخیره شده در تیغه نیز قابل محاسبه است:

$$E_{stored} = \eta_T \eta_{ab} \eta_Q E_p \quad (5)$$

که در آن η_T بازده انتقال کاواک، η_{ab} بازده جذب تیغه ی Nd:YAG، η_Q بازده کوانتومی تیغه و E_p انرژی دمشی است.

در جداول (۲) تا (۵) نتایج محاسبات و همچنین در شکل های (۶) تا (۹) رسم نمودار انرژی خروجی برحسب انرژی ورودی برای هر طبقه ی تقویت کننده پس از عبور اول و دوم آورده شده است.

جدول (۲) کمیت های پرتو خروجی از طبقه ی اول و عبور اول انرژی ورودی اولیه ی ورودی به طبقه ی اول 75mj:

واحد	مقدار	کمیت
-----	0.54	f
mJ	560	E_{stored}
mJ	225	E_{out}

جدول (۳) کمیت های پرتو خروجی از طبقه ی دوم عبور اول

واحد	مقدار	کمیت
-----	0.72	f
mJ	560	E_{stored}
mJ	537	E_{out}

جدول (۴) کمیت های پرتو خروجی از طبقه ی دوم عبور دوم

واحد	مقدار	کمیت
-----	0.9	f
mJ	240	E_{stored}
mJ	722	E_{out}

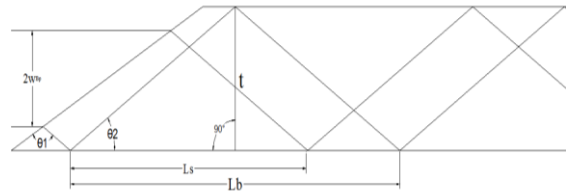
جدول (۵) کمیت های پرتو خروجی از طبقه ی دوم عبور دوم

۲-۱-۱- عامل پرشدگی در حالت تابش موازی

با بکارگیری هندسه ی شکل (۴) و قانون شکست اسنل، عامل پرشدگی تیغه در حالت تابش موازی طبق رابطه ی زیر محاسبه می شود:

$$f = \frac{2W_{Bp} \sin \theta_1}{2t \sin \theta_s \sin \theta_2} \quad (3)$$

که W_{Bp} قطر پرتو ورودی، θ_1 زاویه ی اولین شکست، θ_2 همان زاویه ی شکست داخلی کلی و θ_s زاویه ی برش تیغه و t ضخامت تیغه است. به ازای مقدار 5.18mm مقدار بیشینه ی قطر لکه ی ورودی که به دلیل امکان بازتاب به بیرون تیغه محدود شده است مقدار $f=0.93$ محاسبه شد.

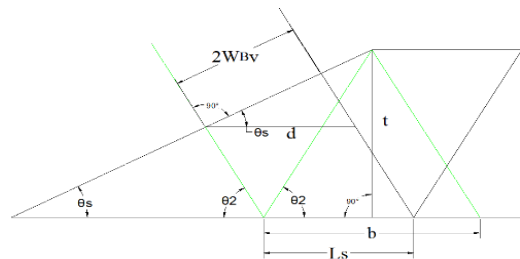


شکل (۴) هندسه ی تابش موازی

۲-۱-۲- عامل پرشدگی تیغه در حالت تابش عمود

اگر پرتو طبق شکل (۵) که عمود به سطح ورودی تیغه تابیده شود، مقدار f طبق رابطه ی زیر بدست می آید:

$$f = \frac{2W_{Bv}}{2t \sin \theta_s} \quad (4)$$

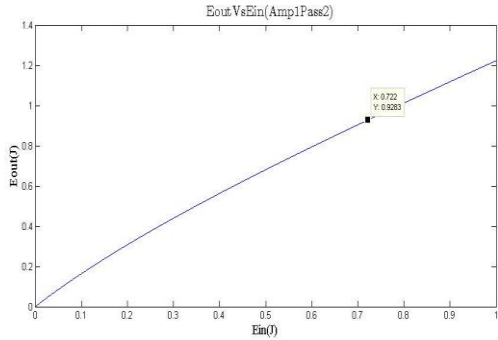


شکل (۵) هندسه ی تابش عمود

در حالت بیشینه با قطر لکه ی $2W_{Bv} = 5.73mm$ مقدار $f=0.99$ محاسبه می شود.

جهت تنظیمات آسان لیزر و استخراج انرژی بیشینه، از روش تابش موازی استفاده گردید. در جدول (۱) نتایج محاسبات f به ازای مقادیر مختلف لکه ی ورودی در هر مرحله ی عبور و در هر طبقه ارائه شده است:

جدول (۱) عامل پرشدگی در هر مرحله تقویت



شکل (۹) نمودار انرژی خروجی بر حسب انرژی ورودی در طبقه ی اول عبور دوم (خروجی نهایی)

۴- خلاصه ی نتایج محاسبات انرژی

در این بخش، نتایج محاسبات با نتایج تجربی در جدول (۶) مقایسه شده است:

جدول (۶) مقایسه ی نتایج محاسبات و نتایج تجربی انرژی خروجی

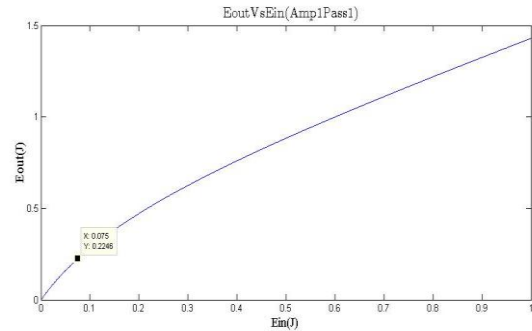
طبقه و عبور	نتایج محاسبات E_{out}	نتایج تجربی E_{out}
Amp1 Pass1	225 mJ	250 mJ
Amp2 Pass1	537 mJ	450 mJ
Amp2 Pass2	722 mJ	650 mJ
Amp1 Pass2	928 mJ	850 mJ

چنانچه مشاهده می شود نتایج تجربی با نتایج محاسبات انرژی تطابق خوبی دارد.

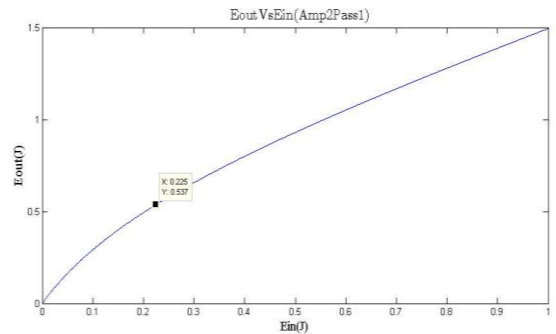
مراجع

- [1] Alexander Gaydardzhv, Autom Trifonov, Ivan Bu.... "High-power diode pumped Nd:YAG master oscillator power amplifier system" proc. of SPIE vol.7501 75015-1.
- [2] A.K. sridharan , S.Saraf, and R.L.Byer "Yb:YAG master oscillator power amplifier for remote wind sensing" Appied Optics / vol 46 NO.30/ 20 october 2007 p.p 7552.
- [3] Shiguang Li, Xiuhuai Ma..... "Laser-diode-pumped Zigzag slab Nd:YAG master oscillator power amplifier" Chinese Optics Letters col 11(7),07142(2013).
- [4]. W. S. Martin and J. P. Chernoch "Multiple internal reflection face pumped laser" U.S. Patent 3 633 126, 1972.
- [5]. J. P. Chernoch, W. S. Martin, and J. C. Almasi, "Performance characteristics of a face pumped, face cooled laser, the mini-FPL" U.S. Air Force Avionics Lab., Wright Patterson Air Force Base, OH, Tech. Reps. APAL-TR-71-3, 1971.
- [6] J. M. Eggleston, L. M. Frantz, , H. Injeyan, "Derivation of the Frantz-Nodvik Equation for Zig-Zag Optical Path, Slab Geometry Laser Amplifiers" IEEE journal of quantum electronics. vol. 25. no 8. august 1989

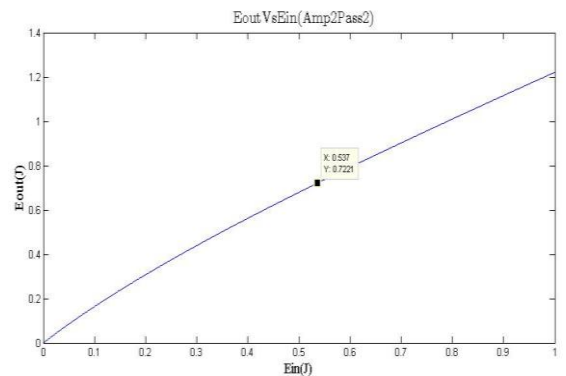
واحد	مقدار	کمیت
-----	0.93	f
mJ	240	E_{stored}
mJ	928	E_{out}



شکل (۶) نمودار انرژی خروجی بر حسب انرژی ورودی در طبقه ی اول عبور اول



شکل (۷) نمودار انرژی خروجی بر حسب انرژی ورودی در طبقه ی دوم عبور اول



شکل (۸) نمودار انرژی خروجی بر حسب انرژی ورودی در طبقه ی دوم عبور دوم