

بیست و دومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و هشتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران ۶ تا ۸ بهمن ماه ۱۳۹۴، دانشگاه یزد



## بررسی و تحلیل تقویت کننده لیزر پالسی Nd:YAG با استفاده از آنالیز و محاسبه معادلات E-F وF-N به کمک نرم افزار متلب

میلاد سالاری نسب ، عباس ملکی ، حسین ثقفی فر و ساره امیدواری ک

۱ زنجان، بلوار استاد یوسف ثبوتی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه، دانشکده فیزیک

۲ اصفهان ،شاهین شهر ، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، پژوهشکده اپتیک ولیزر

چکیده – در این تحقیق به بررسی و تحلیل تقویتکنندگی لیزر پالسی Nd:YAG بر مبنای هندسه تیغهای پرداخته شده است. ابتدا محیط بهره دارای هندسه استوانهای با محیط بهره دارای هندسه تیغهای مورد مقایسه قرار گرفتهاست، سپس معادلههای اگگلستون-فرانتز و فرانتز – نودویک برای لیزر تیغهای استخراج شدهاند. همچنین پارامترهای تاثیرگذار در تقویت انرژی از جمله فاکتور پرشدگی تیغه، مساحت تیغه و قطر باریکه ورودی مورد بررسی قرار گرفتهاند. با استفاده از نرمافزار زیمکس (ZEMAX) ردیابی باریکه در هندسه تیغهای و در نهایت با نرم افزار متلب (MATLAB) نمودار انرژی خروجی بر حسب انرژی ورودی رسم شدهاست.

كليد واژه- تقويت كننده ليزر پالسي Nd:YAG، هندسه تيغه اي، معادله فرانتز-نودويك، معادله اگگلستون-فرانتز.

# Analysis of amplifier pulsed Nd:YAG laser with analysis and calculation E-F and F-N equations by MATLAB

Milad Salarinasab<sup>1</sup>, AbasMaleki<sup>2</sup>, Hossein Saghafifar<sup>2</sup>and Sare Omidvari<sup>2</sup>

1- Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Yousef Sobouti Blvd, Zanjan, Iran

2- Integrated Malek Ashtar Applied Sciences, Optics and laser Research Institute, Isfahan, Shahin Shahr

Abstract- In this research, the design of a pulse Nd:YAG laser based on the slab geometry has been demonstrated. At first, we have compared the cylinder geometry with slab geometry and modified the Frantz–Nodvik and Eggleston–Frantz equations to derive equations for laser beam amplification with a laser medium. Output energy equation versus fill factor and input energy has been investigated and simulated. Influence parameters on the amplification process such as fill factor, cross section and input beam diameter were investigated. The Matlab and Zemax softwares were used for calculations and simulations of the ray tracing in the slab geometry.

Keywords: pulsed Nd: YAG Laser, slab geometry, Frantz-Nodvik equation, Eggleston-Frantz equation.

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

#### ۱– مقدمه

در سالهای اخیر از لیزرهای حالت جامد به دلیل دارا بودن مزايايي همچون كيفيت اپتيكي مناسب ، ضريب هدایتی بالا، آستانه لیزری پایین و بهرهی بالا جهت کاربردهای صنعتی، پزشکی، نظامی و... نسبت به لیزر گازیCO<sub>2</sub> بیشتر استفاده شده است [ ۱].لیزرهای حالت جامد دارای محیط بهره به شکل های مختلف از جمله استوانهای- صفحهای و تیغهای میباشند.که معمولاً به دلیل ساخت راحت هندسه استوانهای از این نوع هندسه در ساخت محیط بهره استفاده می شود. اما هندسه استوانهای دارای معایبی همچون اثرات مخرب حرارتی-دوشکستی القایی- خنک شوندگی کمتر و درنتیجه کاهش کیفیت باریکه می باشد. جهت رفع معایب ذکر شده اولین بار لیزرهای با محیط فعال تیغهای شکل توسط مارتین و همکارانش پیشنهاد داده شدند [۲].در این هندسه به دلیل پدیده بازتاب داخلی کلی، باریکه در محیط دارای حرکت زیگزاگی میباشد. هندسه تیغهای دارای مزایایی از جمله خنک شوندگی بیشتر- سطح دمشی بزرگتر-کاهش گرادیان حرارتی و درنتیجه بهبود کیفیت باریکه خروجی میباشد. در این مقاله ما ابتدا با استفاده از نرم افزار زیمکس مسیر حرکت باریکه را درون تیغه ردیابی و سپس با در نظر گرفتن معادلات اگگلستون - فرانتز و فرانتز- نودویک در هندسه تیغهای و با انتخاب زاویه فرود باریکه - فاکتور پرشدگی و قطر باریکه، نمودار مربوط به انرژی خروجی بر حسب انرژی ورودی را رسم خواهیم کرد و در نهایت تقویت باریکه را نشان خواهیم داد.

#### ۲- مبانی نظری معادلات

معمولا انرژی خروجی از محیط لیزر توسط معادلات نرخ به دست میآید. ابتدا فرانتز و نودویک<sup>۱</sup> معادلهای برای انرژی خروجی تقویت شده برای یک مسیر نوری مستقیم در محیط لیزر ارائه نمودند[۳].سپس اگگلستون<sup>۲</sup> و همکارانش معادله تقویت کنندگی برای یک مسیر نوری زیگزاگ در محیط بهره لیزر تیغهای را بدست آوردند[۴].

\-Frantz-Nodvik

معادله اگگلستون- فرانتز برای محاسبه تقویت کنندگی در محیط بهره لیزر تیغهای زمانی که چگالی انرژی ذخیره شده به صورت یکنواخت باشد مورد استفاده قرار می گیرد.

(1)

$$W_{out} = A_{beam}F_{sat} \times \\ \ln\left\{1 + \left[\exp\left(\frac{W_{in}}{A_{beam}F_s}\right) - 1\right] \times \exp\left(\frac{W_{st}}{F_sA_sL} \times L_{total}\right)\right\}$$

117 A F

(٢)

$$W_{out} = A_s F_s \cos \theta f(2 - f) \times \\ \ln \left\{ 1 + \left[ \exp \left( \frac{W_{in}}{A_s F_s \cos \theta} \frac{1}{f(2 - f)} \right) - 1 \right] \times \exp \left( \frac{W_{st}}{A_s F_s \cos \theta} \right) \right\}$$

که  $W_{st}$  انرژی خروجی ،  $W_{in}$  انرژی ورودی،  $W_{st}$  انرژی ذخیره شده ،  $A_{beam}$  مقطع باریکه لیزر،  $A_s$  سطح مقطع کریستال تیغهای ، L طول تیغه،  $f = \frac{L_b}{L_a}$  فاکتور پرشدگی ،  $\theta$  زاویه برخورد باریکه به سطح و  $F_S$  چگالی اشباع می باشد.

عموماً معادله F-N برای تقویت از طریق مسیر نوری مستقیم، کاربرد دارد درحالیکه معادله E-F برای تقویت از طریق مسیر نوری زیگزاگ مورد استفاده قرار می گیرد.

شکل(۱) نمای شماتیک از یک تیغه را نشان میدهد، که شامل دو قسمتA(ناحیه همپوشانی شده) و B (ناحیه غیر همپوشانی شده) برای تک عبور مسیر نوری زیگزاگ را نشان میدهد.



شکل ۱: نمای شماتیک از یک تیغه[۵]

۲-Eggleston



با توجه به شکل ۲ بجای  $A_s$  و  $W_{sai}$  در معادله ۲ به ترتیب مقادیر  $f^2A_s$  و  $fA_s$ را جایگزین می کنیم بنابراین برای مناطق همپوشانی شده(A) معادله انرژی خروجی به شکل زیر بدست می آید [۳].

$$W_{out} = fA_s F_s \cos \theta \times \\ \ln \left\{ 1 + \left[ \exp \left( \frac{W_{in}}{fA_s F_s \cos \theta} \right) - 1 \right] \times \exp \left( \frac{fW_{st}}{A_s F_s \cos \theta} \right) \right\}$$

$$A_{beam} = 2fA_s \cos \theta$$
 همچنین برای ناحیه  $B$  با جایگذاری  $F$ -N همچنین برای ناحیه  $L_{total} = (1 - f) \frac{L}{\cos \theta}$  و  $\theta$  شکل زیر به دست می آید [ ۳و۴].

$$W_{out} = 2fA_sF_s\cos\theta \times \\ \ln\left\{1 + \left[\exp\left(\frac{W_{in}}{2fA_sF_s\cos\theta}\right) - 1\right] \times \exp\left(\frac{(1-f)W_{st}}{A_sF_s\cos\theta}\right)\right\}$$

برای محاسبه انرژی خروجی کل در حجم بهره متوسط لیزر، انرژی خروجی که از معادله (۳) بدست میآید را به عنوان انرژی ورودی در معادله (۴) جایگذاری میکنیم.

# ۳- ردیابی باریکه درون محیط تیغه و محاسبه ۱نرژی خروجی بر حسب انرژی ورودی

ما ابتدا برای اینکه نشان بدهیم باریکه مسیر تیغه را به صورت زیگزاگ طی میکند با استفاده از نرم افزار زیمکس مسیر باریکه درون تیغه مورد نظر را ردیابی می-کنیم برای تحقق این هدف باید پارامترهای زیر را در نرم-افزار وارد کنیم .

جدول ۱: مقادیر ورودی نرم افزار

جنس کریستال	ضریب شکست	طول موج فرودی	زاویه فرود باریکه	قطر باریکه	تعداد سطوح
INFERARED CORNING	١/٧٩٨	۱۰۶۴nm	۶۱/۲۸°	۶mm	۷



شکل ۳: ردیابی باریکه درون تیغه با استفاده از نرمافزار زیمکس همانگونه که در شکل بالا مشخص است نور با زاویه خاص (۶۱/۲۸<sup>°</sup>) به سطح تیغه برخورد و سطح تیغه را به صورت زیگزاگ طی می کند و در نهایت با همان زاویه فرودی از سطح تیغه خارج می شود. قسمتهای قرمز رنگ نشان دهنده این موضوع است که نور حجم تیغه را بطور کامل پوشش نمی دهد.

حال با استفاده از معادله E-F و با بهینهسازی و استفاده ازکمیتهای ذکر شده در معادله ۴ و مقادیر جدول ۲ و با کد نویسی در نرم افزار متلب نمودار رشد انرژی خروجی بر حسب انرژی ورودی در شکل (۴) نشان داده شده است.

E-F جدول۲: مقادیرپارامترهای مورد نظر برای حل معادله

Abeam	$A_s$	$F_S$	$\cos \theta$	f	Ws
•/۲۸۲۶cm <sup>2</sup>	•/A\cm <sup>2</sup>	۰/۸۴j/cm²	•/۴٨•۵٢٩	٠/٩	۱/۸J



شکل ۴: نمودار انرژی خروجی بر حسب انرژی ورودی

چنانچه در شکل(۴) مشاهده می شود به ازای انرژی ورودی ۱۰زار انرژی خروجی ۲۶ز/ به دست آمدهاست، که این عدد هدف مقاله یعنی تقویت باریکه را نشان می دهد. در این محاسبات،عامل پرشدگی عدد ثابت ۹۰/=آدر نظر گرفته شده است.

### ۴- نتیجهگیری

در این مقاله، از هندسه تیغهای به عنوان محیط بهره لیزر یالسی Nd:YAG استفاده گردید. با استفاده از نرم افزار زيمكس نشان داديم كه باريكه درون تيغه به صورت زیگزاگی حرکت می کند و مطابق شکل۳ باریکه مساحت تیغه را پر میکند، همچنین جهت ارزیابی و تحلیل میزان انرژی تقویت شده از معادلات اگگلستون- فرانتز و فرانتز-نودویک استفاده شده است که با در نظر گرفتن پارامتر-های تاثیر گذار در میزان انرژی تقویتشده که عبارتند از  $A_{beam}$  ، (فاكتور پرشدگى) ،  $W_{in}$  ، (فاكتور پرشدگى) f $A_s$  (قطر باریکه ورودی) ،  $W_{st}$  (انرژی ذخیره شده)، (قطر ا (مساحت تيغه)  $\theta$ ، (زاويه باريكه)،  $W_{out}$ ، (انرژی خروجی) و  $F_S$  (چگالی اشباع) و با استفاده از نرمافزار متلب نمودار انرژی خروجی بر حسسب انرژی ورودی رسم گردید که نتایج به دست آمده نشان می دهند با افزایش انرژی ورودی، انرژی خروجی طبق روابط E-F و F-N به طور نمايي افزايش مييابد.

### ۵- سپاسگزاری

برخود لازم میدانم که از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر علی قربان زاده ،جناب آقای دکتر عبدالوحید براتی ،جناب آقای مهندس علیرضا نیکزاد،جناب آقای حسین کافیان ، سرکار خانم لطیفه ایری و جناب آقای مهندس سید مهدی رمضانی بخاطر همکاری های صادقانه کمال سپاس وتشکر را به عمل آورم .

مراجع

- [1] W.Koechner, solid- state Laser Engineering, page265
- [2] W. S. Martin and J. P. Chernoch, "Multiple internal reflection face pumped laser," U.S. Patent 3 633 126, 1972.
- [3] J. M. Eggleston, L. M. Frantz, and H. Injeyan: IEEE J. QuantumElectron.25(1989) 1855.
- [4] L. M. Frantz and J. S. Nodvik: J. Appl. Phys.34(1963) 2346
- [5] Takayoshi NORIMATSU Japanese Journal of Applied PhysicsVol. 46, No. 3A, 2007, pp. 1021–1027