



تأثیر شکل پرتو دمش بر بازده جذب یک لیزر Nd:YAG دمیده از پهلوی بوسیله لیزر دایود

بتول نخعی^۱، محسن حاتمی^۲، محمود برهانی^۱ و غلامرضا هنرآسا^۲

^۱ گروه اتمی مولکولی، دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد، یزد

^۲ گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز

چکیده - در این مقاله ابتدا به معرفی پرتوهای گاوسی، لورنتس و لورنتس-گاوس پرداخته و اثر آنها را به عنوان شکل پرتو دمش بر بازده جذب در لیزرهای حالت جامد دمش از پهلوی بوسیله لیزر دایود بررسی کرده‌ایم و نشان داده‌ایم که بازده جذب برای پرتوهای لورنتس-گاوسی بیشتر از دو حالت قبل است. همچنین نشان داده‌ایم که برای پرتو ورودی لورنتس-گاوس هر چه فاصله دایودها از شکافها کمتر و قطر میله لیزری بزرگتر باشد بازده جذب افزایش می‌یابد.

کلیدواژه - بازده جذب، پرتو لورنتس-گاوس، لیزر Nd:YAG

The effect of pump profile on absorption efficiency of a diode-side-pumped Nd:YAG laser

Batool Nakhaee¹, Mohsen Hatami², Mahmoud Borhani¹ and Gholamreza Honarasa²

¹ Atomic and Molecular Group, Faculty of Physics, Yazd University, Yazd

² Physics Group, Faculty of Science, Shiraz University of Technology, Shiraz

Abstract- In this paper, the Gaussian, Lorentz and Lorentz-Gaussian beams are introduced and the effects of these beams as the pump profile on the absorption efficiency of the diode-side-pumped solid state lasers are investigated. We illustrate that the absorption efficiency for Lorentz-Gaussian profile is higher than the two others. We have also shown that for entrance Lorentz-Gaussian beam, the absorption efficiency is increasing with decreasing the distance from the diodes to the slits and increasing the diameter of the laser rod.

Keywords: Absorption efficiency, Lorentz-Gauss beam, Nd:YAG laser

۱- مقدمه

لیزرهای حالت جامد به دلیل کارایی، پایداری و امکان دستیابی به توان‌های بالا نسبت به سایر لیزرها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند [۱]. لیزرهای حالت جامد در حالت‌ها و ساختارهای هندسی متفاوت عمل می‌کنند و برای هر ساختاری به یک نوع دمش نیاز دارند. در لیزرهای Nd:YAG دمش از پهلوی توسط لیزر دایود محفظه دمش مهمترین جزء ساختار دمش در تولید جفت شدگی بین منبع دمش و محیط لیزری است. در مطالعات قبلی بازده جذب توسط میله لیزری Nd:YAG دمش شده توسط لیزر دایود به دست آمده است [۲]. در این بررسی‌ها پرتو خروجی از لیزر دایود به صورت گاوسی در نظر گرفته شده است. از آنجا که تابش گسیلی از یک لیزر دایود تک مد توسط پرتوهای لورنتس گاوس توصیف می‌شود [۳]، در مقاله حاضر با در نظر گرفتن شکل پرتو لورنتس و لورنتس-گاوس برای لیزرهای دایودی مورد استفاده جهت دمش، بازده جذب را به دست آورده و با حالت گاوسی مقایسه می‌کنیم.

۲- پرتوهای لورنتس-گاوس

انتشار پرتوهای پیرامحوری در سامانه‌های اپتیکی برای مدت زمان طولانی مورد توجه بوده و جواب‌های مختلفی براساس شرایط اولیه و تقارن‌های مسئله به دست آمده است [۳]. شدت میدان پرتو گاوسی به صورت زیر می‌باشد:

$$E(\theta) = \exp \left[-2 \left(\frac{\theta}{\theta_0} \right)^2 \right] \quad (1)$$

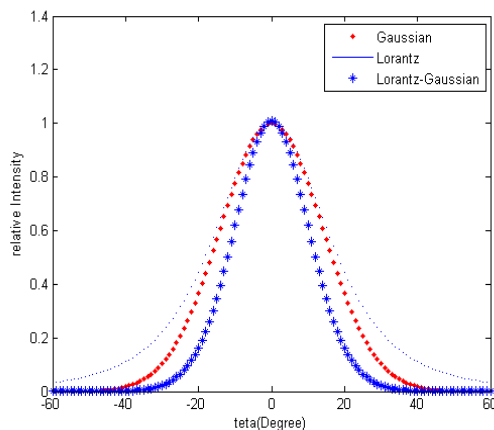
که در آن θ_0 نیم پهنای پرتوی گاوسی است. شدت میدان برای پرتوهای لورنتسی برابر است با:

$$E(\theta) = \left(\frac{\theta_0'}{\theta^2 + \theta_0'^2} \right)^2 \quad (2)$$

که در آن θ_0' نیم پهنای پرتوی لورنتسی می‌باشد. پرتوهای لورنتس-گاوس که به عنوان تعمیم عام‌تری از پرتو لورنتس در نظر گرفته می‌شوند، دارای توزیع شدت میدان زیر هستند [۴]:

$$E(\theta) = \left(\frac{\theta_0'}{\theta^2 + \theta_0'^2} \right)^2 \exp \left[-2 \left(\frac{\theta}{\theta_0} \right)^2 \right] \quad (3)$$

که پارامتر θ_0 نیم پهنای پرتوی گاوسی و پارامتر θ_0' نیم پهنای پرتو لورنتسی است. شکل ۱ نمایی از پروفایل‌های مختلف را نشان می‌دهد. ویژگی‌های پرتوهای لورنتس و لورنتس-گاوس در بسیاری از مراجع مورد بررسی قرار گرفته است [۵، ۶].



شکل ۱: توزیع شدت میدان گاوسی، لورنتس و لورنتس-گاوسی

۳- بازده جذب در لیزرهای حالت جامد دمش از پهلوی توسط لیزر دایود

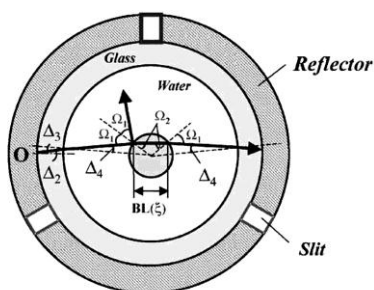
لیزرهای دایودی به دلیل ابعاد خیلی کوچک و بازدهی بالا در دمش لیزرهای حالت جامد بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مقاله از لیزرهای دایودی با طول موج ۸۰۸ nm برای دمش کردن میله لیزر Nd:YAG استفاده کرده ایم. برای محاسبه بازده جذب برای یک ساختار با سه آرایه دیودی از دو روش ردیابی پرتو و روش همگرایی نامحدود استفاده می‌کنیم [۲]. محفظه دمش از بازتابنده، لوله شیشه‌ای و مایع خنک کننده تشکیل شده است که میله لیزری در مرکز آن قرار دارد. پرتوهای دایود لیزری که در فاصله d از سطح خارجی بازتابنده قرار دارد، از طریق شکاف‌های بازتابنده به درون بازتابنده، دمیده می‌شود و بعد از عبور از لوله شیشه‌ای و مایع خنک کننده وارد میله لیزری می‌شوند. سطح داخلی بازتابنده را آینه‌ای با ضریب بازتاب μ در نظر می‌گیریم. شعاع داخلی بازتابنده r و ضخامتش t_1 ، پهنای شکافها s ، ضخامت لوله شیشه‌ای t_2 و ضریب شکست آن n_1 ، ضریب شکست مایع خنک کننده n_2 ، قطر میله لیزری ϕ ، ضریب شکست آن n_3 و ضریب جذب آن γ است. توان کل ساطع شده از لیزر دایود با رابطه زیر به دست می‌آید:

$$T_i = 1 - R_i \quad i=1,2,3 \quad (7)$$

که R_i ضرایب انعکاس برای این سطوح می‌باشد. روش همگرایی نامحدود، برای تعیین توان جذبی که بوسیله پرتوهایی که به‌طور تصادفی درون انعکاس کننده منعکس می‌شوند استفاده می‌شود. در این روش پرتوهای بازتابی از دیواره داخلی بازتابنده را می‌توان به عنوان منابع جدید نور در نظر گرفت [۲]. این منابع جدید دارای تابع توزیع شدتی به‌صورت زیر خواهند بود:

$$E'(\xi) = \cos(\xi) \quad (8)$$

که ξ زاویه بین یک پرتو بازتابی از دیواره انعکاسی و خط عمود بر سطح داخلی انعکاس کننده است.



شکل ۳: انتشار پرتو درون محفظه پخش کننده برای یک منبع نور ایجاد شده روی دیواره داخلی بازتابنده [۲].
حال اگر توان جذب شده توسط میله لیزری ناشی از پرتوهای بازگشتی را $p_2(s)$ بنامیم، توان کلی جذب شده توسط میله لیزری Nd:YAG برابر است با [۲]:

$$p(s) = p_1(s) + \frac{p_2(s)}{1 - \mu G \chi(s)} \quad (9)$$

که در آن G ، کسر از توان است که داخل کاواک می‌ماند و $\chi(s)$ بازده بازگشتی پرتوهایی است که درون محفظه را می‌پوشاند. در نهایت بازده جذب برابر است با:

$$\eta(s) = \frac{p(s)}{p_0} \quad (10)$$

۴- بررسی شکل پرتو لیزر دایود در بازده جذب

در این بخش با در نظر گرفتن شکل پرتو لیزر دایود، تاثیرات آن را روی بازده جذب میله لیزری بررسی می‌کنیم.

جدول ۱: پارامترهای استفاده شده در شبیه سازی

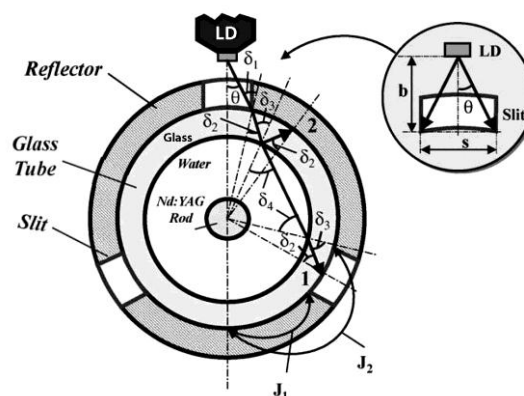
r	t_1	t_2	n_1	n_2	n_3	γ
۵/۵ mm	۱/۵ mm	۱/۵ mm	۱/۵۱	۱/۳۳	۱/۸۲	۰/۵ mm ⁻¹

$$p_0 = \int_{-\infty}^{\infty} E(\theta) d\theta \quad (4)$$

که در آن $E(\theta)$ تابع توزیع شدت پرتو لیزر دایود است. با توجه به شکل ۲ رابطه بین زاویه واگرایی و پهنای شکاف به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\theta(s) = \tan^{-1}\left(\frac{s}{2b(s)}\right) \quad (5)$$

مطابق شکل ۲ پرتوهایی که با زاویه θ از سطح گسیلنده لیزر دایود خارج می‌شود، با زاویه δ_1 روی لوله شیشه‌ای فرود می‌آیند و با زاویه شکست δ_2 وارد لوله شیشه‌ای می‌شوند. سپس با زاویه δ_3 با سطح داخلی لوله شیشه‌ای برخورد می‌کنند و با زاویه شکست δ_4 از لوله شیشه‌ای وارد مایع خنک کننده می‌شوند [۷]. پرتو مسافت $AL(\theta)$ را درون میله لیزری طی می‌کند که میزان جذب در میله لیزری به این مسافت وابسته است.



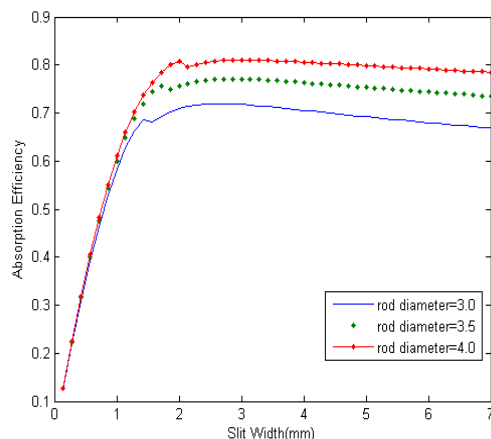
شکل ۲: نمایی از نحوه ورود و شکست پرتو در محفظه دمش [۲].

توان LD جذب شده توسط میله لیزری به‌صورت زیر محاسبه می‌شود [۲]:

$$p_1(s) = \begin{cases} \frac{\theta(s)}{2} \int_0^{\theta(s)} \frac{T_1(\theta)T_2(\theta)T_3(\theta)\{1 - \exp[-\gamma AL(\theta)]\} E(\theta)}{1 - R_3(\theta) \exp[-\gamma AL(\theta)]} d\theta & \text{if } 0 \leq s \leq s_3 \\ \frac{\theta(s_3)}{2} \int_0^{\theta(s_3)} \frac{T_1(\theta)T_2(\theta)T_3(\theta)\{1 - \exp[-\gamma AL(\theta)]\} E(\theta)}{1 - R_3(\theta) \exp[-\gamma AL(\theta)]} d\theta & \text{if } s_3 \leq s \leq s_1 \end{cases} \quad (6)$$

که در آن T_1 ، T_2 و T_3 به ترتیب ضرایب عبور در فصل مشترک هوا - لوله شیشه‌ای، لوله شیشه‌ای - آب و آب - میله لیزری می‌باشد و:

جذب بیشتر پرتوها، بازده جذب نیز بزرگتر خواهد بود.



شکل ۶: بازده جذب یک لیزر Nd:YAG دایود دمش بر حسب پهنای شکاف برای ϕ های مختلف و شکل پرفایل لورنتس-گوس به ازای $d = 1.5\text{mm}$.

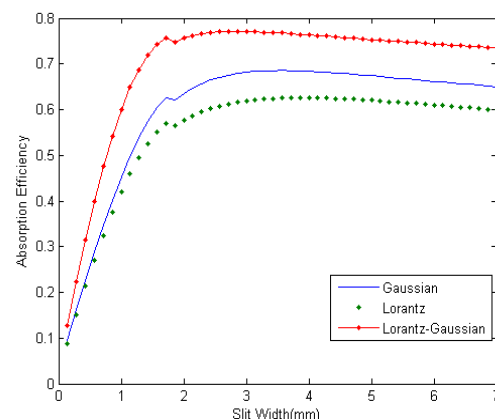
۵- نتیجه گیری

در این مقاله بازده جذب بر اساس شکل پرتو دمش مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به شکل ۴ و مقایسه بازده جذب برای پرتوهای ورودی مختلف نتیجه می گیریم که پرتوهای لورنتس-گوس بازده جذب بیشتری نسبت به پرتوهای گوسی و پرتوهای لورنتسی دارند. از آنجا که در عمل پروفایل منابع لیزر دایودی استفاده شده برای دمش دارای پرتو لورنتس-گوس هستند، نتایج این تحقیق محاسبه بازده دمش را به حالت واقعی نزدیکتر می کند. همچنین مشاهده کردیم هر چه فاصله دایودها از شکاف ها کمتر یا قطر میله لیزری بزرگتر باشد بازده جذب بیشتر می شود. در تمام حالت ها برای پهنای شکاف یک نقطه بهینه وجود دارد که در آن بازده جذب بیشینه است.

مراجع

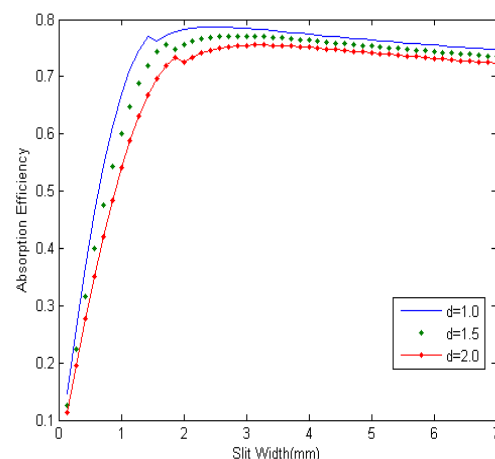
- [1] Koechner, W, *Solid-State Laser Engineering*, Sixth Edition, Springer, 2006.
- [2] Wang Y, Hirano I, Kan H., *Infrared Phys. Technol.* 44 (2003) 213–225.
- [3] Naqwi A. and Durst F., *Appl. Opt.* 29 (1990) 1780.
- [4] Gawhary O. E. and Severini S., *J. Opt. A, Pure Appl. Opt.* 8 (2006) 409.
- [5] Zhou G., *Appl. Phys. B* 96 (2009) 149.
- [6] Zhou P., Wang X., Ma Y. and Liu Z., *Appl. Opt.* 49 (2010) 2497.
- [۷] سمیه سادات هاشمی، "امکان سنجی ساخت لیزر Nd:YAG دمش از پهلوی توسط لیزر نیمرسانا"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۸۶.

در جدول ۱ پارامترهای مورد استفاده در شبیه سازی آمده است. در شکل ۴ بازده جذب بر حسب پهنای شکاف برای سه پرتو گوسی، لورنتس و لورنتس-گوسی رسم شده است. مشاهده می شود که بازده جذب برای میدان لورنتس-گوسی بزرگتر از دو حالت دیگر است. همچنین با افزایش پهنای شکاف، بازده زیاد می شود تا در یک نقطه خاص بیشینه شده و بعد از آن کم می شود.



شکل ۴: بازده جذب یک لیزر Nd:YAG دایود دمش بر حسب پهنای شکاف برای شکل میدانهای مختلف به ازای $\phi = 3.5\text{mm}$ ، $d = 1.5\text{mm}$.

در شکل ۵ بازده جذب بر حسب پهنای شکاف برای d های مختلف و شکل پرتو لورنتس-گوس رسم شده است. مشاهده می کنیم که هرچه فاصله دایودها از شکاف ها کمتر باشد بازده جذب افزایش می یابد.



شکل ۵: بازده جذب یک لیزر Nd:YAG دایود دمش بر حسب پهنای شکاف برای d های مختلف و شکل پرفایل لورنتس-گوس به ازای $\phi = 3.5\text{mm}$.

شکل ۶ بازده جذب برای میدان لورنتس-گوس، ϕ ها و پهنای شکاف های مختلف را نشان می دهد. مشاهده می شود که هرچه قطر میله لیزری بزرگتر باشد به دلیل