بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

تاثیرشکل پرتو دمش بر بازده جذب یک لیزر Nd:YAG دمیده از پهلو 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 پهلو به‌وسیله 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.

کلید واژه- 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 Nakhaee [1], Mohsen Hatami [2], Mahmoud Borhani [1] and Gholamreza Honarasa [2]

[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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

۱- مقدمه

لیزرهای حالت جامد به‌دلیل کارایی، پایداری و امکان دستیابی به توان‌های بالا نسبت به سایر لیزرها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارهستند[۱]. لیزرهای حالت جامد در حالت‌ها و ساختارهای هندسی متفاوت عمل می‌کنند و برای هر ساختاری به یک نوع دمش نیاز دارند. درلیزرهای Nd:YAG دمش از پهلو 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 به‌دست آمده است[۲]. در این بررسی‌ها پرتو خروجی از لیزر دایود به‌صورت گاوسی در نظر گرفته شده است. از آنجا که تابش گسیلی از یک لیزر دایود تک مد توسط پرتوهای لورنتس گاوس توصیف می‌شود[۳]، درمقاله حاضر با در نظرگرفتن شکل پرتو لورنتس و لورنتس-گاوس برای لیزرهای دایودی مورد استفاده جهت دمش، بازده جذب را به‌دست 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 وتقارن‌های مسئله به‌دست آمده است[۳]. شدت میدان پرتوگاوسی به‌صورت زیر می‌باشد:

$$E(\theta)=\exp\left[-2\left(\frac{\theta}{\theta_0}\right)^2\right] \qquad (۱)$$

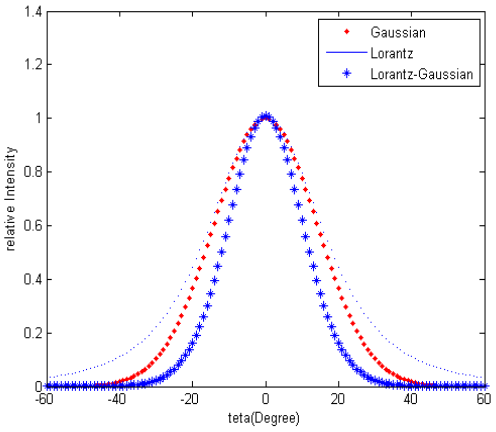
که در آن θ_0 نیم پهنای پرتوی گاوسی است. شدت میدان برای پرتوهای لورنتسی برابر است با:

$$E(\theta)=\left(\frac{\theta_0'}{\theta^2+\theta_0'^2}\right)^2 \qquad (۲)$$

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

$$E(\theta)=\left(\frac{\theta_0'}{\theta^2+\theta_0'^2}\right)^2\exp\left[-2\left(\frac{\theta}{\theta_0}\right)^2\right] \qquad (۳)$$

که پارامتر θ_0نیم‌پهنای 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 [۶,۵].



شکل۱: توزیع شدت میدان گاوسی، لورنتس و لورنتس-گاوسی

۳- بازده جذب درلیزرهای حالت جامد دمش از پهلو بوسیله 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 لیزرNd:YAG استفاده کرده‌ایم. برای محاسبه بازده جذب برای یک ساختار با سه آرایه دیودی ازدو 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 ازعبور از لوله شیشه‌ای و مایع خنک‌کننده 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 به‌دست می‌آید:

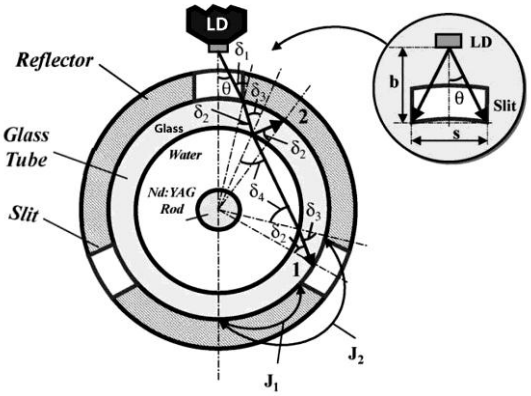
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

$$p_0 = \int_{-\infty}^{\infty} E(\theta)d\theta \qquad (۴)$$

که در آن $E(\theta)$ تابع توزیع شدت پرتو لیزر دایود است. با توجه به شکل۲ رابطه بین زاویه واگرایی و پهنای شکاف به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\theta(s) = \tan^{-1}(\frac{s}{2b(s)}) \qquad (۵)$$

مطابق شکل ۲ پرتوهایی که با زاویه θ از سطح گسیلنده لیزردایود 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(θ) 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].

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

$$p_1(s) = \begin{cases} 2\int_0^{\theta(s)} \frac{T_1(\theta)T_2(\theta)T_3(\theta)\{1-\exp[-\gamma AL(\theta)]\}E(\theta)}{1-R_3(\theta)\exp[-\gamma AL(\theta)]} \\ if\ 0 \le s \le s_3 \\ 2\int_0^{\theta(s_3)} \frac{T_1(\theta)T_2(\theta)T_3(\theta)\{1-\exp[-\gamma AL(\theta)]\}E(\theta)}{1-R_3(\theta)\exp[-\gamma AL(\theta)]} \\ if\ s_3 \le s \le s_1 \end{cases} \qquad (۶)$$

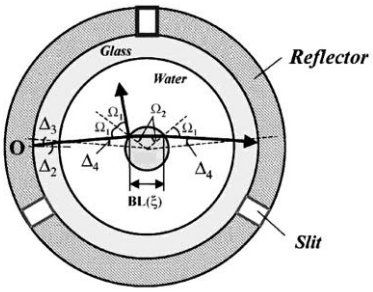
که در آن T_1، T_2، و T_3 به‌ترتیب ضریب عبور در فصل مشترک هوا - لوله شیشه‌ای، لوله شیشه‌ای- آب و آب – میله لیزری می‌باشد و:

$$T_i = 1 - R_i \qquad i=۱,۲,۳ \qquad (۷)$$

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:

$$E'(\xi) = \cos(\xi) \qquad (۸)$$

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



شکل۳: انتشار پرتو درون محفظه پخش کننده برای یک منبع نورایجاد 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]:

$$p(s) = p_1(s) + \frac{p_2(s)}{1-\mu G\chi(s)} \qquad (۹)$$

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

$$\eta(s) = \frac{p(s)}{p_0} \qquad (۱۰)$$

۴- بررسی شکل پرتو لیزر دایود در بازده جذب

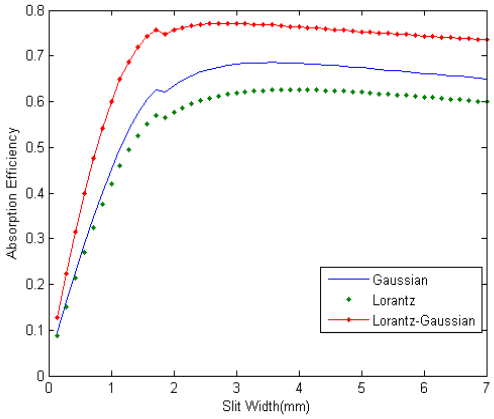
در این بخش با در نظر گرفتن شکل پرتو لیزر دایود، تاثیرات آن را روی بازده جذب میله لیزری بررسی می‌کنیم.

جدول۱: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	/۵ mm^{-1}

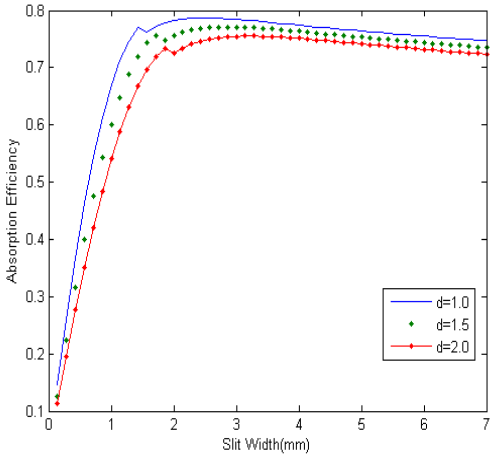
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]

در جدول ۱ پارامترهای مورد استفاده در شبیه‌سازی آمده است. در شکل۴ بازده جذب بر حسب پهنای شکاف برای سه پرتو گاوسی، لورنتس و لورنتس-گاوسی رسم شده است. مشاهده می‌شود که بازده جذب برای میدان لورنتس-گاوسی بزرگتر از دو حالت دیگر است. همچنین با افزایش پهنای شکاف، بازده زیاد می‌شود تا در یک نقطه خاص بیشینه شده و بعد از آن کم می‌شود.



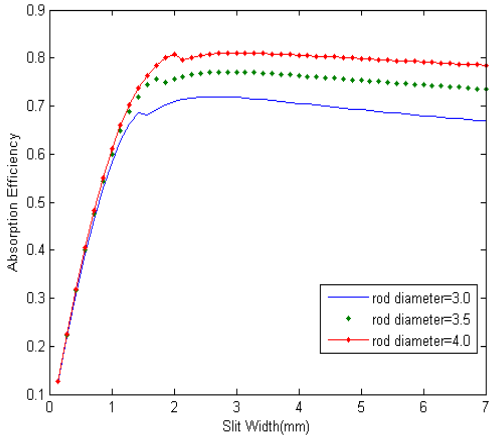
شکل۴ : بازده جذب یک لیزر Nd:YAG دایود دمش برحسب پهنای شکاف برای شکل میدانهای مختلف به ازای $\phi = 3.5mm$ ، $d = 1.5mm$.

در شکل۵ بازده جذب بر حسب پهنای شکاف برای dهای مختلف و شکل پرتو لورنتس-گاوس رسم شده است. مشاهده می‌کنیم که هرچه فاصله دایودها از شکاف‌ها(d) کمتر باشد بازده جذب افزایش می‌یابد.



شکل۵ : بازده جذب یک لیزر Nd:YAG دایود دمش بر حسب پهنای شکاف برای dهای مختلف وشکل پرفایل لورنتس- گاوس به ازای $\phi = 3.5mm$.

شکل۶ بازده جذب برای میدان لورنتس-گاوس، ϕها و پهنای شکاف‌های مختلف را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که هرچه قطر میله لیزری بزرگتر باشد به دلیل جذب بیشتر پرتوها، بازده جذب نیز بزرگتر خواهد بود.



شکل۶ : بازده جذب یک لیزر Nd:YAG دایود دمش بر حسب پهنای شکاف برای ϕ های مختلف و شکل پرفایل لورنتس-گاوس به ازای $d = 1.5mm$.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله بازده جذب بر اساس شکل پرتو دمش مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به شکل۴ و مقایسه بازده جذب برای پرتوهای ورودی مختلف نتیجه می‌گیریم که پرتوهای لورنتس-گاوس بازده جذب بیشتری نسبت به پرتوهای گاوسی وپرتوهای لورنتسی دارند. از آنجا که در عمل پروفایل منابع لیزر دایودی استفاده شده برای دمش دارای پرتو لورنتس-گاوس هستند، نتایج این تحقیق محاسبه بازده دمش را به حالت واقعی نزدیکتر می‌کند. همچنین مشاهده کردیم هر چه فاصله دایودها از شکاف-ها کمتر یا قطر میله لیزری بزرگتر باشد بازده جذب بیشتر می‌شود. در تمام حالت‌ها 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 پهلو توسط لیزر نیمرسانا***"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۸۶.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01]