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

اندازه گیری اتلاف رزوناتور و ضریب بهره لیزرNd:YAG با دمش دیودی جانبی

مجتبی مصلحیان، حسین بازیار، محمد آقایی، محمد مهدی مجیداف و مریم ابریشمی

مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران، تهران

چکیده- در این مقاله با استفاده از روش *Findlay & Clay*، اتلاف و ضریب بهره غیر اشباع لیزر پیوسته *Nd:YAG* با سامانه دمش جانبی دیودی در دو حالت ۳ فولدی و ۵ فولدی اندازه‌گیری و محاسبه می‌شود. اتلاف لیزر با سامانه دمش ۳ فولدی و ۵ فولدی با میله لیزر به قطر*۵mm* به ترتیب ۰/۱۴ و ۰/۱۲ و نیز ضریب بهره غیر اشباع با آینه خروجی با بازتابندگی *70%* به ترتیب $0/05\ cm^{-1}$ و $0/047\ cm^{-1}$ ، و همچنین اتلاف و ضریب بهره غیر اشباع برای لیزر با سامانه دمش ۵ فولدی با میله لیزری به قطر*۶mm* به ترتیب ۰/۱ و $0/045\ cm^{-1}$ اندازه گیری شده است.

کلید واژه- اتلاف ، ضریب بهره ، لیزر Nd:YAG ، سامانه دمش دیودی جانبی.

Measurement of gain coefficient and resonator losses for diode side pumped Nd:YAG laser

Mojtaba Moslehian, Hossein Bazyar, Mohammad Aghaie, Mohammad Mahdi Majidof and Maryam Abrishami

Iranian National Center for Laser Science and Technology, Tehran

In this paper, the loss and the small-signal gain coefficient of diode side-pumped CW Nd-YAG laser with 3-folds and 5-folds pumping modules, were calculated and measured by Findlay & Clay method. The loss for 3-folds and 5-folds pumping module with 5 mm laser rod were measured at 0.14 and 0.12, respectively, and the small-signal gain coefficient of 70% reflection output coupler were obtained 0.05 cm^{-1} and 0.047cm^{-1} , respectively. Also the loss and small-signal gain coefficient of a 5-folds pumping module for a 6 mm laser rod were calculated 0.1 and 0.045cm^{-1}, respectively.

Keywords: Loss, small-signal gain coefficient, Nd:YAG laser, diode side pump module

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

۱- مقدمه

از منابع اتلاف در یک سیستم لیزری ، می‌توان به خروجی لیزر از آینه جلو، جذب و پخش نور توسط آینه‌ها،گسیل طول موج‌هایی غیر از طول موج لیزر و پراکندگی ماده فعال لیزری ناشی از عدم یکنواختی اپتیکی اشاره کرد. در سال ۱۹۶۶، Findlay & Clay از روابط بین اتلاف رزوناتور و بهره ماده فعال لیزری برای مشخص کردن کارائی سیستم لیزری استفاده کردند[۱]. با روش Findlay & Clay می توان اتلاف رزوناتور و ضریب بهره ماده فعال لیزری را مشخص نمود[۲]. این دو عامل نقش مهمی در طراحی و بهینه‌سازی سیستم لیزری مخصوصا درحالت Q - سوئیچ ایفا می‌کنند[۴-۳].

۲- روش اندازه گیری اتلاف و ضریب بهره

اتلاف ناشی از جذب و پراکندگی در داخل محیط فعال را که متناسب با طول محیط فعال هستند می‌توان طبق معادله زیر در ضریب جذب α معرفی کرد[۳]،

$$R_1R_2\exp(g-\alpha)2l=1\rightarrow 2gl=-LnR_1R_2+2\alpha l \qquad (۱)$$

بطوریکه R_1 و R_2 به ترتیب ضریب بازتابندگی آینه خروجی و آینه عقب (که تقریبا برابر یک می باشد)، و l طول آن بخشی از میله لیزری که در معرض دمش قرار دارد ، g ضریب بهره میله لیزری می‌باشند. اتلاف ناشی از پراکندگی سطوح قطعات اپتیکی که به طول محیط فعال وابسته نیستند، δ_m، را طبق رابطه زیر می‌توان به عنوان اتلاف پرتو از آینه عقبی در نظر گرفت.

$$R_2=1-\delta_m \qquad (۲)$$

با استفاده از معادلات (۱) و (۲) می‌توان نوشت،

$$2gl=2\alpha l+\delta_m-LnR_1 \qquad (۳)$$

با قرار دادن $\delta=\delta_m+2\alpha l$، اتلاف در یک رفت و برگشت داخل رزوناتور از معادله زیر بدست می‌آید،

$$2gl=\delta_m+2\alpha l+T\approx T+\delta \qquad (۴)$$

T، ضریب عبور آینه خروجی می‌باشد. در آستانه لیزر، معادله (۳) به صورت زیر خواهد بود،

$$-LnR=2g_0l-\delta \qquad (۵)$$

همچنین توان دمش در آستانه لیزر از معادله زیر محاسبه می شود[۳]،

$$P_{th}=\left(\frac{\delta-LnR}{2}\right)\left(\frac{AI_s}{\eta}\right)\Rightarrow -LnR=\frac{2\eta}{AI_s}P_{th}-\delta \qquad (۶)$$

بطوریکه R ضریب بازتابندگی آینه خروجی، g_0 ضریب بهره غیر اشباع، A سطح مقطع باریکه لیزر روی میله لیزری، I_S شدت اشباع، η ضریب تبدیل دمش به لیزر و δ اتلاف رزوناتور در یک رفت و برگشت می‌باشد.

با توجه به معادلات (۵) و (۶)، میتوان نوشت،

$$2g_0l=\frac{2\eta}{AI_s}P_{th} \qquad (۷)$$

برای اندازه گیری اتلاف رزوناتور و ضریب بهره ماده فعال لیزری، توان لیزر در توان های دمش مختلف با آینه های خروجی با بازتابندگی متفاوت اندازه‌گیری شده و به ازای هر R با استخراج معادله خط، توان دمش آستانه لیزر به دست می‌آید. با استفاده از مقادیر مختلف R و دمش آستانه متناظر، نمودار $(-LnR)$ بر حسب توان دمش آستانه رسم می‌شود. با استخراج معادله خط آن و محاسبه عرض از مبدا، اتلاف رزوناتور در یک رفت و برگشت به دست می‌آید. شیب معادله خط مذکور به صورت معادله زیر خواهد بود،

$$m=\frac{2\eta}{AI_s} \qquad (۸)$$

با استفاده از معادلات (۷) و (۸) ضریب بهره غیر اشباع رزوناتور در یک رفت و برگشت، به ازای هر مقدار R از معادله (۹) بدست می‌آید،

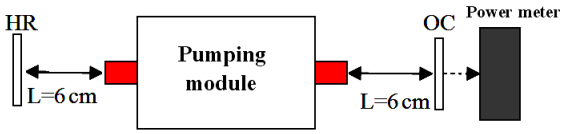
$$g_0=m\frac{P_{th}}{2l} \qquad (۹)$$

۳- چیدمان اندازه گیری

در این آزمایش اندازه‌گیری اتلاف و ضریب بهره برای لیزر پیوسته Nd:YAG، با سامانه دمش ۳ فولدی و نیز سامانه دمش ۵ فولدی انجام شده است. سامانه‌های دمش ۳ و ۵ فولدی هر یک شامل میله لیزری، تیوب کوارتز با لایه نشانی نقره به عنوان کاواک بازتابی دمش و نیز به ترتیب ۳ و ۵ عدد لیزر دیود به عنوان منبع دمش می باشند. هر واحد دمش با بیشینه توان ۳۰۰ وات و طول موج ۸۰۸nm به صورت متقارن حول میله لیزری قرار دارد. این آزمایش با میله لیزری به قطرهای ۵mm و ۶mm با آلایش ۰/۶ درصد یون Nd^{+3} و طول دمش ۵۰mm انجام شده است. برای کاهش اتلاف ناشی از ذرات گرد و غبار روی المانهای

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

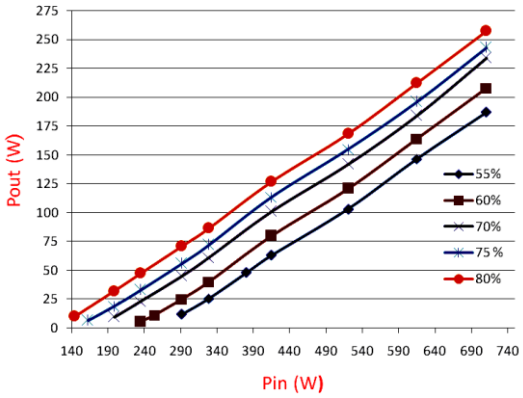
اپتیکی، آزمایش در اتاق تمیز انجام شده و نیز برای کاهش خطای آزمایش هر اندازه گیری ۳ مرتبه تکرار و میانگین آنها در نظر گرفته شده است.



شکل۱:شمای چیدمان آزمایش

۳-۱- سامانه دمش۳ فولدی

در سامانه ۳ فولدی، توان لیزر بر حسب توان دمش با میله لیزر به قطر۵mm و آینه‌های خروجی با بازتابندگی مختلف در شکل (۲) نشان داده شده است.



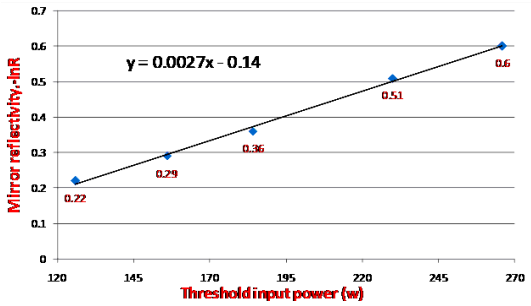
شکل۲ : توان خروجی سامانه دمش ۳ فولدی برحسب توان دمش با میله لیزر به قطر ۵mm و آینه‌های خروجی با بازتابندگی مختلف

با استفاده از معادله‌های خط شکل (۲)، توان دمش آستانه لیزر، مطابق جدول (۱) بدست آمده است،

جدول۱: دمش آستانه لیزر با سامانه ۳ فولدی با میله لیزر ۵mm

$-LnR$	دمش آستانه لیزر	معادله خط	درصد بازتابندگی
۰/۶۰	۲۶۶	y=۰/۴۱۷ x – ۱۱۱/۱	۵۵
۰/۵۱	۲۳۰	y=۰/۴۲۶ x – ۹۸/۰۳	۶۰
۰/۳۶	۱۸۴	y=۰/۴۳۴ x – ۸۰	۷۰
۰/۲۹	۱۵۶	y=۰/۴۳۱ x – ۶۷/۳۷	۷۵
۰/۲۲	۱۲۶	y=۰/۴۳۵ x – ۵۴/۸۵	۸۰

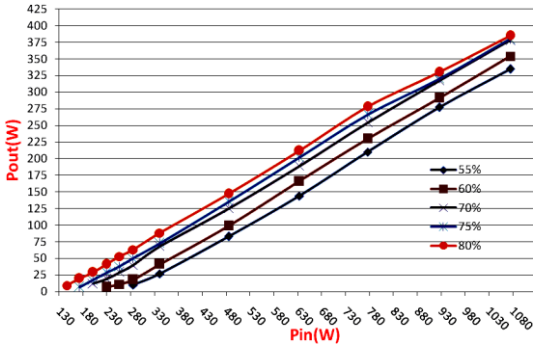
نمودار $(-LnR)$ بر حسب توان دمش آستانه لیزر در شکل (۳) نشان داده شده است. با استفاده از معادله (۶) و شکل (۳) ، اتلاف رزوناتور و شیب خط به ترتیب برابر با ۰/۱۴و$۲/۷\times۱۰^{-۳}$ بدست می آید. برای محاسبه سطح مقطع باریکه لیزر روی میله لیزر، A، روزنه با اندازه‌های مختلف در نزدیکی انتهای میله لیزری در سمت آینه خروجی در داخل رزوناتور قرار داده شده و توان لیزر در دمش آستانه اندازه‌گیری می شود. با این روش قطر پرتو لیزر حدود ۴/۷۵mm بدست می آید. با استفاده از معادلات (۸) و (۹) مقدار η برابر با ۰/۶۹ و مقدار g_0 با آینه خروجی با بازتابندگی ٪۷۰ برابر با $0.05\ cm^{-1}$ بدست می آید.



شکل۳: منحنی $(-LnR)$بر حسب توان دمش آستانه لیزر با سامانه دمش۳ فولدی و میله لیزر ۵mm

۳-۲- سامانه دمش ۵ فولدی

آزمایش با سامانه ۵ فولدی با میله‌های لیزری به قطر ۵mm و ۶mm مانند قسمت ۳-۱ انجام شده ونتایج در شکل‌های (۴)، (۵) و (۶) و جدول‌های (۲) و (۳) نشان داده شده است.

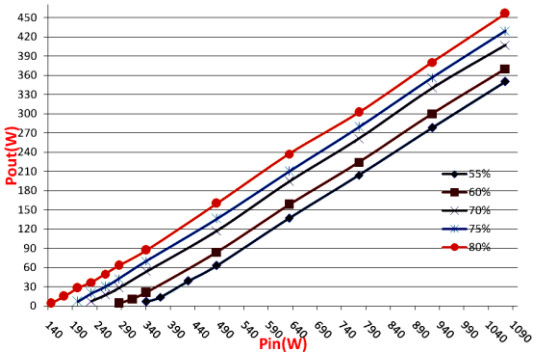


شکل۴ : توان خروجی سامانه دمش ۵ فولدی برحسب توان دمش با میله لیزر به قطر ۵mm و آینه‌های خروجی با بازتابندگی مختلف

مانند آزمایش قبل قطر باریکه لیزر روی میله لیزری اندازه گیری شده و مقدار آن برای میله لیزر با قطرهای ۵mm و ۶mm به ترتیب حدود ۴/۷۵mm و ۵/۷۵ mm بدست آمده است. با استفاده از معادله (۶) و شکل (۶) ، اتلاف

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

رزوناتور و شیب خط برای میله لیزر به قطر۵mm به ترتیب۰/۱۲ و $۲/۶\times۱۰^{-۳}$ و همچنین اتلاف رزوناتور و شیب خط برای میله لیزر به قطر۶mm به ترتیب ۰/۱۰ و ۲×۱۰^{-۳} بدست می آید. با استفاده از معادلات (۸) و (۹) مقدار η برای میله لیزر به قطرهای ۵mm و ۶mm به ترتیب برابر با ۰/۶۷و ۰/۷۵ و همچنین مقدار g_0 با آینه خروجی با بازتابندگی ۷۰٪ به ترتیب $۰/۰۴۷cm^{-1}$ و $۰/۰۴۵cm^{-1}$ محاسبه می شود.



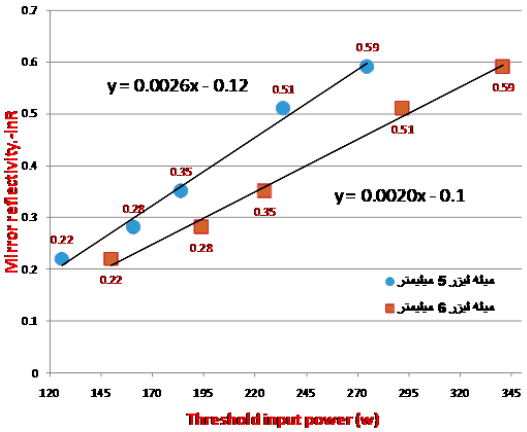
شکل۵ : توان خروجی سامانه دمش ۵ فولدی برحسب توان دمش با میله لیزر به قطر ۶mm و آینه‌های خروجی با بازتابندگی مختلف

جدول ۲ : دمش آستانه لیزر با سامانه ۵ فولدی با میله لیزر ۵mm

$-LnR$	دمش آستانه لیزر	معادله خط	درصد بازتابندگی
۰/۶۰	۲۷۵	y=۰/۴۱۹ x – ۱۱۵/۵	۵۵
۰/۵۱	۲۳۴	y=۰/۴۱۹ x – ۹۸/۲۸	۶۰
۰/۳۶	۱۸۴	y=۰/۴۲۵ x – ۷۸/۴۲	۷۰
۰/۲۹	۱۶۱	y=۰/۴۲۰ x – ۶۷/۸۷	۷۵
۰/۲۲	۱۲۶	y=۰/۴۱۳ x – ۵۲/۳۳	۸۰

جدول ۳ : دمش آستانه لیزر با سامانه ۵ فولدی با میله لیزر ۶mm

$-LnR$	دمش آستانه لیزر	معادله خط	درصد بازتابندگی
۰/۶۰	۳۴۱	y=۰/۴۷۳ x – ۱۶۱/۵	۵۵
۰/۵۱	۲۹۲	y=۰/۴۶۹ x – ۱۳۷/۱	۶۰
۰/۳۶	۲۲۵	y=۰/۴۷۸ x – ۱۰۷/۷	۷۰
۰/۲۹	۱۹۴	y=۰/۴۸۴ x – ۹۴/۱۱	۷۵
۰/۲۲	۱۵۰	y=۰/۴۸۸ x – ۷۳/۴۹	۸۰



شکل۶ : منحنی $(-LnR)$ بر حسب توان دمش آستانه لیزر با سامانه دمش۵ فولدی و میله لیزر ۵mm و ۶mm

۴- نتیجه گیری

با استفاده از روش Findlay & Clay مقدار اتلاف و ضریب بهره غیر اشباع برای لیزر پیوسته Nd:YAG با سامانه دمش ۳ فولدی و همچنین با سامانه دمش ۵ فولدی و میله‌های لیزری با قطرهای مختلف اندازه‌گیری شده است. بنا بر نتایج بدست آمده اتلاف و ضریب بهره غیر اشباع برای سامانه دمش ۳ فولدی با میله لیزر به قطر ۵mm بترتیب۰/۱۴ و $۰/۰۵\ cm^{-1}$و همچنین اتلاف و ضریب بهره غیر اشباع برای سامانه دمش ۵ فولدی با میله لیزری به قطر ۵mm بترتیب۰/۱۲ و $۰/۰۴۷cm^{-1}$ و میله لیزری به قطر ۶mm بترتیب۰/۱ و$۰/۰۴۵cm^{-1}$بدست آمده است.

مراجع

[1] Findlay D & Clay R.A (1966),The measurement of internal losses in 4 level lasers, Phys Lett. 20, 277

[2] Hodgson N & Weber H, (2005), *Laser resonators and beam propagation, fundamental, advanced concepts and applications*, Spinger Science+Business Media Inc, USA

[3] Koechner. W, *Solid-state laser engineering*, (Springer series in optical sciences) Spring-Verlag, New York, 2006

[4] Degnan J.J, (1989), IEEE J. Quantum Electron, QE 25, 214

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]