



بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه ۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز



اندازه گیری اتلاف رزوناتور و ضریب بهره لیزر Nd: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 اندازه گیری و محاسبه می شود. 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 ۷۰٪ 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 0.047 cm^{-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 0.045 cm^{-1} , respectively.

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

$$P_{th} = \left(\frac{\delta - \ln R}{2} \right) \left(\frac{AI_s}{\eta} \right) \Rightarrow -\ln R = \frac{2\eta}{AI_s} P_{th} - \delta \quad (6)$$

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،

$$2g_0l = \frac{2\eta}{AI_s} P_{th} \quad (7)$$

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 اندازه گیری 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 $(-\ln R)$ 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،

$$m = \frac{2\eta}{AI_s} \quad (8)$$

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،

$$g_0 = m \frac{P_{th}}{2l} \quad (9)$$

۳- چیدمان اندازه گیری

در این آزمایش اندازه گیری اتلاف و ضریب بهره برای لیزر پیوسته Nd:YAG، با سامانه دمش ۳ فولدی و نیز سامانه دمش ۵ فولدی انجام شده است. سامانه های دمش ۳ و ۵ فولدی هر یک شامل میله لیزری، تیوب کوآرتز 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

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 کارایی سیستم لیزری استفاده کردند [۱]. با روش Findlay & Clay می‌توان اتلاف رزوناتور و ضریب بهره ماده فعال لیزری را مشخص نمود [۲]. این دو عامل نقش مهمی در طراحی و بهینه‌سازی سیستم لیزری مخصوصاً در حالت Q - سوئیچ ایفا می‌کنند [۳-۴].

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]،

$$R_1 R_2 \exp(g - \alpha) 2l = 1 \rightarrow 2gl = -\ln R_1 R_2 + 2\alpha l \quad (1)$$

بطوریکه R_1 و R_2 به ترتیب ضریب بازتابندگی آینه خروجی و آینه عقب (که تقریباً برابر یک می‌باشد)، 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.

$$R_2 = 1 - \delta_m \quad (2)$$

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

$$2gl = 2\alpha l + \delta_m - \ln R_1 \quad (3)$$

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

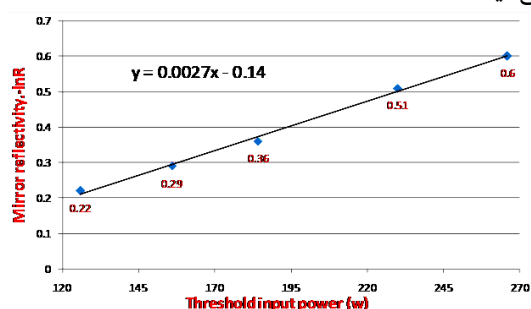
$$2gl = \delta_m + 2\alpha l + T \approx T + \delta \quad (4)$$

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

$$-\ln R = 2g_0l - \delta \quad (5)$$

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

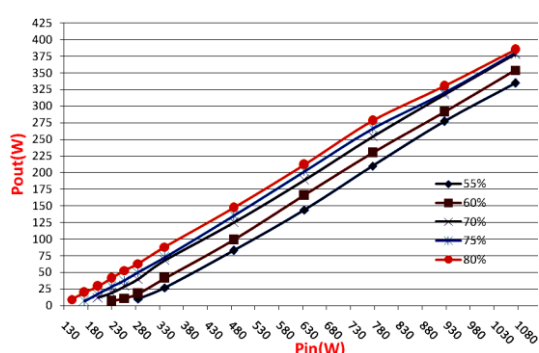
شکل (۳)، اتلاف رزوناتور و شیب خط به ترتیب برابر با 0.14×10^{-3} و 2.7×10^{-3} بدست می آید. برای محاسبه سطح مقطع باریکه لیزر روی میله لیزر، A ، روزه با اندازه‌های مختلف در نزدیکی انتهای میله لیزری در سمت آینه خروجی در داخل رزوناتور قرار داده شده و توان لیزر در دمش آستانه اندازه‌گیری می‌شود. با این روش قطر پرتو لیزر حدود $4/75 \text{ mm}$ بدست می‌آید. با استفاده از معادلات (۸) و (۹) مقدار η برابر با 0.69 و مقدار g_0 با آینه خروجی با بازتابندگی 70% برابر با 0.5 cm^{-1} بدست می‌آید.



شکل ۳: منحنی $(-\ln R)$ بر حسب توان دمش آستانه لیزر با سامانه دمش ۳ فولدی و میله لیزر 5 mm

۳-۲- سامانه دمش ۵ فولدی

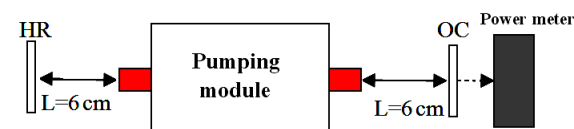
آزمایش با سامانه ۵ فولدی با میله‌های لیزری به قطر 5 mm و 6 mm مانند قسمت ۳-۱ انجام شده و نتایج در شکل‌های (۴)، (۵)، و (۶) و جدول‌های (۲) و (۳) نشان داده شده است.



شکل ۴: توان خروجی سامانه دمش ۵ فولدی بر حسب توان دمش با میله لیزر به قطر 5 mm و آینه‌های خروجی با بازتابندگی مختلف

مانند آزمایش قبل قطر باریکه لیزر روی میله لیزری اندازه‌گیری شده و مقدار آن برای میله لیزر با قطرهای 5 mm و 6 mm به ترتیب حدود $4/75 \text{ mm}$ و $5/75 \text{ mm}$ بدست آمده است. با استفاده از معادله (۶) و شکل (۶)، اتلاف

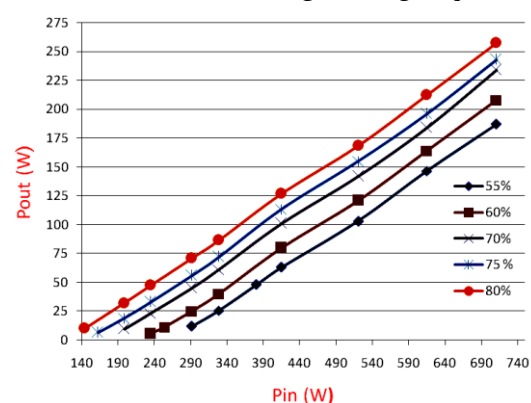
اپتیک، آزمایش در اتاق تمیز انجام شده و نیز برای کاهش خطای آزمایش هر اندازه‌گیری ۳ مرتبه تکرار و میانگین آنها در نظر گرفته شده است.



شکل ۱: شمای چیدمان آزمایش

۳-۱- سامانه دمش ۳ فولدی

در سامانه ۳ فولدی، توان لیزر بر حسب توان دمش با میله لیزر به قطر 5 mm و آینه‌های خروجی با بازتابندگی مختلف در شکل (۲) نشان داده شده است.



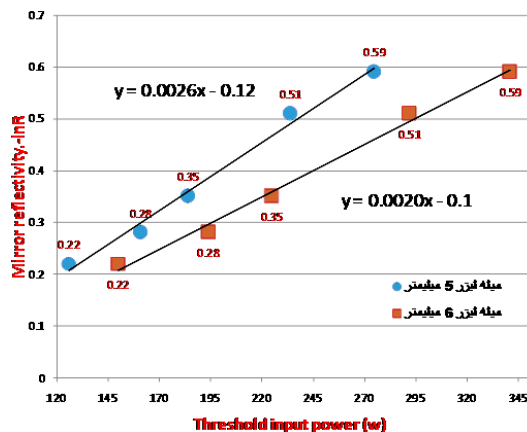
شکل ۲: توان خروجی سامانه دمش ۳ فولدی بر حسب توان دمش با میله لیزر به قطر 5 mm و آینه‌های خروجی با بازتابندگی مختلف

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

جدول ۱: دمش آستانه لیزر با سامانه ۳ فولدی با میله لیزر 5 mm

درصد بازتابندگی	معادله خط	دش آستانه لیزر	$-\ln R$
۵۵	$y = 0.417x - 111/1$	۲۶۶	0.60
۶۰	$y = 0.426x - 98/0.3$	۲۳۰	0.51
۷۰	$y = 0.434x - 80$	۱۸۴	0.36
۷۵	$y = 0.431x - 67/37$	۱۵۶	0.29
۸۰	$y = 0.435x - 54/85$	۱۲۶	0.22

نمودار $(-\ln R)$ بر حسب توان دمش آستانه لیزر در شکل (۳) نشان داده شده است. با استفاده از معادله (۶) و



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

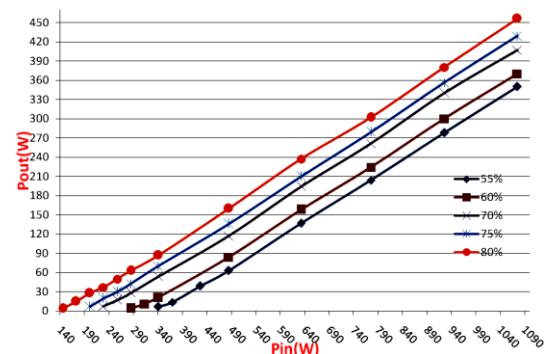
۴- نتیجه گیری

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 بترتیب ۰/۱۴ و 0.05 cm^{-1} و همچنین اتلاف و ضریب بهره غیر اشباع برای سامانه دمش ۵ فولدی با میله لیزری به قطر ۵mm بترتیب ۰/۱۲ و 0.047 cm^{-1} و میله لیزری به قطر ۶mm بترتیب ۰/۱ و 0.045 cm^{-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*, Springer Science+Business Media Inc, USA
- [3] Koechner, W, *Solid-state laser engineering*, (Springer series in optical sciences) Springer-Verlag, New York, 2006
- [4] Degnan J.J, (1989), IEEE J. Quantum Electron, QE 25, 214

رزوناتور و شیب خط برای میله لیزر به قطر ۵mm به ترتیب ۰/۱۲ و 0.04×10^{-3} و همچنین اتلاف رزوناتور و شیب خط برای میله لیزر به قطر ۶mm به ترتیب ۰/۱۰ و 0.03×10^{-3} بدست می آید. با استفاده از معادلات (۸) و (۹) مقدار η برای میله لیزر به قطرهای ۵mm و ۶mm به ترتیب برابر با ۰/۶۷ و ۰/۷۵ و همچنین مقدار g_0 با آینه خروجی با بازتابندگی ۷۰٪ به ترتیب 0.47 cm^{-1} و 0.45 cm^{-1} محاسبه می شود.



شکل ۵: توان خروجی سامانه دمش ۵ فولدی بر حسب 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	$y = 0.419x - 115/5$	۵۵
۰/۵۱	۲۳۴	$y = 0.419x - 98/28$	۶۰
۰/۳۶	۱۸۴	$y = 0.425x - 78/42$	۷۰
۰/۲۹	۱۶۱	$y = 0.420x - 67/87$	۷۵
۰/۲۲	۱۲۶	$y = 0.413x - 52/33$	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	$y = 0.473x - 161/5$	۵۵
۰/۵۱	۲۹۲	$y = 0.469x - 137/1$	۶۰
۰/۳۶	۲۲۵	$y = 0.478x - 107/7$	۷۰
۰/۲۹	۱۹۴	$y = 0.484x - 94/11$	۷۵
۰/۲۲	۱۵۰	$y = 0.488x - 73/49$	۸۰