بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۴-۱۲ بهمن ۱۴۰۰

طراحی تشدیدگر Cavity-Dumping لیزر دیسک نازک پرتوان

احمد مشاعی[۱]، سعید رادمرد[۱،۲] و محمد اباذری[۲]

۱) گروه فیزیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.۲) مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران، تهران.

Email: radmard@inlc.ir

چکیده - تغییرات دیوپتر نوری مادهی فعّال لیزر دیسک حین دمش، با استفاده از حسگر جبهه موج و چیدمان اپتیکی مربوطه، اندازهگیری و گزارش شده است. با توجه به نتایج اندازهگیریها و قیدهای تعریف شده، اقدام به طراحی تشدیدگر مبتنی بر روش Cavity-Dumping شده است. طراحیها بر اساس قیدهای تعریف شده بر روی اندازهی مدهای عرضی، کیفیت باریکه، و پایداری تشدیدگر بر اساس ملاحظات یک لیزر صنعتی انجام شده است. تشدیدگر L-شکل از نظر تغییرات حساسیت تنظیم نسبت به توان دمش عملکرد بهتری دارد. در مقابل تشدیدگر V-شکل از کیفیت باریکه بهتری برخوردار است.

کلید واژه- Cavity-Dumping، تشدیدگر لیزر، لنز حرارتی، لیزر دیسک نازک.

Resonator Design for High Average Power Cavity-Dumped Thin-Disk-Laser

Ahmad Moshaii[۱], Saeid Radmard[۱،۲], and Mohammad Abazari[۲]

۱) □□□□□□□□□□□ □□ □□□□□□□□, □□□□□□□□ Modares University, Tehran, Iran. ۲) □□□□□□□□ □□□□□□□□□ □□□□□□□ □□□ Laser Science and Technology (INLC), Tehran, Iran.

Email: radmard@inlc.ir

Abstract- In this paper the dependency of dioptric power of the active medium on pumping power is measured. Based on the measured data two different configurations for laser resonator of a cavity-dumped thin disk laser were designed, optimized and reported; V-shape and I-shape. In the design procedure considerations of an industrial laser resonator are assumed. Results of the designed resonators in miss-alignment sensitivity and M^2 factor compared and discussed.

Keywords: Cavity-dumping, Laser resonator, Thermal lensing, Thin-disk laser.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

مقدمه

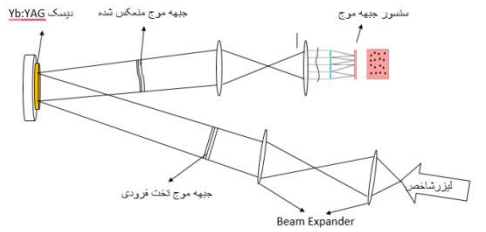
پالس‌های چند ده نانوثانیه با توان متوسط چندصد وات کاربردهای بسیار زیادی در صنعت دارند. در توان‌های حدود ۵۰۰ وات تا کیلووات می‌توان ضمن اجتناب از پیچیدگی‌های نوسانگر-تقویت کننده، این پالس‌ها را با یک تک نوسانگر لیزر دیسک تولید کرد. هر چند در لیزرهای حالت جامد پالس‌های با پهنای زمانی چند ده نانوثانیه، اغلب با روش Q-Switch تولید می‌شوند، اما با توجه به شرایط لیزر دیسک از لحاظ بهرهٔ کلی پایین [۱] و طول تشدیدگر که معمولاً از مرتبه‌ی متر است، نتایج استفاده از روش Q-Switch در این نوع لیزرها به پالس‌های از مرتبهٔ چند صد نانوثانیه تا حدود میکروثانیه محدود شده است [۲]. برای تولید پالس‌های در محدودهٔچند ده نانو ثانیه از روش Cavity-Dumping استفاده می‌شود[۳]. این روش بر خلاف روش Q-Switch که بر اساس مدولاسیون اتلاف داخل تشدیدگر عمل می‌کند، مبتنی بر مدولاسیون ضریب انعکاس آینه‌ی خروجی لیزر می‌باشد. به همین دلیل پهنای پالس خروجی لیزر تا اندازه زیادی با توجه به ضریب مدولاسیون آینه‌ی خروجی قابل کنترل است.

با توجه نکات مذکور انجام مراحل مختلف طراحی و ساخت یک لیزر دیسکی با توان متوسط حدود ۵۰۰ وات و پهنای پالس حدود ۲۰ نانوثانیه در دستور کار قرار گرفت. طراحی تشدیدگر مناسب برای استفاده از روش Cavity-Dumping به دلایل زیر از اهمیت زیادی برخوردار است: تغییرات دیوپتر ماده‌ی فعال وابسته به توان دمش [۴]، زوایای تند هندسی در طراحی این نوع تشدیدگرها، که استفاده از تقریب پیرامحوری و ماتریسهای ABCD را نادقیق می‌سازد، و اهمیت پیش‌بینی کیفیت باریکه و حساسیت تشدیدگر نسبت به miss-alignment، با توجه به کاربری نهایی سیستم طراحی شده برای مصارف صنعتی، در این مقاله تغییرات دیوپتر لیزر دیسک حین عملکرد لیزری به صورت تابعی از توان دمش اندازه‌گیری شده است. با توجه به نتایج اندازه‌گیری‌ها و قیدهای تعریف شده جهت طراحی تشدیدگر مبتنی به روش Cavity-Dumping اقدام به طراحی و بهینه‌سازی دو نوع تشدیدگر براساس این روش شده است. حساسیت نسبت به ناپایداری‌ها و کیفیت باریکه برای این دو نوع تشدیدگر مقایسه شده‌اند.

اندازه‌گیری تغییرات دیوپتر دیسک

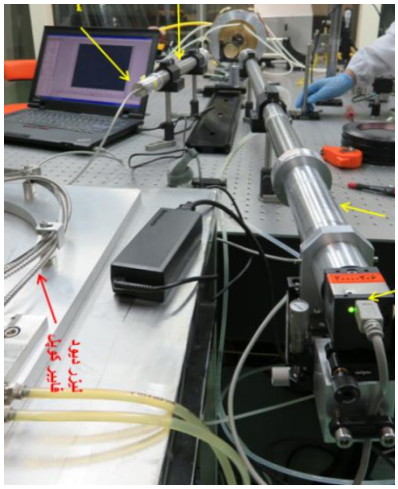
عوامل متعددی که منجر به تغییر شعاع انحنای دیسک در نتیجه دمش می‌شوند در نهایت یک شعاع انحنای موثر وابسته به دمش در دیسک بوجود می‌آورند که با توجه به نتایج اندازه‌گیری‌هایی که ارائه می‌شوند، می‌توان آن را با یک سطح کروی تقریب زده و به عنوان لنز حرارتی متغیر در داخل تشدیدگر به حساب آورد [۵].

اندازه‌گیری شعاع انحنای دیسک در این لیزر بر مبنای اندازه‌گیری تغییر جبهه‌ی‌موج تخت منعکس شده از سطح دیسک انجام گرفته است. در این چیدمان یک جبهه‌ی‌موج تخت از خروجی یک لیزر دیود فایبر کوپل با استفاده از یک Beam-Expander ایجاد می‌شود. تصویر این جبهه‌ی‌موج پس از انعکاس از سطح دیسک توسط یک تلسکوپ به داخل سنسور جبهه‌ی‌موج منتقل شده و با در نظر گرفتن ضریب بزرگنمایی تلسکوپ اعداد اندازه‌گیری شده برای تغییرات جبهه‌ی‌موج به شعاع انحنا تبدیل می‌شوند. در شکل (۱) طرح کلی چیدمان اندازه‌گیری شعاع انحنای دیسک و در شکل (۲) تصویری از چیدمان آزمایشگاهی آن نشان داده شده است.



شکل۱: طرح کلی چیدمان اندازه‌گیری شعاع انحنای دیسک.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]



شکل۲: چیدمان آزمایشگاهی اندازه‌گیری شعاع انحنای دیسک.

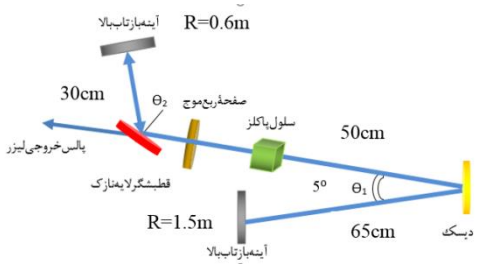
بر اساس اندازه‌گیری انجام شده و برازش یک منحنی بر داده‌های اندازه‌گیری شده، رابطه‌ای بین شعاع انحنای دیسک و توان دمش به صورت زیر بدست می‌آید:

$$R = 0.0016P_p + 4.79 \qquad (۱)$$

در این رابطه R شعاع انحنای دیسک بر حسب متر و P_p توان دمش بر حسب وات است.

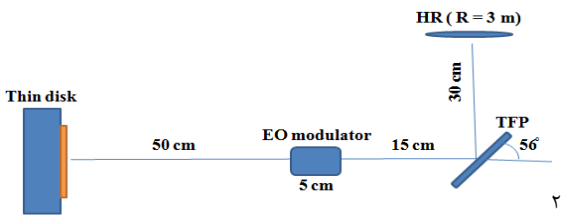
شبیه سازی تشدیدگر

درشکل (۳) طرح کلی چیدمان Cavity-Dumping با تشدیدگر V-شکل نشان داده شده است. در این روش نوسان لیزر بین دو آینه بازتاب بالا صورت می‌گیرد. بین این دو آینه یک سلول پاکلز و یک قطبشگر قرار گرفته است. با اعمال ولتاژ به سلول پاکلز قطبش نور داخل تشدیدگر تغییر می‌کند. در این طرح، قطبشگر به عنوان آیینهٔ خروجی لیزر عمل می‌کند. میزان عبور و انعکاس این المان برحسب قطبش موج داخل تشدیدگر متغیر است. مبانی تولید پالس‌های لیزری با استفاده از این روش در منابع مختلف به خوبی تشریح شده است[۶].



شکل۳:طرح چیدمان Cavity-Dumping با تشدیدگر V-شکل.

با توجه به نتایج اندازه‌گیری تغیرات شعاع انحنای دیسک بر حسب توان دمش، دیسک به عنوان یک لنز متغیر در داخل تشدیدگر در نظر گرفته شده است. قیدهای تعریف شده در طراحی تشدیدگر به صورت زیر می‌باشد: ۱) به منظور دستیابی به بیشترین بازده اپتیکی قطر لکه‌ی مدهای عرضی تشدیدگر در سطح دیسک، برابر قطر لکه‌ی دمش یعنی حدود ۷ میلیمتر باشد. ۲) کیفیت باریکه در توان دمش کاری تشدیدگر کمتر از ۲۴ باشد. ۳) ضریب g_1g_2 تشدیدگرهای طراحی شده بین ۰,۶۵ و ۰,۳۵ باشد. ۴) در محل مدولاتور الکترواپتیکی قطر لکه مدهای تشدیدگر از ۹ میلیمتر کمتر باشد. ۵) کیفیت باریکه‌ی تشدیدگرهای طراحی شده در توان‌های دمش مختلف کمترین تغییرات را داشته باشد. در این مطالعه از نرم‌افزار LASCAD[۱] جهت مدلسازی تشدیدگر استفاده گردیده است. با توجه به قیدهای ذکر شده بررسی دو نوع تشدیدگر به شکلهای L و V در دستور کار قرار داده شد. طرحی از تشدیدگر شکل V و L با پارامترهای بهینه‌ی بدست آمده بر اساس قیدهای تعریف شده به ترتیب در شکلهای (۳) و (۴) نشان داده شده است.



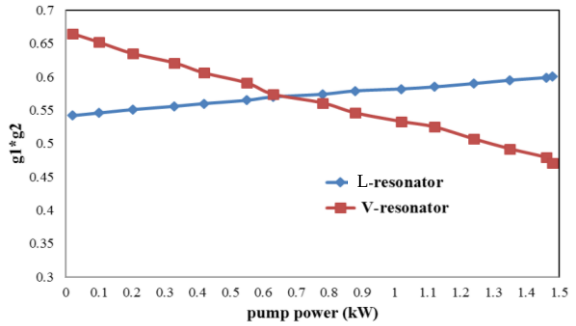
۲

[۱] Laser Cavity Analysis and Design

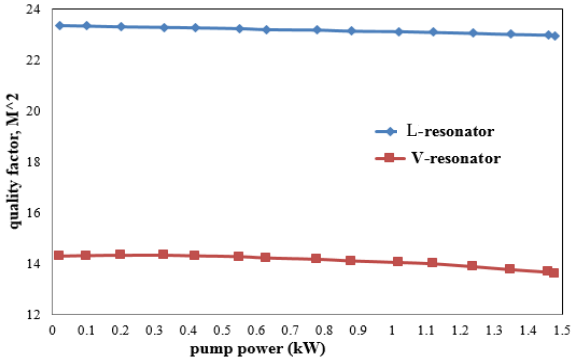
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

شکل ۴: چیدمانL- شکل با مقادیر بهینه شده بر اساس قیدهای طراحی.

نمودارهای مربوط به حاصلضرب g_1g_2 برای تشدیدگرهای مذکور در شکل (۵) ارائه شده است. مقدار این حاصلضرب برای تشدیدگرهای پایدار باید بین یک و صفر باشد. هر چقدر این مقدار به نقاط مرزی این بازه نزدیکتر باشد، تشدیدگر از لحاظ تنظیم حساسیت بیشتری دارد.



شکل ۵: حاصلضرب g_1g_2 برای دو تشدیدگر طراحی شده.



شکل۶: کیفیت باریکه بر حسب توان دمش (تغییرات دیوپتر) دیسک برای دو تشدیدگر طراحی شده.

همانگونه که در نمودار شکل (۵) مشخص است، تشدیدگرهای طراحی شده از نظر ضریب g_1g_2 در ناحیه‌ی بهینه‌ی پایداری (بین ۰,۶۵ و ۰,۴) قرار داشته و لذا کمترین حساسیت تنظیم را دارند. در نمودار شکل (۶) کیفیت باریکه‌ی تشدیدگرهای طراحی شده و تغییرات آن برحسب توان دمش ارائه شده است. مشاهده می‌شود که تشدیدگرهای مذکور از نظر کیفیت باریکه نیز در محدوده‌ی مطلوب قرار گرفته‌اند.

نتیجه‌گیری

بر اساس اندازه‌گیری تغییرات دیوپتر دیسک بر حسب توان دمش دو نوع تشدیدگر Cavity-Dump طراحی و بررسی شده‌اند. با توجه به کاربرد صنعتی در نظر گرفته شده برای این لیزر، طراحی‌ها بر اساس قیدهای تعریف شده بر روی اندازه‌ی مدهای عرضی، کیفیت باریکه، و پایداری تشدیدگر انجام شده است. تشدیدگر L-شکل از نظر تغییرات حساسیت تنظیم نسبت به توان خروجی عملکرد بهتری دارد. در مقابل تشدیدگر V-شکل از کیفیت باریکه‌ی بهتری برخوردار است. با توجه به ملاحظات تعریف شده از هر دو نوع تشدیدگر می توان استفاده نمود.

سپاسگزاری

نویسندگان از جناب آقای مهندس مهدی بختیاری پژوهشگر مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران جهت همکاری در اندازه‌گیری دیوپتر دیسک نهایت امتنان و سپاسگذاری را دارند.

مرجع‌ها

[۱] M. Moslehian, S. Arabgari, E. Nahvifard, and S. Radmard, "Measurement of gain coefficient and resonator internal loss in Yb: YAG thin-disk-laser," *Optics & Laser Technology*, vol. ۱۱۸, pp. ۱۵۱-۱۵۸, ۲۰۱۹.

[۲] A. V. Hristian Stolzenburg, Thomas Grafa, Mikhail Larionov, Adolf Giesenc, "Advanced pulsed thin disk laser sources," *SPIE*, vol. ٦٨٧١ ٦٨٧١٠H-١, ٢٠٠٨.

[۳] S.-S. Schad, T. Gottwald, V. Kuhn, M. Ackermann, D. Bauer, M. Scharun, *et al.*, "Recent development of disk lasers at TRUMPF," in *Solid State Lasers XXV: Technology and Devices*, ٢٠١٦, p. ٩٧٢٦١٥.

[٤] S. Arabgari, M. Aghaie, S. Radmard, and S. H. Nabavi, "Thin-disk laser resonator design: The dioptric power variation of thin-disk and the beam quality factor," *Optik*, vol. ١٨٥, pp. ٨٦٨-٨٧٤, ٢٠١٩.

[٥] M. Shayganmanesh, M. Daemi, Z. Osgoui, S. Radmard, and S. S. Kazemi, "Measurement of thermal lensing effects in high power thin disk laser," *Optics & Laser Technology*, vol. ٤٤, pp. ٢٢٩٢-٢٢٩٦, ٢٠١٢.

[٦] W. Koechner, *Solid-state laser engineering* vol. ١: Springer, ٢٠١٣.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

با سلام و احترام

مولفان از فرصت گرانبهای داور محترم جهت مطالعه متن مقاله و ارائهٔ نکات ارزنده نهایت امتنان و سپاسگذاری را دارند.

- با توجه به نظر داور محترم متن مقاله از نظر نگارشی مورد بازبینی و اصلاح قرار گرفت.
- معادله (۱) اصلاح شد. برازش این معادله سهوا بر اساس جریان تزریقی به دیود دمش در مقاله ذکر شده بود. که تصحیح شد. این معادله نتیجه برازش معادله ای به نتایج اندازه گیری است و ضرایب ثابت آن بی بعد نیستند.

با تجدید احترام.

.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]