



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 فعال 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 قیده‌های تعریف شده، اقدام به طراحی تشدیدگر مبتنی بر روش Cavity-Dumping شده است. طراحی‌ها بر اساس قیده‌های 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) گروه فیزیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران. ۲) مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران، تهران.
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^۲ factor compared and discussed.

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

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 بهره 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 مرتبه چند صد نانوثانیه تا حدود میکروثانیه محدود شده است [۲]. برای تولید پالس‌های در محدوده چند 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.

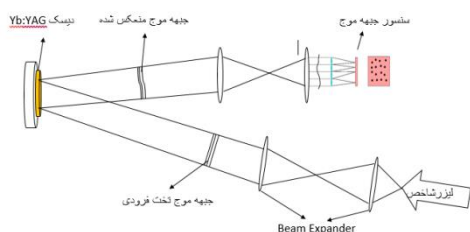
با توجه نکات مذکور انجام مراحل مختلف طراحی و ساخت یک لیزر دیسکی با توان متوسط حدود ۵۰۰ وات و پهنای پالس حدود ۲۰ نانوثانیه در دستور کار قرار گرفت. طراحی تشدیدگر مناسب برای استفاده از روش Cavity-Dumping به دلایل زیر از اهمیت زیادی برخوردار است: تغییرات دیوپتر ماده‌ی فعال وابسته به توان دمش [۴]، زوایای 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

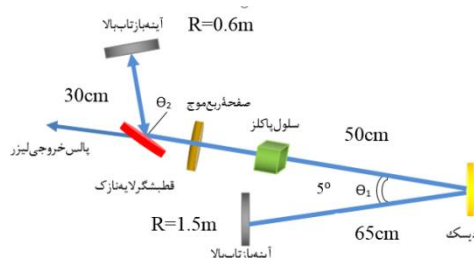
عوامل متعددی که منجر به تغییر شعاع انحنای دیسک در نتیجه دمش می‌شوند در نهایت یک شعاع انحنای موثر وابسته به دمش در دیسک بوجود می‌آورند که با توجه به نتایج اندازه‌گیری‌هایی که ارائه می‌شوند، می‌توان آن را با یک سطح کروی تقریب زده و به عنوان لنز حرارتی متغیر در داخل تشدیدگر به حساب آورد [۵].

اندازه‌گیری شعاع انحنای دیسک در این لیزر بر مبنای اندازه‌گیری تغییر جبهه‌ی موج تخت منعکس شده از سطح دیسک انجام گرفته است. در این چیدمان یک جبهه‌ی موج تخت از خروجی یک لیزر دیود فایبر کوپل با استفاده از یک Beam-Expander ایجاد می‌شود. تصویر این جبهه‌ی موج پس از انعکاس از سطح دیسک توسط یک تلسکوپ به داخل سنسور جبهه‌ی موج منتقل شده و با در نظر گرفتن ضریب بزرگنمایی تلسکوپ اعداد اندازه‌گیری شده برای تغییرات جبهه‌ی موج به شعاع انحنای 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.



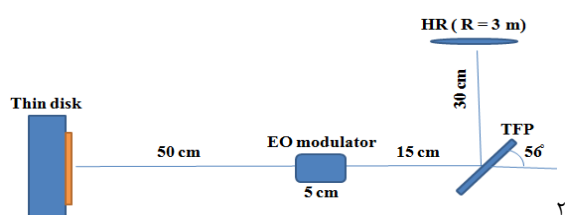
شکل ۱: طرح کلی چیدمان اندازه‌گیری شعاع انحنای دیسک.

در منابع مختلف به خوبی تشریح شده است [۶].

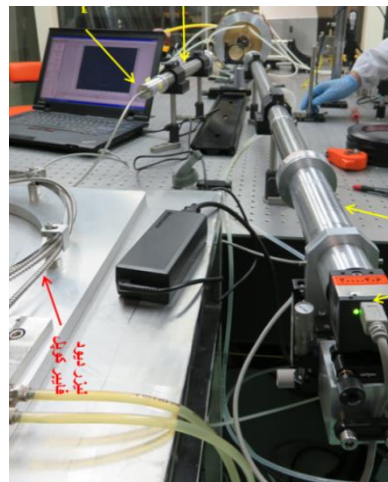


شکل ۳: طرح چیدمان Cavity-Dumping با تشدیدگر V-شکل.

با توجه به نتایج اندازه‌گیری تغییرات 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 $g_1 g_2$ 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. طراحی 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.



^۱Laser Cavity Analysis and Design



شکل ۲: 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:

$$R = 0.0016P_p + 4.79 \quad (۱)$$

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

شبیه سازی تشدیدگر

در شکل (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 آینه خروجی لیزر عمل می‌کند. میزان عبور و انعکاس این المان بر حسب قطبش موج داخل تشدیدگر متغیر است. مبانی تولید پالس‌های لیزری با استفاده از این روش

نتیجه گیری

بر اساس اندازه گیری تغییرات دیوپتر دیسک بر حسب توان دمش دو نوع تشدیدگر Cavity-Dump طراحی و بررسی شده اند. با توجه به کاربرد صنعتی در نظر گرفته شده برای این لیزر، طراحی ها بر اساس قیدهای تعریف شده بر روی اندازه ی 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 باریکه ی بهتری برخوردار است. با توجه به ملاحظات تعریف شده از هر دو نوع تشدیدگر می توان استفاده نمود.

سپاسگزاری

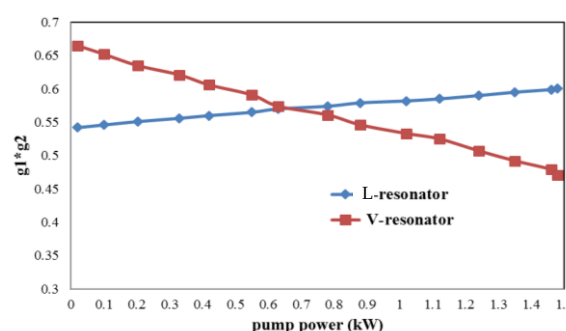
نویسندگان از جناب آقای مهندس مهدی بختیاری پژوهشگر مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران جهت همکاری در اندازه گیری دیوپتر دیسک نهایت امتنان و سپاسگذاری را دارند.

مرجع ها

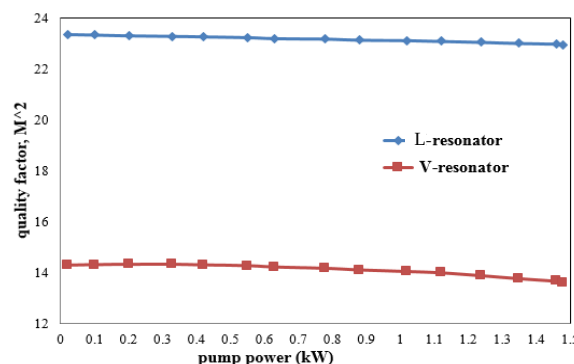
- [۱] M. Moslehian, S. Arabgari, E. Nahvifard, and S. Radmard, "Measurement of gain coefficient and resonator internal loss in Yb: YAG thin-disk-laser," *Optics & Laser Technology*, vol. ۱۱۸, pp. ۱۵۱-۱۵۸, ۲۰۱۹.
- [۲] A. V. Hristian Stolzenburg, Thomas Grafa, Mikhail Larionov, Adolf Giesenc, "Advanced pulsed thin disk laser sources," *SPIE*, vol. ۶۸۷۱ ۶۸۷۱۰H-۱, ۲۰۰۸.
- [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*, ۲۰۱۶, p. ۹۷۲۶۱۵.
- [۴] 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. ۱۸۵, pp. ۸۶۸-۸۷۴, ۲۰۱۹.
- [۵] 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. ۴۴, pp. ۲۲۹۲-۲۲۹۶, ۲۰۱۲.
- [۶] W. Koechner, *Solid-state laser engineering* vol. ۱: Springer, ۲۰۱۳.

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

نمودارهای مربوط به حاصلضرب $g_1 g_2$ 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 $g_1 g_2$ برای دو تشدیدگر طراحی شده.



شکل ۶: 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 $g_1 g_2$ در ناحیه ی

بهینه ی پایداری (بین ۰.۴ و ۰.۶۵) قرار داشته و لذا کمترین

حساسیت تنظیم را دارند. در نمودار شکل (۶) کیفیت

باریکه ی تشدیدگرهای طراحی شده و تغییرات آن بر حسب

توان دمش ارائه شده است. مشاهده می شود که

تشدیدگرهای مذکور از نظر کیفیت باریکه نیز در محدوده ی

مطلوب قرار گرفته اند.

با سلام و احترام

مolfان از فرصت گرانبهای داور محترم جهت مطالعه متن مقاله و ارائه 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.

.