



International Journal of Advanced Academic Studies

E-ISSN: 2706-8927

P-ISSN: 2706-8919

www.allstudyjournal.com

IJAAS 2020; 2(3): 438-442

Received: 17-05-2020

Accepted: 12-07-2020

پوهنمل سورگل کشمیری
استاد پوهنخی تعلیم و تربیه
پوهنتون بلخ – افغانستان

لیزر های حالت جامد و تأثیر حرارت بر عملکرد آنه

پوهنمل سورگل کشمیری

Abstract

In solid-state lasers, the active ingredient in the laser is a metal ion that is impregnated with a low concentration in the lattice of a crystal or in glass. The metals used for this purpose, such as lanthanides, are actinides. The most important solid state lasers are ruby lasers and neodymium lasers (Nd: glass, Nd: YAG). Solid state lasers have a wide range of applications in various fields of industry, medicine and military due to their small size, portability, diverse pumping sources and better radius quality compared to other lasers.

Nd: YAG laser is the most popular solid state laser that emits a wavelength of 1064 nm under normal conditions. By changing the laser cavity conditions, the proper selection of mirrors or cooling of the crystal other wavelengths are also available. Also, due to the high density of photon production in this laser, it is possible to produce higher coordinates using nonlinear crystals.

pumping sources in this laser are lamps and diodes. the solid-state lasers with pumping diodes are receiving more attention than lamp-pumping solid-state lasers because of their high efficiency, low volume, longer life, and better optical quality. Heat production in high-power solid state lasers has important effects on the performance of lasers, so the role and effect of heat must be considered in the design and manufacture of such lasers.

Key words: Solid state lasers, types of pumping solid state lasers, thermal effects and lens oriented effects

خلاصه

در لیزرهای حالت جامد، ماده فعال ایجاد کننده لیزر، یک یون فلزی است که با غلظت کم در شبکه یک بلور یا درون شیشه، به صورت ناخالصی قرار داده شده است. فلزاتی که برای این منظور بکار می‌روند مانند لانتانیدها آکتینیدها میباشند. مهمترین لیزرهای حالت جامد، لیزرهای یاقوت، لیزرهای نئودیموم (Nd:glass, Nd:YAG) میباشند. لیزرهای حالت جامد به دلیل حجم کم، قابل حمل بودن، منابع دمشی متنوع و کیفیت شعاع بهتر در مقایسه با سایر لیزرها، کاربردهای وسیعی در حوزه های مختلف صنعت، پزشکی و نظامی دارند.

لیزر Nd: YAG مشهور ترین لیزر حالت جامد است که در شرایط عادی طول موج 1064 نانومتر گسیل میدارد. با تغییر شرایط کاواک لیزری، انتخاب مناسب آینه ها و یا سرد کردن بلور طول موج های دیگری نیز در دسترس می باشند. همچنین با توجه به کثافت بالای تولید فوتون در این لیزر امکان تولید هماهنگ های بالاتر با استفاده از بلور های غیر خطی نیز وجود دارد. منابع دمشی در این لیزر لامپ ها و دیودها میباشند. لیزر های حالت جامد با دمش دیودی در مقایسه با لیزرهای حالت جامد با دمش لامپی، به دلیل بازده بالا، حجم کم، عمر بیشتر و کیفیت اپتیکی بهتر، بیشتر مورد توجه قرار دارند. تولید حرارت در لیزرهای حالت جامد پرتوان، اثرات مهمی بر عملکرد لیزر دارد، لذا باید در طراحی و ساخت این گونه لیزرها، نقش و تأثیر حرارت به صورت صحیح در نظر گرفته شود.

کلیمات کلیدی: لیزر های حالت جامد، انواع دمش لیزرهای حالت جامد، اثرات حرارتی و عدسیه گرای

مقدمه

کلمه لیزر حاصل ترکیب حروف اول کلمه های انگلیسی "Light amplification by stimulated emission of radiation" به معنی: تقویت نور از طریق گسیل القایی تابش است. لیزر وسیله ای برای تولید باریکه ای از نور یک رنگ در نواحی ماورای بنفش، مرئی و مادون قرمز است، طیف الکترومقناطیسی که در آن همه موجها هم فاز اند یعنی باریکه نور از نظر فضایی (به خاطر هم فازی همه امواج) و زمانی به خاطر یکسانی فرکانس امواج منسجم هستند. در نتیجه این انسجام، باریکه ای داریم که واگرایی آن به طور نسبی اندک و تراکم انرژی در واحد سطح در فاصله دور بسیار زیاد است. این کثافت توان تقریباً در هر دو انتهای باریکه ثابت است که عامل مهمی در خطر بالقوه لیزر محسوب میشود^[5].

طرح مسأله: بهترین کارکرد یک لیزر حالت جامد چه زمانی اتفاق می افتد و اثرات حرارتی بالای لیزر های حالت جامد چگونه از کارای لیزر می کاهد.

اهداف تحقیق: بررسی عوامل تأثیر گذار بالای کار کرد لیزرهای حالت جامد و دست یافتن به نور با کیفیت و پر قدرت لیزر حالت جامد.

Corresponding Author:

پوهنمل سورگل کشمیری
استاد پوهنخی تعلیم و تربیه
پوهنتون بلخ-افغانستان

نشر القایی

بنا به نظریه کوانتومی مدارهای الکترون (ترازهای انرژی) محدود به اندازه‌های منفصلی می‌باشند (غیر از این هم ممکن نیست) و انرژی که هر اتم یا مولکول می‌تواند داشته باشد، به یکی از این مقادیر محدود می‌شود. به علاوه وقتی انرژی اتم با حرکت الکترون به مدارهای مجاز، کاهش می‌یابد، فوتونی منتشر می‌شود که انرژی ΔE آن برابر اختلاف انرژی اتم در قبل و بعد از انتقال الکترون می‌باشد. این فوتون می‌تواند به صورت موجی در نظر گرفته شود که فرکانس ν آن از رابطه انیشتین $E = h\nu$ بدست می‌آید، که در این رابطه h ثابت پلانک می‌باشد.

نحوه ایجاد شعاع لیزر

اولین شرط ایجاد لیزر، داشتن ماده یا محیطی است که بتواند انرژی را در خود ذخیره کند. نمونه‌های از این مواد عبارتند از: بلورهای مثل یاقوت، ایتزیوم، آلومینیوم گارن (Nd:YAG) می‌باشند. انیشتین در سال 1916 نشان داد که گسیل القایی نور را می‌توان از یک اتم برانگیخته بدست آورد. چنانچه اتم و یا مولکول در تراز بالاتر E_2 واقع شود و فوتونی با فرکانس ν با اتم برانگیخته وارد برهمکنش شود. بطوری که

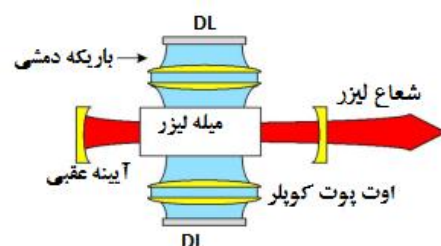
$E_2 - E_1 = h\nu$ باشد، در این صورت احتمال معینی وجود خواهد داشت که اتم به تراز پایینتر بیافتد. در نتیجه، دو فوتون حاصل می‌شود، فوتون القا کننده و القا شونده، که هر دو همفاز هستند. در عین حال، اگر اتمهای به تعداد N_2 در تراز E_1 باشند، می‌توانند با جذب فوتونهای فوق، برانگیخته شده و به تراز انرژی E_2 برسند.

چنانچه هدف به دست آوردن تابش همدوس باشد، باید سعی شود که $N_2 \gg N_1$ گردد، به عبارت دیگر، تجمع معکوس رخ دهد. پروسه‌ای که طی آن تجمع معکوس صورت می‌گیرد، دمش می‌نامند. وقتی یک سیستم دو تراز با محیط اطراف خود در حال تعادل حرارتی باشد، جمعیت تراز انرژی بالاتر N_2 کمتر از جمعیت تراز N_1 خواهد بود. با استفاده از پروسه اشباع شدن می‌توان N_2 را با N_1 مساوی گردانید. بطوری که مقدار جذب به صفر تنزل یابد.

چنانچه بتوان مقدار N_2 را بیشتر از N_1 نمود، اکثر اتمهای سیستم که به حالت برانگیخته می‌روند، تمایل خواهند داشت که به حالت انرژی کمتر برگردند. بدینی است که این تمایل به وسیله کوانتای تابش فرودی تشدید می‌گردد. بدین معنی که سیستم نه تنها فوتون فرودی را جذب نمی‌کند بلکه فوتون فرودی باعث برانگیختگی سیستم برانگیخته شده که با سقوط به حالت پایینتر دو کوانتا انرژی تابشی از دست می‌دهد (فوتون مربوط به اتم برانگیخته به همراه فوتون فرودی). تمام این پروسهها تابش لیزر را بوجود می‌آورند. قرار دادن محیط تولید لیزر در یک مشدد نوری با انتهای آینه‌ای که تابش را در محیط تولید لیزر به جلو و عقب می‌فرستد، سبب تراکم تابش سطوح بالا در تشدید کننده بوسیله ادامه گسیل القایی می‌شود. سپس تابش لیزر از طریق آینه‌ای نیمه شفاف، از یک انتهای کاواک به بیرون گسیل می‌شود.²

انواع دمش دایودی

آرایش دایودها به منظور دمش لیزرهای حالت جامد به دو دسته دمش از انتها و دمش عرضی تقسیم می‌شوند. در دمش عرضی باریکه ی پمپ نسبت به محور تشدیدگر عرضی است. در این حالت می‌توان تمام حجم ماده فعال را تحت دمش قرار داد. بنابراین این امکان دسترسی به توان بالاتر فراهم می‌شود زیرا می‌توان در صورت لزوم تعداد دایودهای مورد استفاده را زیاد کرد و همچنین در روش عرضی به علت شکل دمش، توزیع حرارتی خواهیم داشت و بنابراین مشکلات حرارتی کم تر است.⁷



سوالات تحقیق

- 1- چطور می‌توان قدرت پرتاب نور لیزر حالت جامد را افزایش داد؟
- 2- چگونه می‌توان از اثرات وارده منفی بر تولید نور لیزر در لیزرهای حالت جامد جلوگیری به عمل آورد؟

اهمیت تحقیق: کاربرد لیزر در تخنیک امروزی از اهمیت زیادی برخوردار است، بخصوص لیزرهای حالت جامد نظر به حجم کم، نور باکیفیت، طول عمر بیشتر، طرز ساخت آسان و منابع دمشی متنوع جایگاه بخصوصی در صنعت، طبابت، انجینیری و علوم نظامی دارد که خود.

مواد و روش تحقیق: تحقیق کتابخانه ای از نوع کاربردی بوده از منابع الکترونیکی شامل کتاب و ژورنالها استفاده به عمل آمده است.

ساختار لیزر

یک سیستم لیزری به صورت عموم از سه بخش تشکیل شده است:

- 1- منبع انرژی (که معمولاً یک پمپ و یا یک منبع مشابه است)
- 2- بستر تشدید کننده یا بستر لیزر
- 3- آینه و یا مجموعه‌ای از آینه‌ها که یک افزایش دهنده نوری را تشکیل می‌دهند.

یک منبع پمپی قسمتی از لیزر است که انرژی لازم را برای سیستم لیزری فراهم می‌کند. نمونه‌های از منابع پمپی شامل تخلیه کننده‌های الکتریکی، لامپهای درخشنده، لامپهای جرقه ای، نور لیزرهای دیگر، واکنشهای کیمیاوی و حتی وسایل انفجاری می‌باشند. نوع منبع پمپ مورد استفاده اصولاً بستگی به بستر تشدید کننده دارد و این بستر است که عموماً تعیین می‌کند چه مقدار انرژی بایستی به بستر منتقل شود. یک لیزر هلیوم- نئونی در مخلوط گاز هلیوم - نئون از تخلیه الکتریکی استفاده می‌کند و در لیزر یاقوتی از نور لامپ درخشنده زنونی ساطع شده استفاده می‌شود و در آخر لیزرهای اگر ایمر از یک واکنش کیمیاوی استفاده می‌کنند.

بستر تشدید کننده عامل اصلی تعیین کننده طول موج در هنگام استفاده و خصوصیات دیگر لیزر می‌باشد. اگر نگوئیم هزاران بستر مختلف وجود دارد، قطعا صدها بستر تشدید ساز مختلف وجود دارد که در آن کارایی مورد نظر بدست می‌آید. بستر تشدید کننده توسط یک منبع پمپ انرژی تحریک شده تا فراوانی معکوسی تولید کند و در ادامه بستر تشدید کننده بتواند انتشار خود بخودی و تحریک شده‌ای از فوتونها را ایجاد کند که نهایتاً باعث عمل تشدید نوری و یا ارتقاء نوری می‌شود.⁸

نمونه‌های از بسترهای مختلف تشدید کننده شامل موارد زیر هستند:

مایعات مثل لیزرهای رنگی. این مایعات عموماً حلالهای کیمیاوی آلی هستند. مواردی همچون متانول، اتانول، یا اتیل گلیکول که رنگهای کیمیاوی همچون کومارین یا رودامین و فلئورسین به آنها افزوده می‌شود. ساختار کیمیاوی واقعی مالیکولهای رنگ تعیین کننده طول موج بدست آمده از لیزرهای نوریست. گازها مثل کاربن دای اکساید، آرگون، کریپتون و مخلوطی از هلیوم و نئون. این لیزرها اغلب از تخلیه الکتریکی برای پمپ کردن استفاده می‌کنند.

مواد جامد بکار گرفته شده در بستر لیزر عموماً یاقوت و یا یاقوت کبود و شیشه‌های سلیکانی هستند.

مثالهای های از بسترهای لیزری جامد عبارتند از:

Nd: YAG, Ti: sapphire, Cr: sapphire, Cr: LiSAF Er: YLF and Nd: glass می‌باشند.¹

کارکرد لیزر

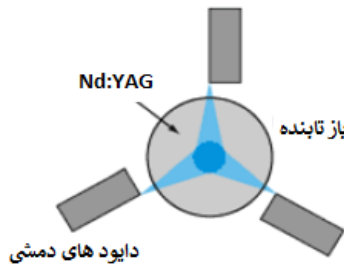
برطبق مدل اتم بور، هنگامی که الکترون‌ها از حالت برانگیخته به یک تراز پایین می‌روند، فوتون‌های از نور عادی گسیل می‌شود. این الکترون‌ها با افزایش انرژی به یکی از روشهای زیر ممکن است برانگیخته شوند و به ترازهای انرژی بالاتر روند.

- 1- جذب انرژی از فوتونهای، نظیر مورد فلورسانسی.
- 2- جذب انرژی از ذرات باردار، نظیر مورد رنگهای درخشان یا مواد فسفرسان لامپ شعاع کاتدی.
- 3- حرارت دادن، نظیر مورد قطعه ای فلز یا شیشه که تا درجه حرارت خیلی زیاد گرم شده است.
- 4- برخورد با سایر الکترونها، نظیر مورد لامپ مهتابی یا لامپ نئون.
- 5- واکنشهای کیمیاوی حرارتزا.⁵

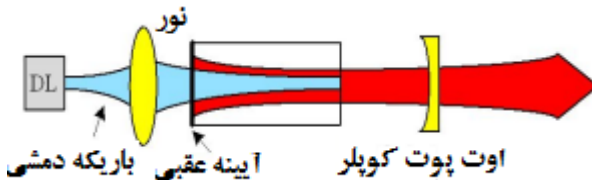
¹ http://uportal.isfahan.ir/Maintenance/Articles/laser[1].doc

² http://uportal.isfahan.ir/Maintenance/Articles/laser[1].doc

شکل 1. نمایش دمش عرضی در یک لیزر حالت جامد [7].
همچنین از آرایش های متقارنی جهت دستیابی به کیفیت شعاع بهتر نیز استفاده می شود. متداول ترین آرایش دمش عرضی جهت دستیابی به شعاع متقارن استفاده از دمش عرضی سه طرفه می باشد که در شکل ذیل نشان داده شده است.



شکل 2. شماتیک دمیش سه طرفه جهت دستیابی به کیفیت شعاع مطلوب [7].
در دمش طولی، باریکه ی پمپ در طول محور تشدیدگر قرار دارد. در این حالت امکان جفت شدگی هندسی شعاع دمش و شعاع پمپ زیادتیر و کارایی لیزر بالاتر است. زیرا تابش دمش در شکل طولی هم خط با مد اصلی لیزر است ولی در این روش امکان رسیدن به توان بالا کمتر است زیرا در زیاد کردن تعداد دایودها محدودیت داریم و همچنین در آنجا توزیع حرارتی نداریم و به دنبال آن مشکلات حرارتی به وجود می آید [4].
در آرایش دمش از انتها به دلیل هم پوشانی بهتر شعاع دمش با مد پایه تشدیدگر، دستیابی به مد TEM00 بدون استفاده از روزنه امکان پذیر خواهد بود. البته با استفاده از بلور های ترکیبی دست یابی به توان های بالا با استفاده از دایودهای لیزری آرایه ای³ نیز امکان پذیر است.



شکل 3. نمایش دمش از انتهای یک لیزر حالت جامد [7].
همچنین در مواردی که اندازه لکه درون تشدیدگر به عنوان یک پارامتر حیاتی تلقی می شود (نظیر لیزرهای قفل شدگی مد) از تشدیدگرهای ناشو نظیر X، Z، W با آرایش دمشی انتهایی استفاده می شود [3].

تأثیر حرارت بر عملکرد لیزرهای حالت جامد

تولید حرارت در لیزرهای حالت جامد پرتوان، اثرات مهمی بر عملکرد لیزر دارد، لذا باید در طراحی و ساخت این گونه لیزرها، نقش و تأثیر حرارت به صورت صحیح در نظر گرفته شود. مهمترین عامل در طراحی یک کاواک لیزری، توجه به میزان بازده انتقال انرژی از منبع دمش به محیط فعال لیزر است. در کاواک لیزری باید جفت شدگی خوبی میان تابش منبع دمش و محیط فعال لیزری وجود داشته باشد. این جفت شدگی، باعث توزیع یکنواخت انرژی در میله لیزر شده و به تبع آن میل درجه حرارت یکنواختی در آن به وجود می آید. از طرفی توزیع غیر یکنواخت و نامنظم درجه حرارت در میله لیزر، باعث بروز اعوجاج در شعاع خروجی لیزر خواهد شد.
برای دمش کاواک های لیزری، طراحی های مختلفی نظیر دمش انتهایی و دمش جانبی وجود دارد که هر کدام مزایا و معایب خاص خود را دارند. با توجه به نوع و کاربرد لیزر، می توان از دمش با لیزر نیمه هادی یا دمش با چشمه غیر همدوس (لامپ درخشی) استفاده کرد. دمش میله لیزر با لامپ درخشی معایب بسیاری از جمله اثرات حرارتی بالا و بازده لیزری بسیار پایین دارد. در حالی که در دمش با لیزر نیمه هادی این بازدهی بسیار بهتر، اثرات حرارتی کمتر و به تبع آن کیفیت لکه لیزری نیز بهتر از دمش میله لیزر با لامپ درخشی است.

اصول اساسی انتقال حرارت

سه طریق هدایت، انتقال تابش برای انتقال حرارت وجود دارد [6]. اثرات حرارتی نقش مهمی را در لیزر های حالت جامد بازی می کنند. تنش ها و کرنش های که در اثر حرارت ایجاد می شوند باعث ایجاد قطبش و عدسی شدگی بلور لیزری میگردد [1].

ایجاد حرارت در میله های لیزر

1- ایجاد حرارت در اثر دمش

در فرآیند دمش، حرارت به دلایل زیر در محیط فعال لیزرهای حالت جامد ایجاد می شود:
الف) اختلاف انرژی بین نوار دمشی و تراز بالای لیزر در داخل محیط فعال به حرارت تبدیل می شود، که به این اتفاق اصطلاحاً نقص کوانتومی گفته می شود.
ب) اختلاف انرژی بین تراز پایین لیزر و حالت پایه نیز باعث به وجود آمدن حرارت در محیط فعال می شود.
ت) پروسه انتقال بالاسوی انرژی باعث ایجاد حرارت در بلور لیزر می شود. در این پروسه یکی از دو یون برانگیخته، انرژی خود را به دیگری داده و خود به حالت زمینه برمی گردد. یون برانگیخته نیز معمولاً بدون اینکه تابش کند به حالت زمینه برمی گردد.
ث) از آنجا که بازده کوانتومی مربوط به فرآیندهای فلورسانس که در گذار لیزری شرکت می کنند کمتر از یک است، به دلیل وجود میکائزیم تراکمی، حرارت در بلور لیزر تولید می شود.
ج) ایجاد حرارت می تواند ناشی از فرو افت تراکمی در محیط فعال لیزری باشد. در این پروسه یون برانگیخته قسمتی از انرژی خود را به یون دیگری که در حالت زمینه است می دهد، دو یون در ترازهای نیمه پایدار قرار می گیرند و در نهایت از طریق گسیل چند فوتونی به حالت زمینه برمی گردند.
ح) در سامانه هایی که توسط لامپ جرقه ای یا لامپ درخشی مدیده می شوند، به علت پهن بودن نوار طیف گسیلی آنها، حرارتی قابل ملاحظه ای در ماده فعال ایجاد می شود.
با توجه به شرایط سیستم، برخی از این عوامل تولید حرارت می توانند اثر غالب داشته باشند و بقیه سهمی اندک داشته باشند.

2- عدسیه حرارتی

به طور کلی محیط فعال لیزرهای حالت جامد به دو روش مورد دمش قرار می گیرند:

الف - دمش توسط چشمه های غیر همدوس

ب- دمش توسط چشمه های همدوس

در هر دو روش میزان قابل توجهی حرارت به درون محیط فعال لیزری انتقال می یابد. حرارت جذب شده در بلور حالت جامد، باعث ایجاد گرادیان درجه حرارت شده در نتیجه نقاط مختلف بلور، ضریب شکست های متفاوتی پیدا می کند. تحت این شرایط بلور به مانند یک عدسیه محراقی کننده عمل خواهد کرد که اصطلاحاً به این پدیده، "عدسیه حرارتی" اطلاق می شود. بررسی ها نشان می دهند که این پدیده در لیزرهای حالت جامد پرتوان ظاهر می شود. عدسیه حرارتی روی جبهه موج، ابیراهی و اعوجاج ایجاد کرده و باعث کاهش کیفیت شعاع خروجی می شود. در ساخت لیزرهای پرتوان حالت جامد، شناخت دقیق رفتار حرارتی بلور و پدیده "عدسیه حرارتی" ضروری است و طراح لیزر بایستی بتواند روشی برای تصحیح اثر "عدسیه حرارتی" ارائه نماید.

در لیزرهای توان بالا، انرژی الکترونیکی چشمه غیر همدوس جهت دمش بلور بسیار بالا بوده و عدسیه حرارتی قویتری در بلور تشکیل می شود. اگر فاصله محراقی عدسیه حرارتی تشکیل شده در مقایسه با طول مشدد کمتر باشد شعاع در داخل مشدد محراقی خواهد شد و ممکن است باعث تخریب عناصر اپتیکی شود. همچنین محراقی شدن لکه لیزر باعث افزایش زاویه واگرایی شعاع خروجی از لیزر می شود. با افزایش زاویه واگرایی، اندازه لکه لیزری در فاصله کوتاهی از خروجی، بزرگ خواهد شد و در نتیجه کارایی لکه لیزری کاهش می یابد. بنابراین شناخت دقیق اثر عدسیه حرارتی و تصحیح آن یک ضرورت محسوب می شود. روش های تصحیح عدسیه حرارتی که می توان با توجه به شرایط کاری لیزر به کار گرفت، به صورت زیر است [6]:

1. روش استفاده از آینه همیوگ فازی
2. روش استفاده از مشدد تخت-تخت با طول بلند
3. روش استفاده از مشدد مقعر - محدب
4. روش مشدد تلسکوپی

تأثیر حرارت بر عملکرد لیزر حالت جامد دمش از انتها

³ Stack Diode laser

$$S(r, z) = Q_0 \exp\left(-\frac{2r^2}{\omega(z)^2}\right) \exp(-\alpha z) \quad (3)$$

دمش میله لیزری و ایجاد حرارت در آن باعث به وجود آمدن گرادیان درجه حرارتی در داخل آن شده و این مسأله باعث تغییر ضریب شکست میله می‌شود که نتیجه آن کاهش بازده لیزر است [6]. در لیزر های حالت جامد دمش از انتها، چون جذب نور دمشی به صورت ناهمگن در طول بلور لیزری صورت می‌گیرد، گرادیان درجه حرارت شدیدی در محیط فعال ایجاد می‌شود. در اثر این گرادیان درجه حرارت و به دلیل وابستگی ضریب شکست محیط به درجه حرارت، یک اختلاف راه نوری (OPD) در محیط القا می‌شود که به عدسیه حرارتی موسوم است.

این اثرات اپتیکی - حرارتی به همراه تنشهای مکانیکی حرارتی که به بلور اعمال می‌شود عملکرد لیزر را در توان های بالا به شدت تحت تاثیر خود قرار می‌دهند. بنابر این اولین مسئله در طراحی یک لیزر حالت جامد دمش از انتها بررسی کامل و جامع اثرات حرارتی و تاحد ممکن از بین بردن این اثرات می‌باشد [2].

از طرف دیگر یکی از مسائل مهم در مطالعات لیزری، ایجاد عدسی حرارتی در توان‌های بالای دمش محیط فعال لیزر می‌باشد که برای رسیدن به بازده بالا و شرایط ایده‌آل لیزری، باید عدسی حرارتی القایی را به طور دقیق محاسبه کرد و شرایطی را جهت کاهش تاثیر منفی آن بر خروجی لیزر در نظر گرفت [6].

توزیع درجه حرارت در میله لیزری دمش از انتها

جذب شعاع دمش در داخل محیط فعال لیزری سبب ایجاد حرارت در آن می‌شود، از طرفی سرد سازی سطح جانبی میله لیزر نیز باعث به وجود آمدن ناپیکناختی درجه حرارت در نقاط داخلی آن می‌شود، بنابراین ضریب شکست میله به علت تغییرات درجه حرارت و تنش به وجود آمده در آن، به صورت غیر یکنواخت تغییر کرده و در نتیجه اثراتی حرارتی نظیر عدسی حرارتی و دوشکستی در اثر تنش القایی، در ماده لیزر به وجود می‌آید. یکی دیگر از اثرات حرارتی، شکستگی بلور لیزری می‌باشد که می‌تواند در اثر تنش ایجاد شده به وجود آید. این شکستگی زمانی رخ می‌دهد که تنش القا شده در محیط توسط گرادیان درجه حرارت، از تنش تحملی ماده بیشتر باشد.

بنابراین یک حد شکست برای ماده لیزری تعریف می‌شود. از آنجا که تنش تابعی از بیشینه توان بر واحد طول است که به صورت حرارت در محیط ظاهر می‌شود، دانستن نحوه تغییرات درجه حرارت در داخل بلور لیزر به منظور استخراج روابط دقیق و محاسبه دقیق کمیت‌های مؤثر بر عملکرد لیزر بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در حقیقت دانستن توزیع درجه حرارت، کلید حل تمام مسائل ذکر شده در فوق محسوب می‌شود. از این رو تلاش‌های زیادی به منظور به دست آوردن نحوه توزیع درجه حرارت در داخل بلور لیزری صورت گرفته است. برای تعیین رفتار و محاسبه درجه حرارت در محیط‌های فعال لیزری، بایستی معادله انتقال حرارت حل شود. با فرض همسانگرد بودن محیط فعال، این معادله به صورت زیر نوشته می‌شود [6]:

$$\nabla_r^2 T + \nabla_z^2 T = -\frac{S(r, z)}{K} \quad (1)$$

در این رابطه، K ثابت هدایتی حرارت محیط و $S(r, z)$ کثافت چشمه حرارتی می‌باشد. تغییرات فضایی این تابع، نقش پر اهمیتی در نحوه توزیع درجه حرارت در داخل محیط فعال دارد. به طوری که این موضوع، علت تفاوت بسیار زیاد نحوه تغییرات درجه حرارت در حالت دمش جانبی و دمش طولی می‌باشد. در رابطه (1) $\nabla_r^2 T$ چارچ حرارت در امتداد محور شعاعی و $\nabla_z^2 T$ چارچ حرارت در امتداد محور میله لیزری را بیان می‌کند. با توجه به اینکه چارچ حرارت در امتداد محور میله نسبت به چارچ حرارت در امتداد محور شعاعی بسیار ناچیز است، به عنوان یک تقریب معمولاً از این جمله صرف‌نظر می‌شود. اما این تقریب در حالت‌های که چارچ حرارت در امتداد محور بسیار زیاد است، باعث ایجاد خطای زیادی در تعیین توزیع درجه حرارت در میله می‌شود. در ضمن شرایط مرزی برای حل این معادله، بستگی به نحوه انتقال حرارت در سطح جانبی میله دارد.

اگر به عنوان یک تقریب از چارچ حرارت در امتداد محور میله صرف‌نظر شود، معادله (1) را می‌توان به صورت ذیل نوشت [6]:

$$\nabla_r^2 T = -\frac{S(r, z)}{K} \quad (2)$$

فرض می‌شود شعاع دمش دارای نیمرخ گاوسی شکل بوده که به صورت زیر بیان می‌شود:

که در این رابطه Q_0 ثابت بهنجارش و α ضریب جذب محیط است. با فرض اینکه در این پروسه کمر شعاع دمش⁴ مقداری ثابت است ($\omega(z) \approx \omega_p$) می‌توان با استفاده از شرط مرزی رابطه (3)، درجه حرارت را در بلور لیزر برای حالت پایا⁵ به صورت زیر محاسبه کرد [6]:

$$T(r, z) = \frac{2 p \alpha \eta K \exp(-\alpha z)}{2 \pi r \cdot h (1 - \exp(-\alpha l))} \exp\left(-\frac{2 r^2}{\omega_p^2}\right) + T_c \quad (4)$$

در این رابطه P_0 توان دمش ورودی به میله لیزر، T_c شعاع میله لیزر، α ضریب جذب ماده فعال، η فیصدی جذب حرارتی⁶ و $T_c = 296 K$ است.

تأثیر حرارت بر عملکرد لیزر حالت جامد دمش از پهلو

توزیع درجه حرارت در میله لیزری دمش از پهلو سطح مقطع میله لیزری که از پهلو دمیده می‌شود در شکل (1) نشان داده شده است. با دمش میله لیزری، حرارتی Q درون محیط فعال لیزر ایجاد می‌شود. حرارت ایجاد شده درون میله لیزری توسط سیستم خنک کننده به خارج از آن انتقال می‌یابد. بنابراین فرض می‌شود که:

- 1- چشمه حرارتی در تمام سطح مقطع میله لیزری دارای نمایه گاوسی باشد.
 - 2- عمل سرد سازی به طور یکنواخت و با نرخ ثابت روی تمام سطح جانبی بلور انجام شود.
 - 3- تغییرات حرارت فقط به صورت شعاعی باشد.
- با در نظر گرفتن این فرض‌ها، معادله حرارت در میله لیزری به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$\nabla G(r, z) = Q(r, z) \quad (5)$$

که در آن G شار حرارتی⁷ و Q مقدار حرارت تولید شده در محیط فعال لیزری است. رابطه‌ای که توزیع درجه حرارت درون میله لیزر را توصیف می‌کند به صورت زیر بیان می‌شود:

$$G(r) = -K \nabla T(r) \quad (6)$$

با انجام عملیات جبری و حل معادله دیفرانسیل بالا، اختلاف درجه حرارت نسبت به مرکز میله به صورت ذیل محاسبه شده است [6]:

$$\Delta T(r) = \frac{S_{ph}}{4 \pi K} \left[\ln\left(\frac{r^2}{r_0^2}\right) + \int_{\frac{2r_0^2}{\omega_p^2}}^{\infty} \frac{\exp(-t)}{t} dt + \int_{\frac{2r^2}{\omega_p^2}}^{\infty} \frac{\exp(-t)}{t} dt \right] \quad (7)$$

در این رابطه r_0 شعاع میله لیزر، ω_p کمر شعاع دمش، K ضریب رسانندگی حرارتی بلور لیزر و S_{ph} کسری از توان دمش است که به حرارت تبدیل می‌شود. اختلاف درجه حرارت بین سطح جانبی میله و مایع خنک‌کننده، باعث انتقال حرارت از بلور به مایع می‌شود. اما بعد از گذشت زمان از این انتقال حرارت، تعادل درجه حرارت در بلور برقرار می‌شود.

در این حالت مقدار توان اتلافی P_{ph} در میله، با مقدار حرارتی منتقل شده از سطح میله لیزری برابر می‌شود، لذا می‌توان توان حرارتی تلف شده در میله لیزری را به صورت رابطه زیر بیان کرد.

$$P_{ph} = 2 \pi r \cdot h \cdot l (T(r_0) - T_f) \quad (8)$$

که در آن T_f درجه حرارت مایع خنک‌کننده، h ضریب انتقال حرارت در سطح میله است [6].

نتیجه گیری

1- Pump beam waist
2- Steady state
3- Fractional thermal load
7 - Heat flux

از این تحقیق نتیجه می شود که لیزر های جامد پرکاربرد ترین لیزر های امروزی بوده که آبیون فلزی به عنوان ماده فعال در این لیزر ها بکار می رود. این لیزرها دارای وزن کم، ابعاد کمتر و قابلیت حمل آسان را دارد. خصوصاً لیزر Nd: YAG به دلیل خواص مکانیکی، ترمو اپتیکی مطلوب و گذارهای گسیلی گوناگون از اهمیت بسیاری برخوردار است. طول موج گسیلی این لیزر در پنجره ی عبوردهی اتمسفر قرار داشته که این امر باعث می شود در کاربردهایی نظیر فاصله یابی، طیف سنجی از راه دور و ... جز پرکاربردترین لیزرها قرار گیرد.

به طور کلی محیط فعال لیزرهای جامد یا بصورت چشمه های غیر همدوس مورد دما قرار میگیرد و یا چشمه های همدوس، در هر دو روش میزان قابل توجهی حرارت به درون محیط فعال لیزری انتقال می یابد. حرارت جذب شده در بلور جامد، باعث ایجاد گرادیان درجه حرارت شده در نتیجه نقاط مختلف بلور، ضریب شکست های متفاوتی پیدا می کند. تحت این شرایط بلور به مانند یک عدسیه محراقی کننده عمل میکند که اصطلاحاً به این پدیده، "عدسیه حرارتی" اطلاق می شود. عدسیه حرارتی روی جبهه موج، ابیراهی و اعوجاج ایجاد کرده و باعث کاهش کیفیت شعاع خروجی می شود.

در ساخت لیزرهای پرتوان حالت جامد، شناخت دقیق رفتار حرارتی بلور و پدیده "عدسیه حرارتی" ضروری است و طراح لیزر بایستی بتواند روشی برای تصحیح اثر "عدسیه حرارتی" ارائه نماید.

مراجع

1. ابراهیم صفری، سمیه کیقبادی و حبیبه پورحسن، تعیین آثار تنش حرارتی در بره لیزری Nd:YAG تحت دما عرضی دوسویه با استفاده از روش اجزاء محدود. دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز، تبریز آذر 1393 ص 1
2. امید پناهی، علیرضا مجتبی، امین احمدی، علی شیری، سیدمهدی موسوی و حمید ناداگران. طراحی و ساخت لیزر پیوسته Nd:YVO₄ با خروجی 5 وات، گروه فیزیک دانشگاه شیراز دی ماه 1393 بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران، دانشگاه شهید بهشتی ص 390
3. آیدین اشرفی بلگاباد، علیرضا بنانج، اسماعیل اسلامی، احد حق پرست، امین آذری. بررسی پراکندگی رامان القایی در انواع دماهای لیزر فیبری پرتوان. دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، پژوهشکده لیزر و اپتیک، سازمان انرژی اتمی. شهریورماه 1394 -دانشگاه صنعتی مالک اشترصص 82-84
4. پورهاشمی. سید احمد؛ جواد خلیل زاده؛ و ماریا بذرافشان، طراحی و ساخت لیزر حالت جامد Nd:YAG دما جانبی دیودی شبیه سازی آن با نرم افزار LASCAD، مرکز تحقیقات لیزر دانشگاه جامع امام حسین(ع) اتوبان شهید بابائی، تهران. 1392 ص 619
5. رضا زاهدی اقدام، مولود رادفر، بررسی خواص فیزیکی لیزر و تأثیرات بر روی بافت. فصلنامه دانشکده پرستاری و مامایی، سال سوم، شماره سوم، پانیز 1384 صص 2-4
6. رضا، فلاح. بررسی اثرات حرارتی و بازدیسی نیمرخ دما بر شعاعهای خاص ماتئو-گاوس، کسینوس-گاوس و سهموی-گاوس، رساله دکتری رشته فیزیک (اپتیک و لیزر) دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، بهمن 1393، صص 14-28، 9
7. محمدجواد عشقی، عباس مجدآبادی، رضاگودرزی و مسعود صباغی. طراحی و برپایی آزمایشگاهی لیزر نئودیموم یاگ دما از انتها با تشدیدگر تاشو، فصلنامه فیزیکی اتمی- مولکولی(علمی- پژوهشی)، سال هفتم، شماره 26، تابستان 1395. صص 11-12
8. Koechner, W. (2006). Solid-state laser engineering, Springer Verlag, 57-58.