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 پوهنحی تعلیم وتربیه
پوهنتون بلخ – افغانستان

لیزر های حالت جامد و تأثیر حرارت برعملکرد آنها

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
درلیزرهای 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 آکتنیدها میباشند.مهمترین لیزرهای حالت جامد، لیزرهای یاقوت، لیزرهای نئودنیوم(Nd:glass , Nd:YAG) میباشند. لیزرهاي حالت جامد به دلیل حجم کم، قابل حمل بودن، منابع دمشي متنوع و کیفیت شعاع بهتر در مقایسه با سایر لیزرها، کاربردهاي وسیعي در حوزه هاي مختلف صنعت، پزشکي و نظامي دارند.
لیزرNd: YAG مشهور ترین لیزر حالت جامد است که در شرایط عادي طول موج 1064 نانومتر گسیل میدارد. با تغییر شرایط کاواك لیزري، انتخاب مناسب آینه ها و یا سرد کردن بلور طول موج هاي دیگري نیز در دسترس مي باشند. همچنین با توجه به کثافت بالاي تولید فوتون در این لیزر امکان تولید هماهنگ هاي بالاتر با استفاده از بلور هاي غیر خطي 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

کلمة 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 آنرژی 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 باالقوه 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 لیزهای حالت جامد و دست یافتن به نور با کیفت و پر قدرت لیزر حالت جامد.

Corresponding Author:
پوهنمل سورگل کشمیری
استاد پوهنحی تعلیم وتربیه
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 ، ایتریوم، آلومینیوم گارن ،*(Nd :YAG)* می‌باشد. 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 νبا اتم برانگیخته وارد برهمکنش شود. بطوری که $h\nu = E_2 - E_1$ 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_2در تراز E_1 باشند، می‌توانند با جذب فوتونهای فوق ، برانگیخته شده و به تراز انرژیE_2 برسند.

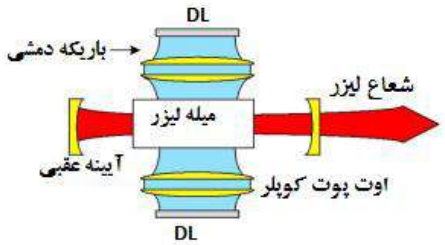
چنانچه هدف به دست آوردن تابش همدوس باشد، باید سعی شود که $N_2 >> N_1$گردد، به عبارت دیگر، تجمع معکوس رخ دهد. پروسه‌ی که طی آن تجمع معکوس صورت می‌گیرد، دمش می‌نامند. وقتی یک سیستم دو ترازی با محیط اطراف خود در حال تعادل حرارتی باشد، جمعیت تراز انرژی بالاتر N_j کمتر از جمعیت تراز N_i خواهد بود. با استفاده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

چنانچه بتوان مقدار N_j را بیشتر از N_i نمود، اکثر اتمهای سیستم که به حالت برانگیخته می‌روند، تمایل خواهند داشت که به حالت انرژی کمتر برگردند. بدیهی 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 ليزرهاي حالت جامد به دو دسته دمش از انتها و دمش عرضي تقسيم مي شوند. در دمش عرضي باريكه ي پمپ نسبت به محور تشديدگر عرضي است. در اين حالت مي توان تمام حجم ماده فعال را تحت دمش قرار داد. بنابر اين امكان دسترسي به توان بالاتر فراهم مي شود زيرا مي توان در صورت لزوم تعداد دايودهاي مورد استفاده را زياد كرد وهمچنين در روش عرضي به علت شكل دمش، توزيع حرارتي خواهيم داشت و بنابراين مشكلات حرارتي كم تر است[7].



سوالات تحقیق

1- چطور می توان قدرت پرتاب نور لیزر حالت جامد را افزایش داد؟

2- چگونه می توان از اثرات وارده منفی بر تولید نور لیزر در لیزرهای حالت جامد جلوگیر 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، انجنیری و علوم نظامی دارد که خود.

مواد و روش تحقیق: تحقیق کتابخانه ای از نوع کاربردی بوده از منابع الکترونیکی مشامل 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 معمولا یک پمپ و یا یک منبع مشابه است)
2- بستر تشدید کننده یا بستر لیزر
3- آینه و یا مجموعه‌ای از آینه ها که یک افزایش دهنده نوری را تشکیل می‌دهند.

یک منبع پمپی قسمتی از لیزر است که انرژی لازم را برای سیستم لیزری فرآهم می‌کند. نمونه های 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 اصولا بستگی به بستر تشدید کننده دارد و این بستر است که عموما 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 اگزایمر از یک واکنش کیمیاوی استفاده می‌کنند.

بستر تشدید کننده عامل اصلی تعیین کننده طول موج در هنگام استفاده و خصوصیات دیگر لیزر می‌باشد. اگر نگوییم 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].

نمونه های از بسترهای مختلف تشدید کننده شامل موارد زیر هستند:

مایعات مثل لیزرهای رنگی. این مایعات عموما حلالهای کیمیاوی آلی هستند. مواردی همچون متانول، اتانول، یا اتیل گلیکول که رنگهای کیمیاوی همچون کومارین یا رودامین و فلوئورسین 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 لیزرعموما 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 الکترون ها از حالت برانگیخته به یک تراز پایین می روند، فوتون های از نور عادی گیسل می شود. این الکترون ها با افزایش انرژی به یکی از روشهای زیر ممکن است برانگیخته شوند و به تراز های انرژی بالاتر روند.

1- جذب انرژی از فوتونهای، نظیر مورد فلورسانی.
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

سه طریق هدایت، انتقالو 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 قطبیش و عدسی شدگی بلور لیزری میگردد [1].

ایجاد حرارت در میله‌های لیزر

1- ایجاد حرارت در اثر دمش

در فرآیند دمش، حرارت به دلایل زیر در محیط فعال ليزرهاي حالت جامد ايجاد مي‌شود:

الف) اختلاف انرژي بين نوار دمشي و تراز بالاي ليزر در داخل محيط فعال به حرارت تبديل مي‌شود، كه به اين اتفاق اصطلاحاً نقص كوانتومي گفته مي‌شود.

ب) اختلاف انرژي بين تراز پايين ليزر و حالت پايه نيز باعث به وجود آمدن حرارت در محيط فعال مي‌شود.

ت) پروسه انتقال بالاسوی انرژی باعث ایجاد حرارت در بلور لیزر می‌شود. در این پروسه یکی از دو یون برانگیخته، انرژی خود را به دیگری داده و خود به حالت زمینه برمی‌گردد. یون برانگیخته نیز معمولا بدون اینکه تابش کند به حالت زمینه برمی‌گردد.

ث) از آنجا كه بازده كوانتومي مربوط به فرآيندهاي فلورسانس كه در گذار ليزري شركت مي‌كنند كمتر از يك است، به دليل وجود ميكانزم تراكمي، حرارت در بلور ليزر توليد مي‌شود.

ج) ایجاد حرارت می‌تواند 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 می‌دهد، دو یون در ترازهای نیمه پایدار قرار می‌گیرند و در نهایت از طریق گسیل چند فوتونی به حالت زمینه برمی‌گردند.

ح) در سامانه هايي كه توسط لامپ چرقه‌اي يا لامپ درخشي دميده مي‌شوند، به علت پهن بودن نوار طيف گسيلي آنها، حرارتي قابل ملاحظه‌اي در ماده فعال ايجاد مي‌شود.

با توجه به شرایط سیستم، برخی از این عوامل تولید حرارت می‌توانند اثر غالب داشته باشند و بقیه سهمی اندک داشته باشند.

2- عدسیه حرارتی

به طورکلی محیط فعال لیزرهای حالت جامد به دو روش مورد دمش قرار می‌گیرند:

الف - دمش توسط چشمه‌های غیرهمدوس

ب- دمش توسط چشمه‌های همدوس

در هر دو روش میزان قابل توجهی حرارت به درون محیط فعال لیزری انتقال می‌یابد. حرارت جذب شده در بلور حالت جامد، باعث ایجاد گرادیان درجه حرارت شده درنتیجه نقاط مختلف بلور، ضریب شکست‌های متفاوتی پیدا می‌کند. تحت این شرایط بلور به مانند یک عدسیه محراقی‌کننده عمل خواهد کرد که اصطلاحاً به این پدیده، "عدسیه حرارتی " اطلاق می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهند که این پدیده در لیزرهای حالت جامد پرتوان ظاهر می‌شود. عدسیه حرارتی روی جبهه موج، ابیراهی و اعوجاج ایجاد کرده و باعث کاهش کیفیت شعاع خروجی می‌شود. 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.

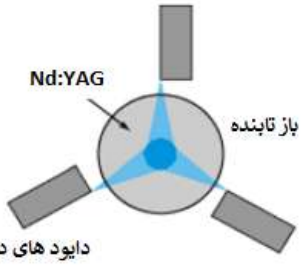
در لیزرهای توان بالا، انرژی الکتریکی چشمه غیرهمدوس جهت دمش بلور بسیار بالا بوده و عدسیه حرارتی قویتری در بلور تشکیل می‌شود. اگر فاصلهٔ محراقی عدسیه حرارتی تشکیل شده در مقایسه با طول مشدد کمتر باشد شعاع در داخل مشدد محراقی خواهد شد و ممکن است باعث تخریب عناصر اپتیکی شود. همچنین محراقی‌شدن لکه لیزر باعث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

1. روش استفاده از آینه همیوغ 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

شکل1. نمایش دمش عرضی دریک لیزر حالت جامد [7].

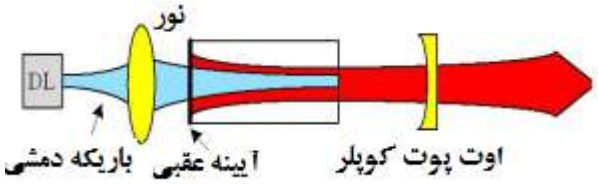
همچنين از آرايش هاي متقارني جهت دستيابي به كيفيت شعاع بهتر نيز استفاده مي شود. متداول ترين آرايش دمش عرضي جهت دستيابي به شعاع متقارن استفاده از دمش عرضي سه طرفه مي باشد كه در شكل ذيل نشان داده شده است.



شکل2. شماتیک دمیش سه طرفه جهت دستیابی به کیفیت شعاع مطلوب [7].

در دمش طولي، باريكه ي پمپ در طول محور تشديدگر قرار دارد. در اين حالت امكان جفت شدگي هندسي شعاع دمش و شعاع پمپ زيادتر و كارايي ليزر بالاتر است. زيرا تابش دمش در شكل طولي هم خط با مد اصلي ليزر است ولي در اين روش امكان رسيدن به توان بالا كمتراست زيرا در زياد كردن تعداد دايودها محدوديت داريم و همچنين در آنجا توزيع حرارتی نداريم و به دنبال آن مشكلات حرارتی به وجود می آيد[4].

در آرايش دمش از انتها به دليل هم پوشاني بهتر شعاع دمش با مد پايه تشديدگر، دستيابي به مد TEM00 بدون استفاده از روزنه امكان پذير خواهد بود. البته با استفاده از بلور هاي تركيبي دست يابي به توان هاي بالا با استفاده از دايودهاي ليزري آرايه اي[3] نيز امكان پذير است.



شکل3. نمایش دمش از انتهای یک لیزر حالت جامد[7].

همچنين در مواردي كه اندازه لكه درون تشديدگر به عنوان يك پارامتر حياتي تلقي مي شود (نظير ليزرهاي قفل شدگي مد) از تشديدگرهاي تاشو نظير Z ، X و W با آرايش دمشي انتهايي استفاده مي شود[3].

تأثير حرارت بر عملكرد ليزرهاي حالت جامد

توليد حرارت در ليزرهای حالت جامد پرتوان، اثرات مهمی بر عملكرد ليزر دارد، لذا بايد در طراحی و ساخت اين گونه ليزرها، نقش و تأثير حرارت به صورت صحيح در نظر گرفته شود. مهمترين عامل در طراحي يك كاواك ليزري، توجه به ميزان بازده انتقال انرژي از منبع دمش به محيط فعال ليزر است. در كاواك ليزري بايد جفت‌شدگي خوبي ميان تابش منبع دمش و محيط فعال ليزري وجود داشته باشد. اين جفت‌شدگي، باعث توزيع يكنواخت انرژي در ميله ليزر شده و به تبع آن ميل درجه حرارت يكنواختی در آن به وجود می‌آيد. از طرفی توزيع غيريكنواخت و نامنظم درجه حرارت در ميله ليزر، باعث بروز اعوجاج در شعاع خروجی ليزر خواهد شد.

براي دمش كاواك‌هاي ليزري، طراحي‌هاي مختلفي نظير دمش انتهايي و دمش جانبي وجود دارد كه هركدام مزايا و معايب خاص خود را دارند. با توجه به نوع و كاربرد ليزر، مي‌توان از دمش با ليزر نيمه هادی يا دمش با چشمه غيرهمدوس (لامپ درخشي) استفاده كرد. دمش ميله ليزر با لامپ درخشي معايب بسياري از جمله اثرات حرارتی بالا و بازده ليزري بسيار پايين دارد. در حالي كه در دمش با ليزر نيمه هادی اين بازدهي بسيار بهتر، اثرات حرارتی كمتر و به تبع آن كيفيت لكه ليزري نيز بهتر از دمش ميله ليزر با لامپ درخشي است.

اصول اساسي انتقال حرارت

[3] Stack Diode laser

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

که در این رابطه $Q_\circ$ ثابت بهنجارش و α ضریب جذب محیط است. با فرض اینکه در این پروسه کمر شعاع دمش[4] مقداری ثابت است $(\omega(z) \approx \omega_p)$ می‌توان با استفاده از شرط مرزی رابطه (3)، درجه حرارت را در بلور لیزر برای حالت پایا[5]به صورت زیر محاسبه کرد[6]:

$$T(r,z) = \frac{2\, p_\circ \alpha\, \eta\, K \exp(-\alpha z)}{2\,\pi\, r_\circ\, h\,(1-\exp(-\alpha l))} \exp\left(-\frac{2\, r^2}{\omega_p^2}\right) + T_C \qquad (4)$$

در این رابطه $p_\circ$ توان دمش ورودی به میله لیزر، $r_\circ$شعاع میله لیزر، α ضریب جذب ماده فعال، η فیصدی جذب حرارتی[6] و $T_C = 296\ K$ است.

تأثیر حرارت بر عملکرد لیزر حالت جامد دمش از پهلو

توزیع درجه حرارت در میله لیزري دمش از پهلو

سطح مقطع میله لیزری که از پهلو دمیده می‌شود در شکل (1) نشان داده شده است. با دمش میله لیزري، حرارتي Q درون محیط فعال لیزر ایجاد می‌شود. حرارت ایجـاد شـده درون میله لیزري توسط سیستم خنك کننده به خارج از آن انتقال مي‌یابد. بنابراین فرض می‌شود که:

1- چشمه حرارتی در تمام سطح مقطع میله لیزري داراى نمایه گاوسي باشد.
2- عمل سرد سازی به طور یکنواخت و با نرخ ثابت روي تمام سطح جانبي بلور انجام شود.
3- تغییرات حرارت فقط به صورت شعاعي باشد.

با در نظرگرفتن این فرض‌ها، معادله حرارت در میله لیزري به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

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

که در آنG شار حرارتی[7] و Q مقدار حرارت تولید شده در محیط فعال لیزري است. رابطه‌ای که توزیع درجه حرارت درون میله لیزر را توصیف می‌کند به صورت زیر بیان مي‌شود:

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

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

$$\Delta T(r) = \frac{S_{ph}}{4\,\pi\, K}\left[\mathrm{Ln}\left(\frac{r_\circ^2}{r^2}\right) + \int_{\frac{2r^2}{\omega_p^2}}^{\infty} \frac{\exp(-t)}{t}\,dt + \int_{\frac{2r_\circ^2}{\omega_p^2}}^{\infty} \frac{\exp(-t)}{t}\,dt\right] \qquad (7)$$

در این رابطه $r_\circ$ 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 جانبي میله و مایع خنك‌کننده، باعث انتقال حرارت از بلور بـه مـایع می‌شود. اما بعد از گذشت زمان از این انتقال حرارت، تعادل درجه حرارت در بلور برقرار مي‌شود.

در این حالت مقدار توان اتلافي p_{ph} در میلـه، با مقدار حرارتي منتقل شده از سطح میله لیزري برابر می‌شـود، لذا مـي‌توان تـوان حرارتی تلف شده در میله لیزري را به صورت رابطه زیر بیان کرد.

$$p_{ph} = 2\,\pi\, r_\circ h\, l\,(T(r_\circ) - T_f) \qquad (8)$$

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

نتیجه گیری

دمش میله لیزری و ایجاد حرارت در آن باعث به وجود آمدن گرادیان درجه حرارتي 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 انتتها، 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 می شود 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 می باشد[2].

از طرف دیگر یکی از مسائل مهم در مطالعات لیزری، ایجاد عدسي حرارتی در توان‌هاي بالاي دمش محیط فعال لیزر مي‌باشد که براي رسیدن به بازده بالاو شرایط ایده‌آل لیزری، باید عدسي حرارتی القایی را به طور دقیق محاسبه کرد و شرایطي را جهت کاهش تأثیر منفی آن بر خروجی لیزر درنظرگرفت[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 جانبي میله لیزر نیز باعث به وجودآمدن نایکنواختي درجه حرارت در نقاط داخلي آن مي‌شود، بنابراین ضریب‌شکست میله به علت تغییرات درجه حرارت و تنش به وجود آمده در آن، به صورت غیریکنواخت تغییر کرده و در نتیجه اثراتی حرارتی نظیر عدسي حرارتی و دوشکستی در اثر تنش القایي، در ماده لیزر به وجود مي‌آید. یکي دیگر از اثرات حرارتی، شکستگي بلور لیزری مي‌باشد که می‌تواند در اثر تنش ایجاد شده به وجود آید. این شکستگي زماني رخ مي‌دهد که تنش القا شده در محیط توسط گرادیان درجه حرارت، از تنش تحملی ماده بیشتر باشد.

بنابراین یك حد شکست براي ماده لیزری تعریف مي‌شود. از آنجا که تنش تابعي از بیشینه توان بر واحد طول است که به صورت حرارت در محیط ظاهر مي‌شود، دانستن نحوه تغییرات درجه حرارت در داخل بلور لیزر به منظور استخراج روابط دقیق و محاسبه دقیق کمیت‌هاي مؤثر بر عملکرد لیزر بسیار حائز اهمیت مي‌باشد. در حقیقت دانستن توزیع درجه حرارت، کلید حل تمام مسائل ذکر شده در فوق محسوب مي‌شود. از این‌رو تلاش‌های زیادي به منظور به دست آوردن نحوه توزیع درجه حرارت در داخل بلور لیزری صورت گرفته است. براي تعیین رفتار و محاسبه درجه حرارت در محیط‌هاي فعال لیزری، بایستي معادله انتقال حرارت حل شود. با فرض همسانگرد بودن محیط فعال، این معادله به صورت زیر نوشته مي‌شود[6]:

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

در این رابطه، Kثابت هدایتی حرارت محیط و S(r, z) کثافت چشمه حرارتی مي‌باشد. تغییرات فضایي این تابع، نقش پر اهمیتي در نحوه توزیع درجه حرارت در داخل محیط فعال دارد. به طوري که این موضوع، علت تفاوت بسیار زیاد نحوه تغییرات درجه حرارت در حالت دمش جانبي و دمش طولي مي‌باشد. 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 شعاعي بسیار ناچیز است، به عنوان یك تقریب معمولاً از این جمله صرفنظر مي‌شود. اما این تقریب در حالت‌های که چارچ حرارت در امتداد محور بسیار زیاد است، باعث ایجاد خطاي زیادي در تعیین توزیع درجه حرارت در میله مي‌شود. در ضمن شرایط مرزي براي حل این معادله، بستگي به نحوه انتقال حرارت در سطح جانبي میله دارد.

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

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

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

---

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

از این تحقیق نتیجه می شود که لیزر های حالت جامد پرکاربرد ترین لیزر های امروزی بوده که آیون فلزی به عنوان ماده فعال در این لیزر ها بکار میرود. این لیزرها دارای وزن کم، ابعاد کمتر و قابلیت حمل آسان را دارد. خصوصاً لیزرNd: YAG به دلیل خواص مکانیکی، ترمو اپتیکی مطلوب و گذارهای گسیلی گوناگون از اهمیت بسیاری برخوردار است. طول موج گسیلي اين ليزر در پنجره ي عبوردهي اتمسفر قرار داشته که اين امر باعث مي شود در کاربردهايي نظير فاصله يابي، طيف سنجي از راه دور و ... جز پرکاربردترين ليزرها قرار گيرد.

به طورکلی محیط فعال لیزرهای حالت جامد یا بصورت چشمه های غیر همدوس مورد دمش قرار میگیرد ویا چشمه های همدوس، در هر دو روش میزان قابل توجهی حرارت به درون محیط فعال لیزری انتقال می‌یابد. حرارت جذب شده در بلور حالت جامد، باعث ایجاد گرادیان درجه حرارت شده درنتیجه نقاط مختلف بلور، ضریب شکست‌های متفاوتی پیدا می‌کند. تحت این شرایط بلور به مانند یک عدسیه محراقی‌کننده عمل میکند که اصطلاحاً به این پدیده، "عدسیه حرارتی " اطلاق می‌شود. عدسیه حرارتی روی جبهه موج، ابیراهی و اعوجاج ایجاد کرده و باعث کاهش کیفیت شعاع خروجی می‌شود.

. 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 دمش 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 $Nd:YVO_4$ باخروجی 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 دمش های 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؛ ماریا بذرافشان، طراحی و ساخت لیزر حالت جامد Nd:YAG دمش جانبی دیودی وشبیه سازی آن با نرم افزار LASCAD ، مرکز تحقیقات لیزر دانشگاه جامع امام حسین(ع) اتوبان شهید بابائی ،تهران.۱۳۹۲ص 619
5. رضا زاهدی اقدام، مولود رادفر، بررسی خواص فیزیکی لیزر و تاثیرات بر روی بافت. فصلنامه دانشکده پرستاری و مامایی، سال سوم، شماره سوم، پائیز 1384صص2-4
6. رضا، فلاح. بررسی اثرات حرارتی و بازدیسی نیمرخ دمش بر شعاعهای خاص ماتیو-گاوس، کسینوس-گاوس و سهموی-گاوس، رساله دکتری رشته فیزیک (اپتیک و لیزر) دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، بهمن 1393،صص14-28 ،9
7. محمدجواد عشقی، عباس مجدآبادی، رضاگودرزی و مسعود صباغی. طراحی و برپایی آزمایشگاهی لیزر نئودیمیوم یاگ دمش 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.