



ٔ گروه پژوهشی محصور سازی اینرسی، پژوهشکده فیزیک پلاسما و گداخت هسته ای، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران

ً گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران

چکیده – چگونگی بروز اثرات گرمائی در میله های لیزر Nd:YAG و Nd:glass به کمک باریکه لیزر کاوشHe-Ne در طی عمل دمش محیط فعال و پس از آن مورد مطالعه قرار گرفت. اندازه گیری ها نشان می دهند که برای محیط فعال Nd:YAG در راستای محور میله لیزر اثر عدسی حرارتی با فاصله کانونی از ۱۰۰۰- تا ۱۵۰۰- میلیمتر بدون هیچگونه تاخیری از زمان آغاز پالس دمش لامپ فلاش بوجود می آید و مقدار انحراف باریکه لیزر کاوش به فاصله ۱۶۰۰ میلیمتر از لبه محیط فعال به ازای انرژی دمش ۸۸ ژول ۱/۷۲ میلی رادیان است.

> کلید واژه- عدسی گرمائی ، تقویت کننده های اپتیکی، محیط های فعال اپتیکی حالت جامد کد ۱۴۰,۰۱۴۰ – ۱۴۰,۰۱۴۰

## ۱– مقدمه

بروز اثرات گرمائی در محیط فعال لیزرحین عمل دمش اپتيکي و پس از آن مي تواند سبب بروز اعوجاج در جبهه موج و انحراف باریکه لیزر از راستای مورد نظرشود. اثرات گرمائی عموماً بصورت تغییرات وابسته به مکان ضریب شکست محیط اپتیکی به دلیل پدیدآمدن گرادیان دما و تنش مکانیکی پدید می آید که حاصل آن دوشکستی شدن محیط، کرنش مکانیکی در سطوح انتهائی قطعه ایتیکی که با تغییر شعاع انحنا همراه است و در مجموع عدسی گون شدن محيط فعال كه با فاصله كانوني عدسي گرمائي نشان داده مي شود[۱]. بدیهی است که نقش هر یک از اثرات اشاره شده به چگونگی دمش محیط فعال وابسته است و این اثرات برای دمش پیوسته و دمش با تکراریذیری بالا بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته اند[۴–۲]. در مجموعه های اپتیکی مفصل اثرات گرمائی نه تنها سبب کاهش کیفیت باریکه لیزر در عبور از محيط فعال مي شود، بلكه بر هم خوردن تنظيم مجموعه اپتیکی و وابسته شدن کیفیت باریکه لیزر به چگونگی دمش محیط های تقویت کننده را نیز بدنبال دارد[۵]. در پژوهش حاضر چگونگی تغییرات ضریب شکست وابسته به دمای

محیط فعال حالت جامد به ویژه تغییرات گذرائی که در حین عمل دمش بوجود می آید مورد مطالعه تجربی قرار گرفته است.در سیستم های لیزر تک پالس عملاً تنها ناحیه گذرای اخیر حائز اهمیت است زیرا نوسان لیزر و تقویت پرتو لیزر معمولاً در هنگام بروز پالس دمش و اندکی پس از رسیدن پالس اپتیکی دمش به قله خود صورت می گیرد[۵].

## ۲- روش کار

جهت بررسی اثرات گرمائی در میله های لیزر از آرایش شکل ۱ استفاده شد که در آن باریکه گاوسی لیزر He-Ne با تشدیدگری به طول L = ۲۳۲ mm با آینه خروجی تخت و آینه عقبی با شعاع انحنای mm است است ا میلی وات از میله لیزر مورد مطالعه عبور می نماید. پرتوی لیزر He-Ne خارج شده از میله لیزر از روزنه ای به قطر لیزر عبور می گذرد . پرتو عبوری از روزنه به کمک یک لیزر عبور می گذرد . پرتو عبوری از روزنه به کمک یک عدسی محدب با فاصله کانونی ۱۷ سانتیمتر بر روی سطح حساس یک آشکارساز سیلیکونی با زمان پاسخ ۴ میکروثانیه

عبور دهی ۰/۶۱ در ۶۳۴ نانومتر و پهنای طیفی ۲۰ نانومتر برای حذف تابش های ناخواسته لامپ فلاش در مقابل آشکارساز و به فاصله ۱۰ سانتیمتری از آن قرار گرفته است. مجموعه آشکارساز و فیلتر برای حذف تابش های لامپ فلاش که قبل از فیلتر و از کنار به آشکارساز می رسند درون محفظه ای جاذب نور با روزنه ورودی ۸ میلیمتر قرار گرفته اند. سیگنال های خروجی آشکارساز به کمک اسیلوسکوپ دیجیتال تکترونیکس مدل TDS3052B با پهنای باند ۵۰۰ مگاهرتز ثبت شده اند.

محیط فعال لیزر و لامپ فلاش بصورت جفت شدگی نزدیک درون کاواکی از جنس شیشه به قطر ۴۰ میلیمتر قرار دارند که سطوحی جانبی آن دارای پوششی از نقره و تمام بازتابان است. فاصله محور لامپ از محور میله لیزر ۱۳ میلیمتر است و این مجموعه با گردش آب با دبی ۲۴۰۰ لیتر Nd:YAG میلیمتر است و این مجموعه با گردش آب با دبی ۴۰۰ لیتر بر ساعت خنک می شود. میله لیزر مورد مطالعه Nd:YAG با ۱ درصد اتمی  $^{45}$  Nd به ترتیب با طول و قطر ۱۰۰و ۶/۶ با ۱ درصد اتمی  $^{40}$  به ترتیب با طول و قطر ۱۰۰و Nd میلیمتر و برای میله شیشه فسفات با ۴ درصد وزنی Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> با طول و قطر ۶/۶ و ۵ میلیمتر است که بوسیله یک لامپ فلاش با طول قوس ۸۰ میلیمتر عمل دمش انجام می شود. با استفاده از رابطه (۱) برای یک تشدیدگر پایدار اپتیکی، اندازه لکه لیزر Mm بر روی آینه تخت خروجی آن بدست می آید : mm

$$w_{o} = w_{c} \left(\frac{g_{1}}{1-g_{1}}\right)^{1/4}$$

$$w_{c} = \sqrt{\frac{\lambda L}{\pi}}$$

$$g_{1} = 1 - \frac{L}{R_{1}}$$
(1)

شدت عبوری IT از یک روزنه گرد به قطر2a برای پرتو گاوسی با شدت Io و اندازه لکه wap بر روی روزنه با رابطه (۲) داده می شود.

$$I_{T} = I_{o} [1 - \exp(-2(\frac{a}{W_{ap}})^{2}]$$
(7)



Archiv

شکل ۲ : رفتار زمانی شدت پرتو لیزر کاوش He-Ne پس از عبور از محور میله لیزر Nd:YAG و گذر از روزنه مقابل آشکارساز. به ترتیب از بالا به پائین به ازای انرژی دمش میله لیزر ۴۸، ۵۷، ۶۸ و ۲۸ ژول. هر خانه افقی ۴۰ میلی ثانیه است.

پارامتر q برای انتشار پرتو گاوسی درسطح ورودی میله لیزر q<sub>i</sub> ، و سطح روزنه q<sub>0</sub>، مطابق با روابط (۵-۳) می باشد.

ارائه می شود. نمودارهای شکل ۳ نشان می دهند که عملاً  
تاخیر زمانی میان تغییرات ضریب شکست محیط فعال لیزر و  
آغاز دمش اپتیکی وجود ندارد و جذب نمائی تابش لامپ در  
جسم ماده به فوریت صورت می پذیرد. از سوی دیگر نتایج  
اندازه گیری های شکل ۲ نشان می دهند که خنک شدن  
کامل میله لیزر Nd:YAG در طی ۲۵/۰ ثانیه انجام می  
شود، در حالیکه برای یک میله Nd:YAG به قطر mm  
شود، در حالیکه برای یک میله Nd:YAG به قطر mm  
شود، در حالیکه برای یک میله Nd:YAG به قطر mm  
شده است مطابق با رابطه 
$$\frac{r_r}{\alpha} = \frac{r}{\rho c}$$
، ۱/۸ ثانیه زمان لازم  
است [1].  $\frac{\lambda}{\rho c} = \alpha$  ضریب نفوذ گرمائی بلور است ،  
محیط فعال است. با مرور شعاعی میله لیزر بوسیله باریکه  
محیط فعال است. با مرور شعاعی میله لیزر بوسیله باریکه  
ایزر کاوش و مطالعه رفتار زمانی شدت پرتو عبوری از روزنه  
می توان چگونگی خنک شدن شعاعی میله لیزر را مورد  
ارزیابی قرار داد، در شکل ۴ نتایج مشاهده شده ترسیم شده



شکل۳: رفتار زمانی شدت پرتو عبوری لیزر He-Ne از روزنه مقابل آشکارساز که باریکه لیزر از مرکز و در راستای محور میله لیزر عبور نموده است، نمودار پائین . جریان تخلیه لامپ فلاش برای انرژی ۶۸ ژول در نمودار بالائی ملاحظه می شود. این مشاهده نشان می دهد که در حد تفکیک زمانی شود. این مشاهده نشان می دهد که در حد میکیک زمانی شود. این مشاهده نشان می دهد که در حد میک زمانی نمارساز اپتیکی(۴ میکروثانیه) تاخیر زمانی میان آغاز عمل دمش اپتیکی و بروز اثر گرمایی گذرا در میله لیزر وجود ندارد.

$$q_{ap} = \frac{Aq_{i} + B}{Cq_{i} + D}$$
(°)

$$\frac{1}{q_{i}} = \frac{1}{R_{i}} - i \frac{\lambda}{\pi w_{i}^{2}}$$
(f)

$$\frac{1}{q_{ap}} = \frac{1}{R_{ap}} - i \frac{\lambda}{\pi w_{ap}^{2}}$$
( $\Delta$ )

ماتریس پرتو از سطح ورودی میله لیزر تا سطح روزنه با (۶) داده می شود.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{1}{f_{T}} (d + \frac{L_{r}}{n_{r}}) & d + \frac{L_{r}}{n_{r}} \\ -\frac{1}{f_{T}} & 1 \end{bmatrix}$$
(7)

 $L_r$  ، در (۶) ، b فاصله سطح خروجی میله لیزر تا روزنه،  $L_r$  ، طول میله لیزر و  $n_r$  فریب شکست آن است.  $f_T$  فاصله کانونی گرمائی میله لیزر است که از سطح ورودی میله لیزر اندازه گیری می شود. به کمک روابط (۳) تا (۶) از بخش موهومی (۳) معادله درجه دومی برای  $f_T$  حاصل می شود که جواب فیزیکی آن مطابق با رابطه (۷) است .

$$f_{T} = \frac{B}{\left(1 + \frac{B}{R_{i}}\right) - \sqrt{\left(\frac{W_{ap}}{W_{i}}\right)^{2} - \left(\frac{\lambda B}{\pi W_{i}^{2}}\right)^{2}}}$$
(Y)

$$w_{ap}(t) = \frac{a}{\sqrt{\ln(\sqrt{\frac{I_o}{I_o - I_T(t)}})}} \tag{A}$$

باقرار دادن (۸) در (۷)، فاصله کانونی عدسی گرمایی بصورت تابعی از زمان بدست می آید.

## ۳- نتایج تجربی

در این بخش تنها مشاهدات مربوط به بلور Nd:YAG



شکل4 نشان می دهد که با نزدیک شدن به سطح جانبی میله لیزر که با مایع خنک کننده در تماس است، انتقال گرما در زمان کوتاهتری انجام می شود. رفتار  $f_T(t)$  برای انرژی دمش ۷۸ ژول با استفاده از رابطه (۷) و (۸) در شکل (4) ترسیم شده است. در شکل ۵ بستگی قله نمودار  $f_T(t)$  بر حسب انرژی دمش نشان داده شده است.



شکل ۴ : مشاهده مدت زمان لازم برای خنک شدن میله لیزر بر حسب فاصله شعاعی از محور میله.



شکل ۵ : رفتار زمانی فاصله کانونی عدسی گرمایی پدید آمده در میله لیزر Nd:YAG حین عمل دمش و اندکی پس از آن برای انرژی دمش J ۸۸.

انحراف زاویه ای پرتو لیزر He-Ne با نزدیک شدن به سطح جانبی میله لیزر افزایش می یابد. افزایش انحراف به دلیل جذب بیشتر انرژی لامپ در لایه های بیرونی محیط فعال بوقوع می پیوندد و تائیدی بر حضور عدسی گرمائی



شکل ۶ : بستگی کوتاهترین فاصله کانونی گرمایی پدید آمده در میله لیزر بر حسب انرژی دمش برای میله لیزر Nd:YAG .

منفی درون جسم است. شکل ۷ بستگی شعاعی زاویه انحراف را نشان می دهد . این اندازه گیری با استفاده از محاسبه بستگی توان اپتیکی عبوری Itrans از یک روزنه گرد برحسب جابجائی لکه مد پایه گاوسی لیزر Δr ، He-Ne، بر روی دوربین Wcamera بدست آمده است، رابطه (۹).

$$I_{trans} = I_o \left(\frac{2}{\pi w_{camera}^2}\right) \int_0^{2\pi} \int_0^a \exp(-2\left(\frac{\sqrt{r^2 - 2r\Delta r\cos(\phi) + \Delta r^2}}{w_{camera}}\right)^2) r dr d\phi$$
(9)

در شکل ۸ جابجائی لکه لیزر به کمک دوربین CCD مدل TaperCamD ساخت کمپانیGentec با تفکیک زمانی۱۰ میکرو ثانیه بدست آمده است.



شکل ۲: انحراف زاویه ای باریکه لیزر He-Ne در گذر از



اندازه گیری شدت عبوری باریکه کاوش از یک روزنه، مورد مطالعه تجربی قرار گرفت. نتایج نشان می دهند که اثرات گرمایی بدون تاخیر زمانی نسبت به پالس دمش در محیط پدید می آیند. انحراف پرتو لیزر نیز که به دلیل بستگی شعاعی ضریب شکست محیط فعال لیزر بوجود می آید با محاسبه توان اپتیکی عبوری باریکه گاوسی جابجا شده بر روی روزنه به صورت تابعی از فاصله شعاعی پرتو از محور میله لیزر و همچنین زمان بدست آمد. این روش در تجزیه و تحلیل مقدار نامیزانی سیستم مفصل لیزری در حال توسعه [۵]حین عمل دمش اپتیکی، قابل استفاده می باشد.

مراجع

- [1] Koechner, Walter, *Solid-State Laser Engineering*, Fifth Edition, Chapter 7, Springer (1999).
- [2] Stone David H. and Matthew D. Rotondaro *Appl. Opt.* 31, 9, 1314 (1992).
- [3] Eichler Hans J. et al. J. Phys. D: Appl. Phys. 26, 1884(1993).
- [4] Bonnefois A. Montmerle et al. Opt. Commun. 259, 223(2006).
  [4] فرهبد امير حسين و ديگران، طراحي و ساخت مجموعه ليزري المي براي گذاخت، گزارش نهائي فاز اول، سازمان انرژي اتمي

محیط فعال لیزر بر حسب فاصله از محور میله لیزر با انرژی دمش ۷۸ ژول.





شکل ۸ : تصاویر ثبت شده بوسیله دوربین CCD جهت بررسی انحراف باریکه لیزر به دلیل وقوع اثرات گرمایی درون محیط فعال لیزر. جابجائی مرکز لکه لیزر در حضور اثرات گرمایی، تصویر بالائی . لکه عبوری لیزر در غیاب اثرات گرمایی، تصویر پائینی. باریکه لیزر از فاصله ۲/۵ میلیمتری محور میله لیزر عبور نموده است. انرژی دمش ۸۸ ژول است. در روزنه ورودی دوربین از یک فیلتر تضعیف کننده ND4 استفاده شده است و از این جهت تنها قسمت پر شدت باریکه لیزر ثبت شده است.

## ۴- نتیجهگیری

در این پژوهش اثرات گرمایی گذرا ناشی از دمش اپتیکی محیط فعال Nd:YAG و شیشه فسفات به کمک روش