



بررسی تجربی اثرات گرمائی گذرا در محیط های فعال اپتیکی حالت جامد

امیر حسین فرهبد^۱، آمنه خلیل زاده^۲ و محمد سعید ممدوحی^۱

^۱ گروه پژوهشی محصور سازی اینرسی، پژوهشکده فیزیک پلاسما و گداخت هسته ای، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران

^۲ 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 کاوش *He-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 ۰/۶ میلیمتر از لبه محیط فعال به ازای انرژی دمش ۷۸ ژول ۱/۷۷ میلی رادیان است.

کلید واژه- عدسی گرمائی، تقویت کننده های اپتیکی، محیط های فعال اپتیکی حالت جامد

کد PACS - ۱۴۰، ۱۴۰

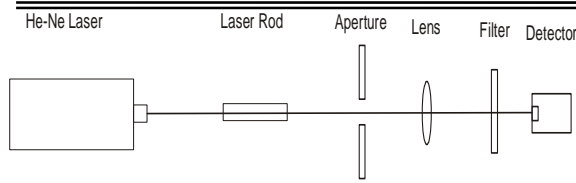
۱- مقدمه

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].

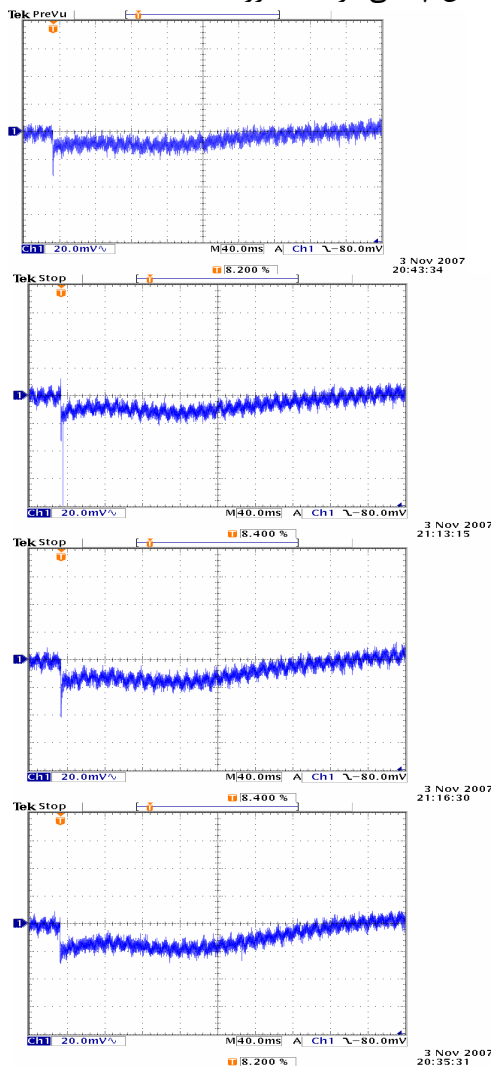
۲- روش کار

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 $L = 232 \text{ mm}$ با آینه خروجی تخت و آینه عقبی با شعاع انحنای $R_1 = 1000 \text{ mm}$ و توان ۲ میلی وات از میله لیزر مورد مطالعه عبور می نماید. پرتوی لیزر *He-Ne* خارج شده از میله لیزر از روزنه ای به قطر $2a = 7/8 \text{ mm}$ در فاصله 3025 میلیمتری از سطح میله 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 و پاسخ دهی ۳۴۵ ولت بر وات متمرکز می شود. یک فیلتر با

بروز اثرات گرمائی در محیط فعال لیزر حین عمل دمش اپتیکی و پس از آن می تواند سبب بروز اعوجاج در جبهه موج و انحراف باریکه لیزر از راستای مورد نظر شود. اثرات گرمائی عموماً بصورت تغییرات وابسته به مکان ضریب شکست محیط اپتیکی به دلیل پدید آمدن گرادیان دما و تنش مکانیکی پدید می آید که حاصل آن دوشکستی شدن محیط، کرنش مکانیکی در سطوح انتهائی قطعه اپتیکی که با تغییر شعاع انحنای همراه است و در مجموع عدسی گون شدن محیط فعال که با فاصله کانونی عدسی گرمائی نشان داده می 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 تکرار پذیری بالا بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته اند [۲-۴]. در مجموعه های اپتیکی مفصل اثرات گرمائی نه تنها سبب کاهش کیفیت باریکه لیزر در عبور از محیط فعال می شود، بلکه بر هم خوردن تنظیم 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



شکل ۱: آرایش تجربی برای بررسی اثرات گرمایی ناشی از دمش اپتیکی در میله لیزر.



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 ۷۸ ژول. هر خانه افقی ۴۰ میلی ثانیه است.

پارامتر q برای انتشار پرتو گاوسی در سطح ورودی میله لیزر q_i ، و سطح روزنه q_o ، مطابق با روابط (۳-۵) می باشد.

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 بر ساعت خنک می شود. میله لیزر مورد مطالعه Nd:YAG با ۱ درصد اتمی Nd^{3+} به ترتیب با طول و قطر ۱۰۰ و ۶/۲۵ میلیمتر و برای میله شیشه فسفات با ۴ درصد وزنی Nd_2O_3 با طول و قطر ۶۲/۵ 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 He-Ne بر روی آینه تخت خروجی آن بدست می آید: $w_o = 0.292$ که کمر پرتو نیز در آنجا قرار دارد.

$$w_o = w_c \left(\frac{g_1}{1 - g_1} \right)^{1/4} \quad (1)$$

$$w_c = \sqrt{\frac{\lambda L}{\pi}}$$

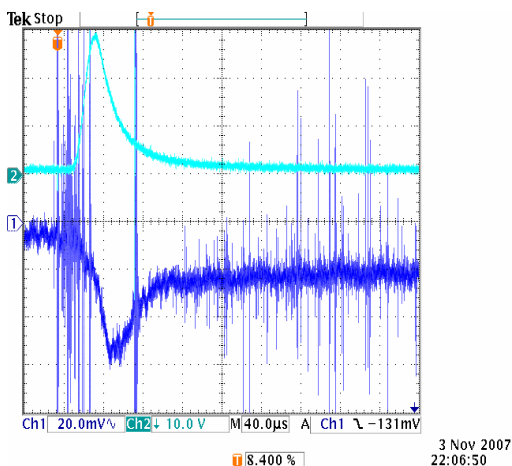
$$g_1 = 1 - \frac{L}{R_1}$$

شدت عبوری I_T از یک روزنه گرد به قطر $2a$ برای پرتو گاوسی با شدت I_o و اندازه لکه w_{ap} بر روی روزنه با رابطه (۲) داده می شود.

$$I_T = I_o \left[1 - \exp\left(-2 \left(\frac{a}{w_{ap}} \right)^2 \right) \right] \quad (2)$$

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 ۰/۳۵ ثانیه انجام می شود، در حالیکه برای یک میله Nd:YAG به قطر mm ۶/۲۵ $2r_r =$ که بطور یکنواخت انرژی گرمائی در آن تلف شده است مطابق با رابطه $\tau_T = \frac{r_r^2}{\alpha}$ ، ۱/۸، ثانیه زمان لازم است [۱]. $\alpha = \frac{\kappa}{\rho c}$ ضریب نفوذ گرمائی بلور است،

κ ضریب هدایت گرمائی، c ظرفیت گرمایی ویژه و ρ چگالی محیط فعال است. با مرور شعاعی میله لیزر بوسیله باریکه لیزر 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 است.



شکل ۳: 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 آشکارساز اپتیکی (۴ میکروثانیه) تاخیر زمانی میان آغاز عمل دمش اپتیکی و بروز اثر گرمایی گذرا در میله لیزر وجود ندارد.

$$q_{ap} = \frac{Aq_i + B}{Cq_i + D} \quad (۳)$$

$$\frac{1}{q_i} = \frac{1}{R_i} - i \frac{\lambda}{\pi w_i^2} \quad (۴)$$

$$\frac{1}{q_{ap}} = \frac{1}{R_{ap}} - i \frac{\lambda}{\pi w_{ap}^2} \quad (۵)$$

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

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{1}{f_T} \left(d + \frac{L_r}{n_r} \right) & d + \frac{L_r}{n_r} \\ -\frac{1}{f_T} & 1 \end{bmatrix} \quad (۶)$$

در (۶)، d فاصله سطح خروجی میله لیزر تا روزنه، L_r طول میله لیزر و n_r ضریب 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.

$$f_T = \frac{B}{\left(1 + \frac{B}{R_i} \right) - \sqrt{\left(\frac{w_{ap}}{w_i} \right)^2 - \left(\frac{\lambda B}{\pi w_i^2} \right)^2}} \quad (۷)$$

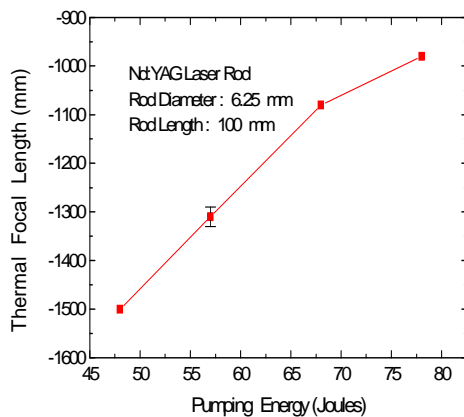
به کمک (۷) بستگی زمانی اندازه لکه لیزر از طریق اندازه گیری شدت قابل محاسبه است که با (۸) داده می شود.

$$w_{ap}(t) = \frac{a}{\sqrt{\ln\left(\sqrt{\frac{I_o}{I_o - I_T(t)}}\right)}} \quad (۸)$$

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

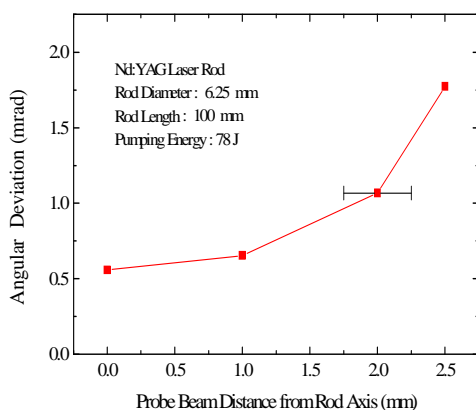


شکل ۶: بستگی کوتاهترین فاصله کانونی گرمایی پدید آمده در میله لیزر بر حسب انرژی دمش برای میله لیزر Nd:YAG.

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 I_{trans} از یک روزه گرد بر حسب جابجائی لکه مد پایه گاوسی لیزر He-Ne، Δr ، بر روی دوربین Wcamera بدست آمده است، رابطه (۹).

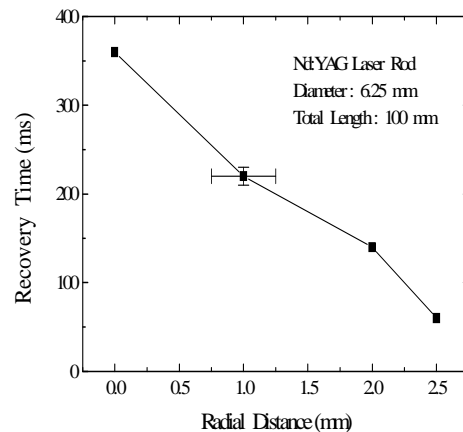
$$I_{trans} = I_0 \left(\frac{2}{\pi w_{camera}^2} \right) \int_0^{2\pi} \int_0^a \exp\left(-2 \left(\frac{\sqrt{r^2 - 2r\Delta r \cos(\phi) + \Delta r^2}}{w_{camera}} \right)^2\right) r dr d\phi \quad (9)$$

در شکل ۸ جابجائی لکه لیزر به کمک دوربین CCD مدل TaperCam ساخت کمپانی Gentec با تفکیک زمانی ۱۰ میکرو ثانیه بدست آمده است.

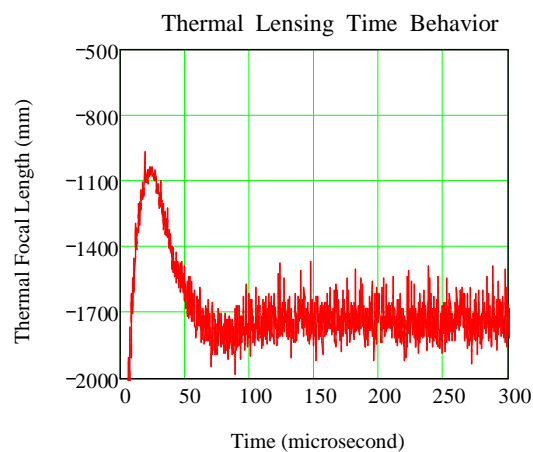


شکل ۷: انحراف زاویه ای باریکه لیزر He-Ne در گذر از

شکل ۴ 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 (۴) 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 ۷۸ J.

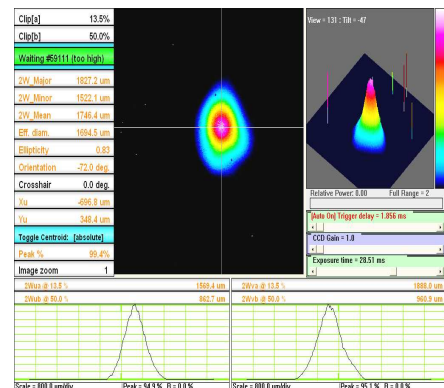
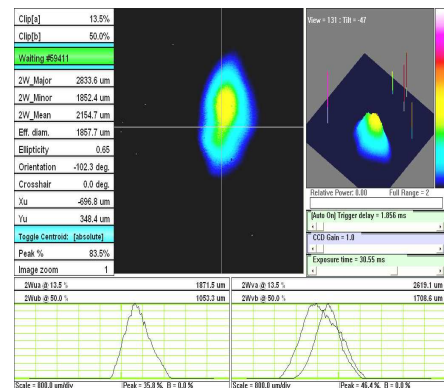
انحراف زاویه ای پرتو لیزر He-Ne با نزدیک شدن به سطح جانبی میله لیزر افزایش می یابد. افزایش انحراف به دلیل جذب بیشتر انرژی لامپ در لایه های بیرونی محیط فعال بوقوع می پیوندد و تأییدی بر حضور عدسی گرمایی

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 جایجا 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] Koehner, 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).
- [۵] فرید امیر حسین و دیگران، طراحی و ساخت مجموعه لیزری برای گداخت، گزارش نهایی فاز اول، سازمان انرژی اتمی ایران (۱۳۸۶).

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 ۷۸ 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- نتیجه گیری

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