

مقایسه کیفیت میله‌های لیزری Ce,Nd:YAG آنیل شده در هوا و ازت

داود رزاقی*، جهانگیر حسنی بربران، مینا برادران، محمد رضا غنی عراقی، غلامعلی کریملی

چکیده

در این تحقیق کیفیت اپتیکی و عملکرد لیزری میله‌های لیزری Ce,Nd:YAG مورد مطالعه تجربی قرار گرفته است. برای این منظور دو بلور Ce,Nd:YAG رشد داده شده و از آنها میله‌های لیزری ساخته شده و مقایسه نسبتاً جامعی از خواص اپتیکی و لیزری دو میله لیزری آنیل شده در هوا و ازت و نیز میله لیزر Nd:YAG انجام شده است. و نتایج حاکی از کیفیت اپتیکی و عملکرد لیزری مناسب تر میله لیزر Ce,Nd:YAG آنیل شده در ازت دارد.

واژه‌های کلیدی: میله لیزری، کیفیت اپتیکی، Ce,Nd:YAG

۱- مقدمه

سابقه استفاده از میله‌های لیزری Ce, Nd:YAG برای افزایش انرژی و کارایی لیزرهای دمیده لامپی در مقایسه با Nd:YAG، به اواسط دهه ۸۰ میلادی بر می‌گردد [۱،۲]. انتقال انرژی Ce^{+3} به Nd^{+3} ، دلیل اصلی مزیت نسبی تک بلور Ce,Nd:YAG نسبت به تک بلور Nd:YAG می‌باشد، و افزایش توان خروجی در این بلور نتیجه همپوشانی باند پهن نشر Ce^{3+} (از ۴۸۰ تا ۷۰۰ نانومتر) با بعضی خطوط جذب قوی یونهای Nd است [۳]. آنیل کردن میله Ce,Nd:YAG در محیط ازت باعث افزایش کیفیت اپتیکی و در نتیجه عملکرد لیزری آن است که در این

مطالعه به این موضوع پرداخته خواهد شد. برای مقایسه میله‌های لیزری آنیل شده در هوا و ازت، پارامترهای مقدار انحراف قله تا دره جبهه موج در تعداد فرانت‌ها در اینچ، اتلاف پراکندگی جانبی و نسبت خاموشی مد نظر قرار داده شده و در نهایت عملکرد میله‌های لیزری Ce,Nd:YAG در یک کاواک لامپی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۲- کیفیت اپتیکی و عملکرد لیزری میله‌ها و

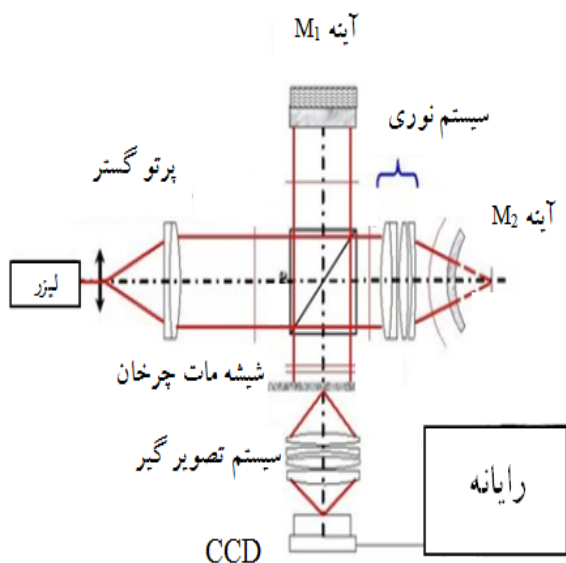
تأثیر شرایط آنیلینگ

به منظور تست کیفیت اپتیکی بلور دو عدد میله یکسان از بلور رشد داده شده (با توجه به امکانات موجود و طول کاواک) تهیه و سپس تحت عملیات آنیلینگ در دو محیط هوا و ازت در دمای حدود ۱۲۰۰ درجه

۱ پژوهشکده لیزر و اپتیک، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، خیابان کارگر شمالی، تهران، صندوق پستی ۱۱۱۵۵-۳۴۸۶
پست الکترونیکی: davrazzaghi@yahoo.com

به صورت گسترده ای در اندازه گیری کیفیت اپتیکی سامانه های اپتیکی استفاده می شود. شکل ۲، طرحواره ای از این تداخل سنج را نشان می دهد که از دو آینه تخت و انحنا دار تشکیل شده و آینه انحنا دار طوری قرار می گیرد که کانون مشترکی با قطعه/سامانه اپتیکی مورد تست داشته باشد.

آینه تخت معمولاً بر روی یک سازه دارای پیزوالکتریک نصب می شود تا فاصله بازوها با دقت مناسبی تنظیم و ارتعاشات محیط به این طریق جبران شود. محل قرار گیری سامانه اپتیکی و آینه انحنا دار قابل تغییر است و برای سامانه اپتیکی با فاصله کانونی مشخص، باید از آینه انحنا دار استاندارد با همان فاصله کانونی بهره برد.



شکل ۲: طرحواره ای از تداخل سنج توپمن گرین

در این چینش، در صورتی ایده آل بودن سامانه اپتیکی و تعامد آینه M_1 با پرتوی اصلی، الگوی تمام روشن یا خاموش و تیلت شدن این آینه، الگوی تداخلی روشن و خاموش در CCD تشکیل خواهد شد. در صورت وجود ابیراهی الگوهای تداخلی دچار تغییر شده که با توجه به

سانتیگراد قرار گرفت. این میله ها بدون لایه نشانی و دارای طول ۷۰ میلیمتر و قطر ۶ میلیمتر بودند (شکل ۱).



شکل ۱: میله های لیزری تهیه شده از بلور $Ce,Nd:YAG$ آبیله شده در دو محیط مختلف ازت و هوا

سطوح ابتدا و انتهای میله ها با دقت بالا و صافی سطح در حد $0/1$ طول موج پولیش شده است. تعامد بین سطوح در حد چند دقیقه است و سطوح جانبی میله پولیش نشده است. این میله ها به طور جداگانه تست های اپتیکی را گذرانده و انرژی خروجی آنها در یک کاواک لامپی اندازه گیری شده که در ادامه به تشریح جزئیات این اندازه گیری ها و ارائه نتایج خواهیم پرداخت.

۳- تست های اپتیکی (تست استاتیک)

۳-۱- تداخل سنجی

آرایش اپتیکی استفاده شده در این تحقیق، تداخل سنج توپمن گرین می باشد [4,5]. این تداخل سنج همانند تداخل سنج مایکلسون است با این تفاوت که چشمه نوری حتما نقطه ای است. از این تداخل سنج

صفحه مشاهده به هم می پیوندند. با کج کردن یکی از آینه ها با زاویه α (آینه M_2) می توان شکل نوارهای تداخلی خطی را ایجاد کرد که روی CCD قابل مشاهده است. سپس با قراردادن میله لیزر در یکی از بازوها، به علت عدم یکنواختی ضریب شکست در میله لیزر، که یکی از نقصهای بوجود آمده در مرحله رشد بلور می باشد، اختلاف راه نوری در مسیر نور گذرنده از میله لیزر بوجود می آید، و این مساله باعث می شود که این نوارهای تداخلی خطی دچار اعوجاج شوند. هر چه این ناهمگنی در ضریب شکست در میله لیزر بیشتر باشد، میله تولید شده کیفیت بدتری دارد و این اعوجاج بیشتر است. تصویر دریافتی از CCD (۱/۲ اینچ و ۴۱۰ هزار پیکسلی آنالوگ) به رایانه رسیده و عملیات



شکل ۴: چینش مورد استفاده برای اندازه گیری کیفیت اپتیکی به روش تداخل سنجی

پردازش تصویر و محاسبات مورد نیاز برای پیدا کردن مقدار اعوجاج، با استفاده از برنامه ای که به زبان متلب نوشته شده است، انجام شده است [۵]. محاسبات شامل دو قسمت اصلی پیش پردازش و محاسبه مقدار انحراف قله تا دره جبهه موج در تعداد

این تغییرات می توان اعوجاج ایجاد شده در موج تخت تداخلی به دلیل ابیراهی ها را مشخصه بندی نمود. برای مثال شکل ۳ نشان دهنده وجود ابیراهی کروی مرتبه سوم در سامانه نوری است که با تیلت آینه ثابت بدست آمده است. این فرانتها نشان دهنده انحراف جبهه موج از حالت ایده آل در نواحی جانبی سامانه نوری است و با تحلیل فرانت می توان میزان ابیراهی کروی را برآورد نمود.



شکل ۳: فرانت های حاصل از یک سامانه نوری دارای ابیراهی کروی مرتبه سوم

شیشه مات چرخان برای حذف اسپکل مورد استفاده قرار می گیرد. برای میله های لیزر، بدلیل تخت بودن ابتدا و انتهای میله، آینه M_2 باید تخت باشد (کانون آن در بی نهایت باشد). در چینش ما (شکل ۴)، از یک لیزر هلیوم نئون بعنوان منبع نور استفاده می شود که پس از عبور از یک آینه به دهانه ورودی یک باز کننده باریکه می رسد. پرتو لیزر موازی شده بوسیله شکافنده باریکه (BS) به دو قسمت تقسیم می شود. پرتوها راه نوری مساوی از BS را طی می کنند و از آینه M_1 و M_2 انعکاس می یابند. هر دو پرتو بصورت هم دوس در

همراه یک ولت متر دیجیتالی به عنوان نشانگر به کار رفته است. مخروط بازتابنده نور از تفلون یا ماده سرامیکی سفید ساخته می شود که زاویه 30° دارد و نور باید به نوک مخروط هدف گیری شود. ابتدا با حضور مخروط بازتابنده نور میله لیزر را تا قسمت میانی کره داخل می کنیم و شدت I_t را اندازه گیری می کنیم. سپس مخروط بازتابنده نور را برداشته و شدت I_1 را ثبت می کنیم. پس از آن میله لیزر را در بیرون کره طوری قرار می دهیم که وجه جلویی میله در ورودی کره قرار بگیرد و شدت I_2 را اندازه گیری می کنیم. شدت پراکندگی جانبی میله لیزر به صورت $I_h = I_1 - I_2$ است و ضریب اتلاف پراکندگی از رابطه زیر به دست می آید:

$$h = -\frac{1}{L} \ln\left(1 - \frac{I_h}{I_t}\right) \quad (2)$$

۳-۳- اندازه گیری نسبت خاموشی میله لیزر

چینش مورد استفاده برای اندازه گیری نسبت خاموشی در شکل ۲ نشان داده شده است. لیزر مورد استفاده لیزر هلیوم نئون با طول موج $632/8 \text{ nm}$ و توان خروجی 20 mW و نوسانات توانی کمتر از 1% می باشد. نور لیزر از یک پهن کننده باریکه عبور داده می شود که واگرایی نور خروجی آن کمتر از 3 mrad است. پس از آن از روزنه به قطر 1 mm کمتر از قطر میله لیزر عبور کرده و وارد قطبشگر شده و بعد از قطبشگر وارد میله لیزر شده و پس از آن از تحلیگر عبور کرده و وارد فوتوسل می شود، و خروجی توسط یک ولت متر دیجیتالی با دقت هزارم میلی ولت اندازه گیری می شود.

فرانژها در اینچ (پارامتری که با FH نامگذاری می کنیم)، است که در قسمت پیش پردازش، ابتدا تصویر کپچر شده به یک الگوی شدت سیاه و سفید تبدیل شده و بریده میشود. پس از بهبود کیفیت تصویر و تنظیم کنتراست، فیلتر میانه با همسایگی ۳ برای از بین بردن نویزبرروی آن اعمال می شود و الگوی بدست آمده از فرانژهای نهایی به قسمت محاسبه اصلی منتقل و در این قسمت پارامتر FH را از رابطه زیر بدست می آوریم.

$$FH = \frac{25}{L} (OPD)_f \quad (1)$$

که L طول میله لیزر تست شده و OPD اختلاف راه نوری بین فرانژها و خط مرجع است.

۳-۲- اندازه گیری پراکندگی جانبی میله لیزر

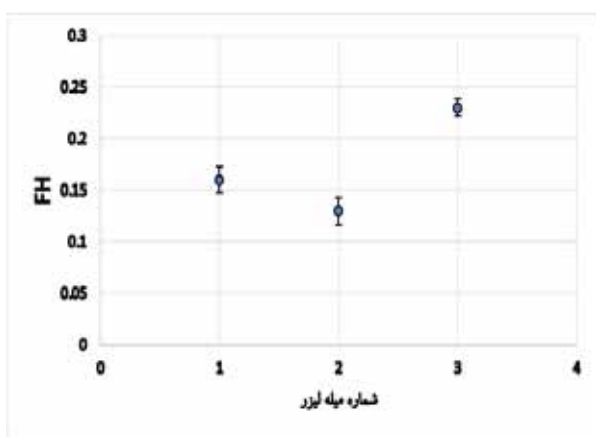
نمایش طرح وار دستگاه اندازه گیری پراکندگی در شکل ۲ نشان داده شده است. لیزر مورد استفاده لیزر هلیوم نئون با طول موج $632/8 \text{ nm}$ و توان خروجی 20 mW و نوسانات توانی کمتر از 1% می باشد. سپس نور لیزر از یک پهن کننده باریکه عبور داده می شود که واگرایی نور خروجی آن کمتر از 3 mrad است. پس از آن از روزنه به قطر 1 mm کمتر از قطر میله لیزر عبور کرده و وارد کره ای می شود که به منظور جمع کردن نور پراکنده شده بکار می رود. قطر داخلی کره 200 mm می باشد که دیواره داخلی آن با لاک سفید یا لایه بازتابنده MgO پوشانده شده است. اندازه گیری تحت زاویه 90° انجام می گیرد. فوتوسل سیلیکونی برای اندازه گیری شدت نور پراکنده شده به

از جنس Ce,Nd:YAG بر حسب مقادیر FH و h در جدول ۱ ارائه شده است.

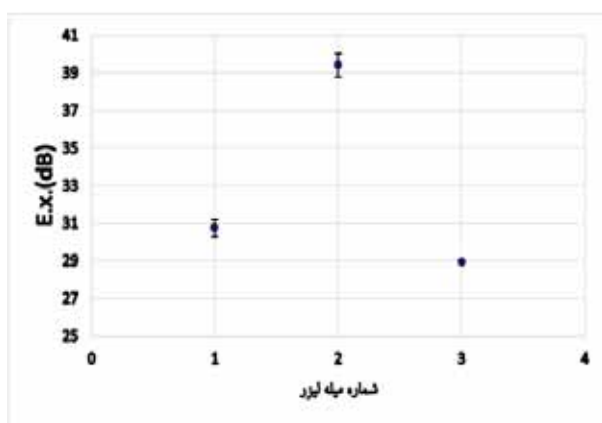
جدول ۱: نتایج اندازه گیری کیفیت اپتیکی میله های لیزری

میله لیزر	میله شماره ۱	میله شماره ۲	میله شماره ۳
FH	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۲۳
h	-----	۰/۰۲۳۹	۰/۰۲۷۲
Ex.R.(dB)	۳۰/۷۴	۳۹/۵۰	۲۸/۹۶

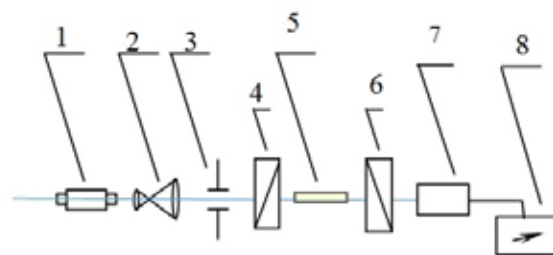
همچنین در شکل ۳ و ۴ مقادیر FH و Ex.R ترسیم شده است.



شکل ۶: پارامتر FH برای سه میله مختلف



شکل ۷: پارامتر Ex.R.(dB) برای سه میله مختلف



شکل ۵: آرایه اپتیکی برای اندازه گیری نسبت خاموشی: ۱- لیزر هلیوم-نئون ۲- پهن کننده و موازی کننده نور ۳- دیافراگم قابل تنظیم ۴- قطبشگر ۵- میله لیزر ۶- تحلیلگر ۷- آشکارساز ۸- ابزار نمایش

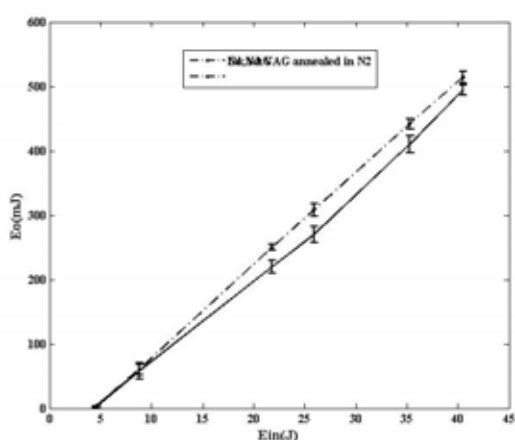
مراحل اندازه گیری به این ترتیب است که با چرخاندن تحلیلگر، به موقعیت دو قطبش نور عمود بر هم دست پیدا کنیم. که در این حالت کمترین مقدار شدت را در خروجی داریم. شدت خوانده شده در این حالت را I_{\perp} می نامیم. سپس میله لیزر را در مسیر قرار می دهیم و در این حالت نیز شدت را اندازه می گیریم که شدت خوانده شده در این حالت را I_{\parallel} می نامیم. در مرحله بعد آنالیزور را 90° می چرخانیم تا به قطبش موازی دست پیدا کنیم. شدت اندازه گیری شده در این حالت را I_{\parallel} می نامیم. با قرار دادن I_{\perp} و I_{\parallel} در معادله ۳ مقدار ضریب خاموشی میله لیزر را به دست می آوریم.

$$E_x.R. = 10 \log \frac{I_{\parallel}}{I_{\perp} - I_{\perp}} \quad (3)$$

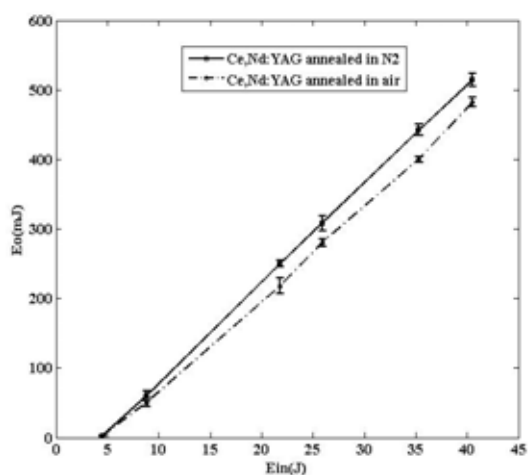
نتایج اندازه گیری کیفیت اپتیکی برای میله های لیزر Nd:YAG (میله شماره ۱) و دو میله آنیل شده در ازت (میله شماره ۲) و آنیل شده در هوا (میله شماره ۳)

جدول ۲: نتایج حاصل از اندازه گیری کیفیت اپتیکی میله های لیزری

	$E_{in}(J)$	۴/۵	۸/۸	۲۱/۸	۲۵/۹	۳۵/۳	۴۰/۵
۱	$E_{out}(mJ)$	۱/۷	۵۸	۲۲۰	۲۷۰	۴۱۰	۴۹۴
۲	$E_{out}(mJ)$	۲/۵	۶۰	۲۵۰	۳۰۸	۴۴۲	۵۱۴
۳	$E_{out}(mJ)$	۱/۹	۵۰	۲۱۸	۲۸۰	۴۰۰	۴۸۲



شکل ۹: تغییرات انرژی خروجی میله لیزری Nd:YAG و Ce,Nd:YAG بر حسب انرژی الکتریکی ورودی



شکل ۱۰: تغییرات انرژی خروجی میله لیزری Ce,Nd:YAG

این نتایج حاکی از آن است که میله لیزری آنیل شده در ازت بهترین کیفیت اپتیکی را نسبت به دو میله دیگر داراست و انتظار می رود عملکرد لیزری بهتری را به نمایش بگذارد که در بخش بعد این انتظار را ارزیابی خواهیم کرد.

۴- تست عملکردی میله های لیزری (تست دینامیک)

برای آزمون عملکرد لیزری میله ها، از کاواک تک بیضی لامپی آب خنک استفاده شده است (شکل ۵).



شکل ۸: کاواک تک بیضی لامپی آب خنک مورد استفاده برای تست میله های آنیل شده در ازت و هوا

رزوناتور مورد استفاده، تخت- مقعر در ساختار متقارن با طول کلی ۴۵ سانتی متر و آینه های بازتاب بالا و بازتاب ۴۰ درصد بوده است. میله ها در رژیم تپ آزاد و با شرایط یکسان مورد تست و ارزیابی قرار گرفتند. جدول ۲ انرژی خروجی حاصل از این دو میله و نمودار شکل ۶ تغییرات انرژی خروجی بر حسب انرژی الکتریکی ورودی نشان می دهد. دقت ژول متر مورد استفاده 0.1mJ در محدوده اندازه گیری بوده است.

خاموشی تقریباً ۳۲ درصد نسبت به میله آنیل شده در هوا بهبود یافته اسن. این کیفیت اپتیکی بهتر منجر به افزایش کارایی میله لیزر خواهد شد به نحوی که در آزمایش ما، میله آنیل شده در ازت در یک کاواک لامپی و در رژیم تپ آزاد، تقریباً ۷ درصد افزایش انرژی نسبت به میله آنیل شده در هوا، داشته است. به نظر می رسد دلیل عمده این افزایش انرژی و بهبود کیفیت، کاهش غلظت اتم های Ce^{3+} و تبدیل آن به Ce^{4+} در محیط هوا باشد.

۶- مرجع ها

- [1] J. Kvapil et al.; "Laser Properties of YAG: Nd, Cr, Ce"; *Czech. J. Phys. B* **34** (1984) 581.
- [2] J. Kvapil et al.; "THE LUMINESCENCE EFFICIENCY OF YAG:Ce PHOSPHORS"; *Czech. J. Phys. B* **30** (1980) 185.
- [۳] Y. Li et al.; "Intense 1064 nm emission by the efficient energy transfer from Ce^{3+} to Nd^{3+} in Ce/Nd co-doped YAG transparent ceramics"; *Optical Materials* **32** (2010) 1223-1226
- [۴] M Li, C J Tay, *Opt. Laser Technol.* **40** (2008) 920.

[۵] مینا برادران، داوود رزاقی، حسین رزاقی، کنفرانس فیزیک محاسباتی ایران ۱۳۹۴، ۳۰دی و ۱ بهمن ماه، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی.

همانطور که از نمودارهای شکل ۶ و ۷ مشخص است. میله لیزری Ce,Nd: YAG آنیل شده در اتمسفر نیتروژن به ازای انرژی ورودی معین انرژی خروجی بیشتری دارد و این به آن معناست که کارایی بالاتری خواهد داشت. اندازه گیری آستانه لیزر با سامانه و ابزار اندازه گیری در اختیار، با دقت مناسب امکانپذیر نبوده است. دلیل کمتر بودن کارایی میله لیزری آنیل شده در محیط هوا را می توان به شرایط اکسیدی هوا و تغییر ظرفیت بخشی از یون های سریم از حالت مطلوب Ce^{+3} به Ce^{+4} در حین آنیلینگ در هوا مرتبط دانست.

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش با در نظر گرفتن انتقال انرژی از Ce به Nd در میله های لیزری از یکسو و نیز وجود پیک های جذبی قوی در ناحیه UV ازسوی دیگر، تلاش بر ساخت و مقایسه میله های لیزری Ce,Nd:YAG شده است. دو میله لیزری به ابعاد یکسان 6×70 میلی متر از بلور Ce, Nd:YAG با ابعاد 10.5 میلیمتر طول مفید و 39 میلیمتر قطر (رشد داده شده در پژوهشکده لیزر و اپتیک) تهیه و مورد آزمون کیفیت اپتیکی (انترفرومتری، پراکندگی جانبی و ضریب خاموشی) و نیز عملکرد لیزری (در حالت تپ آزاد) قرار گرفتند. نتایج حاکی از کیفیت اپتیکی بالاتر میله آنیل شده در محیط ازت دارد طوری که پارامتر مقدار انحراف قله تا دره جبهه موج در تعداد فرانژها در اینچ، برای میله آنیل شده در ازت حدود دو برابر بهتر از میله آنیل شده در هواست. همپنین پارامتر اتلاف پراکندگی برای میله آنیل شده در ازت حدود ۱۴ درصد کمتر است و نسبت