بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

بررسی و تحلیل تجربی تلفات دوشکستی القاییده گرمایی در لیزر شبه پیوسته Nd:YAGبا دمش دیودی در نرخ تکرار1kHz

حسن عبادیان۱ ،محمود سلطان الکتابی۲ ،حسین پناهی۱

۱.دانشگاه صنعتی مالک اشتر-پژوهشکده اپتیک و لیزر،۲. گروه فیزیک دانشگاه اصفهان

چکیده - در این مقاله ما به بررسی و تحلیل دوشکستی القاییده گرمایی در یک سامانه لیزر حالت جامد شبه پیوسته *Nd:YAG* پرداخته ایم.ابتدا در یک چیدمان آزمایشگاهی بر پایه قطبش نگاری و تشکیل الگوی هم شکل*(isogyre pattern)*در نرخ تکرار پالس*1KHz* به مشاهده این اثر پرداختیم .در ادامه جبران تلفات ناشی از واقطبش با استفاده از ساختار دو میله ای و یک چرخاننده ۹۰ درجه ای انجام شده است . همچنین اجرای یک چیدمان مناسب، تصحیحی در حدود ۷۵٪ را برای تلفات واقطبش نشان می دهد .

کلید واژه- دوشکستی القاییده گرمایی،الگوی هم شکل،چرخاننده قطبش،لیزر شبه پیوسته

An experimental investigation of Thermal induced birefringence loss of a QCW diode pumped Nd:YAG laser at 1KHz operation

hassan EBADIAN, M.SOLTANOLKOTABI,H.PANAHI

The Authors Affiliations

Abstract*:* In this paper the thermal induced birefringence in a QCW diode pumped Nd:YAG laser is investigated .In a polarisoscope arrangement and at 1KHz pulse repetition rate the isogyre patern is analysed .Using a double rod configuration and a 90 polarization rotator between them, the depolarization loss compensation is accomplished .Also an experimental arrangement verifies about %75 depolarization loss compensation.

Keywords : Nd:YAG LASER, 90^0 polarization rotator, thermal induced birefringence ,QCW operation

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]

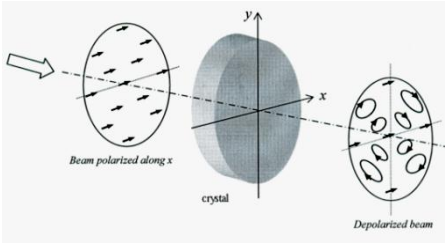
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

۱- مقدمه

در لیزرهای پرتوان حالت جامد با هندسه میله ای دما و تنشهای القاییده گرمایی ضریب شکست را تغییر می دهند و میله به یک عنصر دوشکستی دایروی نایکنواخت تبدیل می شود که این عدسی شدیداً به قطبش وابسته می باشد مشکل از آنجا آغاز می شود که بخواهیم از یک سامانه پرتوان انتظار پرتو خروجی قطبیده پرتوان را داشته باشیم . به عبارت دیگر ،یک پرتو گوسی با مد اصلی TEM_{00} لیزری که درون این محیط منتشر می شود ، در نتیجه دو شکستی دچار اعوجاج می شود و کیفیت پرتو به شدت کاهش می یابد.مشاهده شده که تلفات موجود چشمگیر است (حدود ٪ ۲۵ تا ٪۳۰) و بایستی به روشهایی جبران و کمینه شود .[۱]

برخی از فرایندهای لیزرهای حالت جامد مانند Q – سوئیچ الکترو اپتیکی، تولید هماهنگ دوم، و مدولاسیون خارجی پرتو نیازمند پرتو قطبیده خطی می باشند. یک ماده همسانگرد اپتیکی، مانند Nd:YAG را باید بتوان طوری در سامانه قرار داد که با قرار دادن یک قطبنده درون مشدد خروجی قطبیده تولید کند. در غیاب دو شکستی، نباید هیچگونه تلفاتی در توان خروجی مشاهده شود. ولیکن، دو شکستی القاییده گرمایی باعث افت چشمگیر در توان خروجی شده و شکل پرتو را تغییر خواهد داد . صورت کلی مساله تبدیل قطبش خطی به بیضوی درون محیط بلوری با دوشکستی القایی در شکل۱ مشاهده می شود .[۱]

آثار دو شکستی در لیزرهای میله ای دمیده شده را می توان با قرار دادن آن در یک ساختار قطبش نگاری که در آن مانند شکل۲ پرتو موازی شده لیزر He-Ne به عنوان روشن کننده میله لیزری واقع در بین دو قطبنده متعامد استفاده می شود، مطالعه نمود. به دلیل دو شکستی



شکل۱: صورت کلی مساله تبدیل قطبش خطی به بیضوی درون محیط بلوری با دوشکستی القایی

القاییده گرمایی، پرتو آزمون متحمل واقطبیدگی شده و از درون آنالیزور عبور می کند .

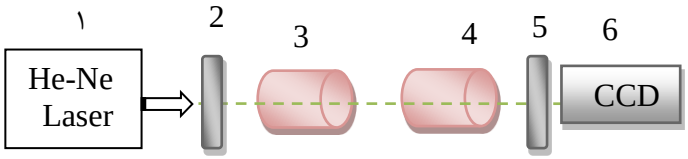
پرتو عبوری الگوی صلیبی شکلی را می سازد که نقاط واقع در آن یک اختلاف فاز ثابتی با مرکز هندسی الگو دارند .

روشهای مختلفی برای جبران آثار دوشکستی القاییده گرمایی ارایه شده است که از جمله آنها می توان به استفاده از منشور پرو و استفاده از تیغه چارک موجی اشاره نمود .اما یکی از بهترین روشهای جبران تلفات دو شکستی القاییده گرمایی استفاده از ساختار دو میله ای همراه با چرخاننده ۹۰ درجه ای قطبش خطی می باشد که توسط[۲] ارایه و تحلیل شده است و مبنای تحلیل ما در این تحقیق نیز همین روش می باشد .

۲-چیدمان آزمایشگاهی مورد نیاز به منظور مشاهده اثر دوشکستی القاییده گرمایی

به منظور تشریح عملی جبران مورد نیاز برای دوشکستی در میله های لیزری ، ابتدا اندازه گیری هایی توسط لیزر $He-Ne$ در طول موج $\lambda = 632.8nm$ در ساختار قطبش نگاری و بدون دمش نوری انجام می شود، تا مقایسه ای بین حالت جبران نشده با جبران شده بدست آید .

چیدمان آزمایشگاهی در شکل ۲ نشان داده شده است . پرتو موازی و پهن شده $He-Ne$ از داخل میله لیزری که بین دو قطبنده و واکافنده قرار دارد عبور می کند . بدلیل دو شکستی القاییده گرمایی پرتو آزمون دچار واقطبیدگی شده و به طور جزئی از آنالیزور عبور می نماید .

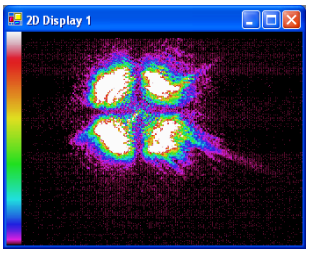


شکل۲:چیدمان قطبش نگاری،۱لیزر هلیوم نئون موازی شده،۲و۵قطبنده و واکافنده،۳و۴ میله لیزرNd:YAG ،۶: CCD

در این تحقیق از دو میله لیزر Nd:YAG کاملا مشابه به ابعاد $2 \times 40mm2$ استفاده شد است .این میله ها در

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]

محفظه دمش نوری ساخته در این دانشگاه،نصب شدند و هر کدام توسط ۶ لیزرنیمرسانایmJ۲۰ (توان قله) در چیدمان سه تایی (۱۲۰درجه)در نرخ تکرار Hz۱۰۰۰، مورد دمش نوری قرار داده شدند [۴]. بنابراین توان متوسط دمشی هر کدام از این کاواک ها W۱۲۰ می باشد .به منظور مشاهده مشکل دو شکستی القاییده گرمایی،میله های لیزری را در چیدمان قطبش سنجی قرار دادیم. الگوی خروجی در شکل۳ مشاهده میشود .

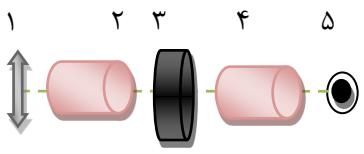


شکل۳: مشاهده الگوی صلیبی چیدمان شکل۲

همانگونه که مشاهده می شوداصولا در غیاب هر نوع اثر گرمایی این الگو نباید روی CCD مشاهده شود .بنابراین در ادامه روشی برای جبران این پدیده اجرا خواهد شد . *اشباع مشاهده شده در CCD تاثیری بر نتایج ندارد و مهم مشاهده الگوی صلیبی می باشد .*

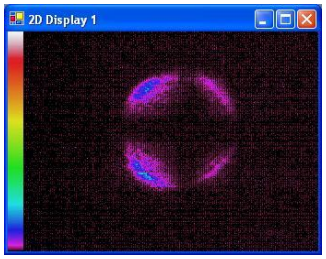
۲-۱- چیدمان دو میله ای و چرخاننده ۹۰ درجه ای قطبش

یکی از روشهای جبران تلفات واقطبش استفاده از ساختار دومیله ای همراه با یک چرخاننده ۹۰ درجه ای قطبش، مانند شکل۴، می باشد.چرخاننده ۹۰ درجه ای قطبش را بین دو میله(با مشخصات دمشی آزمایش شماره۱) قرار دادیم و الگو را توسط CCD در شکل ۵ ذخیره نمودیم .



شکل۴: جبران تلفات واقطبش استفاده از ساختار دومیله ای : ۱پرتو قطبیده ورودی،۲و۴ میله لیزری،۳چرخاننده ۹۰ درجه ،۵ خروجی

چرخاننده قطبش دارای کمترین تلفات عبوری میباشد .

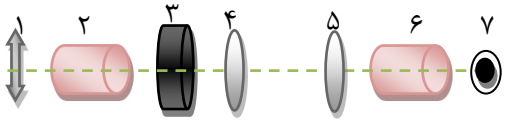


شکل۵: الگوی قطبش سنجی(صلیبی) شکل ۴

با مقایسه الگوهای هم شکل در شکل۳ با الگوی شکل ۵ مشاهده می شود که الگوی شکل اخیر کم رنگ تر شده است که نشان می دهد جبران تلفات دو شکستی در این ساختار در حال انجام می باشد .

۲-۲- بهینه سازی فرایند جبران تلفات واقطبش

بهینه سازی فرایند جبران تلفات واقطبش را با آزمایش دیگری که در آن علاوه بر چرخاننده قطبش از دو عدسی بین میله های لیزری در ساختار قطبش سنجی استفاده می شود، ادامه دادیم . این چیدمان در شکل۶ ارایه شده است .



شکل ۶: فرایند بهینه سازی که در آن از دو عدسی به عنوان تصویر ساز برای جبران کامل تلفات دوشکستی استفاده شده است
۱قطبنده،۲و۶ میله لیزری،۳چرخاننده قطبش،۴و۵ عدسی،۷ واکافنده

در این روش که کامل ترین روش می باشد انتظار داریم که بهترین جبران را برای دو شکستی انجام دهد . در این چیدمان، پرتو آزمون در میله اول واقطبیده شده، سپس توسط تلسکوپ(عدسیهای ۴و۵) روی میله دوم تصویر می شود .

قبل از رسیدن پرتو خروجی از میله اول به میله دوم،فاز ϕ و دامنه A مربوط به مؤلفه های r و ϕ حالت قطبش توسط چرخاننده ۹۰ درجه تعویض می شوند :

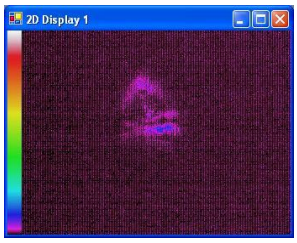
$$A'_{\phi} = -A_r \quad , \quad \phi'_{\phi} = \phi_r$$

$$A'_r = A_{\phi} \quad , \quad \phi'_r = \phi_{\phi}$$

بنابراین جابجایی فازی بین قطبش های r و ϕ در میله دوم علامتهای مخالف هم پیدا کرده، و تأخیر فاز حالت قطبش r در مقابل حالت ϕ جبران خواهد شد .

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]

در شکل۷ الگوی خروجی در محل CCD مشاهده می شود .(نامتقارن شدن لکه را میتوان به کیفیت نایکنواخت میله های لیزری مربوط دانست)



شکل ۷: الگوی قطبش سنجی برای دو میله لیزر Nd:YAG

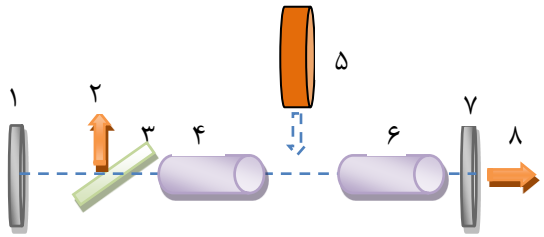
۳- تشریح عملکرد فرایند جبران سازی تلفات و برآورد یک کمیت عددی

اکنون ممکن است که این سوال پیش بیاید که چگونه به طور کمی می توان مقدار تلفات واقطبش را در یک سامانه واقعی لیزری بررسی نمود . برای پاسخ به این پرسش ساختار دو میله ای را درچیدمان شکل ۸ قرار می دهیم .این چیدمان معادل شکل ۴ می باشد .

با قرار دادن یک قطبنده خطی درون مشدد لیزری دو مولفه قطبش ایجاد می شود(pوS).مولفه مماسی قطبش که درون مشدد نوسان می کند تا پالس لیزری را شکل دهد و مولفه عمودی قطبش که به عنوان تلفات مد نظر می باشد . با افزایش نرخ تکرار به ۱۰۰۰Hz دو خروجی از سامانه قابل اندازه گیری می باشد :

۱- در محل آیینه نیم بازتابنده، پرتو خروجی ۸

۲- در محل قطبنده خطی،پرتو خروجی۲



شکل۸: چیدمان انجام شده برای اندازه گیری تلفات واقطبش در محل قطبنده و اندازه گیری انرژی خروجی لیزر،۱و۷ آیینه های مشدد لیزری،۴و۶ میله های لیزری،۳قطبنده،۵ چرخاننده قطبش،۲ تلفات واقطبش،۸ انرژی خروجی لیزر

پس از برپایی چیدمان شکل۸ ، هر کدام از این خروجی ها را اندازه گیری نمودیم .تلفات در محل قطبنده حدود ۸ mJ بود که با وارد کردن چرخاننده ۹۰ درجه ای قطبش این مقدار به کمتر از ۲mJ افت کرد .بنابرین نتیجه می گیریم که تلفات دوشکستی حدود۷۵٪ کاهش یافته است و جبران تلفات واقطبیدگی مناسبی انجام شده است .انرژی خروجی لیزر قبل از تصحیح حدود ۱۰ mJو پس از تصحیح حدود ۱۸ mJ می باشد .

۴- نتیجه گیری

همان طور که قبلا نیز اشاره شد، *هر چه الگوها کم رنگ تر باشند یعنی تلفات واقطبش کمتری داشته ایم* .با مقایسه الگوی صلیبی شکلهای ۳و ۵ با۷ می توان نتیجه گرفت که چرخاننده ۹۰ درجه ای قطبش تاثیر چشمگیری بر کاهش تلفات داشته است .پس نتیجه می گیریم که عملکرد چیدمان دومیله ای با یک چرخاننده ۹۰ درجه ای قطبش و دو عدسی تصویر ساز ، چیدمان بهینه می باشد . که نشاندهنده مناسب بودن روش می باشد .

سپاسگزاری :
از تیم منابع تغذیه لیزری دانشگاه صنعتی مالک اشتر کمال تشکر و قدر دانی را داریم .

۵- مراجع

[1] Koechner.W,(2006),*solid state laser engineering*, Sixth Revised and Updated Edition, springer series in optical science

[2] LU. Qitao, KUGLER. N,WEBER. H, DONG.S, MOLLER.U, WITTROCK.N, (1996),*A novel approach for compensation of birefringence in cylindrical Nd:YAG rods*, Optical and Quantum Electronics 28 57-69

[3] You Wang, Hirofumi Kan,(2006), Optimization algorithm for the pump structure of diode side-pumped solid-state lasers, Optics and Lasers in Engineering 45 ,93–105

[4] حسن عبادیان، محمود سلطان الکتابی، عبدالرسول قرائتی ، عباس ملکی ،هیجدهمین کنفرانس اپتیک و لیزرایران،تبریز ۱۳۹۰

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]