

طراحی و ساخت یک لیزر Q-Nd:YAG-سوئیچ شده با جاذب اشباع پذیر Cr⁴⁺:YAG

و شبیه سازی این سیستم

حسینی فرزاد، محمود^۱؛ موسوی، سید سعید^۲؛ هنرآسا، غلامرضا^۲؛ سلیمی، سهیل^۲

^۱بخش فیزیک دانشگاه شیراز

^۲مرکز مطالعات و تحقیقات پیشرفته لیزر، صنایع الکترونیک شیراز

چکیده

در این مقاله ضمن طراحی و برپایی یک لیزر Q-Nd:YAG-سوئیچ شده توسط کریستال Cr⁴⁺:YAG به منظور دستیابی به پرتو خروجی مورد نظر (انرژی ۲۵۰ mj در هر پالس، پهنای پالس ۱۰ ns و کیفیت پرتو مناسب) به شبیه سازی این سیستم بوسیله یک نرم افزار قوی طراحی و آنالیز سیستمهای لیزری پرداخته شده است. برای اطمینان از موفقیت آمیز بودن فرایند شبیه سازی، توزیع شدت در سطح مقطع پرتو خروجی این لیزر پالسی با توزیع شدت حاصل از عملیات شبیه سازی در دو حالت میدان نزدیک و میدان دور مورد مقایسه قرار گرفته اند.

Design and manufacture of a Q-switched Nd:YAG laser by Cr⁴⁺:YAG saturable absorber and simulation of the system

H.Farzad, Mahmood¹; Mousavi, S.Saeed²; HonarAsa, G.R²; Salimi, Soheil²

¹Dept. of physics, College of science, Shiraz university

²Laser research center, Shiraz electronic industries, Shiraz

Abstract

In this article, we design and set up a Q-switched Nd:YAG laser by Cr⁴⁺:YAG crystal in order to obtain a desired output beam, energy per pulse 250 mj, pulse width 10 ns and good beam quality. This system have been also simulated by a powerful laser design and analysis software. The output beam profile in near and far-field resulted from the simulation process show a good agreement with the corresponding ones obtained from the measurement.

PACS No. : 42

پشتی یک بازتابنده رترو است. فاصله بهینه بین دو آینه ۲۵/۵ cm

تنظیم

شده و سطوح میله لیزری و کریستال Q-سوئیچ کننده دارای لایه ضد بازتابندگی در طول موج ۱۰۶۴ nm می باشند و از جاذب اشباع پذیر Cr⁴⁺:YAG [۲] با طول ۵/۶ mm بعنوان Q-سوئیچ استفاده شده است. نمایی شماتیک از چیدمان لیزر در شکل ۱ مشاهده می شود.

مشخصات لیزر ساخته شده

لیزر ساخته شده یک لیزر Nd:YAG پالسی Q-سوئیچ شده به روش غیر فعال می باشد [۱]. با توجه به اینکه هدف رسیدن به انرژی ۲۵۰ mj و پهنای پالس ۱۰ ns است از یک میله Nd:YAG به قطر ۷ mm و طول ۸۰ mm و یک لامپ درخش طولی زنون که درون یک کاواک استوانه ای با سطح مقطع دایروی که روی سطح داخلی آن پوشش نقره نشانندیم استفاده شده است. مشدد لیزر شامل یک آینه خروجی تخت با بازتاب ۷۰٪ می باشد و آینه

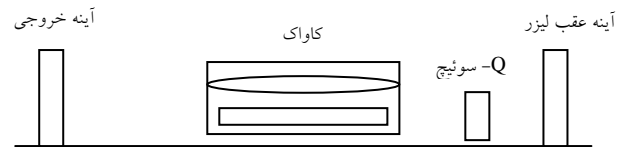
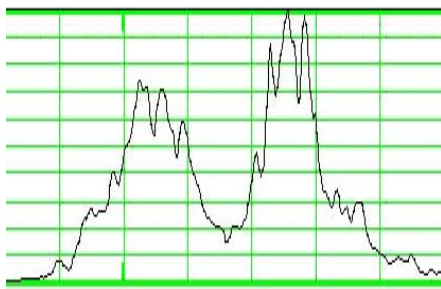
دیگر سطوح سیستم بر روی این نمونه برداری در مراحل بعدی انتشار پرتو توسط دستورها و کدهای خاصی و بر اساس الگوریتم مشخصی کنترل می شود تا بازسازی پرتو بعد از انتشار بدرستی انجام شود. همچنین خصوصیت گاوسی پرتو (یا دیگر مدهای عرضی لیزر) توسط یک پرتو گاوسی کمکی در رفت و برگشت بین آینه های رزوناتور به پرتو اضافه می شود. بعلاوه تاثیر محیط بهره و محیط غیر خطی بر روی دامنه و فاز پرتو انتشاری که در معادله موج حاکم بر انتشار پرتو در این محیط ها ظاهر می شوند توسط کدهای خاصی مد نظر قرار می گیرند. همچنین این نرم افزار بر اساس دستورهایی^۲ خاص زبان خود کار می کند [۴] و برای هر سیستم لیزری می بایست برنامه نویسی انجام داد و بخوبی وظیفه هر دستور و نقش فیزیکی آنرا در بین دستورهایی دیگر شناخت که این امر و از همه مهمتر فهم اصول علمی حاکم بر نرم افزار وقت زیادی را به خود اختصاص می دهد.

تکنیک اندازه گیری

برای بررسی میزان تطابق شبیه سازی با نتایج اندازه گیری، سطح مقطع پرتو خروجی لیزر در دو حالت میدان نزدیک^۳ و میدان دور^۴ با استفاده از سیستم تحلیلگر پرتو^۵ مدل WinCam D ساخت شرکت DataRay به ترتیب بعد از آینه خروجی لیزر و در نزدیکی نقطه کانون یک عدسی با فاصله کانونی ۱۲۹ سانتیمتر اندازه گیری شده است.

نتایج اندازه گیری و شبیه سازی

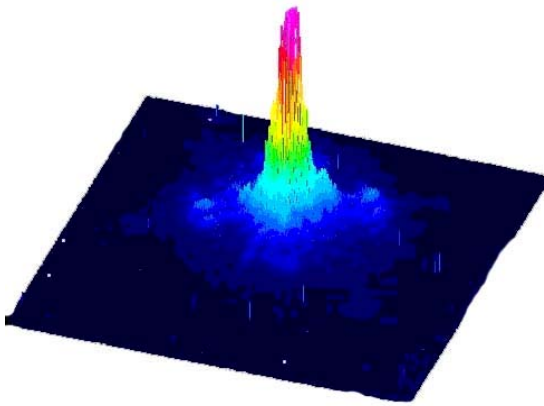
در شکل‌های ۳ تا ۸ نتایج حاصل از اندازه گیری سطح مقطع پرتو در دو حالت میدان دور و میدان نزدیک در راستای محور x و محور y و همچنین بصورت سه بعدی آورده شده است.



شکل ۱: نمایی شماتیک از چیدمان لیزر

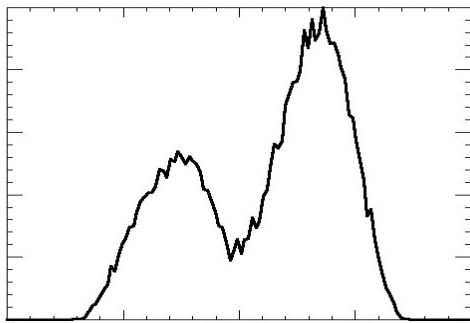
تکنیک شبیه سازی

شبیه سازی به کمک نرم افزار GLAD , version 4.8 انجام شده است. در این نرم افزار برای شبیه سازی نیاز به مشخصات فیزیکی محیط فعال شامل ضریب شکست محیط، فرکانس مرکزی تشعشع لیزری، پهنای خط فرکانسی، عمر تراز بالایی لیزر، فاصله فرکانسی بین دو مد طولی و همچنین نوع آینه ها و فواصل بین اجزای مختلف سیستم می باشد. مقادیر فرکانس مرکزی تشعشع لیزری، پهنای خط فرکانسی و فاصله فرکانسی بین دو مد طولی به ترتیب برابر با $10^{14} * 2/83$ ، $10^{10} * 1/2$ و $10^8 * 5/88$ هرتز می باشند. رفتار Q-سوئیچ غیر فعال بصورت تغییرات خطی ضریب عبور سیستم در مدت زمان واهلش کریستال Cr⁴⁺:YAG در نظر گرفته شده که بر این اساس ضریب عبور از مقدار صفر، در حالتیکه انرژی درون مشدد خیلی کمتر از انرژی اشباع Q-سوئیچ می باشد، شروع شده و تا مقدار ۷۰ درصد در انرژی اشباع افزایش می یابد. لازم به ذکر است که این نرم افزار بر اساس اصول اپتیک موجی و اپتیک فوریه طراحی شده است و دامنه و فاز پرتو حین انتشار در میان قسمت‌های مختلف سیستم، تغییر می کند. انتشار پرتو از یک نقطه به نقطه دیگر سیستم بر اساس نظریه پراش می باشد. از دامنه و فاز پرتو در صفحه عمود بر انتشار نمونه برداری شده و با تبدیل فوریه سریع^۱ از این تابع غیر پیوسته و تاثیر عملگرهای مناسب محیط بر روی آن با یک وارون تبدیل فوریه، دامنه مختلط پرتو در صفحه جدید باز سازی می شود [۳]. این عمل در بازه های کوچک انتشار پرتو ΔZ مرتبا N بار تکرار می شود تا انتشار از Z_1 به Z_2 را محاسبه کند، در حالیکه $Z_2 - Z_1 = N\Delta Z$. نحوه نمونه برداری از دامنه پرتو و تاثیر انعکاس و پراش از روی آینه ها و

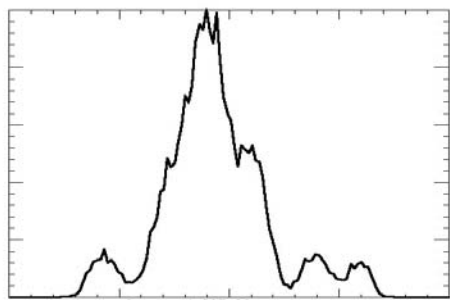


شکل ۸- شکل سه بعدی سطح مقطع پرتو واقعی در میدان نزدیک

همچنین نتایج حاصل از شبیه سازی بوسیله نرم افزار برای حالت‌های متناظری که مورد اندازه گیری قرار گرفته اند در شکل‌های ۹ تا ۱۴ آورده شده است.

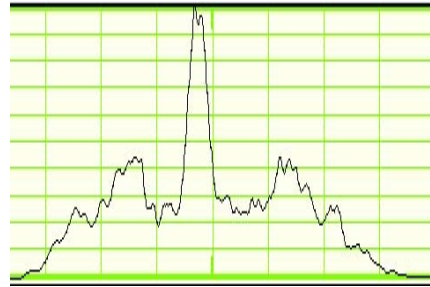


شکل ۹- برش در راستای محور X از شبیه سازی سطح مقطع پرتو در میدان نزدیک



شکل ۱۰- برش در راستای محور Y از شبیه سازی سطح مقطع پرتو در میدان نزدیک

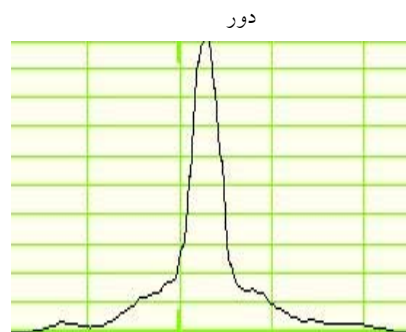
شکل ۳- برش در راستای محور X سطح مقطع پرتو واقعی در میدان نزدیک



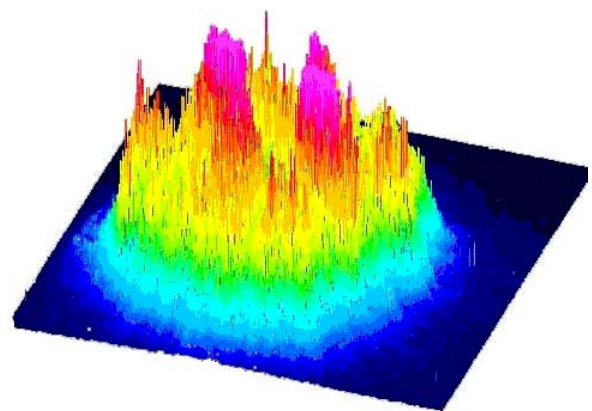
شکل ۴- برش در راستای محور Y سطح مقطع پرتو واقعی در میدان نزدیک



شکل ۵- برش در راستای محور X سطح مقطع پرتو واقعی در میدان دور

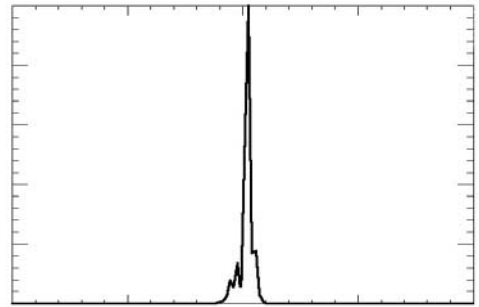


شکل ۶- برش در راستای محور Y سطح مقطع پرتو واقعی در میدان دور



شکل ۷- شکل سه بعدی سطح مقطع پرتو واقعی در میدان نزدیک

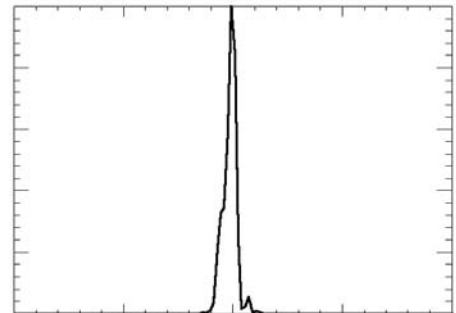
در شکلهای حاصل از شبیه سازی در میدان نزدیک نوساناتی مشاهده می شود که به خاطر به کار گیری نرم افزار از روش فرنل برای تحلیل میدان الکتریکی مختلط پرتو در حالت میدان نزدیک می باشد. عدد فرنل دهانه آینه خروجی لیزر و واگرایی پرتو در ایجاد مینیمم یا ماکزیمم شدت در سطح مقطع پرتو لیزر بلافاصله بعد از آینه خروجی نقش بسزایی دارد.



شکل ۱۱ - برش در راستای محور X از شبیه سازی سطح مقطع پرتو در میدان دور

نتیجه گیری

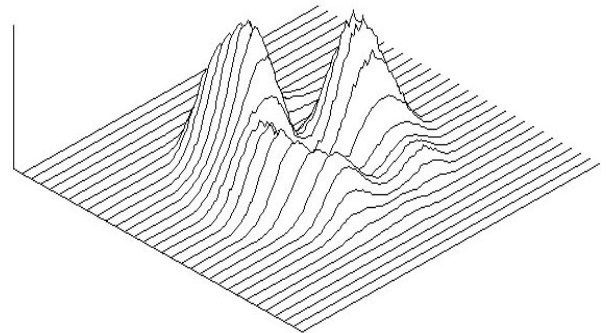
با مقایسه شکلهای حاصل از شبیه سازی بوسیله نرم افزار و شکلهایی که در آزمایشگاه از سطح مقطع پرتو بدست آمده شباهت زیادی بین شکلهای متناظر در دو حالت وجود دارد می توان نتیجه گرفت که شبیه سازی انجام شده تا حد زیادی به واقعیت نزدیک است و مدلهایی که برای میله لیزر، فلش لامپ، Q-سوئیچ و سایر المانها در نظر گرفته شده است مدلهای مناسبی هستند. همچنین مشاهده می شود که در میدان دور شکل سطح مقطع پرتو به گاوسی خیلی نزدیک است و این مطلب از کیفیت مناسب مد عرضی پرتو خروجی این لیزر در فواصل دور حکایت می کند.



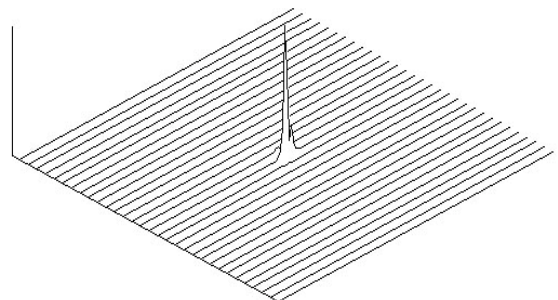
شکل ۱۲ - برش در راستای محور Y از شبیه سازی سطح مقطع پرتو در میدان دور

مرجع ها

- [۱] W. Koechner, "Solid State laser Engineering". 5th edition Springer, 1999, p:507-514
- [۲] A. Agnesi, S. Dell'Acqa, C. Morello, G. Piccinno, G. C. Reali and Z. Sun, "Diode-pumped neodymium lasers repetitively Q-switched by Cr⁴⁺:YAG solid-state saturable absorbers," IEEE J. Select. Topics Quantum Electron., vol. 3, pp. 45-53, 1997
- [۳] George N. Lawrence, "GLAD Theory manual", Applied Optic Research, 2003, p:17- 27
- [۴] George N. Lawrence, "GLAD Commands manual", Applied Optic Research, 2003



شکل ۱۳ - شکل سه بعدی شبیه سازی سطح مقطع پرتو در میدان نزدیک



شکل ۱۴ - شکل سه بعدی شبیه سازی سطح مقطع پرتو در میدان دور

1 Fast Fourier transformation
2 Commands
3 Near field
4 Far field
5 Beam profiler