بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۴-۱۲ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

طراحی و ساخت لیزر سبز با انرژی ۲۵۰ میلی ژول از یک تک اسیلاتور با انرژی بالا

(مهدی ، دهقان باغی)[۱]،محمد ثاقب فر[۱] ، احمد مزنگی[۱] ، سید مهدی موسوی[۲]، سعید ناظم[۳]، علیرضا مجتبی و امید پناهی[۴]

۱. دانشگاه صنعتی مالک اشتر،۲. دانشگاه شیراز،۳. دانشگاه اصفهان، ۴.دانشگاه شهید بهشتی

چکیده –در این پژوهش یک لیزر سبز با فرکانس ۱۰ هرتز و انرژی ۲۵۰ میلی ژول ساخته شده است. در ابتدا یک اسیلاتور *Nd:YAG* با انرژی ۴۰۰ میلی ژول طراحی شده و در ادامه با استفاده از بلور *GTR-KTP* هارمونیک دوم طول موج ۱۰۶۴ نانومتر بدست آمده است. در طراحی مشدد بهینه بازتاب آینه خروجی حساب و اثر عدسی گرمایی و آستانه تخریب قطعات بررسی شده است.

کلید واژه- مشدد لیزر، تولید هارمونیک دوم ، بلور GTR-KTP ، بلور Nd:YAG .

Design and construction of 250 mj green laser from single high energy oscillator

M.Dehghan.baghi[1], M.Saghebfar[1], A.Mazangi[1], M.Mosavi[2], S.Nazem[3], A.Mojtaba, O.Panahi[4]

1.Maleke ashtar university, 2.Shiraz university, 3.Isfahan university, 4.Beheshti university

Abstract- In this paper we design a green laser with output energy of 250 mj. In first step, designed a single Nd:YAG laser oscillator with 400 mj output energy, and at next step with GTR-KTP we generate second harmonic of it. At design of resonator we optimize the resonator with respect to thermal lensing and threshold of damage of optical element.

Keywords: laser resonator, SHG, GTR-KTP, Nd:YAG

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

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

۱- مقدمه

لیزر با طول موج در ناحیه سبز دارای کاربردهای ویژه‌ای می-باشد. از جمله کاربردهای آن در پمپ لیزر تیتانیوم سفایر، لیدار لیزری، اسپکتروسکوپی لیزری و غیره می‌باشد[۱]. برای تولید این لیزر از تکنیک غیر خطی استفاده می‌شود. با استفاده از این تکنیک می‌توان هارمونیک دوم لیزر Nd:YAG را تولید کرد. برای طراحی لیزر با انرژی بالا باید یک لیزر با طول موج ۱ میکرون با انرژی بالا داشته باشیم که از تک اسیلاتور و یا استفاده از تکنیک نوسانگر تقویت کننده می‌توان یک لیزر با انرژی بالا داشته باشیم. در این پژوهش سعی بر آن شده است که از یک تک اسیلاتور با انرژی بالا استفاده کنیم. در اسیلاتور با انرژی بالا با مشکل آستانه تخریب قطعات، ایجاد لیزر با خروجی زمانی تک پالس و اثرات گرمایی مواجه هستیم. در هر قسمت به صورت جداگانه این مشکلات مورد بررسی قرار گرفته و راه حل های طراحی شده ارائه شده است. در این تحقیق پارامتر بازدهی لیزر و آستانه تخریب مهم بوده و اثر این دو پارامتر بررسی شده است. در پایان نتایج عملی این پژوهش آورده شده است که توانستیم به یک لیزر سبز با انرژی ۲۵۰ میلی ژول و بازدهی تولید هارمونیک بالای ۶۰ درصد برسیم.

۲- تئوری طراحی رزوناتور و هارمونیک دوم

۲-۱ طراحی رزوناتور با انرژی بالا

در طراحی رزوناتور با انرژی بالا مشکل اصلی اثرات گرمایی و آستانه تخریب قطعات است. اثرات گرمایی شامل پدیده دو شکستی ، عدسی گرمایی و ... می‌باشد. در رزوناتورهای لیزرهای حالت جامد که با فلاش لامپ پمپ می‌شوند به دلیل طیف پهن فلاش لامپ، بازدهی پایین است و گرمای ایجاد شده بسیار است در نتیجه باید اثرات گرمایی را در نظر گرفت. انرژی خروجی رزوناتور لیزر از رابطه زیر بدست می آید[۲]:

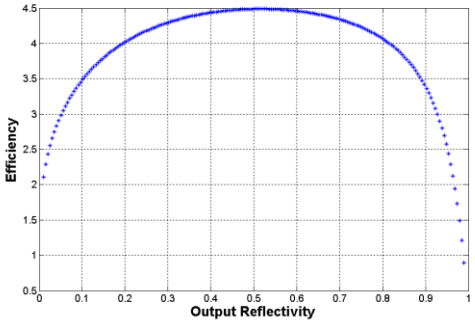
$$P_{out} = \sigma_s(P_{in} - p_{th})$$

که

$$\sigma_s = \frac{2(1-R)}{(1+R)(L-lnR)}\mathrm{h}$$

که در آن R ضریب بازتاب آینه خروجی، h ضریب بازدهی و δ سایر اتلاف‌های موجود در داخل رزوناتور لیزر می‌باشد.

همانگونه که مشاهده می کنید بازدهی رزوناتور به بازتاب آینه خروجی وابسته است. نحوه وابستگی به پارامتر ضریب بازتاب آینه خروجی را می‌توان در شکل ۱ مشاهده کرد.

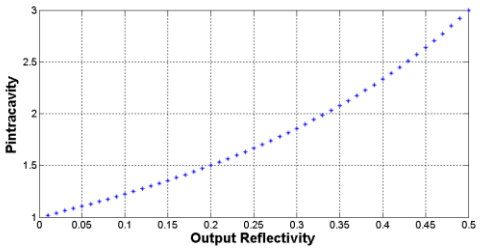


شکل ۱ : بازدهی رزوناتور بر حسب بازتاب آینه خروجی

از طرفی توان درون مشدد از رابطه زیر بدست می آید:

$$I_{int} = \left(\frac{1+R}{1-R}\right) I_{out}$$

در شکل ۲ رفتار این رابطه را مشاهده می کنید.



شکل ۲ : توان خروجی بر حسب بازتاب انرژی خروجی

همان گونه که مشاهده می کنید انرژی داخل رزوناتور نیز به بازتاب آینه خروجی وابسته است. از آنجایی که آستانه تخریب قطعات درون مشدد به انرژی درون مشدد بستگی دارد در نتیجه به بازتاب آینه خروجی نیز وابسته می‌شود. پس باید بازتاب آینه خروجی را به گونه ای انتخاب کرد که هم بازدهی رزوناتور بالا باشد و هم انرژی داخل رزوناتور تا حد ممکن پایین باشد.

کم کردن بازتاب آینه خروجی بازدهی لیزر را کاهش می-دهد ولی از طرفی انرژی داخل رزوناتور را نیز کم می‌کند. با کاهش بازدهی برای جبران آن و رسیدن به انرژی خروجی مورد نظر باید توان ورودی افزایش یابد.

به منظور بررسی اثر مهم دیگر که عدسی گرمایی می‌باشد بایستی به میزان توان ورودی توجه کرد. اثر عدسی گرمایی در محیطهای مختلف را می‌توان با رابطه تقریبی زیر بیان کرد[۳]:

$$f = \frac{KA}{P_h}\left(\frac{1}{2}\frac{dn}{dT} + \alpha C_{r,\varphi} n_0^3 + \frac{\alpha r_0 (n_0 - 1)}{l}\right)^{-1}$$

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

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

که در آن n ضریب شکست ماده، K ضریب انتقال حرارت ، Ph توان گرمایی ایجاد شده، $C_{r,\varphi}$ ضرایب فوتوالاستیک ماده و α ضریب انبساط حرارتی است.

با توجه به رابطه مشخص است که با افزایش توان ورودی فاصله کانونی کوچک شده و می تواند باعث ناپایداری رزوناتور شود. لذا با افزایش توان ورودی اثرات عدسی گرمایی بیشتر شده و در نتیجه نمی توان ضریب بازتاب آینه خروجی را بیشتر از حد معقولی کاهش داد. همچنین بایستی در انتخاب توان خنک ساز لیزر نیز توجه ویژه کرد تا بتوان گرمای ایجاد شده را از مشدد خارج نمود.

از طرف دیگر کاهش بازدهی یک عیب برای سیستم تجاری می باشد که باید آن را مد نظر داشت.

۲-۲ تولید هارمونیک دوم:

برای تولید هارمونیک دوم از بلور غیر خطی استفاده می‌شود. برای یک موج تخت، برهمکنش مرتبه دوم بین ۵۳۲ نانومتر و ۱۰۶۴ نانومتر با دو معادله جفت شده زیر بیان می شود[۴]:

$$\frac{dE_\omega}{dz}=\frac{2i\omega d_{eff}}{n_\omega c}E_\omega^* E_{2\omega}e^{-i\Delta kz}$$
$$\frac{dE_{2\omega}}{dz}=\frac{2i\omega d_{eff}}{n_{2\omega} c}E_\omega^2 e^{i\Delta kz} \qquad (۱)$$

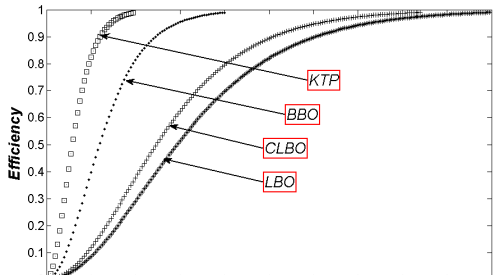
که در آن d_{eff} ضریب غیرخطی بلور و ΔK معیاری از عدم هم‌فازی است. برای حالت هم فازی کامل($\Delta K = 0$) جواب معادله به صورت زیر بیان می شود[۴]:

$$\eta_{2\omega}=\tanh^2\left(L/L_{NL}\right) \qquad (۲)$$
$$L_{NL}=\frac{1}{4\pi d_{eff}}\sqrt{\frac{2\varepsilon_0 n_\omega^2 n_{2\omega} c\lambda_\omega^2}{I_\omega(0)}}$$

L_{nl} طول غیر خطی است که معادل طولی از بلور است که بازدهی ۵۸ درصد را تولید کند. در این معادله L طول بلور غیر خطی، I_ω توان پرتو پمپ ، n_ω ضریب شکست در طول موج پمپ و $n_{2\omega}$ ضریب شکست در طول موج هارمونیک دوم است. در شکل ۳ بازدهی تولید هارمونیک دوم برای چند بلور مهم در تولید هارمونیک دوم رسم شده است.

همانگونه که

مشاهده می شود بازدهی به طول بلور غیر خطی، توان پرتو پمپ و ضریب غیر خطی بلور بستگی دارد. توجه داشته باشید که این رابطه در حالت هم فازی کامل برقرار است.

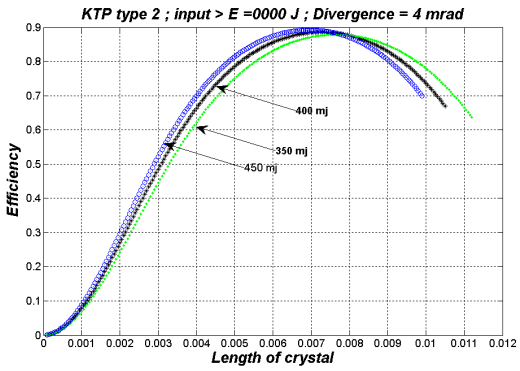


شکل ۳ : بازدهی تولید هارمونیک دوم برای چند بلور خاص

در عمل رسیدن به هم‌فازی کامل بسیار مشکل است و اگر با در نظر گرفتن غیر هم فازی معادله را حل کنیم به جواب زیر می رسیم[۵].

$$\eta=\eta_m sn^2\left[\sqrt{\eta_0/\eta_m},\eta_m^2\right]$$
$$\eta_m=1+\left(\delta^2/2\eta_0\right)-\sqrt{\left[1+\left(\delta^2/2\eta_0\right)\right]^2-1} \qquad (۳)$$
$$\eta_0=C^2L^2I_\omega$$
$$\delta=\Delta kL/2$$
$$C^2=\frac{8\pi^2 d_{eff}^2}{\varepsilon_0 c\lambda_\omega^2 n_\omega^3}$$

در این حالت بازدهی خروجی به صورت یک تابع ژاکوپی بیضوی است. در نتیجه بازدهی تابعی از میزان جورشدگی فازی و η_0 است که خود تابعی از شدت پرتو، طول بلور و ضریب غیرخطی بلور می‌باشد. در شکل ۴ نمودار بازدهی بر حسب طول بلور KTP برای انرژی های مختلف، رسم شده است.



شکل ۴ : بازدهی تولید هارمونیک دوم بر حسب طول بلور برای بلور KTP در انرژی های ۳۵۰و۴۰۰و۴۵۰ میلی ژول ۱ میکرومتر

با توجه به این شکل طول بهینه برای تولید هارمونیک دوم با انرژی ۴۰۰ میلی ژول تقریبا ۶ میلی متر می‌باشد.

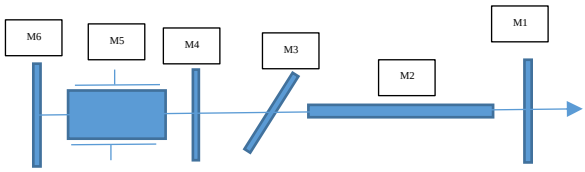
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

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

مشاهده می شود که بلور KTP دارای بازدهی بیشتری نسبت به دیگر بلورها است. اما این بلور دارای آستانه تخریب پایینی بوده و همچنین اثر کدر شدگی در اثر جذب طول موج سبز از خود نشان می دهد. برای غلبه بر این مشکل از بلور Gray Tracking Resistance KTP استفاده شده است[۶]. این بلور اثر کدر شدگی را ندارد و آستانه تخریب آن از KTP بالاتر است و بازدهی تقریبا یکسانی را نسبت به آن دارد.

۳-۲ نتایج تجربی

چیدمان تجربی برپا شده در آزمایشگاه در شکل۵ نشان داده شده است.



شکل ۵ : چیدمان آزمایشگاهی برپا شده (در این چیدمان M1 آینه خروجی ، M2 ماده فعال Nd:YAG ، M3 پلاریزور، M4 تیغه چارک موجی، M5 سلول پاکلز، M6 آینه پشتی لیزر می‌باشد.)

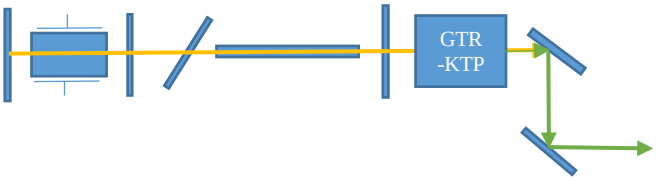
با استفاده از آینه های خروجی با بازتاب های مختلف انرژی خروجی را بر حسب سه بازتاب متفاوت ثبت کرده ایم که در جدول شماره ۱ آمده است.

جدول شماره ۱ : انرژی خروجی حاصل از رزوناتور با آینه های مختلف

بازتاب آینه خروجی	۳۰	۱۸	۱۰
انرژی خروجی	۴۵۰	۴۰۰	۳۰۰
بازدهی لیزر	۱,۱ ٪	۱٪	۰,۷۵ ٪

با توجه به مطالب بیان شده در بخش های قبلی و همچنین نتایج تجربی حاصل شده (جدول ۱)، بهترین انتخاب برای آینه خروجی لیزر، آینه‌ای با ضریب بازتاب ۱۸ درصد می‌باشد.

همچنین چینش آزمایشگاهی برپا شده برای تولید لیزر در طول موج سبز ، هارمونیک دوم، در شکل ۶ به صورت طرحوار بیان شده است. با انرژی 400 mj در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر توانستیم 250 mj لیزر سبز در طول موج ۵۳۲ ناومتر تولید کنیم . بازدهی تولید هماهنگ دوم ۶۲,۵ ٪ می‌باشد که بازدهی خوبی در این دسته لیزرها به حساب می آید.



شکل ۶ : چیدمان لیزر سبز . قسمت اسیلاتور در شکل قبل معرفی شده است. آینه‌های بعد از بلور GTR-KTP آینه جداکننده ۵۳۲ نانومتر از ۱۰۶۴ نانومتر است.

۳- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به طراحی و ساخت لیزر سبز با انرژی ۲۵۰ میلی ژول پرداخته شده است. همچنین نقش بازتاب آینه خروجی مورد بررسی قرار گرفته شده و با انتخاب بازتاب ۱۸ درصد به انرژی خروجی ۴۰۰ میلی ژول در ۱۰۶۴ نانومتر رسیده‌ایم. با انتخاب بلور GTR-KTP به عنوان بلور غیر خطی توانستیم لیزر سبز با انرژی ۲۵۰ میلی ژول با بازدهی ۶۲,۵ ٪ تولید کنیم.

سپاسگزاری

در اینجا لازم می‌دانم از شرکت صنایع اپتیک اصفهان کمال تشکر و قدردانی را داشته باشیم که در این پژوهش ما را یاری نمودند.

مراجع

[۱] وردین، جوزف، *الکترونیک لیزر*، مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۲.

[2] W.Koechner, Solid-State Laser Engineering, p.120, Springer, 2006.

[3] W.Koechner, Solid-State Laser Engineering, p.442, Springer, 2006.

[4] R.W.Boyd, nonlinear optics, p.76, Academic Press, 2007.

[5] R.L. Sutherland, Handbook of Nonlinear Optics, p.47, 2003.

[6] G. Qiua, b, H. T. Huanga, B. T. Zhanga, J. L. Hea, *, J. F. Yanga, and J. L. Xua, Highly Efficient Intracavity Frequency Doubling 532_nm Laser Based on the Gray Tracking Resistance KTP Crystal, Laser Physics, 2010, Vol. 20, No. 4, pp. 777–780.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

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