

ساخت لیزر کوچک ضربانی با منبع پیش یونش جرقه‌ای

فریدون سلطان‌مژادی و سعیدامین نعیمی

مرکز تحقیقات هسته‌ای
سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده

در این مقاله تخلیه دوگانه عرضی فشار اتمسفری در لیزر گاز کربنیک که از سیستم ردیف جرقه‌ای برای پیش یونش استفاده شده است ارائه میگردد. در این روش میتوان شارگازکربنیک (CO_2) را افزایش داد و بدینوسیله بازدهی سیستم لیزر افزایش پیدا خواهد کرد. پیش یونش در سیستم مورد بحث با سیستم پیش یونش جرقه‌ای که گزارش آن قبلاً ارائه شده است مقایسه میگردد. در اینجا نشان داده‌ایم که قدرت خروجی به مقدار ۱/۱ مگاوات افزایش می‌یابد. آرایش پیش یونش جرقه‌ای برای دو سیستم لیزر گازکربنیک نوع TEA بکار رفته است.

خروجی لیزر اضافه شده و بازدهی حدود ۲۵٪ را گزارش نمودند.

فعالیت‌های دیگری نیز روی لیزر گازکربنیک انجام گرفت تا بتوانند قدرت آنرا افزایش دهند. به دلایل موارد استفاده متعدد آن اقداماتی نیز جهت قابل حمل ساختن لیزر انجام گرفت. برای بالا بردن قدرت لیزر یکی از ضرایب مهم درجه حرارت محیط لیزری است که بهترین مقدار آن طی آزمایشگاهی حدود ۶۰ درجه سانتیگراد به دست آمده (۳ و ۴). از اقدامات مهم دیگر خارج کردن گاز از محیط و خنک کردن آن و به محیط باز گردانیدن مجدد آن بود. اقدامات دیگری که برای بهبود قدرت انجام پذیرفت دمش الکتریکی ضربانی طولی لیزر است که این عمل باعث شد تا بتوانند ضربانی با انرژی ۵ ژول با ۲۰۰ کیلووات بیشینه

مقدمه

پاتل اولین گزارش راجع به ساخت لیزر CO_2 را ارائه نمود (۱). وی اعلام کرد لیزر گازکربنیک ساخته است که بطور پیوسته و پالسی در ناحیه‌ای بین ۹/۴ تا ۱۰/۶ میکرون روی خطوط مختلف ارتفاعی چرخشی عمل میکند. این لیزر با تحریک طولی گازکربنیک در حدود ۱ میلی‌وات بطور پیوسته فعال بود. در تکامل بعدی لیزر گازکربنیک متوجه شدند که اگر گاز ازت به اندازه کافی با آن مخلوط شود بازدهی لیزر بالا رفته و قدرت خروجی بیشتری حاصل میشود. بدین ترتیب قدرت خروجی همان لیزر از یک میلی‌وات به ۱۱/۹ وات افزایش پیدا کرد و بازدهی به ۳ درصد رسید (۲). میلر (۳) و پاتل (۴) متعاقباً متوجه شدند که با اضافه کردن هلیوم به مخلوط گازی ازت و گازکربنیک قدرت

شده دارای قدرتی متجاوز از یکصد وات میباشد . اولین لیزر پالسی دارای پالس‌های با قدرت بیشینه ۸ مگاوات بوده است که با حداکثر یک پالس در ثانیه عمل می‌نمود . در ادامه این فعالیتها سعی گردید که لیزری طرح شود که بتواند با تعداد پالس‌های زیادتری در ثانیه کار کند (۲۱) .

متعاقب مشاهدات اولیه ، طریقه مختلف بالا بردن قدرت خروجی لیزر مورد بررسی قرار گرفت . در این بررسی متوجه شدیم که یکی از مهمترین پارامترها ، میزان درصد گاز کربنیک در مخلوط‌گازی است (۲۲) . افزایش میزان CO_2 در داخل محیط‌گازی با سیستم پیش یونش موجود ایجاد جرقه میکرد با توجه به مقالات موجود و آهنگ گازکربنیک مصرفی مشخص شد که شدت UV مربوط به قسمت پیش یونش کافی نیست (۲۳) . با توجه به سیستم‌های مختلف پیش-یونش مجبور به انتخاب نوعی از سیستم پیش یونش شدیم که حداقل مسائل تکنیکی را در برداشته باشد و ضمناً تغییر زیادی در سیستم الکتریکی مدار را موجب نشود . لذا برای دستگاه قطعی که گزارش میگردمدار پیش یونش از طریق سری جرقه‌ای را ترجیح دادیم . لازم به تذکر است که اصولاً " برای حصول به تخلیه الکتریکی همگن در فشارهای بالا از مدار پیش یونش استفاده میشود تا بتوان در لحظه شروع تخلیه اصلی یک محیط همگن با مقاومت کم در مقابله تخلیه الکتریکی اصلی قرار گیرد . در نتیجه به دلیل فشار بالای گاز تعداد ملکول‌های بیشتری تحت تحریک قرار گرفته و انرژی‌های بالاتری حاصل میشود . البته روش دیگری هم وجود دارد که تخلیه بسیار سریع می‌باشد ، در این حالت عمل تخلیه باید با سرعتی بسیار بیشتر از سرعت ایجاد جرقه در محیط فعال لیزری انجام گیرد (۲۳) .

وسایل و روشها

سیستم پیش یونش پیشنهادی در دو دستگاه لیزر

قدرت را به دست آورند که در این حال فشار گاز بسیار کمتر از فشار جواست (۷) .

روش پیشنهادی دیگر برای افزایش قدرت بالا بردن تعداد ملکولهای گازکربنیک یعنی بالا بردن فشار گازی لیزراست که در این صورت روش دمش الکتریکی طولی امکان پذیر نخواهد بود و لذا روش تحریک عرضی پیشنهاد شد که بنیان لیزرهای TE امروزی ریخته شد و بدین ترتیب روشی برای به دست آوردن پالسهای با قدرت خیلی زیاد (پالسهای با قدرت چندصد مگاوات) ارائه گردید (۱۰-۸) .

در این لیزرها چون در فشار بالا عمل میشود ، از یک چشمه تولیدکننده فرابنفش (UV) به عنوان یونیزه‌کننده اولیه می‌باید استفاده کرد تا بتوان تخلیه پایدار و بدون جرقه بدست آورد . سیستم پیش یونش معمولاً " بصورت‌های زیر است : تخلیه کورونا (۱۱) ، تخلیه سطحی (۱۲) ، تخلیه بصورت سری جرقه‌ای (۱۳) و فوتون‌های اشعه X (۱۴) .

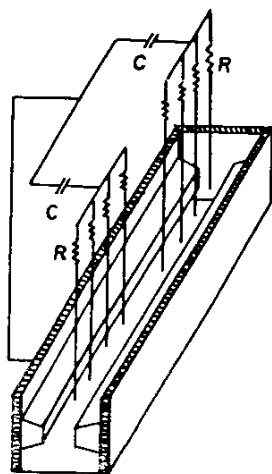
مسئله مورد نظر در این لیزرها ، ساخت لیزر با تعداد پالسهای زیاد (HRR) و تپ‌های توری قدرت بالا به منظور کاربردهای متعدد است . به عنوان مثال : لیدار (۱۵) ، چشمه دمش توری (۱۶) ، کار روی فلزات و سایر مواد (۱۷) ، تست پاشندگی پلاسما (۱۸) و موارد دیگر را میتوان نام برد . در هر کدام از این موارد انرژی مورد نیاز حدود چند ژول در هر تپ لیزری است و این مقدار انرژی توسط لیزر پالسی CO_2 که بطور عرضی تحریک میشود قابل حصول است .

کار روی ساخت لیزر پیوسته گازکربنیک در گروه لیزر از ابتدای شروع کار این گروه آغاز شده و متعاقب آن کار روی ساخت لیزر پالسی و اجرای آزمایشهایی با استفاده از آن صورت گرفته است (۱۰ و ۱۹) .

در تکامل لیزر موج پیوسته ، آخرین لیزر ساخته

مدت کوتاهی معکوس میشود. در این حالت اختلاف پتانسیل بین دو الکترود لیزری که قبلاً "برابر صفر" بود به مقدار 2V افزایش می‌یابد. بدین ترتیب ابتدا تخلیه در مدار پیش یونش اولیه شروع شده و این تخلیه تا زمان τ که مقدار آنرا ظرفیت خازن و مقاومت مدار پیش یونش تعیین میکند ادامه می‌یابد. پس از گذشت این زمان و با هادی شدن محیط لیزری و کم شدن مقاومت آن تخلیه اصلی آغاز شده و عمل تحریک جهت ایجاد لیزر انجام میگیرد.

در دستگاه دوم به جای یک سری خازن و مقاومت از یک سری مقاومت‌های موازی هریک برابر با ۲۶۰ اهم که از وسط به دو گروه تقسیم شده است و هر گروه توسط یک خازن ۲ nF به الکترود دیگر متصل میشود استفاده شد. طرح مدار در شکل ۲ نشان داده شده است.

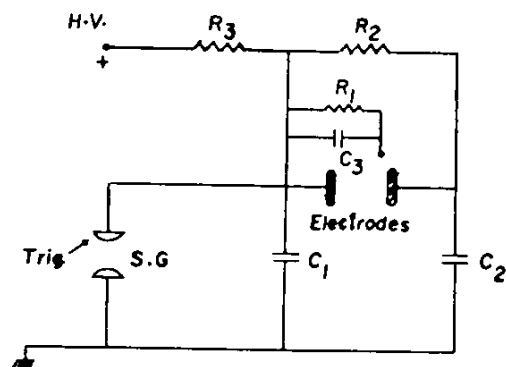


شکل ۲ - شکل هندسی مدار پیش یونش در لیزر نوع TEA

این سیستم نیز بخوبی عمل کرده و قدرت خروجی

آزمایش گردید. یک دستگاه دارای ابعاد قبلی و دسته دوم دارای ابعاد $15 \times 5 \times 8$ سانتیمتر مکعب است هر دو دستگاه بخوبی مزیت مدار پیش یونش پیشنهادی را نشان داده‌اند.

در دستگاه شماره یک با ابعاد $200 \times 100 \times 10$ میلیمتر مکعب مدار پیش یونش تشکیل شده است از ۵ سوزن برای ایجاد جرقه. هر کدام از سوزن‌ها توسط یک مدار RC موازی به یکی از الکترودها متصل شده است. با مشاهده بهتر شدن عمل، سوزن‌ها را به ده عدد در طول الکترودهای لیزری افزایش دادیم که در این حالت مدار هر سوزن تشکیل شده است از یک مقاومت ۱ کیلو اهمی که با یک خازن یک نانوفارادی موازی شده است. شکل ۱ مدار مورد نظر را نشان میدهد.



شکل ۱ - نمایش مدار الکتریکی بکار رفته در لیزر ضربانی نوع TEA

مدار تخلیه اصلی همان مدار دوبرابرکننده LC

است که طرز کار آن بقرار زیر است:

ابتدا اسپارک گپ مدار قسمت الف را بسته و باعث میشود که جریان در مدار الف شروع گشته و بین دو سرخازن C_1 جریانی برقرار شود. به علت وجود ضربه سلفی در مدار الف جریان در داخل این مدار رینگ کرده و ولتاژ دو سرخازن C_1 برای

خط لیزری نیز همزمان توسط اسپکرومتر بررسی نمودیم که نشان داد روی خط P_{14} مربوط به طول موج $10/6$ میکرون عمل لیزر حاصل میشود . تب لیزر در این حالت کمی بیشتر از یک میکاواوات است که ۵ برابر گزارش قبل میباشد (۲۱) . ولی ، بهیای تب همان مقدار ۱۰۰ نانو نانیه را نشان میدهد . پالس جریان در این حالت در شکل ۴ آورده شده که توسط بوبین روکوفسکی تب حران با فله ۴۰۰ آمپر در تخلیه اصلی را نشان میدهد . اسن تب دارای پهنای ۵۰۰ نانو نانیه است .

ب - درصد شارگازها و تاثیر آن روی قدرت خروجی لیزر

ابتدا گاز هلیوم و ازن ($He : N_2$) بنسب با نسبت (۷ و ۱) ثابت نگه داشته و شارگاز کرنسک را از ۵/۵ تا ۵/۵ تغییر مدهیم با مرز جرقه ردن بن دوالکتروود را پیدا کنیم (بعلت محدود بودن درجه بندی نشان دهنده حران گاز به حدنهایی سار نرسیدیم) . البته با همین میزان نیز تا ۴ درجه

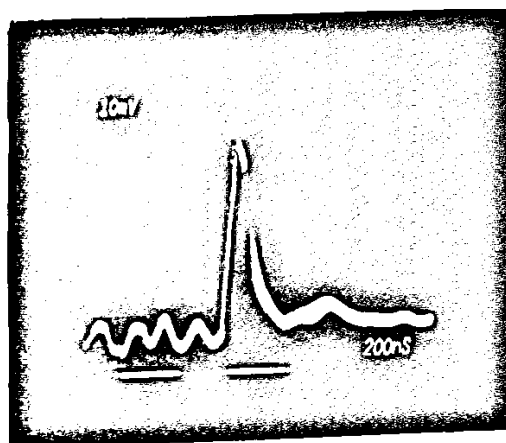
برابر ۱۵۰ کیلو وات از آن دریافت گردید . مکانیسم عمل در این جهت تحت بررسی است . پس از بررسی لازم برای ساخت دستگاه لیزر بزرگ پسر قدرت یکی از این دو سیستم می باید در نظر گرفته شود . یادآور میشویم که هر دو سیستم تا ۳۰ هرتز بدون جرقه عمل میکند .

یافتهها و بررسی آنها

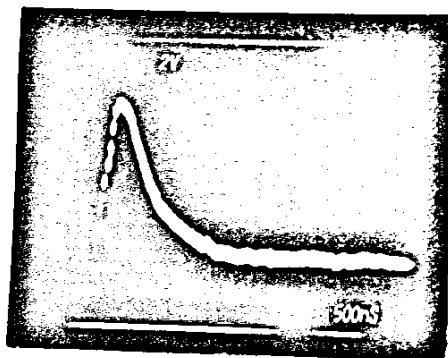
اندازه گیری ها برای دستگاه شماره ۱ به ابعاد $10 \times 10 \times 200$ میلیمتر مکعب انجام گرفته است که نتایج حاصل به قرار زیر است :

الف - اندازه گیری ضریان قدرت خروجی

پس از کار انداختن مدار پیش یونش دستگاه و مطمئن شدن از ثبات تخلیه الکتریکی در فرکانسهای مختلف ، قدرت خروجی لیزر اندازه گیری شد . در این اندازه گیری از آشکارساز رافین (Rofin) استفاده شده است . نمونه ای از رفتار زمانی خروجی آشکارساز را در شکل ۳ نشان داده ایم .



شکل ۳- نمونه ای از رفتار زمانی تب لیزر نوع TEA با استفاده از آشکارساز رافین .



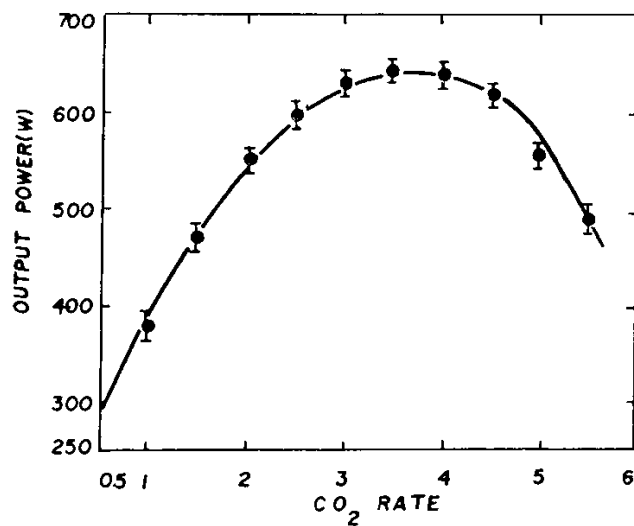
شکل ۴- نمایشی از رفتار زمانی جریان در تخلیه اصلی با استفاده از یوین روگوفسکی

نتیجه‌گیری

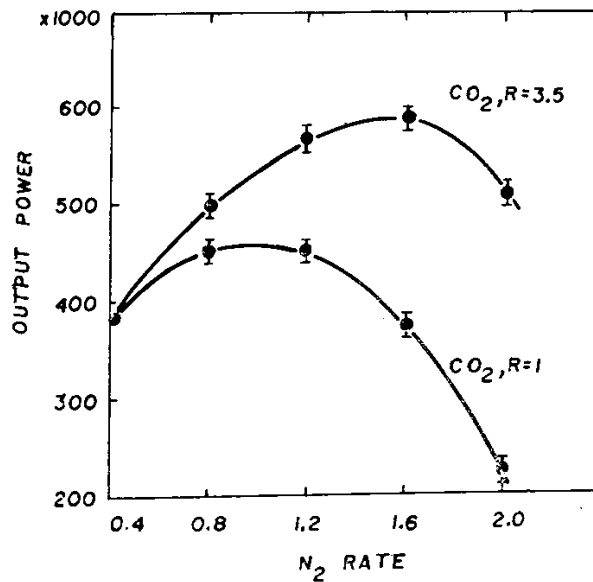
باتوجه به نتایج این آزمایش و گزارش قبلی متوجه میشویم که مدار پیش یونش سوزنی از بازدهی بسیار بالاتری برخوردار است. لذا در سیستم نهائی از مدار پیش یونش سری جرقه بدلیل سادگی و حصول بازدهی بالا استفاده خواهد شد. بررسی - های دیگر نیز نشان میدهد که مدار RC از مدار R و یا LC بهتر است. البته در نهایت می باید اضافه کرد که آئینه این سیستم هنوز آئینه ۷۵٪ (برای قدرت بهینه شده) نیست. لذا قدرت خروجی با آئینه متعلق به سیستم باز هم افزایش پیدا خواهد کرد. مورد دیگر سعی در گرفتن روزه‌های خروجی گاز و چرخانه کردن سیستم گاز برای پائین آوردن شار هلیوم میباشد.

بیش از حالت پیش یونش سیمی بالا رفتیم. در این حالت نتایج بررسی قدرت خروجی و رابطه آن با درصد گاز در شکلهای ۵ و ۶ نشان داده شده است. در مرحله دوم تغییرات شار ازت بررسی شد. با ثابت نگاه داشتن شار گاز هلیوم و انیدرید کربنیک ($\text{CO}_2 : \text{He}$) به نسبت‌های متفاوت (۱ و ۲ و ۳ و ۵ و ۷) رابطه قدرت خروجی نسبت به شار ازت بررسی شد که باز هم بعلت محدودیت قبلی به مرز جرقه نرسیدیم. در نهایت با تنظیم کامل آئینه - های لیزر و میزان گازهای لیزر توانستیم با نسبت‌های (۲ و ۵/۵ و ۷) مخلوط گازی ($\text{He} : \text{CO}_2 : \text{N}_2$) در ولتاژ کار ۱۲ کیلوولت قدرت خروجی لیزر را برابر ۱/۱ مگاوات دریافت کنیم. سرعت تکرارپذیری در این مورد تا ۳۰ هرتز امکان پذیر شده است.

فریدون سلطانمرادی و سعید امین نعیمی . ساخت لیزر کوچک ضربانی .



شکل ۵- نتایج اندازه‌گیری قدرت خروجی لیزر برحسب شار گاز کربنیک .



شکل ۶- نتایج اندازه‌گیری قدرت خروجی لیزر برحسب شار ازت .

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از همکاری صمیمانه آقایان سعید الهیاری و حمیدرضا دشتی زاده بوشهری تشکر و قدردانی میشود.

References

1. C.K.N. Patel, Continuos-Wave Laser Action on Vibrational Rotation Transitions of CO_2 , Phys.Rev. Lett. 336A 1187 (1964).
2. C.K.N. Patel, Cw High-Power $\text{N}_2\text{-CO}_2$ Laser, Appl. Phys. Lett. 7,15 (1965).
3. G. Moller, J.D. Rigden, High-Power Laser Action in $\text{CO}_2\text{-He}$ Mixtures, App. Phys. Lett., 7, 274 (1965).
4. C.K.N. Patel, P.K. Tien, Cw High-Power $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-He}$ Laser, Appl. Phys. Lett, 7, 290 (1965).
5. C. Frapard, M. Roulot, High Peak Power Pulsed- $10\mu\text{CO}_2$ Laser, Phys. Lett, 20, 384 (1966).
6. M.J. Weber, T.F. Deutsch, Pulsed and Steady-State Infrared Emission Studies of CO_2 Laser System, IEEE.J. Quantum. Electron, QE-2, 369 (1966).
7. A.E. Hill, Multijoule Pulses From CO_2 Lasers, Appl. Phys. Lett, 12, 324 (1968).
8. D.C. Smith, A.J. Demaria, Parametric Behaviour of The Atmospheric Pressure Pulsed CO_2 Laser, J.Appl. Phys, 41, 5212 (1970).
9. A.M. Robinson, Effect of Inductance on The Small-Signal Gain of a Transverse-Excitation Atmospheric Pressure Discharge in Carbon Dioxide, IEEE.J. Quantum, Electron. QE-7, 199 (1971).
10. D.T. Rampton, O.P. Gandhi, Performance Characteristics of A Helical TEA CO_2 Laser, Appl. Phys. Lett, 21, 457 (1972).
11. R. Marchetti, Compact Sealed TEA CO_2 Lasers With Corona Discharge Preionization, IEEE.J. Quantum. Electron. QE-19, 1488 (1983).
12. K. Matsumoto, Auv-Preionized High-Repetition-Rate TEA CO_2 Laser, JAPAN. J.Appl. Phys. 19, 1959 (1980).
13. B. Norris, Operation of Sliding Spark Arrays for Laser Preionization, J. Phys.E.Sci. Instrum. 10, 551 (1977).
14. A.V. Kozyrev, Use of x-Ray Radiation to Preionize The Active Medium

- in High-Pressure Gas Lasers. Sov. J. Quantum. Electron 14, 356 (1984).
15. J.M. Cruickshank, Transversely Excited Atmospheric. CO₂ Laser Radar with Heterodyne Detection, Appl. Opt. 18, 290 (1979).
16. P. Mathieu, J.R. Iyatt, Narrow-Band CO₂-TEA Laser for Efficient FIR Laser Pumping, IEEE. J. Quantum. Electron, QE-13, 465 (1977).
17. N.G. Basov, High-Power Electrization CO₂ and CO Laser for Industrial Application, IEEE. J. Quantum. Electron, QE-21, 342 (1985).
18. W.T. Silfvast, L.H. Szeto, Ultra-High-Gain Laser Produced Plasma Laser in Xenon Using Periodic Pumping, Appl. Phys. Lett, 34, 213 (1979).
- ۱۹- سیاوش مشفق همدانی ، طرح ، ساختمان و طرز کار یک لیزر گازکربنیک با قدرت ۶۰ وات ، گزارش فنی سازمان انرژی اتمی ، شماره ۶۴ (۱۳۵۵) .
- ۲۰- سیاوش مشفق همدانی ، مقایسه مشخصات یک لیزر گازکربنیک با نتایج بدست آمده از مدل تئوری پنج درجه حرارتی ، بولتن علمی سازمان انرژی اتمی ، شماره ۴ و ۳۶ ، تابستان (۱۳۶۳) .
- ۲۱- فریدون سلطانمرادی ، سعیدامین نعیمی ، ساخت لیزر کوچک ضربانی گازکربنیک با تخریک عرضی در فشار آتمسفر ، گزارش علمی و فنی سازمان انرژی اتمی ، شماره ۷۶ (۱۳۶۵) .
22. D.S. Stark and M.R. Harris, Platinum-Catalysed Recombination of CO and O₂ in Sealed CO₂ TEA Laser Gases, J. Phys. E: Sci. Instrum, 11, 315 (1978).
23. O.P. Judd, J.Y. Wada, Investigation of Auv Preionized Electrical Discharge and CO₂ Laser, IEEE. J. Quantum. Electron, QE-10, 12 (1974).

DESIGN AND CONSTRUCTION OF MINI TEA CO₂ LASER
WITH SPARK ARRAY PREIONIZATION

F. Soltanmoradi and S.A. Naimi

Nuclear Research Center
Atomic Energy Organization of Iran
P. O. Box 11365-8486 Tehran-Iran
Islamic Republic of Iran

Abstract

We are reporting the operation of a double-discharge transversely excited atmospheric pressure (TEA) CO₂ laser with spark array preionization system. In this method we can increase the rate of CO₂ gas pressure and thereby the efficiency of the laser. This system is compared with the wiring system which has been reported previously.

It has been shown that the output power was increased to 1.1 MW. This configuration has been applied to two different small size TEA CO₂ lasers.