

لیزر کوچک تپی CO₂ نوع TEA با پیش یونش کرونا

فریدون سلطانمرادی، سعید جلوانی، سعید بهروزی نیا و مجید آرام

مرکز تحقیقات لیزر

سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده

در این مقاله تخلیه دوگانه عرضی فشار اتمسفری در لیزر گاز کربنیک که در آن از سیستم کرونا برای پیش یونش استفاده شده است، ارائه می‌گردد. در این روش آزمایشگاهی برای افزایش بازدهی سیستم لیزر انجام گرفته است. همچنین سیستم پیش یونش مسورد بحث با سیستم پیش یونش جرقه‌ای که گزارش آن قبلاً " ارائه شده مقایسه گردیده است. در اینجا مزایای سیستم پیش یونش کرونا نسبت به پیش یونش سری جرقه آورده شده است. قدرت لیزر در این سیستم ۸۰۰ کیلووات اندازه‌گیری شد که بهره آن حدود ۵٪ است. لازم به ذکر است که روش بکار گرفته شده در مورد لیزر CO₂ برای اولین بار در ایران به این شکل مدار انجام گرفته است.

مقدمه

روشهای متعددی برای ایجاد تپ‌های با انرژی بالا با استفاده از کاهش مقاومت گاز توسط پیش-یونش صورت می‌گیرد. کیفیت کار پیش یونش براساس چگالی و یکنواختی فوتوالکترونی است که بطور مستقیم بر دامنه کاری لیزر تاثیر می‌گذارد. سیستمهای پیش یونش به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱- تزریق ذرات باردار پر انرژی مانند الکترون و پروتون که اولین بار اندریا نخین و فنس ترماخر کاربرد پرتوهای پروتونی و الکترونی را گزارش کردند (۱ و ۲).

۲- پرتوهای فرا بنفش گسیل شده از پیش تخلیه برای تولید الکترون آزاد که به آن پیش یونسازی ماوراء بنفش (UV preionization) گویند

که شامل: الف- سری جرقه‌ای (۳ و ۴)، ب- کرونا (۵ و ۶)، ج- نیمه هادی (۷) و د- اشعه ایکس (x) (۸ و ۹) است. دومانچین (Dumanchin) و لا فلام (Laflame) برای اولین بار و بطور مستقل دو سیستم دو تپی تخلیه همگن توسط پیش یونش UV ناشی از پیش تخلیه کرونا در محیط با فشار اتمسفر را گزارش کردند (۱۰ و ۱۱).

در سیستم اول آند یکپارچه با مقطع رگوفسکی و کاتد به صورت تیغه‌های فلزی بوده است که بین آنها لوله‌های شیشهای قرار داشته و درون لوله‌ها سیمهای نازکی عبور داده شده است. این مجموعه توسط یک خازن به طور سری به آند متصل می‌شدند. با ایجاد ضربان ولتاژ بزرگی بین دو

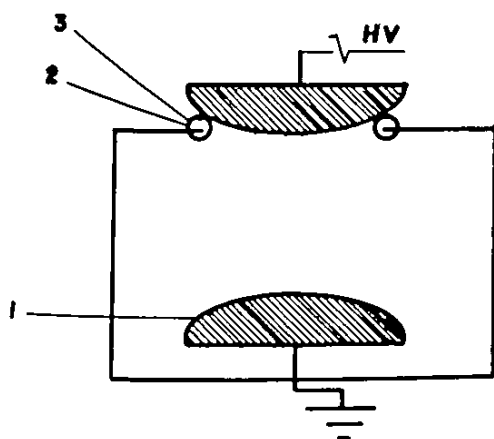
ف. سلطانمرادی و همکاران. لیزر کوچک تپی CO₂ نوع TEA بایش یونش کرونا.

بوجود آمدند ، جریان هائی از الکترون که سریعاً منجر به تشکیل بهمن های الکترونی می شوند تشکیل می گردد . پلاسما ی تولید شده در سطح عایق باعث عبور جریان می شود که با تابش UV همراه است (شکل ۱) .

لازم به توضیح است که مقدار و سرعت ولتاژ اعمال شده بستگی به جنس گازها ، فشار گازها در نسبت اختلاط و شکل هندسی الکترودها دارد . ضمناً " نوع دی الکتریک و ضخامت آن تعیین کننده مقدار انرژی است که می تواند قبل از ایجاد قوس (arc) در گاز نفوذ کند .

وسایل و روشهای آزمایش

لیزر مورد بحث دارای حجم فعال ، یعنی فضای بین سراسر الکترودهای برابر ۱×۱×۲۰ سانتی متر مکعب است و جنس الکترودها از آلومینیوم در نظر گرفته شده است که داخل جعبه مکعب مستطیل شکل از



شکل ۱- نمایش مکانسم عملکرد یونش- یونش کرونا . ۱- الکترودها ، ۲- سم نازک مسی ، ۳- شیشه استوانه ای .

الکتروود میدان شدیدی در فضای بین بدنه لوله ها و کاتد سبب تخلیه ناقص کرونا در حجم گازی کوچک بین تیغه و سطح لوله حاصل می شود و نیز عبور جریان در سطح لوله موجب تابش پرتو ماورا بنفش می گردند که این حالت با شارژ خازن رابط قطع می شود . در سیستم دوم نیز از ایجاد تخلیه کرونا بین کاتد و یک الکتروود دیگر که با عایق از هم جدا شده اند انجام شده است که به محیط تابش مورد نیاز را گسیل می دارد . سیستم های فوق در فشارهای زیر اتمسفر بهتر عمل می کردند و حتی در محدوده فوق هم روشنائی محیط تخلیه متناوب بوده و سبب پراکندگی و در مواردی ستیغی شدن ضربان لیزر می شده است .

علاوه بر آن کارائی تخلیه کرونا حساسیت شدیدی به قله ضربان ولتاژ نشان داده است . بطوریکه افزایش ۲۰ تا ۳۰ درصد در آن سبب گذار درخشش تا جرقه (glow-to-arc) می شد . هم چنین زمان رشد ناپایداری بستگی شدید به نسبت اختلاط بخصوص مقدار هلیوم (He) دارد .

مکانسم عملکرد پیش یونش کرونا

از طریق مدار الکتریکی یک تپ ولتاژ قوی به طور ناگهانی بین دو الکتروود و یا به عبارت دیگر بین یکی از الکترودها و سیم نازک مسی که در داخل استوانه شیشمای قرار دارد ، ایجاد می گردد . در نتیجه عایق تحت تاثیر میدان قوی قرار گرفته و پلاریزه می شود و یک توزیع بار یکنواخت در سطح عایق بوجود می آید . این میدان همچنین باعث شکست جزئی گاز احاطه شده در محیط می شود .

یونهای تولید شده در گاز احاطه کننده ، توسط دی الکتریک (عایق) جذب و الکترونها به آسانی از لایه های گاز ، بوسیله میدان الکتریکی کشیده می شوند . همینکه الکترونها کافی در لایه های گاز

خازن از مسیر الکترودهای لیزر است. اگر فرایند فوق به حد کافی سریع و قله ولتاژ بالا و هم چنین پیش - یونش موثری در سیستم وجود داشته باشد، محیط گازی به صورت تخلیه درخشان و همگن می‌شکند.

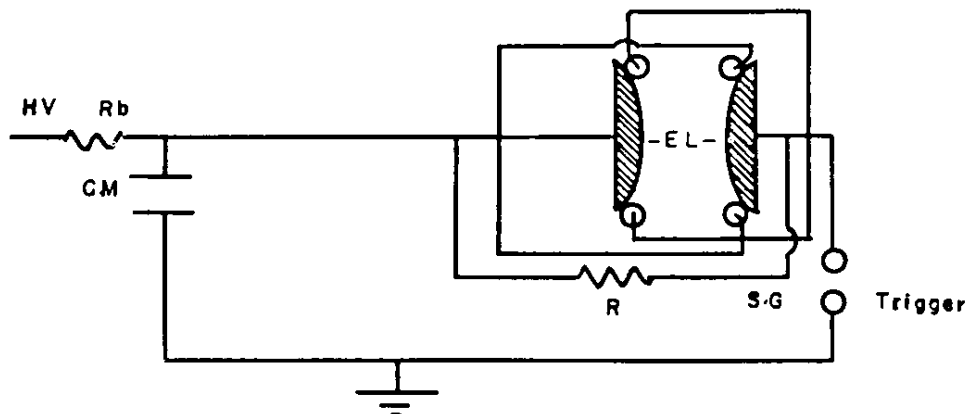
توضیح اجمالی عملکرد مدار به این صورت است که ابتداءً خازن اصلی از طریق مقاومت R_b شارژ شده و نیز دو سر کلید جرقه هم از طریق مقاومت R همان اختلاف پتانسیل را دارا خواهد شد. در این حالت مقاومت R_b طوری انتخاب می‌شود که جریان خروجی منبع تغذیه را کنترل کند تا منبع تغذیه اتصال کوتاه نشود. سپس با اعمال ولتاژی با ضربان بزرگ از طریق یک منبع جرقه ساده، که عموماً می‌تواند با استفاده از کوئل اتومبیل ساخته شود، بین الکتروده آتش (۳) و کاتد (۱) اعمال شده و سبب بروز جرقه بین آن دو و در واقع پیش یونسازی کردن محیط می‌شود. در نهایت محیط به صورت جرقه می‌شکند. در این حالت بین دو الکتروده لیزر که در مرحله شارژ بخاطر وجود مقاومت R هم پتانسیل می‌باشند، اختلاف پتانسیل شارژ V برقرار

جنس پلکسی گلاس قرار دارد. طول حفره نوری لیزر ۲۸ سانتیمتر است که دو انتهای آن به وسیله دو آئینه سطح یکی با انعکاس ۱۰۰٪ از جنس طلا و دیگری با انعکاس ۸۰٪ از جنس ژرمانیم محدود می‌گردد.

سیستم پیش یونش نیز از ۴ عدد لوله شیشه‌ای به قطر خارجی ۴ میلیمتر و ضخامت ۲/۵ میلیمتر که داخل آنها سیم فلزی از جنس مس به ضخامت ۰/۵ میلیمتر قرار دارد تشکیل شده است. چگونگی آرایش سیستم پیش یونش در شکل (۲) نشان داده شده است. انرژی خروجی این لیزر برای هر تپ ۱۰۰ نانوثانیدای ۰/۰۸ ژول است که معادل توان نوری ۸۰۰ کیلووات است.

طرز کار مدار الکتریکی

در لیزرهای گازی تپی از مدارهای ظاهراً متفاوتی استفاده می‌شود ولی اصول مبتنی بر همه آنها ذخیره انرژی در یک خازن و سپس بکار انداختن یک کلید ولتاژ بالا (گاف جرقه) برای اتصال دو سر



شکل ۲- مدار الکتریکی لیزر تپی گاز کربنیک با سیستم پیش یونش کرونا.

چگالی فوتو الکترونهاى بسدهست آمده از روش کرونا در مقایسه با سری جرقهای بسیار زیاد و حداقل از مرتبه اول است (۱۳).

در پایش یونش کرونا طیف UV ایجاد شده در ناحیه نرم است. به این معنی که در گستره ۲۰۰ - ۱۱۵ نانومتر این اثر از بازدهی خوبی برخوردار است، در صورتیکه در سری جرقهای طیف UV سخت کمتر از ۱۰۰ نانومتر ایجاد می شود (۱۴). آهنگ تکرارپذیری (PRF) بدون عمل قوس (arc) در کرونا (SCP) بیشتر از سری جرقهای بوده که این محدودیت بوسیله منبع تغذیه لیزر ایجاد می شود. در موقع استفاده از سری جرقهای روی الکترونها لکه سیاهی مشاهده می شود که می توان بصورت زیر آنرا توجیه کرد.

در سری جرقهای گاز کربنیک (CO₂) موجود در محفظه لیزر درجه حرارت بالا تجزیه شده و در نتیجه اکسیژن ایجاد خواهد شد. اکسیژن تولید شده با الکترونها واکنش انجام می دهد و آنها را اکسیده می کند. ضمناً "تجزیه شدن گاز کربنیک به اکسیژن و CO باعث کاهش میزان گاز کربنیک و همچنین بوجود آمدن گازهای مزاحم NO و N₂O شده و لیزر قادر نیست در سیستم بسته (sealed-off) به مدت طولانی عمل نماید (۱۶ و ۱۵). در حالیکه این فرآیند در پایش یونش کرونا وجود ندارد و لیزر گاز-کربنیک با این نوع پایش یونش قادر می سازد به مدت بسیار طولانی به صورت بسته کار کند و مورد اخیر این نوع پایش یونش را از لحاظ ارزانی و کارایی بی رقیب می سازد.

پیش یونش کرونا از نظر مدار الکتریکی از ویژهگی خاصی نسبت به سری جرقهای برخوردار است، زیرا در کرونا احتیاجی به خازن پایش یونش نیست. در صورتیکه در سری جرقهای خازن مورد نیاز می باشد، مزایای ذکر شده نشان دهنده آن است که پیش-

می شود. در همین حال بین سیم های فلزی درون شیشه استوانهای و الکترونها اختلاف ولتاژ ایجاد شده و پایش یونش طبق آنچه که قبلاً " اشاره شد عمل کرده و پرتوهای UV گسیل می کند و در نهایت امپدانس محیط را پائین می آورد. همراه با افزایش اختلاف پتانسیل بین دو الکتروند سرانجام در محیط پلاسمائی ضعیف و همگن درخشان ایجاد می شود و در نتیجه با عبور الکترونها از محیط خازن اصلی تخلیه شده و برای عملکرد بعدی آماده می شود.

در این مسیر لازم است مقاومت R در مدت دشارژ، مقاومت بالائی داشته باشد تا جریان کمتری از آن عبور کند ولی در عین حال اگر امپدانس اهمی آن بالا باشد، مدت شارژ مدار هم بیش از حد افزایش می یابد. لذا برای رفع این مشکل و با توجه به ماهیت متغیر نسبت با زمان مرحله شکست می توان از یک سیم پیچ با ضریب خود القائی به حد کافی بالا استفاده کرد.

این سیستم مدار لیزری باید طوری طرح ریزی شود که از اندوکتانس اضافی جلوگیری شود، برای کاهش اندوکتانس از نوارها و صفحات مس به جای رابطهای سیمی استفاده شده است. شکل (۲) شمای کلی مدار الکتریکی لیزر ضربانی با پیش یونش کرونا را نشان می دهد.

مقایسه پیش یونش کرونا با سری جرقهای

پیش یونش سری جرقه دارای انواع گوناگونی است که عبارتند از سری جرقهای سوزن به سوزن و سری جرقهای سوزن به الکتروند که دو نوع سیستم ذکر شده قبلاً " در این مرکز راه اندازی و مقایسه گردیده است (۱۲).

در اینجا مقایسه دو سیستم پیش یونش کرونا و سری جرقهای و همچنین مزیت کرونا را نسبت به سری جرقهای بررسی خواهیم کرد:

یونش کرونا از بهره بالائی نسبت به سری جرقهای برخوردار است .

اندازه‌گیری قدرت خروجی بر حسب تغییرات فشار گازها

قدرت خروجی لیزر (در واحد اختیاری) بر - حسب تغییرات فشار گازها برای ولتاژهای مختلف ۲۰ - ۲۳ - ۲۵ - ۱۶ - ۱۸ کیلووات ، اندازه‌گرفته شده . در این اندازه‌گیری از واتمتر ۳۶۲ استفاده گردید . در تمام مراحل آزمایش سرعت تکرار پذیری ۱ هرتز در نظر گرفته شده است (شکلهای ۴ ، ۵ و ۶) .

اندازه‌گیری قدرت خروجی لیزر

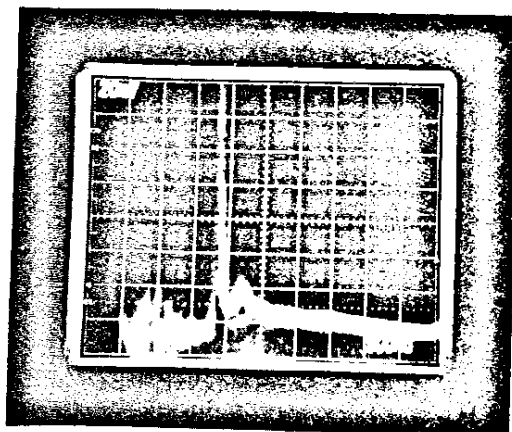
بر حسب ولتاژ

قدرت خروجی لیزر (در واحد اختیاری) بر حسب تغییرات ولتاژ ورودی اندازه‌گرفته شده در این اندازه‌گیری از واتمتر ۳۶۲ استفاده گردید . در تمام مراحل آزمایش نرخ تکرار ۱ هرتز و نسبت اختلاط N_2-CO_2-He به ترتیب ۳۷ - ۲۰ - ۱۵ در نظر گرفته شده است (شکل ۷) .

اندازه‌گیری ضربان قدرت خروجی

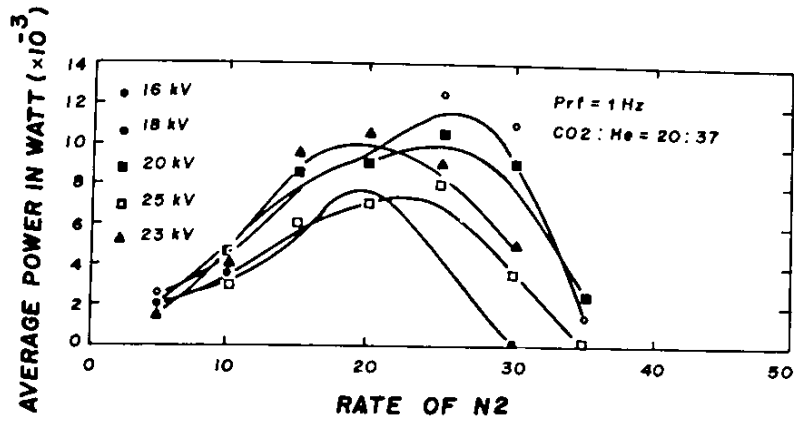
پس از به کار انداختن مدار پیش یونش دستگاه و مطمئن شدن از ثبات تخلیه در فرکانس یک هرتز ، قدرت خروجی اندازه‌گیری شد . بسدین منظور از آشکارساز فوتون دراگ مدل 7425 استفاده شده است . نمونه رفتار زمانی تپ لیزری در شکل ذیل آورده شده است .

در سرتاسر آزمایشهای زمانی از اسیلوسکوپ تکترونیکس مدل 7844 همراه با تقویت‌کننده مدل 7 A19 استفاده گردید . بطوریکه شکل ۳ نشان می‌دهد نیم‌پهنای زمانی (FWHM) خروجی لیزر در حدود صد نانوثانیه است . توان خروجی لیزر مشاهده شده بیش از ۸۰۰ کیلووات با بهره در حدود ۵٪ می‌باشد .

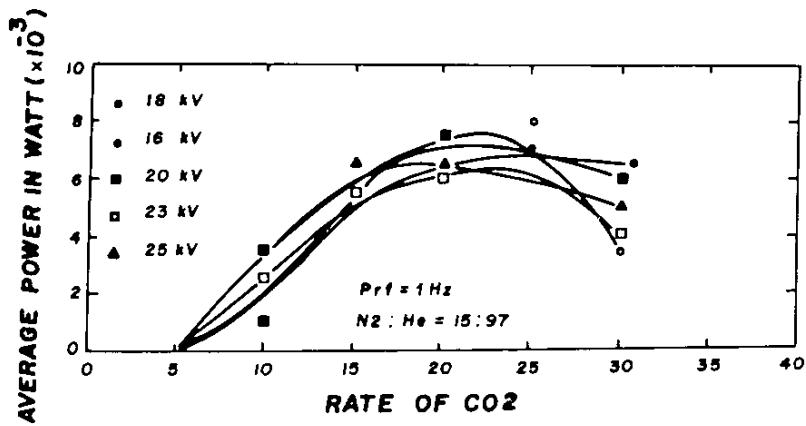


شکل ۳- نمونه‌ای از رفتار زمانی تپ لیزر نوع TEA با استفاده از آشکارساز فوتون - دراگ 7425 با پیش یونش کرونا .

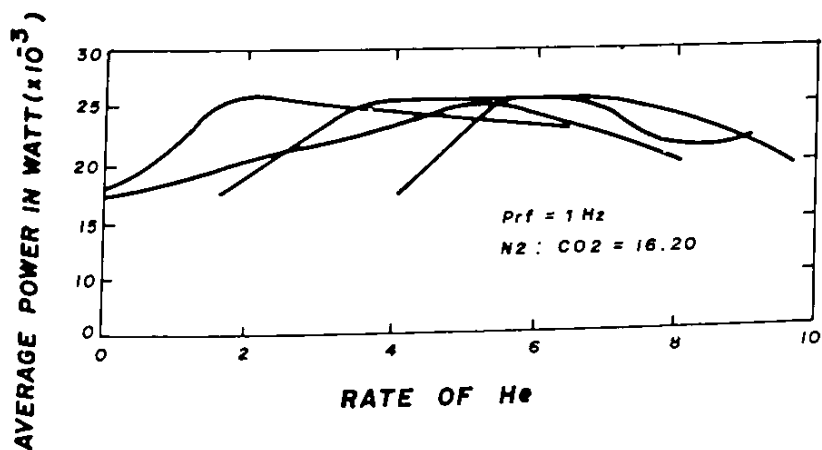
ف. سلطانه‌رادی و همکاران. لیزر کوچک تپی CO₂ نوع TEA بایش یونش کرونا.



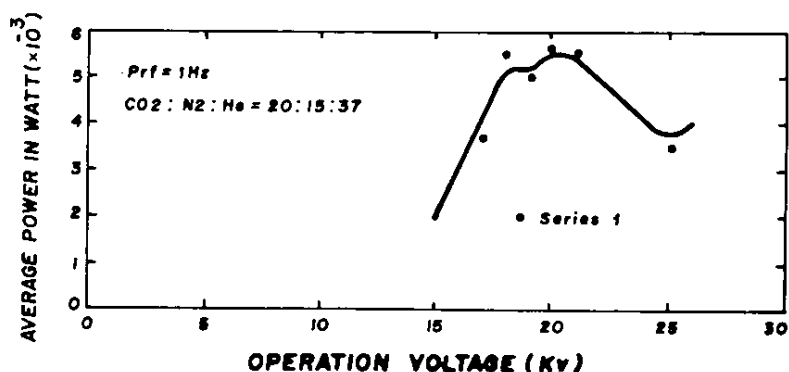
شکل ۴- نتایج اندازه‌گیری قدرت خروجی لیزر برحسب فشار گاز ازت.



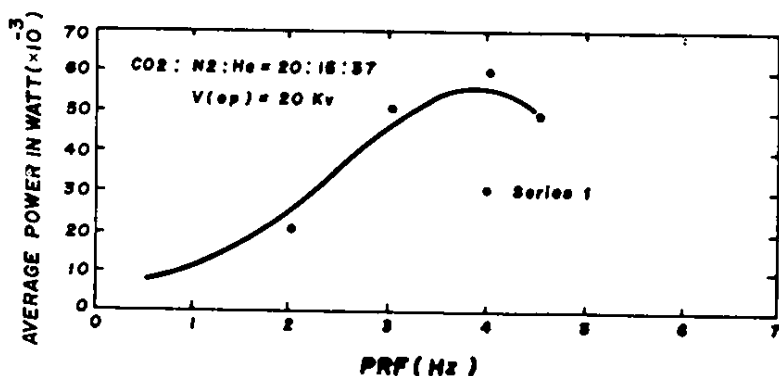
شکل ۵- نتایج اندازه‌گیری قدرت خروجی لیزر برحسب فشار گاز دی اکسیدکربن.



شکل ۶- نتایج اندازه‌گیری قدرت خروجی لیزر برحسب فشار گاز هلیوم.



شکل ۷- نتایج اندازه‌گیری قدرت خروجی لیزر برحسب ولتاژ ورودی.



شکل ۸- نتایج اندازه‌گیری قدرت خروجی لیزر برحسب میزان سرعت نرخ تکرار (هرتز).

گرفت. سیستم کرونا از مزیت‌های ویژه‌ای نسبت به سایر سیستم‌های دیگر پیش‌یونش دارد که قبلاً "به آنها اشاره شده است، برخوردار است و این امر نشان‌دهنده آن است که مکانیسم کاری سیستم دارای بازدهی بالا و خوبی است.

تشکر و قدردانی

در خاتمه از آقایان عزیزاله زند و محمدرضا غفاری که در ساختن تریگر و کمک در کارهای جنبی با ما همکاری داشته‌اند و همچنین آقای محمدرضا شیرین که در رسم اشکال مرتبط به این مقاله با اینجانبان همکاری داشتند تشکر و قدردانی می‌شود.

اندازه‌گیری قدرت خروجی لیزر

برحسب میزان سرعت نرخ تکرار

قدرت خروجی لیزر (در واحد اختیاری) برحسب میزان سرعت نرخ تکرار برای ولتاژ ۲۰ کیلوولت و نسبت اختلاط CO₂-N₂-He به ترتیب ۱۵-۳۷-۲۰ اندازه‌گیری شده است. در این آزمایش نیز از واتمتر ۳۶۲ و از اسیلوسکوپ تکترونیکیس مدل ۷۸۴۴ استفاده گردید (شکل ۸).

نتیجه‌گیری

در این مقاله لیزر ضربانی گاز کربنیک با سیستم پیش‌یونش کرونا مورد مطالعه و تجزیه و تحلیل قرار

ف. سلطانمرادی و همکاران. لیزر کوچک تپی CO₂ نوع TEA بایش یونش کرونا.

References

1. Yu. V. Glushchenko, "Preionization of a CO₂ Laser Gas Mixture by Particles", Sov. J. Quant. Elec. 16, 1340 (1986).
2. H. Seguin, "Ultraviolet Photoionization in TEA Lasers" Journal of Quantum Electronics, QE-10, 511 (1974).
3. B. Norris and A.L.S. Smith, "Compact Sealed Photopreionized TEA CO₂ Laser Without Heterogeneous Catalysis or Gas Recycling", Appl. Phys. 43, 385 (1979).
4. H. Seguin and J. Tulip, "Photoinitiated and Photo-Sustained Laser" Appl. Phys. 21, 414 (1972).
5. S.J. Scott and A.L.S. Smith "Ultraviolet Photoionization in CO₂ TEA Lasers", J. Appl. Phys. 64, 647 (1988).
6. G.R. Ernst and A.G. Boer, "Construction and Performance Characteristics of Rapid Discharge TEA CO₂ Laser", Opt. Commun. 27, 105 (1978).
7. K.R. Rickwook, "A Semiconductor Preionizer for Transversly Excited Atmospheric CO₂ Laser" J. Appl. Phys 53, 2840 (1982).
8. S.J. Scott and A.L.S. Smith "Ultraviolt Photoionization in CO₂ TEA Laser", J. Appl. Phys. 64, 647 (1988).
9. S.J. Scott, "Procs. of Laser 86 Conference", Edited by C.P. Wang 647, (1986).
10. R. Dunanchin "Extension of TEA CO₂ Laser", IEEE J. Quan. Elec, QE-8, 163 (1972).
11. A.L. Laflame, "Double Discharge Excitation for Atmospheric Pressure CO₂ Laser", Rev. Sci. Instrum 41, 1578 (1970).
12. F. Soltanmoradi, AEOI Scientific Bulletin 7, Spring (1989).
13. R. Marchetti and E. Penco, "A New Type of Corona Discharge Photo-Ionization Source for Gas Lasers, J. Appl. Phys. 56, 3163 (1984).
14. G.D. Spiers and A. Vass, "The Effect of Sliding Spark Corona and Semiconductor Preionizer on the Operation and Output of a TEA CO₂ Laser", Optics Communications 62, 256 (1984).
15. B. Walter, "Dielectrics for Corona Preionization of a TEA Lasers" J. Phys E. Sci. Instrum. 18, 279 (1985).

A SMALL TYPE TEA CO₂ LASER WITH CORONA PREIONIZATION

F. Soltanmoradi, S. Jelvani, S. Behrouzinia and M. Aram

Laser Research Centre
Atomic Energy Organization of Iran

Abstract

In this article a double discharge atmospheric pressure (TEA) CO₂ laser using corona preionization system is described. Various experimental procedures for increasing the output efficiency have been examined. The results of the experiment is compared with the previously reported CO₂ laser with the spark preionization system. Finally, the advantages of the corona preionization in comparison with the spark preionization system are introduced. With the present CO₂ laser an output peak power of approximately 800 kW and the efficiency of %5 has been obtained. It should be cited that the corona preionization in CO₂ laser has been introduced for the first time in Iran.