



طراحی، ساخت و مشخصه‌یابی یک لیزر CO₂ پیوسته با دمش RF با جریان طولی سریع

کاوه سیلاخوری^{*}، رضا نشاطی، داود اسماعیل‌پور، فاطمه کاظمی‌زاده، زهره رجبی، محمد طالبی، مریم ایلچی، زهرا پورحسن‌نژاد، سعید امین‌نعیمی
پژوهشکده فوتونیک و فن‌آوری‌های کوانتومی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۸۳۶-۱۴۳۹۵، تهران - ایران

*Email: ksilakhori@aeoi.org.ir

مقاله‌ی فنی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۴/۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۷/۱۷

چکیده

در این پژوهش، یک لیزر CO₂ پیوسته با جریان طولی سریع طراحی و ساخته شد که با یک مولد RF با توان بیشینه‌ی ۱ kW و بسامد ۱۳.۵ MHz دمیده می‌شود. برای بهینه‌سازی کارکرد این لیزر، قطر لوله‌ی تخلیه، پهنای الکترودها، نسبت گازها و فشار آمیزه‌ی گازی آن، برای یک درازای الکترود ۱۰ cm در یک بازه‌ی گسترده تغییر داده شدند و توان گسیلی لیزر به‌همراه بازدهی آن اندازه‌گیری و برآورد شدند. بیشینه‌ی توان گسیلی ۶۳.۵ W با بهره‌گیری از لوله‌ی تخلیه با قطر ۲۶ mm، نسبت پهنای الکترود به پیرامون لوله‌ی تخلیه‌ی ۰.۶، آمیزه‌ی گازی $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He} = 1:3:5$ و فشار گاز ۹۰ mbar با بازدهی الکتریکی پیرامون ۶.۳٪ به‌دست آمده است.

کلیدواژه‌ها: لیزر CO₂ پیوسته، لیزر CO₂ با دمش RF، جریان طولی سریع

Design, construction and characterization of a fast axial flow continuous wave RF excited CO₂ laser

K. Silakhori*, R. Neshati, D. Esmailpour, F. Kazemyzade, Z. Rajabi, M. Talebi, M. Ilchi, Z. Pourhasannezhad, S. Amin Naemi
Photonics and Quantum Technologies Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 14395-836, Tehran - Iran

Technical Paper

Received 26.6.2022, Accepted 9.10.2022

Abstract

In this work, a continuous wave fast axial flow RF CO₂ laser has been constructed, which is pumped by a 1 kW RF generator with a 13.56 MHz frequency. In order to optimize the laser performance, the diameter of the discharge tube, electrodes width, the ratio of the width of the electrode to the tube perimeter, gas ratio, and total pressure of the gas mixture was changed over a wide range for a constant electrode length of 10 cm and then the laser output power and efficiency were measured. The maximum output power of 63.5 W, implying %6.3 electric efficiency, was obtained for 26 mm discharge tube diameter, electrode width to discharge tube perimeter ratio of 0.6, CO₂:N₂:He=1:3:5 gas mixture, and 90 mbar total pressure..

Keywords: Continuous wave CO₂ laser, RF pumped CO₂ laser, Fast axial flow



۱. مقدمه

اگرچه پژوهش‌ها در زمینه‌ی تخلیه‌ی الکتریکی با بسامد بالا در گازها در سال‌های پایانی قرن ۱۹ آغاز گشته‌اند [۱]، شکوفایی فن‌آوری برانگیزش الکتریکی در بسامدهای RF به نخستین روزهای پیدایش لیزرهای گازی بازمی‌گردد. نخستین لیزر گازی (He-Ne) و نخستین لیزر CO₂ ساخته شده با تخلیه‌ی الکتریکی RF دمیده شده بودند [۲، ۳] و نخستین لیزرهای موج‌بر نیز از میدان‌های الکتریکی RF سود می‌جسته‌اند [۴]. با این همه، و با همه‌ی دستاوردهای نویدبخش و امیدوارکننده‌ای که با تخلیه‌ی RF و آمیزش میدان‌های RF و DC در این زمینه به دست آمده بود [۵، ۶]، برانگیزش RF لیزرهای گازی تا سال ۱۹۷۰ به‌گونه‌ای چشمگیر به‌سود روش‌های دمش با تخلیه‌ی DC به فراموشی سپرده شد. سپس، با گزارش راه‌اندازی یک لیزر CO₂ موج‌بر با تخلیه‌ی عرضی RF [۷]، پژوهش‌های دامنه‌داری در زمینه‌ی ساخت چنین لیزرهایی [۸-۱۵] و نیز درک ویژگی‌های فیزیکی تخلیه‌ی RF [۱۶-۱۸] آغاز گشت. پژوهش‌ها در این راستا، دو زمینه‌ی جداگانه را دربرمی‌گرفت. از یک سو، ساختارهای موج‌بر با الکترودهای با فاصله‌ی ۱ تا ۲ mm به‌کار گرفته شدند که در آن‌ها، گاز فعال در تماس نزدیک با الکترودها به‌خوبی از راه پخش^۱ خنک‌سازی می‌شود و در پیکربندی گاز در بسته^۲ نیز، کارآیی خوبی از لیزر به‌دست می‌آید [۱۹]. از سوی دیگر، پژوهشگران گسترش فن‌آوری‌های برانگیزش RF برای لیزرهای با شارش تند گاز با خنک‌سازی همرفتی را آغاز کردند. این پیگیری‌ها، به گسترش لیزرهای با دمش عرضی RF در لوله‌های شیشه‌ای با قطر ۲ تا ۱۰ cm با الکترودهای فلزی بیرونی با شارش طولی تند گاز انجامید. در این پیکربندی، الکترودهای فلزی بیرونی همراه با دیواره‌های شیشه‌ای دی‌الکتریک لوله، یک کارکرد خازنی افزوده را فراهم می‌آورند که با کارکرد پایدارکننده‌ی پوسته‌های یون مثبت درونی تخلیه‌ی RF آمیخته می‌شود و یک تخلیه‌ی پایدار در چگالی‌های توان بالا را فراهم می‌آورد. امروزه، این پیکربندی به‌گونه‌ای گسترده در لیزرهای CO₂ پرتوان با توان‌هایی از رده‌ی چند kW به‌کار می‌روند. این توان‌های بالا همراه با کیفیت باریکه‌ی بالا [۲۰] زمینه‌ساز کاربرد گسترده‌ی این لیزرهای در صنعت [۲۱-۲۵]، شتاب‌گرها [۲۶، ۲۷] و سنتز نانومواد [۲۸] بوده‌اند. با این همه، داده‌های بسیار کمی از ریزه‌کاری‌های فنی طراحی و ساخت این لیزرها در دست هستند. از همین‌رو، در این پژوهش ویژگی‌های کارکردی یک نمونه‌ی کوچک‌اندازه از این لیزر در شرایط کاری گوناگون بررسی و مشخصه‌یابی

گردیده است. این یافته‌ها، می‌توانند در طراحی و ساخت نمونه‌های صنعتی و بزرگ‌اندازه از این لیزرها بسیار سودمند باشد.

۲. مبانی نظری

چگونگی تخلیه‌ی الکتریکی عرضی RF در گازها در شکل ۱ نشان داده شده است.

همان‌گونه که دیده می‌شود، تخلیه‌ی RF در گازها دارای دو چگونگی است که تخلیه‌ی α و γ نامیده می‌شوند. در هر دوی این حالت‌ها، میدان الکتریکی RF، این پیکربندی را هم‌چون یک خازن پر و خالی می‌کند و الکترون‌های آزاد کاتوره‌ای درون این حجم نیز، با نوسان در این میدان و شتاب‌گیری، در برخورد با مولکول‌ها و ایجاد یون، یک جریان نوسانی RF را در آن پدید می‌آورند. در تخلیه‌ی α (شکل ۱ الف)، این برخوردهای الکترونی که با جریان تخلیه‌ی پایینی همراه هستند، یک تخلیه‌ی تابان را به‌دنبال می‌آورند که برانگیختگی مولکول‌ها و وارونی انبوهی ترازهای کوانتومی آن‌ها را فراهم می‌سازد. پوسته‌های درخشانی که در نزدیکی دیواره‌ها دیده می‌شوند، از انبوهش یون‌های مثبت سنگین پدید آمده‌اند که با گیراندازی الکترون‌ها تابش می‌کنند. گستره‌ی درخشان کم‌نورتر میانی، جایی است که الکترون‌های آزاد با نوسان در میدان RF و برخوردهای پی‌درپی با مولکول‌ها، برانگیختگی و وارونی انبوهی را پدید می‌آورند. محیط فعال لیزر نیز، همین گستره‌ی کم‌نورتر میانی است. کیفیت این تخلیه، وابسته به ضخامت و جنس لوله و هم‌چنین، شکل، اندازه و چگونگی جای‌گیری الکترودها است. بررسی‌های تجربی نشان می‌دهند که قطر بهینه‌ی لوله‌ی تخلیه و بسامد میدان RF از رابطه‌ی تقریبی زیر پیروی می‌نمایند [۳۰]:

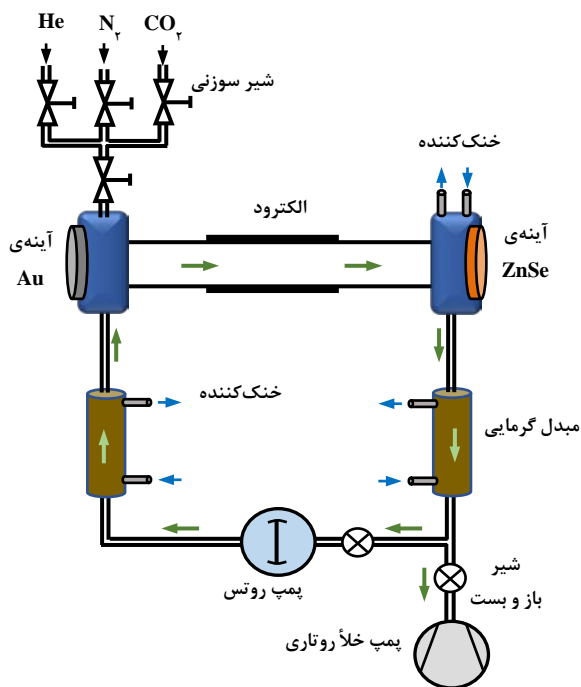
$$f \cdot d = 280 \text{ mm} \cdot \text{MHz} \quad (1)$$

از سوی دیگر، در تخلیه‌ی γ ، که در توان‌های ورودی بالا روی می‌دهد، همراه با جهش جریان، گستره‌ی درخشان به میانه‌ی گنجایش تخلیه جابه‌جا می‌شود. برای برخورداری از شرایط مناسب برای وارونی انبوهی و دریافت گسیل لیزری، باید از گذار تخلیه از α به γ جلوگیری نمود.

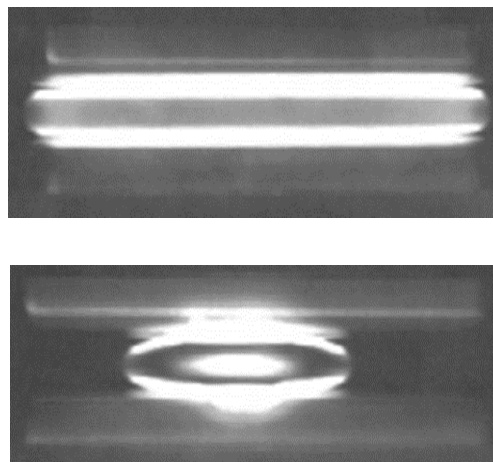
چالش بنیادی در برپایی یک تخلیه‌ی الکتریکی RF در گازها، جورسازی امپدانس^۳ مولد RF با محیط تخلیه، برای کمینه‌سازی اتلاف توان RF ورودی در گاز تخلیه است. برای این کار، از مدارهای الکترونیکی جورساز امپدانس سود جسته می‌شود.

1. Diffusion
2. Sealed Off





شکل ۲. طرح‌واره‌ای از لیزر ساخته شده.



شکل ۱. نمایشی از تخلیه‌های RF (α و γ) در یک لوله‌ی نارسانا با الکترودهای فلزی بیرونی [۲۹].

۳. روش آزمایش

طرح‌واره‌ای از لیزر ساخته شده در شکل ۲ نشان داده شده است.

لیزر ساخته شده، دربرگیرنده‌ی یک پمپ خلأ روتاری، یک دستگاه چیلر، یک پمپ روتس و دو مبدل گرمایی برای خنک‌سازی و گردش تند گاز است. لوله‌ی تخلیه از جنس پیرکس با قطرهای گوناگون است. الکترودهای بیرونی، از برگه‌های نازک Al با درازای ۱۰ cm و پهنای گوناگون ساخته می‌شوند و در یک آرایش متقارن در میانه‌ی لوله‌ی تخلیه به آن چسبانده می‌شوند. کاواک نوسان دربرگیرنده‌ی یک آینه‌ی Au با شعاع خمیدگی ۲ m و یک آینه‌ی ZnSe با بازتابندگی ۸۰٪ با جدایی ۵۰ cm از یک‌دیگر است. آمیزه‌ی گازی He:N_۲:CO_۲ با نسبت‌های دلخواه با بهره‌گیری از یک سامانه‌ی گازدهی دربردارنده‌ی شیرهای تنظیم و فشارسنج، فراهم می‌گردد. برای راه‌اندازی لیزر، از یک مولد RF با بسامد ۱۳٫۵ MHz و توان بیشینه‌ی ۱ kW با مدار جورساز امپدانس خودکار و دستی بهره گرفته شد. توان گسیلی لیزر نیز، با بهره‌گیری از یک توان‌سنج اندازه‌گیری می‌شود. نمایی از لیزر ساخته شده در شکل ۳ نشان داده شده است.

۴. نتایج و بحث

برپایه‌ی رابطه‌ی (۱)، برای بسامد RF برابر $f = ۱۳٫۵ \text{ MHz}$ ، قطر بهینه‌ی لوله‌ی تخلیه برابر $d \approx ۲٫۱ \text{ cm}$ پیش‌بینی می‌شود. با راه‌اندازی لیزر با چنین لوله‌ای و آزمودن آمیزه‌های گازی با فشارهای گوناگون، یک تخلیه‌ی α پایدار دسترس‌پذیر گردید. نمونه‌ای از تخلیه‌ی α به‌دست آمده در شکل ۴ دیده می‌شود.

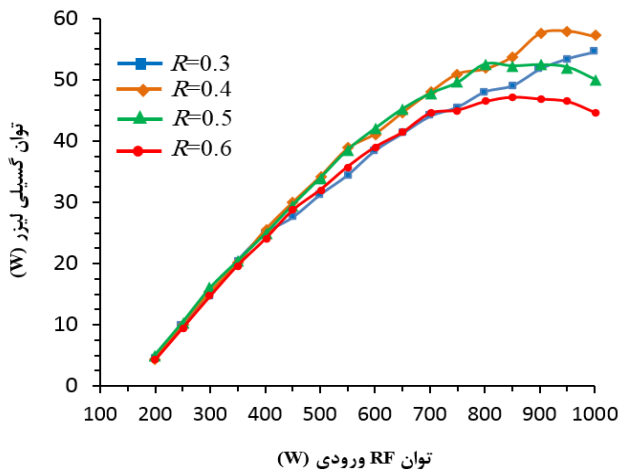


شکل ۳. تصویری از لیزر ساخته شده.

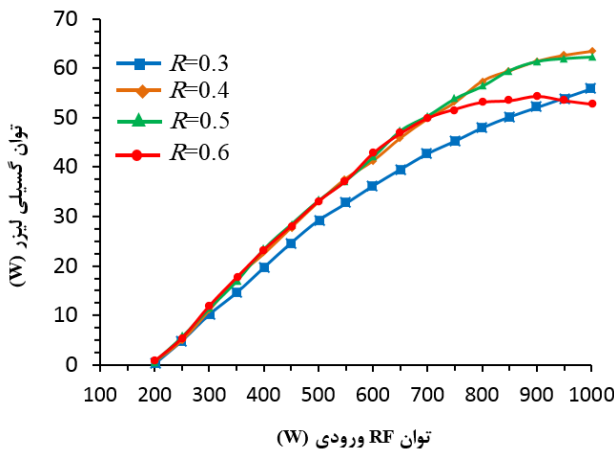


شکل ۴. نمونه‌ای از تخلیه‌ی α به‌دست آمده.

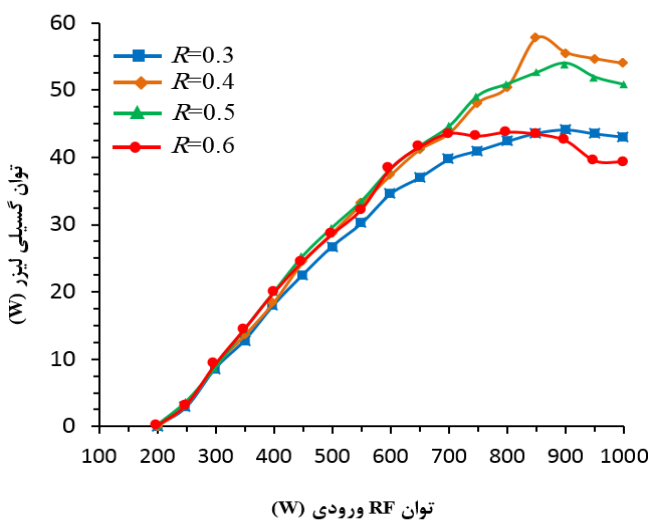




شکل ۵. نمودار تغییرات توان گسیلی لیزر با توان RF ورودی برای نسبت‌های الکترونی گوناگون در قطر تخلیه‌ی ۲۰ mm.



شکل ۶. نمودار تغییرات توان گسیلی لیزر با توان RF ورودی برای نسبت‌های الکترونی گوناگون در قطر تخلیه‌ی ۲۶ mm.



شکل ۷. نمودار تغییرات توان گسیلی لیزر با توان RF ورودی برای نسبت‌های الکترونی گوناگون در قطر تخلیه‌ی ۳۰ mm.

روند انجام آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌ها بدین‌گونه بوده که نخست در یک وضعیت نسبتاً خوب از کارکرد لیزر، آمیزه‌ی گازی و فشار بهینه‌ی کاری لیزر شناسایی شدند. سپس، اندازه‌ی بهینه‌ی پهنای الکترودها برای هر قطر تخلیه به‌دست آمد. برای این کار، درازای الکترودها، کاواک اپتیکی، آمیزه‌ی گازی و فشار گاز پایا نگاه داشته شدند و توان گسیلی لیزر برای پهنای گوناگون الکترودها در توان‌های RF گوناگون اندازه‌گیری گردیدند.

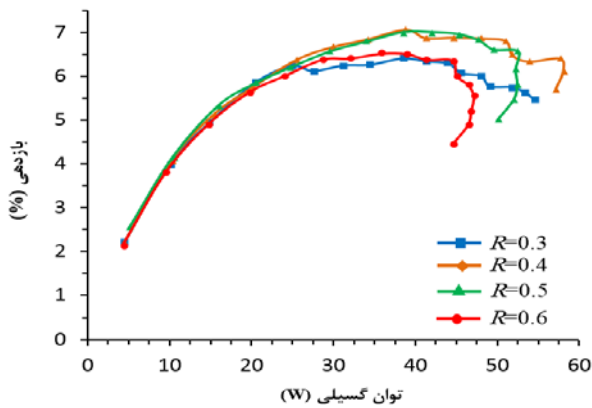
در این راستا، با بررسی توان گسیلی لیزر با آمیزه‌های گازی گوناگون، بهترین کارایی با آمیزه‌ی $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He} \equiv 1:3:5$ در فشار ۹۰ mbar به‌دست آمد و همه‌ی اندازه‌گیری‌های بعدی نیز، با همین آمیزه انجام شدند. اکنون، برای سادگی برآوردها، اگر محیط لوله‌ی تخلیه با قطر بیرونی d را برابر L و پهنای هر تک الکترودها w بگیریم، نسبت الکترونی، R ، را بدین‌گونه تعریف می‌کنیم:

$$R = \frac{w}{L/2} = \frac{2w}{L} \quad (2)$$

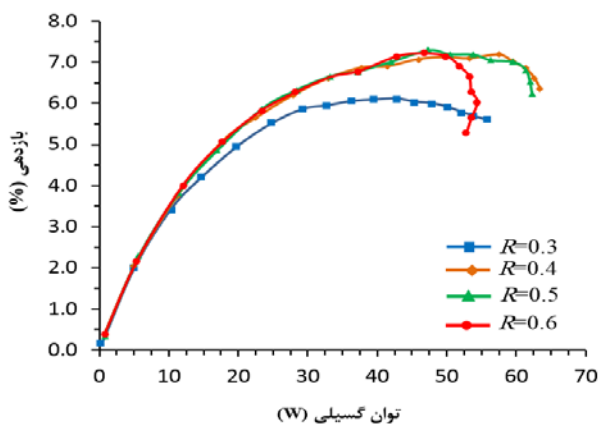
بر این پایه، اندازه‌گیری‌ها برای قطرهای بیرونی ۳ cm و ۲۶ cm، $d=20$ ، و نسبت‌های الکترونی ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶ با آمیزه‌ی گازی $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He} \equiv 1:3:5$ در فشار پایای ۹۰ mbar انجام شدند. نمودار تغییرات توان گسیلی لیزر برای قطرهای لوله‌ی تخلیه‌ی گوناگون با نسبت‌های الکترونی گفته شده در توان‌های RF ورودی گوناگون، در شکل‌های ۵ تا ۷ نشان داده شده است.

همان‌گونه که دیده می‌شود، برای همه‌ی لوله‌های تخلیه و نسبت‌های الکترونی، تخلیه‌ی α از یک توان RF آستانه‌ی برابر ۲۰۰ W همراه با گسیل لیزری آغاز می‌گردد و با افزایش توان ورودی، توان گسیلی لیزر نیز بیش‌تر می‌شود. سرانجام، این روند افزایشی در توان‌های بالاتر کندتر می‌شود و به اشباع می‌رسد. در این رشته آزمایش‌ها، بیشینه‌ی توان لیزری به‌دست آمده از آن لوله‌ی تخلیه‌ی با قطر ۲۶ mm با نسبت‌های الکترونی ۰/۴ و ۰/۵ با توان‌های ۶۲/۳ W و ۶۳/۵ W بوده است.

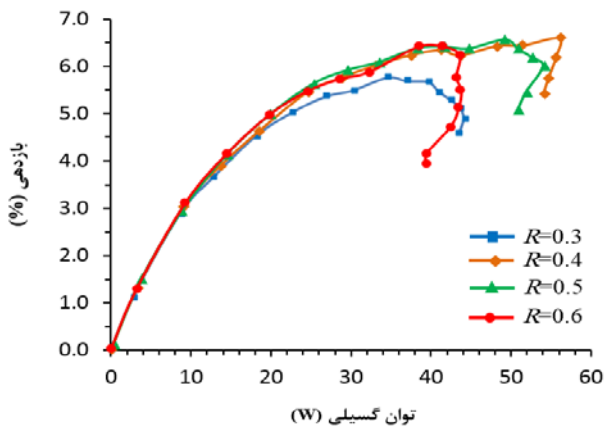




شکل ۹. نمودار تغییرات بازدهی لیزر با توان RF ورودی برای نسبت‌های الکترونی گوناگون در قطر تخلیه‌ی ۲۰ mm.



شکل ۱۰. نمودار تغییرات بازدهی لیزر با توان RF ورودی برای نسبت‌های الکترونی گوناگون در قطر تخلیه‌ی ۲۶ mm، $P = 600 \text{ W}$ ، $R = 0.6$.

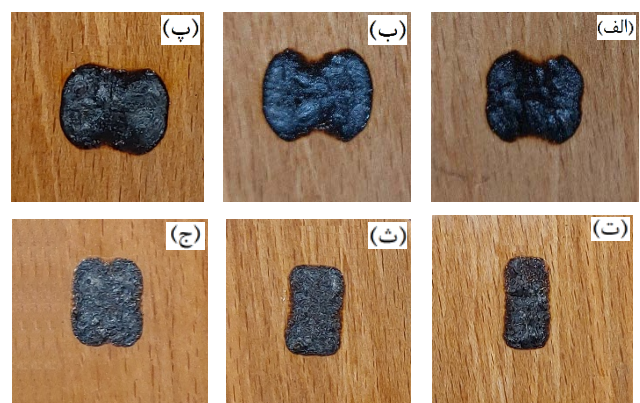


شکل ۱۱. نمودار تغییرات بازدهی لیزر با توان RF ورودی برای نسبت‌های الکترونی گوناگون در قطر تخلیه‌ی ۳۰ mm.

از این نمودارها به خوبی می‌توان دریافت که با افزایش توان گسیلی لیزر (در پی افزایش توان ورودی RF)، بازدهی آن نیز بیشتر می‌شود تا این که توان گسیلی به اشباع برسد و روندی کاهشی را در پیش بگیرد. با افت دوباره‌ی توان گسیلی لیزر، که

همگام با این رفتار در توان لیزر، دگرگونی‌هایی نیز در نمایه‌ی باریکه‌ی گسیلی آن رخ می‌دهند، که به‌ویژه از دیدگاه کاربردی نباید فراموش شوند. بررسی‌ها نشان دادند که برای یک لوله‌ی تخلیه با قطر داده شده، نمایه‌ی باریکه‌ی گسیلی در توان‌های پایین شکلی باریک دارد که درازای آن در راستای تخلیه است، به‌گونه‌ای که با بیشتر شدن توان گسیلی لیزر، اگر چه نمایه‌ی باریکه بهتر و پُرت‌تر می‌شود، بر پهنای آن چندان افزوده نمی‌گردد. از سوی دیگر، با بزرگ‌تر شدن نسبت الکترونی، پهنای نمایه‌ی باریکه نیز بیشتر می‌شود و سرانجام، در نسبت‌های الکترونی بزرگ‌تر، نمایه‌ی باریکه هر چه بیشتر به یک نمایه‌ی دایره‌ای یا چهارگوشه نزدیک می‌گردد. این ویژگی، با آن‌چه که از رفتار تخلیه‌ی RF می‌شناسیم، گویای آن است که در توان‌های ورودی پایین، تخلیه‌ی α تا اندازه‌ی بسیاری با پهنای الکترونها مرزبندی می‌شود و نمی‌تواند همگی پهنای لوله‌ی تخلیه را بپوشاند و از همین‌رو، تنها با بیشتر شدن نسبت الکترونی است که پهنای تخلیه به قطر لوله نزدیک می‌شود. شکل ۸ دگرگونی‌های پدید آمده در نمایه‌ی باریکه‌ی گسیلی لیزر برای نسبت‌های الکترونی در توان‌های گوناگون را نشان می‌دهد.

با این همه، کارآیی یک لیزر تنها برپایه‌ی توان گسیلی آن سنجیده نمی‌شود، چرا که اندازه‌ی بازدهی لیزر نیز از جایگاهی ویژه در چنین ارزیابی‌هایی برخوردار است. نمودارهای آورده شده در شکل‌های ۹ تا ۱۱ بازدهی الکتریکی لیزر را در توان‌های گسیلی گوناگون برای قطرهای لوله‌ی تخلیه‌ی گفته شده نشان می‌دهند.



شکل ۸. نمایه‌ی باریکه‌ی گسیلی لیزر برای: الف) $R = 0.6$ و $P = 400 \text{ W}$ ؛ ب) $R = 0.6$ و $P = 600 \text{ W}$ ؛ پ) $R = 0.6$ و $P = 800 \text{ W}$ ؛ ت) $R = 0.4$ و $P = 600 \text{ W}$ ؛ ث) $R = 0.4$ و $P = 400 \text{ W}$ ؛ ج) $R = 0.4$ و $P = 800 \text{ W}$.



8. K.D. Laakmann, *Transverse RF Excitation for Waveguide Lasers*, in: [Proceedings of Int. Conf. on Lasers](#), 741-743 (1978).
9. P. Laakmann, *RF-Excited Gas Laser System*, [Google Patents](#) (1997).
10. L. Sutter, *Gain-Switched Pulsed RF CO₂ waveguide Lasers*, in: [SPIE 0227, CO₂ Laser Devices and Applications](#), 2-5 (1980).
11. G. Griffith, *Transverse RF Plasma Discharge Characterization for CO₂ Waveguide Lasers*, in: [SPIE 0227, \(CO₂ Laser Devices and Applications\)](#), 6-11 (1980).
12. P.P. Chenausky, et al., *High-Capacitance Parallel-Resonant RF-Excited Waveguide CO₂ Lasers*, in: [Conference on Lasers and Electro-Optics \(Europe, CLEO'82, Phoenix, Technical Digest\)](#), 88-90 (1982).
13. P.P. Chenausky, E.H. Drinkwater, L.M. Laughman, *Tuned-Circuit RF-Excited Laser*, [Google Patents](#) (1982).
14. G. Allcock, D. Hall, *An Efficient, RF Excited, Waveguide CO₂ Laser*, [Optics Communications](#), **37(1)**, 49 (1981).
15. D. He, D. Hall, *A 30-W Radio Frequency Excited Waveguide CO₂ Laser*, [Applied Physics Letters](#), **43(8)**, 726 (1983).
16. Y.P. Raizer, *Electrodeless Discharges of Average Pressure in High-Frequency and Frequency-Pulse Fields*, [Soviet Journal of Plasma Physics](#), **5(2)**, 408 (1979).
17. V.I. Myshenkov, N.A.e. Yatsenko, *Prospects for Using High-Frequency Capacitative Discharges in Lasers*, [Soviet Journal of Quantum Electronics](#), **11(10)**, 1297 (1981).
18. N.A. Yatsenko, *Investigation of the three-dimensional structure of a RF capacitance discharge*, [Journal of Engineering Physics and Thermophysics](#), **62(5)**, 530 (1992).
19. A.J. DeMaria, T. Hennessey, *The CO₂ Laser: the Workhorse of the Laser Material Processing Industry*, [SPIE Professional Magazine](#), 1-27 (2010).
20. A. Biswas, et al, *Indigenous Development of a 2 kW RF-Excited Fast Axial Flow CO₂ Laser*, [Pramana](#), **75**, 907 (2010).
21. J.P. Davim, et al., *Some Experimental Studies on CO₂ Laser Cutting Quality of Polymeric Materials*, [Journal of Materials Processing Technology](#), **198**, 99 (2008).
22. M. Schmidt, L. Li, J. Spencer, *Removal of Chlorinated Rubber Coatings from Concrete Surfaces Using an RF Excited CO₂ Laser*, [Journal of Materials Processing Technology](#), **114**, 139 (2001).
23. S. Al-Hawat, S. Shihada, *Construction of a transversely excited slow axial flow radio-frequency CO₂ laser at 13.56 MHz*, [Optics & Laser Technology](#), 69 (2015).
24. D.S. Dumitras, *CO₂ laser: Optimization and application*, [BoD-Books on Demand](#), (2012).
25. A. Colley, H. Baker, D. Hall, *Planar waveguide, 1 kW CW, carbon dioxide laser excited by a single transverse rf discharge*, [Applied Physics Letters](#), **61(2)**, (1992).

نشان‌دهنده‌ی دور شدن چگونگی کارکردی لیزر از آرایش بهینه‌ی آن است، بازدهی نیز، همان‌گونه که به‌درستی باید چنین می‌شد، به‌تندی فروکش می‌نماید.

روی هم رفته، این نمودارها نشان می‌دهند که بازدهی بالای ۷٪ تنها برای لوله‌های با قطر ۲۰ mm با نسبت‌های الکترودی ۰/۴ و ۰/۵ و ۲۶ mm با نسبت‌های الکترودی ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶ به‌دست آمده است. از آن‌جا که توان گسیلی لیزر برای قطر لوله‌ی ۲۶ mm تا ۱۰ W بیش‌تر است، روی‌هم‌رفته، می‌توان قطر لوله‌ی تخلیه‌ی ۲۶ mm را از این دیدگاه بهینه دانست.

۵. نتیجه‌گیری

یک لیزر CO₂ پیوسته با دمش RF و جریان طولی سریع، با توان بیشینه‌ی تا نزدیک به ۶۳/۵ W طراحی و ساخته شد. ویژگی‌های کارکردی این لیزر و وابستگی آن به پارامترهای ساختاری و الکتریکی در یک بازه‌ی گسترده از ابعاد هندسی و توان RF ورودی بررسی و ارزیابی شدند. برای این کار، از نسبت پهنای الکترودها به محیط لوله‌ی تخلیه هم‌چون یک سنجه‌ی هندسی بهره گرفته شد. نشان داده شد که بیشینه‌ی توان گسیلی و بازدهی لیزر با قطر لوله‌ی تخلیه‌ی برابر ۲۶ mm و نسبت‌های الکترودی ۰/۴ تا ۰/۶ دسترس‌پذیر است که از این میان، بهترین نمایه‌ی باریکه‌ی لیزری از آن پهنای الکترودی ۰/۶ بوده است.

مراجع

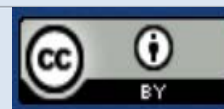
1. J. Thomson, *On the Discharge of Electricity through Exhausted Tubes without Electrodes*, [The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science](#), **32(197)**, 321 (1891).
2. A. Javan, W.R. Bennett Jr, D.R. Herriott, *Population Inversion and Continuous Optical Maser Oscillation in a Gas Discharge Containing a He-Ne Mixture*, [Physical Review Letters](#), **6(3)**, 106 (1961).
3. C.K.N. Patel, *Continuous-Wave Laser Action on Vibrational-Rotational transitions of CO₂*, [Physical Review](#), **136(5A)**, A1187 (1964).
4. P. Smith, *A Waveguide Gas Laser*, [Applied Physics Letters](#), **19(5)**, 132 (1971).
5. A. Crocker, and M. Wills, *Carbon-Dioxide Laser with High Power per Unit Length*, [Electronics Letters](#), **5(4)**, 63 (1969).
6. C.O. Brown, J.W. Davis, *Closed-Cycle Performance of a High-Power Electric-Discharge Laser*, [Applied Physics Letters](#), **21(10)**, 480 (1972).
7. J.L. Lachambre, et al., *A Transversely RF-Excited CO₂ Waveguide Laser*, [Applied Physics Letters](#), **32(10)**, 652 (1978).



26. Y. Kawashima, In: *Proceedings of FLS (Proposal of a Synchrotron Radiation Facility to Supply Ultraviolet Light, X-Ray, MeV-Photon, GeV-Photon and Neutron)*, 24-26 (2006).
27. S. Banna, V. Berezovsky, L. Schächter, *Particle Acceleration by Stimulated Emission of Radiation: Theory and Experiment*, *Physical Review E*, **74**, 046501 (2006).
28. O. Sublemontier, et al, *CO₂ Laser-Driven Pyrolysis Synthesis of Silicon Nanocrystals and Applications*, *Journal of Alloys and Compounds*, **483**, 499 (2009).
29. P. Vidaud, S. Durrani, D. Hall, *Alpha and Gamma RF Capacitance Discharges in N₂ at Intermediate Pressures*, *Journal of Physics D: Applied Physics*, **21**, 57 (1988).
30. P.P. Vitruk, H. Baker, D. Hall, *Similarity and Scaling in Diffusion-Cooled RF-Excited Carbon Dioxide Lasers*, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, **30**, 1623 (1994).

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



استناد به این مقاله

کاوه سیلاخوری، رضا نشاطی، داود اسماعیل پور، فاطمه کاظمی‌زاده، زهره رجبی، محمد طالبی، مریم ایلچی، زهرا پورحسن‌نژاد، سعید امین‌نعمی (۱۴۰۲)، طراحی، ساخت و مشخصه‌یابی یک لیزر CO₂ پیوسته با دمش RF با جریان طولی سریع، ۱۰۵، ۱۸۰-۱۸۶

DOI: [10.24200/nst.2022.1144.1758](https://doi.org/10.24200/nst.2022.1144.1758)

Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1507.html

