



بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی



بررسی اثر آرایش الکترود آند بر پارامترهای عملکرد لیزر گاز کربنیک پیوسته با جریان عرضی سریع گاز

الهه قاسمی^۱، سعید جلوانی^۱، محسن منتظرالقائم^۱، مهدی شایگان منش^۱، داوود اسماعیل پور^۱

^۱ پژوهشکده لیزر و اپتیک، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران

^۲ دانشکده فیزیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، نارمک، تهران

چکیده: در این مقاله نتایج تجربی حاصل از اثر آرایش الکترود آند بر پارامترهای عملکرد لیزر گاز کربنیک پیوسته با جریان عرضی سریع گاز مورد بررسی قرار گرفته است. از میان آرایش‌های مختلف، برای طرحی که شامل ۱۵ پین از جنس استیل ضدزنگ به عنوان الکترود آند و یک کاتد لوله‌ای از جنس مس و به طول ۱۵ cm بوده است، بیشترین توان خروجی ثبت گردیده است. در این حالت نسبت گازی $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He} \equiv 1:2.5:1$ و فشار کل ۱۸۰ میلی بار و استفاده از گپ تخلیه ۱/۵ cm، توان خروجی ۱۷/۲ وات را ایجاد نموده است. همچنین، بیشترین بازده الکترواپتیکی لیزر، برابر ۵/۸۱٪ برآورد گردیده است.
کلید واژه: ترازهای انرژی لیزر CO_2 ، تخلیه الکتریکی در لیزرهای گازی، لیزر CO_2 عرضی.

The effects of anode electrode configuration on the performance of fast transverse-flow CW CO_2 laser

Elaheh Ghasemi², Saeid Jelvani¹, Mohsen Montazerolghaem¹, Mahdi Shaygan manesh², Davood Esmail pour¹

¹Laser and optic research school, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), Tehran

²Physics Department, Iran University of Science and Technology (IUST), Narmak, Tehran

Abstract: In this work, the effect of the anode electrode configuration on the performance of a fast transvers flow CW CO_2 laser is investigated. The optimum configuration consists of a 15 pins stainless steel as the anode electrode and a water-cooled copper tube of 10mm outer diameter, 15cm length as the cathode. For the gas ratio of $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He} \equiv 1:2.5:1$, total pressure of 180 mbar and a discharge gap of 1.5cm, the output power of 17.2W is achieved. Also, the highest value of electro-optical efficiency for the laser is estimated about 5.81%.

Keywords: electrodes configuration, fast transvers flow CW CO_2 laser.

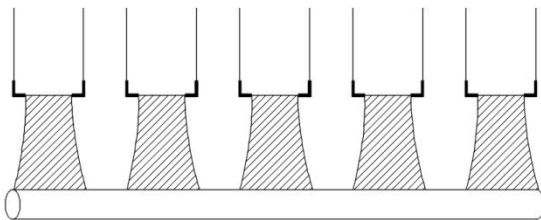
مقدمه

برای استقرار الکترودهای آند از یک صفحه پلکسی گلاس به ضخامت ۱cm و ابعاد ۱۵cm×۲cm که در آن ۱۵ عدد سوراخ با قطر ۲mm و فاصله ۹mm از یکدیگر تعبیه شده، استفاده شده است. سپس پین‌ها، به گونه‌ای که ۵cm آن‌ها از سوراخ‌ها بیرون باشد، درون این سوراخ‌ها نصب شدند. شکل ۱ تصویری از مجموعه پین‌های آند نصب شده بر روی صفحه پلکسی گلاس را نشان می‌دهد.



شکل ۱: مجموعه پین‌های آند نصب شده بر روی پلکسی گلاس

در آرایش دوم، آند از ۵ قطعه سیم مسی مقطع که طول مؤثر هر یک ۸mm و قطر آن‌ها ۲mm می‌باشد، تشکیل شده است. قسمت‌های نوک تیز و گوشه‌های هر قطعه با استفاده از وارنیش پوشانده شده است تا در هنگام اعمال ولتاژ به الکترودها، در این قسمت‌ها جرقه شدید ایجاد نشود. طرح‌واره این آرایش هم‌چنین نواحی دشارژ الکتریکی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: طرح‌واره الکترودها، آند به صورت ۵ قطعه سیم مسی و نواحی دشارژ الکتریکی

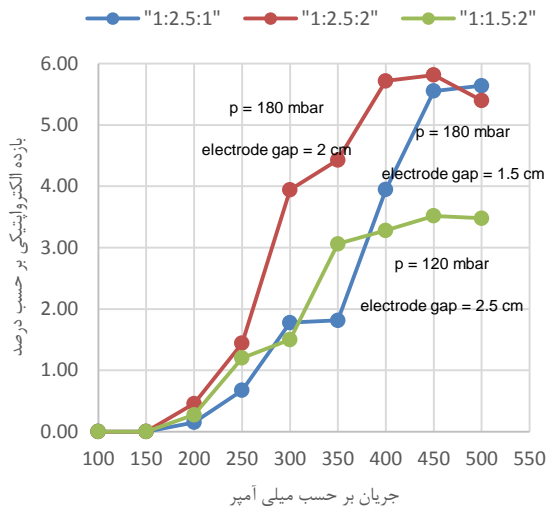
در هر یک از طرح‌های پیشنهادی برای الکترودهای لیزر، طی آزمایش‌هایی فشار و نسبت گازی بهینه که توان خروجی لیزر را بیشینه می‌کند، به دست آمد. نحوه یافتن فشار و نسبت گازی بهینه، بدین گونه بوده است که نخست چند نسبت گازی ویژه، که بر پایه داده‌های در دست، با کارکرد عمومی و خوب در این لیزرها همراه هستند برگزیده شوند و سپس، برای چند گام از پیش تعیین شده فشاری، توان خروجی لیزر در جریان‌های تخلیه گوناگون اندازه‌گیری و ثبت گردند.

لیزر CO₂ یکی از پرکاربردترین لیزرهایی است که تا به امروز کشف شده و بیشترین مطالعات درباره آن انجام گرفته است [۱]. لیزرهای CO₂ به دو صورت پالسی و موج پیوسته (CW) کار می‌کنند. اگر جهت شارش گاز در این لیزرها بر راستای محور اپتیکی و تخلیه الکتریکی عمود باشد، آن‌ها را لیزر با شارش عرضی گاز می‌نامند و فرآیند غالب خنک‌سازی در این نوع لیزرها از راه همرفت می‌باشد، یعنی برای خنک‌ساختن محفظه تخلیه، گرمای ناشی از تخلیه الکتریکی با جابه‌جایی گاز به محیط بیرون تخلیه منتقل شود. در لیزرهای شارش سریع، معمولاً مقداری از آمیزه گازی به گونه‌ای پیوسته از مخزن گاز به محفظه تخلیه تزریق می‌شود و توسط یک پمپ چرخش گاز، در محیط تخلیه به چرخش درمی‌آید. این نوع لیزرها معمولاً با تخلیه الکتریکی DC دمش می‌شوند [۹]. پژوهشگران تا کنون موفقیت‌هایی در زمینه چیدمان الکترودها و توان خروجی لیزر پر توان CO₂ با جریان عرضی گاز کسب کرده‌اند [۶-۲]. در این پژوهش کوشش گردیده است تا با طراحی و ساخت دو نمونه الکترودها، بازدهی و توان خروجی لیزر گاز کربنیک پیوسته با جریان عرضی سریع گاز، برای هر آرایش گزارش و تحلیل شود.

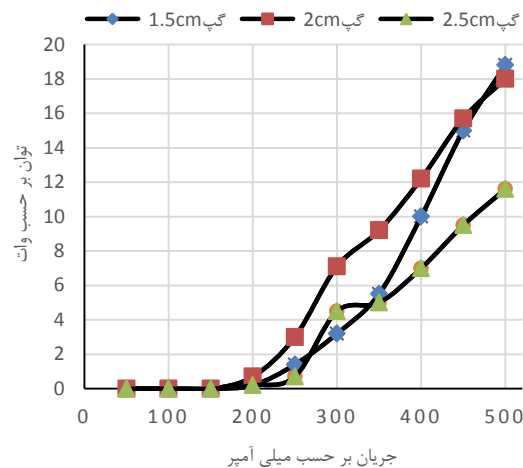
طراحی و ساخت

الکترودها (کاتد و آند)، از مواد گوناگون و در شکل و جنس‌های مختلف استفاده می‌گردند، هم‌چنین آرایش‌های مختلفی برای ساخت الکترودهای لیزر CO₂، به ویژه برای آند، به کار گرفته می‌شوند که هر یک، از برتری‌ها و کاستی‌هایی برخوردارند. در لیزر مورد نظر، الکترودها کاتد یک لوله مسی با قطر بیرونی ۱۰mm و ضخامت ۱mm، به طول ۱۵cm می‌باشد. دو آرایش برای الکترودها طراحی و ساخته شد. اولین آرایش مورد نظر برای ساختار الکترودها، طراحی آند سوزنی شکل (پینی) بود. دلایل استفاده از ساختار سوزنی یا پینی برای آند به قرار زیر است: اولاً، ساختار پینی الکترودها، از قابلیت بیشتری برای تنظیم موضعی جریان برخوردار بوده و انعطاف‌پذیری بیشتری برای ایجاد تغییرات جریان الکتریکی دارد. ثانیاً، گزارش‌های متعددی استفاده از الکترودهای پینی در لیزرهای توان بالا را تایید می‌کنند [۷ و ۸].

نتایج آزمایش‌ها



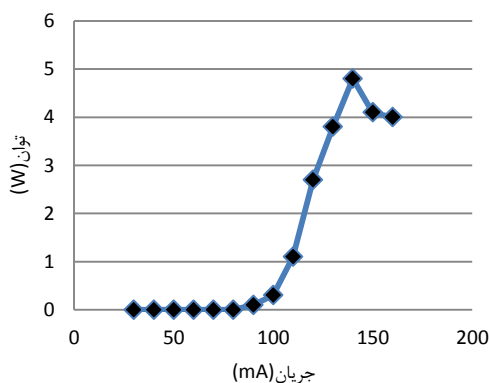
ابتدا نتایج حاصل از آند سوزنی شکل گزارش می‌شود. با انجام آزمایشات گوناگون روشن شد که فشار بهینه مخلوط گازی لیزر برابر با ۱۸۰ میلی‌بار می‌باشد. در فشار بهینه، اثر جریان اعمال شده، بر توان خروجی لیزر برای نسبت‌های بهینه مخلوط گازی بررسی می‌شوند. نخست اثر شدت جریان الکتریکی بر توان خروجی لیزر در نسبت بهینه ۱ : ۲/۵ : ۱ $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$ بررسی می‌گردد. این تغییرات برای سه اندازه گپ متفاوت در نمودار شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: اثر شدت جریان الکتریکی بر توان خروجی لیزر برای سه اندازه گپ متفاوت

همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، با افزایش جریان تخلیه، بازدهی الکترواپتیکی در هر مورد افزایش می‌یابد و پس از رسیدن به یک نقطه بهینه، رو به کاهش می‌گذارد. بیشینه بازدهی‌های به دست آمده، برابر ۶/۳٪ و ۶/۲٪ و برای دو شرایط گوناگون برای گپ‌های ۲/۵ cm و ۴ cm با توان‌های خروجی بسیار نابرابر ۵ W و ۲/۹۴ W هستند.

در این مرحله نتایج حاصل از آرایش دوم، آند به شکل ۵ قطعه سیم مسی ارائه می‌شود. گپ تخلیه روی ۲ cm تنظیم شد. بازه فشار گاز ۱۷۰-۳۰ mbar و آینه‌های لیزر به طور دقیق و در فشار خلاء تنظیم اپتیکی شدند. بهترین و بیشترین توان خروجی برابر ۴/۸ وات در فشار ۱۴۰ میلی‌بار و گپ ۲ cm با نسبت گازی ۳ : ۲ : ۱ $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$ در ولتاژ ۴ KV و جریان ۱۴۰ mA به دست آمد. در شکل ۵ نمودار توان بر حسب جریان الکتریکی در شرایط مذکور آورده شده است.



شکل ۵: نمودار توان بر حسب جریان الکتریکی با آرایش الکترودی آند ۵ قطعه سیم مسی و کاتد لوله مسی در گپ تخلیه ۲ cm

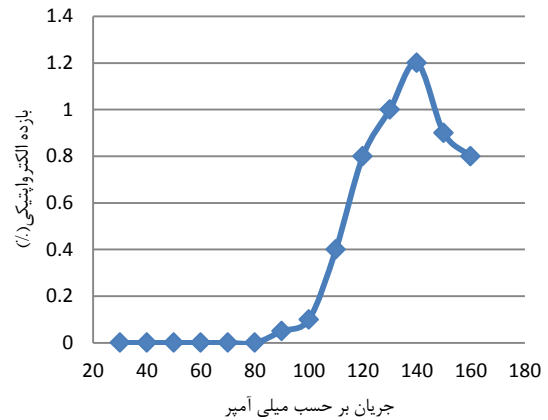
همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود، افزایش شدت جریان الکتریکی سبب افزایش توان خروجی لیزر می‌گردد. این روند در تمامی گپ‌های تخلیه الکتریکی دیده می‌شود. این روند صعودی تا رسیدن به یک جریان الکتریکی مشخص ادامه پیدا کرده و پس از آن کاهش می‌یابد ولی با توجه به این‌که، با منبع تغذیه موجود در آزمایشگاه صنعتی گاز کربنیک، دسترسی به جریان‌های بالاتر از ۵۰۰ میلی‌آمپر مقدور نبوده است، لذا نمودارهای فوق در بازه ۰ تا ۵۰۰ میلی‌آمپر ترسیم گردید. شکل ۴ نمودار بازدهی بهینه لیزر بر حسب جریان الکتریکی را به ازای نسبت‌های گازی متفاوت، اندازه گپ‌های مختلف و همچنین مقادیر فشار کاری متفاوت نشان می‌دهد.

مراجع

- [1] Joseph T. Verdeyen, "Laser Electronics", Third ed, Prentice-Hall, 1995.
- [2] N Ben-Yosef, E Bin-Nun, "Electrode configuration and power output for a transverse flow CO₂ laser", notes on experimental technique apparatus, vol.4, 1971.
- [3] A. D. Colley, H. J. Baker and D. R. Hall, "Planar waveguide, 1kw CW, carbon dioxide laser excited by a single transverse rf discharge", published by the American Institute of Physics, 1992.
- [4] Ashish K. Nath, Lala Abhinandan, Praveen Choudhary, "Operational characteristics of a pulse- sustained dc-excited transverse-flow cw CO₂ laser of 5kw output power", optical engineering, vol.33 No. 6, 1994.
- [5] A. K. Nath and A. K. Biswas, "Optical gain and saturation intensity in a transverse-flow cw CO₂ laser", IEEE journal of quantum electronics, vol. 33, 1997.
- [6] Martin G. Gonzalez, Ignacio J. Rios, Violeta D. Accurso, Guillermo D. Santiago, Carlos A. Rosito, "An analytical approach to the design of electrodes in high-power fast transverse-flow CO₂ lasers", optics & laser technology 37, 2004.
- [7] A. D. Colley, H. J. Baker and D. R. Hall, "Planar waveguide, 1kw CW, carbon dioxide laser excited by a single transverse rf discharge", published by the American Institute of Physics, 1992.
- [8] Ashish K. Nath, Lala Abhinandan, Praveen Choudhary, "Operational characteristics of a pulse- sustained dc-excited transverse-flow cw CO₂ laser of 5kw output power", optical engineering, vol.33 No. 6, 1994.

[۹] سعید جلوانی، محسن منتظرالقائم، "طراحی و ساخت لیزر گاز کربنیک پیوسته ۱۰ وات، با جریان عرضی سریع گاز"، گزارش علمی و فنی، پژوهشکده لیزر و اپتیک پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، کد پروژه IS-LO-01-91-11، کد مدرک RP- IS-LO-01-91-11، اردیبهشت ۱۳۹۳.

در این حالت نیز بازده الکترواپتیکی لیزر بر حسب جریان تخلیه محاسبه شده و به صورت نمودار شکل ۶ می‌باشد.



شکل ۶: نمودار بازده الکترواپتیکی بر حسب جریان تخلیه با آرایش الکترودی آند ۵ قطعه سیم مسی و کاتد لوله مسی در فشار ۱۴۰ mbar و گپ تخلیه ۲ cm با نسبت گازی ۳:۲:۱ = CO₂:N₂:He

همان‌گونه که در شکل ۶ دیده می‌شود، با افزایش جریان تخلیه، بازدهی الکترواپتیکی نیز افزایش می‌یابد و پس از رسیدن به یک نقطه بهینه، رو به کاهش می‌گذارد. بیشینه بازدهی به دست آمده، برابر ۱/۲٪ برای گپ تخلیه ۲ cm معادل توان خروجی ۴/۸ W می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله اثر آرایش الکترو دی آند بر پارامترهای عملکرد لیزر گاز کربنیک پیوسته با جریان عرضی سریع گاز به طور تجربی بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که بهترین ساختار برای الکترو دی آند، آند سوزنی‌شکل می‌باشد که با بهینه‌سازی در نسبت گاز و فشار کل مخلوط گاز فعال لیزر و نیز مقدار انرژی ورودی، توان خروجی بیشینه ۱۷/۲ حاصل گردید که در این توان، نسبت مخلوط گازی ۱ : ۲/۵ : ۱ = CO₂:N₂:He در فشار کل ۱۸۰ mbar، گپ تخلیه الکترواپتیکی ۱/۵ سانتی‌متر می‌باشد. در این آرایش در شرایط بهینه نسبت به آرایش دیگر، از هلیوم کمتری استفاده شده است. هم‌چنین جریان آستانه در آرایش دوم کمتر از آرایش اول می‌باشد.