بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۲-۱۴ بهمن ۱۴۰۰

مطالعه مقایسه‌ای پیش یونش‌های آرایه‌ای از الکترودهای سوزنی و پلاسمای سطحی برد مدار چاپی در لیزر TEA CO_2

رضا ترابی[۱]، کاوه سیلاخوری[۲] و حمید سلمانی نژاد[۳]
[۱ و ۳] دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی علوم کاربردی، شاهین شهر
[۲] سازمان انرژی اتمی، گروه تحقیقاتی فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی، پژوهشکده علوم و فناوری هسته ای، تهران

چکیده –در این مقاله عملکرد یک لیزر TEA CO_2 ساخته شده، که می‌تواند به صورت مجزا با استفاده از هریک از سیستم‌های پیش یونش شکاف جرقه UV (SPA) و پلاسمای سطحی برد مدار چاپی (PCB) راه اندازی شود، را به طور نسبی مورد مطالعه قرار داده‌ایم. عملکرد هر دو نوع پیش یونش در شرایط کاری مختلف به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفته و انرژی های خروجی با یکدیگر و همچنین با نتایج حاصل از شبیه سازی بر اساس مدل ارتعاشی-چرخشی شش دمایی مقایسه شده است. مشخص شد که پیش یونش SPA پایداری تخلیه و یکنواختی بهتری را با انرژی‌های خروجی بالاتر فراهم می‌کند، در حالی که اســتفاده از پیکربندی پلاســمای سطحی PCB به لیزر اجازه می‌دهد تا با طول عمر گاز بالاتری کار کند و نیاز به هلیوم در مخلوط گاز کاهش یابد.

کلید واژه- لیزر TEA CO_2، پیش یونش پلاسمای سطحی گاف جرقه UV (SPA) و پیش یونش برد مدار چاپی(PCB)

Comparative study of spark pin-array and PCB surface plasma pre-ionization systems for TEA CO_2 laser Performance

Reza Torabi[1], Kaveh Silakhori[2] and Hamid Salmani Nejhad[3]

[1 & 3] **Faculty of applied Sciences, Malek Ashtar University of Technology,Iran, r.torabi@mut-es.ac.ir & salmani_hsn@yahoo.com**
[2] **Photonics and Quantum Technology Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), Tehran, Iran, ksilakhori@yahoo.com**

Abstract- The performance of a homemade transversely excited atmospheric CO_2 laser, capable to be alternatively run using UV spark pin-array (SPA) and PCB surface plasma pre-ionization systems, is comparatively studied. The performance of both types of pre-ionization in different working conditions was experimentally investigated and the output energies were compared with each other as well as the simulation results based on the six-temperature vibrational-rotational model. It has been found that the SPA system provides better discharge stability and uniformity with higher output energies, while using the PCB surface plasma configuration allowed the laser to operate with higher gas lifetime and lowered the need for helium in its gas mixture.

Keywords: TEA CO_2 laser, pin-array pre-ionization, PCB surface plasma pre-ionization

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

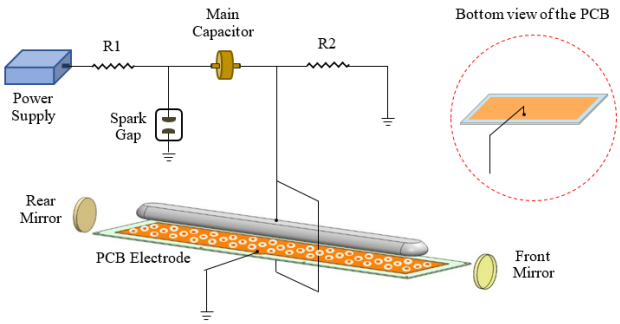
مقدمه

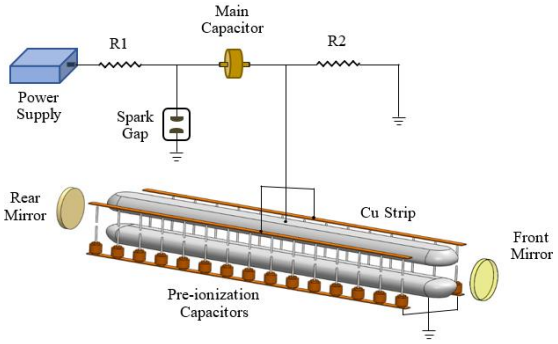
در لیزرهای گازی پالسی روش‌های متفاوتی جهت جلوگیری از تشکیل قوس الکتریکی[1] در حجم تخلیه وجود دارد؛ استفاده از الکترودهای سوزنی، استفاده از تخلیه‌های سریع و ایجاد پیش یونش از آنجمله‌اند. وقتی که زمان تخلیه در حدود یا بزرگتر از زمان مشخصه قوس الکتریکی (~10 ns) شود، پلاسمای تخلیه فرصت کافی برای دستیابی به تعادل ترمودینامیکی را در حین تخلیه داشته و احتمال وقوع جرقه افزایش می‌یابد. همچنین تزریق مقدار زیاد انرژی در محیط باعث بروز ناپایداری در پلاسمای تخلیه خواهد شد. بهترین روش جهت جلوگیری از تشکیل جرقه، استفاده از روش تخلیه کمکی یا پیش یونش است. پیش یونش، با ایجاد یک چگالی الکترونی اضافی درون حجم تخلیه قبل از شروع تخلیه اصلی و به تبع تولید حجم بالایی از پلاسمای سرد، شرایط شروع تخلیه تابان[2]، یکنواخت و پایدار در فشارهای بالا را فراهم می‌کند. اخیراً نوع جدیدی از سیستم پیش یونش به نام پلاسمای سطحی برد مدارچاپی (PCB) معرفی شده است [۱] که در آن یک PCB دو طرف مسطح، نقش الکترود اصلی و پیش یونش را به طور همزمان ایفا می‌کند.

از آنجایی که به نظر می‌رسد این پیکربندی جدید، به خصوص برای سیستم های لیزر CO_2 با سرعت تکرار بالا و محفظه بسته، بسیار مناسب باشد، در این کار، مجموعه‌ای از آزمایش‌ها با جزئیات انجام شده است تا عملکرد آن در مقایسه با پیش یونش آشنای شکاف جرقه (SPA) UV بررسی شود.

چیدمان آزمایشگاهی

یک لیزر TEA CO_2 طراحی و ساخته شده است که می‌تواند با سیستم‌های پیش یونش آرایه‌ای از شکاف‌های جرقه (SPA) و پلاسمای سطحی PCB (PSP) به روشی جایگزین کار کند. در پیکربندی SPA (شکل ۱)، حجم تخلیه ۱۴۵ سانتی‌متر مکعبی بین یک جفت الکترود با پروفایل ارنست به طول ۴۵ سانتی‌متر با عرض فعال ۱٫۸ سانتی‌متر، با فاصله ۱٫۸ سانتی‌متر جدا از یکدیگر، محصور شده است. همچنین، دو ردیف پیش یونش با ۲۴ شکاف جرقه با فاصله مساوی، که به‌طور جداگانه هرکدام به یک خازن ۲۰۰ پیکوفارادی متصل شده‌اند، به‌طور متقارن در امتداد هر دو طرف حجم تخلیه قرار گرفته‌اند. لیزر توسط یک مدار تخلیه RC راه-اندازی می‌شود [۲].





شکل ۲ شماتیک لیزر ساخته شده با سیستم پیش یونیزاسیون پلاسمای سطح PCB.

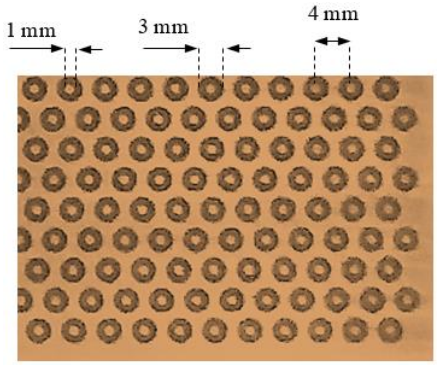
۱ - Arc discharge

۲- Glow discharge

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

شکل ۱ شماتیک لیزر ساخته شده با سیستم پیش یونیزاسیون
آرایه‌ای از شکاف‌های جرقه (SPA).

در پیکربندی PSP (شکل ۲)، همان حجم تخلیه با استفاده از یک الکترود آلومینیومی با پروفایل ارنست که به فاصله ۱٫۸ سانتی‌متری از یک الکترود PCB دو طرفه با الگوی خاص تولید می‌شود. قسمت بالایی PCB به صورت تقریبا ۳۴۰۰ قطعه دایره مسی با قطر ۱ میلی‌متر طراحی شده است که با شکاف‌های حلقه‌ای ۱ میلی‌متری از لایه رسانای اصلی جدا شده است. در حالی که لایه رسانای سمت پایین دست نخورده باقی مانده است. به منظور جلوگیری از خرابی الکتریکی محیطی بین لایه‌های رسانای بالایی و پایینی PCB با ضخامت ۱٫۶ میلی‌متر، حاشیه‌های هر دو لایه به عرض ۳ سانتی‌متر برداشته شد. جزئیات هندسی PCB طرح دار در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳ تصویر سمت طرح دار کاتد PCB.

هر یک از دایره های رسانای مجزا، همراه با لایه رسانای پایینی PCB، نقش یک خازن کوچک با ظرفیت حدود ۰٫۰۴ پیکوفاراد (با ظرفیت کل حدود ۱۳۶ pF) را ایفا می کند. هنگامی که کلید اصلی روشن می شود (شکل ۲) این خازن‌های موازی کوچک به طور همزمان توسط یک پالس ولتاژ بالا تغذیه می‌شوند و بنابراین، در صورت کافی بودن ولتاژ، می‌توانند با شکستن شکاف‌های بین دایره مرکزی و هادی اصلی متصل به زمین از طریق تخلیه سطحی کرونا، شارژ شوند. این مجموعه از تخلیه‌های سطحی یک پلاسمای سطحی توزیع‌شده در سطح PCB تولید می‌کنند و یک تابش UV یکنواخت تولید می‌شود که می‌تواند به طور مؤثری محیط فعال را پیش یونیزه کند. بنابراین، تخلیه اصلی می‌تواند با کمترین احتمال انتقال به قوس الکتریکی، به شکل تابان رخ دهد.

تشدید کننده نوری لیزر متشکل از یک آینه خروجی ZnSe مسطح ۶۵٪ بازتاب و یک آینه عقب بازتابنده طلا است که ۱۰۰ سانتی متر از یکدیگر جدا شده اند. لیزر با استفاده از مخلوط گاز CO_2:N_2:He ≡ 1:1:3 و یک سوئیچ شکاف جرقه در ولتاژهای متغیر در محدوده ۲۰-۳۵ کیلوولت کار می‌کرد.

نتایج و بحث

با راه‌اندازی لیزر در فشار ۱ اتمسفر و استفاده از هریک از سیستم‌های پیش‌یونش شکاف جرقه و پلاسمای سطحی برد مدار چاپی بصورت مجزا، تخلیه تابان با پایداری و تکرارپذیری مناسب در محدوده‌ی فرکانسی ۰/۵ تا ۳ هرتز در دو رژیم محفظه بسته و جریان گاز بدست آمد. واگرایی لیزر حدود ۶ میلی رادیان تعیین شد و از یک تحلیلگر طیفی (Macken Instruments, 16A) جهت پایش خط طیفی لیزر (۱۰،۵۹) استفاده شد. با استفاده از یک فوتون درگ (THORLABS PM100D) متصل به اسیلوسکوپ Tektronix, TDS 2022B شکل زمانی پالس لیزر ثبت شد. گرچه تفاوت معنی داری بین شکل پالس لیزر در دو نوع پیش یونش مشاهده نشد.

انرزی خروجی لیزر توسط ژول‌متر Gentec, E25LP-H-MB-D0 برای مقادیر مختلف خازن اصلی و ولتاژ تخلیه در رژیم جریان گاز و محفظه بسته اندازه‌گیری شد. داده‌های

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

ثبت شده همراه با نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل 6TVRM در جدول ۱ خلاصه شده است. جزییات مدل شبیه‌سازی را می‌توان در منابع مختلف [۳] و یا کارهای قبلی ما مشاهده کرد [۴].

جدول ۱ مشخصات خروجی لیزر در شرایط عملیاتی مختلف

C (nF)	V (KV)	E_{in} (J)	E_{out} (J)			E_{PSP}/E_{SPA}	E_{PSP}/E_{6TVRM}
			SPA	PSP	6TVRM		
33.3	25	10.5	1.7	1.4	1.74	0.82	0.8
33.3	28	13	2	1.7	1.95	0.85	0.92
33.3	31	16	2.3	1.9	2.2	0.82	0.86
21.6	25	6.8	1.1	1	1.2	0.9	0.83
21.6	28	8.5	1.5	1.4	1.5	0.93	0.93
21.6	31	10.4	1.9	1.7	1.82	0.89	0.93

از جدول ۱ می‌توان دریافت که وقتی سیستم پیش یونش SPA استفاده می‌شود، انرژی‌های خروجی در شرایط مختلف همیشه بالاتر و همچنین به نتایج شبیه‌سازی نزدیکتر از مقادیر بدست آمده با استفاده از پیکربندی پیش یونیزاسیون PSP هستند. اگرچه تخلیه تابان در پیکربندی PSP پایدار است، بررسی‌های چشمی دقیق برخی عدم تقارن‌های فضایی را به شکل ستون‌های کمی روشن‌تر که در امتداد مقطع الگوهای دایره‌ای PCB هستند، نشان می‌دهد. این توزیع فضایی نامتقارن تخلیه تابان در سیستم پیش یونش PSP می‌تواند انرژی خروجی نسبتا پایین‌تر آن را در مقایسه با پیش‌یونیزاسیون SPA یا شبیه‌سازی 6TVRM در شرایط مشابه توضیح دهد. با این حال، مقادیر بالاتر E_{PSP} / E_{SPA} برای هر دو خازن اصلی ۲۱,۸ و ۳۳,۳ nF در ولتاژ تخلیه V = 28 kV به دست می‌آید.

نتیجه‌گیری

عملکرد سیستم‌های پیش یونش شناخته‌شده آرایه‌ای از شکاف‌های جرقه UV (SPA) و پیش‌یونش اخیراً ارائه شده پلاسمای سطحی برد مدار چاپی (PCB)، توسط یک لیزر TEA CO_2 مورد مطالعه قرار گرفت. مشخص شد که در ولتاژهای تخلیه پایین، ظرفیت‌های اصلی و نرخ‌های تکرارمتفاوت، سیستم PSA تخلیه‌های تابان با کیفیت و پایداری بالاتری تولید می‌کند که انرژی خروجی بالاتری را ارائه می‌کند. علاوه بر این، نشان داده شده است که پیکربندی PSP باعث می‌شود لیزر بتواند با محتویات بسیار کمتر هلیوم در مخلوط گاز کار کند. این رفتار همراه با یکنواختی تخلیه پایین‌تر، فرآیند پیش یونش یکنواخت موثرتر اما کمتری را در مقایسه با سیستم SPA نشان می‌دهد. جالب‌ترین ویژگی پیکربندی PSP این است که لیزر را قادر می‌سازد تا برای مدت طولانی‌تری در رژیم بسته‌شده بدون نیاز به گردش گاز یا خنک‌کننده، پایدار عمل کند. این واقعیت به وضوح نشان دهنده شکست کمتر مولکول های CO_2 در طول پیش یونیزاسیون گاز توسط سیستم PSP است.

سپاسگزاری

بر خود لازم می‌داریم از پژوهشکده علوم و فناوری اپتیک و لیزر دانشگاه صنعتی مالک اشتر که این پروژه در آنجا انجام شده است قدردانی بعمل آوریم.

مراجع

[1] A. Ghorbanzadeh et al., Surface plasma preionization produced on a specially patterned

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

PCB and its application in a pulsed CO_2 laser, Optics & Laser Technology 78 (2016).

[2] R. Torabi, et al., Theoretical and experimental analyses of the TEA CO_2 lasers dynamics by six temperature vibrational-rotational model, Optik 135 (2017)

[3] K. Smith, R.M. Thomson, Computer Modeling of Gas Lasers, Plenum Press, New York, 1978.

[4] R. Torabi et al., Simulation and initial experiments of a high power pulsed TEA CO_2 laser, Phys. Scr. 91 (2016) 015501.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]