مقاله پژوهشی

لیزرپزشکی؛ ۱۳۸۹، دوره ۷، شماره ۴، صفحات: ۲۹-۲۴.

گزارش ویژهٔ علمی و فنی ساخت لیزر هوا در فشار اتمسفر

محمد رضا رضایی راینی نژاد[1]
علیرضا بهرام پور[2]

[1]دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی، کرمان
[2]پروفسور دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شریف

نویسندهٔ مسئول: محمدرضا رضایی راینی نژاد، کرمان، بزرگراه هفت باغ، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی کرمان، تلفن: ۰۳۴۱۳۲۲۰۴۴۴
پست الکترونیک: mohammadreza45@gmail.com

خلاصه

گاز نیتروژن مورد استفاده در لیزرهای نیتروژن باید از درصد خلوص بسیار بالایی برخوردار باشد. گازهایی مانند اکسیژن عمل لیزر را سریعاً متوقف می‌کنند. نزدیک به ۲۳درصد هوا را اکسیژن و ۷۴درصد نیتروژن تشکیل می‌دهد. به‌علت زیاد بودن اکسیژن در هوا عمل لیزر در فشار اتمسفر عملاً غیرممکن است. عمل لیزر در هوا در فشارهای خیلی کم گزارش شده است. هدف این تحقیق دست‌یابی به عمل لیزر در هوا و در فشار اتمسفر است. با ساخت لیزر TEA N_2 کاملاً بهینه‌سازی‌شده اثر اکسیژن، مورد مطالعهٔ دقیق قرار گرفته است. نتیجهٔ به‌دست آمده ساخت لیزر TEA Air است که قادر است با استفاده از هوا در فشارهای مختلف نیز کار کند.

واژه‌های کلیدی: لیزر نیتروژن، لیزر هوا

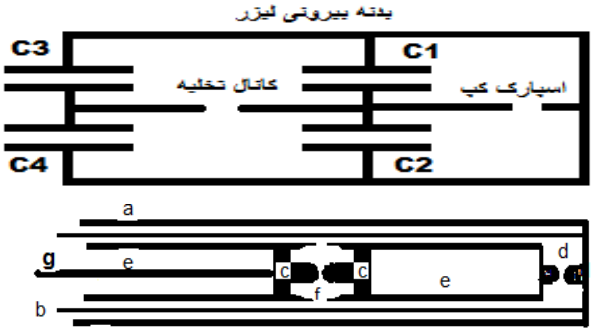
مقدمه

تخلیهٔ الکتریکی در لیزرهای گازی به دو صورت عرضی و طولی انجام می‌پذیرد. در تخلیهٔ عرضی میدان الکتریکی اعمال شده عمود بر جهت انتشار نور لیزر (TE)[1] است درحالی‌که در تخلیهٔ طولی هم‌راستا می‌باشد(LE)[2].

اگر تخلیهٔ عرضی در فشار اتمسفر انجام گیرد به اختصار به آن TEA[3] و اگر تخلیهٔ طولی در فشار اتمسفر صورت گیرد به آن LEA[4] گفته می‌شود. درعمل به علت کم‌بودن ولتاژ کاری لیزرهای گازی با تخلیهٔ عرضی، هزینهٔ ساخت آن‌ها کمتر از لیزرهای با تخلیهٔ طولی است. اولین لیزر عرضی نیتروژن در فشار اتمسفر (TEA N2) در سال ۱۹۷۲ ساخته شده است. در این لیزر طراحی مدار الکتریکی و کانال تخلیه از اهمیت زیادی برخوردار است. دراین تحقیق سعی شده است تا با مطالعهٔ اثر اکسیژن به‌صورت تئوری و تجربی بر لیزر TEA N2 امکان ساخت لیزر هوا در فشار اتمسفر (TEA Air laser) جهت کاربردهای مختلف بررسی شود.

مراحل ساخت لیزر هوا:

لیزر هوا نوعی لیزر نیتروژن با تخلیهٔ عرضی است. این لیزر از چهار خازن تخت که یکی از صفحات آن‌ها به‌صورت مشترک به‌هم وصل شده، ساخته شده است. این صفحات بدنهٔ بیرونی لیزر را تشکیل می‌دهند. صفحات دیگر خازن‌ها دو به دو به دو الکترود آلومینیومی متصل شده است. تخلیهٔ یکنواخت با عمل کردن اسپارک گپ قرار داده شده بین دو خازن و بدنهٔ بیرونی لیزر و در فضای بین الکترودها شروع می‌شود. سیستم پیش‌یونش‌کنندهٔ مناسبی که در فضای داخلی الکترودها تعبیه شده است به ایجاد تخلیهٔ یکنواخت کمک می‌کند. برای دست‌یابی به عمل لیزر در هوا با تعبیهٔ میله‌های کنترل کننده، بعضی از پارامترهای کانال تخلیه را می‌توان از بیرون تغییر داد. شماتیکی از لیزر هوای ساخته شده به‌صورت زیر است (شکل ۱).



شکل ۱: شماتیکی از لیزر هوا، الف) صفحهٔ بالایی خازن، ب) دی الکتریک، ج) الکترودهای لیزر، د) اسپارک گپ، ه) صفحات پایینی خازن، و)سیستم پیش‌یونش‌کنندهٔ uv ، ز)میلهٔ تنظیم کنندهٔ الکترودها

لیزر هوا شامل قسمت‌های زیر است:

الف) الکترودهای اصلی تخلیه:

[1] Transverse Excitation
[2] Longitude Excitation
[3] Tansverse Excitation Atmospheric
[4] Atmospheric Excitation Longitude

[Downloaded from icml.ir on 2025-12-16]

برای ساخت الکترودهای تخلیهٔ اصلی از قوطی‌های توپر آلومینیومی به ابعاد ۳۵ × ۴ × ۴ سانتی‌متر مکعب استفاده شده است (شکل۲)[۱].

شکل۲: الکترودهای اصلی تخلیه

در یک طرف الکترودها شیارهایی برای ورود و خروج هوا تعبیه شده است. روی هر الکترود ۳۰ سوراخ ریز وجود دارد. سوراخ‌ها باعث یکنواختی در جریان گاز می‌شوند و افت فشار در هر پالس را بران می‌کنند. مطالعه و ساخت این الکترودها و تراش آن‌ها دو سال وقت برده است. جریان گاز در کانال عرضی است چون در حالت جریان عرضی توان لیزر در فرکانس‌های بالا از کارآیی بیشتری برخوردار است[۲]. قطر و تعداد سوراخ‌ها نیز در فرکانس‌های بالا مؤثر است [۳]. قطر سوراخ‌ها ۲میلی‌متر می‌باشد و تعداد ۳۰ سوراخ در هر الکترود تعبیه شده است چون در این حالت توان خروجی ماکزیمم است[۴]. پشت سوراخ‌ها را برای یکنواخت شدن جریان گاز به‌صورت ونتوری درآورده‌ایم. روی الکترودها برآمدگی استوانه‌ای‌مانندی به شعاع ۱/۲ سانتی‌متر ایجاد شده است[۵].

ب) صفحات خازن:

برای دست‌یابی به توان ماکزیمم لازم است که ظرفیت خازن‌ها را بهینه کنیم. مطالعات نشان می‌دهد که ظرفیت خازن‌ها حداقل بایستی در حدود ۰/۷۵nF باشد (شکل۳).

شکل۳: خازن‌ها

از چهار نوع دی الکتریک به ابعاد ۳۵/۵×۶۵/۵ سانتی‌مترمربع استفاده شده است.

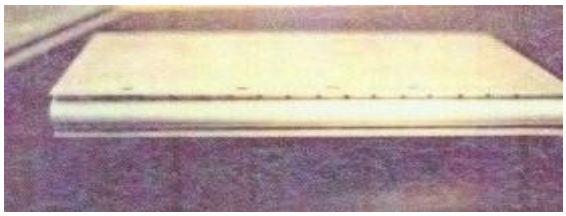
- فایبرگلاس به ضخامت ۱/۲ میلی‌متر
- فیبر استخوانی به ضخامت۱/۲ میلی‌متر
- مایلر به ضخامت ۰/۱۲ میلی‌متر
- فیلم رادیولوژی به ضخامت ۰/۱۸ میلی‌متر

در ساخت لیزر مناسب‌ترین دی‌الکتریک، فیلم رادیولوژی تشخیص داده شده است. برای جلوگیری از جرقه‌های ناخواسته و مخرب، هر دو طرف دی الکتریک به روغن HV آغشته شده است.

از چهار صفحهٔ آلومینیومی به ضخامت ۳میلی‌متر و ابعاد ۲۵×۳۰ سانتی‌متر مربع به‌عنوان چهار الکترود از هشت الکترود مورد نیاز برای چهار خازن مدار برانگیختگی استفاده شده است (شکل۴).

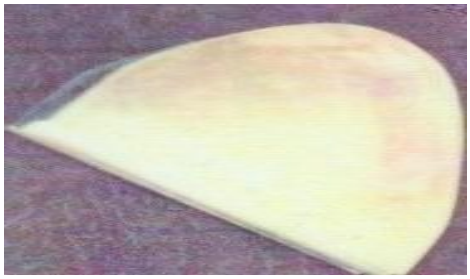
شکل ۴: الکترودهای خازن‌ها

اتصالات الکترودهای خازن و الکترودهای تخلیه باید طوری باشد که هیچ برجستگی ایجاد نشود به همین علت ضخامت ۳میلی‌متر مناسب است (شکل ۵).



شکل ۵: اتصالات الکترودهای خازن و الکترودهای تخلیه

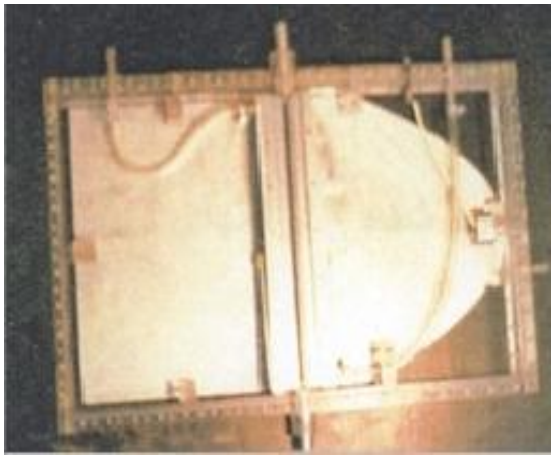
علاوه برآن جهت تنظیم صفحات پیش‌یونش‌کننده که متصل به صفحات خازن‌اند با تعبیهٔ شیارهای مناسبی روی چهار الکترود، سیستم برای فاصله‌های مختلف پیش‌یونش‌کننده در فشارهای مختلف قابلیت تنظیم دارد. لبهٔ صفحات باید گرد باشد تا تخلیه یکنواخت شود. دو صفحه از چهار صفحهٔ آلومینیومی را به‌شکل سهمی ساخته‌ایم (شکل ۶).



شکل ۶: صفحهٔ آلومینیومی خازن به شکل سهمی

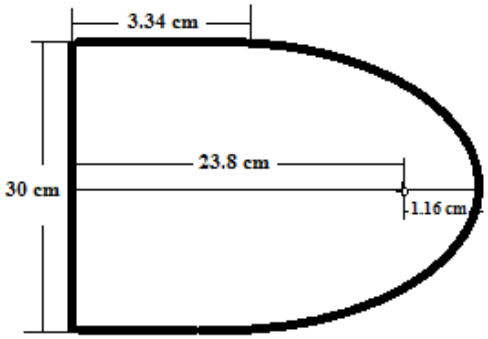
[Downloaded from icml.ir on 2025-12-16]

اگر صفحات به شکل مستطیل باشند، موج پتانسیلی در اثر عمل اسپارک گپ به‌طور همزمان به نقاط مختلف الکترودهای اصلی نمی‌رسد و تخلیهٔ یکنواختی به‌وجود نمی‌آید. به‌علت اینکه سهمی مکان هندسی نقاطی است که فاصلهٔ آن‌ها از یک نقطهٔ الکترود اصلی و یک نقطهٔ کانون سهمی ثابت است، بایستی اسپارک گپ را در کانون سهمی قرار دهیم (شکل ۷).



شکل ۷: کانون در فضای داخلی اسپارک گپ

با توجه به اینکه ابعاد اسپارک گپ باید تا حد مناسب کوچک باشد و با توجه به ابعاد صفحات خازن، کانون مناسب سهمی در حدود ۱/۱۶ سانتی‌متر به‌دست آمده است (شکل ۸).



شکل ۸: کانون مناسب سهمی در حدود ۱/۱۶ سانتی‌متر

بهتر آن است که کانون در فضای داخلی اسپارک گپ باشد چون عمل اسپارک دقیقاً در همین فضا صورت می‌گیرد. شکل پالس به زاویهٔ الکترودهای اصلی وابسته است[۶]. زاویهٔ الکترودهای اصلی بایستی طوری باشد که فاصلهٔ جلوی الکترودها ۴میلی‌متر و عقب الکترودها ۱/۴ میلی‌متر شود [۷]. در این صورت موج تخلیه همراه با انتشار نور لیزر حرکت می‌کند.

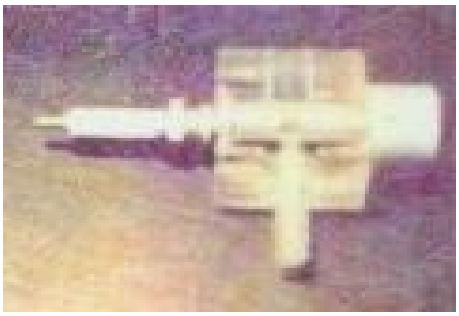
ج) سیستم پیش یونش مناسب:

مطالعات نشان می‌دهد که پیش‌یونش کرونا در طراحی و ساخت لیزرها مناسب‌تر است [۸]. در طراحی الکترودهای چهار خازن مورد نیاز برای تخلیهٔ عرضی دوگانه (هم تخلیهٔ اصلی هم تخلیهٔ پیش یونش کننده)، سیستم پیش یونش مناسب طوری طراحی شده است که UV تابش‌شده از تخلیهٔ کرونای سطحی متوجه مرکز لیزر باشد [۹]. در این صورت الکترون‌ها و یون‌های اولیه برای شروع تخلیهٔ اصلی در سرتاسر فضای داخلی الکترودهای اصلی همزمان ایجاد می‌شود. فاصلهٔ بین الکترودهای پیش‌یونش‌کننده درصورتی‌که فاصلهٔ بین الکترودهای اصلی در حدود ۴ میلی‌متر باشد [۱۰]، باید در حدود ۱۱ میلی‌متر باشد تا توان خروجی ماکزیمم شود [۱۱].

د) اسپارک گپ:

با مطالعهٔ انواع اسپارک‌گپ‌های مورد استفاده، اسپارک‌گپ P-GAP از کارآیی نسبتاً خوبی برخوردار است [۱۲]. این اسپارک‌گپ‌ها نیز بر دو نوع می‌باشند. نمونه‌ای که اسپارک داخل یکی از الکترودهای اسپارک گپ باشد، تخلیهٔ یکنواخت‌تری ایجاد می‌کند.

فشار داخل اسپارک‌گپ در بهترین شرایط باید در حدود ۲ اتمسفر نگه داشته شود [۱۳]. فاصلهٔ بین الکترودهای اسپارک‌گپ نیز در حدود ۳ میلی‌متر گرفته شده است علت این است که تابش ناشی از تغییر میدان در این حالت حذف می‌شود. در این حالت پهنای پالس خروجی بسیار کم است (شکل۹).



شکل ۹: اسپارک گپ

الکترود بزرگ اسپارک گپ در کانون دو الکترود خازن‌های بالایی و پایینی قرار می‌گیرد، الکترود کوچک‌تر که داخل آن الکترود اسپارک تعبیه شده است به صفحات بیرونی خازن‌ها متصل می‌شود.

ه) آینه‌های انعکاسی و پنجرهٔ خروجی:

با استفاده از صفحات ماموت، قرص‌های آلومینیومی به شعاع ۱ سانتی‌متر را کاملاً صیقلی کرده‌ایم تا آینهٔ انعکاسی با ضریب انعکاس نزدیک ۱۰۰درصد ساخته شود (شکل۱۰)[۱۴].

[Downloaded from icml.ir on 2025-12-16]

شکل ۱۰: آینهٔ انعکاسی با ضریب انعکاس نزدیک ۱۰۰درصد

واگرایی و توان خروجی با ضریب عبور پنجرهٔ خروجی رابطهٔ عکس دارد [۱۵]. به‌طور مثال اگر ضریب عبور کاهش یابد توان خروجی و واگرایی نور لیزر افزایش می‌یابد [۱۶]. پنجرهٔ خروجی از جنس لامل میکروسکوپ با ضریب عبور ۵درصد است. درنتیجه واگرایی نور خروجی زیاد است. محل قرار گرفتن آینه و پنجرهٔ خروجی در شکل پالس خروجی و انرژی پالس نیز مؤثر است [۱۷]. هنگامی که فاصلهٔ آینه و پنجرهٔ خروجی تا الکترودها ۵ سانتی‌متر باشد، انرژی خروجی ماکزیمم است این امر در ساخت لیزر نیز رعایت شده است.

در صورتی‌که هیچ مقاومتی به الکترودهای اصلی وصل نشود، در کانال تخلیه جرقه ایجاد می‌شود. زمانی‌که از سیم‌پیچی به طول ۴ سانتی‌متر و تعداد حلقه‌های ۳۵ عدد نیز استفاده شده است همان نتیجه گرفته شده است ولی اگر از مقاومت $1M\Omega$ استفاده شود، تخلیه یکنواخت‌تر و با سرعت بالا اتفاق می‌افتد که علت آن افزایش میرایی نوسان در حلقهٔ لیزر است.

و) بدنهٔ دستگاه:

به علت بررسی عملکرد لیزر در فشارهای مختلف، بدنهٔ پلکسی گلاس به ضخامت ۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۳/۴ سانتی‌متر با طول‌های ۶۴ سانتی‌متر و ۳۱ سانتی‌متر استفاده شده است، شیارهای به عمق ۴ میلی‌متر روی آن تعبیه شده‌اند تا با استفاده از اورینگ پلاستیکی به همین قطر در فشارهای پایین و بالا سیستم ایزوله باشد (شکل ۱۱).

شکل ۱۱: بدنهٔ پلکسی گلاس به ضخامت ۲ سانتی‌متر **و ارتفاع ۳/۴** سانتی‌متر

دو سوراخ برای ورود و خروج گاز به کانال تخلیه و دو سوراخ به قطر ۱۸ میلی‌متر برای نصب آینه‌های انعکاسی روی پلکسی‌های جانبی ایجاد شده است. روی یکی از پلکسی‌های کوچک جانبی یکی از الکترودهای اسپارک‌گپ نصب شده است روی پلکسی جانبی دیگر میله‌هایی برای تنظیم الکترودهای اصلی تخلیه و الکترودهای سیستم پیش‌یونش‌کننده تعبیه شده است.

ز) دستیابی به عمل لیزر در هوا در فشارهای مختلف

با مطالعهٔ تمام پارامترهای مؤثر بر توان خروجی، ابتدا یک لیزر TEA N_2 ساخته شده است. سپس گاز O_2 به لیزر کاملاً بهینه‌سازی شده تزریق شده است. بعد از خاموشی عمل لیزر، پارامترهای مؤثر در افزایش توان خروجی را به‌صورت تجربی تغییر دادیم. سخت‌ترین مرحلهٔ دست‌یابی به عمل لیزر در هوا در فشار اتمسفر است. تنظیم، تغییر و اصلاح پارامترهای مؤثر مثل الکترودهای اصلی و سیستم پیش‌یونش‌کننده، ساختار اسپارک گپ، الکترودها و عایق خازن‌ها و ... وقت و انرژی زیادی برده است.

در نتیجه با صرف زمان زیاد به عمل لیزر در هوا در فشارهای مختلف دست یافته‌ایم.

یافته‌ها

الف) نتایج بررسی تئوری لیزر هوا:

با مطالعهٔ چگالی جمعیت مؤلفه‌های مختلف در تخلیهٔ N_2 می‌توان نتیجه گرفت که یون غالب در تخلیه، یون O_2 می‌باشد. حدود ۵درصد از مولکول‌های O_2 به یون O_2 تبدیل می‌شوند مؤلفهٔ اکسیژن پلاسمای تخلیه را تغییر می‌دهد. غالب شدن یون O_2 باعث افزایش E/N تخلیه می‌شود و عمل پمپ تراز $C3\pi u$ نیتروژن کارآمدتر می‌گردد. برای بررسی علت خاموشی عمل لیزر در اثر اضافه شدن مؤلفهٔ O_2 فرض می‌کنیم که عکس طول عمر تراز $C3\pi u$ در ترکیب N_2+O_2 به‌صورت زیر باشد:

$$1/\tau = K1+K2PN2+ K3\ PO2$$

در صورتی‌که زمان واهلش $1/K3PO2$ از طول عمر تراز در غیاب مؤلفهٔ O_2 یعنی $1/(K1+K2\ PN2)$ کوچک‌تر باشد، واهلش در هنگام عمل لیزر در کاهش جمعیت تراز مؤثر خواهد بود.

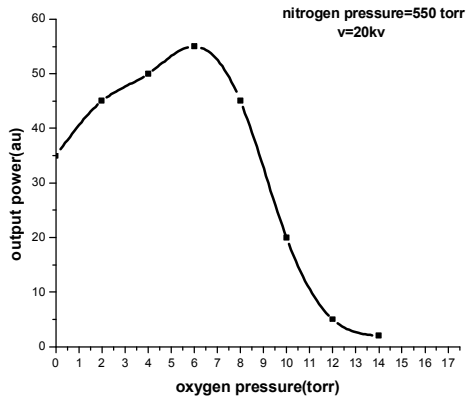
$$Po2 \geq (k1+PK2)/\ (K2+K3)$$

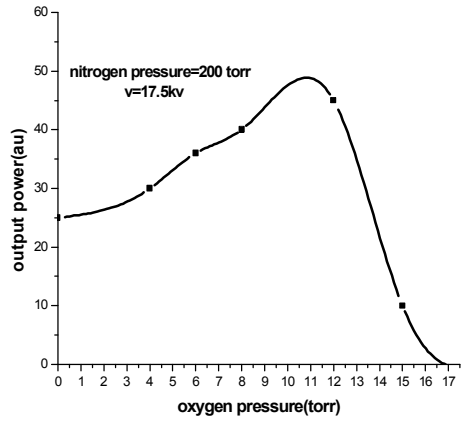
به‌طورمثال در فشار $P=760torr$ و با استفاده از مقادیر K1, K2, K3 داریم. $Po2 \geq 35\ torr$ در نتیجه اگر درصد گاز O_2 در ترکیب بیشتر از $(Po2/P) =\%3$ باشد، عمل لیزر در اثر اضافه شدن O_2 خاموش خواهد شد [۱۸].

ب) نتایج بررسی عملی لیزر هوا:

نمودارهای به‌دست آمدهٔ زیر نشان می‌دهد که با افزایش درصد اکسیژن، عمل لیزر کاملاً متوقف می‌گردد (شکل۱۲).

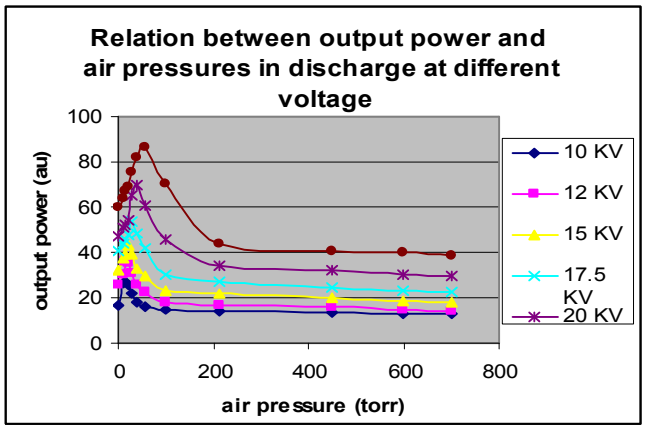
[Downloaded from icml.ir on 2025-12-16]





شکل ۱۲: اثر اکسیژن بر خروجی لیزر

توان خروجی لیزر هوا بر حسب فشار هوا در ولتاژهای مختلف به‌صورت زیر است (شکل ۱۳).



شکل ۱۳: رابطهٔ بین توان خروجی و فشار هوا در ولتاژهای مختلف

بحث و نتیجه گیری

هوا ترکیبی از گازهای مختلف است. ممکن است که از هوا به‌عنوان مادهٔ فعال لیزری استفادهٔ زیادی به‌عمل آید به‌علت اینکه در حدود ۷۴ درصد هوا را گاز نیتروژن تشکیل می‌دهد. ولی لیزرهای نیتروژن نسبت به حضور گاز اکسیژن در محیط فعال بسیار حساس‌اند. با مطالعهٔ پارامترهای حساس در ساختار لیزرهای نیتروژن و اصلاح آن‌ها به عمل لیزر در هوا و در فشارهای مختلف خصوصاً در فشار هوا دست یافته‌ایم. لیزر TEA Air ساخته‌شده کاربردهای زیادی در پزشکی و علوم دیگر دارد.

References

1. Knyazev I, Letskhov V, Moushev V. TEA N2 W laser with reduced spectra. Opt Commun 1973; 6: 250-2.
2. Santa I, Kozma L, Nemeth B, Helbling J, Gorbal M. Experimental and theoretical investigation of a traveling wave exited TEA Nitrogen laser. LEEE J Quantum Electronics 1986; 22: 2174- 80.
3. Cubeddu R, Desilvestri S. A simple and reliable atmospheric pressure nitrogen laser. Opt Quant Elect 1979; 11: 276-81.
4. Neukum J, Heber J, Haschka H, Umhofer, Strobel U, Xiao T. A compact nitrogen laser for long- term stable operation Meas. Sci Techno 1992; 3: 1198-203.
5. Vazwuez A, Martine Z, Abaites V. High- Efficiency Low-Pressure Blumlein. Nitrogen Laser IEEE J Quant Electr 1993; 29: 2364.
6. Santa I, Racz B, Kozma L, Nemet B, Actauniv, Szeged. Investigations of uv TEA N2 lasers. Acta Phys Chem 1978; 24: 395-403.
7. Sonin A, Batygov A. Simple TEA ultraviolet traveling-wave nitrogen laser. Sov J Quantum Electron 1988; 18: 316-21.

[Downloaded from icml.ir on 2025-12-16]

8. Bergmann V, Hasson H, Gain V. Fluorescence and energy extraction characteristics of photostabilised atmospheric pressure UV nitrogen lasers. J Phys D Appl Phys 1978; 11: 2341-7.
9. Tarasenko V, Fedorov A, Bychkov Y, Highpower I. Nitrogen laser. Sov J Quantum Electron 1974; 4: 674-9.
10. Mcfarlaane R. Precision spectroscopy of new infrared emission system of molecular nitrogen IEEE J Quant Electron 1966; 2: 229.
11. Vazquez, Martinez A, Abaites V. High-efficiency low-pressure Blumlein nitrogen laser. IEEE J Quant Electr 1993; 29: 2364-71.
12. Chingusa I. A Two-Stage Spark Gap for Blumlein-Driven Transversely Excited Atmospheric Nitrogen Laser. IEEE J Quant Etectron 1982; 18: 423-8.
13. Basting D, Schafer FP, Steyer B. A simple, high power nitrogen laser. Opto-Electro 1972; 4: 43-9.
14. Bergmann V, Penderis H, Miniaturized A. Atmospheric pressure nitrogen laser. J Phys E SciInstrums 1977; 10: 602-9.
15. Bergmann H. Sealed- off, miniature, high-power nitrogen laser. J Phys E Sci Instrums 1977; 10: 1210.
16. Baranov S, Bystritski V, Kozhevnikov A, Sulakshin S. Investigation of an Ar–N2 laser pumped by an intense proton beam. Sov J Quant Electron 1982; 12: 244-8.
17. Leonard D. Airborne laser development. Avco Ressearch Repert 1970; 362: 198-205.
18. Bergmann V, Hasson H, Preussler D. Pulsed corona excitation of high-power uv nitrogen lasers at pressures of 0-3 bar. Appl Phys Lett 1975; 21: 553.

[Downloaded from icml.ir on 2025-12-16]