

ساخت و بهینه سازی لیزر هوا جهت کاربردهای پزشکی

خلاصه

زمینه و هدف: لیزرهای نیتروژن در پزشکی کاربردهای زیادی دارند. نیتروژن مورد استفاده در این لیزرهای پزشکی در بالای داشته باشد. استفاده از هوا بعنوان ماده فعال لیزر بعلت سهم تقریباً ۷۵ درصدی نیتروژن در آن وسوسه برانگیز است. در صورت امکان دستیابی به عمل لیزر در هوا، کاربردهای زیاد و گسترده‌ای از آن بعلت ارزان و در دسترس بودن هوا در ایران و جهان خواهد شد. در این مقاله سعی بر این است که امکان دستیابی به عمل لیزر در هوا بصورت تئوری و عملی بررسی شود. این لیزر که بعنوان لیزر هوا معروفی می‌شود. در درمان بیماری‌های غدد لنفاوی و سینوس‌ها و راهاندازی لیزر رنگ برای درمان ضایعات عروقی، درمان لیزری سطح پایین (LLLT)، سل چندگانه مقاوم در برابر داروی ریوی، اثرات بیولوژیکی تزریقات داخل پریدی، افزایش فعالیت بیوسایدی نوتروفیل‌های انسانی در باکتری‌های داخلی، مهار رشد میکروب‌ها در شرایط آزمایشگاهی، تغییر رشد کاندیدا آلبیکانس، مرگ برنامه‌ریزی شده گلوبول‌های سفید چندسته‌ای و فعالیت سلول‌های بیگانه خوار بزرگترین گلوبول سفید در جریان خون و ... کاربرد خواهد داشت.

روش بررسی: ابتدا انواع لیزرهای نیتروژن مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس عوامل مؤثر در توان خروجی آنها شناسایی می‌شود. با بهینه سازی پارامترهای مؤثر، لیزر نیتروژن کارآمدی ساخته می‌شود. در این مرحله اکسیژن را به لیزر نیتروژن کاملاً بهینه شده تزریق کرده و رفتار توان خروجی مورد بررسی قرار می‌گیرد. با تغییر عوامل مؤثر در توان خروجی لیزر نیتروژن کاملاً بهینه شده، سعی می‌شود که در درصدهای بالای اکسیژن عمل لیزر در نیتروژن مشاهده شود. در این حالت هوا به لیزر تزریق می‌شود. با تغییر مجدد پارامترهای لیزر سعی می‌شود که در فشارهای مختلف هوا، عمل لیزر در هوا مشاهده شود.

یافته‌ها: با مطالعه تمام پارامترهای مؤثر بر توان خروجی لیزر نیتروژن و اعمال آنها، لیزر هوایی ساخته شده است که در فشار هوا و طول موج ۳۳۷nm بصورت پالسی کار می‌کند. علت خاموشی لیزر نیتروژن در اثر اضافه شدن مؤلفه O₂ بصورت تئوری و عملی بررسی شده و فشار خاموشی P_{O₂} بصورت تابعی از P_{N₂} بدست آمده است. در درصدهای خیلی کم O₂ علت افزایش توان خروجی نیز محاسبه گردیده است.

نتیجه گیری: با بهینه سازی و تغییر پارامترهای لیزرهای نیتروژن، لیزر هوایی ساخته شده از هوا در فشارهای کمتر، مساوی و بیشتر از فشار هوا کار می‌کند، این لیزر در پزشکی کاربردهای زیادی خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: لیزر هوا، اثر اکسیژن

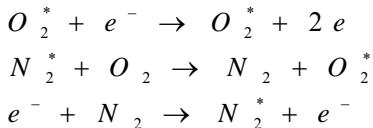
محمد رضا رضائی^۱
علیرضا بهرام پور^۲

^۱بخش فیزیک، دانشکده شهید چمران کرمان
^۲دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان

نویسنده مسئول: محمد رضا رضائی، کرمان، خیابان گلبدشت، کوچه ۷۶۱۷۶۴۹۸۹، پلاک ۱۹، کد پستی: ۷۶۱۷۶۴۹۸۹
تلفن: ۰۹۱۳۳۴۲۵۹۳۸ - ۳۴۴ - ۳۲۲ - ۴۴۴
پست الکترونیک: mohamadreza45@gmail.com

مقدمه

مرز ۵٪ عمل لیزر متوقف می‌گردد [۲]. در فشارهای ۵۰ torr و ۴۰ و ۳۰ اگر درصد اکسیژن به ترتیب ۰٪ ۲۵ و ۱۵٪ و ۵٪ باشد اثری خروجی ماکریم می‌گردد و با عبور از این درصدها عمل لیزر متوقف می‌گردد. برای بررسی علت این امر با مطالعه چگالی جمعیت مؤلفه‌های مختلف در تخلیه N₂+O₂ می‌توان نتیجه گرفت که یون غالب در تخلیه، یون می‌باشد یون‌های N⁺ و N₂⁺ در رتبه‌های بعدی قرار دارند [۳]. غالب شدن یون N₂⁺ ناشی از فرآیند سه مرحله‌ای زیر است.



امکان دستیابی به عمل لیزر در هوا در فشارهای کمتر از ۵۰ torr و با توان خروجی خیلی کم گزارش شده است [۱]. ولی تاکنون هیچ گزارشی از دست یابی به عمل لیزر در فشار آتمسفر منتشر نشده است. هوا مخلوطی از گازهای اکسیژن ۲۳٪، نیتروژن ۷۵٪ و گازهای دیگر است. به علت ساخته شدن لیزر نیتروژن در فشار هوا بنظر می‌رسد که مؤلفه اکسیژن نقش مهمی در عدم دسترسی به عمل لیزر در فشارهای پیشتر از ۵۰ torr دارد. اثر اکسیژن بر لیزر N₂ TEA را به صورت تئوری و تجربی مورد بررسی قرار داده ایم.

نتایج بررسی تئوری

اگر در فشار ۶۷۵ torr لیزر نیتروژن درصد اکسیژن از ۱ تا ۰٪ تغییر کند توان خروجی به میزان ۰٪ افزایش می‌یابد و با عبور از

ساخت و بینیه سازی لیزر هوا جهت کاربردهای پزشکی

$$P_{O_2} > \frac{K_1 + PK_2}{K_2 + K_3}$$

به طور مثال در فشار $P=760\text{torr}$ و با استفاده از مقادیر K_1, K_2, K_3 [۵] داریم.

$$P_{O_2} > 35\text{torr}$$

در نتیجه اگر درصد گاز O_2 در ترکیب بیشتر از $\frac{P_{O_2}}{P} = \frac{35}{760} \approx 3\%$ باشد عمل لیزر در اثر اضافه شدن O_2 خاموش خواهد شد، چون تراز $C^3\pi_u$ واهلش شدیدی از خود نشان می‌دهد.

این بررسی تئوری مطابق با نتایج عملی [۶] می‌باشد.

با مطالعه تراز $B^3\pi_g$ و محاسبه مقدار ثابت آهنگ کاهش برانگیختگی این تراز و در فشار ۷۶۰ torr، در صورتی واهلش تراز $B^3\pi_g$ اتفاق می‌افتد که $P_{O_2} > 79 \text{ torr}$ باشد.

در نتیجه در فشارهای خیلی کم اکسیژن، اکسیژن توان خروجی را به علت غالب شدن یون‌های O_2^+ افزایش می‌یابد در فشارهای بالاتر اکسیژن ابتدا واهلش تراز $C^3\pi_u$ و سپس واهلش تراز $B^3\pi_g$ عمل لیزر را متوقف می‌کند با رسم P_{O_2} بر حسب P_{N_2} در شرایط مرزی

$$P_{O_2} = \frac{K_1 + PK_2}{K_2 + K_3} = \frac{K_1 + K_2 P_{N_2}}{K_3}$$

می‌بینیم که در ناحیه کوچکتر از P_{O_2} مرزی تخلیه بصورت گلو، در نواحی مرزی بصورت گلوی تقویت شده (که باعث افزایش توان خروجی می‌شود) و در ناحیه بیشتر از مقدار P_{O_2} مرزی گلو به جرقه تبدیل شده و شدت واهلش افزایش می‌یابد.

نتایج بررسی عملی

با مطالعه انواع لیزرهای نیتروژن، لیزر N_2 را مورد بررسی دقیق قرار داده و تمام پارامترهای مؤثر بر توان خروجی را تأثیر داده ایم، پارامترهای از قبیل:

۱-وابستگی انرژی خروجی به:

(a) طول الکترودهای تخلیه [۷].

(b) فاصله الکترودها [۸].

(c) آهنگ تکرار [۹].

(d) ضریب انعکاس پنجره خروجی [۱۰].

(e) محل قرار گرفتن آینه و پنجره خروجی [۱۱].

(f) زاویه بین الکترودهای اصلی [۱۲].

۲-انتخاب مناسب شارش گاز از فضای بین الکترودها [۱۳].

۳-قطر و تعداد سوراخ‌های کانال تخلیه [۱۴].

۴-کاهش واگرایی خروجی [۱۵].

۵-وابستگی شکل پالس به زاویه بین الکترودها [۱۶].

احتمال تولید مستقیم یون O_2^+ در اثر برخورد مستقیم الکترون حدود $\frac{1}{20}$ فرآیند سه مرحله‌ای بالاست [۴]. بعلت اینکه حدود ۵٪ از

ملکول‌های O_2 به O_2^+ تبدیل می‌شوند مؤلفه اکسیژن پلاسمای E/N تخلیه را تغییر می‌دهد [۴]. غالب شدن یون O_2^+ باعث افزایش $C^3\pi_u$ نیتروژن کارآمدتر می‌شود [۴] و همچنین اثر خیلی مهمی بر مشخصات ولتاژ و جریان تخلیه می‌گذارد. برای اینکه این اثر را مورد مطالعه قرار دهیم فرض می‌کنیم که فرآیندهای یونیزاسیون و ترکیب مجدد فرآیندهای موجود برای تولید و کاهش الکترون‌ها باشند. با نوشتند معادله حاکم بر تغییرات چگالی الکترون‌ها نسبت به زمان و در حالت تعادل پایدار نسبت چگالی یون‌های مثبت در حضور مؤلفه اکسیژن و در غیاب مؤلفه اکسیژن برابر است با:

$$R = \frac{[\text{ion}^+]}{[\text{ion}^+]^{N_2 + O_2}} = \frac{E^{(N_2 + O_2)}}{E^{N_2}} = (1 + ax)(1 - b)$$

$$a = \frac{K'_{\text{ion}}}{K'_{\text{ion}}}, \quad b = \frac{K'}{K_r + K''}, \quad x = \frac{[O_2]}{[N_2]}$$

ضرایب a, b تابعی از ضرایب یونیزاسیون اکسیژن و نیتروژن $(K_{\text{ion}}, K_{\text{ion}}^1)$ و ضرایب ترکیب مجدد اتم نیتروژن، مولکول نیتروژن و اکسیژن می‌باشد (K_r, K_r^1, K_r^Π) . با تغییر درصد O_2 در صورتیکه $R > 1$ باشد توان خروجی در اثر افزایش E/N تخلیه افزایش می‌یابد در نتیجه:

$$(1 + ax)(1 - b) > 1$$

$$x = \frac{[O_2]}{[N_2]} > b/a \approx 0.3\%$$

با افزایش درصد اکسیژن به بیشتر از مقدار بالا توان خروجی افزایش می‌یابد.

حال برای بررسی علت خاموشی عمل لیزر در اثر اضافه شدن درصد O_2 به بیشتر از مقدار بالا فرض می‌کنیم که عکس طول عمر $N_2 + O_2$ بصورت زیر باشد.

$$\frac{1}{\tau} = K_1 + K_2 P_{N_2} + K_3 P_{O_2}, \quad P = P_{O_2} + P_{N_2}$$

مقادیر K_1, K_2, K_3 مشخص است [۸]. در غیاب مؤلفه O_2 عکس

طول عمر تراز $C^3\pi_u$ برابر است با

$$\frac{1}{\tau} = K_1 + K_2 P_{N_2}$$

در صورتیکه زمان واهلش $\frac{1}{K_3 PO_2}$ از طول عمر تراز $C^3\pi_u$ در

غیاب مؤلفه O_2 کوچکتر باشد، واهلش در هنگام عمل لیزر در کاهش جمعیت تراز $C^3\pi_u$ موثر خواهد بود.

با ترکیب معادلات بالا می‌توان نتیجه زیر را گرفت:

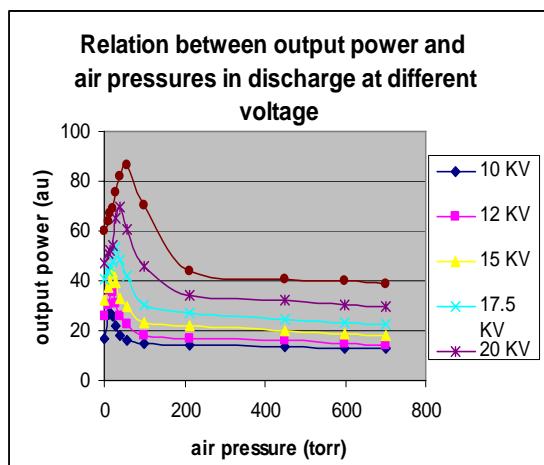
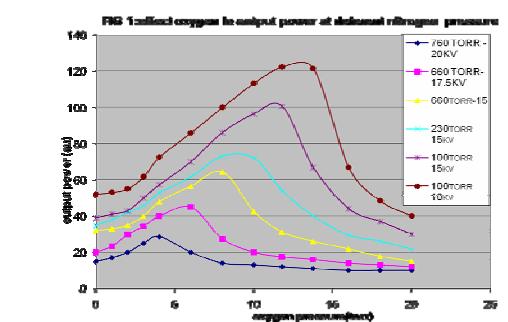
$$\frac{1}{K_2 Po_2} < \frac{1}{K_1 + K_2 P_{N_2}}$$

توان خروجی لیزر هوای ساخته شده بر حسب فشار هوا در شکل شماره (۲) رسم شده است.

V/torr.Cm نسبت E/P مناسب برای لیزرهای نیتروژن در حدود ۸۰-۱۲۰ گزارش شده است. در لیزر هوای ساخته شده این نسبت برابر است با:

$$E / P = \frac{\tan \alpha}{d} = \frac{7 / 5 * 1000}{200 * 4 * 10^{-1}} = 92 .5 V / Cm . torr$$

بنابراین با افزایش ولتاژ می توان در فشارهای بالاتر از فشار هوا نیز به عمل لیزر در هوا دست یافت.



شکل ۲- a) اثر اکسیژن بر توان خروجی لیزر هوا b) توان خروجی بر حسب فشار هوا

۶- تبدیل تخلیه کرونا به گلو و ایجاد تخلیه کرونای پیش یونش کننده [۱۷].

۷- اثر فشار بر پهنهای پالس [۱۸].

۸- فاصله الکترودها تیز تا الکترودهای دیگر [۱۹].

۹- سیستم های پیش یونش کننده [۲۰].

۱۰- برای از بین بردن یونیزاسیون باقی مانده، جریان گاز را در کانال تخلیه، عرضی در نظر گرفتیم.

۱۱- الکترودهای اصلی که برای ساخت آنها وقت زیادی صرف شده است (نزدیک ۲ سال) [۲۱].

۱۲- آینه های انعکاسی از جنس آلومینیوم.

۱۳- بدنه از جنس پلاکسی گلاس به ضخامت ۲cm.

۱۴- پنجره خروجی از جنس کوارتز [۲۲].

۱۵- جلوگیری از تولید جرقه با تغییر مقاومت اصلی.

۱۶- اسپارک گپ از نوع P-gup می باشد و وقت زیادی برای طراحی آن صرف شده است [۲۳].

۱۷- مناسب ترین دی الکتریک، فیلم رادیولوژی آگسته به روغن HV.

۱۸- مناسب ترین شکل صفحات خازن برای تخلیه یکنواخت صفحات بیضی شکل است.

شمایتیکی از لیزر هوا بصورت زیر است (شکل شماره ۱).



شکل ۱- شماتیکی از لیزر هوا (a)، صفحه بالایی خازن (b)، دی الکتریک (c)، سیستم پیش یونش کننده (f)، اسپارک گپ (d)، اسپارک گپ (e)، صفحات پایینی خازن (f)، سیستم پیش

برای دست یابی به عمل لیزر در هوا ابتدا O₂ را به لیزر TEA N₂ کاملاً بهینه سازی شده تزریق کرده ایم و نمودارهای زیر حاصل شده است (شکل شماره ۱). بعد از خاموشی عمل لیزر پارامترهای مؤثر در افزایش توان خروجی را به صورت تجربی تغییر دادیم. سخت ترین مرحله دست یابی به عمل لیزر در هوا در فشار اتمسفر بود که تنظیم، تغییر و اصلاح پارامترهای مؤثر وقت و انرژی روحی زیادی برده است.

منابع

- Willett C. S, Litynski D. M. Power increase of N₂ UV and IR lasers by addition Of SF₆. Applied Physics Letters 1975; 26(1): 118-20.
- Kunabench R.S, Gorbal M.R, Savadatti M.I. Simple nitrogen laser. Am J Appl Phys 1982; 5(6): 568.
- Von Bergmann H, Hasson V, Preussler D. Pulsed corona excitation of high-power uv nitrogen lasers at pressures of 0-3 bar. Appl Phys Lett 1975; 21(10): 553.
- Christohorou L.G. Electron-molecule Interactions and Their Applications. Academic press London 1983; 2: 1-400.
- Itikawa Y, Hayashi M, Ichimura A, Onda K, Sakimoto K, Takayanagi K, Nakamura M, Nishimura H, Takayanagi T. Cross Sections for Collisions of Electrons and Photons with Nitrogen Molecules. J Phys Chem Ref 1986; 15 (3): 985-1010.

6. Phelps A.V. Tabulations of Collision Cross Sections and Calculated Transport and Reaction Coefficients for Electron Collisions with O₂. JILA Report Number 28, University of Colorado, Boulder, CO 1985
7. Millet P, Salamero Y, Brunet H, Galy j, Blanc D, Teyssier J. L. De-excitation of N₂ (C₃πu; v'=0 and 1) levels in mixtures of oxygen and nitrogen. *J Chem Phys* 1973; 58(12):1423-7.
8. Mcfarlane R.A, IEEE J. 4B7-precision spectroscopy of new infrared emission systems of molecular nitrogen. *QE Electron* 1966; 2 (8) :229-232
9. Tarasenko V.F, Fedorov A.I, Bychkov Yu. I. High-power nitrogen laser. *Sov J Quantum Electron* 1974; 4(5): 674-9.
10. IMRE Santa, Laszlo Kozma Bela Nemeth, Janos Helbling and M.R. Gorbal. Experimental and theoretical investigation of a traveling wave excited TEA Nitrogen laser. *Ieee J Quantum electronic* 1986; 22(11): 2174 - 80
11. Von Bergmann H, Penderis A.J. Miniaturized atmospheric pressure nitrogen laser. *J Phys E Sci Instrums* 1977; 10: 602-9.
12. Vazquez Martinez A, Abaites V. High-efficiency low-pressure Blumlein nitrogen laser. *IEEE J Quant Electr* 1993; 29(8): 2364-71.
13. Silvana Vianna R, Wolfram B. A small rugged nitrogen laser for instrumentation. *Review of Scientific Instruments* 1993; 64(1): 63-70.
14. Cubeddu R, Desilvestri S. A simple and reliable atmospheric pressure nitrogen laser. *Opt Quant Elect* 1979; 11: 276-81.
15. Baby T, Ramachandran T, Sathianandan K, Nampoori V.P.N, Allabhan C.P.G. High power N₂ laser with a modified gas flow system and discharge geometry. *Review of Scientific Instruments* 1991; 62(9): 2076-9.
16. Neukum J, Heber J, Haschka H-J, Umhofer-Strobel U, Tang Xiao. A compact nitrogen laser for long-term stable operation. *Meas Sci Technol* 1992; 3:1198-203.
17. Baranov S.V, Bystritskii V.M, Kozhevnikov A.V, Sulakshin S.S. Investigation of an Ar-N₂ laser pumped by an intense proton beam. *Sov J Quant Electron* 1982; 12:244-8.
18. Santa I, Racz B, Kozma L, Nemet B, Actauniv, Szeged. Investigations of uv TEA N₂ lasers. *Acta Phys Chem* 1978; 24:395-403.
19. Von Bergmann H.M, Hasson V. Gain, fluorescence and energy extraction characteristics of photostabilised atmospheric pressure UV nitrogen lasers. *J Phys D Appl Phys* 1978; 11:2341-7.
20. Basting D, Schafer F.P, Steyer B. A simple, high power nitrogen laser. *Opto-Electro* 1972; 4:43-9.
21. Leonard D.A. Airborne laser development. *Avco Ressearch Repert* 1970; 362: 198-205.
22. Dufour M, Egger H, Seelig W. High beam-quality TEA lasers. *Optics Communications* 1976; 19: 334-8.
23. Majumder S.K, Ghosh N; Gupta P.K. N₂ laser excited autofluorescence spectroscopy of formalin-fixed human breast tissue. *Photobiology Biology* 2005; 81(1): 33-42.
24. Chingusa, Iwasaki. A Two-Stage Spark Gap for Blumlein-Driven Transversely Excited Atmospheric Nitrogen Laser. *IEEE J Quant Etection* 1982; QE-18 (3): 423-8.
25. Bajpai A, Bhargava S, Gupta PK, Jain NK. A study of low-level nitrogen laser therapy in the treatment of non-responding tubercular lymphadenopathy and sinuses. *Indian J Tuberc* 2006; 53:229-31.
26. Tahra M. Leheta. Role of the 585-nm pulsed dye laser in the treatment of acne in comparison with other topical therapeutic modalities. *Journal of Cosmetic and Laser Therapy* 2009; 11(2): 118-124
27. Alok Dube, Jayasankar K, Prabakaran L, Kumar V, Gupta P. K. Nitrogen laser irradiation (337 nm) causes temporary inactivation of clinical isolates of *Mycobacterium tuberculosis*. *Lasers in Medical Science* 2004; 19(1): 52-6.
28. Singh HMP. Low Level Laser Therapy (LLLT) With Nitrogen and Helium Neon Lasers in Multiple Drug Resistant Pulmonary Tuberculosis: A Preliminary Study, *Laser Ther* 1997; 9(4):173-180.
29. Puri MM, Myneedu VP, Jain RC. Nitrogen and Helium-Neon Laser Therapy in the Treatment of Drug-Resistant Pulmonary Tuberculosis. *Laser Therapy* 1995; 7(3):19-23
30. Bhagwanani NS, Bhatia GC, Sharma N. Low level nitrogen laser therapy in pulmonary tuberculosis. *Journal of Clinical Laser Medicine and Surgery* 1996; 14(1):23-5.
31. Provorov A. S, Kozhevnikova, T. A, Salmin V.V. Influence of UV Laser Radiation on the Main Subpopulations of the T-Lymphocytes. *Laser Physics* 2001; 11(11): 1212-6.
32. Sachdeva R, Bhagwanani N.S. The Biological Effect of Intravenous Nitrogen Laser Irradiation in an Experimental Rabbit Model. *Laser Ther* 1997; 9: 73- 8.

33. Sachdeva R, Bhagwanani N.S, Chitnis D.S. Low Incident Energy Levels of the Nitrogen Laser Enhances the Biocidal Activity of Human Neutrophils on Internalized Bacteria: An In Vitro Study. *Laser Ther* 1995; 7(3).122-127
34. Sachdeva R, Bhagwanani NS, Chitnis DS. The Nitrogen Laser Inhibits the Growth of Wide Range of Microbes in Vitro. *Laser Therapy* 1995; 7(1).31-36
35. Chen N. C. Effects of Nitrogen Laser Irradiation and Psoralen Phototoxicity on the Growth of *Candida Albicans*. *Laser Therapy* 1990; 2(2).21-25
36. Nanda Hemvani, Dhananjay Sadashiv Chitnis, Mini George, Shobha Chammania. In Vitro Effect of Nitrogen and He-Ne Laser on the Apoptosis of Human Polymorphonuclear Cells from Burn Cases and Healthy Volunteers. *Photomedicine and Laser Surgery* 2005; 23(5): 476-9.
37. Nanda Hemvani, Dhananjay Sadashiv Chitnis, Nijram Satramdas Bhagwanani. Helium-Neon and Nitrogen Laser Irradiation Accelerates the Phagocytic Activity of Human Monocytes. *Photomedicine and Laser Surgery* 2005; 23(6): 571-4.