معرفی مورد

لیزرپزشکی؛ ۱۳۸۹، دوره ۷، شماره ۱، صفحات: ۴۰-۳۶.

ساخت و بهینه سازی لیزر هوا جهت کاربردهای پزشکی

محمدرضا رضائی [۱]
علیرضا بهرام پور [۲]

[۱]بخش فیزیک، دانشکده شهید چمران کرمان
[۲]دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان

خلاصه

زمینه و هدف: لیزرهای نیتروژن در پزشکی کاربردهای زیادی دارند. نیتروژن مورد استفاده در این لیزرها باید درصد خلوص بالایی 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 گسترده ای 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 معرفی 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 وریدی، افزایش فعالیت بیوسایدی نوتروفیل‌های انسانی در باکتری‌های داخلی، مهار رشد میکروب‌ها در شرایط آزمایشگاهی، تغییر رشد کاندیدا آلبیکانس، مرگ برنامه‌ریزی شده گلبول‌های سفید چندهسته‌ای و فعالیت سلول‌های بیگانه خوار بزرگترین گلبول 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.

یافته ها: با مطالعه تمام پارامترهای مؤثر بر توان خروجی لیزر نیتروژن و اعمال آنها، لیزر هوائی ساخته شده است که در فشار هوا و طول موج ۳۳۷nm بصورت پالسی کار می کند. علت خاموشی لیزر نیتروژن در اثر اضافه شدن مؤلفه O_2 بصورت تئوری و عملی بررسی شده و فشار خاموشی P_{O_2} بصورت تابعی از P_{N_2} بدست آمده است. در درصدهای خیلی کم O_2 علت افزایش توان خروجی نیز محاسبه گردیده است.

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

واژه های کلیدی: لیزر هوا، اثر اکسیژن

نویسنده مسئول: محمدرضا رضائی، کرمان، خیابان گلدشت،کوچه ۴۸، پلاک ۱۹، کدپستی: ۷۶۱۷۶۳۳۹۸۹
تلفن: ۳۲۲۰۴۴۴ - ۰۳۴۱ - ۰۹۱۳۳۴۲۵۹۳۸
پست الکترونیک: mohamadreza45@gmail.com

مقدمه

امکان دستیابی به عمل لیزر در هوا در فشارهای کمتر از ۵۰torr و با توان خروجی خیلی کم گزارش شده است [۱]. ولی تاکنون هیچ گزارشی ار 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 می رسد که مؤلفه اکسیژن نقش مهمی در عدم دسترسی به عمل لیزر در فشارهای بیشتر از ۵۰torr دارد. اثر اکسیژن بر لیزر TEA N_2 را به صورت تئوری و تجربی مورد بررسی قرار داده ایم.

نتایج بررسی تئوری

اگر در فشار ۶۷۵torr لیزر نیتروژن درصد اکسیژن از ۱ تا ۰/۳٪ تغییر کند توان خروجی به میزان ۵۰٪ افزایش می یابد و با عبور از مرز ۵٪ عمل لیزر متوقف می گردد [۲]. در فشارهای ۵۰torr و ۴۰ و ۳۰ اگر درصد اکسیژن به ترتیب ۲۵٪ و ۱۵٪ و ۵٪ باشد انرژی خروجی ماکزیمم می‌گردد و با عبور از این درصدها عمل لیزر متوقف می‌گردد. برای بررسی علت این امر با مطالعه چگالی جمعیت مؤلفه‌های مختلف در تخلیه N_2+O_2 می توان نتیجه گرفت که یون غالب در تخلیه، یون O_2^+ می‌باشد یون‌های +N و N_2^+ در رتبه‌های بعدی قرار دارند [۳]. غالب شدن یون O_2^+ ناشی از فرآیند سه مرحله‌ای زیر است.

$$O_2^* + e^- \rightarrow O_2^* + 2e$$
$$N_2^* + O_2 \rightarrow N_2 + O_2^*$$
$$e^- + N_2 \rightarrow N_2^* + e^-$$

[Downloaded from icml.ir on 2026-10-31]

احتمال تولید مستقیم یون O_2^+ در اثر برخورد مستقیم الکترون حدود $\frac{1}{20}$فرآیند سه مرحله ای بالاست [۴]. بعلت اینکه حدود ۵٪ از ملکول‌های O_2 به O_2^+ تبدیل می شوند مولفه اکسیژن پلاسمای تخلیه را تغییر می دهد [۴]. غالب شدن یون O_2^+ باعث افزایش E/N تخلیه شده و عمل پمپ تراز $C^3\pi_u$ نیتروژن کارآمدتر می شود [۴] و همچنین اثر خیلی مهمی بر مشخصات ولتاژ و جریان تخلیه می‌گذارد. برای اینکه این اثر را مورد مطالعه قرار دهیم فرض می کنیم که فرآیندهای یونیزاسیون و ترکیب مجدد فرآیندهای موجود برای تولید و کاهش الکترون‌ها باشند. با نوشتن 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:

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

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

ضرایب a,b تابعی از ضرایب یونیزاسیون اکسیژن و نیتروژن (K_{ion}, K^1_{ion}) و ضرایب ترکیب مجدد اتم نیتروژن، مولکول نیتروژن و اکسیژن می باشد (K_r, K^I_r, K^{II}_r). با تغییر درصد O_2 در صورتیکه R>1 باشد توان خروجی در اثر افزایش E/N تخلیه افزایش می یابد در نتیجه:

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

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

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

حال برای بررسی علت خاموشی عمل لیزر در اثر اضافه شدن درصد O_2 به بیشتر از مقدار بالا فرض می کنیم که عکس طول عمر تراز $C^3\pi_u$ در ترکیب N_2+O_2 بصورت زیر باشد.

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

مقادیر K1,K2,K3 مشخص است[۸]. در غیاب مؤلفه O_2 عکس طول عمر تراز $C^3\pi_u$ برابر است با

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

در صورتیکه زمان واهلش $\frac{1}{K_3 P O_2}$ 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 می توان نتیجه زیر را گرفت:

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

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

به طور مثال در فشار P=760torr و با استفاده از مقادیر K1,K2,K3 [۵] داریم.

$$P_{O_2} > 35torr$$

در نتیجه اگر درصد گاز O_2 در ترکیب بیشتر از $\frac{P_{O2}}{P} = \frac{35}{760} \cong 3\%$ باشد عمل لیزر در اثر اضافه شدن O_2 خاموش خواهد شد، چون تراز $C^3\pi_u$ واهلش شدیدی از خود نشان می دهد. این بررسی تئوری مطابق با نتایج عملی [۶] می باشد.

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 می افتد که $P_{o2} > 79$ torr باشد.

در نتیجه در فشارهای خیلی کم اکسیژن، اکسیژن توان خروجی را به علت غالب شدن یون‌های O_2^+افزایش می یابد در فشارهای بالاتر اکسیژن ابتدا واهلش تراز $C^3\pi_u$ و سپس واهلش تراز $B^3\pi_g$ عمل لیزر را متوقف می کند با رسم P_{O2} بر حسب P_{N2} در شرایط مرزی

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

می بینیم که در ناحیه کوچکتر از P_{O2} مرزی تخلیه بصورت گلو، در نواحی مرزی بصورت گلوی تقویت شده (که باعث افزایش توان خروجی می شود) و در ناحیه بیشتر از مقدار P_{O2} مرزی گلو به جرقه تبدیل شده و شدت واهلش افزایش می یابد.

نتایج بررسی عملی

با مطالعه انواع لیزرهای نیتروژن، لیزر TEA 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 سوراخ های کانال تخلیه [۱۴].
۴- کاهش واگرائی خروجی [۱۵].
۵- وابستگی شکل پالس به زاویه بین الکترودها [۱۶].

[Downloaded from icml.ir on 2026-10-31]

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

۷- اثر فشار بر پهنای 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 پلکسی گلاس به ضخامت ۲cm.

۱۴- پنجره خروجی از جنس کوارتز[۲۲].

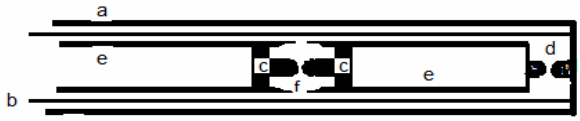
۱۵- جلوگیری از تولید جرقه با تغییر مقاومت اصلی.

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 آغشته به روغن HV.

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

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



شکل ۱- شماتیکی از لیزر هوا a)، صفحه بالایی خازنb) ، دی الکتریک c) الکترودهای لیزر d)، اسپارک گپ e) ، صفحات پایینی خازن f)، سیستم پیش تونش کننده uv

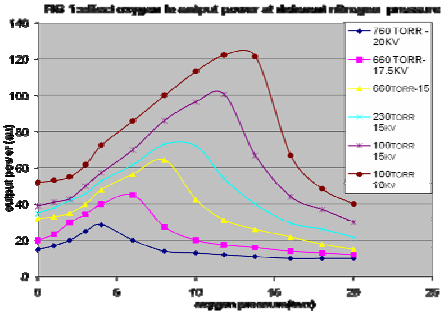
برای دست یابی به عمل لیزر در هوا ابتدا O_2 را به لیزر TEA N_2 کاملاً بهینه سازی شده تزریق کرده ایم و نمودارهای زیر حاصل شده است (شکل شماره ۱). بعد از خاموشی عمل لیزر پارامترهای مؤثر در افزایش توان خروجی را به صورت تجربی تغییر دادیم. سخت‌ترین مرحله دست یابی به عمل لیزر در هوا در فشار اتمسفر بود که تنظیم، تغییر و اصلاح پارامترهای مؤثر وقت و انرژی روحی زیادی برده است.

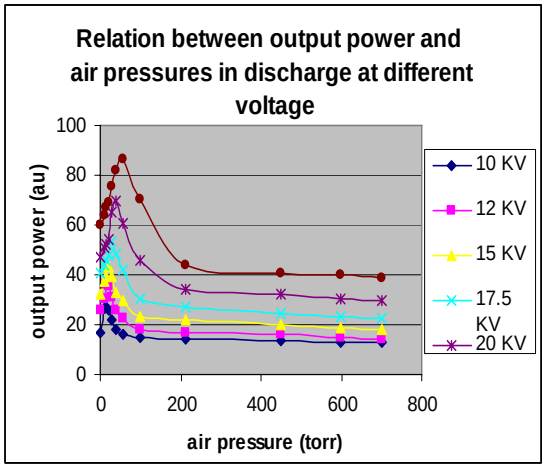
توان خروجی لیزر هوای ساخته شده بر حسب فشار هوا در شکل شماره (۲) رسم شده است.

نسبت E/P مناسب برای لیزرهای نیتروژن در حدود V/torr.Cm ۱۲۰-۸۰ 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.





شکل۲- a) اثر اکسیژن بر توان خروجی لیزر هوا b) توان خروجی بر حسب فشار هوا

منابع

1. 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.
2. Kunabenchi R.S, Gorbal M.R, Savadatti M.I. Simple nitrogen laser. Am J Appl Phys 1982; 5(6): 568.
3. 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.
4. Christohorou L.G. Electron-molecule Interactions and Their Applications. Academic press London 1983; 2: 1-400.
5. 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.

[Downloaded from icml.ir on 2026-10-31]

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 exited 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, Bystritskiĭ 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 Etectron 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.

[Downloaded from icml.ir on 2026-10-31]

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.

[Downloaded from icml.ir on 2026-10-31]