

ایجاد پالس بلند در لیزر مولکولی ازت با تخلیه طولی

اکبر حریری، س.ع. گلپایگانی و م. ترکاشوند

مرکز تحقیقات هسته‌ای
سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده

در این مقاله تحریک الکتریکی به طریق طولی در مولکول ازت که منجر به عمل لیزر با زمان پالس حدود ۲۰ نانو ثانیه و واگرایی ۱/۷ میلی رادیان است تشریح می‌گردد. تیوب لیزر از لوله‌ای شیشه‌ای بطول ۳۳ سانتیمتر و بقطر ۳/۵ میلی‌متر تشکیل شده است که دو انتهای آن با زاویه بروستر بریده شده و با پنجره‌های سیلیکای مذاب مسدود گردیده است. کاواک لیزری متشکل از دو آینه بازتاب دهنده است که تقریباً ۴۰ سانتیمتر از یکدیگر فاصله دارند. چون نقش مد در این لیزر به صورت TEM₀₀ است این ابزار وسیله مناسبی برای اجرای طرح‌های مربوط به مسائل اپتیکی در طول موج ۳۳۷/۱ nm خواهد بود.

مقدمه

اولین گزارش در مورد لیزر مولکولی ازت در ناحیه فروسرخ در سال ۱۹۶۳ توسط ماتياس و پارکر ارائه گردید (۱). در ناحیه فرابنفش نخستین گزارش توسط هرد ارائه شد (۲). در هر دو گزارش تحریک گاز ازت به صورت طولی بود. متعاقب آن به علت نیاز به قدرت‌های بالاتر تحریک عرضی توسط لئونارد گزارش شد (۳).

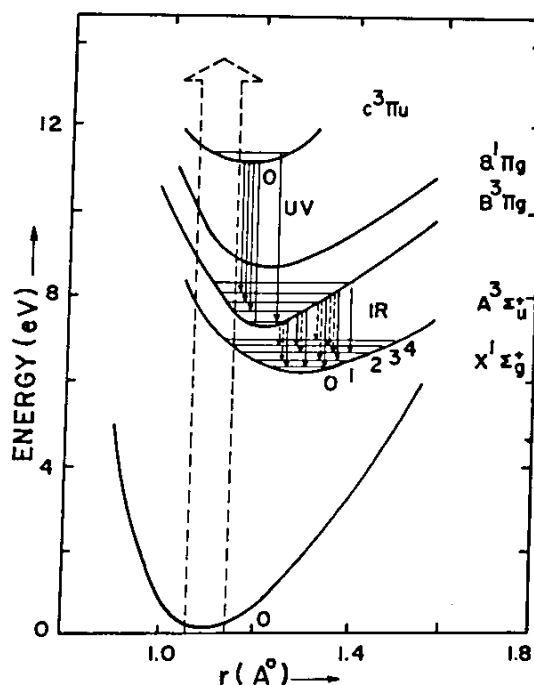
لیزر مولکولی ازت در گذار $C^3\Pi_u \rightarrow B^3\Pi_g$ مربوط به سیستم مثبت دوم (Second Positive System) است که شامل گذار از حالت‌های ارتعاشی ($v' - v''$) نظیر (۰-۰)، (۰-۱)، (۱-۰) و ... می‌باشد (شکل ۱). قویترین گذار مربوط به نوار (۰-۰) در طول موج ۳۳۷/۱ نانو متر در ناحیه فرابنفش است. این لیزر چون در دمش مولکولهای آلی لیزرهای رزینهای کاربرد

وسعی یافته است مورد توجه خاص می‌باشد و امروز از انواع مختلف تحریک عرضی آن حتی بصورت تجاری نیز در ایجاد نوسان در لیزرهای رزینهای استفاده می‌شود. طول عمر تراز بالائی حدود ۴۰ ns است که در مقابل آن تراز زیرین لیزر طول عمر حدود ۸-۵ μs دارد (۴). انگیزش لیزر به صورت تپی و با زمان تحریک بسیار (کوتاه کمتر از ۴۰ ns) می‌باید صورت گیرد. طول عمر کلی تراز بالائی از رابطه:

$$\tau \text{ (ns)} = \frac{36}{1 + p \text{ (torr)}/58} \quad (1)$$

بدست می‌آید (۵). از نظر تجربی معمولاً نسبت E/P که E میدان الکتریکی و P فشار کاری لیزر است، ۲۰۰-۸۰ V/cm-torr است. چنانچه لیزر در فشار اتمسفر فعالیت کند $\tau \approx 2.5$ ns است و لذا تحریک عرضی با پیش‌یونش مناسب که بتواند

اکبر حریری و همکاران . ایجاد پالس بلند در لیزر مولکولی ازت با تخلیه طولی



شکل ۱- ترازهای انرژی مولکول ازت

چه زمان تخلیه را می توان به طور تقریبی از $t \approx \sqrt{LC}$ محاسبه کرد (۷). در لیزرهای فشار اتمسفری و بالاتر از آن معمولاً "زمان تپ لیزر" حدود ۱-۲ ns است و به علت محدودیت در انتخاب ظرفیت مدار بلوملین حجم لیزر کوچک انتخاب می شود.

در فشارهای کمتر بین ۸۰-۲۰۰ تور، اجرای عمل لیزر بدون پیش یونش عملی است و باز هم می توان از مدار بلوملین و تخلیه خازنی (capacitor discharge) بهره گرفت. زمان تپ لیزر معمولاً ۵-۱۰ نانو ثانیه است. در این نوع لیزر (لیزرهای TE) نظر به اینکه ظرفیت خازن را می توان زیادتر انتخاب کرد، لیزر حجم بزرگتری داشته و خروجی مفید شدیدی را می توان از آن انتظار داشت. ترکیب لیزرهای TEA و TE که به عنوان نوسان-

زمان انگیزی برابر و یا کمتر از ۲.۵ ns داشته باشد انتخاب می کنند.

مدار تحریک الکتریکی بلوملین (Blumlein) ذکر شده در منبع (۶) برای این منظور بسیار مناسب است (لیزرهای TEA). وجود سیستم پیش یونش به آن منظور است که بتوان نسبت E/P (که دمای الکترونی Te را تعیین می کند) را در حد مطلوب کاری لیزر نگاه داشت بدون آنکه مجبور به افزایش بی حد میدان الکتریکی و یا ولتاژ گردیم. افزایش فشار به بالاتر از اتمسفر موجب کوتاه تر شدن تپ لیزری می گردد. بنابراین، روش مناسب برای کوتاه کردن تپ لیزری افزایش فشار گاز کاری آن است و برای تحقق این امر انتخاب ظرفیت C و اندوکتانس L بسیار کم برای سیستم تخلیه الکتریکی الزامی است،

هلیوم نئون می باشد.

روش آزمایش

طرح کلی لیزر ازت با تحریک طولی در شکل ۲ آورده شده است. اولین تیوب پلاسما از جنس پیرکس بقطر داخلی $ID = 3/5 \text{ mm}$ و قطر خارجی $OD = 9/3 \text{ mm}$ ساخته شده است. قطر لوله در دو انتها به $OD = 14/0 \text{ mm}$ افزایش داده شده است. اتصال الکترودهای تنگستن توسط روش اتصال شیشه به فلز صورت گرفته است. دو انتهای لوله تحت زاویه بروسر بریده شده (زاویه برش با محور $\theta = 34^\circ$) و از پنجره سیلیکای مذاب شده fused silica برای مسدود کردن تیوب پلاسما استفاده شده است. طول کلی تیوب لیزر 33 cm و فاصله دو الکتروده 26 cm انتخاب گردید. چون لیزر به صورت جریان گاز عمل می کند در دو انتهای آن نیز مجاری ورود و خروج گاز تعبیه شده است. برای تحریک گاز از سیستم تخلیه ای که قابلیت تحمل ولتاژ بالا تا 60 kV را دارا باشد استفاده گردید. بهترین روش بدین منظور استفاده از سیم کواکسیل خط انتقال است که در ولتاژهای مورد نظر اثر کورنای بسیار ناچیز داشته باشد. بدین منظور از سیم کواکسیل RG 213/U استفاده گردید. رشته های موازی از خط انتقال ظرفیت خازنی $(C = 1 \text{ nF})$ تشکیل داده است که توسط یک اسپارک گپ به تیوب پلاسما اتصال داده شده اند. مقاومت بالانس شده (balanced resistor) این مدار $R = 260 \text{ M}\Omega$ انتخاب گردید. اسپارک گپ در این سیستم به صورت خود شکست (self breakdown) عمل می کند. برای تخلیه گاز از یک پمپ خلاء استفاده گردید. گاز ازت با درجه خلوص ۹۹/۹۹۶ مستقیماً وارد

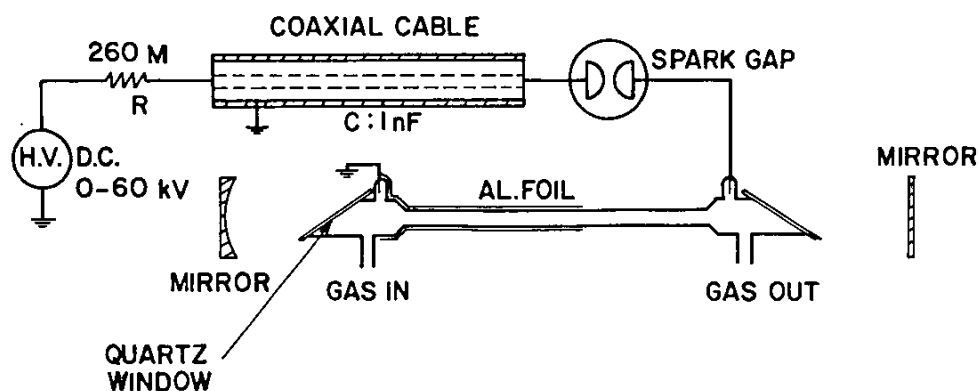
کننده و تقویت کنند. عمل می کند مناسبترین ابزار برای حصول زمان تب کوتاه با قدرت بالاست. چنانچه اشاره شد زمان تب لیزرهای TE و یا TEA در حد چند نانو ثانیه است و خروجی لیزر بعلاوه بهره بالا احتیاجی به آینه نداشته و در بعضی مواقع تنها از یک آینه انتهائی استفاده می کنند. کوتاهی تب ملزم می دارد که فوتون های القائی یک و یا دو رفت و بازگشت در کاواک لیزر انجام دهند و لذا لیزر دارای واگرایی زیاد خواهد بود. بعلاوه مد لیزر بصورت گوسی نیست و تقریباً "آرایش مربوط به تخلیه الکتریکی را دارا می باشد.

برای آنکه بتوان مد خروجی مناسبی را در لیزر های مولکولی ازت به دست آورد می باید بتوان تعداد رفت و بازگشت های زیادی را در کاواک لیزر حاصل کرد. این امر مستلزم آن است که زمان تب تا آنجا که ممکن است طولانی شود. چنانچه فشار گاز ازت کم شود پهنای پالس طبق رابطه (۱) زیاد خواهد شد.

بهترین راه برای اجرای این منظور استفاده از تحریک طولی است. چون فاصله الکترودها را در این تحریک به چند ده سانتیمتر و گاه تا ۱ متر می توان افزایش داد. برای ثابت نگاه داشتن E/P لازمست فشار گاز را به حد چند تور نقصان داده و ولتاژ کاری را نیز افزایش داد.

در این مقاله طراحی و ساخت و راه اندازی لیزر مولکولی ازت با تحریک طولی ارائه خواهد شد. در این لیزر که برای نخستین بار در ایران راه اندازی شده است لیزر پالسی با $FWHM = 20$ نانو ثانیه ایجاد شده است که مربوط به زمان حدود 10 رفت و بازگشت نور در کاواک لیزر است. ساختار TEM_{00} در این لیزر کاملاً به صورت گوسی بوده و دارای واگرایی $1/7 \text{ mrad}$ است که قابل مقایسه با واگرایی لیزر

اکبر حریری و همکاران . ایجاد پالس بلند در لیزر مولکولی ازت با تخلیه طولی



شکل ۲- طرح کلی لیزر مولکولی ازت با تحریک طولی

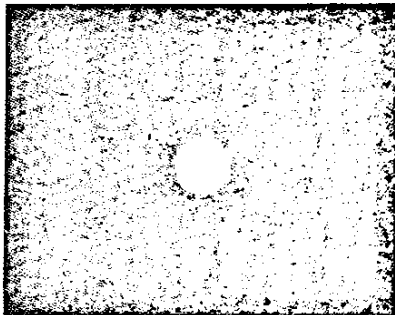
آینه مقعر و یک آینه تخت) از وضعیت مناسبتر ساختار مد TEM_{00} برخوردار است. نمونه‌ای از نقش مد خروجی لیزر که در فاصله ۲/۶ متر از آینه خروجی عکس‌برداری شده است در شکل ۳ نشان داده شده است. برای تهیه این عکس از دوربین اسیلوسکوپ به عنوان دوربین عکاسی استفاده شد و یک کاغذ سفید در مقابل دهانه آن چسبانده و از فلئورسانس ایجاد شده برای یک ضربه لیزری عکس‌برداری شد.

نتایج آزمایش

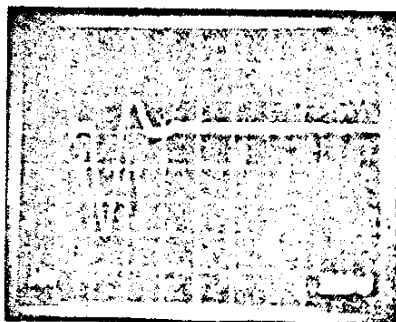
رفتار زمانی تپ الکتریکی در شکل ۴ نشان داده شده است. بدین منظور از یک بوبین روگوسکی (Rogowski coil) استفاده شد. نمونه رفتار زمانی تپ لیزری در شکل ۵ آورده شده است. در این اندازه‌گیری از یک فوتودیود خلا نوع ITL مدل

ورودی تیوب پلاسما شده و از خروجی تیوب پمپ می‌گردد. دوفشارسنج ۱۰۰-۱۰۰۰ و ۱۰-۱۰۰ میلی بار همزمان فشار داخلی تیوب لیزر را اندازه‌گیری می‌کنند برای اندازه‌گیری فشار پائین‌تر، از یک فشارسنج ۱۰۰-۰ تور از نوع MKS Baratron Type 220 استفاده شد.

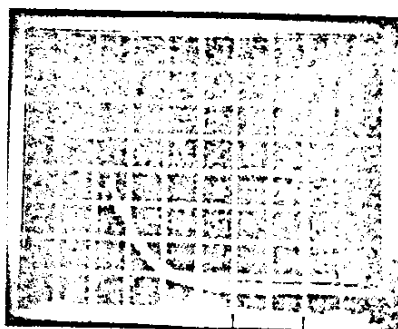
برای کاواک لیزری ابتدا از آینه تخت تمام باز تابان با پوشش آلومینیوم که به عنوان آینه انتهایی عمل می‌کند و نیز یک قطعه کوارتز تخت به عنوان آینه خروجی استفاده گردید. در آرایش دیگری از یک آینه با شعاع انحناء $R = 70 \text{ cm}$ با پوشش دی-الکتریک به عنوان آینه انتهایی و یک آینه تخت با پوشش دی‌الکتریک به عنوان خروجی استفاده گردید. فاصله دو آینه تقریباً ۴۰ سانتیمتر است. مقایسه خروجی لیزر نشان داد که آرایش دوم (یک



شکل ۳- نمونه‌ای از نقش مد TEM_{00} خروجی لیزر در فاصله ۲/۶ متر از آینه خروجی.

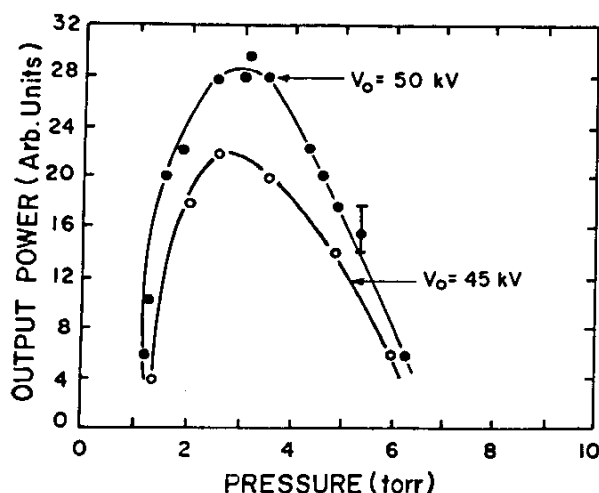


شکل ۴- نمونه‌ای از رفتار زمانی تخلیه الکتریکی در تخلیه طولی.



شکل ۵- نمونه‌ای از رفتار زمانی تب خروجی لیزر (مقیاس زمانی: ۵۰ ns/div).

اکبر حریری و همکاران . ایجاد پالس بلند در لیزر مولکولی ازت با تخلیه طولی



شکل ۶- نتایج اندازه‌گیری قدرت خروجی لیزر برحسب فشار گاز ازت

کاری ۵۰ و ۴۵ V_0 کیلوولت نشان می‌دهند . این دو منحنی دارای قله بیشینه در ۳ تور می‌باشد . قدرت ماکزیمم خروجی لیزر (در واحد اختیاری) بر حسب ولتاژ ورودی برای دو فشار ۳/۱ و ۵/۵ تور نیز اندازه‌گیری شد . نتایج اندازه‌گیری در شکل ۷ نشان داده شده است .

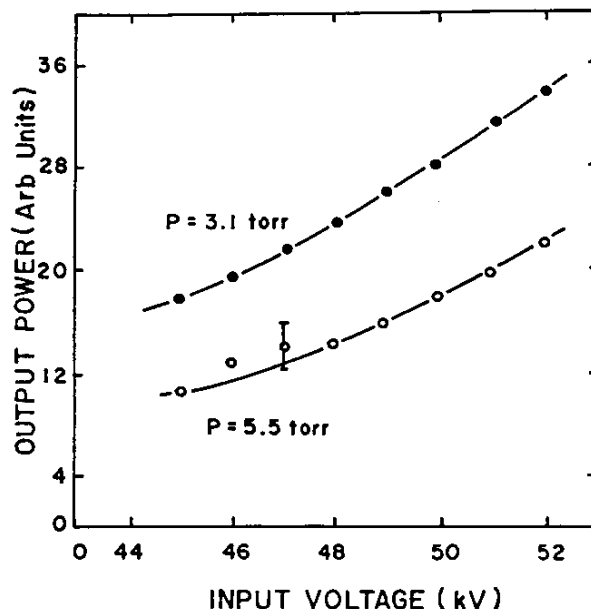
نتیجه‌گیری

در این مقاله نشان داده شده است که مولکول ازت با تحریک طولی قادر به نوسان لیزری است و وجود کاواک در ایجاد خروجی لیزر موثر بوده و قادر است که ساختار مد عرضی TEM_{00} را به نمایش بگذارد . با وجودی که به علت فشار کم و حجم کوچک محیط فعال انرژی زیادی را در مقایسه با لیزرهای TEA و TE نمی‌توان از این لیزر انتظار داشت ولی این لیزر دارای محاسن زیر است :

- ۱- ساختار خوب مد و واگرایی کم
- ۲- حجم کوچک سیستم و در نتیجه قابلیت در حمل و نقل
- ۳- برخلاف مدارهای بلوملین که دارای نویز شدید

۱۸۵۰ با زمان صعود ۱۰۰ ps استفاده شد . در سراسر آزمایش‌های زمانی از اسیلوسکوپ تکترونیکس مدل ۷۹۰۴ همراه با تقویت‌کننده مدل 7A19 و 7A26 استفاده گردید . به طوری که شکل نشان می‌دهد نیم پهنای زمانی (FWHM) خروجی لیزر حدود ۲۰ ns است و پالس لیزری با سرعت زیادی شروع شده و به صورت نمائی خاتمه می‌یابد . تمام طول زمانی پالس به حدود ۱۰۰ ns می‌رسد . بدین ترتیب اثر نقصان فشار گاز ازت در پهن شدن زمان پالس به خوبی نشان داده می‌شود .

اندازه‌گیری قدرت ماکزیمم خروجی لیزر (در واحد اختیاری) برحسب تغییرات فشار گاز برای ولتاژهای مختلف نیز اندازه گرفته شد . در این اندازه‌گیری از یک آشکارساز سیلیکن فوتودایود استفاده گردید . برای آنکه آشکارساز به حالت اشباع نرسد از فیلترهای ND نیز استفاده کرده و آنرا مقابل دهانه آشکارساز تعبیه نمودیم . برای کاهش در سیگنال زمینه ، آشکارساز را در محفظه‌ای در تاریکی قرار دادیم . شکل ۶ نتایج اندازه‌گیری را برای دو ولتاژ



شکل ۷- نتایج اندازه‌گیری قدرت خروجی لیزر بر حسب ولتاژ ورودی

تیوب با طول محدود به چند ده سانتیمتر و قطر چند میلیمتر، افزایش انرژی را در این سیستم محدود می‌سازد. البته این محدودیت با افزایش ولتاژ کاری لیزر تا چند صد کیلوولت به طوری که شکل ۷ نشان می‌دهد مرتفع خواهد شد ولی کار با ولتاژ بسیار بالا متضمن احتیاط‌هایی در زمینه عایق سازی آزمایشگاهی خواهد بود. بنابراین کار با ولتاژ بسیار بالا را می‌توان از معایب این نوع لیزر دانست.

قدردانی

از واحد شیشه‌گری گروه فیزیک لیزر بخصوص آقای بهرام باقری برای ساخت تیوبهای لیزر قدردانی می‌شود.

RF) است، سیستم تحریک کواکسیال در این سیستم دارای نویز بسیار پائین است و این ابزار برای کاربردهای اسپکترسکی در جایی که اندازه‌گیری‌های زمانی مورد نیاز باشد بسیار مناسب است.

۴- برخلاف لیزرهای تحریک عرضی TEA و TE که نمی‌توان آنها را به صورت محفظه بسته (sealed) طراحی کرد و در آنها جریان گاز و سیستم خلاء می‌باید برقرار باشد، سیستم‌های تحریک طولی قابلیت راه‌اندازی به طریق محفظه بسته را دارا می‌باشد به شرط آنکه در نظافت سیستم و خروج ناخالصی‌ها قبل از بستن محفظه لیزر با دقت بسیار زیاد اقدام شود. حجم کوچک محیط فعال لیزر بخصوص انتخاب

اکبر حریری و همکاران . ایجاد پالس بلند در لیزر مولکولی ازت با تخلیه طولی

References

1. L.E.S. Mathias and J.T. Parker, Stimulated Emission in the Band Spectrum of Nitrogen, Appl. Phys. Lett. 3, 16 (1963).
2. H.G. Heard, Ultraviolet Gas Laser at Room Temperature, Nature 4907, 667 (1963).
3. D.A. Leonard, Saturation of The Molecular Nitrogen Second Positive Laser Transition, Appl Phys. Lett. 7, 4 (1965).
4. B. Godard, A Simple High-Power Large-Efficiency N_2 Ultraviolet Laser, IEEE J. Quant. Electron, QE-10, 147 (1974).
5. B.S. Patel, Compact High-Power TEA N_2 Laser, Rev. Sci. Instrum. 49, 1361 (1978).
6. A. Hariri, M. Tarkash Vand and A. Karami, Uniform Glow Discharges for Nanosecond Excitation of TEA and TE Nitrogen Lasers, Proceedings of the National Conference on Lasers and Their Applications, P. 84-101, Tehran (1987).
7. C.P. Wang, Simple Fast Discharge Device for High-Power Pulsed Lasers, Rev. Sci. Instrum. 47, 92 (1976).

LONG PULSE OPERATION OF A LONGITUDINAL
DISCHARGE-PUMPED N_2 LASER

A. Hariri, S.E. Golpayegani and M. Tarkashvand
Nuclear Research Center
Atomic Energy Organization of Iran
P.O. Box 14155-4494, Tehran
Islamic Republic of Iran

Abstract

This paper describes a longitudinal discharge pumped N_2 laser capable of producing output pulses with FWHM of 20 ns duration and 1.7 mrad beam divergence. The laser channel is made up of a glass tube of 33 cm in length and 3.5 mm inner diameter ended to the Brewster angle and sealed with fused silica windows.

The resonant cavity was formed by two reflecting mirrors placed 40 cm apart. Since the mode pattern of the laser oscillation is TEM_{00} , this system is capable of being used as an optical instrument at 337.1 nm wavelength.