

بررسی تجربی لیزر ازت ملکولی که بطریق عرضی فعالیت می کند

اکبر حریری ، مصطفی ترکاشوند* ، فردین اردوانی* و علی اصغر براقچی

مرکز تحقیقات هسته‌ای
سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده

در این مقاله لیزر ازت ملکولی ، که بطریق عرضی فعالیت می کند ، بطور تجربی مورد بررسی قرار گرفته است . طول موج لیزر برابر ۹۶ سانتیمتر است و گاز ازتی که از آن استفاده می شود از نوع تجارته است . انرژی اندازه گیری شده پرتو لیزر با طول موج ۳۳۷۱ آنگسترم ، یک میلی ژول می باشد . توان ماکسیمم این لیزر متجاوز از ۲۰۰ کیلووات در ولتاژ ۲۲ کیلوولت و فرکانس ۲۰ هرتز است . این لیزر در دمش محلول ملکولهای آلی رودامین B و 6G در لیزر رزینهای ساخته شده ، با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است .

مقدمه

گیسل سینگی و یا برانگیخته (stimulated emission) ملکول ازت مربوط به تراوی (transition) از تراز الکترونی B به A ($B \rightarrow A$) توسط پارکروماتیو (۱) و مربوط به تراوی ($C \rightarrow B$) توسط هرد (۲) در سال ۱۹۶۳ گزارش گردید . همانطوریکه در شکل (۱) نشان داده شده است عمل لیزر در طول موج ۳۳۷۱ آنگسترم مربوط به تراوی ($\bar{\nu}=0 \rightarrow \bar{\nu}=0$) ترازهای الکترونی C و B می باشد . پارکس و همکارانش (۳) با بررسی تراوی (0-0) ، ۳۰ خط بنیاب چرخشی (از ۳۳۷۰/۰۷۵۵ تا ۳۳۷۱/۱۳۸۵ آنگسترم) را اندازه گیری و گزارش نمودند (۳) . این خطوط پهنای بنیاب حدود یک آنگسترم بوجود می آورد . در بنیاب نمائی بعدی که در دمای هوای مایع انجام گرفت تعداد بیشتری از خطوط باند (0-0) مشاهده و مشخص

* دانشجوی کارآموز گروه فیزیک لیزر در مرکز تحقیقات هسته‌ای

گردید که بنیاب‌های چرخشی در گستره $3369/541$ تا $3371/429$ انگستریم پهنائی حدود $1/9$ انگستریم را تشکیل می‌دهند (۱۵).

نظر باینکه لیزر ازت ملکولی در مطالعات فتوشیمی و همچنین دمش (pumping) ملکولهای آلی رنگ در لیزرهای رزینه ای (dye lasers) کاربرد فراوان دارد، مطالعات گسترده‌ای در خصوص تکنولوژی این لیزر تاکنون انجام گرفته است.

مکانیسم عمل لیزر ازت در مقایسه با سایر لیزرهای گازی از حالت ویژه‌ای برخوردار است. زیرا تراز الکترونی بالائی (C) دارای نیمه‌عمر خودبخود بسیار کوتاه در حدود ۴ نانو ثانیه در مقایسه با تراز زیرین (B) در حدود ۸-۵ میکروثانیه می‌باشد (۴). بدین منظور، برای دستیابی به گسیل ستیغی، تحریک ملکول می‌بایست بصورت ضربائی و بسیار سریع (کمتر از ۴۰ نانو ثانیه) انجام پذیرد. روش‌های مختلفی برای دمش ملکول ازت بکار گرفته شده است. سیستم مدار سریع بلوملن (Blumlein) سیستم تخلیه‌خان (Capacitor Discharge) و سیستم تحریک بکمک پرتو الکترونی (e-Beam Pumped) از آن جمله‌اند:

تخلیه الکتریکی که توسط مدار نوع بلوملن انجام می‌شود، یکی از متداول‌ترین و درعین حال ساده‌ترین روشی است که از سالهای گذشته تا به امروز بکرات و به اشکال و پارامترهای مختلف مورد بررسی محققین قرار گرفته است. دو نوع از متداول‌ترین آن شامل:

۱- نوع توان ماکسیمم کمتر از ۱۰۰ کیلووات و ۲- نوع توان بالاتر از یک مگاوات بخصوص در فشارهای نزدیک و یا بالاتر از فشار اتمسفر می‌باشد. بالاترین توان‌هایی که تاکنون بدست آمده است بترتیب، در سال ۱۹۷۴ توسط لاواتر و همکارانش (۵) می‌باشد که توان ماکسیممی برابر ۳ مگاوات، انرژی ضربائی ۲۰ میلی ژول با پهنای ضربه نورانی ۴ نانو ثانیه و فشار ازت ۱۷۵ میلی متر جیوه. دیگری توسط آرماندیلو و همکارانش (۶) که لیزر دارای توان ماکسیمم ۵ مگاوات با پهنای ضربه نورانی ۴ نانو ثانیه و در فشار ۶۰ میلی متر جیوه گاز ازت مخلوط با هلیوم است.

در این مقاله از نوع مدار بلوملن که تغییر یافته نوع مدارهای اولیه ارائه شده توسط شیپمن در سال ۱۹۶۷ (۷)، اسمال در سال ۱۹۷۲ (۸)، گذارد در سال ۱۹۷۴ (۴)، استفاده شده است. این لیزر از نوع تخلیه الکتریکی عرضی فشار پائین با توان ماکسیمم بیش از ۲۰۰ کیلووات با پهنای ضربه نورانی در نیم ماکسیمم (FWHM) حدود ۵ نانو ثانیه میباشد. در اینجا لازم به یادآوریست که با وجودیکه تکنولوژی ساخت لیزر ازت از سال ۱۳۵۶ در ایران آغاز گردید (۱۷)، ولیکن نسبت به اندازه‌گیری پارامترهای مهم آن و مشخص نمودن عوامل افزایش کارآیی دستگاه اقدامی صورت نگرفت. در این مقاله، علاوه بر شناساندن سیستم، سعی بر آن است، پارامترهای مورد نظر اندازه‌گیری

و سپس مورد تجزیه و تحلیل واقع گردد. چنین بررسی‌های تجربی است که بهیچود در طراحی و سپس استفاده علمی از این ابزار را ممکن می‌سازد.

مکانیسم عمل لیزر ازت:

گاز ازت در فاصله بین الکترون‌های لیزر که فاصله آنها نسبت به طولشان بسیار کوچک است، در داخل کانال لیزر توسط ضربه‌های الکتریکی بسیار سریع عمود بر محور دیدگانی لیزر تحریک می‌گردد. شبکه ایجاد ضربه الکتریکی در این لیزر متشکل از یک جفت خط انتقال صفحه موازی (parallel-plate transmission lines) است که در دو طرف کانال لیزر قرار می‌گیرند. هر یک از صفحات که بمنزله خازن نیز عمل می‌کند توسط یک منبع تغذیه ولتاژ مستقیم (۱۵ تا ۲۲ کیلوولت) باردار شده، چنانچه در لحظه‌ای کوتاه یکی از صفحات انتقال بوسیله یک کلید سریع مثلاً " (spark gap) در نقطه‌ای از صفحه اتصال کوتاه گردد، موج روان (travelling wave) بوجود آمده در یکی از خطوط انتقال موجب شروع تخلیه الکتریکی در گاز و ایجاد موج روان دیگری در خط دیگر انتقال می‌شود. برهم‌نهی (superposition) دو موج روان که تخلیه الکتریکی را پایدار نگاه می‌دارد، ولتاژی است پیچیده که دارای طبیعت نوسانی می‌باشد (۱۶).

نظریه کمی پهنای ضربه نورانی ($\approx 10 \text{ nsec}$) و پائین بودن فشار گاز در این لیزر، برخورد بین ملکولی و یا ترکیب مجدد یون‌ها در ایجاد عمل لیزر نقشی نداشته و یونیزاسیون و تحریک گاز اکثراً " بوسیله برخورد مستقیم الکترون با ملکول انجام می‌پذیرد. با چنین مدلی و با در نظر گرفتن خواص الکتریکی ملکول ازت در هنگام تخلیه الکتریکی بوسیله مدار بلوملن، فیتزیمون و همکارانش (۹) بسیاری از پارامترهای مهم لیزر نظیر توان الکتریکی و نورانی، کارآیی، دما و چگالی الکترون، و بالاخره E/P سیستم‌محاسبه و با نتایج تجربی مقایسه نموده‌اند.

ساختمان لیزر ازت:

در ساخت مدار تخلیه الکتریکی بلوملن که شمای آن در شکل ۲ آمده است، از یک صفحه مدار چاپی (با دو طرف لایه مسی) به ابعاد 102×102 سانتیمتر مربع با عایق شاخی به ضخامت $1/38$ میلی‌متر استفاده گردیده است. رویه مسی صفحه فوقانی در مرکز این صفحه به عرض تقریبی ۲۰ سانتیمتر و طول ۹۶ سانتیمتر بمنظور محل تعبیه کانال لیزر، همچنین اطراف فوقانی و تحتانی رویه مسی بفاصله ۳ سانتیمتر از لبه‌ها برای جلوگیری از بروز قوس‌های الکتریکی نابهنگام کاملاً " برداشته شده‌اند. بطوریکه دو رویه

در ضربه‌های الکتریکی کاملاً " از یکدیگر مجزا واقع می‌شوند. بدین ترتیب از صفحه مدار چایی دو خازن به ظرفیت‌های مساوی $C1 = C2 = 10/5 \text{ nF}$ بوجود آمده‌اند. ابعاد هندسی این خازن هریک 38×96 سانتیمتر مربع می‌باشند. این دو خازن توسط یک سیم پیچ مسی با اندوکتانس کم در یک انتهای کانال بیکدیگر متصل می‌شوند. برای کاهش پتانسیل شدید ناشی از نوک‌های تیز کلیه گوشه‌ها با شعاع انحنا مناسبی گرد شده‌اند. اثر کورونا (corona) در فاصله شکافت صفحه فوقانی در ناحیه زیرین کانال لیزر و در فشار اتمسفر موجب تضعیف انرژی تخلیه الکتریکی می‌گردد. این اثر با وجودیکه میتواند بعنوان سیستم پیش یونش (preionization) مورد استفاده قرار گیرد، لیکن در این آزمایش با افزایش شکاف تا حد ۲۰ سانتیمتر سعی بر از بین بردن و یا مهار این اثر شده است. کانال لیزر متشکل از یک لوله پلکس به قطر خارجی ۶ سانتیمتر و طول ۱۰۶ سانتیمتر می‌باشد. دو الکتروود مسی به طول ۹۶ سانتیمتر و بسه ضخامت یک میلی‌متر با گاف (gap) ۱۲ میلی‌متر بموازات یکدیگر توسط چسب به کانال لیزر متصل شده‌اند. هریک از الکتروودها با انحنای مناسبی به صفحات خازن لحیم شده است.

برای پنجره‌های دیدگانی این لیزر از یک جفت پنجره کوارتز استفاده گردیده که با زاویه بروستر به لوله شیشه‌ای و سپس به دو انتهای کانال لیزر متصل شده‌اند. این لیزر تنها با یک آئینه بازتاب دهنده کامل به قطر ۵ میلی‌متر با پوشش دی‌الکتریک که ضریب بازتاب آن در طول موج لیزر (۳۳۷۱ آنگسترم) برابر $99/8$ درصد می‌باشد، فعالیت می‌نماید. این آئینه روی نگاهدارنده‌ای که در انتهای کانال نزدیک به پنجره دیدگانی قرار می‌گیرد، جای دارد. برای جلوگیری از تضعیف خروجی لیزر بهترین طرح اتصال مستقیم آئینه به انتهای کانال لیزر می‌باشد، لیکن باید در نظر داشت که در چنین طرحی بعلت بوجود آمدن قوسهای الکتریکی شدید نابهنگام و همچنین وجود گازهای یونیزه در کانال بتدریج در پوشش دی‌الکتریک آئینه خوردگی بوجود می‌آید و عمر متوسط آن را کوتاه می‌کند. بدین سبب است که آئینه بازتابنده در خارج از کانال لیزر تعبیه گردید.

برای کلید سریع این لیزر از یک اسپارک گپ (spark gap) استفاده گردید که با گاز ازت با فشاری کمی بیشتر از یک اتمسفر کار می‌کند. برای جلوگیری از گرم شدن اسپارک گپ بخصوص در فرکانس‌های ۲۰-۳۰ هرتز، شار مناسب و قابل تنظیمی از ازت در حین کار دستگاه از اسپارک گپ خارج می‌گردد. فاصله الکتروودهای اسپارک گپ در حدود یک سانتیمتر است و توسط یک سیستم تریگر خارجی با ضربه‌های سریع الکتریکی سریع ۲۵ کیلوولت (مدل EG&G, TM-12A) تا فرکانس ۳۰ هرتز، عمل می‌نماید. برای گاز رسانی لیزر ازت از یک دستگاه تخلیه شیشه‌ای که به پمپ خلاء کوچکی اتصال

دارد، استفاده گردید. فشار سنج تعبیه شده روی دستگاه، فشار گاز ازت را با دقت کافی حدود میلیمتر جیوه اندازه‌گیری می‌کند. بمنظور جلوگیری از برخورد ذرات یونیزه به پنجره‌های اپتیکی گاز ازت از دو انتهای کانال و نزدیک به پنجره‌ها به کانال لیزر وارد و از مرکز کانال تخلیه می‌گردد*. لازم به یادآوریست که تخلیه سریع گاز ازت از کانال لیزر نقش مهمی در خروجی لیزر بخصوص در فرکانس‌های بالا دارد. بهترین روش خروج گاز در امتداد الکترودها می‌باشد که در طرح‌های آتی از آن استفاده خواهد شد. با بگردش درآوردن گاز توسط یک پمپ مخصوص هنگامیکه سیستم بصورت بسته عمل می‌نماید، لیزر تا چندین دقیقه قادر به فعالیت است. افزایش عمر لیزر در این سیستم، به نگهداری خلاء در سیستم، و بویژه استفاده از ازت با درجه خلوص بسیار بالا بستگی دارد.

برای آنکه بتوان لیزر ازت را در فشارهای بالاتر از ۱۰۰ میلیمتر جیوه بکار انداختن از یک سیم تنگستن بعنوان پیش‌یونش استفاده گردید (۵ و ۱۰). این سیم در داخل کانال لیزر و بجوالات الکترودها و در بالای آن تعبیه شده است. یک انتهای سیم به خازنی سریع به ظرفیت ۲۵۰ پیکو فاراد مرتبط و از آنجا خازن به مدار لیزر متصل شده است. وجود این سیستم، پیش‌یونش قادر است لیزر را تا فشار ۳۵۰ میلیمتر جیوه بکار اندازد. در فشارهای بالا توان خروجی لیزر پائین می‌آید و سپس عمل لیزر متوقف می‌گردد. احتمال ایجاد قوس‌های الکتریکی نابهنگام با افزایش فشار گاز نیز بشدت افزایش می‌یابد.

یافته‌ها و بررسی آنها:

یکی از پارامترهای مهم لیزر ازت زمان ضربه نورانی آن می‌باشد. بدین منظور، برای اندازه‌گیری زمان ضربه نورانی، پرتو لیزر توسط آئینه‌های بازتابنده آلومینیمی در فاصله چند متری لیزر (بمنظور رهائی از RF حاصل از کار دستگاه) مورد بررسی قرار گرفت. برای جلوگیری از اشباع آشکارساز از فیلترهای ND نیز استفاده شد. شکل (۳) ضربه نورانی این لیزر را نشان می‌دهد که دارای پهنا در نیم ماکسیم (FWHM) حدود ۵ نانوثانیه در فشار ۱۰۰ میلی‌متر جیوه است. برای چنین اندازه‌گیری از یک فتودایود سریع ITL با زمان صعود (rise time) 10^{-10} ثانیه همراه با فیلترهای ND که در مقابل دهانه فتودایود قرار گرفته استفاده گردید. سیگنال حاصل به کمک اسیلسکوپ سری Tektronix, 7904 با واحد Plugin مدل A19 7 با مقاومت و روی ۵۰ اهم آشکار و سپس از رفتار زمانی آن عکس برداری شد. این عکس وقتیکه لیزر در فرکانس ۱۸ هرتز کار می‌کرد بمدت ۵ ثانیه گرفته شد، که در نتیجه اثر ۹۰ ضربه نورانی روی فیلم

* گاز تجارتنی و درجه خلوص آن ۹۷٪ بوده است.

می باشد. بطوریکه عکس نشان می دهد، همگنی نسبی در انرژی خروجی لیزر با اشتباه نسبی ماکسیمم حدود ۳۰ درصد وجود دارد. تغییرات فشار گاز در محدوده ۱۲۰-۵۰ میلی متر جیوه اثر قابل ملاحظه‌ای در پهنای ضربه‌های نورانی ندارد. بمنظور مشاهده این اثر تغییرات فشار گاز تا نزدیک یک اتمسفر در طراحی لیزر می بایست مد نظر قرار گرفته باشد.

اندازه‌گیری توان متوسط این لیزر توسط توان سنج نوع کالریمتر دیسکی مدل (360001، Scientch) انجام پذیرفت. در حقیقت آنچه که این دستگاه اندازه‌گیری می‌کند متوسط زمانی کل انرژی جذب شده بوسیله ترموپیل می باشد. توان ماکسیمم لیزر توسط رابطه:

$$P_M = \frac{\epsilon}{\Delta t} = \frac{\text{انرژی هر ضربه نورانی}}{\text{FWHM}} \quad 1$$

قابل محاسبه می باشد (۱۱). از آنجا که توان متوسط با رابطه $\bar{P} = \epsilon f$ به فرکانس f و انرژی هر ضربه ϵ بستگی دارد، با اندازه‌گیری توان متوسط و FWHM ضربه نورانی، توان ماکسیمم لیزر بکمک رابطه (۱) محاسبه می‌گردد.

شکل (۴) نتایج اندازه‌گیری توان متوسط نوری لیزر (در فرکانس ثابت ۲۰ هرتز) را بر حسب تغییرات فشار گاز برای ولتاژهای ثابت v_0 نشان می‌دهد. برای هر ولتاژ v_0 ، این تغییرات با صعود تدریجی توان آغاز می‌شود و پس از گذشتن از یک ماکسیمم نزول می‌کند. توان ماکسیمم نوری P_M ، در ماکسیمم منحنی‌های A, B, C, D به ترتیب ۱۲۰، ۱۷۰، ۱۸۰، ۲۲۰ کیلووات با اشتباه نسبی متوسط ۲۲٪ و انرژی هر ضربه نوری ۱/۱۱۰/۹۰/۸۰/۵/۶ میلی ژول با اشتباه نسبی متوسط ۱۲٪ می باشد. بهترین کارایی دستگاه در ولتاژ ۱۸ کیلوولت ۰/۵۲۳ درصد محاسبه گردید. نسبت میدان الکتریکی به فشار گاز E/P بین ۱۵۰ تا ۱۸۰ $v/cm torr$ تغییر کرده دارای متوسط $۱۶۶ v/cm torr$ می باشد. این نسبت متناسب با سرعت تریدگی الکترون (drift velocity) و یا دمای الکترون پلاسما است که با تقریب مناسبی در مورد ملکول ازت با رابطه زیر تعیین می‌گردد (۹).

$$K_B T_e = 0.11 (E/P)^{0.80} \quad 2$$

در رابطه بالا K_B ثابت بولتزمن، E/P بر حسب ولت بر سانتیمتر بر میلیمتر جیوه و $K_B T_e$ بر حسب الکترون ولت می باشد.

افزایش تدریجی توان نوری لیزر با افزایش فشار گاز در ولتاژ ثابت بعلمت آنستکه، تعداد ملکول‌های ازت که مسئول وارونی انبوهی (population inversion) هستند با افزایش فشار گاز، هنگامی که دمای پلاسما T_e نسبتاً بالا است افزایش می‌یابند. پس از گذشتن از یک ماکسیمم، با افزایش تدریجی فشار گاز، دمای الکترون پائین آمده عمل لیزر

تضعیف و در نهایت با شروع قوس های الکتریکی متوقف می گردد .
 چنانچه در فشارهای ثابتی از گاز تغییرات توان نوری را نیز برحسب افزایش ولتاژ
 مد نظر قرار دهیم ، روند افزایش دمای T_e و همچنین افزایش
 چگالی الکترونی می باشد مشاهده می گردد ، یعنی دو عامل مهم ، E/P و چگالی الکترون ها
 در توان نوری خروجی لیزر نقش اساسی خواهند داشت .

چنانچه قبلاً نیز اشاره گردید ، در محدوده تغییرات فشار گاز مورد بررسی ،
 پهنای ضربه های نورانی تغییر فاحشی نداشته و چنانچه تغییرات توان ماکسیم نیمر
 برحسب فشار گاز محاسبه و رسم گردد ، منحنی های نظیر شکل ۴ را بدست خواهد داد .
 اندازه گیری توان نوری متوسط لیزر برحسب فرکانس در ولتاژهای مختلف نیز انجام
 پذیرفت . در این اندازه گیری سعی بر انتخاب شار مناسب ازت گردید . نتیجه این
 اندازه گیری در شکل ۵ نشان داده شده است . وجود یون ها ، ملکول های تجزیه شده و متا
 پایدار ، در فرکانس های بالای عمل لیزر قادر به خروج سریع از محیط نبوده لذا تعداد
 ملکولهای مؤثر ازت برای ایجاد وارونی انبوهی نقصان می یابند . بدین سبب است که در
 فرکانس های زیاد در خروجی لیزر افت تدریجی حاصل می شود . برای جبران این افت
 شار گاز ازت را می توان افزایش داد . در فرکانس های پائین تر ضربه های نورانی لیزر
 بخواختی در توان و انرژی خود را از دست می دهد ، لذا بهترین شرایط کار این لیزر در
 فرکانس ۲۰ - ۱۰ هرتز است .

در اینجا لازم به یاد آوریم که عمل لیزر ازت بصورت ابر تابنده (super-radiant)
 است . لذا چنانچه از آئینه های بازتابنده برای تشکیل کاواک لیزر (laser cavity)
 نیز استفاده نگردد ، لیزر با قدرت پائین تر به فعالیت خود ادامه خواهد داد . همانطوریکه
 در شکل ۵ در مورد منحنی های B, E مشاهده می شود با خروج تک آئینه بازتابنده از
 سیستم ، توان خروجی لیزر به مقدار ۴۰٪ توان اولیه خود افت می نماید . این مسئله
 بخوبی نشان می دهد که کسب خود بخود اشاعه شده از یک انتهای کانال لیزر توسط یک
 آئینه تقویت می گردد ، یعنی در حقیقت می توان تصور نمود که وجود این آئینه طول مؤثر
 لیزر را به دو برابر افزایش می دهد . از وجود آئینه دیگری (کوآرتز با ۴ درصد توان
 بازتابنده) در خروجی لیزر در تشکیل یک کاواک کامل لیزر نیز استفاده گردید ولی عملاً
 افزایشی در توان نوری مشاهده نگردید ، که علت آن سریع بودن ضربه های نورانی و در
 سنج عدم رفت و بازگشت های متوالی پرتو بین دو آئینه در تکمیل مرحله تقویت توسط
 دو آئینه بازتابنده می باشد .

تمام زاویه واگرایی (divergence angle) برای این لیزر در دو امتداد افقی و
 عمودی بترتیب ۲۶ و ۶ میلی رادیان اندازه گیری گردید . اگر D_T قطر پرتو لیزر در فاصله
 R از خروجی لیزر و a قطر اولیه پرتو باشد ، با در نظر گرفتن نیم زاویه انحراف از محور

لیزر می توان نوشت :

$$\frac{(D_L - a)}{2} = R \sin(\phi/2) \quad ۳$$

بعلت کوچک بودن زاویه واگرایی، مقدار زاویه انحراف از رابطه زیر قابل محاسب می باشد.

$$\phi = \frac{(D_L - a)}{R} \quad ۴$$

D_L در فاصله ۴/۲ متری از لیزر در دو امتداد افقی و عمودی بترتیب ۱۲۰ و ۲۵ میلیمتر اندازه گیری شده است. مقدار a در خروجی لیزر نیز در این دو امتداد ۱۲ و ۱ میلیمتر می باشد. لذا با استفاده از رابطه ۴ زاویه واگرایی با خطائی برابر با یک میلی راد برسان محاسبه گردیده است.

در خاتمه، خلاصه برخی از پژوهش های انجام گرفته در این زمینه همراه با مشخصات اصلی لیزرهای ساخته شده و همچنین تعدادی از مدل های تجارتي لیزر ازت بمنظور اطلاع از چگونگی گسترش تکنولوژی این گونه لیزرها در دو دهه اخیر در جدول ۱ ارائه شده است.

نام	تعداد لیزر	ابعاد لیزر		نوع پمپ	طول موج (nm)	توان	طول موج	طول موج	طول موج
		طول (cm)	قطر (cm)						
D.A. Leonard (1965)	13	200	20	20	200	0.03	200	---	---
J.O. Shipman Jr. (1967)	7	183	10	4	2500	---	---	---	---
B. Oudard (1974)	4	---	75	8	3000	---	200	200	---
J.I. Levittor et al (1974)	5	120	150	6	3000	0.1	86	---	---
M.A. Fitzsimmons et al (1976)	9	61	50-100	5	500, 900	0.05	120-140	60	60
B. Cude (1976)	14	---	---	---	---	---	---	70	---
E.K. Woodward et al (1973)	31	---	---	10-12	50, 300, 1100	---	---	---	10-20
J.S. Levine et al (1976)	12	12	25-90	5	10	0.005	140	---	---
E. Armandillo et al (1982)	6	65	60N ₂ & 800He	4	5000	0.09	---	---	5
Melatron Model HV12, UV14	---	---	---	12	250, 400	---	---	---	2-10
" " " UV22, UV24	---	---	---	10	600, 900	---	---	---	2-10
Lambda Physik Model K600	---	---	---	4-5	500	---	---	---	2-200
" " " M1000	---	---	---	4-5	900	---	---	---	2-200
" " " M2000	---	---	---	4-5	1350	---	---	---	2-50
Eco G Model 2100	---	---	---	1.2	400	---	---	---	2-100
Collin Year Model 1500	---	---	---	3	400	---	---	---	2-100
This Work	90	105	---	5	220	0.023	150-180	---	10-20

جدول ۱۱ : خلاصه برخی از لیزرهای تجارتي و تحقیقاتی همراه با مشخصات اصلی آنها

با توجه به اینکه بهترین کارایی دستگاه لیزر که با ازت خالص کار می کند حدود ۱/۰ درصد است، عوامل مؤثر در پائین بودن کارایی این سیستم ۰۲۳/۰ درصد و همچنین توان متوسط و ماکسیمم را به قرار زیر خلاصه می نمایم :

۱- ازت ناخالص بعلت وجود اکسیژن، به آسانی الکترودهای مسی را اکسیده نموده، بتدریج در خروجی لیزر افت انرژی حاصل می گردد، بدین منظور است که اکثر کارخانه های

سازنده استفاده از ازت تجارتي را پيشنهاده نمي‌کنند. در مدت يكسال اخير ائت انرژی در اثر چند ميليون ضربه ليزر هنگاميكه از دستگاه برای دمش ملكول‌های رنگ استفاده مي‌گردد، بوضوح در اين ليزر نيز مشاهده شده است.

۲- باتوجه به ضخامت الكترودها (حدود ۱ ميليومتر) حجم پلاسمای ايجاد شده كم بوده، لذا با افزايش ضخامت الكترودها بنحوی كه بتواند در افزايش حجم گاز تحريك شده مؤثر واقع شود (با استفاده از شكله‌های هندسی ویژه الكترود)، مي‌توان خروجی ليزر را افزايش داد.

۳- شكل صفحات خازن بصورت مربع مستطيل بوده، موج روان مناسبی بوجود نمي‌آيد. بدین سبب است كه اشكال مختلف كه انتشار موج روان را سهل‌تر مي‌نمايد، توسط بعضی از محققين و همچنين در بعضی از ليزرهای تجارتي، برای صفحات خازن پيشنهاده و مورد استفاده نيز واقع شده است.

۴- استفاده از گازهای نظير F_2 ، Ar، SF_6 و هليوم مخلوط با گاز ازت خالص نيز برای افزايش خروجی ليزري مخصوص در فشار پائين پيشنهاده و توسط برخی محققين مورد استفاده نيز واقع شده است. وليكن در اينجا بعلت در نظر گرفتن جنبه اقتصادي آن از آن صرف‌نظر نموديم.

۵- افزايش ولتاژ V_0 ، در افزايش توان خروجی ليزر مطابق با آنچه كه قبلاً بحث‌گردد نقش مؤثري را داراست وليكن جنس عايق صفحات خازن يكي از عوامل بازدارنده افزايش ولتاژ مي‌باشد. بنا بر اين برای افزايش طول عمر ليزر حتي المقدور مي‌بايست در ولتاژهای كه مناسب با جنس عايق خازن مي‌باشد، ليزر را بكار انداخت.

در استفاده و مقايسه اعداد جدول ۱، بايد ذكر شود كه در طراحي ليزرهای عنوان شده بخصوص انواع تجارتي آن از كلييه پارامترهای اصلي (نظير كمی واگرائی پرتو، سرعت كار ليزر، مدت‌زمان ضربه، ولتاژ ورودی و يا سادگی در ساخت و گاز رسانی) بسته به نوع كاربرد ليزر، برای برخی از پارامترهای مورد نظر كه حائز اهميت بيشتري بوده است در طراحي ارجحيت قائل شده‌اند. لذا، در انتخاب ليزر نيمی‌توان تنها توان خروجی پرتو را معيار اصلي در انتخاب ليزر در نظر گرفت.

نتيجه‌گيري:

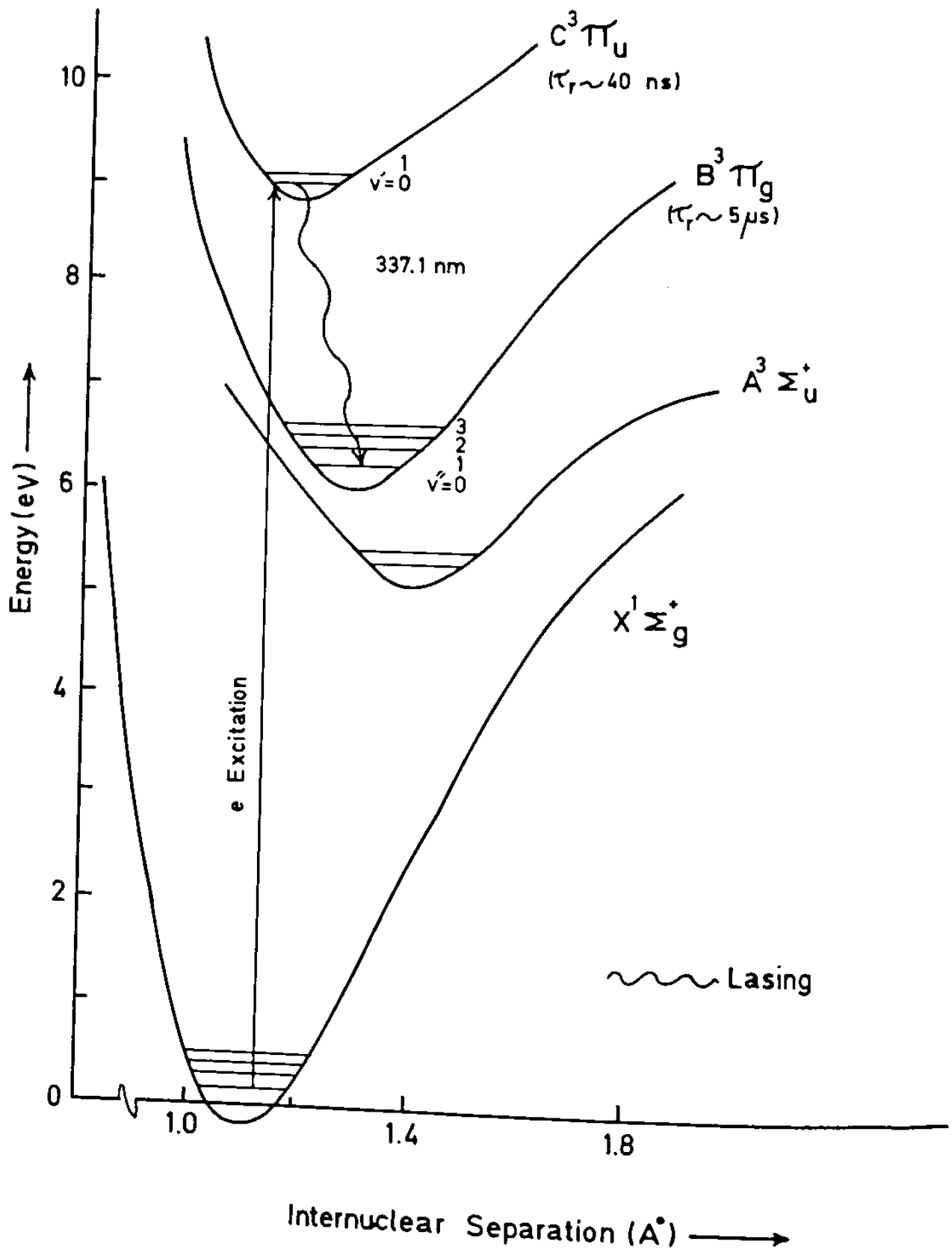
در اين مقاله ليزر ازت ملكولي همراه با مشخصات هندسی آن مورد مطالعه و تجزيه و تحليل قرار گرفت.

در اين ليزر از نوع مدار بلوملن (Blumlein) همراه با سيستم پيش يونش استفاده گرديده است كه افزايش فشار گاز ازت تا بيشتراز ۳۰۰ ميلي متر جيوه فعاليت آنرا متوقف نمي‌سازد. پارامترهای اصلي ليزر اندازه‌گيري و محاسبه شده و همچنين رفتار

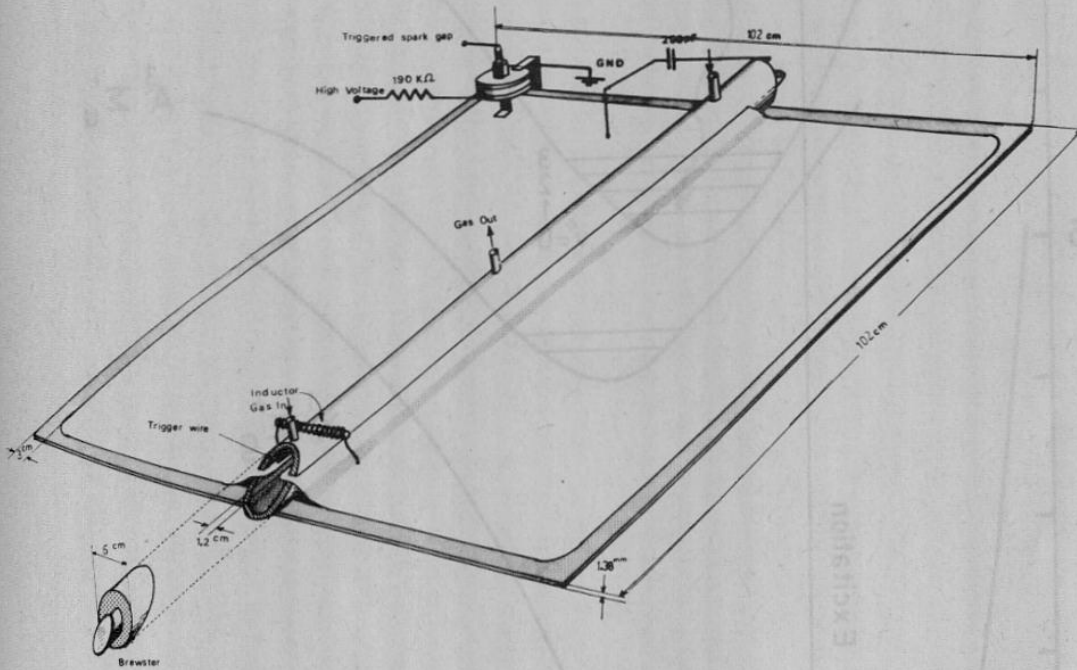
آنها نیز مورد بحث قرار گرفته است .

این لیزر محلول رنگهای آلی را بطریق عرضی بکمک لیزر رنگ ساخته شده پمپ کرده و گسیل ستیغی از این محلولها حاصل شدهاند .

نظر به اهمیت لیزر ازت در مطالعه پدیدههای فتوشیمیائی و بخصوص در تکنولوژی "لیزرهای رزیندای قابل تنظیم" (Tunable Dye Lasers) جدولی جهت معرفی پژوهشهای انجام شده و همچنین کارخانههای سازنده لیزر ازت همراه با برخی از مشخصات لیزرهای قابل ابتیاع نیز ارائه گردیده است .

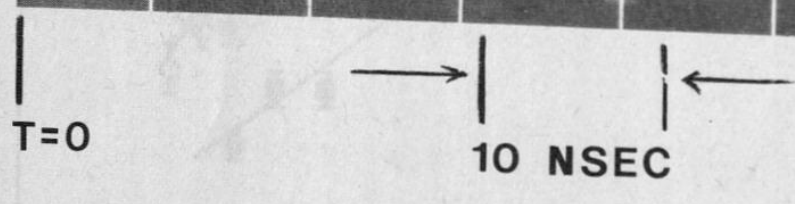
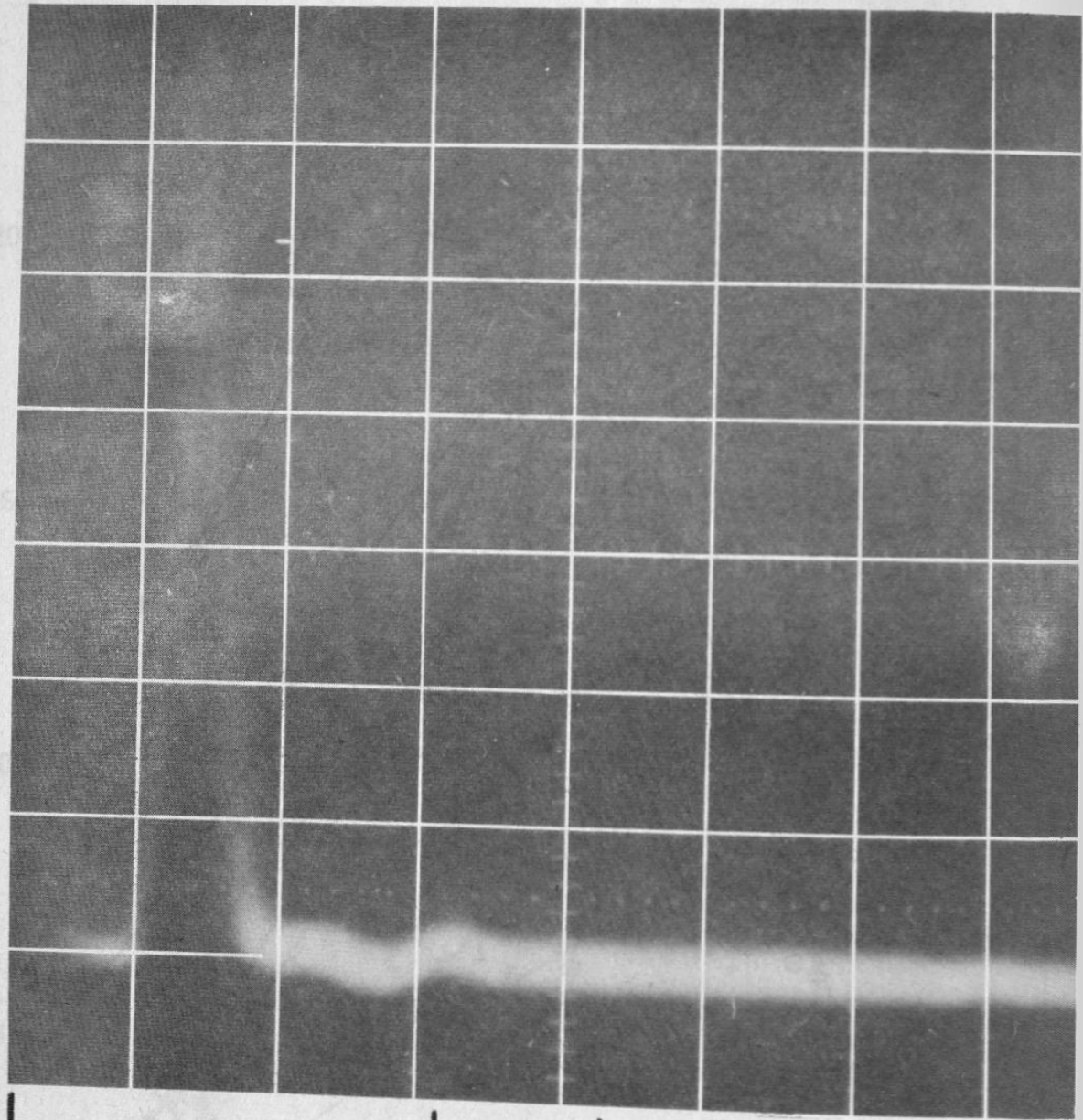


شکل ۱ - خم‌های انرژی پتانسیل ملکول ازت ، گسیل ستیغی در طول موج 337.1nm در این شکل نشان داده شده است .

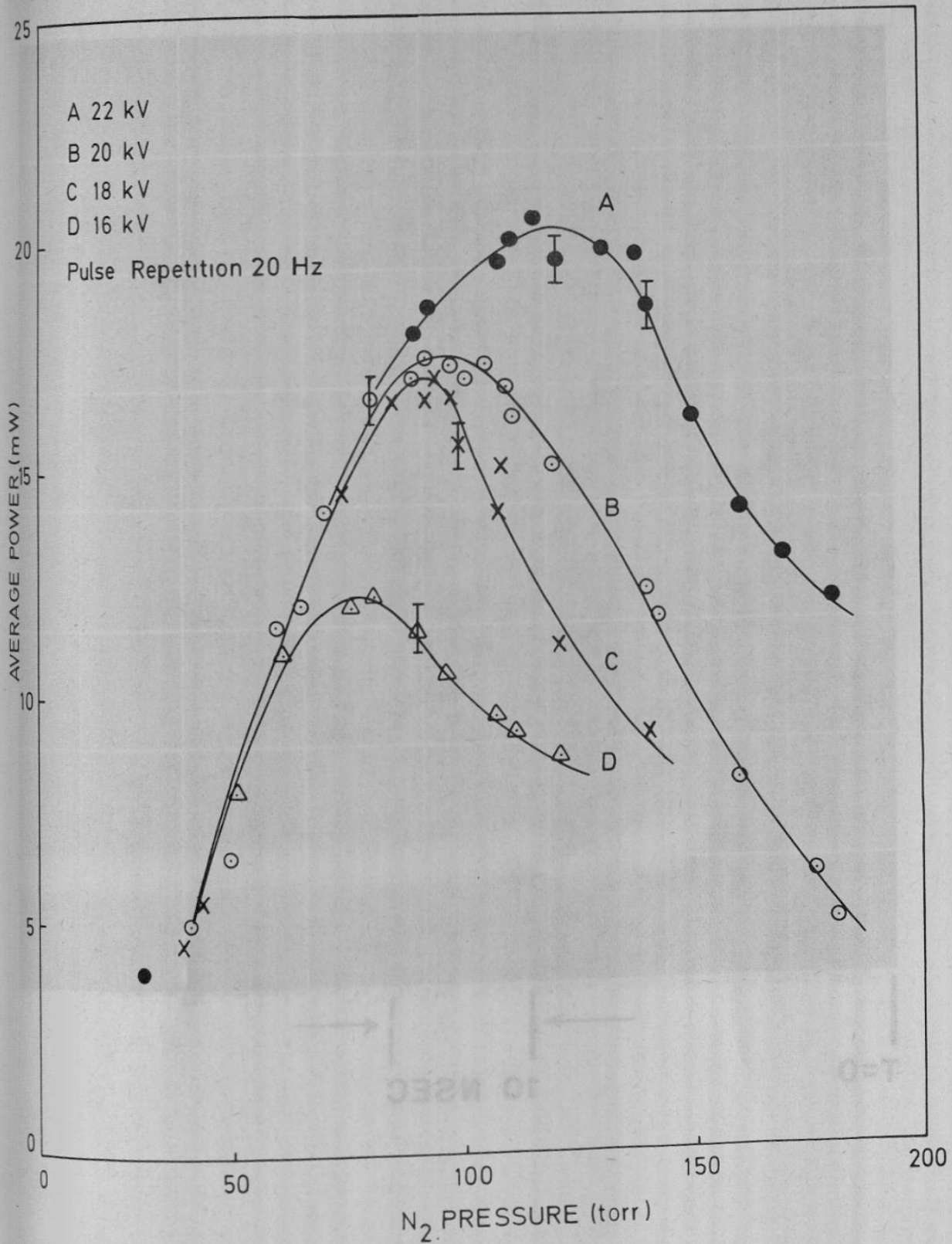


شکل ۲ - شمای لیزر ازت، مدار تخلیه الکتریکی از نوع Blumlein می باشد. این لیزر با یک آئینه بازتابنده که در انتهای کانال لیزر قرار می گیرد، فعالیت می نماید.

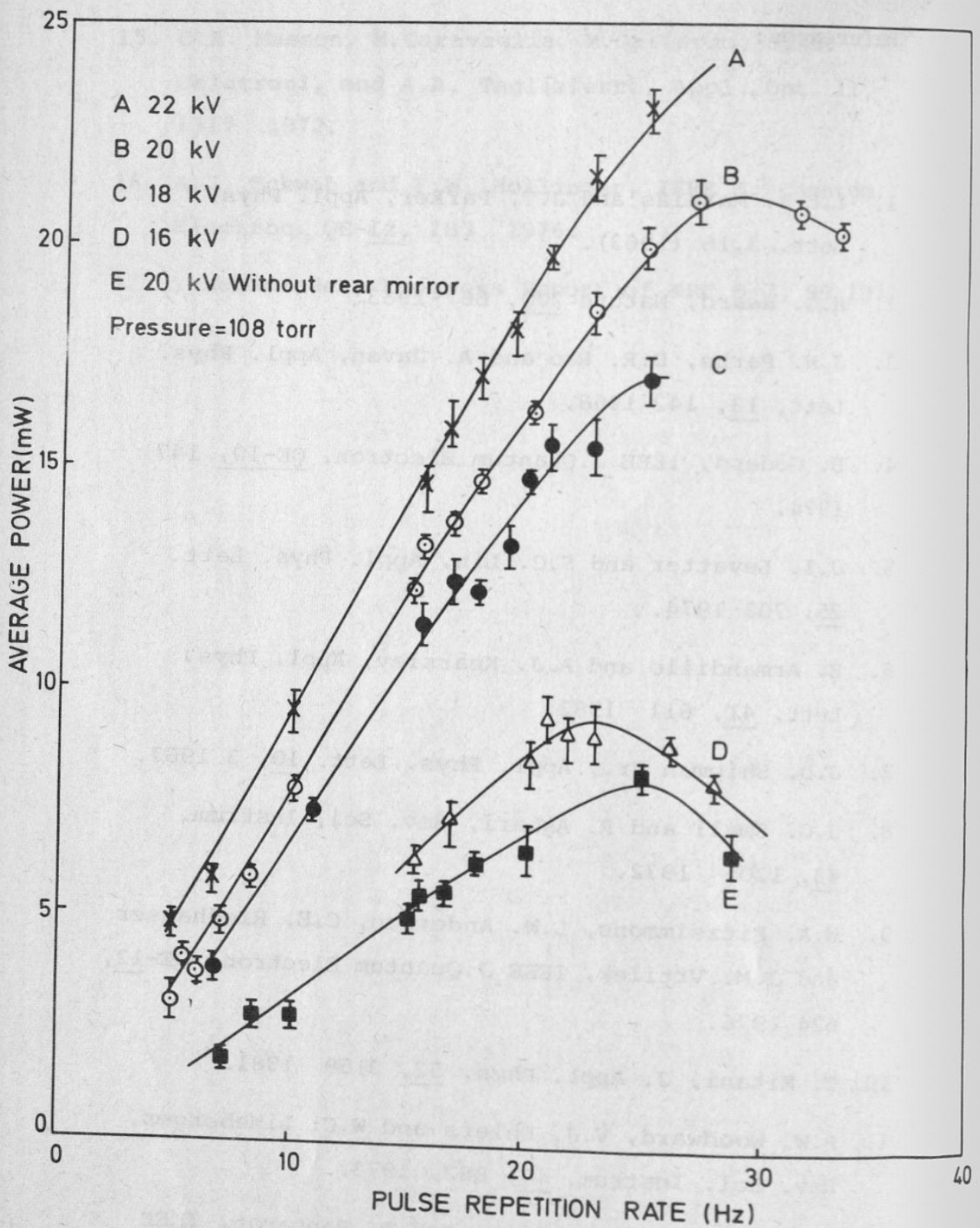
AVERAGE POWER (mW)



شکل ۳- رفتار زمانی ضربه نورانی لیزر ازت ، این عکس نتیجه اثر ۹۰ ضربه نورانی روی یک فیلم می باشد . پهنای ضربه نورانی (F W H M) در حدود ۵ نانو ثانیه در فشار ۱۰۰ میلی متر جیوه اندازه گیری شده است .



شکل ۴ - توان متوسط نوری لیزر بر حسب تغییرات فشار گاز ازت ، اندازه گیری برای ترسیم منحنی های A, B, C, D بترتیب در ولتاژهای ثابت ۲۲، ۲۰، ۱۸، ۱۶ کیلوولت انجام پذیرفته است . انرژی نوری هر ضربه به ترتیب ۶/۸، ۵/۹، ۵/۱۰، ۴/۱ میلی ژول محاسبه گردیده است . بهترین کارایی سیستم در ولتاژ ۱۸ کیلوولت برابر ۲۳٪ است .



شکل ۵- توان متوسط نوری لیزر ازت برحسب تغییرات فرکانس در ولتاژهای ثابت ۱۶،
 ۲۲، ۲۰، ۱۸ کیلوولت ، برای منحنی‌های A, B, C, D از یک آئینه بازتابنده استفاده شده
 است. در اندازه‌گیری‌های مربوط به منحنی E آئینه بازتابنده از کاواک لیزر خارج و لیزر
 بصورت Superradiant عمل می‌نماید.

References:

1. L.E.S. Mathias and J.T. Parker, Appl. Phys. Lett. 3,16 (1963).
2. H.G. Heard, Nature 200, 667 1963.
3. J.H. Parks, D.R. Rao and A. Javan, Appl. Phys. Lett. 13, 142 1968.
4. B. Godard, IEEE J.Quantum Electron. QE-10, 147 1974.
5. J.I. Levatter and S.C. Lin, Appl. Phys. Lett. 25, 703 1974.
6. E. Armandillo and A.J. Kearsley, Appl. Phys. Lett. 41, 611 1982.
7. J.D. Shipman Jr., Appl. Phys. Lett. 10, 3 1967.
8. J.G. Small and R. Ashari, Rev. Sci, Instrum. 43, 1205 1972.
9. W.A. Fitzsimmons, L.W. Anderson, C.E. Riedhauser and J.M. Vrtilik, IEEE J.Quantum Electron, QE-12, 624 1976.
10. T. Mitani, J. Appl. Phys. 52, 3159 1981.
11. B.W. Woodward, V.J. Ehlers and W.C. Lineberger, Rev. Sci. Instrum. 44, 882 1973.
12. J.S. Levine, K. Bezdjian and R. Rapparot, IEEE J. Quantum. Electron. QE-12, 437 1976.
13. D.A. Leonard, Appl. Phys. Lett. 7,4 1965.
14. O.Judd, IEEE J. Quantum Electron. QE-12 78 1976.

15. C.A. Masson, M.Garavaglia, M.Gallardo, J.AE.
Calatroni, and A.A. Tagliaferri, Appl. Opt. 11,
1317 1972.
16. A.J. Schwab and F.W. Hollinger, IEEE J. Quantum.
Electron. QE-12, 183 1976.
17. Y.Kohanzadeh, Progress Report of NRC 6-7, 99 1977.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE T E (TRANSVERSELY
EXCITED) N₂ LASER.

A.Hariri, M.Tarkashvand, F.Ardavani
A.A.Yaraghchi

Nuclear Research Center
Atomic Energy Organization of Iran
P.O.Box 3327 Tehran-Iran

Abstract:

A simple transversely excited N₂ Laser with 96 cm active length using commercial-grade nitrogen is described. The laser produces more than 1 mJ/pulse of UV radiation at 337.1nm. The peak power exceeds 200 KW when the laser is supplied with 22 KV and repetition of 20 Hz. The optical pulse duration (Full-width at half maximum) is measured about 5 n sec.

This laser has successfully pumped a homemade dye laser using solution of Rhodamine B and 6G dye molecules.