



مطالعه تجربی سیستم نوسانگر - تقویت‌کننده لیزر مولکولی نیتروژن با تخلیه عرضی

اکبر حریری*، مصطفی ترکاشوند، امیرحسین فرهید
مرکز تحقیقات و کاربرد لیزر، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۸۴۸۶ - ۱۱۳۶۵، تهران -
ایران

چکیده: سیستم نوسانگر- تقویت‌کننده لیزر مولکولی نیتروژن متشکل از نوسانگری با پیش‌یونش کورونا با قابلیت کار در فشار متوسط تا یک اتمسفر و تقویت‌کننده‌ای باکانال تخلیه بلند و قابلیت کار با گاز نیتروژن در فشار پایین، ساخته شده و مورد مطالعه قرار گرفته است. پس از طراحی خاص گاف جرقه^(۱) با ابعاد مناسب، شرایط عمل لیزر در آهنگ تکرار ۱۵۰ مرتز فراهم شد. در این شرایط، توان متوسط سیستم ۳۰mW است که با قله (پیک) توان kW ۴۰۰، در ۵ نانوثانیه FWHM^(۲) پهنای تپ مرتبط است. نتایج آزمایش نشان می‌دهند که در لیزر "بلند کانال"، کیفیت نور بهبود می‌یابد، لیکن به علت وجود پدیده خودجذبی، "بهره سیگنال کوچک"^(۳) و "چگالی انرژی اشباع"^(۴) کاهش می‌یابد. این تکنیک را می‌توان برای جفت‌سازی و همزمان‌سازی لیزرهای "خود-پایان‌یابنده"^(۵) که در آنها استفاده از تشدیدگرهای نوری ناممکن است بکار برد.

واژه‌های کلیدی: لیزر مولکولی نیتروژن، تخلیه عرضی، پیش‌یونش کورونا، سیستم نوسانگر- تقویت‌کننده

Experimental Study of an Oscillator – Amplifier Transversely Excited Molecular Nitrogen Laser System

A. Hariri*, M. Tarkashvand, A. H. Farahbod
Laser Research Center, AEOL, P.O.Box: 11365 - 8486, Tehran – Iran

Abstract: An oscillator-amplifier system consists of a corona-preionized N₂-laser operating at intermediate up to atmospheric gas pressure, and a long channel N₂ laser operating at low gas pressure was built and studied. When a special design of a low impedance spark gap in a flat-plate Blumlein circuit was utilized, the laser was able to operate at pulse repetition rate of 150 Hz. At this operational condition the average output power of the system was 30 mW which corresponds to 400 kW peak power with the FWHM pulse width of 5 ns. The experimental results showed that long channel N₂-lasers will improve the laser output beam, but due to the self-absorption the small signal gain and the laser saturation energy density will be reduced. The technique can be applied to couple and synchronize other self-terminating laser systems, where the use of optical resonators are impractical.

Keywords: molecular nitrogen laser, transverse excitation, corona preionization, oscillator-amplifier system



ahariri@Seai.neda.net.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۱/۸/۱۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۲/۵/۱۴
*email:



۱- مقدمه

لیزرهای مولکولی نیتروژن، به عنوان چشمه‌های همدوس، کاربردهای متنوعی از جمله در مطالعه فرایندهای فوتوشیمیایی، به ویژه دمش لیزرهای رزینه‌ای یافته‌اند. کاربرد لیزرهای نیتروژن کم فشار با تپ‌های ۵ تا ۱۰ نانوثانیه‌ای و انرژی حدود ۱۰ mJ، گستره وسیعی از فرایندهای گذرا، از جمله: مطالعه حالت‌های سه‌گانه در مولکولها و رادیکالهای آزاد را امکانپذیر ساخته است، لیکن در مطالعه رفتار گذرای کمتر از ۵ تا ۱۰ نانوثانیه، کاربرد لیزرهای نیتروژن کم فشار محدود است. لیزر نیتروژن پرفشار (به ویژه فشار اتمسفری) دارای پهنای تپ نانوثانیه‌ای است، حتی در فشار ۶ اتمسفر، تپ ۵۰ ps از این نوع لیزر گزارش شده است [۱]. لیکن انرژی تپ لیزری برای مطالعه رفتارهای گذرای کوتاه مدت مناسب نیست. علاوه بر این، لیزرهای نیتروژن فشار اتمسفری، به علت کوتاه بودن طول کانال تخلیه‌شان واگرایی بالایی دارند.

برای آنکه از محاسن هر دو لیزرهای نیتروژن فشار بالا و فشار پایین بهره‌گیری شود روش مناسب، ترکیب سیستم لیزری مرکب از یک نوسانگر و یک تقویت‌کننده است. با این ترکیب می‌توان تپ کوتاه را به وسیله نوسانگر و کیفیت خوب باریکه لیزر را به وسیله تقویت‌کننده فراهم ساخت.

گزارشهایی که در مورد نوسانگر-تقویت‌کننده، در یک یا چند مرحله تقویت عرضه شده‌اند، بیشتر درباره نوسانگر نوع TEA^(۱) و تقویت‌کننده نوع TE^(۲) (TEA-TE) و یا هر دو نوسانگر و تقویت‌کننده از نوع TEA (TEA-TEA) بوده است [۲ - ۸].

ویژگی لیزرهای نیتروژن، زمان تپ کوتاه ۱۰ - ۵ ns آنها است و این به علت کوتاه بودن طول عمر تراز بالایی لیزر C^۲Π_u (برابر با ns ۴۰) و طولانی بودن طول عمر تراز زیرین لیزر B^۲Π_g (برابر با ms ۸ - ۵) است که برای عمل کردن لیزر،

برانگیختگی سریع به هنگام تخلیه الکتریکی حدود چند نانوثانیه لازم است؛ بدین جهت، برای راه اندازی این نوع لیزر، اغلب مدارهای سریع بلوملین، یا خازنهای سریع سرامیکی بکار می‌روند. در مطالعات پیشین خود [۹]، اثر افزایش گاز N_۲ در کاهش زمان تپ را بررسی کرده و نشان داده‌ایم که با تخلیه الکتریکی همراه با پیش یونش کورونای، که قبل از تخلیه اصلی عمل می‌کند، می‌توان تخلیه الکتریکی یکنواختی در گاز N_۲ ایجاد کرد و بدون پیدایش جرقه‌های الکتریکی، فشار این گاز را در کانال لیزر تا یک اتمسفر افزایش داد. افزودن فشار گاز N_۲ منجر به کوتاه شدن مدت تپ لیزر می‌شود. بر این اساس، سیستمی با پهنای متغیر تپ ns ۳/۵ - ۲/۰، با فشار گاز بکار رفته تا یک اتمسفر بدست آمد که در شرایط بهینه، با فشار گاز نیتروژن ۳۵۰ میلی‌متر جیوه، یک تپ ۷۰ kW حاصل می‌شود. سیستم مورد بحث، با ویژگی قابلیت‌های تغییر فشار تا ۱ اتمسفر و تغییر فاصله الکترودها به نحوی که بتوان با تخلیه الکتریکی یکنواخت ایجاد نوسان کرد، ممکن است به عنوان یک نوسانگر خوب در سیستم نوسانگر-تقویت‌کننده بکار گرفته شود. در این کار پژوهشی چون تغییرات فشار گاز در نوسانگر برای مطالعه همزمانی نیز موردنظر بوده، سیستم نوسانگر در شرایط فشار متوسط نزدیک به حالت فشار بهینه بکار رفته است. علاوه بر این، چون استفاده از محیط تقویتی بلند کانال، حدود یک متر، در کاهش واگرایی ارزش کاربردی دارد، سیستم تقویت‌کننده را یک لیزر با طول تخلیه ۹۴ سانتی‌متر انتخاب کرده‌ایم. این سیستم قبلاً به عنوان نوسانگر، نقش دمندة لیزر رزینه‌ای با یک تپ حدود ۲۰۰ کیلووات را داشته است [۱۰]. فاصله الکترودهای آن mm ۱۵ است و گاز N_۲ از روزه‌های تعبیه شده روی الکترودها از یک الکتروود وارد و از الکتروود دیگر خارج می‌شود.



فیبر شیشه‌ای به ضخامت $1/5 \text{ mm}$ است. در واقع، برای راه اندازی دو لیزر نوسانگر و تقویت‌کننده از یک مدار چاپی به ابعاد 116×107 سانتی‌متر استفاده شد و قسمتی از این مدار به صورت ذوزنقه بریده شد به طوری که دو آرایش مدار تخلیه الکتریکی بر روی مدار چاپی به ابعاد 49×34 سانتی‌متر برای نوسانگر و به ابعاد 107×62 سانتی‌متر برای تقویت‌کننده در نظر گرفته شد. از اطراف مدار چاپی و از دو طرف آن لایه مسی به پهنای $2/5$ سانتی‌متر برداشته شد و به منظور ایجاد خازنها، دو باریکه مسی به پهنای $2/5$ سانتی‌متر برای نوسانگر و $4/5$ سانتی‌متر برای تقویت‌کننده از یک طرف مدار چاپی برداشته شد. به این ترتیب، سه خازن به ظرفیتهای $7/4$ ، 5 و $1/8$ نانوفاراد ایجاد شد. شکل ۱ نحوه برش مدار چاپی و قرارگیری کانالهای لیزر را در محل‌های نوسانگر و تقویت‌کننده نشان می‌دهد. کلید به صورت گاف جرقه بوده و دو روش متفاوت برای استفاده از آن بکار رفته است: روش اول استفاده از یک گاف جرقه ساخته شده در کشور بود که به وسیله نواری از مس در فاصله بین دو سیستم به مدار چاپی لحیم شد. این سیستم امیدانس نسبتاً بالایی داشت، به همین جهت توان خروجی پایینی در ترکیب نوسانگر-تقویت‌کننده به دست آمد؛ همچنین سیستم نمی‌توانست با آهنگ تکرار 30 هرتز کار کند و جرقه‌های الکتریکی

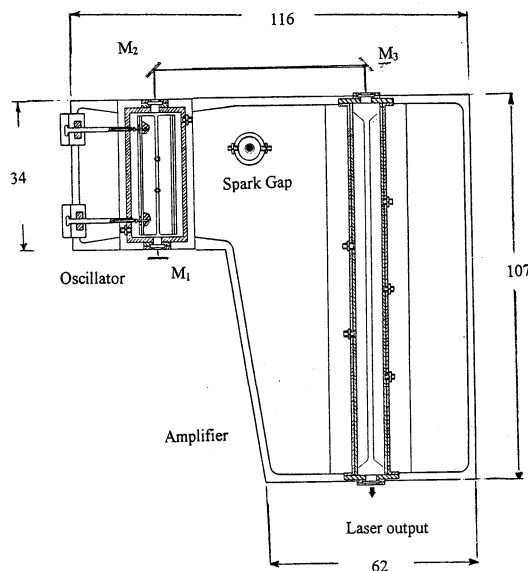
پوشش فوقانی کانال لیزر عایق پلکسی‌گلاس است که 24 مخروط برنجی به عنوان پیش‌یونش شناور، با فواصل منظم روی آن نصب شده است. چنین سیستمی به عنوان نوسانگر، تپ نوری به پهنای 6 ns را ایجاد می‌کند.

در این کار تجربی با استفاده از مدار بلوملین که روی یک مدار چاپی تعبیه شده ترکیب یک نوسانگر (با استفاده از لیزر با پیش‌یونش کورونا در فشار متوسط گاز حدود $290 - 80$ میلی‌بار) و یک تقویت‌کننده طویل (با پیش‌یونش سوزنهای فلزی که در سراسر کانال لیزر تعبیه شده است) در فشار گاز پایین، 50 تا 90 میلی‌بار، مورد مطالعه قرار گرفت. اندازه‌گیری‌های مرتبط با این ترکیب در صفحات بعد ارائه خواهند شد.

ویژگی سیستم موردنظر، قابلیت تغییر فشار گاز در نوسانگر است که به وسیله آن می‌توان تپ‌های کوتاه متغیر موردنیاز را، که عمل تقویت آنها بلافاصله در تقویت‌کننده صورت می‌گیرد، به دست آورد. علاوه بر این، طرح جدیدی از گاف جرقه که مستقیماً به مدار بلوملین متصل می‌شود و دارای امیدانس بسیار پایین و مناسب برای لیزرهای خودپایان‌یابنده است عرضه می‌شود. با این وسیله، گسترده‌گی آهنگ تکرار لیزر از مقادیر متعارف 10 تا 30 هرتز به آهنگ تکرار 150 هرتز با تخلیه الکتریکی کاملاً یکنواخت افزایش یافته است. اما انتخاب کانال بلند در تقویت‌کننده، با آنکه در بهبود کیفیت باریکه لیزر نقش مهمی دارد لیکن به علت جذب باریکه در طول کانال، "بهره سیگنال کوچک" کاهش می‌یابد. در هر صورت، به وسیله این سیستم، خروجی UV با توان بیشینه 400 کیلووات در آهنگ تکرار 150 هرتز به دست آمده است.

۲- طراحی نوسانگر - تقویت‌کننده

مدار بلوملین متشکل از یک مدار چاپی با پوشش مسی دو طرف و عایق





دست نمی‌آمد. مسیر تقویت نور در کانال بلند تقویت‌کننده به طور وضوح قابل رؤیت است که با تنظیم پیچ‌های دو آینه M_1 و M_2 برای هدایت باریکه ورودی به سوی تقویت‌کننده، می‌توان چگونگی تقویت‌شدن نور را (که به صورت باریکه‌ای درخشان‌تر از نور حاصل از گسیل تقویت شده خودبخود "ASE"^(۱۰) کانال تقویت‌کننده خود را نمایان می‌سازد) مشاهده کرد.

شکل ۱- طرح سیستم نوسانگر- تقویت‌کننده بلندکانال. همزمان‌سازی دو سیستم به سه طریق ممکن است: الف- تغییر دادن فاصله الکترودهای نوسانگر توسط دو پیچ ب- تغییر دادن فشار تقویت‌کننده ج- تغییر دادن مسیر اپتیکی بین خروجی نوسانگر و ورودی تقویت‌کننده به وسیله جابجاکردن عمودی آینه‌های M_1 و M_2 . ابعاد ساخت به سانتی‌متر است.

ناخواسته در دستگاه تخلیه ظاهر می‌شد.

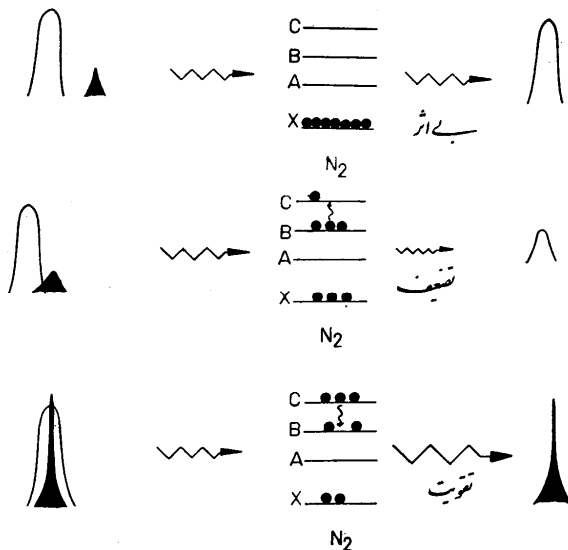
برای دستیابی به توان بالاتر، گاف جرقه خاصی طراحی و روی مدار چاپی، در ناحیه‌ای که در شکل ۱ دیده می‌شود، نصب شد. با این روش دوّم، به علت امپدانس پایین سیستم، توان خروجی بالایی به دست آمد؛ همچنین سیستم نوسانگر- تقویت‌کننده تا آهنگ تکرار ۱۵۰ هرتز به آسانی بکار افتاد. تنها عیب دستگاه دوّم گاف جرقه عمر کوتاه آن است که علت آن سوختگی فیبر مدار چاپی است. در بیشتر اندازه‌گیری‌ها، در رگبار بالا از دستگاه دوّم گاف جرقه استفاده شده است.

نوسانگر، تنها یک آینه (M_1) دارد که خروجی آن پس از بازتابش از روی آینه‌های M_1 و M_2 وارد کانال تقویت‌کننده می‌شود. تأخیر زمانی دو سیستم، در اثر تغییر فشار گاز در دو سیستم، به ویژه در تقویت‌کننده، تأخیر زمانی نوری مسیر آینه‌های M_1 و M_2 و تغییر فاصله الکترودهای نوسانگر صورت می‌گیرد.

برای ایجاد نور قطبی شده، یک منشور گلن - تامسن^(۹) در مسیر باریکه نور خارج شده از نوسانگر قرار داده شد، و بررسی قطبیدگی نور به وسیله منشور گلن - تامسن دیگری که عمود بر منشور اول در مسیر خروجی نور لیزر از تقویت‌کننده قرار داده می‌شد صورت گرفت، به طوری که در حالت متعامد بودن دو منشور در خروجی لیزر از تقویت‌کننده، نور تقویت شده به

۳- مشخصه‌های ورودی - خروجی سیستم نوسانگر- تقویت‌کننده

شکل ۲ سه وضعیت تپ نوسانگر- تقویت‌کننده را نشان می‌دهد. در این شکل، تپ نوسانگر با منحنی توخالی، تپ مربوط به تقویت‌کننده با منحنی توپر، وضعیت جمعیت معکوس در تقویت‌کننده با ترازهای انرژی مولکول نیتروژن نشان داده شده و تپ خروجی سیستم در سمت راست است. هنگامی که اختلاف زمانی دو تپ زیاد باشد، مولکول نیتروژن در وضعیت پایه قرار دارد و عمل تقویت‌کنندگی انجام نمی‌گیرد.



شکل ۲- در این شکل، از بالا به پایین، به ترتیب سه وضعیت بی‌اثر، تضعیف و تقویت، حاصل از فرایند تقویت‌کنندگی در محیط فعال لیزر N_2



نشان داده شده است. نوسانگر با جمعیت بسیار بیشتری در تراز پایینی انرژی مولکول نیتروژن برهمکنش کند، در این صورت، عمل جذب اتفاق می‌افتد و در خروجی تقویت‌کننده، تضعیف باریکه نوسانگر را خواهیم داشت (تصویر وسط)؛ در نهایت، با تنظیم دقیق زمان به نحوی که وارونگی جمعیت در تقویت‌کننده هنگامی حاصل شو که تپ ورودی به آن با جمعیت معکوس بالایی برهمکنش کند، در اینصورت عمل تقویت کردن انجام می‌گیرد.

محاسبه I/O با فرض تقویت در یک سیستم دو تراز به صورت رابطه:

سنجه‌بندی (کالیبره) شده در طول موج ۳۳۷ نانومتر استفاده شد. شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب تصاویر اسیلوسکپی خروجی از تقویت‌کننده را در دو وضعیت کاری با فشارهای متفاوت گاز نیتروژن در نوسانگر و تقویت‌کننده نشان می‌دهد. در شکل ۳، عدم همزمان‌سازی در تپ‌های دو سیستم، نشان دهنده عدم عمل تقویت‌کنندگی است. شکل ۴ رویهم افتادگی تپ‌ها را که ناشی از عمل صحیح تقویت است نشان می‌دهد. شکل ۵ نشان دهنده گسیل خودبخود (ASE) از کانال تقویت‌کننده بدون تزریق خروجی نوسانگر در ولتاژ ۱۴ kV است.

در شکل ۶، نتایج اندازه‌گیری مرتبط با کاهش واگرایی خروجی لیزر در اثر افزایش طول مسیر نوری نشان داده شده است.

$$E_{out} = E_s \ln [1 + e^{g_0 l} (e^{E_{in}/E_s} - 1)] \quad (1)$$

ارائه شده است [۴ و ۶ و ۷ و ۱۱] که در آن E_{in} و E_{out} به ترتیب چگالی انرژی‌های خروجی و ورودی، g_0 "بهره سیگنال کوچک"، l طول تقویت‌کننده (۹۴ cm)، و E_s چگالی انرژی اشباع است. از این رابطه می‌توان، با استفاده از داده‌های تجربی E_{out} بر حسب E_{in} ، دو پارامتر مشخصه E_s و g_0 سیستم را به دست آورد.

۴- روش آزمایش و اندازه‌گیری‌ها

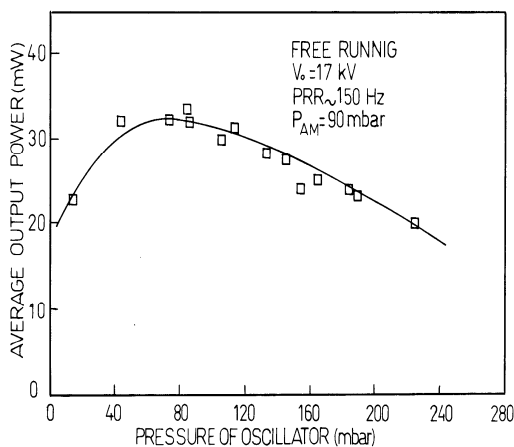
برای تعیین انرژی‌های ورودی و خروجی تقویت‌کننده از یک گرماسنج دیسکی Scientech مدل ۳۶۰۰۱ همراه با پایش توان سنج مدل ۱۳۶۲ استفاده شد. قله توان با تقسیم کردن توان متوسط اندازه‌گیری شده با گرماسنج بر آهنگ تکرار و بر پهنای پالس به دست آمد. انرژی هر تپ لیزری از رابطه $\epsilon = P_{max} \Delta t$ ، که در آن Δt پهنای تپ لیزری است به دست می‌آید، که به وسیله آشکارساز سریع فوتودیود خلاء با زمان صعود ۱۰۰ ps (ITL مدل ۱۸۵۰ TF) همراه با نوسان‌نمای تکترونیکس (مدل ۷۹۰۴ با واحد پلاگ این 7A19) اندازه‌گیری شد. زمان صعود مرتبط با این ترکیب حدود ns ۰/۸ است. برای تضعیف باریکه خروجی نوسانگر، از صافی‌های ND

شکل ۳- تصویر گرفته شده از نوسان‌نما، نشان دهنده فرایند تقویت در وقتی که همزمان‌سازی در اثر فشار گاز نیتروژن در دو سیستم حاصل نشده است. دو تپ جدا از هم، نشان دهنده عدم اجرای تقویت است. فشار گاز در نوسانگر و تقویت‌کننده به ترتیب ۱۱۰ و ۸۰ میلی‌بار، طول مسیر اپتیکی ۸۰ cm، تعداد رویهم افتادگی تپ لیزری ۹۰۰، فاصله الکترودها در نوسانگر و تقویت‌کننده به ترتیب ۵ و ۱۵ میلی‌متر و سرعت تکرارپذیری تپ ۱۰ هرتز در ولتاژ ۱۴ kV است. واحد محور افقی Ions و واحد محور عمودی اختیاری است.



حالت بهینه دو فشار مختلف گاز در سیستم‌های نوسانگر و تقویت‌کننده، طول مسیر نوری نیز بهینه شود. هنگامی که سیستم لیزر با "گاف جرقه امپدانس پایین" کار می‌کند، می‌توان رگبار لیزری تا بسامد ۱۵۰ هرتز از آن دریافت کرد. در این صورت گاف جرقه به صورت خودکار عمل می‌کند و لازم نیست برای راه‌اندازی سیستم از مولد تپ الکتریکی استفاده شود. نمودار شکل ۷ تغییرات توان متوسط خروجی لیزر (بر حسب mW) را بر حسب تغییر فشار گاز در نوسانگر نشان

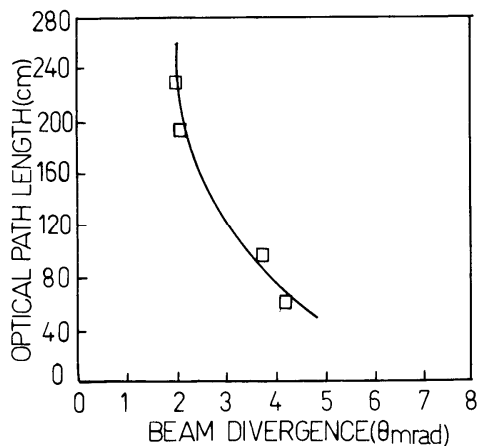
۲۱ می‌دهد. در حالت بهینه، توان متوسط ۳۰ mW از سیستم نوسانگر-تقویت‌کننده در ولتاژ کاری ۱۷ kV به دست آمده است. شکل ۸، تغییرات توان متوسط (خروجی سیستم) را بر حسب فشار گاز N_2 لیزر نوسانگر در دو عملکرد متفاوت تقویت‌کننده نشان می‌دهد: در مورد نمودار بالایی (فشار گاز N_2 ، ۹۰ mbar و ولتاژ کاری سیستم ۱۴ kV) و در مورد نمودار پایینی (فشار گاز N_2 ، ۵۳ mbar و ولتاژ کاری سیستم ۱۲ kV) در آهنگ تکرار ۲۰ Hz است. در این شکل نتایج اندازه‌گیری خروجی ASE سیستم تقویت‌کننده، هنگامی که به آن هیچ گونه سیگنال ورودی تزریق نمی‌شود، نیز مندرج است.



شکل ۷- نمودار تغییرات توان متوسط خروجی لیزر بر حسب تغییرات فشار گاز ازت در دستگاه نوسانگر، هنگامی که در گاف جرقه تخلیه آزاد صورت می‌گیرد. توان متوسط بدست

شکل ۴- همان شرایط طراحی شکل ۳، لیکن فشار گاز نیتروژن در نوسانگر و تقویت‌کننده به ترتیب ۲۹۰ و ۸۰ میلی‌بار است و تصویر همزمان‌سازی بهینه را در جهت اجرای عمل تقویت‌کنندگی نشان می‌دهد. واحد محور افقی Ions و واحد محور عمودی اختیاری است.

شکل ۵- نمونه‌ای از تپ لیزر تقویت‌کننده بدون تزریق لیزر نوسانگر (ASE)، ولتاژ: ۱۴ kV، فشار گاز ۹۰ میلی‌بار. واحد محور افقی Ions و واحد محور عمودی، اختیاری است.



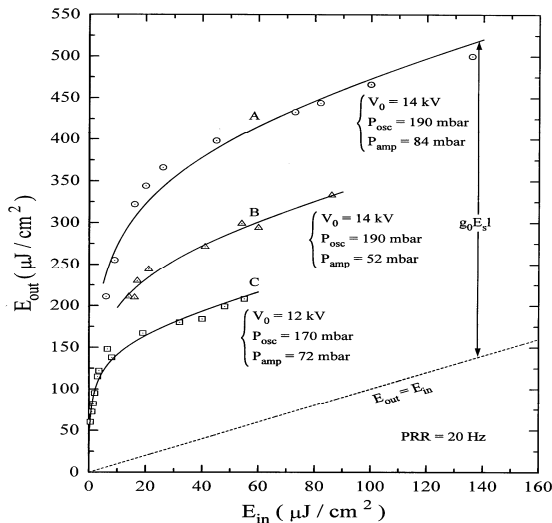
شکل ۶- واریایی باریکه انداز بیری سه خروجی لیزر: با افزایش طول مسیر نوری، واگرایی خروجی لیزر کاهش می‌یابد.

است. در مناسبترین طول مسیر نوری، واگرایی حدود ۲ mrad است که با کاهش این طول تا ۵ میلی‌رادیان افزایش خواهد یافت. برای این که دو سیستم در حالت بهینه کار کند، باید علاوه بر حفظ



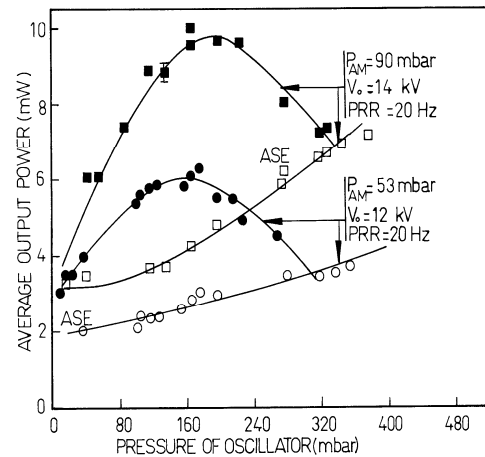
تحلیل مورد اول می‌توان E_s را حساب کرد.

نمودارهای شکل ۹ با اندازه‌گیری چگالیهای انرژی ورودی و



خروجی در شرایط کاری متفاوت لیزر نوسانگر-تقویت‌کننده رسم شده‌اند. مقایسه نمودارهای A و B که لیزرها هر دو در ولتاژ $V_0 = 14$ kV فعال هستند، نشان می‌دهد که با افزایش فشار تقویت‌کننده از ۵۲ به ۸۴ میلی‌بار انرژی خروجی افزایش یافته و متعاقب آن چگالی انرژی اشباع نیز افزایش می‌یابد، لیکن "بهره سیگنال کوچک" تقریباً ثابت می‌ماند. کاهش ولتاژ کاری لیزرها نیز منجر به کاهش انرژی خروجی می‌شود؛ این کیفیت در نمودار C (در مقایسه با نمودارهای A و B) به وضوح دیده می‌شود. تجزیه و تحلیل داده‌های تجربی مرتبط با سه منحنی A، B و C که با استفاده از محاسبه کامپیوتری مبتنی بر برازش کمترین مربعات داده‌های تجربی با استفاده از رابطه (۱) صورت گرفته در جدول ۱ درج شده است. در حالت عملکرد عادی سیستم، "بهره سیگنال کوچک" در گستره $0.06 - 0.07 \text{ cm}^{-1}$ و چگالی انرژی اشباع، از ۲۵ تا ۶۵

آمده از سیستم در آهنگ تکرار ۱۵۰ Hz، برابر ۳۰ mW در ولتاژ ۱۷ کیلوولت بوده است.



شکل ۸- نمودار تغییرات توان متوسط خروجی لیزر بر حسب فشار گاز N_2 در لیزر نوسانگر در دو عملکرد متفاوت. پارامترهای کاری لیزر در مورد اندازه‌گیری‌ها در روی شکل تغییرات چگالی انرژی ورودی و

($\mu\text{J}/\text{cm}^2$) که مشخصه فرایند ۲۲

تقویت‌کنندگی است نشان می‌دهد پارامترهای کاری سیستم شامس ولتاژ عملکرد سیستم، فشار کاری گاز در نوسانگر و تقویت‌کننده در مورد هر یک از نمودارها در شکل نشان داده شده است. برای تعیین دو پارامتر g_0 و E_s که در رابطه (۱) وارد شده‌اند، می‌توان داده‌های اندازه‌گیری شده شامل E_{in} و E_{out} در رابطه (۱) قرار داده و با محاسبات کامپیوتری، g_0 و E_s را معین کرد.

راه دیگر، تعیین رابطه (۱) در دو حد انرژی ورودی خیلی کوچک ($E_{in}/E_s \ll 1$) و انرژی ورودی خیلی بزرگ ($E_{in}/E_s \gg 1$)

است. در مورد اول، اگر $G = E_{out}/E_{in}$ و $G_0 = e^{g_0 l}$ خواهیم داشت $G \sim G_0 = \exp(g_0 l)$. مقدار g_0 از داده‌های تجربی به دست می‌آید. در مورد دوم داریم $G \sim 1 + (E_s/E_{in})g_0 l$ یا $E_{out} = E_{in} + g_0 l E_s$ بنابراین با ترسیم خط $E_{out} = E_{in}$ فاصله عمودی این خط تا قسمت مجانبی نمودارهای ترسیم شده، چگالی انرژی خروجی بر حسب چگالی انرژی ورودی، مقدار $g_0 l E_s$ تعیین می‌شود که با در دست داشتن g_0 از



شده‌اند. به کمک داده‌های تجربی، مشخصه‌های رفتاری چگالی انرژی خروجی بر حسب چگالی انرژی ورودی، یعنی بهره سیگنال کوچک (g_0) و چگالی انرژی اشباع (E_s)، تعیین شدند. پارامتر تقویت‌کننده، تعیین شدند. این پارامترها قدری از مقادیر اندازه‌گیری شده توسط محققین دیگر کوچکترند و احتمالاً به سبب انتخاب طول بلند کانال تقویت‌کننده و ناشی از فرایند خودجذب است. از طرف دیگر، طول کانال تخلیه بلند موجب بهبود کیفیت باریکه نوری می‌شود. سیستم نوسانگر-تقویت‌کننده مورد بحث قادر است با یک گاف جرقه که امپدانس آن پایین است تا بسامد ۱۵۰ هرتز کار کند، بنابراین کاستن سرعت تخلیه الکتریکی در لیزرهای خودپایان‌یابنده، عاملی مؤثر برای افزایش بازدهی، سرعت تکرار و افزایش توان خروجی خواهد بود. سیستم طراحی شده را می‌توان در مورد سایر لیزرهای خودپایان‌یابنده، مانند لیزرهای اگزایمر نیز بکار برد.

میکروژول بر سانتی‌متر مربع در نوسان است.

جدول ۱- نتایج تجزیه و تحلیل داده‌های تجربی برای تعیین پارامترهای مشخصه g_0 و E_s نوسانگر-تقویت‌کننده لیزر N_2 .

چگالی انرژی اشباع (ES) ($\mu\text{J}/\text{cm}^2$)	بهره سیگنال کوچک (g_0) (cm^{-1})	پارامترهای کاری سیستم
65	0.064	(منحنی A) $V_o = 14 \text{ kV}$ $P_{osc} = 190 \text{ mbar}$ $P_{amp} = 84 \text{ mbar}$
42	0.064	(منحنی B) $V_o = 14 \text{ kV}$ $P_{osc} = 190 \text{ mbar}$ $P_{amp} = 52 \text{ mbar}$
25	0.068	(منحنی C) $V_o = 12 \text{ kV}$ $P_{osc} = 170 \text{ mbar}$ $P_{amp} = 72 \text{ mbar}$

پی‌نوشت‌ها :

- ۱ - Spark gap
- ۲ - **FWHM:** (Full Width at Half Maximum)
- ۳ - Small signal gain
- ۴ - Saturation energy density
- ۵ - Self-terminating lasres
- ۶ - **TEA:** (Transversely Excited Atmospheric pressure)
- ۷ - **TE:** (Transverse Excitation)
- ۸ - Pulse repetition rate
- ۹ - Glan-Thompson prism
- ۱۰ - **ASE:** (Amplified Spontaneus Emission)

۵- نتیجه‌گیری

در این کار پژوهشی طریقه اجرای عمل تقویت در یک لیزر نوع TE بلند کانال، به طول ۹۴ cm، به وسیله یک نوسانگر با پیش‌یونش کورونا که قادر است تا فشار یک اتمسفر کار کند، نشان داده شد. مشخصات طراحی سیستم‌های لیزری بکار رفته عرضه شده و پارامترهای کاری و بهینه‌سازی فشار گاز در دو کانال نوسانگر و تقویت‌کننده تعیین و اندازه‌گیری

References:

1. H. Strohwald and Salzman, "Picosecond laser pulses from gas discharges in pu nitrogen at pressures up to 6 atm," Appl. phys. Lett. **28**, 272-274 (1976).
2. I. Santa, S. Szatmari. B. Nemet, J. Hebling, "Investigation of TEA-TE nitrogen laser system," Opt. Commun. **41**, 59-60 (1982).



3. I. Santa, L. Kozma, B. Racz, "Investigation of atmospheric and low-pressure nitrogen laser amplifire," *Sov. J. Quantum Electron.* **15**, 533-536 (1985).
4. T. Jitsuno, "A multi-stage TEA N₂ laser," *J. phys. D: Appl. phys.* **13**, 1405-1411 (1980).
5. K. Kagawa, H. Kobayashi, M. Ishikane, "Oscillator-amplifire system in N₂ laser using the pressure dependent formative time-lag of discharge," *Jpn. J. Appl. phys.* **18**, 2187-2188 (1979).
6. F. Docchio, V. Magni, R. Ramponi, "Thyratron-switched N₂ atmospheric-pressure oscillator, low-pressure amplifire laser system," *Rev. Sci Instrum.* **55**, 477-481 (1984).
7. A. A. Serafetinides and G. N. Tsikrikas, "A semiconductively preionised TEA nitrogen Oscillator-amplifire laser system," *Opt. Commun.* **79**, 448-454 (1990).
8. D. H. Kalantar, D. A. Hammer, A. W. De Silva, "Nitrogen laser system for diagnosing Z-pinch and X-pinch plasmas," *Rev. Sci. Instrum.* **68**, 2725-2729 (1997).
9. A. Hariri, M. Tarkashvand, A. Karami, "Corona-preionized nitrogen laser with variable pulse width," *Rev. Sci. Instrum.* **61**, 1408-1412 (1990).
10. A. H. Farahbod and A. Hariri, "Application of generalized self-filtering unstable resonators to a N₂-laser pumped dye laser," *Opt. Commun.* **108**, 84-90 (1994).
11. W. Koechner, "Solid-State Laser Engineering," Springer-Verlag, NY (1996).