بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

بررسی رفتار پارامترهای بهره سیگنال کوچک و انرژی اشباع لیزر بخار مس بر حسب فشار و نوع گاز کمکی

کامران خراسانی، سعید بهروزی نیا و هانیه کاظمی

پژوهشکده اپتیک و لیزر، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، سازمان انرژی اتمی ایران ، تهران

چکیده- در این مقاله، از یک جفت لیزر بخار مس در ترکیب نوسا نگر- تقویت کننده به منظور تعیین بهره سیگنال کوچک و انرژی اشباع استفاده شده است و اثر فشار انواع گازهای مختلف کمکی بر پارامترهای تقویت فوق در گذار سبز به طول موج nm ۵۱۰/۶ بررسی شده است. هم چنین رفتار توان خروجی تقویت کننده بر حسب فشار گاز کمکی در یک فرکانس ثابت، بررسی شده است.

کلید واژه- پارامترهای تقویت، فشار گاز کمکی ، لیزر بخار مس.

Investigation of the behavior of small signal gain and saturation energy of copper vapor laser versus pressure and type of buffer gas

Kamran Khorasani , Saeid Behrouzinia , Hanieh Kazemi

Laser and Optics Research School, Nuclear Science and Technology Research School,

Atomic Organization of Iran, Tehran

Abstract- In this paper, a couple of copper vapor laser has been used as an oscillator-amplifier array in order to determine the small signal gain and saturation energy. The behavior of amplifying parameters versus the pressure of various types of buffer gas at 510.6 nm has been investigated. Also the behavior of output power of the amplifier as a function of pressure has been investigated at a constant frequency.

Keywords: Amplification parameters, Pressure buffer gas, Copper vapor laser.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-14]

۱- مقدمه

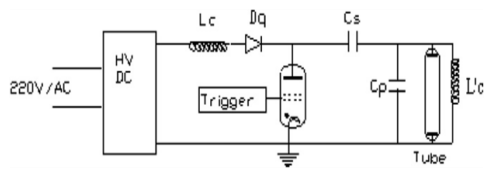
لیزر بخار مس ، به دلیل دارا بودن بهره سیگنال کوچک بالا و شدت اشباع پایین می‌تواند یک تقویت کننده خوب توان لیزری به‌شمار آید. لیزر بخار مس در دوگذار سبز ۵۱۰/۶nm و زرد ۵۷/۲nm، نوسان می‌کند و دارای کاربردهای مهمی در صنعت، پزشکی، هوا فضا، تمام نگاری ، دمش لیزرهای رنگ و کشتیرانی می‌باشد [۵- ۱]. یکی از روش‌های افزایش شدت پرتوی خروجی لیزر، استفاده از سیستم نوسانگر- تقویت کننده است، که در آن به طور هم زمان از چند لیزر به عنوان تقویت کننده و یک لیزر به عنوان نوسانگر اصلی، استفاده می‌شود. بهره سیگنال کوچک و انرژی اشباع ، از پارامترهای مهم در طراحی و تعیین توان خروجی لیزر هستند. اندازه‌گیری این پارامترها با استفاده از روش‌های مختلف، از جمله استفاده ازآرایه نوسانگر - تقویت کننده انجام شده است . بهبود کیفیت و کاهش واگرایی پرتوی لیزر از مزایای این روش هستند[۶]. در این آزمایش، از یک لیزر بخار مس به عنوان نوسانگر اصلی و یک لیزر دیگر به عنوان تقویت کننده استفاده شده است. دو تخلیه الکتریکی با فاصله زمانی کنترل شده ، درون تقویت کننده و نوسانگر ایجاد می‌شود. پرتوی لیزر نوسانگر پس از طی یک مسیر اپتیکی و هم‌زمان با برقراری بیشینه جمعیت وارون در لیزر تقویت کننده به‌درون آن واردشده ودرآنجا تقویت می‌شود. قبلاز این سیستم برای تعیین وابستگی پارامترهای تقویت لیزر بخار مس به فرکانس عملکرد با گازهای کمکی هوا و بی‌اثر استفاده گردیده است [۸ ، ۷]. در این مقاله، اثر انواع مختلف گازکمکی ودر فشارهای‌گوناگون برروی پارامترهای تقویت یک سیستم نوسانگر- تقویت کننده لیزر بخار مس در یک فرکانس ثابت مورد بررسی قرار گرفته است. در محیط‌های تقویت نا همگن که پهن شدگی داپلری بزرگتر از پهن شدگی فشاری است، مانند لیزرهای بخار مس، رابطه تقویت از مدل هارگرو پیروی می‌کند که به صورت زیر تعریف می‌شود[۱۰،۹]:

$$LnG= g_0 l - (\Delta E/AE_s) \qquad (۱)$$

که در آن ، A سطح مقطع باریکه و E_{in} و E_{out}، به ترتیب، انرژی‌های ورودی و خروجی تقویت کننده بر حسب mj هستند. $g_0(cm^{-1})$ ، بهره سیگنال کوچک ،l(cm)، طول تقویت‌کننده و $G=(E_{out}/E_{in})$ بهره انرژی می‌باشند. $\Delta E=E_{out}- E_{in}$ و$E_S(\mu j/cm^2)$ چگالی انرژی اشباع می‌باشد. طبق رابطه (۱)، g_0 و E_S با محاسبه عرض از مبدأ و شیب نمودار LnG بر حسب ΔE به دست می‌آیند.

۲- چیدمان آزمایشگاهی

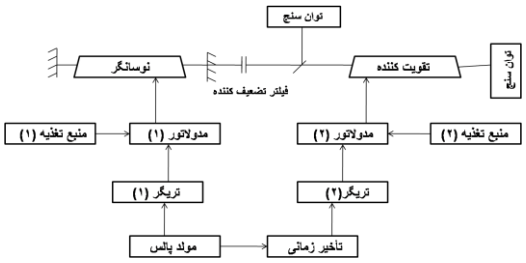
در این آزمایش از دو لیزر بخار مس به قطر۱۷mmو طول‌های ۵۸cm و ۷۳cm به ترتیب به عنوان نوسانگر و تقویت کننده استفاده شده است. تشدیدگر اپتیکی که در این سیستم بکار گرفته شده است، از نوع تخت-تخت ، با درصد بازتاب ۹۸٪ برای آینه عقب و ۴٪ برای آینه جلو است. از یک مدار الکتریکی تأخیرساز، برای همزمان‌سازی بین زمان ورود باریکه خروجی از نوسانگر به درون تقویت کننده، با زمان به بیشینه رسیدن جمعیت وارون در تقویت کننده استفاده می‌گردد. این دستگاه اثرهای ناشی از پرش پالس به پالس (Jitter) مربوط به هر یک از سوئیچ‌های تایرترونی که حدود ±۲ns است، را حذف می‌نماید. برای دستیابی به توان‌های مختلف ورودی به تقویت کننده یک سری فیلتر دانسیته خنثی در مسیر راه نوری بین لیزرها قرار داده می‌شود و توان مورد نظر با توان‌سنج مولکترون مدل PM500D، اندازه‌گیری می‌گردد. سیستم گاز رسانی شامل کپسولهای مختلف گاز از جمله نئون خالص و مخلوط هلیوم-نئون با درصد اختلاط ۵۰-۵۰٪ و نیز هوا ، شلنگ‌های رابط، شیر سوزنی و فشارسنج می‌باشد و برای ایجاد خلأ در هر دو لوله لیزر، از یک پمپ روتاری استفاده‌شده‌است. مدار تحریک دراین سیستم، در شکل ۱ نشان داده شده است.



[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-14]

شکل۱- مدار تحریک لیزر بخار مس با مشخصات: C_p=0.68 nF, C_s=1.65 nF, L_c=110.5 mH,L'_c=120 µH

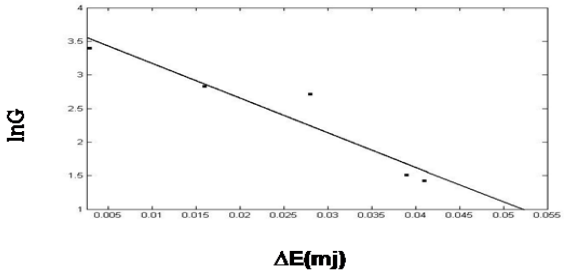
هم چنین در شکل ۲ طرح واره‌ای از نمای چیدمان آزمایشگاهی نشان داده شده است.



شکل۲ - نمایی از چیدمان آزمایش.

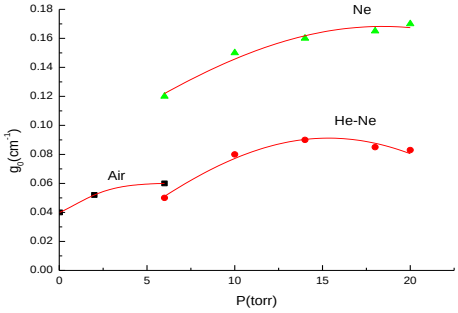
۳- آزمایش‌ها و بررسی نتایج آنها

ابتدا به منظور بیان روش محاسبه g_0 و E_S ، نتایج یک نمونه آزمایشی در فشار ۲ torr از گاز کمکی هوا در فرکانس دمش ۱۷/۵ kHz، در نمودار شکل۳ آورده شده است. با استفاده از این نمودار، g_0 و E_S ، به ترتیب برابر با ۰/۰۵ cm^{-1} و ۶/۴۹ $\mu j/cm^2$ به دست آمده‌اند.

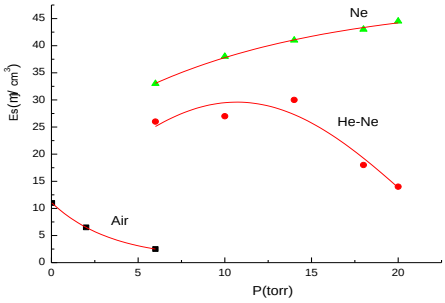


شکل ۳ - نمودار lnG بر حسب ΔE در نوسانگر- تقویت کننده لیزر بخار مس در فشار ۲ torr از گاز کمکی هوا .

سپس آزمایش‌ها را در همان فرکانس ثابت ۱۷/۵ kHz و درفشارهای مختلف‌گازکمکی هوا تکرار و رفتار پارامترهای تقویت بررسی شد. بعلاوه همین آزمایش‌ها را با گازهای کمکی نئون خالص و مخلوط هلیوم-نئون با ترکیب ۵۰ درصد از هر کدام تکرار شد که نتایج آن برای بهره سیگنال کوچک و انرژی اشباع، به ترتیب در نمودار شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل‌ها پیداست، در مورد گاز کمکی هوا، g_0 و E_S، با افزایش فشار به ترتیب به طور غیر خطی، افزایش و کاهش می‌یابند. در واقع می‌توان گفت که رفتار g_0 و E_S بر حسب فشار، عکس یکدیگر هستندکه با روابط نظری مطابقت دارند[۱۱].



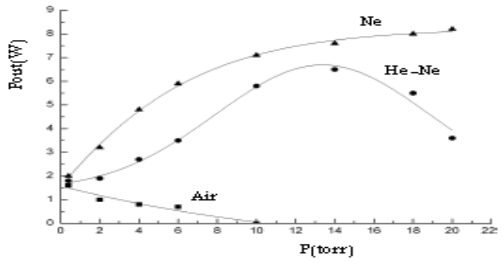
شکل ۴ - نمودار بهره سیگنال کوچک بر حسب فشار در گازهای کمکی مختلف در فرکانس ثابت ۱۷/۵ kHz.



شکل ۵ - نمودار انرژی اشباع بر حسب فشار در گازهای کمکی مختلف در فرکانس ثابت ۱۷/۵ kHz.

همان‌طور که پیداست مقادیر عددی g_0 و E_S مربوط به نئون بیشتر از مخلوط هلیوم-نئون بوده و هردو، از مقادیر متناظر مربوط به هوا نیز بیشتر هستند و این نشانگر برتری گاز نئون در عملکرد لیزرهای بخار مس نسبت به دیگر گازها شده است. رفتار توان خروجی تقویت کننده نیز بر حسب فشار به ازای سه گاز کمکی مختلف بررسی شد، که نتایج آن در نمودار شکل ۶ آورده شده است.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-14]



شکل ۶- نمودار توان خروجی تقویت کننده بر حسب فشار گازهای کمکی مختلف در فرکانس ثابت ۱۷/۵ kHz.

ملاحظه می‌شود که توان خروجی تقویت کننده با افزایش فشار هوا سریعا کاهش می‌یابد. در واقع به دلیل واکنش هایی که ممکن است بین عناصر موجود در هوا و بخار مس ایجاد شود، ترکیبات جدیدی در محیط بهره به وجود می‌آیند که منجر به ایجاد اختلال در امر لیزدهی می‌شوند و همین امر باعث می‌شود تا پایداری توان خروجی تقویت کننده نسبت به حالتی که از گازهای بی‌اثر بعنوان گاز کمکی استفاده می‌شود، کمتر باشد. همچنین ملاحظه می‌شود که برای دو گاز بی‌اثر دیگر، توان خروجی ابتدا با افزایش فشار نیز افزایش یافته، که این به‌دلیل افزایش در سطح مقطع برخوردی بین اتم‌های گاز کمکی و مس و به‌دنبال آن افزایش در جمعیت معکوس است، سپس به یک مقدار بیشینه رسیده و بعد از آن با افزایش بیشتر فشار گاز، به‌دلیل برخوردهای الکترونی با اتم‌ها و کاهش دمای الکترون و در نتیجه کاهش جمعیت معکوس، توان خروجی افت پیدا می‌کند. این قله برای گاز هلیوم-نئون خیلی واضح است، و بنظر می‌رسد که این بیشینه برای گاز نئون در فشارهای بیشتر مثلا حدود ۳۰torr رخ دهد. نکته قابل توجه در این شکل این است که در فشارهای پایین، توان خروجی لیزر به‌ازای هر سه نوع گاز کمکی بهم نزدیک شده بطوریکه در فشار حدود ۲torr هر سه توان خروجی یکسانی به اندازه حدود ۱/۷W را نشان می‌دهند.

۴- نتیجه‌گیری

عملکرد یک لیزر بخار مس با گاز کمکی هوا نیز نشان می‌دهد که می‌توان از این گاز بعنوان گاز کمکی استفاده نمود منتهی توان خروجی آن و نیز پایداری عملکرد لیزر بمراتب کمتر از موقعی است که در آن از گازهای کمکی بی‌اثر رایج از جمله نئون استفاده می‌شود. بهترین نوع گاز کمکی مورد استفاده در لیزرهای بخار مس گاز نئون بوده و گاز بعدی هلیوم یا مخلوط آن دو می‌باشد. از طرفی به‌دلیل آنکه هزینه تهیه گازهای بی‌اثر بسیار بالاست لذا می‌توان در آزمایش‌هایی که به توان خروجی بالایی از لیزر نیاز نیست از جمله نمایش لیزری و مسایل صرفا آموزشی، از گاز کمکی هوا استفاده نمود. مزیت استفاده از هوا در سیستم لیزرهای بخار مس در آن است که هوا در همه جا و بطور رایگان وجود دارد و بدین‌ترتیب سیستم گازرسانی را می‌توان حذف نمود که این باعث سبک‌تر شدن سیستم نیز می‌گردد.

مراجع

[1] V. V. Chvykov, T. P. Kraposhina, S. N. Mazurov,T. P. Zaharova & K. I. Zemskov,"*Metal Vapor Laser system in biology and medicine*", Kluwer Academic Publisher: Dordrecht,403-81996).

[2] T. I. Karu, G. S. Kalendo & V. S. Letokhov,"*Action of low-intensity visible copper vapor laser radiation on the Hela cell culture*", **Sov.J.Quantum Electron.**12(1) 89-91 (1982).

[3] C. D. Decker,T. S. Fahlen & J. Falk,"*Amplification & laser action in a laser dye pumped by a copper-vapor-laser*",**Appl.Phys.**46(5) , 2308-9 (1975).

[4] J. M. Stamp, G. J. S. Fowler, R.Devonshire & J. L. Williams,"*The use of photodynamic therapy (PDT) for the treatment of superficial tumours on the bladder wall*", **Lasers Med.Sci** .5, 5-12 (1990).

[5] W. Lauterborn, A. Judt & E. Schmitz,"*High-speed off-axis holographic cinematography with a copper-vapor-pumped dye lasers*", **Opt.lett** 18(1) 4-6 (1993).

[6] S. Ghorashi, K. Rahimian, A. Hariri,**Optics Communications**,238,139 ,(2004).

[۷] بهروزی‌نیا، سعید، خراسانی، کامران، کاظمی، هانیه، بررسی پارامترهای تقویت در سیستم نوسانگر- تقویت کننده لیزر بخار مس بر حسب فرکانس، هفدهمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران، کرمان ۱۳۸۹.

[8] S. Behrouzinia, K. Khorasani, H.Kazemi, H.Mashayekhi, "*Frequency dependence of amplifying parameters of a copper vapor laser using air as a buffer gas*", **Journal of Russian Laser Research** ,Vol, 32,No .6,212 (2011).

[9] R. S. Hargrove, R.Grove & T. Kan, **Quantum Electronics**,15, 11, (1979).

[10] S. Behrouzinia, R. Sadighi & P. Parvin,"*pressure dependence of small signal gain and saturation intensity of a copper vapor laser*", **Applied Optics**,Vol, 42,No .6 (2003).

[11] S. Behrouzinia, K. Khorasani, H.Kazemi, **Journal of Russian Laser Research** ,Vol, 34,No .2,103 (2013).

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-14]