

بسنگی بهره سیگنال کوچک و شدت اشباع به فشار گاز کمکی در لیزر برمید مس

محمد ابراهیم آینه‌وند^۱، سعید بهروزی‌نیا^۲، کامران خراسانی^۳

^۱دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۲پژوهشکده فotonیک و فن آوریهای کوانتومی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران

چکیده - از یک جفت لیزر برمید مس بعنوان سیستم نوسانگر - تقویت کننده برای محاسبه وابستگی بهره سیگنال کوچک و شدت اشباع بعنوان پارامترهای تقویت نسبت به فشار گاز کمکی استفاده شده است . نشان داده شده که پارامترهای تقویت و توان خروجی یک مقداربیشینه را در حالت بهینه فشار گاز کمکی ۱۱ تور دارند. زمان تاخیری مطلوب 10 ns بوده و حدکثر توان خروجی ۱۲ وات بدست آمده است. همینطور توان خروجی و شدت اشباع و بهره یک رفتار نوسانی نسبت به فشار در بازه ۷ الی ۱۸ تور دارند.

کلید واژه- لیزر برمید مس، بهره سیگنال کوچک، شدت اشباع، برمید مس، تریگر ، فشار

Pressure dependence of the small-signal gain and saturation intensity of a CuBr laser

Mohammad Ebrahim Aeenehvand¹, Saeid Behrouzinia², Kamran Khorasani²

¹ Azad University, science and research branch, Tehran, Iran

²Fotonics and quantum technologies research school, nuclear science and technology school,
AEOI,Tehran Iran

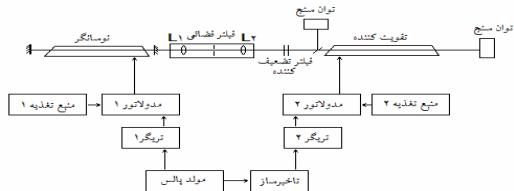
Abstract

A pair of copper bromide laser in an oscillator-amplifier configuration was used to investigate the small signal gain and saturation intensity as amplifying parameter and output power of lasers ,versus pressure of buffer gas, It is shown that the amplifying parameters and laser output power have a maximum value at optimum buffer gas pressure of 11 Torr.Thus an optimum delay time of about 10 ns is determined, and a maximum output power equivalent to about 12 W is extracted.

Keywords: Copper bromide laser, Small-signal gain, Saturation intensity, Pressure

جداگانه عنوان تقویت کننده در آزمایش قرار می‌گیرند. جنس همه آنها از کوارتز و بقطر ۲۰ mm هستند. یک منبع گرمایی که در زیر مخزن وسط لوله لیزر که محل قرارگرفتن پودر برمید مس است قرار گرفته و باعث ایجاد بخار برمید مس به داخل محیط تخلیه می‌گردد. بهرحال الکترودهای مس بوسیله آب که از داخل استوانه می‌گذرد باعث خنک شدن آنها می‌گردد. توان الکتریکی منبع مستقل بوده و متناظر با پالس نوری است که وارد می‌شود. دو پالس تخلیه پیاپی ایجاد شده که بستگی به زمان تاخیری دارد و بوسیله زمان تاخیری تریگر کنترل می‌شود. در خروجی دو طول موج خاص nm ۵۱۰/۶ و nm ۵۷۸/۲ که در محدوده نور مرئی هستند. پس از ثابت نمودن و باریک کردن اشعه به داخل محیط تخلیه تقویت وارد می‌شوند. در زمان ورود پالس لیزر باید عمل همزمانی (سینکرون کردن) انجام گیرد و این زمانی است که بیشترین وارونی جمعیت در تقویت کننده داریم و در این حالت است که نور تقویت می‌گردد. در غیر این صورت عمل تضعیف نور را خواهیم داشت و لذا در نهایت توان خروجی کاهش می‌یابد.

عمل تضعیف اشعه ورودی به نوسانگر توسط فیلترهای دانسیته خنثی NDF انجام می‌گیرد و سپس وارد تقویت کننده می‌شود.



شکل ۱ نمایش شماتیک یک MOPA را نشان می‌دهد که برای آزمایش اصلی مرتب شده است.

نوسانگر اصلی بوسیله تشدید بحرانی که از یک آینه عقب با ضریب بازتابش ۹۸٪ و یک آینه جلو با ضریب بازتابش ۴٪ عمل کواک صورت می‌گیرد. توانهای ورودی و خروجی تقویت کننده بوسیله دو تا پاورمتر نوع PM500DTM اندازه گیری می‌شوند. یک شیر سوزنی دقیق برای کنترل مقدار فلوی گاز استفاده می‌شود. و از روی ان فشار گاز کمکی داخل لوله را اندازه می‌گیرند.

بحث و بررسی نتایج

از آنجاییکه پهنای خط دوپلر بزرگتر از پهن شدگی فشار برای لیزرهای CBL همانند CBL است، تقویت بصورت این شدگی ناهمگن غالب انجام می‌گردد. پارامترهای تقویت این نوع لیزر یعنی بهره و شدت بترتیب g₀ و E_s با استفاده از روش کمترین مربعات و با قراردادن در معادله هارگرو بدست می‌آیند.

$$\ln G = g_0 d - (\Delta E / E_s A)$$

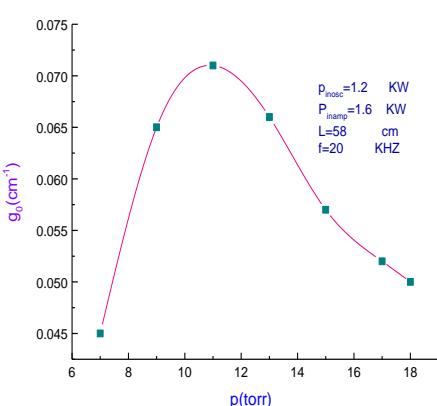
۱- مقدمه

شایان ذکر است که اخیراً از لیزرهای بخار ترکیبات مس (هالید مس) استفاده شده است. استفاده از هالیدهای مس بجای اتمهای مس ابتدا در سال ۱۹۷۳ گزارش شد [۲۱] شبیه آنچه که در مورد بخار مس گفته شده در لیزر هالید مس نیز دو طول موج خاص ۵۷۸/۲ و ۵۱۰/۶ نانومتر حاصل می‌شوند. بنابراین در لیزر هالید مس کاربردهای جالبی بجای لیزرهای بخار مس (CVL) در جاهای مختلف از علوم و تکنولوژی مورد استفاده قرار گرفته است. دمای عملکرد به فشار بخار ترکیب بستگی داشته و برای لیزر برمید مس حدوداً ۵۰۰°C است، که کمتر از دمای لیزر بخار مس است که در محدوده ۱۵۵°C می‌باشد [۴۰].

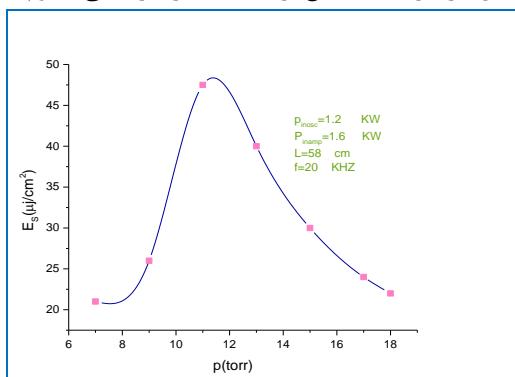
اولین مزیت لیزر بخار برمید مس (CBL) نسبت به لیزر CVL دمای پائین برای ماده فعال است. باصرفه بودن در بعضی جاهای استفاده از مواد اصلی در جایگاهی که عمل می‌کند باعث شده که ساخت لوله راحت شود. و مدت زمان روشن کردن کاهش یابد و بعبارتی دیگر لیزر زود آماده شود [۵]. مزیت دیگر CBL بر CVL فرکانس تکرار پالس بالا است که کیفیت پرتو خروجی CBL نسبت به CVL بهتر است [۶۰]. یکسری از پارامترها از جمله بهره سیگنال کوچک و شدت اشباع وجود دارند که لیزرها را از هم مجزا می‌کند و در طراحی و ساخت از آنها استفاده می‌شود. بطور کلی از سیستم نوسانگر تقویت کننده (MOPA) برای تعیین این پارامترها استفاده می‌شود. در کارهای پیشین از CVL و لیزر طلا بمنظور بالا بردن توان خروجی و بهبودی کیفیت بطور همزمان استفاده شده است [۸۱]. همچنین با توسعه سیستمهای MOPA از نظر عملکرد لیزر برمید مس با توان ۱۱۰ وات گزارش شده است [۱۲]. در این پژوهه از سیستم MOPA لیزر برمید مس با سه طول مختلف برای ایجاد تقویت نور بطور مجزا بعنوان تقویت کننده استفاده شده است. برای مطالعه رفتار g (بهره سیگنال) و E_s (شدت اشباع) با فشار گاز کمکی GVL (He) نتایج بدست آمده با لیزرهای CVL و مقایسه شده است. یک زمان تاخیری بهینه ما بین نوسانگر و تقویت کننده یعنی زمانی که بیشترین توان از سیستم خارج می‌شود وجود دارد. که اگر درست انتخاب نشود تقویت نخواهیم داشت.

۲- چیدمان آزمایش:

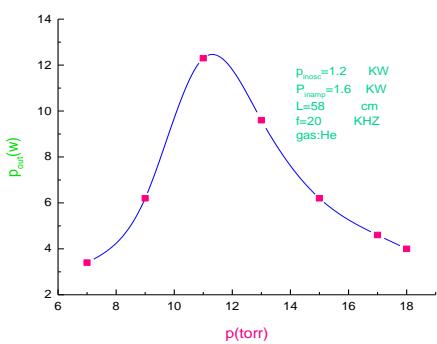
پیکربندی استاندارد و قابل قبول برای ایجاد توان لیزر در سیستم MOPA برای انجام آزمایش بکار می‌رود [۱۱]. لوله‌های استوانه‌ای شکل یکی بطول ۲۸ cm بعنوان نوسانگر و یکی دیگر به طولهای ۳۸ cm و ۴۸ cm که هر کدام بطور



شکل ۳ رفتار شدت اشعاع بر حسب فشار گاز کمکی هلیوم



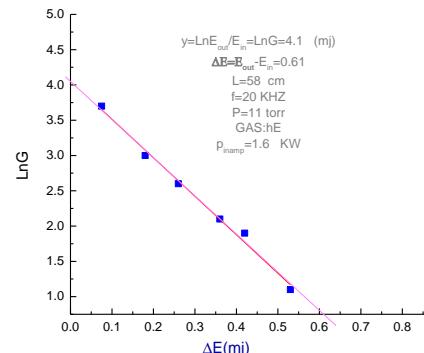
شکل ۴ رفتار شدت اشعاع با فشار گاز کمکی هلیوم



شکل ۵ رفتار توان بر حسب فشار گاز کمکی هلیوم برای تقویت کننده بطول ۵۸ cm

قابل توجه است که جهت یادآوری مقدار E_s برای هر سه طول مختلف در فشار ۱۱ تور دارای یک بیشینه است. ضمناً همانطوری که قبله کار شده، خاصیت خطی بودن شدت اشعاع و بهره با فشار گاز کمکی در فاصله بین ۲۵ الی ۷۵ تور برای لیزر تقویت CVL [۸] و در فاصله ۱۴ الی ۳۰ تور برای تقویت کننده لیزر طلا [۱۰]. نشان داده شده است. در نهایت رفتار توان خروجی بر حسب فشار گاز کمکی در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطوری که در شکل ۳ نشان داده می‌شود با افزایش

$\Delta E = E_{out} - E_{in}$ پارامترهای تقویت می‌توانند بوسیله منحنی عمودی $\ln G$ که در ان $G = E_{out}/E_{in}$ (نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی در تقویت کننده) بر حسب اختلاف انرژی روی محور افقی بدست می‌آیند. نتایج آزمایش در شکل ۲ مشخص است از این شکل مقدار E_s و g_0 بدست می‌آید. که بترتیب مقدار $47/5 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ و 0.71 cm^{-1} می‌باشد. آزمایش با طول ۵۸ cm بعنوان تقویت کننده و با فرکانس ۲۰ kHz با فشار گاز کمکی He برابر ۱۱ تور و توان ورود به تقویت کننده ۱/۶ kw استفاده شده است. خطهای سبز و زرد از هم مجزا نشده‌اند. بهمین طریق ما مقدار E_s و g_0 را برای چندین تقویت در فشارهای مختلف ۷ الی ۱۸ تور انجام دادیم. و برای طولهای ۳۸ cm و ۴۸ cm نیز تکرار گردید. نکته حائز اهمیت آن است که توجه داشته باشید در هر فشار باید عمل سینکرون کردن انجام گردد و اندازه گیری متعاقباً تکرار شود.



(شکل ۶) نمودار بهره انرژی G بر حسب اختلاف انرژی ΔE همانطوری که شکل ۳ نشان می‌دهد اشکاراً مشخص است که g_0 با افزایش فشار گاز کمکی افزایش می‌یابد. ابتدا با افزایش فشار بهره سیگنال کوچک افزایش یافته تا در فشار ۱۱ تور به یک مقدار بینه می‌رسد و بعد از آن با افزایش فشار بهره کاهش می‌یابد. شایان ذکر است که برای هر سه طول رفتار g_0 تقریباً یکسان است.

در شکل ۴ رفتار E_s بر حسب فشار گاز کمکی در تقویت کننده نشان داده شده است. با وجود این که در تمام منحنی‌ها رفتار E_s بر حسب فشار کل شبیه هم است در کمترین مقدار که با یکدیگر فرق دارند بستگی به طول لیزر دارد.

REFERENCES

- M. A. Kazaryan, G. G. Petrush, and A. N. Trofimov, 'Compartition of the characteristics of copper, copper chloride, and copper bromide vapor laser,' Sov. J. Quantum Electron. **10**, 328-33 (1980).
- N. M. Nerheim, 'A parametric study of the copper chloride laser,' J. Appl. Phys. **48**, 1186-90 (1977).
- S. Behrouzinia, A. R. Namdar, M. Zand, R. Barry, and A. Hojabri, 'Effect of a magnetic pulse compression circuit on the operation of a halide laser,' Laser Physics **16**, 1616-1620 (2006).
- F. Rahimi Ashtari, S. Behrouzinia, B. Sajad, and M. Zand, 'The effect of an axial external magnetic field on the output power of a small-bore CuBr laser,' Opt. Commun. **284**, 1318-1321 (2011).
- G. N. Tiwari, P. K. Shukla, R. K. Mishra, V. K. Shrivastava, R. Khare, and S. V. Nakhe, 'Effect of addition of Hydrogen to neon buffer gas of copper bromide vapor laser on its spectral and temporal characteristics,' Optics Commun. **338**, 322-327 (2015).
- D. N. Astadjov, K. D. Dimitrov, D. R. Jones, V. Kirkov, L. Little, C. E. Little, N. V. Sabotinov, and N. K. Vuchkov, 'Influence on operating characteristics of scaling sealed-off CuBr lasers in active length,' Optics Commun. **135**, 289-294 (1997).
- D. N. Astadjov, L. I. Stoychev, S. K. Dixit, S. V. Nakhe, and N. V. Sabotinov, 'High-brightness CuBr MOPA laser with diffraction-limited throughout-pulse emission,' IEEE J. Quantum Electron. **41**, 1097-1101 (2005).
- S. Behrouzinia, R. Sadighi-Bonabi, and P. Parvin, 'Pressure dependence of the small-signal gain and saturation intensity of a copper vapor laser,' Applied Optics **42**, 1013-8 (2003).
- S. Behrouzinia, R. Sadighi-Bonabi, P. Parvin, and M. Zand, 'Temperature dependence of the amplifying parameters of a copper vapor laser,' Laser Physics **14**, 1050-3 (2004).
- M. Aghababaei Nezhad, B. Sajad, S. Behrouzinia, D. Salehinia and, K. Khorasani, 'Pressure dependence of small signal gain and saturation intensity of a gold-vapor laser using various buffer gases in gain medium,' Opt. Commun. **283**, 1386-8 (2010).
- S. Behrouzinia, K. Khorasani, H. Kazemi, and H. Mashayekhi, 'Frequency dependence of amplifying parameters of a copper vapor laser using air as a buffer gas,' J. Russian Laser Research **32**, 212-6 (2011).
- G. N. Tiwari, R. K. Mishra, R. Khare, and S. V. Nakhe, 'Development of copper bromide laser master oscillator power amplifier system,' PRAMANA- journal of Physics **82**, 217-225 (2014)

فشار g_0 افزایش بیدا می‌کند تا اینکه در فشار ۱۱ تور مقدار σ_{st} ^{-۱} به $0.071\text{cm}^2/\text{W}$ می‌رسد. و بعد از آن کاهش می‌یابد. دمای داخل لیزر در طول آزمایش باید ثابت نگه داشته شود. با توجه به ثابت بودن پهنهای خط دوپلر، سطح مقطع گسیل الفایی بطور تقریب بدون هیچ تغییر باقی می‌ماند. با افزایش فشار $\sigma_{st} = (\Delta N)g_0$ با خاطر افزایش وارونی جمعیت مقدار بهره ابتداء افزایش یافته و از فشار ۱۱ تور به بعد، بعلت برخوردهای ناکشسانی که صورت می‌گیرد دمای الکترونها کاهش یافته و وارونی جمعیت کاهش می‌یابد، در این نرخ پمپاز به تراز بالاتر کمتر از نرخ پمپاز به تراز پایین است و در نهایت بهره ابتداء می‌یابد. رفتار E_s بر حسب فشار شبیه g_0 است. با توجه به رابطه $E_s = \frac{vh}{\sigma_{st}} \tau$ ثابت است. با افزایش فشار تا ۱۱ تور طول عمر تراز انتقال بالایی لیزر (τ) کاهش یافته و شدت اشباع تا فشار بهینه ۱۱ تور افزایش یافته و بعد از فشار بهینه با افزایش فشار بعلت برخوردهای غیرتابشی τ_2 افزایش می‌یابد و در نتیجه شدت اشباع کاهش خواهد داشت. انرژی خروجی از تقویت کننده با توجه به رابطه $E_s = \frac{\Delta N}{\tau} AL$ متناسب با $\Delta N/\tau$ بوده با افزایش فشار تعداد برخوردهای کشسان افزایش یافته و وارونی جمعیت زیاد شده و از طرفی طول عمر تراز تشدید کاهش می‌در نتیجه توان خروجی افزایش خواهد یافت و بعد از فشار بهینه به علت برخوردهای غیرکشسان و سرد شدن الکترون‌ها جمعیت وارون کاهش و طول عمر تراز تشدید افزایش می‌یابد، حاصل این تغییرات کاهش توان خروجی را در بر دارد.

نتیجه گیری:

رفتار پارامترهای تقویت با فشار گاز کمکی بین ۱۸ - ۷ تور برای لیزر CBL یک رفتار غیر خطی و دارای یک مانگزیم در فشار ۱۱ تور می‌باشد. در مقایسه با GVL و CVL ما رفتار هر نوع پارامتر تقویت را که بستگی به بازه انتخابی فشار دارد. بررسی نموده که برای بعضی در یک بازه، رفتارش خطی و بعضی دیگر، در بازه دیگری از فشار بصورت غیر خطی است که دارای یک پیک در فشار خاص یعنی فشار بهینه می‌باشد.