



تعیین نمایه دمایی پلاسما به روش توزیع بولتزمن در لیزر بخار مس با آینه‌های

دی الکتریک و لایه نشانی شده با مس

میترا نم نبات^۱، علیرضا مرادی^{۱،۲}، سعید بهروزی نیا^۳، مریم قشلاقی^۳، سید حسن نبوی^۴ و کامران خراسانی^۳

^۱ گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان

^۲ پژوهشکده اپتیک و فوتونیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی در علوم پایه زنجان، زنجان

^۳ پژوهشکده لیزر و اپتیک، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران

^۴ دانشکده فیزیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

چکیده - استفاده از آینه های فلزی در لیزر بخار مس و جایگزینی آن با آینه های دی الکتریک با توجه به امکان خنک شوندگی سریعتر آنها بسیار مورد توجه است. در این مقاله نتایج جایگزینی آینه های فلزی ساخته شده با آینه اصلی لیزر بخار مس بررسی شده است، و نمایه دمایی پلاسمای مس تشکیل شده در تیوب لیزر بخار مس با طول موج خروجی لیزر ۵۷۸/۲ و ۵۱۰/۶ نانومتر و با پهنای پالس ۲۵-۳۰ نانو ثانیه، با استفاده از گاز کمکی هوا در فشار 10^{-2} تور با استفاده از روش توزیع بولتزمن برای آینه لایه‌نشانی شده با مس و آینه اصلی لیزر بخار مس در شرایط تعادل ترمودینامیکی موضعی و توان ورودی یکسان در فرکانس‌های متفاوت اندازه‌گیری شده و نتایج بدست آمده تحلیل گردیده‌اند.

کلید واژه - آینه های لیزری، شرایط تعادل ترمودینامیکی، لیزر بخار مس، نمایه دمایی.

Determination of plasma temperature of copper vapor laser (CVL) by the use of Boltzmann plot method for CVL's mirror and copper coated mirror

Mitra Namnabat¹, Ali-Reza Moradi^{1,2}, Saeed Behrooziniya³, Maryam Gheshlaghi³, Seyed Hasan Nabavi⁴, Kamran Khorasani³

¹Physics Department, University of Zanjan, Zanjan

²Optics Research Center, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, Zanjan

³Laser and Optics Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran

⁴Physics Department, University of Tarbiat Modares, Tehran

Abstract- In this paper, we determinate the temperature profile of a copper vapor laser (CVL) when its dielectric mirrors are replaced with metallic mirrors. The plasma is produced in CVL tube of 510.6 nm and 578.2 nm wavelengths, and with pulse width of 25-30 ns at about 10^{-2} Torr pressure. The experiment condition was preserved in local thermodynamic equilibrium. The temperature is obtained from the Boltzmann plot method for each cavity mirror. We examined the method for two different cases, copper coated on BK7 substrate, and the laser's fabric mirrors.

Keywords: Copper vapor laser, Laser's mirror, Local thermodynamic equilibrium, Temperature profile.

1594

بنابراین مقدار T از رابطه‌ی بالا قابل اندازه‌گیری است. همچنین با استفاده از توزیع بولتزمن

$$n = n_0 \exp\left(-\frac{E_K}{K_B T}\right)$$

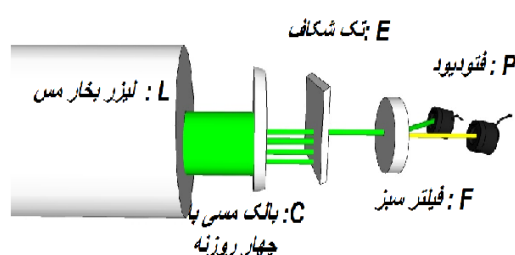
طرح واره چیدمان بکار رفته برای این اندازه‌گیری در شکل ۲ نشان داده شده است. در شکل، L لیزر بخار مس، C بالک مسی با چهار حفره، E تک شکاف، F فیلتر سبز و P فتودیود، نمایش داده شده اند.

تحلیل نتایج تجربی

نمایه دمایی لیزر بخار مس برای هر یک از آینه‌ها، آینه اصلی لیزر و آینه لایه نشانی شده با مس در سه فرکانس مختلف در شکل ۳ آورده شده است. همانطور که در نمودار مشخص است دمای اندازه‌گیری شده با آینه‌ی مسی در روزنه‌ی مرکزی دارای یک فرورفتگی می باشد. در حالی که در اندازه‌گیری با آینه اصلی حفره‌ی مرکزی دارای بیشینه مقدار دما می باشد. همچنین دمای آن در دیواره‌ها کمتر است که علت آن را می توان کوچکتر بودن قطر آینه مسی نسبت به آینه اصلی و پوشش دهی کمتر آن در دهانه‌ی تیوب لیزر یافت. در حالی که در آزمایش با آینه اصلی دمای دیواره به دلیل برخورد اتم‌ها با جداره و بدنه‌ی لیزر نسبت به دمای مجاور بیشتر است. شکل ۴ تغییرات فرکانس بر حسب دما برای دیواره نشان داده شده است. همانطور که در نمودار مشخص است دما برای هر دو آینه در فرکانس‌های پایین مطابقت خوبی دارد. شکل ۵ میزان تغییرات دما در حفره‌ی مرکزی را بر حسب توان خروجی با آینه مسی نشان می‌دهد همانطور که در نمودار نیز مشخص است توان خروجی طول موج سبز به زرد تقریباً نسبت ۳ به ۲ دارند. شکل ۶ تغییرات فرکانس با نسبت n/n_0 برای دو آینه مختلف در طول موج سبز نشان می‌دهد. در شکل مشخص است که فرکانس با نسبت n/n_0 رابطه‌ی معکوس دارد و با کاهش فرکانس نسبت اتم‌های برانگیخته به اتم‌های حالت پایه در طول موج سبز افزایش می‌یابد. در این پروژه نتایج تجربی تاثیر قرار دادن آینه لایه نشانی شده با مس در دمای اندازه‌گیری شده پلاسمای لیزر بخار مس ارایه و تحلیل گردید. اندازه‌گیری دما به روش توزیع بولتزمن تطبیق خوبی با اندازه‌گیری به روش‌های عددی و

ماندن توان خروجی، فرکانس را در بازه‌های بالاتر و پایین‌تر از فرکانس اولیه به طوری تغییر می‌دهیم که توان ورودی در محدوده‌ی ۱۳۰۰ W قرار گیرد.

برای اندازه‌گیری دمای نقاط مختلف پلاسمای مس تشکیل شده در تیوب لیزر از چهار روزنه‌ی کوچک (به شعاع ۱ mm و به فاصله ۲ mm از مرکز یکدیگر) که در یک جرم مسی (C) ایجاد شده استفاده می‌کنیم و آن را به صورت موازی در برابر لیزر (L) قرار می‌دهیم طوری که در روزنه‌ی مرکزی در مرکز باریکه لیزری قرار گیرد. سپس با قرار دادن تک شکاف E در برابر هر یک از چهار باریکه خروجی از روزنه‌ها یکی از آن‌ها انتخاب می‌شود. باریکه

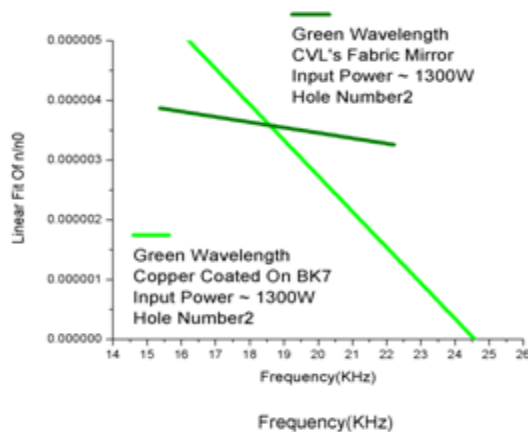


شکل ۲: چیدمان آزمایشگاهی برای اندازه‌گیری دمای پلاسمای مس داخل تیوب لیزر

انتخابی پس از برخورد با فیلتر سبز (F) تحت زاویه‌ی ۴۵ درجه به نورهای سبز و زرد شکافته می‌شود. در نهایت شدت خروجی هر یک از پرتوهای سبز و زرد توسط فتودیود (P) و اسپکروسکوپ اندازه‌گیری می‌شود. این آزمایش با چند فرکانس مختلف و تحت شرایط توان ورودی تکرار می‌یابد. دمای پلاسمای در داخل تیوب لیزر بخار مس و در شرایط تعادل ترمودینامیکی موضعی (LTE) و با استفاده از معادله:

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{I_{nm,z}}{I_{ki,z}}\right) \left(\frac{g_{k,z}}{g_{n,z}}\right) \left(\frac{A_{ki,z}}{A_{nm,z}}\right) \exp\left(-\frac{E_{k,z} - E_{n,z}}{K_B T}\right)$$

می توان نسبت جمعیت اتم‌های مس برانگیخته (n) را به جمعیت اتم‌ها در تراز پایه (n_0) به دست آورد [۴]. بدست می‌آید [۴۵]. در رابطه‌ی بالا I_1 شدت خطی برای گذار $k \rightarrow i$ و I_2 شدت خطی در گذار $m \rightarrow n$ است. λ طول موج گذار خطی و $g_{k,z}$ و $A_{k,z}$ به ترتیب انرژی و تبهگنی تراز انرژی بالا و $E_{k,z}$ احتمال گذار هستند. T و K_B به ترتیب ثابت بولتزمن و دمای موضعی داخل تیوب می باشند. همه مقادیر به صورت ثابت برای لیزر بخار مس در دسترس می باشند و



شکل ۶: نمودار فرکانس بر حسب n/n_0 برای طول موج سبز روزنه دوم در فشار 10^{-2} Torr و توان ورودی حدود ۱۳۰۰ W.

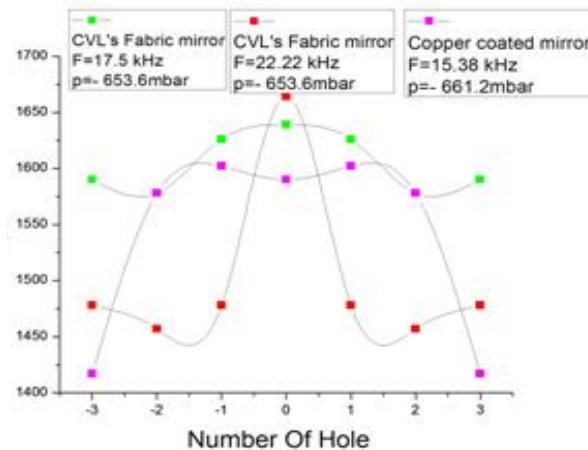
محاسباتی دارد. و نیز با توجه به اندازه گیری‌های انجام شده در شرایط مشابه برای هر یک از آینه‌ها خنک شوندگی سریعتر آینه‌های فلزی می‌توان از فلزاتی که در ناحیه ی طول موجی لیزر بخار مس بازتابندگی بیشتری دارند، به جای آینه لیزری استفاده کرد و توان قابل مقایسه‌ای نیز داشت.

نتیجه‌گیری

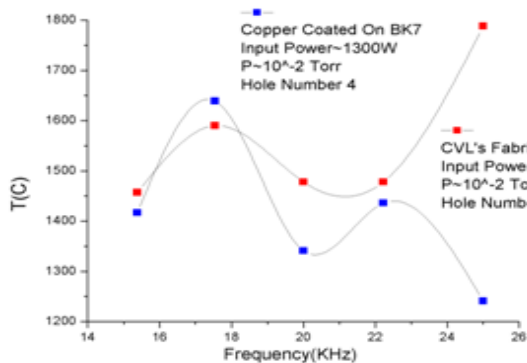
در این مقاله نتایج تجربی تاثیر قرار دادن آینه لایه نشانی شده با مس در دمای اندازه‌گیری شده پلاسمای لیزر بخار مس ارایه و تحلیل گردید. اندازه‌گیری دما به روش توزیع بولتزمن تطبیق خوبی با اندازه‌گیری به روش‌های عددی و تحلیلی دارد. با توجه به نتایج بدست آمده در شرایط مشابه برای هر یک از آینه‌ها خنک شوندگی سریعتر آینه‌های فلزی می‌توان از فلزاتی که در ناحیه ی طول موجی لیزر بخار مس بازتابندگی بیشتری دارند، به جای آینه لیزری استفاده کرد و توان قابل مقایسه‌ای نیز داشت.

مراجع

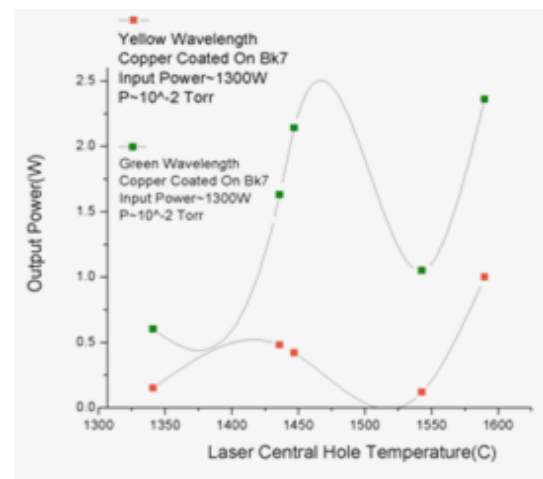
- [1] C. Elittle, *Metal vapor laser*, John Wiley & sons, 1999
- [2] William T. Silfvast, *Laser Fundamentals*, Cambridge University Press(2004)
- [3] *multilayered structures*, Plenum press, 1988.
- [4] vivek Bakshi and W.C. Nunnally " Measurement of temperatures in Optically Thick Railgun Plasma Armatures" IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL 31 .NO.1 January 1995.
- [5] V K UNIKRISHNAN et " Measurments of plasma temperature and electron density in laser induced Copper plasma by time- resolved spectroscopy of neutral atom and ion emissions" PRAMANA journal of physics Vol. 74, no.6 June 2010 pp.983-993



شکل ۳: قرمز: نمایه دمایی لیزر بخار مس با آینه اصلی لیزر در فرکانس ۲۲.۲ kHz در فشار 10^{-2} Torr؛ سبز: فرکانس ۱۷.۵ kHz در فشار 10^{-2} Torr؛ بنفش: نمایه دمایی لیزر با آینه مسی در فرکانس ۱۵.۳۸ kHz در فشار 10^{-2} Torr.



شکل ۴: قرمز: دمای دیواره لیزر بخار مس با آینه اصلی لیزر در فشار 10^{-2} Torr و با فرکانس‌های مختلف. آبی: دمای لیزر بخار مس با آینه مسی و زیر لایه BK7 در فشار 10^{-2} Torr در همان فرکانس‌ها.



شکل ۵: قرمز: توان خروجی طول موج زرد لیزر بخار مس در حفره مرکزی با آینه مسی و زیر لایه BK7 در فشار 10^{-2} Torr. سبز: توان خروجی طول موج سبز لیزر بخار مس با آینه مسی در حفره مرکزی در فشار 10^{-2} Torr.