

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^{۲۰۱}، سعید بهروزی نیا^۲، 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 وفنون هسته ای، 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 ۲۸/۲ و ۵۱۰/۶ نانومتر و با پهنای پالس ۳۰–۲۵ نانو ثانیه، با استفاده از گاز کمکی هوا در فشار ^{۲۰} ۱۰ 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 اندازه گیری شده و نتایج بدست آمده تحلیل گردیدهاند.

كليد واژه- أينه هاي ليزري، شرايط تعادل ترموديناميكي، ليزر بخار مس، نمايه دمايي.

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.

مقدمه

ليزر بخار مس (CVL) مورد استفاده شامل چهار قسمت مهم محفظه لیزر، سیستم خلاء ، تشدیدگر نوری و منبع تغذیه می باشد. محفظه لیزر بخار مس دارای یک تیوب مرکزی است که تخلیه الکتریکی در آن صورت میگیرد. فلز مس داخل تیوب در دمای بالا تبخیر شده و در سرتاسر تيوب پخش مىگردد. بخار مس به دليل وجود گرادیان دما در راستای طولی مایل به انتشار به دو انتهای تيوب مي باشد. لذا از هوا به عنوان گاز كمكي استفاده می شود تا براساس پدیده های برخوردی از نفوذ بخار مس به دو انتهای سرد تیوب جلوگیری کند و به این ترتیب میزان اتلاف بخار مس کاهش یافته و از آلودگی پنجرهها جلوگیری شود، قطر و طول تیوب استفاده شده در این سیستم به ترتیب ۱۶و ۶۰۰ میلیمتر میباشد. لیزرهای بخار مس در مد پالسی و با فرکانس بالا کار میکنند. در این لیزرها معمولا از تخلیه الکتریکی به روش کاتد سرد استفاده می شود که توسط الکترون های شتاب گرفته در ميدان الكتريكي قوى صورت مي پذيرد [1]. سيستم خلاء از مهمترین فناوریهای به کار رفته در لیزر بخار مس است. سیستم خلاء از یک پمپ روتاری تشکیل شده است به طوری که فشار تا حددTor^{1-*}Tor پایین میآید [۱]. بهرهی اپتیکی بالا (۸۰٪) و عدد فرنل بزرگ، :D ، نعاع آینه، λ : طول موج نور، (a) $N = a^{r} / r \lambda D$ فاصلهی بین آینههاست) در لیزرهای بخار مس این امکان را به وجود می آورد که بتوان در آن از کاواک اپتیکی ساده متشکل از دو آینه تخت استفاده کرد. آینه عقب با درصد انعکاس حدود ۹۸٪ جهت افزایش توان لیزر و موازی كردن مسير پرتو ها استفاده مي شود. آينه جلو نيز از جنس کوارتز و با درصد انعکاس حدود ۴٪ می باشد. آینه اصلی لیزر بخار مس از چندین لایه دی الکتریک بر روی زیر لایه BK7 تشکیل شده است که در طول موج های



سبز ۵۱۰ نانومتر و زرد ۵۷۸ نانومتر دارای بیشترین انعکاس می باشد [۱و۲]. منبع تغذیه لیزر بخار مس مورد استفاده به صورت پالسی و در فرکانس کاری ۵ تا ۳۵ کیلوهرتز عمل می کند. منبع تغذیه باید بتواند جریان ۵ برق شهر را به یک جریان DC با ولتاژ و جریان مورد نظر برق شهر را به یک جریان DC با ولتاژ و جریان مورد نظر تبدیل کند. مدار تخلیه الکتریکی در شکل (۱) نشان داده تده است. تایروترون روسی در مدار از نوع -TGI1 شده است. تایروترون روسی در مدار از نوع -TGI1 شده است. تایروترون روسی در مدار از نوع -TGI1 کاو سلفهای PD و SAP به ترتیب برابر با ۲۰۰mH د.

در این مقاله آینههای لیزر را با آینههایی از جنس فلزی و با پوشش محافظ از جنس MgF2 که به روش Physical و زیر (PVD) بر روی زیر لایه F7 و زیر لایه مسی لایه نشانی شده است، جایگزین کرده، و توان خروجی لیزر در فرکانس های مختلف با هر یک از آینهها اندازه گیری شد. سپس نمایه دمایی پلاسمای مس تشکیل شده در داخل تیوب لیزر بخار مس را با استفاده از روش توزیع بولتزمن با آینه لایه نشانی شده از جنس مس با زیر لایه BK7 و آینه اصلی لیزر بخار مس مورد بررسی قرار گرفت.

ساخت آينه

ساخت نمونه به روش لایه نشانی PVD و در خلاء توسط دستگاه لایه نشانی بالزر ۷۶۰ انجام شد. دراین لایه نشانی ترتیب و ضخامت لایهها به شرح زیر است:

Cr(۱۵۰۱۳)-Cu(۳۰۰۱۳)-MgF₂(۱۰۰۱۳)-زیرلایه لایه نشانی در خلاء Torr ^{۶-}۲۰۰ که انجام شد. و هر یک از مواد فوق در بوتههای جداگانه توسط باریکه تفنگ BK7 الکترونی تبخیر و روی زیرلایههای از جنس مس و BK7 انباشته گردید. آینه اصلی لیزر بخار مس در طول موج های مربوط به لیزر بخار مس بیشترین بازتابندگی را دارد. آینههای مسی با زیر لایهی BK7 نسبت به آینه های مسی با زیر لایهی مس بازتابندگی بهتری در طول موجهای لیزر بخار مس دارد.

روش انجام آزمایش

برای انجام آزمایش و تعیین نمایه دمایی لیزر بخار مس با آینه اصلی و آینه لایه نشانی شده با مس، پس از تنظیمات و موازی سازی لیزر، خلاء را در فشار Torr ۱۰^{-۲} تنظیم میکنیم. پس از به لیز رسیدن لیزر و ثابت

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

برای اندازه گیری دمای نقاط مختلف پلاسمای مس تشکیل شده در تیوب لیزر از چهار روزنهی کوچک (به شعاع ۱۳۳۸و به فاصله ۲۳۳ از مرکز یکدیگر) که در یک جرم مسی (C) ایجاد شده استفاده می کنیم و آن را به صورت موازی در برابر لیزر (L) قرار می دهیم طوری که در روزنه یمرکزی در مرکز باریکه لیزری قرار گیرد. سپس با قرار دادن تک شکاف E در برابر هر یک از چهار باریکه خروجی از روزنه ها یکی از آن ها انتخاب می شود . باریکه



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

انتخابی پس از برخورد با فیلتر سبز (F) تحت زاویه ی ۴۵ درجه به نورهای سبز و زرد شکافته می شود. در نهایت شدت خروجی هر یک از پرتو های سبز و زرد توسط فتودیود (P) و اسیلوسکوپ اندازه گیری می شود. این آزمایش با چند فرکانس مختلف و تحت شرایط توان ورودی تکرار می یابد. دمای پلاسما در داخل تیوب لیزر بخار مس و در شرایط تعادل ترمودینامیکی موضعی (LTE) و با استفاده از معادله:

$$\begin{split} \frac{I_1}{I_2} &= (\frac{l_{nm,z}}{l_{ki,z}}) (\frac{g_{k,z}}{g_{n,z}}) (\frac{A_{ki,z}}{A_{nm,z}}) \exp(-\frac{E_{k,z} \cdot E_{n,z}}{K_B T}) \\ \text{and relive in the second second$$

بنابراین مقدار T از رابطهی بالا قابل اندازه گیری است. همچنین با استفاده از توزیع بولتزمن $n = n_0 \exp(-rac{E_K}{K_{_D}T})$

طرح واره چیدمان بکار رفته برای این اندازه گیری 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 فتو دیود، نمایش داده شده اند.

تحليل نتايج تجربى

نمایه دمایی لیزر بخار مس برای هر یک از آینه ها، 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 اندازه گیری شده با آینهی مسی در روزنهی مرکزی دارای یک فرورفتگی می باشد. در حالی که در اندازه گیری با آینه اصلی حفرهی مرکزی دارای بیشینه مقدار دما می باشد. همچنین دمای آن در ديواره ها كمتر است كه علت آن را مي توان در كوچكتر بودن قطر آينه مسى نسبت به آينه اصلى و پوشش دهی کمتر آن در دهانهی تیوب لیزر یافت. در حالی که در آزمایش با آینه اصلی دمای دیواره به دلیل برخورد اتم ها 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 تقریبا نسبت ۳ به ۲ دارند. شکل ۶ تغییرات فرکانس با نسبت n/n برای دو آینه مختلف در طول موج سبز نشان می دهد. در شکل مشخص است که فرکانس با نسبت n/n_0 رابطهی معکوس دارد و با کاهش فرکانس نسبت اتم های برانگیخته به اتم های حالت پایه در طول موج سبز افزایشمی یابد. در این پروژه نتایج تجربی تاثیر قرار دادن آینه لایه نشانی شده با مس در دمای اندازه گیری شده پلاسمای لیزر بخار مس ارایه و تحلیل گردید. اندازهگیری دما به روش توزیع بولتزمن تطبیق خوبی با اندازهگیری به روشهای عددی و





شکل۴: قرمز: دمای دیواره لیزر بخار مس با آینه اصلی لیزر در فشار Torr و با فرکانسهای مختلف. آبی: دمای لیزر بخار مس با آینه مسی و زیر لایه BK7 در فشار ۲۰۳۳ ۱۰ در همان فرکانسها.



شکل۵: قرمز: توان خروجی طول موج زرد لیزر بخار مس در حفره مرکزی با آینه مسی و زیر لایه BK7 در فشار Torr⁻⁻⁻۱۰. سبز: توان خروجی طول موج سبز لیزر بخار مس با آینه مسی در حفره مرکزی در فشار Torr--۱۰^{-۰}



شکل ۶: نمودار فرکانس بر حسب n/n0 برای طول موج سبز روزنه دوم در فشار Torr ^{۲۰}-۱۰ و توان ورودی حدود ۱۳۰۰W.

محاسباتی دارد. و نیز با توجه به اندازه گیریهای انجام شده در شرایط مشابه برای هر یک از آینه ها 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 مقایسهایی نیز داشت.

نتيجهگيرى

در این مقاله نتایج تجربی تاثیر قرار دادن آینه لایه نشانی شده با مس در دمای اندازه گیری شده پلاسمای لیزر بخار مس ارایه و تحلیل گردید. اندازه گیری دما به روش توزیع بولتزمن تطبیق خوبی با اندازه گیری به روشهای عددی و تحلیلی دارد. با توجه به نتایج بدست آمده در شرایط مشابه برای هر یک از آینه ها 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 مقایسهایی نیز داشت.

C. Elittle, *Metal vapor laser*, John Wiley &sons, 1999
William T.Silfvast, Laser Fundamentals, Cambridge University Press(2004)

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

مراجع