بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷

سامانه لامپ درخش پالس کوتاه برای دمش نوری پلاسمای القاییده لیزری

فاطمه سادات تحصیلداران[۱]، امیر حسین فرهبد*[۲] و رسول ملک فر[۱]

[۱] گروه فیزیک اتمی و مولکولی، بخش فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
[۲] پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، تهران

چکیده – دمش نوری پلاسمای القاییده لیزری فلزات در محیط کم فشار، غالباً نیازمند چشمه نوری پر توان در ناحیه آبی و فرابنفش بیناب است. برای این منظور و برای تامین بیشینه شدت دمش نوری در مکان تمرکز باریکه لیزر با سطح هدف، مدار و آرایش ویژه ای برای تحریک ۲ و ۴ لامپ درخش زنون هر یک با طول قوس ۲۰ میلیمتر طراحی، و رفتار مدار تخلیه و توانایی تحریک لامپ ها در محیط کم فشار هوا و گاز نئون از ۰/۱ الی ۱۰۰ میلی بار مورد بررسی قرار گرفت. مشاهدات تجربی نشان می دهند که پهنای تپ جریان تخلیه لامپ ها به ازای ۰/۵ ژول انرژی الکتریکی کل تحویل شده به لامپ ها کمتر از ۳/۵ میکروثانیه است. علاوه بر آن، لغزش زمانی میان قله تپ لیزر تا لحظه بروز قله پالس جریان لامپ کمتر از ۱ میکروثانیه است که برای دمش موثر نوری پلاسما در لحظه مورد نظر کاملاً مناسب می باشد.

کلید واژه- پلاسمای القاییده لیزری، دمش نوری، لامپ درخش زنون

System of short pulse flashlamps for optical pumping of a laser-induced plasma

Fatemesadat Tahsildaran[1], Amir Hossein Farahbod[*2], and Rasoul Malekfar[1]

[1] Atomic and Molecular Physics Group, Department of Physics, Tarbiat Modares University, Tehran
[2] Department of Plasma and Nuclear Fusion, Nuclear Institute of Science and Technology, Tehran

Abstract- Optical pumping of the laser-induced plasma of metals at a low-pressure atmosphere requires high power optical sources in the blue and ultra-violet region of spectrum. To achieve the highest optical pumping at the laser beam position on the target surface, a special optical configuration and discharge circuit are designed and applied to trigger two and four, 20 mm arc length, xenon flash lamps in series. Moreover, the behavior of discharge circuit and its capability to excite the flash lamps at a low pressure of air and neon atmosphere (0.1-100 mbar) is investigated. The experimental findings show that the pulse-width of the discharge current for 0.5 J total charging energy is less than 3.5 microseconds. In addition, the jitter among the peaks of discharge current and the laser pulse is less than 1 microseconds that is more than the adequate to pump effectively plasma at the proper time.

Keywords: Laser induced plasma, Optical pumping, Xenon flash lamp

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-18]

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

مقدمه

دمش پلاسمای حاصل از برهمکنش لیزر با فلز در حوزه زمانی نانوثانیه در محیط گاز کمکی کم فشار برای تقویت نوری و نوسان لیزر به روش دمش بازترکیبی اتم [۱] و اخیراً دمش نوری پلاسمای القاییده لیزری به کمک پرتو همدوس دمش حاصل از یک لیزر تنظیم پذیر پارامتری بر روی گذار دمش اتم فلز مورد نظر گزارش شده است [۲].

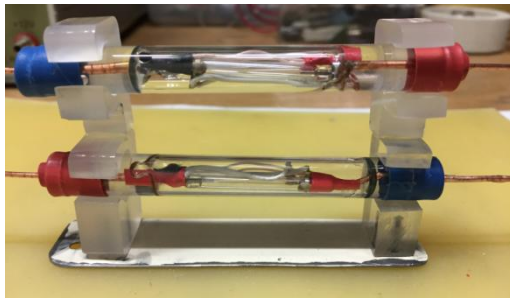
در گذشته لامپ درخش کم فشار با فشار اولیه گاز درونی ۱ الی ۵۰ میلی بار و تخلیه الکتریکی سریع با پهنای زمانی تپ جریان از مرتبه ۱ میکروثانیه برای دمش نوری محیط فعال رزینه با طول عمر کوتاه ترازهای انرژی کمتر از ۱۰ نانوثانیه و یا مطالعه شکست نوری پیوندهای مواد آلی به کار رفته است[۳و۴]. معهذا تا کنون هیچ گزارشی حاکی از دمش نوری ناهمدوس و سریع پلاسمای القاییده لیزری به کمک تابش های لامپ درخش در دست نیست.

در این مقاله چگونگی آماده سازی و رفتار چشمه ناهمدوس نوری متشکل از ۲ و ۴ لامپ کوچک درخش هر یک به ترتیب با طول میان دو الکترود $L=۲۰\ mm$ و قطر درونی $d=۳\ mm$ و پهنای زمانی جریان و تابش در حد $\tau=۳/۵\ \mu s$ برای دمش نوری پلاسما مورد بررسی قرار می گیرد.

ساختار تجربی

دمش نوری پلاسما در محیط کم فشار به کمک لامپ درخش در ناحیه فرابنفش مستلزم حضور اتصالات ولتاژ بالا در محیطی مستعد شکست دی الکتریک است که این امر سبب بروز مشکلات متعدد در هنگام اعمال تپ تحریک لامپ جهت پدید آمدن پلاسمای اولیه و سپس تخلیه الکتریکی درون لامپ می گردد. ولتاژ مورد نیاز برای تحریک خارجی لامپ های درخش کوچک مورد نظر با طول ۲۰ میلیمتر میان دو الکترود لامپ، در حد ۴ کیلو ولت است. با توجه به قانون پاشن برای بستگی شکست دی الکتریک به میدان الکتریکی و فشار گاز [۵]، در فشاری در حد ۱۰ میلی بار برای محیط هوا یا هر نوع گاز کمکی تک اتمی نظیر نئون، آرگون یا هلیوم، میدانی کمتر از ۱ کیلو ولت بر سانتیمتر سبب بروز کرونا، شکست دی الکتریک، و رگه های غیر قابل کنترل جریان میان پایانه های متصل به ولتاژ بالای لامپ و دیواره های فلزی محفظه برهمکنش و سایر نقاط کم پتانسیل می شود.

الف)



ب)

شکل ۱: الف) دو نمونه لامپ درخش قبل از مونتاژ نهایی و نصب درون لوله کوارتز، ب) مجموعه های تکمیل و نصب شده درون چارچوب نگهدارنده حاوی ۴ لامپ، آماده نصب درون محفظه برهمکنش لیزر و هدف فلزی.

برای رفع مشکل مذکور و با توجه به ضرورت نزدیکی چشمه نوری به موضع برخورد باریکه لیزر با سطح هدف جهت دمش موثر نوری پلاسمای القاییده لیزری، ضروری

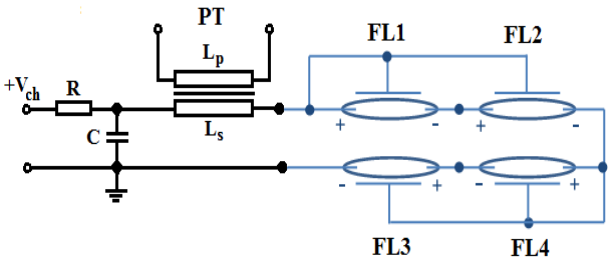
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-18]

است تا لامپ های درخش در فشار اتمسفر در حداقل فاصله هندسی تا موضع برخورد و با حداکثر تراگسیل نوری مرز جداکننده لامپ ها و محیط کم فشار مستقر شوند. برای این منظور از شیشه کوارتز استفاده شد که تراگسیل نوری قریب ۹۰ درصد در ناحیه بینابی بیش از ۲۰۰ نانومتر از خود نشان می دهد. هر ۲ لامپ درخش درون لوله شیشه کوارتز به قطر بیرونی ۱۰ میلیمتر و ضخامت ۱ میلیمتر در محیط با فشار اتمسفر نصب، و سپس به کمک رزین مناسبی اتصالات دو انتهای لوله حاوی لامپ ها از محیط کم فشار پلاسمای لیزری جدا می شوند، شکل ۱.

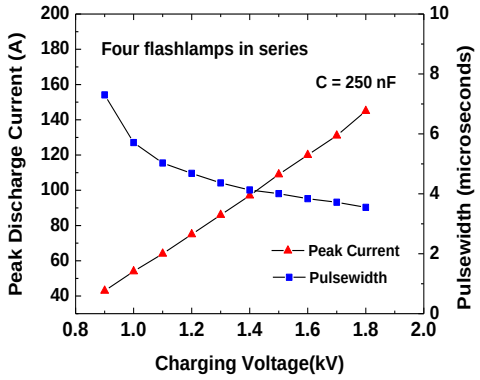
روش تحریک لامپ های درخش

جهت سهولت و اطمینان از تحریک همزمان هر ۲ یا ۴ لامپ درخش و پرهیز از ورود ترمینال تحریک ولتاژ بالا به درون محفظه پلاسمای لیزری، مدار تحریک و تخلیه ویژه ای طراحی و مورد استفاده قرار گرفت، شکل ۲. مدار مذکور ترکیبی از روش تحریک سری و تحریک خارجی لامپ درخش است.



شکل۲: چگونگی اتصال لامپ های درخش FL1-4 و الکترودهای تحریک کننده خارجی آنها به یکدیگر به همراه مدار تحریک و تخلیه الکتریکی. آند با (+) و کاتد هر لامپ با (-) از یکدیگر متمایز شده است.

روش تحریک ترکیبی برای لامپ های درخش بلند با فاصله ۲۵۰ میلیمتر میان دو الکترود و با یک سوییچ نیم رسانا، برای دمش محیط های فعال لیزر حالت جامد در گذشته مورد مطالعه قرار گرفته است [۶]. مدار شکل ۲ نمونه ای متفاوت، ساده و کارآمد از تحریک ترکیبی لامپ ها است که آن را برای دمش پلاسمای لیزری با گسترش فضایی کمتر از ۱۰ میلیمتر به کار گرفته شد. لامپ های درخش بر روی جدار خارجی خود دارای پوششی شفاف و رسانا برای تحریک خارجی می باشند. ایده اصلی در تحریک یک جفت لامپ، اتصال پوشش رسانای تحریک خارجی لامپ به آند لامپی است که در پتانسیلی به مراتب بالاتر از اتصال مشترک دو لامپ قرار دارد. بدین ترتیب ولتاژ بالای پالس ترانسفورمر PT محرک لامپ ها، در آغاز به آند مورد اشاره و همزمان به جدار بیرونی لامپ ها اعمال می شود که تخلیه اطمینان بخش و عملاً همزمان تمامی لامپ ها را در پی دارد.



شکل۳: رفتار قله و پهنای زمانی جریان تخلیه بر حسب ولتاژ شارژ خازن برای مدار تخلیه با ۴ لامپ درخش که مطابق شکل۲ به صورت سری با یکدیگر قرار گرفته اند.

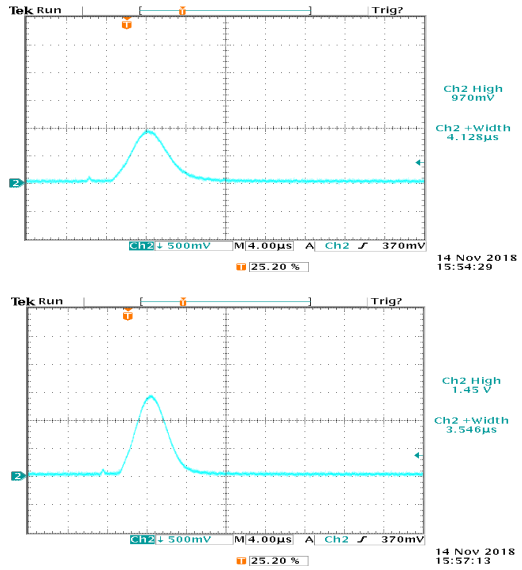
یافته های تجربی

افزایش قله جریان عبوری از پلاسمای لامپ دو ویژگی سودمند کوتاه شدن پهنای زمانی تپ نوری و انتقال قله تابش های پلاسما به سوی طول موج های کوتاهتر را به همراه دارد. افزایش جریان سبب کوتاه شدن پهنای زمانی تپ نوری گسیل یافته از لامپ می شود زیرا شدت تابش های پلاسمای لامپ عملاً تابعی درجه اول از جریان عبوری از لامپ است. شکل ۳ نمودار تجربی پهنای زمانی و قله جریان عبوری از ۴ لامپ را نشان می دهد. اندازه گیری ها به کمک پیچه روگوفسکی با پهنای باند ۲۰

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-18]

مگاهرتز انجام شده است. ظرفیت خازن C مدار تخلیه برابر با ۲۵۰ نانوفاراد است. ولتاژ شارژ خازن V_{ch} از ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ ولت متناظر با ۰/۱ الی ۰/۴ ژول انرژی ذخیره شده در خازن است.



شکل۴: نمونه هایی از رفتار زمانی جریان تخلیه برای مدار با ۴ لامپ درخش سری. ولتاژ شارژ خازن: بالا) ۱/۴ کیلو ولت، پایین) ۱/۸ کیلو ولت. پهنای زمانی تپ جریان به ترتیب ۴/۱۳ و ۳/۵۴ میکروثانیه و قله جریان تخلیه لامپ ۹۷ و ۱۴۵ آمپر است.

دلیل کاهش یافتن پهنای زمانی تپ جریان τ، بستگی آن طبق رابطه (۱) [۷] به خودالقای ثانویه پالس ترانسفورمر L_s است که L_s با افزایش جریان و نزدیک شدن به ناحیه اشباع هسته ترانسفورمر کاهش می یابد. خودالقای کل مدار عملاً با L_s برابر است.

$$\tau = ۳\sqrt{L_s C} \qquad (۱)$$

مشاهده تجربی نشان می دهد که حداکثر ولتاژ قابل اعمال به ۲ لامپ سری قبل از بروز تحریک خودبخودی و تخلیه کنترل ناپذیر لامپ ها ۱۵۰۰ ولت است. بدین ترتیب حداکثر انرژی قابل تحویل در بانک خازنی مدار برابر با ۱/۱ ژول است که این مقدار طبق رابطه (۲) حتی از انرژی انفجار یک لامپ $E_{ex} = ۱۴\ J$ نیز به مراتب کوچکتر است که تضمین کننده طول عمر لامپ ها می باشد[۷].

$$E_{ex} = ۰/۱۲ L d\sqrt{\tau} \qquad (۲)$$

در شکل ۴ دو نمونه از رفتار زمانی تپ جریان عبوری از مجموع لامپ ها مشاهده می شود. عدم وجود جریان منفی که سبب کاهش عمر مفید لامپ می شود نشانه وضعیت مطلوب نزدیک میرایی بحرانی مدار تخلیه لامپ به شمار می آید[۷].

نتیجه‌گیری

چگونگی آماده سازی، تحریک و رفتار مجموعه لامپ های درخش حاوی گاز زنون برای تولید تپ های نوری توانمند کوتاه از مرتبه ۳ میکروثانیه با تکرار پذیری و لغزش زمانی کمتر از ۱ میکروثانیه از لحظه تحریک، در محیط کم فشار برای دمش ناهمدوس نوری پلاسمای القاییده لیزری به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفت. در مقایسه با لیزرهای تنظیم پذیر، ارزانی و سهولت نسبی استفاده، از مزایای این نوع چشمه های نوری به شمار می آید.

مرجع‌ها

[1] W. T. Silfvast, L. H. Szeto, and O. R. Wood II, “Recombination lasers in expanding CO_2 laser-produced plasmas of argon, krypton, and xenon”, Applied Physics Letters. Vol. 31. No. 5, pp. 334-337, 1977.

[2] L. Nagli, M .Gaft, I .Gornushkin, R .Glaus, “Stimulated emission and lasing in laser-induced plasma plume”, Opt. Commun. Vol. 378, pp. 41-48, 2016.

[3] C. M. Ferrar, “Simple, high Intensity short pulse flashlamps”, Rev. Scientific Instrum.Vol. 40. No. 11, pp.1436-1438, 1969.

[4] Y. Levy, G. Neumann, and D. Treves, “Ablative flashlamps for high peak power dye lasers”, Appl. Opt. Vol. 16, No. 8, pp. 2293-2296, 1977.

[5] Michael A. Lieberman, Allan J. Lichtenberg, *“Principles of plasma discharges and materials processing”*, p. 547, (2nd ed.). Hoboken, N.J. Wiley-Interscience, 2005.

[۶] فرهبد، امیر حسین، *سیستم تحریک لامپ درخش با پیش یونش دوگانه*، ثبت اختراع، سازمان ثبت اختراع و مالکیت معنوی، ۱۳۹۰.

[7] W. Koechner, “*Solid-State Laser Engineering*”, (6 th ed.), Springer, 2006.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-18]