بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸

اثر زوایه آشکارسازی بر بیناب‌نمایی تفکیک قطبشی فروشکست القائیده لیزری آلیاژ آلومینیوم

محبوبه آقابابائی نژاد[۱و۲]، امیرحسین فرهبد[۲]، محمود سلطان الکتابی[۱]

[۱]دانشکده فیزیک، دانشگاه اصفهان، ایران
[۲]پژوهشکده فیزیک پلاسما و گداخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، ایران

چکیده – در این تحقیق تأثیر زاویه آشکارسازی در بیناب‌نمایی تفکیک قطبشی فروشکست القائیده لیزری (PRLIBS) نمونه آلیاژ آلومینیوم بررسی شده است. نتایج نشان دادند که به ازای زوایای آشکارسازی تحت بررسی، تفاوت چشم‌گیری بین درجه قطبش تابش پیوسته و گسسته وجود ندارد. همچنین هیچ بهبودی در نسبت سیگنال به نوفه پیوستار (SBR) در PRLIBS نسبت به بیناب‌نمایی فروشکست القائیده لیزری (LIBS) مشاهده نشد.

کلید واژه- بیناب‌نمایی تفکیک قطبشی فروشکست القائیده لیزری، بیناب‌نمایی فروشکست القائیده لیزری، قطبش، نسبت سیگنال به زمینه پیوستار

The effect of the detection angle on Polarization-Resolved Laser-Induced Breakdown Spectroscopy of Al alloy

Mahboobeh Aghababaei Nejad [1,2], Amir Hossein Farahbod [2], Mahmood Soltanolkotabi[1]

[1]Department of Physics, University of Isfahan, Isfahan, Iran.(mssoltan@yahoo.com).
[2]Plasma Physics and nuclear fusion research school, Nuclear Science and Technology research institute, Atomic Organization of Iran, Tehran, Iran. (maghababaei@aeoi.org.ir),(afarahbod@aeoi.org.ir).

Abstract- In this research, the effect of the detection angle on polarization-resolved laser-induced breakdown spectroscopy (PRLIBS) of Al alloy has been studied. The analysis revealed that there is no significant difference between the polarization degree of the continuum and discrete emission for all detection angles under-investigated. Also, no improvement in signal to background ratio (SBR) was found in PRLIBS compared to the laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS).

Keywords: Polarization Resolved Laser induced Breakdown Spectroscopy, Laser Induced Breakdown Spectroscopy, Polarization, Signal to Background Emission.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-13]

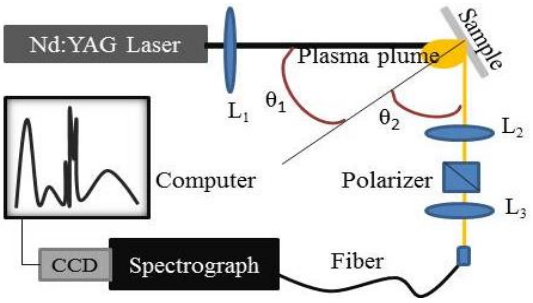
مقدمه

بیناب‌نمایی گسیل اتمی با استفاده از پلاسمای القائیده لیزری به روش LIBS معروف می‌باشد. با وجود مزایای بسیار زیاد LIBS از قبیل قابلیت تجزیه و تحلیل آنی، غیرتماسی و هم‌زمان چند عنصر با عددهای اتمی مختلف [۱] این روش دارای معایبی نیز بوده که پایین بودن SBR از مهم‌ترین آن‌ها است. بیناب‌نمایی تفکیک قطبشی فروشکست القائیده لیزری (PRLIBS) یکی از روش‌هایی است که برای بالابردن SBR در LIBS در سال ۲۰۰۸ برای اولین‌بار معرفی شده است [۲]. اساس این روش بر پایه این یافته استوار شده بود که تابش پیوسته از تابش گسسته شدیداً قطبیده‌تر بوده و با قرار دادن یک قطبنده در مسیر آشکارسازی می‌توان از ورود تابش پیوسته به آشکارساز جلوگیری کرد و از این طریق به SBR بالا دست یافت [۲-۴]. از طرفی در این روش عنوان شده است که بعضی از خطوط گسسته‌ای که قبلاً در زیر تابش پیوسته پنهان شده بودند، به‌واسطه حذف تابش پیوسته می‌توانند مشخص شوند. دانشمندان بسیاری کارایی این روش را در بالابردن SBR و مشاهده خطوط بینابی جدید تأیید [۴-۲] و بسیاری دیگر آن را رد کرده‌اند [۵-۸]. لذا مشاهدات مختلف دانشمندان، PRLIBS را به یک روش چالش برانگیز تبدیل کرده است. از آن‌جایی‌که عوامل گوناگونی شامل ویژگی‌های لیزر، ماده هدف، شرایط محیطی و پارامترهای عملکردی سامانه LIBS بر روی نتایج آن بسیار تأثیرگذار هستند، لذا به نظر می‌رسد که این عوامل می‌توانند بر روی نتیجه PRLIBS نیز اثر بگذارند. از جمله این عوامل می‌توان به زاویه آشکارسازی تابش پلاسما اشاره کرد. لذا در این تحقیق سعی بر این شد تا به منظور بررسی عملکرد قراردادن قطبنده در مقابل آشکارساز، PRLIBS نمونه آلیاژ آلومینیوم تحت زوایای آشکارسازی مختلف بررسی شود.

نتایج نشان دادند که به ازای تمامی زوایای آشکارسازی، درجه قطبش تابش پیوسته و گسسته پلاسما یکسان است و زاویه آشکارسازی بر روی درجه قطبش تابش پلاسما اثر نمی‌گذارد. همچنین SBR در LIBS و PRLIBS یکسان بدست آمد.

چیدمان آزمایشگاهی

طرحواره‌ای از چیدمان آزمایشگاهی در شکل ۱ نشان داده شده است. در این چیدمان از هارمونیک اصلی لیزر Q-Switch Nd:YAG با عرض تپ ۱۵ns، آهنگ تکرار تپ ۱Hz و شار $۴۵۶/۵۰ J/cm^2$ برای تولید پلاسمای آلیاژ آلومینیوم ۶۰۶۱ که روی صفحه نگهدارنده سه بعدی و در اتمسفر هوا قرار گرفته بود، استفاده شده است. پرتوی لیزر توسط عدسی همگرا L_1 با فاصله کانونی ۲۰cm تحت زاویه ۳۰° (θ_1) بر روی نمونه کانونی شد. در آزمایش LIBS، برای جمع‌آوری تابش گسیل شده پلاسما به داخل بیناب‌سنج و آشکارساز CCD، از دو عدسی تخت- همگرا L_2 و L_3 با فاصله‌های کانونی ۷۵mm و ۵۰mm و تار نوری استفاده شد. آزمایش PRLIBS، با حفظ شرایط آزمایشی LIBS و تنها با اضافه کردن قطبنده Alpha- BBo Glan Laser بین دو عدسی L_2 و L_3 به‌چیدمان LIBS انجام شد. به‌منظور بررسی اثر زاویه آشکارسازی (θ_2)، گسیل تابشی از LIBS و PRLIBS تحت زوایای ۶۰°، ۵۰°، ۴۰°، ۳۰° و ۷۰° نسبت‌به عمود برسطح نمونه، آشکارسازی شدند. نتایج تمامی آزمایش‌ها، حاصل از میانگین‌گیری بیناب‌های ناشی از ۲۰ تپ لیزری متوالی که به کمک صفحه سه‌بعدی، در مکان‌های مختلف نمونه فرود آمده بودند، می‌باشند.



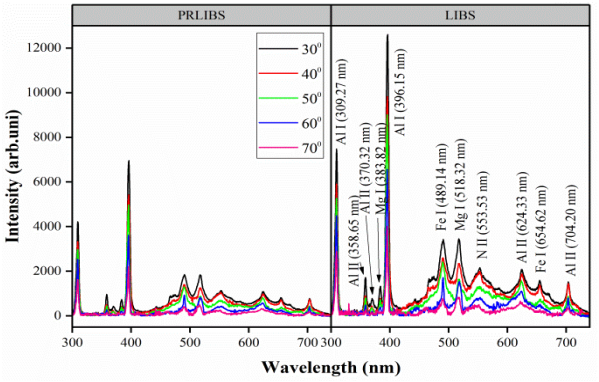
شکل ۱. طرحواره‌ای از چیدمان آزمایش.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-13]

نتایج تجربی

شکل ۲ اثر زاویه آشکارسازی روی LIBS و PRLIBS نمونه آلیاژ آلومینیوم را نشان می‌دهد. در PRLIBS، ابتدا با چرخش قطبنده در بازه‌های ۲۰° برای هر موقعیت جدید قطبنده، بیناب پلاسما ثبت شده و سپس بیناب که معادل با کم‌ترین میزان عبور تابش پیوسته از قطبنده بوده، به عنوان بیناب PRLIBS انتخاب شده است.



شکل۲. اثر زاویه آشکارسازی بر روی بیناب LIBS و PRLIBS.

همان‌گونه که از شکل ۲ مشخص است، شدت تابش‌های پیوسته و گسسته در LIBS و PRLIBS به‌ازای θ_2=۳۰° بیشترین مقدار بوده و با افزایش θ_2، کاهش یافته‌اند، به گونه‌ای‌که بعضی از خطوط گسسته با افزایش زاویه، آشکارسازی نشدند. از آن‌جا که شدت خطوط گسسته، وابسته به تعداد گونه‌های برانگیخته در پلاسما می‌باشد، لذا تغییر شدت خطوط گسسته با θ_2 نشان‌دهنده ناهمسانگردی در تعداد گونه‌های برانگیخته موجود در پلاسما و از آن‌جا ناهمسانگردی در تابع توزیع تعداد عناصر موجود در پلاسما است. وجود زاویه آشکارسازی بهینه برای به‌دست آوردن بیشینه شدت خطوط گسسته و ناهمسانگردی در توزیع عناصر موجود در پلاسما در [۹] نیز گزارش شده است. همچنین از شکل ۲، مشخص است که در θ_2 یکسان، تفاوت چندانی بین LIBS و PRLIBS دیده نمی‌شود و در PRLIBS به ازای هیچ یک از زوایای آشکارسازی موفق به ثبت گذار جدیدی نسبت به LIBS به واسطه کاهش تابش پیوسته نشدیم.

بررسی تأثیر قطبنده بر روی SBR

اساس معرفی PRLIBS برپایه حذف یا کاهش نوفه گسیل پیوسته برای بالا بردن SBR می‌باشد. بنابراین به منظور بررسی اثر افزایش قطبنده روی بیناب LIBS، SBR مطابق با رابطه (۱) به ازای هر زاویه آشکارسازی محاسبه شد.

$$SBR = \frac{I_S}{I_{Background}} \qquad (۱)$$

در این رابطه، I_S شدت بیشینه قله مربوط به طول‌موج گذار مشاهده شده و $I_{Background}$ شدت متوسط مربوط به طول‌موج‌های کوتاه‌تر و بلندتر اطراف طول‌موج گذار تحت بررسی است. در جدول ۱، SBR در LIBS و PRLIBS برای خطوط شناسایی شده در شکل ۲، به ازای زوایای آشکارسازی (θ_2) مختلف لیست شده است.

جدول۱. مقایسه SBR در LIBS(L) و PRLIBS(PR) در θ_2 مختلف.

θ_2(°) / λ (nm)	SNR									
	۳۰°		۴۰°		۵۰°		۶۰°		۷۰°	
	L	PR	L	PR	L	PR	L	PR	L	PR
۳۰۹٫۲۷	۲۹	۳۰	۳۱	۳۱	۳۲	۳۲	۳۰	۳۲	۲۱	۲۰
۳۵۸٫۶۵	۴	۴	۴	۵	۷	۷	۶	۶	۵	۳
۳۷۰٫۳۲	۲	۲	۲	۲	۳	۳	-	-	-	-
۳۸۳٫۸۲	۲	۲	۱	۱	۲	۲	۲	۳	-	-
۳۹۶٫۱۵	۲۷	۲۹	۳۹	۳۹	۴۱	۴۰	۴۳	۴۳	۳۷	۳۸
۴۸۹٫۱۴	۲	۲	۲	۲	۳	۲	۳	۳	۲	۲
۵۱۸٫۳۲	۳	۳	۲	۲	۲	۲	۴	۳	۳	۲
۶۲۴٫۳۳	۲	۲	۲	۲	۳	۳	۲	۲	-	-
۶۵۴٫۶۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	-	-
۷۰۴٫۲۰	۳	۳	۴	۳	۴	۳	۶	۶	۳	۳

از جدول دیده می‌شود به‌ازای θ_2 یکسان، SBR در LIBS و PRLIBSباهم تفاوت چشم‌گیری ندارند، یعنی یا تابش‌های گسسته و پیوسته قطبیده نیستند یا هر دو به یک میزان قطبیده می‌باشند که در زیر به‌آن پرداخته شده است.

محاسبه درجه قطبش تابش پلاسما

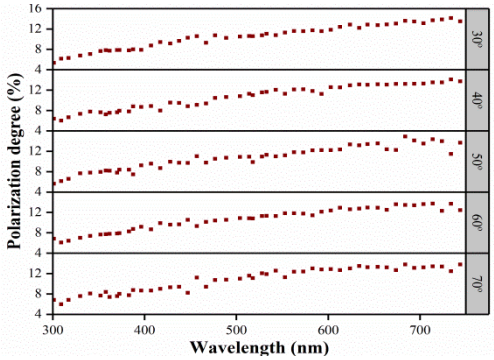
درجه قطبش تابش پلاسما با استفاده از رابطه (۲) و مشخص کردن I_{Max} و I_{min} از میان بیناب‌های ثبت شده به ازای زوایای مختلف چرخش محور قطبنده، برای هر طول‌موج محاسبه شد. I_{Max} و I_{min} در واقع معادل با شدت تابش پلاسما هنگامی‌که محور قطبنده به ترتیب موازی و عمود بر جهت قطبش تابش پلاسما بوده است، می‌باشند.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-13]

$$P = \frac{I_{Max} - I_{min}}{I_{Max} + I_{min}} \quad (۲)$$

در شکل ۳ بیناب قطبش تابش پلاسما به‌ازای زوایای آشکارسازی بررسی شده، برای طول‌موج‌های گسسته و پیوسته مربوط به آن‌ها رسم شده است. در این شکل سعی شده است که در هر ۱۰nm یک داده برای درجه قطبش تابش پلاسما وجود داشته باشد. همین‌طورکه از شکل دیده می‌شود، درجه قطبش تابش‌های گسسته و پیوسته یکسان بوده و با افزایش‌طول‌موج تابشی به‌تدریج افزایش پیدا می‌کند. از طرفی به‌ازای θ_2 مختلف، تغییر چشم‌گیری در درجه قطبش تابش پلاسما حاصل نشده است.



شکل ۳. تغییر درجه قطبش تابش پلاسما در طول‌موج‌های مختلف تابشی و به ازای زوایای آشکارسازی مختلف.

بحث و بررسی

همان‌طور که در [۷و۸] بیان شده است، قطبش پذیری دینامیکی هسته یونی می‌تواند عاملی برای قطبش تابش پلاسما باشد. در واقع توزیع الکترونی هر اتم، می‌تواند توسط اتم‌ها، الکترون‌ها و یون‌های درون پلاسما منحرف شده و منجر به قطبیده شدن آن و پلاسما و از آن‌جا تابش قطبیده پلاسما شود. در این‌جا وابستگی شدت تابش خطوط گسسته و پیوسته به زاویه آشکارسازی می‌تواند تائیدی بر این یافته باشد. وابستگی تابش پلاسما به زاویه آشکارسازی و بیشینه بودن آن به ازای زوایای کوچک‌تر (نزدیک به خط عمود بر سطح نمونه)، نشان داد که تابع توزیع اتم‌ها، الکترون‌ها و یون‌ها در پلاسما ناهمسانگرد بوده و بیشترین مقدار اتم‌ها، الکترون‌ها و یون‌ها در این زوایا یافت می‌شوند. لذا ناهمسانگردی در توزیع گونه‌های موجود در پلاسما می‌تواند موجب تحریف توزیع الکترونی اتم‌ها و یون‌ها در جهتی خاص شده و منجر به تولید دوقطبی‌های جهتمند در پلاسما شود و از آن‌جا تابش قطبیده پلاسما را موجب شود.

نتیجه گیری

در این تحقیق نشان داده شد که تفاوت چشم‌گیری بین درجه قطبش تابش گسسته و پیوسته پلاسمای القائیده لیزری آلیاژ آلومینیوم در زوایای آشکارسازی مختلف وجود ندارد و قراردادن قطبنده در مقابل آشکارساز منجربه بهبود SBR نمی‌شود. همچنین نشان داده شد که با افزایش زاویه آشکارسازی، شدت تابش پلاسما کاهش می‌یابد و این یافته نشان‌دهنده ناهمسانگردی تابع توزیع گونه‌های موجود در پلاسما بوده که تائیدی بر تأثیر قطبش پذیری دینامیکی هسته یونی در قطبیدگی تابش پلاسما می‌باشد.

تشکر و قدردانی

از آقای دکتر عبدالله اسلامی‌مجد به پاس راهنمایی‌های ارزنده و ارزشمندشان در این پژوهش تقدیروتشکر می‌شود.

مرجع‌ها

[1]. D. Cremers, L. Radziemski, *Handbook of laser-induced breakdown spectroscopy*,Wiley, England, 2006.
[2]. Y. Liu, et al,"Observation of near total polarization in the ultrafast laser ablation of Si,"Appl. Phys. Lett, 93, 161502, 2008.
[3]. J. Penczak, et al, "Polarization resolved laser- induced breakdown spectroscopy of Al," J. Phys. Chem. A, 113, 13310-13317, 2009.
[4]. N. Agnes, et al, "A comparison of single shot nanosecond and femtosecond polarization-resolved laser-induced breakdown spectroscopy of Al,"Chin.Phys.B,22,014209,2013.
[5]. M. Asgill, et al,"Investigation of polarization effects for nanosecondlaser-induced breakdown spectroscopy," Spectrochim. Acta Part B, 65, 1033-1040, 2010.
[6]. J. S. Penczak, et al, "The mechanism for continuum polarization in laser induced breakdown spectroscopy of Si (111)," Spectrochimi. Acta Part B, 74, 3-10 (2012).
[7]. M. Aghababaei Nejad, et al, "Polarization mechanism in a ns laser-induced plasma spectroscopy of Al alloy," Appl. Phys. B 124, 6, 2018.
[8]. M. Aghababaei Nejad, et al, "Polarization investigation of laser-induced breakdown plasma emission from Al, Cu, Mo, W, and Pb elements using nongated detector," J. Laser Appl. 30, 022005. 2018.
[9]. S. Choi, et al,"Effective laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) detection using double pulse at optimum configuration," Appl. spectrosc 65, 952-956, 2011.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-13]