

مطالعه تجربی تاثیر میدان مغناطیسی خارجی بر آهنگ و پلاسمای حاصل از ماده برداری فلز آلومینیوم در محیط آب مقطر با لیزر پالسی نانوثانیه

فرزانه حسن بوذری^۱، محمدحسین مهدیه^{۲*}

^۱ ایران، تهران، نارمک، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده فیزیک farzane.bouzari@hotmail.com

^۲ ایران، تهران، نارمک، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده فیزیک mahdm@iust.ac.ir

*آدرس رایانامه نویسنده مسئول: mahdm@iust.ac.ir

کلید واژه: پلاسمای حاصل از ماده برداری، ماده برداری لیزری با لیزر پالسی در محیط مایع، میدان مغناطیسی

چکیده

در این مقاله، اثر میدان مغناطیسی خارجی عمود (بر جهت تابش دهی)، بر نرخ ماده برداری فلز آلومینیوم مورد بررسی قرار گرفته است. تابش دهی نمونه با لیزر پالسی نانوثانیه Nd:YAG (طول موج ۱۰۶۴ نانومتر) در حضور میدان مغناطیسی در محیط آب مقطر انجام شده است. با استفاده از اندازه گیری و بررسی حفره های ایجاد شده در اثر تابش دهی، نرخ ماده برداری تخمین زده شده است. نتایج آزمایش ها نشان می دهند در طول تابش دهی، میدان مغناطیسی خارجی روی توزیع فضایی بار در پلاسمای حاصل از تابشدهی موثر بود است و نتیجتاً اندازه قطر، عمق و به تبع آن نرخ ماده برداری تغییر میکند.

Effect of magnetic field on ablation rate of aluminum target irradiated by nanosecond pulsed laser in distilled water

Farzaneh Hassanbouzari¹, Mohammad Hossein Mahdiah^{1,*}

¹ Department of Physics, Iran University of Science and Technology, Narmak, Tehran, 13114-16846, Iran

*corresponding e-mail: mahdm@iust.ac.ir

Abstract

In the present work, the effect of an external magnetic field on laser ablation of aluminum target was studied. The ablation was performed by irradiation of samples by nanosecond Nd:YAG laser in ambient distilled water. The ablation rate was estimated by characterizing the geometry of the craters. The results show that the magnetic field influences spatial distributions of charges and consequently the ablation rate is changed.

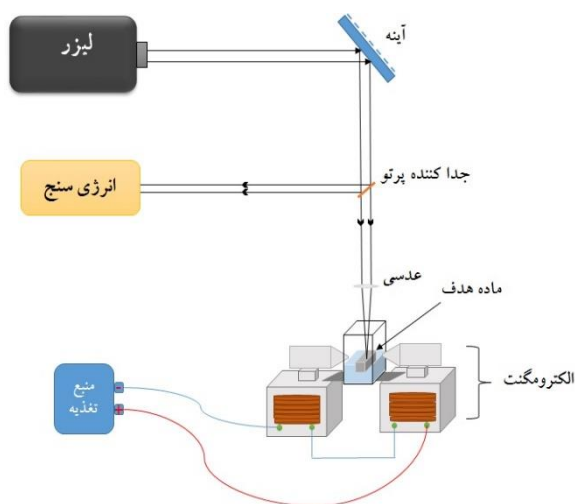
Keywords: Pulsed laser produced plasma, laser ablation, external magnetic field

مقدمه

شده توسط لیزر، یکی از زمینه های تحقیقاتی مورد توجه محققان میباشد [۱،۲]. وجود میدان مغناطیسی خارجی به هنگام انبساط پلاسمای حاصل از لیزر، ممکن است سبب به وجود آمدن برخی از

استفاده از میدان مغناطیسی، به عنوان عاملی برای بهبود کنترل خصوصیات دینامیکی ستون پلاسمای ناپایدار و با انرژی بالای تولید

سلول ۱۵ میلی لیتر و قطر لکه پرتو لیزر بر روی سطح ماده‌ی هدف، حدود ۱۵۰ میکرومتر می‌باشد. تابش دهی، ابتدا بدون میدان مغناطیسی و سپس در حضور میدان مغناطیسی (تولید شده توسط الکترومگنت) در بازه ۰/۲ تا ۰/۷ تسلا انجام شد. اندازه شار^۲ بر روی سطح هدف تقریباً ۱۳۳ ژول بر سانتی متر مربع می باشد.



شکل ۱. طرحواره ای از چیدمان آزمایش

بحث

عمق و قطر دهانه‌ی حفره‌های ایجاد شده با بررسی تصاویر حاصل از میکروسکوپ نوری، و به وسیله‌ی نرم افزار ImageJ اندازه‌گیری شدند. نتایج حاصل از اندازه‌گیری قطر و عمق، به ترتیب در شکل های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

پدیده های فیزیکی مانند: تبدیل انرژی حرارتی پلاسما به انرژی جنبشی، محصورشدگی ستون پلاسما، شتاب گرفتن یون های موجود در پلاسما و افزایش میزان ناپایداری پلاسما شود [۳-۵]. تحقیقات متعددی در زمینه برهمکنش پلاسمای در حال انبساط با میدان مغناطیسی انجام گرفته است. به عنوان مثال دینامیک پلاسمای در حال انبساط حاصل از ماده برداری در حضور میدان مغناطیسی عرضی مطالعه شده است [۴]. نتایج بدست آمده نشان دادند که میدان مغناطیسی سبب تغییر ساختار و دینامیک پلاسما، افزایش میزان یونیزاسیون و نیز افزایش سرعت ذرات باردار موجود در پلاسما میشود. همچنین به سبب پدیده ژول گرمایی^۱، دمای ستون پلاسما در حضور میدان افزایش یافته است. تحقیقات نشان داده اند عمق و قطر حفره های حاصل از فرآیند ماده برداری لیزری در محیط گازی و در حضور میدان مغناطیسی خارجی دچار تغییر شدند [۵].

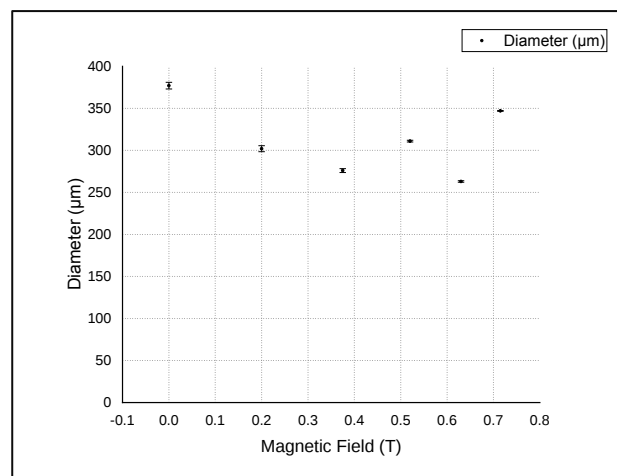
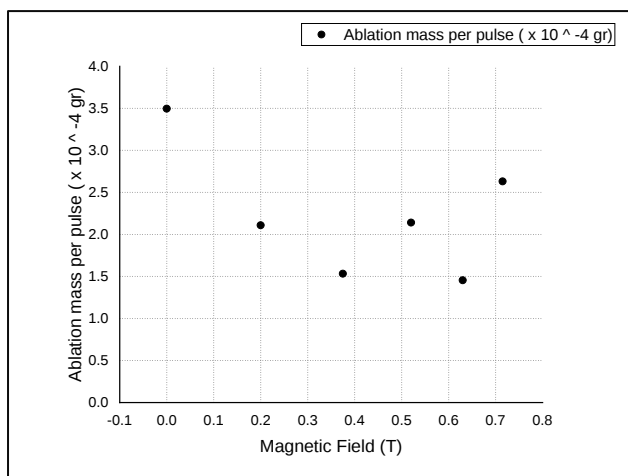
در این مقاله، تاثیر میدان مغناطیسی در بازه ۰ تا ۰/۷ تسلا بر ماده برداری آلومینیوم با لیزر پالسی نانو ثانیه در محیط آب مقطر مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از انجام این آزمایش، بررسی اثر میدان مغناطیسی بر پلاسمای حاصل از ماده برداری و به تبع آن، آهنگ ماده برداری لیزری میباشد.

مواد و روش ها

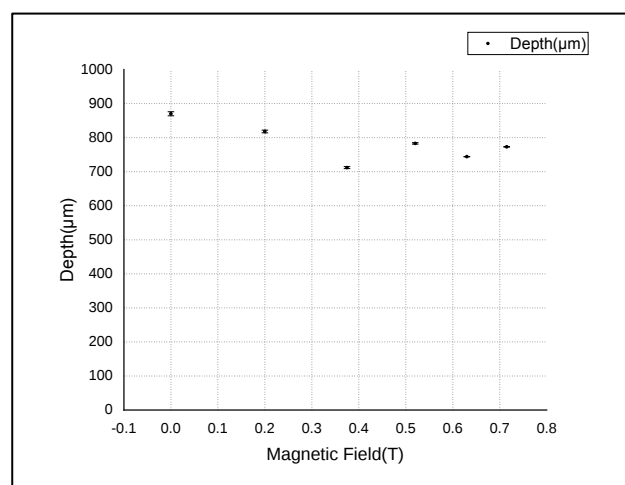
طرحواره کلی از چیدمان آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است. در این آزمایش، هدف آلومینیوم با درجه خلوص ۹۹٪ (Aluminum 3105) و ابعاد ۲×۲۱×۴۰ میلیمتر مکعب، توسط لیزر پالسی Nd:YAG (EKSPLA Co.) با طول موج ۱۰۶۴ نانومتر، طول پالس ۱۰ نانوثانیه و نرخ تکرار پالس ۱۰ هرتز، درحضور میدان مغناطیسی (عمود بر جهت انتشار پرتو لیزر) ، در محیط آب مقطر، مورد تابش دهی قرار گرفت. میزان مایع در داخل

^۲ Fluence

^۱ Joule Heating



شکل ۲. اندازه‌ی قطر حفره‌ها بر حسب اندازه میدان مغناطیسی



شکل ۳. اندازه‌ی عمق حفره‌ها بر حسب اندازه میدان مغناطیسی

شکل ۴. آهنگ ماده‌برداری بر حسب اندازه میدان مغناطیسی خارجی

در طول فرآیند ماده برداری، توده پلاسما شامل الکترون‌ها، یونها، اتم‌ها، خوشه‌ها و قطرات مایع، تشکیل شده و در راستای عمود بر سطح هدف، گسترش میابد. با مرور زمان، پلاسمای ناشی از برهمکنش، از سطح هدف فاصله گرفته و به سمت بالا پرتاب میشود. به واسطه ایجاد حفاظ پلاسما^۳ توسط الکترون‌های در حال چرخش و یونهای بالا آمده از سطح، مسیر پرتو برای رسیدن به سطح هدف در طول یک پالس پوشانده و سبب کاهش میزان انرژی پرتو لیزر رسیده به سطح هدف و به تبع آن، تغییر در فرآیند ماده برداری میشوند. میدان مغناطیسی یکی از عوامل اثرگذار بر دینامیک پلاسمای حاصل از ماده برداری به واسطه ایجاد تغییر در میزان جذب انرژی پرتو لیزر، می باشد. با قرارگیری ذرات باردار پلاسمای در حال حرکت و گسترش، تحت تاثیر میدان مغناطیسی خارجی، نیرویی در جهت عمود بر سرعت حرکت این ذرات و برابر $v \times B$ ، به آنها وارد میشود. به واسطه این نیرو، ذرات باردار مثبت و منفی، دارای حرکت چرخشی با فرکانس سیکلوترونی و شعاع چرخش لارمور شده و در خلاف جهت یکدیگر حرکت کرده و از یکدیگر جدا می شوند [۶]. این فرآیند سبب تغییر در توزیع بار در پلاسما

آهنگ ماده برداری به صورت مقدار ماده کنده شده در طی هر پالس لیزر محاسبه شد. نتایج حاصل از محاسبات، در شکل ۴ آمده است.

^۳ Plasma Shielding

Confinement and dynamics of laser-produced plasma expanding across a transverse magnetic field. *Physical Review E*, 69(2), 026413.

[5] Singh, K. S., & Sharma, A. K. (2016). Effect of variation of magnetic field on laser ablation depth of copper and aluminum targets in air atmosphere. *Journal of Applied Physics*, 119(18), 183301.

[6] Chen, F. F. (1984). *Introduction to plasma physics and controlled fusion* (Vol. 1, pp. 19-51). New York: Plenum press.

حاصل از فرآیند شده و به تبع آن، محصورشدگی در پلاسما ایجاد می گردد. با شکل گیری محصورشدگی^{*} پلاسما (به واسطه حضور میدان مغناطیسی) حفاظ پلاسما ایجاد می گردد. در حفاظ پلاسمایی، بارها در بالای سطح هدف تجمع می نمایند و باعث جذب بخشی از انرژی پرتو می گردد و مانع از عبور پرتو به صورت یکنواخت و رسیدن آن به سطح هدف میشود و در نتیجه میزان انرژی در سطح رسانا کاهش می یابد. بدین ترتیب اعمال میدان مغناطیسی سبب تغییر در میزان جذب انرژی پرتو لیزر توسط سطح، در فرآیند ماده برداری شده و به تبع آن، شعاع و قطر حفره های ایجاد شده و همچنین میزان ماده برداشته شده دچار تغییر میشوند.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده، میتوان از میدان مغناطیسی خارجی به عنوان یکی از عوامل خارجی اثر گذار در تغییر میزان ماده برداشته شده، عمق و قطر حفره های حاصل از فرآیند ماده برداری لیزری یاد کرد.

مرجع ها

- [1] VanZeeland, M., & Gekelman, W. (2004). Laser-plasma diamagnetism in the presence of an ambient magnetized plasma. *Physics of Plasmas*, 11(1), 320-323.
- [2] Pant, H. C. (1994). Laboratory simulation of space and astrophysical plasmas using intense lasers. *Physica Scripta*, 1994(T50), 109.
- [3] Okada, S., Sato, K., & Sekiguchi, T. (1981). Behaviour of laser-produced plasma in a uniform magnetic field-plasma instabilities. *Japanese Journal of Applied Physics*, 20(1), 157.
- [4] Harilal, S. S., Tillack, M. S., O'shay, B., Bindhu, C. V., & Najmabadi, F. (2004).

^{*} Confinement