اثر میدان الکتریکی خارجی بر میزان ماده برداری لیزری از هدف برنج در محیط آب دیونیزه

عطیه خسروی، حسین مظفری، محمد حسین مهدیه

دانشکده فیزیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، نارمک، تهران، ایران

چکیده – در این مقاله تاثیر میدان الکتریکی *DC* خارجی بر میزان ماده‌برداری لیزری مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه‌ی مورد بررسی از آلیاژ برنج (٪۳۵ روی – ٪۶۵ مس) می‌باشد که در محیط آب مورد تابش پرتو یک لیزر *Nd:YAG* با طول پالس ۱۰ نانوثانیه، فرکانس ۱۰ هرتز و با ۱۵۰۰ پالس قرار گرفته است. تابش‌دهی در دو شرایط بدون اعمال میدان الکتریکی و با اعمال میدان الکتریکی بصورت عمود بر مسیر پرتو لیزر انجام شده است. حفره‌های ایجاد شده بر روی هدف و خواص نوری محلول کلوئیدی حاوی نانوذرات به ترتیب با استفاده از میکروسکوپ نوری و طیف سنج جذبی اپتیکی *UV- Vis* مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد آهنگ ماده‌برداری لیزری از هدف برنجی در حضور میدان الکتریکی به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد.

کلید واژه- آلیاژ برنج، آهنگ ماده‌برداری، لیزر پالسی نانوثانیه، ماده‌برداری لیزری، میدان الکتریکی خارجی.

The effect of external electric field on the ablation rate from the brass target in deionised water

Khosravi Atiyeh, Mozaffari Hossein, Mahdieh Mohammad Hossein

Department of Physics, Iran University of Science and Technology, Narmak, Tehran Iran

Abstract- In this paper the effect of external DC electric field on the ablation rate was studied. The sample is brass alloys (35% Zn - 65% copper), which is exposed to radiation from a Nd:YAG laser beam with pulse duration of 10 ns and 10Hz repetition rate. Furthermore, in each case, the target was irradiated by laser beam with 1500 pulses for a total time of 2.5min. The radiation was carried out in two conditions, with and without the electric field perpendicular to the laser beam path. The craters formed on the target and the optical properties of the colloid solution containing nanoparticles were studied using optical microscopy and UV-Vis optical absorption spectrometry, respectively. The results show that the external electric field can significantly influence the ablation rate and consequently the concentration of nanoparticles in water.

Keywords: Brass alloy, ablation rate, nanosecond pulse laser, laser ablation, external electric field.

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

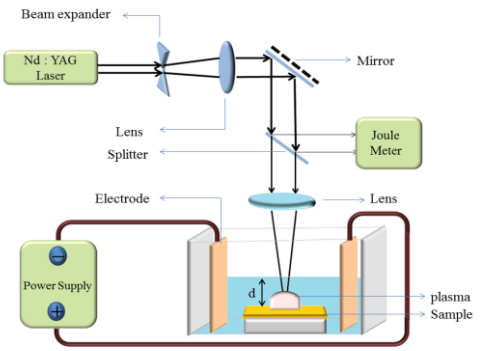
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

۱- مقدمه

مواد در ابعاد نانو، خواص منحصر به‌فردی در مقابل شرایط توده دارند. یکی از روش‌های متداول برای تهیه‌ی نانوذرات، استفاده از پرتو لیزرهای پالسی و بر هم‌کنش آن‌ها با مواد می‌باشد. این روش تحت عنوان "کندوسوز لیزری" شناخته می‌شود و با استفاده از آن انواع نانوذرات اعم از دی الکتریک‌ها، نیمه رساناها و فلزات ساخته شده است[۱]. یکی از خصوصیات نانوذرات فلزی، برجسته بودن تشدید پلاسمون سطحی در آن‌ها می‌باشد. به عنوان مثال نانوذرات برنج (آلیاژ روی- مس) دارای تشدید پلاسمون سطحی پایداری می‌باشد[۲]. در دهه‌های اخیر مطالعات بسیاری بر روی کندوسوز لیزری انجام شده است. در کندوسوز لیزری در محیط مایع که اخیرا بسیار مورد توجه قرارگرفته است، از مایعات به‌عنوان محیط واکنش استفاده می‌شود. هدف در داخل یک مایع که می‌تواند آب یا سیالات آلی باشد، قرار می‌گیرد و پرتوی متمرکز لیزری بر سطح آن تابیده می‌شود[۳]. این روش با وجود مزیت‌های فراوان دارای محدودیت‌هایی است. مهم‌ترین محدودیت سرعت تولید نسبتا کم، (به‌طور نمونه چند گرم در روز) است. شرایط برهم‌کنش لیزر با سطح و تولید نانوذرات در حضور میدان الکتریکی تحت تاثیر قرار می‌گیرد. علی‌رغم تحقیقات نسبتا گسترده روی تولید نانوذرات کلوییدی در محیط‌های برهم‌کنشی مختلف، در زمینه‌ی بررسی فرآیند کندوسوز لیزری در مایعات در حضور میدان الکتریکی خارجی تحقیقات اندکی در دسترس می‌باشد. بیش‌ترین تحقیقات در این زمینه مربوط به گروه G.W.Yang است. آن‌ها با استفاده از هارمونیک دوم یک لیزر پالس Q-switched Nd:YAG با طول پالس ۱۰ns، بدون هیچ کاتالیزور و یا مواد افزودنی آلی، ماده‌برداری لیزری از ژرمانیوم در آب دیونیزه در حضور میدان الکتریکی عمود بر راستای انتشار پرتو انجام دادند و مشاهده کردند با تغییر میدان الکتریکی اعمالی می‌توان شکل‌های متفاوتی از نانوذرات GeO_2 تولید کرد[۴، ۵، ۶]. هدف اصلی این کار پژوهشی، بررسی نقش میدان الکتریکی بر فرآیند ماده‌برداری لیزری آلیاژ برنج در آب دیونیزه و تاثیر آن بر آهنگ تولید نانوذرات می‌باشد.

۲- روش تجربی

نمونه آلیاژ برنج (۳۵٪ روی- ۶۵٪ مس) با ابعاد ۸/۶ × ۲/۱ × ۰/۳سانتی متر مکعب در۱۰میلی‌لیتر آب دیونیزه به ارتفاع ۱ سانتی‌متر زیر سطح آب، غوطه‌ور است. نمونه با استفاده از پرتو یک لیزر Nd:YAG (با پهنای پالس ۱۰ نانوثانیه، طول موج ۱۰۶۴ نانومتر ، آهنگ تکرار۱۰هرتز) با ۶۰۰۰ پالس در ۴ نقطه‌ی مختلف (در هر نقطه ۱۵۰۰ پالس) و در مدت ۱۰ دقیقه تابش‌دهی شد. قطر باریکه‌ی لیزر بر روی سطح هدف ۱۵۰ میکرومتر بود. با توجه به قطر پرتو و انرژی لیزر، شار لیزر در حدود ۳۹ ژول بر سانتی‌متر مربع محاسبه شد.



شکل ۱: طرحواره چیدمان آزمایش ماده‌برداری لیزری در حضور میدان الکتریکی خارجی

با اعمال اختلاف پتانسیل الکتریکی، میدان یکنواختی بین دو صفحه عمود بر مسیر پرتو لیزر ایجاد شد و تابش‌دهی در ۵ اختلاف پتانسیل مختلف صورت گرفت. طرحواره‌ی چیدمان آزمایش در شکل ۱ آمده است.

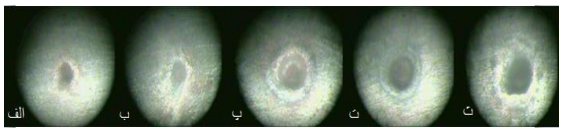
۳- نتایج و بحث

شکل (۲) تصاویر میکروسکوپ نوری حفره‌های ایجاد شده

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

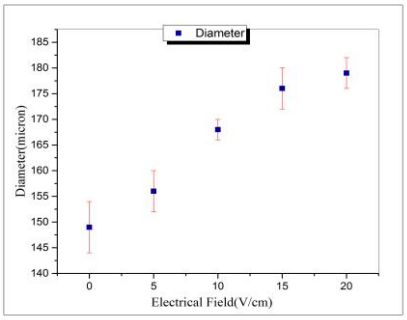
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

در اثر تابش‌دهی در سطح نمونه را نشان می‌دهد.

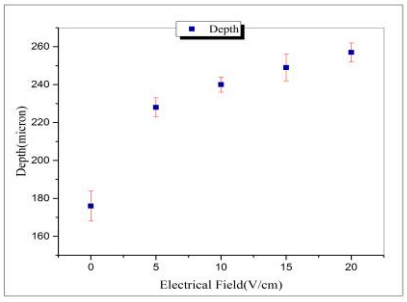


شکل ۲ : تصاویر میکروسکوپی حفره‌های ایجاد شده در کندگی لیزری برنج در ۱۵۰۰ پالس و میدان‌های الف) ۰ ولت بر سانتی متر ب) ۵ ولت بر سانتی متر پ) ۱۰ ولت بر سانتی متر ت) ۱۵ ولت بر سانتی متر و ث)۲۰ ولت بر سانتی متر

داده‌های حاصل از آنالیز تصاویر با میکروسکوپ نوری و نرم افزار پردازش تصویر Image J نشان می‌دهند که با افزایش میدان، عمق و قطر دهانه‌ها افزایش می‌یابد. در طول فرآیند کندگی، توده‌ی پلاسما گسترش می‌یابد. با اعمال میدان الکتریکی ذرات باردار پلاسما از جمله الکترون‌ها و یون‌ها تحت تاثیر یک میدان خارجی قرار می‌گیرند. بنابراین توزیع فضایی و زمانی این ذرات باردار تغییر می‌کند. ذرات در جهت‌های مخالف قرار می‌گیرند، که منجر به پخش‌شدگی پلاسما می‌شود[۷،۸]. پخش شدگی منجر به افزایش انرژی رسیده به سطح می‌شود و درنتیجه عمق کندگی بیشتر می‌شود. از طرفی پلاسمای ایجاد شده به‌طور مستقل به صورت یک منبع حرارتی موضعی با هدف برهم‌کنش داشته و باعث انتقال انرژی به سطح هدف می‌گردد[۹]. با گسترش و پخش‌شدگی پلاسما در حضور میدان، قسمت فضایی بزرگ‌تری از پلاسما در فرآیند ماده‌برداری شرکت می‌کند. بنابراین حفره با قطر بزرگ‌تری می‌تواند ایجاد کند. در نتیجه با افزایش شدت میدان الکتریکی خارجی، قطر حفره‌ی ایجاد شده بزرگ‌تر می‌شود. شکل ۴ و ۵ به ترتیب روند تغییرات قطر و عمق حفره‌ی ایجاد شده باافزایش شدت میدان الکتریکی اعمال شده را نشان می‌دهند.

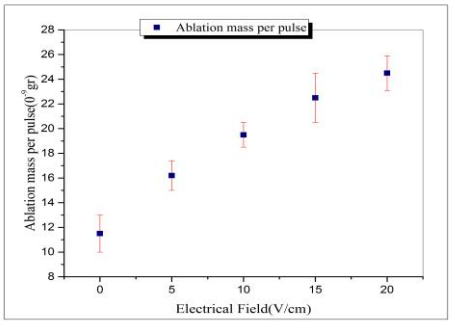


شکل ۴: نمایش تغییرات قطر حفره با افزایش میدان الکتریکی اعمال شده



شکل ۵: نمایش تغییرات عمق حفره با افزایش میدان الکتریکی اعمال شده

با توجه به پروفایل حفره‌ها، یک هندسه مخروطی شکل برای هر حفره در نظر گرفته شد[۱۰]. با این فرض و با توجه به قطر و عمق بدست آمده و چگالی آلیاژ برنج، مقدار ماده کنده شده در هر پالس محاسبه گردید. روند تغییرات آهنگ ماده‌برداری نسبت به میدان الکتریکی نیز در شکل ۶ نشان داده شده است.

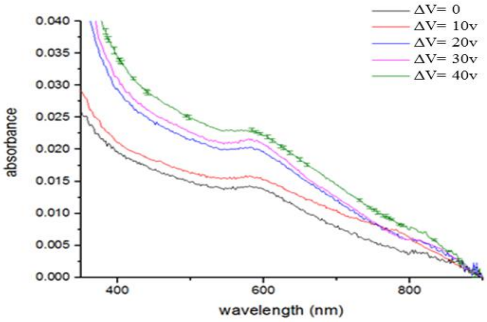


شکل ۶ : نمایش روند تغییرات مقدار ماده کنده شده در هر پالس با اعمال میدان الکتریکی

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهند با اعمال میدان الکتریکی مقدار ماده کنده شده و در نتیجه سرعت تولید محصول افزایش می‌یابد. برای بررسی میزان غلظت نانوذرات تولید شده، طیف جذبی اپتیکی محول کلوئیدی مورد بررسی قرار گرفت. که نتایج آن در شکل ۷ آورده شده است. همان‌طور که در شکل ۷ مشخص است با افزایش اختلاف پتانسیل و در نتیجه افزایش میدان الکتریکی خارجی، بیشینه‌ی جذب افزایش می یابد. قله‌های پلاسمونی طیف جذبی، بیانگر مقدار انرژی که توسط نمونه جذب شده است، می‌باشند.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]



شکل ۷: طیف نمونه نانو ذرات کلوئیدی برنج تولید شده با روش ماده‌برداری لیزری در آب دیونیزه در حضور میدان‌های الکتریکی

از طیف جذبی می‌توان برای محاسبه و تعیین غلظت استفاده کرد. در این نمودارها با افزایش میدان اعمالی، جذب و در نتیجه مقدار ماده‌ی تولید شده افزایش پیدا کرده است. تقارن نانوساختارها تعیین کننده‌ی حالات قطبیده شدن آن‌ها است و تعداد این حالات با تعداد قله‌های پلاسمونی مرتبط است[۱۱]. طیف جذبی ذرات کوچک کروی که دارای بیش‌ترین تقارن هستند، فقط یک قله دارند چرا که تنها به‌صورت دو قطبی ظاهر می‌شوند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که، نانوذرات تولید شده احتمالا اغلب شکل کروی دارند.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه تاثیر میدان الکتریکی DC خارجی بر آهنگ ماده‌برداری توسط فرآیند ماده‌برداری لیزری برای هدف برنجی در محیط آب دیونیزه بررسی گردید. نتایج بدست آمده نشان دادند که با افزایش میدان اعمالی، حفره‌هایی با قطر و عمق بزرگ‌تر ایجاد می‌شوند و در نتیجه ماده‌برداری در هر پالس که همان آهنگ ماده برداری است، افزایش می‌یابد.

مراجع

[1] Stafe M, Marcu A, Puscas NN. Pulsed laser ablation of solids: basics, theory and applications. Springer Science & Business Media; 2013 Nov 9.

[2] Keast VJ, Ewald J, De Silva KS, Cortie MB, Monnier B, Cuskelly D, Kisi EH. Optical properties and electronic structure of the Cu–Zn brasses. Journal of Alloys and Compounds. 2015 Oct 25;647:129-35.

[3] Yang G, editor. Laser ablation in liquids: principles and applications in the preparation of nanomaterials. CRC Press; 2012 Feb 22.

[4] Liu P, Wang CX, Chen XY, Yang GW. Controllable fabrication and cathodoluminescence performance of high-index facets GeO2 micro-and nanocubes and spindles upon electrical-field-assisted laser ablation in liquid. The Journal of Physical Chemistry C. 2008 Aug 8;112(35):13450-6.

[5] Liang, Y., et al. "Synthesis and characterization of copper vanadate nanostructures via electrochemistry assisted laser ablation in liquid and the optical multi-absorptions performance." CrystEngComm 14.9 (2012): 3291-3296.

[6] Lin XZ, Liu P, Yu JM, Yang GW. Synthesis of CuO nanocrystals and sequential assembly of nanostructures with shape-dependent optical absorption upon laser ablation in liquid. The Journal of Physical Chemistry C. 2009 Sep 11;113(40):17543-7.

[7] Sapkota D. Effect of electric fields on the synthesis of nanoparticles of tin and silicon in a liquid environment. University of Missouri-Kansas City; 2015.

[8] Mahdieh MH, Mozaffari H. Characteristics of colloidal aluminum nanoparticles prepared by nanosecond pulsed laser ablation in deionized water in presence of parallel external electric field. Physics Letters A. 2017 Oct 10;381(38):3314-23.

[9] Anabitarte F, Cobo A, Lopez-Higuera JM. Laser-induced breakdown spectroscopy: fundamentals, applications, and challenges. ISRN Spectroscopy. 2012 Oct 30;2012 .

[10] Mahdieh MH, Nikbakht M, Moghadam ZE, Sobhani M. Crater geometry characterization of Al targets irradiated by single pulse and pulse trains of Nd: YAG laser in ambient air and water. Applied Surface Science. 2010 Jan 1;256(6):1778-

[11] Xia Y, Xiong Y, Lim B, Skrabalak SE. Shape-controlled synthesis of metal nanocrystals: Simple chemistry meets complex physics?. Angewandte Chemie International Edition. 2009 Jan 1;48(1):60-103.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]