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

آستانه جدا شدن نانوذرات مس در فرآیند کند و سوز لیزری با لیزر CO_2 با طول موج ۱۰,۶ میکرومتر

محمد صادق ریاحی[۱]، مهدی تاج الدینی[۲]

[۱و۲] گروه فوتونیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته،کرمان

Sadeghriahi73@gmail.com

چکیده –در این مقاله؛ آستانه فرایند کند و سوز لیزری با تابش لیزر CO_2 بر سطوح مختلف فلزی از قبیل مس، آهن و روی با مساحت Cm^2 ۱×۱ آزمایش شده است. پالس های لیزر از فواصل ۳cm و۵cm تابیده شد، جدایی ذرات از سطح مس نشان دهنده آستانه فرایند فقط از این فلز است.تحلیل XRD فاز ماده ایجاد شده را CU_2O تشخیص داده است. علاوه بر این، تصاویر SEM آستانه جدایی ذرات CU_2O را به خوبی از سطح مس نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که کند و سوز با لیزر دی اکسید کربن ۱۰,۶ میکرومتر، از سطح مس شروع می‌شود.

کلید واژه- آستانه کندگی، اکسید مس، فلز مس، کند و سوز لیزری، نانوذرات

Separation Threshold of Copper Nanoparticles In Laser Ablation Process by 10.6 Micrometer CO_2 Laser

Mohamad Sadegh Riahi[1], Mehdi Tajaldini[2]

[1,2] Department of Photonics, Graduate University of Advanced Technology, Kerman
Sadeghriahi73@gmail.com

Abstract- In this paper; the threshold of laser ablation process has been experimented by radiation of CO_2 laser on different metals such as Cu, Fe, and Zn with 1×1 Cm^2 of areas. Laser pulses are radiated from 3 and 5 Cm. Particle separation from Cu surface show the process threshold is just belong to Cu. XRD analysis recognizes that created material phase is Cu_2O. Furthermore, SEM figures well show the separation threshold of Cu_2O particles from copper surface. The result illustrate that ablation by 10.6μm CO_2 laser starts on Cu surface.

Keywords: copper, cu_2o, laser ablation, threshold, nanoparticle

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

مقدمه

یکی از روش‌های متفاوت تولید نانوذرات فلزی، روش کند و سوز لیزری (laser ablation) است که با تابش نور لیزر بر سطح هدف فلزی تولید نانوذرات صورت می‌گیرد، و می‌توان آن را در محیط مایع [۱]،آزاد و خلاء انجام داد [۲]، و دارای مزایایی همچون یک مرحله‌ای بودن ، خلوص بالای محصول سنتز شده و امکان کنترل سایزذرات با تغییر پارامترهای لیزر است [۱]، جهت این‌که سنتز نانوذرات صورت گیرد باید از لیزر مناسب و با طول موج قابل جذب توسط فلز استفاده کرد [۳].

شناخت کامل مکانیزم کند و سوز لیزری کاری پیچیده است [۴]، اما با یک سری تقریب‌ها می‌توان آن را مورد بررسی قرار داد، آقای چیک بوکوف و همکارانش در سال ۱۹۵۶ مکانیزم مربوط به این روش را به صورت تئوری بررسی کرده و معادلات حاکم را بیان کرده‌اند [۵]، یکی از مباحث مهم در این بحث، آستانه فرایند کند و سوز است که می‌تواند در انتخاب لیزر و هدف بسیار موثر باشد.

در این مقاله ما قصد داریم به صورت عملی آستانه کند و سوز لیزری و درحقیقت آستانه جدا شدن نانوذرات از سطح فلز مس را با استفاده از یک لیزر CO_2 با طول موج 10.6 میکرومتر بررسی کنیم.

تئوری معادلات

برهم کنش نور لیزر و هدف به ویژگی‌های ترمواپتیکی فلز، پارامترهای لیزر و محیط فرایند بستگی دارد، و می‌تواند به صورت اثرات اپتیکی(جذب، بازتاب) و یا حرارتی(گرم شدن، ذوب، تبخیر سطحی) و یا مکانیکی(کرنش و تنش) باشد [۳,۴].

این برهم کنش را می‌توان با معادلات مدل دو دما (TTM) توصیف کرد، فرض کنید T_e و T به ترتیب دمای الکترون و فونون باشند که در این‌جا دمای فونون همان دمای شبکه پیوندی فلز است، بنابراین [۴]:

$$C_e \frac{\partial T_e}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}(K_e \frac{\partial T_e}{\partial z}) - \Gamma_{e-p}(T_e - T) + S \qquad (۱)$$

$$C \frac{\partial T}{\partial t} = \Gamma_{e-p}(T_e - T) \qquad (۲)$$

همچنین

$$S = (1-R)\alpha I_a(t)\exp(-\alpha z)$$

$$K_e = K_0(T) \times \frac{T_e}{T} \qquad (۳)$$

که C_e ظرفیت گرمایی الکترون، C ظرفیت گرمایی فونون، R بازتاب سطح هدف، $I_a(t)$ شدت لیزر در سطح هدف، Γ_{e-P} فاکتور جفت شدگی الکترون و فونون، α ضریب جذب ماده هستند و همچنین K_e هدایت گرمایی الکترون است که طبق رابطه (۳) با K_0 که ضریب انتقال گرمایی شبکه فلز (فونون) است، مرتبط می‌شود. وقتی که از تپ‌های نانوثانیه (همانند لیزر مورد استفاده در فرایند این مقاله) بهره برده شود، شرط $\tau_L \rangle\rangle \tau_P$ به طور کامل براورده می‌شود (τ_L پهنای زمانی پالس لیزر و τ_P مدت زمان گرم شدن شبکه فلز)، پس دمای الکترون‌ها و شبکه فلز حدوداً برابر خواهند بود و بنابراین فقط معادله (۱) باقی می‌ماند، و انرژی که از لیزر به سطح داده می‌شود از رابطه زیر بدست می‌آید [۳]:

$$E = \frac{I_a t}{\rho L} \qquad (۴)$$

که $L = 2\sqrt{D\tau_L}$ عمق انتشار گرمایی، D ضریب انتشار گرمایی و ρ چگالی است، و در شرایط تبخیر قوی(Ω حرارت ویژه تبخیر) برای شدت آستانه جداشدن ذرات داریم [۴]: (۵)

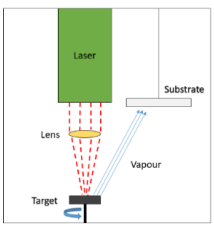
$$I_{th} = \frac{\rho(D)^{\frac{1}{2}}\Omega}{(\tau_L)^{\frac{1}{2}}}$$

روش انجام آزمایش

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

جهت انجام آزمایش، سه قطعه 1cm*1cm از فلزات Cu، Fe و Zn را انتخاب و سپس جهت از بین بردن آلودگی سطوح آن‌ها از سمباده و اتانول استفاده کردیم، سپس هر کدام از فلزات را به مدت ۱۰ دقیقه در دو فاصله ۳cm و ۵ cm تحت تابش نور خروجی لیزر CO_2 ساخت شرکت Coherent، مدل GEM-100 با قطر لکه‌ای در حدود ۳ میلی متر که پس از عبور از عدسی با فاصله کانونی ۲۵ میلی متر به ۱۰ میکرومتر کاهش می‌یابد و با طول موج ۱۰,۶ میکرومتر و انرژی ۱۰۰mj قرار دادیم. همچنین میزان جذب مس و آهن در این طول موج به ترتیب تقریباً ۲.۵ درصد و ۵ درصد می باشد [۶]. وقتی Zn تحت تابش قرار گرفت؛ در هر دو فاصله، مشاهده کردیم که به دلیل حرارت بالای لیزر در نقطه متمرکز شده، فلز بخار شده و بر روی زیرلایه (substrate) که در قسمت بالای محفظه آزمایش قرار داشت رسوب کرده و در حقیقت از آستانه جدا شدن ذرات فراتر رفته است، همچنین زمانی‌که Fe را تحت تابش قرار دادیم فقط مقداری سطح فلز گرم شد و اتفاق دیگری رخ نداد در حقیقت برهم کنش زیادی بین نور لیزر و شبکه فلز در این دو فاصله صورت نگرفت، اما زمانی‌که لیزر را بر سطح فلز مس تاباندیم، در فاصله ۵cm، سطح فلز تا حدود زیادی گرم شد و با کاهش فاصله به ۳cm این داغ شدن تا حدی پیش رفت که مشاهده کردیم که یک لایه نازک پودری شکل بر سطح فلز ایجاد شده است، سپس جهت شناسایی فاز پودر تشکیل شده از انالیز XRD و جهت مشاهده سطح آن از SEM استفاده کردیم، همچنین مقداری از پودر را از سطح برداشته و با آب مقطر ترکیب کرده و آنالیز DLS را جهت اندازه گیری حدودی سایز ذرات انجام دادیم.

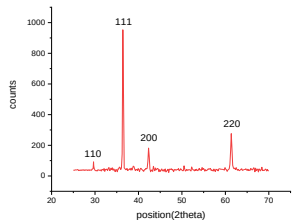


شکل ۱: چیدمان لیزر و هدف و زیرلایه

بحث و نتایج

با توجه به معادلات ۳ و ۴، می‌توان این‌گونه توجیه کرد که به دلیل این‌که زمان تابش و همچنین نوع لیزر در طول فرایند تغییر نکرده است (τ_L ، I_a و t ثابت)، پس پارامتر-های دیگر یعنی چگالی و گرمای ویژه تبخیر در رسیدن به آستانه تاثیر گذارند. اگرچه آهن در این طول موج جذب خوبی دارد اما به دلیل چگالی و نقطه ذوب بالایی که دارد به شدت بسیار بالاتری برای رسیدن به آستانه نیاز دارد و متقابلاً Zn، جذب خیلی کمی در این طول موج دارد اما به دلیل گرمای تبخیر کمتر و چگالی کمتر، از آستانه عبور کرده و به دمای تبخیر می رسد، و در نهایت فلز مس که نقش فلز منتخب را برای ما دارد با توجه به چگالی و جذب نسبی که در این طول موج دارا است به گونه‌ای در طول فرآیند عمل کرد که در مرز تبخیر شدن که همان آستانه شدت کند و سوز لیزری است قرار گرفت و ذراتش تا نیمه از سطح فلز جدا شده ولی تبخیر صورت نگرفت، همچنین باید به این نکته توجه داشت که غالب برهم کنش این لیزر با فلزات به صورت اثرات گرمایی است.

آنالیز DLS نشان داد که پودری که ما از روی سطح برداشته‌ایم دارای توزیع اندازه ای تقریبا ۱۰۰ تا ۳۰۰ نانومتر بوده‌اند که البته با توجه به این که ذرات به صورت کامل از هم جدا نشده بودند و بر روی سطح فلز باقی مانده بودند طبیعی است که ذرات به هم چسبیده و الگومره باشند و این اندازه قابل توجیه باشد.



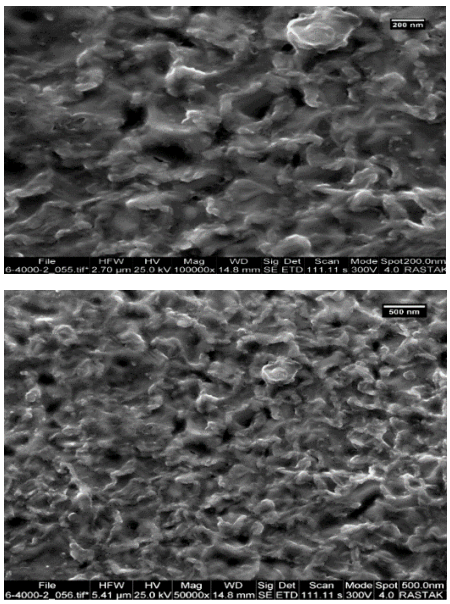
شکل ۲: تصویر آنالیز پراش اشعه ایکس و موقعیت پیک ها

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

شکل ۲ آنالیز XRD سطح فلز مس را نشان می دهد؛ با توجه به موقعیت پیک‌ها متوجه می شویم که ماده تولید شده Cu_2O است و دلیل این امر دمای بالای ناشی از تابش لیزر است زیراکه برای تولید اکسید مس به دماهای بالا احتیاج داریم هرچند که هوای داخل محفظه نیز بی تاثیر نبوده است.

شکل ۳ نیز تصویر میکروسکوپ الکترونی سطح مس را نشان می‌دهد، و به ما این حقیقت را آشکار می‌کند که تابش نور لیزر و برهم کنش آن با شبکه پیوند مس تا حد آستانه کنده شدن ذرات اتفاق افتاده است اما همانطور که در تصویر مشخص است ذرات از سطح تا نیمه جداشده‌اند و تا حدود انرژی مورد نیاز جهت کنده شدن و تبخیر شدن از سطح پیش رفته‌اند.



شکل ۳: تصاویر SEM سطح فلز مس و ذراتی که درآستانه جدایی قرار دارند.

اما ذرات نتوانسته‌اند از آستانه کند و سوز عبور کنند و در همان سطح مس باقی مانده‌اند، دلیل این اتفاق این است که یکی از پارامترهای مهم در کند و سوز لیزری و تولید نانوذرات، ویژگی‌های هدف فلزی مثل جذب در طول موج مورد استفاده، نقاط ذوب و تبخیر است و طبیعتاً جذب مس در این طول موج به اندازه‌ای نبوده که تبخیر سطحی نانوذرات شروع شود و فقط ذرات تا آستانه جدا شدن پیش رفته‌اند و بر روی سطح باقی مانده‌اند.

نتیجه گیری

در این مقاله ما ابتدا معادلات حاکم بر مکانیزم کند و سوز لیزری را نوشته و در مورد آن‌ها بحث کردیم و سپس جهت آزمایش آستانه کند و سوز از فلزات مختلف در فواصل مختلف استفاده کردیم در آزمایش فلز مس یک لایه نازک از ذرات اکسید در آستانه جدایی مشاهده شد، که این امر به دلیل این است که جذب، چگالی و دمای تبخیر مس در این طول موج به اندازه‌ای است که ذرات در آستانه جدایی از سطح قرار گیرند که این موضوع در تصاویر SEM به خوبی قابل مشاهده است، همچنین ذرات جدا شده در محدوده ۱۰۰ تا ۳۰۰ نانومتر هستند و فاز ذرات با توجه به نتایج XRD، Cu_2O تشخیص داده شده است.

مرجع‌ها

[1] N. Campos, C. Gonzalez, C. Guilln, S. Cruz, M. Hernanez, Z. Angel, L. Olvera, C. Puente, M. Flores, , “Synthesis of paramelaconite nanoparticles by laser ablation”, Journal of Laser Applications, vol. 30, pp. 120-124, 2018.

[2] M. Gondal, T. Saleh, Q. Drmosh, “Synthesis of nickel oxide nanoparticles using pulsed laser ablation in liquids and their optical characterization”, Applied Surface Science, vol.258, pp.982-986, 2012.

[3] D.Batani, T.Vinci, D.Bleiner, “Laser-ablation and induced nanoparticle synthesis”, Laser and Particle Beams,vol.32, No.1,pp.1-7,2014.

[4] M.Stafe, A.Marcu, N.Puscas, pulsed Lasser Ablation of Solids, P.65-71, Springer, 2014.

[5] B.N. Chicbkov, C. Momma, S. Nolte, F. Alvensleben, A. Tiinnerman, “Femtosecond, picosecond and nanosecond laser ablation of solids”, Applied Physics A,Vol.63, No.2, pp.109-115, 1996.

[6] Mahamood, R.modupe, laser metal deposition process of metals, alloys, and composite materials , P.11-35, Springer, 2018.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]