اثر زبری سطح بر روی آستانه تخریب لیزری لایه‌های فلزی نقره

مشایخی اصل، علی؛ انارکی، مهدی؛ میری، صادق؛ رحیم زاده، نازلی؛ مشایخی، جهانبخش[۱]

[۱]مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران

چکیده – در این تحقیق اثر زبری سطح بر آستانه تخریب ناشی از لیزر، مورد مطالعه قرار گرفت. برای این کار چهار لایه فلزی نقره، با زبری‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت. لایه‌های نازک نقره، با روش کندوپاش مگنترونی رشد داده شدند. ضخامت هر کدام از لایه‌ها *nm* ۱۵۰ بود. بررسی کیفیت سطح نمونه‌ها با میکروسکوپ نوری *Zeiss* انجام گرفت و زبری سطح نیز توسط میکروسکوپ *AFM* به دست آمد. در انتها نیز آزمون آستانه تخریب لیزری با استفاده از لیزر پیوسته *W* ۲۵۰، *Nd:YAG* انجام شد. نتایج به دست آمده نشان داد که زبری سطح اثر مستقیمی بر مقدار آستانه تخریب لیزری دارد و زبری بالا باعث کاهش آستانه تخریب می‌شود.

کلید واژه- زبری سطح، لایه‌های فلزی، آستانه تخریب ناشی از لیزر، کندوپاش مگنترونی، نقره

کد PACS -

The effect of Surface roughness on Laser Induced Damage Threshold of Ag metal layers

Mashayekhi Asl, Ali; Anaraki, Mahdi; Miri, Sadegh; Rahim Zade, Nazli; Mashaiekhy, Jahanbakhsh[1]

[1]Iranian National Center for Laser Science and Technology, PO Box 14665-576, Tehran, Iran

Abstract- In this research the effect of roughness was investigated on Laser Induced Damage Threshold. For this work, four silver layers with different roughness were used. Thin silver layers were deposited by magnetron sputtering method. The thickness of all samples was 150nm. The surface quality of mirrors was investigated by Zeiss optical microscope and then, their morphologies were study by AFM microscope. Finally, Laser Induced Damage Threshold (LIDT) test was performed for all Ag mirrors by 250W, CW, Nd:YAG laser. The results show that surface roughness has direct effect on amount of LIDT, and high amount of roughness will decrease the damage threshold.

Keywords: Surface roughness, metal layers, LIDT, Magnetron sputtering, Ag.

PACS No:

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

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

مقدمه

مقاومت فیلترهای اپتیکی در برابر تخریب لیزری یکی از موضوعات بسیار مهم در حوزه‌های لایه نازک، لیزر و اپتیک است. با این حال بهبود این مقاومت غالباً کاری دشوار است، که دلیل آن تعدد پارامترهای تأثیرگذار در فرآیندهای لایه نشانی و نیز ساخت زیرلایه است[۳] در مسیر توسعه سیستم‌های توان بالای لیزری، قطعات اپتیکی با پایداری کم و تخریب زود هنگام، یک عامل منفی در این گونه سیستم‌ها محسوب می‌شوند[۴].

سطح بیرونی مواد اپتیکی، به دلیل آن‌که گذاری ساختاری بین حجم ماده اپتیکی و محیط پیرامون آن است، امکان تخریب بالایی دارد[۵].

فلز نقره از جمله فلزات با آستانه تخریب بالا می‌باشد که دارای زبری سطح نسبتاً پایینی می‌باشد. این فلز از دسته فلزهای با بازتاب بسیار بالا در ناحیه مریی و فروسرخ است. فلز نقره کاربردهای فراوانی در صنایع مختلف اپتیک، الکترونیک، هوانوردی و علوم فضایی، دفاعی و... از جمله در موجبرهای اپتیکی و لایه‌های نازک دارد[۲].

۲- مباحث نظری

R_a یکی از مهمترین پارامترهای مورد استفاده برای تعیین بافت سطح است. R_a در حقیقت متوسط انحراف از خط میانی(میانگین ارتفاع در پیکسل های مختلف) است. مقدار آن از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R_a = (1/L)\int_0^L |z(x)dx| \qquad (۱)$$

که در این رابطه $z(x)$ تابعی برای بیان نقطه به نقطه انحراف‌ها بین پروفایل اندازه‌گیری شده و خط مرجع میانی است.[۱] تحقیقات تجربی پیشنهاد می‌کنند که زبری rms، ریشه میانگین مربعی توزیع سطح است، که به R_a بسیار شبیه است. مقدار R_{rms} از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R_q = \sqrt{\int\int_a z(x,y)^2 dxdy} \qquad (۲)$$

پارامتر R_{rms} (R_q) در صنعت اپتیک کاربرد فراوانی دارد، و به طور کلی هرقدر مقدار آن کمتر باشد، نور پراکنده شده نیز کمتر می‌شود[۱].

آستانه تخریب سطوح اپتیکی با زبری سطح از طریق رابطه تجربی زیر مرتبط هستند:

$$E\sigma^m = constant \qquad (۳)$$

E میدان الکتریکی آستانه و σ زبری rms سطح است. در حالت کلی توان m در رابطه ۳ در حدود ۰،۵ قرار داده می‌شود[۶]

۳- آماده‌سازی زیرلایه‌ها

زیر لایه های مورد استفاده در این تحقیق از جنس BK7 بودند. برای تمیزکاری، در ابتدا زیرلایه‌ها توسط استون شستشو شدند و در ادامه به مدت ۱۰ دقیقه درون اسید HCl 10% قرار داده شدند و سپس درون محلول سود شستشو شدند. در ادامه فرآیند تمیزکاری، زیرلایه‌ها به مدت ۵ دقیقه درون اسید نیتریک ٪۳۵ قرار داده شدند و در مرحله بعد درون محلول آب و الکل ٪۵۰ شستشو شدند و در نهایت درون ظرف آب DI قرار داده شده و به مدت ۱۵ دقیقه، در دمای ۶۵ درجه در دستگاه التراسونیک قرار گرفتند، و در انتها توسط آب DI مجدداً شستشو شده و با باد نیتروژن خشک شدند. زیرلایه‌ها در فواصل بین تمامی مراحل فوق با آب DI شستشو داده شدند.

۳- انجام لایه نشانی

برای انجام لایه نشانی نقره بر روی زیرلایه‌ها از روش کندوپاش مگنترونی استفاده شد. در هر مرحله سه زیر لایه درون دستگاه قرار داده شد و در هر مرحله از یک توان مشخص برای انجام لایه نشانی استفاده شد. هدف از این کار ایجاد زبری‌های مختلف بر روی سطح لایه‌ها بود. ۴ مرحله لایه نشانی با چهار توان مختلف انجام گرفت و سعی بر آن شد تا تمامی پارامترهای دیگر بدون تغییر باقی بماند. مشخصات مربوط به لایه نشانی در جدول شماره ۱ آورده شده است.

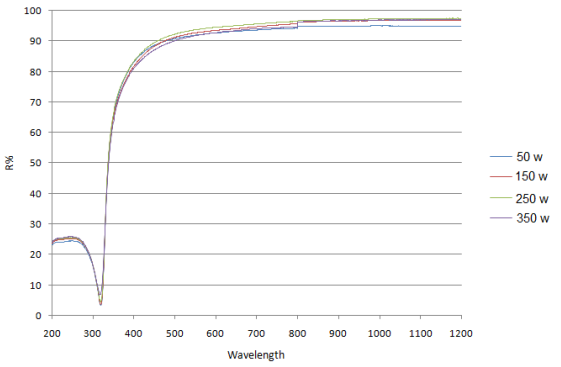
جدول۱: پارمترهای لایه‌نشانی چهار لایه نقره

Ag Mirrors				
Power(W)	۵۰	۱۵۰	۲۵۰	۳۵۰
Rate (A^0/S)	۴/۵	۱۴/۵	۲۳/۷	۳۲/۵
Thickness(nm):				۱۵۰
Background Pressure(torr):				۸×۱۰^{-۶}

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

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

در ادامه طیف نمونه‌ها توسط طیف‌سنج نوری به دست آمد که در شکل ۱ مشاهده می‌شود.

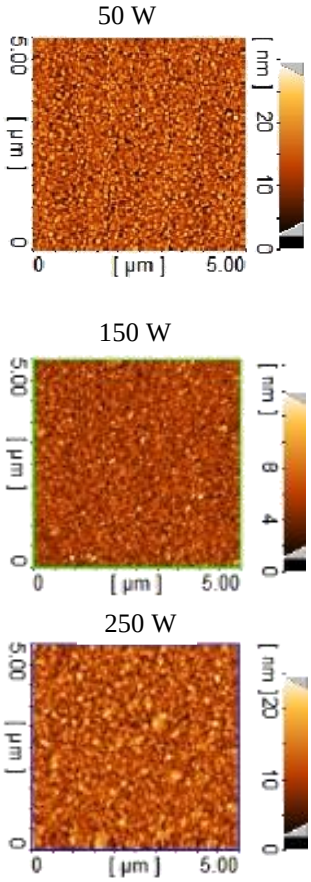


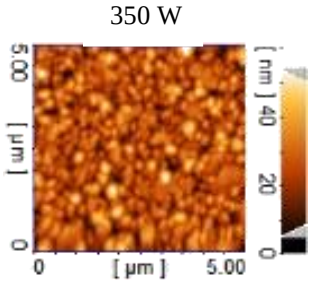
شکل۱: طیف بازتاب لایه‌های نقره

۴- آنالیزهای پس از لایه نشانی

۴-۱ آنالیز AFM

برای به دست آوردن زبری سطح لایه‌ها از آنالیز AFM استفاده شد. پارامترهای R_a و R_{rms} هر چهار نمونه به همراه پروفایل عرضی آن‌ها نیز به دست آمد که در شکل۲ و جدول ۲ آورده شده است.





شکل۲: تصاویر دو بعدی مورفولوژی سطح نمونه‌های نقره

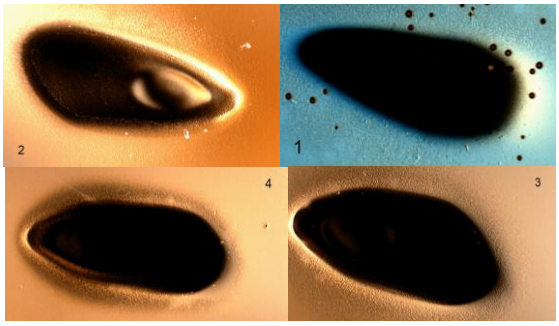
جدول۲: پارامترهای زبری نمونه‌های نقره

Power (W)	۵۰	۱۵۰	۲۵۰	۳۵۰
R_a (nm)	۰/۷۱۳	۱/۵۴	۳/۰۵	۶/۴۳
R_{rms} (nm)	۰/۹۰۸	۱/۹۳	۳/۸۲	۸/۱۵

همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش توان، زبری نیز افزایش یافته است.

۴-۲ آزمون آستانه تخریب ناشی از لیزر

برای انجام آزمون LIDT، باریکه لیزر پس از خروج از لیزر توسط یک سیستم کانونی‌ساز بر روی نمونه هدف کانونی شده و با افزایش تدریجی توان، تخریب نمونه‌ها توسط میکروسکوپ آنلاین بررسی شد. باریکه لیزر پس از خروج از لیزر و عبور از یک عدسی کانونی‌ساز، با باریکه‌شکن (با بازتاب ٪۷/۷) برخورد کرده و نور بازتابیده به سمت توان-سنج هدایت شد تا توان و چگالی سطحی و خطی توان در زمان تخریب محاسبه شود. تصاویر مربوط به تخریب لایه-های نقره که با میکروسکوپ نوری به دست آمده است، در شکل۵ مشاهده می‌شود.



شکل۵: تخریب سطح لایه‌های نقره

در جدول ۳ چگالی‌های سطحی و خطی تخریب نمونه-های نقره آورده شده است.

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

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

جدول۳: چگالی‌های سطحی و خطی تخریب لایه‌های فلزی نقره

P(W)	۵۰	۱۵۰	۲۵۰	۳۵۰
ρ_A (KW/cm^2)	۹/۵	۸/۱	۶/۳	۳/۸
ρ_d (W/cm)	۵۸۲/۶۱	۴۹۴/۴۲	۳۸۳/۳۸	۲۳۴/۲۶

۵- بحث

آستانه تخریب وابستگی بسیار زیادی به پارامترهای سطح لایه دارد. فلزی که زبری بالایی دارد، آستانه تخریب پایین‌تری دارد و بالعکس. به طور مثال در لایه نازک فلزی آلومینیوم که در معرض تابش لیزر اگزایمر قرار دارد، جذب ٪۱۶ از توان لیزر نیز گزارش شده است[۸]. تغییر در روش پردازش سطح، نیز باعث تغییر قابل توجهی در رفتار LIDT می‌شود. که این تغییر رفتار مربوط به زبری و سختی سطح است[۷].

زبری بالای سطح باعث به وجود آمدن بازتاب‌های متعدد و در نتیجه آن جذب‌های متعدد نور لیزر می‌شود، و جذب را نسبت به یک سطح صاف به شکل قابل توجهی افزایش می‌دهد[۸].

آستانه تخریب سطح به ناحیه مؤثر تحت تابش بستگی دارد، دلیل آن افزایش تعداد ناخالصی‌ها و نقایص سطح با افزایش ناحیه مؤثر تحت تابش است. در نتیجه آستانه تخریب سطح کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان گفت رابطه آستانه تخریب با زبری، یک عامل تعیین کننده است[۹]. وجود نقایص سطح مثل ترک‌ها، چاله‌ها، و خراش‌ها نیز باعث افزایش میدان الکتریکی و در نتیجه آن کاهش آستانه تخریب لیزری خواهد شد[۱۰].

زبری بالا، وجود نقایص، آلودگی‌ها، ترک‌ها، خراش‌ها و حفره‌ها و نیز افزایش سطح مقطع برخورد باریکه لیزر، باعث افزایش جذب انرژی باریکه لیزر در سطح لایه و در نتیجه کاهش قابل توجه LIDT می شود[۲]

۶- نتایج

در این تحقیق مشاهده شد که بازتاب‌های متعدد درون یک سطح زبر باعث افزایش ضریب جذب در ماده می‌شود. و بسته به زبری سطح لایه فلزی، مقدار قابل توجهی از توان لیزر تابیده شده بر روی سطح، می‌تواند جذب شود.

بنابراین مطابق با آنچه در بحث عنوان شد و نیز با توجه به نتیجه آنالیز AFM و آزمون آستانه تخریب لیزری می‌توان گفت که پارامتر زبری یکی از پارامترهای اثرگذار در مقدار آستانه تخریب لیزری لایه‌های فلزی می‌باشد. زبری کمتر بازتاب‌های اضافی کمتر و در نتیجه ضریب جذب پایین‌تر را به همراه دارد. و می‌توان نتیجه گرفت که لایه‌های با زبری کمتر، آستانه تخریب بالاتری دارند.

مراجع

[۱] مشایخی، جهانبخش. مبانی لایه نشانی و آنالیز نانو ساختار، مرکز نشر دانشگاهی. چاپ اول ۱۳۹۳

[۲] مشایخی اصل، علی؛ انارکی، مهدی و ...، مقایسه آستانه تخریب ناشی از لیزر لایه‌های فلزی نقره، طلا، نیکل و آلومینیوم، مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران، هشتمین کنفرانس ملی خلأ ایران، ۱۳۹۶.

[3] H´el`ene Krol, J´er´emie Capoulade, Michel Cathelinaud, Luc Roussel, Comparative study of IR and UV laser damage resistance of silica thin films deposited by Electron Beam deposition, Ion Plating, Ion Assisted Deposition and Dual Ion Beam Sputtering, Institut Fresnel, 13397 Marseille Cedex 20, France. Conference Papers, SPIE. P 287- 293. 2005.

[4] G. Abromavicius, R. Buzelis, R. Drazdys, K. Juskevicius, S. Kicas, T. Tolenis, J. Mirauskas, M. Sciuka, V. Sirutkaitis, A. Melninkaitis, Lith. J. Phys. 51, 303 (2011).

[5] S. Papernov, A. W. Schmid, "Laser-induced surface damage of optical materials: Absorption sources, initiation, growth, and mitigation", Laboratory for Laser Energetics, University of Rochester, 250 East River Road, Rochester, NY 14623-1299, USA. Boulder Damage symposium, Boulder, Co 22, septamber 2008

[6] R. A. House, 11, J. R. Bettis, and A. H. Guenther, "Surface roughness and laser damage threshold," IEEE J. Quantum Electron., vol. QE-13,pp. 361-363.

[7] Shin. Kajita, Ryo. Yasuhara, Noriyasu. Ohno, Assessment of multi-pulse laser-induced damage threshold of metallic mirrors for Thomson scattering system, Department of Engineering and Science, Nagoya University, Fro-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi, 464-8603, Japan. OSA, vol.21, Issue 8. PP. 9333-9342(2013)

[8] L. K. Ang, Y. Y. Lau,a, "Analysis of laser absorption on a rough metal surface", Department of Nuclear Engineering and Radiological Sciences, Intense Energy Beam Interaction, Citation: Applied Physics Letters 70, 696 (1997); doi: 10.1063/1.118242

[9] J. R. Bettis, and A. H. Guenther, Surface Roughness Dependence o.f Laser Induced Damage Threshold, IEEE J. Quantum Electron. vol. QE-13,pp. 361-363.

[10] W. Howard, D. Milam, Laser-Induced Surface and Coating Damage.IEEE journal of Quantum Electronics (Volume: 17, Issue:9 sep 1981)

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

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