بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷

تاثیر تمیزکاری زیر لایه بر روی آستانه آسیب لیزری پوشش‌های پادبازتابنده در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر

علی حیدری‌فرد، مهدی مردیها، حمیدرضا فلاح و مرتضی حاجی محمودزاده

دانشگاه اصفهان، گروه فیزیک

چکیده - لایه‌های‌نازک اپتیکی پادبازتابنده دارای کابرد های فروانی در صنعت فوتونیک می‌باشند، این لایه‌ها در پنجره‌های اپتیکی و همچنین لنز ها و دیگر المان‌های اپتیکی کاربرد دارند. همچنین از آنها در پرتو گسترها و دیگر المان‌های اپتیکی که جهت کانونی کردن پرتو لیزر می‌باشد نیز استفاده می‌شود. اما بالا رفتن انرژی لیزر باعث تخریب این نوع از پوشش‌ها می‌شود. در این مقاله سعی شده است که با استفاده از سه روش متفاوت تمیزکاری روش بهینه‌ای که باعث بالارفتن آستانه آسیب لیزری این پوشش‌ها می‌شود را یافت.

کلید واژه- آستانه آسیب لیزری، لایه پاید بازتابنده، تمیز کاری

The effect of cleaning substrate on laser induced damage threshold of antireflection coating at 1064nm

Ali Heidary Fard, Mehdi Mardiha, Hamidreza Fallah, Morteza Haji Mahmod Zadeh

Department of Physics, University of Isfahan

Abstract- Optical anti reflection thin-film are widely used in the photonic industry, these layers are used in optical window, lenses and other optical elements. They are also used in beam expander and other optical elements that used to focus laser beam. But the rise in laser energy causes the damage of these types of coatings. In this paper, we have tried to find an optimal method using three different methods of cleaning, which would increase the threshold of laser damage to these coatings.

Keywords: Laser induced damage threshold, Antireflection coating, Cleaning

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-24]

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

۱-مقدمه

همواره نور به هنگام ورود به یک محیط اپتیکی دارای سه رفتار جذب، عبور و بازتاب است. در محیط های دی‌الکتریک اغلب میزان جذب پایین است و بازتاب عامل اصلی تلفات نور است از این رو طراحی و ساخته لایه‌های نازک پادبازتابنده از مواد دی‌الکتریک اهمیت بالایی داشته است [۱]. در ساخت لایه‌های نازک پادبازتابنده لیزری یکی از اصلی‌ترین پارامترها اندازه‌گیری آستانه آسیب القایی لیزری[۱] است زیرا در صورتی که این آستانه کمتر از حد آستانه المان اپتیکی پادبازتابنده باشد آن المان آسیب جبران ناپذیری خواهد دید[۲].

آستانه آسیب القایی لیزری در المان‌های اپتیکی پارامتر بسیار کلیدی در اپتیک توان بالا است[۳]. در نتیجه برهمکنش فوتون با مواد دی‌الکتریک انرژی الکترومغناطیسی می‌تواند تبدیل به انرژی الکتریکی، مکانیکی، شمیایی و گرمایی شود و این تبدیل انرژی می-تواند در خواص اپتیکی (انتقال، بازتاب و جذب) اثر گذاشته و همچنین باعث آسیب ماده شود. بنابراین از زمانی که پژوهش‌ها بر روی لیزرهای توان بالا شروع شد همواره آسیب القایی لیزری مواد اپتیکی یکی از محدودیت‌های سازندگان لیزر بوده و پژوهش‌های زیادی بر روی سازوکارهای آسیب و همچنین نحوه گسترش آن انجام شده است [۴]. امروز پی برده شده است یکی از اصلی ترین عواملی که باعث آسیب در سطوح المان‌های اپتیکی می‌شود نقص‌های سطحی و آلودگی‌هایی از قبیل نانو ذرات فلزی و دیگر مواد آلی موجود در سطح زیرلایه است[۱]. در اکثر موارد این نقص‌ها قابل شناسایی نیستند و امکان دارد که در سطح کل زیر لایه پخش شده باشند بنابراین روش و نوع شستشو بسیار اهمیت داشته و باعث از بین رفتن این آلودگی‌ها و به تبع باعث بالا رفتن آستانه آسیب لیزری خواهد شد[۵]. در این مقاله سعی شده است با استفاده از سه روش شستشو متفاوت بهترین روش که سبب از بین رفتن بهتر نانو ذرات آلودگی و بالا رفتن میزان آستانه آسیب است انتخاب شود.

۲- آماده‌سازی نمونه‌ها

در مرحله اول نمونه‌ها توسط میکروسکوپ کنتراست تداخلی مورد بررسی قرار گرفت که عاری از هرگونه آسیب و نقص در سطح باشند سپس نمونه ها به سه روش که در ادامه بیان خواهد شد مورد تمیز کاری قرار می‌گیرند. روش اول: این روش مکانیزه بوده و بدون دخالت دست می‌باشد که ابتدا نمونه توسط استون تمیز کاری شده سپس در نگهدارنده مخصوصی گذاشته می‌شود و نگهدارنده در حمام التراسونیک که حاوی محلول آب مقطر و ماده شوینده OPO120 (شوینتده بسیار قوی برای برطرف کردن آلودگی ها و چربی ها از سطوح شیشه‌ای می‌باشد) به نسبت ۵:۱ با دمای ۳۰ درجه سانتیگراد است به مدت ۵ دقیقه قرار گرفته و سپس نمونه‌ها از حمام اب و مواد شوینده خارج شده و در حمام التراسونیک آب مقطر به مدت ۷ دقیقه قرار گرفته تا مواد شوینده از سطح نمونه پاک شوند و سپس نمونه توسط آب دی‌یونیزه شستشو می‌شود و در پایان جهت خشک کردن نمونه را در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد قرار داده می‌شود. روش دوم: این روش به صورت دستی بوده و ابتدا نمونه را با آب و ماده شوینده شستشو داده و سپس در حمام التراسنویک حاوی ایزوپروپیل الکل ۴۰ درجه قرار داده می‌شود و بعد از ۵ دقیقه نمونه خارج شده و در محول سود سوزآور قرار گرفته و به مدت ۱۵ دقیقه التراسونیک می‌شود و سپس در محلول رقیق اسید HCl قرار گرفته و بعد از مدت ۵ دقیقه نمونه خارج شده و با آب دی‌یونیزه آب کشی کرده و در آون با دمای ۷۰ درجه برای خشک سازی قرار می‌گیرد. روش سوم: این روش نیز به صورت دستی و

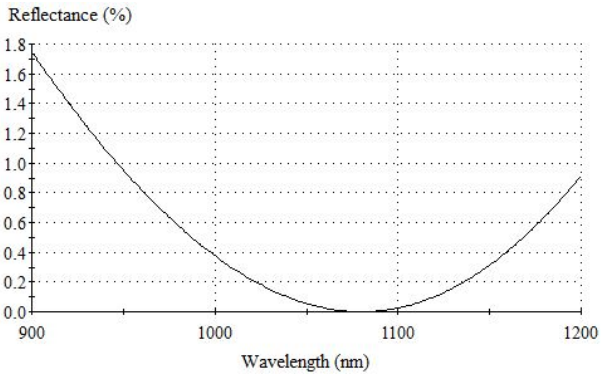
[۱] Laser induced Damage Threshold

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-24]

بود و در ابتدا نمونه با آب و مواد شوینده شستشو داده می-شود و سپس در طرف پیرکس حاوی استون ۷۰ درجه قرار می‌گیرد و ظرف نیز به مدت ۱۵دقیقه در حمام التراسونیک با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز قرار می‌گیرد، بعد از آن نمونه را به سرعت خارج کرده و به مدت ۳ دقیقه در محلول متانول قرار داده می‌شود. سپس نمونه به مدت ۳ دقیقه در محلول رقیق HCL التراسونیک می‌شوند و در پایان برای خشک شدن در آون با دمای ۷۰ درجه قرار داده می‌شود.

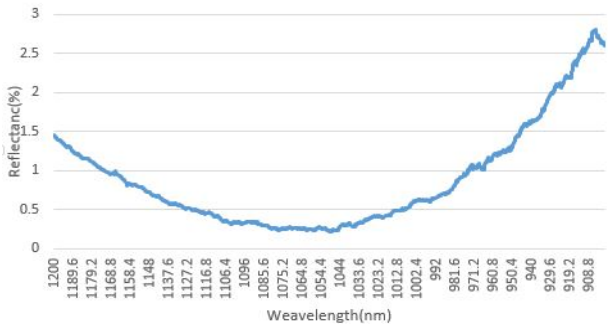
پس از خشک شدن نمونه‌ها بر روی هر دو طرف آن‌ها لایه پادبازتابنده که از قبل توسط نرم افزار Essential Macleod با استفاده از مواد دی‌الکتریک SiO_2 و HfO_2 به صورت G/LHL/Air طراحی شده بود توسط دستگاه BALZERS به روش تبخیر حرارتی توسط پرتو التکرونی لایه‌نشانی می-شود و طیف بازتاب نمونه طراحی شده در شکل ۱ آورده شده است ، قبل از لایه نشانی نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه تحت فرایند تخلیه الکتریکی قرار گرفته و در حین لایه نشانی فشار خلاء جهت لایه نشانی برابر با $8*10^{-6}$mbar بوده، نرخ لایه نشانی مواد برابر 0.5nm/s بوده و فشار اکسیژن برابر $1.5*10^{-4}$mbar بوده است.



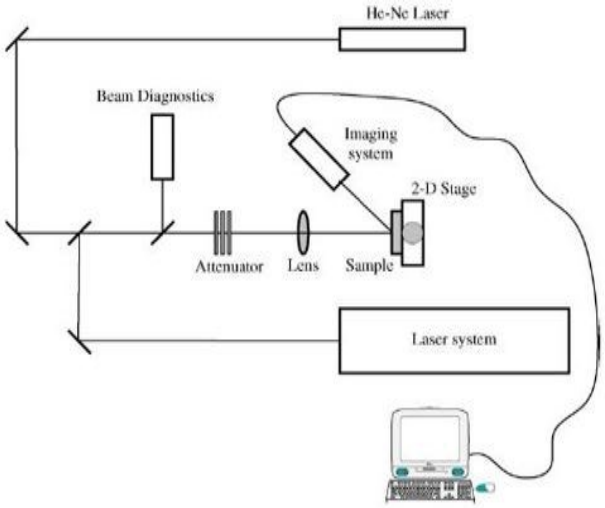
شکل۱: منحنی بازتاب لایه طراحی شده

۳- اندازه‌گیری

طیف بازتابی نمونه‌ها توسط دستگاه طیف سنج Shimadzo3100 اندازه‌گیری شده است که نتیجه آن در شکل۲ آورده شده است. اندازه‌گیری آستانه آسیب لیزری با استفاده از لیزر Nd-Yag با پهنای پالس 7ns متناسب با چیدمان استاندارد ISO21254 اندازه‌گیری شده است که شکل شماتیک چیدمان در شکل۳ آورده شده است. هر نمونه لایه‌نشانی شده به سه ناحیه تقسیم شده و اندازه‌گیری بر روی آن‌ها انجام شده و در نتیجه مقادیر میانگین اندازه-گیری شده آستانه آسیب با احتساب میزان خطای اندازه-گیری قطر لکه و خطای ژول متر در شکل ۴ آورده شده است که C_3 و C_1,C_2 به ترتیب نشان دهنده مقادیر اندازه-گیری شده برای روش تمیزکاری اول، دوم و سوم می‌باشد. مورفولوژی آسیب که توسط میکروسکوپ کنتراست تداخلی ثبت شده در شکل ۵ آورده شده است.



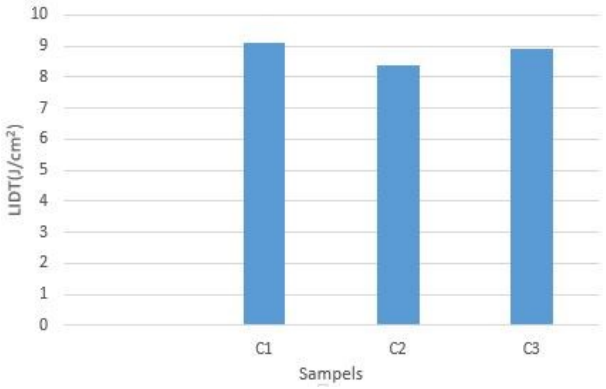
شکل۲: منحنی طیف بازتابی اندازه‌گیری شده نمونه



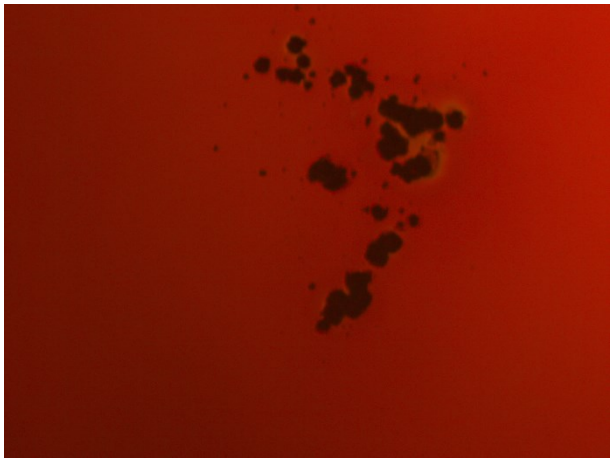
شکل۳: چیدمان اندازه‌گیری آستانه آسیب لیزری [۶]

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-24]



شکل۴: مقادیر اندازه‌گیری آستانه آسیب لیزری نمونه‌ها با روش های تمیزکاری متفاوت



شکل ۵: مورفولوژی آسیب بر روی لایه پادبازتابنده

۴- بحث و نتیجه گیری

از شکل ۲ متوجه می‌شویم که نمونه‌های ساخته شده تا حدود بسیار خوبی پادبازتابنده بوده و درصد بازتاب برای طول موج 1064nm لیزر Nd-Yag برابر با 0.2% می‌باشد.

از شکل ۴ با مقایسه میزان آستانه آسیب نمونه‌ها تشخیص داده‌می‌شود که روش تمیزکاری مکانیزه بهترین روش برای شستشو زیرلایه‌ها می‌باشد زیرا این روش بدون دخالت دست بوده بسیار موثرتر می‌باشد از طرف دیگر با مقایسه نمونه‌های C2 و C3 تشخیص داده می‌شود که استفاده از اسید در شستشو شاید آلودگی های سطحی را تا حد خوبی برطرف نماید اما به خودی خود به دلیل این که اسید دارای خاصیت خورندگی می‌باشد باعث افزایش میزان نقص‌های سطحی و ترک ها بر روی سطح نمونه می‌شود و این امر به خودی خود میزان آستانه آسیب را کاهش داده و اثر مخربی بر روی نمونه باقی می‌گذارد.

همانطور که در شکل۴ مشاهده می‌شود مقدار اندازه‌گیری شده آستانه آسیب برای نمونه C_1 برابر $9.1J/cm^2$ و برای نمونه‌های C_2 و C_3 به ترتیب برابر $8.4J/cm^2$ و $8.9\ J/cm^2$ می‌باشد بنابراین می‌توان دریافت که با استفاده از روش تمیز کاری اول برای تمیز کاری بستره قبل از لایه‌نشانی از نمونه C_1 می‌توان در انرژی پرتو 700mJ بالاتر از نمونه C_2 و 200mJ بالاتر از نمونه C_3 در قطر پرتوهای یکسان استفاده نمود. همچنین به دلیل مکانیزه بودن روش اول این روش کم هزینه‌تر بوده و نسبت به دو روش دیگر راحت‌تر قابل انجام است.

مرجع‌ها

[1] Hongji Qi, Meipin Zhu, Ming Fang, Shuying Shao "Development of high-power laser coatings" High Power Laser Science and Engineering, vol. 1(1),pp. 36–43, 2013
[2] Dongping Zhang, Congjuan Wang "Influence of substoichiometer on the laser-induced damage characte of HfO2 thin film, Applied Surface Science" vol 255, pp. 4646–4649, 2009
[3] Detlev Ristau, Marco Jupé, Kai Starke "Laser damage thresholds of optical coatings" Thin Solid Films, vol 518 (2009), pp. 1607–1613
[4] Detlev Ristau, *Laser-Induced Damage in Optical Materials,* P.5, CRC Press 2015
[5] Hélène Krol "Influence of polishing and cleaning on the laser-induced damage threshold of substrates and coatings at 1064 nm" Optical Engineering, vol 46, pp.2, 2007
[6] ISO 21254-1:2011 "*Lasers and laser-related equipment —Test methods for laser-induced damage threshold*"

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-24]