



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



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

علی حیدری فرد، مهدی مردیها، حمیدرضا فلاح و مرتضی حاجی محمودزاده

دانشگاه اصفهان، گروه فیزیک

چکیده - لایه‌های نازک اپتیکی پادبازتابنده دارای کاربرد های فراوانی در صنعت فوتونیک می‌باشند، این لایه‌ها در پنجره‌های اپتیکی و همچنین لنزها 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.

کلیدواژه - 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

۱- مقدمه

همواره نور به هنگام ورود به یک محیط اپتیکی دارای سه رفتار جذب، عبور و بازتاب است. در محیط های دی الکتریک اغلب میزان جذب پایین است و بازتاب عامل اصلی تلفات نور است از این رو طراحی و ساخته لایه های نازک پادبازتابنده از مواد دی الکتریک اهمیت بالایی داشته است [۱]. در ساخت لایه های نازک پادبازتابنده لیزری یکی از اصلی ترین پارامترها اندازه گیری 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 المان های اپتیکی پارامتر بسیار کلیدی در اپتیک توان بالا است [۳]. در نتیجه برهمکنش فوتون با مواد دی الکتریک انرژی الکترومغناطیسی می تواند تبدیل به انرژی الکتریکی، مکانیکی، شیمیایی 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 پژوهش ها بر روی لیزرهای توان بالا شروع شد همواره آسیب القایی لیزری مواد اپتیکی یکی از محدودیت های سازندگان لیزر بوده و پژوهش های 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 المان های اپتیکی می شود نقص های سطحی و آلودگی هایی از قبیل نانو ذرات فلزی و دیگر مواد آلی موجود در سطح زیرلایه است [۱]. در اکثر موارد این نقص ها 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 آلودگی ها 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.

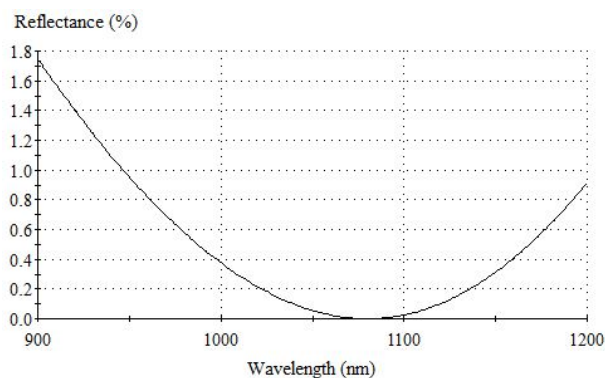
۲- آماده سازی نمونه ها

در مرحله اول نمونه ها 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 می گیرند. روش اول: این روش مکانیزه بوده و بدون دخالت دست می باشد که ابتدا نمونه توسط استون تمیز کاری شده سپس در نگهدارنده مخصوصی گذاشته می شود و نگهدارنده در حمام التراسونیک که حاوی محلول آب مقطر و ماده شوینده OPO120 (شوینده بسیار قوی برای برطرف کردن آلودگی ها و چربی ها از سطوح شیشه ای می باشد) به نسبت ۵:۱ با دمای ۳۰ درجه سانتیگراد است به مدت ۵ دقیقه قرار گرفته و سپس نمونه ها از حمام آب 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 دی یونیزه شستشو می شود و در پایان جهت خشک کردن نمونه را در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد قرار داده می شود. روش دوم: این روش به صورت دستی بوده و ابتدا نمونه را با آب و ماده شوینده شستشو داده و سپس در حمام التراسونیک حاوی ایزوپروپیل الکل ۴۰ درجه قرار داده می شود و بعد از ۵ دقیقه نمونه خارج شده و در محلول سود سوزآور قرار گرفته و به مدت ۱۵ دقیقه التراسونیک می شود و سپس در محلول رقیق اسید HCl قرار گرفته و بعد از مدت ۵ دقیقه نمونه خارج شده و با آب دی یونیزه آب کشی کرده و در آون با دمای ۷۰ درجه برای خشک سازی قرار می گیرد. روش سوم: این روش نیز به صورت دستی و

^۱Laser induced Damage Threshold

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

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

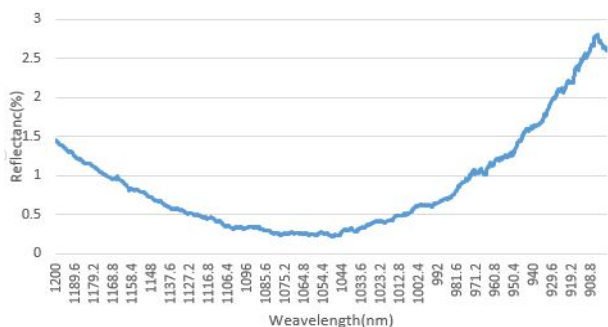


شکل ۱: منحنی بازتاب لایه طراحی شده

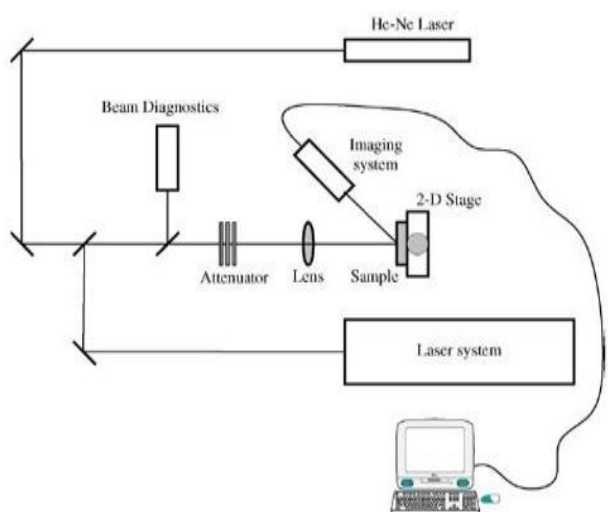
۳- اندازه گیری

طیف بازتابی نمونه ها توسط دستگاه طیف سنج Shimadzo3100 اندازه گیری شده است که نتیجه آن در شکل ۲ آورده شده است. اندازه گیری آستانه آسیب لیزری با

استفاده از لیزر Nd-Yag با پهنای پالس 7ns متناسب با چیدمان استاندارد ISO21254 اندازه گیری شده است که شکل شماتیک چیدمان در شکل ۳ آورده شده است. هر نمونه لایه نشانی شده به سه ناحیه تقسیم شده و اندازه گیری بر روی آن ها 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_1 , C_2 و C_3 به ترتیب نشان دهنده مقادیر اندازه-گیری شده برای روش تمیزکاری اول، دوم و سوم می باشد. مورفولوژی آسیب که توسط میکروسکوپ کنتراست تداخلی ثبت شده در شکل ۵ آورده شده است.



شکل ۲: منحنی طیف بازتابی اندازه گیری شده نمونه



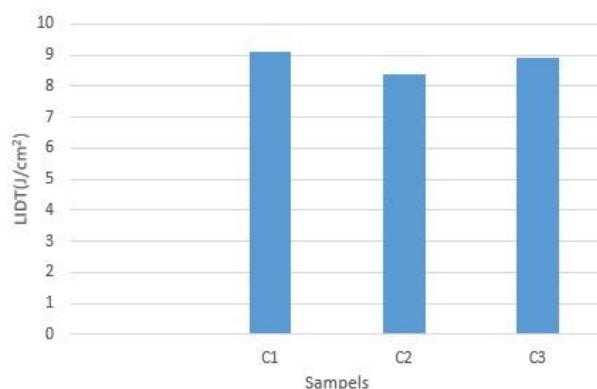
شکل ۳: چیدمان اندازه گیری آستانه آسیب لیزری [۶]

خودی خود میزان آستانه آسیب را کاهش داده و اثر مخربی
بر روی نمونه باقی می‌گذارد.

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود مقدار اندازه‌گیری
شده آستانه آسیب برای نمونه C_1 برابر 9.1 J/cm^2 و برای
نمونه‌های C_2 و C_3 به ترتیب برابر 8.4 J/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 700 mJ بالاتر از نمونه C_2 و
 200 mJ 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 HfO_2 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"



شکل ۴: مقادیر اندازه‌گیری آستانه آسیب لیزری نمونه‌ها با روش‌های
تمیز کاری متفاوت



شکل ۵: مورفولوژی آسیب بر روی لایه پادبازتابنده

۴- بحث و نتیجه‌گیری

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

از شکل ۴ با مقایسه میزان آستانه آسیب نمونه‌ها تشخیص
داده می‌شود که روش تمیز کاری مکانیزه بهترین روش برای
شستشو زیرلایه‌ها می‌باشد زیرا این روش بدون دخالت
دست بوده بسیار موثرتر می‌باشد از طرف دیگر با مقایسه
نمونه‌های C_2 و C_3 تشخیص داده می‌شود که استفاده از
اسید در شستشو شاید آلودگی‌های سطحی را تا حد خوبی
برطرف نماید اما به خودی خود به دلیل این که اسید دارای
خاصیت خوردگی می‌باشد باعث افزایش میزان نقص‌های
سطحی و ترک‌ها بر روی سطح نمونه می‌شود و این امر به