

بررسی تغییرات خواص اپتیکی فیلم نازک PMMA در برهم کنش با لیزر پالسی CO₂

سحر سهرابی^۱، میترا وصال^۱، محمود ملاباشی^۱، هدیه پاکیان^۲، محسن منتظرالقائم^۲

^۱دانشکده فیزیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

^۲پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده فوتونیک و فناوری های کوانتومی

چکیده - در این مقاله اثر تابش لیزر پالسی CO₂ روی خواص اپتیکی پلیمر پلی متیل متاآکریلات (PMMA) بررسی شده است. پلیمر PMMA به صورت فیلم نازک لایه نشانی شده روی شیشه مورد آزمایش قرار گرفته است. نمونه های فیلم نازک با ضخامت ۱۰۰ میکرون باریختن محلول PMMA (۵۰ گرم PMMA در ۱ cc تولوئن) روی شیشه تهیه شده است. نمونه ها با لیزر پالسی CO₂ با پهنای پالس ۱۰۰ نانوثانیه در شاریدگی ها و تعداد پالس های مختلف تابش دهی شده و خواص اپتیکی آن مورد بررسی قرار گرفت. برای به دست آوردن ضریب شکست و سایر خصوصیات اپتیکی از طیف سنجی UV-Visible و برای بررسی مورفولوژی سطح از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شده است.

کلید واژه - پلیمر PMMA، خواص اپتیکی، طیف سنجی UV-Visible، لیزر پالسی CO₂

Investigation of the pulsed CO₂ laser irradiation on optical properties of PMMA

Sahar Sohrabi¹, Mitra Vesal¹, Mahmoud Mollabashi¹, Hedieh Pazokian², Mohsen Montazeralghaem²

¹Physics Department, Iran university of science and technology, Tehran, Iran

²Photonics and Quantum technologies research school, Nuclear science and technology research Institue, Tehran, Iran

Abstract- In this paper effect of the pulsed CO₂ laser irradiation on the optical properties of PMMA films was investigated. PMMA thin films with thickness of about 100 micron was prepared by casting PMMA solution (50 gr PMMA in 1cc toluene) on microscope glass. The samples were irradiated by a pulsed CO₂ laser with 100 ns pulse duration. Effect of the irradiation parameters including the laser fluence and the number of pulses on the optical properties of the films was examined. Scanning electron microscopy and UV-Vis spectroscopy were used for the investigation of the morphology and optical changes after irradiation.

Keywords: Refractive index, PMMA, optical properties, UV-Visible spectroscopy, pulsed CO₂ laser

۱- مقدمه

۱-۲- روش محاسبه‌ی خصوصیات اپتیکی

نمونه‌های تابش دیده

برای محاسبه‌ی خواص اپتیکی پلیمر PMMA ابتدا طیف عبوری (T) نمونه‌ی تابش دیده گرفته می‌شود. سپس میزان انعکاس (R) و جذب (A) با استفاده از معادلات (۱) و (۲) به دست می‌آید.

$$A = -\log T \quad (1)$$

$$R = 1 - T - A \quad (2)$$

با داشتن R و ضخامت نمونه (t)، ضریب جذب (α)، ضریب خاموشی (k) و ضریب شکست (n) محاسبه خواهند شد. برای محاسبه‌ی ضریب جذب از قانون بیر-لامبرت (رابطه‌ی (۳) و برای محاسبه‌ی ضریب خاموشی از رابطه‌ی (۴) استفاده می‌شود [۱].

$$\alpha = 2.303 \frac{A}{t} \quad (3)$$

$$k = \frac{\lambda \alpha}{4\pi} \quad (4)$$

و در نهایت با استفاده از نتایج فوق ضریب شکست از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است [۲].

$$n = \frac{1+R}{1-R} + \sqrt{\frac{4R}{(1-R)^2} - k^2} \quad (5)$$

با داشتن ضریب شکست و ضریب خاموشی نمونه‌ها، محاسبه‌ی ضرایب دی‌الکتریک با استفاده از روابط (۶) و (۷) ممکن خواهد بود [۳]:

$$\varepsilon_1 = n^2 - k^2 \quad (6)$$

$$\varepsilon_2 = 2nk \quad (7)$$

امروزه علم به سمت کوچک‌تر کردن ابزارهای اندازه‌گیری و آزمایش پیش می‌رود. استفاده از تراشه‌های میکروشاره جایگزین مناسبی برای روش‌های سنتی آزمایش است و در آن سرعت، دقت و بازده آزمایش بالا می‌رود. تراشه‌های میکروشاره، شامل میکروکانال‌هایی هستند که به هم متصل شده‌اند. میکروکانال‌ها، کانال‌هایی در ابعاد میکرونی هستند که با روش‌های مختلف مانند میکروماشین‌کاری لیزری در ماده ایجاد می‌شوند. از طرفی ویژگی‌های اپتیکی ماده مورد پردازش برای ساخت تراشه میکروشاره اهمیت زیادی در تعیین روش مورد استفاده برای ساخت و کیفیت کانال‌های ایجاد شده دارد.

پلیمرها از جمله موادی هستند که به دلیل ارزان بودن و ویژگی‌های خوب و مناسب اپتیکی و شیمیایی امروزه برای ساخت تراشه‌های میکروشاره بسیار مورد توجه هستند.

در این مقاله به بررسی تغییرات اپتیکی پلیمر PMMA در برهم‌کنش با لیزر پالسی CO₂ پرداخته شده است. برای این کار از طیف‌سنجی UV-Visible برای بررسی و محاسبه تغییرات اپتیکی بعد از تابش استفاده شده است.

۲- روش انجام آزمایش

فیلم نازک PMMA با ضخامت حدود ۱۰۰ میکرون تهیه شد. برای تهیه‌ی فیلم ۵۰۰ گرم پودر PMMA در ۱cc تولوئن حل شده و محلول حاصل در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس به مدت چهار ساعت تکان داده شد. سپس محلول ژله‌ای ایجاد شده روی شیشه‌ای که از قبل با HF اسیدی شده است، ریخته شده و در دمای اتاق به مدت یک ساعت قرار گرفت.

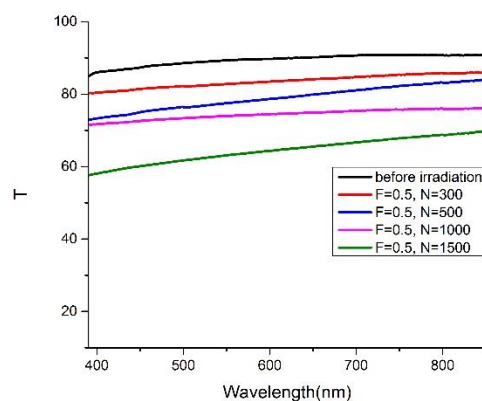
فیلم‌های به دست آمده در شایستگی‌ها و تعداد پالس‌های مختلف با لیزر پالسی CO₂ با پهنای پالس ۱۰۰ نانوثانیه و طول موج ۹/۵۵ میکرون، خط ۲۰(P)۹، تابش‌دهی شدند.

۲-۲- بررسی تغییرات اپتیکی حاصل شده از

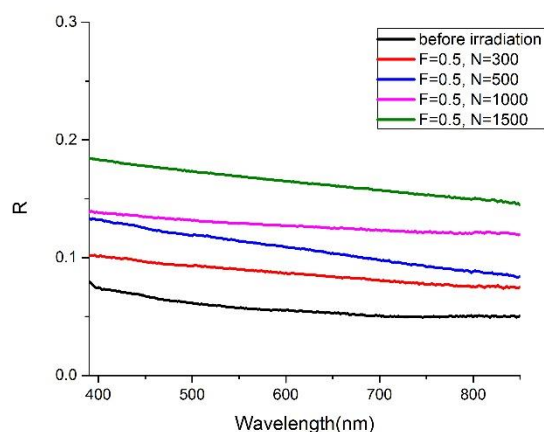
نمونه‌های تابش داده شده

نمونه های PMMA لایه نشانی شده روی شیشه در شاریدگی 0.5 J/cm^2 که زیر آستانه‌ی کندگی پلیمر است، در تعداد پالس های مختلف تابش دهی شدند. شکل های (۱) و (۲) به ترتیب طیف های عبوری و انعکاسی به دست آمده از نمونه قبل و بعد از تابش و شکل (۳) تصاویر میکروسکوپ الکترونی از نمونه های تابش دیده در تعداد ۵۰۰ و ۱۰۰۰ پالس را نشان می دهند.

شکل ۱: طیف های عبوری لایه نازک PMMA لایه نشانی شده روی



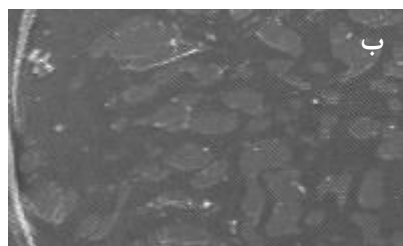
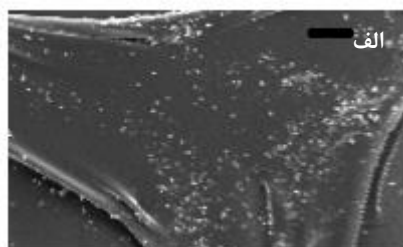
شیشه قبل از تابش و بعد از تابش با شاریدگی 0.5 J/cm^2 و تعداد پالس



های مختلف

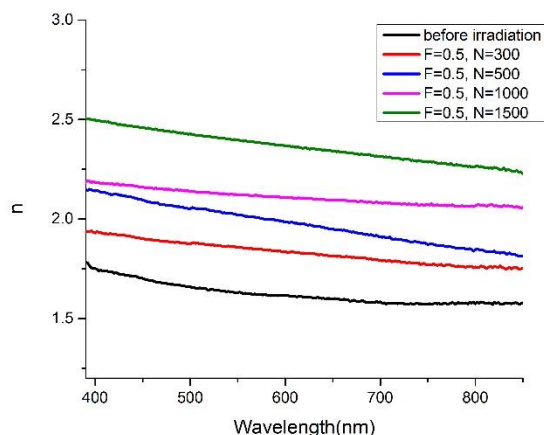
شکل ۲: طیف های انعکاسی لایه نازک PMMA لایه نشانی شده روی شیشه قبل از تابش و بعد از تابش با شاریدگی 0.5 J/cm^2 و تعداد پالس های مختلف

طیف های به دست آمده قبل و بعد از تابش رفتار یکسانی را با توجه به تغییر طول موج از خود نشان می دهند. از طرف دیگر همان طور که از شکل ها مشخص است میزان عبور با افزایش تعداد پالس کاهش می یابد در حالیکه میزان انعکاس با افزایش تعداد پالس های تابشی افزایش می یابد. به دلیل بلند بودن طول موج لیزر CO_2 فوتون های این لیزر قادر به شکستن مستقیم پیوندهای پلیمری نبوده و بنابراین تابش در این طول موج باعث گرم شدن و ذوب شدگی روی سطح می شود. از طرف دیگر شاریدگی آستانه کندگی پلیمر در این طول موج $1/5 \text{ J/cm}^2$ است. و در نتیجه شاریدگی مورد استفاده برای تابش قادر به ایجاد کندگی نبوده و در تعداد پالس های بالا منجر به ایجاد تغییرات مورفولوژی بدون کندگی روی سطح می شود. این ساختارها و همچنین تغییرات احتمالی چگالی روی سطح باعث ایجاد تغییراتی در خواص اپتیکی مثل درصد عبور و انعکاس می شوند. تغییر شکل فیلم پلیمری (کشیدگی و جمع شدن آن تحت گرما) نیز روی طیف های حاصل تاثیر گذار است.



شکل ۳: تصویر میکروسکوپ الکترونی از نمونه های تابش دیده در تعداد ۵۰۰ پالس (الف) و ۱۰۰۰ پالس (مقیاس مشخص شده روی شکل ۲۰۰ میکرون است)

نمودار طیف ضریب جذب نمونه قبل و بعد از تابش در شکل (۴) نشان داده شده است. همان طور که در شکل مشخص است، ضریب جذب با افزایش تعداد پالس های تابشی افزایش و با افزایش طول موج کاهش می یابد. شیب کاهش



شکل ۵: نمودارهای ضریب شکست لایه نازک PMMA لایه نشانی شده روی شیشه قبل از تابش و بعد از تابش با شاریدگی 0.5 J/cm^2 و تعداد پالس های مختلف

۳- نتیجه گیری

در این مقاله اثر تابش لیزر پالسی CO_2 روی PMMA در شاریدگی 0.5 J/cm^2 که زیر آستانه ی کندگی است، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج با افزایش تعداد پالس، حاکی از افزایش ضرایب انعکاس، شکست، جذب و کاهش میزان عبور است.

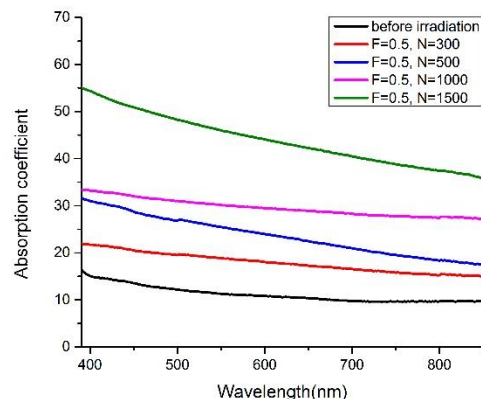
سپاسگزاری

بر خود لازم می دانیم از آقایان کاوه سیلاخوری، داوود اسماعیل پور، حمید احمدی و داوود احدپور که در به ثمر رسیدن این تحقیق زحمات زیادی متحمل شدند، تشکر کنیم.

مراجع

- [1] Fox, M., 2002. Optical properties of solids.
- [2] Zahedi, S. and Dorrnanian, D., 2013. Effect of laser treatment on the optical properties of poly (methyl methacrylate) thin films. *Optical review*, 20(1), pp.36-40.
- [3] Al-kadhemy, M.F.H., Saeed, A.A., Kadhum, F.J., Mazloun, S.A. and Aied, H.K., 2014. The effect of (He-Ne) laser irradiation on the optical properties of methyl orange doped PVA films. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 7(3), pp.371-375
- [4] Najeeb, H.N., Dahash, G.A., Haddawi, S.F. and Jassim, K.M., 2014. Study of Changes in Optical Properties of PMMA Film before and after Irradiation by Laser. *Chemical and Materials Engineering*, 2(6), pp.145-150.
- [5] Baum, A., Scully, P.J., Perrie, W., Liu, D. and Lucarini, V., 2010. Mechanisms of femtosecond laser-induced refractive index modification of poly (methyl methacrylate). *JOSA B*, 27(1), pp.107-111.

ضریب جذب با طول موج در مورد نمونه تابش دیده با تعداد ۱۵۰۰ پالس نسبت به نمونه های دیگر بیشتر است.



شکل ۴: نمودارهای ضریب جذب لایه نازک PMMA لایه نشانی شده روی شیشه قبل از تابش و بعد از تابش با شاریدگی 0.5 J/cm^2 و تعداد پالس های مختلف

فرآیند جذب بدین معناست که فوتون ورودی با انرژی معین، در برخورد به سطح، باعث برانگیخته شدن الکترون از تراز پایین تر به تراز برانگیخته شود [۳]. به این دلیل که در انرژی های پایین فوتون، انرژی لازم برای برانگیخته کردن الکترون وجود ندارد، در انرژی های پایین تر جذب کمتر است. در مناطقی که انرژی فوتون بالاتر باشد، می تواند انرژی لازم برای انتقال الکترون از باند ظرفیت به رسانش را تامین کند و باعث انتقال الکترونی شود. یعنی در این مناطق، انرژی فوتون ورودی از گاف انرژی ممنوعه، بیشتر است [۴].

شکل (۵) تغییرات ضریب شکست را نشان می دهد. ضریب شکست نمونه های تابش دیده نسبت به نمونه ی تابش ندیده، بیشتر است. زیرا برهم کنش لیزر با سطح پلیمر، باعث گرم شدن ناگهانی سطح و گاهی ذوب می شود. سرد شدن دوباره ی پلیمر بعد از این گرم شدن ناگهانی، سبب تغییر چگالی پلیمر و نهایتاً سبب تغییر ضریب شکست آن می شود [۵].