بررسی تغییرات خواص اپتیکی فیلم نازک PMMA در برهم‌کنش با لیزر پالسی CO_2

سحر سهرابی[۱]، میترا وصال[۱]، محمود ملاباشی[۱] ، هدیه پازکیان[۲]، محسن منتظرالقائم[۲]

[۱]دانشکده فیزیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

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

چکیده – در این مقاله اثر تابش لیزر پالسی CO_2 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*cc* ۱ تولوئن)روی شیشه تهیه شده است. نمونه ها با لیزر پالسی CO_2 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 CO_2

Investigation of the pulsed CO_2 laser irradiation on optical properties of PMMA

Sahar Sohrabi[1], Mitra Vesal[1], Mahmoud Mollabashi[1], Hedieh Pazokian[2], Mohsen Montazeralghaem[2]

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

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

Abstract- In this paper effect of the pulsed CO_2 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 PMMM in 1cc toluene) on microscope glass. The samples were irradiated by a pulsed CO_2 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 CO_2 laser

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-06]

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

۱- مقدمه

امروزه علم به سمت کوچک‌تر کردن ابزارهای اندازه گیری 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 میکروکانال هایی هستند که به هم متصل شده‌اند. میکروکانال ها، کانال هایی در ابعاد میکرونی هستند که با روش های مختلف مانند میکروماشین‌کاری لیزری در ماده ایجاد می‌شوند. از طرفی ویژگی های اپتیکی ماده مورد پردازش برای ساخت تراشه میکروشاره اهمیت زیادی در تعیین روش مورد استفاده برای ساخت و کیفیت کانال های ایجاد شده دارد.

پلیمرها از جمله موادی هستند که به دلیل ارزان بودن و ویژگی های 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 CO_2 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 تهیه ی 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 ژله ای ایجاد شده روی شیشه ای که از قبل با HF اسیدی شده است، ریخته شده و در دمای اتاق به مدت یک ساعت قرار گرفت.

فیلم های به دست آمده در شاریدگی ها و تعداد پالس های مختلف با لیزر پالسی CO_2 با پهنای پالس ۱۰۰ نانوثانیه و طول موج۹/۵۵ میکرون، خط ۲۰(P)۹ ، تابش‌دهی شدند.

۲-۱- روش محاسبه‌ی خصوصیات اپتیکی نمونه‌های تابش‌دیده

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

$$A = -\log T \qquad (۱)$$

$$R = 1 - T - A \qquad (۲)$$

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

$$\alpha = 2.303\frac{A}{t} \qquad (۳)$$

$$k = \frac{\lambda\alpha}{4\pi} \qquad (۴)$$

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

$$n = \frac{1+R}{1-R} + \sqrt{\frac{4R}{(1-R)^2} - k^2} \qquad (۵)$$

با داشتن ضریب شکست و ضریب خاموشی نمونه ها، محاسبه ی ضرایب دی الکتریک با استفاده از روابط (۶) و (۷) ممکن خواهد بود[۳]:

$$\varepsilon_1 = n^2 - k^2 \qquad (۶)$$

$$\varepsilon_2 = 2nk \qquad (۷)$$

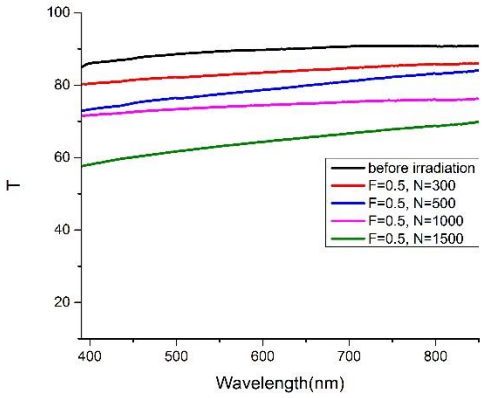
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-06]

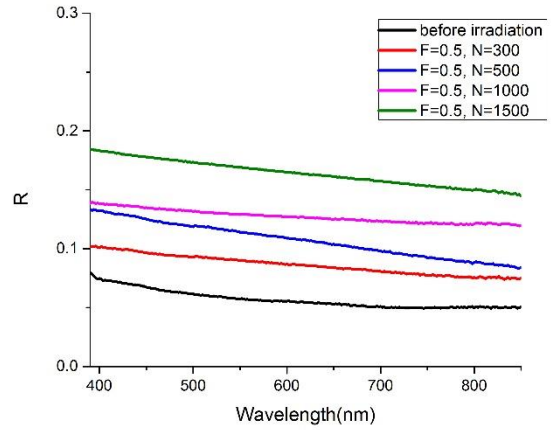
۲-۲- بررسی تغییرات اپتیکی حاصل شده از نمونه‌های تابش‌داده شده

نمونه های PMMA لایه نشانی شده روی شیشه در شاریدگی J/cm^2 ۰/۵ که زیر آستانه‌ی کندگی پلیمر است، در تعداد پالس های مختلف تابش‌دهی شدند. شکل‌های (۱) و (۲) به ترتیب طیف‌های 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 می‌دهند.

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



شیشه قبل از تابش و بعد از تابش با شاریدگی J/cm^2 ۰/۵ و تعداد پالس

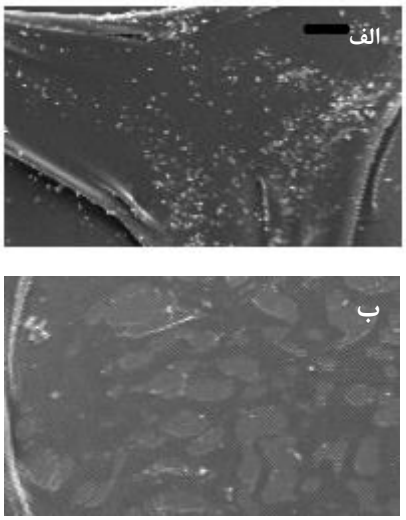


های مختلف

شکل ۲: طیف های انعکاسی لایه نازک PMMA لایه نشانی شده روی شیشه قبل از تابش و بعد از تابش با شاریدگی J/cm^2 ۰/۵ 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 پالس‌های تابشی افزایش می‌یابد.

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 می‌شود. از طرف دیگر شاریدگی آستانه کندگی پلیمر در این طول موج J/cm^2 ۱/۵ 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 می‌شوند. تغییر شکل فیلم پلیمری (کشیدگی و جمع شدن آن تحت گرما) نیز روی طیف های حاصل تاثیرگذار است.



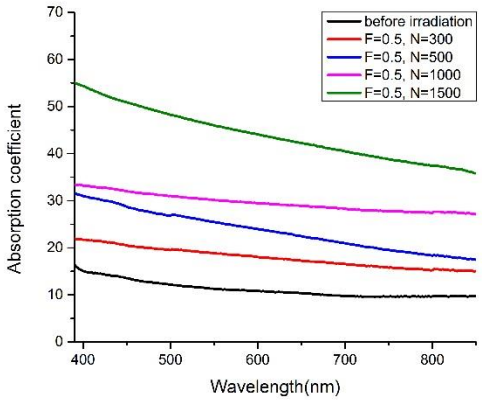
شکل۳: تصویر میکروسکوپ الکترونی از نمونه های تابش دیده در تعداد ۵۰۰ پالس الف) و ب) ۱۰۰۰ پالس (مقیاس مشخص شده روی شکل ۲۰۰ میکرون است)

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 پالس‌های تابشی افزایش و با افزایش طول‌موج کاهش می‌یابد. شیب کاهش

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-06]

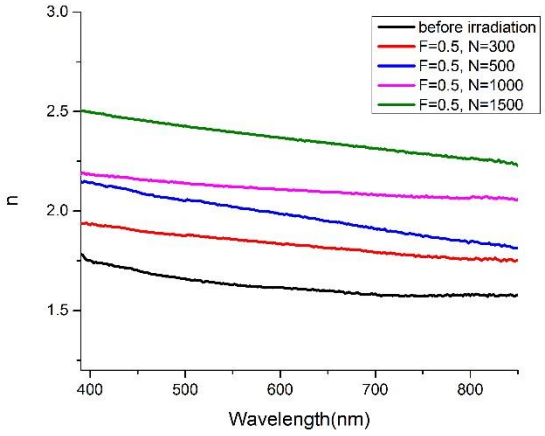
ضریب جذب با طول‌موج در مورد نمونه تابش‌دیده با تعداد ۱۵۰۰ پالس نسبت به نمونه‌های دیگر بیشتر است.



شکل ۴: نمودارهای ضریب جذب لایه نازک PMMA لایه نشانی شده روی شیشه قبل از تابش و بعد از تابش با شاریدگی ۰/۵ J/cm^2 و تعداد پالس های مختلف

فرآیند جذب بدین معناست که فوتون ورودی با انرژی معین، در برخورد به سطح، باعث برانگیخته‌شدن الکترون از تراز پایین‌تر به تراز برانگیخته شود[۳]. به این دلیل که در انرژی‌های پایین فوتون، انرژی لازم برای برانگیخته کردن الکترون وجود ندارد، در انرژی‌های 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 نمونه‌های تابش دیده نسبت به نمونه ی تابش ندیده، بیشتر است. زیرا برهم‌کنش لیزر با سطح پلیمر، باعث گرم شدن ناگهانی سطح و گاهی ذوب می‌شود. سرد شدن دوباره‌ی پلیمر بعد از این گرم شدن ناگهانی، سبب تغییر چگالی پلیمر و نهایتا سبب تغییر ضریب شکست آن می‌شود[۵].



شکل ۵: نمودارهای ضریب شکست لایه نازک PMMA لایه نشانی شده روی شیشه قبل از تابش و بعد از تابش با شاریدگی ۰/۵ J/cm^2 و تعداد پالس های مختلف

۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله اثر تابش لیزر پالسی CO_2 روی PMMA در شاریدگی ۰/۵ J/cm^2 که زیر آستانه‌ی 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 می‌دانیم 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 Dorranian, 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., Mazloum, 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-
[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.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-06]