بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

لایه‌نشانی لیزر تپی لایه‌های نازک روی و بررسی خواص محدودسازی نوری آن‌ها

فرشته حاج اسماعیل بیگی، محمدرضا رشیدیان وزیری، یاسمن گلیان و اسماءالسادات معتمدی

پژوهشکده لیزر و اپتیک، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، تهران

چکیده- در این مقاله، ساخت لایه‌های نازک روی با استفاده از روش لایه‌نشانی لیزر تپی شرح داده شده است. جهت مشخصه‌یابی لایه‌ها، طیف جذب نوری در ناحیه مرئی-فرابنفش و نیز تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی مورد استفاده قرار گرفته است. هم‌چنین روش اندازه‌گیری حد نوری لایه‌ها و نتایج حاصل از آن برای اندازه‌های متفاوت روزنه ارائه شده است. باتوجه به نتایج به‌دست آمده، با افزایش قطر روزنه، توان بحرانی مورد نیاز برای مشاهده اثرات غیرخطی در لایه‌های نازک به‌دلیل حذف اثر شکست غیرخطی، افزایش می‌یابد. افزایش توان بحرانی ناشی از جذب غیرخطی است که رفتار محدودسازی لایه‌ها را تعیین می‌کند.

کلید واژه- توان بحرانی، لایه‌نشانی لیزر تپی، لایه‌های نازک، محدودسازی نوری.

Pulsed Laser Deposition of Zinc Thin Films and Investigation of Their Optical Limiting Properties

Fereshteh Hajiesmaeilbaigi, Mohammad Reza Rashidian Vaziri, Yasaman Golian and Asma Motamedi

Laser and Optics Research School, NSTRI, Tehran

Abstract- In this work, preparation of zinc thin films using pulsed laser deposition technique has been described. Optical absorption spectra of the films have been obtained by Spectrophotometry. The method of measuring the optical limiting of samples and its results in different aperture size are also represented. According to the obtained results, by increasing the aperture size the critical power for observation of nonlinear effects in thin films increases. This is due to elimination of nonlinear refraction effects. In this case, increment of critical power is due to nonlinear absorption which determines the behavior of optical limiting of the films.

Keywords: Critical power, Optical limiting, Pulse Laser Deposition, Thin films.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

۱- مقدمه

با اختراع لیزر، تغییرات اساسی در بسیاری از زمینه‌های علم و فن‌آوری ایجاد شده است. با گسترش منابع لیزری پرتوان در بازه وسیعی از طول‌موج‌ها و پهنای زمانی تپ، نیاز به حفاظت از سنسورها و چشم به‌طور چشمگیری در چند سال گذشته افزایش پیدا کرده است، به‌همین دلیل محدودکننده‌های نوری توجه زیادی را به خود جلب کرده و رشد گسترده‌ای داشته‌اند. محدودکننده‌های نوری به‌گونه‌ای ساخته شده‌اند که برای انرژی‌های ورودی پائین، عبور بالایی دارند در حالی‌که مانع عبور باریکه‌های لیزر پرشدت می‌شوند [۱]. آستانه تخریب بالا و آستانه محدودسازی پائین از ویژگی‌های یک محدودکننده مناسب است. حدنوری می‌تواند توسط فرآیندهای نوری غیرخطی مختلفی هم‌چون خودهم‌گرایی، خودواگرایی، پراکندگی القایی، شکست القایی، جذب حالت برانگیخته، جذب دوفوتونی و جذب حامل بار در محیط نوری غیرخطی به‌وجود آید [۲].

امروزه خصوصیات نوری خطی و غیرخطی نیم‌رساناها بسیار موردتوجه واقع شده است. نانوذرات نیم‌رسانا دارای ویژگی‌های منحصربه‌فردی هستند که در نمونه توده‌ای نشان داده نمی‌شوند. در این میان، موادی با گاف نواری پهن، به‌ویژه نانوذرات روی (Zn) دارای خصوصیات منحصربه‌فردی هستند که در ابزارهای الکترونیک نوری، وسایل توان بالا با گاف نواری پهن، حافظه‌های فروالکتریک و ... مورد استفاده قرار می‌گیرند. Zn ماده نیم‌رسانایی با گاف نواری ۳/۳ الکترون‌ولت است که دارای بهره و انرژی بستگی اکسایتونی بالایی است [۳]. در این تحقیق، ابتدا روش لایه‌نشانی لیزر تپی جهت تهیه لایه‌های نازک روی شرح داده شده است. سپس خواص نوری و سطحی لایه‌ها مشخصه‌یابی شده است. در ادامه روش اندازه‌گیری حدنوری نمونه‌ها و نمودارهای حاصل از آن نیز ارائه گردیده‌اند.

۲- روش تهیه نمونه‌ها

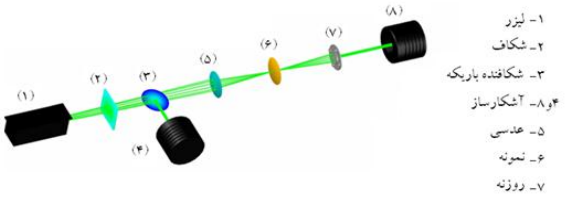
ابتدا نمونه‌های مورد استفاده جهت اندازه‌گیری حدنوری به‌روش لایه‌نشانی لیزر تپی آماده شده‌اند. جهت کندوسوز شمش روی در داخل محفظه خلاء از هماهنگ دوم لیزر نئودیمیوم-یاگ با طول‌موج ۵۳۲ نانومتر، پهنای تپ ۲۰ نانوثانیه و نرخ تکرار ۱۰ هرتز، استفاده گردیده است. چگالی انرژی لیزر بر سطح نمونه‌های روی برابر ۱/۵۵ ژول بر سانتی‌متر مربع بوده و لایه‌نشانی در فشار ۲۰۰ میکروتور انجام گرفته است. زاویه برخورد باریکه لیزر برروی نمونه روی، ۴۵ درجه نسبت به عمود بر سطح و فاصله هدف تا زیرلایه برابر ۳ سانتی‌متر، به‌عنوان فاصله مناسب و بهینه [۴] انتخاب شده است. جهت جلوگیری از ایجاد حفره برروی سطح هدف و نیز افزایش یک‌نواختی لایه‌های نازک، نگه‌دارنده‌های هدف و زیرلایه به‌ترتیب با سرعت‌های ۴۵ و ۶۰ دور در دقیقه دوران می‌کنند. زمان لایه‌نشانی، چگالی انرژی لیزر، زاویه برخورد به زیرلایه، سرعت چرخش زیرلایه و هدف، دمای زیرلایه، میزان خلاء و فاصله بین هدف و زیرلایه تعدادی از عوامل متعددی هستند که در آزمایش‌های لایه‌نشانی لیزر تپی نقش دارند. در تحقیق حاضر، فقط مدت زمان لایه‌نشانی که بیش‌ترین تأثیر را در نحوه شکل‌گیری لایه‌های نازک فلزی و تفکیک یا به‌هم پیوستگی نانوذرات رسیده به سطح دارد [۵ و۶] مورد بررسی قرار گرفته است. لایه‌نشانی در زمان‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه انجام شده است. جهت مشخصه‌یابی لایه‌ها طیف جذب نوری در ناحیه مرئی- فرابنفش مورد بررسی قرار گرفته است. هم‌چنین جهت بررسی ساختار سطح لایه‌ها از تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) استفاده شده است.

۳- روش اندازه‌گیری حدنوری

چیدمان آزمایشگاهی مورد استفاده جهت اندازه‌گیری حدنوری در شکل ۱ نشان داده شده است. برای این منظور، توان باریکه لیزر با استفاده از شکاف تغییر داده می‌شود. در این آزمایش، باریکه لیزر پس از عبور از شکافنده باریکه به دو قسمت تقسیم می‌شود. قسمتی از باریکه به آشکارساز رسیده و توان ورودی باریکه لیزر اندازه‌گیری شده و باریکه دیگر پس از عبور از عدسی، به لایه‌ای که در نزدیکی کانون قرار گرفته و در این آزمایش ثابت است، می‌رسد. باریکه عبوری از نمونه، پس از عبور از روزنه به آشکارساز دیگر رسیده و توان خروجی باریکه اندازه‌گیری می‌شود. به این ترتیب با رسم نمودار توان خروجی برحسب توان ورودی، می‌توان حدنوری لایه‌ها را به‌دست آورد. در واقع حدنوری، توان بحرانی باریکه لیزری است که در آن آثار غیرخطی واکنشی نمونه آغاز می‌شود. در این آزمایش‌ها از سه روزنه با قطرهای ۱، ۱/۵ و ۲/۲

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

میلی‌متر جهت بررسی اثر روزنه در اندازه‌گیری توان بحرانی نمونه‌ها استفاده شده است.

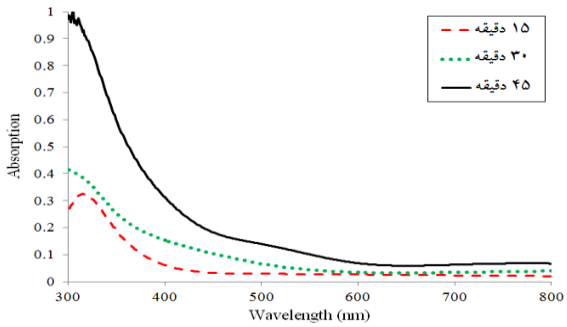


شکل۱: چیدمان آزمایشگاهی اندازه‌گیری حدنوری.

آزمایش‌ها با استفاده از لیزر موج پیوسته نئودیمیوم-یاگ در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر و توان ۱۵۵ میلی‌وات و عدسی با فاصله کانونی ۱۹/۵ سانتی‌متر انجام شده است.

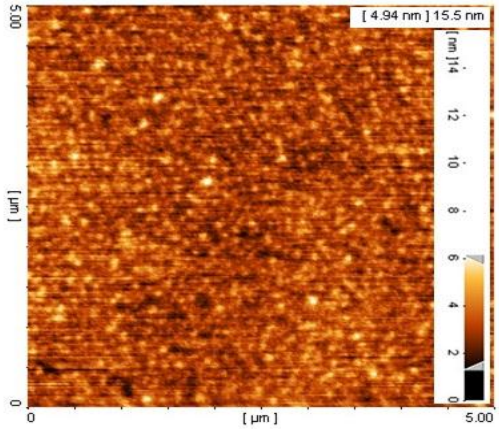
۴- نتایج و بحث‌ها

طیف جذب نوری لایه‌های نازک روی در بازه‌های زمانی لایه‌نشانی متفاوت در شکل ۲ نشان داده شده است. با افزایش مدت زمان لایه‌نشانی، جذب نوری لایه‌ها افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، با کاهش مدت زمان لایه‌نشانی به‌تدریج یک قله جذب در طیف جذبی لایه‌ها در ناحیه فرابنفش شکل می‌گیرد. برای لایه تهیه شده در مدت زمان ۱۵ دقیقه، این قله در طول‌موج ۳۱۴ نانومتر قابل مشاهده است که پیش از این قله جذب کلوئید نانوذرات روی تولید شده به‌روش کندوسوز لیزری در محیط آب، ۳۵۰ نانومتر گزارش شده است. این اختلاف ناشی از شکل‌گیری نانوذرات روی در دو محیط متفاوت است [۷]. با افزایش مدت زمان لایه‌نشانی، طول‌موج قله جذب پلاسمونی لایه‌های روی به سمت طول‌موج‌های کم‌تر از ۳۰۰ نانومتر جابه‌جا شده و لذا در ناحیه مرئی، قله جذب پلاسمونی مشاهده نمی‌شود.



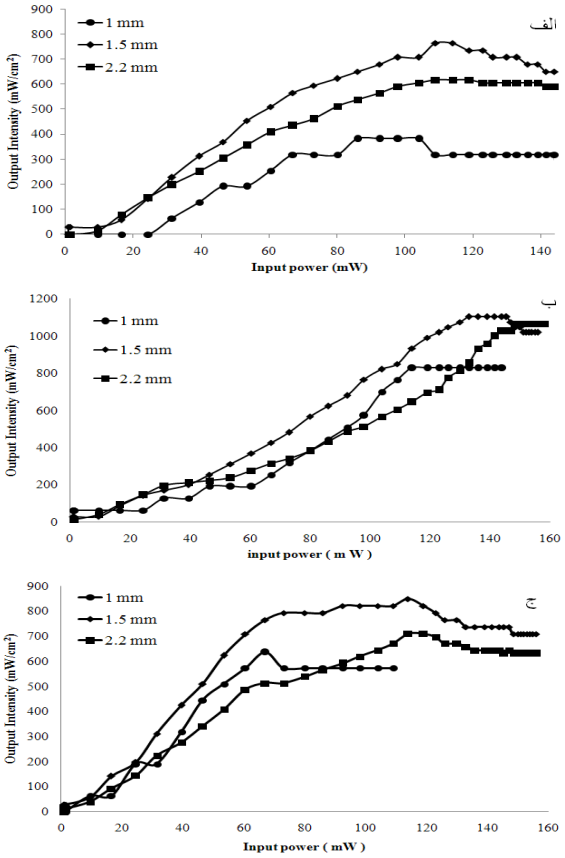
شکل۲: نمودار طیف جذبی نمونه‌های روی در بازه‌های زمانی لایه‌نشانی متفاوت.

شکل ۳ تصویر AFM لایه‌های نازک روی تهیه شده در مدت زمان ۴۵ دقیقه را نشان می‌دهد. ضخامت لایه ایجاد شده در حدود ۱۵ نانومتر بوده و لایه‌های ایجاد شده نیز از یک‌نواختی و پایداری خوبی برخوردار می‌باشند.



شکل ۳: تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی لایه روی در مدت زمان ۴۵ دقیقه.

شکل‌های ۴ الف تا ۴ ج به‌ترتیب نمودارهای حدنوری لایه‌های روی را در بازه‌های زمانی لایه‌نشانی ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه و با سه قطر روزنه متفاوت نشان می‌دهند.



شکل ۴: حدنوری لایه‌های روی در بازه‌های زمانی لایه‌نشانی الف) ۱۵ دقیقه، ب) ۳۰ دقیقه و ج) ۴۵ دقیقه.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

در رفتار محدودسازی نوری دو فرآیند شکست غیرخطی و جذب غیرخطی به‌طور هم‌زمان نقش دارند [۸]. از آنجایی‌که تغییرات قطر باریکه به‌دلیل اثر عدسی‌گونه حاصل از ضریب شکست غیرخطی نمونه‌ها بسیار کوچک و کم‌تر از چند میلی‌متر در محل روزنه است، می‌توان با استفاده از روزنه‌هایی با قطر بزرگ‌تر در آزمایش‌های محدودسازی نوری، اثر شکست غیرخطی را از اثر جذب غیرخطی تفکیک نمود. به‌همین‌دلیل آزمایش‌ها با استفاده از دو روزنه با قطرهای بیش از ۱ میلی‌متر انجام شده‌اند. مقدار شدت‌های خروجی از یک روزنه به قطر ۲/۲ میلی‌متر، نسبت به شدت‌های خروجی از روزنه‌ای به قطر ۱/۵ میلی‌متر کاهش خواهند داشت. در این شکل‌ها، شدت‌های خروجی از تقسیم توان‌های ثبت شده توسط آشکارساز بر مساحت سطح روزنه محاسبه شده‌اند. با توجه به شکل ۴، قطر روزنه ۲/۲ میلی‌متر از قطر باریکه لیزری برروی سطح آن بزرگ‌تر است که در این حالت اثر محدودسازی به‌علت فرآیند جذب غیرخطی لایه‌ها می‌باشد. در جدول ۱ توان‌های بحرانی لایه‌های نازک روی با بازه‌های زمانی لایه‌نشانی ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه و سه قطر روزنه متفاوت آورده شده‌اند.

جدول ۱: توان بحرانی لایه‌های نازک روی در مدت زمان‌های لایه‌نشانی متفاوت، اندازه‌گیری شده با سه روزنه متفاوت.

زمان لایه‌نشانی (دقیقه)	قطر روزنه (میلی‌متر)	توان بحرانی (میلی‌وات)
۱۵	۱	۸۶
	۱/۵	۱۰۹
	۲/۲	۱۰۹
۳۰	۱	۱۱۴
	۱/۵	۱۳۳
	۲/۲	۱۴۸/۵
۴۵	۱	۶۷
	۱/۵	۷۳
	۲/۲	۱۱۴

با توجه به جدول ۱ با افزایش قطر روزنه، توان بحرانی مورد نیاز برای مشاهده اثرات غیرخطی در لایه‌ها افزایش می‌یابد. با افزایش تدریجی قطر روزنه مقابل آشکارساز تمام پهنای باریکه از آن عبور نموده و اثر عدسی‌گونه حاصل از شکست غیرخطی لایه‌ها حذف خواهد شد. با حذف اثر شکست غیرخطی، جذب غیرخطی به‌تنهایی رفتار محدودسازی لایه‌ها را تعیین می‌کند و لذا مقدار توان بحرانی موردنیاز برای مشاهده اثرات غیرخطی افزایش خواهد یافت.

۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، ساخت لایه‌های نازک روی به‌روش لایه‌نشانی لیزر تپی شرح داده شده است. هم‌چنین روش اندازه‌گیری حدنوری لایه‌های نازک بررسی و توان بحرانی لایه‌ها با قطرهای متفاوت روزنه ارائه گردیده است. رفتار محدودسازی ناشی از دو فرآیند شکست غیرخطی و جذب غیرخطی است. باتوجه به نتایج به‌دست آمده، با افزایش قطر روزنه، توان بحرانی موردنیاز برای مشاهده اثرات غیرخطی در لایه‌ها به‌دلیل حذف اثر شکست غیرخطی افزایش می‌یابد. در این لایه‌ها، افزایش توان بحرانی ناشی از جذب غیرخطی است که به‌تنهایی رفتار محدودسازی لایه‌ها را تعیین می‌کند.

مراجع

[1] Chen, G. X, Hong, M. H, Tan, L. S, Chong, T. C, Elim, H. I, Chen, W. Z, *Optical limiting phenomena of carbon nanoparticles prepared by laser ablation in liquids*, **J. Phys.: Conf. Ser**, 59 (2007) 289–292.

[2] Lind, per, *ORGANIC AND ORGANOMETALLIC COMPOUNDS FOR NONLINEAR ABSORPTION OF LIGH*, Umeå University, 2007.

[3] Irimpan, Litty, Nampoori, V. P. N, Radhakrishnan, P, Krishnan, Bindu, Deepthy, A, *Size-dependent enhancement of nonlinear optical properties in nanocolloids of ZnO*, **J. Appl. Phys,** 103(2008) 033105.

[4] Rashidian Vaziri, M. R, Hajiesmaeilbaigi, F, Maleki, M. H, *Microscopic description of the thermalization process during pulsed laser deposition of aluminium in the presence of argon background gas*, **J. Phys. D: Appl. Phys,** 43(2010) 425205.

[5] Schaaf, P, *Laser Processing of Materials Fundamentals, Applications and Developments*, p.131-167, Springer, 2010.

[6] Fazio, E, Neri, F, Ossi, P.M, Trusso, S, Ag nanocluster *synthesis by laser ablation in Ar atmosphere: a plume dynamics analysis*, **Laser Part. Beams**, 27(2009) 281.

[7] Zeng, H, Cai, W, Li, Y, Hu, J, Liu, P, *Composition/Structural Evolution and Optical Properties of ZnO/Zn Nanoparticles by Laser Ablation in Liquid Media*, **J. Phys. Chem. B**, 109 (2005) 18260-18266.

[8] Golian, Y, Motamedi, A, Rashidian Vaziri, M. R, Hajiesmaeilbaigi, F, *Pulsed laser deposition of zinc nanostructures and their nonlinear optical characterizations*, **Proc. of SPIE**, 8564 (2012) 1-7.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]