



بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتوالکترونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۳۹۸ ۱۵-۱۶ بهمن



مشخصه یابی فرآیند laser backwriting با تغییر شاریدگی و تعداد پالس

شبین عباسی^۱، محمد رضا جعفر فرد^۲، داود رزاقی^۲، محسن منتظر القائم^۲، هدیه پازکیان^۲

^۱دانشکده فیزیک دانشگاه علم و صنعت ایران

^۲پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای ایران، پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی

چکیده - در این مقاله به بررسی فرآیند laser backwriting پرداخته شده است. بدین منظور استیل به عنوان نمونه‌ی هدف جهت کندگی و نفوذ یون‌ها داخل زیرلایه کوارتز، تو سط لیزر پالسی کیو سوئیچ شده‌ی Nd:YAG مورد تابش قرار گرفت. میکروکanal‌های ایجاد شده طی برهم کنش مواد کنده شده با زیرلایه کوارتز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد عمق کanal به تعداد پالس و شاریدگی‌های مختلف لیزر بستگی دارد. همچنین در یک شاریدگی و تعداد پالس آستانه پلاسمون‌های سطحی شکل گرفته است. برای مشخص کردن میزان نفوذ یون‌ها داخل کوارتز و جذب از طیفسنجی UV-Visible و برای اندازه‌گیری عمق کanal از پروفایلومتری سطح استفاده شده است.

کلید واژه - کوارتز، فرآیند laser backwriting، لیزر پالسی Nd:YAG

Characterization of laser backwriting process with different number of pulses and various laser fluences

Shabnam abbasi¹, Mohammad reza jafarfard², Davoud razzaghi², Mohsen montazerolghaem², Hedieh pazokian²

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

²Photonic and Quanum technologies research school, Nuclear science and technology research Institutue, Tehran, Iran

Abstract- In this paper laser backwriting process was investigated. The steel target was ablated onto the quartz substrate by pulsed Nd:YAG laser irradiation. microchannels formed following interaction of the ablated particles with the substrate, were studied. The results show that the depth of the channels depends on the number of pulses and the laser fluences. In addition at a threshold fluence and number of pulses the surface plasmons were formed. UV-Visible spectroscopy and the surface profilometry were used for the investigation of the absorption and ion penetration rates in to the substrate, respectively.

Keywords: Quartz, Laser backwriting process, Nd:YAG pulsed laser

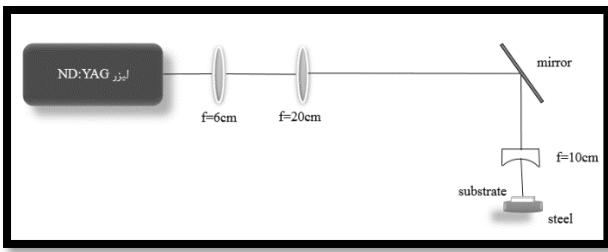
جلوگیری از صدمه به آینه‌ها از دو عدسی به عنوان انسباط-گر استفاده شد. کانال‌های به دست آمده در تعداد پالس و شاریدگی‌های مختلف توسط لیزر Nd:YAG کیوسوئیچ شده با طول موج 1064 nm و پهنهای پالس 8 ns تابش دهی شدند.

۱- مقدمه

امروزه یکی از نقاط قابل توجه در علم و صنعت، کوچک نمودن ابزارهای مورد استفاده است. استفاده از موجبرهای نوری، یکی از عوامل صنعتی شدن مدارات مجتمع در ابعاد میکرو و نانو است. روش‌های مختلفی برای ساخت موجبرهای نوری وجود دارد که بسته به نوع بستر از این روش‌ها استفاده می‌شود. یکی از این روش‌ها که به تازگی laser (LBW) مورد توجه قرار گرفته است، روش backwriting است. LBW فرآیندی است که طی آن پرتو لیزر از یک نمونه شفاف عبور کرده و به یک سطح فلزی برخورد می‌کند. نمونه شفاف و سطح فلزی کاملاً بروی یکدیگر قرار دارند. با توجه به اینکه جذب نمونه شفاف انتخاب شده در طول موج لیزر، پایین در نظر گرفته می‌شود، نور بدون آسیب به نمونه شفاف از آن عبور کرده و به سطح فلز میرسد و باعث کندگی از سطح فلز و پلاسما می‌شود. پلاسمای ایجاد شده وارد نمونه شفاف شده و باعث تغییر ضریب شکست نمونه شفاف در نقاطی که یون حاصل از کندگی، جایگزین اتم‌های اولیه‌ی شبکه شده است، می‌شود [۱]. کوارتز از جمله موادی است که امروزه به دلیل ارزان بودن و ویژگی‌های اپتیکی مناسب بسیار مورد توجه است. استیل نیز به دلیل ویژگی‌های حرارتی مناسب امروزه بسیار پرکاربرد است. در این مقاله به بررسی تغییرات ایجاد شده در زیرلایه‌های کوارتز با نمونه هدف استیل طی فرآیند LBW پرداخته شده است. برای این کار از طیف‌سنجی UV-Visible و پروفایلومتری سطح، برای تعیین میزان جذب یون و عمق کانال استفاده شده است.

۲- روش انجام آزمایش

شکل ۱ چیدمان آزمایش را نشان می‌دهد. همانطور که از شکل مشخص است، زیرلایه‌ی کوارتز پولیش داده شده برروی نمونه ایستیل قرار گرفت. از یک عدسی استوانه‌ای با فاصله‌ی کانونی 10 cm استفاده شد. به منظور

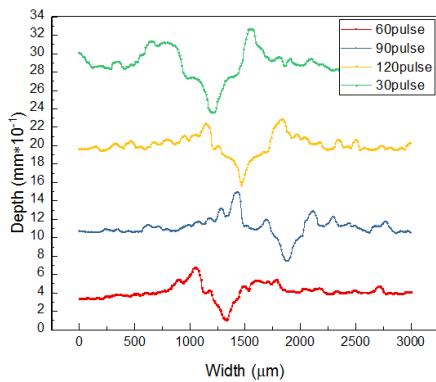


شکل ۱. طرح چیدمان آزمایش

۳- نتایج

۱- بررسی عمق کندگی و نفوذ فلز در زیرلایه بر حسب تعداد پالس

شکل ۲ پروفایل سطحی در تعداد پالس‌های مختلف و شاریدگی $2/9\text{ J/cm}^2$ و نرخ تکرار 1 Hz را نشان می‌دهد.



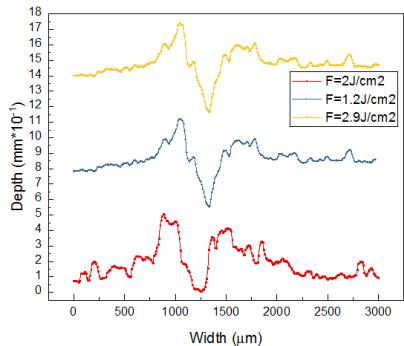
شکل ۲. پروفایل سطحی نمونه‌های تابش داده شده در تعداد پالس‌های مختلف و شاریدگی $2/9\text{ J/cm}^2$ و نرخ تکرار 1 Hz

همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، در شاریدگی $2/9\text{ J/cm}^2$ و نرخ تکرار 1 Hz با افزایش تعداد پالس از 30 به 60 ، 90 و 120 کاهش در عمق کندگی مشاهده می‌شود و سپس با افزایش تعداد پالس از 60 به 90 ، 120 افزایش بسیار کمی در عمق کندگی کانال مشاهده و سپس از 90 به 120 دوباره افزایش مشاهده می‌شود. با افزایش تعداد پالس دز انرژی ورودی به نمونه افزایش یافته و در نتیجه کندگی از سطح نمونه می‌نماییش.

عامل ایجاد پلاسمون در یک سطح، وجود نیروی جاذبه بین یون‌ها و الکترون‌های آزاد و در نتیجه حرکت جمعی الکترون‌های آزاد است. نوسانات پلاسما در سطح مشترک فلز و دیالکتریک اتفاق می‌افتد. کندگی لیزری استیل (یا هر فلز دیگر) باعث ایجاد پلاسما می‌شود. این پلاسما حاوی ذرات باردار شامل یون‌ها و الکترون‌های آزاد است. یون‌ها و الکترون‌ها با سطح برخورد می‌کنند. تعدادی از این ذرات با توجه به میزان انرژی و سرعتشان به داخل نمونه کوارتز نفوذ می‌کنند. همچنین تعداد ذرات کنده شده قویاً به تعداد پالس‌های لیزر و شاریدگی بستگی دارد. از طرف دیگر میزان نفوذ پلاسما به داخل کوارتز بعد از نفوذ ذرات اولیه تحت تاثیر نیروی جاذبه و دافعه بین ذرات باردار پلاسما و همچنین انرژی و سرعت آنها خواهد بود. علاوه بر این با افزایش تعداد پالس، علاوه بر افزایش تعداد ذرات کنده شده، عمق کندگی روی هدف (استیل) افزایش یافته و در نتیجه فاصله‌ی پلوم پلاسما از زیرلایه بیشتر می‌شود. بنابراین پارامترهای مختلفی در فرآیند نفوذ به داخل کوارتز موثر هستند که این فرآیندها به رقابت با یکدیگر می‌پردازند.

۳-۲- بررسی عمق کندگی و نفوذ فلز در زیرلایه بر حسب شاریدگی

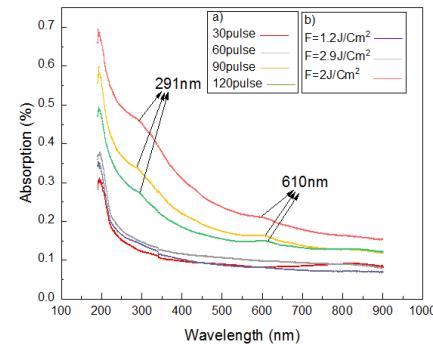
شکل ۴ پروفایل سطح از نمونه‌های تابش دیده در شاریدگی‌های مختلف و نرخ تکرار ثابت 1 Hz و تعداد پالس 60 را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، در تعداد 60 پالس و نرخ تکرار 1 Hz با افزایش شاریدگی از $1/2\text{ J/cm}^2$ به 2 J/cm^2 عمق کanal کاهش پیدا کرده و سپس



شکل ۴. نمودار پروفایل سطح نمونه‌های تابش داده شده در شاریدگی‌های مختلف و تعداد پالس 60 و نرخ تکرار 1 Hz

با افزایش شاریدگی از 2 J/cm^2 به $2/9\text{ J/cm}^2$ عمق کanal افزایش پیدا کرده است. با افزایش شاریدگی از $1/2\text{ J/cm}^2$ به

استیل افزایش می‌یابد. با افزایش عمق کندگی، پالس لیزر در نقطه‌ای دورتر از نقطه‌ی کانونی خود به سطح استیل برخورد می‌کند و میزان کندگی از سطح کاهش پیدا می‌کند. طی برخورد یون به سطح کوارتز برخی از یون‌ها در پدیده‌ی کندوپاش شرکت کرده و بخشی دیگر به داخل زیرلایه کوارتز نفوذ می‌کنند. با کاهش میزان یون‌های برخوردی به سطح کوارتز، میزان یون‌هایی که در فرآیند کندوپاش از سطح کوارتز شرکت می‌کنند نیز کاهش پیدا کرده و در نتیجه کاهش در فرآیند کندوپاش از سطح کوارتز باعث کاهش عمق کanal ایجاد شده بر روی کوارتز می‌شود. بنابراین به دلیل اینکه در تعداد 30 پالس بیشترین میزان انرژی لیزر و در نقطه‌ی کانونی لیزر به سطح فلز منتقل شده، پلاسمای بیشتری از سطح فلز کنده شده و به سطح کوارتز برخورد کرده است. در نتیجه فرآیند کندوپاش از سطح کوارتز بیشتر است که باعث زیاد بودن عمق کanal در 30 پالس می‌شود. شکل ۳(a) طیف جذبی تابش دیده در تعداد پالس مختلف و شاریدگی $2/9\text{ J/cm}^2$ و نرخ تکرار 1 Hz را نشان می‌دهد. همانطور که از شکل مشخص است در نمونه‌های مربوط به 90 و 120 پالس، دو پیک جذبی در طول موج‌های 291 nm و 610 nm وجود دارد که مربوط به پلاسمون‌های سطحی ایجاد شده به ترتیب ناشی از حضور فلزات آهن و احتمالاً منگنز در استیل است [۲]. در تعداد 30 و 60 پالس پلاسمون سطحی وجود نداشته و بعد از 90 پالس پلاسمون سطحی در فصل مشترک فلز و دیالکتریک دیده می‌شود.



شکل ۳. طیف جذبی نمونه‌های تابش دیده در نرخ تکرار 1 Hz و (a) تعداد پالس‌های مختلف و شاریدگی $2/9\text{ J/cm}^2$ (b) شاریدگی‌های مختلف و تعداد پالس 60

و باعث شده فرآیند کندوپاش برخلاف آنچه انتظار می‌رود افزایش پیدا کند. پس تعداد ذرات برخوردی به سطح کوارتز در فرآیند کندوپاش نقش مهم‌تری نسبت به انرژی تک تک این ذرات ایفا می‌کند. شکل ۳ (b) طیف جذبی نمونه‌های تابش دیده در شاریدگی‌های مختلف و نرخ تکرار ۱Hz و تعداد پالس ۶۰ را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۱/۲ J/cm² مشاهده می‌شود، با افزایش شاریدگی از ۲ J/cm² به ۲ J/cm² افزایش در میزان جذب یون مشاهده می‌شود و با افزایش شاریدگی از ۲ J/cm² به ۲/۹ J/cm² کاهش در جذب یون اتفاق می‌افتد. این نتایج در توافق کامل با نتایج پروفایلومتری است که با افزایش کندگی از سطح کوارتز در واقع میزان جذب یون توسط سطح کاهش یافته و بر عکس.

نتیجه‌گیری

در این مقاله اثر فرآیند LBW روی زیرلایه کوارتز با استفاده از کندگی هدف استیل با لیزر Nd:YAG کیوسوئیچ شده مورد بررسی قرار گرفت. در میکروکانال‌های ایجاد شده طی این فرآیند تشكیل و یا عدم تشكیل پلاسمون مشاهده می‌شود. تشكیل این پلاسمون‌ها به میزان زیادی به شاریدگی و تعداد پالس لیزر بستگی دارد. نتایج نشان داده در مورد شرایط تابش دهی در مقاله‌ی حاضر حداقل تعداد ۹۰ پالس در شاریدگی ۲/۹ J/cm² برای ایجاد پیک پلاسمونی در زیرلایه‌ی کوارتز لازم بوده و همچنین برای تعداد پالس ۶۰ در شاریدگی ۲ J/cm² پیک‌های پلاسمونی قابل مشاهده هستند.

مرجع‌ها

- [1] C. Gómez-Reino *et al.*, "Laser backwriting process on glass via ablation of metal targets," *Opt. Commun.*, vol. 273, no. 1, pp. 193–199, 2007.
- [2] F. Rey-garcía, M. T. Flores-arias, C. Gómez-reino, R. Lahoz, and G. F. De Fuente, "Applied Surface Science Microstructure of planar glass substrates modified by Laser Ablation Backwriting (LAB) of metal targets," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 307, pp. 645–653, 2014.
- [3] P. Demir, E. Kacar, E. Akman and A. Demir "Single Pulse Laser Ablation of AISI 316L Stainless Steel Surface Using Nd : YAG Laser Irradiation," *ACTA PHYSICA POLONICA A.*, vol. 125, no. 2, pp. 439–441, 2014.
- [4] M. Sc and D. E. S. Sciencesde, "Glass Waveguide Fabrication by Ion Implantation for Optical Communication Applications,"

۲ J/cm² به دلیل افزایش دز واردہ به سطح، کندگی از سطح افزایش می‌یابد. با افزایش عمق کندگی از سطح فلز به دلیل اینکه یون‌ها از فاصله‌ی دورتری نسبت به کوارتز، از سطح کنده شده‌اند، بنابراین انرژی و سرعت آن‌ها هنگام برخورد با سطح کوارتز کاهش پیدا می‌کند. در لحظه‌ی شروع، پلاسما دارای ماکزیمم دما است و درنتیجه ذرات پلاسما دارای ماکزیمم سرعت و انرژی هستند. با گذشت زمان که پلاسما از سطح فلز دورتر می‌شود دمای پلاسما به شکل نمایی کاهش پیدا کرده [۳] و درنتیجه سرعت و انرژی یون‌ها کاهش پیدا می‌کند و هنگامی که یون‌ها به سطح کوارتز می‌رسند مینیمم انرژی و سرعت خود را خواهد داشت. فرآیند کندوپاش به میزان زیادی به سرعت یون‌های برخوردی بستگی دارد. در سرعت‌های پایین یون، فرآیند کندگی از سطح کوارتز به میزان کمتری اتفاق می‌افتد و در سرعت‌های بالا به دلیل اینکه یون با انرژی بیشتری به سطح کوارتز برخورد می‌کند میزان کندگی افزایش پیدا می‌کند [۴]. با افزایش شاریدگی از ۲ J/cm² به ۲/۹ J/cm² میزان کندگی و درنتیجه پلاسما بیشتر می‌شود. با وجود اینکه انرژی این یون‌ها هنگام برخورد به سطح کوارتز بسیار کم است، به دلیل اینکه یون‌های اولیه که به سطح کوارتز نفوذ کرده‌اند هنوز فرصت کافی برای سرد شدن و جایگزین شدن در شبکه‌ی اتم‌های کوارتز را ندارند، یون‌های بعدی، به سطح کوارتز و در واقع به سطح یون‌های اولیه برخورد می‌کنند و باعث کندگی یون‌های اولیه از سطح شده و فرآیند کندوپاش افزایش پیدا می‌کند، درنتیجه عمق کانال افزایش می‌یابد. توجیح دیگری که می‌توان برای نمودار شکل ۴ ارائه داد، به این شکل است که با افزایش شاریدگی از ۲ J/cm² به ۲ J/cm² میزان پلاسمای کنده شده از سطح نسبت به حالتی که شاریدگی از ۲ J/cm² به ۲/۹ J/cm² افزایش پیدا کرده، کمتر است، ولی به دلیل اینکه پلاسمای ایجاد شده به سطح کوارتز نزدیک‌تر است، انرژی ذرات پلاسما هنگام برخورد به کوارتز، بیشتر است. بنابراین در حالتی که شاریدگی از ۲ J/cm² به ۲/۹ J/cm² افزایش پیدا کرده با وجود اینکه انرژی ذرات برخوردی به سطح کوارتز کم است و این باعث کاهش فرآیند کندوپاش می‌شود، تعداد این ذرات زیاد بوده