



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



میکروماشین کاری کریستال Yb:YAG به وسیله میکرولیزر کیوسویچ انفعالی Nd:YAG

المیرا حاجی نیا، سمیرا علیپور، مریم جندقی، زهرا محمدظاهری، سعید سلیمیان ریزی، محمد داشکسن،
سیدحسن نبوی

مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران

Email: hajinia@inlc.ir

چکیده- در این مقاله به بررسی میکروماشین کاری کریستال Yb:YAG به وسیله میکرولیزر کیوسویچ انفعالی Nd:YAG با پهنای پالس ۴۵۰ps و انرژی ۲۵۰μJ پرداخته شده است. پرتوی میکرولیزر با طول موج ۱۰۶۴nm پس از عبور از سیستم اپتیکی مناسب بر سطح کریستال در حال حرکت در نقطه کانونی تابیده می شود و ساختار میکروکانال بر اثر کندگی پلاسمایی ایجاد می گردد. بسته به تعداد رفت و برگشت پرتوی لیزر، عمق میکروکانالها با یکدیگر متفاوت می باشد. در این گزارش همچنین به برش کریستال Yb:YAG با استفاده از روش خراش و برش پرداخته شده است. بدین منظور میکروکانال ساخته شده با روش قبل، تحت تابش لیزر CO₂ قرار گرفت و برش کریستال با لبه هایی صاف و بدون ترک انجام شد.

کلیدواژه- کریستال Yb:YAG، میکرولیزر Nd:YAG، میکروماشین کاری

Micromachining of Yb:YAG crystal using passively Q-Switched Nd:YAG microlaser

Elmira Hajinia, Samira Alipour, Maryam Jandaghi, Zahra Mohammadzaheri, Saeed SalimianRizi, Mohammad Dashkasan, Seyed Hasan Nabavi

Iranian National Center for Laser Science and Technology, P. O. Box 14665-576, Tehran, Iran

Abstract-In this paper we have investigated the micromachining of Yb:YAG crystal using passively Q-Switched Nd:YAG microlaser with 450ps pulse width and 250μJ energy per pulse. The laser beam after passing appropriate optics was focused on the crystal surface that was translated in the focal point and fabricated the microchannel structure by the plasma ablation. Depend on laser beam roundtrip the microchannels depth were different. We also report the Yb:YAG crystal cutting by scribe and break method. In this way first a microchannel was fabricated (scribing line) and then CO₂ laser beam was used to irradiate on it to separate the crystal with smooth cut edges and without cracks.

Keywords: Yb:YAG crystal, Nd:YAG microlaser, micromachining

مقدمه

فمتوثانیه دارای هزینه فناوری بسیار کمتری می باشد [۱]. از آنجایی که امروزه در صنایع مختلف ایجاد کانالهایی با ابعاد میکرونی در سطح مواد با لبه هایی بدون تخریب گرمایی و ترک توسط لیزر بسیار مورد نیاز است، در قسمت اول این مقاله به بررسی ساخت میکروکانالهایی در سطح کریستال Yb:YAG (ماده بهره در بسیاری از لیزرها) توسط میکرولیزر کیوسویچ انفعالی Nd:YAG پرداخته ایم. در قسمت بعد برش لیزری کریستال مذکور مورد بررسی قرار گرفت. گزارشات زیادی در مورد برش لیزری توسط لیزرهای CO₂ و Nd:YAG وجود دارد. لیزر CO₂ با طول موج ۱۰/۶μm برای برش اکثر غیرفلزات بسیار مناسب می باشد اما برش لیزری توسط لیزرهای پالسی نتایج بهتری را نسبت به لیزر CO₂ نشان داده اند زیرا لیزرهای پالسی توانهای قله بالاتری را تولید و در نتیجه ماده بیشتری تبخیر می کنند و نیز زمان کمتری برای انرژی جذب شده جهت هدایت وجود دارد. روش ایجاد خراش و سپس انجام فرآیند برش با روشی تکمیلی از روشهای بسیار قدیمی و پرکاربرد می باشد [۵]. در پروژه حاضر نیز از شکل نوینی از این تکنیک جهت برش لیزری کریستال Yb:YAG استفاده شده است.

روش تجربی

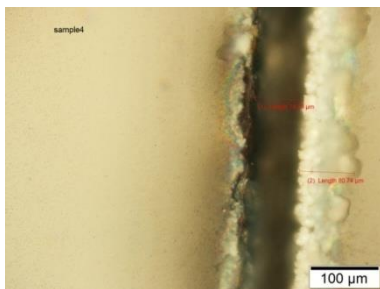
چیدمان آزمایشگاهی مربوط به میکروماشین کاری Yb:YAG در شکل ۱ نشان داده شده است. سیستم مورد استفاده شامل یک میکرولیزر کیوسویچ انفعالی Nd:YAG است که پالسهایی با طول موج ۱۰۶۴nm، پهنای پالس ۴۵۰ps و انرژی ۲۵۰μJ در نرخ تکرار ۱KHz تابش می کند. پرتوی لیزر با عبور از یک بیم اکسپندر و یک لنز اف تتا بر سطح کریستال نصب شده بر استیجی موتوردار با حرکت در راستای محورهای X و Y کانونی می شود. به منظور ایجاد میکروکانال، کریستال

با پیشرفت تکنولوژی، میکروماشین کاری لیزری به عنوان روشی نوین و قدرتمند وارد عرصه صنعت گردید. امروزه پردازش مواد شفاف در صنایع مختلف بسیار مورد نیاز می باشد [۱]. میکروماشین کاری مواد شفاف اعم از سفت یا نرم، با استفاده از روشهای مکانیکی یا به علت اثرات فتوگرمایی لیزرهایی مانند CO₂ با مشکلاتی مواجه است. استفاده از لیزرهای حالت جامد پمپ شونده با دیود و پهنای پالسهای فمتوثانیه تا ساب نانوثانیه (محدوده ای مابین نانوثانیه و فمتوثانیه) در صنعت، به منظور میکروماشین کاری مواد شفاف، به سرعت رو به افزایش است. لیزرها با پهنای پالسهای فوق کوتاه ماده را از طریق کندگی نوری خارج می سازند، فرآیندی که مستقیماً از طریق شکستن باندهای اتمی به تولید پلاسما منجر می شود و انرژی جذب شده بدون تخریب گرمایی چندانی به همراه ماده خارج می شود. در مقابل در لیزرهای پیوسته یا لیزرهای با پهنای پالس بلند ماده از طریق جذب لیزری تا دمای تبخیر گرم می شود و یک منطقه متاثر از گرماز خود به جا می گذارد (کندگی گرمایی). میکرولیزرها با پالسهای ساب نانوثانیه جایگزین مناسبی برای لیزرهای فمتوثانیه جهت میکروماشین کاری مواد شفاف از طریق جذب مولتی فوتون می باشند. این لیزرها می توانند توانهای قله مورد نیاز جهت کندگی پلاسمایی را تولید نمایند [۵-۱]. میکرولیزر کیوسویچ انفعالی Nd:YAG طراحی و ساخته شده در این مجموعه، دارای پهنای پالس ۴۵۰ps می باشد. قابل پیش بینی است که میکروماشین کاری توسط میکرولیزر مذکور به علت قرارگیری آن در محدوده ای مابین لیزرهای نانوثانیه و فمتوثانیه دارای مزایایی نسبت به هر دو حالت می باشد زیرا از طرفی فاقد مشکلات زیاد ناشی از اثرات گرمایی موجود در لیزرهای نانوثانیه است و نیز نسبت به لیزرهای

جدول ۱: عمق میکروکانال‌های ایجاد شده بر روی کریستال
Yb:YAG برحسب تعداد رفت و برگشت پرتوی میکرولیزر
Nd:YAG

عمق میکروکانال ایجاد شده (μm)	تعداد رفت و برگشت پرتوی میکرولیزر
۱۰	۱۰
۵۰	۲۵
۱۰۰	۴۵
۱۵۰	۵۵
۲۰۰	۶۵
۳۰۰	۹۵

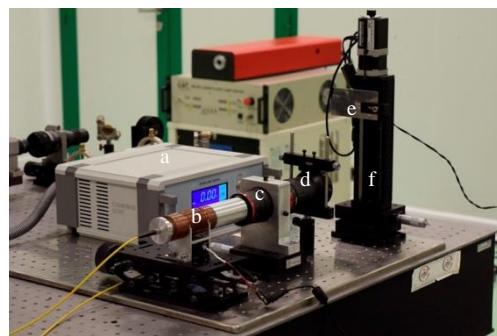
بررسی میکروکانال‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی با دقت بالا، نشان داد که میکروکانال‌های مذکور به صورت پیوسته‌اند و هیچ‌گونه ترک یا تخریب شدید گرمایی در اطراف آنها مشاهده نمی‌شود. شکل ۲ تصویر میکروسکوپی از میکروکانال ایجاد شده از ۳۰۰ مرتبه رفت و برگشت پرتوی لیزر را نشان می‌دهد.



شکل ۲: تصویر میکروسکوپی از میکروکانال ایجاد شده از ۳۰۰ مرتبه رفت و برگشت پرتوی میکرولیزر کیوسویچ انفعالی Nd:YAG

در شکل ۳ نمودار تعداد رفت و برگشت پرتوی لیزر بر حسب عمق میکروکانال قابل مشاهده می‌باشد. چنانچه مشهود است، شیب نمودار خطی است و می‌توان انتظار داشت که با ادامه افزایش تعداد رفت و برگشت‌های پرتوی لیزر، عمق همچنان افزایش یابد.

Yb:YAG با ضخامت $300\ \mu\text{m}$ ، در راستای عمود بر محور پرتو با نرخ $50\ \mu\text{m/s}$ اسکن می‌گردد.



شکل ۱: چیدمان آزمایشگاهی مربوط به میکروماشین‌کاری
a: Yb:YAG - لیزر پمپاژ دیودی b: میکرولیزر کیوسویچ انفعالی
Nd:YAG c: بیم اکسپندر d: لنز اف‌تتا e: ماده هدف (Yb:YAG)
f: استیج میکرومتری

جهت بررسی میزان عمق میکروکانال‌های ایجاد شده، پرتوی لیزر با تعداد رفت و برگشت مختلف به نمونه تابانیده شد و نتایج حاصله توسط میکروسکوپ الکترونی با دقت بالا مورد بررسی قرار گرفت.

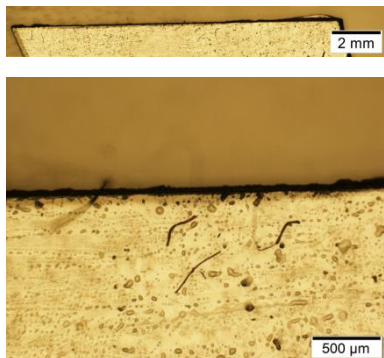
در مرحله بعد به منظور بررسی برش کریستال Yb:YAG از روش خراش و برش استفاده گردید [۵]، بدین منظور سه میکروکانال با عمق‌های $65\ \mu\text{m}$ ، $55\ \mu\text{m}$ و $95\ \mu\text{m}$ ساخته شده با روش قبل، تحت تابش لیزر CO_2 پیوسته با طول موج $10/6\ \mu\text{m}$ و توان $2\ \text{W}$ قرار داده شد و لبه‌های برش توسط میکروسکوپ الکترونی مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج

ایجاد میکروکانال بر سطح کریستال Yb:YAG

با تابش پرتوی میکرولیزر کیوسویچ انفعالی پیکوثانیه Nd:YAG بر سطح کریستال Yb:YAG در حال حرکت در نقطه کانونی لیزر، میکروکانال‌هایی ایجاد گردید. همانطور که در جدول ۱ قابل مشاهده است، با افزایش تعداد رفت و برگشت پرتوی لیزر، عمق کندگی میکروکانال‌ها نیز بیشتر می‌شود.

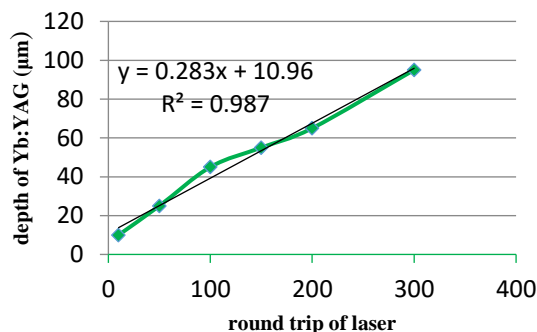
داده شده است، همانطور که قابل مشاهده است، میزان صافی لبه‌های برش خورده کریستال بسیار رضایت بخش می باشد و هیچ ترکی در اطراف آنها دیده نمی‌شود.



شکل ۴: تصاویر میکروسکوپی الکترونی از لبه های برش خورده کریستال Yb:YAG

نتیجه گیری

در این مقاله، میکروماشین کاری کریستال Yb:YAG توسط میکرولیزر کیوسویچ انفعالی پیکوثانیه Nd:YAG طراحی و ساخته شده در این مجموعه مورد بررسی قرار گرفت. میکروکانال‌هایی پیوسته با لبه‌هایی بدون ترک و با عمق‌های مختلف از طریق اسکن سطح کریستال قرار گرفته در نقطه کانونی پرتوی میکرولیزر ایجاد گردید و نیز کریستال مذکور از طریق تابش لیزر CO₂ بر روی میکروکانال‌ها برش داده شد. تصویرنگاری میکروسکوپی، کیفیت بالای برش کریستال را تایید کرد.



شکل ۳: نمودار تعداد رفت و برگشت پرتوی میکرولیزر بر روی کریستال بر حسب عمق

برش کریستال Yb:YAG

همانطور که در قسمت قبل آورده شد با افزایش تعداد رفت و برگشت تابش پرتو میکرولیزر Nd:YAG، عمق میکروکانال‌های ایجاد شده بر روی کریستال Yb:YAG بیشتر و بیشتر شده است، بنابراین این احتمال وجود دارد که ادامه این روند به برش کامل کریستال منجر شود اما از آنجاییکه روش مذکور نیازمند صرف میزان زیادی از انرژی لیزر، تعداد پالسهای بسیار بالا، کاهش طول عمر میکرولیزر و مصرف نیروی برق می باشد، استفاده از این روش به منظور برش کریستال از لحاظ اقتصادی به صرفه به نظر نمی‌رسد، بنابراین روش خراش و برش به شکل آورده شده در قسمت قبل به منظور برش کریستال Yb:YAG انتخاب گردید. تابش لیزر CO₂ بر هر سه میکروکانال با عمق‌های ۶۵، ۵۵μm و ۹۵، برش کامل کریستال را منتج شد. در شکل ۴ تصاویر لبه های برش خورده کریستال حاصل از میکروسکوپ الکترونی نشان

مرجع‌ها

pulses at 532 nm- The International Society for Optical Engineering 8968 · February 2014

[3] A. Kr. Dubey, V. Yadava, *Experimental study of Nd:YAG laser beam machining—An overview*, journal of materials processing technology 195 15–26, 2008

[4] L. Rihakova, H. Chmelickova, *Laser Micromachining of Glass, Silicon, and Ceramics*, Advances in Materials Science and Engineering, Article ID 584952, 2015.

[5] S. Nisar, *Laser glass cutting techniques—A review*, Journal of laser applications 25 (4), 2013.

[1] T. Mhalla, *Athermal micro-ablation of transparent materials by multiphoton absorption with an amplified Nd:Yag microchip laser generating green sub-nanosecond pulses*, Materials Science [condmat.mtrl-sci]. Université Grenoble Alpes, 2015

[2] T. Mhalla, *High resolution multiphoton ablation with negligible thermal effects in transparent materials using Q-switched microchip lasers with 300 picosecond*