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

میکروماشین‌کاری کریستال Yb:YAG به وسیله میکرولیزرکیوسویچ انفعالی Nd:YAG

المیرا حاجی‌نیا، 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 میکروماشین‌کاری کریستال Yb:YAG به وسیله میکرولیزرکیوسویچ انفعالی Nd:YAG با پهنای پالس ۴۵۰ps و انرژی µ۲۵۰j پرداخته شده است. پرتوی میکرولیزر با طول موج ۱۰۶۴nm پس از عبور از سیستم اپتیکی مناسب بر سطح کریستال درحال حرکت در نقطه کانونی تابیده می‌شود و ساختار میکروکانال براثر کندگی پلاسمایی ایجاد می‌گردد. بسته به تعداد رفت و برگشت پرتوی لیزر، عمق میکروکانالهابا یکدیگر متفاوت می‌باشد. در این گزارش همچنین به برش کریستال Yb:YAG با استفاده ازروش خراش و برش پرداخته شده است. بدین منظور میکروکانال ساخته شده با روش قبل، تحت تابش لیزر CO_2 قرار گرفت و برش کریستال با لبه هایی صاف و بدون ترک انجام شد.

کلیدواژه- کریستالYb:YAG، میکرولیزر Nd:YAG، میکروماشین‌کاری

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 Sience 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 mirochannels 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 CO_2 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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-03]

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

مقدمه

با پیشرفت تکنولوژی، میکروماشین‌کاری لیزری به عنوان روشی نوین و قدرتمند وارد عرصه صنعت گردید. امروزه پردازش مواد شفاف در صنایع مختلف بسیار مورد نیاز می‌باشد[۱]. میکروماشین‌کاری مواد شفاف اعم از سفت یا نرم، با استفاده از روشهای مکانیکی یا به علت اثرات فتوگرمایی لیزرهایی مانند CO_2 با مشکلاتی مواجه است. استفاده از لیزرهای حالت جامد پمپ شونده با دیود و پهنای پالسهای فمتوثانیه تا ساب‌نانوثانیه (محدوده‌ای مابین نانوثانیه و فمتوثانیه) در صنعت، به منظور میکروماشین‌کاری مواد شفاف، به سرعت رو به افزایش است. لیزرها با پهنای پالسهای فوق کوتاه ماده را از طریق کندگی نوری خارج می‌سازند، فرآیندی که مستقیماً از طریق شکستن باندهای اتمی به تولید پلاسما منجر می‌شود و انرژی جذب شده بدون تخریب گرمایی چندانی به همراه ماده خارج می‌شود. درمقابل در لیزرهای پیوسته یا لیزرهای با پهنای پالس بلند ماده از طریق جذب لیزری تا دمای تبخیر گرم می‌شود و یک منطقه متاثر از گرمااز خود به جا می‌گذارد (کندگی گرمایی). میکرولیزرها با پالسهای ساب نانوثانیه جایگزین مناسبی برای لیزرهای فمتوثانیه جهت میکروماشین‌کاری 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 می‌باشد. قابل پیش‌بینی است که میکروماشین‌کاری توسط میکرولیزر مذکور به علت قرارگیری آن در محدوده‌ایی مابین لیزرهای نانوثانیه و فمتوثانیه دارای مزایایی نسبت به هردو حالت می‌باشد زیرااز طرفی فاقد مشکلات زیاد ناشی از اثرات گرمایی موجود در لیزرهای نانوثانیه است و نیز نسبت به لیزرهای فمتوثانیه دارای هزینه فناوری بسیار کمتری می‌باشد [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 بسیارمورد 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 پرداخته‌ایم. در قسمت بعد برش لیزری کریستال مذکور مورد بررسی قرار گرفت. گزارشات زیادی در مورد برش لیزری توسط لیزرهای CO_2 و Nd:YAG وجود دارد. لیزر CO_2 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 CO_2 نشان داده اند زیرا لیزرهای پالسی توانهای قله بالاتری را تولید و درنتیجه ماده بیشتری تبخیر می‌کنند 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 می‌باشد [۵]. در پروژه حاضر نیز از شکل نوینی از این تکنیک جهت برش لیزری کریستال Yb:YAG استفاده شده است.

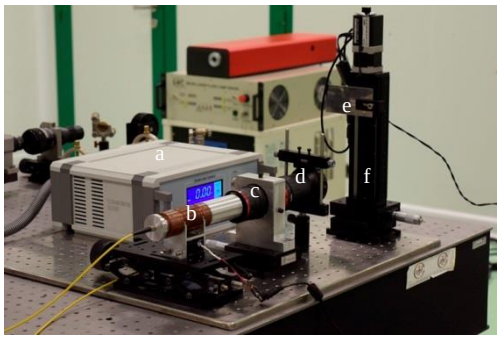
روش تجربی

چیدمان آزمایشگاهی مربوط به میکروماشین‌کاری Yb:YAG در شکل ۱ نشان داده شده است. سیستم مورد استفاده شامل یک میکرولیزرکیوسویچ 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 می‌شود. به منظور ایجاد میکروکانال، کریستال

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-03]

Yb:YAG با ضخامت ۳۰۰m µ، در راستای عمود بر محور پرتو با نرخ ۵۰µm/s اسکن می گردد.



شکل ۱: چیدمان آزمایشگاهی مربوط به میکروماشین‌کاری
a –Yb:YAG: لیزر پمپاژ دیودی b: میکرولیزر کیوسویچ انفعالی
c Nd:YAG: بیم اکسپندر d: لنز اف تتا 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 ۵۵µm، ۶۵ و ۹۵ ساخته شده با روش قبل، تحت تابش لیزر CO_2 پیوسته با طول موج ۱۰/۶µm و توان ۲W قرار داده شد و لبه‌های برش توسط میکروسکوپ الکترونی مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج

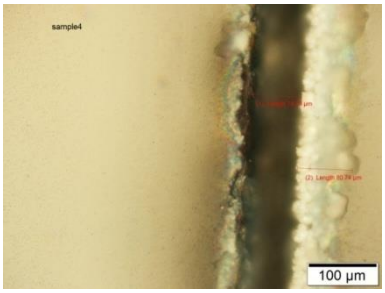
ایجاد میکروکانال بر سطح کریستال Yb:YAG

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.

جدول۱: عمق میکروکانال‌های ایجاد شده بر روی کریستال Yb:YAG برحسب تعدادرفت و برگشت پرتوی میکرولیزر Nd:YAG

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

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 می دهد.

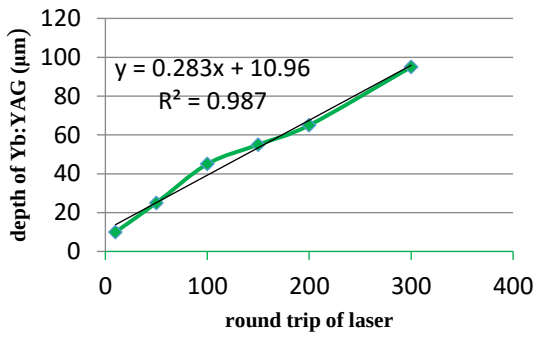


شکل ۲: تصویر میکروسکوپی از میکروکانال ایجاد شده از ۳۰۰ مرتبه رفت و برگشت پرتوی میکرولیزر کیوسویچ انفعالی Nd:YAG

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

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

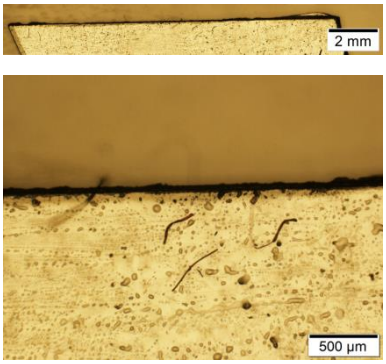
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-03]



شکل۳: نمودارتعدادرفت و برگشت پرتوی میکرولیزر بر روی کریستال برحسب 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 نمی رسد، بنابراین روش خراش و برش به شکل آورده شده در قسمت قبل به منظور برش کریستال Yb:YAG انتخاب گردید. تابش لیزر CO_2 بر هر سه میکروکانال با عمق‌های ۵۵µm، ۶۵ و ۹۵، برش کامل کریستال را منتج شد. در شکل ۴ تصاویر لبه های برش خورده کریستال حاصل از میکروسکوپ الکترونی نشان 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.



شکل۴: تصاویرمیکروسکپی الکترونی ازلبه های برشخورده کریستال Yb:YAG

نتیجه گیری

در این مقاله، میکروماشین‌کاری کریستال Yb:YAG توسط میکرولیزرکیوسویچ انفعالی پیکوثانیه Nd:YAG طراحی و ساخته شده در این مجموعه مورد بررسی قرار گرفت. میکروکانال‌هایی پیوسته با لبه هایی 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 CO_2 بر روی میکروکانال‌ها برش داده شد. تصویرنگاری میکروسکوپی، کیفیت بالای برش کریستال را تایید کرد.

مرجع‌ها

[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 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 1 9 5 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.

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-03]