

Optická kontrola kvality laserových krystalů

Eva Roiková <eva.roikova@tul.cz>, doc. RNDr. Miroslav Šulc, Ph.D.

Příspěvek pojednává o inovaci a aplikaci současně používaných metod optické kontroly kvality Nd: YAG laserových tyčí. Byla vytvořena počítačová vizualizace mechanického pnutí v laserových tyčích mezi zkříženými polarizátory. Dále bylo vytvořeno automatizované měření extinkčního poměru laserových tyčí. Z pořízených obrazů metodou vizualizace mechanického pnutí v laserových tyčích byly odlišeny dvě hlavní kategorie poruch – materiálové poruchy, vzniklé pěstováním laserového krystalu (praskliny, nehomogenita indexu lomu), a poruchy indukované opracováním pláště laserové tyče (broušením, leštěním, částečným broušením, poruchy na okraji laserové tyče). Cílem práce bylo inovovat dosavadně používané metody optické kontroly a zároveň se pokusit ověřit závislost mezi velikostí extinkčního poměru a indukovaným mechanickým pnutím v materiálu laserové tyče.

Klíčová slova: Laserový monokrystal, laserová tyč, Nd: YAG, extinkční poměr

Úvod

Yttrito-hlinitý granát dopovaný ionty Nd^{3+} (Nd: YAG) je jedním z nejrozšířenějších typů aktivního media, využívající se pro pevnolátkové lasery. Díky vzrůstající popularitě a aplikačním možnostem, začaly markantně růst požadavky na optickou kvalitu laserových monokrystalů. Aby však bylo dosaženo vysoké optické kvality nejen laserových monokrystalů, ale především také jednotlivých laserových tyčí, které se z krystalů vyrábějí, je každá jednotlivá tyč podrobena optické kontrole. Optická kvalita laserové tyče může být ovlivněna, jak poruchami v samotném materiálu monokrystalu, tak také následným opracováním. [1]

Extinkční poměr se používá k charakterizaci laserových tyčí, jelikož je schopný reflektovat vnitřní pnutí, případně další nedokonalosti materiálu, které mohou způsobovat dvojlom. Dvojlomný materiál může mít vliv na změnu polarizace záření.

Při měření extinkčního poměru (PER) je měřena intenzita monochromatického záření, po průchodu laserovou tyčí, která je umístěna mezi dvěma polarizátory. Nejprve je změřena intenzita záření I_{\parallel} , které bylo transmittováno laserovou tyčí mezi paralelními polarizátory, poté je jeden polarizátor otočen o 90° (tzn. polarizátory byly zkřížené) a je změřena intenzita I_{\perp} transmittovaného záření i pro tuto konfiguraci. [2]

$$PER = 10 \log_{10} \frac{I_{\parallel}}{I_{\perp}} [dB] \quad (1)$$

Z rovnice (1) vyplývá, že materiál s vyšší naměřenou intenzitou I_{\perp} bude mít nižší PER, tudíž tento

materiál nebude dokonale homogenní a bude více depolarizovat záření. [3]

Metodika

Kontrola homogenity laserové tyče je metoda využívající se k vizualizaci poruch a pnutí v materiálu. Laserová tyč je umístěna do polariskopu mezi zkříženými polarizátory, které jsou prosvíceny zdrojem bílého světla. Pomocí zvětšovací optiky lze přes okulár pozorovat interferenční barvy. Tyto barvy vznikají po průchodu polarizovaného světla laserovou tyčí, v jejímž materiálu se nacházejí poruchy, které indukují vznik dvojlomu.

Obrazy laserových tyčí byly převedeny do digitální podoby pomocí kamery Levenhuk M500 BASE, mezi zkříženými polarizátory byl přidán infračervený filtr, který zajistil filtraci rušivé složky záření a u výsledného obrazu bylo provedeno softwarové vyvážení barev.

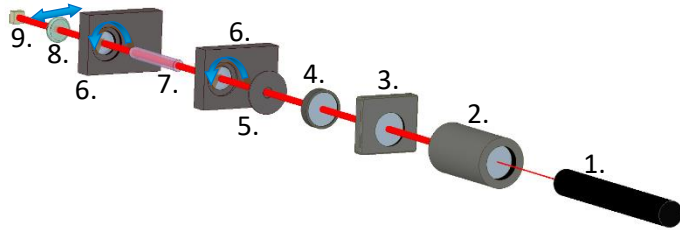
Aby bylo možno měření PER automatizovat a naměřená data zpracovat, byl použit měřicí systém s rychlou Fourierovou transformací (FFT). Měřicí systém (MFFT) amplitudově moduluje záření, které po průchodu optickou sestavou dopadne na fotodiodu, která je připojena k MFFT. Elektrický proud, který je generován fotodiodou je v MFFT zpracován pomocí FFT, čímž je pro modulační frekvenci vypočtena maximální amplituda intenzity záření. MFFT je připojen k počítači, který slouží k zobrazení výstupních naměřených hodnot.

V inovovaném uspořádání (Obrázek 1) byly polarizátory umístěny do rotačních motorů a laserová tyč zůstala statická. Aby se docílilo vyšší přesnosti měření, průměr laserového svazku byl promocí

expandéru roztažen tak, aby záření procházelo cca 80 % plochy apertury laserové tyče, nikoliv pouze jejím středem.

Pomocí rotačních motorů byly polarizátory (nejprve zkřížené, poté paralelní) synchronně otočeny o 180° s krokem 10°. Pro každou polohu byl vypočten PER, přičemž pro finální charakterizaci tyče byl vybrán PER s nejnižší hodnotou. Měřicí laserový svazek He-Ne laseru byl modulován externím elektro-optickým prvkem – shutterem z tekutých krystalů, který byl připojen k MFFT.

Pro ovládání rotačních motorů s polarizátory a vyčítání dat z MFFT byl vytvořen skript a grafické uživatelské rozhraní v programovacím jazyce Python 3.



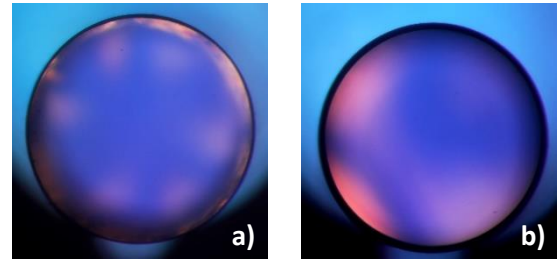
Obrázek 1: Schéma automatizované měřicí sestavy extinkčního poměru: 1. He-Ne laser, 2. expandér laserového svazku; 3. shutter, 4. čtvrt-vlnová destička, 5. irisová clona, 6. polarizátor umístěný v rotačním motoru, 7. laserová tyč, 8. filtr, 9. fotodioda

Výsledky a diskuse

U části laserových tyčí s opracovaným pláštěm (Obrázek 2a) byl pozorován radiální gradient dvojlomu. Z tohoto pozorování lze usuzovat, že kubická krystalová mřížka Nd: YAG krystalu může být působením vnějšího smykového mechanického napětí deformována, tím pádem se také deformuje i kulový tvar optické indikatrix do tvaru elipsoidu, což indukuje vznik dvojlomu. U většiny těchto případů ve středu laserové tyče nebyly pozorovány interferenční barvy, což naznačuje, že mechanické napětí bylo indukováno ve větší míře blíže obvodu pláště. To znamená, že krystalová mřížka ve středu laserové tyče nebyla opracováním ovlivněna, tudíž tvar optické indikatrix zde zůstal kulový a interferenční barvy zde nevznikaly.

Z pozorování laserových tyčí s materiálovou poruchou (Obrázek 2b) mezi zkříženými polarizátory lze usuzovat, že optická indikatrix v místě poruchy již nemá tvar koule, ale je deformována do tvaru elipsoidu. Odlišné velikosti indexu lomu pro ortogonální polarizace v různých místech laserové tyče (nehomogenní rozložení dvojlomu) způsobí vznik

interferenčních barev při pozorování v bílém světle mezi zkříženými polarizátory.



Obrázek 2: Interferenční barvy vzniklé mezi zkříženými polarizátory indukované dvojlomem materiálu laserové tyče a) Porucha indukovaná opracováním – laserová tyč s leštěným pláštěm; b) Materiálová porucha – „šlíra“ laserová tyč s nehomogenitou indexu lomu

Závěr

Díky digitalizaci metody vizualizace mechanického pnutí je možné pořizovat obrázky interferenčních barev indukovaných v laserových tyčích. Sledovaný soubor tyčí byl rozdělen vzhledem k typu poruchy a z pořízených obrazů byly vytvořeny tabulky obrazů jednotlivých poruch vzhledem k jejich závažnosti. Měřením extinkčního poměru bylo potvrzeno, že obrázky laserových tyčí s intenzivnějšími interferenčními barvami mají nižší hodnotu extinkčního poměru (v materiálu tyče je indukován větší dvojlom, a proto více depolarizuje záření).

Poděkování

Děkuji Crytur spol. s r. o., v jehož prostorách tato práce vznikla. Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2020.

Reference

- [1] KOECHNER, Walter. *Solid-state Laser Engineering*. 6th rev. and updated ed. New York, NY: Springer, 2006. Springer Series in Optical Sciences, 1. ISBN 978-0-387-29094-2.
- [2] LU, Jia-fang, H. YAGI, K. TAKAICHI, T. UEMATSU, J.-F. BISSON, Yan FENG, A. SHIRAKAWA, Ken-ichi UEDA, T. YANAGITANI a A.A. KAMINSKII. 110 W ceramic Nd³⁺: Y3Al5O12 laser. *Applied Physics B* [online]. 2004, **79**, 25–28. Dostupné z: doi:10.1007/s00340-004-1511-9
- [3] SUN, Zhe, Qitong CHENG, Yongling HUI, Menghua JIANG, Hong LEI a Qiang LI. Enhancing extinction ratio of polarization and pulse stability simultaneously from passively Q-switched [100]-Nd:YAG/[110]-Cr⁴⁺:YAG laser. *Optics Communications* [online]. 2015, **335**, 245–249. Dostupné z: doi:10.1016/j.optcom.2014.09.005