

文章编号: 1001-3806(2005)06-0649-03

## 应力双折射对 Nd:YVO<sub>4</sub> 激光输出功率的影响

吴 季<sup>1</sup>, 吴少凡<sup>2</sup>, 张 戈<sup>2</sup>

(1. 福建福晶科技有限公司, 福州 350002; 2. 中国科学院 福建物质结构研究所, 福州 350002)

**摘要:** 从研究目前热门的激光晶体 Nd:YVO<sub>4</sub> 应力双折射入手, 研究了其对激光非线性输出的影响。通过实验发现, 激光晶体的应力双折射虽然很小, 但是一定的应力双折射会导致激光的非线性输出。通过实验掌握了一套方法, 可挑选质量好的激光晶体, 以便获得稳定的激光输出。

**关键词:** 激光晶体; Nd:YVO<sub>4</sub>; 应力双折射; 非线性输出; 线性输出

**中图分类号:** O734 TN241 **文献标识码:** A

## The influence of stress birefringence on output power of Nd:YVO<sub>4</sub>

WU Ji<sup>1</sup>, WU Shaofan<sup>2</sup>, ZHANG Ge<sup>2</sup>

(1. Fujian CASTECH Crystals NC, Fuzhou 350002 China; 2. Fujian Institute of Matter Structure, the Chinese Academy of Sciences, Fuzhou 350002, China)

**Abstract** The stress of the Nd:YVO<sub>4</sub> and how it affecting the non-linear output of the laser is studied. Experimental results show that the stress birefringence of the crystal can affect the non-linear output of the laser though the stress is very little. How to select high quality laser crystal in order to get steady output is found.

**Key words** laser crystal; Nd:YVO<sub>4</sub>; stress birefringence; non-linear output; linear output

### 引 言

二极管抽运固体激光器 (diode pumped solid-state laser, DPSSL) 近年来得到了飞速发展。由于 Nd:YVO<sub>4</sub> 较大的发射截面以及高吸收系数, 使得研究人员对 Nd:YVO<sub>4</sub> 产生了越来越大的兴趣。科研人员对该类晶体关注重点放在了由其构成的各类激光器上<sup>[1-3]</sup>, 而对于该类晶体物理指标缺陷对激光输出功率的影响报道较少, 只是在部分文章中简要指出 Nd:YVO<sub>4</sub> 较低的热导系数以及生长缺陷<sup>[4,5]</sup>对激光输出功率有一定的影响, 但是并没有过多对其影响程度的研究。而且大部分提及到消光比、应力双折射、干涉条纹等激光晶体常见的几个重要指标<sup>[6-8]</sup>, 只是提及及相关测试方法, 并没有涉及其真正的影响程度。作者从研究当前热门的 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体着手, 分析影响激光输出功率的因素, 为激光晶体的选材提供了一种理论依据和简单、可行的挑选方法。

### 1 实验装置

图 1 是实验装置示意图。实验采用端面抽运方

作者简介: 吴 季 (1976-), 男, 助理工程师, 从事激光晶体、非线性晶体性能的检测。

Email: wayne\_w@163.com

收稿日期: 2004-09-01; 收到修改稿日期: 2004-10-08

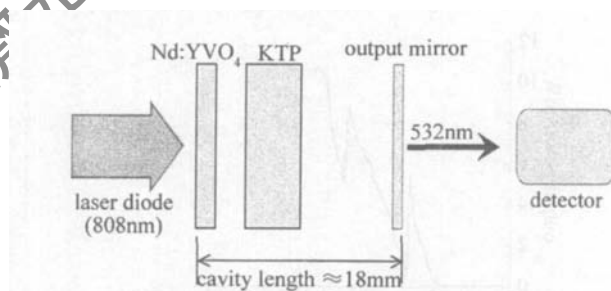


Fig 1 Sketch map of the experimental installation

式。二极管输出的 808nm 的激光经准直后聚焦到 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体上, Nd:YVO<sub>4</sub> 采用 *a*-cut 尺寸为 3mm × 3mm × 0.5mm, 摩尔分数为 0.5% 的晶体, 该晶体一面镀 1064nm/532nm 全反 808nm 高透的膜系, 另一面镀 1064nm/532nm 增透膜。KTP 采用尺寸为 3mm × 3mm × 5mm 满足 1063nm II 类匹配方向的晶体, 该晶体上两面均镀 1064nm/532nm 增透膜, 输出镜上镀 1064nm 高反 532nm 增透膜系。输出的 532nm 的绿色激光经衰减片后进入探测器。调节晶体以及二极管激光器使得 Nd:YVO<sub>4</sub> 的 *c* 轴与 LD 输出激光的偏振方向平行, 这样 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体可以更有效地吸收抽运光, KTP 晶体的光轴与 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体的 *c* 轴成 45° 角。

### 2 实验原理和方法

本实验主要目的在于研究不同激光晶体对激光输出的影响。因此, 在如图 1 所示的装置中, 在其它各项

参数均不变的情况下, 更换不同的 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体 (采用的 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体均为同一炉所镀, 膜层参数影响可以忽略), 然后通过调节不同的 LD 电流, 观察激光输出功率的变化情况。

### 3 结果与分析

采用两个不同的 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体, 固定的 KTP 分析后, 得到晶体 1 与晶体 2 的激光输出图, 分别对应图 2 和图 3 这是激光输出的两种典型情况, 即激光的线性输出和非线性输出情况。这里所指的线性输出是指随着 LD 电流的增加输出功率呈平稳上升, 而非线性输出指的是随着 LD 电流的增加输出功率忽高忽低。

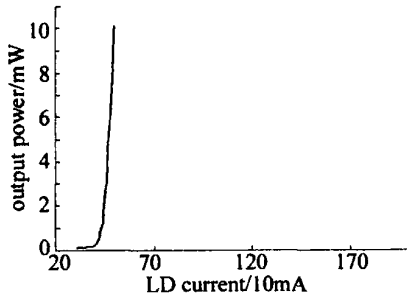


Fig 2 Linear laser output

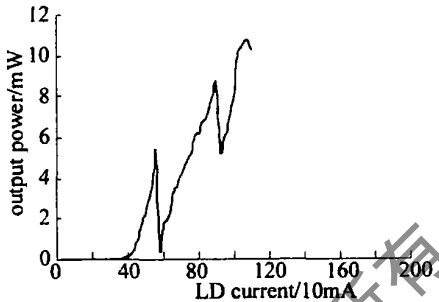


Fig 3 Non linear laser output

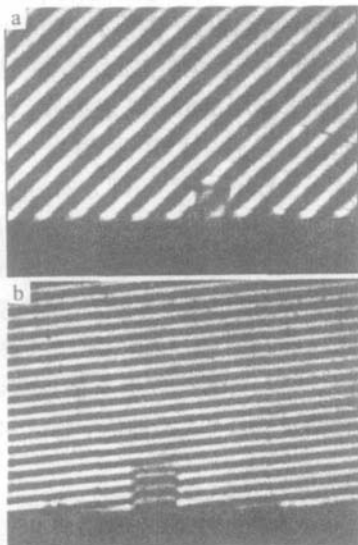


Fig 4 Inner homogenization  
a- crystal 1 b- crystal 2

线性输出现象, 先后观察晶体内部是否存在生长云层以及测试了晶体内部均匀性。观察生长云层是在透射显微镜下观察的, 通过观察没有发现晶体内部有生长云层。在 Zygo-GPI XP 系统下测试了晶体内部均匀性, 晶体 1 和晶体 2 的测试结果分别如图 4a 和图 4b 所示。

由图 4a 和图 4b 可见, 两片晶体条纹都很规则, 它们内部均匀性大体一致, 分别为  $3.25 \times 10^{-6}$ ,  $3.7 \times 10^{-6}$ 。并进一步实验了多片晶体, 结果大体相似, 并没能从干涉仪测量均匀性角度找出关键的影响因素。

为了进一步研究真正影响因素, 采用了如图 5 所

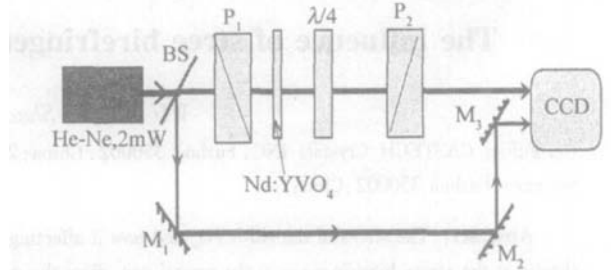


Fig 5 Sketch map of the experimental equipment used to study stress birefringence

示的实验装置, 该装置用于研究晶体的应力双折射测量<sup>[9]</sup>, 它的原理如下: 首先使起偏器和检偏器正交, 放入 1/4 波片, 使得它的快慢轴分别平行于起偏器和检偏器的透光轴。放入 Nd:YVO<sub>4</sub> 样品并绕激光束的光轴转动, 当检偏器后面的光斑消至最弱时, 再把样品同方向转动  $\pi/4$  角度, 使得样品的快慢轴分别与起、检偏器的偏振轴成  $\pi/4$  此时经过 1/4 波片的出射光为线偏光, 转动检偏器使光斑变暗或消失。设检偏器转过的角度为  $\alpha$ , 则可得到待测样品的应力双折射相位差  $\varphi = \alpha/2$ 。本实验中在检偏镜的后面加上一个 CCD, CCD 的作用在于探测参考光以及测试光光斑的变化

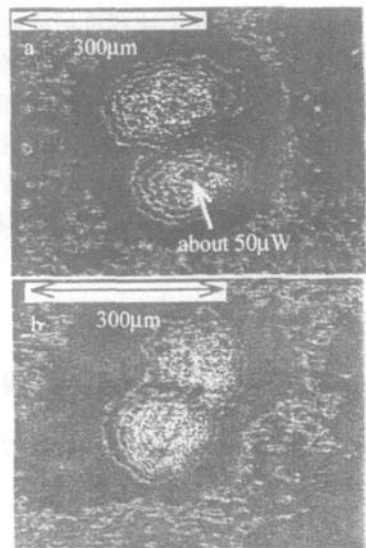


Fig 6 Homogeneous change of laser output  
a- linear b- non-linear

为了进一步研究是何种原因造成了激光晶体的非

情况。通过实验得到两个典型的图形,见图 6a和图 6b,它们分别对应着图 2和图 3输出情况下的 Nd:YVO<sub>4</sub>晶体。

如图 6a和图 6b所示,晶体 1在快消光的一瞬间光斑变化是均匀的,需要转动的消光角  $\phi$  也小,而晶体 2在快消光的一瞬间,光斑变化是不均匀的,出现了光斑畸变,所需转动的  $\phi$  角相对也稍大。 $\phi$  角大小实际上也反映了晶体内部消光比的大小<sup>[9]</sup>。通过计算,两个晶体的消光比分别为 38dB, 35dB, 虽然从消光比上可以区分出晶体的好坏,但之所以用应力双折射作为衡量晶体质量的关键指标,就在于用该方法可以清楚地用肉眼看到不良晶体的光斑情况,简单方便,便于生产中快速大量的检验,避免消光比测量装置的复杂以及烦杂计算的麻烦。由于应力双折射实际上反映的是晶体内部折射率的不均匀性,又由于双折射测量可以达到  $10^{-8}$  的精度<sup>[10]</sup>,因此,可以将材料内部的细小变化反映出来。

## 4 结 论

应力双折射测量的方法是挑选高质量晶体的有效方法,对于解决降低激光非线性输出有较大的作用。但需要注意的是,激光晶体内部应力双折射并不是引起激光非线性输出的唯一因素,其它如激光腔的设

计<sup>[11]</sup>、抽运光的稳定性、倍频晶体的选择都是非常关键的。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 王长青,沈德元,卢建仁 *et al*. 激光二极管泵浦的 1.34 $\mu$ m 及其腔内倍频红光 Nd:YVO<sub>4</sub> 激光器 [ J ]. 中国激光, 1997, 24(7): 579~580
- [ 2 ] AGNESIA, PENNACCHIO C, REALIG C *et al*. High power diode pumped Nd<sup>3+</sup>:YVO<sub>4</sub> laser [ J ]. Opt Lett 1997, 22(21): 1645~1647.
- [ 3 ] 华家宁. LD抽运 Nd:YVO<sub>4</sub>/KTP激光光强高频调制技术 [ J ]. 中国激光, 2002, 29(5): 389~392
- [ 4 ] CHEN Y H, XIONG Zh J, LI M G C *et al*. High efficiency Nd:YVO<sub>4</sub> laser end-pumped with a diode laser bar [ J ]. Proc SPIE, 1999, 3898 148~155.
- [ 5 ] ASUNDIA S, YUAN P X, CHEN Y H *et al*. Study of the thermal effects of diode end-pumped Nd:YVO<sub>4</sub> solid-state laser [ J ]. Proc SPIE, 1999, 3898 178~185
- [ 6 ] 林岳明,何慧娟. 单频运转的 Nd:YVO<sub>4</sub> 激光器 [ J ]. 光学学报, 1995, 15(3): 371~373.
- [ 7 ] 姚广涛. 激光晶体测试 [ J ]. 激光与红外, 1994, 24(4): 54~56
- [ 8 ] 张敬斌,李国华,赵明山. 消光比自动测量可行性研究 [ J ]. 光电子·激光, 1995, 6(6), 343~374
- [ 9 ] 刘训章,黎高平,杨照金 *et al*. 用单 1/4波片法测量晶体消光比的研究 [ J ]. 中国激光, 1999, 26(7): 599~601
- [ 10 ] 朱劲松,葛传珍,许自然 *et al*. 晶体物理研究方法 [ M ]. 南京:南京大学出版社, 1990. 214
- [ 11 ] 郭明秀,陆雨田. Nd:YVO<sub>4</sub>/KTP全固化倍频激光器的研究 [ J ]. 激光技术, 2003, 27(3): 236~239
- [ 17 ] 闫培光,李乙钢,张 炜 *et al*. 掺 Yb<sup>3+</sup> 双包层光子晶体光纤激光器的实验研究 [ J ]. 光电子·激光, 2004, 15(4): 413~415
- [ 18 ] CANNING J, GROOTHOFF N, BUCKLEY E *et al*. A fibre photonic crystal distributed Bragg reflector (PC-DBR) fibre laser [ J ]. Optics Express 2003, 11(17): 1995~2000.
- [ 19 ] 杜卫冲. IPC高功率光纤激光器 [ J ]. 激光与光电子学进展, 2002, 39(10): 36~40.
- [ 20 ] CHONG JH, RAO M K. Development of a system for laser splicing photonic crystal fiber [ J ]. Optics Express 2003, 11(12): 1365~1370
- [ 21 ] CHONG JH, RAO M K, ZHU Y N *et al*. An effective splicing method on photonic crystal fiber using CO<sub>2</sub> laser [ J ]. IEEE Photon Technol Lett 2003, 15(7): 942~944.
- [ 22 ] BOURLIAGUET B, PARÉ C, ÉMOND F *et al*. Microstructured fiber splicing [ J ]. Optics Express 2003, 11(25): 3412~3417.

(上接第 598 页)