

文章编号: 1001-3806(2013)02-0155-03

## 双端抽运腔内和频紫外激光器的实验研究

郑伯然 姚育成 黄楚云\*

(湖北工业大学 理学院, 武汉 430068)

摘要: 为了获得高功率全固态 355nm 紫外激光器, 采用平平腔结构, 通过 LD 双端抽运 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体, 在声光 Q 开关调制作用下产生 1064nm 脉冲基频光, 利用两块 LBO 晶体分别进行腔内倍频、和频产生 355nm 紫外激光。在 LD 抽运功率 54W、调制频率 40kHz 的条件下, 获得紫外的最高输出功率为 6.67W, 脉冲宽度为 20ns,  $M^2 = 1.1$ 。结果表明, 腔内和频可得到高效率、高光束质量的紫外激光输出。

关键词: 激光器; 紫外激光; LBO; 腔内和频

中图分类号: TN248.1 文献标识码: A doi: 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2013.02.005

### Experiment of double-end-pumped intra-cavity triple frequency ultraviolet laser

ZHENG Bo-ran, YAO Yu-cheng, HUANG Chu-yun

(School of Physics, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

Abstract: In order to get a high power and solid-state UV laser, based on a plane-plane cavity, with laser diode double-end pumping Nd:YVO<sub>4</sub> crystal, fundamental pulse at 1064nm was output under modulation of an acousto-optic Q-switch. Then the laser at 355nm was generated by the second harmonic generation and the third harmonic generation with two LBO crystals. Under the pump power of 54W, 6.67W, average output power at 355nm was obtained at 40kHz with the pulse width of 20ns and  $M^2 = 1.1$ . The results show that the design of intra-cavity third harmonic generation lasers can give high conversion efficiency and good beam quality.

Key words: lasers; ultraviolet laser; LBO; intra-cavity triple frequency

### 引 言

LD 双端抽运紫外激光器即继承了 LD 端抽运效率高、光束质量好、结构紧凑和寿命长等优点,也具有紫外激光器波长短、衍射效应小、分辨率高、单光子能量大等特色,在军事、科研、工业和农业等领域获得了广泛的应用。随着性能优良的紫外非线性光学晶体和镀膜技术的提高,以及在改善激光器的光学模式和谐振腔的优化设计上的重大成就,使得紫外激光器在功率、效率、稳定性和光束质量上都有了长足的进步<sup>[1-2]</sup>。到目前为止,大部分涉及 355nm 光的研究成果主要集中在 3 次谐波这种方法上<sup>[3-5]</sup>,谐波产生有两种常用的方法:腔内和腔外。对于腔外,它是产生高功率、高输出质量紫外光的有效方法<sup>[6-8]</sup>,但腔外频率转化效率(1064nm 到 355nm)不高;对于高斯光束,从 1064nm

到 355nm 最大转化效率一般小于 40%<sup>[9]</sup>。而腔内三倍频同样是在固体激光器中产生 3 次谐波输出的一种十分有效的方法,它能产生非常高的峰值功率,相对于腔外的方法,它的转化效率可能会有大幅度的增加,其激光的强度是腔外倍频的几十倍<sup>[10]</sup>。本文中采用 LD 双端面抽运声光 Q 开关调制,通过 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体产生基频光,腔内分别利用 LBO 作为二倍频和三倍频晶体,实现高重复频率 355nm 紫外激光输出。

### 1 实验原理及装置

激光器实验装置如图 1 所示,采用双端抽运半导体激光抽运增益晶体 Nd:YVO<sub>4</sub>,通过声光调 Q 调制产生高频脉冲 1064nm 基频光;基频光通过第 1 块

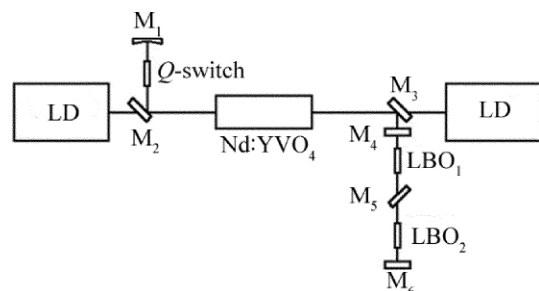


Fig. 1 Setup of 355nm UV laser

基金项目: 湖北工业大学科研启动基金资助项目 (32700333); 武汉市科技攻关计划资助项目 (200910321104)

作者简介: 郑伯然 (1987-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为紫外激光器。

\* 通讯联系人。E-mail: chuyun.h@163.com

收稿日期: 2012-06-11; 收到修改稿日期: 2012-06-25

非线性晶体 LBO 产生 532nm 波长的倍频光,基频光和倍频光通过第 2 块非线性晶体 LBO 产生 355nm 波长的三倍频光,355nm 紫外激光从倾斜反射镜  $M_5$  射出。

LD 抽运源采用的是光纤输出半导体激光,输出波长为 808nm,光纤的芯径为  $400\mu\text{m}$ 。抽运光经过聚焦准直系统耦合后,从端面发射到激光晶体上。实验中采用 Nd:YVO<sub>4</sub> 为激光晶体,尺寸为  $3\text{mm} \times 3\text{mm} \times 8\text{mm}$ ,掺杂质量分数为 0.005,双面镀 808nm 和 1064nm 增透膜,Nd:YVO<sub>4</sub> 具有吸收截面大、阈值低和吸收带宽等优点<sup>[11]</sup>。激光晶体由铟铂紧紧包裹放置在紫铜冷却块中。采用平平腔结构,全反镜  $M_1$  镀 1064nm 波长高反膜, $M_6$  则镀 1064nm/532nm/355nm 波长高反膜,实现基频光振荡;折反镜  $M_2$  和  $M_3$  双面 808nm 波长增透,单面 1064nm 波长高反;谐波反射镜  $M_4$  双面 1064nm 波长增透,单面 532nm 波长高反, $M_5$  则双面 1064nm/532nm 波长增透,单面 355nm 高反,将紫外光反射输出。 $Q$  开关为英国古奇·休斯古公司生产的声光调  $Q$  开关。

实验中采用两块由福晶科技有限公司提供的 LBO 晶体作为二倍频和三倍频晶体,LBO 晶体是负双轴晶体,可通过非临界相位匹配消除走离效应。实验中二倍频和三倍频晶体分别采用 I 类温度相位匹配 ( $\theta = 90^\circ, \varphi = 0^\circ$ ) 和 II 类角度相位匹配 ( $\theta = 44.6^\circ, \varphi = 90^\circ$ ),谐振腔内的激光束在两块 LBO 晶体中的偏振匹配如图 2 所示。晶体两端面镀有 1064nm/532nm/355nm 波长增透膜。两块 LBO 通过水冷机进行温度控制,控制精度为  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。

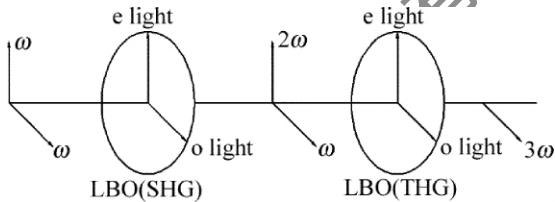


Fig.2 Schematic of polarization states of the second harmonic generation (SHG) and third harmonic generation (THG) for laser beams in two LBO crystals

## 2 实验结果及分析

按图 1 所示的谐振腔结构,去掉倍频、和频晶体,进行了 1064nm 基频光实验。实验中得到连续和调  $Q$  频率为 40kHz 情况下的 1064nm 激光输出功率,如图 3 所示。

在 LD 抽运功率为 2W 时,激光开始输出。基频光功率随着抽运功率的增大而增大,在抽运 LD 抽运功率为 50W 时,由于热效应的影响,谐振腔由稳定腔过渡到非稳腔,晶体转化效率变低,功率出现明显下降。当 LD 抽运功率为 56W、冷却水温在  $23.3^\circ\text{C}$  时,得到

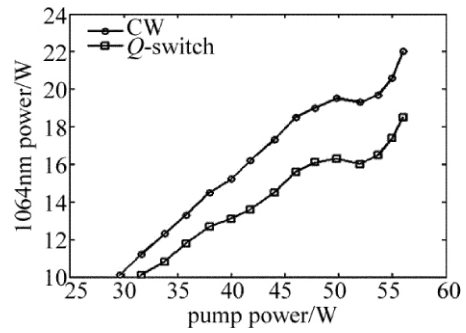


Fig.3 CW and Q-switch average pump power of the 1064nm laser  
1064nm 基频光 23W。在重复频率为 40kHz、LD 抽运功率和冷却温度相同的情况下,得到脉冲 1064nm 基频光平均功率为 19.2W。

按图 1 所示的谐振腔结构进行了 355nm 紫外激光实验。实验中得到调  $Q$  频率为 40kHz 情况下 355nm 紫外激光输出功率,如图 4 所示。

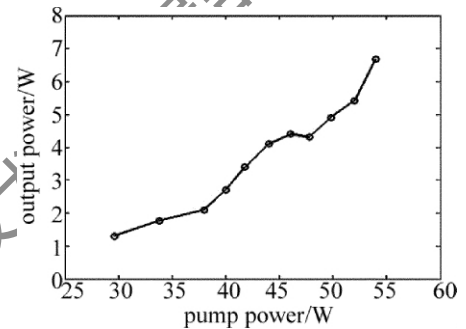


Fig.4 Power of 355nm laser of 40kHz pulse

在 LD 抽运功率为 4.2W 时,355nm 紫外激光开始输出。跟基频光的情况相近,LD 抽运功率为 46W 时,输出功率产生较大的跳动。当 LD 抽运功率为 54W 时,355nm 紫外激光最大输出平均功率 6.67W,紫外激光器效率达到 12.4%。采用光束质量分析仪,测量不同位置光斑能量分布(图 5 为一光斑的能量分布),计算得到  $M^2 = 1.1$ 。

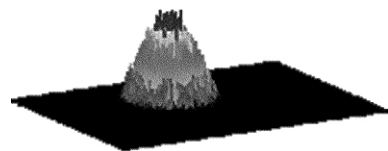


Fig.5 Laser energy distribution

实验中用波形探测器测量了紫外激光输出的脉冲特性,脉冲波形图如图 6 所示。激光脉冲宽度为 20ns。

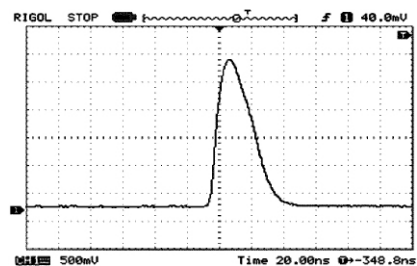


Fig.6 Pulse wave of laser with repetition rate of 40kHz

### 3 小 结

实验研究了 LD 双端面抽运 Nd:YVO<sub>4</sub> 腔内 LBO 倍频、和频 355nm 紫外激光器。在腔型不变的情况下分别进行了 1064nm 基频光输出和 355nm 紫外激光输出实验。从实验结果可以看出,双端抽运激光器因抽运能量高使激光晶体产生较强的热透镜效应,特别在谐振腔较长(腔内倍频、和频结构考虑)的情况下,对激光振荡产生很强的影响,功率输出曲线具有明显的稳定性拐点,尤其是 355nm 紫外激光输出曲线有明显跳动。这些需要在激光器谐振腔设计时应充分考虑。在声光调 Q 频率为 40kHz、抽运光功率 54W 时,355nm 紫外激光输出功率最大为 6.67W,紫外激光器效率达到 12.4%,激光脉宽为 20ns。LD 双端面抽运、腔内 LBO 倍频、和频 355nm 紫外激光器可实现高效率、高功率的基模 355nm 紫外激光输出,适合微加工领域的应用。

#### 参 考 文 献

- [1] LIU Q, YAN X P, CHEN H L *et al.* New progress in high-power all-solid-state ultraviolet laser [J]. Chinese Journal of Lasers, 2010, 37(9): 2289-2297 (in Chinese).
- [2] CHENG D Z, GUO H G, QING G B *et al.* LD pumped 355nm quasi-CW ultraviolet laser [J]. Laser Technology, 2005, 29(5): 514-515 (in Chinese).
- [3] KITANO H, MATSUI T, USHIYAMA N *et al.* Efficient 355nm generation in CsB<sub>3</sub>O<sub>5</sub> crystal [J]. Optics Letters, 2003, 28(4): 263-265.
- [4] WANG C X, WANG G Y, HICKS A V *et al.* High power Q-switched TEM<sub>00</sub> mode diode-pumped solid state lasers with >30W output power at 355nm [J]. Proceedings of SPIE, 2006, 6100: 610019.
- [5] YAN X P, LIU Q, GONG M *et al.* Over 8W high peak power UV laser with a high power Q-switched Nd:YVO<sub>4</sub> oscillator and the compact extra-cavity sum frequency mixing [J]. Laser Physics Letters, 2009, 6(2): 93-97.
- [6] RAJESH D, YOSHIMURA M, EIRO T *et al.* UV laser-induced damage tolerance measurements CsB<sub>3</sub>O<sub>5</sub> crystals and its application for UV light generation [J]. Optical Materials, 2008, 31(2): 461-463.
- [7] KOJIMA T, KONNO S, FUJIKAWA S *et al.* High-brightness 138W green laser based on an intracavity-frequency-doubled diode-side-pumped Q-switched Nd:YAG laser [J]. Optics Letters, 2000, 25(2): 105-107.
- [8] WU Y C, CHANG F, FU P Z *et al.* High-average-power third harmonic generation at 355nm with CsB<sub>3</sub>O<sub>5</sub> crystal [J]. Chinese Physics Letters, 2005, 22(6): 1426-1427.
- [9] LI B, YAO J Q, DING X *et al.* High efficiency generation of 355nm radiation by extra-cavity frequency conversion [J]. Optics Communication, 2010, 283(15): 3497-3498.
- [10] ZHANG B T, HUANG H T, YANG J F *et al.* Generation of 7.8W at 355nm from an efficient and compact intracavity frequency-tripled Nd:YAG laser [J]. Optics Communication, 2010, 283(11): 2369-2370.
- [11] KOECHER W. Solid-state laser engineering [M]. Beijing: Science Press, 2002: 54-56 (in Chinese).

版权所有 ©

《激光技术》编辑部