

## 高效腔内色散调 Q Nd:YAG 紫外激光器

张晶<sup>1,2,3\*</sup>, 樊仲维<sup>3,4</sup>, 亓岩<sup>4</sup>, 毕勇<sup>4</sup>, 石朝辉<sup>1,2,3</sup>, 张瑛<sup>3</sup>, 裴博<sup>3,4</sup>, 赵剑波<sup>3</sup>

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100081; 3. 北京国科世纪激光技术有限公司, 北京 100085; 4. 中国科学院光电研究院, 北京 100080)

**摘要:**采用避免激光器不稳定的色散调 Q YAG 激光谐振腔设计, 用 I 类非临界相位匹配 LBO 晶体, 在腔内产生二次谐波, 产生的 532 nm 与腔内 1064 nm 在腔内经过 II 类临界相位匹配 LBO 晶体产生 355 nm 的紫外激光。为了提高谐波转化效率, 分别在腔内插入了  $\lambda/4$  波片、偏振片, 得到在泵浦抽运光功率约为 120 W 时输出 2.5 W 的 355 nm 紫外激光, 功率稳定性 RMS 在 3 h 内小于 0.8%。

**关键词:**色散; 棱镜; 紫外激光; 激光技术

**中图分类号:** TN248.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-0086(2006)12-1474-03

### Efficient Intracavity Dispersion Q CW Nd:YAG UV Laser

ZHANG Jing<sup>1,2,3\*</sup>, FAN Zhong-wei<sup>3,4</sup>, QI Yan<sup>4</sup>, BI Yong<sup>4</sup>, SHI Zhao-hui<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Ying<sup>3</sup>, PEI Bo<sup>3,4</sup>, ZHAO Jian-bo<sup>3</sup>

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Changchun 100033, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100081, China; 3. Beijing GK Laser Technology Co. Ltd, Beijing 100085, China; 4. The Chinese Academy of Sciences Opto-Electronic Group, Beijing 100080, China)

**Abstract:** A new kind of dispersion resonant cavity is adopted in the Q CW YAG laser to avoid the instability of laser. The second harmonics is produced through type I non-critical phase matching of LBO in the resonant cavity, and then 532 nm and 1064 nm in the cavity are mixed in the type II critical phase matching of LBO to produce 355 nm laser output. To improve the conversion efficiency of harmonic wave, we insert a  $\lambda/4$  wave plate and a polarizing disc in the resonant cavity. As a result, we get approximately 2.5 W 355 nm UV output under the condition of 120 W pumping power, and the power reliability (3 hours) RMS is less than 0.8%.

**Key words:** dispersion; prism; UV laser; laser technology

## 1 引言

紫外相干光源近年成为研究的热点之一<sup>[1]</sup>。Nd:YAG 类型的光源是目前最有前途的紫外光源, 因为 LD 泵浦的全固态 Nd:YAG 的三、四和五倍频紫外光源具有效率高、高重复率、性能可靠、小型化、好的光束质量及高的功率稳定性等特点, 因此研究

LD 泵浦的紫外光固体激光器具有非常重要的意义。

传统激光技术通常利用腔镜和晶体的镀膜来获得所需要谱线的起振, 当需要获得激光腔内多条谱线同时振荡时, 需要在谐振腔镜和晶体上同时对多条谱线进行镀膜, 而且对于不同的波长, 镀膜的要求不相同。有些情况下, 多谱线激光的波长非常接近, 在镀膜上很难将其分开, 对腔镜和晶体的镀膜技术提出了

很高的要求。更重要的是,一般情况下多谱线镀膜膜层厚度较厚,膜层质量和抗损伤阈值较低,即使技术上实现了多谱线光学膜镀制,但在实际使用却无法满足大功率激光装置要求。

本文装置克服了原有技术难于镀膜的缺点,并且结构简单,功率可达几 W 或更高,实现高效、大功率的色散混频激光输出。

## 2 理论分析

三次谐波的产生分为 2 个步骤,它涉及 2 个谐波发生器。在第 1 个晶体(二倍频晶体)中,部分基波辐射转换为二次谐波;在第 2 个晶体(三倍频晶体)中,未转换的基波辐射与二次谐波混合在一起,共同产生三次谐波, $\omega_3 = \omega_1 + \omega_2$ 。对于三倍频,有  $\omega_2 = 2\omega_1$ 、 $\omega_3 = 2\omega_1$ ,参量  $M = P_{2\omega} / (P_{2\omega} + P_{\omega})$ 。如果以  $\omega$  和  $2\omega$  输入的光子匹配为 1:1,在理论上,输入光束都能转换为三次谐波<sup>[2]</sup>。根据理论计算,I 类(二倍频晶体)+II 类(三倍频晶体)组合时, $M = 0.67$ ;II 类(二倍频晶体)+II 类(三倍频晶体)组合时, $M = 0.41$ ;II 类(二倍频晶体)+I 类(三倍频晶体)组合时, $M = 0.41$ 。根据最佳匹配方案,选择 I 类(二倍频晶体)+II 类(三倍频晶体)组合。

考虑到激光谐振腔内的功率密度较高,采用腔内倍频及和频可以提高紫外谐波转化效率。但是由于腔内密度较高,对晶体的损伤阈值要求极高,采用在紫外透光性好、光学损伤阈值较高和非线性光学系数适中的 LBO<sup>[3]</sup> 晶体。在进行腔型设计时,尽量增大在晶体上的光斑,保证紫外激光可以稳定运转。

考虑到镀膜在紫外方面的困难,采用了高效的色散腔型设计,腔内的棱镜除作为腔内的主要起振元件外,还作为分光棱镜,避免了由于腔膜的原因引起的激光器不稳定。

## 3 实验装置

实验装置如图 1 所示。抽运源包括 1 个激光头,由 3 列互呈 120° 放置的连续 LD 线阵侧面抽运 Nd:YAG 晶体棒组成,晶体棒尺寸为  $\Phi 3\text{mm} \times 63\text{mm}$ ,Nd<sup>+</sup> 质量分数为 0.6%,振荡腔内使用声光调制器产生调 Q 输出。谐振腔镜 M1 选用平镜镀 1064 nm 高反膜,谐振腔镜 M2 选用平凹镜镀 1064 nm、532 nm 高反膜;非线性光学晶体 1 选用  $4 \times 4 \times 15$  切割角为  $\theta = 46.9^\circ$ 、 $\Phi = 90^\circ$  的 LBO 晶体,非线性光学晶体 2 选用  $5 \times 5 \times 25$  切割角为  $\theta = 90^\circ$ 、 $\Phi = 0^\circ$  的 LBO 晶体;色散棱镜选用顶角为 69° 的棱镜,按 1064 nm 光的布氏

角放置在激光晶体与非线性光学晶体 1 间;Q 开关选用声光 Q 开关,放在谐振腔镜 M1 和激光晶体间。调节 M1 和 M2 使 Nd:YAG 1064 nm 的荧光起振,调节非线性光学晶体 2 使 1064 nm 激光产生 532 nm 倍频光,并使倍频光产生振荡,调节非线性光学晶体 1 使 1064 nm 和 532 nm 激光产生和频,则在布氏角色散耦合棱镜处可测得输出 355 nm 的准连续紫外激光。

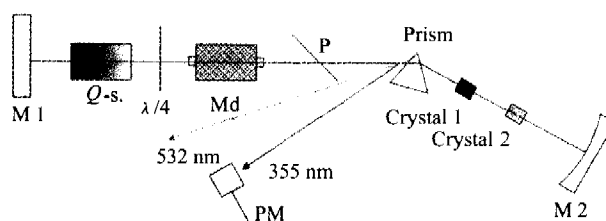


图 1 实验装置图

Fig. 1 The sketch map of experimental setting

## 4 实验结果与分析

### 4.1 基频和绿光振荡的激光器

设计较长的平凹型腔<sup>[4]</sup>,如图 2 示,可以把激光谐振腔内的基模体积做到很大,基频的光束质量可以很好,可以提高谐波转换效率。实验中,分别用  $T = 20\%$  的 1064 nm 输出镜和  $0^\circ\text{HR}@1064\&\text{HT}@532$  nm 的绿光输出镜替代谐振腔镜 M1,分别测量该谐振腔 1064 nm 和 532 nm 激光的功率输出,如图 3 所示。测量采用中国计量院校准的 LP-20A 型功率计。

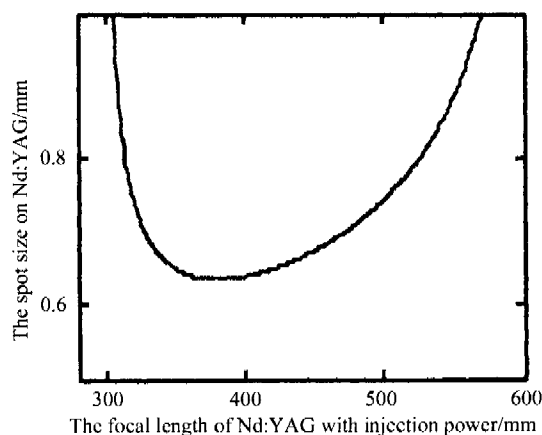


图 2 平凹谐振腔中,Nd:YAG 上的光斑半径随抽运功率的变化

Fig. 2 The spot radius on Nd:YAG varies with injection power in the flat-concave resonant cavity

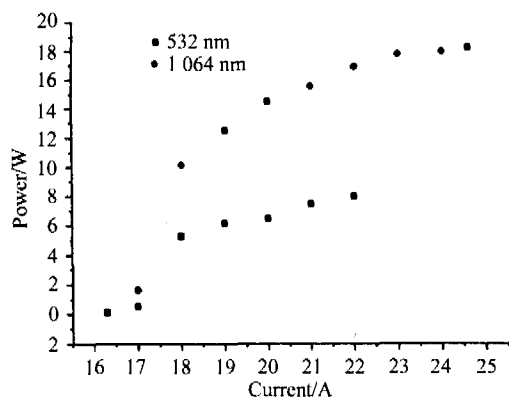


图3 调Q基频和调Q绿光输出I-P曲线图

Fig. 3 The I-P curve of Q CW 1064 nm and 532 nm

#### 4.2 色散紫外激光器

自由运转情况下,测得紫外激光器输出功率曲线如图4所示。紫外激光器的阈值在16.3 A左右。随着抽运光功率加大,紫外激光输出功率逐渐变大,光光转换效率提高。当抽运光的功率增加到120 W时,获得了最大2.5 W的输出。

继续提高抽运光功率,紫外激光输出趋于不稳定并且急剧下降。主要原因是当抽运光功率比较大时,LBO晶体热透镜效应严重,紫外激光器的谐振腔进入了稳区的边缘<sup>[5-7]</sup>。

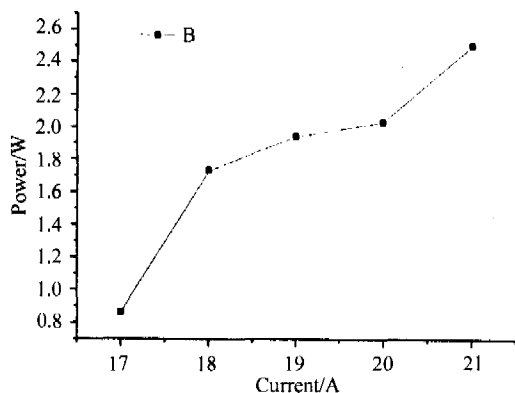


图4 紫外激光器的输出功率与抽运光电流变化关系

Fig. 4 The output power of UV varies with injection power

### 5 结论

采用独特的色散腔型设计,用棱镜作为腔内折转

光路元器件,同时也作为分光仪器,避免了镀膜上的困难,保证了谐振腔的工作稳定性。采用腔内倍频产生绿光、腔内和频产生紫外激光的方式,获得了在抽运光为120 W时最大2.5 W的紫外输出,且功率稳定性RMS在3 h内小于0.8%。

由于实验条件限制,所使用的棱镜表面抛光未镀膜系,如果将棱镜表面镀1064 nm高透膜系,将会大大提高紫外激光输出功率;若将棱镜处输出的绿光再经镜片折转到光路中进行双共振,也会大大提高紫外输出功率。

#### 参考文献:

- [1] NING Ji-ping, CHEN Zhi-qiang, ZHAN Yang-qin, et al. Study on the all solid-state Q CW Nd:YAG laser [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser* (光电子·激光), 2002, 13(8): 777-780. (in Chinese)
- [2] Koechner W. *Solid-State Laser Engineering* [M]. Beijing: Science Press, 1999. 367-375. (in Chinese)
- [3] WANG Yun, FAN Xiu-wei, PENG Qian-qian, et al. LD pumped Nd:GdVO<sub>4</sub> crystal ultraviolet laser with LBO frequency tripling [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser* (光电子·激光), 2005, 16(5): 550-553. (in Chinese)
- [4] LI Qiang, WANG Zhi-min, WANG Zhi-yong, et al. A novel method for measuring thermal lens focal length of a CW high power Nd:YAG laser [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser* (光电子·激光), 2004, 15(3): 263-266. (in Chinese)
- [5] CHEN Yu-qing, WANG Jing-huan. *Laser Principle* [M]. Zhejiang, Hangzhou University Press, 2002. 200-216. (in Chinese)
- [6] WU Yi-cheng, CHANG Feng, FU Pei-zhen, et al. High-average-power third harmonic generation at 355 nm with C<sub>6</sub>B<sub>3</sub>O<sub>5</sub> crystal [J]. *Chin Phys Lett*, 2005, 22(6): 1426-1428.
- [7] ZHANG Shao-jun, DONG Sheng-ming, LI Fu-jun, et al. Efficient third-harmonic-generation of 1064 nm laser with BiB<sub>3</sub>O<sub>6</sub> crystal [J]. *Chinese Journal of Laser* (中国激光), 2004, 30(12): 1087-1089. (in Chinese)

#### 作者简介:

张晶 (1981-), 女, 博士研究生, 从事固体激光器的研究。