

· 光电子器件和系统 ·

LD 纵向泵浦腔内倍频低噪声蓝光激光器的研究<sup>\*</sup>

高兰兰, 檀慧明, 陈颖新

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022)

**摘要:** 在LD 泵浦Nd:YAG 腔内倍频全固体蓝光激光器中采用两个倍频晶体和偏振片技术, 通过谐振腔的模式竞争和偏振片的选择性损耗成功地抑制激光器中模式之间的耦合和同一频率中 $s$ 、 $p$  偏振分量之间的耦合, 使激光器实现稳定的低噪声功率输出。LD 纵向泵浦Nd:YAG/LBO/LBO/BP 腔内倍频激光器产生波长为473 nm 稳定的低噪声蓝光激光输出, 最大输出功率达到为2.14 mW。信噪比为18.79 dB。实验结果与理论相符合。

**关键词:** LD 端泵浦; 双倍频; 低噪声; 蓝光

**中图分类号:** TN 248.4    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1005-0086(2003)03-0221-04

## Investigation on LD-pumped Intracavity Frequency-doubled Low-noise Blue Lasers with Two LBO Crystals and Polarized Plate

GAO Lan-lan, TAN Huiming, CHEN Yingxin

(Changchun Institute of Optics Fine Mechanics and Physics, Changchun 130022, China)

**Abstract** In LD pumped intracavity frequency-doubled blue laser, low-noise stable output could be realized by using two identically crossed placed doubler and one Polarized plate which could successively eliminate the coupling between different modes and the  $s$ -components and the  $p$ -components through the mode competing and the selective loss. The stable output at 473 nm from the laser with Nd:YAG/LBO/LBO/BP which was end-pumped by a 2 W LD is up to 2.14 mW. The SNR is 18.79 dB. The experiment is coincident with the theory.

**Key words:** LD-end-pumped; two doubling crystals; low noise; blue laser

## 1 引言

激光晶体材料领域的发展, 推动了LD 泵浦的全固体激光技术的迅速发展。采用Nd:YAG 或Nd:YVO<sub>4</sub> 作为激光晶体材料, 利用腔内倍频技术得到蓝色激光输出的全固体蓝色激光技术也得到了很大的发展<sup>[1~3]</sup>。由于蓝色激光谱线属于准三能级系统之间的跃迁, 受激辐射面积小, 损耗大, 激光阈值高, 许多传统的抑制噪声的方法, 如1/4 波片, 标准具和双折射滤波片<sup>[4]</sup>等, 由于温控调节精度要求高(0.01 °)<sup>[5,6]</sup>, 调节难度大, 引入损耗大等特点, 不适合应用于蓝光激光器。利用双倍频晶体成90°放置来抑

制噪声<sup>[7]</sup>的方法, 要求两个倍频晶体的外部尺寸和内部性质完全相同, 用此方法来抑制噪声在实际应用中受到很大限制, 而且此方法忽略了基频光的不同偏振态之间的耦合。尤其是LD 泵浦的Nd:YAG 蓝光激光器, 由于Nd:YAG 晶体具有各向同性, 基频光的各个偏振方向的光强几乎相同, 在自由振荡的谐振腔中必然存在同一频率不同偏振态之间的耦合造成功率输出的不稳定性。本文在谐振腔中放置一个偏振片, 利用偏振片对 $s$  偏振光损耗较大的原理抑制 $s$  偏振光在谐振腔中的振荡, 使基频光成为线偏振光, 并调节偏振片的方位使 $p$  偏振方向与倍频时需要的基频光的偏振方向一致, 这样既保证了基频光的最高利用

\* 收稿日期: 2002-05-20 修订日期: 2002-10-14

\* 基金项目: 国家自然科学基金(69678016)和国家“863”计划(863-307-22-51)资助项目

效率又确保了基频光偏振状态的稳定性,从而保证了激光器功率输出的稳定性。我们利用两个倍频晶体加偏振片技术,在LD泵浦的Nd:YAG/LBO腔内倍频的蓝色激光器中得到了信噪比为18.79 dB的蓝色激光输出。

## 2 实验结果与分析

实验装置如图1所示。其中国产激光二极管LD最大输出功率为2 W,中心波长为808 nm;Nd:YAG晶体厚度为1.5 mm,掺杂浓度1%,Nd:YAG晶体的一个端面和输出镜构成平凹腔结构,其中,Nd:YAG晶体的输入端面镀808 nm增透和946 nm高反膜,另一端镀946 nm增透膜;输出镜的镀膜要求为946 nm高反和473 nm增透。

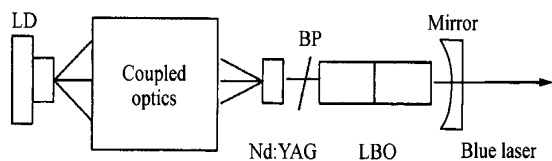


图1 473 nm蓝色低噪声激光器的平凹腔结构示意图

Fig 1 Schematic of plane-curved cavity of the 473 nm low-noise blue laser

在946 nm处可以实现倍频的晶体有LBO, BBO, 和KN等,我们选择的是LBO晶体。BBO的有效非线性系数比LBO高,但走离角大,严重影响了光束质量也限制了较大尺寸BBO的使用。KN晶体的有效非线性系数最大,在实验中经常被采用,但它的相位匹配容许范围窄,在作为工业产品开发时,使用稳定的光源,或稳定制作上有一定的难度,而且,由于KN晶体容易形成90°分叉(晶畴),随之会产生一定的光损耗,因此,在装入谐振腔里时,存在振荡强度不高的问题。对于LBO晶体,虽然它的有效非线性系数比KN晶体的有效非线性系数小,但其相位匹配容许范围宽,损耗也小,因此,从总的性能指数角度考虑,LBO晶体的有效非线性系数并不比KN晶体的有效非线性系数小。而且,LBO的成本比KN低,因此我们的实验选择了LBO晶体。两块LBO晶体尺寸均为2 mm × 2 mm × 5 mm, I类位相匹配切割。

图2为谐振腔中放1个倍频晶体和1个偏振片时在具有存储功能的示波器上测得倍频光的输出结果。它的SNR(信噪比)只有4.65 dB,激光器的噪声

很大。这说明在谐振腔中单独放置一个偏振片时,它可以抑制s偏振光的振荡,但是不同模式之间的p偏振光仍然存在耦合,而且,由于谐振腔的温度控制精度比较低,谐振频率不稳定,基频光在谐振腔中的偏振状态改变较大,所以倍频光的输出功率很不稳定。

我们用第2个倍频晶体代替偏振片作实验,两个倍频晶体在长度上相差0.015 mm。这种情况下激光器的噪声如图3所示。SNR为11.83 dB。与图2相比噪声小了约2.5倍。但是可以看出它的噪声还比较强。这说明激光器中不同频率之间的模式耦合减弱了,但是振荡的基频光的偏振状态还不稳定,存在s、p偏振分量之间的耦合。

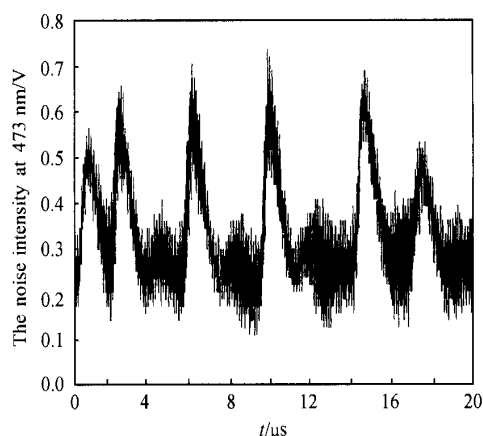


图2 用1个倍频晶体和BP时的噪声

Fig 2 Amplitude fluctuations with one double crystal and one BP

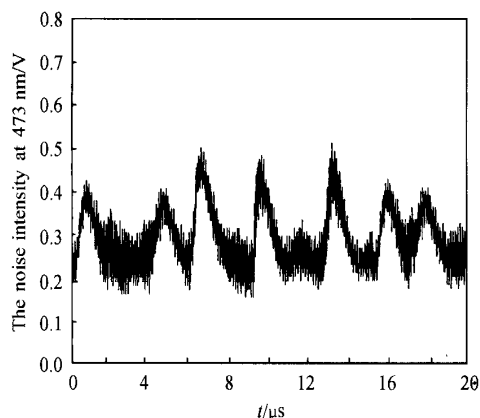


图3 用两个倍频晶体时的噪声

Fig 3 Amplitude fluctuations with two doublers and one BP

第3种情况,我们把偏振片和两个倍频晶体同时放入谐振腔中,此时得到的结果如图4所示,从图中我们可以很明显看出激光器的输出功率信噪比有了极大的改善,它的SNR为18.79 dB,比图2提高了

14.04 dB, 比图3提高了6.95 dB。而且, 在最佳工作点附近调节倍频晶体的温度, 激光器在较大范围内都能保持稳定的输出。这个实验结果说明以Nd:YAG为工作物质的蓝光激光器, 要想实现低噪声输出, 必须抑制模式间的耦合, 还必须抑制基频光 $s_p$ 两个偏振分量间的耦合, 激光器才可以得到稳定的低噪声

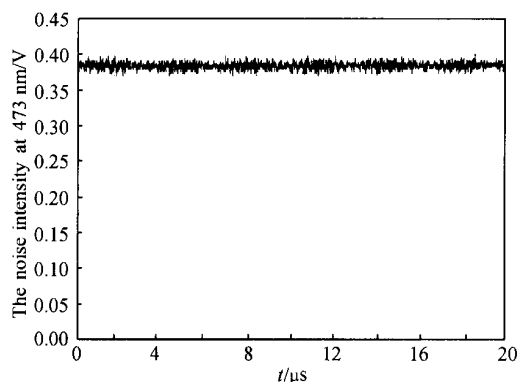


图4 用两个倍频晶体和偏振片时的噪声

Fig 4 Amplitude fluctuations with two doublers and one BP

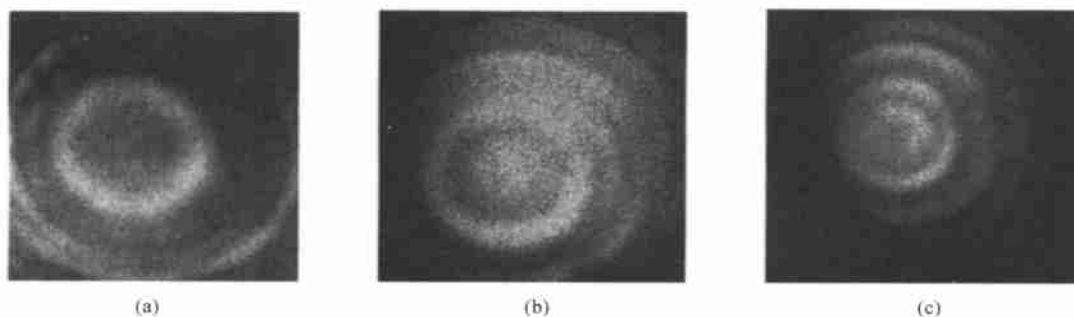


图5 473 nm 激光输出通过 F-P 干涉仪观测到的光斑图样

Fig 5 The 473 nm beam structure through F-P interferometer with (a) one doubler and one BP; (b) two doublers; (c) two doublers and one BP

图6为蓝光激光器的工作曲线。激光器的阈值为833 mW, 在LD泵浦功率为1700 mW时, 低噪声蓝光最高输出功率达到2.14 mW, 非低噪声光最高输出功率达3.2 mW。激光输出功率偏低的主要原因是准三能级系统存在再吸收损耗、激光器阈值高、倍频效率低且由于谐振腔中光学元件引入插入损耗大, 激光器工作在阈值附近等造成的。如果我们改用大功率的LD作泵浦源, 倍频效率一定会有明显提高。

### 3 结论

从上述理论分析和实验结果可以看出对于LD泵浦Nd:YAG连续腔内倍频蓝光激光器, 我们可以

输出。

图5是在图2、图3和图4 3种情况下激光器输出功率达到稳定时分别通过F-P干涉仪观测到的结果。

从干涉条纹的轮廓来看, 图5中(a)、(b)两图表明激光器工作在多纵模状态, (a)图中谐振腔中至少存在3个纵模的振荡; (b)图则表明谐振腔中至少存在两个纵模; (c)图表明激光器可能工作在单纵模状态, 即激光器实现了单频运转。图中干涉条纹的分辨率较低(这主要是因为所用F-P干涉仪是用来检测532 nm绿光输出状态的, 对波长473 nm的蓝光的分辨率很低造成的), 图5中的1个干涉环内有可能包含两个频率成分, 但是对比图5中(a)、(b)、(c)3个干涉图可以很明显看出, 采用两个LBO倍频晶体和偏振片来抑制噪声是一种行之有效的办法, 通过结合两个倍频晶体和偏振片两种技术来保证激光器功率输出的稳定性, 优于仅采用其中任一个方法得到的效果。如果改用对473 nm蓝光镀高反膜的F-P干涉仪进行检测, 结果一定会更加明显。

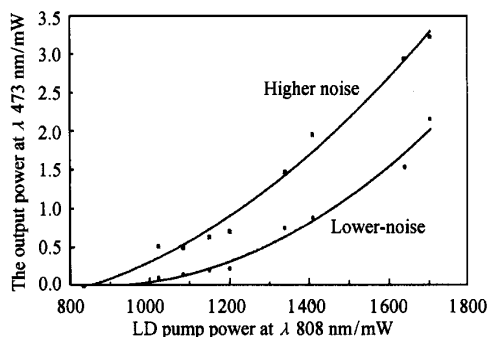


图6 激光器在低噪声和非低噪声情况下的蓝激光功率输出

Fig 6 Blue output at normal noise and low-noise respectively

通过用两个相同的倍频晶体成 90° 放置和偏振片两个技术相结合的方法来抑制谐振腔中不同模式之间和同一频率中不同偏振态之间的耦合, 从而保证激光器得到稳定的低噪声输出。它不受位相匹配方式的限制。而且从实验结果来看它很可能是实现单频蓝光激光器的有效方法。

## 参 考 文 献

- [1] David G Matthews, Richard S Conroy, Bruce D Sinclair. Blue microchip laser fabricated from Nd: YAG and K<sub>2</sub>BO<sub>3</sub> Optics Letters [J]. 1996, **21**(3): 198-200
- [2] P Zeller and P Peuser. Efficient multiwatt continuous-wave laser operation on the  $^4F_{3/2} - ^4I_{9/2}$  transitions of Nd: YVO<sub>4</sub> and Nd: YVG. Optics Letters [J]. 2000, **25**(1): 34-36
- [3] DU Ge-guo, RUAN Shuang-chen, ZHU Q in. LD-pumped Nd: YAG laser at 946 nm and frequency doubling. Acta Photonica Sinica [J]. 2001, **30**(11): 1392-1394
- [4] Hans Joachim Eichler, Volker Gabler, Baining Liu

Noise-reduced diode-pumped intracavity frequency doubled blue micro laser [J] SPIE 1999, **3611**: 52-55

- [5] HUO Yi-jie, YANG Cheng-wei. Research of Miniature Solidified Nd: YVO<sub>4</sub>/KTP Green Laser [J]. Journal of Optoelectronics · Laser (光电子 · 激光), 2000, **11**(5): 461-464 (in Chinese)
- [6] YAO Jian-quan, ZHANG Bai-gang, WANG Peng. The Characteristics of Sum-Frequency Mixing by Biaxial crystal LiB<sub>3</sub>O<sub>5</sub> and KTiPO<sub>4</sub> [J]. Journal of Optoelectronics · Laser (光电子 · 激光), 2000, **11**(6): 652-662
- [7] LI De-hua, ZHU Chang-hong, Volker Gabler. Theoretical and experimental studies of noise suppression for intracavity frequency doubled lasers with phase matching type I or II [J]. Optics Communications. 2001, **189**: 357-364

## 作者简介:

高兰兰 (1975- ), 女, 河北邯郸人, 在读博士研究生, 1997年毕业于河北大学物理系, 研究方向为全固体单频蓝绿激光器的研究。