文章编号:1001-5078(2012)06-0642-04 ·激光器技术·

低噪声 671 nm 红光激光器

付 林[1],李 斌[2]
(1. 中山职业技术学院电子信息工程系,广东 中山 528404;2. 天津大学精密仪器与光电子工程学院,天津 300072)

摘 要:介绍了一种在腔内插入全波片实现671 nm激光低噪声稳定运转的方法。该方法利用全波片和 $Nd:YVO_4$ 激光器的偏振特性构成双折射滤光片,使用Ⅰ类临界相位匹配LBO作为倍频晶体,在注入泵浦功率2.7 W的情况下获得149 mW的671 nm低噪声红光输出,光-光转换率为5.6%。使用该方法研制的激光器结构简单、紧凑,适用于中低功率激光器。

关键词:激光技术;全波片;低噪声;红光激光器
中图分类号:TN 248.1 **文献标识码**:A **DOI**:10.3969/j.issn.1001-5078.2012.06.010

Low noise 671 nm red laser

FU Lin[1], LI Bin[2]
(1. Electronic Information Engineering Department, Zhongshan Polytechnic College, Zhongshan 528404, China;
2. College of Precision Instrument and Optoelectronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: A scheme of using a full-wave plate in the laser cavity to obtain low noise red laser is introduced. In this scheme, a kind of birefringent filter is made with a full-wave plate and the polarization characteristics of $Nd:YVO_4$. And type Ⅰ critical phase-matched LBO is used as a frequency doubling crystal. When the incidence pumping power is 2.7 W, 149 mW red laser at 671 nm with low noise is obtained. The optical to optical conversion efficiency is 5.6%. The laser made by this method has the advantages of simple, compact configuration and high reliability. The scheme is suitable for medium and low power laser.

Key words: laser technique; full-wave plate; low noise; red laser

1 引 言

小型低噪声红光激光器在精密测量、全息、照片冲印等领域有着很好的应用前景,成为近几年的研究热点。红光激光通常是利用Nd:YAG或 $Nd:YVO_4$ 中的1.3 μm谱线倍频得到,与Nd:YAG相比,$Nd:YVO_4$ 在该谱线具有大的受激截面、宽的吸收光谱范围,更适合应用于LD泵浦的小型全固态激光器中,利用 $Nd:YVO_4$/LBO结构获得671 nm红光激光是目前常用的方法之一[1-3]。但在腔内倍频激光器中,由于工作物质中的交叉饱和以及非线性晶体中的和频这两种非线性效应的作用,使得腔内倍频激光器往往显示出大的功率起伏[3-5],制约了这种激光器的应用,因此必须采取措施使激光器低噪声运转。实现低噪声的方法很多,有腔内插入标准具法、环形腔法、扭摆模法等[6-9],但这些方法结构复杂,且腔内众多的光学元件会对激光产生很大损耗,不适合用于小功率全固态激光器中,文献[10]、[11]介绍了一种结构简单的设计方法,但该方法需要Ⅱ类相位匹配才能实现,而671 nm红光激光器中Ⅱ类匹配的LBO有效非线性系数小,因此影响了激光器的效率。本文提出了一种利用 $Nd:YVO_4$ 偏振特性及LBO-Ⅰ类临界相位匹配结构特性,通过在腔

作者简介:付 林(1980-),男,讲师,主要从事激光技术研究。E-mail: iamfulin@sina.com

收稿日期:2011-08-22;**修订日期**:2011-11-14

内插入全波片构成双折射滤光片来抑制噪声，获得了低噪声 671 nm 红光激光，当注入泵浦功率为 2.7 W 时，得到 149 mW 的低噪声红光激光，光－光转换率为 5.6%。

2　理论分析

利用布氏片和Ⅱ类临界位相匹配 KTP 形成双折射滤光片来抑制激光器噪声的方法中，其装置图如图 1 所示。

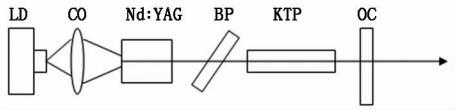


图 1　低噪声激光器

Fig. 1　the setup of low noise laser

其中布氏片 BP 的起偏方向与 KTP 的光轴夹角为 45°，但该方法只适用于Ⅱ类临界位相匹配情况。由于 LBOⅡ类临界位相匹配的有效非线性系数很小，会严重影响倍频效率，而 LBO 的Ⅰ类临界相位匹配有效非线性系数较大，但这时 LBO 又不能起到图 1 装置中 KTP 的类波片作用。图 1 装置的腔内往返琼斯矩阵的本征值为[12]：

$$\lambda_{p,s}=\frac{1}{2}\left[(1-T)\cos\frac{\phi}{2}\pm\sqrt{(1+T)^2\cos^2\frac{\phi}{2}-4T}\right] \tag{1}$$

式中，T 为偏振器对有损耗的偏振方向光的单程强度透过率；$\phi=4\pi\Delta nL/\lambda$ 为腔内双折射滤光片中的双折射晶体引起的光场往返位相差；Δn 为双折射晶体的双折射率之差；L 为双折射晶体的几何长度；λ 为基频光波长，由此可得到光场的往返透过率为 λ_i^2（p，s 分别表示平行和垂直于入射面的偏振方向），而 $1-\lambda_i^2$ 为相应偏振态的往返损耗。根据公式(1)作出双折射滤光片的往返透过率与双折射晶体引起的位相差 ϕ 的关系曲线，如图 2 所示。可以

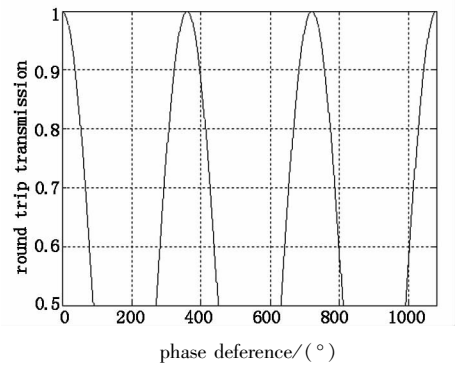


图 2　双折射滤光片的往返透过率与位相差的关系曲线

Fig. 2　round trip transmission of birefringent filter as a function of phase deference

看出，不同的位相差对应着不同的透过率，且透过率曲线以 2π 为周期，即当 ϕ 为 2π 整数倍的光波往返通过偏振器时光波的偏振态不变，损耗最小，这恰似于一种全波片加检偏器结构。

基于上述分析，在腔内插入 1342 nm 全波片，由于全波片只是对某一波长而言，对其他波长光则不是全波片。由于不同纵模对应的波长不同，通过全波片后偏振面旋转的角度亦不相同，因此对于某一纵模该波片恰为全波片，通过波片后偏振面会发生 2π 角度的旋转，偏振方向不变；而对于其他纵模通过波片后偏振面旋转的角度不是 2π 的整数倍，变成椭圆偏振光。由于 Nd:YVO_4 的起偏作用，会使偏振面发生偏转的纵模产生损耗，而偏振方向未发生变化的纵模得到放大。这里的全波片就相当于图 1 中的 KTP，Nd:YVO_4 起到 Nd:YAG 加偏振片的作用，因此这种 Nd:YVO_4 加全波片有选纵模的作用，可以减小纵模数量，从而降低激光器的噪声。

3　实验装置

根据上述分析设计的实验装置如图 3 所示。

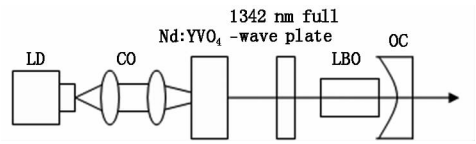


图 3　低噪声激光器实验装置图

Fig. 3　the setup of low-noise laser

图 3 中，LD 为 nlight 公司生产，当注入电流为 3 A 时，最大输出功率 3 W；CO 为光学耦合系统；Nd:YVO_4 掺杂 Nd 离子浓度为 0.5%，规格为 3 mm×3 mm×1.5 mm，用铟箔包裹放入紫铜热沉中并用 TEC 严格控温；1342 nm 全波片为大恒公司生产，两边镀 1342 nm 高透膜，由于波片对温度的敏感性很强，因此要对波片进行独立的控温；LBO 规格为 3 mm×3 mm×8 mm，Ⅰ类临界位相匹配切割角为 $\theta=86.1°$，$\varphi=0°$，两端镀 1342 nm 和 671 nm 双色高透膜；OC 为平凹镜，曲率半径为 R50 mm，镀 1342 nm 高反和 671 nm 高透膜。实验时尽量减小腔长从而减小起振的纵模数，在考虑元件摆放后，腔长选择为 20 mm，仔细调整 LBO 和全波片的温度和角度。图 4 为腔内插入波片和没有波片时的输出功率对比，在没有插入波片时，当泵浦功率为 2.7 W 时，输出功率 270 mW，光－光转换率 10%；插入波片后，当泵浦功率为 2.7 W 时，输出功率为 149 mW，光－光转换率 5.6%。

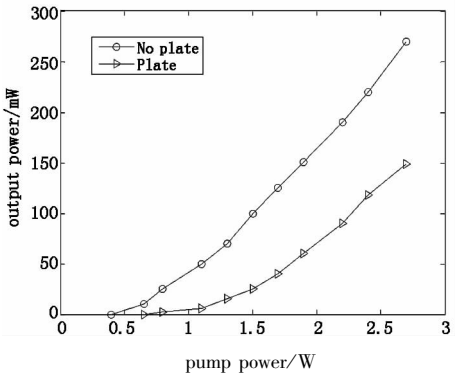
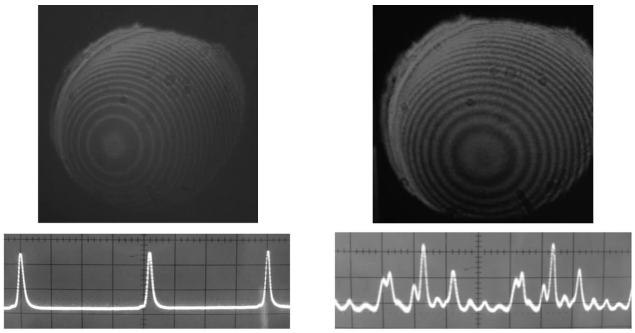


图 4 输出功率与泵浦功率的关系曲线

Fig. 4 the figure of output power versus pump power

图 5 是用 F-P 标准具和扫描干涉仪测得的插入全波片和不插全波片时的纵模情况,可以看到,当插入全波片后干涉环明显变细,纵模数目明显减少,这样就能减小纵模之间的模式竞争和在倍频晶体中的交叉耦合,从而减小激光器的噪声。而在不插入全波片的情况下,可以看到起振的纵模很多,这时噪声也比较大。

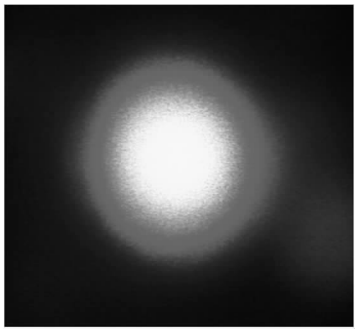


(a) low noise with a full wave plate (b) high noise no full wave plate

图 5 671 nm 激光输出通过 F-P 干涉仪观测到的光斑图样

Fig. 5 the 671 nm beam structure through F-P interferometer

图 6 是激光的远场光斑,通过刀口法(90/10)测量得到光束质量 M^2 因子为 1.15。在这里值得一提的是:光束质量的好坏对噪声的影响很大,如果激光输出为多横模,不但会产生横模竞争,而且多横模必然导致纵模数量增加,纵模间隔变小,两个纵模的波长相差太小时双折射滤光片就不能将两个纵模区分开来,从而使激光器的噪声大大增加。我们对比了腔内插入全波片和没有全波片时红光激光器的长期稳定性,如图 7 所示,在输出功率为 100 mW 时,腔内插入全波片时输出激光的不稳定度小于 1%,而未插入全波片时输出功率的不稳定度为 5%,说明当激光器单纵模运转时,其长期稳定性也会得到相应的改善。



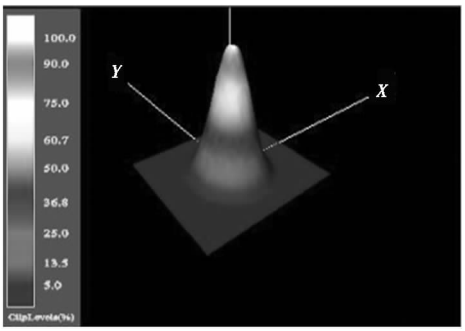


图 6 671 nm 红光激光远场光斑

Fig. 6 far field spot of 671 nm red laser

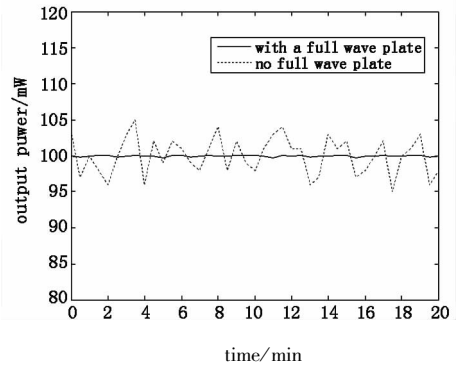


图 7 671 nm 激光的稳定性图

Fig. 7 the figure of 671nm laser stability

4 结 论

实验表明,利用 Nd:YVO_4 的起偏作用,通过腔内插入全波片构成双折射滤光片可以有效抑制噪声,获得低噪声 671 nm 红光激光输出,在注入泵浦功率为 2.7 W 的情况下最终获得到 149 mW 的低噪声红光激光,光 - 光转换率为 5.6%。实验中应尽量减小谐振腔长度,增加纵模间隔,有利于低噪声的实现。本激光器结构简单、紧凑,便于调整,稳定性好,非常适合产品化。

参考文献:

[1] A Agnesi, A Guandalini, G Reali. Efficient 671 nm pump source by intra-cavity doubling of a diode pumped Nd:YVO_4 laser [J]. J. Opt. Soc. Am. B, 2002, (19): 1078 - 1082.

[2] X Ding, H Zhang, P Wang, et al. High-efficiency direct-pumped Nd:YVO_4 laser operating at 1.34 μm[J]. Optics Express, 2008:16(15):1247 – 1252.

[3] Zheng Quan, Wang Junying, Xue Qinghua. LBO frequency doubled CW red laser at 671 nm up to 1.8 W[J]. Chinese Journal of Laser, 2005, 32(1):9 – 12. (in Chinese)
郑权,王军营,薛庆华. LBO 倍频 1.8 W 连续 671 nm 红光激光器[J]. 中国激光, 2005, 32(1):9 – 12.

[4] T Baer. Large-amplitude fluctuations due to longitudinalmode coupling in diode-pumped intracavity-doubled Nd:YAG lasers[J]. J. Opt. Soc. Am. B, 1986, 3(9): 1175 – 1180.

[5] Sten Helmfrid, Kimio Tatsuno. Stable single-mode operation of intracavity-doubled diode-pumped Nd:YVO_4 lasers theoretical study[J]. J. Opt. Soc. Am. B, 1994, 11(3): 436 – 445.

[6] Li Bin, Li Yongda, Chen Jinqiang, et al. LD pumped Nd:YAG all-solid-state blue laser technology[J]. Applied Laser, 2007, 27(4):300 – 304. (in Chinese)
李斌,李永大,陈金强,等. LD 泵浦 Nd:YAG 全固态蓝光激光器技术[J]. 应用激光, 2007, 27(4):300 – 304.

[7] Jing Zhang, Hong Chang, Xiaojun Jia, et al. Suppression of the intensity noise of a laser-diode-pumped single-frequency ring Nd:YVO_4-KTP green laser by optoelectronic feedback[J]. Optics Letter, 2001, 26(10):695 – 697.

[8] Erjuan Hao, Huiming Tan, Te Li, et al. Single-frequency laser at 473 nm by use of twisted-mode technique[J]. Optics Communication, 2007:(270):327 – 333.

[9] Wang Xin, Yang Suhui, Sun Wenfeng, et al. Laser diode pumped high-slope-efficiency monolithic unidirectional single frequency ring laser[J]. Chinese Journal of Laser, 2005, 32(2):149 – 152. (in Chinese)
王欣,杨苏辉,孙文峰,等. 激光二极管抽运单块高斜度效率环形腔单频固体激光器[J]. 中国激光, 2005, 32(2):149 – 152.

[10] Zheng Quan, Tan Huiming, Zhao Ling. Study of LD-pumped YVO_4/KTP single-frequency green laser[J]. Laser & Infrared, 2001, 31(4):208 – 209. (in Chinese)
郑权,檀慧明,赵亮. LD 泵浦全固体单频 Nd:YVO_4/KTP 绿光激光器研究[J]. 激光与红外, 2001, 31(4): 208 – 209.

[11] Hideo Nagai, Masahiro Kume, et al. Low-noise operation of a diode pumped intracavity-doubled Nd:YAG laser using a brewster plate[J]. IEEE. J. Quantum. Electron, 1992, 28(4):1164 – 1168.

[12] T Y Fan. Single-axial mode intracavity double Nd:YAG laser[J]. IEEE. J. Quantum Electron, 1991, 27(9): 2091 – 2093.