

文章编号: 0258-7025(2004)08-0919-03

用全波片实现 473 nm 蓝光激光器的稳定运转

薛庆华, 郑 权, 王军营, 叶子青

(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 报道了一种利用 I 类临界相位匹配倍频晶体 LBO 的偏振器作用与石英晶体全波片的组合构成双折射滤光片的结构, 获得了激光二极管(LD)抽运 Nd:YAG/LBO 蓝光激光器的稳定运转, 在注入抽运功率为 1.2W 的条件下获得了 25 mW 稳定的单频 473 nm 蓝光输出。

关键词 激光技术; 激光二极管抽运; 蓝光激光器; LBO 晶体; 单频; 双折射滤光片

中图分类号 TN 248.1 **文献标识码** A

Stable Operation of 473 nm Blue Laser Using a Full-Wave Plate

XUE Qing-hua, ZHENG Quan, WANG Jun-ying, YE Zi-qing

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,

The Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130022, China)

Abstract A kind of birefringent filter based on the combination of the polarization function of the type I critical phase-matching doubling frequency crystal LBO (LiB_3O_5) and the quartz full-wave plate is presented. The stable operation of laser diode (LD) pumped Nd:YAG ($\text{Nd}:\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$)/LBO blue laser is obtained. When the pumping power input into Nd:YAG is 1.2 W, 25 mW 473 nm blue laser with single longitudinal mode is obtained.

Key words laser technique; laser-diode pumped; blue laser; LBO crystal; single frequency; birefringent filter

1 引 言

小型蓝光激光器在印刷、探测、光存储等方面有着广泛的应用前景, 而目前在获得蓝色相干辐射光的方法中, 利用非线性晶体腔内倍频 Nd 离子的 946 nm 谱线是更为实用的方法^[1]。蓝光激光器中常用的非线性腔内倍频晶体有 BBO, KN 和 LBO。而使用 BBO 时, 倍频光走离角大, 达 3.4° , 即使使用较短的晶体, 蓝光光束质量也很差; KN 虽有大的有效非线性系数, 但允许温度小, 仅 0.49°C , 对环境温度变化敏感; 而 LBO 的走离角小, 是 BBO 的 $1/5$, 允许温度大, 是 KN 的 15 倍, 虽没有 KN 晶体大的有效非线性系数, 但通过适当增加长度和紧聚焦基频光可提高它的倍频效率, 因此 LBO 更适合作为获得高效、高光束质量的蓝光激光器的非线性倍频晶体。

但是在腔内倍频激光器中, 由于工作物质中的

交叉饱和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^[2], 从而制约着这种激光器的应用。通过腔内标准具或双折射滤光片迫使激光器单纵模运转是两种常用的获得倍频激光器稳定运转的方法^[3], 但前者的插入损耗大, 而后者由于低的插入损耗且组合形式简单多样而广泛地应用于中低功率的激光二极管(LD)抽运腔内倍频激光器中^[3~9]。但文献^[3~9]的双折射滤光片结构都是在倍频晶体的 II 类相位匹配绿光激光器中实现的。

利用 I 类临界相位匹配倍频晶体 LBO 在腔内倍频过程中对基频光的起偏作用, 通过插入一个起相位延迟作用的石英晶体全波片与其构成双折射滤光片来抑制噪声, 最终获得了 Nd:YAG/LBO 蓝光激光器的单频稳定运转。

收稿日期: 2003-02-28; 收到修改稿日期: 2003-05-29

基金项目: 国家 863 计划(No. 2002AA311141)和吉林省科技发展计划(No. 20020607)资助项目。

作者简介: 薛庆华(1978—), 男, 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所硕士研究生, 主要从事全固态激光器件及非线性频率变换技术的研究。E-mail: xueqinghua1978@sina.com

2 理论分析

分析腔内含有双折射滤光片的激光器的往返琼斯矩阵的本征值为^[6]

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

其中, T 为偏振器中对有损耗的偏振方向光的单程强度透过率, $\varphi = \frac{4\pi\Delta nL}{\lambda}$ 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, 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 ($i = p, s$) (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。

由公式(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 1 所示, 从图中可以看出, 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, 而双折射晶体对光波的这种往返作用在物理光学中恰是全波片的作用, φ 又是波长(频率)的函数, 这样只有该频率的光波的损耗为零, 其他频率的光波则由于位相差不是 2π 整数倍, 偏振态由线偏振变成椭圆偏振, 再次通过偏振器时而产生纵模间相对损耗被抑制掉, 这即是双折射滤光片选频的原理。

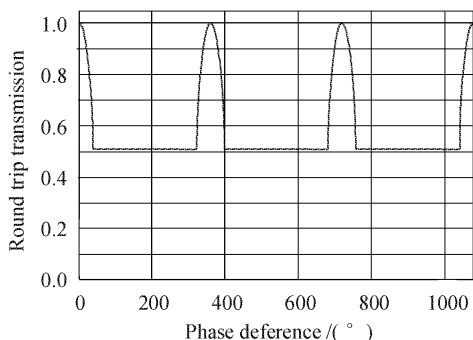


图 1 双折射滤光片的往返透过率与位相差的关系曲线

Fig. 1 Round trip transmission of birefringent filter (BF) as a function of phase deference

实验中发现 LD 抽运各向同性的工作物质 Nd:YAG 的基频光具有约 3:1 的偏振比, 这被解释为 LD 偏振抽运的结果^[10]。而当 I 类临界相位匹配倍频晶体 LBO 插入腔内时, 基频光的偏振比大于 400:1, 且垂直于倍频光的偏振方向, 这与 Nd:YAG/

KN I 类倍频蓝光激光器中偏振比高达 1000:1 相类似, 并被定性地解释为腔内基频光两个偏振本征态的净增益的不同引起的^[1]。总之, 这时腔内有了起到偏振器的元件, 并且 I 类倍频晶体 LBO 起着主要的作用, 可将其看成双折射滤光片中的偏振器, 再在腔内引入一个起到全波片的双折射晶体就可与 LBO 组合构成双折射滤光片来选频。

3 实 验

根据上面的分析设计了如图 2 所示的实验装置。最大输出功率为 2 W 的 LD 经耦合效率为 80% 左右的耦合光学系统准直聚焦后在工作物质 Nd:YAG ($\phi 4 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$, 一面镀 808 nm 减反膜和 946 nm 高反膜构成谐振腔的一个腔镜, 另一面镀 946 nm 减反膜) 内的平均光斑半径约为 100 μm ; 输出镜的曲率半径为 50 mm, 凹面镀 946 nm 高反膜和 473 nm 减反膜, 平面镀 473 nm 减反膜; I 类临界相位匹配倍频晶体 LBO ($2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$) 的两端面镀 946 nm 和 473 nm 的减反膜; 厚度为 $l = 0.4 \text{ mm}$ 石英晶体全波片 (946 nm 波长处的双折射为 $\Delta n = 0.00881$) 的两表面镀 946 nm 的减反膜, 将其放在紧靠工作物质一侧以减少对倍频光反射的损耗, 而 LBO 则尽可能地靠近石英晶体全波片以利用小的光斑提高倍频效率, 腔长在机械上满足的情况下取 18 mm 以最大限度地增加纵模间隔来减少纵模数目。

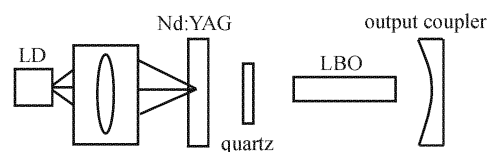


图 2 蓝光单频激光器实验装置示意图
Fig. 2 Setup of a single frequency blue laser

在没有插入石英晶片时, 注入抽运功率为 1.2 W 时获得了 38 mW 的蓝光输出, 典型的噪声情况如图 3 所示, 从图中可以看出, 在不采取任何措施的情况下, 输出的倍频蓝光有大的功率起伏。

当插入石英晶体全波片后, 先仔细调节它的光轴与 LBO 的 o 光偏振方向的相对位置, 获得稳定的激光输出后再采取严格的温度控制使其在激光器运转过程中始终为全波片, 这样使 Nd:YAG 增益曲线中心频率处的纵模偏振方向不变地往返通过等效为偏振器的倍频晶体, 而其他频率的纵模由于通过石

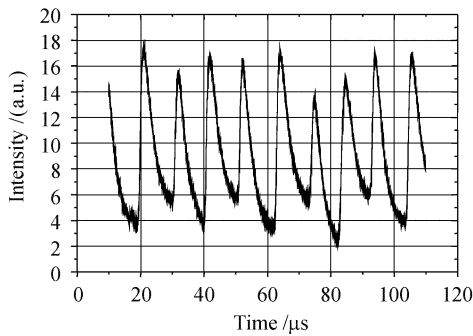


图 3 蓝光的功率起伏

Fig. 3 Intensity fluctuation of a blue laser

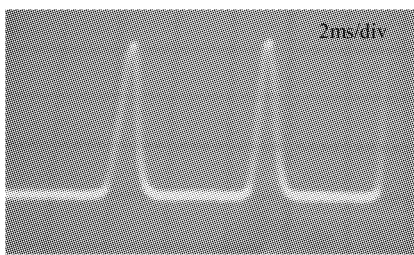


图 4 插入全波片获得的蓝光单频图

Fig. 4 Single frequency operation for the blue laser using a full-wave plate

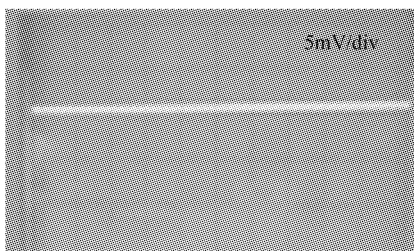


图 5 蓝光单频运转时的噪声情况

Fig. 5 Low noise operation under single frequency operation

英晶体后的往返位相差 φ 不满足 2π 的整数倍, 而变成椭圆偏振光, 再次通过倍频晶体时由于纵模间的相对损耗被抑制掉, 在同样的注入抽运功率下, 获得了 25 mW 的单频蓝光输出。图 4 为利用 F-P 扫描干涉仪观察的单纵模情况, 图 5 为相应的噪声情况, 可以看出加入石英晶体全波片后激光器获得了稳定运转。

4 结 论

提出了一种在 I 类临界相位匹配腔内倍频激光器中实现双折射滤光片的组合结构: I 类倍频晶体 LBO 的偏振器作用与起位相延迟作用的石英晶体全波片的组合, 并在实验中验证, 获得了 LD 抽运 Nd:YAG/LBO 蓝光激光器的稳定运转, 在注入抽运功率为 1.2 W 的条件下获得了 25 mW 稳定的单频 473 nm 蓝光输出, 并且这种结构可推广到其他 I 类相位匹配腔内倍频激光器中。

参 考 文 献

- David G. Matthews, Richard S. Conroy, Bruce D. Sinclair *et al.*. Blue microchip laser fabricated from Nd:YAG and KNbO₃ [J]. *Opt. Lett.*, 1996, **21**(3):198~200
- T. Baer. Large-amplitude fluctuations due to longitudinal mode coupling in diode-pumped intracavity-doubled Nd:YAG lasers [J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1986, **3**(9):1175~1180
- Yung-Fu Chen, Ting-Ming Huang, Chi-Luen Wang *et al.*. Compact and efficient 3. 2-W diode-pumped Nd:YVO₄/KTP green laser [J]. *Appl. Opt.*, 1998, **37**(24):5727~5730
- Zheng Quan, Tan Hui-ming, Zhao Ling. Study of LD-pumped YVO₄/KTP single-frequency green laser [J]. *Laser & Infrared*, 2001, **31**(4):208~209
郑 权, 檀慧明, 赵 岭. LD 泵浦全固体单频 YVO₄/KTP 绿光激光器研究[J]. *激光与红外*, 2001, **31**(4):208~209
- Zheng Quan, Zhao Ling, Tan Hui-ming *et al.*. Single-frequency CW and pulse operation of diode-pumped green lasers [J]. *Chinese J. Lasers*, 2002, **A29**(9):769~772
郑 权, 赵 岭, 檀慧明 等. 用布氏片实现有效连续和脉冲单频绿光输出[J]. *中国激光*, 2002, **A29**(9):769~772
- T. Y. Fan. Single-axial mode, intracavity double Nd:YAG laser [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1991, **27**(9):2091~2093
- Hideo Nagai, Masahiro Kume, Issey Ohta *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
- Alan J. Kemp, Graham J. Friel, Tanya K. Lake *et al.*. Polarization effects, birefringent filtering, and single-frequency operation in lasers containing a birefringent gain crystal [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 2000, **36**(2):228~235
- Kenji Suzuki, Katsuhiko Shimomura, Akira Eda *et al.*. Low-noise diode-pumped intracavity-doubled laser with off-axially cut Nd:YVO₄ [J]. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(20):1624~1626
- Zheng Quan, Jiang Yao-liang, Qian Long-sheng. Research on the polarization of a LD-pumped Nd:YAG/Cr:YAG laser [J]. *Laser & Infrared*, 2002, **32**(4):248~249
郑 权, 姜耀亮, 钱龙生. LD 泵浦 Nd:YAG/Cr:YAG 激光器偏振特性的研究[J]. *激光与红外*, 2002, **32**(4):248~249