

文章编号: 100124322(2005) S020147204

## LBO 腔内和频 593 nm 激光器<sup>3</sup>

高兰兰, 檀慧明, 缪同群

(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 LD 纵向泵浦 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体, 经腔内和频得到 593 nm 激光输出的实验研究。采用一个线性平凹腔实现了 1 064 nm 和 1 342 nm 双波长连续波振荡, 利用 LBO 腔内和频产生 593 nm 激光输出。在泵浦功率为 1.4 W 时得到 593 nm 的输出功率为 70 mW。593 nm 光束远场发散角小于 1 mrad, 光斑椭圆度为 0.999, 且具有低噪声输出特性。实验结果表明, 该结构激光器是获得衍射极限全固体黄激光器的实用方法。

**关键词:** LD 泵浦; LBO; 和频 黄光激光器

**中图分类号:** TN248.1

**文献标识码:** A

LD 泵浦全固体激光器通过腔内倍频技术可以得到红、绿、蓝激光输出<sup>[1~3]</sup>, 此类激光器具有体积小、重量轻、寿命长、效率高等优点, 其产品已广泛应用于激光光谱、激光医疗等领域。550~650 nm 波段的激光器由于增益介质无法直接发射该波段的基频光谱线, 不能通过上述倍频技术得到实现。Nd:YVO<sub>4</sub> 作为激光增益介质除了可以产生<sup>4</sup>F<sub>3/2</sub>—<sup>4</sup>I<sub>11/2</sub>的 1 064 nm 基频光, 还可获得<sup>4</sup>F<sub>3/2</sub>—<sup>4</sup>I<sub>13/2</sub>的 1 342 nm 波长的发射谱线<sup>[4,5]</sup>。其中 1 064 nm 与 1 342 nm 的发射截面分别是  $25 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$  和  $7.6 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$ , 比值约为 3<sup>[6]</sup>。以 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体为增益介质, 通过双波长高反射膜可以同时得到 1 064 nm 和 1 342 nm 双波长振荡, 经和频后获得 593 nm 的激光输出。Nd:YVO<sub>4</sub> 与 Nd:YAG 晶体相比(这两个基频光的发射截面之比为 5), Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体更适合作为双波长增益介质。

目前, 通过和频技术得到黄激光输出的研究主要集中在腔外和频<sup>[7]</sup>和腔内和频<sup>[8]</sup>两种方式。腔外和频方法由于基频光功率密度低, 和频效率受到限制。腔内和频方法主要是采用线性双平凹镜谐振腔结构使两个基频光在两个相对独立的谐振腔中分别振荡, 把和频晶体放置于第一个谐振腔中(如图 1 所示)实现两个基频光的和频。这种谐振腔结构由于采用了两个平凹镜, 两个基频光在增益介质中的光腰半径可以通过调节谐振腔的长度实现两个基频光的增益相近。但是由于两个平凹镜在同一个光路上, 因此激光器调节难度大。

对于小功率激光器, 泵浦光在增益介质中的光腰半径一般很小(实验中 LD 泵浦光斑半径约为 100 μm), 忽略热透镜效应对模式参数的影响, 采用一个平凹镜谐振腔结构时两个基频光(1 342 nm 和 1 064 nm)在增益介质中的光腰半径之比为 1.3 : 1, 因此仅从光腰一个因素考虑, 1 342 nm 基频光的增益是 1 064 nm 基频光的 1.3 倍。如果在设计平凹镜的双波长高反膜时, 选择 1 342 nm 优先, 1 064 nm 其次, 控制 1 342 nm 的反射率高于 1 064 nm 的反射率, 又可以增强 1 342 nm 的增益。综合以上两个方面考虑, 完全可以在采用一个平凹镜的情况下使 1 064 nm 和 1 342 nm 的增益达到近似相同, 从而使和频光的输出功率达到最大。此方法不仅缩小了谐振腔的体积增加了激光器的稳定性, 也降低了激光器的调节难度, 因此在和频激光器结构中具有一定的实用性。

本文报道了采用 2WLD 泵浦 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体和 LBO I 类临界相位匹配腔内和频, 利用一个线性平凹谐振腔获得了 70 mW 波长为 593 nm 的黄激光输出的研究结果。实验结果表明由于 I 类相位匹配没有 II 类相位匹配那种双折射滤光片效应, 该激光器可在较宽的温度范围内获得稳定的功率输出。且 LBO 的走离角度小, 光斑质量高。检测 593 nm 的噪声特性, 其为低噪声输出。因此该方法在获得 593 nm 全固体激光器方面具有一定的参考价值。

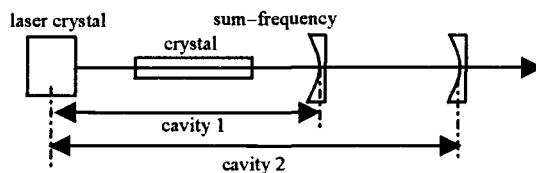


Fig. 1 Schematic of intracavity SFM with two cavities

图 1 双谐振腔和频激光器结构示意图

<sup>3</sup> 收稿日期: 2004211222; 修订日期: 2005201222

基金项目: 国家 863 计划项目资助课题

作者简介: 高兰兰(1975—), 女, 博士后, 从事全固体激光器研究; E2mail: gll\_75@163.com。

1 倍频晶体的选择

在 LD 泵浦 593 nm 全固体激光器中可以选用的和频晶体及其相位匹配的主要参数如表 1 所示。

表 1 593 nm 和频黄激光器中和频晶体 LBO 和 KTP 的主要参数比较

Table 1 Comparison of key parameters of LBO and KTP crystal at 593 nm in SFM yellow laser

| crystal               | phase matching                       | walk2off angle      | $d_{\text{eff}} / (\text{pm} \cdot \text{V}^{-1})$ | interactional<br>length $L / \text{mm}$ | $(d_{\text{eff}} \times L)$<br>/ $(\text{mm} \cdot \text{pm} \cdot \text{V}^{-1})$ |
|-----------------------|--------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|                       |                                      | $\rho \text{ mrad}$ |                                                    |                                         |                                                                                    |
| LBO(I type critical)  | $\theta = 90^\circ \phi = 2.5^\circ$ | 1.58                | 0.837                                              | 73.4                                    | 61.4                                                                               |
| KTP(II type critical) | $\theta = 78^\circ \phi = 0^\circ$   | 20                  | 3.41                                               | 5.8                                     | 19.778                                                                             |

由于走离角  $\rho$  的存在 ,晶体中基频光与和频光的相互作用长度为

$$L = 1.16\omega\rho \tag{1}$$

这里取腔内光束半径  $\omega = 100 \mu\text{m}$ 。考虑到激光器的和频光功率与有效非线性系数  $d_{\text{eff}}$  和晶体长度乘积的平方成正比 ,把  $d_{\text{eff}} \times L (\text{mm} \cdot \text{pm} / \text{V})$  作为参数对这两个晶体的和频效率进行比较。计算结果如表 1 所示。可以看出 ,LBO 的 I 类临界相位匹配的和频效率是 KTP 的 3 倍。而且采用 10 mm 长 LBO 进行和频 ,由于其长度远远小于相互作用长度 73.4 mm ,走离效应对光斑的影响可以忽略 ,因此激光器的光斑质量可以达到很高。

2 实验装置

采用中国科学院半导体研究所生产的 808 nm 半导体激光器 ,发出的泵浦光经过耦合光学系统的准直、圆化、聚焦 ,最终成为椭圆度约为 0.90 ,束腰半径约  $100 \mu\text{m}$  的泵浦光束 ,入射到 Nd : YVO<sub>4</sub> (厚 2 mm ,掺杂 110 %) 上。整个耦合系统的透过率约为 83 % (如图 2 所示)。

Nd : YVO<sub>4</sub> 的左端面镀 808 nm 的增透膜和 1 064 , 1 342 nm 的高反膜作为一个腔镜 ,808 nm 的透过率约为 96 % ;Nd : YVO<sub>4</sub> 的右端面镀 1 064 nm 及 1 342 nm 增透膜。输出平凹镜的凹面曲率半径为 50 mm ,镀 1 342 nm 和 1 064 nm 高反膜和 593 nm 增透膜 (1 342 nm 高反膜优先) ,平面镀 593 nm 增透膜。和频晶体 LBO 长 10 mm ,以 I 类临界相位匹配切割 ,两端均镀 1 064 nm 和 1 342 nm 双色增透膜。谐振腔长约 18 mm ,机械结构稳定、抗震动。

对 LD ,Nd : YVO<sub>4</sub> 和 LBO 用半导体致冷器 TEC 进行严格的温控。调节 TEC 电流 ,使 LD 的发射波长与 Nd : YVO<sub>4</sub> 的吸收峰重合 ,可最大限度地吸收利用泵浦光。Nd : YVO<sub>4</sub> 与 LBO 采用一个致冷器制冷 ,减少 Nd : YVO<sub>4</sub> 的热效应。为防止 LD 的发射波长和 LBO 晶体最佳匹配角随温度变化 ,要求致冷器的温控精度达 0.02  $^\circ\text{C}$ 。

3 实验结果

图3是593 nm黄激光输出功率随入射到Nd : YVO<sub>4</sub>内808 nm泵浦功率的变化情况。从图中可以看出 ,

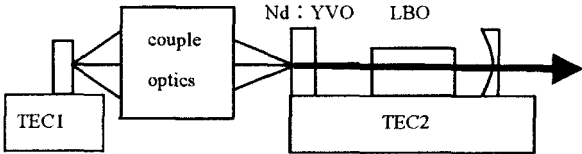


Fig.2 Setup of 593 nm LD pumped solid state yellow laser

图 2 LD 泵浦 593 nm 黄光激光器的实验装置

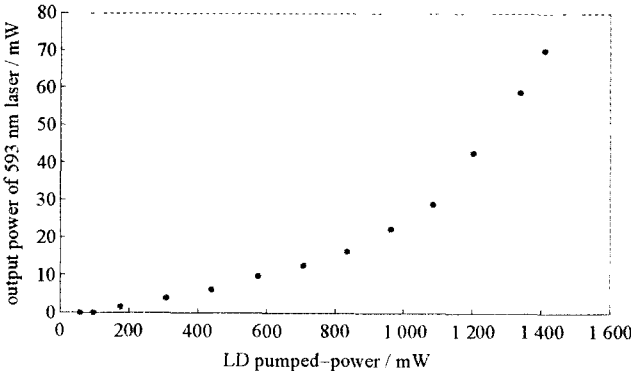


Fig.3 593 nm output power vs input pump power

图 3 593 nm 和频光输出功率随入射泵浦光功率变化关系

激光器的阈值功率为 96 mW。当入射至 Nd:YVO<sub>4</sub> 上的泵浦功率为 1.4 W 时,593 nm 黄激光输出功率为 70 mW,光2光转换效率达 5.3 %。图 3 表明当泵浦光为 1.4 W 时,和频光输出功率未有任何的饱和现象发生。图 4 是采用美国 Photon 公司生产的光束轮廓仪记录激光远场光斑的照片,光斑椭圆度为 0.999,光斑质量很高。

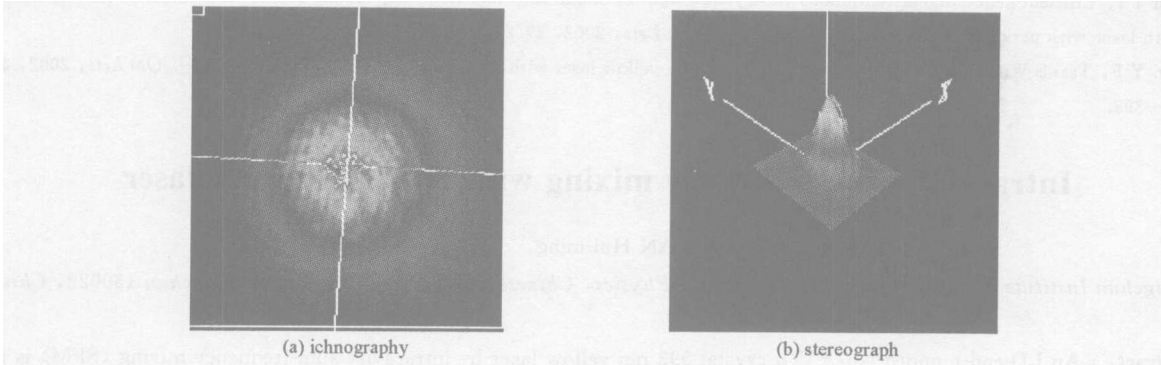


Fig. 4 Beam shape of 593 nm yellow laser  
图 4 593 nm 黄光的光束横模功率空间分布

图 5 是 593 nm 输出功率达到稳定时通过示波器记录的噪声特性图。横坐标为时间,纵坐标为 593 nm 输出功率经光电转换后电信号的电压值。从图中可以看出,激光器的噪声很小,为低噪声输出。经计算激光器的噪声小于 0.7 %。

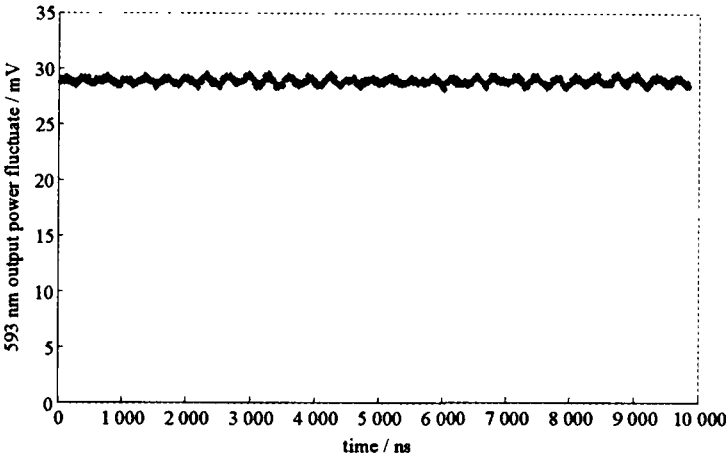


Fig. 5 593 nm output power under low noise operation  
图 5 593 nm 低噪声输出曲线

4 结 论

本文研究了采用 2 W 的 LD 泵浦 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体,利用 LBO I 类临界相位匹配腔内和频,在一个线性平凹腔情况下获得高光束质量 70 mW 的 593 nm 黄光输出。由于 LBO 走离角小,最大温度和角度接受范围宽,激光器的稳定性好,噪声低。本文中讨论的和频方式是获得结构紧凑、简单和高效率的 LD 泵浦 593 nm 黄光全固体激光器的有效方法。

参考文献：

[1] 何京良, 侯玮, 张恒利, 等. LD 抽运 Nd:YVO<sub>4</sub> 腔内倍频连续波 8.8 W 绿光激光器[J]. 中国激光, 2000, 27(6):481—484. (He J L, Hou W, Zhang H L, et al. 8.8 W green laser by intracavity frequency doubling of an LD pumped Nd:YVO<sub>4</sub> laser. *Chinese Journal of Lasers*, 2000, 27(6): 481—484)

[2] 檀慧明, 郑权, 陈颖新. LBO I 类临界相位匹配倍频 671 nm 激光器[J]. 中国激光, 2002, 27(4):289—292. (Tan H M, Zheng Q, Cheng Y X. Double-frequency 671 nm laser with type I critical phase matching LBO. *Chinese Journal of Lasers*, 2002, 27(4): 289—292)

[3] Czeranowsky C, Schmidt M, Heumann E, et al. Continuous wave diode pumped intracavity doubled Nd:GdVO<sub>4</sub> laser with 840 mW output power at 456 nm[J]. *Optics Communications*, 2002, 205:362—365.

[4] Agnesi A, Reali G C, Gobbi P G. 430 mW single transverse mode diode pumped Nd:YVO<sub>4</sub> laser at 671 nm[J]. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 1998, 34(7): 1297—1300.

[5] Tucker A W, Birnbaum M, Fincher C L. Stimulated emission cross section at 1 064 and 1 342 nm in Nd:YVO<sub>4</sub> laser[J]. *J Appl Phys*, 1977, 48(12): 4907—4911.

- [6] Chen Y F. CW dualwavelength operation of a diodepumped Nd:YVO<sub>4</sub> laser[J]. *Appl Phys*. 2000, **B70**: 475—478.
- [7] Chen Y F. Efficient generation of continuouswave yellow light by singlepass sumfrequency mixing of a diodepumped Nd:YVO<sub>4</sub> dualwavelength laser with periodically poled lithium niobate[J]. *Opt Lett*, 2002, **27**(20): 1809—1811.
- [8] Chen Y F, Tsai S W. Diodepumped Qswitched Nd:YVO<sub>4</sub> yellow laser with intracavity sumfrequency mixing[J]. *Opt Lett*, 2002, **27**(6): 397—399.

## Intracavity sumfrequency mixing with LBO in 593 nm laser

GAO Lanlan, TAN Hui2ming, MIAO Tong2qun

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

**Abstract:** An LDpumped Nd:YVO<sub>4</sub> crystal 593 nm yellow laser by intracavity sumfrequency mixing (SFM) is reported. With one plane2curved cavity dualwavelength operation, 1 064 nm and 1 342 nm, is realized. By LBO Intracavity SFM 593 nm laser is attained. With 1.4 W pump power 70 mW output power at 593 nm was observed. The far field divergence angle of 593 nm is less than 1 mrad and the ellipticity of the output beam is 0.999. Lownoise characteristic has been proved at the same time. The experiment show that this is the useful method to obtain solid state yellow laser with diffraction limit.

**Key words:** LD pumped; LBO; Sumfrequency mixing; Yellow laser