

文章编号: 0253-2239(2001)04-437-03

激光二极管抽运 Nd: YVO₄/LBO 腔内倍频 5.3 W 连续波激光器*

侯 玮¹⁾ 张恒利¹⁾ 李 健²⁾ 吕军华¹⁾ 齐俊杰¹⁾ 吴柏昌³⁾ 陈创天³⁾ 许祖彦¹⁾

1), 中国科学院物理研究所光物理实验室, 北京 100080

2), 山东师范大学物理系现代光学实验室, 济南 250014

3), 中国科学院福建物质结构研究所, 福州 350002

摘要: 报道了激光二极管双向抽运 Nd: YVO₄晶体 LBO 腔内倍频、最大输出功率为 5.3 W 的连续波绿光激光器。采用 LBO 晶体 I 类非临界相位匹配(NCPM), 温度调谐, 当抽运光功率为 20 W 时, 获得了 5.3 W TEM₀₀模 532 nm 绿光输出, 光-光转换效率达 26.5%。并对绿光模式及输出功率随 LBO 晶体温度的变化关系进行了测量, 与理论结果符合较好。

关键词: 激光二极管抽运; Nd: YVO₄激光器; LBO 腔内倍频; 非临界相位匹配

中图分类号: TN248.1 文献标识码: A

1 引 言

激光二极管(Laser diode, LD)抽运的全固态大功率连续波绿光激光器由于具有效率高、体积小、稳定性好和寿命长等优点, 在科研、医疗、通讯和大屏幕彩色显示等领域有广阔的应用前景。目前, 美国光谱物理公司和相干公司已分别推出了 5 W、8 W 及 10 W 的全固态连续波绿光激光器产品, 其主要应用之一是取代结构庞大、效率极低的氩离子激光器。我们利用激光二极管双向抽运 Nd: YVO₄、KTP 腔内倍频已获得最大输出功率为 8.8 W 的全固态绿光输出^[1], 并用它来抽运钛宝石激光器实现了连续及自锁模输出^[2]。此绿光激光器采用四镜 Z 型腔结构, 具有效率高、体积小等优点, 但由于受到 KTP 使用寿命等因素的限制, 距离产品化还有一定的差距。

为了改善全固态大功率绿光激光器的输出特性和使用寿命, 我们采用破坏阈值很高的非线性晶体 LBO 的 I 类非临界相位匹配(NCPM)并用温度调谐实现腔内倍频。通过合理选择谐振腔的参数及精确控制 LBO 晶体的温度, 实现了 LBO 腔内倍频最大输出功率超过 5W 的全固态连续波绿光输出。

2 实验装置及讨论

实验中采用四镜 Z 型腔结构, 实验装置如图 1 所示。为了减少单端高功率抽运造成的增益介质吸收不均匀, 我们采用双向抽运结构。抽运源是两台最大输出功率为 15 W 带光纤耦合输出的半导体激光器(型号为: OPC-B015-FCPS)。在 25 °C 时, 其中心发射波长分别为 810.1 nm 和 809.6 nm。通过设定它们的工作温度, 使其工作在 808.7 nm, 与 Nd: YVO₄晶体吸收峰相匹配。激光二极管光纤输出口光束直径为 1.15 mm, 发散角 12°(全角)。激光二极管与腔之间的耦合采用传输效率为 90% 的准直聚焦系统($f = 30$ mm), 将抽运光聚焦为 750 μm 左右的光斑。M₁ 和 M₂ 是平面镜, 一面镀 808 nm 增透膜, 另一面镀 808 nm 的增透膜($T > 96%$)和 1.064 μm 的高反膜($R > 99.8%$); M₃ 是曲率半径为 100 mm 的平-凹镜, 凹面镀有 1.064 μm 高反和 532 nm 增透膜、平面镀 532 nm 增透膜; 端镜 M₄ 是曲率半径为 100 mm 的平-凹镜, 凹面镀 1.064 μm 和 532 nm 双色高反膜。

实验中增益介质为中国科学院物理所生长的 Nd: YVO₄晶体(a 轴切割), 大小为 4 mm × 4 mm × 8 mm, Nd 离子的掺杂分数为 0.5%。为防止两通光面形成标准具效应而产生自激振荡, 将一通光面切成 2° 的劈形。晶体侧面镀金、用铝箔包裹放入水冷紫铜块中, 并保持较好的热接触。晶体两通光面

* 国家高技术研究发展计划(863-715-001-00)资助课题。

收稿日期: 2000-02-23; 收到修改稿日期: 2000-08-15

皆镀有 808 nm 和 1.064 μm 的增透膜。由于 Nd:YVO₄ 晶体热传导较差,在大功率抽运时将产生明显的热透镜效应,因此在选取谐振腔参数时应考虑热透镜的影响。在端面抽运时,可将激光晶体视为一薄透镜^[3]。对离子掺杂分数为 0.5% 的 Nd:YVO₄ 晶体,由计算可知:当抽运光功率为 20 W

时, Nd:YVO₄ 晶体的热焦距大约为 150 mm。考虑 Nd:YVO₄ 晶体的热焦距,由 ABCD 矩阵和稳定腔条件,我们选取 M₁ 和 M₂ 之间的距离为 66 mm; M₂ 到 M₃ 之间的距离为 265 mm; M₃ 到 M₄ 之间的距离为 160 mm~175 mm。

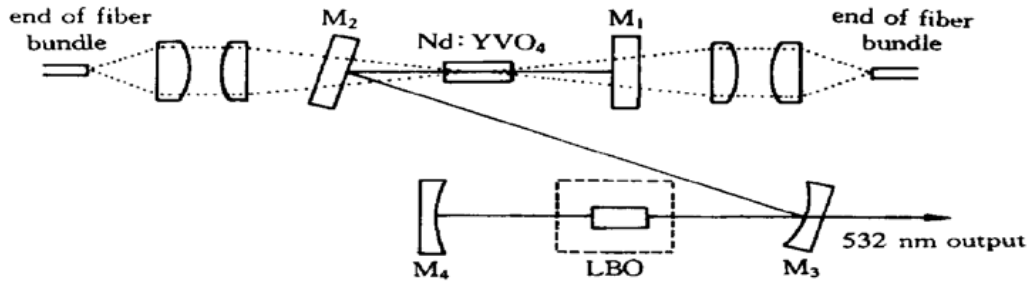


Fig. 1 Schematic of the LD pumped Nd:YVO₄/LBO green laser

倍频晶体 LBO 是一种性能优良的非线性晶体,它的非线性系数虽然比 KTP 小(大约为 KTP 的 1/3),但透光范围宽,且有很高的破坏阈值和很小的走离角^[4]。在 1.06 μm 波段倍频, LBO 可实现 I 类非临界相位匹配,用温度调谐来消除走离效应,这意味着在大功率抽运情况下,可使用较长的倍频晶体,补偿其非线性系数小的缺点,从而获得较高的转换效率。LBO 晶体是负双轴晶体,在 I 类非临界相位匹配时,满足 $\theta = 90^\circ$, $\varphi = 0^\circ$ 。由 Kato 修正后的 LBO 晶体的色散方程^[5]我们求得它在 1.064 μm 波段的匹配温度为 150 $^\circ\text{C}$ 左右,其倍频效率随温度的变化关系满足 sinc 函数曲线。实验中所用的 LBO 晶体是中科院福建物构所生长,尺寸为 3 mm \times 3 mm \times 15 mm,两通光面镀 1.064 μm 和 532 nm 双色增透膜。将其放在一温度可调的炉子里,炉子温度的控制精度为 ± 0.2 $^\circ\text{C}$,实验中移动炉子位置使 LBO 晶体中心位于 M₃ 和 M₄ 之间的束腰附近。

3 实验结果

在实验过程中,先不放入 LBO 晶体,调节 M₃ 和 M₄ 之间的距离 l_3 大约为 158 mm。用 He-Ne 激光准直后注入一定功率的抽运光,精细调节后端镜 M₄ 和平面镜 M₁ 直到输出 1064 nm 激光模式最好且功率最高(用透过折叠镜 M₃ 的激光探测)。放入 LBO 晶体,并调节其位置和角度,使输出绿光模式最好。打开温控仪,将晶体炉温度设定为 160 $^\circ\text{C}$ 。随着 LBO 晶体炉温度的升高,绿光输出模式和功率都呈现周期性的变化。当温度升到约 148.5 $^\circ\text{C}$ 时,绿光功率开始显著升高,直到 149.8 $^\circ\text{C}$ 左右时绿光输出功率达到最高,此时的温度即为其匹配温度;当

温度超过 149.8 $^\circ\text{C}$,绿光输出功率开始迅速下降。

实验测得 LBO 的温度带宽大约为 2.5 $^\circ\text{C}$,绿光输出功率随 LBO 晶体温度变化的实验曲线与理论曲线基本一致(见图 2)。设定温控仪使晶体炉的温度保持在 149.8 ± 0.2 $^\circ\text{C}$,适当调节腔镜使绿光输出功率最高。缓慢增加抽运光功率,若绿光输出模式变差,可适当调节后端镜 M₄,使激光器仍处于稳定工作区。当两台激光二极管总输出功率为 20 W 时,获得了 5.3 W 较稳定的 532 nm 连续波绿光输出,光-光转换效率为 26.5%,其输入输出关系如图 3 所示。

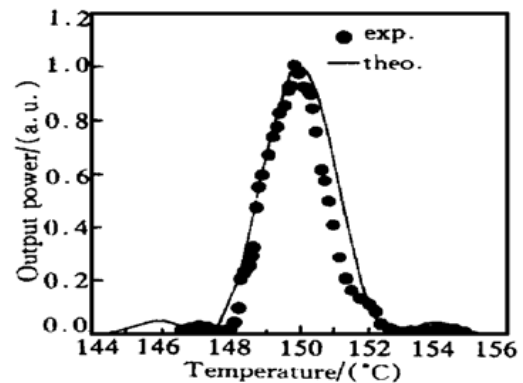


Fig. 2 LBO I-type NCPM SHG temperature-tuned curve

在绿光输出功率为 5 W 附近,我们对它的模式进行了测试。用针孔功率计在一定位置对光束进行一维扫描,每间隔 100 μm 读取一个功率值,归一化后得到光束的一维强度分布曲线近似为高斯分布(见图 4)。

另外,我们还对它的短期稳定性进行了测量。在输出绿光功率为 5.3 W 时,每隔 5 min 记录一次数据,在 30 min 内其波动小于 1.1%。

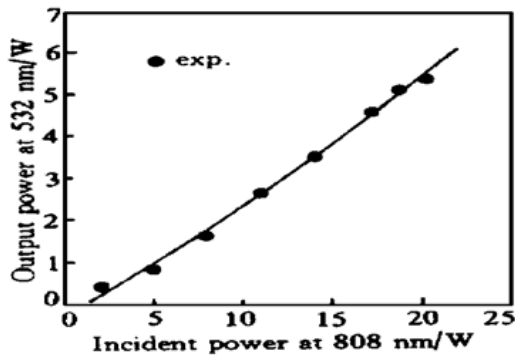


Fig. 3 532 nm output power as a function of pump power from laser diode at 808 nm

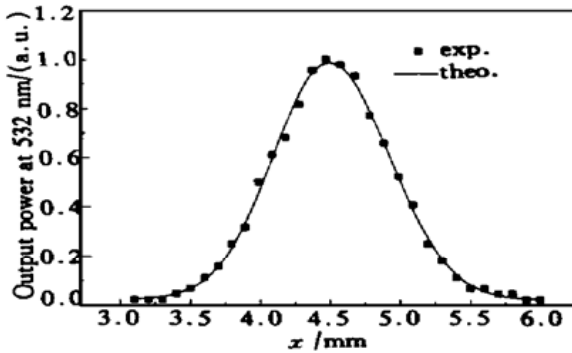


Fig. 4 The mode of the green laser

总结 本文主要介绍了激光二极管双向抽运 Nd: YVO₄晶体,用 LBO 腔内倍频获得 532 nm 连续波绿光的激光器。利用 LBO 晶体 I 类非临界相位匹配,温度调谐,在抽运光功率为 20 W 时,获得最大输出为 5.3 W 的 TEM₀₀模绿光输出。通过对 532 nm 输出模式及稳定性的测量可以看出它具有较好的输出特性。因此,我们认为在此基础上实现全固态大功率绿光实用化将成为可能。

参 考 文 献

- [1] 何京良, 侯 玮, 张恒利 等. LD 抽运 Nd: YVO₄腔内倍频连续波 8.8 W 绿光激光器. 中国激光, 2000, A20(6): 481~ 484
- [2] 魏志义, 陈毓川, 李健等. 自锁模钛宝石激光飞秒实现全固态运转. 光学学报, 1998, 18(7): 960
- [3] Innocenzi M E, Yura H T, Fincher C L *et al.*. Thermal modeling of continuous-wave end-pumped solid-state lasers. *Appl. Phys. Lett.*, 1990, 56(19): 1831~ 1833
- [4] Chen Chungtian, Wu Yichang, Jiang Aidong *et al.*. New nonlinear optical crystal: LiB₃O₅. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1989, 6(4): 616~ 621
- [5] Kato K. Temperature-tuned 90° phase matching properties of LiB₃O₅. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1994, QE-30(12): 2950~ 2952

CW Laser by Intracavity Frequency Doubling with LBO in a LD Pumped Nd: YVO₄ Laser

Hou Wei¹⁾ Zhang Hengli¹⁾ Li Jian²⁾ Lü Junhua¹⁾ Qi Junjie¹⁾ Wu Bochang³⁾
Chen Chuangtian³⁾ Xu Zuyan¹⁾

- 1), Laboratory of Optical Physics, Institute of Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080
2), Laboratory of Modern Optics, Shandong Normal University, Jinan 250014
3), Fujian Institute of Research on the Structure of Matter, The Chinese Academy of Sciences, Fuzhou 350002

(Received 23 February 2000; revised 15 August 2000)

Abstract: A maximum of 5.3 W CW output green laser has been obtained by intracavity frequency doubling with LBO in a Nd: YVO₄ laser doubly pumped by two laser diodes. With I-type noncritical-phase-match (NCPM), temperature tuning of LBO crystal, a maximum of 5.3 W of cw TEM₀₀ mode output at 532 nm has been obtained with 20 W pump power, the optical conversion efficiency is 26.5%. The mode of the green light and the relation between the output power of green laser and the temperature of LBO crystal have been measured, they all agree well with the theoretical results.

Key words: LD pump; Nd: YVO₄ laser; LBO intracavity frequency doubling; noncritical phase match