

文章编号: 1007-6654(2001)01-0042-05

半整块外腔谐振倍频稳频 MgO:LiNbO₃ 激光器

马艳, 王海波, 郜江瑞

(山西大学光电所, 山西大学量子光学教育部重点实验室, 山西太原 030006)

摘要: 报道了, 用高功率 LD 泵浦的全固化单频稳频 Nd:YVO₄ 激光器作为泵浦源的外腔谐振倍频绿光激光器。倍频腔采用半整块腔型, 倍频晶体为 MgO:LiNbO₃。当倍频腔前的基频光功率为 1W 时, 得到最高绿光输出为 500mW, 倍频转换效率为 50%。在锁定情况下, 倍频腔的功率波动小于 2%。频率稳定性优于 500KHz。

关键词: 半整块; 外腔; 相位匹配; 阻抗匹配

中图分类号: TN248 **文献标识码:** A

0 引言

高功率半导体激光器技术的不断完善, 为 LD 泵浦的固体激光器的发展提供了良好的条件。LD 泵浦固体激光器的一个重要应用是通过倍频来产生可见光作为 OPO 的泵浦源产生宽带可调谐激光和非经典光场。但是 LD 泵浦的连续激光器输出功率相对较低的, 因此要得到高效倍频就必须通过某种途径来增加倍频晶体中的基频光功率密度。通常是采用内腔倍频技术^[1] (将倍频晶体置于激光谐振腔内), 利用激光谐振腔中高的腔内功率密度, 获得高效倍频光。但是, 它的稳定性较差, 当激光器多模运转时会导致倍频光输出有效大的功率波动产生所谓的绿光问题^[2]。另外一种方法是外腔谐振倍频技术^[3], 这种方法是把非线性晶体置于外部谐振腔中, 使基频光, 倍频光或两个同时在腔内起振。这样可以有效的避免内腔倍频技术的功率波动问题。此外, 外腔谐振倍频的另外一个好处是激光腔和倍频

腔可以分别优化, 这在低增益和准三能级系统中是非常重要的。独立的优化激光器, 使其单纵模运转, 可确保倍频腔单纵模运转。MgO:LiNbO₃ 被选作倍频晶体是因为它对 1.06 μ m 的光损耗低, 大的非线性系数和电光系数, 并且对倍频 1.06 μ m 的光可实现非临界 I 类相位匹配。本文采用 MgO:LiNbO₃ 为倍频晶体和半整块腔型得到最高绿光输出为 500mW, 倍频效率为 50%, 倍频腔锁定后功率, 波动小于 2% (如图 6), 频率稳定性优于 500KHz (如图 5)。

1 理论分析

图 1 中 P₁ 是基频光的输入功率, P_r 指经倍频腔反射后的基频光功率, P₂ 是输出的倍频光功率, P_c 为腔内循环功率。

1.1 输入耦合镜的最佳透射率 t_{opt} (阻抗匹配条件)

当基频光在倍频腔中起振时, 反射的基频光功率与泵浦光功率之间有这样的关系^[3]:

收稿日期: 2001-01-03

基金项目: 国家自然科学基金(69778015)

作者简介: 马艳(1975-), 女, 山西祁县人, 山西大学硕士研究生, 研究方向: 量子光学与量子通讯。

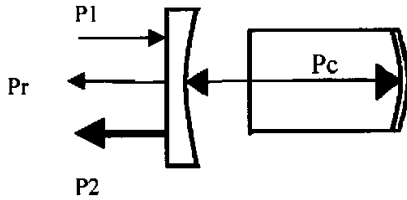


图 1

$$\frac{P_r}{P_1} = \frac{(\sqrt{r_1} - \sqrt{r_m})^2}{(1 - \sqrt{r_1 r_m})^2} \quad (1)$$

其中 r_1 是 M1 对基频光的反射率, r_m 是共振的基频光在腔内往返一周后离开倍频腔时的反射参量, r_m 可表示为:

$$r_m = 1 - (\delta + \gamma_{SHC})P_c \quad (2)$$

其中 δ 表示内腔损耗, γ_{SHC} 是晶体内的倍频转换系数可表示为:

$$\gamma_{SHC} = \left(\frac{2\omega_1^3 d_{eff}^2}{\pi n^2 c^4 \epsilon_0} \right) lh(\sigma, B, \xi) \quad (3)$$

从(1)式中可推出:当 $r_1 = r_m$ 时, $P_r = 0$ 。这表明基频光全部耦合到倍频腔中,即实现了“阻抗匹配”。此时,输入耦合镜的最佳透射率为:

$$t_{opt} = \delta + \gamma_{SHC} \frac{P_1}{t_{opt}} \quad (4)$$

1.2 从倍频光到基频光的转换效率 η

η 被定义为:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (5)$$

在阻抗匹配条件下可以推出^[4]:

$$\eta = \frac{\gamma_{SHC} P_1}{(\delta + \gamma_{SHC} P_c)^2} = \frac{\gamma_{SHC} P_1}{t_{opt}^2} \quad (6)$$

由上式 η 与 P_1 成正比,而与 t_1 的平方成反比。因此,要提高倍频光的转换效率必须增大泵浦光功率或减小内腔损耗。

2 实验装置

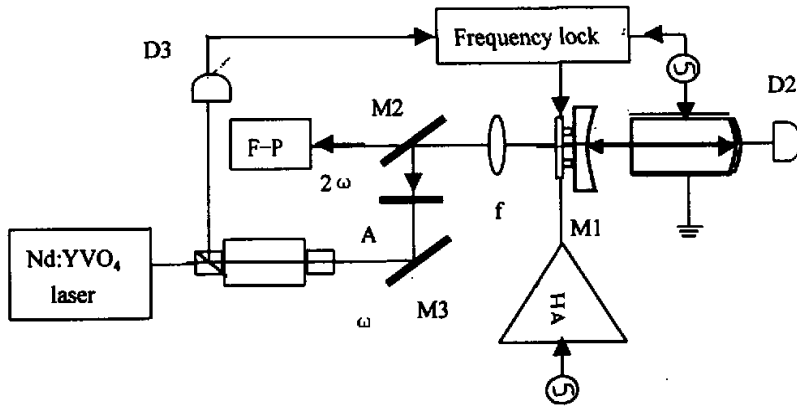


图 2 外腔倍频装置图

M3 全反镜 M2 双色镜 M1 输入耦合镜 D2 D3 探测器
HA 高压放大器 A 二分之一波片 f 匹配透镜

实验装置如图 2 所示。泵浦源采用自己设计并制造的由 LD 泵浦的全固化的单频稳频 Nd:YVO₄ 环形激

光器,产生 1064nm 的红外激光,其单频最大输出功率为 2W,频率稳定性优于 400K Hz。经过 10-5-

YAG 型法拉第隔离器来隔离由倍频腔反射的基频泵浦光,以防止反射的基频光反馈到激光器中,影响激光器单频运转,隔离比大于 40dB。倍频腔前的基频光功率为 1W。

M_1 为输入耦合镜,与晶体组成半块腔。 M_1 曲率半径为 40mm,对基频光的透射率为 7.8%。倍频晶体的一面为平面,镀双增透膜,另一面作为一个腔镜,曲率半径为 10mm,镀双色高反膜。基频光在腔内起振,倍频光在腔内双次通过,从 M_1 输出腔外。晶体的尺寸为 $2\text{mm} \times 2.5\text{mm} \times 7.5\text{mm}$,折射率为 2.233,放在自制的控温炉中,用自制的控温仪精确控制晶体的匹配温度,控温仪的精度为 0.01°C 。由文献[5]可知在倍频腔内谐振的基频光的最佳腰斑为 $26.3\mu\text{m}$,此时,腔长为 46.1mm。 M_2 为双色镜,对 532nm 绿光增透,红外高反。把从 M_2 透射出的一部分信号,输入 F-P 参考腔中,通过扫描 F-P 腔来监视绿光的模式,由图 3 可知绿光单频运转。

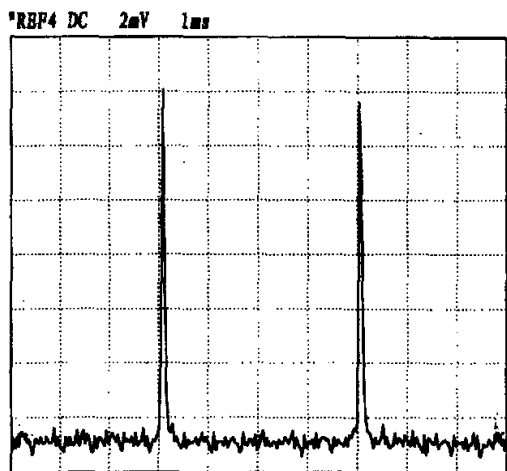


图3 扫描 F-P 参考腔的透射率曲线

3 实验结果及分析

用相干公司生产的 Modemaster 测出 Nd:YVO₄ 激光器的基模腰斑为 $320\mu\text{m}$,所以通过加 $f = 100\text{mm}$ 的匹配透镜,通过调节透镜位置使基频光在倍频腔

中的模匹配达到 94.7%。

控制晶体的温度在 119.5°C (最佳相位匹配点),在垂直于晶体光轴的方向上,通过两个铜电极加 13MHz 的调制信号对腔长进行电光调制,以获得鉴频曲线。以倍频腔反射回去的基频光信号作为锁腔信号,由快速光电探测器 D3 探测,经隔直电路和调制信号一起输入混频器作为误差信号,经伺服电路滤波高压放大后,代替锯齿波反馈到固定 M_1 的压电陶瓷上来锁定倍频腔。倍频腔锁定后功率波动小于 2% (如图 6),这主要是由伺服系统的技术噪声引起。此时,绿光输出为 500mW,倍频转换效率为 50%。

(3)式中 γ_{sync} 是与温度有关的相位失谐项 Δk 的函数^[3],所以从(6)式,可知倍频转换效率 η 和相位失谐项 Δk 之间存在一定的函数关系。在模式匹配的情况下,给晶体加温得到如图 4 所示的温度调谐的相位匹配曲线(倍频腔处于扫描状态下)。横轴表示温度,纵轴表示倍频转换效率。当晶体处于常温下时,二次谐波过程不能实现相位匹配,没有倍频光输出。在 119.1°C 时,达到最佳相位匹配,倍频输出最高。图中出现两个峰,是因为倍频腔内产生的绿光是沿着两个方向,向后传播的绿光经 M_1 直接透射出去,向前传播的光经高反膜反射在倍频腔内往返一周,再从 M_1 透射出腔,这样这两束光就存在一定的位相差所致。

在今后的实验中有待改进的两个问题:

(1)基频光在倍频腔中的模匹配达到 94.7%,在进一步改善匹配条件和基频光偏振纯度后可望获得更好的模匹配。

(2)倍频腔的带宽为 43MHz,精细度 F 为 74,输入耦合镜的透射率 $t_1 = 7.8\%$ 。由

$$F = \frac{2\pi}{t_1 + \delta} \quad (7)$$

可推算出腔内损耗 $\delta = 0.7\%$ 。把 δ 带入(4)式可推算出 $t_{\text{opt}} = 6.4\%$ 。而输入耦合镜的透射率 $t_1 = 7.8\%$,所以,没有达到“阻抗匹配”。影响了倍频转换效率。

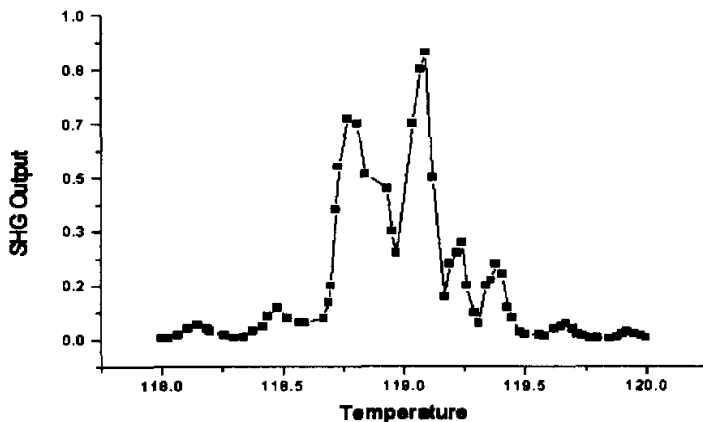


图 4

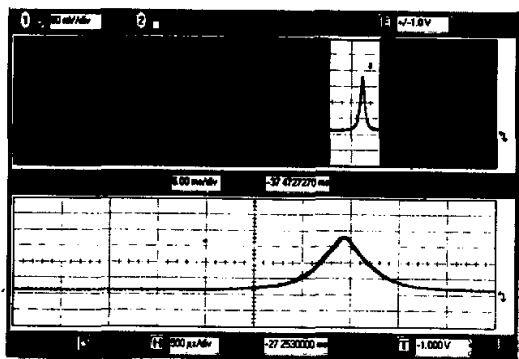
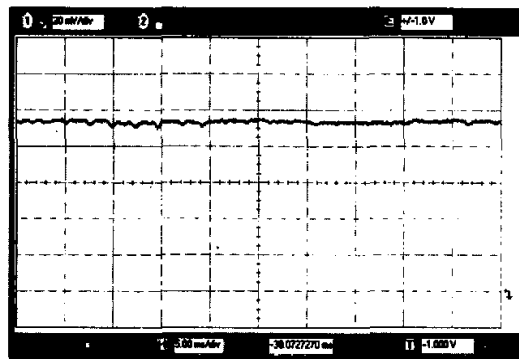


图 5 在稳频情况下频率稳定性优于 500kHz

图 6 倍频腔信号的功率波动曲线
图中箭头所指的位置为示波器的基线位置

4 小结

本文采用 MgO:LiNbO₃ 为倍频晶体和半整块腔型,当腔前基频光功率为 1W 时,得到最高绿光输出

功率为 500mW,倍频转换效率为 50%。在锁定情况下,倍频腔的功率波动小于 2%。频率稳定性优于 500kHz。

参考文献:

- [1] FAN T Y, DIXON G J, BYER R L, *et al.* The tech of intra-cavity Frequency-doubled [J]. *Opt lett*, 1986, **11**: 204.
- [2] BAER T. Large-amplitude fluctuation due to longitudinal mode coupling in diode-pumped intracavity-doubled Nd:YAG lasers [J]. *Jopt Soc Amer*, 1986, **B3**: 1175.
- [3] ASKIN A. The technology of extra-cavity frequency-doubled [J]. *IEEE j Quant Electr*, 1986, **QE-2**: 109.
- [4] BOYD G D, KLIENMAN D A. Parametric Interaction of Focused-Gaussian Light Beams. [J]. *J Appl Phys*, 1968, **39**: 3597.
- [5] ANDREW G WHITE. A thesis submitted for the degree of doctor of philosophy of the Australian National University PhDthesis [D]. 1997. 96.

Frequency-doubled MgO:LiNbO₃ Laser

Using an Semi-monolithic External Resonant Cavity

MA Yan, WANG Hai-bo, GAO Jiang-rui

(Inst. of Opto-electronics, Shanxi University, Taiyuan, Shanxi 030006 China)

(Key laboratory for Quantum Optics of Ministry of Education, China)

Abstract: A frequency-doubled laser is pumped by an all-solid frequency-stabilized Nd:YVO₄ laser, a MgO:LiNbO₃ is used as crystal and using a semi-monolithic external resonator. 500mW green laser is obtained with an input fundamental power of 1W. The SHG efficiency is about 50%, the power fluctuation is less than 2%, and the frequency stability is better than 500KHz.

Key words: semi-monolithic; external cavity; phase matching; impedance matching