

文章编号: 0258-7025(2003)05-0395-03

高光束质量 $1.57 \mu\text{m}$ 的光参量振荡器

包照日格图, 周寿桓, 赵海霞, 裴博

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘要 将渐变反射率镜(VRM)虚共焦非稳腔成功地应用于光参量振荡器(OPO),在工作重复频率 20 Hz 时,获得了能量 40 mJ,光束发散角 4 mrad 的 $1.57 \mu\text{m}$ 激光输出。

关键词 激光技术;光参量振荡器;变反射率镜;共焦非稳腔

中图分类号 TN 248.1 **文献标识码** A

High Beam Quality $1.57 \mu\text{m}$ OPO

BAO Zhao-ri-ge-tu, ZHOU Shou-huan, ZHAO Hai-xia, PEI Bo

(North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing 100015, China)

Abstract An output pulse energy of 40 mJ, repetition rate of 20 Hz at $1.57 \mu\text{m}$ with the beam divergence of 4 mrad was obtained in an OPO by using VRM unstable resonator.

Key words laser technique; optical parametric oscillator (OPO); varied reflectivity mirror; confocal unstable resonator

1 引言

目前,获得人眼安全激光的方法主要有拉曼频移激光器技术、钕玻璃激光器技术和 OPO 技术。拉曼频移需要借助高压气体(CH_4)拉曼管才能实现,激光器系统结构复杂,可靠性差;钕玻璃激光器是能够直接实现 $1.54 \mu\text{m}$ 人眼安全激光输出的器件,但钕玻璃是三能级激光系统,振荡阈值高,玻璃基质的抗激光损伤能力又很差,很难实现兆瓦级的峰值功率运转;通过 OPO 技术获得人眼安全激光输出,因具有阈值低、转换效率高、全固体化等特点,成为获得 $1.57 \mu\text{m}$ 波长激光输出的最有效的方法。 $1.57 \mu\text{m}$ 激光,因具有人眼安全并且是大气窗口的特点,较 $1.064 \mu\text{m}$ 激光对烟雾有较强的穿透能力,也有较为合适的探测器,因而在激光预警、激光测距、激光跟踪等领域有巨大的应用潜力。研究初期,为了降低抽运阈值,提高输出能量,多采用腔长较短的平行平面谐振腔或稳定谐振腔,这就导致了 OPO 振荡光的发散角都非常大,难以满足某些实际应用

的要求。提高 OPO 的光束质量,已成为 OPO 研究的一个重要方向。我们在“九五”期间,开展了一系列改善 OPO 光束质量的实验研究,通过将虚共焦非稳腔技术应用于 OPO 谐振腔内,在重复频率为 20 Hz 时,获得了光束发散角为 10 mrad 的 $1.57 \mu\text{m}$ 激光输出。之后,为了消除硬边光阑的衍射效应对 OPO 光束质量的影响,我们研究了具有渐变反射率镜(VRM)的虚共焦非稳腔 OPO^[1,2],在重复频率 20 Hz 下,获得了光束发散角为 4 mrad,输出能量 40 mJ 的高光束质量 OPO 振荡光,为提高 OPO 的光束质量提供了有效的技术途径。

2 变反镜虚共焦非稳腔设计

虚共焦非稳腔是一种较为理想的获得基横模输出方案,它具有膜体积大,可平面波输出的特点,但由于硬边光阑的衍射效应,使得近场光斑为环形,能量不均匀,远场产生衍射环,能量分布分散。采用变反射输出镜^[3,4]可以消除硬边光阑的衍射效应,改

收稿日期:2001-10-29;收到修改稿日期:2002-04-10

作者简介:包照日格图(1974—),男(蒙古族),工程师,博士,现在北京华北光电技术研究所工作,主要从事固体激光技术、光参量振荡器研究。E-mail:baokun2008@yahoo.com.cn

善激光光束质量。

VRM 的反射率径向分布多采用高斯型或超高斯型,即

$$R(r) = R_0 \exp[-2(r/\omega_m)^n] \quad (1)$$

式中 R_0 为中心最大反射率, r 为径向距离, ω_m 为反射率降为最大反射率的 $1/e^2$ 时的膜半径, n 为超高斯函数阶数。由于随着 n 的增加, 变反镜反射率变化的锐度明显增加, 从而导致类似于硬边光阑对输出光束造成严重的衍射效应, 所以在本实验中 n 取值为 2。

VRM 虚共焦非稳腔除了具有其他非稳腔的几何偏折损耗和衍射损耗外, 还有输出镜不完全反射的输出损耗, 其往返损耗率为

$$\delta = 1 - R_0/M^2 \quad (2)$$

$$\bar{R} = \left(\int_0^a R(r) dr \right) / a \quad (3)$$

式中 \bar{R} 为渐变反射率镜平均反射率, a 为渐变反射率镜的底半径, M 为渐变反射率镜非稳腔的横向放大率, 在同等条件下, M 与硬边输出镜非稳腔最佳放大率 M' 的关系为 $M^2 = M'^2 \bar{R}$ 。对于光参量振荡器, 由于其运转水平要受工作物质的有效非线性系数、适配角和走离效应的限制, 如果非稳腔的放大率 M 过大, OPO 将不能振荡, 所以 M 选为 1.25。

腔内光腰半径为

$$\omega_b = \omega_m (M^n - 1)^{1/n} \quad (4)$$

输出激光的光强近场表达式为

$$I_n(r) = I_n(0) \exp(-r^2/\omega_b^2) [1 - R(r)] \quad (5)$$

对式(6)求导可得到近场光强平顶分布的条件, 即

$$R_0 = 1/M^2 \quad (6)$$

当确定了 n, M, R_0, ω_b 以后, 可由式(4) 来确定 ω_m 。

前后镜曲率半径 R_1, R_2 为

$$R_1 = -2L/(M-1) \quad (7)$$

$$R_2 = 2ML/(M-1) \quad (8)$$

当考虑工作物质的热透镜焦距 f 时, 全反镜的实际曲率 R_2' 由下式确定

$$\frac{1}{R_2'} = \frac{1}{R_2} - \frac{1}{f} \quad (9)$$

3 实验装置

图 1 为 1.064 μm 激光抽运的 KTP-OPO 的实验方案原理图。其中 M_3 为 1.064 μm 全反射平凹膜片, 曲率半径为 2.5 m; M_2 为 1.064 μm 高透, 1.5 ~ 1.7 μm 全反射凹凸膜片; M_1 为 1.57 μm 变反射率, 1.064 μm 均匀反射凹凸膜片, 1.57 μm 变反膜, 其中心反射率设计为 64%, $2\omega_m = 6.0$ mm, $n = 2$; SP 为 45° 1.064 μm 全反射和 1.57 μm 的高透过率膜片; P_c 为普克尔盒; P 为 1.064 μm 偏振片; Nd:YAG 的尺寸为 $\phi 6$ mm \times 75 mm; KTP 晶体 ($\theta = 90^\circ, \phi = 0^\circ$) 的尺寸为 7 mm \times 7 mm \times 20 mm; DUMP 为 1.064 μm 激光吸收器。 M_1, M_2 构成 OPO 激光谐振腔, 腔长 100 mm, 放大率 1.25。

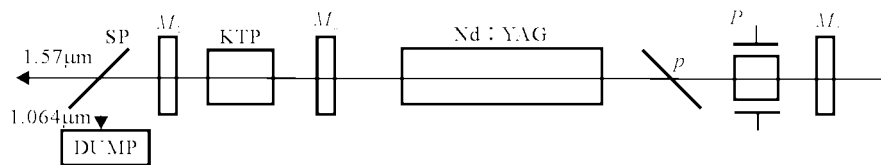


图 1 1.57 μm KTP OPO 光路图

Fig. 1 Experimental setup of 1.57 μm KTP OPO

图 2 为 OPO 的输出能量与电注入能量间的关系曲线。从图中可以看出, 随着电注入能量的增加 OPO 的输出能量趋于饱和。究其原因, 是由于镀膜技术的限制, 1.57 μm 变反膜的中心反射率偏高(测量值为 $R_0 = 77\%$), 腔内倍频光功率密度过大, 造成倍频光和闲频光重新复合为抽运光, 从而导致倍频光的输出能量的下降。图 3 为通过计算机模拟设计的 1.57 μm 波长反射率曲线。

因为本实验的目的是改善 OPO 的光束质量,

所以在激光效率方面没有达到最优化设计, 其总转换效率为 1.7%, 输出能量稳定性优于 8%。

图 4 为具有 VRM 输出镜的 1.57 μm 激光的近场光斑, 其光斑尺寸为 5 mm, 测量位置为离滤光片 SP100 mm 处。图 5 为利用 TDS380 高频示波器观察到的 1.57 μm 激光波形, 近似为高斯形, 脉宽为 7.8 ns。利用套孔法进行 1.57 μm 激光远场光束发散角的测量, 其发散角为 4 mrad。其 M^2 因子, 利用公式 $M^2 = \pi\omega_0\theta/4\lambda$ 来计算, 约为 10。

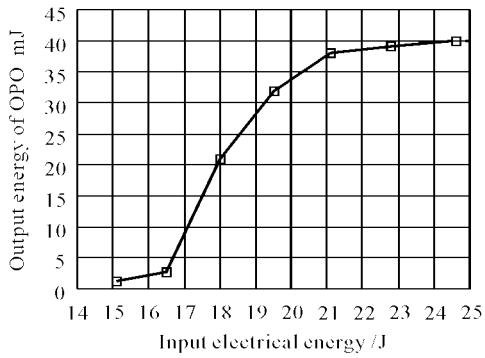


图 2 OPO 输出能量与电注入能量间的关系曲线
Fig. 2 Output energy of OPO vs input electrical energy

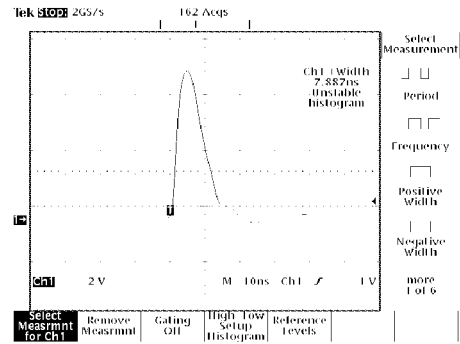


图 5 OPO 振荡光脉冲波形
Fig. 5 OPO pulse shape

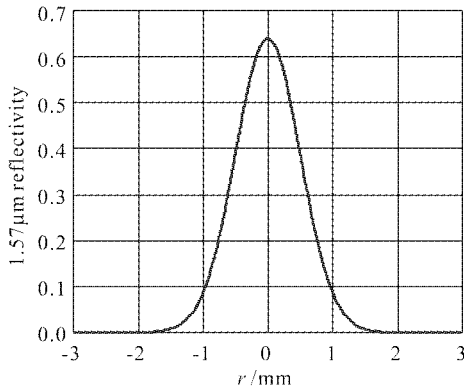


图 3 计算机模拟设计的 $1.57 \mu\text{m}$ 波长反射率曲线
Fig. 3 Calculated mirror reflectivity distribution at $1.57 \mu\text{m}$

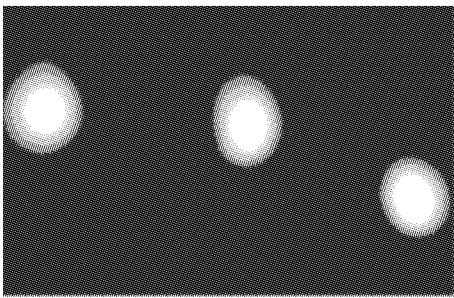


图 4 $1.57 \mu\text{m}$ 激光光斑 (VRM)
Fig. 4 $1.57 \mu\text{m}$ laser spot (VRM)

4 结 论

利用具有变反射率输出镜的虚共焦非稳腔技术,显著地提高了 OPO 的光束质量,其光束发散角达到 4 mrad ,光束质量因子 M^2 为 10。但因镀膜技术的限制,OPO 谐振腔还没有达到最优化的设计结果。除此之外,抽运光的光束质量,OPO 腔长以及高重频工作状态下 KTP 晶体的热效应,也是影响 OPO 光束质量的重要因素。

参 考 文 献

- 1 William A. Neuman. Effect of cavity design on optical parametric oscillator performance [C]. *Advanced Solid-State Laser OSA*, 1996, **1**:179~181
- 2 Bao Zhaorigetu, Pei Bo. $1.57 \mu\text{m}$ noncritical phase matching KTP optical parametric oscillator [J]. *Laser & Infrared* (激光与红外), 2001, **31**(5):304~305 (in Chinese)
- 3 N. McCarthy, P. Lavigne. Large size Gaussian modes in unstable resonators using Gaussian mirrors [J]. *Opt. Lett.*, 1985, **10**(3):535~555
- 4 Suresh Chandra. Improved OPO brightness with a GRM non-confocal unstable resonator [C]. *Advanced Solid-State Laser OSA*, 1996, **1**:177~178