

文章编号: 0258-702X(2002)01-0013-03

内腔式 KTP OPO 发散角的实验研究

裴博^{1,2}, 包照日格图², 周昀², 周寿桓², 沈柯¹

(¹ 长春光学精密机械学院理学院, 吉林 长春 130022; ² 华北光电技术研究所, 北京 100015)

提要 实验研究了非临界相位匹配(NCPM)的内腔式KTP光学参量振荡器(OPO)的光束发散角与OPO谐振腔参数的关系。证明了望远镜型共焦非稳谐振腔是压缩OPO光束发散角的有效方法。

关键词 OPO, 光束发散角, 望远镜型共焦非稳谐振腔

中图分类号 TN 248.1 **文献标识码** A

Experimental Investigation of Beam Divergence in Intracavity KTP OPOs

PEI Bo^{1,2}, BAO Zhaorigetu², ZHOU Yun², ZHOU Shou-huan², SHEN Ke¹

(¹ Department of Optical Physics, Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Changchun 130022)
(² North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015)

Abstract The performance of the intracavity KTP OPO output beam divergence as a function of resonator parameters have been investigated experimentally. The Cassegrainian unstable resonator has been demonstrated to be one of efficient means to decrease the OPO beam divergence.

Key words OPO, beam divergence, Cassegrainian unstable resonator

1 引言

1.06 μm 激光非临界相位匹配(NCPM)的KTP光学参量振荡器(OPO)是目前获得高重复频率大能量1.57 μm 人眼安全激光输出的最有效手段。早在90年代初期即已在世界上形成了研究热点^[1~3]。我国亦有很多科学家对此进行了理论和实验研究^[4~7]。多年来我们也一直致力于这方面的研究和产品开发,但随着研究的深入和应用要求的提高,改善OPO激光光束质量的重要性就更加显现出来。在研究初期阶段人们多将精力集中于NCPM的KTP OPO的机理和特点方面,为了降低阈值,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。另一个值得注意的问题是平行平面腔或稳定腔OPO在有限工作物质的情况下难以获得更大的能量输出,这是因为当OPO谐振腔内信频光和闲频光功率密度过大时,会导致信频光和闲频光复合还原成抽运光的行为发生。这不仅使OPO的

效率降低,还会导致OPO输出激光光束质量下降,影响使用。为此,如何提高OPO的光束质量在近年来受到广泛关注^[8~10]。

2 实验研究

2.1 实验装置

图1为实验装置示意图。 M_1 为1.06 μm 全反射介质膜片; M_2 为1.06 μm 和1.57 μm 部分透过介质膜片,其中1.06 μm 透过率约为20%,1.57 μm 透过率约为85%(曲率在实验研究过程中随不同的目的而变化); M_3 为1.57 μm 全反射介质膜片(曲率在实验研究过程中随不同的目的而变化); M_4 为45°平面分光介质膜片,它的右侧镀1.06 μm 45°减反介质膜,左侧镀1.57 μm 全反射膜,同时镀1.06 μm 高透介质膜;KTP的尺寸为7 mm \times 7 mm \times 20 mm, x 方向切割,两个7 mm \times 7 mm面为通光面,镀1.06 μm 和1.5 ~ 1.7 μm 减反膜;Nd:YAG的尺寸为 ϕ 6 mm \times 90 mm; P 为1.06 μm 偏振片; P_c 为

收稿日期 2000-10-30;收到修改稿日期 2000-12-15

作者简介 裴博,博士,高级工程师。E-mail: peibo@publicz.east.net.cn

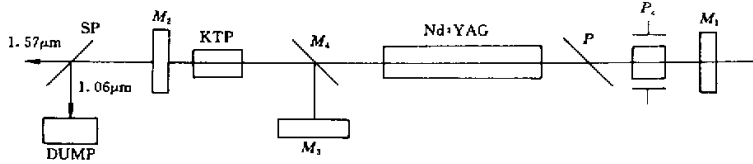


图 1 实验装置

Fig.1 Experimental setup

普克尔盒 SP 为 45° 分光镜, 它的右侧镀 1.06 μm 全反射和 1.57 μm 高透介质膜, 左侧镀 1.57 μm 减反介质膜。DUMP 为 1.06 μm 激光吸收器。

此装置为一内腔式 1.06 μm Nd:YAG 激光抽运的 1.57 μm NCPM 的 KTP OPO。其中 M₁, M₂ 构成 Nd:YAG 激光谐振腔; M₃, M₄, M₂ 构成 OPO 谐振腔。M₂ 为两谐振腔的公用输出耦合镜。采用这种结构的优点在于抽运激光器谐振腔和 OPO 谐振腔的调整可以分别进行, 避免了在调整两谐振腔过程中的相互干扰。若 M₂ 在 1.06 μm 处全反射, 则能提高抽运光的光功率密度, 但本实验的目的是研究 OPO 激光的光束质量而非一味追求 OPO 的转换效率。因此使 M₂ 在 1.06 μm 处有一合适的透过率有利于监视抽运光的光束质量对 OPO 光束质量的影响和避免谐振腔内元件的损伤。

所有实验的激光器工作频率均为 5 Hz, 所有激光发散角的测量均采用套孔法。

2.2 抽运光发散角对 OPO 振荡光发散角的影响

保持 OPO 谐振腔的腔长 (~50 mm) 和腔型 (平行平面腔) 不变, 观察 OPO 振荡光发散角与抽运光发散角的关系。抽运光发散角是通过改变 M₁ 的曲率半径来实现的。

图 2 为 OPO 振荡光 (1.57 μm) 和抽运光发散角的关系曲线。由该图可见, 当 OPO 谐振腔参数不变时, OPO 振荡光发散角随抽运光发散角增加而增加, 而 OPO 振荡光发散角要比抽运光发散角增加得慢。另外, OPO 振荡光发散角除了与抽运光发散角有关外, 还与抽运光的横模模式有关。因为随着 M₁ 曲率半径的增加 (凹面的曲率半径值为“+”, 凸面的曲率半径值为“-”), 不仅抽运光的发散角增加, 其横模更加呈现高阶的模式。

在实验中还观察到这样一种现象, 即随着抽运能量的增加, OPO 振荡光的模式开始变坏, 主要表现在光斑的中心光强开始出现凹陷。若继续增加抽运能量, OPO 的输出能量反而减小。究其原因, 是

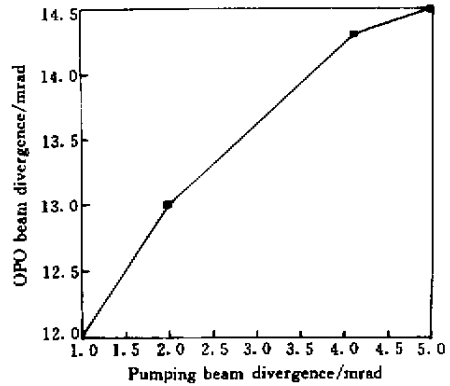


图 2 OPO 光束发散角与抽运光发散角的关系曲线

Fig.2 OPO beam divergence as a function of pumping beam divergence

因为抽运源谐振腔是稳定腔 (即便两腔镜 M₁, M₂ 均为平面镜, 但考虑到 Nd:YAG 晶体正的热透镜效应, 该腔亦等效为稳定腔), 其光强分布在光束中心部分为最大, 沿径向呈高斯函数下降。这样由于轴线附近抽运光功率密度最大, 它转换为 OPO 闲频和信频的效率也最高, 但如果 OPO 光不能被有效地耦合出谐振腔, 高功率密度的闲频光和信频光就会重新复合为抽运光。这也是平行平面或稳定 OPO 谐振腔难以高水平运转的主要原因。

2.3 望远镜型共焦非稳谐振腔 OPO 及其振荡光发散角

望远镜型共焦非稳谐振腔是获得较小激光发散角的有效手段之一, 这已经在其他类型的激光器中得到了很好的证明^[8, 10]。随着 OPO 效率和输出水平的提高, 人们意识到传统的稳定或平行平面腔 OPO 的不足, 并开始尝试将非稳腔技术应用于 OPO^[11, 12]。但是 OPO 又不同于激光振荡器, 它是一种非线性光学效应, 它的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。因此非稳腔更适用于那些工作物质的有效非线性系数较大、适配角范围较宽和走离效应小的 OPO。1.06 μm

激光抽运的 x 切割的 NCPM 的 KTP OPO 就是这样 一个很好的例子。非线性晶体 KTP 在 x 方向的有效非线性系数为 3.64pm/V , 适配角范围达 7° 之多^[1], 又不存在走离效应, 因此, 它适用于非稳腔。

2.1 节的实验已经证明 OPO 振荡光的发散角明显受抽运光发散角的影响, 因此, 在本节的实验中我们在保持抽运光发散角基本不变(通过调整 M_1 的曲率与 M_2 相匹配)的情形下研究非稳腔 OPO 的特性与放大率 M 的关系。

M 表示非稳腔对几何自再现波在腔内往返一周的放大率。当图 1 中 M_2, M_3 构成望远镜型共焦非稳腔时, 不难证明 $M = R_3/R_2$ (R_3, R_2 分别为 M_3, M_2 的曲率半径绝对值)^[13]。若仍套用该非稳腔对几何自再现波放大的理论, 可推得几何自再现波在平行平面腔内往返一周的放大率 $M = 1$ (此时几何自再现波为平面波, 其共轭像点在无限远处), 当 M_2 为平面镜, M_3 的曲率半径 $R_3 = 5000\text{mm}$, OPO 腔长保持 50mm 不变时, 可算得从 M_2 的无限远处的共轭像点发出的平面波从 M_2 出发经 M_3 反射回到 M_2 时, 其放大率 $M = 0.98$ 。这样推算平行平面腔和平凹腔放大率是没有实际意义的, 之所以这样表述只是为了在图 3 中直观地比较平凹稳定腔、平平腔与望远镜共焦非稳腔对 OPO 发散角的影响。

图 3 为当抽运光发散角保持在 1.5mrad 时, OPO 激光的发散角与 OPO 腔放大率 M 的关系。由该图可见, 随着谐振腔放大率 M 的增加, 发散角明显减小。非稳腔 OPO 的激光发散角明显要比平行平面腔 ($M = 1$) 和稳定腔 ($M = 0.98$) OPO 的发散角要小得多。在本次实验中, 在 $M = 1.25$ 时获得了最小发散角, 约为 4.2mrad 。此时注入总电能为 15J , 输

出的 $1.57\ \mu\text{m}$ 激光能量约为 50mJ 。因为本实验的目的是为了研究 OPO 的发散角, 所以在激光效率方面没有达到最优化设计。

3 结 论

本文证明了望远镜型共焦非稳腔是提高 OPO 光束质量的有效方法之一, 随着谐振腔放大率 M 的增加, 发散角明显减小。但是由于工作物质适配角的限制, M 不能过大, 否则会导致阈值过高或难以起振。

参 考 文 献

- 1 L. R. Marshall, A. Kaz. Eye-safe output from noncritically phase-matched parametric oscillators [J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1993, **10**(9): 1730 ~ 1736
- 2 I. Lee, V. I. Villavicencio. High average power performance of an eyesafe KTP OPO based system [C]. *SPIE*, 1993, **1864**: 158 ~ 162
- 3 S. P. Velsko, M. S. Webb. High average power parametric frequency conversion—new concepts and new pump sources [C]. *SPIE*, 1994, **2145**: 309 ~ 314
- 4 Liu Yanwei, Gong Mali, Zhai Gang *et al.*. KTP optical parametric oscillator with noncollinear pump [J]. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1998, **18**(4): 398 ~ 402 (in Chinese)
- 5 Yan Baisheng, Lei Hairong, Li Jiase *et al.*. The tuning characteristics of angle ϕ of KTP crystal in optical parameter generation [J]. *Opto-electronic Engineering* (光电工程), 1998, **25**(1): 67 ~ 69 (in Chinese)
- 6 Liu Qiang, Ju Youlun, Yao Baoquan *et al.*. Research of properties of an internal optical parametric oscillator (IOPO) and optical parametric amplifier (IOPA) [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1999, **A26**(8): 683 ~ 686 (in Chinese)
- 7 Yao Baoquan, Wang Yuezhu, Wang Qi *et al.*. Efficient noncritically phase-matched KTP optical parametric oscillator [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1999, **A26**(11): 969 ~ 972 (in Chinese)
- 8 B. C. Johnson, V. J. Newell, J. B. Clark *et al.*. Narrow-bandwidth low-divergence optical parametric oscillator for nonlinear frequency-conversion applications [J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1995, **12**(11): 2122 ~ 2127
- 9 A. Kaz, L. R. Marshall, A. Pinto *et al.*. Scaling optical parametric oscillators in power, energy and beam quality [C]. *OSA Proceedings on Advanced Solid-state Lasers*, 1994, **20**: 466 ~ 470
- 10 S. Chandra, T. H. Allik, J. A. Hutchinson *et al.*. Improved OPO brightness with a GRM non-confocal unstable resonator [C]. *OSA TOPS on Advanced Solid-state Lasers*, 1996, **1**: 177 ~ 178
- 11 Zhou Shouhuan, Zhang Fang, Wen Hua *et al.*. Nd: YAG Q-switched laser with variable reflectivity mirror (VRM) resonator [C]. *SPIE*, 1992, **1979**: 269 ~ 274
- 12 G. A. Rines, P. F. Moulton. Performance of gain-switched Ti : Al₂O₃ unstable-resonator laser [C]. *OSA Advanced Solid-state Laser*, 1990, **6**: 88 ~ 93
- 13 B. Zhou, *et al.*. *Laser Principle* [M]. Beijing : The Press of Defence Industry, July, 1996, chapter 2 (in Chinese)

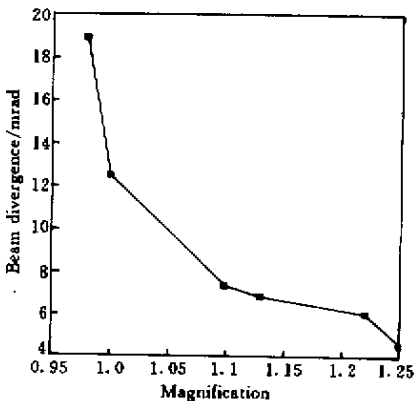


图 3 OPO 光束发散角与谐振腔放大率的关系曲线

Fig.3 OPO beam divergence as a function of the cavity magnification