

基于 PPMgLN 的中红外光学参量振荡器研究

柴 燕

(四川文理学院物理与工程技术系,四川 达州 635000)

摘 要:对一种基于被动调 Q 周期极化 MgO : LiNbO₃ (PPMgLN) 中红外光学参量振荡器 (OPO) 的进行了研究。利用 Nd : YVO₄/Cr⁴⁺ : YAG 被动调 Q 激光器作为泵浦源,输出得到了 1.78 W 波长为 1064 nm 的泵浦光,其脉冲宽度和重复频率分别为 10 ns 和 50 kHz,在倍频晶体 PPMgLN 作用下,输出得到了波长为 3.2 μm 功率为 360 mW 闲频光,光光转换效率达到了 20%。周期极化 MgO : LiNbO₃ (PPMgLN) 晶体的极化周期范围为 29 μm 到 31.5 μm。通过周期调谐和温度调谐的联合作用,光学参量振荡器(OPO)能够在波长范围 3.0 ~ 4.0 μm 内进行调谐。

关键词:光学参量振荡器;被动调 Q;PPMgLN;激光器

中图分类号:TN248.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2013.09.21

Study on mid-infrared optical parametric oscillator based on periodically poled MgO : LiNbO₃

CHAI Yan

(Department of Physics and Engineering Technique, Sichuan University of Arts and Science, Dazhou 63500, China)

Abstract:An mid-infrared optical parametric oscillator based on passively Q-switched periodically poled MgO : LiNbO₃ (PPMgLN) was studied. Nd : YVO₄/Cr⁴⁺ : YAG passively Q-switched laser is used as pump sources, the output of 7.78 W at 1064nm is obtained, and the pulse width is 10ns and the repetition is 50 kHz. Under the effect of frequency doubling crystal PPMgLN, the output of 360 mw idle light at 3.2 μm is obtained, an optical-to-optical efficiency is 20%. The periodically poled range of the PPMgLN crystal is from 29μm to 31.5μm. The OPO could be tuned over 3.0 ~ 4.0μm in the combination of period tuning and temperature tuning.

Key words:Optical parametric oscillator; Passively Q-switched; PPMgLN; Laser

1 引 言

波长范围在 3 ~ 5 μm 的中红外光广泛应用于军事对抗、大气环境检测、红外成像、生物和医学诊断等领域。获得这个波段范围的中红外光最常用的办法是利用 KTiPO₄ (KTP), ZnGeP₂ (ZGP), AgGaSe₂, LiNbO₃ 等非线性晶体作为倍频晶体制作光学参量振荡器(OPO)。KTP 晶体由于具有良好的机械及光学特性,光折变损伤阈值高等优点而被广泛使用,但是其走离效应较为严重。ZGP 晶体非线性系数较高,达到了 75 pm/V^[1],但是需要波长为

2 μm 的泵浦光进行泵浦。周期极化 LiNbO₃ 晶体 (PPLN),尤其是掺杂 MgO 之后,其矫顽场降低,光折变损伤阈值得到了提高^[2]。通过设计合适的周期,PPMgLN 晶体在准相位匹配技术下能够产生波长范围在 3 ~ 5 μm 的中红外光。

光学参量振荡器(OPO)的增益系数取决于泵浦光的功率,因此,高功率的泵浦光有利于增强

作者简介:柴 燕(1985 -),女,助教,硕士,主要从事非线性光学,固体激光器及激光显示方面的研究。E-mail:chaiyanandy@126.com
收稿日期:2013-04-08;修订日期:2013-04-23

OPO 的非线性光学效应。据报道,在 25W 波长为 1.064 μm 的连续波光纤激光器泵浦下,得到了 5.3 W 波长为 1.58 μm 的信号光和 1.2 W 波长为 3.23 μm 的闲频光^[3]。除了利用连续波泵浦外,峰值功率很高的脉冲泵浦也常被运用。在 1064 nm 被动调 Q 的 Nd : YVO₄ 参量放大系统中,得到了总功率为 1.6 W 的信号光和闲频光^[4]。在 1064 nm 被动调 Q 的 Nd : YVO₄/Cr⁴⁺ : YAG/PPLN 腔内光学参量振荡器中,泵浦光功率为 15 W,输出得到了 900 mW 的信号光^[5]。本文主要研究了一种基于被动调 Q 周期极化 MgO : LiNbO₃ 的光学参量振荡器,它具有光光转换效率高,调谐范围较宽等优点。

2 倍频晶体 PPMgLN 的制备

使用厚度为 1 mm 掺杂浓度为 4.9mol. % 的 MgO : LiNbO₃ 晶体进行 Z 面切割。在实验中,采取措施改进了极化工艺,即在高温下进行极化,高温导致 PPMgLN 的矫顽场大幅下降,在 150℃ 下仅 1.4 kV,同时高温抑制了畴的横向扩张。对 +Z 和 -Z 面喷镀了 100 nm 厚的光学薄膜,并对 +Z 和 -Z 面进行了周期极化,极化电压为 1.6 kV,脉冲持续时间为 500 ms。在极化过程中,为了降低矫顽场影响,我们将样品晶体加热到了 150℃,并将极化后的晶体放入 HF 酸溶液中进行刻蚀^[6]。从周期畴结构显微图片(如图 1 所示)可以看出 +z 面的占空比接近最佳占空比 50%。

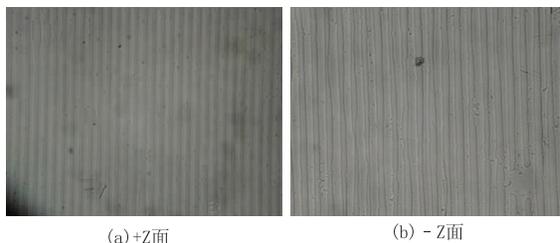


图 1 PPMgLN 晶体周期畴结构显微图片

3 实验结果

光学参量振荡器(OPO)的实验装置如图 2 所示。采用了 20W 激光进行端面泵浦,将波长为 808nm 的激光光进行光纤耦合并经过透镜准直后,入射到大小为 3 mm × 3 mm × 3 mm(厚 × 宽 × 长)的 Nd : YVO₄ (Nd 的掺杂浓度为 0.5at. %) 晶体上。Nd : YVO₄ 晶体的左端面渡有 808nm 的增透膜,谐振腔的左面渡有 1064 nm 的高反膜,谐振腔的右面渡有 1064 nm 的增透膜。实验中,选用的 Cr⁴⁺ : YAG 晶体直径为 8 mm,厚度为 3 mm,并在其晶体两端面渡有 1064 nm 的增透膜,其透过率为

50%。在耦合输出镜 M₁ 上渡有 1064 nm 透过率为 30% 的膜。同时,使用温度控制器(TEC)将 Nd : YVO₄ 及 Cr⁴⁺ : YAG 晶体的温度控制在 21℃。

808 nm 激光经过 Nd : YVO₄ 及 Cr⁴⁺ : YAG 晶体后,得到了波长为 1064 nm 的泵浦光,将其通过一个焦距为 100 mm 的透镜聚焦后进入光学参量振荡器(OPO)的谐振腔。透镜的位置距离 M₁ 镜 30 mm,距离 M₂ 镜 11 mm。信号光进入谐振腔以后产生谐振,使用功率器可以探测到闲频光。凹透镜 M₂ 及 M₃ 的曲率半径都为 200 mm,并在其端面渡有 1064 nm 的高反膜及 1.4 ~ 1.7 μm 信号光波段和 3.2 ~ 4.0 μm 闲频光波段的增透膜。PPMgLN 晶体两端面渡有 1064 nm,1.4 ~ 1.7 μm 及 3.2 ~ 4.0 μm 的增透膜。

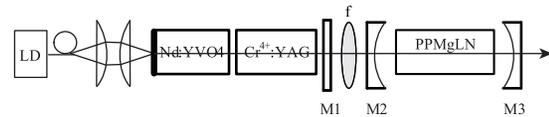


图 2 OPO 实验装置图

在调 Q 过程中,脉冲周期为 10 ns,脉冲的重复频率为 50 kHz。图 3 显示了在 808 nm 激光作用下,1064 nm 泵浦光的输出功率。通过 9.7 W 的 808 nm 激光被动调 Q,1064 nm 泵浦光的最大平均功率为 1.78 W,峰值功率达到了 3.6k W。在此之后,随着激光功率的增加,输出 1064 nm 激光的功率反而下降。将 Cr⁴⁺ : YAG 晶体从实验装置图中取出,当泵浦光功率超过 9.7 W 后,1064 nm 功率也同样出现了下降。这种现象可能是 808 nm 增益介质的饱和吸收及高功率下的热效应导致的。为了降低这一效应,我们又将长度为 10 mm, Nd 掺杂浓度为 0.25at. % 的 Nd : YVO₄ 晶体放置于实验装置图中,实验结果显示随着 808 nm 功率的提高,1064 nm 泵浦光也输出也不断增强,但是 Q 开关的脉冲却变得不稳定,这可能是由于晶体长度的改变导致了增益改变及谐振腔插入损耗的增加。

因此,实验中使用功率为 1.78 W 的 1064 nm 泵浦光,它经过聚焦透镜之后,束腰半径在焦点处变为 157 μm ,此焦点与 PPMgLN 晶体的中心重合。谐振腔按照如图 4 所示的模式匹配理论进行设计,精心选取与准相位技术匹配的凹透镜(图 4. a)。此外,如图 4. b 所示,泵浦光与信号光的光斑大小必须相匹配,图 4 中 $\omega_0(x)$ 代表泵浦光的光斑半径, $\omega_{\text{opo}}(x,100)$, $\omega_{\text{opo}}(x,200)$ 及 $\omega_{\text{opo}}(x,300)$ 代表了当

凹透镜的曲率半径分别是 100 mm, 200 mm 及 300 mm 时信号光的光斑半径。 ω_0 曲线与三条 ω_{op0} 曲线的交点代表了凹透镜的位置。从图 4. b 中可以看出, $\omega_0(x)$ 与 $\omega_{op0}(x, 100)$ 的交点已经超出了稳定谐振腔的范围。由于谐振腔的限制, 凹透镜的曲率半径设定为 200 mm, 因此, 整个 OPO 谐振腔的长度为 60 mm。

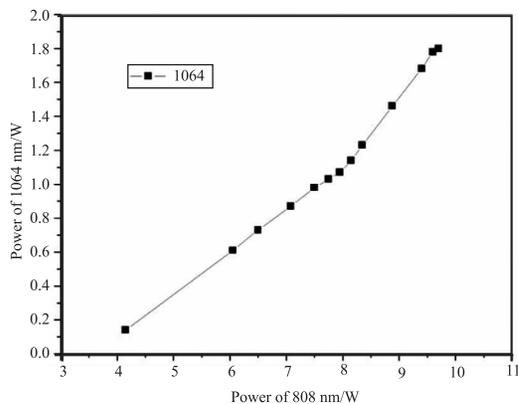


图3 808 nm 激光作用下 1064 nm 泵浦光平均输出功率

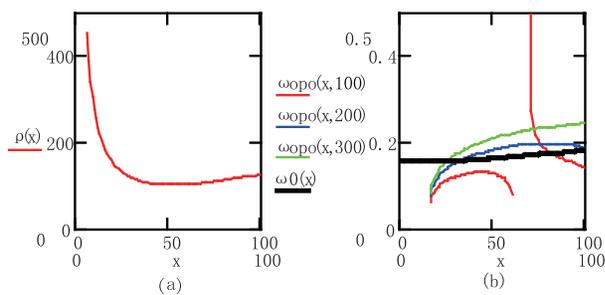


图4 基于模式匹配的计算

由于谐振腔对泵浦光和信号光进行了反射, 光学参量振荡器 OPO 的震荡阈值较低仅为 0.14 W。从图 5 可以看出, 泵浦初始阶段, 随着泵浦功率的增加, 闲频光功率也不断增加。当泵浦功率增加到 1.1 W 时, 闲频光功率迅速增加到 0.36 W。我们还在实验中多次使用了长度为 30 mm 和 40 mm 的 PPMgLN 晶体, 并由此确定了跳跃点的存在。在跳跃点上, 当泵浦功率密度达到一定值时, 将获得最高的光光转换效率。在跳跃点处测得, 泵浦光的平均功率为 1.07 W, 并产生了波长为 3.2 μm 的闲频光。

图 6 显示了当周期在 29 ~ 31.5 μm 范围内改变时, 信号光和闲频光的波长变化情况。利用能量守恒定律, 可计算出信号光和闲频光的波长范围分别是 1450 ~ 1660 nm 及 2961 ~ 3992 nm^[7]。

当温度控制在 30 $^{\circ}\text{C}$ 到 200 $^{\circ}\text{C}$ 范围内时, 将 PPMgLN 晶体置于谐振腔中, 即可检测到信号光的

波长范围。例如, 当周期为 31 μm , 信号光的调谐范围为 1591 ~ 1739 nm, 同时, 闲频光的波长范围为 2739 ~ 3209 nm。由于镀膜技术有限, 在周期调谐和温度调谐下, 最终得到的中红外光波长范围为 3000 ~ 4000 nm。

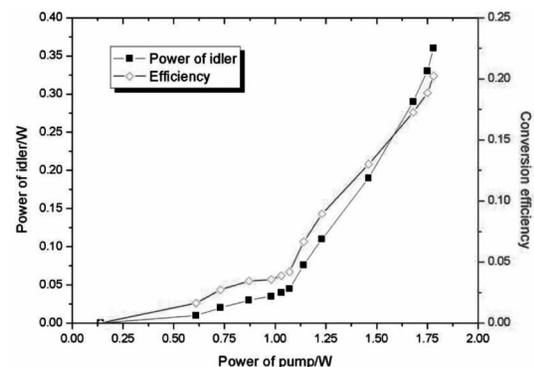


图5 闲频光的输出特性

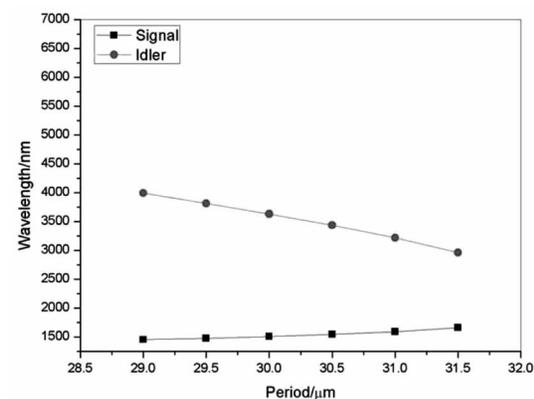


图6 周期改变时, 信号光和闲频光的波长变化情况

在参量震荡的同时, 还可观察到其他的非线性现象。例如, 当周期为 31 μm 时, 波长为 639 nm, 795 nm 及 532 nm 的激光能够被光谱仪探测到。639 nm 激光是由泵浦光和信号光合频后产生得到, 而 795 nm 及 532 nm 分别是信号光和泵浦光的二次谐波。在实验装置中, 还增加了一个平面镜并在它的端面镀有泵浦光和信号光的高反膜及闲频光的增透膜, 然后将其放置在 M_3 的后面作为其他输出光的滤波器。因此, 其他输出激光强度较弱可以忽略不计。

4 结论

实验中, 利用 Nd : YVO₄/Cr⁴⁺ : YAG 激光器产生 1.78 W 波长为 1064 nm 的激光作为泵浦光源, 并将长度为 35 mm 的 PPMgLN 晶体作为倍频晶体进行倍频, 输出得到了 360 mW 波长为 3.2 μm 激光, 光光转换效率高达 20%。同时, 通过调节倍频晶体的周期以及改变实验温度, 还可得到调谐波长范围

在 $3.0 \sim 4.0 \mu\text{m}$ 的中红外激光。此波段范围的中红外光可应用于军事对抗、大气环境检测、红外成像、生物和医学诊断等领域,具有较高的军事价值及商业价值。

参考文献:

- [1] F Kenneth Hopkins. Nonlinear material extend the range of High-Power lasers [J]. *Laser Focus World*, 1995, 31(6):87-93.
 - [2] Lin Hongyi, Xu Yingchao, Huang Xiaohua, et al. Low threshold mid-infrared intracavity optical parametric oscillator based on PPMgLN[J]. *Laser & Infrared*, 2011, 41(10):1098-1100. (in Chinese)
林洪沂, 许英朝, 黄晓桦, 等. 内腔中红外低阈值 PPMgLN 光学参量振荡器[J]. *激光与红外*, 2011, 41(10):1098-1110.
 - [3] S T Lin, Y Y Lin, Y C Huang, et al. Observation of thermal-induced optical guiding and bistability in a mid-IR continuous-wave, singly resonant optical parametric oscillator[J]. *Optics Letters*, 2008, 33(20):2338-2340.
 - [4] X Liang, J Bartschke, M Peltz, et al. Non-collinear nanosecond optical parametric oscillator based on periodically poled LN with tilted domain walls [J]. *Applied Physics B*, 2007(87):649-653.
 - [5] L Y Tsai, Y F Chen, S T Lin, et al. Compact efficient passively Q-switched Nd : GdVO₄/Cr⁴⁺ : YAG/PPLN tunable intracavity optical parametric oscillator [J]. *Optics Express*, 2005(13):9543-9547.
 - [6] Hideki Ishizuki, Ichiro Shoji, Takunori Taira. Periodical poling characteristics of congruent MgO : LiNbO₃ crystals at elevated temperature [J]. *Applied Physics Letters*, 2003(82):4062-4064.
 - [7] Walter Koechner. *Solid-state laser engineering* [M]. Berlin: Springer, 1999:620.
-