

文章编号: 1001-3806(2009)03-0294-03

## 温度调谐宽波段光参量振荡器的实验研究

刁述妍

(临沂师范学院 物理系, 临沂 276005)

**摘要:** 为了获得宽波段的可调谐相干光源, 利用 1064nm 声光调  $Q$  Nd:YAG 激光器为抽运源, 掺氧化镁周期极化铌酸锂晶体为工作物质, 对温度调谐光参量振荡器进行了实验研究。由实验数据可知, 当晶体的温度从 40℃ 升高到 200℃ 时, 获得信号光的调谐范围为 1.565 $\mu\text{m}$  ~ 1.670 $\mu\text{m}$ ; 当抽运源脉宽为 70ns、重复频率为 10kHz、平均功率为 1.61W 时, 获得波长为 1631nm 信号光的输出功率为 211mW。结果表明, 温度调谐光参量振荡器可以作为宽波段的可调谐相干光源。

**关键词:** 激光器; 光参量振荡器; 可调谐相干光源; 掺氧化镁周期极化铌酸锂晶体; 温度调谐

**中图分类号:** TN248.1      **文献标识码:** A

## Experimental study of temperature tunable broadband optical parametric oscillator

DIAO Shu-yan

(Department of Physics, Linyi Normal University, Linyi 276005, China)

**Abstract:** In order to obtain a broadband tunable coherent source, based on MgO-doped periodically-poled lithium niobate, an optical parametric oscillator (OPO) was pumped by a 1064nm acousto-optically  $Q$ -switched Nd:YAG laser, which can be conveniently tuned by means of changing its temperature. When the crystal temperature was adjusted from 40℃ to 200℃, the tunable mid-infrared output wavelength shifted from 1.565 $\mu\text{m}$  to 1.670 $\mu\text{m}$ . When the average pump power was 1.61W with about 70ns pulse duration operating at a repetition rate of 10kHz, the maximum signal output power of the OPO was about 211mW at 1631nm. It was shown from the results that temperature tunable optical parametric oscillator was a candidate of broadband tunable coherent sources.

**Key words:** lasers; optical parametric oscillator; tunable coherent source; MgO-doped periodically-poled lithium niobate; temperature-tuned

### 引言

光参量振荡器 (optical parametric oscillator, OPO) 利用非线性晶体的混频特性实现光学频率变换, 是将单一波长的激光转换成所需波段激光的可调谐激光器, 是拓宽激光波长、产生可调谐激光的重要方法之一, 具有宽调谐、高转换效率、结构简单、调谐方便等特点, 在军事、科研、医疗、环境监测、遥感、光通讯等领域有重要的应用。最近几年, 基于准相位匹配技术的光参量振荡器的研究成为研究热点<sup>[1-5]</sup>, 由于该技术在非线性晶体的整个透光范围内都可以实现相位匹配, 能利用晶体的最大非线性系数, 使光参量振荡器获得了更广泛的应用。

铌酸锂晶体 (LiNbO<sub>3</sub>, LN) 在 20 世纪 70 年代就已

成熟, 并作为光参量振荡器的主要工作物质得到商业化应用。因当时受抽运源和晶体光折变损伤阈值限制, 发展缓慢。到了 20 世纪 90 年代, 随着中红外差分吸收雷达的发展应用, LN-OPO 成为重要的中红外激光光源。LiNbO<sub>3</sub> 晶体具有大的有效非线性系数 ( $d_{33} \approx 27.2\text{pm/V}$ ), 透光范围宽 (0.35 $\mu\text{m}$  ~ 5.4 $\mu\text{m}$ )<sup>[6]</sup>, 易于生长、容易抛光、物化性能稳定, 可以进行周期极化即周期极化铌酸锂晶体 (periodically-poled LN, PPLN)。PPLN 晶体是目前准相位匹配技术中应用最广泛的非线性晶体之一。但是, PPLN 在制备时所需的极化电压过大, 难以得到大的几何尺寸, 限制了转换效率的提高; 另外, LiNbO<sub>3</sub> 晶体在强激光照射下易发生光损伤, 且抗激光损伤阈值低, 很难在室温下实现高功率输出。掺 MgO (摩尔分数大于 0.046) 可提高 LiNbO<sub>3</sub> 晶体的抗光损伤能力<sup>[7-8]</sup>, 比未掺 MgO 的 LiNbO<sub>3</sub> 晶体提高约 100 倍。

关于 PPLN-OPO 的实验已经有很多报道<sup>[9-10]</sup>, 但有关掺氧化镁周期极化铌酸锂 (MgO-doped PPLN,

作者简介: 刁述妍 (1965-), 女, 副教授, 从事全固态激光技术及非线性光学频率变换的研究。

E-mail: dsyzyx@163.com

收稿日期: 2008-04-23; 收到修改稿日期: 2008-05-29

PPMgLN)-OPO 的报道却很少,作者研究了以 1064nm 声光调 Q Nd:YAG 激光器为抽运源、以 PPMgLN 为工作物质、温度调谐的中红外光参量振荡器。

### 1 实验装置

实验采用温度调谐的方式实现宽调谐的参量光输出。实验装置如图 1 所示。

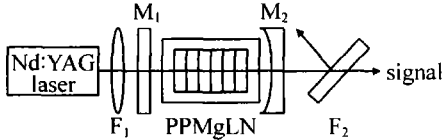


Fig. 1 Experimental configuration of the OPO,  $F_1$ —coupling lens;  $F_2$ —filter;  $M_1$ —input coupler;  $M_2$ —output coupler

抽运源为二极管端面抽运的 1064nm 声光调 Q Nd:YAG 激光器,重复频率为 10kHz,脉宽 70ns,输出光束质量良好。OPO 谐振腔采用线型腔,腔长为 93mm,输入镜为平平镜,对抽运光的透过率为 96.8%,对信号光(1550nm ~ 1700nm)高反 ( $R > 99.89\%$ ),输出耦合镜曲率半径为 100mm 的平凹镜,对抽运光的反射率为 92.7%,对信号光的透过率 15%。非线性晶体为掺摩尔分数为 0.05MgO 的 PPMgLN 晶体,尺寸为 50mm × 10mm × 1mm,周期为 30.7 $\mu$ m,晶体两端面镀对抽运光、信号光和空闲光增透膜以减小反射损耗。PPMgLN 晶体置于一个可以精密调节温度的温控炉中,温控炉工作范围为室温约为 200 $^{\circ}$ C,正常工作环境温度约为 -10 $^{\circ}$ C ~ 55 $^{\circ}$ C,温度控制精度为  $\pm 0.1^{\circ}$ C,炉子固定在一个可以调节高度和沿水平方向旋转的高精度调节架上。抽运光通过焦距为 50mm 的耦合透镜  $F_1$  聚焦到 PPMgLN 晶体中心。晶体紧靠输入镜放置,  $F_1$  与  $M_1$  之间的距离为 18mm,谐振腔长为 93mm。通过倍频的绿光调整晶体的方向,使抽运光垂直入射至晶体表面。通过信号光和抽运光的和频光(红光)的出现证明腔中产生了振荡光。实验中所有的腔镜均采用 K9 玻璃,对于波长大于 2.5 $\mu$ m 的参量光高吸收,所以谐振

腔为信号光单谐振。输出耦合镜后放置分光镜  $F_2$ ,滤掉参量产生过程中剩余的抽运光、抽运光的倍频光(绿光)等其它的可见光。

### 2 实验结果

利用 LP-3C 型功率计测量抽运功率和输出参量光功率。利用 Agilent 86142B 型光谱仪测量输出的参量光谱。

在抽运源一定的情况下,改变晶体的温度,获得了参量光的可调谐输出。实验测量了输出信号光功率与温度之间的关系,同时测量了信号光波长随温度的变化关系,如图 2 和图 3 所示。当抽运光功率为 1.81W、

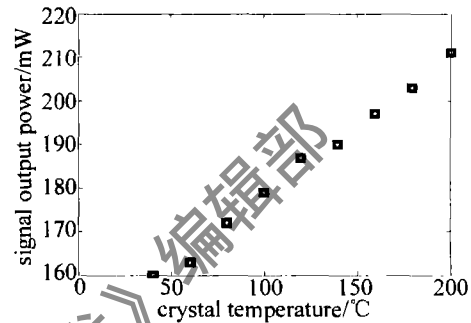


Fig. 2 Signal power as a function of temperature

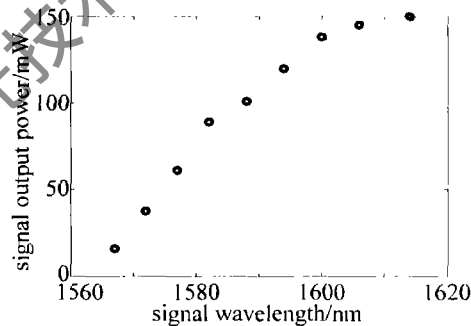


Fig. 3 Signal power as a function of signal wavelength

脉宽为 70ns、重复频率为 10kHz,晶体的温度从 40 $^{\circ}$ C 升高到 200 $^{\circ}$ C 时,信号光的平均功率从 160mW 升高到 211mW。随着温度的升高,输出信号光的功率缓慢增大,并且在室温下实现了信号光输出,没有发现晶体受到损伤,说明 PPMgLN 晶体提高了抗光损伤能力。当

Table 1 The relation between signal wavelength and temperature

temperature/ $^{\circ}$ C	40	60	80	100	120	140	160	180	200
signal wavelength/ $\mu$ m	1.565	1.573	1.582	1.592	1.603	1.616	1.631	1.649	1.670

晶体的温度变化,获得的信号光波长的调谐范围的实验测量值在表 1 中列出。

在晶体温度一定的情况下,改变抽运光平均功率,测量输出信号光功率,如图 4 所示。随着抽运光平均功率的增大,输出信号光功率逐渐增大,当晶体的温度为 110 $^{\circ}$ C,抽运光平均功率为 1.61W, Q 开关的重复频率为 10kHz,脉宽为 70ns 时,获得了 211mW 波长为 1.631 $\mu$ m 的信号光输出。图 5 为测量的 1622nm 信号光光谱图。

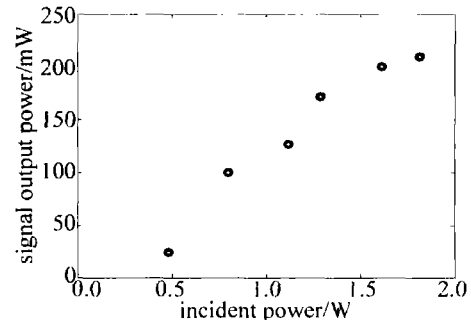


Fig. 4 Signal power versus average pump power

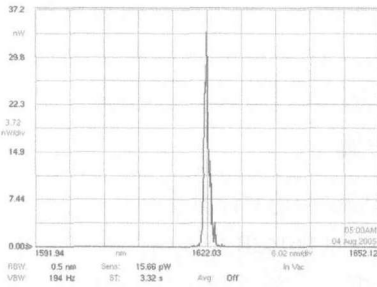


Fig. 5 Signal spectrum of 1662nm of PPMgLN-OPO

### 3 结论

实验中采用二极管端面抽运 1064nm 声光调 Q Nd:YAG 激光器作为抽运源,研究了 PPMgLN-OPO 的温度调谐特性和输出特性。当温度从 40℃ 升高到 200℃ 时,获得了 1565nm ~ 1670nm 宽调谐信号光输出,实现了全固态抽运的光参量振荡的宽调谐输出;当晶体的温度为 110℃,抽运光平均功率为 1.61W, Q 开关的重复频率为 10kHz,脉宽为 70ns 时,获得了 211mW 波长为 1.631μm 的信号光输出;随着温度的升高,输出信号光平均功率缓慢增大,并且在室温下实现了参量光输出,晶体没有受到损伤,证明了掺氧化镁铌酸锂晶体抗光损伤能力提高了。实验结果表明,温度调谐光参量振荡器可以作为宽波段的可调谐相干光源。

### 参 考 文 献

- [1] YAO B Q, WANG Y Zh, LIU Q, *et al.* Comparison of LiNbO<sub>3</sub> with KTP optical parametric oscillator operating in mid-infrared spectrum [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2003, 35(10): 1228-1231 (in Chinese).
- [2] KALMANI G, ARIE A, BLAU P, *et al.* Polarization-mixing optical parametric oscillator [J]. Opt Lett, 2005, 30(16): 2146-2148.
- [3] ZHANG H, YAO J Q, ZHANG B G, *et al.* Angle-tuned optical parametric oscillators based on PPLN pumped by 1064nm laser [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2003, 14(12): 1250-1253 (in Chinese).
- [4] LIANG X Y, HOU W, LU J H, *et al.* Low-threshold and wide tunable PPLN optical parametric oscillator [J]. Chinese Journal of Lasers, 2002, 29(1): 10-12 (in Chinese).
- [5] ZHANG B G, YAO J Q, DING X, *et al.* Continuously tunable optical parametric oscillator based on multi-grating periodically poled lithium niobate [J]. Chinese Journal of Lasers, 2004, 31(8): 897-902 (in Chinese).
- [6] MYERS L E, ECKARDT R C, FEJER M M, *et al.* Multigrating quasi-phase-matched optical parametric oscillator in periodically poled LiNbO<sub>3</sub> [J]. Opt Lett, 1996, 21(8): 591-593.
- [7] BRYAN D A, GERSON R, TOMASCHKE H E. Increased optical damage resistance in lithium niobate [J]. A P L, 1984, 44(9): 847-849.
- [8] ZHANG P, YIN Z, WANG L L, *et al.* Photorefractive effect in periodically poled lithium niobate and lithium tantalate and in MgO-doped lithium niobate [J]. Journal of the Korean Physical Society, 1998, 32(2): 450-452.
- [9] MYERS L E, ECKARDT R C, FEJER M M, *et al.* Quasi-phase-matched optical parametric oscillators in bulk periodically poled LiNbO<sub>3</sub> [J]. J O S A, 1995, B12(11): 2102-2116.
- [10] ZHANG B G, YAO J Q, ZHANG H, *et al.* Temperature tunable infrared optical parametric oscillator with periodically poled LiNbO<sub>3</sub> [J]. Chinese Physics Letters, 2003, 20(7): 1077-1080.
- [11] FLUCK R, HERMANN M R, HACKEL L A. Energetic and thermal performance of high gain diode-side pumped Nd:YAG rods [J]. Appl Phys, 2000, B70(4): 491-498.
- [12] XIE W, TAM S, LAM Y, *et al.* Influence of the thermal effect on the TEM<sub>00</sub> mode output power of a laser-diode side-pumped solid-state laser [J]. Appl Opt, 2000, 39(30): 5482-5487.
- [13] GUAN J, CHEN G F, CHENG G F, *et al.* Design of thermal effect compensation resonator for a sort of high-power end-pumped Nd:YVO<sub>4</sub> laser [J]. Acta Photonica Sinica, 2003, 32(12): 1418-1420 (in Chinese).

(上接第 293 页)

- [8] ZHANG H L, ZHU N Y, YANG Q S, *et al.* LD pumped Nd:YVO<sub>4</sub>/KTP red light laser [J]. Acta Photonica Sinica, 2000, 29(5): 470-472 (in Chinese).
- [9] XIE H M, CHEN H W, JIA Sh, *et al.* Double-end-pumped double Nd:YVO<sub>4</sub> crystals continuous green laser [J]. Laser Technology, 2006, 30(6): 597-600 (in Chinese).
- [10] GUO L, YAO J Q, YU G J, *et al.* Study on the thermal effect of KTP crystal for 85W green laser [J]. Laser Journal, 2003, 24(6): 20-22 (in Chinese).