

文章编号:1001-5078(2011)10-1098-03

· 激光器技术 ·

## 内腔中红外低阈值 PPMgLN 光学参量振荡器

林洪沂<sup>1,2</sup>, 许英朝<sup>1,2</sup>, 黄晓桦<sup>1,2</sup>, 苏少昌<sup>3</sup>, 檀慧明<sup>3</sup>

(1. 厦门理工学院数理系, 福建 厦门 361024; 2. 厦门理工学院光电工程技术研究中心, 福建 厦门 361024;

3. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

**摘要:**在理论上对内腔连续单谐振光学参量振荡器(ICSRO)的运转特性进行了简要的分析,并在实验采用 LD 泵浦的连续 Nd:YVO<sub>4</sub> 激光器作为泵浦源,实现了 PPMgLN 晶体准相位匹配,获得了低阈值高效率 ICSRO。光学参量器的阈值仅为 3.1 W(808 nm);在泵浦光 5 W 时,获得了 370 mW 连续中红外激光输出,540 mW 信号光输出,总的光光转化效率达到 18.2%。

**关键词:**光学参量振荡器;PPMgLN 晶体;连续中红外;可调谐激光

中图分类号:TN248.1 文献标识码:A DOI:10.3969/j.issn.1001-5078.2011.10.008

## Low threshold mid-infrared intracavity optical parametric oscillator based on PPMgLN

LIN Hong-yi<sup>1,2</sup>, XU Ying-chao<sup>1,2</sup>, HUANG Xiao-hua<sup>1,2</sup>, SU Shao-Chang<sup>3</sup>, TAN Hui-ming<sup>3</sup>

(1. Faculty of Mathematics and Physics, Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, China;

2. Opto-electrical Engineering Research Centre, Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, China;

3. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

**Abstract:** We analyze operating characteristics of CW intracavity singly-resonant optical parametric oscillator(ICSRO) theoretically. Furthermore, using the quasi-phase-matched periodically poled MgO-doped lithium niobate crystal (PPMgLN) as the nonlinear converter, we have accomplished low threshold and highly efficient ICSRO, driven by compact and efficient diode-end-pumped CW Nd:YVO<sub>4</sub> laser. The threshold of ICSRO system is only 3.1 W at 808 nm. A maximum idle output power of 370 mW and a maximum signal output power of 540 mW have been achieved when the pump power is 5 W and it corresponds to a whole optic-optic conversion efficiency of 18.2%.

**Key words:** optical parametric oscillator; PPMgLN crystal; CW mid-infrared; tunable laser

### 1 引言

连续内腔 OPO 分为内腔连续双谐振光学参量振荡器(ICDRO)和内腔连续单谐振光学参量振荡器(ICSRO)两种<sup>[1-4]</sup>。两种类型各有优缺点,ICDRO 阈值要远低于 ICSRO,但是信号光和闲频光的功率稳定性很差,且信号光和闲频光同时振荡也大大地限制了调谐范围。ICSRO 阈值特别高(大约是 ICSRO 的 100 倍),但是其功率和光谱的稳定性较好<sup>[5-6]</sup>。最近几年,周期性极化的非线性晶体(如 PPLN, PPLT, PPMgLN 晶体<sup>[7-8]</sup>)的出现,极大推动

了 ICSRO 的发展。它有效地降低了 ICSRO 的阈值,提高了转换效率,同时也降低了对泵浦源的要求。ICSRO 具体有以下优点:①通过将 OPO 谐振腔放置在泵浦激光腔内,可以利用激光腔内较高的激光功

**基金项目:**厦门理工学院科学技术研究项目(No. YKJ1011R);福建省自然科学基金青年项目(No. 2010J05144);福建省教育厅 A 类项目(No. JA10248)资助。

**作者简介:**林洪沂(1982-),男,讲师,博士,主要从事全固体激光技术的研究。E-mail: linyi0714@163.com

收稿日期:2011-03-17;修订日期:2011-04-21

率,降低了激光泵浦阈值,提高了转换效率;②它也保留了外腔 OPO 一些优点,如:高的能量和光谱稳定性;③内腔结构更加简单紧凑,易于实现小型化全固化等。本文采用 PPMgLN 晶体实现了 ICSRO,获得了连续中红外可调谐激光输出。

## 2 ICSRO 运转特性

ICSRO 的运行分为三个区域,如图 1 所示<sup>[10]</sup>。

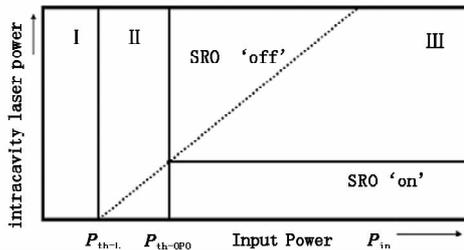


图 1 内腔单谐振 OPO 运行的三个区域,腔内的激光泵浦功率与外部输入泵浦功率的关系

Fig.1 in the ICSRO system, intracavity laser power versus LD input power in theory

区域 I, LD 泵浦 (808 nm) 功率低于激光 (1064 nm) 的阈值:  $P_{in} < P_{th-L}$ 。激光介质的增益随着输入的 LD 泵浦功率的增加而线性增加,腔内的激光功率为 0,此时激光器和 ICSRO 都不能起振。随着输入的 LD 泵浦功率进一步增加,超过  $P_{th-L}$  阈值以后,增益饱和,腔内的激光功率随着泵浦光的增加而线性增加,但是增加的腔内激光功率不足以克服 ICSRO 的阈值  $P_{th-OPO}$ ,此时光学参量仍不能起振,即图 1 II 区:  $P_{th-L} < P_{in} < P_{th-OPO}$ 。随着随着 LD 泵浦功率的进一步增强,腔内流通的激光功率达到 OPO 的阈值,开始起振,即图 1 III 区:  $P_{in} > P_{th-OPO}$ 。

当  $P_{in} > P_{th-OPO}$  时,超过阈值  $P_{th-OPO}$  的那部分 LD 功率会引起激光介质增益的线性增加,然后会通过非线性晶体的光参量过程转化为信号光功率与闲频光功率,而且信号光与闲频光功率随着 LD 泵浦功率增加而线性增加。

## 3 实验装置

实验装置如图 2 所示,泵浦源为 LDA 端面泵浦 Nd:YVO<sub>4</sub> 连续激光器;为了提高光参量增益,降低 ICSRO 阈值,谐振腔采用的是平凹直腔结构,以便于使基频光的束腰位于 PPMgLN 晶体内;激光增益介质为 a-cut、0.5at.% 掺杂的 YVO<sub>4</sub>/Nd:YVO<sub>4</sub> (2 mm:6 mm) 键合晶体;PPMgLN 晶体厚度为 1 cm,长为 5 cm,在 28.5 ~ 31.5 μm 共平行排列 7 个极化

周期(镀膜详见图 2)。

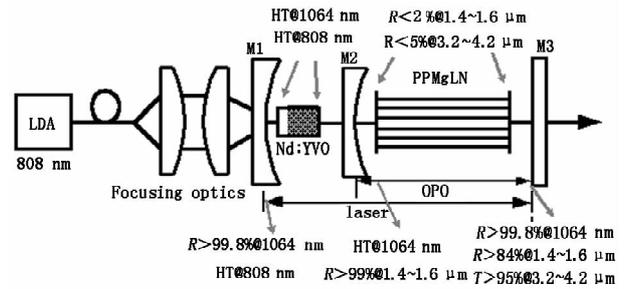


图 2 PPMgLN-ICSRO 实验装置示意图

Fig.2 experimental setup of PPMgLN-ICSRO system

腔镜 M1 (曲率半径为 100 mm) 与 M3 (衬底白宝石,平面) 构成的是基频光的谐振腔;M2 (曲率半径为 200 mm) 与 M3 构成的则是 SRO 的谐振腔。M3 是整个 CW SRO 系统的输出镜。实验中,晶体 PPMgLN 采用 TEC 温控(温度为 20 °C)。

## 4 实验结果与讨论

在 PPMgLN 周期为 31.5 μm 时,测量了不同泵浦功率下,信号光、闲频光的输出功率(如图 3 所示),其阈值仅为 3.1 W。在泵浦功率为 5 W,我们分别获得了 370 mW 的 2.95 μm 闲频光,540 mW 的 1.66 μm 信号光输出。总的光光转换效率达到 18.2%。另外,信号光与闲频光输出功率与 LD 泵浦功率基本上呈线性关系的。

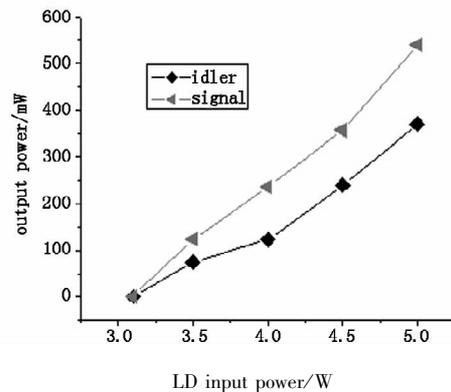


图 3 周期为 28.5 μm,不同的泵浦光对应的输出功率

Fig.3 the idler power and the signal power versus the LD input power

图 4 给出了腔内的激光泵浦功率与 LD 输入泵浦功率的关系。其中 OPO 不工作(即“off”)的腔内的功率是 PPMgLN 晶体拿掉时,测量的外部激光输出功率,然后经过公式(1)近似求得的。而 OPO “on”的腔内功率是,采用 M3 作为滤光片,测量的外部输出功率,同样有式(1)近似获得的。

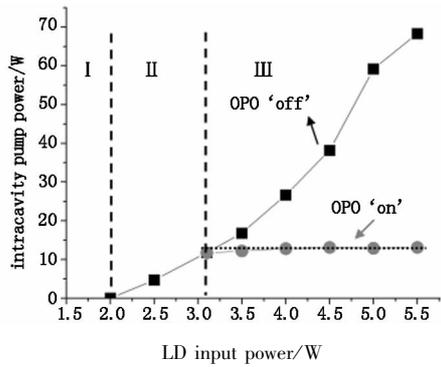


图4 腔内的激光泵浦功率与外部输入泵浦功率的关系

Fig. 4 the intracavity pump power (1064 nm) versus the LD input power

$$P_{in} = P_{M2} \frac{1 + R_{M2}}{1 - R_{M2}} \quad (1)$$

其中,  $P_{M2}$  为 M2 处激光输出功率;  $R_{M2}$  为腔镜 M2 的 1064 nm 的反射率(约 98.5%)。腔镜 M3 对 1064 nm 激光的透过率近似为 1。实际的测量值与图 1 的理论分析基本一致。

另外,用组合式多功能光栅光谱仪测量不同周期下, ICSRO 系统的调谐特性。获得了信号光 1.43 ~ 1.66  $\mu\text{m}$ , 闲频光 2.95 ~ 4.16  $\mu\text{m}$  的可调谐激光输出。

## 5 结论

采用连续的 Nd:YVO<sub>4</sub> 激光器作为泵浦源, 实现了 PPMgLN 晶体光参量振荡, 获得了连续中红外激光输出。光参量阈值仅为 3.1 W。在泵浦光 5 W, 获得了 370 mW 中红外闲频光连续激光输出, 540 mW 信号光输出, 总光光转化效率达到 18.2%。

## 参考文献:

[1] P Gross, M E Klein, T Walde, et al. Fiber-laser-pumped continuous-wave singly resonant optical parametric oscillators [J]. Opt. Lett., 2002, 27(6): 418 - 420.

- [2] Angus J Henderson, Pamela M Roper, Lawrence A Borschowa, et al. Stable, continuously tunable operation of a diode-pumped doubly resonant optical parametric oscillator [J]. Opt. Lett., 2000, 25(17): 1264 - 1266.
- [3] David Stothard, Ian Lindsay, Malcolm Dunn. Continuous-wave pump-enhanced optical parametric oscillator with ring resonator for wide and continuous tuning of single-frequency radiation [J]. Opt. Express, 2004, 12(3): 502 - 511.
- [4] M E Klein, C K Laue, D H Lee, et al. Diode-pumped singly resonant continuous-wave optical parametric oscillator with wide continuous tuning of the near-infrared idler wave [J]. Opt. Lett., 2000, 25(7): 490 - 492.
- [5] R G Smith. A study of factors affecting the performance of continuously pumped doubly resonant optical parametric oscillator [J]. IEEE J. Quantum Electron, 1973, 9(5): 530 - 540.
- [6] Robert C Eckardt, C D Nabors, William J Kozlovsky, et al. Optical parametric oscillator frequency tuning and control [J]. J. Opt. Soc. Am. B, 1991, 8(3): 646 - 667.
- [7] Henderson Angus, Stafford Ryan. 8.6 Watt, single frequency CW OPO [J]. Proc. Of SPIE, 2007, 6455, 64550E.
- [8] G K Samanta, G R Fayaz, M Ebrahim-Zadeh. 1.59 W, single-frequency, continuous-wave optical parametric oscillator based on Mg: sPPLT [J]. Opt. Lett, 2007, 32(17): 2623 - 2625.
- [9] G K Samanta, M Ebrahim-Zadeh. Continuous-wave singly-resonant optical parametric oscillator with resonant wave coupling [J]. Opt. Express, 2008, 16(10): 6883 - 6888.
- [10] G A Turnbull, M H Dunn, M Ebrahimzadeh. Continuous-wave, intracavity optical parametric oscillators: an analysis of power characteristics [J]. Appl. Phys. B, 1998, 66: 701 - 710.