

适用于光纤通信系统的 S + C + L + U 波段 可调谐光源研究

周 岩 陈少甫 崔海旭 周 开 安 琳 颜彩繁 张光寅 王宏杰

(南开大学物理科学学院, 天津 300071)

摘要 采用周期极化掺镁铌酸锂晶体作为光学参量振荡器, 在声光(A-O)调 Q 的 1064 nm 抽运光作用下, 获得了信号光和闲频光的调谐输出。实验中, 在极化周期为 29.0~31.5 μm , 温度范围为 30~180 $^{\circ}\text{C}$ 内, 得到了信号光在 1450.2~1839 nm 范围内的准连续调谐输出, 其范围覆盖了光纤通信的 S+C+L+U 波段, 相应的闲频光调谐范围为 2909~3990 nm。当注入抽运功率为 830 mW 时, 获得的信号光最大输出功率为 139.7 mW, 光-光转换效率为 16.8%, 最低激励阈值为 88 mW。该可调谐光源基本达到了光纤通信系统的功率实用化水平。

关键词 非线性光学; 光纤通信光源; 光参变振荡器; 周期极化掺镁铌酸锂; 信号光

中图分类号 O437 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/AOS200929s1.0042

Tunable S + C + L + U Band Light Source for Optical Fiber Communication Systems

Zhou Yan Chen Shaofu Cui Haixu Zhou Kai An Lin Yan Caifan
Zhang Guangyin Wang Hongjie

(*Institute of Physics, Nankai University, Tianjin 300071, China*)

Abstract Temperature-tuned and domain-tuned signal-resonated optical parametric oscillator based on multi-grating periodically poled MgO-doped lithium niobate and pumped by an acousto-optically (A-O) Q-switched 1064 nm Nd:YVO₄ laser was studied experimentally. The signal wave of 1450~1839 nm could be obtained with poled periods varying from 29.0~31.5 μm and temperature varying from 30~180 $^{\circ}\text{C}$, covering the S+C+L+U wave bands of optical fiber communications, and the range of corresponding idler-wave was 2909~3990 nm. When the pump power was 830 mW, the maximal output power of signal wave was 139.7 mW, the conversion efficiency was 16.8%, and the lowest lasing threshold was 88 mW. The tunable light source has reached the practical power level of optical communications system.

Key words nonlinear optics; light source for optical fiber communication; optical parametric oscillator; periodically poled MgO-doped lithium niobate; signal wave

1 引 言

在当今迅猛发展的信息时代, 光纤通信技术越来越得到广泛应用。因此, 适用于光纤通信系统的可调谐光源研究成为热点课题^[1~3]。本实验采用周期极化掺镁铌酸锂 (PPMgLN) 作为光参量振荡器 (OPO), 通过改变极化周期和工作温度使信号光波长在 1450~1839 nm 范围内实现了调谐输出, 该范围覆盖了光纤通信的 S+C+L+U 波段^[4~7]。当抽运功率为 830 mW 时, 获得的信号光最大输出功率为

139.7 mW, 光-光转换效率约为 16.8%。同时得到闲频光在 2909~3990 nm 范围内调谐输出, 最大功率为 84 mW, 光-光转换效率约为 10.1%。以上波段的红外相干光源在环境检测、光谱分析、空间光通讯、医疗诊断以及军事等诸多领域有重要的应用^[8,9]。

2 实验原理

众所周知, 周期性极化非线性晶体在实现准相位匹配条件时, 必须同时满足能量守恒和动量守恒

基金项目: 国家自然科学基金(90501004)和南开大学第六届本科创新项目和物理基地经费(BX6-191; J0730315)资助课题。

作者简介: 周 岩(1987—), 男, 本科生。E-mail: qiuyan@mail.nankai.edu.cn

导师简介: 王宏杰(1959—), 男, 高工, 主要从事光电子激光技术应用和教学等方面的研究。

E-mail: wang_hj@nankai.edu.cn

条件^[10]

$$1/\lambda_p = 1/\lambda_s + 1/\lambda_i, \quad (1)$$

$$n_p/\lambda_p = n_s/\lambda_s + n_i/\lambda_i + m/\Lambda, \quad (2)$$

式中 λ_p , λ_s , λ_i 分别为抽运光、信号光、闲频光波长, Λ 为极化周期, $m = 1, 3, 5 \dots$ 为准相位匹配阶数, 一般取 $m = 1$, 以获得较大的有效非线性系数。在抽运光一定的情况下, 信号光和闲频光可同时随极化周期和晶体温度的变化实现连续调谐输出。图 1 给出了常温下周期调谐输出的理论模拟曲线。

3 实验装置

实验装置如图 2 所示, 主要包括输出波长为 1064 nm 的抽运源和掺镁铌酸锂 (PPMgLN) 光参量振荡器两部分。

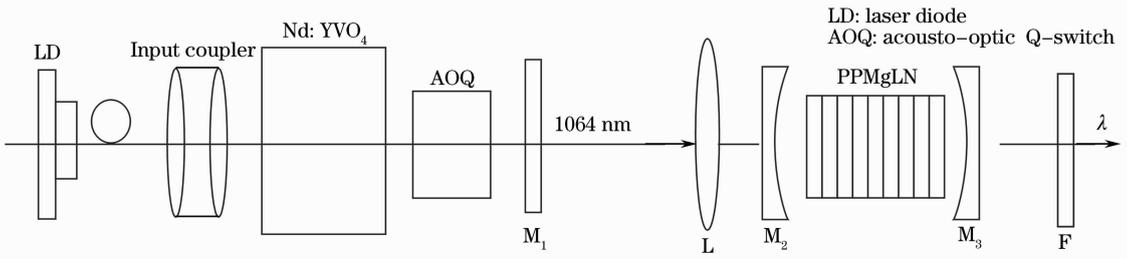


图 2 PPMgLN 光参量振荡器实验装置图

Fig. 2 Experimental configuration of PPMgLN-OPO

3.1 全固态声光调 (AOQ) Nd:YVO₄ 激光器

光参量振荡器的抽运源采用激光二极管端面抽运声光调 Q 的 Nd:YVO₄ 全固态激光器。LD 为光纤耦合半导体激光器, 中心波长为 808 nm, 最大输出功率为 30 W, Nd:YVO₄ 晶体的尺寸为 3 mm×3 mm×4.2 mm, 掺钕浓度为 0.5%。谐振腔采用平—平腔结构, 腔长为 130 mm, 重复频率为 1.0~20 kHz。

3.2 周期极化掺镁铌酸锂光参量振荡器

采用凸透镜 L 将抽运光聚焦后耦合进 PPMgLN 光参量振荡器的谐振腔内, PPMgLN 晶体的尺寸为 50 mm×7 mm×1 mm 掺镁摩尔分数为 5% 在 z 轴方向极化, 周期从 29.0~31.5 mm 等间隔平行排列着六个晶畴区, 晶体放置在控温炉中。谐振腔由曲率半径均为 100 mm 的一对平凹镜组成, 腔长为 95 mm, M₂ 为输入镜, M₃ 是输出镜。在测试闲频光时, M₃ 对 1400~1800 nm 波长范围内的光反射率高于 96%, 而对 3000~5000 nm 的波长透过率于 90%, F 为 CaF₂ 滤光片, 能滤掉 2000 nm 以下波长的光。在测试信号光输出时, 将 M₃ 换成对 1400~1800 nm 波长范围内的光透过率为 10%

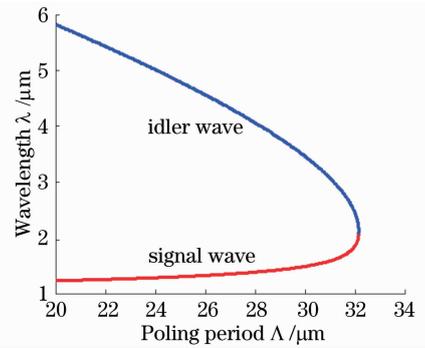


图 1 常温下, PPMgLN 光参量振荡器信号光和闲频光的输出波长随极化周期变化的模拟曲线

Fig. 1 Simulated tuning curve of PPMgLN-OPO signal and idler wavelength with poled period under room temperature

的输出镜, 同时取出 CaF₂ 滤光片。

4 实验结果与分析

实验中, 在 30 °C~180 °C 范围内, 每隔 10 °C 依次改变晶体的工作温度。图 3 给出了不同极化周期晶畴区内输出的信号光波长随温度调谐的实验结果。实验发现, 周期调谐相对于温度调谐而言, 调谐范围较大, 但由于极化周期在实际制备过程中很难

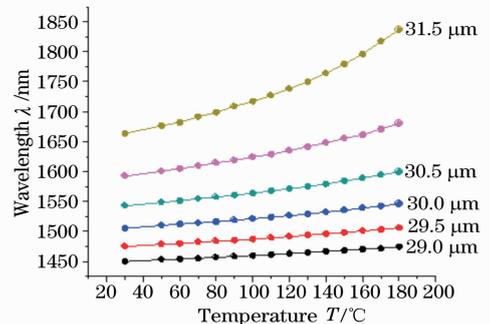


图 3 PPMgLN 光参量振荡器信号光的输出波长随温度调谐曲线

Fig. 3 Temperature tuning curves of PPMgLN-OPO signal wavelength

实现连续改变,因此无法实现连续调谐输出。然而,输出波长随温度调谐变化的步长大约为 $0.3 \text{ nm}/^\circ\text{C}$,温控炉的最小调控单位为 $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$,因此,将温度调谐和周期调谐结合起来就可以实现信号光在 $1450.2 \sim 1839 \text{ nm}$ 范围内的准连续调谐输出。图 4 是在室温下测量到的 PPMgLN 输出的信号光和闲频光的输出波长随极化周期调谐的实验数据与图 1 的理论曲线拟合的结果(图中圆点代表实测值),实验结果与理论预测十分吻合。

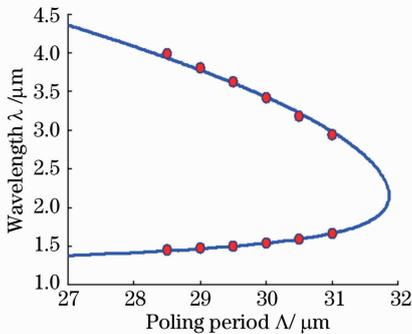


图 4 常温下,PPMgLN 光参量振荡器信号光和闲频光的输出波长随极化周期调谐曲线

Fig. 4 Tuning curve of PPMgLN-OPO signal and idler wavelength with poled period under room temperature

在温度 $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 下,选择极化周期为 $29.5 \mu\text{m}$ 的

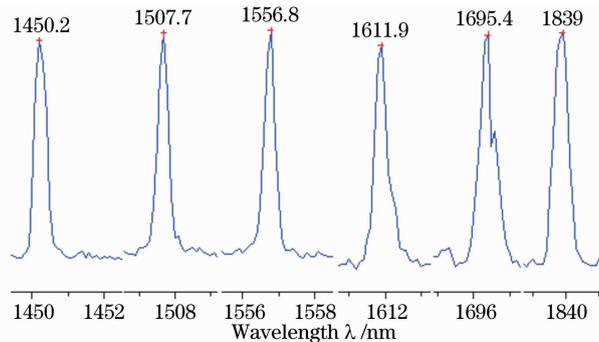


图 6 不同极化周期下,PPMgLN 光参量振荡器信号光

Fig. 6 Spectrum of signal waves of PPMgLN-OPO signal and idler at $30 \text{ }^\circ\text{C}$ with poling period of $28.5 \sim 31.0 \mu\text{m}$

5 结 论

采用声光调 Q 的 Nd:YVO₄ 激光器为抽运源,用周期极化掺镁铌酸锂晶体作光学参量振荡器,结合周期调谐与温度调谐,实现了信号光在 $1450.2 \sim 1839 \text{ nm}$,闲频光在 $2909 \sim 3990 \text{ nm}$ 范围内的准连续调谐输出。该可调谐光源具有紧凑型、实用化的显著特点,可应用于光纤通信和大气测量等广泛领域^[11]。

晶畴区,测得信号光和闲频光的输出特性如图 5 所示。实验发现,最低激射阈值约为 88 mW ,当抽运功率为 830 mW 时,获得了信号光的最大输出为 139.7 mW ,光-光转换效率为 16.8% 。同时测得闲频光的最大输出为 84 mW ,光-光转换效率为 10.1% 。当继续加大抽运功率时,由于热透镜效应出现了吸收饱和现象,信号光和闲频光输出功率反而同时下降。

采用法国 J-Y 公司 iHR320 型光谱仪对六个不同极化周期 ($29.0 \sim 31.5 \mu\text{m}$) 晶畴区输出的典型信号光谱进行测量,结果如图 6 所示,信号光谱宽度一般小于 0.5 nm 。

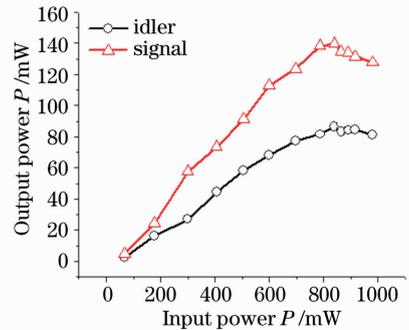


图 5 温度为 $30 \text{ }^\circ\text{C}$,极化周期为 $29 \mu\text{m}$ 时 PPMgLN 光参量振荡器信号光和闲频光的输出特性曲线

Fig. 5 Spectrum of signal waves of PPMgLN-OPO signal and idler at $30 \text{ }^\circ\text{C}$ with poled period of $29 \mu\text{m}$

参 考 文 献

- Ji Feng, Yao Jianquan, Zhang Beigang *et al.*. Low-threshold widely-tunable intracavity Q-switched Nd:YVO₄/PPLN optical parametric generator [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34** (12): 1643~1647
- 纪峰,姚建铨,张百钢等. 低阈值宽调谐的内腔调 Q Nd:YVO₄/PPLN 光学参量产生 [J]. *中国激光*, 2007, **34** (12): 1643~1647
- C. Kimin T. Joo. Near-infrared cavity-dumped femtosecond optical parametric oscillator [J]. *Opt. Lett.*, 2005, **30** (14): 1855~1857

- 3 P. Gross, M. E. Klein, T. Walde *et al.*. Fiber-laser-pumped continuous-wave singly resonant optical parametric oscillator[J]. *Opt. Lett.*, 2002, **27**(6): 418~420
- 4 A. Kuroda, S. Kurimura, Y. K. Uesu. Domain inversion in ferroelectric MgO:LiNbO₃ by applying electric field[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1996, **69**: 1565~1567
- 5 A. Henderson R. Stafford. Low threshold singly-resonant CW OPO pumped by an all-fiber pump source [J]. *Optics Express*, 2006, **14**(2): 767~772
- 6 Li Chun, An Yuying, Zeng Xiaodong. LiNbO₃ electro-optic Tuning Optical Parametric Oscillator[J]. *Acta, Optica Sinica*, 2004, **24**(2): 172~174
李 春,安毓英,曾晓东. LiNbO₃ 电光调谐光学参量振荡器[J]. *光学学报*, 2004, **24**(2): 172~174
- 7 Yao Jianghong, Xue Liangping, Yan Boxia *et al.*. Optical parametric oscillator based on periodically Poled MgO : LiNbO₃ crystal[J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(2): 209~213
姚江宏,薛亮平,颜博霞 等. 周期极化掺镁铌酸锂光学参量振荡 [J]. *中国激光*, 2007, **34**(2): 209-213
- 8 Zhang Xingbao, Yao Baoquan, Wang Yuezhu *et al.*. Middle-infrared intracavity periodically poled MgO:LiNbO₃ optical parametric oscillator [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2007, **5**(7): 426~427
- 9 I. D. Lindsay, P. Grob, C. J. Lee, *et al.*. Mid-infrared wavelength and frequency modulation spectroscopy with a pump modulated singly-resonant optical parametric oscillator[J]. *Optics Express*, 2006, **14**(25): 12341-12346
- 10 O. Paul, A. Quosig, T. Bauer *et al.*. Temperature-dependent Sellmeier equation in the MIR for the extraordinary refractive index of 5% MgO doped congruent LiNbO₃[J]. *Appl. Phys. B*, 2007, **86**(1): 111~115
- 11 Zhang Xingbao, Wang Yuezhu, Ju Youlun *et al.*. Low-threshold mid-IR MgO: PPLN optical parametric generation with high reflectivity mirror for signal wavelength[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2008, **6**(7): 204~206