

文章编号: 0258-7025(2008)12-1997-04

周期极化掺镁铌酸锂光参量振荡器的 输出光谱特性

颜彩繁 王亚楠 陈少甫 张光寅

(南开大学物理科学学院, 天津 300071)

摘要 实验研究了基于多周期的掺镁铌酸锂晶体光参量振荡器(OPO),分析了光学参量振荡器的输出光谱特性。实验中,采用激光二极管(LD)端面抽运的声光调Q Nd:YVO₄激光器作为光参量振荡器的抽运源,谐振腔采用双凹腔结构。在调Q开关重复频率为10 kHz,周期极化掺镁铌酸锂(PPMgLN)晶体的温度为25.4 °C的条件下,实验测得光学参量振荡器的振荡阈值为110 mW。当输入的抽运光的平均功率为325 mW时,获得了平均功率为84 mW的信号光输出,其光-光转换效率为25.8%。通过改变周期极化掺镁铌酸锂晶体的温度(25.4~120 °C)和极化周期(28.5~30.5 μm),实现了信号光在1449.6~1635 nm范围内的可调谐输出。在室温25.4 °C时,观测到了抽运光与信号光的和频光的光谱。实验结果表明,光参量振荡器输出光谱的半峰全宽(FWHM)小于0.5 nm。

关键词 非线性光学;周期极化掺镁铌酸锂;光参量振荡器;光谱特性

中图分类号 O 437.4 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL20083512.1997

Spectral Properties of Parametric Oscillator Based on Periodically Poled MgO-Doped Lithium Niobate

Yan Caifan Wang Yanan Chen Shaofu Zhang Guangyin

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

Abstract Temperature tuning and domain period tuning optical parametric oscillator based on periodically poled MgO doped lithium niobate (PPMgLN) in singly-resonant was studied experimentally. The output spectrum of optical parametric oscillator was discussed. A laser diode (LD) end-pumped acousto-optically Q-switched Nd:YVO₄ laser was used as the pump source. The double-concave cavity structure was employed as PPMgLN-optical parametric oscillator (OPO) resonance cavity. Under Q-switch repetition rate of 10 kHz and temperature of 25.4 °C, the threshold pump power of 110 mW is gained. The signal output power of 84 mW is obtained with a pump power of 325 mW and optical-optical conversion efficiency is 25.8%. It generates signal wave-lengths tunable in the range of 1449.6~1635 nm by temperature tuning and domain period tuning of PPMgLN. The spectrum from frequency mixing between the pump and signal is obtained at 25.4 °C. The experimental results show that the full-width at half-maximum (FWHM) of output spectrum is less than 0.5 nm.

Key words nonlinear optics; periodically poled MgO doped LiNbO₃; optical parametric oscillator; spectral characteristics

1 引言

可调谐红外相干光源在环境检测、光谱分析、光纤通信、军事对抗等领域有着非常重要的应用。特别是红外宽调谐光源在激光光谱、拉曼光谱、光声光谱等方面具有广泛的应用前景^[1,2]。光学参量振荡器(OPO)是获得宽带可调谐红外光源的一种有效

的方法,是光学领域研究的一个热点。耿优福等^[3]以激光二极管(LD)抽运的声光(AO)调Q准连续Nd:YAG激光器作为光学参量振荡器的抽运源,实现了信号光在1561~1672 nm范围内的可调谐输出。在1064 nm抽运光的平均功率为1.728 W,调Q的重复频率为11.7 kHz时,获得了平均功率为

收稿日期:2008-01-31;收到修改稿日期:2008-04-10

基金项目:国家自然科学基金重点项目(90501004)资助课题。

作者简介:颜彩繁(1960—),女,湖南人,高级工程师,主要从事光谱测试与光电子激光等方面的研究。

E-mail: yan cf@nankai.edu.cn

297 mW的1672 nm信号光输出,其相应的信号光转换效率为17.2%。周斌斌等^[4]对准相位光参量振荡器进行了理论研究,分析了谐振腔的腔长、非线性晶体的通光长度、抽运光的脉冲宽度以及输出耦合镜的透过率对光参量振荡器振荡阈值的影响。姚江宏等^[5]通过调谐周期极化掺镁铌酸锂(PPMgLN)晶体的温度(20~180 ℃),实现了1503~1550 nm的信号光输出。在温度为160 ℃时,得到了平均功率为94 mW的1544 nm信号光输出,其转换效率为19.2%。张兴宝等^[6]通过调谐PPMgLN晶体的极化周期实现了2.69~4.07 μm的输出。在LD的抽运功率为8 W,调Q重复频率为10 kHz的条件下,内腔OPO产生了平均功率为0.42 W的输出,相应的转换效率为5.2%。卞进田等^[7]报道了采用KTP晶体和LiIO₃晶体实现4~5 μm可调谐激光输出的光参量振荡器至差频产生器(DFG)的全固化结构和相应的实验结果,获得了最大输出能量为100 μJ的输出。

单共振光参量振荡器具有较好的幅度和稳定的光谱,但其抽运阈值非常高^[3,8]。本文主要从周期极化掺镁铌酸锂晶体的温度和畴周期调谐特性等方面对单共振光参量振荡器的输出特性进行了讨论。在晶体的温度为25.4 ℃,调Q重复频率为10 kHz的条件下,获得了OPO的振荡阈值功率为110 mW,这一实验结果明显地低于文献^[3,8]的报道。

目前,对准相位匹配光学参量振荡器的研究有许多报道^[3~12],但关于周期极化掺镁铌酸锂光参量振荡器输出光谱特性的研究较少。本文从实验上分析了光参量振荡器的输出光谱特性。在室温的条件下,测量了周期极化掺镁铌酸锂光参量振荡器输出的信号光、信号光与抽运光的和频光、抽运光的倍频光和信号光的倍频光的光谱,获得光谱的半峰全宽(FWHM)均小于0.5 nm。

2 实验装置

准相位匹配周期极化掺镁铌酸锂光学参量振荡器的实验装置如图1所示。它主要包括1064 nm的

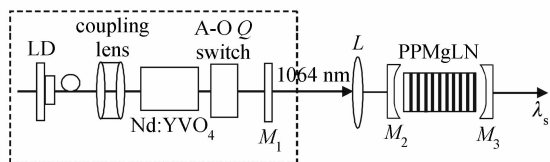


图1 光学参量振荡器的实验装置图

Fig. 1 Schematic diagram of PPMgLN-OPO

抽运源和PPMgLN光学参量振荡器。

2.1 全固态声光调Q Nd:YVO₄激光器

光学参量振荡器的抽运源采用的是LD端面抽运的声光调Q Nd:YVO₄全固态激光器。LD为德国生产的光纤耦合半导体激光器,其中心波长为808 nm,最大输出功率为32 W。Nd:YVO₄晶体的尺寸为3 mm×3 mm×4.2 mm,其掺钕离子的粒子数分数为0.5%。晶体的前表面镀有对808 nm增透($T > 92%$),1064 nm高反($R > 99%$)的双色介质膜用来直接做谐振腔的后腔镜,晶体的后表面镀有对1064 nm波长光的增透膜。谐振腔采用的是平平腔结构,其腔长为130 mm,1064 nm激光输出镜 M_1 的透过率为10%,声光调Q开关的重复频率选为10 kHz。

2.2 准相位匹配周期极化掺镁铌酸锂光学参量振荡器

采用焦距为100 mm的平凸透镜将1064 nm的光聚为直径约230 μm,并耦合到OPO的谐振腔内。PPMgLN晶体的尺寸为50 mm×7 mm×1 mm,在z轴方向极化,极化周期从28.5~30.5 μm等间隔平行排列着5个周期,相邻两周期之差为0.5 μm。晶体放置在控温炉中进行温度控制,控温炉的工作温度为25~200 ℃,精确度为±0.1 ℃。OPO的谐振腔由两个曲率半径均为100 mm的平凹镜组成,其腔长为95 mm, M_2 为OPO的输入镜,对1064 nm光的透过率为94%,对1430~1635 nm信号光的反射率为99%, M_3 为OPO的输出镜,对1064 nm的抽运光高反($R = 99.5%$),对1430~1635 nm信号光的透过率大于4%。由于输入和输出镜均采用K9玻璃材料,它们对闲频光高吸收,因此,光学参量振荡器对信号光形成了单谐波。

3 实验结果与讨论

光学参量振荡器的输出光谱采用法国生产的iHR320型光栅光谱仪进行测试,其光谱的响应范围为300~5500 nm。

3.1 周期极化掺镁铌酸锂晶体的温度调谐

实验中,选用PPMgLN晶体的晶畴极化周期为29 μm,当晶体的温度从30 ℃变化到200 ℃,获得了1475.2~1512.5 nm信号光的调谐输出。图2为光学参量振荡器的信号光输出波长与温度调谐之间的关系。可以看出,在抽运光的波长和晶体的极化周期一定时,通过改变晶体的温度,可以实现信号光的调谐输出。随着PPMgLN晶体温度的提高,光

学参量振荡器输出的信号光的波长将随之变长,但变化很小,平均温度每变化 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,输出波长改变约 0.22 nm 。

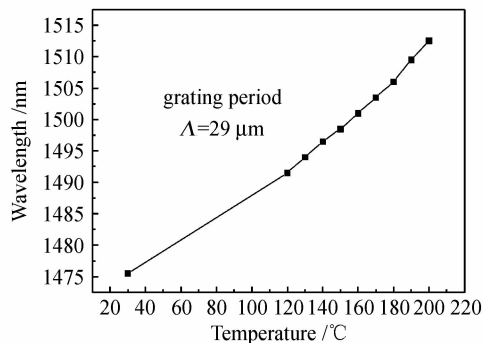


图2 信号光的输出波长与晶体的温度调谐曲线

Fig. 2 Temperature tuning curve of OPO signal wavelength

3.2 周期极化掺镁铌酸锂晶体的极化周期调谐

PPMgLN 晶体的通光方向为 x 方向,沿 y 轴方向平移晶体可以改变 PPMgLN 晶体的准相位匹配的周期。实验过程中,PPMgLN 晶体的温度分别设为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。当晶体的极化周期从 $28.5\text{ }\mu\text{m}$ 变化到 $30.5\text{ }\mu\text{m}$ 时,实现了信号光在 $1450.5\text{ }\sim\text{ }1595.5\text{ nm}$ 和 $1463.5\text{ }\sim\text{ }1635\text{ nm}$ 范围内的调谐输出。光学参量振荡器输出波长与晶体的极化周期的调谐曲线如图3所示,与文献[3,6,8]报道的理论曲线吻合。

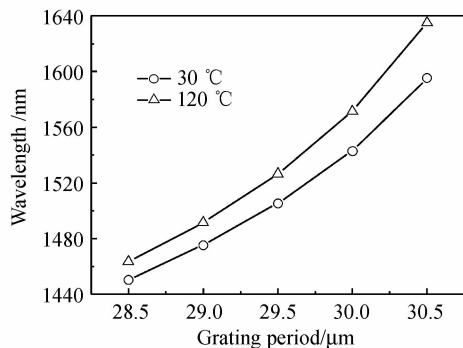


图3 不同温度下 OPO 信号光的输出调谐曲线

Fig. 3 Grating period tuning curves of OPO signal wavelength with different temperatures

实验结果表明,对于准相位匹配光学参量振荡器而言,晶体的极化周期调谐输出的信号光的波长范围远大于温度调谐的输出,但晶畴极化周期无法实现连续调谐。将周期极化掺镁铌酸锂晶体的温度($30\text{ }\sim\text{ }120\text{ }^{\circ}\text{C}$)调谐和极化周期($28.5\text{ }\sim\text{ }30.5\text{ }\mu\text{m}$)调谐相结合,实现了信号光在 $1450.5\text{ }\sim\text{ }1635\text{ nm}$ 范围内的连续可调谐输出。

3.3 周期极化掺镁铌酸锂光学参量振荡器的输出光谱

在声光调 Q Nd:YVO₄ 激光器重复频率为 10 kHz ,周期极化掺镁铌酸锂晶体的温度为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的条件下,测量了光学参量振荡器的振荡阈值为 110 mW 。当抽运光的平均功率为 325 mW 时,获得了 84 mW 的信号光输出,相应的光-光转换效率为 25.8% 。

周期极化掺镁铌酸锂晶体在室温条件下,实现了光学参量振荡器的信号光、信号光的倍频光、抽运光的倍频光,以及抽运光与信号光的和频光的输出。采用 iHR320 型光栅光谱仪对光学参量振荡器输出的光谱进行了测量,并用洛伦兹拟合曲线来确定光谱的中心波长,以及光谱的半峰宽度。图4给出了晶体的极化周期为 $29\text{ }\mu\text{m}$,温度为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,光参量振荡器输出的信号光的光谱,其中心波长为 1475.2 nm ,半峰全宽约为 0.5 nm 。

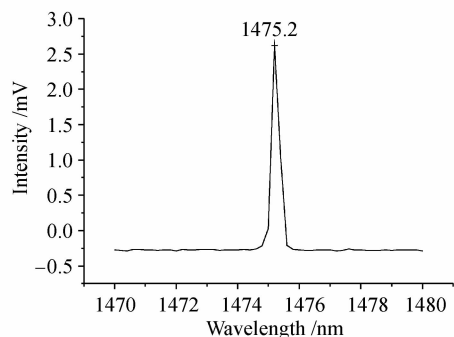


图4 温度为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时 OPO 信号光的输出光谱 (极化周期为 $29\text{ }\mu\text{m}$)

Fig. 4 Spectrum of OPO signal at $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (grating period of $29\text{ }\mu\text{m}$)

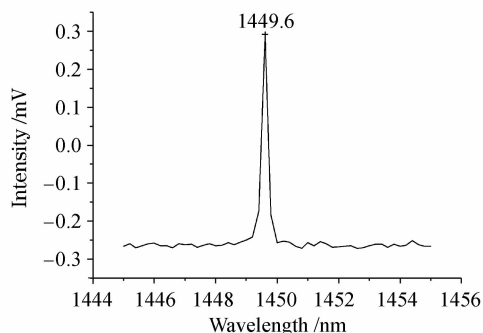


图5 温度为 $25.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时 OPO 信号光的输出光谱 (极化周期为 $28.5\text{ }\mu\text{m}$)

Fig. 5 Spectrum of OPO signal at $25.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (grating period of $28.5\text{ }\mu\text{m}$)

在晶体的极化周期为 $28.5\text{ }\mu\text{m}$,温度为 $25.40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,测量了光学参量振荡器输出的信号光、

信号光的倍频光,以及抽运光与信号光的和频光的光谱,实验结果分别如图 5~7 所示。可以看出,光谱的半峰全宽较窄,均小于 0.5 nm。

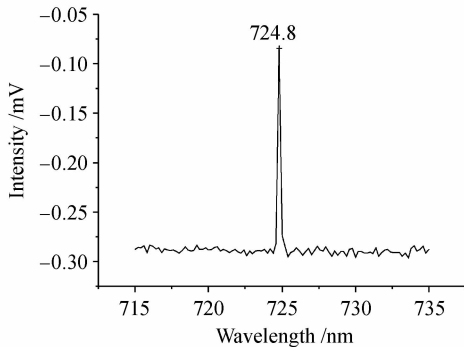


图 6 温度为 25.4 °C 时 OPO 信号光的倍频光的光谱图
(周期为 28.5 μm)

Fig. 6 Spectrum from second harmonic of the signal at 25.4 °C (grating period of 28.5 μm)

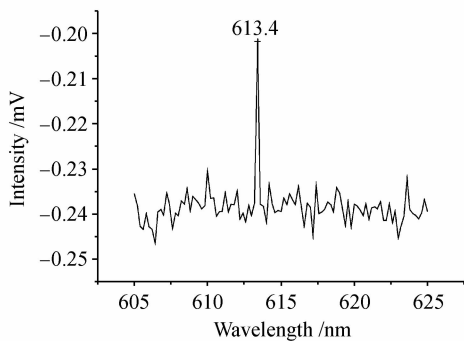


图 7 温度为 25.4 °C 时 OPO 信号光与抽运光的和频光的光谱图(周期为 28.5 μm)

Fig. 7 Spectrum from frequency mixing between the pump and signal at 25.4 °C (grating period of 28.5 μm)

在室温条件下,除测量到了光学参量振荡器输出的信号光、信号光的倍频光、抽运光与信号光的和频光的光谱外,在周期调节的过程中观测到了蓝光和紫光,但很微弱,未能探测到。同时,光学参量振荡器还发出白光,这可能是由绿光(抽运光的倍频光)、蓝光(信号光的二次谐波与抽运光的和频光)和红光(抽运光与信号光的和频光)合成的结果。

4 结 论

利用具有高损伤阈值的掺氧化镁周期性极化铌酸锂晶体,采用 LD 抽运的声光调 Q Nd:YVO₄ 激光器作为光学参量振荡器的抽运源,在调 Q 重复频率为 10 kHz 时,实现了光学参量振荡器的低阈值输出,其振荡阈值功率为 110 mW。在晶体的温度为 25.4 °C 的条件下,测量到了光学参量振荡器输出的

信号光、信号光的倍频光,以及抽运光与信号光的和频光的光谱,其输出光谱的半峰全宽均小于 0.5 nm。通过控制晶体的温度(25.4~120 °C)和晶体的畴周期(28.5~30.5 μm),实现了 1449.6~1635 nm 信号光的可调谐输出。因此,光学参量振荡器是获得可调谐红外光源最有效的方法。

参 考 文 献

- Zhang Wang, Yu Qingxu. IR thermal-emitter based photoacoustic spectrometer for gas detection [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2007, **27**(3):614~618
张望,于清旭. 基于红外热辐射光源的光声气体分析仪[J]. 光谱与光谱分析, 2007, **27**(3):614~618
- Deng Lunhua, Gao Xiaoming, Cao Zhensong *et al.*. Difference-frequency generation in PPLN and water vapor detection in air [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2007, **27**(11):2186~2189
邓伦华,高晓明,曹振松等. 中红外差频光源应用于实际大气水汽浓度测量[J]. 光谱与光谱分析, 2007, **27**(11):2186~2189
- Geng Youfu, Yao Jianquan, Tan Xiaoling *et al.*. Wavelength tunable quasi-phase matched optical parametric oscillator [J]. *Laser & Infrared*, 2006, **36**(9):861~863
耿优福,姚建铨,谭晓玲等. 波长可调谐准相位匹配光学参量振荡器[J]. 激光与红外, 2006, **36**(9):861~863
- Zhou Binbin, Chen Yunlin, Yuan Jianwei *et al.*. Quasi-phase-matched optical parametric oscillator and its optimal design [J]. *J. Infrared Millim. Waves*, 2007, **26**(4):393~396
周斌斌,陈云琳,袁建伟等. 准相位匹配光参量振荡器理论与优化设计[J]. 红外与毫米波学报, 2007, **26**(4):393~396
- 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晶体的光学参量振荡[J]. 中国激光, 2007, **34**(2):209~213
- Xingbao Zhang, Baoquan Yao, Yuezhu Wang *et al.*. Middle-infrared intracavity periodically poled MgO:LiNbO₃ optical parametric oscillator [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2007, **5**(7):426~427
- Bian Jintian, Qin Shujun, Nie Jinsong *et al.*. Experimentation of tunable all-solid-state laser producing 4~5 μm radiation [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(1):9~12
卞进田,秦树军,聂劲松等. 4~5 μm 全固化可调谐激光实验研究[J]. 中国激光, 2006, **33**(1):9~12
- Xuejin Li, Baigang Zhang, Jianquan Yao *et al.*. Infrared OPO temperature tuning based on periodically-poled lithium niobate [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2003, **1**(12):711~713
- Zhu Yachen, Lan Ge, Li Tong *et al.*. 2 μm KTiOAsO₄ optical parametric oscillator [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(11):2059~2063
朱雅琛,兰戈,李彤等. 脉冲式 2 μm KTiOAsO₄ 光参量振荡器[J]. 光学学报, 2007, **27**(11):2059~2063
- L. Y. Tsai, Y. F. Chen. Compact efficient passively Q-switched Nd:GdVO₄/PPLN/Cr⁴⁺:YAG tunable intracavity optical parametric oscillator [J]. *Opt. Express*, 2005, **13**(23):9543~9547
- H. P. Li, D. Y. Tang, S. P. Ng *et al.*. Temperature-tunable nanosecond optical parametric oscillator based on periodically poled MgO:LiNbO₃ [J]. *Optics & Laser Technology*, 2006, **38**(3):192~195
- Y. L. Chen, J. W. Yuan, C. F. Yan *et al.*. Low-pump-threshold tunable optical parametric oscillator using periodically poled MgO:LiNbO₃ [J]. *Opt. Commun.*, 2007, **273**(2):560~563