

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0219-03

准相位匹配光学参量振荡器中宽调谐中 红外光的产生

苏 红, 阮双琛

(深圳大学工程技术学院, 广东 深圳 518060)

摘要 报道了在周期极化掺杂氧化镁的铌酸锂晶体中一个宽调谐中红外准相位匹配光学参量振荡器的产生。由于周期极化掺杂氧化镁的铌酸锂晶体具有较低矫顽场和更高损伤阈值的优点, 所以选择了该晶体并在其上设计了 6 个周期图案。在准相位匹配光学参量谐振腔中, 宽调谐中红外波长是通过平移非线性晶体上图案的位置来实现的, 此时该实验装置不需要重新准直。实验结果表明, 当抽运波长为 $1.064 \mu\text{m}$ 时, 闲置光波长可调范围为 $3.649 \sim 4.115 \mu\text{m}$ 。在该实验中, 晶体的光栅周期和光学谐振腔的阈值抽运能量分别与其相应的理论值基本上相吻合。

关键词 非线性光学; 中红外; 准相位匹配; 光学参量振荡器; 光学超晶格

中图分类号 O437 **文献标识码** A

Widely Tunable Mid-Infrared Generation in a Quasi-Phase Matched Optical Parametric Oscillator

SU Hong, RUAN Shuang-chen

(School of Engineering and Technology, Shenzhen University, Shenzhen, Guangdong 518060, China)

Abstract A widely tunable mid-infrared generation in a quasi-phase matched optical parametric oscillator with a periodically polarized MgO-doped lithium niobate crystal is reported. Because of the lower coercive force and high damage threshold, the crystal is chosen and designed for six period patterns. In the quasi-phase matched optical parametric oscillator, the broadly tunable mid-infrared wavelength is realized by translating the position of the pattern in the nonlinear crystal without realignment adjustment. The experimental results show that the idler light lies in $3.649 \sim 4.115 \mu\text{m}$ when the pump wavelength is $1.064 \mu\text{m}$. And the grating period of the crystal and the threshold pump energy of the optical parametric oscillator in this experiment are nearly consistent with the corresponding theoretical value, respectively.

Key words nonlinear optics; mid-infrared; quasi-phase-matched; optical parametric oscillator; optical superlattice

1 引 言

近年来, 由于中红外光源在远程环境污染探测、中红外光谱等方面具有广泛的应用前景^[1,2], 可调谐高功率中红外光源已经成为一个引人注目的前沿课题。实现中红外光产生的一个有效方法是利用光学参量振荡器(OPO)。与周期极化铌酸锂晶体(PPLN)相比较, 周期极化掺杂氧化镁的铌酸锂(PPMgLN)这种非线性晶体除可以利用大的非线性光学系数外, 还具有较低矫顽场和更高损伤阈值的优点^[3], 是适用于 OPO 高功率频率转换过程中新发展的较大孔径晶体。这种氧化镁的掺杂可以降低

光折变的产生和扩大该晶体的应用范围^[4,5]。

本文报道了在 PPMgLN 晶体中一个宽调谐中红外准相位匹配光学谐振腔的产生。我们在该晶体上设计了 6 个不同的周期图案。在准相位匹配光学参量振荡器中, 宽调谐中红外波长是通过平移非线性晶体上图案的位置来实现的, 此时该实验装置不需要重新准直。

2 理论分析

在准相位匹配中, 铌酸锂晶体沿 z 轴极化。光学参量过程中, 三波共线传输, 波矢均沿晶体 x 轴

传输,这时,抽运光、信号光和闲置光都是 e 光,没有光束离散效应^[6]。对一阶准相位匹配共线过程,为使参量过程有效产生,应满足能量守恒和动量守恒,即

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

$$\Delta k = k_p - k_s - k_i - G_1, \quad (2)$$

式中 $\lambda_p, \lambda_s, \lambda_i$ 分别为抽运光、信号光和闲置光的波长, k_p, k_s, k_i, G_1 分别代表抽运光、信号光和闲置光的波矢和第一阶倒格矢。波矢和倒格矢大小分别表示为 $k=2\pi n/\lambda, G_1=2\pi/\Lambda$, 这里 n 为折射率, λ 为波长, Λ 为 PPMgLN 晶体的光栅周期。对一给定 PPMgLN 晶体的光栅周期,抽运光波长和晶体温度,根据有关晶体折射率的 Sellmeier 方程^[7,8], OPO 中产生的信号光和闲置光的波长就可以从(1)式,(2)式中推导出来。

3 实 验

图 1 为实验装置示意图,抽运源是调 Q 脉冲 Nd:YAG 激光器(输出波长为 $1.064 \mu\text{m}$,脉宽为 10 ns ,重复率为 10 Hz 。), F_1 和 F_2 是一个望远镜系统,用于缩小激光光束到 1 mm , $\lambda_p/4$ 波片和 $\lambda_p/2$ 波片用于调节抽运光的偏振方向, F_3 是 OPO 腔的匹配透镜, OPO 腔是由 M_1 和 M_2 腔镜组成的,两腔镜对信号光高反,对抽运光和闲置光高透, F_4 是信号光宽带滤波片。信号光输出光谱通过 Oceanoptics NIR-256 控温光谱仪可以得到。Nd:YAG 激光器的输出光 $1.064 \mu\text{m}$ 作为 OPO 的抽运光,经过整形,聚焦到 PPMgLN 晶体中图案的中心,形成直径为 $100 \mu\text{m}$ 左右的光斑。

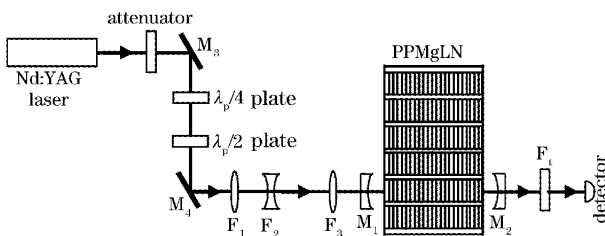


图 1 宽调谐准相位匹配 OPO 腔

Fig. 1 Broadly-tunable quasi-phase-matched OPO cavity

多周期 PPMgLN 晶体在 z 轴方向极化,6 个极化周期分别为 $28.66 \mu\text{m}, 28.95 \mu\text{m}, 29.22 \mu\text{m}, 29.49 \mu\text{m}, 29.76 \mu\text{m}$ 和 $30 \mu\text{m}$,厚度为 1 mm ,沿 x 轴方向长度为 50 mm ,整个晶体置于一个可以手动平移的温控光学平台上。OPO 长为 100 mm ,输入

镜 M_1 和输出镜 M_2 的曲率半径都为 100 mm ,而且这两镜片对信号光在 $1.45 \mu\text{m}$ 处镀有高反膜,而对抽运光和中红外光镀有高透膜。因此,此 OPO 为信号光单振荡器。

从 OPO 中产生的中红外波长可以从测到的信号光谱中推导出。信号光输出光谱如图 2 所示。从图中可以看出,对晶体中 6 个不同光栅周期 Λ ,信号光的中心波长依次为 $1.435 \mu\text{m}, 1.448 \mu\text{m}, 1.462 \mu\text{m}, 1.475 \mu\text{m}, 1.489 \mu\text{m}$ 和 $1.502 \mu\text{m}$ 。通过能量守恒关系式,可以得出相应的闲置光波长为 $4.115 \mu\text{m}, 4.012 \mu\text{m}, 3.908 \mu\text{m}, 3.818 \mu\text{m}, 3.728 \mu\text{m}$ 和 $3.649 \mu\text{m}$ 。由于 OPO 腔镜的信号光高反膜带宽中心在 $1.45 \mu\text{m}$ 左右,所以该信号光转化效率最高。产生的信号光离该处越远,在 OPO 腔中损耗就越大,其所需要的抽运阈值就越高,在相等的能量抽运情况下,该信号光的转化效率也就越低。实验中,我们也得到了 $1.45 \mu\text{m}$ 处产生信号光所需要的阈值抽运能量约为 $150 \mu\text{J}$ 。

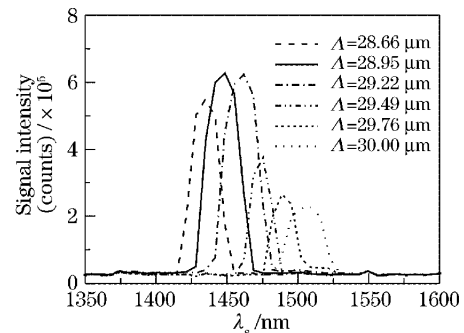


图 2 信号光输出光谱

Fig. 2 Signal output spectrum

当抽运波长为 $1.064 \mu\text{m}$ 且在室温条件下,对应图 2 中 6 个不同的光栅周期,经过理论分析得到其对应的闲置光波长分别为 $4.1 \mu\text{m}, 4.0 \mu\text{m}, 3.9 \mu\text{m}, 3.8 \mu\text{m}, 3.7 \mu\text{m}$ 和 $3.6 \mu\text{m}$;而对 $1.45 \mu\text{m}$ 处信号光的产生所需要的阈值抽运能量约为 $100 \mu\text{J}$ 。结果表明,该实验中,晶体的光栅周期与其相应的理论值基本上是相吻合的;由于实验准直的不精确性,光学振荡器的阈值抽运能量要比其理论计算值稍高些。

4 结 论

以电光调 Q 的 Nd:YAG 激光器作为抽运源,在多周期 PPMgLN 晶体上实现了一个宽调谐中红外准相位匹配光学参量振荡器的产生。在该准相位

匹配光学参量振荡器中,宽调谐中红外波长是通过平移非线性晶体上图案的位置来实现的,此时该实验装置不需要重新准直。实验结果表明,当抽运波长为 $1.064\ \mu\text{m}$,闲置光波长可调范围为 $3.649\sim 4.115\ \mu\text{m}$,并且晶体的光栅周期和光学谐振腔的阈值抽运能量分别与其相应的理论值基本吻合。

参 考 文 献

- 1 T. Henningsen, M. Garbuny, R. L. Byer. Remote detection of CO by parametric tunable laser [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1974, **24**(5): 242~244
- 2 R. A. Baumgartner, R. L. Byer. Remote SO_2 measurements at $4\ \mu\text{m}$ with a continuously tunable source [J]. *Opt. Lett.*, 1978, **2**(6): 163~165
- 3 Y. Furukawa, K. Kitamura, S. Takekawa *et al.*. Stoichiometric $\text{Mg}:\text{LiNbO}_3$ as an effective material for nonlinear optics [J]. *Opt. Lett.*, 1998, **23**(24): 1892~1894
- 4 Y. Furukawa, K. Kitamura, S. Takekawa *et al.*. Photorefraction in LiNbO_3 as a function of $[\text{Li}]/[\text{Nb}]$ and MgO concentrations [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2000, **77**(16): 2494~2496
- 5 K. Mizuuchi, A. Morikawa, T. Sugita *et al.*. Efficient second-harmonic generation of 340-nm light in a $1.4\text{-}\mu\text{m}$ periodically poled bulk $\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$ [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2003, **42**(Part 2, 2A): L90~L91
- 6 D. E. Zelmon, D. L. Small, D. Jundt. Infrared corrected Sellmeier coefficients for congruently grown lithium niobate and 5 mol. % magnesium oxide-doped lithium niobate [J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1997, **14**(12): 3319~3322
- 7 H. Y. Shen, H. Xu, Z. D. Zeng *et al.*. Measurement of refractive indices and thermal refractive-index coefficients of LiNbO_3 crystal doped with 5 mol. % MgO [J]. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(31): 6695~6697
- 8 D. H. Jundt. Temperature-dependent Sellmeier equation for the index of refraction n_e in congruent lithium niobate [J]. *Opt. Lett.*, 1997, **22**(20): 1553~1555