

文章编号:1001-5078(2005)09-0641-03

温度调谐的 MgO:LiNbO₃ 光学参量振荡器

王晓敏,张腊花,马明俊,王纪光,吴路生
(中国科学院安徽光学精密机械研究所,安徽 合肥 230031)

摘要:采用电光调 Q Nd:YAG 经 KTP 晶体倍频得到 0.532 μm 的激光,泵浦非临界相位匹配的 MgO:LiNbO₃ 晶体。当光学参量振荡器(OPO)的输出镜采用对剩余泵浦光高反的腔镜时,泵浦阈值有明显的降低,转换效率提高了 2 个百分点。

关键词:MgO:LiNbO₃ 晶体;非临界相位匹配;温度调谐;光学参量振荡

中图分类号:TN248.1 **文献标识码:**A

Temperature-tunable MgO:LiNbO₃ Optical Parametric Oscillator

WANG Xiao-min, ZHANG La-hua, MA Ming-jun, WANG Ji-guang, WU Lu-sheng
(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: A temperature tunable infrared optical parametric oscillator (OPO) based on MgO:LiNbO₃ crystal pumped by an electro-optically Q-switched Nd:YAG laser with frequency-doubling crystal KTP is discussed. The OPO crystal is non-critically phase matched. When the output mirror with high reflection at the pump wavelength is used, the threshold value is lowered clearly, and the conversion efficiency is improved by 2 percent.

Key words: MgO:LiNbO₃ crystal; noncritically phase-matching; temperature-tunable; optical parametric oscillator

1 引言

自 1965 年 Ballman 利用 Czochralski 方法生长出铌酸锂(LN)晶体以来,由于 LN 晶体本身具有压电、热电、铁电、线性和非线性等特点,使其在工业应用领域大显身手,被称为“通用型”(versatile)和聪明(clever)晶体^[1]。LiNbO₃ 晶体(透射谱区为 0.35~4.3 μm)作为最早的参振晶体,利用 Nd:YAG 及其谐波泵浦,可获得调谐范围 1~4 μm ,其参量振荡技术最为成熟^[2]。1965 年 Giordmaine 和 Miller 利用铌酸锂作为非线性材料,实现了光参量振荡器的首次成功运转,光学参量振荡器在实现波长的调谐输出中的应用越来越多。

本文作者采用电光调 Q Nd:YAG 激光的倍频光(0.532 μm)作为泵浦源,泵浦 MgO:LiNbO₃ 晶体,参量腔采用不同镀膜方式的输出镜,降低了振荡阈值,

提高了参量光的转换效率。

2 MgO:LiNbO₃ 晶体的相位匹配方式

MgO:LiNbO₃ 晶体的一般特性为:该晶体是负单轴晶体,属 3m($c_{3\varphi}$ 点群,空间群为 $R3c(c_{3\varphi}^6)$)。透光范围 0.4~5 μm , I 类相位匹配范围为 0.8~5 μm ,抗损伤阈值比未掺 MgO 的纯 LiNbO₃ 晶体高约 100 倍;结构破坏阈值为 10J/cm²(波长 1.064 μm ,脉宽 10ns),在可见与近红外波段具有较低的散射及吸收, $d_{\text{eff}}(I) = d_{31} \sin\theta + d_{22} \cos\theta$, $d_{31} = -5.9\text{pm/V}$, $d_{22} = 4.0\text{pm/V}$ ^[3]。

在可见和近红外区, MgO:LiNbO₃ 的双折射率较

作者简介:王晓敏(1976-),女,中国科学院安徽光学精密机械研究所在读硕士,从事光学参量振荡器,固体激光器方向的研究。
E-mail: wangxm1346@sina.com

收稿日期:2005-03-03

大($B = n_o - n_e \approx 0.08$),而且随温度的变化也很大($\frac{dB}{dT} \approx -4.5 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$),因而很容易通过改变温度实现相位匹配^[4]。而非临界相位匹配,具有较大的非线性系数、大的接受角、无走离等特点,在 OPO 中得到了广泛的应用。对于温度调谐的 MgO:LiNbO₃ 晶体,非临界相位匹配是最常用的匹配方式。在非临界相位匹配的条件下,可以得到各种波长的参量光输出。图 1 为 0.532 μm 的 MgO:LiNbO₃ 晶体的温度调谐曲线。由图中可以看出,当泵浦光波长为 0.532 μm 时,简并点温度为 36 $^\circ\text{C}$,晶体温度只需达到 150 $^\circ\text{C}$ 就可实现 0.8 ~ 1.4 μm 的较宽波段的调谐。

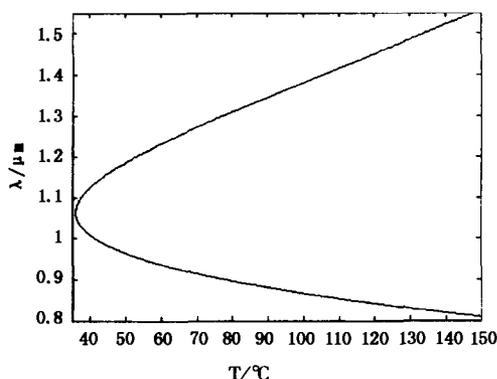


图 1 0.532 μm 泵浦 MgO:LiNbO₃—OPO(NCPM) 的温度调谐曲线

图 1 中 MgO:LiNbO₃ 晶体采用 I 类相位匹配,即 $e \rightarrow o + o$ ($\omega_p \rightarrow \omega_o + \omega_o$),其中曲线依据的 MgO:LiNbO₃ 晶体的折射率方程如下^[4]:

对于寻常光,

$$n_o^2 = 4.9130 + \frac{0.1173 + 1.65 \times 10^{-8} T^2}{\lambda^2 - (0.212 + 2.7 \times 10^{-8} T^2)^2} -$$

$$2.78 \times 10^{-2} \lambda^2$$

对于非常光,

$$n_e^2 = A + 2.605 \times 10^{-7} T^2 + \frac{0.097 + 2.7 \times 10^{-8} T^2}{\lambda^2 - (0.201 + 5.4 \times 10^{-8} T^2)^2} - 2.24 \times 10^{-2} \lambda^2$$

这里温度 T 的单位为 K,波长单位 μm 。这些方程对波长从 0.4 ~ 4 μm ,温度从 0 ~ 400 $^\circ\text{C}$ 范围内均成立。式中 A 为一级修正的常数,与掺杂 MgO 的多少有关,可由实验测定。本实验中的 $A = 4.558457$ 。

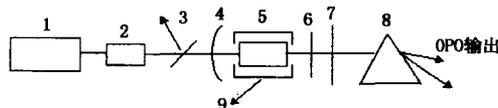
3 实验结果及分析

3.1 实验装置

实验中,我们采用外腔式 OPO。实验中 MgO:LiNbO₃ 晶体置于特制的控温炉中,由北京无线电电源控制

设备厂生产的最高输出电压为 30V 的晶体管稳压电源供电,经空气自然换热冷却,使晶体达到恒温。用热敏电阻和数字万用表监控晶体温度。

在该系统中,以平行平面腔的电光调 Q 的 Nd:YAG 激光器为基本激光光源,经 KTP 晶体倍频后的二次谐波(0.532 μm)作为泵浦源,输出在 40mJ 以上,脉宽为 8ns,经倒置望远镜缩束后光斑直径为 3mm。OPO 谐振腔采用平凹腔,长度为 65mm,输入镜前放置 1.064 μm 全反镜去除剩余的基波光,保证进入 MgO:LiNbO₃ 晶体的泵浦光为 0.532 μm 。在输出镜的后面再放置红玻璃滤除剩余的泵浦光。因为输出的参量光和空闲光为同一偏振方向,因此用三棱镜进行分光。实验装置如图 2 所示。



1. YAG 激光器 2. KTP 倍频晶体 3. 1.064 μm 全反镜
4. 输入镜 5. MgO:LiNbO₃ 晶体 6. 输出镜
7. 0.532 μm 滤光片 8. 分光棱镜 9. 控温炉

图 2 实验装置图

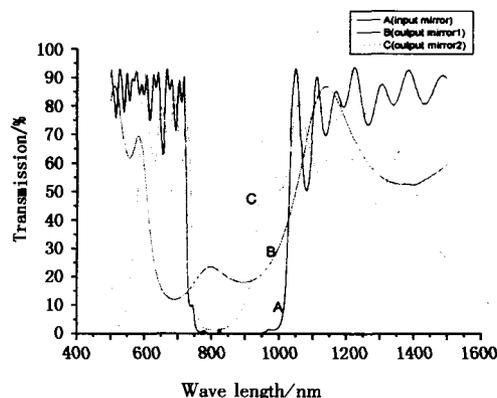


图 3 OPO 腔镜的透过率曲线

实验中采用不同的腔镜组合,图 3 为各腔镜的透过率曲线。其中, A 为 OPO 输入镜透过率曲线,对 0.75 ~ 1 μm 波段全反射; B 为对 0.7 ~ 1 μm 波段反射率为 75% ~ 90% 的 OPO 输出镜透过率曲线; C 为对 0.532 μm 高反的 OPO 输出镜透过率曲线。

3.2 实验结果与分析

控制晶体温度在 107 $^\circ\text{C}$ 时,此时 OPO 输出参量光波长为 0.854 μm ,空闲光波长为 1.401 μm (数据为采用单色仪观测到的波长值)。输出激光用 GT-106 型 PIN 快速硅光二极管接收,500MHz TDS3052B 型数字荧光式示波器进行显示和测量,获得输出光

的脉冲如图4所示,脉宽约为7ns,略小于泵浦光的脉宽(8ns)。这是由于光参量振荡器具有明显的阈值行为,而且OPO是泵浦光、信号光和空闲光的三波相互作用过程,因此产生的信号光和空闲光一定是在泵浦光的持续时间内形成,使得输出光的脉冲宽度略小于泵浦光的脉冲宽度。

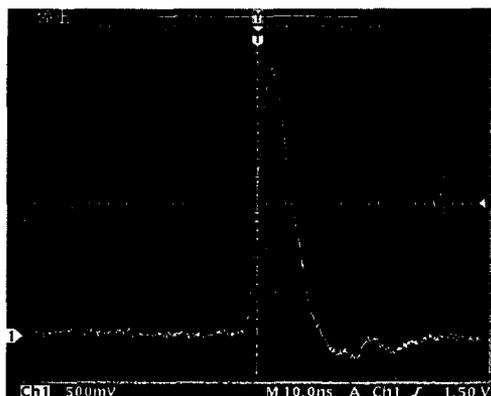


图4 参量光脉冲波形

当泵浦光能量为40mJ,OPO输出镜采用图3中曲线B所示的腔镜时,阈值能量为18mJ,输出空闲光能量为2.21mJ,转换效率为5%;当输出镜采用图3中曲线C所示的腔镜时(对泵浦光波长高反),阈值能量降低为7mJ,输出空闲光能量为2.86mJ,转换效率为7%。实验中所测OPO输出能量均采用LPE-1A功率能量计测量,能量值为滤除参量光和剩

余的泵浦光后的空闲光能量。很显然,在采用对0.532 μm 高反的输出镜时,泵浦阈值有了明显的降低,而转换效率也有了提高。

4 结论

对于MgO:LiNbO₃晶体,利用其折射率随温度变化大的特点,采用非临界相位匹配的匹配方式,实现可见光到近红外光的转换。实验中采用镀膜的输出腔片,当输出腔片对剩余泵浦光具有较高的反射率时,泵浦光反射回来再次通过非线性晶体,信号光和空闲光在谐振腔内循环一周能获得双程增益,从而使振荡阈值有明显的降低,转换效率也有明显的提高。

参考文献:

- [1] 王忠敏. 铌酸锂晶体的发展简况[J]. 人工晶体学报, 2002,31(2):173-175.
- [2] 柳强,王月珠,王骐. 发展中的光参量振荡器技术[J]. 激光杂志,1999,20(2):11-15.
- [3] 姚建铨. 非线性光学频率变换及激光调谐技术[J]. 北京:科学出版社,1995.
- [4] 蒋民华. 晶体物理[M]. 山东:科学技术出版社,1980.
- [5] J A Giordmaine, R C Miller. Tunable Coherent Parametric Oscillation in LiNbO₃ at Optical Frequencies[J]. Phys. Rev. Lett., 1965,6:973-976.

· 综合动态信息 ·

出版消息

由中国光学光电子行业协会红外分会组织编写的“中国红外产品与应用”一书,已于2004年10月由长城出版社出版。

全书共13章,第一章是中国红外技术发展的回顾与展望,由老科学家汤定元、林钧挺、苏君红撰写;其余各章是按照从基础原理到整机应用的顺序,分别介绍了红外辐射与辐射源,红外探测器,微型制冷器,红外光学,红外辐射测温,红外热像仪,红外诊断检测技术,安全防范,红外光谱分析仪器,红外遥感仪,红外医学应用和红外技术的军事应用。各章均由专家编写,全书最后由董培芝、袁继俊统一编审。

目前尚有部分存书,欢迎读者订购。

联系人:所洪涛

电话:(010)64362211-490,64331367

传真:(010)64347322

E-mail:postmaster@coema.org.cn

通信地址:北京8511信箱中国光协红外分会

邮编:100015