

文章编号: 0253-2239(2001)04-440-04

宽波段温度调谐 MgO: LiNbO₃ 光学参量振荡器*

吕 卫 于意仲 丁 欣 姚建铨

(天津大学精密仪器与光电子工程学院激光与光电子研究所, 教育部
光电信息技术科学开放实验室, 天津 300072)

摘要: 采用电光调 Q 脉冲 Nd: YAG 激光的二次谐波(532 nm)抽运温度调谐的 MgO: LiNbO₃ 晶体光学参量振荡器, 调谐范围达 800 nm~ 1750 nm。在单谐振运转条件下, 抽运阈值为 21.5 mJ/pulse, 最大抽运能量为 58 mJ 时输出为 6.45 mJ, 在大信号情况下的能量转换效率达 11%, 输出线宽 1 nm 左右。

关键词: MgO: LiNbO₃ 晶体; 温度调谐; 光学参量振荡器; 宽波段

中图分类号: O437.4 文献标识码: A

1 引 言

MgO: LiNbO₃ 光学参量振荡器的研究多年前已经有报道, Kozlovsky 等人^[1]曾设计了一种单块 MgO: LiNbO₃ 晶体单谐振振荡腔, 由单模二极管抽运的 Nd: YAG 的二次谐波(543 nm)抽运, 温度调谐实现了 834 nm~ 958 nm、1200 nm~ 1470 nm 的参量光输出。用同样的腔型^[2]他们还获得了 1010 nm~ 1130 nm 的双谐振参量输出^[2]。

Gerstenberger 等人^[3]使用二极管抽运的单频 Nd: YAG 激光的连续二次谐波抽运 MgO: LiNbO₃ 晶体光学参量振荡器, 调谐范围为 966 nm~ 1185 nm, 在 700 mW、1064 nm 输入条件下, 得到 100 mW 的参量光输出。

国内, 何慧娟等人^[4]采用角度调谐, 实现了 700 nm~ 2200 nm 波段的皮秒行波参量激光输出。

本文报道了电光调 Q 脉冲 Nd: YAG 激光的二次谐波(532 nm)抽运的温度调谐 MgO: LiNbO₃ 晶体光学参量振荡器的实验研究结果, 通过更换光学参量振荡器腔的膜片, 获得了 800 nm~ 1750 nm 的宽波段连续调谐单谐振脉冲参量光输出。以温度调谐方式获得如此宽波段的参量光输出, 并在整机化、系统化上具有一定规模的光学参量振荡器装置, 国内尚未见报道。

2 实验装置设计

实验装置简图如图 1 所示。

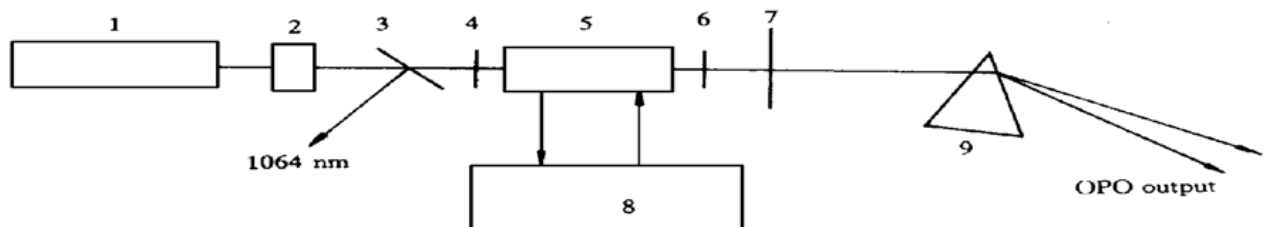


Fig. 1 Experimental schematic. 1: YAG laser; 2: KTP; 3: 1064 nm HR& 532 nm HT mirror; 4: input mirrors; 5: MgO: LiNbO₃; 6: output mirrors; 7: filter of 532 nm; 8: heating and temperature control system; 9: prism

2.1 抽运源

以平行平面腔的电光调 Q Nd: YAG 激光器的二次谐波(532 nm)作抽运光源。532 nm 激光能量

在 50 mJ 以上, 脉宽半极大值全宽 6 ns, 全宽度发散角 0.9 mrad。KTP 晶体距光学参量振荡器输入镜约 150 mm。光学参量振荡器输入镜前, 放置一片 1064 nm 全反、532 nm 高透的膜片, 保证输入的泵光为 532 nm。

2.2 光学参量振荡器晶体

采用 I 类相位匹配方式, 对 MgO: LiNbO₃ 光学

* 国家自然科学基金(69988003)及“激光技术国家重点实验室”资助项目。

收稿日期: 1999-07-05; 收到修改稿日期: 2000-01-21

参量振荡器的温度调谐曲线进行了数值计算, 得到了适用于 800 nm~ 1750 nm 宽调谐范围的晶体切割角度和调谐温度的对应关系, 如图 2 所示。由图可见, 不采用传统的非临界相位匹配(90°)情况, 选取切割角度 θ 为 82°, 可使对应调谐区间内的最低调谐温度在 85 °C 附近, 此时对应的最高调谐温度在 230 °C 以内, 从而达到了避免发生晶体热损伤、保证系统其他部件正常工作以及保证温度控制精度的目的。由于采取了温度调谐方式, 所以在最大走离角所允许的条件下, 可尽量增加晶体长度, 以增加参量光增益^[5]。实际使用的 MgO: LiNbO₃ 晶体尺寸为 (8 ± 0.1) mm × (8 ± 0.1) mm × 34.5 mm, 切割角度为 $\theta = 82^\circ \pm 5'$, 在负的 y - z 方向切割。

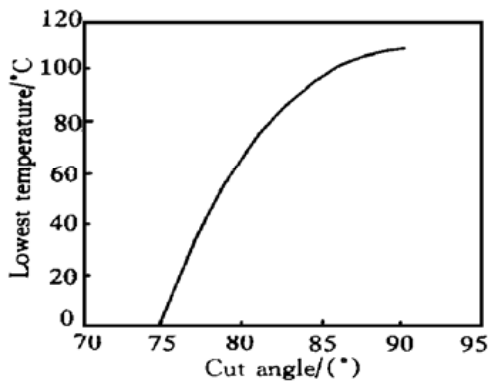


Fig. 2 Lowest temperature vs cut angle

2.3 光学参量振荡器谐振腔

参量谐振腔是长度 100 mm 的平-平腔, 输入耦合镜对 532 nm 的透过率在 90% 以上, 对参量光的反射率在 97% 以上, 输出耦合镜对参量光的透过率为 40%~ 60%。采用多组膜片机械切换, 参量光波段镀膜范围从 750 nm 覆盖至 1750 nm, 并以单谐振方式调谐, 实现了 800 nm~ 1750 nm 连续可调谐的参量激光输出。图 3 为其中 800 nm~ 900 nm 波段所用的光学参量振荡器腔镜的透过率曲线。

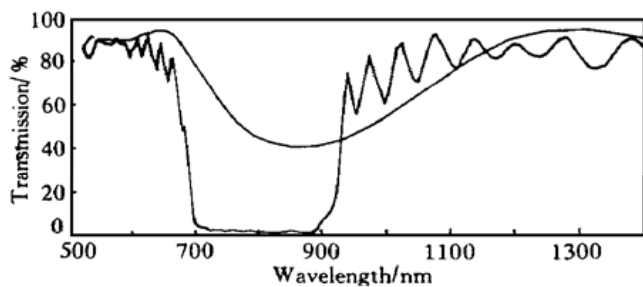


Fig. 3 Transmissions of the mirrors of the OPO resonators

由于输入腔镜和输出腔镜未能按理想情况分段对应镀制, 故结合已有膜片, 最终采用下表所列组合, 实现了 800 nm~ 1750 nm 连续可调谐的参量激光输出。

Table 1 Schedule of the OPO mirrors

bandwidth / nm	high reflect mirror / nm	output mirror / nm $T \approx 50\%$
800~ 900	700~ 900	750~ 1000
900~ 1200	900~ 1250	900~ 1200
1200~ 1300	950~ 1300	1150~ 1450
1300~ 1450	1300~ 1450	1150~ 1450
1450~ 1750	1450~ 1750	1400~ 1750

根据参量放大原理, 光学参量振荡器腔中谐振光与抽运光相互耦合, 一定要产生闲频光, 并具有一定的能量比, 所以实验中单共振光学参量振荡器的输出中也应同时存在信号光和闲频光, 为了去除光学参量振荡器输出中的闲频光成份, 腔外放置一块分光棱镜, 将信号光与闲频光分离开来。另外, 腔外还放置了一块滤光片, 将残余的 532 nm 抽运光去除。

2.4 温控及加热控制系统

MgO: LiNbO₃ 晶体置于一特制的加热装置中, 以使加热均匀。选用日本 RKC 理化株式会社生产的 REXC-100 型温控器对加热进行控制, 在 85 °C~ 230 °C 的温度调谐范围内实现了 ± 0.1 °C 的温度控制精度。该控制电路方式和实际加热装置已达到了在 800 nm~ 1750 nm 的调谐范围内, 长时间波长稳定性优于 1 nm。

2.5 测试仪器

使用 WDG500-1A 型光栅单色仪分光, 检测参量光波长, 使用硅 PIN 光电二极管和 InGaAs PIN 作为探测元件, 用 TEKTRONIX 485 (200 MHz) 示波器观察参量光波形。使用北京光电所制 Model 145C 型能量计及 AC15/ 直流复射式检流计测量激光能量。

3 实验结果与分析

3.1 波长调谐范围及调谐速度

在上述装置条件下, 通过更换谐振腔膜片, 在 800 nm~ 1750 nm 波段范围内实现了单谐振参量调谐输出。图 4 为实验结果与理论曲线的对照。从图中可以看出, 实验数据与理论计算符合得很好。由于在近简并点附近信号光和闲频光波长相近, 且膜片镀制时无法按理想化情况以绝对的 1064 nm 为界, 故无法用腔镜透过率来对闲频光振荡加以限制, 实验中在该区域观察到了双谐振参量输出。

晶体第一次加热时, 需有约 20 min 左右的加热稳定过程, 之后若再改变另一温度, 温度调谐的速度

将较快, 1 min~ 2 min 即可改变温度 10 °C 左右, 相应波长改变 50 nm 左右。

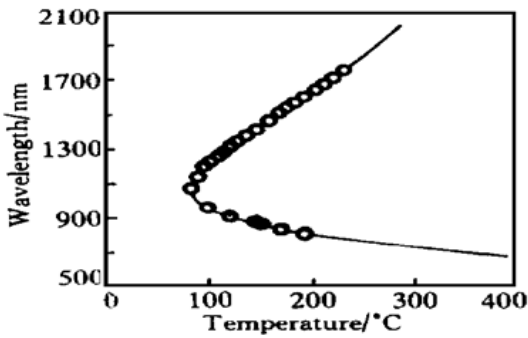


Fig. 4 Tuning curve of MgO: LiNbO₃-OPO.

—: calculated results; —○—: experimental result

3.2 最佳输出耦合与能量转换效率

实验中发现, 尽管由于未采用角度调谐方式, 调谐时不存在晶体方位变化所引起的腔体损耗的增减, 但光学参量振荡的输出能量仍随着调谐发生一定变化。我们认为, 这主要是因为谐振腔腔镜透过率在各谐振区域存在较大差异。表 2 为 1200 nm~ 1300 nm 波段输出能量(单谐振)与调谐温度等参数的对应关系, 表中的输出能量数据为手动单次连续 10 个脉冲的平均值。实验结果表明, 对于本文这种高增益大信号输出的光学参量振荡器, 其最佳输出耦合在 50% 左右。

Table 2 The experimental result of 1200 nm~ 1300 nm. The pump energy of 532 nm is 58 mJ

temperature	calculated wavelength	output wavelength	output energy	transmissivity of the output coupler
98.4 °C	1206 nm	1203 nm	5.07 mJ	39%
103.1 °C	1227 nm	1224 nm	5.63 mJ	45%
107.8 °C	1251 nm	1238 nm	6.45 mJ	48%
114.1 °C	1278 nm	1270 nm	6.27 mJ	53%
119.5 °C	1299 nm	1291 nm	6.28 mJ	57%

参量光的输出能量在 800 nm~ 1750 nm 范围内高于 5 mJ(抽运光 532 nm 能量 50 mJ 以上), 典型值为 1251 nm(107.8 °C)处为 6.45 mJ(532 nm 能量 58 mJ), 单谐振参量转换效率为 11% 以上。

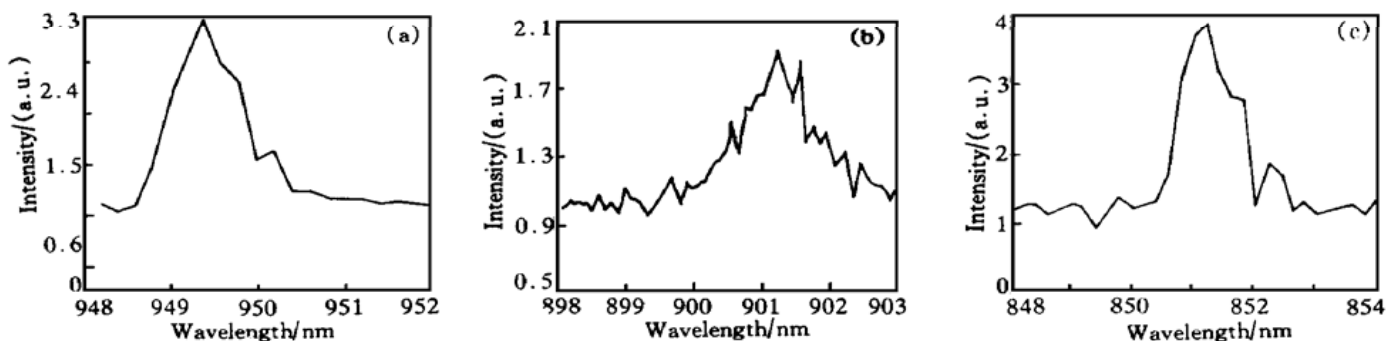


Fig. 5 Linewidth of the signal light. (a) 100 °C, (b) 120 °C, (c) 150 °C

实验中还观察到, 近简并点区域双谐振运转条件下, 双谐振参量总转换效率约在 20% 左右。

实验中注意到, 由于光折变效应及晶体内抽运光束横截面内温度分布的不均匀性, 使得参量相位匹配的方向发生不均匀变化, 导致光学参量振荡的效率降低以及每个脉冲的输出方向发生微小的改变, 使得每个脉冲能量有所波动, 尤其在重复频率大于 10 Hz 时较为严重, 随着晶体的高温运用, 这种情况有所改善。

3.3 参量抽运阈值

实验测得在腔长 100 mm, 晶体温度 150 °C 时, 输出 852 nm 信号光所需的抽运阈值约为 21.5 mJ, 其余调谐区域, 抽运阈值也在这一量级。

在简并点附近双谐振运转情况下, 测得该位置附近的抽运阈值能量为 6 mJ 左右, 较单谐振时低。

实验中, 随着腔长的增加, 抽运阈值也随之增加, 这主要是由衍射损耗增大造成的, 故而适当缩短谐振腔腔长, 同时仔细调整腔镜与晶体的位置, 将有效地降低参量抽运阈值。另外, 晶体的长度、腔镜的透过率等, 也对抽运阈值有很大的影响。

由于实验中所用光学参量振荡器全反腔镜的反射率不很理想, 仅为 97% 左右, 导致了参量抽运阈值较高, 若换用反射率 99% 以上的膜片, 将有效降低阈值, 并进一步提高能量转换效率。

3.4 参量光输出线宽

光学参量振荡器的输出线宽与抽运光的功率、抽运光的线宽、抽运光的发散角等许多因素有关^[6], 对于本文使用的温度相位匹配而言, 由于晶体温度分布不均匀、温度控制不精确, 造成晶体温度时间上、空间上的起伏也都将使参量光的线宽较宽。因所设计的加热及温度控制单元(控温精度 ± 0.1 °C)较为理想, 实验中测得, 在未使用压窄线宽技术的条件下, 大部分调谐波段参量光的输出线宽(半极大值全宽)约 1 nm, 图 5 为所测得的参量光谱线。若进一步提高温控精度, 还可进一步压缩输出线宽。

总结 对于实际宽波段可调谐参量光的应用, 采用这种无角度调整的温度调谐方式, 可避免端面的损耗, 同时也可以选择尽可能长的晶体以增加参量光增益, 降低阈值。在参量输出的基础上, 采用进一步的非线性光学频率变换技术, 可实现更宽波段的调谐激光输出。本文为实现可见至远红外波段的宽波段连续可调谐激光输出提供了一种实用的途径。

参 考 文 献

- [1] Kozlovsky W J *et al.*. Efficient monolithic MgO: LiNbO₃ single resonant optical parametric oscillator. *Opt. Lett.*, 1988, **13**(12): 1102~ 1104
- [2] Kozlovsky W J *et al.*. Monolithic MgO: LiNbO₃ doubly resonant optical parametric oscillator pumped by a frequency-doubled diode-laser pumped Nd: YAG laser. *Opt. Lett.*, 1989, **14**(1): 66~ 68
- [3] Gerstenberger D C *et al.*. Continuous wave operation of a doubly resonant lithium niobate optical parametric oscillator system tunable from 966 to 1185 nm. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1993, **10**(9): 1681~ 1683
- [4] 何慧娟, 陆雨田 等. 微微秒自动调谐参量激光的研究. *光学学报*, 1991, **11**(6): 525~ 530
- [5] 姚建铨. 非线性光学频率变换及激光调谐技术. 北京: 科学出版社, 1995. 55
- [6] 韦春龙, 范琦康等. 光参量振荡器线宽研究. *光学学报*, 1995, **15**(12): 1646~ 1650

Wide Range Temperature Tunable MgO: LiNbO₃ Optical Parametric Oscillator

Lu Wei Yu Yizhong Ding Xin Yao Jianquan

(College of Precision Instrument and Opto-Electronics Engineering, Optoelectronic Information Science and Technology Lab, Tianjin University, Tianjin 300072)

(Received 5 July 1999; revised 21 January 2000)

Abstract: A temperature tuned MgO: LiNbO₃ optical parametric oscillator (OPO) pumped by a Nd: YAG-SHG pulse laser with the wide tunable range of 800 nm~ 1750 nm is demonstrated. At the singly resonant forms, the oscillation threshold is 21.5 mJ, and the highest output energy is 6.45 mJ when pumped by the highest energy of 58 mJ. The OPO conversion efficiency of energy was 11%. Linewidth of the OPO signal light is near 1 nm.

Key words: MgO: LiNbO₃ crystal; temperature tunable; optical parametric oscillator; wide range