

文章编号: 0253-2239(2003)07-0793-3

周期极化 KTiOPO_4 晶体连续倍频绿光输出*

于 建 倪文俊 薛 挺 桑 梅 于云翔 李世忱

(天津大学精密仪器与光电子工程学院, 光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300072)

师瑞泽 胡永岚 黄朝恩

(中非人工晶体研究院, 北京 100018)

摘要: 采用外加电场极化方法, 在 Z 切 1 mm 厚的 KTiOPO_4 晶体中实现了周期性极化反转。晶体的极化反转周期为 9.0 μm , 相互作用长度为 3 mm。波长为 1.064 μm 的基频光功率为 900 mW, 晶体中心温度为 32 $^\circ\text{C}$ 时, 获得 0.532 μm 、22 μW 的倍频绿光输出, 二次谐波转换效率为 0.0024%。

关键词: 非线性光学; 二次谐波产生; 准相位匹配; 周期极化; KTiOPO_4 (KTP) 晶体

中图分类号: O437 文献标识码: A

1 引 言

将非线性晶体(如 LiNbO_3 、 LiTaO_3 、 KTiOPO_4 等)进行周期性极化反转, 制成准相位匹配(QPM)器件, 可以广泛用于倍频、光参变振荡、全光波长变换、产生太赫兹波等光学变频技术及全光开关、光脉冲压缩等方面, 而且可以根据不同的应用, 方便地设计出不同用途的器件, 具有体积小、效率高等优点, 近几年来受到国内外的广泛关注。准相位匹配技术以其独有的技术优势解决了常规角度相位匹配技术难以解决的问题, 拓宽了非线性晶体的应用范围。

近年来国内外有关周期极化 LiNbO_3 、 LiTaO_3 (简称 PPLN、PPLT) 及周期极化 KTiOPO_4 晶体(简称 PPKTP) 理论和应用研究报道颇多^[1~9]。由于 LiNbO_3 晶体具有较大的非线性系数, 国外制备周期极化 LiNbO_3 晶体技术已经很成熟, 且价格低廉, 国内准相位匹配技术的研究多采用 LiNbO_3 和 LiTaO_3 晶体, 我们关于周期极化铌酸锂的理论与应用研究已有多篇报道^[10~18]。但 LiNbO_3 晶体光损伤阈值低, 且极化反转电压高(矫顽场约为 21 kV/mm), 因此对极化反转电源要求高, 给反转厚度较大的晶体带来了困难。

KTP 晶体具有非线性系数大, 光损伤阈值高, 极化反转电压低(仅为 LiNbO_3 晶体的约十分之

一), 室温下光折变效应不明显等优点, 但价格较高。由于熔盐法生长 KTP 晶体的电导率比 LiNbO_3 晶体高 10 个数量级以上, 因此且极化反转工艺中需要对样品预先进行一定的处理, 降低其电导率, 以便容易实现极化反转。

本文采用北京中非人工晶体研究院提供的 KTP 晶体, 设计和研制了周期极化 KTP 晶体倍频器件, 并进行了光学倍频实验。连续 1.064 μm 的基频光功率为 900 mW 时, 在室温 32 $^\circ\text{C}$ 下, 周期极化 KTP 输出 22 μW 的波长为 0.532 μm 的倍频绿光。有关周期极化 KTP 的理论研究, 我们将另文报道。

2 器件制作

首先将 Z 切 KTP 晶体放在纯 RbNO_3 中, 在 350 $^\circ\text{C}$ 下进行离子交换 3 h, 使 KTP 表面的电导率降低, 以便容易实现 KTP 晶体的极化反转。铷离子交换后, 在其 +Z 面光刻、溅射 200 nm 厚的铝膜, 剥离后形成光栅电极; 在 -Z 面溅射 200 nm 厚的铝膜作为平面电极, 然后将样品浸入高压绝缘油中, 采用外加电场的方法, 施加高压脉冲进行极化反转。

利用我们设计制作的极化反转高压电源, 对样品施加了电压为 2.0 kV、电流为 4.2 mA、作用时间为 2 s 的脉冲进行极化反转。样品经抛光后的尺寸为 5 mm \times 3 mm \times 1 mm, 通光方向相互作用长度为 3 mm, 极化反转周期为 9.0 μm (相应基频光波长为 1.064 μm , 理论计算的中心温度为 32 $^\circ\text{C}$)。

* 教育部科学技术研究重点项目(02042)资助课题。

E-mail: yuj@tju.edu.cn

收稿日期: 2002-11-25

3 实验测试

实验装置如图 1 所示。周期极化 KTP 样品端面未镀增透膜,放置于半导体控温平台上,用波长为 $1.064\ \mu\text{m}$ 的连续 Nd:YAG 激光,经过格兰棱镜后,由 10 倍显微物镜聚焦到样品上,再由焦距为 40 mm 的透镜准直,用色散棱镜分光,用功率计探测接收。

当样品中心温度为 $32\ ^\circ\text{C}$ 、格兰棱镜后 $1.064\ \mu\text{m}$ 的入射基频光功率为 1.2 W 时,在功率计处测得倍

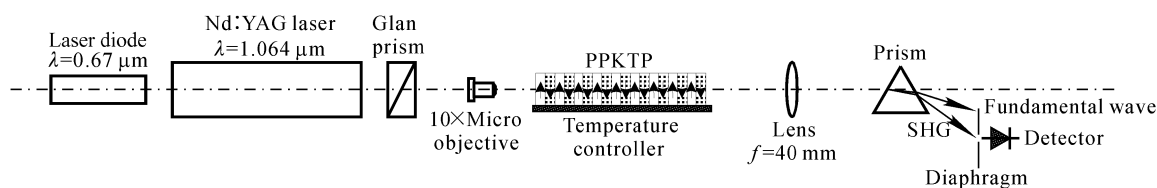


Fig. 1 The setup of the PPKTP SHG experiment

分析倍频效率低的原因有

1) 周期极化 KTP 的极化反转占空比非 1:1 理想状况,外加电场极化的电压、脉冲及温度等参量对于周期极化 KTP 不是最佳值,还需要进一步实验研究;

2) 光学倍频耦合系统的结构和参量不是最佳值,直接影响耦合效率;

3) 样品光刻质量不高,线条不规则;

4) 样品进行铷离子交换的条件尚需改进。

以上也是我们下一步需要研究和改进的工作。

由于 KTP 晶体数量有限,未能够进行腐蚀,观测极化反转情况。有关 KTP 晶体极化反转的进一步实验研究尚在进行中。

结论 采用外加电场极化方式,设计制作出极化反转周期为 $9.0\ \mu\text{m}$,相互作用长度为 3 mm 的周期极化 KTiOPO_4 晶体倍频器件,并进行了倍频实验测试。用波长为 $1.064\ \mu\text{m}$ 的连续 Nd:YAG 激光作为基频光,样品的中心温度为 $32\ ^\circ\text{C}$ 、基频光功率为 900 mW 时,获得 $22\ \mu\text{W}$ 的倍频绿光输出,二次谐波转换效率为 0.0024%,归一化转换效率为 $0.0089\%/(\text{W}\cdot\text{cm})$ 。

参 考 文 献

- 1 Fejer M M, Magel G A, Jundt D H *et al.*. Quasi-phase-matched second harmonic generation tuning and tolerances. *IEEE J Quant. Electron.*, 1992, **28**(11):2631~2655
- 2 Myers L E, Eckardt R C, Fejer M M *et al.*. Quasi-phase-matched optical parametric oscillators in bulk periodically

频绿光功率为 $15\ \mu\text{W}$ 。考虑到 10 倍显微物镜对波长 $1.064\ \mu\text{m}$ 的基频光透过率约 85%,周期极化 KTP 一个端面的反射损耗约 9%,聚焦透镜对 $0.532\ \mu\text{m}$ 波长的透过率约 90%,实际入射到周期极化 KTP 上的基频光功率应为 900 mW,输出的倍频绿光功率应为 $22\ \mu\text{W}$,算得此时的倍频转换效率为 0.0024%,归一化转换效率为 $0.0089\%/(\text{W}\cdot\text{cm})$ 。

poled LiNbO_3 . *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1995, **12**(11): 2102~2116

- 3 Chou M H, Brener I, Fejer M M *et al.*. 1.5- μm -band wavelength conversion based on cascaded second-order nonlinearity in LiNbO_3 waveguide. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**(6):653~655
- 4 Parameswaran K R, Fujimura M, Chou M H *et al.*. Low-power all-optical gate based on sum frequency mixing in APE waveguide in PPLN. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2000, **12**(6):654~656
- 5 Karlsson H, Laurell F. Electric field poling of flux grown KTiOPO_4 . *Appl. Phys. Lett.*, 1997, **71**(24):3474~3476
- 6 Pierron M, Laurell F, Karlsson H *et al.*. Generation of 740 mW of blue light by intracavity frequency doubling with a first-order quasi-phase-matched KTiOPO_4 crystal. *Opt. Lett.*, 1999, **24**(4):205~207
- 7 Eger D, Oron M B, Bruner A *et al.*. Doubling the frequency of depleted fundamental waves in periodically poled KTiOPO_4 . *Appl. Phys. Lett.*, 2000, **76**(4):406~408
- 8 Zhu Shining, Zhu Yongyuan, Wang Haifeng *et al.*. Second-order quasi-phase-matched blue light generation in a bulk periodically poled LiTaO_3 . *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 1995, **28**(11):2389~2392
- 9 Chen Yuping, Chen Xianfeng, Zeng Xianglong *et al.*. 18 mW CW green light generation by first-order quasi-phase-matched frequency doubling in bulk periodically poled LiNbO_3 . *Acta Optica Sinica (光学学报)*, 2002, **22**(4):399~401 (in Chinese)
- 10 Yu Jian, Ni Wenjun, Li Shichen *et al.*. Quasi-phase-matched frequency doubling blue light generation in LiNbO_3 . *Acta Optica Sinica (光学学报)*, 2000, **20**(3): 410~413 (in Chinese)
- 11 Yu Jian, Xue Ting, Yang Tianxin *et al.*. Fan-out grating quasi-phase-matched second harmonic generation in LiNbO_3 waveguide. *Acta Optica Sinica (光学学报)*, 2002, **22**(8):921~923 (in Chinese)

- 12 Yu Jian, Ni Wenjun, Xue Ting *et al.*. Periodically poled second harmonic green light generation in LiNbO₃. *J. Optoelectronics • Laser* (光电子 • 激光), 2002, **13**(4): 339~342 (in Chinese)
- 13 Xue Ting, Yu Jian, Yang Tianxin *et al.*. Numerical analysis and optimization of quasi-phase-matched second harmonic generation in LiNbO₃ waveguide. *Acta Physica Sinica* (物理学报), 2002, **51**(3):576~583 (in Chinese)
- 14 Xue Ting, Yu Jian, Yang Tianxin *et al.*. Theoretical analysis of 1.5 μm band all-optical wavelength converters based on cascaded second-order nonlinearity in LiNbO₃ waveguide. *Acta Physica Sinica* (物理学报), 2002, **51**(1):91~98 (in Chinese)
- 15 Xue Ting, Yu Jian, Yang Tianxin *et al.*. Analysis of all-optical switching in periodically poled LiNbO₃ waveguide. *Acta Physica Sinica* (物理学报), 2002, **51**(7):1521~1529 (in Chinese)
- 16 Xue Ting, Yu Jian, Yang Tianxin *et al.*. Tunability and tolerance of optical parametric oscillator in periodically poled lithium niobate. *Acta Physica Sinica* (物理学报), 2002, **51**(11):2528~2535 (in Chinese)
- 17 Li Shichen, Xue Ting, Yu Jian *et al.*. A novel electrooptical switching in PPLN waveguide. *Acta Physica Sinica* (物理学报), 2002, **51**(9):2018~2021 (in Chinese)
- 18 Sang Mei, Xue Ting, Yu Jian *et al.*. Temperature dependence of the second harmonic generation in periodically poled LiNbO₃ crystal. *J. Optoelectronics • Laser* (光电子 • 激光), 2002, **13**(4): 343~348 (in Chinese)

Frequency Doubled CW Green Light Generation in Periodically Poled KTiOPO₄ Crystal

Yu Jian Ni Wenjun Xue Ting Sang Mei Yu Yunxiang Li Shichen

(College of Precision Instrument and Optoelectronics Engineering, Laboratory of Optoelectronics Information Technical Science, Education Ministry of China, Tianjin University, Tianjin 300072)

Shi Ruize Hu Yonglan Huang Chaoen

(Research Academy of Synthetic Crystal, Beijing 100018)

(Received 25 November 2002)

Abstract: The electric field poling was used to achieve the periodic poling Z-cut 1 mm KTiOPO₄ crystal (PPKTP). The grating period inverted was 9.0 μm and the interaction length was 3 mm in the crystal. By using a CW Nd:YAG laser as a fundamental wave at 1.064 μm, input power in PPKTP of 900 mW, 22 μW green SHG at 0.532 μm was obtained at 32 °C. The conversion efficiency of SHG was 0.0024%.

Key words: nonlinear optics; second harmonic generation (SHG); quasi-phase-matching; periodic poing; KTiOPO₄(KTP) crystal