

准相位匹配周期极化掺镁铌酸锂 490 nm 倍频连续输出*

陈云琳¹ 郭 娟¹ 刘晓娟¹ 吴朝晖² 宋 峰² 罗勇锋²
张万林² 孔勇发¹ 许京军¹

(1 南开大学物理学院光电材料研发中心, 天津 300071)

(2 南开大学物理学院光子学中心, 天津 300071)

摘 要 在室温下通过外加电场极化法, 首次用较低的极化开关电场 ~ 5.5 kV/mm, 在厚为 1 mm、长为 20 mm、宽为 18 mm 的掺镁铌酸锂基片上成功的制备了周期为 $4.8 \sim 5.2$ μm 的一阶准相位匹配倍频光学微结构; 并在室温下, 以波长为 980 nm 的半导体激光器为基频光源, 对所研制的微结构样品进行倍频通光实验, 在入射基频光为 800 mW 时, 产生约 40 mW 的 490 nm 的倍频光, 其对应转换效率为 5%, 实验过程中未见绿致吸收光折变现象。

关键词 周期极化掺镁铌酸锂光学微结构; 准相位匹配; 倍频

中图分类号 O437 TN252 **文献标识码** A

0 引言

1962 年, Armstrong 等人^[1] 首次提出了利用非线性极化率在一维空间上周期性调制实现相位匹配的方法, 即准相位匹配技术 (QPM)。经过近四十年年的发展, 目前已在 LiNbO_3 ^[2]、 LiTaO_3 ^[3] 及 KTP ^[4] 等多种材料中实现了周期极化光学微结构, 利用周期极化光学微结构晶体进行准相位匹配 (QPM), 是近几年发展很快的在变频技术中采用的新技术, 如倍频^[5]、光参量振荡^[6]、差频与和频^[7] 等。

研究表明, 提高铌酸锂晶体中 $[\text{Li}]/[\text{Nb}]$ 克分子比, 能极大地降低其铁电畴极化反转电场^[8,9], 但是抗光损伤性能低于同成分铌酸锂晶体^[10]。铌酸锂晶体中掺入 ≥ 5 mol% 的 MgO 可以增大材料的抗光损伤能力甚至消除抗光损伤, 且发现, 在铌酸锂晶体中掺入 6.5 mol% 的 MgO 能极大的降低铁电畴极化反转电场。

本文报道了运用外加电场极化法在厚为 1 mm 的 Z 切掺 6.5 mol.% 镁的铌酸锂上制备周期极化光学微结构, 并在室温下以 980 nm 的半导体激光器为基频光源, 对所研制的掺镁铌酸锂光学微结构进行倍频输出实验研究, 获得 40 mW 的倍频蓝光输出。

1 周期极化掺镁铌酸锂光学微结构的制备

实验中用外加电场极化法, 在长为 20 mm、宽为

18 mm、厚为 1 mm 的已单畴化, 且经过光学抛光的 Z 切掺 6.5 mol.% 镁的铌酸锂基片上制作周期为 $4.8 \sim 5.2$ μm 的周期极化掺镁铌酸锂光学微结构。其制备周期极化铌酸锂光学微结构的工艺过程详见文献[11,12]。实验中极化开关电场为 ~ 5.5 kV/mm, 是极化本征铌酸锂晶体所需极化开关电场的四分之一, 脉冲宽度为 150 ms。极化完成后将基片样品处理清洗, 为了检验周期极化光学微结构的均匀性和实现极化反转的深度, 将样品沿 X 方向切抛, 然后放入到 1:2 的氢氟酸和硝酸混合液中腐蚀。图 1 为样品 + Z 面的周期极化微结构, 图 2 是样品 X 向横

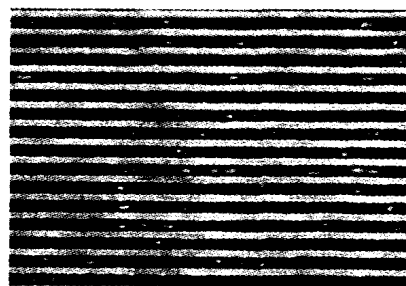


图 1 周期为 5.1 μm 掺镁铌酸锂 + Z 面的周期极化光学微结构

Fig. 1 + Z periodically poling optical micro-structure of the $\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$ with a period of 5.1 μm

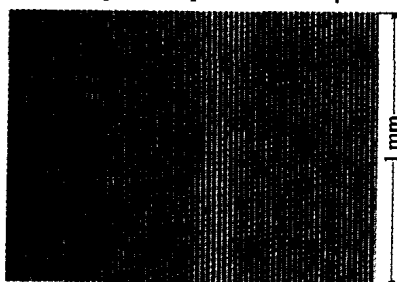


图 2 沿 X 向切割的横向周期极化微结构

Fig. 2 Cross-sectional structure of periodically poling optical micro-structure

*国家自然科学基金(编号:10174040)、天津市重点自然科学基金(033800111)和天津市国际合作项目资助课题
Tel:022-66229464 Email:ylchen@nankai.edu.cn
收稿日期:2003-11-03

截面结构. 从图 1 和图 2 可以清晰地看到极化结构均匀性比较好, 且极化反转几乎贯穿整个基片样品的厚度. 这种周期极化光学微结构是准相位匹配非线性光耦合所要求的最佳结构.

2 倍频实验

对所研制的周期为 $4.8 \sim 5.2 \mu\text{m}$ 的掺镁铌酸锂光学微结构基片的通光端面进行光学抛光, 但未镀增透膜, 然后在室温下, 对此微结构样品进行一阶准相位匹配倍频实验, 其实验装置如图 3 所示. 所用基频光源是通过光纤耦合输出的波长为 980 nm , 最大功率为 1 W 的半导体激光器. 在半导体激光器前插入一半波片, 使 980 nm 偏振方向沿样品的 Z 轴. 基频光经一焦距为 120 mm 的透镜松散聚焦通过样品, 在周期极化微结构中基波光斑直径约为 $120 \mu\text{m}$, 可观测到输出的倍频蓝绿光, 为了测量倍频转换效率, 我们使用了一分束片, 在分束片后测量基频光通过微结构样品后的二次谐波光强度.

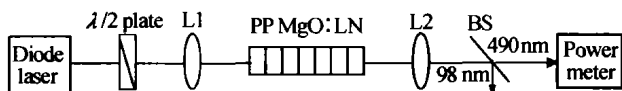


图 3 PP MgO:LiNbO₃ 连续倍频实验装置

Fig. 3 Setup for SHG experiment with a 980 nm diode laser pump in PP MgO:LiNbO

在室温下, 逐渐增加基频光功率, 当基频光功率为 100 mW 时, 出现倍频光, 继续增大输入基频光功率, 倍频光强度逐渐增强, 在改变输入基频光功率时, 分别对应测量从光学微结构掺镁铌酸锂晶体端面输出的倍频光和基频光, 图 4 是倍频光功率随基频光波输入功率的变化曲线. 其纵坐标为在一定输入基频光功率下得到的最大倍频光功率. 整个实验过程中未见绿致吸收光折变现象. 在输入基频光功率保持不变的情况下, 通过微调二维样品台, 使基频光入射到样品的不同周期, 图 5 是倍频光功率随光学微结构周期变化的曲线, 微结构周期的变化量对应着相位匹配带宽.

在实验过程中, 我们针对同一周期测量了微结

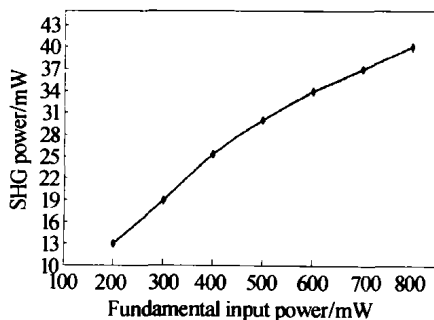


图 4 倍频光功率与基频光功率的关系

Fig. 4 Measured SHG power plotted against the fundamental power

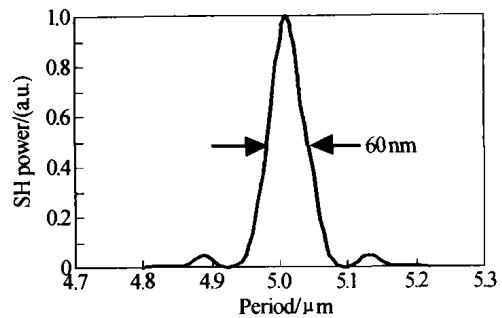


图 5 倍频光功率与微结构周期变化的曲线

Fig. 5 SH power as a function of the PP MgO:LN period

构样品端面不同位置的倍频效应, 发现在不同位置, 效率不同, 说明在 Y 向微结构周期的占空比不完全一致, 另外, 端面加工的质量不十分理想, 而且也未镀增透膜, 这些将影响到倍频转换效率, 这些影响因素将是今后周期极化光学微结构制作过程中有待进一步解决的问题.

3 结论

在室温下通过外加电场极化法, 首次用较低的极化开关电场 $\sim 5.5 \text{ kV/mm}$, 在厚为 1 mm 、长为 20 mm 、宽为 18 mm 的掺镁铌酸锂基片上成功的制备了周期为 $4.8 \sim 5.2 \mu\text{m}$ 的一阶准相位匹配倍频光学微结构; 并在室温下, 以波长为 980 nm 的半导体激光器为基频光源, 对所研制的微结构样品进行倍频通光实验, 在入射基频光为 800 mW 时, 产生约 40 mW 的 490 nm 的倍频光, 其对应转换效率为 5% , 实验过程中未见绿致吸收光折变现象; 实验结果表明, 只要进一步完善现有制备光学微结构的工艺条件, 可以用较低的外加极化电场制作出通光孔径较大的周期极化掺镁铌酸锂光学微结构, 由于掺镁铌酸锂晶体具有强的抗光折变性能, 因此周期极化掺镁铌酸锂光学微结构晶体的成功研制将进一步开拓光学微结构材料的运用领域.

参考文献

- 1 Armstrong J A, Bloembergen B, Ducuing J, *et al.* Interactions between light waves in a nonlinear dielectric. *J Phys Rev*, 1962, **127**(6): 1918 ~ 1939
- 2 陈云琳, 倪文俊, 李世忱. 外加电场极化制备 LiNbO₃ 铁电畴反转光栅. *中国激光*, 1999, **A26**(10): 889 ~ 892
Chen Y L, Ni W J, Li S C, *et al.* *Chinese J Lasers*, 1999, **A26**(10): 889 ~ 892
- 3 Kitaoka Y, Mizuuchi K, Yamamoto K, *et al.* Intracavity second-harmonic generation with a periodically domain-inverted LiTaO₃ device. *Opt Lett*, 1996, **21**(24): 1972 ~ 1974
- 4 Garashi A, Arie A, Skliar A, *et al.* Continuous-wave optical parametric oscillator based on periodically poled KTiOPO₄. *J Opt Lett*, 1998, **23**(22): 1739 ~ 1741
- 5 Ross G W, Pollnau M, Smith P G R, *et al.* Generation of high-power blue light in periodically poled LiNbO₃. *J Opt*

- Lett, 1998, **23**(3):171 ~ 173
- 6 Myers L E, Eckardt R C, Fejer M M, *et al.* Quasi-phase-matched optical parametric oscillators in bulk periodically poled LiNbO₃. *J Opt Soc Am B*, 1995, **12**(11):2102 ~ 2115
 - 7 Chou M H, Hauden J, Aarbore M, *et al.* 1.5 μm-band wavelength conversion based on difference-frequency generation in waveguides with integrated coupling structures. *Opt Lett*, 1998, **23**(13):104 ~ 1006
 - 8 Chen Yunlin, Xu Jingjun, Kong Yongfa. Effect of Li diffusion on the domain inversion of LiNbO₃ prepared by vapor transport equilibration. *Appl Phys Lett*, 2002, **81**(4):700 ~ 712
 - 9 Chen Yunlin, Xu Jingjun, Zhang Guangyin. Domain-inversion characteristics of congruent and stoichiometric LiNbO₃ crystals. *Chinese Journal of Lasers*, 2001, **B10**(2):4 ~ 7
 - 10 Niwa K, Furukawa Y, Takekawa S, *et al.* Growth and characterization of MgO doped near stoichiometric LiNbO₃ crystals as a new nonlinear optical material. *J Cryst Growth*, 2000, **208**:493 ~ 500
 - 11 Chen Yunlin, Xu Jingjun, Kong Yongfa, *et al.* Domain reversal process of near stoichiometric LiNbO₃ crystals. *Optics Communication*, 2001, **188**:359 ~ 361
 - 12 Chen Yunlin, Xu Jingjun, Song Feng. Study on technology of periodic poling bulk LiNbO₃ by applying external field. *Acta Optica Sinica*, 2001, **21**(5):618 ~ 620

Continuous-wave Quasi-phase-matched Second Harmonic Generation at 490 nm in Periodically Poled MgO:LiNbO₃

Chen Yunlin¹, Guo Juan¹, Liu Xiaojuan¹, Wu Zhaohui², Song Feng², Luo Yongfeng²,
Zhang Wanlin², Kong Yongfa¹, Xu Jingjun¹

¹ Photo-electronic Materials Center, Institute of Physics Science, Nankai University, Tianjin 300071

² Photonics Center, Institute of Physics Science, Nankai University, Tianjin 300071

Received date:2003-11-03

Abstract A first order quasi-phase-matched periodically poled micro-structure MgO:LiNbO₃ for SHG with 4.8 ~ 5.2 μm period, 20 mm length, 18 mm width and 1 mm thickness has been successfully fabricated by applying an external field at room temperature. Because the switching field of MgO:LiNbO₃ is ~ 5.5 kV/mm, which is approximately one fourth that of the conventional congruent field, periodic poling of thicker MgO:LiNbO₃ substrates was successfully performed by means of an electric field poling process at room temperature. Using the sample to double the frequency of a diode laser at 980 nm was studied. About 40 mW of CW 490 nm blue light was obtained pumped by 800 mW of the fundamental power, which corresponds to 5% power conversion efficiency. No obvious optical damage has been observed.

Keywords Periodically poled micro-structure MgO:LiNbO₃; Quasi-phase-matched; Double frequency

Chen Yunlin was born in 1965, in Beijing China. She received the Ph. D. degree in Physical electronics from Tianjin University in 1999. Now she is an associate professor in Nankai University. Her research focuses on optoelectronic materials, optoelectronic devices and nonlinear optics.