

文章编号 : 0253-2239(2002)08-0921-03

准相位匹配扇形光栅铌酸锂光波导倍频绿光输出^{*}

于 建¹⁾ 薛 挺¹⁾ 杨天新¹⁾ 耿 凡²⁾ 纪 磊¹⁾ 李世忱¹⁾

(1), 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)
(2), 津航技术物理研究所, 天津 300192

摘要 : 采用外加电场极化方式对具有扇形光栅的 0.5 mm 厚 Z 切铌酸锂晶体进行极化反转, 制成了退火质子交换光波导。极化反转周期为 5.8 μm ~ 6.2 μm , 采用 Nd:YAG 激光器输出的 1.064 μm 连续激光为基频光波, 实现了 0.532 μm 倍频绿光输出, 相互作用长度为 4 mm, 耦入波导的基频光波功率为 10 mW, 获得了 20 μW 的绿色倍频光输出, 归一化转换效率为 125%/(W·cm²)。

关键词 : 铌酸锂 ; 光波导 ; 准相位匹配 ; 倍频 ; 扇形光栅 ; 周期性极化铌酸锂 (PPLN)

中图分类号 : TN252 文献标识码 : A

1 引 言

光波导结构能把光能量约束在截面积非常小的波导区域内, 有效地提高光功率密度。利用周期性极化反转的铌酸锂光波导倍频可以利用铌酸锂晶体的最大非线性系数 d_{33} , 获得更高的倍频效率, 并且具有易与光纤耦合等优点。利用近红外固体激光器和半导体激光器作为倍频器件具有结构紧凑、稳定性高等优点, 是实现高效、紧凑、全固化的短波长激光器的有效途径, 因此倍受关注^[1~7]。由于退火质子交换 (APE) 光波导制作过程中交换温度、交换时间以及退火温度、退火时间具有不确定性, 因此无法在实验前确定畴反转光栅的精确取值。对此 Kintaka 等人^[1]采用扇形光栅方案, 使极化反转周期在一定范围内连续变化, 光波导以一定间距相邻, 以选择处于不同位置上的光波导, 确定适合于基频光的相应的极化反转光栅周期, 达到调谐的目的。

本文研究制作了具有扇形光栅周期的准相位匹配铌酸锂光波导的倍频器件, 并用 Nd:YAG 激光器连续输出的 1.064 μm 激光作为基频光, 进行了光学倍频实验, 分析了实验结果。

2 倍频器件的制作

在铌酸锂晶体上制作极化反转光栅, 然后制作

退火质子交换光波导, 最后将样品置于半导体制冷比例积分微分控温装置的平台上进行倍频测试。

1) 极化反转光栅周期的设计制作

先在 0.5 mm 厚的 Z 切铌酸锂晶体 + Z 面光刻、溅射铝膜制作扇形光栅电极, 厚度为 200 nm, 经计算, 光栅周期选为 5.8 μm ~ 6.2 μm ; 在 -Z 面溅射厚度为 200 nm 的铝膜作为平面电极; 然后将晶体浸入高压绝缘油中, 施加高压电脉冲进行极化反转。我们采用的脉冲宽度为 50 ms, 总共作用时间为 1.3 s, 极化电流为 100 μA , 外加电场极化反转装置请参考文献 [8, 9]。极化后用磷酸去除晶体表面上的铝电极光栅。

2) 退火质子交换光波导的设计制作

对于退火质子交换光波导而言, 要求能够同时约束基频导模与倍频导模光。由于基频光波长是倍频光波长的 2 倍, 若光波导对于基频光是理想的单模光波导, 且远离截止, 则对倍频光而言是多模光波导, 导致倍频光与基频光的重叠积分减小, 从而降低倍频效率; 若对倍频光是单模光波导, 则耦入的基频光波将会很小, 甚至导致基频导模光截止。而倍频的转换效率与耦入光波导的基频光功率成线性关系, 因此必须综合考虑模板开口宽度与退火时间等光波导制作参量, 以达到最大的倍频效率, 详细理论分析我们已有报道^[10]。

为了获得最佳倍频效率, 制作了掩模板开口宽度分别为 2.5 μm 、3.0 μm 、3.5 μm 为一组的退火质子交换光波导, 多组光波导以一定间距相邻。不同宽度光波导之间的间隔为 60 μm , 周期相差 6 nm; 相

* 天津市重点自然科学基金 (99380071) 与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 2001-09-24

同宽度的光波导间隔为 $180 \mu\text{m}$, 周期相差 18 nm 。采用苯甲酸作为质子交换源, 交换温度 $210 \text{ }^\circ\text{C}$, 交换时间 35 min , 退火温度 $350 \text{ }^\circ\text{C}$, 退火时间 5 h 。波导通光方向长度为 8 mm , 其中有效的相互作用长度为 4 mm 。铌酸锂 + Z 面的极化反转光栅周期与制作的光波导在 $16\times$ 目镜、 $40\times$ 物镜的显微镜下观察的情况如图 1 和图 2 所示, 图 2 中竖条为畴反转光栅周期, 横条为光波导。

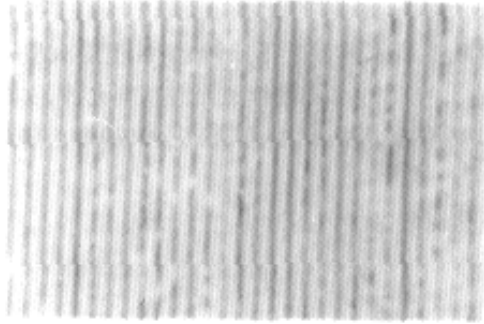


Fig. 1 Photo of the periodically poled laminar domain structure in the 0.5 mm thick lithium niobate substrate fabricated by applying the multiple pulses with an additional electric field. The grating period ranges from $5.8 \mu\text{m} \sim 6.8 \mu\text{m}$, view of former + Z face etched in hydrofluoric acid. Dark bands are domain reversed

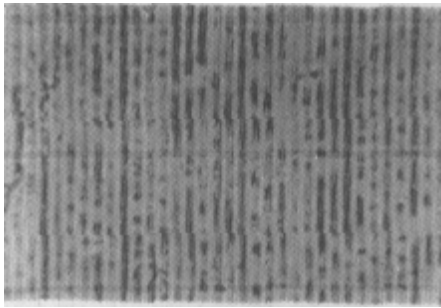


Fig. 2 Photo of APE waveguide

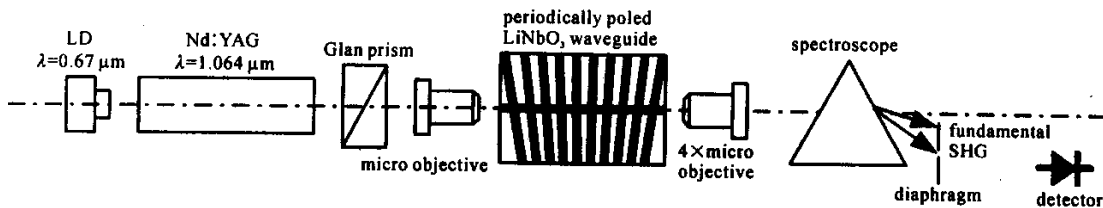


Fig. 3 Setup for SHG experiment of PPLN waveguide with fan grating

结论 采用扇形极化反转周期光栅在铌酸锂退火质子交换光波导中实现了 $0.532 \mu\text{m}$ 倍频绿光输出。相互作用长度为 4 mm , 耦入波导的基频光波功率为 10 mW 时, 得到了 $20 \mu\text{W}$ 的绿色倍频光输出, 归一化转换效率为 $125\% (\text{W} \cdot \text{cm}^2)$ 。

3 实验与测试

光学实验测试装置如图 3 所示。

铌酸锂样品两端面抛光后, 放置在由半导体制冷块控温的平台上(图中未画出)。由连续 Nd:YAG 激光器发射的 $1.064 \mu\text{m}$ 激光束经过格兰棱镜起偏, 经显微物镜聚焦到样品上, 使入射到光波导的光波模式为 TM 模, 出射端用一个 $4\times$ 显微物镜成像, 由色散棱镜分光, 加小孔光阑以滤除背景光。用以色列制造的 OPHIR 光功率计探测接收。为了比较不同聚焦显微物镜的耦合情况, 实验中分别采用 $25\times$ 、 $40\times$ 、 $63\times$ 的显微物镜, 其中 $63\times$ 物镜倍频效率最高。

当控制温度为 $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 、耦合进入光波导中的 $1.064 \mu\text{m}$ 基频光功率为 10 mW 时, 观察到 $3.0 \mu\text{m}$ 宽的波导中连续输出 $0.532 \mu\text{m}$ 绿色导模光波功率最大, 相应的光栅周期为 $6.176 \mu\text{m}$, 测得此时输出的倍频绿光功率为 $20 \mu\text{W}$, 归一化转换效率为 $125\% (\text{W} \cdot \text{cm}^2)$ 。

由于极化反转的过程主要分为如下 4 个阶段: 1) 畴成核; 2) 畴的纵向长大; 3) 畴的横向扩张; 4) 畴的合并等, 因此输出倍频光功率不高的原因可能在于:

1) 光刻溅射制作极化反转光栅周期时, 制作的铝电极宽度比所设计的 $1/3$ 周期要宽, 由于在极化时畴会纵向长大, 因此线条制作精度的误差导致了极化反转区域的占比为非 $1:1$ 的理想情况。

2) 为操作方便, 样品的光波导与 $1.55 \mu\text{m}$ 光波导同时交换与退火, 采用的是 $1.55 \mu\text{m}$ 波导的制作参量, 导致基频光波与倍频光波的重叠积分值不高。

参 考 文 献

- [1] Kintaka K, Fujimura M, Suhara T *et al.*. High-efficiency LiNbO_3 waveguide second harmonic generation devices with ferroelectric-domain inverted gratings fabricated by applying voltage. *J. Lightwave Technol.*, 1996, **14**(3): 462 ~ 468

- [2] Yamada M , Nada N , Saitoh M *et al.*. First-order quasi-phase matched LiNbO₃ waveguide periodically poled by applying an external field for efficient blue second-harmonic generation. *Appl. Phys. Lett.* , 1993 , **62**(5) : 435 ~ 436
- [3] Batchko R G , Shur V Y , Fejer M M. Backswitch poling in lithium niobate for high-fidelity domain patterning and efficient blue light generation. *Appl. Phys. Lett.* , 1999 , **75**(12) : 1673 ~ 1675
- [4] Fujimura M , Suhara T , Nishihara H. Ferroelectric-domain inversion induced by SiO₂ cladding for LiNbO₃ waveguide SHG. *Electron. Lett.* , 1991 , **27**(13) : 1207 ~ 1209
- [5] Sonoda S , Tsuruma I , Hatori M. Second harmonic generation in a domain-inverted MgO-doped LiNbO₃ waveguide by using a polarization axis inclined substrate. *Appl. Phys. Lett.* , 1997 , **71**(21) : 3048 ~ 3050
- [6] Ishigame Y , Suhara T , Nishihara H. LiNbO₃ waveguide second-harmonic-generation device phase matched with a fan-out domain-inverted grating. *Opt. Lett.* , 1991 , **16**(6) : 375 ~ 377
- [7] Mizuuchi K , Yamamoto K , Kato M , Harmonic blue light generation in X-cut MgO : LiNbO₃ waveguide. *Electron. Lett.* , 1997 , **33**(9) : 806 ~ 807
- [8] 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)
- [9] Yu Jian , Ni Wenjun , Li Shichen *et al.*. Quasi-phase-matched frequency doubling blue light generation in LiNbO₃. *Acta Optica Sinica* (光学学报) , 2000 , **20**(3) : 410 ~ 413 (in Chinese)
- [10] 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) : 656 ~ 672 (in Chinese)

Fan-out Grating Quasi-Phase-Matched Second Harmonic Generation in LiNbO₃ Waveguide

Yu Jian¹⁾ Xue Ting¹⁾ Yang Tianxin¹⁾ Geng Fan²⁾ Ji Lei¹⁾ Li Shichen¹⁾

(1) , College of Precision Instrument and Optoelectronics Engineering , Laboratory of Optoelectronics Information Technical Science , Education Ministry of China , Tianjin University , Tianjin 300072
 (2) , Jinhang Institute of Technical Physics , Tianjin 300192

(Received 24 September 2001)

Abstract : The quasi-phase-matched second harmonic generation in periodically poled lithium niobate (PPLN) Z cut 0.5 mm thick annealed proton exchanged (APE) waveguide with fan grating was realized by applying an external field poling. The grating period ranges inverted from 5.8 μm ~ 6.2 μm and the interaction length was 4 mm. Used a CW Nd : YAG laser as a fundamental beam source at 1.064 μm , input power in waveguide was 10 mW. The green SHG of 20 μW at 0.532 μm was achieved at 125% ($\text{W} \cdot \text{cm}^2$) normalized conversion efficiency in PPLN waveguide.

Key words : LiNbO₃ ; optical waveguide ; quasi-phase-matched ; second harmonic generation ; fan-out grating ; periodically poled lithium niobate (PPLN)