

文章编号: 0258-7025(2001)04-0307-03

周期极化 LiTaO₃ 的准连续倍频^{*}

梁晓燕 侯 玮 汪家升 许祖彦

(中国科学院物理研究所 北京 100080)

刘 辉 祝世宁

(南京大学物理系 南京 210093)

提要 利用高压脉冲周期极化的 LiTaO₃(PPLT)对半导体激光抽运 Nd:YVO₄晶体 1064 nm 准连续输出进行倍频,讨论了其倍频转换效率及倍频过程中的温度调谐特性,实验结果与理论吻合很好。在基频光输出为 193 mW 时,其外腔单通倍频转换效率达到 13.5%。

关键词 PPLT, 准相位匹配, 倍频

中图分类号 O 437.1 **文献标识码** A

Quasi-cw Frequency Doubling in Bulk Periodically Poled LiTaO₃

LIANG Xiao-yan HOU Wei WANG Jia-sheng XU Zu-yan

(*Institute of Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)

LIU Hui ZHU Shi-nin

(*Department of Physics, Nanjing University, Nanjing 210093*)

Abstract Using a uncoated bulk periodically poled LiTaO₃ with the period of 7.81 μm to double the frequency of a diode-pump Q-switched Nd:YVO₄ laser is studied. The laser is with a 60 ns pulse duration, 10 kHz repetition rate. Internal conversion efficiency is 13.5% when pump power is 193 mW. The second-harmonic power as the function of crystal temperature is also measured, which is agreement very well with the theory. The phase matching temperature is 36.1°C.

Key words PPLT, QPM, double frequency

1 引 言

近年来,准相位匹配(QPM)二阶非线性光学过程的研究发展非常迅速,这主要是由于其有两个优点,其一,可以不受晶体双折射效应的限制选择相互作用光波的偏振方向,从而选择非线性介质的最大倍频系数,如 LiNbO₃, LiTaO₃ 及 KTP 中的 d_{33} ,它在临界和非临界相位匹配中通常是得不到有效利用的,而其值比常用的相位匹配的倍频系数大一个数量级。其二,它使某些有大的倍频系数,但不可能通过双折射效应实现相位匹配的介质得到充分利用,如 LiTaO₃。同时,由于周期结构可以人为地根据晶体的折射率色散和需要的频率转换过程加以设计,而无特殊的温度和角度要求,所以它可以将匹配的范围覆盖到介质的整个透明波段。因此,采用准位

相匹配的 PPLN, PPLT 及 PPKTP 等可以实现脉冲、准连续及连续的非线性频率变换过程^[1,2],而且,除周期结构的 QPM 研究外,目前准周期及非周期结构的 QPM 过程已经可以实现 THG 过程^[3]、多波长倍频^[4]及脉宽压缩^[5]等。与 LiNbO₃ 相比, LiTaO₃ 的 d_{33} 要略小一些,但其损伤阈值要高于 LiNbO₃,透光范围也大于 LiNbO₃^[6],因此具有广阔的应用前景。本文采用由高压脉冲极化实现畴反转的周期为 7.81 μm 的 PPLT,对全固态 1064 nm 准连续输出进行倍频,并讨论了其温度调谐特性和倍频效率,得到了较为满意的结果。

2 原 理

所谓准位相匹配就是通过晶体非线性极化率的周期性调制,补偿三波耦合过程中由于折射率色散造成的基波与谐波之间的波矢失配,以获得非线性光学效应的增强。目前主要采用外加高压电场的方

^{*} 国家自然科学基金(编号 69938010)重点资助项目。

收稿日期:1999-12-06;收到修改稿日期:2000-04-19

法,使晶体的自发极化方向发生周期性改变,实现准位相匹配。对 PPLN, PPLT, PKTP 等,由于其 d_{33} 最大,所以,介质通常沿 z 轴方向周期极化,相互作用光波的偏振方向也均沿 z 轴。周期极化介质的结构示意图如图 1, Λ 为极化周期。

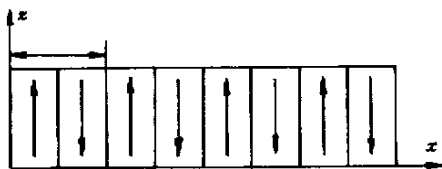


图 1 周期极化介质结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of nonlinear medium with a periodically poled structure

设倍频过程满足: $\omega_2 = 2\omega_1$, 其中 ω_1, ω_2 分别为基波和谐波的角频率, 则其波失匹配量为

$$\Delta K = 2\pi \left(\frac{n_2}{\lambda_2} - \frac{2n_1}{\lambda_1} \right)$$

其中 $n_2 = n_e(\lambda_2), n_1 = n_e(\lambda_1), \lambda_1, \lambda_2$ 分别为基波和谐波波长。当介质极化周期: $\Lambda = 2m\pi/\Delta K$ 时, 满足准相位匹配条件, 则有效倍频系数为: $d_{\text{eff}} =$

$2d_{33}/m\pi, m$ 为阶数, 取整奇数。可见, 随着阶数上升, 倍频系数成倍下降, 所以在 PPLT 制作中常取一阶准位相匹配。对 LiTaO_3 而言, $d_{33} = 13.8 \text{ pm/V}$, 由此得: $d_{\text{eff}} \approx 9 \text{ pm/V}$ 。由 LiTaO_3 的色散方程^[6]可求得, 在室温(25℃)下 1064 nm 倍频的周期为 7.83 μm 。其谐波输出强度随温度的变化曲线为^[7]

$$P_{2\omega}(T) \propto \left[\text{sinc} \left(\frac{1}{2} \Delta k L \right) \right]^2$$

$$\Delta k = \Delta K(T) - \frac{2\pi}{\Lambda}$$

其中 Δk 为由于温度变化导致的 PPLT 相位失配量, L 为介质长度。

3 实验装置和结果

利用光刻技术在厚度为 0.5 mm, 单畴化的 LiTaO_3 基片 + c 表面镀约 200 nm 厚的周期铝栅格电极, 在 -c 表面镀同样厚的铝膜, 将样品泡在绝缘油中, 两端加约 10 kV 的脉冲电压进行高压极化^[8], 然后在 HF 中进行腐蚀, 即可以在偏光显微镜下看到极化后的周期图案, 反转畴的占空比约为 50%。

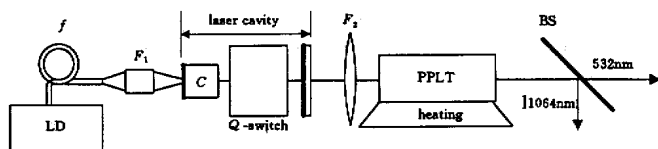


图 2 PPLT 准连续倍频实验装置

f : 光纤; F_1 : 耦合系统; C : Nd:YVO_4 晶体; F_2 : 聚焦透镜; BS : 分束片

Fig. 2 Experimental configuration of quasi-cw SHG in PPLT

f : fiber; F_1 : coupling system; C : Nd:YVO_4 crystal; F_2 : focusing lens; BS : beam splitter

PPLT 准连续倍频的实验装置如图 2, 半导体激光器 (LD) 单端抽运 Nd:YVO_4 晶体, 1064 nm 声光调 Q 输出, 重复频率 10 kHz, 脉宽 60 ns。考虑到 Nd:YVO_4 晶体的热透镜效应, 我们采用平平腔结构, 腔长约 80 mm, 使其稳定运转, 工作模式为单横模。调整晶体方位, 使 1064 nm 偏振方向沿 PPLT 的 z 轴。输出光束经一焦距为 30 mm 的透镜聚焦后, 在 PPLT 中基波光斑直径约 100 μm 。我们制作的 PPLT 通光方向(沿晶体 x 轴)长 15 mm, 宽(沿晶体 y 轴) 9 mm, 厚(沿晶体 z 轴) 0.5 mm, 考虑到室温以下 PPLT 的控温较为复杂, 畴周期取 7.81 μm , 理论上对应 1064 nm 倍频最佳匹配温度 36.2℃。晶体两端抛光, 没有镀

膜, 装在一由恒流源控制的半导体加热元件上, 晶体温度的测量精度为 $\pm 0.05^\circ\text{C}$ 。在分束片后测量基波光单次通过晶体后的谐波光强度。

在抽运光强度保持不变的情况下, 连续改变晶体温度, 用微瓦功率计(型号: NOVA, 27919) 测量谐波强度随介质温度变化的调谐曲线, 见图 3, 其中实线是理论值, 虚线是实验值, 可以看出二者吻合得很好, 其最佳匹配温度为 36.1℃, 温度带宽 3.6℃, 它与晶体长度成反比, 与文献^[7]的结果基本一致。

图 4 是谐波输出平均功率随基波输入功率的变化曲线。倍频光功率是在对晶体温度作微调后测得的最佳值。考虑到晶体表面没有镀膜, 图中功率都

是折合到晶体内的平均值。当平均输入功率为 256 mW 时, 获得谐波最高输出 32.5 mW。在输入平均功率为 193 mW 的条件下, 其转换效率最高, 为 13.5%。同时, 实验中发现当基频光功率大于 250 mW 时, 在匹配温度附近, 倍频光输出功率不太稳定, 远离匹配温度, 或输入功率低于该值时, 上述现象消失。这主要由于功率密度上升引起 PPLT 晶体

的光折变效应所致, 在 PPLN 连续倍频过程中也有类似现象^[2]。升高晶体的工作温度可有效地抑制光折变效应。

4 讨 论

实验过程中, 我们还测量了 PPLT 横向不同位置的倍频效应, 发现在不同位置, 效率不同, 说明在 y 方向介质周期的占空比不完全一致, 这在 PPLT 的制作过程中是不可避免的。其次, 由于在高功率下, 基频光脉冲波形变差, 使 PPLT 的倍频转换效率没有达到应有值。同时, 上述晶体端面抛光度不够(手抛), 也是影响倍频效率的一个因素。

参 考 文 献

- 1 L. E. Myers, R. C. Eckardt, M. M. Fejer *et al.*. Quasi-phase-matched optical parametric oscillators in bulk periodically poled LiNbO₃. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1995, **12**(11) 2102 ~ 2116
- 2 G. D. Miller, R. G. Batchko, W. M. Tulloch *et al.*. 42%-efficient single-pass cw second-harmonic generation in periodically poled lithium niobate. *Opt. Lett.*, 1997, **22**(24): 1834 ~ 1836
- 3 S. N. Zhu, Y. Y. Zhu, N. B. Ming. Quasi-phase-matched third-harmonic generation in a quasi-periodic optical superlattice. *Science*, 1997, **278**: 843 ~ 846
- 4 Y. Q. Qin, Y. Y. Zhu, S. N. Zhu *et al.*. Nonlinear optical characterization of a generalized Fibonacci optical superlattice. *Appl. Phys. Lett.*, 1999, **75**(4): 448 ~ 450
- 5 M. A. Arbore, O. Marco, M. M. Fejer. Pulse compression during second-harmonic generation in aperiodic quasi-phase-matching grating. *Opt. Lett.*, 1997, **22**(12): 865 ~ 867
- 6 J. P. Meyn, M. M. Fejer. Tunable ultraviolet radiation by second-harmonic generation in periodically poled lithium tantalate. *Opt. Lett.*, 1997, **22**(16): 1214 ~ 1216
- 7 M. M. Fejer, G. A. Magel, D. H. Jundt *et al.*. Quasi-phase-matched second harmonic generation. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1992, **28**(11): 2631 ~ 2654
- 8 S. N. Zhu, Y. Y. Zhu, Zh. Y. Zhang *et al.*. LiTaO₃ crystal periodically poled by applying an external pulsed field. *J. Appl. Phys.*, 1995, **77**(10): 5481 ~ 5483

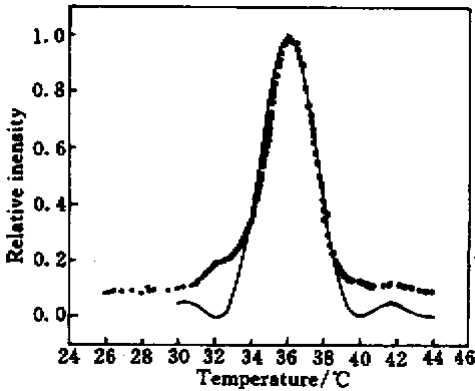


图 3 谐波强度随 PPLT 温度变化的调谐曲线

Fig.3 Dependence of the generated SH power on the temperature of PPLT

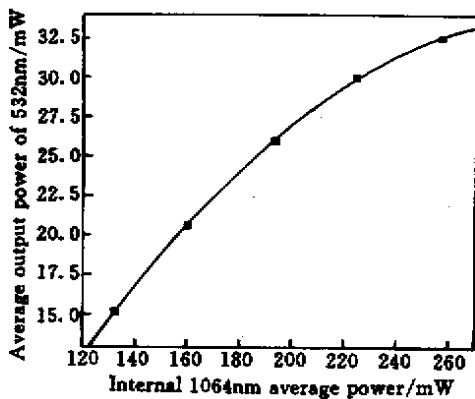


图 4 PPLT 内倍频光 532 nm 平均输出功率与基频光功率的关系

Fig.4 Measured 532 nm average output power internal to the exit face of the sample versus 1064 nm input power