

文章编号: 0258-7025(2009)11-2808-04

# 周期极化钽酸锂晶体腔内倍频实验研究

林 嵩<sup>1,2</sup> 赵江山<sup>1</sup> 周 翊<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 中国科学院光电研究院, 北京 100190; <sup>2</sup> 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要** 报道了基于准相位匹配(QPM)应用的周期性极化钽酸锂(PPSLT)晶体进行腔内倍频非线性光学变换实验研究。分析比对了不同长度(3.5 mm, 5 mm, 10 mm)晶体倍频过程。利用 3.5 mm PPSLT 晶体在 2500 mW 808 nm 激光抽运下产生 1445 mW 1064 nm 基频光输出, 经过倍频可以得到 760 mW 的绿光输出。同时对于制约倍频效果和效率提高的系统温度控制等问题进行了分析。

**关键词** 非线性光学; 准相位匹配; 周期极化钽酸锂晶体; 腔内倍频

**中图分类号** TN248.1; O437 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20093611.2808

## Intra-Cavity Second Harmonic Generation Based on Periodically Poled Stoichiometric LiTaO<sub>3</sub>

Lin Song<sup>1,2</sup> Zhao Jiangshan<sup>1</sup> Zhou Yi<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Academy of Opto-Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)  
(<sup>2</sup> Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract** Research on intra-cavity second harmonic generation using periodically poled stoichiometric LiTaO<sub>3</sub> (PPSLT) based on quasi phase matching (QPM) is reported. Periodically poled crystals with different lengths (3.5 mm, 5 mm, 10 mm) are compared and examined. For the 3.5 mm PPSLT, 1445 mW fundamental wave of 1064 nm could be achieved in condition of 2500 mW pump of 808 nm, then 760 mW green light of 532 nm could be achieved through second harmonic generation (SHG). Problems on system temperature control that affect SHG efficiency are also analyzed.

**Key words** nonlinear optics; quasi phase matching; periodically poled stoichiometric LiTaO<sub>3</sub>; intra-cavity second harmonic generation

## 1 引 言

全固态绿光激光因其输出光功率大、光束质量好、激光器体积小、工作寿命长、使用方便等特点,在激光显示、激光医疗、光通信、检测等领域具有较为广泛的应用,是国内外光电子技术研究与开发领域研究的热点之一<sup>[1~3]</sup>。周期极化晶体与传统倍频晶体相比具有低矫顽场、高破坏阈值和高非线性系数等许多突出的优点,因此常应用于基于准相位匹配的非线性光学频率变换。通过人为将晶体设计成电极方向周期变化的结构以满足相位匹配条件,可以选择适当的晶体周期来实现利用晶体的最大非线性系数,理论上

使转换效率大大提高。周期极化晶体的倍频常采用腔外倍频方式,而针对其腔内倍频的研究开展的并不广泛,目前国外仅有 SONY, OSRAM 等少数公司开展了相关研究<sup>[4,5]</sup>。本文利用基于准相位匹配(QPM)原理的周期极化钽酸锂(PPSLT)晶体开展了腔内倍频绿光输出的实验研究。

## 2 实验结构

实验装置如图 1 所示。抽运源采用 nLIGHT 公司的 808 nm 半导体激光二极管(LD),最大输入电流 2.5 A 的情况下输出功率为 2.5 W。耦合系统

收稿日期: 2008-12-22; 收到修改稿日期: 2009-02-10

作者简介: 林 嵩(1982—),男,硕士研究生,主要从事固体激光方面的研究。E-mail: linsong@aoe.ac.cn

导师简介: 赵江山(1974—),男,博士后,副研究员,主要从事固体激光方面的研究。E-mail: zhaojiangshan@aoe.ac.cn

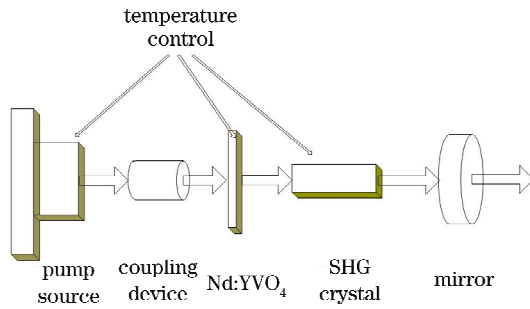


图 1 实验装置结构图

Fig. 1 Figure of experiment configuration

采用自聚焦透镜,有利于系统的小型化。增益介质综合考虑偏振性和成本等因素选择 Nd:YVO<sub>4</sub>,掺杂原子数分数为 0.3%。为达到良好散热效果,将其用锡箔包裹放入特殊加工的紫铜块调节架中并和半导体制冷器(TEC)控制芯片连接,采用 TEC 制冷片结合风扇的风冷结构。倍频晶体为 PPSLT,由台湾 HC Photonics 公司生产。根据倍频过程的设计需要,设计晶体周期为 7.97 μm。通光截面积为 2 mm×1 mm,实验分析了 3.5 mm, 5 mm, 10 mm 多种长度的晶体。倍频晶体需要进行加热来保证其高效工作,实验中采用单面加热的控温加热炉进行温度控制,结合自行设计的温控系统,温控精度为 0.1 °C。主要元件镀膜情况如表 1 所示。

表 1 主要元件镀膜情况

Table 1 Filming of components

Component	Filming
Nd:YVO <sub>4</sub>	S1:1064 nm/532 nmHR,808 nmAR
	S2:1064 nm/532 nmAR
PPSLT	S1:1064 nm/532 nmDBAR
	S2:1064 nm/532 nmDBAR
Output mirror (HiTech)	S1:1064 nmHR/532 nmHT
	S2:532 nmAR

### 3 理论计算

根据参考文献[6~8],由经典三波耦合方程,可以得到聚焦高斯光束在满足准相位匹配条件下倍频转换效率的表达式

$$\eta = \frac{p_2}{p_1} = \frac{8\pi^2 L^2 d_{\text{eff}}^2}{n_1^2 n_2 \lambda_1^2 c \varepsilon_0} \cdot \frac{p_1}{\pi \omega_0^2}, \quad (1)$$

其中  $d_{\text{eff}}$  为有效非线性系数, $L$  为晶体长度。为使倍频转换效率尽量大,谐振腔本征模与抽运光束之间应模式匹配。由激光谐振腔理论得到

$$\omega_0^2 = \frac{\lambda}{2\pi} [L(2R-L)]^{1/2}, \quad (2)$$

其中  $L$  为谐振腔长度, $R$  为凹面镜的曲率半径。利用 Matlab 软件进行计算仿真,可以得到输出镜半径与腔长的关系如图 2 所示。

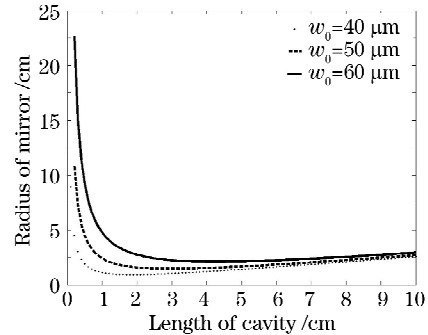


图 2 输出镜半径与腔长关系曲线

Fig. 2 Relation between mirror radius and cavity length

根据计算可知,以光斑半径  $w_0 = 60 \mu\text{m}$  为例,对于  $R = 100 \text{ mm}$  的输出镜,腔长为 9.5 mm,对于一定的输出镜,腔长与光斑半径成正比,在压缩光斑半径以提高转换效率时,短腔长更为有利。

### 4 实验分析

实验中首先测定 LD 输出功率与输入电流的实测关系曲线,如图 3 所示。

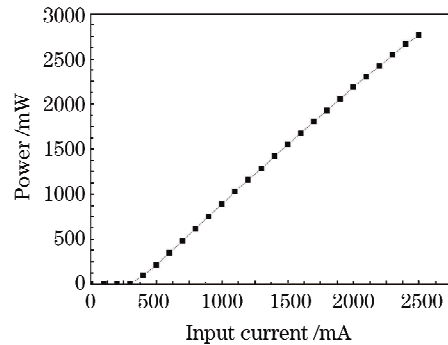


图 3 LD 输出功率与输入电流的关系

Fig. 3 Relation between LD power and input current

对光路进行精细调整<sup>[9]</sup>,通过改变 LD 的输入电流功率得到输出倍频绿光功率与输入电流之间的关系曲线,如图 4 所示。

对于 3.5 mm PPSLT,经过多维机械结构调节晶体与输出镜位置关系,在 2.5 A 电流输入的情况下可以得到 760 mW 的绿光输出,此时晶体位置距前端镜 3 mm。理论上准相位匹配的输出功率当随晶体通光方向长度增加而增加,然而 3.5 mm PPSLT 的效率却远高于 10 mm PPSLT,这是因为晶体长度的增加导致损耗的增加,实际损耗已经超过了倍频过程所能带来的增益。

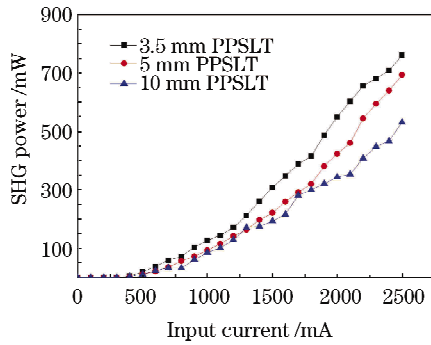


图 4 不同长度倍频晶体输出功率的比较

Fig. 4 Comparison of power with different crystal lengths

倍频过程的倍频转换效率(倍频/基频)关系曲线如图 5 所示。

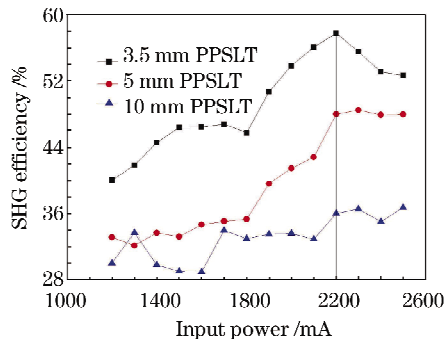


图 5 晶体倍频效率的比较

Fig. 5 Comparison of SHG efficiency with different crystal lengths

以 3.5 mm PPSLT 为例,在输入由小到大的变化过程中,理论上倍频效率应当随之增加,曲线的前半段基本反映了这种规律,当输入电流达到 2.2 A 时,达到最大输出效率 57.8%,此时抽运光功率为 2421 mW,基频光功率 1133 mW,倍频功率 655 mW。继续增加注入功率,输出功率增加但转换效率下降。这是因为晶体受基频光辐射极化产生倍频的同时,不可避免会吸收部分基频光能量而发热,加之晶体体积小,对温度变化较为敏感,从而引起晶体通光方向上的非均匀温度场的梯度变化,破坏固有的相匹配条件,此时的光束也不再是理想状况计算中的正常高斯型,从而影响转换效率。另外 PPSLT 晶体上下面加热受热不均,也是效率下降的原因之一。

输出功率与倍频晶体温度之间的关系如图 6 所示。

根据经典的 Sellmeier 方程,晶体周期为  $7.97 \mu\text{m}$  的 PPSLT 最佳工作温度为  $60^\circ\text{C}$  左右,而这里最佳工作温度为  $45^\circ\text{C}$  附近。对于实测温度低于理论温度的问题,澳大利亚 Bamford 等<sup>[10]</sup>曾对此

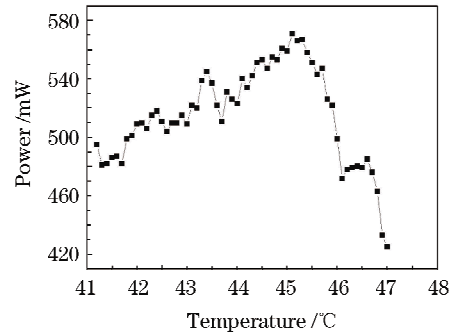


图 6 3.5 mm PPSLT 功率-温度曲线

Fig. 6 Power-temperature relation for 3.5 mm PPSLT

方面做过研究并提出校正方程,本实验结果验证了这种现象的存在。我们认为这种情况的发生主要是由于所用倍频晶体材料性质有所区别,如掺杂浓度等,会导致 QPM 的周期温度线比理论的 Sellmeier 方程要低。具体产生原因和机理以及精确的计算方法仍有待深入研究。

## 5 结 论

利用 PPSLT 晶体进行腔内倍频实验,3.5 mm 的 PPSLT 在 2.5 W 的 LD 输入功率下得到 760 mW 的绿光输出,最大倍频效率可以达到 57.8%。通过理论分析和实际实验,在周期极化铌酸锂倍频过程中,晶体温度是影响倍频过程的重要因素。本文实验结果与经校正后的最佳温度基本吻合,而最高倍频效率所达到的指标和理论极限尚有一定差距,温度场对于小体积情况下的晶体倍频效率的影响需要进一步完善,此项工作正在进行中。

## 参 考 文 献

- Zhang Huiyun, Zhang Yuping, Zhong Kai *et al.*. Efficient high power diode-side-pumped intracavity-doubled continuous wave green laser[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(1): 3~5  
张会云, 张玉萍, 钟凯等. 高效高功率侧面抽运腔内倍频连续绿光激光器[J]. *中国激光*, 2008, **35**(1): 3~5
- Peng Yuefeng, Lu Yanhua, Xie Gang *et al.*. Investigation of quasi-phase-matched optical parametric oscillator based on PPMgLN[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(5): 670~674  
彭跃峰, 鲁燕华, 谢刚等. 准相位匹配 PPMgLN 光参量振荡技术[J]. *中国激光*, 2008, **35**(5): 670~674
- Gan Ansheng, Li Long, Shi Peng. Thermal effect of Yb:YAG slice laser by diode laser end-pumped[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(4): 631~635  
甘安生, 李隆, 史彭. 激光二极管端面抽运 Yb:YAG 薄片激光器的热效应[J]. *光子学报*, 2008, **37**(4): 631~635
- Michio Oka, Kaoru Kimura, Yuki Maeda *et al.*. A new compact continuous-wave green laser with line beam[C]. *SPIE*, 2008, **6875**:68750L
- U. Steegmüller, M. Kühnelt, H. Unold *et al.*. Green laser modules to fit laser projection out of your pocket[C]. *SPIE*, 2008, **6871**: 687117

- 6 M. M. Fejer, G. A. Magel, D. H. Jundt *et al.*. Quasi-phase-matched second harmonic generation; tuning and tolerances[J]. *IEEE J. Quantum Electron*, 1992, **28**(11): 2631~2654
- 7 Chen Yunlin, Yuan Jianwei, Yan Weiguo *et al.*. Quasi-phase-matched second-harmonic-generation in bulk periodically poled LiNbO<sub>3</sub> and optimal design [J]. *Acta Physica Sinica*, 2005, **54**(5): 2079~2083  
陈云琳, 袁建伟, 闫卫国 等. 准相位匹配 PPLN 倍频理论研究 with 优化设计[J]. *物理学报*, 2005, **54**(5): 2079~2083
- 8 Yao Jianquan. All Solid State Laser and Nonlinear Optical Frequency Conversion Technology [M]. Beijing: Science Press, 2007
- 姚建铨. 全固态激光及非线性光学频率变换技术[M]. 北京: 科学出版社, 2007
- 9 Xue Haizhong, Wang Shiyu, Li Bingbin *et al.*. Study on low-sensitivity cavity of diode pumped solid-state laser [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(6): 1081~1084  
薛海中, 王石语, 李兵斌 等. 激光二极管抽运固体激光器低灵敏度谐振器研究[J]. *光子学报*, 2008, **37**(6): 1081~1084
- 10 D. J. Bamford, S. J. Sharpe, D. J. Cook *et al.*. High-average-power visible generation in periodically-poled nearly-stoichiometric lithium tantalate [J]. *Lasers and Electro-Optics*, 2005, **3**(3): 2269~2271