

二维 LiNbO_3 非线性光子晶体*

倪培根 马博琴 程丙英 张道中

(中国科学院物理研究所和凝聚态物理中心光物理实验室, 北京 100080)

(2002 年 11 月 6 日收到 2002 年 12 月 25 日收到修改稿)

制备了周期为 $13.64 \mu\text{m}$ 方形格子二维周期性极化的 LiNbO_3 , 利用二阶准相位匹配实现了波长为 $1.064 \mu\text{m}$ 二倍频二次谐波的内部转换效率高达 42%. 测量了二次谐波输出功率随晶体温度及入射光入射方向的变化, 实验值与模拟计算一致. 制备二阶准相位匹配掩模板, 解决了在制备一阶准相位匹配掩模板中遇到周期尺寸太小、数据量大的难题, 同时还降低了因周期太小造成的极化难度.

关键词: 二维, 准相位匹配, 二次谐波

PACC: 4265K, 4262A, 4270F

1. 引 言

准相位匹配(QPM)技术的实用是近 10 年来发展起来的新兴领域, 主要用于频率转换、光参量振荡等领域. 由于 QPM 技术能够在所需要的波长和方向上实现高效率的频率转换, 所以目前得到了迅速发展. 用一维周期性极化的 LiNbO_3 ($2d_{33}/\pi d_{31} \approx 20$) 实现 QPM 是目前用得最多的方法之一, 是近 10 年来研究的主要方向^[1-10]. 1998 年 Berger 等提出了利用二维周期结构实现 QPM, 具有比一维周期 QPM 更丰富多样的倒格矢, 可以更方便地实现多波长同时倍频及多向输出^[11]. 1999 年 Hanna 等在实验上首次利用二维周期性极化的 LiNbO_3 晶体实现了波长为 $1.531 \mu\text{m}$ 的二次谐波, 同时还观测到三倍频和四倍频现象^[12]. 随后 Boland 领导的小组也成功地在二维周期性极化的 LiNbO_3 中实现了频率转换^[13]. 利用二维 QPM 实现频率转换越来越受到重视.

2. 实 验

所用的铁电晶体材料是厚度为 0.4 mm , 大小为 $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$, Z 向切割的光学级 LiNbO_3 晶体(上海中科庆华科技有限公司产品), 在晶体的 $+Z$ 面上镀一层光刻胶, 然后利用已经制作好的掩模板放

在光刻胶层上进行光刻, 掩模板上的晶格图案被转移到光刻胶层上. 用 O 型圈将导电液限制在晶体的两个表面, 形成两个液体电极, 通过导电液对晶体进行加电压极化, 如图 1 所示, 所加电压约为 25 kV/mm .

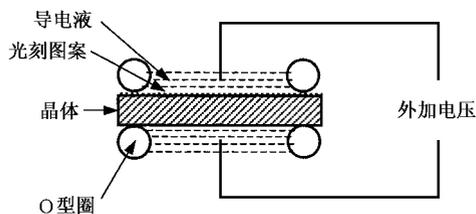


图 1 晶体极化装置示意图

在晶体极化过程中, 电流随时间的变化可通过电阻分压后用计算机记录, 电流首先对液体电极形成的电容进行充电, 这时充电电流较大, 充电完毕后才为晶体的极化电流, 极化电流为 $20-30 \mu\text{A}$.

将极化过的晶体放入 HF 酸中腐蚀 $10-15 \text{ min}$, 由于 HF 酸对晶体正负表面腐蚀的速度不一样, 所以极化图案就会被剥离出来, 如图 2 所示. 从图 2 可以看出, 极化的图案在整个晶体中大小均匀, 方格图案的周期为 $13.64 \mu\text{m}$, 被反转畴的直径为 $7.4 \mu\text{m}$, 占空比约为 23%.

用 He-Ne 激光对极化晶体进行衍射实验, 衍射照片如图 3 所示. 从衍射的图片中也能看出该晶体

* 国家重点基础研究发展规划(批准号 2001CB6104)和国家自然科学基金(批准号 60078007, 60207009)资助的课题.

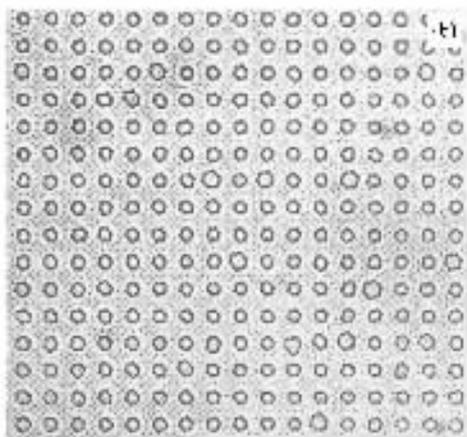
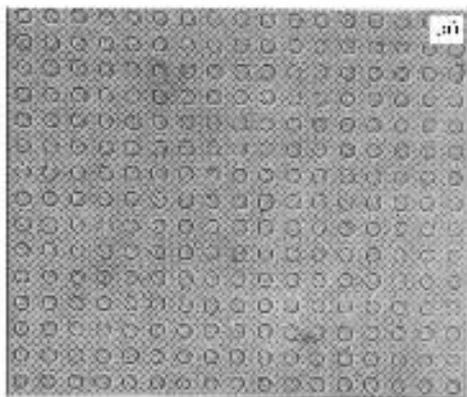


图 2 光学显微镜下高压极化后经过 HF 酸腐蚀 15 min 后的晶体上下表面照片 (a) 晶体的 +Z 面 ;(b) 晶体的 -Z 面

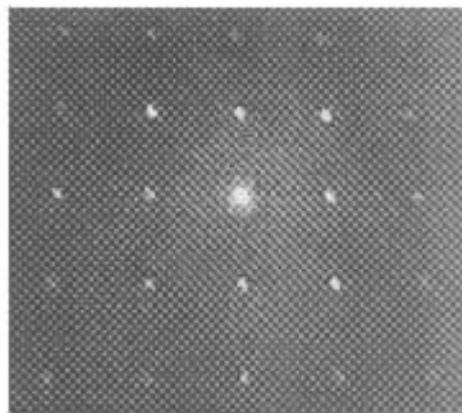


图 3 极化晶体的 He-Ne 激光衍射图

的方格图案非常规则.

将晶体极化部分沿方格子的边长切割,然后抛光.我们实验中所使用的晶体长度为 9 mm.光学二倍频测量利用的是一台锁模 YAG 激光器,激光器的工作波长在 1.064 μm,脉冲宽度为 35 ps,重复率为

10 Hz,激光在晶体中的 QPM 如图 4 所示.我们这里用的是二阶 QPM,即用两个倒格矢来参与一个二次谐波光子的合成,这样可以使极化晶格常数加长一倍,既易于晶体极化,同时减少了制作模板时的数据量,还降低了光刻过程中的难度.

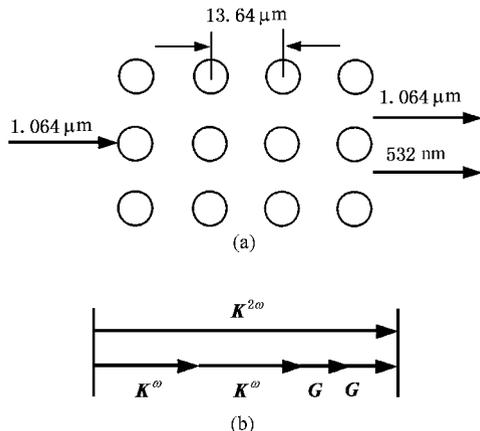


图 4 激光在晶体中的走向(a)和晶体中的 QPM 示意图(b) G 为倒格矢

通过一个 1/2 波片将出射的 P 偏振的激光变成 S 偏振的激光,然后利用一个 10 cm 焦距的凸透镜将激光会聚成直径为 160 μm 大小的光斑入射到晶体中,这时激光的峰值功率密度约为 10—10² GW/cm².

3. 实验结果及分析

扣除 QPM 晶体前后两个表面的菲涅耳反射后,二次谐波的输出功率随抽运激光功率变化的关系曲线如图 5 所示.从图 5 可以看出,最高转换效率达到 42%.

由于晶体的折射率随温度的变化而变化,并且

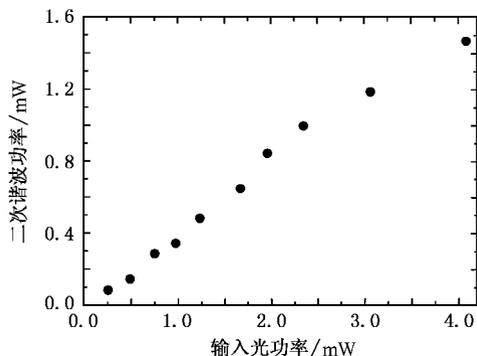


图 5 二次谐波输出功率随入射激光功率变化的关系曲线 圆点为实验值

考虑到晶体的热胀冷缩,这些因素会直接影响 QPM,导致相位失配^[14,15].我们在输入功率不变的情况下测量了二次谐波输出功率随晶体温度的变化曲线,如图 6 所示.实验显示,曲线的半高宽仅为 3.5°C .这一结果与模拟计算非常符合,证实该类实验必须在非常精确的温度控制下才能得到很好的转换效率.

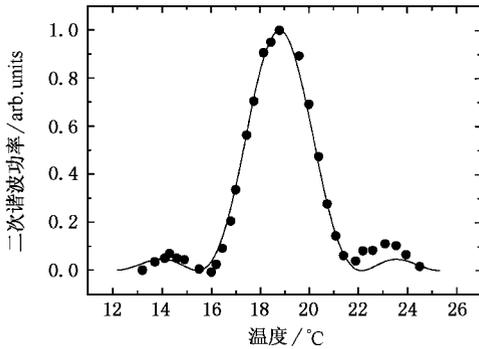


图 6 二次谐波输出功率随温度的变化曲线 圆点为实验值,实线为模拟计算值

此外,我们还测量了二次谐波输出功率随入射角的变化曲线.当入射角偏离原来设计的方向时,造成偏离原来设计的相位匹配,导致相位失配.对该现象的研究,为今后实验中入射方向的调节提供了实验依据.同时我们还进行了模拟计算,结果表明计算值与实验值基本相符,如图 7 所示.从图 7 可以看出,曲线的半高宽仅为 0.5° ,这表明实验中对入射角度的要求应非常严格.

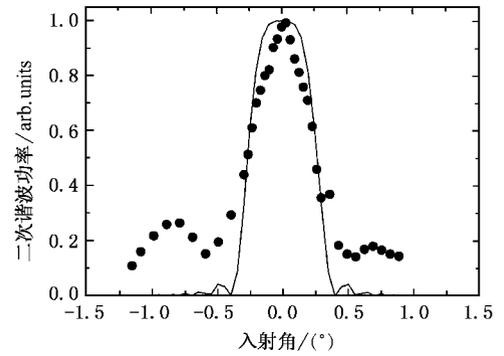


图 7 二次谐波输出功率随入射角度的变化曲线 横坐标为晶体内部的角度,圆点为实验测量值,实线为模拟计算值

4. 结 论

本文在二维周期性极化的 LiNbO_3 中,利用二阶 QPM 实现了 $1.064 \mu\text{m}$ 的二次谐波输出,转换效率高达 42%.同时,测量了二次谐波输出功率随晶体温度和入射光角度的关系曲线,实验值与模拟计算基本符合.在实验上利用二阶 QPM 实现了高转换效率的倍频输出,这样可以使反转晶格周期加长一倍,既易于晶体极化,同时还降低了制备模板和光刻过程中的难度.

感谢中国科学院物理研究所顾本源研究员和王雪华博士对本文提出的建议和帮助.

[1] Matsumoto S, Lim E J, Hertz H M *et al* 1991 *Electron. Lett.* **27** 2040
 [2] Yamada M, Nada N, Saitoh M *et al* 1992 *Appl. Phys. Lett.* **62** 435
 [3] Zhu S N, Zhu Y, Ming N B 1997 *Science* 278 31
 [4] Powers P E, Kulp T J, Bisson S E 1998 *Opt. Lett.* **23** 159
 [5] Daly E M, Ferguson A I 2000 *Phys. Rev. A* **62** 043807
 [6] Herpen M V, Hekkert S T L, Bisson S E *et al* 2002 *Opt. Lett.* **27** 640
 [7] Yu N E, Ro J H, Cha M *et al* 2002 *Opt. Lett.* **27** 1046

[8] Gross P, Klein M E, Ridderbusch H *et al* 2002 *Opt. Lett.* **27** 1433
 [9] Chen Y L, Xu J J, Zhang X Z *et al* 2002 *Appl. Phys. A* **72** 187
 [10] Xue T, Yu J, Ni W J *et al* 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 565
 [11] Berger V 1998 *Phys. Rev. Lett.* **81** 4136
 [12] Broderick N G R, Ross G W, Offerhaus H L *et al* 2000 *Phys. Rev. Lett.* **84** 4345
 [13] Chowdhury A, Staus C, Boland B F *et al* 2001 *Opt. Lett.* **26** 1353
 [14] Edwards G J, Lawrence M 1984 *Opt. Quantum Electron.* **16** 373
 [15] Jundt D H 1997 *Opt. Lett.* **22** 1553

Two-dimensional periodically poled LiNbO₃ nonlinear photonic crystal^{*}

Ni Pei-Gen Ma Bo-Qin Cheng Bing-Ying Zhang Dao-Zhong

(*Laboratory of Optical Physics, Institute of Physics and Center for Condensed Matter Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China*)

(Received 6 November 2002; revised manuscript received 25 December 2002)

Abstract

A two-dimensional periodically poled lithium niobate crystal with a $13.64 \mu\text{m}$ period was fabricated. The inverted duty cycle was about 23%. The second harmonic output for the second-order quasi-phase-matching (QPM) against the input was measured. The maximum second harmonic internal conversion efficiency was higher than 40%. All results implied that the second-order QPM could be used to obtain high-frequency conversion efficiency. Compared with the first-order QPM, the second-order QPM can reduce the requirement for the poling technique and the mask fabrication.

Keywords : two-dimensional, quasi-phase-matching, second harmonic generation

PACC : 4265K, 4262A, 4270F

^{*} Project supported by the State Key Development Program for Basic Research of China (Grant No. 2001CB6104) and the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 60078007 and 60207009).