

# 双 KTP 晶体倍频过程的实验研究\*

## ——腔外串接倍频

刘 晶 谢常德 廉毅敏 郜江瑞 彭堃墀

(山西大学光电研究所,太原 030006)

### 提 要

双 KTP 晶体串接倍频可以克服离散效应并补偿相位失配。本文对串接倍频进行了理论分析与实验观测,指出最佳串接方位。理论分析与实验结果符合很好。

关键词: 倍频; 离散效应。

### 一、引 言

双轴  $\text{KTiOPO}_4$  (KTP) 晶体以它优良的非线性光学性质受到普遍关注,不少作者已研究了 Nd:YAG 激光器输出的  $1.06 \mu\text{m}$  红外光经 KTP 晶体获得  $0.53 \mu\text{m}$  绿光的二次谐波产生过程<sup>[1~5]</sup>。由于晶体尺寸,相位失配及离散效应等因素的影响,限制了倍频转换效率的提高。采用两块 KTP 晶体串接可克服上述缺点。虽然文献[6, 7]报道了在光参量振荡器腔内及无腔情况下,利用双 KTP 晶体进行了量子位相相干性实验及获得脉冲光场压缩态,但至今未有人对双 KTP 晶体在腔内腔外倍频过程进行详细分析和研究。本文对双 KTP 晶体在光参量振荡器腔外倍频过程进行了较细致的研究,得出最佳倍频条件,理论分析与实验结果符合。

### 二、双 KTP 串接

KTP 为双轴晶体,具有点群  $mm2$  正交结构,通常任一波矢  $\mathbf{K}(\theta, \phi)$  对应的两个正交本征偏振光都是非常光  $e_1$  与  $e_2$ , 其折射率  $n_1$  与  $n_2$  均为  $(\theta, \phi)$  的函数。当光沿晶体的坐标平面  $xy$  传播时 ( $\theta=90^\circ$ ), 其中一个本征偏振波的偏振方位与  $z$  轴重合,  $n_1=n_z$  不随传播方向改变,而  $n_2=n(\phi)$  为方位角  $\phi$  的函数<sup>[4]</sup>。在常温下, KTP 晶体可采用 I 类或 II 类相位匹配产生二次谐波,但 II 类匹配的有效非线性系数  $d_{\text{eff}}$  高于 I 类,当  $\theta=90^\circ$ ,  $\phi=21.3^\circ \sim 25^\circ$  (不同晶体主折射率略有差异,计算的  $\phi$  角也略有不同) 时获得最大  $d_{\text{eff}}$ <sup>[2,4]</sup>。

本实验选用的 KTP 晶体,按正向入射为最佳匹配方向切割,光轴在  $zx$  平面内。在正向入射情况时,  $e_1$  光沿入射方向传播,  $e_2$  光发生偏折,产生离散效应。选取切割方式、晶体特性完全相同的两块 KTP 串接,放置方位如图 1 所示。两块晶体的表面均镀有基波与谐波双增

收稿日期: 1990 年 9 月 25 日; 收到修改稿日期: 1990 年 10 月 23 日

\* 国家自然科学基金资助的项目。山西省自然科学基金资助的项目。

透膜。两晶体的  $xy$  平面平行,  $z$  轴反向, 从而使  $e_2$  光在两晶体中偏折方向相反。显然, 其作用在很大程度上补偿了离散效应, 使晶体孔径长度增加。此外, 在这样放置下, 当入射光偏离最佳匹配方位时,  $e_2$  光在两晶体中折射率改变量符号相反, 从而使光波场在第一与第二块晶体中的相位失配量  $\Delta K$  与  $\Delta K'$  反号, 近似有:

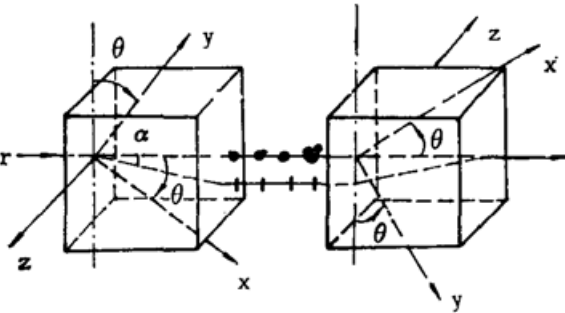


Fig. 1 Relative orientation of two KTP crystals

$$\Delta K = -\Delta K', \quad (1)$$

因而相位失配也能得到补偿。

采用平面波近似, 忽略晶体吸收, 离散效应及空气色散, 可得谐波总输出场强:

$$\begin{aligned} I(2\omega) &= |E'(2\omega) + E''(2\omega)|^2 = D^2 l^2 \frac{\sin^2(\Delta K l / 2)}{\Delta K l / 2} [E'_1(\omega) E'_2(\omega) + E''_1(\omega) E''_2(\omega)]^2 \\ &= I'(2\omega) + I''(2\omega) + 2\sqrt{I'(2\omega) \times I''(2\omega)}, \end{aligned} \quad (2)$$

式中  $l$  为晶体长度,  $D$  为耦合系数,  $E'_1(\omega)$ ,  $E'_2(\omega)$  与  $E''_1(\omega)$ ,  $E''_2(\omega)$  分别为基波两偏振分量在第一与第二块晶体中的振幅,  $I'(2\omega)$  与  $I''(2\omega)$  为前后两块晶体所产生的谐波输出功率。由此可见, 在这种串接情况下, 双晶体合成场达到相干极大。若  $I'(2\omega) = I''(2\omega)$ , 双晶体的谐波输出功率为单个晶体的四倍。

### 三、串接倍频实验

串接倍频的实验装置示意图如图 2 所示。由环形稳频 YAG 激光器<sup>[8]</sup>输出的  $1.06 \mu\text{m}$  红外光, 经偏振器  $P_1$  与  $P_2$  及可旋转  $\lambda/2$  波片构成光强调制系统, 再由匹配透镜  $L_1$  聚焦射入双 KTP 晶体。晶体尺寸为  $3 \times 3 \times 6.26 \text{ mm}^3$ , 长度  $l = 6.26 \text{ mm}$ 。双晶体尽可能靠近, 间隙  $d \rightarrow 0$ 。适当选择  $L_1$  的焦距, 使光束的共焦长度与双晶体总长度接近, 并让焦点位于两晶体中间位置。本实验取  $f = 100 \text{ mm}$ 。  $D_1$  与  $D_2$  为装有滤波片的光电探测器 ( $S_{1223}$  型硅光电池), 分别用以测定输入基波与输出谐波的功率,  $L_2$  与  $L_3$  为集光透镜。

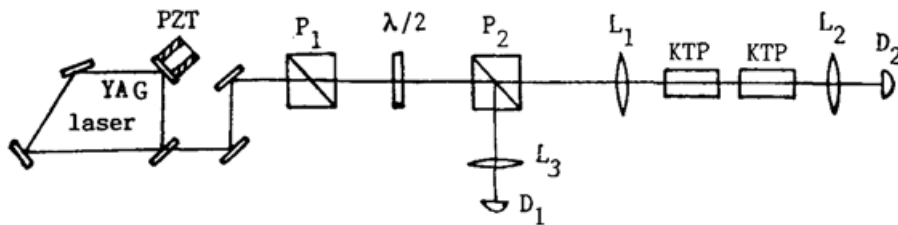


Fig. 2 Experimental setup for frequency doubling without OPO cavity

双 KTP 晶体分别装入两个六维调节架, 同时可使晶体绕光束轴自由旋转。先将一块晶体置入光路, 调节其方位直到获得最大的绿光输出, 此时入射光偏振方向与晶体  $xy$  平面夹角  $\alpha = 45^\circ$ 。然后保持入射光偏振方向与第一块晶体方位不变, 沿垂直于光束方向将它退出, 并推入第二块晶体, 调整其方位也至绿光输出极大, 这时两晶体的  $xy$  平面平行, 然后再推入第一块晶体使之串接。若两晶体  $z$  轴反向, 则离散效应与相位失配得到补偿, 此时, 将获得近四倍于单晶体的输出极大。如果不是, 则应将某一晶体绕光束轴旋转  $180^\circ$ , 再微调晶

体方位,使之达到图 1 的要求即可。

图 3 为当对输入基波光强随时间作正弦波扫描时,所记录的倍频光输出曲线。平均基波输入功率为 500 mW。曲线(a)、(b)为两个 KTP 晶体各自的绿光输出曲线,每一输出平均功率约为  $0.28 \times 10^{-4}$  W,倍频效率为  $\eta = P_{2\omega}/P_{\omega} = 0.56 \times 10^{-4}$ 。曲线(c)为双晶体的绿光输出曲线,平均功率为  $1.1 \times 10^{-4}$  W,倍频效率为  $\eta = 2.20 \times 10^{-4}$ ,为单晶体的四倍,与理论符合很好。

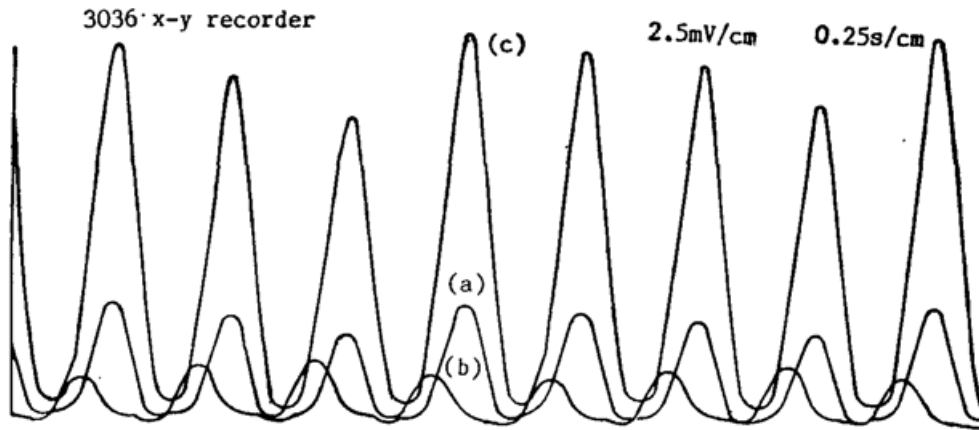


Fig. 3 Transmitted second-harmonic power versus the scan time of input fundamental wave power  
(a) and (b) one KTP crystal, (c) a series of two KTP crystals

当晶体长度较小时离散效应影响不很严重,但当晶体较长,特别是当将晶体置于参量振荡腔内时,离散效应不可忽视,这种情况下串接倍频就显示出极大的优越性。提高串接倍频效率的关键,是双晶体的相对方位,因而在实验设计中对晶体调节装置应予以足够重视。

### 参 考 文 献

- [1] Roger F. Belt *et al.*; *Laser Focus*, 1985, No. 10 (Oct), 110~124.
- [2] J. Q. Yao, T. S. Fahelm; *J. Appl. Phys.*, 1984, **55**, No. 1 (Jan), 65~68.
- [3] T. A. Driscoll *et al.*; *J. O. S. A. (B)*, 1986, **3**, No. 5 (May), 683~686.
- [4] T. Y. Fan *et al.*; *Appl. Opt.*, 1987, **26**, No. 12 (Jun), 2390~2394.
- [5] Y. S. Liu *et al.*; *Opt. Lett.*, 1983, **9**, No. 3, 76~78.
- [6] S. F. Pereira *et al.*; «Presented at the Sixth Rochester Conference on Coherence & Quantum Optics», (Rochester University press, New York, June 26~28, 1989).
- [7] A. Laporte *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, 1989,
- [8] 彭堃堦等;《中国激光》,1989, **16**, No. 8 (Aug), 449~451.

## Experimental investigation of frequency doubling in two KTP crystals (I) —frequency doubling without cavity

LIU JING, XIE CHANGDE, LIAN YIMIN, GAO JIANGRUI AND PENG KUNCHI

*(Institute of Opto-electronic Researches, Shanxi University, Taiyuan 030006)*

(Received 25 September 1990; revised 23 October 1990)

### Abstract

The efficient second-harmonic generation in two KTP crystals was investigated both theoretically and experimentally. The influence of walk-off and phase mismatching on frequency doubling efficiency can be overcome by two crystals series. The optimum relative orientation of two crystals has been shown. The experimental results are in good agreement with the theoretical analyses.

**Key words:** frequency doubling, walk-off effect