

# 双 KTP 晶体倍频过程的实验研究\* (二)

## ——光学参量振荡腔内串接倍频

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

按第一部分指出的串接方位, 将串接的双 KTP 晶体置于光学参量振荡腔中, 并采用控温方式补偿程差, 实现双模共振, 使倍频效率较内腔单模起振提高近 30 倍, 理论分析与实验结果基本符合。

关键词: 参量振荡腔, 双模共振。

### 一、引 言

众所周知, 倍频光强度与泵浦基波光强平方成正比, 因而增加泵浦功率密度是提高倍频效率的关键之一。光学参量振荡内腔功率密度大大高于输入光强度, 因而对连续波激光器而言, 采用内腔倍频是提高转换效率的有效途径。由于存在离散效应, 单块 KTP 晶体难以实现内腔双模( $e_1$  与  $e_2$ ) 共振, 本文采用双晶体串接, 消除离散效应的影响, 并通过控温补偿两模之间的光程差, 实现了基波双模共振, 使倍频效率大大提高。

文中分析的内腔双晶体倍频的实验方法, 也适用于其它参量转换过程, 因而在获得光场压缩态及量子相干性证明等重要的量子光学实验中有着重要的应用。

### 二、腔参量与倍频光功率的关系

为了提高内腔功率密度及倍频转换效率, 实验采用由两片平凹镜组成的共心腔型, 平凹镜曲率为  $R_1=5\text{ cm}$ ,  $R_2=10\text{ cm}$ , 腔长  $l \doteq R_1+R_2$ , 对  $1.06\mu\text{m}$  光波两个腔镜反射率为  $r_2=0.88$ (前镜),  $r_1=0.98$ (后镜), 内腔损耗系数  $\delta$  约为 0.1。在基波共振时, 内腔功率密度较无腔时提高近 20 倍。如图 1 所示, 双 KTP 晶体被置于腔共心处, 其间距趋于零。内腔高斯光

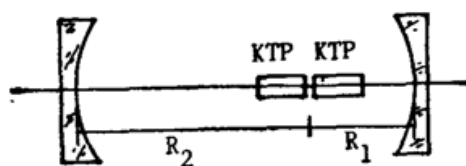


Fig. 1 Optical parametric oscillator (OPO) with two KTP crystals

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。

束腰斑位于共心位置。设  $t_1=1-r_1$ ,  $t_2=1-r_2$  为腔镜的透射率,  $t$  为晶体透射系数, 则共振时, 内腔功率  $P_c$  与输入功率  $P_1$  之比为<sup>[1]</sup>

$$\frac{P_c}{P_1} = \frac{t_2}{(1-t\sqrt{r_1r_2})^2} \quad (1)$$

实验证实, 若腔内两晶体  $Z$  轴同向放置, 相当于长度为  $2l$  的单晶体置入腔内, 无法达到双模共振, 而只有单模起振, 此时, 可认为未起振的模单次穿过晶体。于是在近场近似情况下, 可得倍频光输出功率<sup>[1,2]</sup>

$$\begin{aligned} P_2 &= \frac{D(2l)^2}{\omega_{10}^2} \cdot P_c \cdot \frac{t_2 P_1}{2} \cdot t'_1 \\ &= \frac{D(2l)^2 t_2^2 P_1^2}{4\omega_{10}^2} \cdot \frac{1}{(1-t\sqrt{r_1r_2})^2} \cdot t'_1 \end{aligned} \quad (2)$$

如果将  $Z$  轴反向, 采用双晶体补偿离散角, 则可能达到双模同时共振, 此时, 倍频光功率为

$$P'_2 = \frac{D(2l)^2 t_2^2 P_1^2}{4\omega_{10}^2} \cdot \frac{1}{(1-t\sqrt{r_1r_2})^4} \cdot t'_1, \quad (3)$$

式中  $t'_1$  为绿光输出镜透射率,  $\omega_{10}$  为基频场基模腰斑半径,  $D$  为耦合系数。由(3)式可见, 基波两个偏振模双共振时, 输出倍频光功率应比单模起振时强  $1/(1-t\sqrt{r_1r_2})^2$  倍。按前面给出的腔参量计算, 约高 37 倍。

### 三、实验装置

从环行稳频 YAG 激光器输出的基模  $1.06\mu\text{m}$  激光束, 经起偏器  $P_1$ , 模匹配透镜  $L_1$  与  $L_2$  及光隔离系统后进入由  $M_6$  与  $M_7$  构成的光学参量振荡腔,  $M_7$  被装在压电陶瓷上, 以便使用锯齿波电压进行腔长扫描。  $L_1$  与  $L_2$  的焦长  $f_1=1000\text{mm}$ ,  $f_2=150\text{mm}$ 。光学隔离系统由偏光镜  $P_3$ 、 $P_4$  和法拉第旋转器  $FR_2$  构成。全反镜  $HR_5$  与  $HR_6$  用于调整入射泵浦方向, 使之与光学参量振荡腔轴重合。  $\lambda/2$  波片用于调节入射光偏振方向。  $M_8$  为分光镜, 对  $0.53\mu\text{m}$  光波高反,  $1.06\mu\text{m}$  光波高透,  $D_5$  与  $D_6$  分别为装有  $0.53\mu\text{m}$  与  $1.06\mu\text{m}$  滤波片的  $S_{1223}$  型硅光电池, 接入双线示波器, 可同时观察到在矩齿波扫描下, 光学参量振荡腔的倍频与基频透射场, 如图 2 所示。

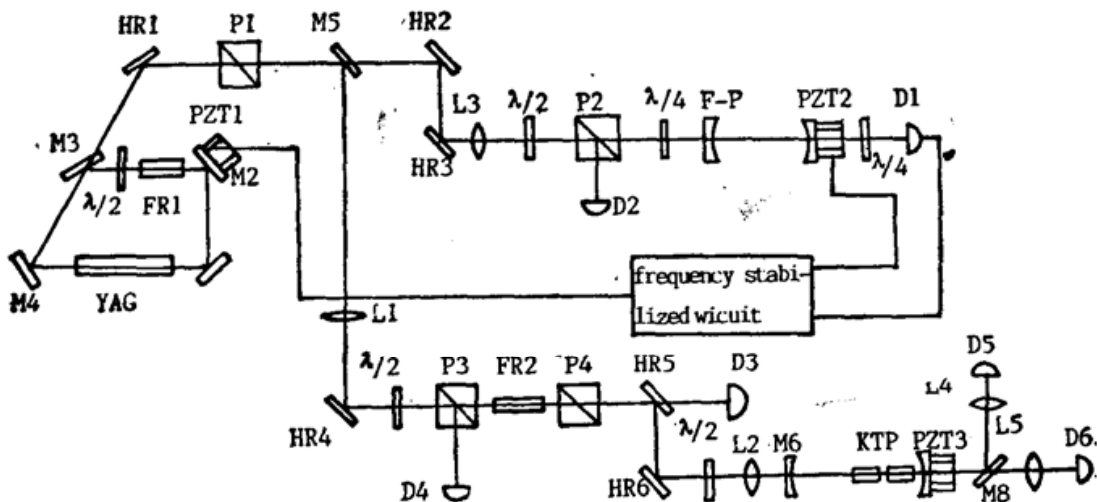


Fig. 2 Experimental setup for frequency doubling in OPO cavity

### 四、实验结果分析

将单晶体置入腔内, 由于离散效应,  $e_2$  光偏离腔轴, 只可能出现基波场  $e_1$  光单模起振。图 3(a) 为入射光偏振方向与单晶体  $e_1$  光偏振方向 ( $ZX$  平面) 平行时, 基波透射场的共振曲线。当旋转  $\lambda/2$  波片, 逐步改变入射光偏振方向时, 输出峰值随之降低, 直至入射光偏振方向与  $e_1$  光偏振方向垂直时, 降低至零, 如图 3(b) 所示, 这说明在单晶体情况下  $e_2$  光偏振模不可能起振。

将双晶体按文章第一部分图 1 方位置入腔内, 由于补偿了离散效应, 两个偏振模均可能起振。图 4(a)、(b) 和 (c) 分别为在腔长连续扫描时, 入射光偏振方向与晶体  $ZX$  平面平行, 成  $45^\circ$  角及垂直时输出基波场共振曲线。当平行时, 只存在  $e_1$  偏振模, 在一个扫描周期内 ( $\sim 50$  ms), 出现一个共振峰 [图 4(a)], 改变入射光偏振方向,  $e_1$  偏振峰值逐渐降低, 同时另一个偏振模—— $e_2$  光开始起振, 当接近于  $45^\circ$  时, 两个模谐振峰值近于相等, 如图 4(b) 所示, 一个扫描周期内出现一个  $e_1$  光共振峰 (中间), 和两个  $e_2$  光共振峰 (旁边)。再增加入射光偏振方向与  $ZX$  面夹角,  $e_1$  光峰值降低,  $e_2$  光增高, 直至垂直方位,  $e_1$  光共振峰消失, 只留下两个  $e_2$  光共振峰 [图 4(c)]。由于  $e_2$  光偏离光轴, 虽然双晶体相互补偿后能够起振, 但损耗比沿腔轴传播的  $e_1$  光大, 故共振峰值比  $e_1$  光低。由于内腔两个偏振模起振与否关键是双晶体的相对方位, 因此实验中必须仔细地调节, 使两块晶体的  $XY$  平面与光波入射面严格重合, 且两者的  $Z$  轴反向, 以补偿离散效应与相位失配。

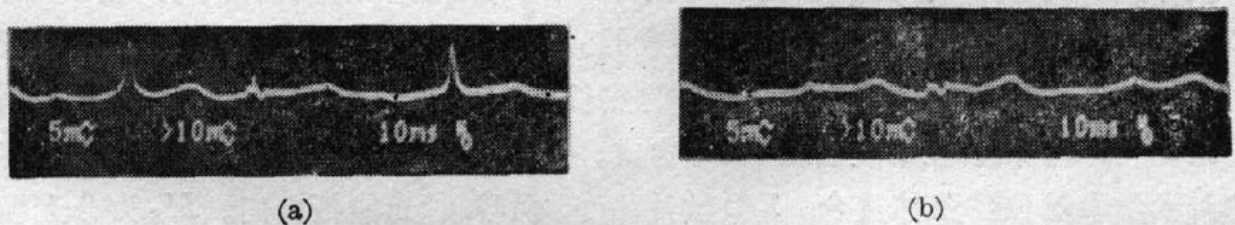
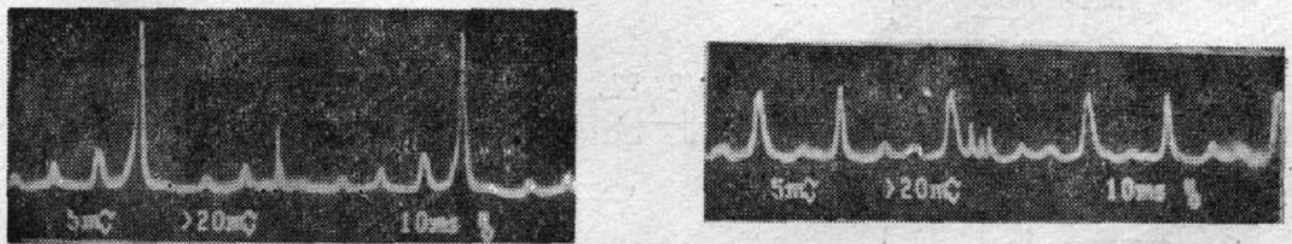


Fig. 3 Fundamental wave power transmitted through OPO with one KTP is displayed as a function of voltage applied to transducer of M7.

(a) The polarization of input light is parallel to  $ZX$  plane of KTP; (b) The polarization of input light is perpendicular to  $ZX$  plane of KTP



(a) The polarization is parallel to  $ZX$  plane (b) The polarization is  $45^\circ$  to  $ZX$  plane



(c) The polarization is perpendicular to  $ZX$  plane

Fig. 4 The same with fig. 3 but with two KTP crystals (sareep rate: 10ms/cm)

因双折射效应的影响,两个偏振模不可能同时起振,这就限制了倍频效率。利用 KTP 晶体折射率与温度有关的特性,采用温度补偿方法使双模共振。将双 KTP 晶体置于加热炉中,其方位仍可自由调节。用双线示波器监视光学参量振荡腔输出的基波与谐波信号,调整晶体方位与入射光偏振方向,当基波两个偏振模分别起振时,也同时出现谐波输出峰。看到共振峰后,进一步细调晶体方位与入射光偏振方向,使两个模峰值尽可能相等,且输出最大,如图 5 所示。图中下轨迹(b)为基波两个偏振模的共振曲线,实验中通过旋转  $\lambda/2$  波片,改变入射光偏振方向,可判断中间峰值对应一个偏振模,而旁边两个峰值与另一偏振模对应。上轨迹(a)为与基波相应的谐波输出峰。此时,慢慢给晶体升温,由于晶体折射率随温度变化,共振峰的位置将随之移动,加之两个偏振模折射率的温度系数不一样,在某一温度下,若满足

$$\Delta = (n_1\theta_1 - n_1\theta_2) \cdot 2l = \frac{\lambda}{2} m, \quad (4)$$

将达到双模共振。式中  $l$  为单晶体长度,  $m$  为整数,  $\lambda$  为基波波长。双模共振时,倍频光输出激增。图 6 为与图 5 同样输入功率下基波双模共振时的共振曲线。下轨迹(b)为双模重合后的基波共振峰,上轨迹(a)为相应的谐波共振峰。与图 5 比较,可知双模共振时倍频波输出比单模起振时约高 30 倍。实测倍数略小于理论计算值(37)倍,两者差异可能来源于理论计算中对内腔损耗估计不足。共振出现后,若无控温系统,随着温度漂移,双模峰值将再次分离,而倍频输出也很快下降。

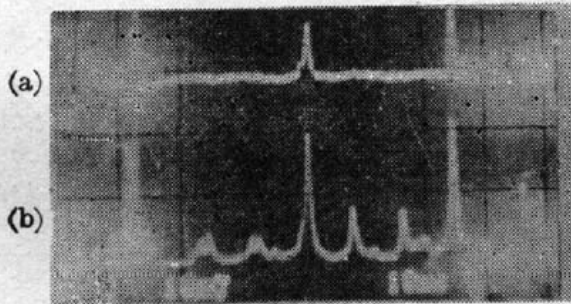


Fig. 5 The transmission peaks of  $0.53\mu\text{m}$  (a) and  $1.06\mu\text{m}$  (b) when single mode resonates

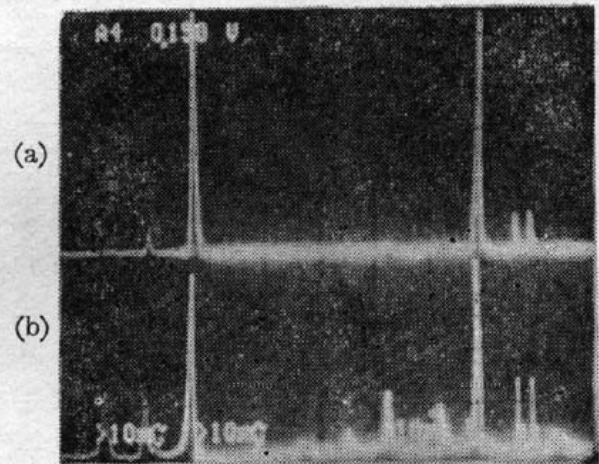


Fig. 6 The transmission peaks of  $0.53\mu\text{m}$  (a) and  $1.06\mu\text{m}$  (b) when double modes resonate

## 五、结 束 语

本文的工作从理论和实验两方面说明采用双 KTP 晶体按一定方式串接,进行内腔倍频并实现基波双模共振,可极大提高倍频效率。如果采用进一步的程差补偿措施,使二个基波偏振模与谐波模在腔内达到三模共振,可获得更大经典增益。此工作将在另文中讨论。

## 参 考 文 献

- [1] A. Ashkin et al.; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1966, **QE-2**, No. 6 (Jun), 109~123.  
 [2] G. D. Bogd et al.; *J. Appl. Phys.*, 1968, **39**, No. 8 (Aug), 3597~3640.

## Experimental investigation of frequency doubling in two KTP crystals (2) — frequency doubling in OPO

LIU JING, XIE CHANGDE, LIAN YIMIN, GAO JIANGRUI AND PENG KUNCHI  
(Institute of Opto-electronic Researches, Shanxi University, Taiyuan 0300096)

(Received 25 September 1990 revised 23 October 1990)

### Abstract

Two-mode resonance has been observed in an optical parametric oscillator (OPO) with two KTP crystals. The difference of optical path between two modes was compensated by temperature control for the crystals. The frequency doubling efficiency for two-mode resonance was about 30 times higher than single mode resonance. The experimental results are essentially in agreement with the theoretical analyses.

**Key words:** optical parametric oscillator, two-mode resonance

### 第四届全国光电技术与系统学术会议在合肥、黄山市召开

中国光学学会光电技术专业委员会委托中国科技大学和安徽省光学学会联合承办的第四届全国光电技术与系统学术会议于1991年5月13日~17日在合肥、黄山市召开。来自全国20个省、市的科研、高等院校和工矿企业的200多位代表出席了会议。会议特邀老一辈物理学家钱临照教授;香港中文大学也派代表参加了会议。会议由中国光学学会光技术与系统专业委员会副主任孙培懋主持,专业委员会主任张以谟致开幕词,东道单位领导致词。接着进行大会学术报告。863高技术光电组组长清华大学周炳琨教授作了“国内光电器件的最新进展”报告,强调了90年代光电技术的两个侧重:光通讯和光计算;天津大学教授张以谟作了题为“当前国际上计算科学新发展——光计算”,阐述了光计算的主要内容、近年来取得的进展和存在的困难,并强调指出光计算是电计算的补充而不是取代;中国科技大学包忠谋教授作了“合肥同步辐射装置及其应用”的介绍,强调同步辐射光的特点及其潜在可能应用,并欢迎全国各方面科研人员充分利用这台同步辐射装置,提计划来合肥做实验。

本届会议共收到稿件300余篇。论文内容涉及范围较宽,反映了我国近年来在光电技术的进展,它们包括光电检测技术和在线测量;光电图像测量、分析和混合处理;光电控制系统、光学装备自动化和智能化;新型光电、电光、声光、磁化器件及集成化;光纤技术及应用;激光技术和应用等方面。许多论文报告来自国家攻关项目,国家自然科学基金项目,国家重点实验室和博士、博士后的科研工作,到会代表普遍认为,论文质量较高,个别论文达到国际先进水平。

论文的学术交流由六个分会场同时进行。在会上宣讲交流了包括特邀报告在内约150多篇论文。这次会议特点是年轻的科研人员多,所以会场提问较多,学术交流、讨论的气氛活跃。会议期间组织参观了安装在中国科技大学内的国家同步辐射重点实验室。代表们对东道主的组织和安排表示满意。

会议之前中国光学学会光电技术专业委员会召开了专业委员会扩大会议,选出了新一届专业委员会委员60余人。天津大学张以谟教授连任主任委员。新一届专委会委员讨论和制订了近年的工作计划。

第五届光电技术与系统学术会议将拟于1994年在西南地区举行。

(黎 风)