

# 快速调谐光参量振荡器

张雨东 毛宏伟 谢发利 崔传鹏 蒋捷

(中国科学院福建物质结构研究所 福州 350002)

**提要** 介绍了一种新的光波长快速调谐光参量振荡器,通过快速改变泵浦光与光参量振荡器中非线性光学晶体的夹角,实现光参量振荡器的波长精确和快速调谐,并用 $\gamma$ -类 BBO 晶体完成了宽调谐演示实验。

**关键词** 快速调谐,泵浦光倾斜调谐,宽调谐,光参量振荡器

## 1 引 言

光参量振荡器(OPO)是目前世界上调谐范围最宽的一种固体激光器.因其结构紧凑,使用方便以及功率高,波长覆盖范围宽等诸多优点,已被广泛应用于各科研领域.已有的 OPO 主要采用晶体角度调谐和温度调谐两种方法,它们的波长改变的速度很慢,一般均在 1 Hz 以下.电压调谐的方法调谐速度很快,但因受已有材料性能限制,实现的调谐宽度很窄,要比角度调谐和温度调谐两种方法的 OPO 小几个数量级<sup>[1,2]</sup>.本文介绍了一种新的光波长快速调谐 OPO,在不使调谐宽度大幅度降低的前提下,实现 OPO 光波长快速调谐<sup>[3,4]</sup>.

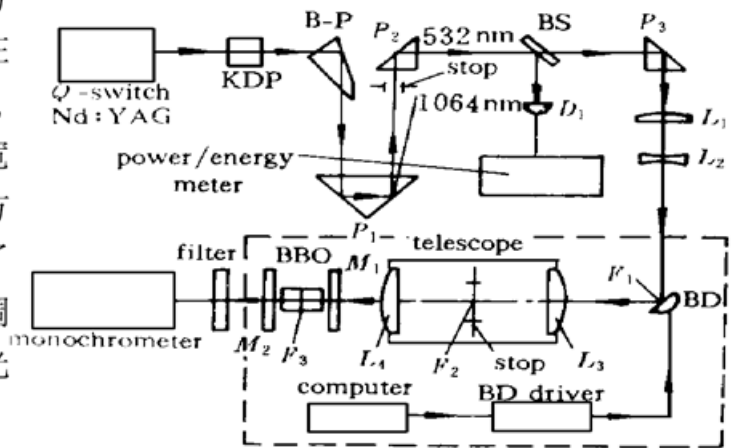


图 1 快速调谐光参量振荡器的原理图

B-P: 阿贝棱镜;  $P_1 \sim P_3$ : 直角棱镜; BS: 分束镜;  $D_1$ : 光电探测器;  $L_1 \sim L_4$ : 透镜; BD: 光束偏转器;  $M_1, M_2$ : OPO 腔镜

Fig. 1 Experimental setup of the fast tuning optical parametric oscillator

B-P: B-P dispersion prism;  $P_1 \sim P_3$ : prisms; BS: beam splitter;  $D_1$ : photoelectric-detector;  $L_1 \sim L_4$ : lenses; BD: beam deflector;  $M_1, M_2$ : cavity mirror of OPO

## 2 快速调谐原理

图 1 中虚线框是泵浦光束经过透射式望远镜和腔镜的快速调谐 OPO 结构示意图, OPO 的泵浦光束经光束偏转器 BD 后,进入由正透镜  $L_3$  和  $L_4$  组成的一个望远镜系统,经 OPO 的后腔镜  $M_1$ , 投射于非线性光学晶体上,  $M_2$  为 OPO 的输出腔镜;  $F_1$  和  $F_3$  为望远镜系统的一对共轭像点; 偏转器

BD 的转轴位于点  $F_1$  处; 非线性光学晶体的中心与点  $F_3$  重合; 这样用光束偏转器 BD 快速和精确地改变泵浦光偏转角度时, 在  $F_3$  点泵浦光就会以  $F_3$  为中心转动, 而没有横向位移, 从输出腔镜  $M_2$  输出的 OPO 光波长就可以实现快速和精确的调谐。本实验的 OPO 配置为非共线匹配, 光束偏转器 BD 使泵浦光束与 OPO 中非线性光学晶体光轴的夹角不同, 则 OPO 输出的相干光波长不同, 从而实现波长快速调谐。光束偏转器 BD 可以采用声光偏转器、电光偏转器<sup>[5-7]</sup>和压电陶瓷(PZT)振镜。

### 3 理论计算

显然这种快速调谐 OPO 是非共线匹配的, 根据动量守恒, 非共线 OPO 的三个波矢应满足关系

$$\Delta \vec{k} = \vec{K}_1 + \vec{K}_2 - \vec{K}_3 = 0 \quad (1a)$$

$$\begin{cases} K_1 \sin \theta_1 \cos \varphi_1 + K_2 \sin \theta_2 \cos \varphi_2 - K_3 \sin \theta_3 \cos \varphi_3 = 0 \\ K_1 \sin \theta_1 \sin \varphi_1 + K_2 \sin \theta_2 \sin \varphi_2 - K_3 \sin \theta_3 \sin \varphi_3 = 0 \\ K_1 \cos \theta_1 + K_2 \cos \theta_2 - K_3 \cos \theta_3 = 0 \end{cases} \quad (1b)$$

式(1a) 是矢量形式,  $\vec{K}_1, \vec{K}_2$  为信号波和闲置波的波矢,  $\vec{K}_3$  为泵浦光的波矢; 式(1b) 是标量形式,  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  为波矢  $K_1, K_2, K_3$  与非线性光学晶体光轴的夹角;  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  为波矢  $K_1, K_2, K_3$  与非线性光学晶体  $x$  轴的夹角。根据式(1b) 和非线性光学晶体的色散方程, 以及能量守恒  $\left[ \frac{1}{\lambda_3} = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} \right]$ , 便可计算 OPO 的调谐曲线。

以 BBO 晶体为例, 图 2 给出了快速调谐 OPO 位相匹配调谐计算曲线, 图中  $\theta_1$  为晶体的切割角,  $\theta_3$  为泵浦光与晶体光轴的夹角, 实线所示曲线是泵浦光为 532 nm, 二阶非线性光学晶体是切割角为  $\theta = 22.8^\circ$  的  $\bar{\Gamma}$  类 BBO 晶体时, OPO 输出光波长随泵浦光夹角变化的曲线; 虚线所示曲线是泵浦光为 354.7 nm, 非线性光学晶体是切割角为  $\theta = 28^\circ$  的  $\bar{\Gamma}$  类 BBO 晶体时, OPO 输出光波长随泵浦光夹角变化的曲线。

图 2 用 BBO 晶体的快速调谐 OPO 位相匹配调谐曲线

$\theta_1$  为晶体的切割角,  $\theta_3$  为泵浦光与晶体光轴的夹角

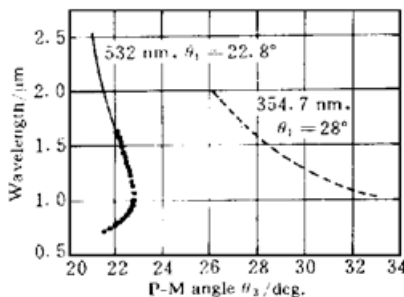


Fig. 2 The phase-matching curve of the fast tuning optical parametric oscillator

$\theta_1$  is the cutting angle of BBO crystal;  $\theta_3$  is the angle between the pumping beam and the BBO crystal axle. The solid line is the tuning phase-matching curve of Type  $\bar{\Gamma}$  BBO crystal with the cutting angle  $\theta_1 = 22.8^\circ$  at the pumping wavelength of 532 nm; the dashed line is the tuning phase-matching curve of Type  $\bar{\Gamma}$  BBO crystal with  $\theta_1 = 28^\circ$  cutting angle at the pumping wavelength of 354.7 nm; solid circles are the tunable phase-matching points

### 4 实验及结果

用 BBO 晶体进行了演示实验, 图 1 为实验原理图, 泵浦光源是美国光谱物理公司的 DCR-4 型 Nd·YAG 调 Q 激光器的倍频输出, 重复频率为 10 Hz, 波长为 532 nm, 脉宽为 10 ns; 倍频光先经一聚束望远镜压缩, 再经压电陶瓷(PZT)振镜(光束偏转器 BD), 再通过一倍率

为 1·1 的望远镜入射到 BBO 晶体, 切割角为  $\theta = 22.8^\circ$ , 尺寸为 5 mm × 7 mm × 11 mm, OPO 的腔长为 13 mm, 腔镜  $M_1$  对泵浦光透过率  $T > 90\%$ , 对振荡光  $R > 97\%$ , 腔镜  $M_2$  对振荡光  $R > 80\%$ 。以 BBO 晶体的简并点作为基准, 用 4 组腔镜覆盖了 750~ 1600 nm 波段进行了实验, 受激光器重复频率的限制, 最高调谐速度为 10 Hz。在图 1 所示的滤色镜后, 先置一狭缝, 再用一反射光栅将输出光反射至一白纸屏上, 启动 PZT 振镜, 这时可以看见白纸屏上的光斑被大大地展宽了。由于频率还不够高, 肉眼能看出光斑的跳动和闪耀。

我们逐点测量了匹配曲线, 表 1 给出了调谐匹配点计算和实验结果的比较, 图 2 中的圆实点为实验点, 由表 1 和图 2 可见, 实验与理论计算非常一致。图 3 给出了在输出光波长为 797 nm 处, 快速调谐 OPO(虚线) 和共线匹配 OPO(实线) 的斜效率曲线, 图中可见, 非共线匹配使快速调谐 OPO 的振荡阈值升高了 25%, 但斜率基本一样。

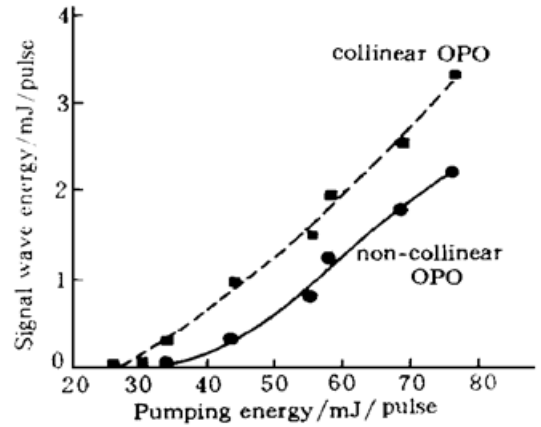


图 3 797 nm 处快速调谐 OPO(虚线) 和共线匹配 OPO(实线) 的斜效率曲线

Fig. 3 Solid squares are experimental points of slope efficiency of collinear OPO at 797 nm; solid circles are experimental points of slope efficiency of non-collinear OPO at 797 nm

表 1 快速调谐 OPO 调谐匹配点计算和实验结果的比较

Table 1 The comparison of calculated and experimental results concerning phase-matching curve of the fast tuning OPO

calculation results		experiment results	
wavelength $\lambda/\mu\text{m}$	tuning angle $\theta_3/\text{degree}$	wavelength $\lambda/\mu\text{m}$	tuning angle $\theta_3/\text{degree}$
0.77	22	0.76	21.84
		0.789	22.04
0.85	22.4	0.852	22.37
		0.866	22.44
0.88	22.5	0.882	22.5
		0.896	22.56
0.91	22.6	0.913	22.62
		0.954	22.7
0.95	22.7	0.972	22.74
		1.00	22.78
1.064	22.8	1.068	22.8
		1.132	22.78
1.2	22.7	1.166	22.74
		1.186	22.72
1.27	22.6	1.23	22.66
		1.276	22.59
1.34	22.5	1.32	22.53
		1.358	22.46
1.4	22.4	1.396	22.4

## 参 考 文 献

- 1 D. Lee, N. C. Wang. Stabilization and tuning of a doubly resonant optical parametric oscillator. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1993, **10**(9): 1659~ 1667
- 2 A. Nebel, C. Fallnich, R. Beigang *et al.*. Noncritically phase-matched continuous-wave mode-locked single resonant optical parametric oscillator synchronously pumped by a Ti:sapphire laser. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1993, **10**(11): 2195~ 2200
- 3 J. Falk, J. E. Murray. Single-cavity noncollinear optical parametric oscillation. *Appl. Phys. Lett.*, 1969, **14**(8): 245~ 247
- 4 Yudong Zhang, Hongwei Mao, Fali Xie. Fast tuning optical parametric oscillator. the Chinese invention patent, Application No. 96 1 22191.7
- 5 V. J. Fowler, J. Schlafer. A survey of laser beam deflection techniques. *Proc. IEEE*, 1966, **54**(10): 1437~ 1444
- 6 Y. Ninomiya. Ultrahigh resolving electrooptic prism array light deflectors. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1973, **QE-9**(8): 791~ 795
- 7 R. W. Dixon. Photoelastic properties of selected materials and their relevance for applications to acoustic light modulators and scanners. *J. Appl. Phys.*, 1967, **38**(11): 5149~ 5153

## A Fast Tuning Optical Parametric Oscillator

Zhang Yudong Mao Hongwei Xie Fali Cui Chuanpeng Jiang Jie

(Fujian Institute of Research on the Structure of Matter, The Chinese Academy of Sciences, Fuzhou 350002)

**Abstract** By tilting a pump beam quickly, a fast tuning optical parametric oscillator (OPO) was realized. The widely tunable spectral range of the OPO has been obtained by a piece of type I BBO crystal.

**Key words** fast tuning, pumping beam tilting tuning, wide tuning, OPO