

# 脉冲泵浦 KTP 单谐振光学参量振荡器

施翔春 吴峰 于意仲 姚建铨

(天津大学激光与光电子研究所, 天津 300072)

周定文

(天津大学精密仪器中心, 天津 300072)

**提要** 报道了电光调Q Nd:YAG 激光器的二次谐波泵浦的 KTP 单谐振光学参量振荡器的实验结果。实验获得了 1203~1399 nm 的单谐振参量光输出, 总能量转换效率最大为 36%。对参量光与 1064 nm 激光的和频进行了初步的实验, 获得了 568~592 nm 的可见光输出。

**关键词** KTiOPO<sub>4</sub> 晶体, 光学参量振荡, 光和频产生

## 1 引言

近年来, 随着高性能非线性光学材料的出现, 光学参量振荡器(OPO)的研究取得了很大进展。KTiOPO<sub>4</sub>(KTP)晶体作为 1064 nm 波长的倍频材料已显示出极大的优越性。KTP 晶体作为光学参量振荡器产生近红外波段可调谐相干光的实验也有报道<sup>[1]</sup>。本文报道的是 Nd:YAG 激光器二次谐波(532 nm)泵浦的单谐振光学参量振荡器的实验结果, 谐振波长的调谐范围为 1203~1399 nm。

## 2 实验装置

实验装置如图 1 所示, 电光调 Q 的 Nd:YAG 激光器采用平平腔结构, 高斯型变反射率输出耦合镜, 以获得较高的光束质量。经 KTP 晶体倍频产生 532 nm 波长的二次谐波, 脉宽约 15 ns, 经滤除基波后, 用一个  $f=2\text{ m}$  的透镜聚焦, 焦点位于 OPO 晶体中心, 光斑直径大小约 2 mm, OPO 所用 KTP 晶体尺寸为  $7.14\times 7.23\times 8.27\text{ (mm)}$ , 两通光端面镀 532 nm 增透膜。光学谐振腔采用平平腔, 两腔镜透过率曲线如图 2 所示, 输出镜对谐振光的透过率约 25%, 对泵浦光(532 nm)的透过率均大于 90%, 谐振腔长度为 40 mm。

KTP 为双轴晶体, 属  $mm2$  点群。其二阶极化

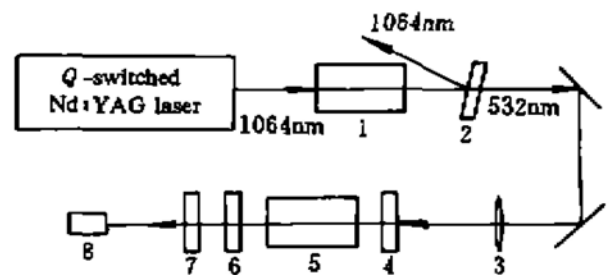


图 1 OPO 实验装置

1: 倍频晶体; 2: 滤光片; 3: 聚焦透镜; 4: 全反镜; 5: OPO 晶体; 6: 输出镜; 7: 滤光片; 8: 单色仪或能量计

Fig. 1 Schematic of the OPO experiment

1: SHG; 2: filter; 3: lens; 4: HR mirror; 5: KTP for OPO; 6: output coupler; 7: filter; 8: monochromator or energy meter

张量有 5 个非零矩阵元

$$d_{ijk} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & d_{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{24} & 0 & 0 \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$



图 2 OPO 谐振腔镜的透过率曲线  
Fig. 2 Transmissions of mirrors of the OPO resonator

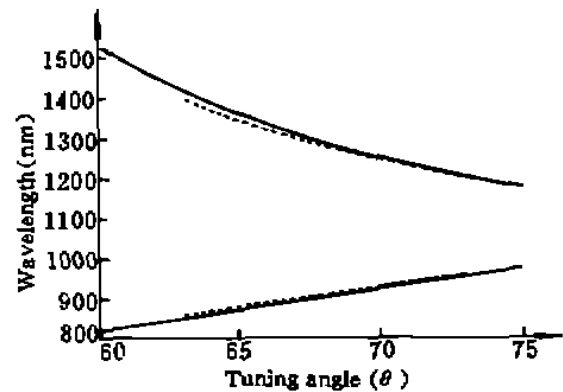


图 3 KTP 光参量振荡的调谐曲线, · 为实验结果  
Fig. 3 Tuning curve of OPO in KTP  
· is the result of experiment

光学参量过程需满足相位匹配条件

$$\frac{n_1}{\lambda_1} + \frac{n_2}{\lambda_2} = \frac{n_3}{\lambda_3} \quad (2)$$

其中  $\lambda_3$  为泵浦光,  $\lambda_1, \lambda_2$  分别为信号光和闲频光, 且满足  $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ 。双轴晶体相位匹配条件可以分为三种类型, 对于 KTP-OPO 通常采用 II(A) 类匹配<sup>[2]</sup>, 利用文献[3]中的方法, 及文献[4]给出的 KTP 色散方程, 通过计算得到调谐曲线如图 3 所示。我们把  $\phi = 0^\circ$  的固定平面称为参量振荡的调谐面, 改变  $\theta$  角, 实现参量光的调谐。在此调谐面上, 有最大的有效非线性系数

$$d_{\text{eff}} = d_{24} \sin \theta \quad (3)$$

实验中我们选取晶体的切割角度为  $\theta = 68.7^\circ, \phi = 0^\circ$ , 对应的参量光波长为  $\lambda_1 = 1275 \text{ nm}$  和  $\lambda_2 = 913 \text{ nm}$ 。

### 3 实验结果

我们测定了 OPO 的输出能量、转换效率及调谐曲线。如图 1 所示, 滤色片将 532 nm 泵浦光滤除, 以 NJ-J1 型激光能量计测量参量光输出能量, 并以同型号能量计测量泵浦光的大小得出转换效率。用 WDG500-1A 型光栅单色仪测量波长。

调节晶体相对于泵浦光的角, 并将其转换为晶体内与  $z$  轴的夹角  $\theta$ , 得到信号光波长调谐范围 1203~1399 nm, 相应的闲频光范围为 858~954 nm, 如图 3 所示, “·”为实测值, 可见与理论计算吻合得很好。

图 4 为泵浦光相对于晶体正入射时 ( $\lambda_1 = 1275 \text{ nm}$ ), 总能量转换效率(信号光加闲频光)与泵浦光能量的关系。泵浦阈值约  $4 \text{ mJ}$ , 最大转换效率为  $36\%$ 。从图中可以看出, 当泵浦能量超过 5 倍阈值时, 转换效率趋于饱和。另外, 我们还分别采用透过率为  $5\%$  和  $12\%$  的输出耦合镜进行了实验, 泵浦阈值为  $2.2 \text{ mJ}$  和  $3.0 \text{ mJ}$ , 最大转换效率为  $24\%$  和  $29\%$ 。因此我们有理由相信, 如果采用透过率更高的输出耦合镜, 在继续提高泵浦能量的条件下(以不超过晶体及膜片的破坏阈值为限), 有可能进一步提高转换效率。而我们在镀膜时对谐振腔镜在闲频光波段的反射率未加以控制, 在  $900 \text{ nm}$  附近, 全反镜的反射率约  $20\%$ , 输出镜约  $10\%$ , 这样仍有一部分闲频光在腔内振荡, 会形成泵浦光的“反射”(即参量光向泵浦光的转化), 这也是造成转换效率饱和的原因之一。因而在镀膜时应尽量减小腔镜对闲频光的反射率以抑制泵浦光“反射”效应。实验正在进行之中。

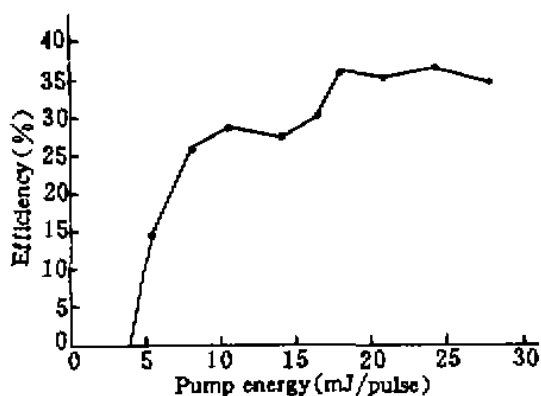


图 4 能量转换效率与泵浦强度的关系

Fig. 4 Energy conversion efficiency vs. pump energy

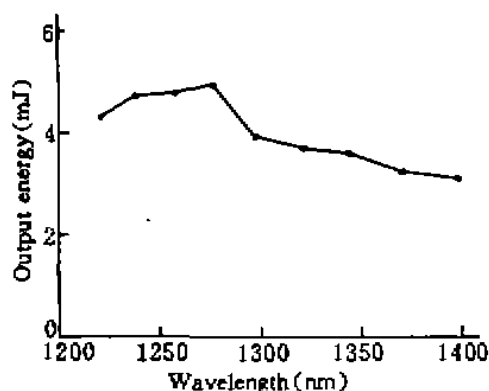


图 5 调谐到不同波长处的能量转换效率

Fig. 5 Energy conversion efficiency at different wavelengths

我们在泵浦能量为  $16 \text{ mJ}$  时, 测量了调谐过程中参量光的能量变化, 如图 5 所示。从图中可以看出, 正入射时 ( $\lambda_1 = 1275 \text{ nm}$  附近) 参量光输出能量最大, 晶体调谐时输出能量下降, 其原因文献[5]中有所分析。但对于本文的单谐振情况与该文献中的双谐振相比, 调谐时输出能量变化的幅度小得多。究其原因, 我们认为, 单谐振时腔内只有信号光振荡, 晶体倾斜放置造成的参量光与泵浦光波矢的偏离较小, 因而效率下降得不多; 而双谐振情况下, 信号光和闲频光同时在腔内振荡, II 类匹配时, 二者的折射率相差较大, 它们及泵浦光三者之间产生的偏离也较大, 因此效率下降得很多。

另外, 我们还用一块  $\theta = 80^\circ, \phi = 0^\circ$  切割的 KTP 晶体进行了删除参量光与  $1064 \text{ nm}$  激光的腔内和腔外和频实验, 装置如图 6 所示。图 6(a) 为腔外和频, 在图 1 装置的基础上, 去掉  $1064 \text{ nm}$  滤波片, 使  $1064 \text{ nm}$  激光透过(OPO 腔片对  $1064 \text{ nm}$  光的透过率均大于  $80\%$ ), 与参量光在和频晶体中相互作用, 得到了  $580 \text{ nm}$  附近的可调谐和频输出。图 6(b) 为腔内和频, OPO 晶体和和频晶体置于同一个谐振腔内, 两腔镜均对 OPO 信号光全反射, 而对  $580 \text{ nm}$  附近的和频光高透 ( $T > 80\%$ ), 腔内振荡的信号光向和频光转化的部分相当于输出耦合。由于腔内信号光的光功率密度远大于腔外, 且信号光在腔内的每次振荡均有和频作用, 因此和频效率应大大提高。初步实验结果, 腔内和频的能量转换效率 ( $E_{580}/E_{532}$ ) 约  $5.6\%$ , 与腔外和频相比, 效率提高近一个数量级, 调谐范围  $568 \sim 592 \text{ nm}$ 。详细的理论分析及进一步的实验正在进行之中。

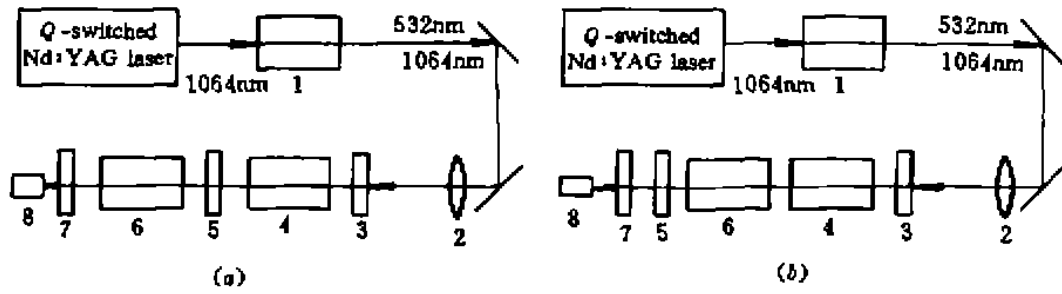


图 6 OPO 及和频的实验装置

(a) 为腔外和频, (b) 为腔内和频。1, 倍频晶体; 2, 聚焦透镜; 3, 全反镜; 4, 用于 OPO 的 KTP 晶体; 5, 输出镜; 6, 用于和频的 KTP 晶体; 7, 滤光片; 8, 能量计

Fig. 6 Schematic of the OPO and SFG experiments

(a) is extra-cavity SFG; (b) is intra-cavity SFG. 1; SHG; 2; lens; 3; HR mirror; 4; KTP for OPO; 5; output coupler; 6; KTP for SFG; 7; filter; 8; energy meter

致谢 济南半导体厂翟 宁同志提供了优质的 KTP 晶体, 中国科学院安徽光机所程时亮同志为本实验镀制了光学膜片, 作者在此向他们表示衷心的感谢。

### 参 考 文 献

- 1 许祖彦. 光参量激光器——可调谐激光的进展. 中国激光, 1994, A21(5): 329~333
- 2 姚建铨. 非线性频率变换及激光调谐技术. 北京: 科学出版社, 1995, 190~193
- 3 姚建铨. 非线性频率变换及激光调谐技术. 北京: 科学出版社, 1995, 32~43
- 4 Tao Yee Fan, C. E. Huang, B. Q. Hu *et al.*. Second harmonic generation and accurate index of refraction measurements in flux-grown  $\text{KTiOPO}_4$ . *Appl. Opt.*, 1987, 26(12): 2390
- 5 谢发利, 范琦康, 蒋德华等. 双轴晶体 KTP 光参量振荡器. 中国激光, 1990, 17(5): 266~268

## KTP Singly Resonant Optical Parametric Oscillator Pumped by a Pulsed Laser

Shi Xiangchun Wu Feng Yu Yizhong Yao Jianquan

(Institute of Laser and Optoelectronics, Tianjin University, Tianjin 300072)

Zhou Dingwen

(Centre of Precision Instrument, Tianjin University, Tianjin 300072)

**Abstract** Experimental results of KTP OPO pumped by the second harmonic of a Q-switched Nd:YAG laser are reported, output in the range of 1203~1399 nm of SRO is obtained experimentally, and the maximum energy conversion efficiency is 36%. The sum frequency generation of the parametric light and the 1064 nm is studied experimentally, and a visible output in the range of 568~592 nm is obtained.

**Key words** KTP, OPO, SFG