

## KTP 单共振光学参量振荡器\*

范琦康 谢发利 叶建华  
(浙江大学光仪系 310027)

蒋德华 于正刚 马长勤  
(山东大学化学系, 250100)

**提要:** 本文报道 Nd:YAG 激光器的二次谐波泵浦的 KTP 光学参量振荡器的实验结果。实验获得了 1.46~1.78  $\mu\text{m}$  的单共振参量振荡输出。最高输出能量达 15 mJ/脉冲, 最高量子转换效率为 14%。

**关键词:** KTP, 光学参量振荡器

### KTP singly resonant optical parametric oscillator

*Fan Qikang, Xie Fali, Ye Jianhua*

(Department of Optical Instrument Engineering, Zhejiang University, Hangzhou)

*Jiang Dehua, Yu Zhenggang, Ma Changqin*

(Department of Chemistry, Shandong University, Jinan)

**Abstract:** Experimental results of KTP OPO pumped by the second harmonic of a Nd:YAG laser are reported, output in the range of 1.46~1.78  $\mu\text{m}$  of SRO is obtained experimentally, and the maximum output energy is 15 mJ/pulse, the maximum quantum conversion efficiency is 14%.

**Key words:** KTP, OPO

## 一、引 言

KTP 晶体的透明波段为 0.35~4.5  $\mu\text{m}$ <sup>[1]</sup>, 有效非线性系数较高, 物化性能稳定, 容易抛光及镀膜, 且光损伤阈值也较高(大于 400 MW/cm<sup>2</sup>)<sup>[2]</sup>. 因此 KTP 晶体是一种适合于做光学参量振荡器的非线性材料。在此以前我们已报道了 0.532  $\mu\text{m}$  泵浦的双共振光学参量振荡器的实验结果<sup>[3]</sup>, 输出波长在简并点(1.064  $\mu\text{m}$ )附近: 0.95~1.25  $\mu\text{m}$ 。本文报道的是 0.532  $\mu\text{m}$  泵浦的单共振光学参量振荡器之实验结果。共振波长的调谐范围为 1.46~1.78  $\mu\text{m}$ 。

## 二、实验考虑

KTP 晶体属 mm2 点群, 有 5 个非零非线性系数, 其数值分别为<sup>[1]</sup>:  $d_{31} = 6.5 \times 10^{-12} \text{m/V}$ ,  $d_{32} = 5.0 \times 10^{-12} \text{m/V}$ ,  $d_{33} = 13.7 \times 10^{-12} \text{m/V}$ ,  $d_{24} = 7.6 \times 10^{-12} \text{m/V}$ ,  $d_{15} = 6.1 \times 10^{-12} \text{m/V}$ 。

收稿日期: 1990年1月19日。

\* 本课题为国家自然科学基金资助项目。

光学参量振荡器的相位匹配条件为:  $k_1 + k_2 = k_3$ 。对于双轴晶体其相位匹配条件可以分为三种类型, 相应的匹配条件可写成:

$$\begin{aligned} \text{I 型:} \quad & n_1^{e1}/\lambda_1 + n_2^{e2}/\lambda_2 = n_3^{e2}/\lambda_3 \\ \text{II(A) 型:} \quad & n_1^{e2}/\lambda_1 + n_2^{e1}/\lambda_2 = n_3^{e2}/\lambda_3 \\ \text{II(B) 型:} \quad & n_1^{e1}/\lambda_1 + n_2^{e2}/\lambda_2 = n_3^{e2}/\lambda_3 \end{aligned} \quad (1)$$

这里  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  为光学参量振荡器的两个输出波长,  $\lambda_3$  为泵浦光波长。其中  $\lambda_1 \geq \lambda_2 > \lambda_3$ 。 $e1$  和  $e2$  分别表示慢光(高折射率)和快光(低折射率)。

等式(1)中折射率  $n_j$  的值与光传播方向  $\theta$ 、 $\phi$  的关系由 Fresnel 方程确定:

$$\frac{\sin^2 \theta \cos^2 \phi}{n_j^{-2} - n_x^{-2}} + \frac{\sin^2 \theta \sin^2 \phi}{n_j^{-2} - n_y^{-2}} + \frac{\cos^2 \theta}{n_j^{-2} - n_z^{-2}} = 0 \quad (j=1, 2, 3) \quad (2)$$

上式中的三个主折射率  $n_x, n_y, n_z$  的 Sellmeier 色散方程为<sup>[4]</sup>:

$$n_i^2 = A_i + B_i / (1 - C_i \lambda^{-2}) + D_i \lambda^2 \quad (i=x, y, z) \quad (3)$$

这里  $\lambda$  为波长, 单位为  $\mu\text{m}$ , 系数  $A_i, B_i, C_i, D_i$  见表 1。

据等式(1)~(3), 我们用计算机以数值求解的方法计算了 KTP 晶体不同相位匹配类型的调谐曲线  $\theta(\phi)$  及有效非线性系数。计算结果表明 I 型相位匹配的有效非线性系数  $d_{\text{eff}}$  比 II 型相位匹配时小得多。对于 I 型相位匹配,  $\lambda_1$  在  $1.46 \sim 1.78 \mu\text{m}$  波长范围内,  $|d_{\text{eff}}| \sim 0.5 \text{ m/V}$ ; 对于 II(B)型相位匹配, 在此波长范围内  $|d_{\text{eff}}| \approx 6.1 \text{ m/V}$ 。对于 II(A)型相位匹配过程, 可匹配的波长范围较窄。只在简并点附近  $0.96 \sim 1.2 \mu\text{m}$  波长范围内可达到相位匹配。超出此波长范围就达不到相位匹配条件。因此在实验中我们选择了 II(A)型相位匹配方式。KTP II(A)型相位匹配方式在两对波长上的匹配曲线  $\theta(\phi)$  示于图 1(泵浦光波长为  $0.532 \mu\text{m}$ )。图 1 还画出了 II 型匹配, 在简并点的匹配曲线以及 II(B)型匹配方式在  $(1.2 \mu\text{m}, 0.76 \mu\text{m})$  这一对波长的匹配曲线。由此曲线可见匹配角度范围已很小。实际上, 当  $\lambda_1 > 1.21 \mu\text{m}$  时 II(B)型已不能匹配。据双轴晶体有效非线性系数的计算公式<sup>[5]</sup>, 可以求得相位匹配曲线上的最佳点(即  $d_{\text{eff}}$  最大值的点)。 $\lambda_1$  在  $1.46 \sim 1.78 \mu\text{m}$  范围内, 最佳点在  $\phi = 0^\circ$  附近。与此相应的调谐范围的中心波长( $1.6 \mu\text{m}$ )之匹配角为  $\theta = 58^\circ$ 。故实验所用 KTP 晶体的切割角为  $\theta = 58^\circ, \phi = 0^\circ$ 。

表 1

	A	B	C	D
$n_x$	2.16747	0.83733	0.04611	0.01713
$n_y$	2.19229	0.83547	0.04970	0.01621
$n_z$	2.25411	1.06543	0.05486	0.02140

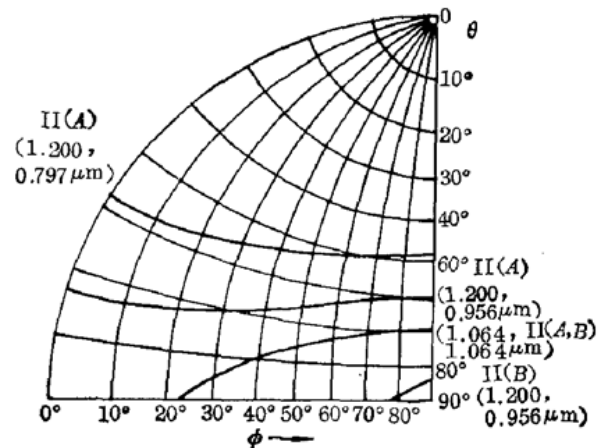


图 1 KTP 光学参量振荡器不同输出波长时的匹配曲线

### 三、实验装置及结果

实验装置如图 2 所示, Nd:YAG 激光器的输出用 BBO 晶体倍频产生  $0.532\ \mu\text{m}$  波长的二次谐波, 其脉宽约为  $15\ \text{ns}$ 。BBO 倍频器的输出经阿贝棱镜分光后, 用一倒置的望远镜系统将二次谐波的光斑直径缩小到  $\phi 3\ \text{mm}$  左右。光学参量振荡器所用 KTP 晶体的长度为  $7.5\ \text{mm}$ 。晶体两通光端面未镀膜。光学谐振腔的两块反射镜, 其中一块对信号光( $1.46\sim 1.78\ \mu\text{m}$ )是全反射的, 另一块对信号光的反射率约为  $90\%$ 。这两块反射镜对空闲光( $0.84\sim 0.76\ \mu\text{m}$ )的反射率小于  $2\%$ , 对泵浦光( $0.532\ \mu\text{m}$ )的透射率约为  $85\%$ 。光学谐振腔的腔长为  $25\ \text{mm}$ 。光学参量振荡器采用角度调谐方法。光学参量振荡器的调谐曲线如图 3 所示。图上的纵坐标为晶体的旋转角  $\Delta\theta$ , 横坐标为参量振荡器的输出波长。图上的曲线是根据等式(1)~(3)计算得到的, 圆点为实验测到的。右边一系列点和左边一系列点分别为输出的信号光与空闲光。从图 3 可以看出实验与理论计算结果吻合得相当好。参量振荡器的输出波长是由一光栅单色仪测量的, 读数精度为  $0.2\ \text{nm}$ 。

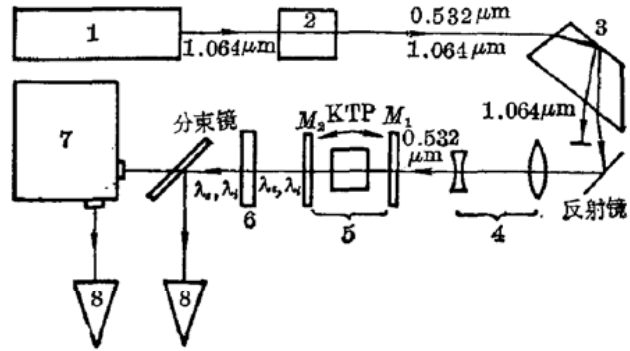


图 2 KTP 光学参量振荡器的实验装置示意图  
 1—Nd:YAG 激光器; 2—BBO 倍频器; 3—阿贝棱镜,  
 4—望远镜系统; 5—光学参量振荡器; 6—滤光片;  
 7—光栅单色仪; 8—激光能量计

实验测定了光学参量振荡器输出能量与泵浦输入泵浦能量之间的关系。最高输出能量 [两个波长( $1.6\ \mu\text{m}$  和  $0.8\ \mu\text{m}$ )输出能量之和] 为  $15\ \text{mJ}$  (相应地  $0.8\ \mu\text{m}$  为  $10\ \text{mJ}$ ,  $1.6\ \mu\text{m}$  为  $5\ \text{mJ}$ )。图 4 为实验测得的光学参量振荡器的量子转换效率  $\eta$  与泵浦输入能量  $E_i$  之间的关系。最高量子转换效率为  $14\%$ 。光学参量振荡器的泵浦阈值能量约为  $36\ \text{mJ}$ 。

我们还用间隔为  $2\ \text{mm}$  的 F-P 标准具测定了泵浦光及信号光的线宽, 它们分别为  $0.022\ \text{nm}$  及  $0.028\ \text{nm}$ 。

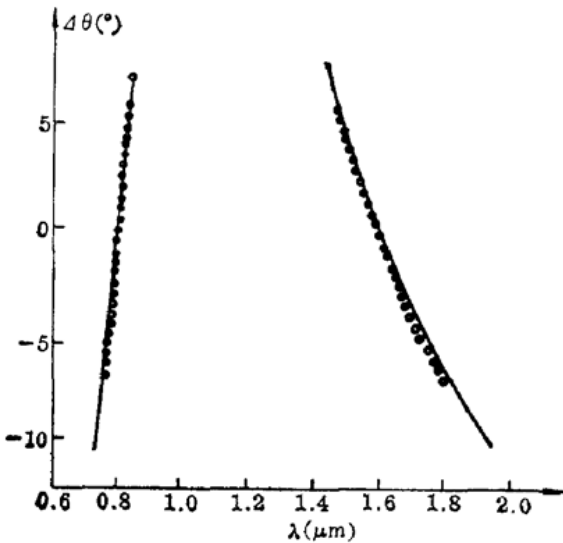


图 3 KTP 光学参量振荡器的角调谐曲线

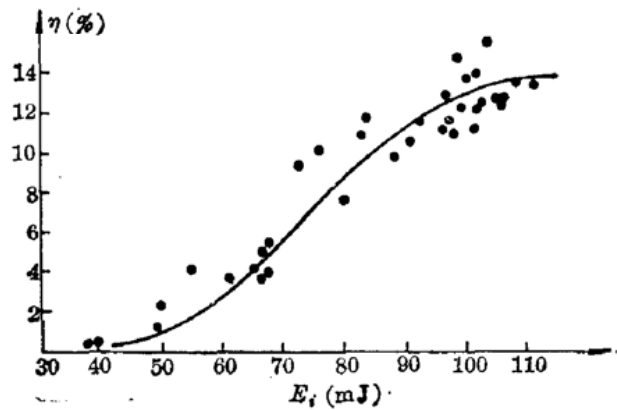


图 4 KTP 光学参量振荡器的转换效率与输入泵浦能量的关系

(下转第606页)

## 四、结 论

用 441.56 nm He-Od<sup>+</sup> 激光激发 <sup>39</sup>K<sub>2</sub> 分子可以获得  $O^1\Pi_u-X^1\Sigma_g^+$  跃迁的碰撞诱导光谱。用现有分子常数和跃迁选择定则能满意地解释实验得到的碰撞诱导伴线。碰撞诱导伴线和 LIF 光谱主线的强度比  $\rho$  与缓冲气体压强和热管炉温度有显著依赖关系。用碰撞效应和荧光受激放大可以解释上述变化。通过上述研究可以获得 <sup>39</sup>K<sub>2</sub> 分子  $O^1\Pi_u$  态的能级结构及跃迁动力学、非弹性碰撞反应方面的信息。

感谢楼立人、郭常新两位副教授对本文实验的支持。

## 参 考 文 献

- 1 W. D. Emmerich, Laser Spectroscopy (by Springer-Vorlag Berlin Heidelberg 1981)p. 592, 596, 595
- 2 K. H. Meiwes, F. Engelke, Chem. Phys. Lett., **85**, 409(1982)
- 3 S. Milosévić *et al.*, J. Phys. B: At. Mol. Phys., **20**, 2231(1987)
- 4 张立敏 *et al.*, 化学物理, **2**, 209(1989)
- 5 M. Lapp, L. P. Harris, J. Quant. Spectry. Radiative Transfer **6**, 169(1966)
- 6 F. W. Loomis, R. E. Nushbaum, Phys. Rev., **39**, 89(1932)
- 7 E. W. Robertson, R. F. Barrow, Proc. Chem. Soc., 329(1961)
- 8 A. J. Ross *et al.*, J. Phys. B: At. Mol. Phys., **19**, L145(1986)
- 9 T. A. Brunner *et al.*, J. Chem. Phys., **70**, 4155(1979)
- 10 固体激光导论编写组, 固体激光导论(上海人民出版社), 1974, p. 170
- 11 陈仁烈, 统计物理引论(修正本), (高等教育出版社, 1978), p. 43
- 12 G. Herzberg, Spectra of Diatomic Molecules, D. Van Nostrand, 3rd Printing, 1953

~~~~~  
(上接第614页)

本项研究工作中得到青岛化工学院谭忠恪教授不少帮助与启示; 在计算最佳有效非线性系数时交通大学谢绳武教授无偿地提供了计算磁盘, 作者在此表示感谢。

## 参 考 文 献

- 1 F. C. Zumsteg, J. D. Bierlein, T. E. Gier, J. Appl. Phys., **47**, 4980(1976)
- 2 A. L. Aleksandrovskii, *et al.*, Sov. J. Quant. Electr., **15**, 885(1985)
- 3 谢发利, 范琦康 *et al.*, 中国激光, **17**(5), 265(1990)
- 4 T. Y. Fan *et al.*, Appl. Opt., **26**, 2390(1987)