

双轴晶体 KTP 光参量振荡器*

谢发利 范琦康
(浙江大学光仪系)

蒋德华 于正刚 马长勤
(山东大学化学系)

提要: 本文给出了角度调谐 KTP 光参量振荡器(OPO)的实验结果。采用调 Q Nd:YAG 激光器的二次谐波($0.532\ \mu\text{m}$)作为 OPO 的泵浦源。测到的最大输出能量为 19.5mJ, 相应的能量转换效率大于 19%。调谐范围为 $0.96\sim 1.2\ \mu\text{m}$ 。

关键词: KTP, OPO

Biaxial crystal KTP optical parametric oscillator

Xie Fali, Fan Qikang

(Optical Engineering Department, Zhejiang University, Hangzhou)

Jiang Dehua, Yu Zhenggang, Ma Changqin

(Chemical Department, Shandong University, Jinan)

Abstract: Experimental results of an angle-tuned KTP optical parametric oscillator (OPO) pumped by the second harmonic of a Q-switched Nd:YAG laser are presented. The output energies greater than 19.5mJ/pulse have been obtained with an energy conversion efficiency of 19% and the observed tuning range was $0.96\sim 1.2\ \mu\text{m}$.

Key words: KTP, OPO

一、引言

自从 1962 年 Kingston^[1]、Kroll^[2] 等人提出光参量振荡器的设想以来,大量的文章报道了单轴晶体的光参量振荡器的研究成果^[3~5]。本文报道的是双轴晶体 KTP 光参量振荡器。KTP 晶体属 $mm2$ 晶类。它的有效非线性系数和光损伤阈值都比 LiNbO_3 高。KTP 晶体作为 $1.06\ \mu\text{m}$ 波长的倍频材料已显示其独特的优越性。然而, KTP 晶体作光参量振荡器的研究还很少。我们的初步研究结果表明 KTP 晶体作光学参量振荡器的非线性材料是很有前途的。

二、实验装置

1. 泵浦源: 整个实验装置的原理框图示于图 1。泵浦源为调 Q Nd:YAG 激光器输出的二次谐波($0.532\ \mu\text{m}$), 脉冲宽度约为 16 ns, 如图 2 所示。重复率为 $1\sim 10$ pps。采用 I 型相位

收稿日期: 1988 年 11 月 28 日。

* 本课题为浙江大学校科研基金资助项目。

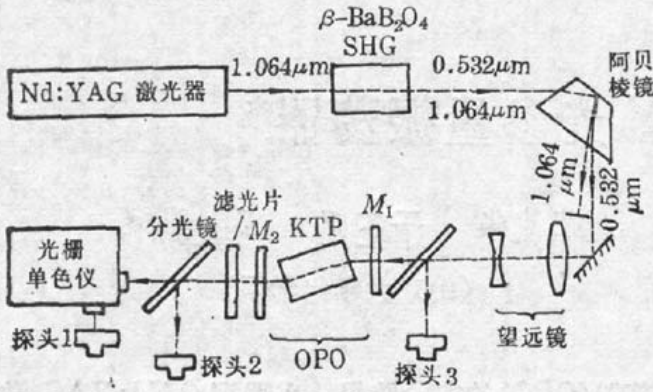


图1 KTP OPO 实验装置框图, M_1 、 M_2 分别为 OPO 腔输入和输出镜

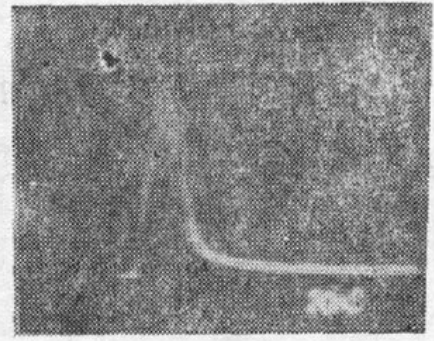


图2 泵浦光脉冲波形

匹配的 β -BaB₂O₄ 晶体为二次谐波发生器。二次谐波的能量转换效率约为 40%。倍频器的输出经阿贝棱镜分光后去除基波(1.064 μm)。其二次谐波(0.532 μm)通过望远镜后 光束直径为 $\phi 3$ mm。

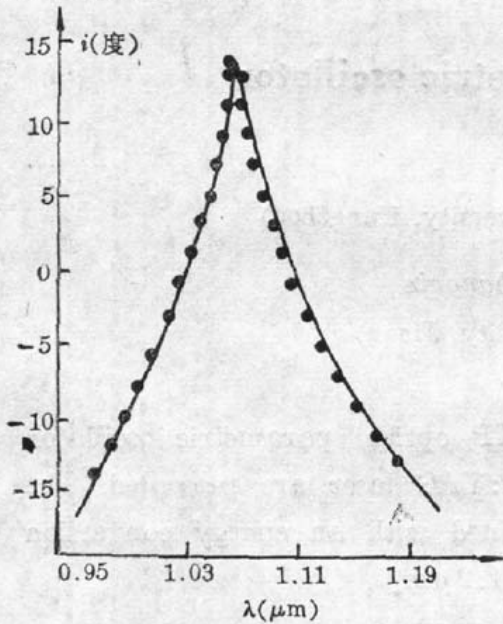


图3 调谐曲线

2. 光参量振荡器: 光参量振荡器的谐振腔为平行平面腔。谐振腔两反射镜对泵浦光的透过率大于 90%; 对振荡波长的反射率分别为 95% 和 60~70%, 构成双共振光参量振荡器(DRO)。

KTP 为双轴晶体, 文献[6]和[7]给出了相位匹配角及有效非线性系数的计算方法。本文利用文献[8]给出的 KTP Sellmeier 色散关系编程计算了调谐曲线及有效非线性系数。计算中选取 $\varphi = 26^\circ$ 固定不变, 得到的角调谐曲线($\theta_i \sim \lambda$ 关系)如图 3 所示。计算得到的有效非线性系数为: $6.85 \sim 7.45 \times 10^{-12}$ m/V。

实验所用晶体的切割角为: $\theta = 79^\circ$, $\varphi = 26^\circ$ 。晶体厚度为 7.5 mm, 截面为 8×8 mm²。两通光面抛光成平行平面。晶体固定在一个特制的调节架上, 可作两维调节, 读数精度为 5'。

三、实验结果

我们测定了能量、能量转换效率、调谐曲线及输出光波形, 如图 1 所示。滤色片把 0.532 μm 的泵浦光滤除, 在滤色片后, 我们用 LPE-1A 能量计测量参量光输出能量, 同时, 用同种型号的能量计监测泵浦光的大小, 由此得到了参量光的能量转换效率。调谐曲线是用 WDG 30 光栅单色仪测定的。输出波形是用 Ge-APD 光电雪崩二极管和快速示波器来进行观测的。

3.1 调谐曲线和输出波形

在室温下, 我们测定了光参量振荡器输出波长的调谐曲线。当调节晶体的入射角 θ_i , 得到波长调谐范围为 0.96~1.2 μm, 如图 3 所示; 实验测量值与理论计算很好地吻合。

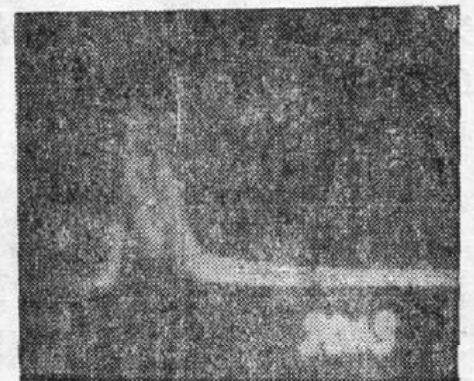


图4 参量光脉冲波形

我们用光电雪崩二极管及快速示波器观测到光参量振荡器的输出参量光波形,如图 4 所示,参量光输出脉宽约 13 ns,比泵浦脉宽稍窄。

3.2 输出能量和转换效率

在泵浦单脉冲能量不变时,我们测量了在调谐范围内的不同入射角的能量关系,如图 5 所示。 θ_i 为晶体的入射角 纵坐标为参量光输出能量。在近似正入射的情况下(相当 $\theta = 79^\circ$, $\varphi = 26^\circ$ 时),参量光输出最大,约为 19.5 mJ/脉冲。

从图 5 可以看出,在调谐过程中输出参量光能量有较大的变化,在正入射附近出现极大值, θ_i 大于零的转换效率比 θ_i 小于零的大。主要原因是:1) 正入射时,晶体表面的反射没有与腔镜反射光束重合,并加入参量振荡过程,随着泵浦光束入射角的增大,晶体表面反射增大,且偏出腔之外,使效率下降;2) 在正入射时,OPO 腔内及晶体中三个波矢始终是共线的;随着晶体的角度调谐,在晶体三波仍可满足共线匹配要求,但当光束偏出腔后,根据折射定律,三波不再共线。况且,随着入射角的增大,腔内各波矢之间的夹角也增大,参量光波长在谐振腔中将偏离腔的轴线方向,使腔的几何损耗增大,导致效率下降;3) 腔镜膜的反射率直接对转换效率产生影响,图 6 为入射腔镜和出射腔镜在调谐波段的反射率曲线。当波长小于 $1.0 \mu\text{m}$ 时,入射腔镜反射率迅速下降,因此,腔镜对 $0.96 \sim 1.0 \mu\text{m}$ 波段的共振作用很弱,只有与之对应的 $1.1 \sim 1.2 \mu\text{m}$ 波段的参量光单共振运行。由于单共振阈值高,且空闲波主要从入射镜输出,所以由出射镜输出的参量光效率较低,这就是 θ_i 小于零的转换效率比 θ_i 大于零的转换效率高的原因;4) 随着单共振波长从 $1.1 \mu\text{m}$ 向 $1.2 \mu\text{m}$ 调谐,输入、出射镜反射的不断下降 使腔的损耗不断增大,故效率不断降低。

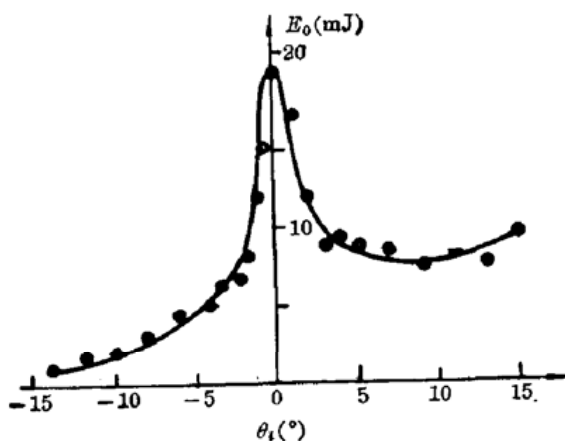


图 5 调谐范围内的能量关系
(泵浦单脉冲能量为 102mJ)

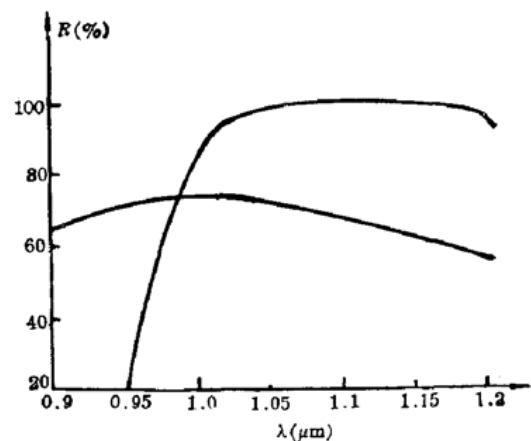


图 6 腔镜的反射率曲线

我们在正入射情况下测量了泵浦光能量与转换效率的关系,如图 7 所示。获得的最大能量转换效率约为 19%,泵浦能量阈值约为 25 mJ/脉冲,由于腔镜膜损伤阈值的限制,没有测量大于 100 mJ/脉冲的那部分转换效率。

在相同的实验条件下,我们还测量单轴晶体 BBO 的泵浦能量与转换效率的关系。如图 8 所示,得到的最大能量转换效率约为 8.1%,泵浦能量阈值约为 47 mJ/脉冲。

由上述可见,KTP 晶体是一种较好的 OPO 晶体,可望获得较高的效率及输出能量。KTP 晶体的有效非线性系数比 BBO 晶体大,因此 KTP DRO 泵浦阈值比 BBO DRO 小,从已获得

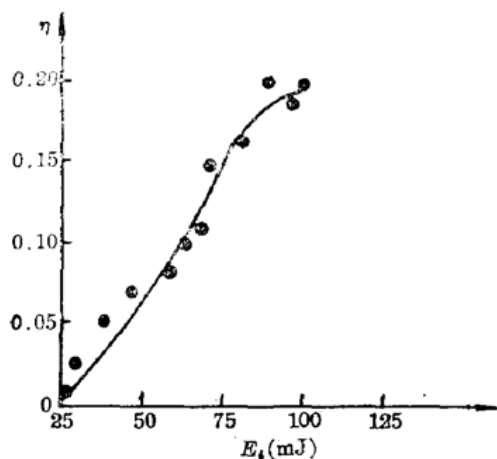


图7 泵浦能量与能量转换效率的关系

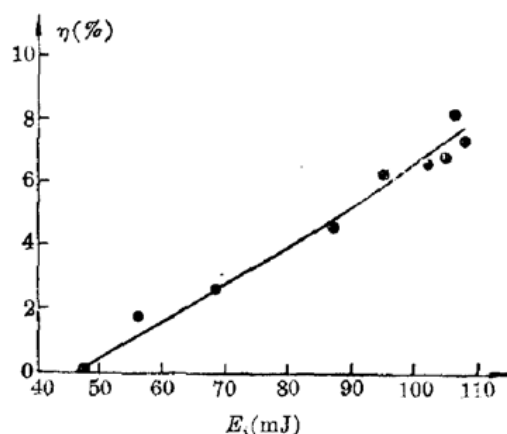


图8 BBO DRO 泵浦能量与转换效率的关系

的结果表明,可望在低泵浦能量状态,获得比 BBO 晶体更高的转换效率。本实验调谐范围主要受 OPO 谐振腔反射镜膜带宽的限制。进一步实验包括其它波段单共振参量振荡的实验正在进行。

作者感谢上海交大谢绳武先生为我们提供双轴晶体 OPO 计算程序;感谢山东大学谭忠恪老师的热情帮助和有益的建议;感谢金林法、杜世高同志为实验提供谐振腔膜片;感谢本组的吴碧珍、邱文法、尤晨华等先生的协助。

参 考 文 献

- 1 R. H. Kingston, *Proc. IRE.*, **50**, 50(1962)
- 2 N. M. Krall, *Phys. Rev.*, **127**, 1207(1962)
- 3 R. L. Herbst *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **25**, 520(1974)
- 4 M. J. Rosker *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-21**, 1600(1985)
- 5 X. Y. Fan *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, (1988)
- 6 H. Ito *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **46**, 3992(1975)
- 7 谢绳武 *et al.*, *光学学报*, **3**(8), 697(1983)
- 8 Tso Yee Fan *et al.*, *Appl. Opt.*, **26**, 2390(1987)