

文章编号: 0258-7025(2002)11-0969-03

# 种籽光注入非谐振 KTP 光参量振荡器

王 骐, 姚宝权, 王月珠

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 可调谐激光国家级重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**提要** 采用 Nd:YAG 激光倍频后剩余的  $1.064 \mu\text{m}$  基频光抽运非临界相位匹配 KTP 光参量振荡器(OPO), 产生的  $1.57 \mu\text{m}$  激光作为种籽光注入到 Nd:YAG 532 nm 倍频激光抽运的非谐振双晶体走离补偿的 KTP OPO 谐振腔中, 使得 OPO 阈值降低 30%, 能量转换效率提高 5%。

**关键词** 光参量振荡器, 非谐振腔型, KTP, 种籽光注入

中图分类号 TH 741 文献标识码 A

## Non-resonant KTP Optical Parametric Oscillator with Injection Seeding

WANG Qi, YAO Bao-quan, WANG Yue-zhu

(National Key Laboratory of Tunable Laser Technology,  
Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001)

**Abstract** The  $1.57 \mu\text{m}$  signal light produced by non-critically phase-matched KTP optical parametric oscillator(OPO) pumped by the depleted  $1.064 \mu\text{m}$  Nd:YAG laser after frequency-doubled conversion is injection-seeded into another non-resonant KTP OPO pumped at 532 nm with dual-crystal walk-off compensating configuration. The threshold of non-resonant OPO is reduced by 30%, and energy conversion efficiency is increased by a factor of 5%.

**Key words** optical parametric oscillator, non-resonant cavity, KTP, injection-seeded

## 1 引 言

光参量振荡器(OPO)作为一种可调谐相干光源,能够产生从紫外到远红外的激光辐射,已广泛应用于激光光谱学、激光差分吸收雷达、人眼安全激光测距、激光定向红外干扰等领域。

单共振光参量振荡器(SRO)因为只有信号波或闲频波在腔内谐振,没有不同波长的激光模式竞争,因而功率和输出频率的稳定性好于双共振光参量振荡器(DRO),成为 OPO 普遍采用的工作方式。SRO 的稳定振荡是从光波噪声中建立起来的,因而要求抽运光有较高的峰值功率和多次往返振荡。一般要降低起振阈值,可采取缩短腔长、增加晶体有效增益长度、提高输出耦合镜的反射率、减小腔内的各种损耗、抽运光反向抽运等方式。另外,在单共振 OPO 谐振腔中采用注入种籽光的形式,克服参量噪声,提

升初始振荡功率水平,也可降低 OPO 起振阈值<sup>[1]</sup>;如果注入的种籽光是窄线宽的,还可起到控制 OPO 线宽作用<sup>[2]</sup>。本文利用 Nd:YAG 基频光抽运的  $90^\circ$  相位匹配 KTP OPO 作为种籽源,注入到另一 532 nm 倍频光抽运的双晶体走离补偿 KTP OPO,研究了注入光对 OPO 阈值及效率的影响。

## 2 实验装置

实验装置如图 1 所示,抽运激光源为 PIANO-1000 型 Nd:YAG 激光器,基频光 1064 nm 能量最大可达 1 J,倍频光 532 nm 能量大于 400 mJ。基频光脉冲宽度(FWHM)约 13 ns,激光的发散角(全宽度)小于 1 mrad,光束质量  $M^2$  因子值小于 2,基本满足光参量振荡器所要求的高峰值功率密度和高光束质量。其中倍频晶体为 LBO,采用的是  $\theta =$

收稿日期 2001-07-10;收到修改稿日期 2001-11-26

作者简介:王骐(1942.3—)男,山东莱州市人,哈尔滨工业大学光电子技术研究所教授、博士生导师,主要从事白光激光、非线性光学技术、激光成像雷达技术研究。E-mail: qiwang@hope.hit.edu.cn

90°(I 类匹配,  $e + e \rightarrow o$ ), 前端面镀 1064 nm 增透膜, 后端面镀 532 nm 和 1064 nm 增透膜。1.57  $\mu\text{m}$  种籽光由非临界相位匹配 ( $\theta = 90^\circ, \phi = 0^\circ$ ) KTP OPO 获得, KTP 晶体尺寸 7 mm  $\times$  7 mm  $\times$  25 mm, 两端镀 1.064  $\mu\text{m}$  和 1.57  $\mu\text{m}$  增透膜。OPO 的腔型采用平行平面腔, 所有的镜片都是以 K9 玻璃为基底。输入镜  $M_1$  对 1.57  $\mu\text{m}$  全反 ( $R = 99.8\%$ ), 对 1.06  $\mu\text{m}$  高透 ( $T = 86\%$ ); 输出镜  $M_2$  对 1.06  $\mu\text{m}$  波长的光高透 ( $T = 96\%$ ), 对 1.57  $\mu\text{m}$  高反 ( $R \approx 82\%$ ); 反射镜对 1.06  $\mu\text{m}$  全反, 对 1.57  $\mu\text{m}$  高透 ( $T > 90\%$ ), 主要滤除抽运光。水平偏振的 Nd:YAG 1.064  $\mu\text{m}$  激光经一半波片后, 偏振方向变成垂直偏振, 输出的 1.57  $\mu\text{m}$  激光也为垂直偏振, 从而满足 532 nm 激光抽运的 KTP OPO 的 II 类 ( $o \rightarrow o + e$ ) 相位匹配要求; 同时通过旋转半波片来调节垂直偏振方向上的 1.064  $\mu\text{m}$  抽运光能量大小, 继而控制 1.57  $\mu\text{m}$  OPO 输出激光能量。

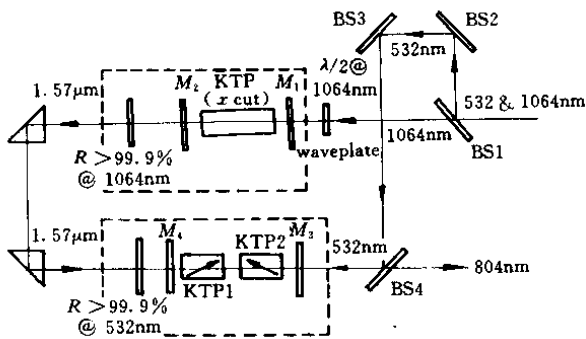


图 1 注入放大种籽光的双晶体走离补偿 KTP OPO 实验装置

Fig.1 Experimental configuration of double-crystal walkoff compensating KTP OPO with seeder injected for amplification

532 nm 激光经四个 45°全反镜组成的光学延迟器延迟 1~4 ns 后进入另一非谐振 KTP OPO 谐振腔中, 以使 532 nm 抽运光与 1.57  $\mu\text{m}$  注入光的脉冲在时间上相重叠。

532 nm 激光抽运的非谐振 KTP OPO, 同样采用平面平行腔。整个 OPO 腔长约 60 mm, KTP 晶体尺寸都为 8 mm  $\times$  10 mm  $\times$  15 mm, 两个端面镀 532 nm 增透膜, 切割角度都是 62.7° ( $\phi = 0^\circ$ )。两块晶体分别放置在两个转台上, 步进马达拖动一个转台, 并通过摩擦轮带动另一个转台互为反向转动。

532 nm 抽运的 KTP OPO 谐振腔中, 腔镜  $M_3$  左端面镀带宽范围为 1.5~1.8  $\mu\text{m}$  全反膜, 腔镜

$M_4$  对腔内信号波 0.76~0.88  $\mu\text{m}$  长波全反。532 nm 全反镜一个作用是滤除抽运光, 另一个作用是反向抽运产生回程增益。因为两个腔镜  $M_4$  和  $M_3$  分别对信号波和闲频波全反, 腔内三波通过电磁波相互耦合方式消耗抽运光能量, 同时放大信号波和闲频波, 而不是通过某一波谐振的方式进行振荡放大, 因而称非谐振光参量振荡器<sup>[2]</sup>。该谐振腔结构的特点是在前向和后向分别输出单一波长的激光, 而不象其他类型 OPO 在同一方向输出信号波和闲频波两个波长的激光。1.57  $\mu\text{m}$  种籽光经两个全反射棱镜后约 80% 能量注入到非谐振 OPO 谐振腔中, 然后被  $M_3$  按原光路反射回后, 与抽运光进行耦合放大同时产生 0.804  $\mu\text{m}$  的信号光, 信号光经  $M_4$  反射后从分光镜  $BS_4$  输出。用 ED500 能量计接示波器监测信号光能量幅度, 而能量的精确测量是用 NEWPORT 2835C 能量计。

### 3 实验结果及分析

首先利用 WDG-30 光栅单色仪(闪耀波长 2  $\mu\text{m}$ )精确测量了 Nd:YAG 基频光抽运的 KTP OPO 输出波长, 出射狭缝处用  $PbS_2$  探测器接收, 微弱信号经 Model 113 低噪声前向放大后在示波器观测输出信号, 测量的波长为 1.572  $\mu\text{m}$ 。非谐振 KTP OPO 信号光波长的测量采用 Burleigh WA-4500 脉冲波长计, 测量的结果为 0.804  $\mu\text{m}$ , 线宽约 0.2 nm。

研究了在无 1.57  $\mu\text{m}$  激光注入的条件下, 单晶体和双晶体走离补偿 KTP OPO 输出能量和效率。图 2 是单晶体和双晶体 KTP OPO 不同信号光波长对应的输出能量比较, 在 92 mJ 的抽运条件下, 在 804 nm 处双 KTP 晶体 OPO 能量为 11 mJ, 而单 KTP 晶体 OPO 能量为 8 mJ, 在 780~920 nm 调谐范围内能量平均高出 2~3 mJ。双晶体走离补偿 OPO 较单晶体 OPO 有一定的优越性<sup>[3]</sup>: (1) 走离效应得到一定的补偿, 增加了晶体的接受角, 允许发散角较大的激光参与抽运; (2) 增益长度增加了近一倍, 这样有利于 OPO 阈值的降低和效率的提高。

由于采用非谐振的腔型结构, 1.57  $\mu\text{m}$  激光约 80% 注入到非谐振 OPO 腔中参与非线性耦合振荡放大。激光器调节过程中, 首先调整 OPO 腔内其中的一块 KTP 晶体角度, 注意观察示波器输出的信号光幅度, 如果幅度有明显增加且达到最大, 表明注入光与腔内的长波闲频光相匹配。而后利用同样的方

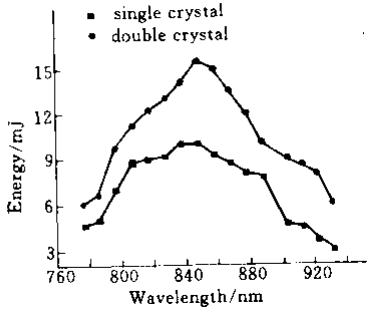


图 2 单晶体和双晶体走离补偿 KTP OPO 不同波长信号光输出能量比较

Fig.2 Comparison of output energy of single-crystal KTP OPO with double-crystal one at different signal wavelength

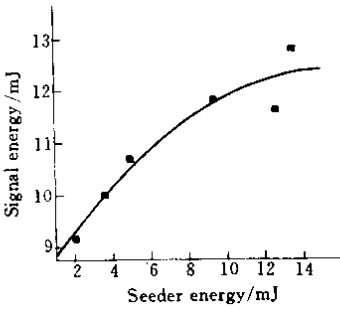


图 3 双晶体走离补偿 KTP OPO 信号光输出能量与注入脉冲能量的关系

Fig.3 Dependence of KTP OPO output energy with dual walkoff-compensating crystals on seeded pulse energy

法调节腔内另一块晶体角度,使输出达到最大,这样两块晶体的晶轴角度完全匹配。在确定的抽运功率下,随着 1.57  $\mu\text{m}$  注入光能量的增加,OPO 的信号光能量也随之增加。但受抽运光所能提供的峰值功率限制,注入光能量增大时 OPO 能量放大倍数减小,如图 3 所示。

图 4(a)表示在有无种籽光注入的条件下,OPO 输出的信号光能量与抽运能量的关系。将图 4(a)线性拟合,结果得出无种籽光注入时 OPO 阈值为 24 mJ,有种籽光注入时阈值为 17 mJ,阈值降低 30%。注入 OPO 能量转换效率比无注入 OPO 更快达到最大值,能量转换效率最大高出 5%,平均提高约 3 个百分点,如图 4(b)所示。单晶体注入 OPO 最高能量转换效率 13%,而双晶体注入 OPO 的最高效率 18%。

最后验证了注入放大非谐振 KTP OPO 的调谐特性。Nd:YAG 基频光抽运的 KTP OPO 偏离非临

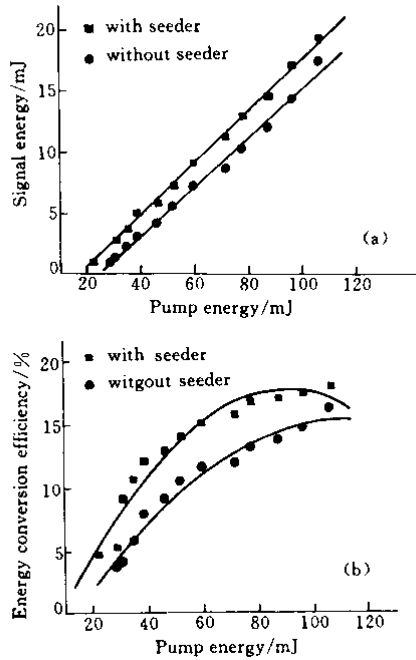


图 4 在有无种籽光注入条件下 KTP OPO 输出能量(a)及转换效率(b)与抽运能量的关系

Fig.4 Output energy (a) and conversion efficiency (b) of KTP OPO dependence on pump energy with and without seeder

界相位匹配(90°),即 KTP 晶体的相位匹配角在 79°~90°之间变化时,注入光在 1.57~1.60  $\mu\text{m}$  调谐<sup>[4]</sup>非谐振 KTP OPO 调谐范围在 0.795~0.804  $\mu\text{m}$ 。由于受到晶体通光孔径的限制,注入光调谐范围较小,因而影响到非谐振 KTP OPO 的调谐范围。

### 参 考 文 献

- 1 A. V. Smith, W. J. Alford, T. D. Raymond. Comparison of a numerical model with measured performance of a seeded, nanosecond KTP optical parametric oscillator[J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1995, **12** (11) 2253~2267
- 2 W. R. Bosenberg, Dean R. Guyer. Broadly tunable, single-frequency optical parametric frequency-conversion system[J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1993, **10**(9):1716~1722
- 3 D. J. Armstrong, W. J. Alford, T. D. Raymond *et al.*. Parametric amplification and oscillation with walkoff-compensating crystals[J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1997, **14**(2) 460~474
- 4 Y. Z. Wang, B. Q. Yao, Q. Wang. KTP optical parametric oscillator with both critically and noncritically phase-matching [J]. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2000, **20**(10):1368~1373 (in Chinese)