

单纵模 BBO 光学参量振荡器

赵永华 何慧娟 王之江

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 主要对种子注入的单纵模 BBO 光学参量振荡器进行了实验和理论研究。利用多纵模的 He-Ne 激光器为种子注入源, 在选择了合适的光学参量振荡器(OPO)谐振腔和锁定技术后, 成功地获得了单纵模光学参量振荡。种子注入功率小于 1 mW, 线宽小于 600 MHz。

关键词 种子注入, 光学参量振荡器, 单纵模。

1 引 言

近年来, 由于各种新晶体的出现, 使光学参量振荡器的性能有了很大的提高, 在很多应用场合已非常实用^[1~3]。但是, 在光谱学上, 人们常常希望得到窄线宽、甚至单纵模的可调谐高功率激光脉冲, 这一点在光学参量振荡器上常常难以实现^[4]。一种较直接的方法是在光学参量振荡器腔内加入各种色散元件^[5], 如棱镜、光栅、标准具等来得到单纵模运转, 但这同时使谐振腔变得复杂, 并使阈值增加, 从而影响了转换效率。另一方面, 如果有合适的单色光源, 种子注入不失为一种简单有效的方法^[6~8], 因为种子注入不仅能实现单纵模运转, 而且能提高转换效率, 简化谐振腔设计。所以, 种子注入技术是最近窄线宽光学参量振荡器较活跃的研究热点。本文对用 He-Ne 激光器作为种子注入源的 β -BaB₂O₄ 光学参量振荡器进行了实验研究, 并对其主要特征作了理论分析。

2 实验装置

种子注入单纵模光学参量振荡器的实验装置如图 1 所示。泵浦源是普通的电光调 Q Nd:YAG 激光器, 经过两级放大后, 通过 KDP 晶体产生倍频光, 再通过另一块 KDP 晶体和频后产生三次谐波光(355 nm), 然后用棱镜将三次谐波光从倍频光和基频光中分离出来。三次谐波光的最大能量为 30 mJ, 脉宽为 10 ns, 直径为 1.8 mm, 重复率为 1 Hz。

光学参量振荡器的谐振腔由两块平面镜组成, 腔长约 2 cm。其中输入镜 M₁ 在 580 至 680 nm 的反射率约 98%, 在泵浦光波长和闲置光波长处透过率为 85%, 输出镜 M₂ 在信号光(630 nm 左右)的透过率为 20%, 在泵浦光和闲置光波长透过率大于 80%。所以只有信号光是该腔的谐振光。

本实验所用的非线性晶体是福建物构所生长的 β -BaB₂O₄, 大小为 5×5×7 mm³, 光轴

与入射平面法线的夹角为 36°。采用 I 类位相匹配和角度调谐, 其调谐范围为 590 至 700 nm, 调谐曲线(如图 2 所示)和理论曲线吻合得很好。

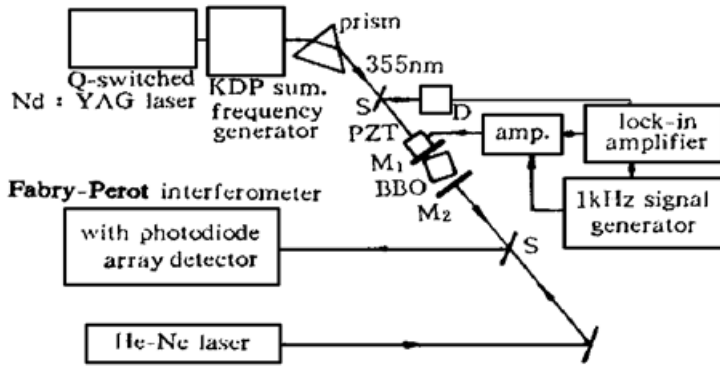


Fig. 1 Layout of the experimental setup of the injection seeded BBO optical parameter oscillator. D: photodiode detector; S: splitter

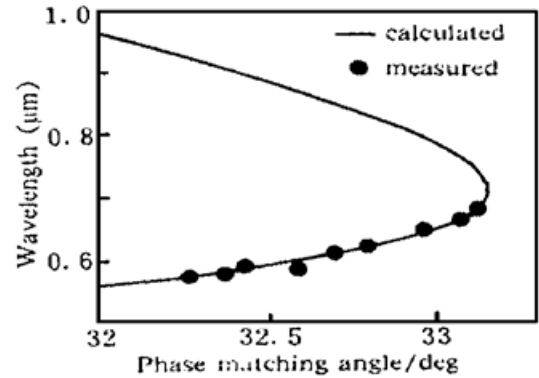


Fig. 2 The 355-nm-pumped BaB₂O₄ optical parametric oscillator tuning curve. Output signal and idler wavelengths are shown as a function of the crystal internal phase matching angle

实验中作为种子注入源的是一台 He-Ne 激光器, 输出功率约 4.3 mW, 其偏振方向和光学参量振荡器信号光的偏振方向一致。由于 He-Ne 激光腔中没有采用任何稳频措施, 所以其输出光不是单纵模的。用 75 mm 长的共焦扫描干涉仪观测, 可发现同时有 4~ 6 个纵模在振荡。因为 He-Ne 激光器腔长约 1.1 m, 所以带宽约为 680 MHz。另一方面, 光学参量振荡器的腔长只有 2 cm, 考虑到 BBO 晶体的折射率为 1.67 ($\lambda = 632.8 \text{ nm}$, 寻常光), 其纵模间隔应大于 6 GHz。所以, 本文采用标准的电子伺服技术, 如图 1 所示。图中信号发生器的频率约 1 kHz, 此振动信号加到压电陶瓷(PZT)上引起腔长的变化, 从而导致 He-Ne 光经过光学参量振荡器腔后其透过功率亦按约 1 kHz 频率而变化。利用锁相放大器反馈控制, 使透过率一直处于极大值, 从而使光学参量振荡器腔的纵模频率与氦氖种子注入光相一致。

本文采用 10 mm 厚的法布里-珀罗(Fabry-Perot)干涉仪测量种子注入后光学参量振荡器的输出光线宽。法布里-珀罗干涉仪的自由光谱范围为 9.74 GHz。采用光电二极管阵列(1024 个)为接收元件观测法布里-珀罗形成的干涉环, 用 TDS360 型数字实时存储示波器进行记录。利用一个自制的同步控制电路, 可很好地测量低重复率脉冲激光的线宽。

3 实验结果

在没有种子注入时, 光学参量振荡器在 630 nm 处的阈值约 6.5 mJ, 线宽超过 0.6 nm。当用 He-Ne 光注入后, 阈值下降为 5 mJ。同时, 转换效率也有明显提高。整个装置能稳定运行约 1 个小时, 超过 1 个小时后, 由于 He-Ne 激光器的腔长变化超过了锁相放大器能捕捉的范围, 导致失锁。但经重新调整后, 又能继续稳定运行。为确定种子注入所需的功率密度, 作者在 He-Ne 激光器输出后加入两块透过率约 48% 衰减片, 发现光学参量振荡器的输出依然锁定在 632.8 nm 处。但当加入第三块衰减片后, 光学参量振荡器的输出光谱就变得不稳定。可见, 种子注入光的阈值注入功率小于 1 mW (0.014 W/cm^2)。

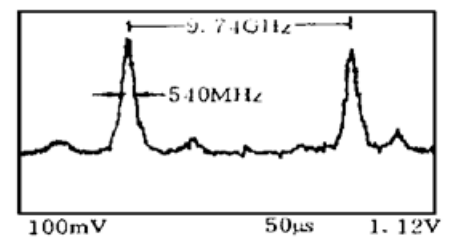


Fig. 3 Measurement result of injection seeded OPO output linewidth by Fabry-Perot interferometer with photodiode array detector

种子光注入后光学参量振荡器信号光的线宽测量结果如图 3 所示。由于法布里-珀罗干涉仪的自由光谱范围为 9.74 GHz, 即图中两个峰值之间的距离, 因此, 光学参量振荡器的线宽小于 1 GHz, 约 540 MHz。显然, 光学参量振荡器的输出光为单纵模, 尽管种子注入光是多纵模的。其原因在于: 在高增益的种子注入脉冲激光器和光学参量振荡器中, 输出光的频率由谐振腔决定, 而并不是由种子注入光的频率来决定。

4 理论分析

设种子注入光中某一个纵模的角频率为 ω , 则光学参量振荡器腔内光的场强随时间的变化可表示为^[9]:

$$\frac{dE_i}{dt} = m(t) [E_i(t) + \frac{1}{\exp [m(t) 2\tau] - 1} E_i^i(t)] \quad (1)$$

式中 τ 为光在谐振腔内往返一次所需的时间, $E_i^i(t)$ 是注入光的复振幅, 可以认为是常数, $m(t)$ 是与增益有关的函数:

$$m(t) = G(t) - \frac{1}{2\tau} - j\Delta\omega \quad (2)$$

式中 $G(t)$ 为参量增益, τ 为腔光子寿命, 与腔损耗有关。 $\Delta\omega = \omega - \omega$ 则表示种子注入光与光学参量振荡器谐振腔纵模之间的失调量。

由(1)式可见, 因为法布里-珀罗腔的干涉作用, 使场强随时间的变化受到一个 $\Delta\omega$ 的调制量。同时还可以看出, 在参量光脉冲建立之前, 由于 $E_i(t) \ll E_i^i(t)$, 所以(1)式主要由右边第二项决定。但是, 当参量光足够强时, 第一项(代表参量放大过程)起主要作用。这意味着, 种子注入光的主要作用是在光脉冲建立的初始阶段。

对(1)式进行数值求解, 可发现在光脉冲建立初期, 腔内参量光的角频率从 ω 移到了 ω , 因为 ω 点的损耗最小(谐振点), 因此, 在参量光脉冲建立后, 其振荡频率已等于 ω , 最终使输出光的频率与腔纵模一致。

在多模 He-Ne 激光注入的情况下, 其过程是类似的。由于 He-Ne 激光的线宽远小于光学参量振荡器谐振腔的纵模间隔, 经过锁定后, He-Ne 激光中的每一个纵模频率都位于光学参量振荡器谐振腔的某个纵模附近。因此, 在脉冲建立初期, 由于没有泵浦耗散, 每一个纵模附近的场强变化能都用(1)式来表示, 结果是每一个注入光都使参量输出光趋向同一纵模, 最终得到单纵模参量光输出。

结 论 作者认为, 利用多纵模激光作为种子注入源来获得单纵模参量振荡, 在理论上和技术上都是可行的。本文以 He-Ne 激光注入的 BBO 参量振荡器为例, 成功地实现了单纵模运转, 为简化窄线宽参量振荡器提供了一种途径。

参 考 文 献

- [1] L. K. Cheng, W. R. Bosenberg, C. L. Tang, Broadly tunable optical parametric oscillation in β -BaB₂O₄. *Appl. Phys. Lett.*, 1988, **53**(3) : 175~ 177
- [2] Y. X. Fan, R. C. Eckardt, R. L. Byer, Visible BaB₂O₄ optical parametric oscillator pumped at 355 nm by a single-axial-mode pulsed source. *Appl. Phys. Lett.*, 1988, **53**(21) : 2014~ 2016

- [3] W. R. Bosenberg, W. S. Pelouch, C. L. Tang, High-efficiency and narrow-linewidth operation of a two-crystal β -BaB₂O₄ optical parametric oscillator. *Appl. Phys. Lett.*, 1988, **55**(19) : 1952~ 1954
- [4] S. J. Brosnan, R. L. Byer, Optical parametric oscillator threshold and linewidth studies. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1979, **QE-15**(6) : 415~ 431
- [5] T. K. Minton, S. A. Reid, H. L. Kim *et al.*, A scanning, single mode, LiNbO₃, optical parametric oscillator. *Opt. Commun.*, 1989, **69**(3, 4) : 289~ 293
- [6] D. C. Hovde, J. H. Timmermans, G. Scoles *et al.*, High power injection seeded optical parametric oscillator. *Opt. Commun.*, 1991, **86**(3, 4) : 294~ 299
- [7] M. J. T. Milton, T. D. Gardiner, G. Chourdakis *et al.*, Injection seeding of an infrared optical parametric oscillator with a tunable diode laser. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(4) : 281~ 283
- [8] F. Huisken, A. Kulcke, D. Voelkel, New infrared injection-seeded optical parametric oscillator with high energy and narrow bandwidth output. *Appl. Phys. Lett.*, 1993, **62**(8) : 805~ 807
- [9] Y. K. Park, G. Giuliani, R. L. Byer, Single axial mode operation of a Q-switched Nd:YAG oscillator by injection seeding. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1984, **QE-20**(2) : 117~ 125

Single Axial Mode BBO Optical Parametric Oscillator

Zhao Yonghua He Huijuan Wang Zhijiang

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

(Received 12 February 1997; revised 20 June 1997)

Abstract The feasibility of a β -BaB₂O₄ single-axial-mode optical parametric oscillator is demonstrated by using a multi-axial-mode He-Ne laser as seeder. The injection seeded OPO produce 2 mJ optical pulse at 632.8 nm with very narrow linewidth less than 600 MHz. The threshold for injection seeding was less than 1 mW.

Key words injection seeding, OPO, single-axial-mode.