

红宝石相位共轭激光器泵浦的 KTP 光学参量振荡器*

姚宝权 王月珠 鞠有伦 王 骥 马祖光
(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 哈尔滨 150001)

摘 要 光参量振荡器的阈值与泵浦光的光束质量有极大的关系, 为降低光学参量振荡器(OPO)起振阈值, 本实验将受激布里渊散射(SBS)相位共轭效应引入光学参量振荡器的泵浦源中, 以改善光束质量, 使光学参量振荡器振荡阈值降低到原来的 25% ~ 7%.

关键词 光学参量振荡器, 受激布里渊散射, 相位共轭.

1 引 言

光学参量振荡器是一种很有吸引力的可调谐相干光源, 它在激光光谱学、激光光化学等领域有着广泛的应用^[1]. 它在军事上可用作光电对抗干扰源, 还可用于 2~ 14 μm 波段的激光差分吸收雷达进行环境监测、水下通讯及成像、控制宇航及卫星跟踪过程中的大气干扰等方面^[2]. 目前, 可用于产生光学参量振荡的非线性晶体主要有 BBO、LBO、KTP, 而 KTP 晶体因为其有较宽的透明范围(0.35~ 4.50 μm) 和高的损伤阈值($> 800 \text{ MW}/\text{cm}^2$, 10 ns, 1.064 μm), 且在中红外区域能够产生感兴趣的波长, 因而国内外对其应用于频率转换方面进行了广泛的研究^[3~ 7].

泵浦激光的光束质量好坏是影响光学参量振荡器阈值及能量转换效率的一个重要因素, 因此实验中获得光束质量好的泵浦光源是人们追求的一个重要目标. 本文应用受激布里渊散射相位共轭技术探索改善泵浦激光光束质量, 降低光学参量振荡器阈值并提高其转换效率的途径.

2 实验及实验结果分析

实验装置如图 1 所示: 红宝石激光振荡级中激光棒尺寸为 $\phi 6 \times 100 \text{ mm}$, 用隐花菁染料来实现调 Q 输出, 放大级的激光介质为 $\phi 10 \times 150 \text{ mm}$ 的大红宝石棒, 受激布里渊散射池内的介质可以是乙醇、丙酮或二硫化碳. 经分束镜分束后的振荡级输出光被放大器放大, 然后由透镜汇聚到受激布里渊散射池中产生后向布里渊散射, 后向散射光经放大级返回时再次被

* 国家自然科学基金资助项目.

收稿日期: 1997-07-18; 收到修改稿日期: 1998-03-02

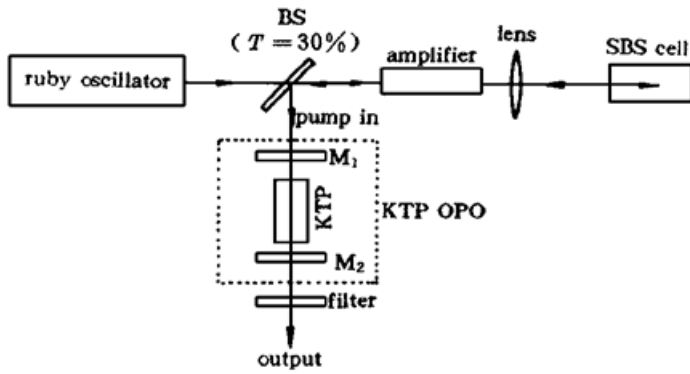


Fig. 1 Experimental setup of KTP OPO pumped by ruby laser with a SBS phase conjugate mirror

放大, 第二次由分束器耦合进入光学参量振荡器装置. 实际上这种装置是将受激布里渊散射池与红宝石放大级组成一相位共轭激光器. KTP 光学参量振荡腔长 20 mm, 输入镜 M_1 和输出耦合镜 M_2 透射率曲线如图 2 所示: M_1 和 M_2 在 694.3 nm 的透过率都大于 90%, 其中 M_1 对 1.38~1.50 μm 的反射率大于 99%, M_2 在此范围内的反射率约为 90%. KTP 晶体是由山东大学提供的, 大小为 10×10×13 mm, 切割角 $\theta = 56^\circ$, $\varphi = 0^\circ$, 两端面

未镀膜, 放置在转角精度为 0.01° 的平台上. 晶体中泵浦光和参量光的相互作用采用 π 类相位匹配方式($o \rightarrow o + e$), 且 KTP 是正轴晶体, 因此红宝石激光的偏振选择垂直于水平面方向.

相位共轭激光器提供的泵浦能量和光学参量振荡的输出能量分别用 ED-500 能量计和 TEK-466 示波器监测. 参量光的波长采用 WDG-300 单色仪测量, 测量精度为 0.2 nm, 单色仪的狭缝输出用红外光敏板探测. 图 3 为测量的光学参量振荡器可调谐波长与计算的 KTP 晶体角度相位匹配曲线. 计算的依据是三波在非线性晶体中相互作用所遵守的动量守恒[式(1)]、能量守恒[式(2)]及菲涅耳方程[式(3)], KTP 晶体折射率的计算[式(4)]是根据 Kato

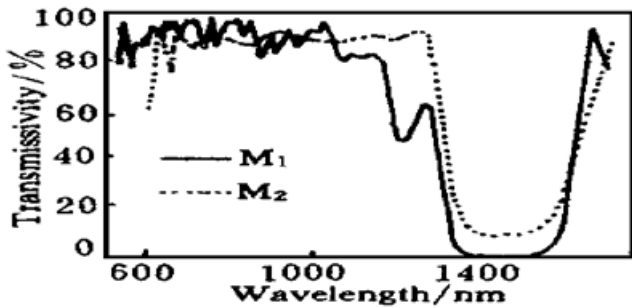


Fig. 2 Transmission curves of cavity mirrors of KTP OPO

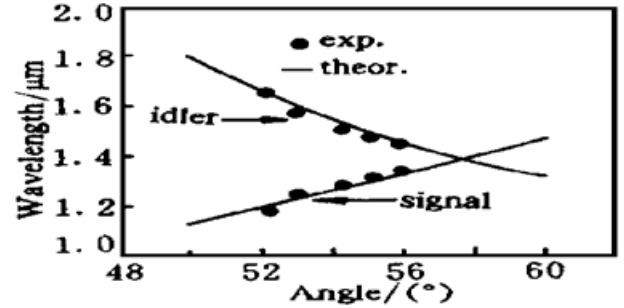


Fig. 3 Calculated tunable curves and measured data points of KTP OPO pumped by a Ruby laser

的 Sellmeier 方程^[8]进行的.

$$\frac{1}{\lambda_p} = \frac{1}{\lambda_s} + \frac{1}{\lambda_i} \tag{1}$$

$$\frac{n_p}{\lambda_p} = \frac{n_s}{\lambda_s} + \frac{n_i}{\lambda_i} \tag{2}$$

$$\frac{\sin^2 \theta \cos^2 \phi}{n^2 - n_x^2} + \frac{\sin^2 \theta \sin^2 \phi}{n^2 - n_y^2} + \frac{\cos^2 \theta}{n^2 - n_z^2} = 0 \tag{3}$$

$$n^2 = A + \frac{B}{\lambda^2 - C} - D\lambda^2 \tag{4}$$

当晶体正放置时, 信号光波长为 1.448 μm , 当晶体内角转动 3.80°(外角 6.75°)时, 光学参量振荡器输出最长波长为 1.648 μm . 红宝石相位共轭激光器泵浦的 KTP 光学参量振荡器输出能量及能量转换效率与泵浦能量的关系如图 4、图 5 所示.

普通大能量输出激光器, 由于放大级激光介质存在一定的缺陷及热透镜效应, 使得振荡

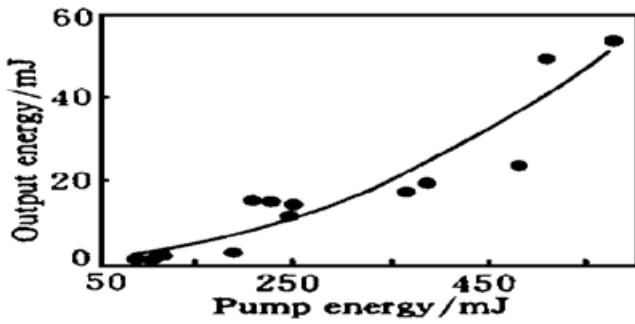


Fig. 4 Output energy of KTP OPO pumped by a ruby laser with a SBS PCM versus pump energy

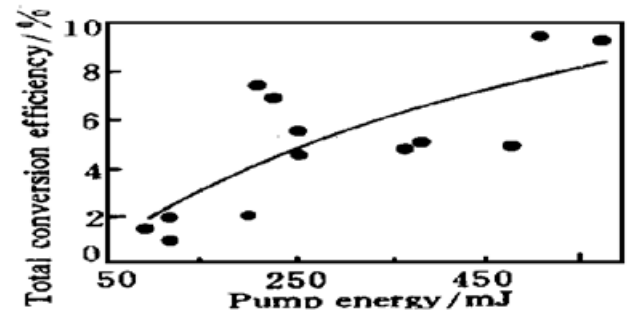


Fig. 5 Energy conversion efficiency of KTP OPO pumped by a ruby laser with a SBS PCM versus pump energy

级输出经过激光放大器后,波前发生畸变,光束质量变差.而相位共轭效应能够使激光传输中的波前畸变得以补偿.本实验中,在放大级后加一受激布里渊散射相位共轭镜(PCM),光束经受激布里渊散射相位共轭镜反演后,能够按原光路返回.原理上,由于受激布里渊散射后向散射光是输入光的相位共轭光,光束在按原路返回过程中,波前畸变会自动得以补偿,同时使激光能量得到双程优质放大^[9].本实验中由于受激布里渊散射相位共轭效应的引进,使得泵浦激光发散角压缩 50%,脉宽压缩 50%(如表 1 所示),光束空间分布变得更为均匀(如图 6 所示).

Table 1. The compression ratio of pulse width and divergence angle by SBS (θ_p , T_p : divergence angle and pulse width of incident light to the PCM (phase conjugate mirror); θ_s , T_s : divergence angle and pulse width of reflected light by PCM)

θ_p /mrad	θ_s /mrad	θ_p/θ_s	T_p /ns	T_s /ns	T_p/T_s
11.36	7.07	1.61	60	30	2.0
12.00	7.14	1.68	25	15	1.7
8.82	4.37	2.02	14	8	1.6

用这种优质激光泵浦光学参量振荡器,能够使泵浦光和参量光在非线性晶体内相互作用过程中,实现有效的相位匹配,从而使得光学参量振荡器起振阈值降低,转换效率提高.

本实验中探讨了提高光束质量的有效方法.首先普通激光器(输出光束质量较差)加装受激布里渊散射相位共轭镜并经放大后,光束质量得到极大提高,光束的空间分布极为均匀,束散角得到压缩;用这种简单易行的方法可使激光功率密度提高 30 倍以上.采用这种相位共轭激光器做



Fig. 6 Spatial distribution of light spots of ordinary ruby laser (left) and of that with SBS phase conjugate mirror (right)

泵浦源,可使光学参量振荡器的阈值降低到原来的 25%~7%.例如用普通红宝石激光器需 400~500 mJ 才能达到阈值,而引入相位共轭效应后只需 100 mJ 即可达到.用 Nd:YAG 倍频波光(0.532 μm) 30~40 mJ 才能达到光学参量振荡器阈值,而将 Nd:YAG 利用受激布里渊散射并经放大后,只需 2 mJ 的倍频光即能达到阈值.可见受激布里渊散射相位共轭效应应

用到光学参量振荡器上具有极大的优越性.

参 考 文 献

- [1] Demtr der W. 激光光谱学(基本概念与仪器手段). 黄潮译, 北京: 科学出版社, 1989. 405~ 409
- [2] Hopkins F K. Nonlinear materials extend the range of high-power lasers. *Laser Focus World*, 1995, **31** (7) : 87~ 93
- [3] 范琦康, 谢发利, 叶建华等. KTP 单共振光学参量振荡器. 中国激光, 1990, **17**(10) : 612~ 614
- [4] 尹桂斌, 赵庆春, 何慧娟等. 近红外 KTP 单共振光参量振荡器. 光学学报, 1993, **13**(3) : 224~ 227
- [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) : 265~ 268
- [6] Bosenberg W R, Guyer D R. Broadly tunable single-frequency optical parametric frequency-conversion system. *J. Opt. Soc. Am (B)*, 1993, **10**(9) : 1717~ 1722
- [7] Marshall L R, Kaz A. Eye-safe output from noncritically phase-matched parametric oscillators. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1993, **10**(9) : 1730~ 1736
- [8] Kato K. Second-harmonic and sum-frequency generation to 4950 and 4589 Å in KTP. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1988, **24**(1) : 3~ 4
- [9] Rockwell D A. A review of phase-conjugate solid-state lasers. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1988, **24** (6) : 1124~ 1139

KTP Optical Parametric Oscillator Pumped by Phase Conjugate Ruby Lasers

Yao Baoquan Wang Yuezhu Ju Youlun Wang Qi Ma Zuguang
(*Institute of Opto-Electronics, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001*)

(Received 18 July 1997; revised 2 March 1998)

Abstract The threshold of optical parametric oscillator is critically relevant to the beam quality of pumping laser, the phase conjugate effect of stimulated Brillouin scattering is applied to the ruby pumping laser system of KTP optical parametric oscillator. The threshold was reduced to 25% ~ 7% of the original one in the experiment.

Key words optical parametric oscillator (OPO), stimulated Brillouin scattering, phase conjugation.