

同步泵浦腔内倍频飞秒 KTP 光参量振荡器

毛宏伟

(中国科学院福建物构所福晶公司, 福州 350002)

刘晓芹

(福建省机电学校, 福州 350011)

A. 白川 T. 小林

(日本东京大学, 理学部物理系)

摘 要 采用光谱物理公司生产的、平均输出功率为 1.1 W、脉宽为 90 fs 的再生锁模掺钛蓝宝石 (Ti:Sapphire) 激光器作为泵浦源, KTP 作为非线性光学介质, 以及 BBO 作为腔内倍频晶体, 制成了一台同步泵浦腔内倍频飞秒 KTP 光学参量振荡器。其输出调谐范围为 528 nm 至 586 nm, 最佳平均输出功率为 240 mW 左右, 脉宽约为 100 fs。在无反馈伺服系统的情况下, 该参量振荡器可维持振荡达三个小时。

关键词 同步泵浦, 腔内倍频, 腔长匹配。

1 引 言

近年来随着掺钛蓝宝石激光器为代表的固体可调谐飞秒激光光源的出现, 飞秒同步泵浦光参量振荡器工作已受到人们广泛的重视^[1~7]。

本文报道的是 1.1 W 掺钛蓝宝石激光器同步泵浦的飞秒腔内倍频 KTP 光参量振荡器, 系统输出调谐范围为 0.53 μm ~0.59 μm , 系统的输出调谐是通过泵浦波长的调谐而得以实现的。其最佳平均输出功率达 240 mW, 脉冲宽度约为 100 fs。与文献[3]、文献[7]所报道的腔内倍频光参量振荡器相比, 本文的系统有以下几个特点: 首先光参量振荡器的泵浦功率比较低只有 1.1 W, 采用的腔型是无需辅助设备就易于调整的线性腔, 另外系统输出波长向短波段推进了一大步, 在黄绿波段调谐输出。

2 实验装置

在 8 W 氩离子激光器(光谱物理公司)的全谱线泵浦下, 再生激励自锁模掺钛蓝宝石激光器, 其在 780 nm 附近能获得 1.1 W 的稳定输出, 相应的脉冲宽度约为 90 fs。此激光器性能稳定, 重复频率为 82 MHz, 能方便地在 720 nm~810 nm 范围内调谐且保持飞秒输出状

* 本项工作是在日本东京大学完成的。

收稿日期:1995年2月20日;收到修改稿日期:1995年5月29日

态。在各波段,通过调整腔内两对棱镜的插入量,可使得腔内色散得到最佳补偿,从而获得相应的最短脉冲。光参量振荡器如图 1 所示,是具有两个折迭臂的线性六镜腔。折迭臂由两对凹面镜组成,在凹面镜的中间焦点处插入 KTP 和 BBO 晶体,分别用于光参量的产生,以及腔内倍频,在该系统内 BBO 的倍频过程实际上起了输出耦合作用。四个凹面镜的曲率半径皆为 10 cm, M_1 和 M_6 是平面镜。构成光参量振荡器腔的六个镜都镀有中心波长在 $1.1 \mu\text{m}$ 的宽带高反介质膜,其中 M_2 和 M_3 上所镀的膜既对红外高反又能对泵浦光增透。将泵浦光引入腔内的泵浦聚焦透镜 P_1 的焦距为 5 cm,透镜双面镀有中心波长在 780 nm 的宽带增透膜。另外还在腔内插入一对棱镜用于色散补偿。至于棱镜在腔内的插入损耗问题,则是通过以布儒斯特角切入光路来解决。腔端镜贴在压电陶瓷 PZT 上,一起装在一个带平移台的光具座上。PZT 一方面可用在反馈自动控制腔长上,另一方面,在腔长精细调整过程中,可克服机械平移台中弹簧的恢复效应引起的微小漂移所带来的输出不稳定性。

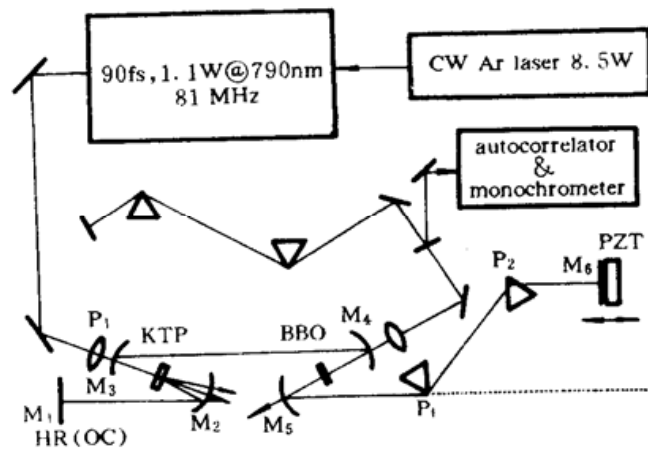


Fig. 1 Cavity configuration of synchronously pumped and intracavity frequency doubled fs KTP OPO

用于产生参量振荡的 KTP 晶体是沿 X 轴切的,采用 II 类非临界相匹配。泵浦光和信号光都是沿 y 轴偏振的 e 光,而闲波光是沿 Z 轴偏振的 o 光。由于信号光的偏振状态实际上是由相匹配所决定的,实验中只需留心注意让泵浦光的偏振平行于晶体的 y 轴即可。晶体在通光方向上的厚度为 1 mm,双面镀有 $1.0 \mu\text{m} \sim 1.2 \mu\text{m}$ 宽带增透膜。腔内倍频用的 BBO 晶体 $\theta = 23^\circ$, $\varphi = 0^\circ$,厚度为 0.1 mm,双面镀有红外增透膜。

3 器件调试与参数测量

首先将腔内的棱镜以及用于腔内倍频的 BBO 晶体除去,调整由 $M_1 \sim M_5$ 以及一块备用的全反镜构成辅助腔(如图 1 虚线所示)。光参量振荡器与一般激光器相比有一个显著的特点,那就是其增益源于非线性三波耦合,增益大小在很大的程度上取决于是否满足位相匹配,因此泵浦光的偏振以及晶体轴的相对取向至关重要。在确定偏振取向配置准确无误后,用快速探头加宽带示波器观察泵浦光的脉冲序列,从中尽可能精确地定出泵浦光的重复频率,然后排布光参量振荡器腔体,以确保腔长匹配点落在端镜所在的平移台的扫程范围内。光参量振荡器的各腔镜是采用泵浦光在 KTP 上所产生的倍频兰光来准直的(此兰光是通过非相位匹配过程所产生的),当腔体准直好后,调节腔长就可立即观察到光参量振荡器振荡。在此之后,将倍频晶体插入腔中,再次调节腔长,用人眼观察到光参量振荡器倍频的可见光斑闪烁后,

细调腔直至获得最佳功率输出为止。最后采用最小偏向法调整棱镜将其插入光参量振荡器光路中，并调整端镜 M_6 的准直。

在本实验中，通过改变泵浦光的波长来改变同步泵浦光参量振荡器的输出波长的。在不同的波段处泵浦光的各参数不尽相同，图 2 所示的是在 720 nm~810 nm 的范围内，泵浦光的平均输出功率以及在高斯波型假设下相应的激光脉冲宽度。在 750 nm 附近泵浦光源的输出功率最高可达 1.4 W，但短波处自锁模飞秒状态不稳定，台面振动以及反射光反回腔内都可能引起输出跳离飞秒状态。在 790 nm 处，虽然输出功率有所下降，但此处脉宽最短且飞秒输出状态相当稳定，可连续在十二个小时内保持飞秒输出状态(但在调试完的二至三个小时后，脉冲幅度上会出现周期性涨落)。图 3 和图 4 给出的是在两个典型波段处，泵浦光掺钛蓝宝石输出脉冲的自相关曲线和光谱分布。

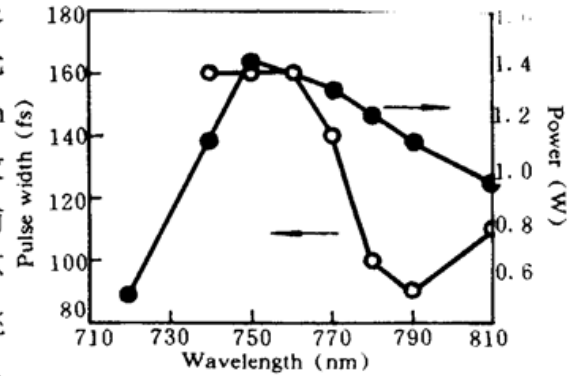


Fig. 2 The average output power and pulse duration of Ti:sapphire laser versus its output wavelength

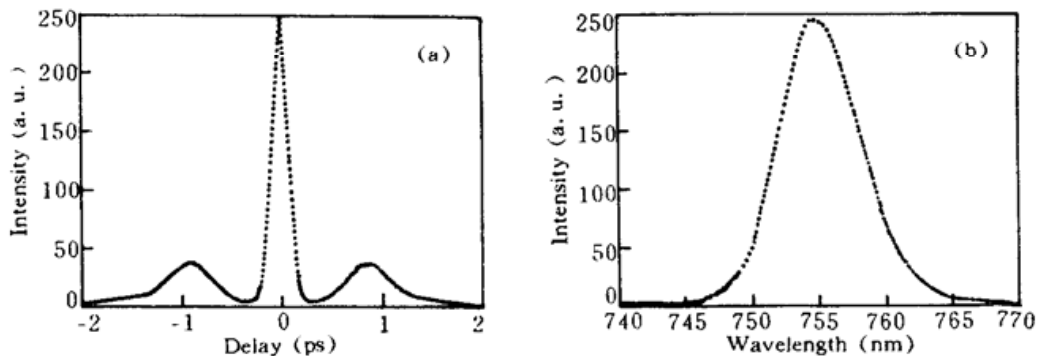


Fig. 3 Autocorrelation trace and spectrum of pumping source around 750 nm

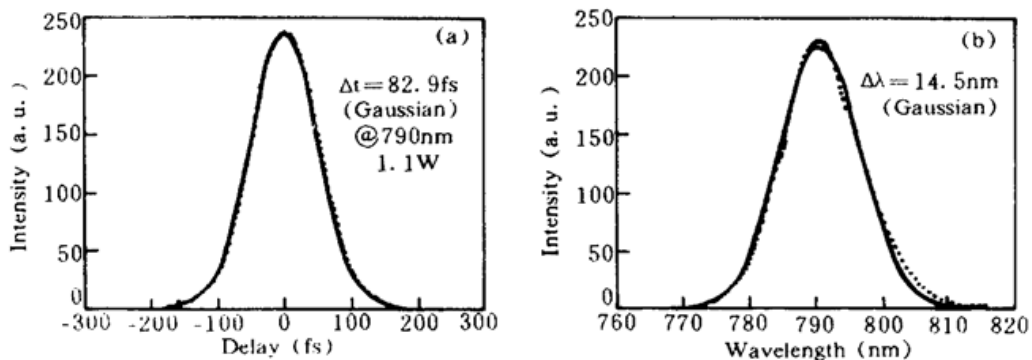


Fig. 4 Autocorrelation trace and spectrum of pumping source around 790 nm

图 5 是同步泵浦飞秒光参量振荡器，经 BBO 腔内倍频后，调谐输出的光谱分布。在实验中，还测量了在整个输出调谐范围内，各波段处的平均输出功率以及相应的二次谐波自相关曲线。通过高斯波型拟合定出与自相关相应的脉冲宽度，具体的参数曲线如图 6 所示。图 6 给出的输出功率是光参量振荡器在两个方向上，即从 M_3 和 M_2 输出的光的总和。图中数据是在各输出波段处，通过调整光参量振荡器腔体以及 BBO 的相匹配角，获得最佳输出功率后，在最短脉宽处测得的。在 545 nm 处，光参量振荡器的输出功率最高可达 240 mW，且脉冲宽度只有 100 fs 左右，该点在整个调谐曲线中综合指标最佳，且输出相当稳定。在无反馈自动

控制腔长的情况下,振荡可维持近三个小时。一般而言,在 540 nm~570 nm 间输出指标都相当好,只是向两头扩展时,指标逐渐下降。特别是推向短波边缘时,受泵浦光源的影响输出脉宽增宽,出现与泵浦光类似的卫星脉冲,且输出稳定性变差。

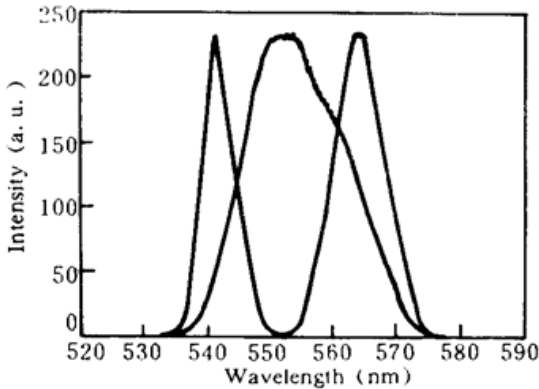


Fig. 5 Output spectral distribution of the intracavity frequency doubled KTP OPO which is synchronously pumped by Ti:sapphire laser

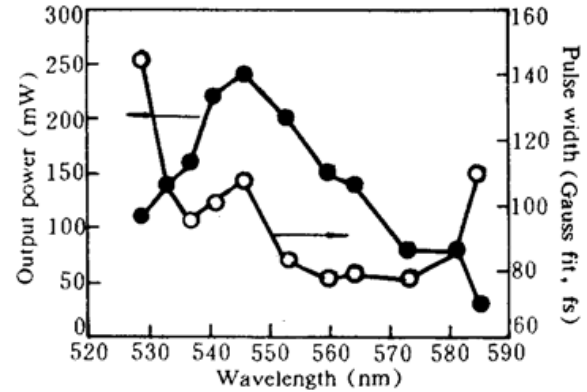


Fig. 6 Average output power and pulse duration of the intracavity frequency doubled fs KTP OPO versus its output wavelength

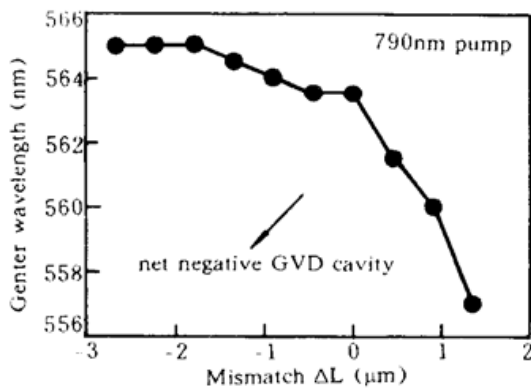


Fig. 7 Relationship between the output wavelength and the cavity length

最后测量了在 790 nm 泵浦下,光参量振荡器输出波长随腔长漂移而变化的曲线,如图 7 所示。从图 7 可见腔长漂移会引起输出波长抖动。然而输出波长的变化是有固定规律可循的,当腔变长时,输出波长移向短波,而当腔长变短时,输出移向长波。同时在实验中可发觉腔长变化对光参量振荡器的影响是不对称的,当腔长略变长时光参量振荡器输出急剧变坏,相对而言,在短腔长方向,腔长变化的容许范围则是比较大的。这些现象可作如下理解,由于泵浦波长是固定的,当信号光波长向长波移动时,泵浦光与信号光之间的群速失配变

小,此时只有当腔体缩短,也即信号光脉冲在腔中渡越时间变短时,泵浦光与信号光在时域上重叠才增大,因此增益变大,若信号光波长向短波移动则情形恰好与此相反,所以腔长变化引起输出中心波长漂移是增益竞争的结果。至于腔长变化对光参量振荡器输出影响的非对称性,则是由于腔中光场峰值功率很高,存在着非线性自位相调制的原故。非线性相移是正的,只有当腔长向短腔方向移动才有利于补偿这一非线性相移。在实际的工作中,人们通常利用腔长变化引起光参量振荡器输出波长漂移这一特性来实现腔长的自动控制,从而达到稳定光参量振荡器输出的目的。

结束语 采用额定输出功率为 1 W 左右的商用自锁模掺钛兰宝石激光器作为泵浦源成功地制成了一台性能稳定,输出指标优良的腔内倍频同步泵浦 KTP 参量振荡器。该同步泵浦光参量振荡器采用非临界相匹配方式,通过改变泵浦光的波长可获得可见波段 0.53 μm~0.59 μm 间的连续调谐。在黄绿波段最佳输出功率可高达 240 mW,而脉宽只有 100 fs 左右。只要泵浦源在其输出波段调谐中能一直保持飞秒自锁模状态而不会跳掉的话,系统的输出调谐是极方便的。保持环境和各光学元件的清洁,是同步泵浦飞秒光参量振荡器能正常运转的前提。

参 考 文 献

- [1] D. C. Edelstein, E. S. Wachman, C. L. Tang, Broadly tunable high repetition rate fs OPO. *Appl. Phys. Lett.*, 1989, **54**(18): 1728~1730
- [2] E. S. Wachman, D. C. Edelstein, C. L. Tang, CW mode-locked and dispersion-compensated fs OPO. *Opt. Lett.*, 1990, **15**(2): 136~138
- [3] R. J. Ellingson, C. L. Tang, High-power high-repetition-rate fs pulse tunable in the visible. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(6): 438~440
- [4] J. M. Dudley, D. T. Reid, M. Ebrahimzadeh *et al.*, Characteristics of a noncritically phase-matched Ti:Sapphire pumped fs OPO. *Opt. Commun.*, 1994, **104**(4,5,6): 419~430
- [5] Q. Fu, G. Mak, H. M. Van Driel, High-power 62 fs IR OPO synchronously pumped by a 76 MHz Ti:Sapphire laser. *Opt. Lett.*, 1992, **17**(14): 1006~1008
- [6] J. D. Kafka, M. L. Watts, J. W. Pieterse, A synchronously pumped parametric oscillator producing 40 fs pulse, Paper CPD32 in: *Conference on Lasers and Electro-Optics*, Baltimore, Maryland, 1993: 68~69
- [7] J. Driscoll, G. M. Gale, F. Hache, High-repetition-rate β barium borate visible range fs OPO. Paper CWA2 in: *Conference on Lasers and Electro-Optics Europe*, Amsterdam, The Netherlands Technical Digest, 1994: 183~184

Synchronously Pumped Intracavity Frequency Doubled fs KTP OPO

Mao Hongwei

(Fujian Institute of Research on the Structure of Matter, Chinese Academy of Sciences, Fuzhou 350002)

Liu Xiaoqin

(Fujian Technical College of Mechanics and Electronics, Fuzhou 350011)

A. Shirakawa T. Kobayashi

(Physics Department, Faculty of Science, The University of Tokyo, Japan)

(Received 20 February 1995; revised 20 May 1995)

Abstract Using the Spectra Physics Company produced 1.1 W, 90 fs regenerated mode locked Ti:Sapphire laser as pump source, KTP as nonlinear gain medium, and BBO as a intracavity frequency doubling crystal, we construct a synchronously pumped intracavity frequency doubled fs KTP optical parametric oscillator (OPO). It's output tuning range is from 528 nm to 586 nm, the optimal average output power is 240 mW, and the pulse width is about 100 fs. The oscillation of this OPO system can last for about three hour, even without a feedback system.

Key words synchronously pumping, intracavity frequency doubling, cavity length matching.