

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0014-03

一套光学元件实现 BBO 光参量振荡器 宽谱调谐实验研究

姚宝权, 王月珠, 王 骥

(哈尔滨工业大学可调谐激光国家级重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要 利用一套光学元件实现 BBO 光参量振荡器(OPO)0.4~2.0 μm 的宽谱调谐, 采用了双棱镜环形腔和侧向抽运双晶体走离补偿直线腔。虽然两种腔型结构因为腔长长和高插入损耗, 导致了高起振阈值, 但都实现了 BBO OPO 信号光 0.43~0.65 μm , 闲频光 0.78~2.01 μm 无需更换腔片的连续调谐输出。

关键词 光参量振荡器; 宽调谐; 棱镜环形腔; 侧向抽运直线腔; BBO

中图分类号 O437.4

文献标识码 A

Broadly Tuning BBO Optical Parametric Oscillator in the Visible and Infrared range without Changing Optical Components

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

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

Abstract To realize broad tunable range in 0.4~2.0 μm of BBO OPO without changing optical components, two kinds of cavity configurations such as double right-angle prisms ring cavity and linear cavity pumped from side direction with two walk-off compensating crystals were used. Although the longer resonator and high intracavity loss lead to higher threshold, both the configurations can ensure the broad tunable output with the range of 0.43~0.65 μm for signal and 0.78~2.01 μm for idler without changing mirrors or crystals.

Key words optical parametric oscillator; broadly tuning; ring cavity with double prisms; dual-crystal linear cavity by side pumping; BBO

1 引言

BBO是一种优质非线性晶体, 有效非线性系数大($d_{11}=1.78 \text{ pm/V}$), 透明范围宽(0.19~3.5 μm), 损伤阈值高^[1]。BBO有合适的相位匹配角, 适用于Nd:YAG倍频光 532 nm^[2]三倍频 355 nm^[3]及四倍频 266 nm^[4]抽运的光参量振荡器(OPO)。为有效降低单共振 BBO OPO 的阈值和保持高效输出, 设计的输入镜必须是对信号光或闲频光全反, 输出耦合镜对信号光或闲频光有较高反射率。BBO OPO 的信号光调谐范围近 300 nm, 由于镀膜工艺的限制, 在可见波段的全反膜带宽只能做到80~100 nm, 因而需要用‘蓝绿黄’三套膜片来实现宽带可调谐输出^[5]。为了完成全波段调谐而不需要象染料激光器那样频繁更换染料或其它光学元件, 给激光器的操作带来不便, 有必要研究无需

更换元件的宽调谐 BBO OPO。

2 双全反射棱镜环形腔 BBO OPO

全反射棱镜环形腔结构如图 1 所示。1.06 μm 的 Nd:YAG 激光经 LBO 晶体倍频, 然后经 BBO 晶体混频后产生 355 nm 紫外激光, 脉宽 7~8 ns, 重复频率 10 Hz。

抽运激光经 45°放置的 355 nm 全反镜输入耦合到 OPO 谐振腔中, 该输入镜同时又作为输出耦合的作用。两个 45°直角棱镜的直角边长 25 cm, 高 25 cm, 材料为 JGS1 熔融石英。BBO 晶体外型尺寸为 8 mm×10 mm×12 mm, 两端面镀增透膜同时起防止潮解作用。晶体的切割角 θ 为 29.2°, 晶体正放置时, 用 355 nm 激光抽运产生的信号光正好为

作者简介: 姚宝权(1970-), 男, 哈尔滨工业大学副研究员, 博士, 主要从事固体激光器及非线性光学应用技术研究。

E-mail: bqyao@mail.hl.cn

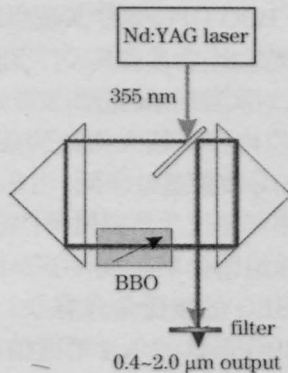


图1 宽调谐双棱镜形行腔 BBO 光参量振荡器

Fig.1 Ring cavity BBO OPO broadly tunable with two all-reflection prisms

480 nm 的蓝绿光。

BBO 是负单轴晶体, I 类相位匹配形式为 $e \rightarrow o+o$, 因而光参量振荡产生的信号光和闲频光都是垂直偏振。对 45° 入射的垂直偏振光, 输入输出镜每一面的反射率为 10%, 两个面合起来的反射率为 20%。当产生的参量波在环形腔内往返一周后, 有 80% 光透过继续参与振荡, 有 20% 被耦合输出。因此 45° 放置 355 nm 全反镜既起到抽运光输入耦合作用, 又起到耦合输出参量光作用。滤光片 M_2 对 355 nm 全反, 同时参量光透过率大于 80%。

双棱镜环形腔中的两个棱镜斜端面间距 3 cm, 加上光波在棱镜内的传输距离, 整个谐振腔的物理腔长近 18 cm。长腔对纳秒级脉冲 OPO 是一非常不利的因素, 腔长长限制了参量光振荡次数, 建立时间也增长, 导致阈值较高。腔内的各种菲涅耳损耗也增加了起振阈值, 两个棱镜斜端面的菲涅耳反射损耗 15%, 加上晶体端面的反射损耗, 总反射损耗 20% 以上。实验中测量的 BBO OPO 阈值为 110 mJ, 当抽运能量为 150 mJ 时, 总能量输出为 18 mJ, 总能量转换效率(信号光和闲频光)为 12%。

双棱镜环形腔 BBO OPO 虽然起振阈值较高, 但输出镜对参量光都有近乎相同的 20% 耦合率, 抽运能量超过阈值后, 由步进马达驱动对 BBO OPO 进行转角调谐, 实验中观察到信号光从 430 nm 的蓝光连续调谐到 650 nm 的红光。

该装置结构比较简单, 腔内各光学元件受强紫外光照射没有光学损伤问题。但由于必须使抽运光和参量光严格共线, 因而光路调整较困难, 另外阈值高、效率低, 给 OPO 运行带来困难。

双棱镜环形腔结构对腔内由噪声建立起来的信号波和闲频波同时进行参量放大, 耦合镜 M_1 对两个光波的反射率相同, 因而该类型光参量振荡器是

双共振的。对于直线腔双共振 OPO, 信号波和闲频波在腔内往返振荡过程中, 反向传播时会又重新和频生成抽运波, 因而转换效率最高只能达到 50%; 而保持光波单向传播的环形腔 OPO 最高转换效率可达到 100%。因此如果采用多晶体走离补偿技术, 及在棱镜端面镀宽带增透膜来减小腔内损耗, 使得 OPO 起振阈值降低, 能够获得高效参量光输出。

3 双晶体走离补偿侧向抽运直线腔 BBO OPO

侧向抽运宽带白光反射膜 BBO OPO 腔型结构如图 2 所示, 由两块 BBO 晶体构成走离补偿结构。355 nm 抽运光经 45° 放置 355 nm 全反镜引入谐振腔中。因为输入镜宽带全反膜是由几个膜系叠加而成, 介质材料不抗紫外激光损伤, 膜层厚又导致对抽运光吸收损耗严重。实验上通过侧向抽运来避免紫外光直接穿越输入镜, 从而对输入镜的宽带全反膜造成损伤。

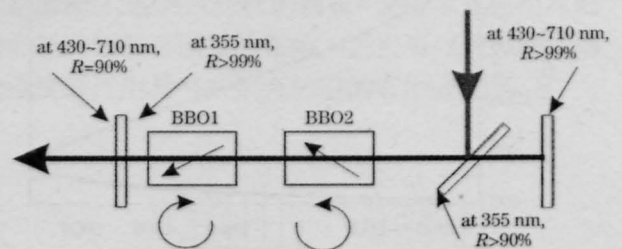


图2 侧向抽运直线腔 BBO OPO 结构

Fig.2 BBO OPO with side pumped on linear cavity

研制的第 1 种宽带白光反射膜是由三个膜系叠加而成, 高反带范围从 410~700 nm, 在两个膜系之间的交界处透射率小于 5%, 在 355 nm 的透射率小于 0.5%。第 2 种宽带反射膜是 TiO_2 作为介质材料, 由于一个膜系的反射带较宽 (>150 nm), 因而在基片的两面各镀一个膜系, 反射带范围 430~710 nm, 最高透射率小于 1%, 在 355 nm 波长的透射率为 26%。虽然 TiO_2 材料能用较少的膜层实现宽反射带, 但膜层均匀性和抗损伤性能都较差。输出镜前端面镀 355 nm 全反膜, 后端面镀 430~710 nm 高反膜。输出耦合镜前端面 355 nm 全反膜既起到滤除抽运光作用, 同时又防止了宽带反射膜损伤。

镀膜和抽运方向的改变, 虽然解决了宽带白光高反膜的激光损伤问题, 却又引入了 45° 放置的 355 nm 全反镜的插入损耗。信号光和闲频光都是垂直偏振, 因此不考虑膜层的影响, 一个 45° 放置未镀膜的平片对振荡的参量光的往返损耗近 35%, 在形

成稳定振荡后,有一部分参量光从侧向输出,影响了OPO前向输出的能量转换效率。另一方面,输出镜在可见波段的光谱透射率平均为15%,在490 nm的输出耦合率为13%。输出耦合率小,直接导致OPO腔内振荡功率高,侧向输出损耗也随之增大。

实验中通过步进马达精确控制晶体转角,用Burleigh公司的WA-4500脉冲测量了OPO的调谐波长。测量结果如图3所示,侧向抽运的BBO OPO调谐范围信号光从428~665 nm,闲频光从0.76~2.08 μm。图4为用Newport 2835C能量计(探头818J-25B)测量的不同调谐波长的输出能量,晶体正放置且抽运能量80 mJ时,输出的信号光(480 nm)最高能量为10 mJ,效率为12.5%。晶体正放置时输出最大,当偏离正放置的位置时,两个晶体端面的菲涅耳损耗增大导致输出降低。闲频光因为波长比信号光长,光子能量小,在产生同样光子数情况下能量转换效率低于信号波。

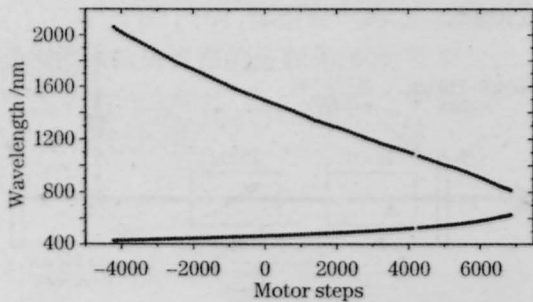


图3 测量的BBO OPO信号光及闲频波长与步进电机步数的对应关系

Fig.3 Signal and idler wavelengths of BBO OPO dependence on motor steps

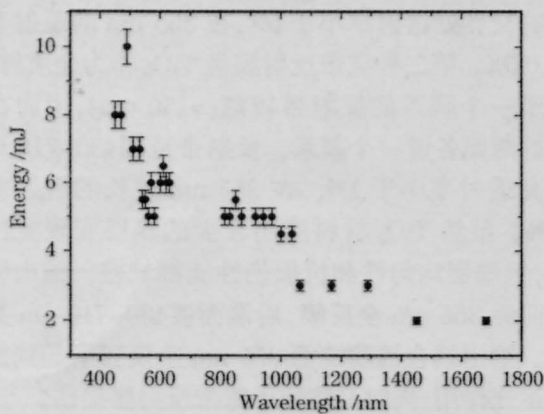


图4 BBO OPO不同调谐波长对应的能量输出

Fig. 4 Output energy at different wavelengths of BBO OPO by side pumping

侧向抽运BBO OPO也能实现毋须更换光学元件的宽调谐激光输出,为改善其运行性能,提高输出能量及转换效率,对实验结果的分析及改进措施如下:

1) OPO腔内存在较大损耗的条件下,耦合输出率低(≈10%)导致能量效率低。当有足够的抽运功率,且抽运功率能超过几倍阈值时,应采用较高透射率的输出镜,输出耦合率在40%~60%比较适合。

2) 由于BBO的接受角只有0.3 mrad,调谐过程中,两块BBO晶体的角度稍微偏离就会产生较大波矢失配量 Δk ,引起输出效率降低。晶体正放置时角度匹配较好,但当调谐时会因各种原因相位失配,此时需要重新调节晶体角度。可能因为这两块晶体购自不同的公司,可能因为生长工艺的些微差别,导致走离补偿放置时调谐过程中相位失配严重。因此严格选择晶体及精确切割角对BBO OPO的连续调谐运行非常重要。

4 结论

采用双全反射棱镜环形腔、侧向抽运双晶体走离补偿直线腔BBO OPO,只用一套光学元件实现参量振荡器信号光0.43~0.65 μm,闲频光0.78~2.01 μm无需更换光学元件连续调谐输出。BBO OPO能量转换效率为12%,输出能量大于10 mJ。通过提高输出耦合率,减小腔内损耗,可以提高一套光学元件宽调谐BBO OPO运行性能。

参考文献

- 1 Q. K. Fan, J. H. Ye. Widely tunable and highly efficient BBO optical parametric Oscillator [J]. *Acta Optica Sinica*. 1991, 11(5):396-400
范琦康,叶建明. 宽调谐高效率光参量振荡器[J]. *光学学报*, 1991, 11(5):396-400
- 2 Y. X. Fan, R. C. Eckardt, R. L. Byer. Barium borate optical parametric oscillator[J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1989, 25(6): 1196-1199
- 3 G. Anstett, G. Goritz, D. Kabs *et al.*. Reduction of the spectral width and beam divergence of a BBO-OPO by using collinear type-II phase matching and back reflection of the pump beam[J]. *Appl. Phys. B: Lasers and Optics*, 2001, 72(5):583-589
- 4 N. Kondratyuk, A. Shaqov. Nonlinear absorption at 266 nm in BBO crystal and its influence on frequency conversion [C]. *SPIE*, 2002, 4751:110-115
- 5 A. Fix, T. Schroder, R. Wallenstein *et al.*. Tunable b-barium borate optical parametric oscillator: operating characteristics with and without injection seeding[J]. *J. Opt. Soc. Am. B*. 1993, 10(9): 1744-1750