

文章编号: 0258-702X(2002)02-0104-03

# 纳秒级窄线宽脉冲钛宝石激光注入 BBO 晶体 光参量放大器

王 丽<sup>1</sup>, 杨 建<sup>2</sup>, 黄 骝<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 河北师范大学物理系, 河北石家庄 050016; <sup>2</sup> 北京工业大学物理系, 北京 100022)

**提要** 实验上采用纳秒级窄线宽脉冲钛宝石激光注入 BBO 光参量放大器(BBO-OPA), 实现了一台纳秒级 Nd:YAG 激光器作钛宝石激光器和 BBO 光参量激光器抽运源的高效率系统。获得了钛宝石激光作为信号光注入 BBO-OPA 时其输出能量为无信号光注入时的 6 倍, 并实现了 570~670 nm 的连续可调谐窄线宽( $< 0.1$  nm)参量激光输出。

**关键词** 掺钛蓝宝石激光器, BBO 光参量放大激光器, 种子注入

中图分类号 TN 248.1 文献标识码 A

## BBO Crystal Optical Parametric Amplifier of a Narrow Linewidth, ns Tunable Pulse Ti:sapphire Laser on Injection-seeded

WANG Li<sup>1</sup>, YANG Jian<sup>2</sup>, HUANG Liu<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Physics Department, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016  
<sup>2</sup> Department of Applied Physics, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022)

**Abstract** An only one ns Nd:YAG laser pumped narrow bandwidth pulse Ti:sapphire tunable laser (by 532 nm) and a BBO-OPA laser (by 355 nm) is reported. In experiment, a narrow linewidth ( $< 0.1$  nm) continuous tunable range of 570~670 nm Ti:sapphire laser injection-seeded BBO-OPA with the laser energy output of 6 times in comparison with that of no seeded are achieved.

**Key words** Ti:sapphire laser, BBO-OPA optical parametric laser, injection-seeded

## 1 引 言

光参量激光器在多年的研究中,已基本解决了高输出功率和宽的调谐范围,光参量激光器的稳定性、输出功率和波长覆盖范围一直在稳步发展<sup>[1~3]</sup>。但是由于光参量激光器自身结构的特点,输出线宽较宽、频率漂移较大,不能满足高分辨光谱技术及激光化学等应用领域。传统的获得窄线宽光参量的方法是在光参量激光器中加入选频元件,如色散棱镜、光栅等<sup>[4]</sup>。但这些元件增大了 BBO 光参量放大器(BBO-OPA)的振荡阈值,减少了输出激光能量。我们建立了光参量效应作钛宝石激光脉冲选取、放大

并频率展宽的多纵模运转的动力学方程和计算模拟<sup>[5]</sup>。本文采用整个系统只使用一台美国光谱物理公司生产的 GCR-170 型调  $Q$  Nd:YAG 激光器,其中掺钛蓝宝石激光器的抽运光为 Nd:YAG 三倍频(BBO-OPA 的抽运光)用后剩余的二倍频光。在 BBO-OPA 确定的匹配角下,使窄线宽( $< 0.02$  nm)脉冲掺钛蓝宝石激光作为种子光<sup>[3]</sup>与 BBO-OPA 的抽运光共线注入 OPA。获得了钛宝石激光作为信号光注入 BBO-OPA 时其输出能量为无信号光的 6 倍,采用 WDS-3 型多功能光栅单色仪,并实现了 570~670 nm 的连续可调谐窄线宽( $< 0.1$  nm)激光输出。

收稿日期 2000-10-16;收到修改稿日期 2000-12-28

基金项目 河北省教委博士基金(50202)和北京市自然科学基金(项目编号 4942005)资助项目。

作者简介:王丽(1958.11—),女,河北师范大学物理系教授,博士,主要从事激光频率变换和非线性光学研究。E-mail:

## 2 实验装置及结果

图 1 为纳秒级脉冲钛宝石激光作为种子光注入 BBO-OPA 的结构示意图。

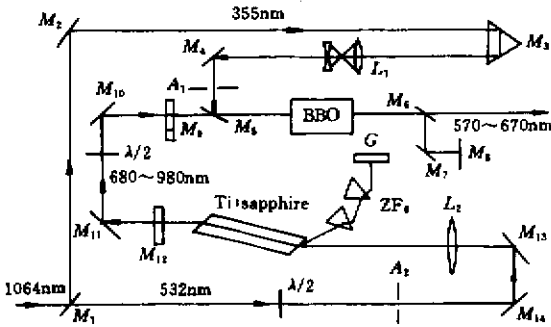


图 1 脉冲钛宝石激光注入 BBO-OPA 的结构示意图

Fig.1 Schematic of the pulse Ti:sapphire laser injection-seeded BBO-OPA

在纳秒级脉冲钛宝石激光注入 BBO-OPA 放大系统中,由于抽运光 355 nm 和钛宝石激光(作为 OPA 的信号光或闲频光,以后简称为信号光)同时注入到光参量放大器,在时域上共线匹配,在频域上达到相位匹配。实验中使用纳秒级光电探头和美国 Tektronic 公司的 7904A-500 MHz 示波器观察到掺钛蓝宝石激光最小脉宽( $< 10$  ns)相对抽运光的延迟时间为 20 ns,如图 2 所示。由图 2 的实验结果, GCR-170 型调 Q Nd:YAG 激光器的三倍频需经过分光镜  $M_1, M_2, M_3, M_4$  进行延时,以使 355 nm 作 BBO-OPA 抽运光的延时光路为 9~12 m,达到钛宝石激光通过分光镜  $M_5$  同时或略前于 355 nm 进入 OPA 谐振腔内,透镜组  $L_1$  调至适当的缩束比,提高 BBO-OPA 的抽运光能量密度。二倍频(532 nm)通过  $\lambda/2$  波片,使 532 nm 的偏振态由  $\sigma$  转为  $\pi$ ,以使钛宝石激光晶体吸收最强。经光阑  $A_2$ ,分光镜  $M_{14}, M_{13}$  和透镜(焦距为 120 cm)  $L_2$  入射到中国科学院上海光机所提供的钛宝石晶体(4 mm  $\times$  5 mm  $\times$  10 mm,  $\alpha_{532} = 4/\text{cm}$ , FOM = 200)上,光栅  $G$  和输出镜  $M_{12}$  组成钛宝石激光器,  $ZF_6$  起到进一步压窄线宽的色散棱镜的作用。实验中使用中国科学院物理所的 LP-3 和 LPE 型激光功率/能量计测量钛宝石激光输出能量。使用 3 mm 隔环 F-P 标准具测试钛宝石激光的线宽照片如图 3 所示,通过测量干涉条纹的直径,实验中采用  $f$  为 1.2 m,  $D_1 = 10.3$  mm,  $D_2 = 12.5$  mm 和  $\lambda = 700$  nm 时,由公式  $\Delta\lambda = \frac{\lambda(D_2^2 - D_1^2)}{8f}$ ,得到线宽

小于 0.02 nm。作为信号光的钛宝石可调谐激光(680~980 nm)经 45°反射镜  $M_{11}, \lambda/2$  波片(保证在 BBO 中满足 I 类匹配)和  $M_{10}$  与 OPA 的抽运光(355 nm)分别通过分光镜中心波长 600 nm 的 550~700 nm 的

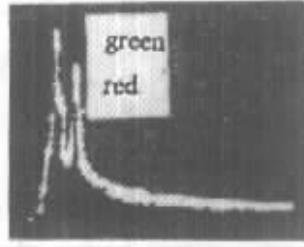


图 2 窄带宽时钛宝石激光与抽运光的延时

Fig.2 Time delay of the pulses on Ti:sapphire and pump laser(532 nm) at narrow bandwidth(20 ns/div)

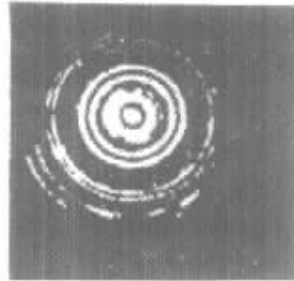


图 3 测量钛宝石激光线宽的干涉照片

Fig.3 Interferograph for detecting the Ti:sapphire laser linewidth

全反镜  $M_9, M_3$  同时进入 BBO-OPA。I 类匹配 BBO 由中国科学院福建物构所提供,晶体尺寸为 7 mm  $\times$  8 mm  $\times$  15 mm 相位匹配切割( $\theta = 30^\circ, \phi = 0^\circ$ )。通过纳秒级光电探头和美国生产的 Tektronic 7904A-500MHz 示波器观察入射到 BBO 端面前的信号光和抽运光,在选用的 I 类 BBO 非线性晶体确定后,在抽运光 355 nm 平均功率为 4.5 W(150 mJ/脉冲,延时之前),调节钛宝石激光器中的调谐元件获取不同单纵模(680~980 nm)作为 OPA 的信号光,使其与抽运光 355 nm 共线匹配入射到 BBO-OPA 中,通过调节 BBO 晶体的匹配角,实现了钛宝石激光作为种子光与 355 nm 抽运光同时入射到光参量激光器。使用 WDG-3 型多功能光栅光谱仪,获得钛宝石激光作为种子光注入 OPA 的输出能量是无注入时的 6 倍的实验曲线,如图 4 所示。在脉冲钛宝石可调谐激光作为种子光与 355 nm 共线匹配注入 BBO-OPA 后,获得了最大输出能量为 2.3 mJ,调谐范围为 570~670 nm 的参量光输出曲线,如图 5 所示。

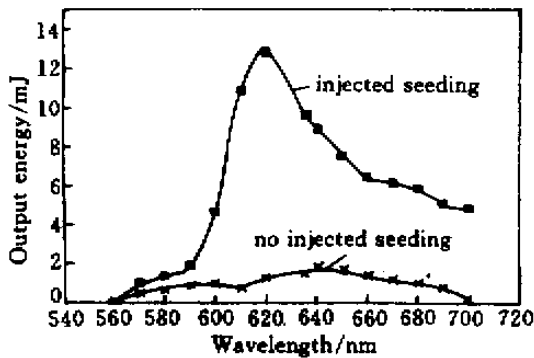


图4 注入与未注入时的波长与输出能量关系曲线

Fig.4 Experiment curves of output energy and wavelength of injection in seeding and no seeding

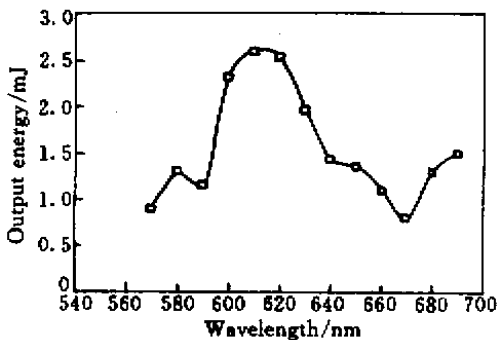


图5 窄线宽脉冲钛宝石激光的调谐曲线

Fig.5 Tunable curve of narrow linewidth on BBO-OPA pulse laser

### 3 结果分析

实验上利用钛宝石激光频率作为种子光注入 BBO-OPA 中, 获得参量激光线宽小于  $0.1 \text{ nm}$ , 连续调谐曲线为  $570 \sim 670 \text{ nm}$ , 在  $M_0$  中心波长为  $650 \text{ nm}$ , 在  $E_p$  为  $81 \text{ mJ}$ ,  $E_l$  为  $50 \mu\text{J}$  时获得钛宝石激光在注入 BBO-OPA 时的能量放大是无注入时的 6 倍。由此可见, 与在时域上或频域上建立了可调谐宽波段单纵模振荡的掺钛蓝宝石激光脉冲作为信号光或闲频光被 OPA 选取放大的运转方程的数值模拟计算理论曲线一致<sup>[5]</sup>。当抽运光能量更大时可获得更大的参量光能量输出, 在理论和实验上解决了用常规方法难解决的窄线宽、大能量和连续可调谐的脉冲激光输出。

### 参 考 文 献

1 A. Fix, T. Schroder, R. Wallenstein *et al.*. Tunable  $\beta$ -barium borate optical parametric oscillator: operating characteristics with and without injection seeding[J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1993, **10**(9):1744~1750

2 Li Kang, Tang Xiaojun. Approach to high quality and high efficiency parametric light [J]. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1997, **17**(6):682~686 (in Chinese)

3 Wang Li, Huang Liu, Zhao Yu. Theoretical and experimental researches on the high repetition rates pulse Ti:sapphire laser [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser* (光电子·激光), 1998, **9**(5):381~387 (in Chinese)

4 X. Zuyan, K. Yufei, Z. Yi *et al.*. Narrow linewidth nanosecond pulsed optical parametric oscillator with a compound cavity [J]. *Chin. Phys. Lett.*, 1998, **15**(2):112~115

5 W. Li, Y. Jian, H. Liu. Pulse amplified and frequency expanded of the narrow linewidth and tunable Ti:sapphire laser [J]. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2002, **22**(1):54~57