

激光二极管千赫兹级 Nd:YVO₄皮秒脉冲激光再生放大器

闫莹^{1,2} 樊仲维² 牛岗¹ 宋亚丽¹ 余锦²

(¹北京国科世纪激光技术有限公司, 北京 100092; ²中国科学院光电研究院, 北京 100094)

摘要 采用光纤耦合激光二极管端面抽运 Nd:YVO₄激光晶体,抽运光平均功率为 20 W,脉冲宽度为 100 μs,获得了重复频率为 1 kHz、平均功率为 1.5 W 的再生皮秒脉冲激光输出,脉冲宽度约为 15 ps,两个方向上的光束质量因子均小于 1.4。

关键词 激光器;皮秒激光;千赫兹;Nd:YVO₄晶体;再生放大

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP49.021402

Laser Diode End-Pumped Kiloherzt Nd:YVO₄ Picosecond Regenerative Amplifier

Yan Ying^{1,2} Fan Zhongwei² Niu Gang¹ Song Yali¹ Yu Jin²

(¹Beijing GK Laser Technology Co., Ltd., Beijing 100092, China
²Academy of Opto-Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China)

Abstract A laser diode end-pumped Nd:YVO₄ picosecond regenerative amplifier with the repetition rate of 1 kHz is demonstrated. At the pumping power of 20 W and pumping pulse width of 100 μs, a stable output power of 1.5 W is obtained with the extraction efficiency of 7.5%. The pulse width is measured to be about 15 ps, and the beam quality factors M^2 in both directions are less than 1.4.

Key words lasers; picosecond laser; kiloherzt; Nd:YVO₄ crystal; regenerative amplifier

OCIS codes 140.3280; 140.3480; 140.3530; 140.4050

1 引言

全固态皮秒激光器是材料加工、远距离卫星激光测距、激光对抗等工业、军事领域的重要光源之一。目前,国际上广泛采用的方法是利用半导体可饱和吸收镜(SESAM)被动锁模技术,得到重复频率百兆赫兹、单脉冲能量纳焦的皮秒激光^[1~5]。为了使单脉冲能量满足工业加工、卫星测距等方面的应用需要,通常经过再生放大、功率放大等技术将单脉冲能量进一步提高到毫焦量级。

再生放大器将种子通过偏振元件导入再生腔内,通过电光开关的开启和关闭使其在腔内往返放大多次后偏振态发生变化而输出^[6,7]。再生放大的优点在于增益高,能够达到 $10^6 \sim 10^7$ 倍,但同时由于光程较长,对于再生腔的稳定度要求较高,不容易获得状态稳定的激光输出。2005年, Kleinbauer 等^[8]采用 Nd:GdVO₄作为工作物质,重复频率 200 kHz 时,输出功率为 13 W,单脉冲能量 65 μJ;重复频率 100 kHz 时,输出功率 12.3 W,单脉冲能量 123 μJ。同年,他们采用 Nd:YVO₄作为工作物质,对称 Z 型腔结构,获得了重复频率 20 kHz,平均功率 10.8 W 的激光输出^[9]。

由于皮秒激光的脉冲宽度短,峰值功率高,因此损伤问题是阻碍皮秒激光器输出功率提高的一个主要因素,并且随着重复频率的降低,这一因素的重要性愈发明显。本文采用 Nd:YVO₄作为增益介质,获得了重复频率 1 kHz、平均功率 1.5 W 的皮秒激光,单脉冲能量 1.5 mJ,脉冲宽度约为 15 ps,两个方向的光束质量因子 M^2 均小于 1.4。

收稿日期: 2011-07-20; **收到修改稿日期**: 2011-08-20; **网络出版日期**: 2011-12-23

基金项目: 中国博士后基金(20100480176)和中关村科技园海淀园博士后基金(20101216)资助课题。

作者简介: 闫莹(1984—),女,博士,主要从事全固态激光器及非线性频率变换等方面的研究。

E-mail: yanying0709@sina.com

2 实验装置

所采用的实验装置如图 1 所示,被动锁模种子源为北京国科世纪激光技术有限公司自行研制的皮秒光源,重复频率 78 MHz,平均输出功率 200 mW, $M^2 = 1.1$ 。种子光经过整形系统后被整形成光斑大小约为 1.5 mm 的平行光,入射至再生腔内。再生腔中 Nd:YVO₄ 激光晶体掺杂原子数分数为 0.3%,尺寸为 4 cm×4 cm×10 cm,*a* 轴切割,两个端面镀有 808,1064 nm 高透膜;M1~M4 为凹面反射镜,镀 1064 nm 高反膜,M1、M4 的曲率半径 $R_1 = R_4 = 2$ m,M2、M3 的曲率半径 $R_2 = R_3 = 900$ mm;M5 为平面镜,镀 1064 nm 高反、808 nm 高透膜。整个再生腔的腔长约为 1.8 m,种子在腔内往返一次的时间为 12 ns。

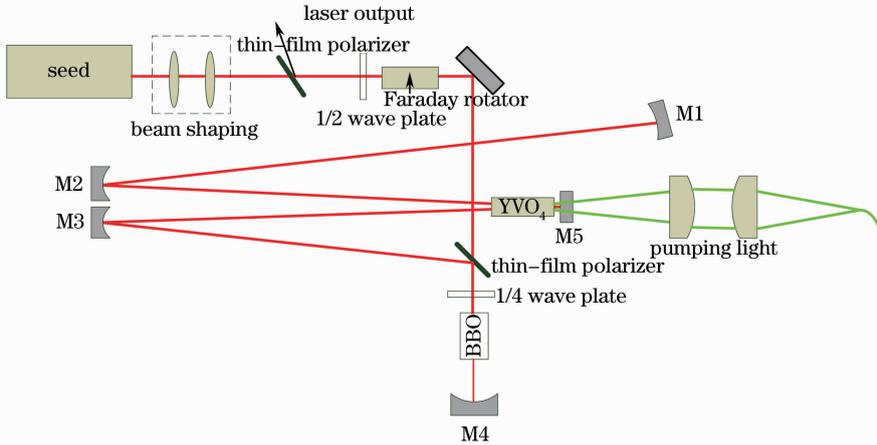


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic of experimental setup

抽运源采用连续 200 W 光纤耦合输出模块,光纤芯径为 400 μm ,输出波长为 809 nm,驱动电源重复频率为 1 kHz,脉冲宽度 100 μs ,占空比 1:10,即抽运平均功率 20 W。抽运光经耦合系统聚焦至晶体端面,光斑直径约为 1.2 mm。

为了获得较高能量的皮秒激光输出,实验采用了 BBO 晶体作为电光开关,该晶体具有较高的抗损伤阈值和消光比,同时受温度影响较小,1/4 波电压适中,能够实现较快的上升下降时间,因此是目前皮秒激光器中采用较多的电光晶体之一。本实验采用的 BBO 晶体尺寸为 3 mm×3 mm×20 mm,所加 1/4 波电压约为 4000 V,电光开关的上升下降时间为 5 ns。

3 实验结果

在激光驱动电流为 54 A,抽运光平均功率 20 W 时,再生放大器输出功率为 1.5 W,能量增益系数为 6×10^5 。此时电光开关的脉冲宽度为 109 ns,即种子在再生腔中往返 9 次后输出。实验中继续增加脉冲宽度,使种子光在腔内往返程数增加,欲获得更高功率的激光输出,此时 BBO 电光晶体损伤。图 2 是再生放大器输出脉冲波形,图中主脉冲幅值为 1200 mV,主脉冲前小脉冲幅值约为 2 mV,主从脉冲比达到 600:1。

图 3 为采用 Femtochrome 公司自相关仪(FR-103MN)测得的输出激光脉冲的自相关曲线。脉冲宽度 T

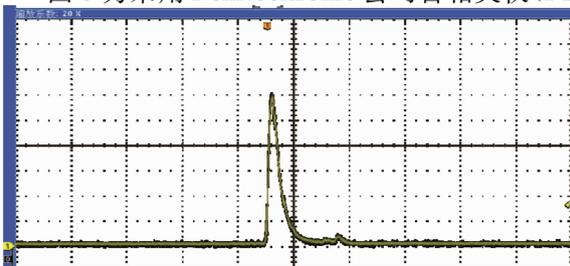


图 2 输出脉冲波形图

Fig. 2 Output waveform of regenerative amplifier

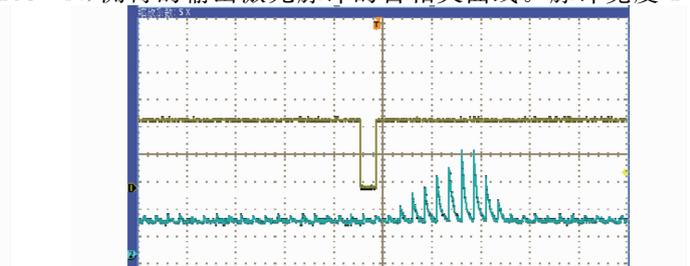


图 3 输出脉冲自相关曲线

Fig. 3 Output autocorrelation trace of regenerative amplifier

计算公式为

$$T = 0.707 \times 2x \times t / (0.3s)$$

式中 t 为自相关信号脉宽, x 为自相关信号在时间上移动 s 的长度变化量。 $t=5$ ms, $x=2.58$ mm, $s=4$ ms。经计算,脉冲宽度为 15 ps,略大于种子源的脉冲宽度。

图 4 为再生放大器输出激光光束质量测量结果。输出功率 1.5 W 时,激光在两个方向上的光束质量因子分别为 1.26 和 1.34。图 5 为再生激光光斑照片,图中所示再生激光光强分布较为均匀,结合光束质量测量结果,可近似认为再生后激光为基模输出。

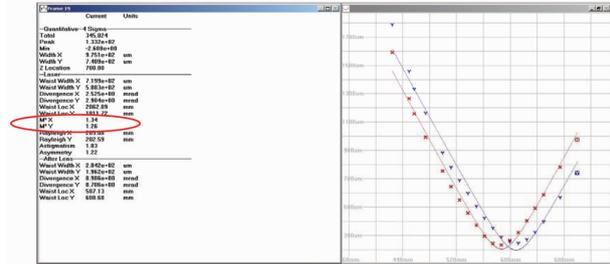


图 4 再生放大器输出激光光束质量

Fig. 4 Beam quality M^2 of regenerative amplifier

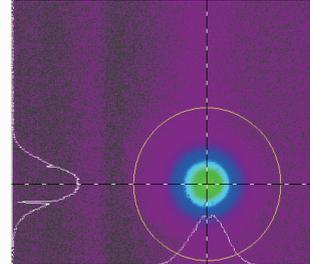


图 5 再生放大器输出激光光斑

Fig. 5 Spot of regenerative amplifier

4 结 论

采用激光二极管端面抽运方式和 Z 型对称再生腔结构,获得了重复频率 1 kHz,平均功率 1.5 W 的再生激光输出,单脉冲能量达到 1.5 mJ,脉冲宽度 15 ps,此时输出激光两个方向上的光束质量因子均小于 1.5。由于损伤问题限制了输出功率的提高,因此进一步增加腔内模式在激光晶体和电光晶体处的光斑大小是获得更高能量激光输出的关键。

参 考 文 献

- 1 R. Fluck, G. Zhang, U. Keller *et al.*. Diode pumped passively mode-locked 1.3 μm Nd:YVO₄ and Nd:YLF laser using semiconductor saturable absorbers[J]. *Opt. Lett.*, 1996, **21**(17): 1378~1380
- 2 Chen Meng, Zhang Bingyuan, Li Gang *et al.*. Study on SESAM passively-mode-locked Nd:YAG laser[J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(6): 646~648
陈 檬, 张丙元, 李 港 等. 半导体可饱和吸收镜被动锁模 Nd:YAG 激光器的研究[J]. *中国激光*, 2004, **31**(6): 646~648
- 3 L. Guo, W. Hou, H. B. Zhang *et al.*. Diode-end-pumped passively-mode-locked ceramic Nd:YAG laser with a semiconductor saturable mirror[J]. *Opt. Express*, 2005, **13**(11): 4085~4089
- 4 Li Xiao, Xu Xiaojun. Passively mode-locked side-pumped Nd:YAG laser with semiconductor saturable absorption mirrors [J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(s1): 25~28
李 霄, 许晓军. 用半导体可饱和吸收镜实现侧面抽运 Nd:YAG 被动锁模固体激光器[J]. *中国激光*, 2008, **35**(s1): 25~28
- 5 Sanjun Zhang, E. Wu, Haifeng Pan *et al.*. Passive mode locking in a diode-pumped Nd:GdVO₄ laser with a semiconductor saturable absorber mirror[J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 2004, **40**(5): 505~508
- 6 W. Koechner. *Solid-State Laser Engineering*[M]. Berlin: Springer, 1999
- 7 V. Bagnoud, J. Luce, L. Videau *et al.*. Diode-pumped regenerative amplifier delivering 100 mJ single-mode laser pulses [J]. *Opt. Lett.*, 2001, **26**(6): 337~339
- 8 J. Kleinbauer, R. Knappe, R. Wallenstein. 13 W picosecond Nd:GdVO₄ regenerative amplifier with 200 kHz repetition rate[J]. *Appl. Phys. B*, 2005, **81**(2-3): 163~166
- 9 J. Kleinbauer, R. Knappe, R. Wallenstein. A powerful diode-pumped laser source for micro-machining with ps pulses in the infrared, the visible and the ultraviolet[J]. *Appl. Phys. B*, 2005, **80**(3): 315~320