文章编号:1001-5078(2012)09-0983-03

· 激光器技术 ·

二极管侧面泵浦 10 kHz 皮秒激光再生放大器

邹 跃,毛小洁,秘国江,庞庆生,王建军 (华北光电技术研究所,北京 100015)

摘 要:采用 LD 侧面泵浦腔,对 SESAM 锁模皮秒脉冲进行再生放大,在 10 kHz 重复频率下, 获得了 5.5 W(单脉冲能量 0.55 mJ)的皮秒激光输出,光束质量 M² < 2.9。之后又采用 KTP 晶体进行倍频,获得了 2.25 W 皮秒绿光输出。 关键词:皮秒激光;再生放大;LD 侧面泵浦;SESAM 锁模

中图分类号:TN248.1 文献标识码:A DOI:10.3969/j.issn.1001-5078.2012.09.004

LD side-pumped 10 kHz pico-second regenerative amplifier

ZOU Yue, MAO Xiao-jie, BI Guo-jiang, PANG Qing-sheng, WANG Jian-jun (North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: A LD side-pumped efficient regenerative amplifier is reported. It is seeded from a SESAM mode-locked pico-second laser. A output of 5.5 W(0.55 mJ per pulse) at 10 kHz is obtained. The M^2 is less than 2.9. After that, the frequency doubling is done using a piece of KTP, and an output of 2.25 W at 532 nm is obtained.

Key words: pico-second pulse; regenerative amplifier; LD side-pumped; SESAM mode-locked

1 引 言

近年来,具有更高峰值功率的皮秒激光在非线 性光学、激光光谱学、生物医学、精密打孔、特种材料 微加工、卫星激光测距^[1-3]等领域都得到了大量的 应用。高重复频率、大单脉冲能量、小体积是皮秒激 光器的发展趋势。若想获得微焦以上量级的皮秒脉 冲,通常采用多程放大^[4]以及再生放大^[5-7]两种方 式。多程放大需要复杂的结构,且单程增益较小,更 适合连续脉冲序列的放大。相比之下再生放大的方 式结构相对简单,可以将 nJ 级的种子激光放大 10⁵~10⁶ 倍,并具有很好的光束质量和能量稳定性, 是获得重复频率在 kHz、脉冲能量在 mJ 量级输出的 重要技术。

2 方案设计

本系统采用侧面泵浦腔作为再生腔的泵浦源, 再生腔为平 – 平腔。与通常的端面泵浦结构相比, 侧泵方式由于整个晶体棒都是泵浦区,这种结构易 于使种子和再生光路获得很好的耦合,调试方便,结 构简单;同时,侧泵腔又能提供很高的增益,使种子 激光获得较高的放大倍率。实验装置如图1所示。 种子光由端面泵浦 SESAM 锁模固体激光器产生,为 双路输出设计,一路用于触发电光开关,一路用于激 光放大,单路平均功率为600 mW,脉冲宽度13 ps, 重复频率为81 MHz。P1,P2,P3 为偏振片,M1,M2 为1064 nm 0°全反镜,M3 为45°1064 nm 全反镜, FR1,FR2 为法拉第旋转器,λ/2,λ/4 分别为二分之 一波片、四分之一波片,P1 与 FR1 构成一级隔离器, 二分之一波片与 FR2 构成二级隔离器。种子光依 次通过一、二级隔离器,由 M3 和 P3 倒入再生腔。 实验中采用侧面泵浦腔采用五维 LD 线阵侧面环绕 泵浦结构,Nd:YAG 棒尺寸是 Φ5 ×95,最大泵浦功 率为500 W。PC 为电光 Q 开关,从 81 MHz 的种子 脉冲中选出 10 kHz 的脉冲进行放大。Telescope 为 扩束镜,使种子光和再生腔获得最好的匹配。

作者简介: 邹 跃(1981 -), 男, 硕士, 工程师, 主要从事二极管 泵浦大功率固体激光器, 倍频激光器, 皮秒锁模激光器等方面的研究。E-mail: solotian@ hotmail. com

收稿日期:2011-12-07



图 1 10 kHz 皮秒激光器光路图

Fig. 1 setup of kHz picoseconds regenerative amplifier

当种子光未加高压时,所有的种子光都两次经 过 $\lambda/4$ 波片,偏振方向旋转90°,进入再生腔,往返 一次后偏振方向再次旋转90°,从P3反射出腔外。 当PC加上1/4高压时,在腔内已经走了一周的种 子脉冲在M1-P3 段偏振方向不再改变,因此能留 在腔内不断被放大,直到PC上的高压退下时,从P3 反射出再生腔外,经过M3和二级隔离器,从P2输 出。种子激光输出为81MHz脉冲序列,相邻两个 脉冲间隔T约为12.3 ns。要想获得稳定的放大,腔 内需只有一个脉冲在往返^[8],则再生腔长的最大值 L_{max} 为:

 $L_{\max} < c \times T$

由于电光 Q 开关的上升沿 Δt 为 5 ns 左右,种 子脉冲在 PC 和 M2 的往返时间应大于此时间,才能 实现脉冲的选择和放大,因此腔长不能短于此间光 的行程,即:

 $2 \times L_{\min} > c \times \Delta t$

由上,再生腔的腔长范围应选择在 0.75 ~ 3.7 m之间。实验中,根据侧面泵浦腔的热焦距范围和输出效率,选择腔长为 1.6 m。

3 实验结果及分析

首先,在不加入电光 Q 开关和四分之一波片时,对再生腔进行了退偏输出实验,在 P3 的另一侧 输出功率曲线如图 2 所示。



从图 2 可以明显看出,由于再生腔较长,在 16~17 A 处,输出有明显拐点。

当插入电光调 Q 晶体时,发现损耗很大。在 16 A 泵浦电流下,插入 KDP 晶体,输出仅余2.8 W, 当我们换用 BBO 晶体^[9]时输出为7.2 W。因此我 们选择插入损耗较小的 BBO 作为电光调 Q 晶体。 当插入四分之一波片,由另一路输出种子脉冲信号 触发高压源,在24 A 的泵浦电流下,仔细调节波片 的角度和高压的宽度和延时,获得了最大再生输出 为5.5 W,设腔长为L,光速为c,根据公式:

N = Pw/(L/c)

种子脉冲在再生腔内被增益介质放大了约98次,单脉冲能量由7.4 nJ 被放大到0.55 mJ,放大倍率为0.74×10⁵。再生放大后的光束并没有发生严 重畸变(如图3所示),经测量,光束质量 M²<2.9。



图 3 10 kHz 再生放大输出的光束图样 Fig. 3 the output beam at 10 kHz

当撤去扩束望远镜,发现获得的最大功率为 4.5 W(输出功率曲线如图 4 所示),比有扩束镜耦 合时低了 20%。由此可见,在再生放大过程中,没 有经过扩束的种子光并没有充分利用再生放大介质 的泵浦区,导致效率较低。



之后又用 KTP 晶体对其进行了倍频实验。为 了防止倍频晶体的损坏,只用焦距为600 mm 的透 镜对基频光进行聚焦,在24 A 获得了2.25 W 的 532 nm 绿光输出,相信如果采用更短焦距的透镜聚 焦,倍频晶体换用抗损伤阈值更高的 LBO,将会获 得更高的倍频效率。

4 总 结

本文采用大功率侧面泵浦腔作为泵浦源,采用 平平腔设计,选择损耗较小的 BBO 电光 Q 开关进行 选择脉冲和再生放大,最终在泵浦电流为 24 A、重 复频率为 10 kHz 时,获得了 5.5 W 的皮秒激光输 出。之后又用 KTP 晶体对其进行了倍频实验,获得 了 2.25 W 的 532 nm 绿光输出。该激光系统相对于 多程放大以及端面泵浦再生放大器等结构简单,易 于调试,可以获得单脉冲能量达 mJ 量级的 10 kHz 皮秒激光脉冲,非常适合作为商用激光器的设计 方案。

参考文献:

- [1] Cai Zhiqiang, Wang Peng, Wen Wuqi, et al. LD end-pumped all-solid-state picosecond passively mold-locking lasers [J]. Chinese Journal of Lasers, 2007, 34(7): 901-907. (in Chinese)
 蔡志强, 王鹏, 温午麒,等. 端面抽运全固态皮秒被动 锁模激光器[J]. 中国激光,2007,34(7):901-907.
- [2] Zhang Bingyuan, Chen Meng, Li Gang, et al. Study on diode-side-pumped mode-locked laser with semiconductor saturable absorber mirror[J]. Acta Optica Sinica, 2005, 25(1):59-62. (in Chinese) 张柄元,陈檬,李港,等.激光二极管侧面抽运 Nd:YAG

锁模激光器的研究[J].光学学报,2005,25(1):

59 - 62.

- [3] Antonio Agnesi, Luca Carra, Federico Pirzio, et al. Highgain diode-pumped amplifier for generation of microjoulelevel picosecond pulses[J]. Opt. Express, 2006, 14(20): 9244 – 9249.
- [4] P Heinz, A Seilmer, A Piskarskas. Picoseond Nd: YLF laser-multipass amplifier source pumped by pulsed diodes for the powerflu OPOs [J]. Opt. Commun, 1997, 136: 433-436.
- [5] M Siebold, Mhornumg, J Hein, et al. A high-average power diode-pumped Nd: YVO₄ regerative laser amplifier for picoseond-pulses [J]. Appl. Phys. B,2004,78:287 - 290.
- [6] J Kleinbauer, P Knappe, R Wallenstein. 13-W picosecond Nd:GdVO₄ regenerative amplifier with 200 kHz repetition rate[J]. Appl. Phys. B,2005(81):163 – 166.
- [7] Li Gang, Chang Liang, Chen Meng, et al. PS laser pulse regenerative amplifier pumped by LD[J]. Infrared and Laser Engineering, 2007,6(Sumplement):122 124. (in Chinese)
 李港,常亮,陈檬,等. LD 泵浦皮秒激光脉冲再生放大器[J]. 红外与激光工程,2007,6(增刊):122 124.
- [8] Wang Xu, Bi Guojiang, Zhang Guosun, et al. Study on laser diode-pumped regerative amplifier[J]. Laser & Infrared, 2011, 41(11):1191 1194. (in Chinese)
 王旭,秘国江,钟国舜,等. LD 泵浦再生放大器技术研究[J].激光与红外, 2011, 41(11):1191 1194.
- [9] Yang Wenshi, Yu Jicheng, Lü Mingchun, et al. LD-pumped electro-optic Q-switching master osillator lasers with pulse repetition rates of 1 kHz[J]. Laser & Infrared, 2009,39(8):862-863. (in Chinese)
 杨文是,于继承,吕明春,等.千赫兹二极管抽运 Nd:YAG激光器[J].激光与红外,2009,39(8):862-863.