

文章编号: 0258-7025(2005)05-0590-03

激光二极管侧抽运 Nd:YLF 多程放大实验研究

王之桐, 陈三斌

(华北光电技术研究所激光技术部, 北京 100015)

摘要 进行了激光二极管侧抽运 Nd:YLF 多程放大实验研究。设计了高增益的激光二极管侧抽运 Nd:YLF 放大腔,通过对放大器的优化设计避免了自激的出现。放大器工作波长为 1053 nm,工作物质为 *c* 轴 Nd:YLF,重复频率 1 Hz,采用单个放大腔四程放大的光路结构,放大腔总抽运功率为 1.8 kW,激光二极管的中心波长为 797 nm,放大腔中激光二极管采用环状密耦合的方式,实现了高效抽运。种子激光能量为 0.1 μ J,脉宽为 7.5 ns, $M^2 \leq 1.1$,稳定性为 $\pm 8\%$ 。放大器输出能量为 2.9 mJ,脉宽为 6.7 ns, M^2 平均为 1.65,稳定性为 $\pm 6.9\%$,总增益为 2.9×10^4 倍。

关键词 激光技术; 激光二极管侧抽运; Nd:YLF 晶体; 多程放大

中图分类号 TN248.1 文献标识码 A

Experimental Study of Diode Side-Pumped Nd:YLF Multi-Pass Amplification

WANG Zhi-tong, CHEN San-bin

(Department of Laser Technique, North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing 100015, China)

Abstract The experiment of diode side-pumped Nd:YLF multi-pass amplification was studied. The high gain amplifying cavity of diode side-pumped Nd:YLF was designed optimally, to avoid the self-emission of amplifier. In the amplifier laser wavelength was 1053 nm, laser material was *c*-axis Nd:YLF, repetition rate was 1 Hz, four-pass structure was used, the total pumped power of amplifier was 1.8 kW, the central wavelength of diode was 797 nm, in the amplified cavity the diode was arranged compactly, and the high pumped efficiency was obtained. In the amplifier the seeder was 0.1 μ J, 6.5 ns, $M^2 \leq 1.1$ and stability was $\pm 8\%$, the output was 2.9 mJ, 5.2 ns, mean of M^2 was 1.65, stability was $\pm 6.9\%$, total gain was 2.9×10^4 .

Key words laser technique; diode side-pumped; Nd:YLF crystal; multi-pass amplification

1 引言

对于小信号放大器的设计有两种思路:采用再生放大器^[1]和多程放大器^[2]。再生放大器能够产生很高的增益倍率,但是电源制作复杂。而多程放大系统技术成熟,增益倍率调节方便,更适合于工程应用。在小信号高增益放大器中,为了获得高的增益倍率,必须考虑两方面因素:高的增益系数和抑制自激。由于采用多程放大,在放大器中就会存在多个高反射率的光学表面,这极大地增强了自发辐射,当放大腔具有高的增益系数时,就容易在信号光到达之前发生自激,这时放大器仅仅成为振荡器。因此在设计高增益放大器时希望在提高增益系数的同时抑制自激的发生。

2 激光二极管抽运放大腔的设计

Nd:YLF 是一种自然双折射晶体,其荧光寿命是 Nd:YAG 的两倍,特别适合作为储能激光材料使用,当使用中心波长匹配的激光二极管抽运时,能够获得很高的提取效率。同时 Nd:YLF 发出的 1053 nm 波长的光与 Nd 玻璃的峰值增益匹配,可以作为大型 Nd 玻璃放大器的振荡器或预放大器。

在放大器中,工作物质使用 Nd:YLF,由于需要产生 1053 nm 光,综合考虑吸收效率和提取效率,使用 *c* 轴晶体^[3]。尺寸为 $\phi 3 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$,激光二极管抽运光中心波长为 797 nm,重复频率为 1 Hz。根据放大器的要求,设计了激光二极管抽运放大腔结构^[4~6]。激光二极管热沉采用半圆形结构,将其

收稿日期: 2004-05-21; 收到修改稿日期: 2004-08-11

作者简介: 王之桐(1972—),男,吉林省长春市人,华北光电技术研究所工程师,博士,主要从事激光二极管抽运放大器技术和 SBS 相位共轭镜改善光束质量技术的研究。E-mail: wangzhitong@bjut.edu.cn

沿圆周紧密排列,长轴与 Nd:YLF 晶体的轴向平行。在设计时让激光二极管发光面尽可能地靠近晶体,以提高晶体中心的抽运强度,在每个半圆型热沉的圆周方向上密排了 5 排激光二极管,每排在热沉的轴向上排列了三只激光二极管,这样每个半圆型热沉共有 15 条 60 W 的激光二极管,总抽运功率为 900 W。根据这种半圆型的激光二极管热沉结构设计了两种放大腔:900 W 和 1800 W 放大腔,两种放大腔的结构如图 1 所示。900 W 放大腔使用一个半圆型热沉和一个漫反射半圆结构,将 Nd:YLF 晶体压到漫反射半圆结构上通过传导冷却;1800 W 放大腔使用两个半圆型热沉结构,Nd:YLF 悬在热沉之间,通过空气对流自然冷却。

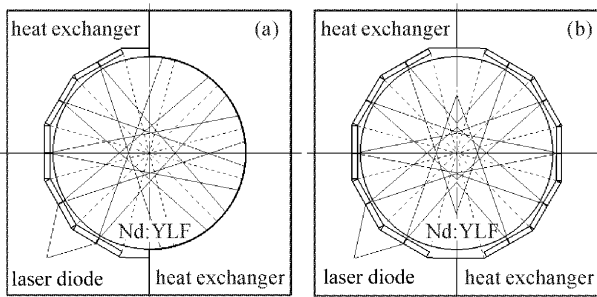


图1 激光二极管抽运放大腔结构图

(a) 900 W 放大腔; (b) 1800 W 放大腔

Fig. 1 Structure of diode-pumped amplifying cavity
(a) 900 W amplifying cavity; (b) 1800 W amplifying cavity

对 900 W 和 1800 W 两种放大腔进行了对比实验,图 2 为两种放大腔结构的荧光分布。900 W 放大腔的抽运最强部分偏向激光二极管热沉一方,Nd:YLF 晶体中心部分抽运强度不均匀;1800 W 放大腔采用全圆周抽运,Nd:YLF 晶体中心部分抽运强度更加均匀。为了比较两种热沉的增益特性,使用小信号种子激光分别测量了单程放大率,在光路中使用 $\phi 1$ mm 的同轴光阑,放大率曲线如图 3 所示。

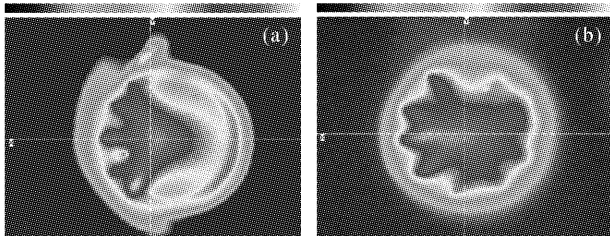


图 2 两种放大腔荧光分布比较图

(a) 900 W 放大腔; (b) 1800 W 放大腔

Fig. 2 Comparison of fluorescence profile

between 900 W and 1800 W amplifying cavities

(a) 900 W amplifying cavity; (b) 1800 W amplifying cavity

图中虚线为 900 W 热沉增益的平方,可以看出 1800 W 的增益曲线与虚线基本重合,这和理论是吻合的。考虑到放大器的增益倍率,最终采用 1800 W 全圆周抽运放大腔结构。

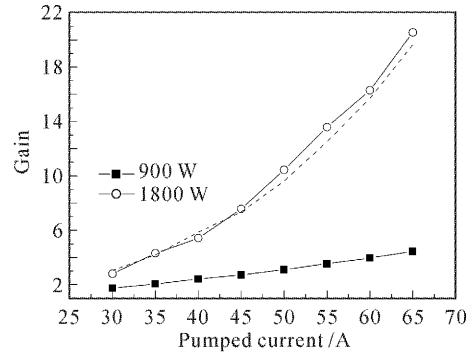


图 3 900 W 和 1800 W 放大腔单程增益对比

Fig. 3 Comparison of one pass gain between 900 W and 1800 W amplifying cavities

3 实验装置

图 4 为放大器的实验原理图。这是一个激光二极管抽运的单级四程放大器。由于晶体的中心区域抽运密度高,为了获得高的增益倍率,种子激光扩束后使用了直径 1 mm 的同轴光阑。放大器和种子激光光源之间采用磁光隔离器隔离,隔离器由两片多层介质膜偏振片(P)和其间的法拉第旋光器(FR)与 45°石英旋光器(QR)组成,偏振片和轴向约成 57°,偏振片的消光比为 100:1。种子激光首先由两面 45°全反射镜反射进放大腔,然后被平面全反射镜反射回放大腔进行二次放大,二次放大光在一面 45°全反射镜的侧面通过两次放大的光路保持一定的夹角,二次放大光被另一面全反射镜沿原路反射回放大腔,光束两次通过 $\lambda/4$ 波片,偏振方向旋转 90°,被全反射镜反射回的二次放大光在放大腔中又经过两次放大,最后在多层介质膜偏振片处耦合输出。为了抑制自激发生,将晶体两端磨斜,使两条光路保持一定的夹角,这样可以增大光路中各个光学表面之

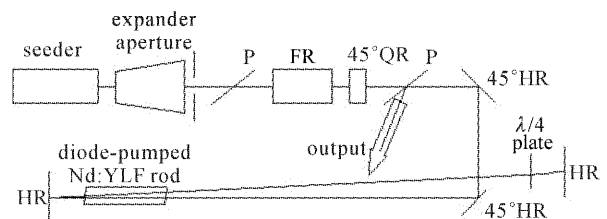


图 4 多程放大实验原理图

Fig. 4 Schematic of multi-pass amplifying experiment

间的倾斜角度,同时将两面全反射镜之间的距离拉大,这几项措施有利于抑制自激;为了保持较高的增益,将放大腔紧靠全反镜,这样使两条光路尽可能地通过晶体中心抽运最强的区域,以获得较高的增益。

4 实验结果和分析

首先测量了放大器的单程和双程的增益倍率,实验结果如图 5 所示。种子激光重复频率为 1 Hz,脉冲宽度为 7.5 ns, $M^2 \leq 1.1$, 经过扩束、光阑并衰减后能量为 0.1 μJ , 稳定性为 $\pm 8\%$ 。测量时使用 EPM2000 主机和 J4S-09 探头,由于 J4S-09 探头量程的限制,首先将种子能量调整到 2 μJ , 然后衰减 20 倍到 0.1 μJ 。在图 5 中电流 65 A 时单程增益倍率为 20.5, 双程增益为 285。双程放大的增益小于单程增益的平方,这是因为两条光路不重合,单程放大光路沿晶体中心抽运最强区域通过,而双程放大光路偏离晶体中心,造成双程放大增益下降。

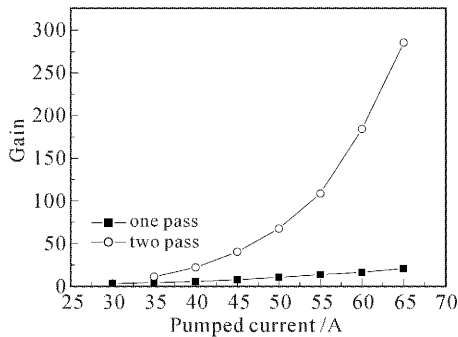


图 5 放大器单、双程增益曲线

Fig. 5 Gain curve of one pass and two passes of amplifier

在单、双程放大的基础上进行四程放大实验。在调节四程光路时,虽然采取了棒端磨斜、光路分开和拉长光路等措施,但是如果调整不当,仍有可能出现自激,必须仔细调整。由于线偏振光通过晶体的磨斜端面时存在退偏,这样最终输出时会存在一定的退偏光。为了避免不同探头的影响,使用 J4S-09 探头加衰减片测量四程放大输出,四程放大的结果如图 6 所示,在电流为 65 A 时,输出能量为 2.9 mJ, 脉冲宽度为 6.7 ns, M^2 平均值为 1.65, 稳定性为 $\pm 6.9\%$, 增益为 2.9×10^4 倍。该放大器输出光束的稳定性与种子光的稳定性相当。

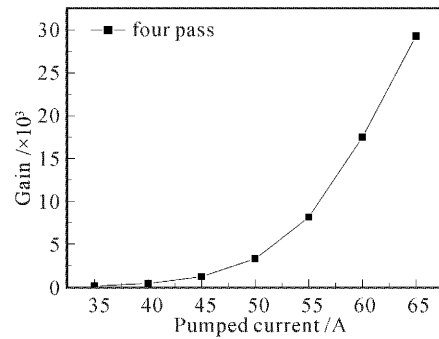


图 6 放大器四程增益曲线

Fig. 6 Gain curve of four passes of amplifier

5 结 论

通过合理设计激光二极管抽运放大腔结构和四程放大光路,在提高放大器增益倍率的同时有效地抑制了自激的出现,在重复频率 1 Hz 条件下,将脉冲宽度 7.5 ns, 种子激光能量 0.1 μJ , $M^2 \leq 1.1$, 稳定性 $\pm 8\%$ 的种子光束放大为脉冲宽度 6.7 ns, 输出能量 2.9 mJ, M^2 平均值 1.65, 稳定性 $\pm 6.9\%$ 的光束, 增益为 2.9×10^4 倍。种子光束得到高增益的放大, 并保持了很高的光束质量, 同时与种子光束相比输出光束的稳定性不变。

参 考 文 献

- Wei Hui, Zhang Shengjia, Xu Shizhong *et al.*. LDA pumped Nd:YLF regenerative amplifier[J]. *Chinese J. Lasers*, 2003, **30**(8): 677~680
韦 辉, 张生佳, 许世忠 等. LDA 抽运 Nd:YLF 再生放大器的实验研究[J]. *中国激光*, 2003, **30**(8): 677~680
- Lan N. Ross, Marta Csatari, Steve Hutchins. High-performance diode-pumped Nd:YLF amplifier[J]. *Appl. Opt.*, 2003, **42**(6): 1040~1047
- Newton Sims Jr., Norman P. Barnes. Laterally diode-pumped c-axis Nd:YLF laser [J]. *OSA Proceedings on Advance Solid-State Lasers*, 1993, **15**: 41~45
- Zhang Shen-jin, Feng Guo-ying, Li Ming-zhong *et al.*. Experiment research of Nd:YLF laser amplifier tightly ring-pumped by high power LD array[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2004, **16**(6): 754~758
张申金, 冯国英, 李明中等. 高功率 LDA 紧密环绕抽运 Nd:YLF 放大器实验研究[J]. *强激光与粒子束*, 2004, **16**(6): 754~758
- Luo Yi-ming, Li Ming-zhong, Qin Xing-wu *et al.*. Study on ring-LD side-pumping solid laser [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2002, **14**(3): 331~333
罗亦鸣, 李明中, 秦兴武 等. 大功率环形 LD 侧面抽运 Nd³⁺:YLF 激光器的特性[J]. *强激光与粒子束*, 2002, **14**(3): 331~333
- Qin Xing-wu, Chen Liang-ming, Li Ming-zhong *et al.*. Study on laser-diode-end-pumped Nd:YLF laser amplifier [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2002, **14**(2): 181~184
秦兴武, 陈良明, 李明中等. LD 端面抽运 Nd:YLF 激光放大器研究[J]. *强激光与粒子束*, 2002, **14**(2): 181~184