

文章编号: 0258-7025(2001)09-0769-03

## 2×1 组合式片状放大器增益特性实验研究\*

王成程 於海武 贺少勃 刘勇 唐军 淳于咏梅 王琳 郑万国 张小民  
(中国工程物理研究院聚变研究中心, 高温高密度等离子体物理国家级重点实验室 绵阳 621900)

**摘要** 利用俄罗斯 2×1×3 组合式片状放大器对国产 N<sub>31</sub> 新型磷酸盐激光玻璃和俄罗斯激光玻璃的增益特性进行了对比性实验研究, 在相同的抽运条件下, 得到了国产 N<sub>31</sub> 新型磷酸盐激光玻璃增益能力比俄罗斯激光玻璃高 83.4% 的实验结果。

**关键词** 组合式片状放大器, 储能效率, 磷酸盐激光玻璃, 小信号增益系数

中图分类号 TL 632<sup>+</sup>.1 文献标识码 A

### Research of Gain Character in 2×1 Multi-slab-amplifiers

WANG Cheng-cheng YU Hai-wu HE Shao-bo LIU Yong TANG Jun  
CHUNYU Yong-mei WANG Lin ZHENG Wan-guo ZHANG Xiao-min  
(National Key Laboratory of Laser Fusion, CAEP, Mianyang 621900)

**Abstract** In this paper, the gain characters of the new N<sub>31</sub> phosphate Nd:glass which made in China and the phosphate Nd:glass made in Russia are measured with a 2×1×3 multi-segment-amplifiers. And it is shown that the gain coefficient of N<sub>31</sub> phosphate Nd:glass is 83.4% higher than that of the Russia phosphate Nd:glass at the same pumping condition.

**Key words** multi-segment-amplifiers, energy storage efficiency, phosphate laser glass, small signal gain coefficient

自从惯性约束核聚变(ICF)提出以来,激光驱动器技术得到了飞速的发展。世界各国成功研制了各种规模和水平的高功率激光装置。其中高功率激光系统采用组合式片状放大器(MSA)的多程放大结构,可以有效地降低整个装置的造价,提高系统的性能价格比。片状放大器是整个驱动器的核心部分,其性能的好坏直接影响装置的输出功率。在实验研究过程中,世界各国均采用了以磷酸盐钕玻璃为工作物质的组合式片状放大器结构。高功率激光系统采用大口径矩形磷酸盐玻璃作为激光工作物质的原因是由于它具有高的增益和较大的受激发射截面、非线性折射率低,并且磷酸盐激光玻璃激光光谱的中心波长非常稳定,不随激光器输入能量的变化而变化等特点,从而有效地提高了整个装置的最终输出功率。本文利用俄罗斯 2×1 组合式片状放大器对俄罗斯磷酸盐激光玻璃和我国自行研制的新型

N<sub>31</sub>磷酸盐钕玻璃的增益特性进行了实验研究,并给出了对比性的实验结果。

### 1 俄罗斯 2×1 片状放大器的结构

每个俄罗斯 2×1 片状放大器模块单元采用两个 24 cm×24 cm 的方形通光口径,如图 1 所示。为了提高脉冲氙灯的抽运效率和研究方光束的传输,采用了矩形的磷酸盐钕玻璃片,并沿通光口径方向按布儒斯特角放置,每张片抽运体积  $V_{\text{抽运}} = 24 \text{ cm} \times 48 \text{ cm} \times 4 \text{ cm} = 4608 \text{ cm}^3$ 。反射器采用了镀银的平板反射器。每台 2×1 片状放大器组件中安装 24 支氙灯,两边各排 12 支,四支氙灯串联为一组。氙灯长度为 760 mm,灯管外径为  $\phi 20 \text{ mm}$ ,内径为  $\phi 16 \text{ mm}$ ,爆炸系数  $f_x = 0.2$ 。2×1 片状放大器实验系统采用 2×1×3 的组合式结构,这样可以提高放大器抽运光的利用效率。同时,任意两台放大器可并联组合成 2×2 组合式放大器,为系统总体实验中实时调整各组放大器的片数提供了方便。

\* 国家 863 惯性约束聚变领域资助课题。

收稿日期:2000-05-19; 收到修改稿日期:2000-06-30

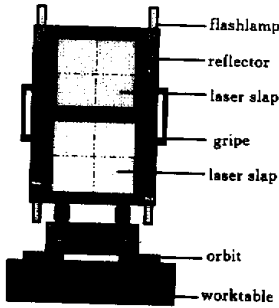


图 1  $2 \times 1$  组合式片状放大器组件结构示意图  
Fig. 1 Schematic configuration of  $2 \times 1$  MSA unit

## 2 $2 \times 1$ 片状放大器增益特性的实验研究

实验过程中采用行波法测量  $2 \times 1$  组合式片状放大器增益, 具体步骤为: 首先, 利用 TDS644 示波器和强流管对氙灯光和激光信号进行同步调节。因为, 在脉冲光抽运作用下, 放大器工作物质中反转粒子数数量将随时间改变。为了得到最大的增益应使激光信号在反转粒子数达到最大的时刻通过放大器。在理论上可以求解速率方程得到反转粒子数随时间变化的函数关系式。但在实验上难于直接测量反转粒子数的数量, 因此通过间接的方法确定反转粒子数达到最大的时刻。长期实验经验表明, 使激光波形位于氙灯光波形峰值后沿的前三分之一处时, 激光信号的增益最大。第二步是对实验过程中使用的激光能量卡计进行定标。以此确定卡计的基准值, 同时也确定了卡计的定标系数。第三步是测量动态情况下的氙灯光本底。最后是放大器小信号增益系数的测量。为了能正确测量小信号增益, 消除能量卡计、分光镜及滤光片等测量元件在定标时引入的系统误差, 采用了相对测量的方法。实验光路如图 2 所示,  $2 \times 1$  放大器上面的口径中放置三张

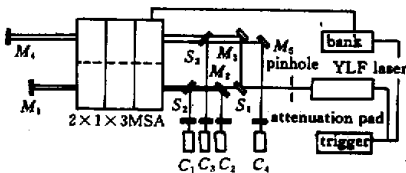


图 2 小信号增益系数测量光路图  
Fig. 2 Small signal gain coefficient measurement layout

$N_{31}$  铍玻璃片, 下面的口径中放置三张俄罗斯铍玻璃片。光路中  $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5$  为全反射镜,  $S_1, S_2, S_3$  为分光镜。测试过程中, 用干涉滤光片遮住放大器的通光口径, 这样做的主要目的是消除杂散光的影响, 提高测量精度。卡计  $C_1, C_3$  测量放大器的静态输入光能量, 卡计  $C_2, C_4$  测量两次通过放大器光抽运后的动态输出光能量, 则两组铍玻璃片的小信号增益  $g_1, g_2$  可以由式(1), (2) 分别求出

$$g_1 = (\Delta C_2 / \Delta C_1) / (C_2' / C_1') \quad (1)$$

$$g_2 = (\Delta C_4 / \Delta C_3) / (C_4' / C_3') \quad (2)$$

其中  $\Delta C_2 / \Delta C_1, \Delta C_4 / \Delta C_3$  为放大器正常工作时的能量比值, 即动态测量值;  $C_2' / C_1', C_4' / C_3'$  为放大器未点燃时的静态能量比值, 即卡计定标系数。由文献[2]知道, 小信号增益系数  $\beta$  与小信号增益  $g$  之间的关系为

$$\beta = \frac{n(1+n^2)^{1/2}}{t(1+n^2)} \cdot \ln g \quad (3)$$

式中,  $n$  为铍玻璃的折射率,  $t$  为铍玻璃片的厚度 (单位为 cm), 对于同一种铍玻璃片而言,  $n \sqrt{(1+n^2)} / [t(1+n^2)]$  为常数。知道了通过放大器前后的光强值, 就可以得到小信号增益系数  $\beta$ 。

## 3 实验结果与讨论

经过数发实验测试以后, 获得了  $2 \times 1$  组合式片状放大器的小信号增益系数的测试结果。在不计动态损耗 ( $0.0045 \text{ cm}^{-1}$ ) 的情况下, 测得的俄罗斯磷酸盐铍玻璃片与国产  $N_{31}$  磷酸盐铍玻璃片的小信号增益系数数据对比如表 1, 表 2 所示。

由表 1, 表 2 可以看出, 在相同的抽运条件下国产  $N_{31}$  磷酸盐铍玻璃片的增益能力较高。在引起两种磷酸盐铍玻璃片的增益能力不同的诸多因素中, 磷酸盐铍玻璃片的中心波长位置、铍离子的掺杂浓度、铍玻璃片受激发射截面的大小以及氙灯放电脉宽等因素起着决定性的作用。在相同的氙灯抽运条件下, 利用 OMA4000 光谱仪对两种铍玻璃片的中心波长进行了实验测试, 测得的波形曲线如图 3 所示。

初步的实验结果表明, 俄罗斯磷酸盐铍玻璃片的中心波长为 1055 nm, 与 YLF 振荡器 1053 nm 的中心波长相差近 2 nm; 国产新型  $N_{31}$  磷酸盐铍玻璃片的中心波长为 1052.8 nm, 与 YLF 振荡器 1053 nm 的中心波长相差仅为 0.2 nm。实验中两种铍玻

璃片是在相同的氙灯抽运条件下进行的,因此不存在氙灯放电脉宽的差别。由铈玻璃片参数测试报告得知,两种片的铈离子掺杂浓度和受激发射截面差

别不大。由此不难看出,铈玻璃片与 YLF 振荡器中心波长的不匹配是影响俄罗斯铈玻璃片小信号增益系数较低的主要原因。

表 1 俄罗斯磷酸盐铈玻璃片小信号增益系数测量结果

Table 1 Small signal gain coefficient of the Russia Nd:glass slabs

Shot	Actual charge voltage/kV	Calibrate coefficient of calorie $C_2' : C_1'$	Dynamic test value $\Delta C_2 : \Delta C_1$	Small signal gain $g$	Small signal gain coefficient $\beta_1 / \text{cm}^{-1}$	Average value of small signal gain coefficient $\beta_1 / \text{cm}^{-1}$
1	21.3	2.283	4.028	1.764	1.98%	2.047%
2	21.3	2.283	4.143	1.815	2.08%	
3	21.3	2.283	4.147	1.816	2.08%	

表 2 国产  $N_{31}$  磷酸盐铈玻璃片小信号增益系数测量结果

Table 2 Small signal gain coefficient of the  $N_{31}$  Nd:glass slabs

Shot	Actual charge voltage/kV	Calibrate coefficient of calorie $C_4' : C_3'$	Dynamic test value $\Delta C_4 : \Delta C_3$	Small signal gain $g$	Small signal gain coefficient $\beta_2 / \text{cm}^{-1}$	Average value of small signal gain coefficient $\beta_2 / \text{cm}^{-1}$
1	21.3	1.179	3.444	2.921	3.738%	3.754%
2	21.3	1.179	3.389	2.874	3.681%	
3	21.3	1.179	3.550	3.011	3.843%	

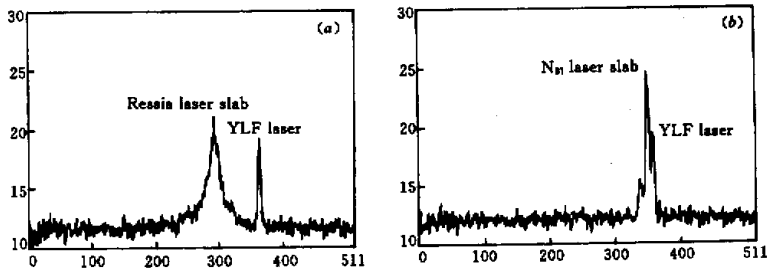


图 3 俄罗斯铈玻璃片 (a) 和  $N_{31}$  铈玻璃片 (b) 中心波长与 YLF 激光波长比较图

Fig. 3 Center wavelength of the Nd:glass made in Russia (a) and of the new  $N_{31}$  Nd:glass made in China (b) and the YLF laser

## 4 结 论

在相同的抽运条件下,三片组俄罗斯磷酸盐铈玻璃片的增益系数为  $2.047\% \text{cm}^{-1}$ ,三片组国产  $N_{31}$  磷酸盐铈玻璃片的增益系数为  $3.754\% \text{cm}^{-1}$ , $N_{31}$  片的增益比俄罗斯片的增益系数高 83.4%。在本次实验中磷酸盐铈玻璃片中心波长与 YLF 振荡器中心波长的不匹配是影响俄罗斯铈玻璃片小信号增益系数较低的主要原因。

致谢 在本文完成的过程中,作者与丁磊同志进行了有益的讨论,实验过程中得到了李明中、景峰、苏

春燕、刘华同志的指导和帮助,作者在此表示感谢。

## 参 考 文 献

- 1 Zhou Bingkun, Gao Yizhi, Chen Jiahua *et al.*. Laser Theory. Beijing: National Defence Industry Press, 1996. 12~13
- 2 Wang Chengcheng, Zheng Wanguo, Yu Haiwu *et al.*. Research of small signal gain character in large aperture square beam slab amplifiers. *High Power Laser and Particle Beams* (强激光与粒子束), 2000, 12(2):155~157 (in Chinese)
- 3 Wang Chengcheng, Zheng Wanguo, Yu Haiwu *et al.*. Research of gain uniformity in large aperture slab amplifier. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 2001, A28(4):355~358 (in Chinese)