

## 漫反射聚光腔灯泵 Nd:YAG 激光器\*

曹三松 王明秋 韩 鸿 张炳权  
(西南技术物理研究所,成都,610041)

**摘要:** 分析了漫反射聚光腔的特点,从实验上证实采用漫反射聚光腔可实现灯泵 Nd:YAG 调 Q 激光器高能量、高效率输出。

**关键词:** 固体激光器 聚光腔 漫反射

### A diffuse-reflecting pump cavity of a flashlamp pumped Nd:YAG laser

Cao Sansong, Wang Mingqiu, Han Hong, Zhang Bingquan  
(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu, 610041)

**Abstract:** The characteristics of a diffuse-reflecting pump cavity were analyzed. This paper pointed out, for these applications of the high laser beam quality and high efficiency of lasers, the diffuse-reflective cavity is a good selection. In experimental study, a Q-switched Nd:YAG laser with a diffuse-reflecting pumping cavity was utilized to obtain high-energy with high efficiency.

**Key words:** solid-state laser pump cavity diffuse-reflecting

## 引 言

实现灯泵型固体激光器高能量、高效率激光输出,除了注意泵浦灯与激光工作物质的光谱匹配、时间匹配外,还应该仔细设计聚光腔。聚光腔的作用主要是将泵浦光源辐射的光能最大限度地聚集到工作物质上去,聚光腔设计的好坏直接影响到固体激光器的输出能量和效率。为此,人们将提高聚光腔的效率作为一个重要的研究课题<sup>[1~3]</sup>。文献[2]采用镀银玻璃聚光腔,电光调 Q 动态激光效率达到 1.06%;文献[3]提出漫反射聚光腔具有高效率的特点,取得的实验结果是:漫反射中号聚光腔,输入 31J,静态输出能量 375mJ,效率 1.2%,动态(染料调 Q)输出 142mJ,效率 0.5%,高于相似参数的金属聚光腔。我们的研究表明,漫反射聚光腔的主要特点是泵浦均匀性好,这对于获得高能量、高效率调 Q 固体激光输出至关重要。下面给出了漫反射聚光腔实现 Nd:YAG 固体激光器高效率调 Q 输出的实验结果。

## 1 理论分析

泵浦光投射到激光棒上的能量与光泵总辐射能量之比,定义为聚光腔效率<sup>[4]</sup>:

$$\eta = \eta_o \eta_g \quad (1)$$

式中, $\eta_o$ 是光学效率,取决于腔的反射、散射、吸收等, $\eta_g$ 是腔的几何传输效率,它随腔结构的

\* 详细摘要在全国第十届激光学术报告会上宣读。

不同而变化。

### 1.1 光学效率

光学效率表示为：
$$\eta = R_1(1 - R_2)(1 - F)(1 - \alpha) \quad (2)$$

式中,  $R_1$  为聚光腔反射面对有用光的反射率,  $R_2$  为损耗反射率(激光棒和冷却玻璃管表面反射率),  $F$  为聚光器非反射表面(如开孔)和总表面积之比,  $\alpha$  为光学吸收系数。 $R_1$  最为重要。漫反射聚光腔的漫反射体通常采用氧化镁(MgO)或硫酸钡(BaSO<sub>4</sub>)粉,它是一种白色的细小颗粒组成,具有很好的漫反射性能,反射率很高,约为 90%~98%,且与光波长无关。

### 1.2 传输效率

它是被激光棒截获到的光能占会聚到棒处总光能之比,取决于泵浦光在棒处会聚成像的大小和激光棒半径的大小。通常聚光腔设计是利用其内壁反射,将泵浦光成像到激光棒上,而漫反射聚光腔是非成像系统,不是利用几何反射成像,而是利用高反射率的漫反射材料作为聚光器的内壁,反射泵浦光均匀地混合在聚光器内,因此,漫反射聚光腔的传输效率低于成像镜面反射聚光腔。为了减小光能损失,应将漫反射聚光腔体设计为紧耦合形式,压缩空间体积。

## 2 漫反射聚光腔的特点和工艺

调 Q 脉冲运转要求激光工作物质具有高的贮能,如果贮能分布不均匀,则动态激光输出能量将受到限制,因此,调 Q 运转的固体激光器在聚光腔设计上,必须在泵浦均匀性和效率两方面适当折衷。相比之下,泵浦均匀性更重要。漫反射聚光腔是非成像照明腔,由于漫反射的结果,光照均匀性较好,在激光棒中贮能的分布更均匀,消除了晶体中的“强点”,增加了“关门”能力。

漫反射聚光腔的结构和聚光特点均相似于紧耦合聚光腔,它有高达 90%~98%的反射系数,因此,它的光学效率高。并且,它具有良好的稳定性,能长时间使用,制作工艺不复杂,成本低,特别是它能实现均匀的光泵浦,这对于提高调 Q 激光器的输出非常重要。

漫反射聚光腔的制作是在金属管和玻璃管之间填充氧化镁粉,两者用同心装配,各部件之间都有定位面定位。在填充漫反射材料时需加压,以增加其密度。在玻璃圆柱或椭圆柱和半径稍大的金属外管之间密实地填充好漫反射粉,两端用环氧胶密封防水。

## 3 实验结果

采用直径  $\phi 6\text{mm}$  YAG 激光晶体,分别进行激光自由振荡静态输出和调 Q 动态输出实验。

### 3.1 静态激光运转

漫反射聚光腔与同样尺寸的镀银玻璃聚光腔激光输出能量对比实验结果如图 1 所示(—镀银玻璃聚光腔, —漫反射聚光腔)。

实验结果表明,漫反射聚光腔 YAG 激光器的静态效率可达到 2%以上,但激光输出略低于镀银玻璃聚光腔(在本文实验中输出低 13%左右)。

### 3.2 调 Q 脉冲运转

采用 KD\*P 电光调 Q 方式压缩激光脉冲宽度,在两种聚光腔形式下运转的激光输入-输

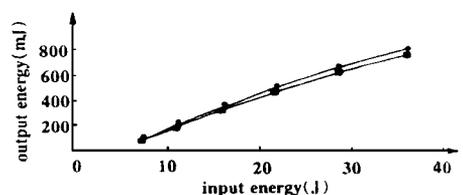


Fig. 1 Laser output energy as a function of input energy

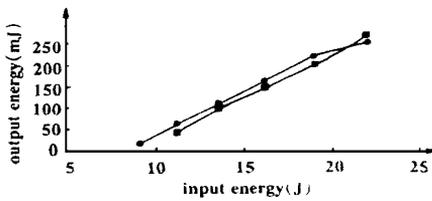


Fig. 2 Q-switching laser output energy as a function of input energy

出关系如图 2 (—镀银玻璃聚光腔, —漫反射聚光腔)。虽然,镀银单椭玻璃聚光腔的动态激光

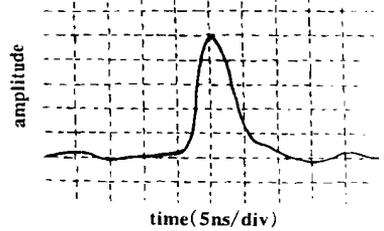


Fig. 3 Temporal profile of pulses (5ns/division)

能量在低注入能量下,输出能量略高于漫反射聚光腔,

但它在注入能量增加后,由于贮能分布不均匀,难以“关门”封锁,调 Q 动态激光输出能量饱和,而漫反射聚光腔贮能分布均匀,输出能量随注入能量而增加,激光效率得以提高。图 3 是调 Q 激光脉冲波形。

### 3.3 高重频脉冲运转

通常,人们认为漫反射聚光腔只能应用于低重频脉冲固体激光器,我们的实验研究结果表明,只要合理设计冷却水通道,提高散热能力,这种聚光腔能够应用在高重频或连续固体激光器中。实验中采用这种新设计的漫反腔,脉冲重复频率 60Hz,输入功率近 3.6kW,器件稳定运转,Nd: YAG 棒直径  $\phi 6\text{mm}$ ,输入-输出特性由图 4 给出,激光输出平均功率 100W 时,激光效率  $> 2.8\%$ 。

目前,高平均功率运转的聚光腔大都采用金属聚光腔,金属腔加工工艺复杂,易受污染而被破坏,使用寿命有限,而高重频漫反腔不易污染,使用寿命长,能保证激光器长期可靠运转。同样类型的金属聚光腔重量为 4.7kg,而漫反射聚光腔只有 0.75kg,漫反腔的重量明显减轻,这给应用带来很大的方便。

## 4 结 语

将漫反射聚光腔用于闪光灯泵浦的 Nd: YAG 电光调 Q 激光器及长脉冲高平均功率激光器中,实现高能量、高效率和高平均功率激光输出,已得到的实验结果是:采用  $\phi 6\text{mm}$  直径的 YAG 棒, KD\*P 电光调 Q 器件,激光单脉冲输出能量 268.1mJ/pulse,动态效率 1.2%,脉冲宽度 7ns。在脉冲重复频率 60Hz,注入 3.6kW 下,激光长脉冲平均输出功率为 101.2W,效率  $> 2.8\%$ 。

### 参 考 文 献

- 1 Hachfed K D. SPIE, 1986; 609: 55 ~ 77
- 2 李一平,古鸿仁,王明秋 *et al.* 兵器激光, 1983; 7(3): 13 ~ 18
- 3 周 斌,张炳权,李俊书. 兵器激光, 1986; 10(6): 28 ~ 32
- 4 Koehner W. Solid-State Laser Engineering. 3th ed, Springer-Verlag Berlin, 1992: 321

作者简介:曹三松,男,1959 年 7 月出生。副研究员。现主要从事激光器件和技术的研究。