

# 激光驾束制导 1.06 $\mu\text{m}$ 激光照射器的研究

赵尚弘<sup>1</sup>, 白晋涛<sup>2</sup>, 陈国夫<sup>2</sup>, 谢小平<sup>1</sup>

(1. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077; 2. 中科院西安光机所, 陕西 西安 710068)

**摘要:**报道了激光驾束制导 1.06 $\mu\text{m}$  激光源的实验研究结果。通过对三镜折叠腔进行传输矩阵分析和数值计算,筛选出一组能实现低阈值、高功率、稳定性好的优化腔参数。当泵浦功率为 24W 时,获得了 TEM<sub>00</sub> 模振荡的 6W 输出功率,其光—光转换效率为 25%。输出功率达到了驾束制导激光照射器的要求。

**关键词:**驾束制导;激光照射器 1.06 $\mu\text{m}$  激光;Nd·YVO<sub>4</sub>

**中图分类号:**V448 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2001)02-0001-03

激光驾束制导作为指令制导技术的一种,要求激光束对准目标,制导弹在波束中飞行,弹上的特殊接收器测定出弹在波束中相对中心线的偏移量,并由弹上控制部件产生指令,保证制导弹的攻击准确性。激光驾束制导在空中近距离(4~10km)打击地面目标作战及地对空武器系统中尤其实用;还可以单兵使用。激光驾束制导的核心技术包括激光照射器和空间编码技术。作为该技术关键部件的激光照射器,近年来的发展重点是二极管泵浦的固体激光器。激光二极管(LD)泵浦固体激光器,实现了全固化激光器件运转,取代了传统的气体放电光源(包括闪光灯)作为泵浦源,从根本上消除了气体放电类光源泵浦时热效应的影响,而且去掉了庞大的电源和冰冷系统,大大降低了运转成本和维护费用。固体激光器的特点是峰值功率高,平均功率也高光谱纯度高,工作寿命长,输出波长范围与现有的光学元件及器件(如调制器、隔离器和探测器)以及大气传输特性相匹配;而且很容易实现主振荡器—功率放大器结构。再加上效率高、体积小、重量轻、可靠性高和稳定性好等导致固体激光系统优先在机载和天基系统中应用。

目前固体激光器适合于激光制导的工作波长大多在 1 $\mu\text{m}$  和 2~3 $\mu\text{m}$  范围内,如 Nd·YAG, Nd·YLF 和 Nd·YVO<sub>4</sub> 等 1.06 $\mu\text{m}$  的波长是目前最广泛应用的激光<sup>[1]</sup>。尤其是 LD 泵浦全固化激光器,因为体积小、效率高、结构紧凑、工作可靠等特点,另外还可通过倍频器和参量振荡器变化得到所需的其他波长。本文报道我们在 Nd·YVO<sub>4</sub> 激光器中获得 1.06 $\mu\text{m}$  激光输出的研究结果。

## 1 实验系统设计

实验中设计的激光束采用三镜折叠腔 LC 双端泵浦 Nd·YVO<sub>4</sub> 结构如图 1(a)所示。实验中使用的泵浦源为光纤耦合输出的半导体激光器(LD)(OPC-BO15-FCPS, Opto-Power Corp. 美国)。Nd·YVO<sub>4</sub> 相对于其它材料具有高的激光增益,宽的吸收光谱,而且可参入高的 Nd<sup>3+</sup> 离子浓度,因而具有较高的吸收系统,在端面泵浦方式下,有利于缩短晶体长度,缩短腔长;也便于泵浦光与激光模式的最佳耦合,提高效率。其中 M<sub>1</sub> 为曲率半径为 R<sub>1</sub> 的凹面镜;M<sub>3</sub> 为内表面曲率半径为 R<sub>3</sub> 的凹凸透镜;M<sub>4</sub> 为曲率半径为 R<sub>4</sub> 的凹面镜;M<sub>2</sub> 为 LD 泵浦耦合用的平面镜。这种折叠腔因具有模参数调整灵活、腔内有效空间大、腔内不含任何其他附加光学元件等优点。因此,在高功率端面泵浦固体激光器设计中获得了广泛应用。

尽管 Nd·YVO<sub>4</sub> 晶体比起过去传统用的 Nd·YAG 晶体有许多优点,但前者的热导率却只有后者的一半。因此,激光晶体 Nd·YVO<sub>4</sub> 吸收泵浦光而伴随产生的热聚热效应是我们在谐振腔设计中必须考虑的问题,因

收稿日期:2000-11-16

基金项目:国家自然科学基金资助项目(69778012)

作者简介:赵尚弘(1964-),男,甘肃天水人,教授,博士后,主要从事光通信及激光技术研究。

为它对谐振腔的稳定性和腔内各处的模参数有直接而重要的影响。因此,要使输出光束有较高的质量,必须限制它在基模下工作;而要实现高功率运转,则必须在激活介质中有较大的模体积(同时要考虑与泵浦光束的模匹配)。把谐振腔的稳定工作区设计在较高的泵浦功率范围,以实现激光器的高功率运转。同时,谐振腔的稳定区要足够宽,使一定的泵浦功率扰动不至于影响激光器的正常工作。最后还要考虑倍频晶体内的光斑大小,由于腔内激光功率较高,过分减小晶体内的光斑会造成晶体的损伤,而光斑过大又会降低倍频效率,使输出功率下降。基于以上考虑,我们用传输矩阵法对谐振腔进行分析和数据计算。

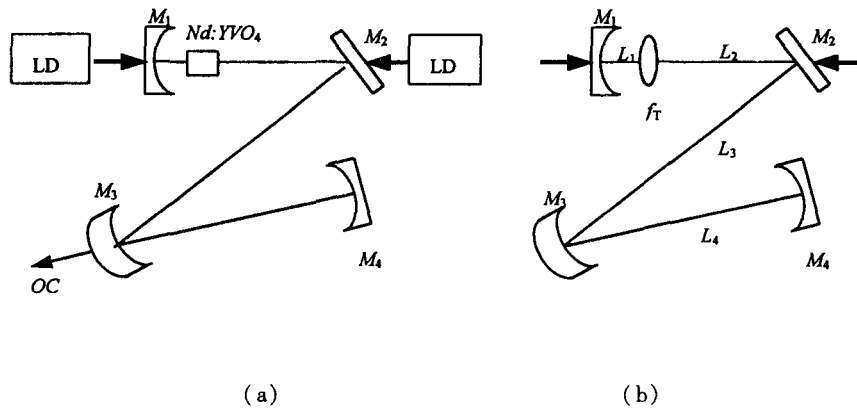


图1 LD双端泵浦Nd·YVO<sub>4</sub>激光器腔结构(a)和热透镜等效腔(b)

在端面泵浦固体激光器中,激光增益介质内的热聚焦作用在一级近似下可视为焦距为 $f_T$ 的薄透镜<sup>[2]</sup>,如图1(b)所示,其他腔镜之间的距离也标于图中。根据标准的ABCD传输矩阵理论<sup>[3]</sup>,现以等效薄透镜 $f_T$ 右表面为起点,则它们的往返矩阵为:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} A_{t(s)} & B_{t(s)} \\ C_{t(s)} & D_{t(s)} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & L_2 + L_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_{t(s)}} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_4 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{2}{R_4} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_4 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\ &\times \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_{t(s)}} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_2 + L_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_T} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{2}{R_1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_r} & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (1)$$

式中下标 $t,s$ 分别表示子午面和弧矢面,因为球面折叠镜在子午面和弧矢面内有不同的等效焦距 $f_T$ 和 $f_s$ ,它们分别为 $f_t = (R \cos\theta)/2$ 和 $f_s = R/(2\cos\theta)$ 。谐振腔的稳定性条件为

$$\begin{aligned} |(A_t + D_t)/2| &\leq 1 \\ |(A_s + D_s)/2| &\leq 1 \end{aligned} \quad (2)$$

即只有在子午面和弧矢面内的往返矩阵 $L_2$ 满足稳定性条件时,谐振腔才是稳定的。基模高斯光束 $q$ 参数和往返矩阵各元素之间的关系为

$$\frac{1}{q_{t(s)}} = \frac{D_{t(s)} - A_{t(s)}}{2B_{t(s)}} - i \frac{\sqrt{1 - \left[\frac{A_{t(s)} + D_{t(s)}}{2}\right]^2}}{B_{t(s)}} = \frac{1}{R_{t(s)}} - i \frac{\lambda}{\pi \omega_{t(s)}^2} \quad (3)$$

由此得到增益介质处高斯光束的光斑半径 $\omega$ 为

$$\omega_{t(s)} = \sqrt{\frac{\lambda |B_{t(s)}|}{\pi \sqrt{1 - \left[\frac{A_{t(s)} + D_{t(s)}}{2}\right]^2}}} \quad (4)$$

改变往返矩阵的起点位置,我们可以得出腔内各处的束参数,从而可以知道腔内光束的分布情况以及选择倍频晶体的放置位置。根据数值计算结果,我们筛选出了一组理想的腔参数: $R_1 = 200\text{mm}$ ,  $R_3 = 150\text{mm}$ ,  $R_4 = 50\text{mm}$ ,  $M_3$ 镜处的折叠半角小于 $8^\circ$ ,  $L_1 = 10\text{mm}$ ,  $L_2 + L_3 = 260\text{mm}$ ,  $L_4 = 125\text{mm}$ ,其腔的特点是热聚焦 $f_T$ 的允许变化范围为 $\infty \sim 140\text{mm}$ ,因而实现了低阈值和激活介质内模体积对热聚焦的扰动不灵敏的稳定运转条件。

## 2 实验结果

实验所用装置如图 1(a) 所示,腔参数按前面筛选出的数据。 $3 \times 3 \times 5\text{mm}^3$ 、1at% 的 Nd·YVO<sub>4</sub> 晶体尽量靠近 M<sub>1</sub> 镜,以获得大的模体积和消除空间燃孔效应,M<sub>1</sub> 镜与 M<sub>2</sub> 镜内侧面均镀有对 1064nm 波长高反膜,外侧面镀有对 808nm 泵浦光的高透膜,输出镜 M<sub>3</sub> 对 1064nm 激光的透过率为 10%,M<sub>4</sub> 内侧面镀有 1064nm 高反膜。在泵浦功率为 24W 时,TEM<sub>00</sub> 模 1064nm 输出功率为 6W,如图 2 所示,其光—光转换效率为 25%。

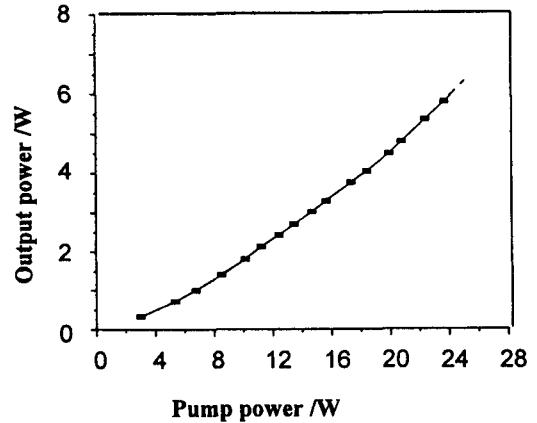


图 2 1064nm 激光输出功率与 LD 泵浦功率的关系

## 3 结语

本文报道了我们由 LD 双端泵浦 Nd·YVO<sub>4</sub> 获得 1.06 $\mu\text{m}$  激光输出的实验结果,输出光功率为 6W。在实际的激光驾束制导系统中要求激光照射器光功率 5W 即可。可见本实验系统在功率方面已满足要求,下一步的工作是进一步完善系统结构,提高稳定性,达到实战要求。

### 参考文献:

- [1] 张承铨. 国外军用激光仪器手册[M]. 北京:兵器工业出版社,1989.
- [2] Innocenzi M E. Thermal modeling of continuous-wave end-pumped solid-state lasers[J]. Appl Phys Lett, 1990, 56(19): 1831 - 1833.
- [3] 蔡伯荣. 激光器件[M]. 长沙:湖南科技出版社,1981.

## Study of 1.06 $\mu\text{m}$ Laser Director for Beam Guidance

ZHAO Shang-hong<sup>1</sup>, BAI Jin-tao<sup>2</sup>, CHEN Guo-fu<sup>2</sup>, XIE Xiao-ping<sup>1</sup>

(1. The Institute of Telecommunication Engineering of the Air Force Engineering University (AFEU), Xi'an 710077, China;

2. State Key Lab. of Transient Optics and Technology, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Xi'an 710068, China)

**Abstract.** The experimental results of 1.06 $\mu\text{m}$  laser based on Nd·YVO<sub>4</sub> are reported. After the matrix analysis of three-mirror resonator, a set of optimized resonator structure parameters are got and the stable. TM<sub>00</sub> output of 6W is achieved from the laser with the pumping power of 24W. The conversion efficiency of the system is 25%. Basically, the system meets the requirements of laser director of beam guidance.

**Key words.** beam guidance; laser director; 1.06 $\mu\text{m}$  laser; Nd·YVO<sub>4</sub>