

LD 泵浦双棒串接 Nd:YVO₄ 激光器的研究

张 伟¹, 李 隆^{1,2}, 陈浩伟³, 白晋涛^{1,3}, 侯 洵^{1,2,4}

(1. 西北大学 光子学与光子技术研究所/光电子技术省级重点开放实验室, 陕西 西安 710069; 2. 西安交通大学 电子与电信学院, 陕西 西安 710049; 3. 西北大学 物理学系, 陕西 西安 710069; 4. 中国科学院 西安光学精密机械研究所瞬态光学技术国家重点实验室, 陕西 西安 710068)

摘要:目的 研制一种光纤耦合 LD 双端泵浦双棒串接 Nd:YVO₄ 平平腔全固态近红外激光器。方法 用软件进行设计。结果 在抽运功率为 23.05 W 时获得了 11 W 的 1.06 μm TEM₀₀ 模激光输出, 光-光转化效率为 47.72%。另外, 对不同掺杂浓度下的实验结果及腔的稳定性进行了一些探讨。结论 提高晶体的掺杂浓度和选择适当的输出耦合系数可以得到更好的结果。
关键词: 双端泵浦; 全固态激光器; Nd:YVO₄; 双棒串接
中图分类号: TN248.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-274X (2004)05-0549-03

多棒串接是提高固体激光器输出功率的常用方法, 其优点在于整个系统可以得到与棒数成比例的激光输出, 且不降低光束质量^[1]。但是, 这种方案多用于灯泵浦的固体激光器中, 相比较于气体激光器, 高功率固体激光器具有可用于光纤传输的近红外波长、高峰值功率、器件结构紧凑等特点。上世纪 90 年代以来, 随着大功率半导体泵浦的固体激光器 (DPSSL) 的发展, 用 LD 泵浦的固体激光器代替传统的灯泵浦的固体激光器已成为一种必然的趋势。与灯泵浦的固体激光器相比, 二极管泵浦的固体激光器具有效率高、辐射噪声特性优良、热光畸变小、光束质量好等优点而日益成为人们研究的热点。

目前, 激光二极管泵浦的固体激光器大都采用二极管泵浦单块晶体^[2~5], 多棒串接的激光器基本又都为灯泵浦的激光器, 且激光晶体为 Nd:YAG^[6,7]。我国台湾^[8]及国外已报道了 LD 泵浦的多棒串接的全固态激光器。

本文报道了 LD 双端泵浦双棒串接 Nd:YVO₄ 固体激光器的实验结果, 并对实验结果进行了分析和讨论。

1 腔型设计

本文的实验装置如图 1 所示。

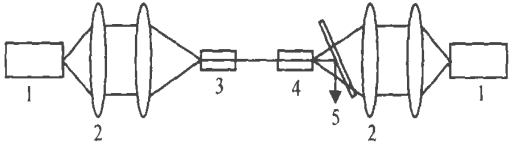


图 1 双棒串接 Nd:YVO₄ 实验装置图

Fig. 1 Schematic diagram of two rod series connection Nd:YVO₄ lasers

1 LD; 2 准直聚集系统; 3 晶体 A; 4 晶体 B; 5 输出镜

晶体 A 和 B 的外端面分别作为 808 nm 输入镜和 1 064 nm 输出镜, 其热透镜等效图如图 2 所示。

在高功率泵浦的条件下, 激光晶体等效于一个屈光度与输入功率成正比的热透镜^[8]。设两个晶体的热焦距分别为 f 和 j , 近似认为热透镜紧挨的两侧为空气, 据此以 M_1 为参考面, 谐振腔内的往返矩阵为

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & e \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -f^{-1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -j^{-1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & g \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

收稿日期: 2003-04-05

基金项目: 陕西省科技攻关计划资助项目 (002K05-G9)

作者简介: 张 伟 (1975-) 男, 陕西西安人, 西北大学硕士生, 从事 LD 泵浦全固态激光器的研究。

$$\begin{bmatrix} 1 & g \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -j^{-1} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -f^{-1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & e \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

谐振腔的稳定条件为

$$\left| \frac{A+D}{2} \right| \leqslant 1.$$

在此谐振腔的设计中,考虑的原则是:① 在满足模匹配的前提下,尽可能在热焦距变化比较大的范围内获得稳定运转;② 因为两端注入的泵浦功率很难保证绝对相等,所以激光器运转时,两激光晶体可能处于不同的热焦距下,因此,激光器应能在两激光晶体的热焦距差别较大时,仍处于稳定运转;③ 稳定参量 $(A+D)/2$ 应尽量远离稳区边界。

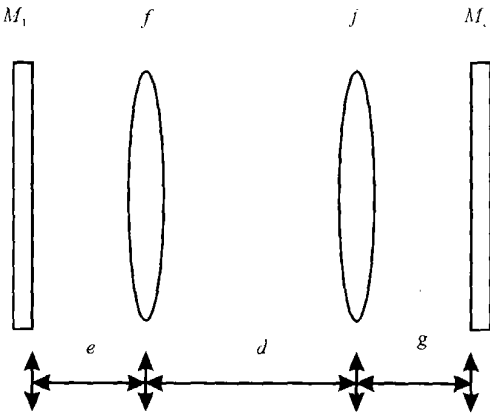


图 2 谐振腔的热透镜等效图

Fig.2 Thermal lens equivalent diagram of resonate cavity

2 实验装置

实验装置如图 1 所示:泵浦源为两台武汉凌云的 LYF-1 半导体激光器,泵浦光由单光纤耦合输出,光纤芯径 400 μm ,数值孔径为 0.2,808 nm 输出最大功率为 24 W,准直聚焦系统为两个凸透镜(为尽可能减少球差,凸透镜两端曲率不一样^[9])。所用 Nd:YVO₄ 晶体为中科院福建物质结构所生长,晶体 A 和晶体 B 尺寸均为:3 mm×3 mm×9 mm,a 切割,Nd 粒子掺杂浓度为 0.3at%。晶体 A 一端镀 1 064 nm 高反膜(反射率大于 99.9%)和 808 nm 高透膜(透过率约为 95%),作为输入腔镜使用。另一端镀 1 064 nm 增透膜(反射率约为 0.2%),晶体 B 一端镀 808 nm 高透膜(透过率约为 95%)和 1 064 nm 部分反射膜(反射率约为 85%),作为输出腔镜,另一端镀 1 064 增透膜(反射率约为 0.2%)。实验中,晶体分为两组,第一组:晶体 A 和 B;第二组,晶体 C 和 B,其中,晶体 C 规格为 3 mm×3 mm×6 mm,掺杂浓度为

0.7at%, α 切割,两端镀膜情况同晶体 A。输出镜 5 为 1 064 nm 激光的输出镜,其一端镀 808 nm 高透膜,另一端镀 1 064 nm 全反膜。为达到良好的热接触,晶体侧面用铝箔包裹,置入紫铜块内,外部用半导体制冷器制冷并可温控,实验中晶体表面温度控制在 17℃。

3 实验结果和分析

利用图 1 中所示的实验装置,基于腔型分析中所讨论的原则,利用第一组晶体,分别在两晶体块之间相距 $d=84\text{ mm}$, $d=118\text{ mm}$ 做了实验,实验结果如图 3。

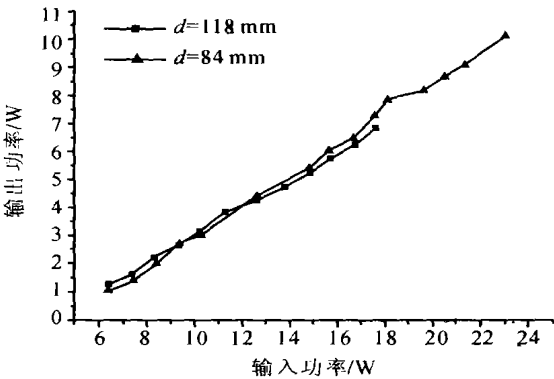


图 3 晶体间距离不同时的实验结果

Fig.3 Experimental results of different distance between crystal A and crystal B

由图 3 可见,在高功率运转时,两晶体块之间的距离,对于本实验的输出功率并没有多大影响,在取 $d=84\text{ mm}$ 情况下,用更大的功率泵浦 Nd:YVO₄,出现了增益饱和现象(担心损伤 LD,并未记录数据)。

两晶体块之间的距离 $d=84\text{ mm}$ 时,第一组晶体 A 和 B、第二组晶体 C 和 B 的实验结果如图 4。由图 4 可见,增加掺杂浓度可以明显地提高输出功率。

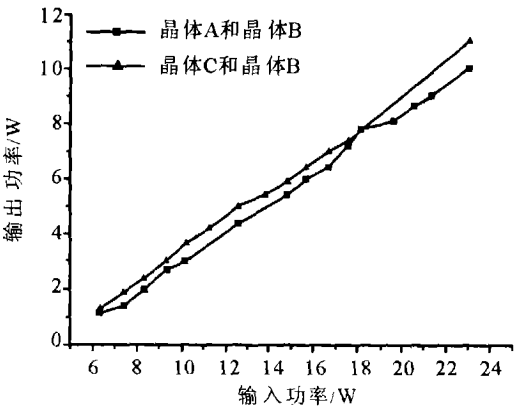


图 4 晶体间距离 d 相同、掺杂浓度不同时的实验结果

Fig.4 Experimental results in the same distance and different concentration

在本实验中,所得到的最高光-光转化效率为 47.72%,由于用低浓度的晶体时,光-光转化效率低,且达到增益饱和,而用第二组较高浓度的晶体时,输出效率明显提高。因此,我们认为:选择适当的高浓度的晶体,并选择适当的输出耦合率(实验中,我们的耦合输出率只有 15%),还可以得到更好的结果。有关的实验还在进一步的进行之中。

参考文献:

[1] DRIEDGER K P,IFFLANDER R M,WEBER H. Mutirod resonators for high-power solid-state lasers with improved beam quality[J]. IEEE J Quantum Electronics, 1988, 24(4): 665-674.

[2] 白晋涛,张振杰,武自录,等. 用于飞秒紫外激光产生的 LD 泵浦 Nd:YVO₄ 绿光激光器研究[J]. 光子学报, 2000, 29(11): 1 053-1 055.

[3] 张恒利,侯 玮,徐祖彦,等. 激光二极管抽运 Nd:YVO₄ 晶体声光调 Q_{1342nm} 激光器[J]. 中国激光, 2000, A27(1): 11-15.

[4] 刘均海,卢建仁,吕军华,等. 半导体激光器端面抽运高功率 Nd:YVO₄ 固体激光器[J]. 中国激光, 2000, A27(2): 110-112.

[5] 何京良,侯 玮,张恒利,等. 三明治腔结构的 Nd:YVO₄ 激光器[J]. 中国激光, 1998, A25(3): 217-219.

[6] 侯学元,孙渝明,李宇飞,等. 双棒串接 Nd³⁺:YAG 激光器[J]. 光子学报, 2001, 30(6): 757-760.

[7] 杨盛谊,陈 莹,王振家,等. 双棒 Nd:YAG 激光谐振腔的模体积[J]. 激光技术, 2001, 25(1): 73-76.

[8] CHEN Y F, LAN Y P, WANG S C. Efficient high-power diode-end-pumpe TEM₀₀ Nd:YVO₄ laser with a planar cavity [J]. Opt Lett, 2000, 25(14): 1 016-1 018.

[9] 王之江. 光学设计理论基础. 第二版[M]. 北京: 科学出版社, 1985.

(编 辑 亢小玉)

The research of two rod series connection
Nd:YVO₄ lasers by LD-pumped

ZHANG Wei¹, LI Long^{1,2}, CHEN Hao-wei³, BAI Jin-tao^{1,3}, HOU Xun^{1,3,4}

(1. Institute of Photonics & Photo-Technology/Provincial Key Laboratory of Photoelectronic Technology, Northwest University, Xi'an 710069, China; 2. School of Electronic & Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 3. Department of Physics, Northwest University, Xi'an 710069, China; 4. Xi'an Institute of Optics & Precision Mechanics, and State Key laboratory of Transient Optical Technology, the Academy of Science of China, Xi'an 710068, China)

Abstract: **Aim** In order to develop a two rod series connection Nd:YVO₄ all-solid-state laser with a flat-flat cavity two-end-pumped by a fiber-coupled LD. **Methods** It was designed by software. **Results** 11 W of CW 1.06 μm TEM₀₀ mode output has been obtained at a 23.05 W pumping power with an optical-optical conversion efficiency of 47.72%. Also the results in different consistency were discussed. **Conclusion** Better results can be obtained by increasing the dopant concentration of the crystals and selecting suitable output coupling coefficient.

Key words: two-end-pumped; all-solid-state laser; Nd:YVO₄; two rod series connection