

双棒 Nd:YAG 激光谐振腔的模体积*

杨盛谊 陈莹^a 王振家 徐征 侯延冰 张希清

(北方交通大学光电子技术研究所, 北京, 100044) (^a北京工业大学激光技术实验室, 北京, 100022)

摘要: 从稳定性条件出发, 通过对基模高斯光束模体积的计算, 对比分析了谐振腔内对称间距设置与等间距设置方式中双棒 Nd:YAG 增益介质模体积的大小, 得出激光谐振腔中的双棒使用等间距设置能获得更大的输出功率。

关键词: Nd:YAG 激光器 对称间距设置 等间距设置 模体积

The mode volume for two-rod resonator in Nd:YAG laser

Yang Shengyi, Chen Ying^a, Wang Zhenjia, Xu Zheng, Hou Yanbing, Zhang Xiqing

(Institute of Optoelectronic Technology, Northern Jiaotong University, Beijing, 100044)

(^aThe Beijing Laboratory of Laser Technology, Beijing Polytechnic University, Beijing, 100022)

Abstract: By calculating the mode volume of the Gaussian fundamental mode in the steady zone, the gain mode volume for two-rod Nd:YAG laser in symmetric interval setting is compared with that in equal interval setting. It is found that two-rod resonator in equal interval setting can get higher output power.

Key words: Nd:YAG laser symmetric interval setting equal interval setting mode volume

引 言

相对于 CO₂ 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, 发展工业应用的高功率固体激光器是目前研究的热点。大尺寸且优质的 Nd:YAG 晶体对于高功率 Nd:YAG 激光器是至关重要的。通常将两根或多根 Nd:YAG 棒串接起来使用, 增加工作物质的长度以获得更大的模体积^[1,2]。除了多级放大系统之外, 更多的则是在同一谐振腔中使用多根激光晶体棒组成多棒谐振腔^[3,4]。Driedger K. P. 等人^[2]还从理论上讨论了激光晶体棒之间的设置方式问题, 认为多棒之间使用对称放置方式能充分利用晶体棒的模体积, 因而能获得更大的输出功率, 同时能保持良好的光束质量。光束参数乘积 ($\theta_m \cdot w_m$) 通常用来定义光束质量的好坏^[5]。平面平行腔能使远场发射角 θ_m 尽可能小, 从而可满足光束质量的要求。

我们对比分析了平面平行腔内的双棒对称间距设置(图 1a)与等间距设置(图 1b)方式中基模高斯光束的模体积大小, 发现双棒激光谐振腔使用等间距设置比使用对称间距设置能获得更大的基模输出功率。

1 理论分析和计算

谐振腔为平面平行腔。假定所用的两根 Nd:YAG 晶体棒光学质量优良, 晶体棒尺寸均为

* 北方交通大学攀登计划(论文)基金资助。

$f 6\text{mm} \times 120\text{mm}$ 。由于连续泵浦下晶体棒的热透镜效应, 激活介质可看作厚透镜。其屈光度 $D (D = 1/f, f$ 为焦距) 与泵浦功率成正比^[2] (在忽略棒的端面效应的影响后, 屈光度 D 与棒长 l 无关)。假设谐振腔中泵浦灯均匀泵浦, 每根晶体棒吸收的泵浦功率也相同。可知每根棒都具有相同的屈光度 D (或焦距)。对于图 1a 中的对称间距放置, 谐振腔的单程传播矩阵为:

$$M = \begin{pmatrix} A_i & B_i \\ C_i & D_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1/\rho & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -D & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 2d \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -D & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1/\rho & 1 \end{pmatrix}$$

式中, D 为晶体棒的屈光度; ρ 为平面镜的曲率半径, 应有 $1/\rho = 0$ 。其往返传播矩阵为:

$$M = \begin{pmatrix} 8D^4 d^4 - 32D^3 d^3 + 40D^2 d^2 - 16Dd + 1 & 8D^4 d^5 - 4D^3 d^4 + 68D^2 d^3 - 44Dd^2 + 8d \\ 8D^4 d^3 - 24D^3 d^2 + 20D^2 d - 4D & 8D^4 d^4 - 32D^3 d^3 + 40D^2 d^2 - 16Dd + 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

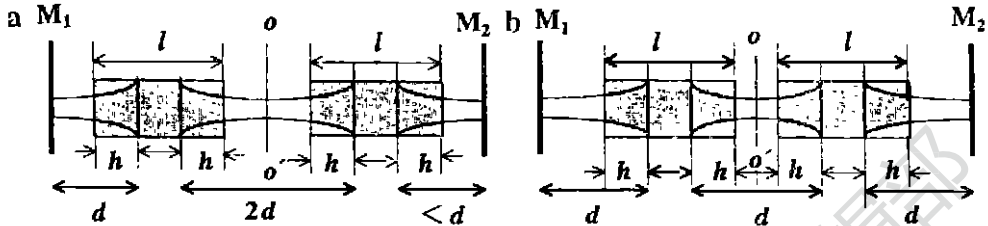


Fig. 1 a- symmetric interval setting b- equal interval setting

根据文献 [6] 的方法, 依据谐振腔的稳定性条件, 可求出一定焦距 f 下 d 的取值范围 (如图 2a 所示), 并可求出平面镜 M_1 (或 M_2) 上的光斑半径 ω_0 , 和棒主平面上基模的光斑半径 ω_{0L} 。同理, 对于图 1b 中的双棒等间距放置方式, 可得到其谐振腔的往返传播矩阵为:

$$M = \begin{pmatrix} 2D^4 d^4 - 12D^3 d^3 + 22D^2 d^2 - 12Dd + 1 & 2D^4 d^5 - 14D^3 d^4 + 32D^2 d^3 - 26Dd^2 + 6d \\ 2D^4 d^3 - 10D^3 d^2 + 14D^2 d - 4D & 2D^4 d^4 - 12D^3 d^3 + 22D^2 d^2 - 12Dd + 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

由稳定性条件, 同样也可求出一定焦距 f 下 d 的取值范围 (如图 2b 所示)。

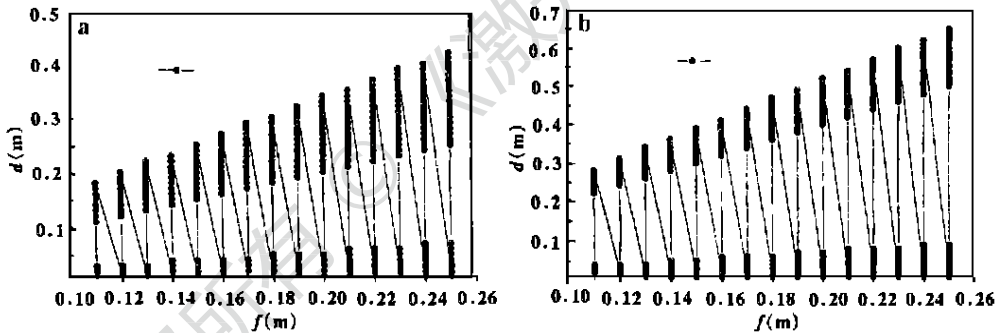


Fig. 2 a- the range of d corresponding to a certain f in symmetric interval setting b- the range of d corresponding to a certain f in equal interval setting

由图 2 可知, 符合条件的 d 的取值分为两段, 即存在两个稳定区。较远的稳定区的区间比较近稳定区的区间要大些; 对应于同一焦距, 图 2b 中较远稳定区的数值比图 2a 中的要大。

图 3 和图 4 分别为当 $f = 0.23\text{m}$ 时, 两种放置情况下, 稳定区内所对应的平面镜上的束腰半径 ω_0 、棒端面上的光束半径 ω_{0L} 以及棒主平面上的光束半径 ω_L 随 d 的变化关系。可看出, 在较近稳区内, ω_0 , ω_{0L} 和 ω_L 均是递增的。而在较远的稳区内, 对称间距放置时, ω_0 是递减

的, ω_{0L} 和 ω_L 却是递增的; 等间距放置时, ω_0 , ω_{0L} 和 ω_L 均是递减的。

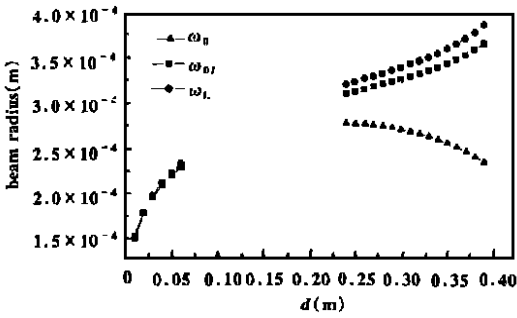


Fig. 3 The beam radius corresponding to d in the steady zone for the symmetric interval setting

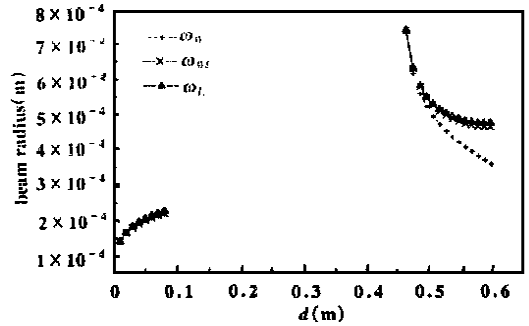


Fig. 4 The beam radius corresponding to d in the steady zone for the equal interval setting

谐振腔内增益介质的模体积等于双棒被基模高斯光束所利用的模体积之和。图 1a 中每根棒被利用的模体积为棒两端相同两圆台体积与中间柱体体积之和。图 1b 中每根棒被利用的模体积为棒两端不同两圆台体积与中间柱体体积之和。

两种不同放置方式下在相应稳区内的模体积如图 5 所示。可见, 在较近稳区内的模体积小于在较远稳区内的模体积。在较近稳区内, 模体积都是递增的, 且等间距放置时的模体积相对较小; 而在较远的稳定区内, 对称间距放置时的模体积 V_1 是递增的, 且变化趋势较缓; 等间距放置时的模体积 V_2 是递减的, 其变化趋势较陡。此时有 $V_1 < V_2$, 即等间距放置时的模体积大。

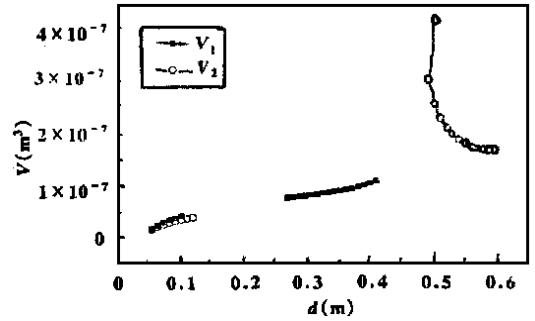


Fig. 5 The mode volumes corresponding to d for these two different settings
 V_1 —symmetric interval setting V_2 —equal interval setting

2 实验与结论

在实验中, 我们所用 Nd:YAG 晶体棒是从华北光电技术研究所购买的, 尺寸为 $f6\text{mm} \times 125\text{mm}$ 。在不同的功率条件下, 测量了其输出功率随着放置间距的变化关系, 发现输出功率随着两晶体棒放置位置的改变而改变, 其变化趋势与理论计算相符。表 1 给出了对称间距放置时, 在两种不同功率条件下, 不同放置间距所对应的输出功率的大小。

Table 1 The output powers under different pump powers in the symmetric setting

	$d_1 = 145\text{mm}$	$d_2 = 165\text{mm}$	$d_3 = 212.5\text{mm}$
$P_{in} = 18 \times 308(\text{W})$	$P_{out} = 9.3 \times 13(\text{W})$	$P_{out} = 10.05 \times 13(\text{W})$	$P_{out} = 10.2 \times 13(\text{W})$
$P_{in} = 20 \times 320(\text{W})$	$P_{out} = 11.0 \times 13(\text{W})$	$P_{out} = 13.2 \times 13(\text{W})$	$P_{out} = 13.4 \times 13(\text{W})$

而总的输出功率也是随着输入功率的增加而增加。值得注意的是: 在输入功率较低(如 $P_{in} = 12 \times 270(\text{W})$) 的情况下, 放置间距较近者, 其输出功率反而较大。我们认为这是由于泵浦功率(即输入功率)小因而热透镜焦距较大(即热透镜效应不明显); 由于平面平行腔的选模作用, 如果放置间距(在较远稳区内)越小, 则输出激光(由多种模式组成)中的多模成分越多, 而基模成分越少。相反, 若放置间距(在较远稳区内)较大, 则基模成分越多。

可见, 在相同输入功率下, 输出功率随着间距的增加而增加(此时在

增益饱和和波长转换器消光比退化研究*

李 猛 孙军强 刘德明 黄德修

(华中科技大学光电子工程系, 武汉, 430074)

摘要: 分析了半导体光放大器增益谱特点, 对交叉增益调制波长转换输出消光比进行了数值计算, 并在此基础上深入分析了消光比退化的原因, 为改善波长转换器性能提供了理论依据。

关键词: 半导体光放大器 输出消光比 波长转换 交叉增益调制

Study on degradation of extinction ratio of wavelength converter based on XGM

Li Meng, Sun Junqiang, Liu Deming, Huang Dexiu

(Department of Optoelectronic Engineering, HUST, Wuhan, 430074)

Abstract The characteristics of gain spectrum of a semiconductor optical amplifier (SOA) are analyzed and the output extinction ratio of wavelength conversion based on cross-gain modulation (XGM) is studied numerically in this paper. Moreover, we investigate the causes of the degradation of extinction ratio, which provides the theoretical basis for improving the characteristic of wavelength converters.

Key words: semiconductor optical amplifier output extinction ratio wavelength conversion cross-gain modulation

引 言

全光波长转换器将是未来全光通信和宽带网络的关键器件, 对提高波分复用系统的灵活

* 国家“863”基金和湖北省自然科学基金资助。

综上所述, 在同一谐振腔内的双棒激光增益介质, 采用等间距设置方式可获得更大的基模模体积, 因而有更大的输出功率。双棒谐振腔有两个稳定区, 较远稳区的区间相对较长, 此稳定区内能被基模高斯光束所利用的激光增益介质的模体积也相对较大。相对于多级放大系统, 双棒谐振腔结构紧凑, 更容易获得大功率。

参 考 文 献

- 1 Koehler W. *Laser & Optoelectronic*, 1994; 26(2): 39~ 42
- 2 Driedger K P, Iffländer R M, Weber H. *IEEE J Q E*, 1988; 24(4): 665~ 673
- 3 Kortz H P, Iffländer R, Weber H. *Appl Opt*, 1981; 20(23): 4124~ 4234
- 4 Eggleston J M. *IEEE J Q E*, 1988; 24(9): 1821~ 1824
- 5 Weber H, Iffländer R, Seiler P. *SPIE Proc*, 1986; 650: 92~ 100
- 6 杨盛谊, 李 港, 陈 莹. *应用激光*, 1997; 17: 161

作者简介: 杨盛谊, 男, 1971 年 10 月出生。硕士。现在是北方交通大学攻读信号与信息处理专业的博士研究生。