

稳频环形 Nd:YAG 激光器*

彭堃焯 李瑞宁 黄茂全 刘晶 靳少征 李军

(山西大学光电研究所)

周寿桓

(电子部 11 所)

Frequency-stabilized ring Nd:YAG laser

Peng Kunchi, Li Ruining, Huang Maoquan, Liu Jing, Jin Shaosheng, Li Jun

(Research Institute of Opto-Electronics, Shanxi University, Taiyuan)

Zhou Shouhuan

(North China Research Institute of Electro Optics, Beijing)

提要: 当泵浦灯输入功率为 2.2kW 时, 获得单频输出 1.2~1.5W, 其频率长期稳定性小于 0.7MHz, 输出强度波动小于 2%。实验证明, 激光器的热不灵敏工作点与理论计算一致。

关键词: 频率稳定性, 热不灵敏工作点

稳频高输出连续 Nd:YAG 激光器, 是研究非线性光学有关现象的一种十分有用的光源, 因为它比较容易获得高于 1W 的稳定单频输出。文献[1]已经报道, 在输入泵浦灯功率为 2.2kW 时, 输出功率为 1.1~1.8W, 频率长期稳定性 ≤ 1 MHz, 短期稳定 ≤ 120 kHz RMS, 自由状态下频率跳动 $\leq \pm 10$ MHz, 频率漂移 ≤ 1 MHz (1 分钟)。我们在文献[1]工作的基础上, 修改了稳频方法并简化了稳频系统, 使输出频率的长期稳定性及频率漂移得到较好的改善。

一、设计原理

多纵模产生于空间烧孔效应^[2], 为了避

免烧孔效应获得单纵模运转, 我们采用环形行波腔。反射镜及有关光学元件固定在一重的殷钢 (Invar) 支架上, 使谐振腔具有高的机械和热稳定性。激光头与殷钢支架分离, 以避免激光头中流动的冷却水影响谐振腔稳定性。

1. 热不灵敏谐振腔: 环形腔的位形如图 1 所示, 与其等价的薄透镜序列 (图 2) 以 P 平面为参考面的光线传递矩阵为

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & d_4 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_3 & 1 \end{bmatrix}$$

收稿日期: 1987 年 12 月 14 日。

* 国家自然科学基金, 山西省科委课题。

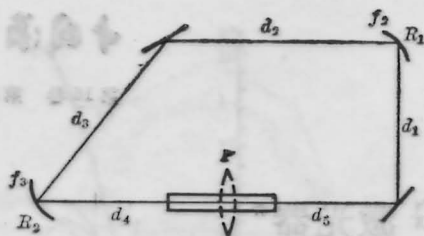


图1 环形腔的几何

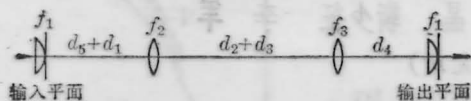


图2 与环形腔等价的薄透镜序列

$$\begin{aligned} & \times \begin{bmatrix} 1 & d_2+d_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_2 & 1 \end{bmatrix} \\ & \times \begin{bmatrix} 1 & d_5+d_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (1)$$

此处 $A = \left(1 - \frac{d_2+d_3}{f_2}\right) - d_4 \left[\frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_2} \left(1 - \frac{d_2+d_3}{f_3}\right)\right]$

$B = d_5+d_1 + (d_2+d_3) \left(1 - \frac{d_5+d_1}{f_2}\right) - d_4 \left[\frac{1}{f_3} (d_5+d_1) - \left(1 - \frac{d_2+d_3}{f_3}\right) \left(1 - \frac{d_5+d_1}{f_2}\right)\right]$

$C = \frac{1}{f_1} \left(\frac{d_2+d_3}{f_2} - 1\right) - \left(1 - \frac{d_4}{f_1}\right) \left[\frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_2} \left(1 - \frac{d_2+d_3}{f_3}\right)\right]$

$D = -\frac{1}{f_1} \left[d_5+d_1 + (d_2+d_3) \left(1 - \frac{d_5+d_1}{f_2}\right) + \left(1 - \frac{d_4}{f_1}\right) \left[\left(1 - \frac{d_2+d_3}{f_3}\right) \left(1 - \frac{d_5+d_1}{f_2}\right) - \frac{1}{f_3} (d_5+d_1)\right]\right]$

当矩阵元

$$A+D=0 \quad (2)$$

时，谐振腔对 YAG 棒热透镜焦长随泵浦功率的起伏反应是不灵敏的^[1]。而

$$B = \frac{\pi}{\lambda} \cdot \frac{r^2}{4} \quad (3)$$

为自孔径选模条件，其中 r 是 YAG 棒的半径。

选择 R_1 和 R_2 ，使 (2)、(3) 式同时满足时，则谐振腔对热透镜效应反应不灵敏，且腔内的基模体积又刚好充满整个激光棒。

2. 稳频系统：文献 [1] 采用共焦腔作为鉴频器，用调制-同步检波方法进行稳频。我们也用共焦腔作为鉴频器，但用微分型光电探测器（双光电探测器），在无调制情况下，对共焦参考腔的透射光场直接微分，将得到的微分信号曲线作为鉴频曲线，所得曲线的下摆部分较平坦，易于识别失锁状态，便于复调。由于微分信号直接来源于光探测器，其噪声及响应速度只由光电探测器本身决定，一般噪声小于 $100 \mu V$ ，响应速度 $\sim 10^{-7} s$ ，由于此种方法不需调制信号，我们可将鉴频器和参考腔合而为一，这样对一个法布里-珀罗腔采取温度补偿措施就可有效减少输出频率的漂移。

二、实验装置及实验结果

整个实验装置如图 3 所示。环形腔长为 1.2 m；YAG 棒直径为 3 mm，长 75 mm；输出镜 M_1 透射率为 4%；高反射镜 M_2 的反射率大于 99.7%；起偏镜 M_3 对于 S 偏振的反射率大于 99%，对于 P 偏振反射率为 0.5%； M_4 为曲率半径为 2 m、反射率大于 99.7% 的高反射镜； M_5 镜为一玻璃平片，其背面镀有 $1.06 \mu m$ 的增透膜；法拉弟旋转器 (F-R) 使用直径为 3 mm、长为 50 mm 的石英棒；标准具厚为 2 mm，反射率为 50%。作为鉴频器的法布里-珀罗腔是由曲率半径为 10 cm，反射率大于 99.7% 的两片高反射镜构成的共焦腔，此腔的精细度 (Finesse) 为 350。

图 4 是实验测出的输出相对强度起伏随

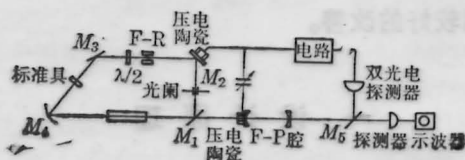


图3 实验装置

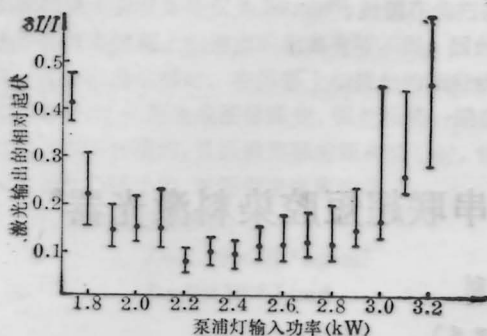


图4 输出的相对起伏随泵浦灯输入功率的变化曲线

输入泵浦功率的变化曲线。由图4清楚地看到,在一确定的谐振腔位形,只有一个热不灵敏工作点。输入泵浦功率为2.2kW时,输出强度起伏最小,将此时泵浦功率决定的YAG棒的热焦距($f \sim 1\text{m}$)代入(2)式,则可证明 $A + D = 0$ 条件被满足。

当泵浦灯输入功率为2.2kW时,空腔在两个方向输出为3.1W,腔内放入法拉弟旋转器后输出功率为3W,再放入半波片,得到逆时针单向输出功率为2.9W,逆时针与顺时针方向输出功率之比为1000:6。最后放

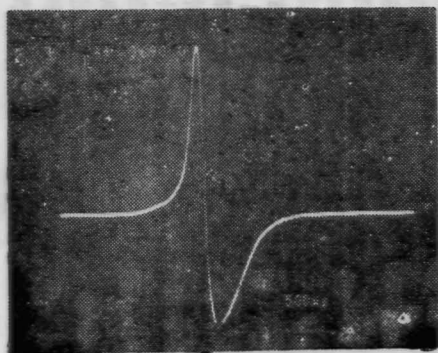


图5 鉴频曲线

入标准具,得到输出功率为1.2~1.8W,当输出为1.2W时最稳定。输出强度起伏小于2%。自由状态频率跳动为 $\pm 8\text{MHz}$ 。

由鉴频器获得的鉴频曲线如图5所示,峰峰值之间的宽度为 $200\mu\text{s}$,而鉴频器自由光谱范围750MHz对应于75ms,因之鉴频曲线峰峰值间频率宽度为2MHz。

图6(a)为失锁状态下共焦腔透射强度的照片,透射强度最大振幅相应于鉴频曲线峰峰值之间的频率宽度。故图6(b)表示锁定后透射强度最大振幅所对应的频率宽度应小于0.7MHz,即输出单频长期稳定性小于0.7MHz。由于法布里-珀罗腔采用温度补偿,输出频率慢漂移 $\sim 25\text{MHz}$ (30min)。

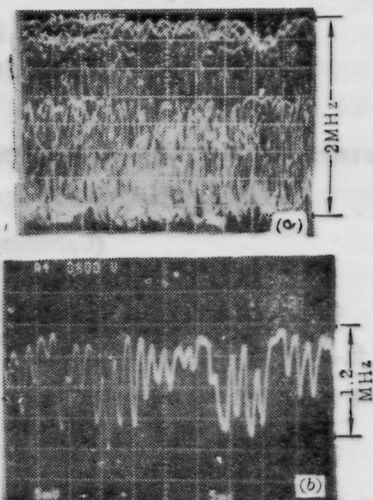


图6 (a) 失锁状态; (b) 锁定状态

参 考 文 献

- 1 彭堃堃 *et al.*, *Appl. Opt.*, **24**(7), 938 (1985)
- 2 C. L. Tang *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **2**, 222 (1963);
C. L. Tang *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **34**, 2289 (1963)