

六镜环形腔 Ce : Nd : YAG 倍频稳频激光器*

郜江瑞 王海 黄茂全 彭堃墀

(山西大学光电研究所, 太原 030006)

于正刚 蒋德华 马长勤

(山东大学化学学院, 济南 250100)

提要 使用六镜环形腔的 YAG 倍频稳频激光器, 在输入功率为 2 kW 时获得 500 mW 的单频倍频光, 频率稳定性优于 10 MHz, 功率波动小于 7%。

关键词 六镜环形腔, 近共焦

CW ring frequency stabilized and doubled Ce : Nd : YAG laser with 6 mirrors

GAO Jiangrui, WANG Hai, HUANG Maoquan, PENG Kunchi

(Institute of Opto-Electronics Research, Shanxi University, Taiyuan 030006)

YU Zhenggang, JIANG Dehua, MA Changqin

(Chemistry College of Shandong University, Jinan 250100)

Abstract Using a CW ring frequency stabilized and doubled Ce : Nd : YAG laser with 6 mirrors, we obtained 500 mW second harmonic generation ($0.53 \mu\text{m}$) as pumping power is 2 kW. The intensity fluctuation is less than 7% and the frequency stability is better than 10 MHz.

Key words ring cavity with 6 mirrors, near-confocal

1 引言

在我们以前进行的 YAG 稳频倍频激光器研制工作中^[1], 为了在环形腔内一段确定的光路中获得 $90 \mu\text{m}$ 光斑, 我们在腔内插入了焦距为 30 cm、镀有对 $1.06 \mu\text{m}$ 高增透膜的透镜, 且将透镜相对于 YAG 棒中心的距离固定在 40 cm 左右, 得到了最佳倍频光输出。在输入功率为 2.5 kW 的情况下, 获得 50~100 mW 稳定的单频倍频光输出, 频率稳定性优于 5 MHz。由文献 [1] 中的图 4 可知, 在最佳工作点 $F_1 = 30 \text{ cm}$ (插入透镜的焦距), $L \approx 114 \text{ cm}$ (环形腔的总长), $D = 40 \text{ cm}$ (透镜相对于棒中心的距离), 虽然可在所希望的位置获得 $90 \mu\text{m}$ 的光斑, 但整个激光器的运转已接近稳定区的边缘, 输入功率稍有起伏就会影响激光器运转的稳定性。再者, 由

收稿日期: 1992年10月6日。

* 山西省科委资助项目。

于腔内腰斑的位置及大小与棒的热透镜效应、腔内各光学元件的失调都有着密切的关系,因此,其中任何因素的变化都会直接影响倍频光的质量及输出功率的大小。在我们实验过程中,要获得长时间稳定的、高的倍频光输出是比较困难的,并且每次开机后都要对激光器进行适当调整。为了克服上述问题,我们对原有腔形作了改进,引进一近共焦装置,构成六镜环形腔,并密闭整个光路,输入净化空气,在输入功率为 2 kW 的情况下,得到了 500 mW 的单频倍频光输出,频率稳定性优于 10 MHz,功率波动小于 7%,激光器运转 15 h 输出功率没有明显下降。

2 六镜环形腔

由两个相同镜子组成的共焦装置,可以把光束汇聚在其共焦面上且基本上不改变原来光束的特性,在谐振腔中,用两短焦距凹面镜组成的近共焦装置,一方面可以在近共焦面上得到一较小的腰斑,另一方面又可以通过调整近共焦装置长度使激光器在满足最佳耦合的同时也工作在较稳定的区域,以保证激光器输出功率的稳定性。图 1 为改进后的六镜环形腔。图中 M_5, M_6 为半径为 R 的短焦凹面镜,且间距

$$L_1 = \overline{OM_5} = \overline{OM_6} \approx R/2$$

使用凹面镜组成的近共焦系统,一般要比腔内插入透镜的方法损耗小,且易于调整。尽量减小光束在 M_5, M_6 上的入射角(小于 10°),以减小凹面镜非共轴使用的像散影响。

在激光器中, M_5, M_6 组成的近共焦装置与激光棒对称放置,即

$$\overline{PM_1M_2M_6} = \overline{PM_4M_3M_5} = L_2$$

确保在任何条件下腔内束腰始终处于近共焦装置中心 O 点,使倍频晶体很容易在腔内处于最佳位置。

3 腔形计算

倍频晶体为 $5 \times 5 \times 5 \text{ mm}^3$ 的 KTP 晶体,由最佳耦合条件可求得激光棒内的光束半径与倍频晶体中的光束半径之比应满足^[2]

$$\omega_p/\omega_0 \approx 30$$

在 YAG 稳频激光器中,为保证激光器单横模输出,从实验结果看,激光棒直径 $\phi = 3 \text{ mm}$ 比较合适^[3]。取棒内光束半径为 1 mm,在最佳耦合条件下,倍频晶体内光束半径应为 $30 \mu\text{m}$ 左右,适当调整腔参数可以达到这个条件。

对图 1 中的腔形,可以分别写出以 O 点、 P 点为参考点的两种传输矩阵:

$$\begin{pmatrix} A_o & B_o \\ C_o & D_o \end{pmatrix} \text{ 和 } \begin{pmatrix} A_p & B_p \\ C_p & D_p \end{pmatrix}$$

将矩阵元分别代入

$$\omega = \left[\frac{2\lambda B}{\pi \sqrt{4 - (A + D)^2}} \right]^{1/2}$$

可得到 O 点的腰斑半径和 P 点的光斑半径。其中 λ 为激光波长。

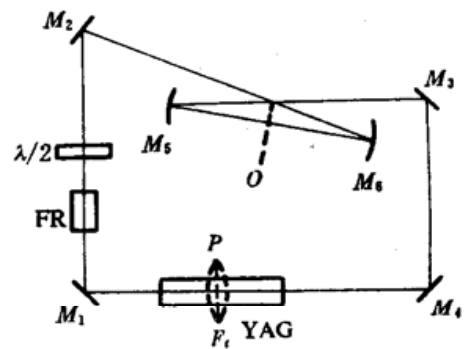


Fig. 1 Schematic diagram of a ring frequency doubled single frequency $\text{Ce}^{3+} : \text{Nd}^{3+} : \text{YAG}$ laser

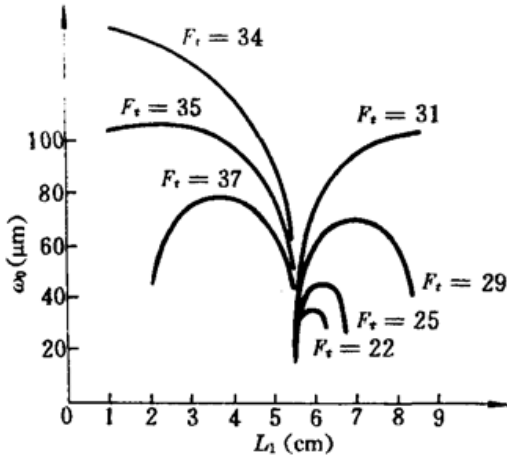


Fig. 2 Curve of ω_0 vs L_1 in different cases $L_2 = 71$ cm

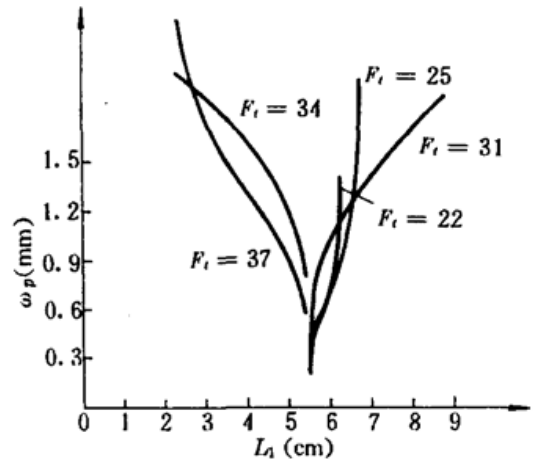


Fig. 3 Curve of ω_p vs L_1 different cases $L_2 = 71$ cm

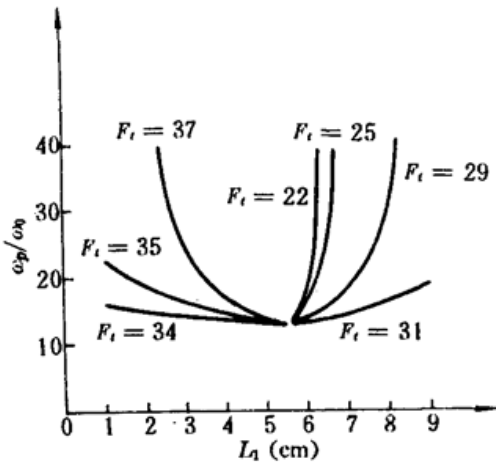


Fig. 4 Curve of ω_p/ω_0 vs L_1 in different cases $L_2 = 71$ cm

图 2~图 4 分别给出了在 $L_2 = 71$ cm, 两凹面镜半径 $R = 10.2$ cm 的情况下, 对不同的热焦距 F_t , O 点腰斑半径 ω_0 与 L_1 , P 点光斑半径 ω_p 与 L_1 以及 ω_0/ω_p 与 L_1 的关系曲线。

从图 2, 图 3, 图 4 可以看到, 热透镜焦距在 22~25 cm 范围时, 取 $L_1 = 6$ cm 基本上满足最佳耦合条件, 同时激光器运转于稳定区中心区域, 此时输入功率为 2 kW 左右 (对于 Ce : Nd : YAG 双掺棒)。

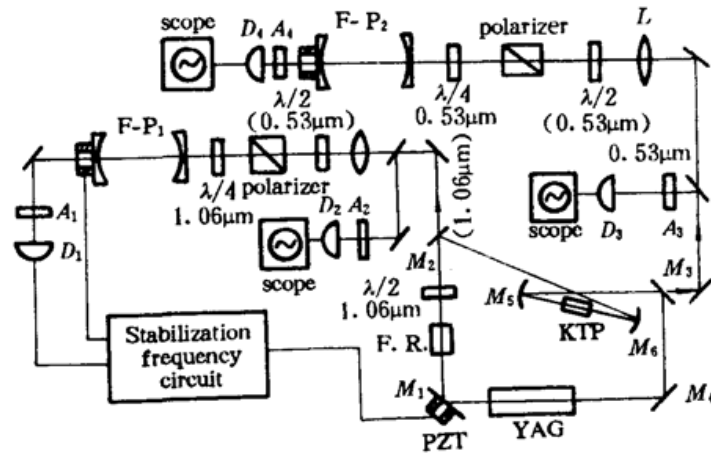


Fig. 5 Experimental set up

4 实验结果

实验装置如图 5 所示, $M_1 \sim M_4$ 为平面反射镜, 对 1.06 μm S 偏振反射率为

$$R_{1.06} \approx 99.7\%$$

近共焦装置中两凹面镜 M_5, M_6 的反射率为

$$R_{1.06} \approx 99.6\%$$

$$R_{0.53} \approx 96.0\%$$

倍频光从 M_3 输出。激光棒选用工作阈值比较低的 Ce: Nd: YAG 双掺棒, 规格为 $\phi 3 \times 75$ mm, 倍频晶体为 $5 \times 5 \times 5$ mm³ 的 KTP 晶体, II 类相位匹配, 在输入功率为 2 kW 的情况下, 得到了 500 mW 的单模倍频光输出, 其频率稳定性优于 10 MHz, 功率波动小于 7%。

与文献[1]中的结果相比, 由于使用双掺棒, 工作阈值大大降低, 同时由于腔形的改进, 在输入功率较低的情况下, 得到了较高的倍频输出。

参 考 文 献

- 1 部江瑞, 彭堃堦 *et al.*, 中国激光, 18(10), 721~725(1991)
- 2 A. 雅里夫, 光电子学导论, 科学出版社, 1983年1月第一版, 232
- 3 彭堃堦 *et al.*, 中国激光, 18(8), 449~451(1989)