

高平均功率板条激光器非稳谐振腔的研究

闫连山 何学东 鲁 朋 邬肖元 张贤明 张世文 FASHI ELMANSURI*

(华北光电技术研究所 北京 100015)

提要 从高平均功率板条激光器的特性出发,讨论了非轴对称非稳谐振腔的结构及其主要特点,从理论与实验两方面得出有关结论,最后给出理想的实验结果。

关键词 高平均功率,板条激光器,非稳腔

1 引 言

非稳谐振腔由于具有大的可控模体积及较高的光束质量等特点,被广泛应用于高平均功率激光器中,而板条激光器利用光束在其中以锯齿形光路传输及其板条的几何对称性,消除一阶热聚焦和应力退偏等效应^[1],在高平均功率、高重复频率和高光束质量的固体激光器研究中日益得到广泛的重视。由于板条激光器在 XOZ 面和 YOZ 面(见图 1)有不相等的有效光程,使其具有非轴对称特性,输出激光具有像散光束的特性^[2],而对应的非稳谐振腔的分析与设计较之传统的棒状激光器有较大的差异,本文将从板条激光器特有的非稳谐振腔分析入手,从理论上和实验上分别给出有关结论。

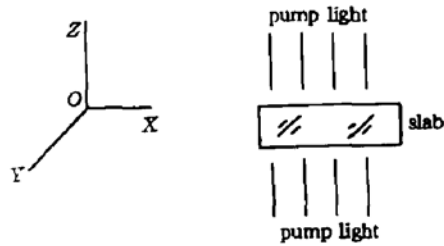


图 1 板条激光器结构示意图
Fig. 1 Schematic of a slab laser

2 理论分析与模拟

针对板条激光器的几何形状及其特性,我们采用了一个面内(YOZ 面)为平-凹稳定腔而另一个面内(XOZ 面)为非稳虚共焦型谐振腔,即全反镜为普通球面镜,而输出镜为柱面镜(如图 2 所示),这种结构综合了稳定腔和非稳腔的一些优点,既可得到高的能量提取效率,又能获得高的光束质量。

在高功率泵浦下,腔内存在热效应时^[3],在一阶近似下,谐振腔可等效为图 3 所示,由 $ABCD$ 定律得出等效腔内的传播矩阵,设为

* 利比亚访问学者。

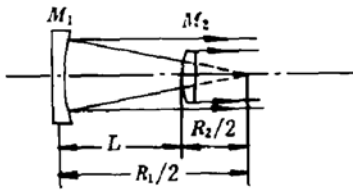


图 2 虚共焦非稳腔

Fig. 2 The virtual confocal resonator

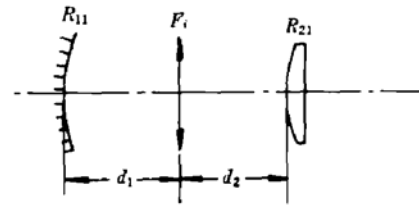


图 3 图 2 的等价谐振腔

Fig. 3 The equivalent resonator of Fig. 2

$$\begin{bmatrix} A_i & B_i \\ C_i & D_i \end{bmatrix} \quad (i = x, y)$$

由腔的 G 参数计算, 可得 $G_{1i} = A_i - (B_i/R_{1i})$, $G_{2i} = D_i - (B_i/R_{2i})$ ($i = x, y$)。

对于板条的不同方向 (x, y 方向)、不同的泵浦功率 (对应不同的热焦距 f)、不同的腔长及不同的腔镜, 都存在 $G = G_{1i} \cdot G_{2i}$ 的稳定范围, 我们利用计算机模拟可以得到以下典型的 G 参数图例, 如图 4, 5 所示。

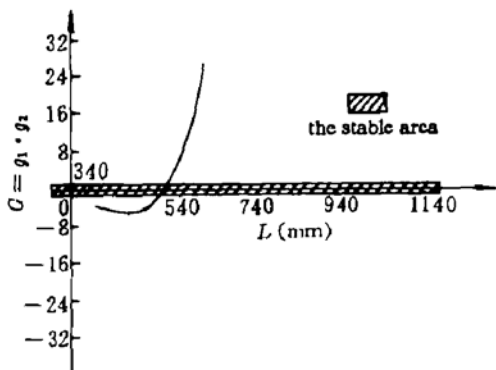


图 4 G 参数随腔长变化的计算机模拟

Fig. 4 The G factor changed with the length of the resonator

$r_1 = 2500 \text{ mm}$, $r_2 = -1000 \text{ mm}$, $f = 90 \text{ m}$

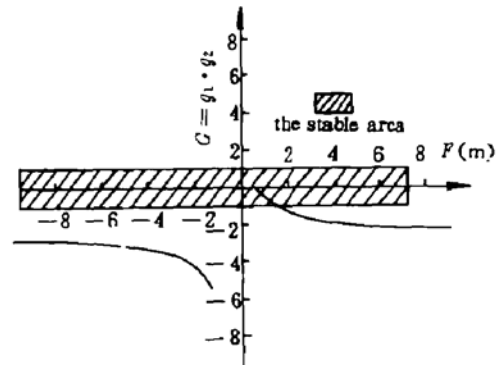


图 5 G 参数随热焦距变化的计算机模拟

Fig. 5 The G factor changed with the thermal focal length

$r_1 = 2500 \text{ mm}$, $r_2 = -1000 \text{ mm}$, $L = 360 \text{ mm}$

可以看出, 当条件改变时, 谐振腔可能由非稳区进入稳区, 而对应的腔内光束束腰半径

$$w_0^2 = (\lambda_0 L / \pi) \left[\sqrt{G_{1i} G_{2i} (1 - G_{1i} \cdot G_{2i})} / (G_{1i} + G_{2i} - 2G_{1i} \cdot G_{2i}) \right] \quad (i = x, y)$$

的改变, 将导致对应的光束发散角 $\theta = \lambda_0 / \pi w_0$ 的改变, 从而使得光束质量变差, 输出能量也会随之降低。

3 实验结果及分析

实验中, 我们采用双灯均匀泵浦的双椭圆聚光腔, 本所生长的 Nd:YAG 板条尺寸为 $6 \times 27 \times 185 \text{ (mm)}$, 注入功率在 $0 \sim 16 \text{ kW}$ 之间变化。图 6 给出的是同样实验条件下稳定腔与非稳腔输出的对比。由此可见, 当注入功率提高时, 稳腔的模式鉴别能力降低, 热稳性变差, 导致

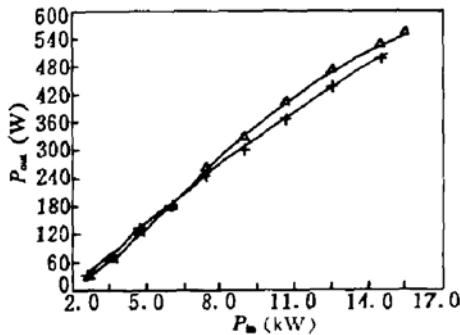


图 6 稳腔与非稳腔输入-输出对比

Fig. 6 Experimental result of the stable and unstable resonators

×: $R_1 = 1199, R_2 = \infty$, stable;
 △: $R_1 = 2000, R_2 = -1000$, unstable

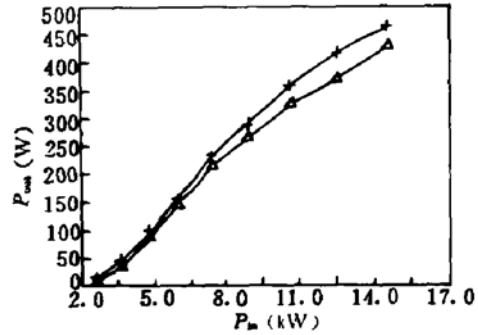


图 7 不同非稳腔输入-输出对比

Fig. 7 Experimental result of the slab laser with a unstable resonator

×: $R_1 = 2500, R_2 = -1000$ unstable 1;
 △: $R_1 = 3000, R_2 = -1000$ unstable 2

输出功率反而低于非稳腔。图 7 给出了不同腔镜构成的非稳腔输出对比,由于腔的几何放大率 $M = |R_1/R_2|$,而输出耦合度 $\delta = 1 - 1/M^2$,对应不同曲率半径的腔镜,其对应的放大率及输出耦合率是不同的,从而导致介质的能量提取率不同,输出功率也就存在较大差异。通过合理选取放大率,在输出镜上镀上硬边膜,可以得到优化的输出耦合率从而提高输出功率与光束质量^[4,5]。图 8 给出了不同热效应条件(对应不同热焦距)下非稳腔输出对比(热焦距的测量及计算方法可参见[4]),当 f 变化时,由图 5 所示,谐振腔 G 参数将随之改变,而当 f 超过一定范围时, G 参数变化缓慢,使其对输出功率影响降低。

在实验中,我们通过合理分析与设计,改善和解决了板条介质本身的热聚焦等热效应问题,使其对谐振腔的影响大大减小,而不必采用腔内补偿等措施。我们在采用如图 2 所示的非轴对称非稳谐振腔进行实验的基础上,得到了较为理想的实验结果:注入功率约 16 kW,重复频率为 50 Hz 时,板条激光器单级输出 618 W,由光束分析仪经大功率衰减器测量的远场光束发散角为 2.0×3.9 mrad,器件总效率为 3.8%,斜效率为 3.9%,该激光器可连续运转 1 h,输出稳定性为 8%。

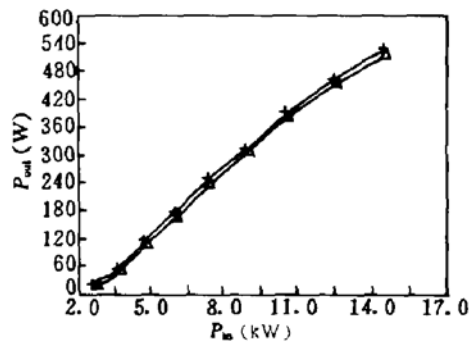


图 8 不同热焦距对应的输入-输出对比

Fig. 8 Experimental result of the slab laser having different focusing lengths

×: $R_1 = 2500, R_2 = -1000, f = 29$ m(1400 V);
 △: $R_1 = 2500, R_2 = -1000, f = -60$ m(1400 V)

4 结 论

通过上述分析与实验可以看出,非轴对称非稳谐振腔对于板条激光器的研究具有重要意义,它可以通过合理选取腔参数来提高激活介质的能量提取率而提高输出功率,通过降低热效应的影响而大大改善输出光束质量。同时,为了进一步提高光束质量以及器件效率,可以在非

稳腔结构中,采用在输出镜上镀有二维不均匀分布反射膜,镀有高斯或超高斯膜等形式。

参 考 文 献

- 1 J. M. Feggleston, T. J. Kane, K. Kuhn *et al.*. The slab geometry laser-part I: Theory. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1984, QE-20(3): 289~300
- 2 吕百达,许世发,胡玉芳等. 非轴对称腔板条固体激光器. *激光技术*, 1991, (8): 202~209
- 3 T. J. Kane, R. C. Eckardt, R. L. Byer. Reduced thermal focusing and birefringence in zig-zag slab geometry crystalline lasers. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1983, QE-19(9): 1351~1354
- 4 闫连山,何学东,陈学峰等. 板条激光器谐振腔膜尺寸研究. *激光与红外*, 1995, (6): 24~26
- 5 N. Hodgson, T. Haase. Beam parameter, mode structure and diffraction losses of slab lasers with unstable resonators. *Opt. and Quantum Electronics*, 1992, 24: s903~s926

Study of Unstable Resonators of a High Average Power Slab Laser

Yan Lianshan He Xuedong Lu Peng Wu Xiaoyuan
Zhang Xianming Zhang Shiwen FASHI ELMANSURI
(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015)

Abstract Investigations about the structure and features of unstable resonators of a high average power slab laser are performed. Conclusions from theory and experiment were obtained. The experimental results are presented.

Key words high average power, slab laser, unstable resonator