

文章编号: 1005- 5630(2002)4/5- 0047- 05

热透镜效应和谐振腔参数的选择对激光输出的影响^{*}

徐弼军, 陆璇辉, 薛大建, 何赛灵

(浙江大学现代光学仪器国家重点实验室光及电磁波研究中心 光学研究所, 浙江 杭州 310028)

摘要: 应用了从高斯光束的矩阵变换对在动态热透镜效应影响下的3种谐振腔的参数进行了分析和计算, 在适当选择谐振腔的参数的条件下, 便能满足稳定的激光输出要求。

关键词: 热透镜效应; 谐振腔; 矩阵变换

中图分类号: TN 24

文献标识码: A

The influence of laser output from the thermal-lens effect and the parameters of resonator

XU Bi-jun, LU Xuan-hui, XUE De-jian, HE Sai-ling

(State Key Laboratory for Modern Optical Instrumentation, Center for Optics
and Electromagnetic Research, Institute of Optics, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China)

Abstract In this paper, by using of matrix method and ABCD law for Gaussian beam, we analyzed and computed the parameters of three kinds resonators under the influence of the thermal-lens effect. The stable output for laser beam can be gotten through selecting suitable cavity parameters.

Key words: the thermal-lens effect; resonator; matrix method

1 引 言

随着激光技术的不断发展, 激光的输出模式在激光技术中的作用更加重要。在稳定振荡条件下, 谐振腔的几何参数与腔内振荡模的参数之间有确定的一一对应关系。故可根据稳定条件首先选择谐振腔的几何参数, 然后对应关系计算腔内的模参数; 一般根据工程需要, 选定腔内的模参数, 然后根据对应关系计算谐振腔的几何参数。从而选择合适的光路和谐振腔的参数。当激光器高功率运转时, 激光晶体的热效应影响到激光性能的各个方面, 如: 谐振腔的稳定性、腔模尺寸、模式耦合效率、输出光束质量等, 因而在设计参数模式时要考虑热透镜的影响。

本文从热透镜效应、高斯光束的矩阵变换和ABCD定律来讨论。

2 理论分析

热透镜效应是由激光棒内的热不均匀分布(热梯度)与热应变弹性引起的折射率不均匀变化, 从而形成热透镜效应。同样热透镜效应在半导体泵浦固体激光器中也同样存在。对此类激光腔可以将激光棒近似等效为焦距为 $f \approx 1/nL$ 的透镜。

* 收稿日期: 2002-07-16

作者简介: 徐弼军(1979-), 男, 浙江兰溪人, 学士, 从事光学方面的研究。

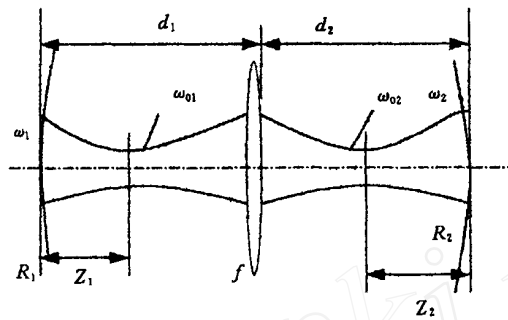


图 1 含有热透镜效应的谐振腔

如上图,腔内有一热透镜,焦距为 f ,距两反射镜为 d_1 及 d_2 。谐振腔腔镜的曲率半径分别为 R_1 和 R_2 。由图可知,此腔内介质的变换矩阵为:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & d_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & d_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1 - \frac{d_2}{f} & d_1 + d_2 - \frac{b}{R_1} \\ -\frac{1}{f} & 1 - \frac{d_1}{f} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (1)$$

则 G 参数为:

$$G_1 = a - \frac{b}{R} = 1 - \frac{d_2}{f} - \frac{b}{R_1}; \quad G_2 = d - \frac{b}{R} = 1 - \frac{d_1}{f} - \frac{b}{R_2}; \quad b = d_1 + d_2 - \frac{d_1 d_2}{f} \quad (2)$$

两镜腔的稳定条件:

$$0 < G_1 G_2 < 1 \quad (3)$$

根据动态稳定条件 $G_1 G_2 = 1/2$, 此时所对应的 f 是一个常数, 而实际由于热透镜效应的影响, f 将是随温度动态变化的。

由(1)(2)(3)式可得出两空间的腔模参数关系为:

$$\begin{aligned} \omega &= \left(\frac{\lambda b}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \left[\frac{G_2}{G_1(1 - G_1 G_2)} \right]^{\frac{1}{4}} & \omega_2 &= \left(\frac{\lambda b}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \left[\frac{G_2}{G_2(1 - G_1 G_2)} \right]^{\frac{1}{4}} \\ \omega_{b1} &= \left(\frac{\lambda b}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \left\{ \frac{[G_1 G_2 (1 - G_1 G_2)]^{\frac{1}{2}}}{G_1 + \alpha^2 G_2 - 2\alpha G_1 G_2} \right\}^{\frac{1}{2}} & \omega_{b2} &= \left(\frac{\lambda b}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \left\{ \frac{[G_1 G_2 (1 - G_1 G_2)]^{\frac{1}{2}}}{G_2 + d^2 G_2 - 2d G_1 G_2} \right\}^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (4)$$

若腔内透镜焦距 f 已知, 再根据其它条件, 如根据腔结构的要求给定 d_1, d_2 可以由(2)、(3)来确定 R_1, R_2 。也可以给出 R_1, R_2 来确定 d_1, d_2 。从而来确定 $\omega, \omega_2, \omega_{b1}, \omega_{b2}$ 。因此, 可以首先根据工程需要选定腔内的模参数, 然后再计算谐振腔参数。

3 数值计算和讨论

3.1 取 $\lambda = 1 \mu\text{m}$, $d_1 = 250 \text{mm}$, $d_2 = 250 \text{mm}$, $R_1 = 3000 \text{mm}$, $R_2 = 3000 \text{mm}$ 。则根据(2)、(3)式, 可得: f 最小为 125mm , 所以 f 在 $125 \text{mm} \sim \infty$ 变化, 由(4)式可得相应参数, 如图 2 所示。

从图 2 可知, 在球面镜的情况下, $\omega, \omega_2, \omega_{b1}, \omega_{b2}$ 都随 f 的增大而增大, 而且最初的变化斜率大于后来的变化斜率。

3.2 取 $\lambda = 1 \mu\text{m}$, $d_1 = 250 \text{mm}$, $d_2 = 250 \text{mm}$, $R_1 = \infty$, $R_2 = \infty$ 时, $G_1 = 1 - \left(\frac{d_2}{f}\right)$, $G_2 = 1 - \left(\frac{d_1}{f}\right)$, 根据(3)式知道 f 最小也为 125mm 。所以 f 的范围也是 $125 \text{mm} \sim \infty$, 由(4)式得的参数, 所得曲线图 3。

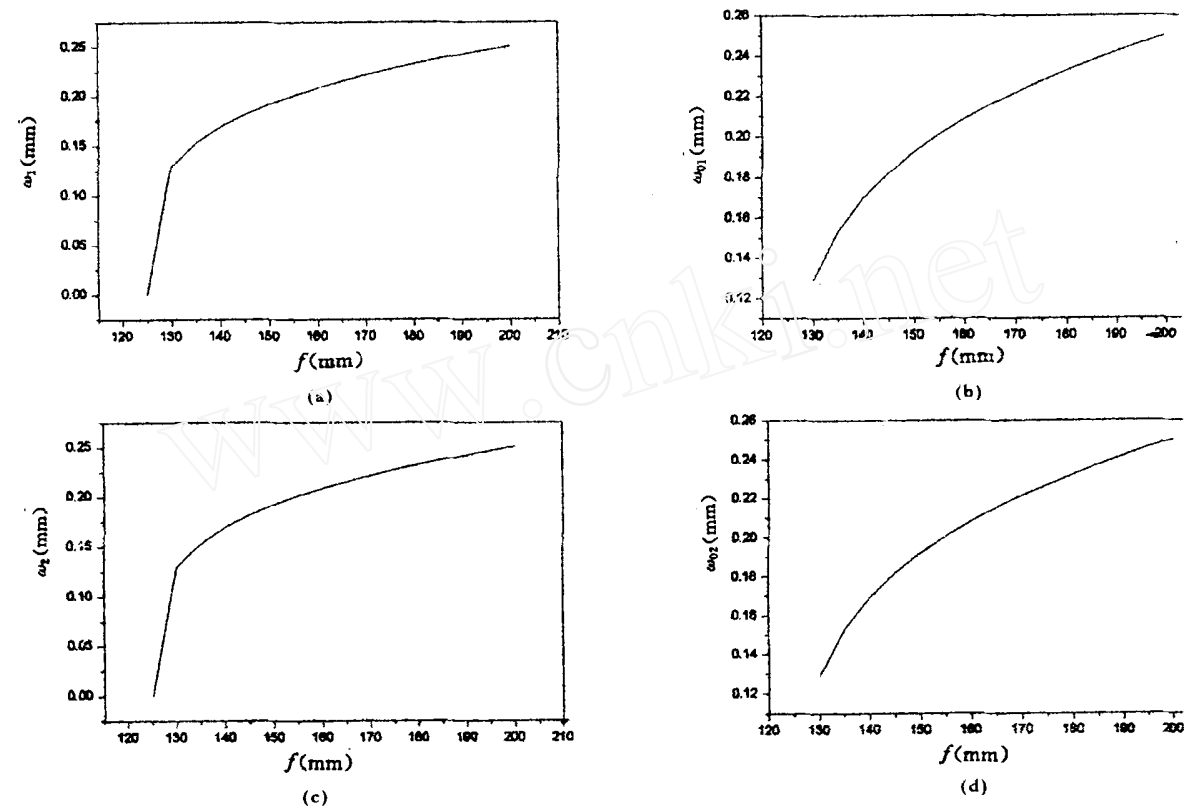


图 2 两对称的球面镜下焦距 f 与光斑的变化图

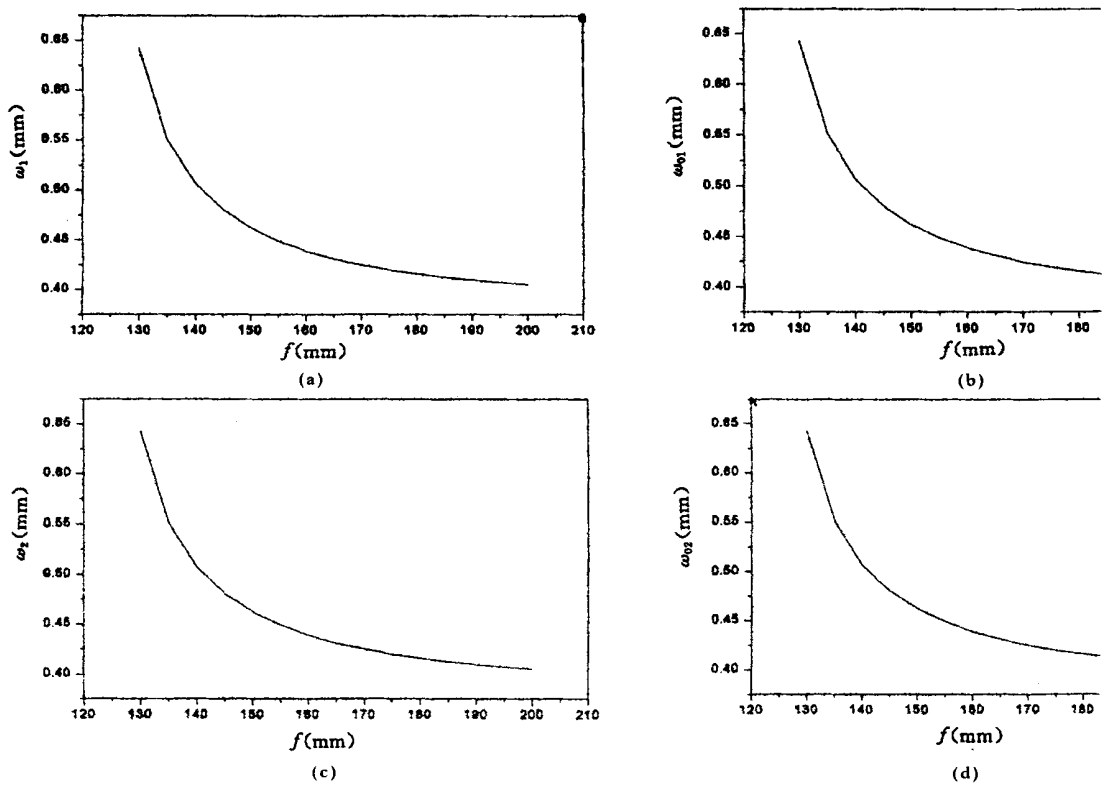


图 3 两对称的平面镜下焦距 f 与光斑的变化图

从图 3 可以发现,在两对称的平面镜的情况下, ω_a 、 ω_b 、 ω_{b1} 、 ω_{b2} 随 f 的增大而减小, 而且 $\omega_a = \omega_b = \omega_{b1} = \omega_{b2}$ 。

3.3 取 $\lambda = 1\mu\text{m}$, $d_1 = 250\text{mm}$, $d_2 = 250\text{mm}$, $R_1 = 3000\text{mm}$, $R_2 = \infty$ 时。由(3)式知道 f 最小也为 125mm 。 f 变化范围为 $125\text{mm} \sim \infty$ 。由(4)式可得图 4。

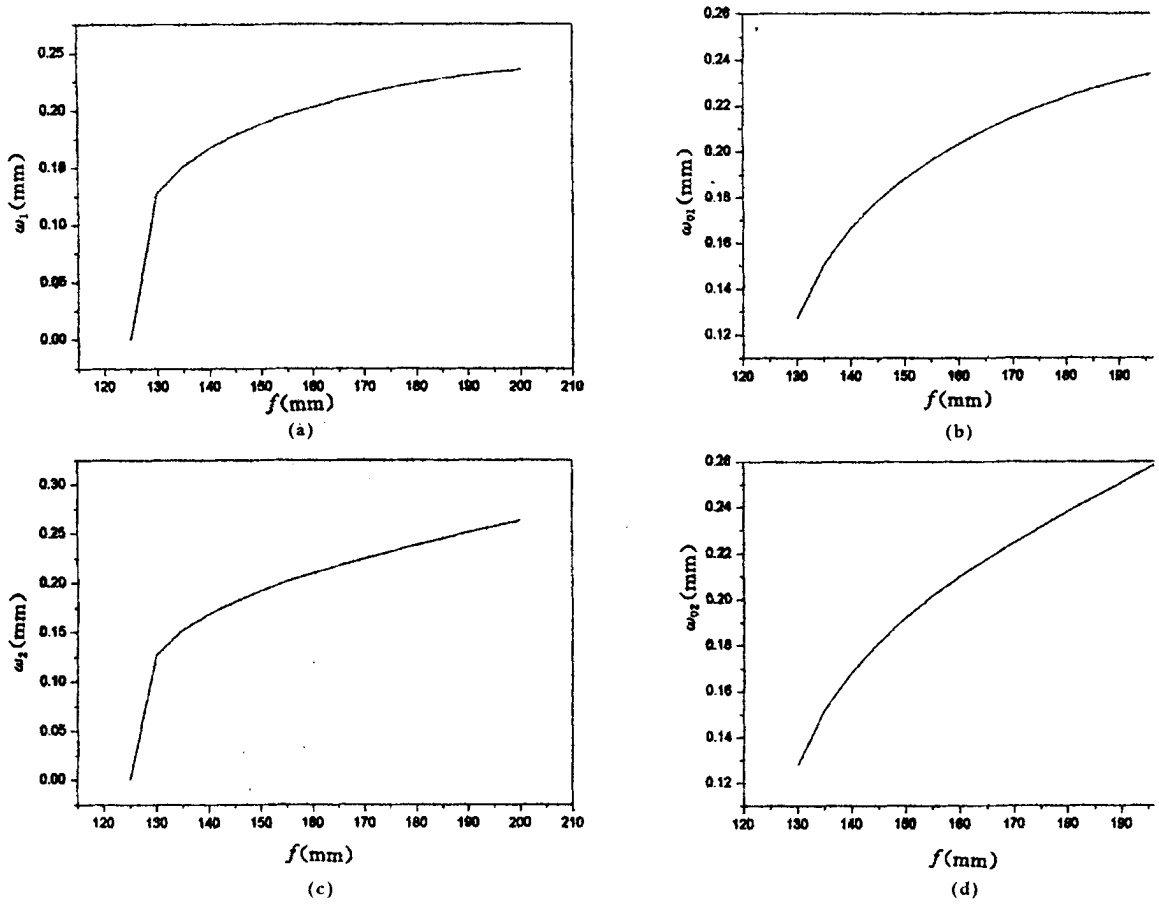
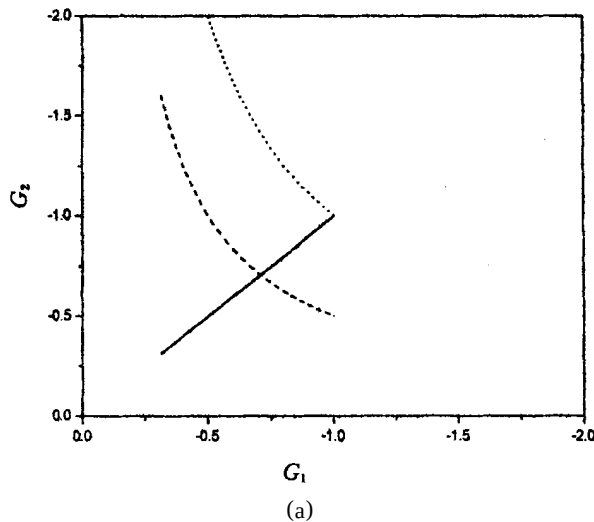


图 4 平面镜—球面镜下焦距 f 与光斑的变化图

在平面镜与球面镜半对称的情况下, ω_a 、 ω_b 、 ω_{b1} 、 ω_{b2} 的变化与图 2 球面镜的变化一致。

3 种镜腔分别在 $G_1G_2 = 1$ 和 $G_1G_2 = 1/2$ 及实验所得的 G_1G_2 数据下的图像如图 5。



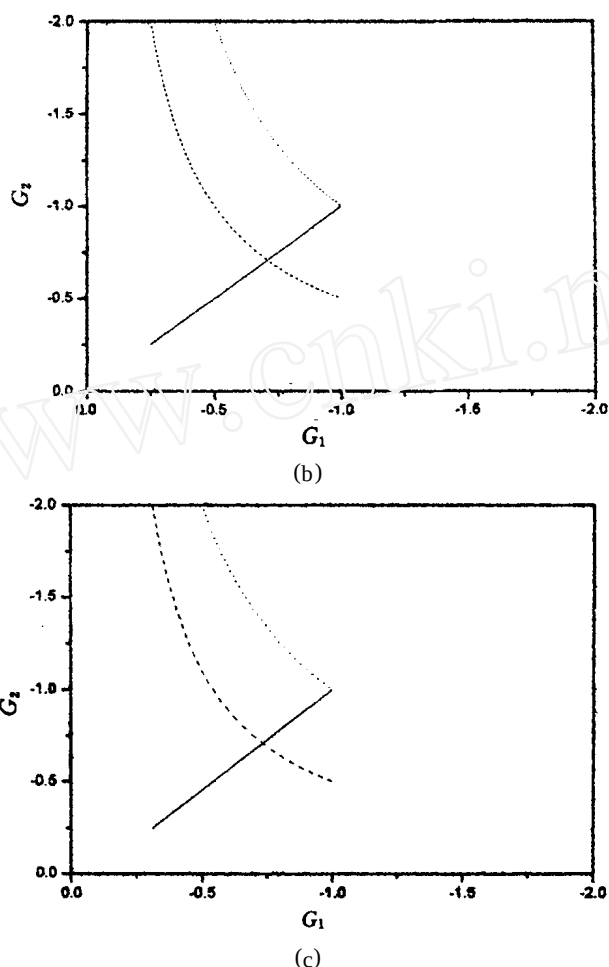


图 5 3 种镜腔分别在 $G_1G_2 = 1$ 和 $G_1G_2 = 1/2$ 及实验所得的 G_1, G_2 数据下的图像

(a) 球面—球面; (b) 平面—平面; (c) 平面—球面

虽然热透镜的焦距 f 是在不断的变化,但只要 f 不小于 125mm 时,总能满足稳定输出的条件,由图可知 f 在一定的变化范围内得到稳定输出情况。

说明在热透镜焦距的变化范围内将有一个焦距能够达到 $G_1G_2 = 1/2$ 的稳定输出的条件。因为热透镜焦距是会变化的。找到某一稳定点,让它靠近 $G_1G_2 = 1/2$ 处,这样可以达到相对稳定的激光输出。

4 结束语

谐振腔内热透镜效应引起晶体折射率的变化,引起焦距的动态变化,一般动态变化的范围可以通过计算和实验两种方法来确定,实际主要是由最短的焦距确定。一旦热透镜的最短焦距一定,那么通过选择合适的腔结构参数就能保证在热透镜效应的动态范围内仍能保持腔的稳定,既能满足 $G_1G_2 = 1/2$ 处附近变化,从而激光达到稳定输出。这种方法特别适合半导体激光泵浦固体激光的时候。因为,相对灯泵而言半导体激光泵浦固体激光器所产生的热少,所以其动态范围也小,可以较容易满足稳定条件。本课题组已运用这种方法设计了半导体泵浦固体激光的结构,效果不错。这是确定热稳定腔的一种简易行的方法。

5 参考文献

- [1] 李 键. 高反射率测量中的模式匹配与谐振腔设计[J]. 山东师大学报, 1996 11(1): 20~ 23.
- [2] 蔡伯荣, 魏光辉. 激光器件[M]. 湖南: 湖南科学技术出版社, 1981.
- [3] 徐荣清. 高输出功率的热稳谐振的设计[J]. 华东船舶工业学院报, 1999, 13(4): 29~ 32.
- [4] 季 明, 梅时中. 热透镜显像现象研究[J]. 量子电子学. 1996, 13(3): 201~ 205.