第 2 卷 第 4 期
1980 年 10 月

电 子 学 通 讯
JOURNAL OF ELECTRONICS

Vol. 2, No. 4
Oct., 1980

矩(方)形激光波导共振腔的耦合损耗*

周 国 生
(山西大学物理系)

提 要

本文利用数值法计算了矩(方)形激光波导共振腔反射镜对最低阶波导模 (EH_{11} 模)的耦合损耗. 文中给出了在不同矩(方)、形波导截面尺寸下,耦合损耗与反射镜位置、曲率半径、波导截面尺寸间的依赖关系.

矩(方)形激光波导腔,特别是 CO_2 激光波导腔的应用日益广泛[1]. 但迄今为止,还没有对它的耦合损耗进行过计算,而只是套用圆波导腔的结论. 另外,文献[2]在计算圆波导腔 EH_{11} 模的相位移动时,认为: 腰部在波导管口(位置 1)处的 j 阶高斯模从管口出

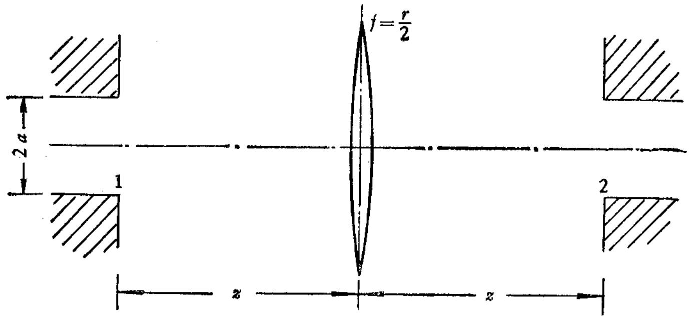

图 1 激光波导腔管镜耦合等效图

发,在空间传播距离 Z 后,经反射镜反射,再经 Z 返回波导管口 (位置 2,见图 1) 时的相位移动

$$\Phi_j=\left(j+\frac{1}{2}\right)[\mathrm{tg}^{-1}(\lambda Z/\pi W_0^2)+\mathrm{tg}^{-1}(\lambda Z/\pi W^2)].$$

根据高斯光束波动方程传播理论,相移应为

$$\Phi_j=\left(j+\frac{1}{2}\right)\left[\mathrm{tg}^{-1}(\lambda Z/\pi W_0^2)+\mathrm{tg}^{-1}\left(\frac{\lambda Z}{\pi W_1^2}\frac{1}{1+\frac{Z}{R}}\right)\right] \tag{1}$$

其中 λ 是光波波长; W_0、W_1 分别是位置 1、2 处高斯光束的光斑尺寸; R 是位置 2 处高斯光束波面的曲率半径. 显然,当 $1/R=0$ 时,文献[2]的公式是成立的. 但当 $1/R\neq 0$

* 1979 年 12 月 8 日收到.

时，文献[2]的结论就有较大的误差. 但由于 $1/R=0$ 正好是耦合损耗曲线的极值位置，因此文献[2]的耦合损耗 $\sim \frac{\lambda Z}{\pi W_0^2}$ 曲线的极值和曲线的大致形状是正确的，但在非极值位置上，损耗的误差较大.

将位置 1 处的波导 EH_{11} 模，展成厄米-高斯光束本征模的线性组合. 利用变步长辛普生积分法计算展开系数，在积分的最大相对误差小于 1×10^{-4} 下，得：当 $\gamma=a/W_0=$

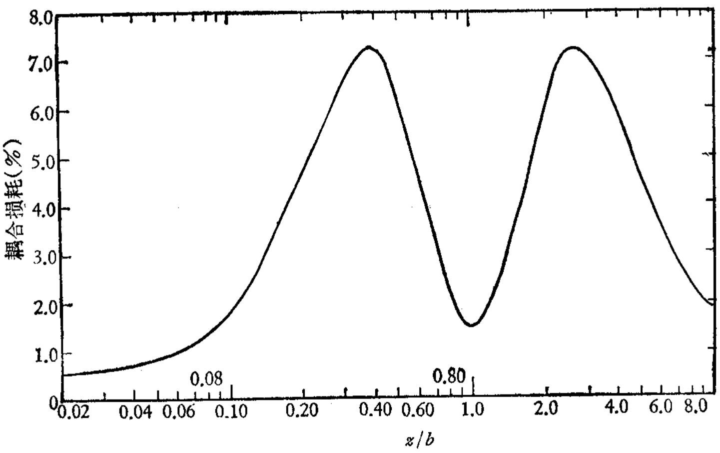

图 2 当 $\frac{r}{b}=\frac{Z}{b}+\frac{b}{Z}$ 时，方波导腔 EH_{11} 模耦合损耗与波导管口至反射镜相对距离 $\left(\frac{Z}{b}\right)$ 的关系曲线. $b=\frac{\pi a^2}{\lambda\gamma^2}$

1.4220 (a 是一维波导宽度，W_0 是高斯模的光斑尺寸)，利用厄米-高斯光束本征模展开方波导的 EH_{11} 模时，级数收敛最快，高斯光束基模能量占总能量的 97.99%. 文献[3]取 γ 近似等于 1.422，相应的基模能量只有总能量的 97.88%.

利用光线传递矩阵求出高斯光束在位置 2 的光斑尺寸及曲率半径，并由相移公式 (1)，计算出耦合到 EH_{11} 场的大小. 积分的最大相对误差小于 1×10^{-4}. 从而得到下列耦合到 EH_{11} 波导模的耦合损耗：

(1) 当相对曲率半径 $\frac{r}{b}=\frac{Z}{b}+\frac{b}{Z}$ 时，方波导腔的耦合损耗与波导管口至反射镜的相对距离 (Z/b)

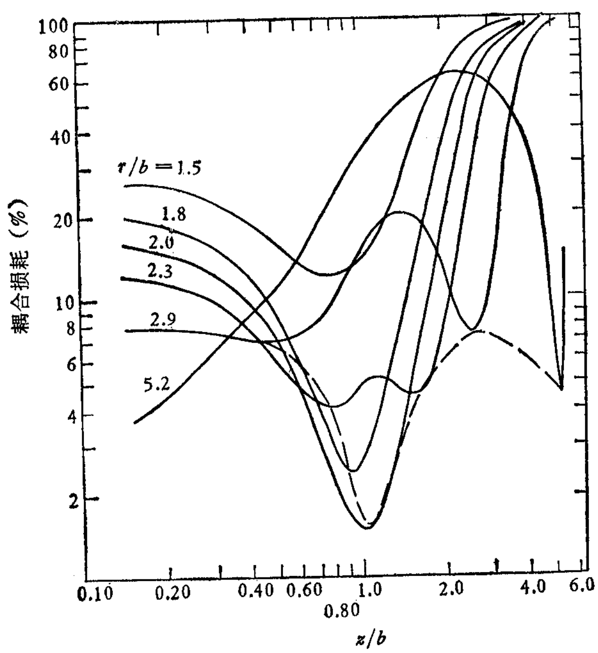

图 3 在不同的反射镜曲率半径 (r/b) 下，方波导腔 EH_{11} 的耦合损耗与波导管口至反射镜相对距离 (Z/b) 的关系曲线

的关系曲线如图 2 所示．这里 r 是反射凹镜的曲率半径，$b=\pi W_0^2/\lambda=\pi a^2/\lambda\gamma^2$．由图可见，当 $Z=b$，且 $r=2b$ 时，耦合损耗有极小值，为 1.56%．当 $Z<0.09b$ 时，耦合损耗小于 1.5%．当 $Z>10b$ 时，耦合损耗小于 1.8%．

(2) 在不同的镜曲率半径 $\frac{r}{b}$ 下，方波导腔耦合损耗与波导管口至反射镜的相对距离 $\left(\frac{Z}{b}\right)$ 的关系曲线如图 3 所示．对于 $r>2b$，曲线有二个极小值．对于 $r\leqslant 2b$，曲线有一个极小值．该曲线与圆波导腔的耦合损耗曲线形状大致相似．这是可以理解的，因为圆波导 EH_{11} 模与方波导 EH_{11} 模场分布形状相似，在空间传播的规律也相同．

(3) 对矩形波导，当相对的镜曲率半径 $\frac{r_x}{b_x}=\frac{Z}{b_x}+\frac{b_x}{Z}$，$\frac{r_y}{b_y}=\frac{Z}{b_y}+\frac{b_y}{Z}$，$\frac{Z}{b_y}=2.0$，1.5，1.0 时，矩形波导的耦合损耗～$\frac{Z}{b_x}$ 曲线如图 4 所示．这里，r_x，r_y 分别是反射镜在 x，y 方向的曲率半径，$b_x=\frac{\pi a_1^2}{\lambda\gamma^2}$，$b_y=\frac{\pi a_2^2}{\lambda\gamma^2}$，$a_1$，$a_2$ 分别是矩形波导在 x，y 方向的宽度．由

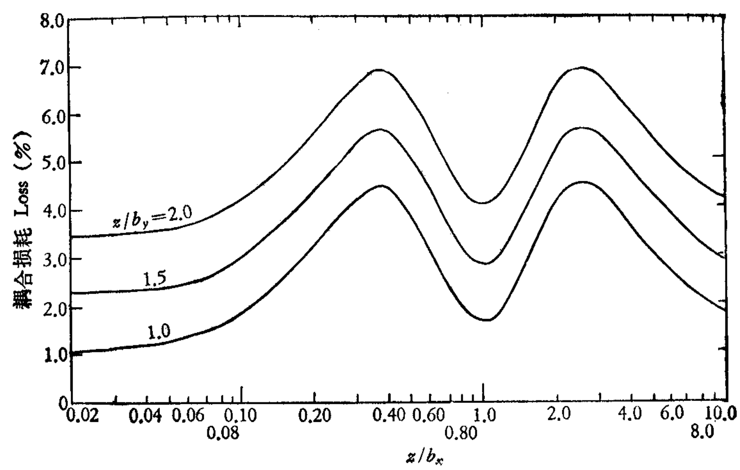

图 4 当 $\frac{r_x}{b_x}=\frac{Z}{b_x}+\frac{b_x}{Z}$，$\frac{r_y}{b_y}=\frac{Z}{b_y}+\frac{b_y}{Z}$ 时，不同 $\frac{Z}{b_y}$ 下矩形波导腔的耦合损耗～Z/b_x 曲线

图可见，当 $Z=b_x$ 时，耦合损耗有极小值．所以为了使耦合损耗最小，应选择 x，y 方向有不同曲率半径的反射镜，或者用凹面光栅．凹面光栅在 Littrow 情况下应用时的等效曲率半径公式见文献[4]．通常用平面光栅调谐时[5]，若光栅至波导管口距离较大，则即使是圆波导腔和方波导腔，耦合损耗也较大．所以最好用凹面光栅，矩形波导腔．

(4) 当反射镜是球面，曲率半径 $r=2b_y$，且取 $Z=b_y$ 时，耦合损耗～$\frac{Z}{b_x}$ 曲线如图 5 所示．这曲线实际上表示波导在 x 方向不同宽度 a_1 下的耦合损耗．当曲线偏离 $Z=b_x$ 时，损耗迅速增大，因此采用球面镜，对矩形波导腔是不利的．

利用以上曲线，可以正确设计低损耗的矩(方)形波导腔．

在编写程序及上机（TQ-16，Algol 60语言）计算过程中，得到山西大学计算站郑耀坤、吕致君等同志指导和协助，表示感谢．本文承蒙司徒达副教授审阅，也表示感谢．

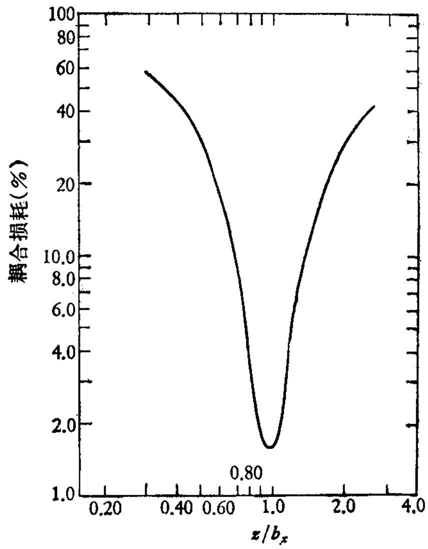

图5　在球面反射镜曲率半径 $r=2b_y$，$Z=b_y$ 时，耦合损耗～Z/b_x 曲线

参　考　文　献

[1] A. Papayoanou, *IEEE J. Quant. Electron.*, *QE*-**13** (1977), 27.
[2] R. L. Abrams, *IEEE J. Quant. Electron.*, *QE*-**8** (1972), 838.
[3] D. M. Henderson, *Appl. Opt.*, **15** (1976), 1066.
[4] 周国生，物理学报，**27** (1978), 681.
[5] J. J. Degnan, *Appl. Phys.*, **11** (1976), 1.