

# 10.6 μm 玻璃-金属复合波导偏振激光器的设计

王瑞峰 邱 琪

(成都电讯工程学院光电子技术系)

## Design of a 10.6 μm glass-metallic complex waveguide polarized laser

Wang Rui-fe, Qiu Qi

(Chengdu Institute of Radio Engineering, Chengdu)

提要: 本文提出了一种玻璃-金属复合波导偏振激光器结构参数的理论计算方法。得到了这类激光器的一般结构参数。在总长 330 mm、470 mm 条件下, 分别获得输出功率 7.5 W 和 9 W, 偏振度大于 98% 的线偏振基模激光输出。

关键词: 复合波导, 偏振, 10.6 μm

### 一、引言

近年来由于红外金属软波导技术的发展, CO<sub>2</sub> 偏振激光器得到了广泛的重视。获得偏振激光的传统方法是利用布氏窗起偏。其缺点是体积大、结构复杂、价格高且难以获得高功率输出。为此, 我们曾提出玻璃-金属复合波导起偏 CO<sub>2</sub> 激光器<sup>[1]</sup>, 实验证明这种方法是正确的。本文基于 Abrams 提出的空心介质波导 EH<sub>11</sub> 模在波导外传播的数学分析方法<sup>[2]</sup>, 导出了最佳耦合时金属平板波导的高度, 根据金属平板波导模式的传输和损耗特性确定了平板波导纵向和横向尺寸范围。

### 二、结构设计

#### 2.1. 金属平板波导的高度 D

图 1 为激光器结构示意图。由于圆波导与平板波导之间有一段自由空间, 可把两者之间的耦合近似为两部分组成, 即圆波导到自由空间的耦合与自由空间到平板波导的耦合。圆形空心玻璃波导最容易建立 EH<sub>11</sub> 模的振荡<sup>[3]</sup>。根据 Abrams 提出的方法<sup>[2]</sup>, EH<sub>11</sub> 模从玻璃波导口进入自由空间的高斯光束, 其束腰半径 ω<sub>0</sub> 与介质波导半径 α 的关系可近似为

$$\omega_0 = 0.6435\alpha \quad (1)$$

束腰位于介质波导口处。文献[4]导出了高斯光束进入金属平板波导的最佳耦合条件。当

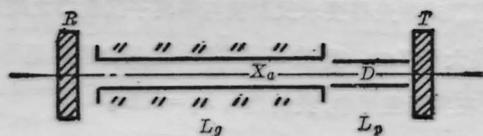


图 1 激光器结构

$$\eta = \frac{2\omega_0}{D} = 0.7$$

时得到

$$2\omega_0 = 0.7D \quad (2)$$

此时平板波导模 TE<sub>01</sub> 得到最有效的激发, 其激发效率大于 98%。为了降低损耗, 金属平板波导与玻璃圆孔波导以及平面镜之间的间距均应尽可能地小, 从而忽略自由空间高斯束的发散问题, 将(1)式代入(2)式得到最佳耦合条件:

$$D = 1.8386\alpha = 0.9193d \quad (3)$$

式中 D 为平板波导高度, d 为介质波导直径。

#### 2.2 金属平板波导的长度 L<sub>p</sub>

金属平板波导长度在理论上应该满足条件: (1) 激光器单程增益大于损耗; (2) 抑制 TM 模, 实现 TE 模振荡; (3) 传输耦合损耗最小。金属平板波导的传输损耗非常小, 一般损耗系数 α<sub>TE<sub>01</sub></sub> ≈ 10<sup>-7</sup> cm<sup>-1</sup>, α<sub>TM<sub>01</sub></sub> ≈ 10<sup>-4</sup> cm<sup>-1</sup>, 而 α<sub>EH<sub>11</sub></sub> ≈ 10<sup>-3</sup> cm<sup>-1</sup>。另外, α<sub>TE<sub>01</sub></sub> / α<sub>TM<sub>01</sub></sub> ≈ 10<sup>-3</sup>, 可以达到抑制 TM 模, 实现 TE 模振荡的目的。现只须讨论条件(3)。

由图 1 可知, 各阶波导模在平板波导中传输, 经

平面反射镜反射后返回圆波导口，这时各阶波导模相位延迟并不完全相同，返回场  $E'(y)$  将不同于圆波导口的场  $E(y)$ ，两者之间存在耦合损耗， $E(y)$  和  $E'(y)$  的表达式为：

$$\left. \begin{aligned} E(y) &= e^{-y^2/\omega_0^2} = \sum_{l=0}^{\infty} A_l \cos(2l+1) \frac{\pi}{D} y \\ E'(y) &= \sum_{l=0}^{\infty} A_l \cos(2l+1) \frac{\pi}{D} y \cdot e^{i\phi_l} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

此式除去了相同的相位因子，且忽略了平板波导衰减系数。相位因子  $\phi_l = 2L_p \beta_l + \pi$ 。  $L_p$  为平板波导长度； $\pi$  为相位突变； $\beta_l$  为  $l$  阶模的相位因子<sup>[5]</sup>。耦合损耗为：

$$C = 1 - \left\{ \frac{\sum_{l,m} A_l^2 A_m^2 \cos 2L_p (\beta_l - \beta_m)}{\sum_{l,m} A_l^2 A_m^2} \right\}^{1/2} \quad (5)$$

利用计算机进行数字计算，在  $\eta = 0.7$ ， $D = 3\text{mm}$  和  $D = 3.2\text{mm}$  时得到了两条曲线，如图 2 所示。由图可知金属平板波导的损耗随长度的增加而增加，但在  $10 < \frac{L_p}{D} < 13$  区间，损耗随长度变化不明显。一般内腔式激光器要求反射镜与等离子区管口之间的距离大于  $3\text{cm}$ ，显然  $10 < \frac{L_p}{D} < 13$  是合理的选用范围，在实际应用中，我们选用  $L_p = 10D$ 。

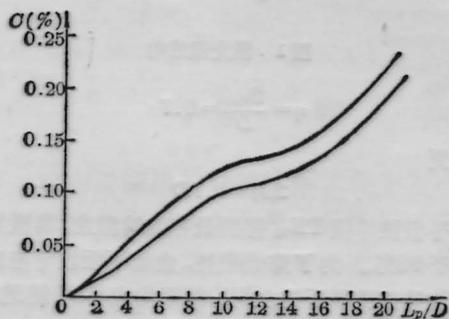


图 2 金属平板波导的损耗曲线  
上曲线:  $D=3\text{mm}$ ; 下曲线:  $D=3.2\text{mm}$

### 2.3. 金属平板波导的宽度 $b$

为使空心平板波导的尺寸准确，在波导两侧加设支撑垫片(金属或玻璃片)，如图 3 所示。因而空心平板波导实际上可看作一段空心矩形平直波导，在传输 TE 模时它的损耗系数可表示为<sup>[4]</sup>：

$$\alpha_{\text{TE}} = \frac{\lambda^2}{a^3} \text{Ro}(1/\nu) + \frac{\lambda^2}{b^3} \text{Ro}(\nu) \quad (6)$$

由此可知，当波导高度  $a$  与材料折射率  $\nu$  一定时， $b$  越宽损耗越小。对于空心矩形铜波导，取  $a=3\text{mm}$ ，

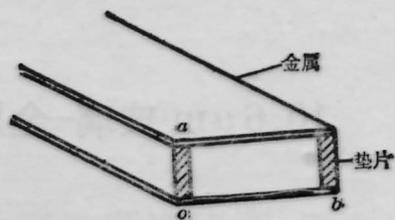


图 3 平板波导结构简图

$b=10\text{mm}$ ， $\nu=14.2-i64$  时得出  $\alpha=0.0016$ ，每米的传输效率可大于 99%，因此  $b$  值选取大于  $10\text{mm}$  是合理的。

## 三、实验结果

根据上述理论设计，我们制造了两支激光器。其结构参数及实验结果见表 1。由此可见激光器除有很高的偏振特性外，输出功率水平也可与国内同等尺寸普通内腔激光器的最好水平相比。这表明设计是成功的。此外，还观察到其功率输出和稳定性都优于不加金属平板波导的激光器，可能是金属平板波导减小了腔镜与波导口的距离降低了损耗所致。

表 1 激光器结构参数与实验结果

管号	激光器全长 (mm)	放电管直径 (mm)	平板波导长 (mm)	平板波导宽 (mm)	平板波导高 (mm)	输出功率 (w)	偏振度
I#	330	3.2	30	10	3	7.5	>98%
II#	470	3.5	35	10	3.2	9.0	>98%

本文在撰写过程中曾得到冯志超教授的帮助。在制管过程中得到了郑华琴、洪永和和张晓军同志的大力支持，在此表示感谢。

## 参 考 文 献

- 1 王瑞峰 *et al.*, 中国激光, 14(4), 210(1987)
- 2 R. L. Abrams, *IEEE J. Quant. Electr.*, QE-8, 838 (1972)
- 3 E. A. J. Mareatili, R. A. Schmelzer, *Bell Tech J.*, 43, 783(1964)
- 4 M. Garmire *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, QE 16(1), 23(1980)
- 5 清华大学, 成都电讯工程学院, 激光原理 (国防工业出版社 1980), 399

(收稿日期: 1987 年 12 月 23 日)