

一种适合于同轴放电气体激光器的 的多程环形腔

李育德

(四川大学光电科学技术系, 610064)

摘要: 本文提出了一种适用于同轴放电气体激光器的环形腔方案, 给出了这种腔的设计和光束特性。

关键词: 同轴气体激光器, 谐振腔

A ring resonator suitable for coaxial gas laser

Li Yude

(Department of Opto-Electronic Science and Technology, Sichuan University, Chengdu)

Abstract: A ring resonator scheme suitable for coaxial gas lasers is put forward. The design and the beam propagation characteristics in the resonator are given.

Key words: coaxial gas laser, resonator

同轴放电气体激光器^[1~4]具有一定的发展潜力, 它具有放电体积大, 可大大提高每米激光输出的优点, 但在激光能量的提取方面较为麻烦。可用于这类激光器的谐振腔有平平腔^[5], 多光程腔^[6]等。本文提出一个区别于前述驻波腔的新方案——多程(分臂)环形腔, 给出了这种行波腔的设计和它的光束特性。

着眼于分析环形腔内光束传输特性和计算模参数, 我们可以把环形腔从某一参考面处截

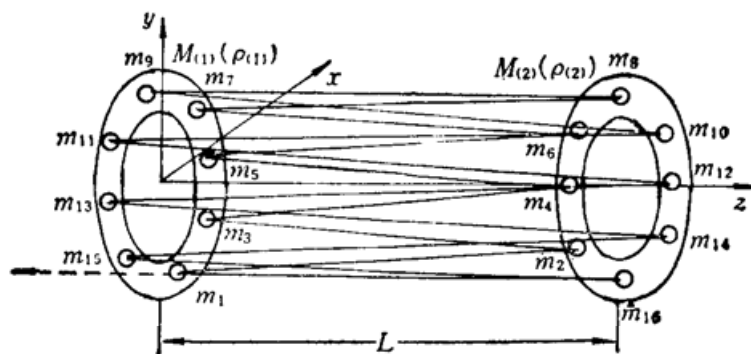


Fig. 1 The 16 passes ring resonator

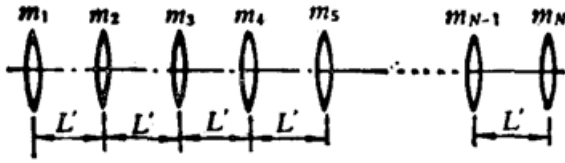


Fig. 2 Series of equally spaced thin lenses

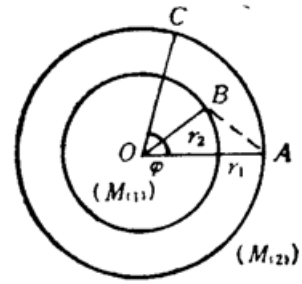


Fig. 3

断, 展开成一个等效多元件直腔来处理。以 m_1 为参考, 本腔沿正向行波的等效周期性薄透镜序列如图 2 所示, 以 $m=1, N=16$ 为例 ($\frac{N}{2}\varphi=2m\pi$, 参见图 1, 3), 讨论 16 程环形腔之特性。在透镜序列中, m_1, m_3, \dots, m_{15} 无差别, m_2, m_4, \dots, m_{16} 无差别。现在我们来确定 L' 。设 A, O 为 $M_{(1)}$ 上相邻两小镜面的中心, B 为 $M_{(2)}$ 上相应一小镜面中心, 相应段的光轴由 A 到 B 再到 O 。将 $M_{(1)}, M_{(2)}$ 上的小镜面中心沿 $M_{(1)}M_{(2)}$ 之轴投影到一个面内, 如图 3, 则有:

$$AB^2 = \left(r_1 - r_2 \cos \frac{\varphi}{2} \right)^2 + \left(r_2 \sin \frac{\varphi}{2} \right)^2 \quad (1)$$

AB 为投影面内之线段。所以

$$L'' = L^2 + r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2 \cos \frac{\varphi}{2} \quad (2)$$

根据文献 [7], r_1, r_2 之间有关系

$$\frac{r_2}{r_1} = \sqrt{\frac{g_1}{g_2}} \quad (3)$$

其中

$$g_1 = 1 - \frac{L}{\rho_{(1)}}, \quad g_2 = 1 - \frac{L}{\rho_{(2)}}$$

由图 2 可以写出以 m_1 为参考面的 16 程环形腔的环绕矩阵为

$$\begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & b_1 \\ c_1 & d_1 \end{pmatrix}^8 \quad (4)$$

$$\begin{pmatrix} a_1 & b_1 \\ c_1 & d_1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & L' \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -2/\rho_{(2)} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L' \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/\rho_{(1)} & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

输出耦合镜 m_1 上 TEM_{00} 模 (以下同) 高斯光束光斑半径 W_1 可表达为

$$W_1^2 = \frac{2\lambda B_1}{\pi} / \sqrt{4 - (A_1 + D_1)^2} \quad (6)$$

式中 λ 为激光波长。 m_1 处高斯光束等相面曲率半径为

$$\rho_{G1} = \frac{2B_1}{D_1 - A_1} \quad (7)$$

分臂上腰斑半径为

$$W_{012}^2 = \frac{\lambda}{2\pi |C_1|} \sqrt{4 - (A_1 + D_1)^2} \quad (8)$$

腰斑离 m_1 距离为

$$L_{01} = \frac{A_1 - D_1}{2C_1} \quad (9)$$

很明显, 以 m_1, m_3, \dots 为参考面的环绕矩阵相同, 于是有:

$$W_i = W_1, W_{0ij} = W_{012}, \rho_{Gi} = \rho_{G1}, L_{0i} = L_{01}, i = 1, 3, \dots, 15, j = i + 1 \quad (10)$$

而以 m_2 为参考面的环绕矩阵为

$$\begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} a_2 & b_2 \\ c_2 & d_2 \end{pmatrix}^8 \quad (11)$$

$$\begin{pmatrix} a_2 & b_2 \\ c_2 & d_2 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & L' \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -2/\rho_{(1)} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L' \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -2/\rho_{(2)} & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

则 m_2 上高斯光束光斑半径、等位相面曲率半径、腰斑半径、腰距分别为:

$$W_2^2 = \frac{2\lambda B_2}{\pi} / \sqrt{4 - (A_2 + D_2)^2} \quad (13)$$

$$\rho_{G2} = \frac{2B_2}{D_2 - A_2} \quad (14)$$

$$W_{023}^2 = \frac{\lambda}{2\pi |C_2|} \sqrt{4 - (A_2 + D_2)^2} \quad (15)$$

$$L_{02} = \frac{A_2 - D_2}{2C_2} = L' - L_{01} \quad (16)$$

显然有:

$$W_j = W_2, W_{0ji+2} = W_{023}, \rho_{Gj} = \rho_{G2}, L_{0j} = L_{02} = L' - L_{01} \quad (17)$$

容易证明 $A_1 + D_1 = A_2 + D_2, C_1 = C_2$ 因而可得到:

$$W_{0ij} = W_{0ji+2} \quad (18)$$

以上的讨论证明, 由于本腔的特殊性, 只需考虑以 m_1, m_2 为参考面的环绕矩阵就可求出腔内整个光束的特性。

对于反向长波, 容易证明, 它在各分臂中腰斑大小、位置、各镜面处的光斑大小、等位相面曲率半径均与正向行波相同。

在该多程环形腔中, 整个 TEM₀₀ 模之激活体积 V_{00} 可以参照一般球面镜腔基模模体积表示, 用下式近似表达

$$V_{00} = N \cdot \frac{L\pi}{8} (W_2 + W_1)^2 \quad (19)$$

式中 N 由 $\frac{1}{2} N\varphi = 2\pi$ 确定, W_1, W_2 分别由 (6)、(13) 式确定。

概括起来, 本多程环形腔的主要特点如下:

1、本环形腔的光束特性与作为基面的 $M_{(1)}, M_{(2)}$ 单程腔的光束特性有很强的一致性, 在 $M_{(1)}, M_{(2)}$ 上各小镜面的基模高斯光束光斑、等位相面曲率半径分别与单程腔的 $M_{(1)}$ 和 $M_{(2)}$ 上基模高斯光束光斑大小、等位相面曲率半径很接近, 并可达到几乎相等, 其条件为较强地满足通常含义的 $L \gg r_1, r_2$ 。多程环形腔的各束腰相等, 它们和 $M_{(1)}, M_{(2)}$ 单程腔的基模束腰非常接近或几乎相等。环形腔的各束腰位于离 $M_{(1)}$ (或 $M_{(2)}$) 相同的距离, 而且这个距离几乎和 $M_{(1)}, M_{(2)}$ 单程腔基模光束束腰到 $M_{(1)}$ (或 $M_{(2)}$) 的距离相等。因此, 这种腔的基模模体积为 $M_{(1)}, M_{(2)}$ 单程腔的 N 倍。

2. 本环形腔单向行波 TEM₀₀ 模发散 θ_{00} 为:

$$\theta_{00} = \frac{\lambda}{\pi W_1} \quad (20)$$

W_1 由(6)式确定, 它与 $M_{(1)}$ 、 $M_{(2)}$ 单程腔 TEM₀₀ 模由 $M_{(1)}$ 端输出的发散角很接近或几乎相等。两行波从 m_1 出射时, 它们的夹角可近似表示为:

$$\theta' = 2 \operatorname{tg}^{-1} \frac{r_2 \sin \frac{\varphi}{2}}{L} \quad (21)$$

为了反映上述特点, 我们将两个计算实例的结果列于表 1, 表中以 ρ_k 、 W_k 、 ρ_{Gk} 、 W_{0kk} 、 Z_{0k} 表示单程腔和环形腔中相应镜面的曲率半径、光斑半径、等位相面曲率半径, 相应镜面间的腰斑半径和腰距。表中的计算值所取数位较多, 是为了反映和比较光束的特性, 而并非对腔的尺寸有如此精确的要求。

值得指出的是, 这种腔型与带两个圆环形球面镜的多光程腔受类似设计条件的限制(在简化的多光程腔^[6]中 $\varphi = 2\theta$, $\theta = 360^\circ/N$)、 $|A+D|$ 总是小于但又很接近 2, 使得腔处于接近稳腔边缘的临界点。

Table 1 Comparison of calculated values of the beam characteristics in the ring resonator and the $M_{(1)}M_{(2)}$ standing wave resonator

	NO.1				NO.2			
	Standing wave resonator		Ring resonator		Standing wave resonator		Ring resonator	
	$M_{(1)}$	$M_{(2)}$	m_1, m_3, \dots	m_2, m_4, \dots	$M_{(1)}$	$M_{(2)}$	m_1, m_3, \dots	m_2, m_4
r_0 (mm)	502	600	502	600	550	550	550	550
W_k (mm)	2.70661447	3.25877944	2.70772964	3.26008235	2.96671287	2.96671287	2.96756002	2.96756002
ρ_{Gk} (mm)	502	600	501.999998	599.999998	550	550	549.999999	549.999999
Z_{0k} (mm)	479.200802	581.202058	479.200795	581.268355	529.0893515	529.0893515	529.103397	529.103397
W_{0kk} (mm)	0.57681209		0.57630089		0.578776966		0.57863171	
L, L' (mm)	$L=1060.40287$		$L'=1030.46915$		$L=1058.133743$		$L'=1058.178703$	
N			16				16	
$\epsilon_{(0)}$ (mrad)	1.7604426($M_{(1)}$)		1.75560076(m_1)		1.07293796($M_{(1)}$)		1.072631671(m_1)	
θ' (mrad)			21.724119(m_1)				18.082449(m_1)	
$r_1 r_2$ (mm)			$r_1=25 \quad r_2=30.1$				$r_1=r_2=25$	

$\lambda=0.01\text{mm}$

参 考 文 献

- 1 T. T. K., Cheng *et al.*, *Appl. Opt.*, **13**(13), 2130(1979)
- 2 *Sov. J. Quant. Electr.*, **10** (7), 939 (1980)
- 3 Y. Yu. Kolesnikov *et al.*, *Sov. J. Quant. Electr.*, **14**(5), 647 (1984)
- 4 V. A. Soguin *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **60** (9), 3088 (1986)
- 5 A. Crocker, M. S. Wills, *Electr. Lett.*, **15**(4), 63(1989)
- 6 程兆谷, 光学学报, **9** (2), 113~118 (1989)
- 7 W. R. Trutna, R. L. Byer, *Appl. Opt.*, **19** (2), 301~302 (1980)