

科学札记

直角棱镜-凹面镜谐振腔的失调灵敏度

Abstract: Misalignment sensitivity of cube corner reflector-concave mirror resonators has been derived by means of augmented 4×4 transfer matrix, and compared with that of plano-concave resonators. The former is lower than the latter in some cases.

本文讨论的直角棱镜-凹面镜谐振腔(以下简称直凹腔)如图1所示。上、下图分别表示谐振腔在 xoz 平面和 yoz 平面上的投影。根据文献[1], 失调灵敏度 D_i 定义为:

$$D_i^2 = \left[\frac{\Delta_{ii}^2}{\omega_i^2} + \frac{\Delta_{ji}^2}{\omega_j^2} \right] / \alpha_i^2 \quad (1)$$

由于直凹腔的性质在 x, y 方向不同, 故将此定义推广为:

$$D^2 = D_{1x}^2 + D_{1y}^2 + D_{2x}^2 + D_{2y}^2 \quad (2)$$

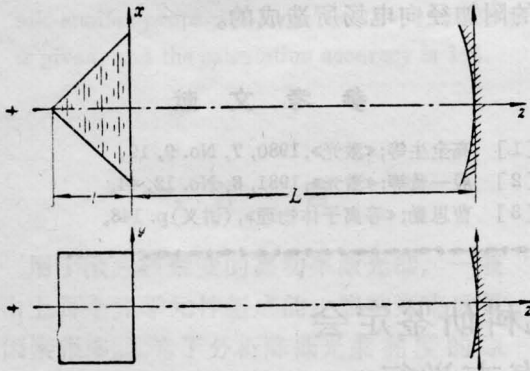


图1 直凹腔

D_{1x} 表示按(1)式计算的棱镜在 x 方向的失调灵敏度, 余类推。我们用[2]中介绍的方法来求直凹腔的失调灵敏度。

直角棱镜的变换矩阵为:

$$M_{1x} = \begin{pmatrix} -1 & -2l/n \\ 0 & -1 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$M_{1y} = \begin{pmatrix} 1 & 2l/n \\ 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad (4)$$

球面镜射线矩阵

$$M_{2x} = M_{2y} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -2/R & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

4×4阶增广矩阵:

$$M_{1x'} = \begin{pmatrix} -1 & -2l/n & 2\varepsilon_{1x} & 2l\alpha_{1x}/n \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ \mathbf{0} & & 1 & 0 \\ 0 & & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (6)$$

$$M_{1y'} = \begin{pmatrix} 1 & 2l/n & 0 & -2l\alpha_{1y}/n \\ 0 & 1 & 0 & -2\alpha_{1y} \\ \mathbf{0} & & 1 & 0 \\ 0 & & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad (7)$$

$$M_{2x,y'} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -2/R & 1 & 2\varepsilon_{2x,y}/R & -2\alpha_{2x,y} \\ \mathbf{0} & & 1 & 0 \\ 0 & & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (8)$$

令(6)~(8)中的 $\varepsilon_{1x}, \varepsilon_{1y}, \varepsilon_{2x}, \varepsilon_{2y}$ 为零, 分别将参考面取在直角棱镜右边, 球面镜左边, 写出它们的往返矩阵, 利用多元件腔光轴的定义[3], 可以得到与(1)式中 Δ_{ii} 等量相对应的 $\Delta_{iix}, \Delta_{iyy}$ 等等光斑移动量。

在通常情形下, $l \ll L, l \ll R$ 。考虑了这一近似条件, 并把求得的光斑移动量、光斑尺寸代入(1)式, 得到如下的结果:

$$D_{1x}^2 = \frac{\sqrt{1-(1-2\xi)^2}}{2L} \cdot \frac{(2-\xi)(l/n)^2}{(l-\xi-l/Rn)^2(1-\xi)} \times \frac{\pi}{\lambda}, \quad (9)$$

$$D_{1y}^2 = \frac{\sqrt{1-(1-2\xi)^2}}{2L} R^2(2-\xi) \frac{\pi}{\lambda}; \quad (10)$$

$$D_{2x}^2 = \frac{\sqrt{1-(1-2\xi)^2}}{2L} \cdot \frac{(l/n)^2 + (1-\xi)(L+l/n)^2}{(1-\xi)(1-\xi-l/Rn)^2} \times \frac{\pi}{\lambda}, \quad (11)$$

$$D_{2y}^2 = \frac{\sqrt{1-(1-2\xi)^2}}{2L} \cdot \frac{R^2(2-\xi)}{1-\xi} \cdot \frac{\pi}{\lambda}. \quad (12)$$

式中 $\xi=L/R$, 按稳定条件, ξ 应近似满足 $0 < \xi < 1$ 。

按上述步骤, 对腔长为 L , 球面镜曲率半径为 R 的平凹腔进行计算, 结果是:

$$D_{1x}^2 = D_{1y}^2 = \frac{\sqrt{1-(1-2\xi)^2}}{2L} \cdot \frac{2-\xi}{1-\xi} \cdot \frac{\pi}{\lambda} (R-L)^2, \quad (13)$$

$$D_{2x}^2 = D_{2y}^2 = \frac{\sqrt{1-(1-2\xi)^2}}{2L} \cdot \frac{2-\xi}{1-\xi} \cdot \frac{\pi}{\lambda} R^2. \quad (14)$$

写出 D^2/D'^2 的值:

$$D_{1x}^2/D_{1x}'^2 = \frac{(l/Rn)^2}{(1-\xi-l/Rn)^2(1-\xi)}, \quad (15)$$

$$D_{1y}^2/D_{1y}'^2 = \frac{1}{1-\xi}; \quad (16)$$

$$D_{2x}^2/D_{2x}'^2 = \frac{(l/Rn)^2 + (1-\xi)(\xi+l/Rn)^2}{(1-\xi-l/Rn)^2(2-\xi)} \quad (17)$$

$$D_{2y}^2/D_{2y}'^2 = 1; \quad (18)$$

$$D^2/D'^2 = (D_{1x}^2 + D_{2x}^2 + D_{1y}^2 + D_{2y}^2) / 2(D_{1x}'^2 + D_{1y}'^2) = \left[\frac{(l/Rn)^2}{(1-\xi-l/Rn)^2} + \frac{(l/Rn)^2 + (1-\xi)(\xi+l/Rn)^2}{(2-\xi)(1-\xi-l/Rn)^2} + 2-\xi \right] \times \frac{1}{2[(1-\xi)^2 + 1]}. \quad (19)$$

从图2可以看到, 当 ξ 在 $0 \sim 0.6$ 这一范围内取值时, $D^2/D'^2 < 1$, 这时直凹腔有较低的失调灵敏度。

注意到(15)、(17)两式均含有小量 l/Rn , 它表明在通常情形下, 直凹腔 x 方向的失调灵敏度远远

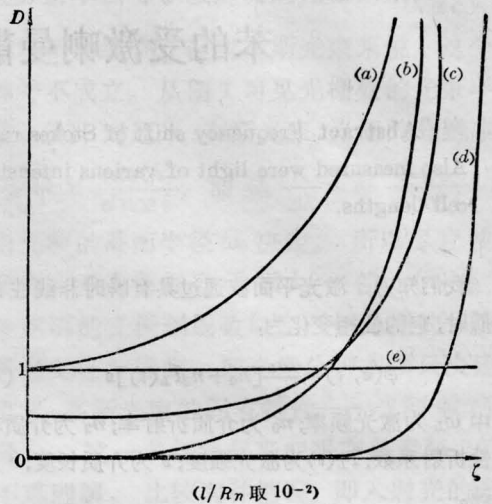


图 2

(a) $D_{1y}^2/D_{1y}'^2$; (b) $D_{2x}^2/D_{2x}'^2$; (c) D^2/D'^2 ;
(d) $D_{1x}^2/D_{1x}'^2$; (e) $D_{2y}^2/D_{2y}'^2$

小于平凹腔; 而从(16)、(18)式中可以看到直凹腔 y 方向的失调灵敏度较平凹腔为大。由此看来, 实用时应注意保证 y 方向较严格的准直性是十分重要的。如果采用直角圆锥一大曲率半径球面镜腔体, 在傍轴光学范围内, 基本上不存在失调问题。

参 考 文 献

- [1] P. Hank, H. P. Kortz, H. Weber; *Appl. Opt.*, 1980, **19**, 598.
- [2] 王绍民:《杭州大学学报》(自然科学版), 1979, No. 3, 42.
- [3] A. Gerrard, J. M. Burch; *Introduction to Matrix Methods in Optics*, John Wiley & Sons, London, 1975.

(杭州大学物理系 黄维刚 洪熙春
王绍民 1981年12月8日收稿)