

不稳定腔的衍射损失

方洪烈

(中国科学院上海光机所)

提 要

本文用微扰技术计算了不稳定腔的损失,得到了数值计算的准周期结果。指出此结果是反射镜边缘衍射所造成的。

关于不稳定光学谐振腔损失的研究已有很多的工作,数值计算结果表明^[1],它的行为是很复杂的,与几何光学分析^[2]所给出的结果完全不同。不稳定光学谐振腔的这种复杂的行为引起了人们的注意^[3]。也曾有很多人对此问题进行了研究^[4,5],他们认为这种复杂行为的产生是多模造成的。文献[6]则认为产生这种复杂行为的原因是由“汇聚波”引起的,但是我们的工作否认了“汇聚波”的存在,因此实际上这一问题尚不清楚。本文从谐振腔的衍射理论^[7]出发,用微扰技术计算了不稳定腔的损失,得到了损失与谐振腔的等效菲涅耳数呈周期性变化的关系。定性地与数值结果相同。由此得出不稳定光学谐振腔损失的复杂行为是一个模的行为,不是多个模交替的结果,是谐振腔反射面的有限尺寸的衍射所造成的。

不稳定光学谐振腔在准几何近似下(积分限取为无穷)的结果已经获得^[8]。对于一个对称的二维不稳定腔的本征函数 u_m 是

$$u_m(\hat{\xi}) = \frac{C_m}{\sqrt{x_0}} H_m(\sqrt{\pm i \hat{\xi}}) \exp\left(\mp \frac{i}{2} \hat{\xi}\right), \quad (1)$$

$$\text{其中 } \hat{\xi} = \frac{x}{|x_0|},$$

$$x_0 = \frac{a}{\sqrt{2\pi Nq}}$$

$$q = 1 - g^2, \quad g = 1 - \frac{L}{R},$$

本征值 b_m 是

$$b_m = \exp(i\alpha_0) \exp\left[-\left(m - \frac{1}{2}\right) \text{ch}^{-1} \sqrt{g^2 - 1}\right] \quad (2)$$

$$\alpha_0 = \left[\left(m - \frac{1}{2}\right) \mp \left(m - \frac{1}{2}\right)\right] \frac{\pi}{2}.$$

上面所用的符号如下, L ——腔长, R ——反射镜的曲率半径, N ——菲涅耳数, $2a$ ——反射镜的尺寸, C_m ——归一化常数。

为了求得有限尺寸 ($2a$) 反射镜的损失,可以将准几何近似解做为理想谐振腔的解,将有限尺寸的影响做为微扰,用微扰技术^[9]来求得。对于有限尺寸的本征值 r 可以写为

$$r_m = b_m + f_{mm} \quad (3)$$

其中 f_{mm} 是一级微扰项,它等于

$$f_{mm} = b_m \left[\int_{-a}^a - \int_{-\infty}^{\infty} \right] u_m^2(x) dx. \quad (4)$$

下面我们来计算 0 次模的微扰项,此时

$$f_{00} = b_0 \left[\int_{-a}^a - \int_{-\infty}^{\infty} \right] u_0^2(x) dx \quad (5)$$

(5)式中的右端第二个积分是容易做出的,按本征函数的正交归一化条件它等于 1。对于第一个积分,我们如下计算,先求积分的平方

$$\left[\int_{-a}^a e^{ix^2} dx \right]^2 = \int_{-a}^a e^{ix^2} dx \int_{-a}^a e^{iy^2} dy$$

收稿日期: 1978年5月4日。

这个积分是在一个方形区域上进行的, 此区域的边长是 $2a$ 。为了进行计算, 我们将积分区域用一个等面积的圆形区域代替, 然后用极坐标便得

$$\int_{-a}^a \int_{-a}^a e^{i(x^2+y^2)} dx dy = \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^{\frac{4}{\pi}a} e^{ir^2} r dr$$

$$= \pi [e^{i(\frac{4}{\pi}a)^2} - 1]。$$

利用上述方法我们求得

$$r_0 = -b_0 \sqrt{i(\cos 8N_{eq} - 1 - i \sin 8N_{eq})}。$$

其中 N_{eq} 是等效菲涅耳数。由此不难求得不稳定腔的损失等于

$$L_0 = 1 - |r_0|^2$$

$$= 1 - 2 \exp[-\operatorname{ch}^{-1} \sqrt{g^2 - 1}] \sin(8N_{eq})。 (6)$$

从这个公式中, 已经明显地看出, 损失对等效菲涅耳数 N_{eq} 的周期性。这个周期性质与数

值计算并不完全相同, 这是因为只取一级近似的结果。为了获得更高的精确度则应计及高级微扰。

参 考 文 献

- [1] A. E. Siegman *et. al.*; *Appl. Opt.* **9** (1970), 2729.
- [2] A. E. Siegman *Proc. IEEE*, **53** (1965), 277.
- [3] A. E. Siegman; *IEEE J. Q. E.*, **QE-3**(1967), 156.
- [4] L. W. Chen *et. al.*, *IEEE J. Q. E.*, **QE-9** (1973), 1102.
- [5] L. W. Chen, *et. al.*; *Electr. Lett.*, **9** (1973), 311.
- [6] Ю. А. Аваньев и др., *ЖЭТФ*, **55** (1968), 130.
- [7] A. G. Fox, T. Li; *Bell. Syst. Tech. J.*, **40** (1961), 453.
- [8] L. Bergstein; *Appl. Opt.*, **7**(1968), 495.
- [9] Ю. А. Аваньев и др., *ЖТФ*, **39** (1969), 1872.

“JXF-74 型激光显微光谱分析仪”鉴定会在南京召开

激光显微光谱分析法是用高能量密度的激光束使样品微区气化, 其蒸气通过辅助电极时引起电极放电, 从而进一步被激励, 用摄谱仪拍摄样品的光谱特征线, 达到定性、半定量甚至定量分析的目的。这一方法具有取样直径小、分析速度快、灵敏度高、准确性好、无须事先制备样品等优点, 因此在地质、冶金、电子、国防、科研、公安等部门具有广泛的用途。

江苏省南京地质仪器室根据省科委的有关文件, 从 1975 年起, 担负了“JXF-74 型激光显微光谱分析仪”的研制任务, 在 1975 年完成一台初样的基础上, 经多次改进, 于 1978 年 12 月完成了研制任务。

1978 年 12 月 26 日至 28 日, 江苏省科委和江苏省地质局在南京联合召开了“JXF-74 型激光显微光谱分析仪”鉴定会, 参加会议的有来自全国 12 个省市 40 多个单位的近 70 名代表。

会议期间, 代表们听取了该仪器的研制报告, 抽查了有关图纸和技术文件, 抽测了显微瞄准系统的同心度、调 Q 装置的性能、激光能量输出稳定性和激光打孔面积等有关指标, 认为, 该仪器的技术指标达到了设计要求, 并具有自己的特色。激光主机采用 YAG 晶体作工作物质, 并采用了平凸非稳腔及光再生电光调 Q 装置等先进技术, 从而使仪器具有能量转换效率高、激光发散角小、激光输出稳定性好等特点; 电气系统稳定, 自动充电、触发、泄放可一次完成; 40 倍折反射物镜成象清晰; 结构紧凑、造型美观、操作方便。

会议认为, 该仪器达到了国内同类产品的先进水平, 并具有自己的特色, 在提高机械加工精度的基础上, 可投入小批量生产。