

光栅绝对衍射率的测量

黄永楷 庄大奎 徐根传
(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

本文提出了一种测量光栅绝对衍射效率的新方法。实验表明,这种方法精确、简单,使用方便,易于推广。测量不确定度优于 4×10^{-3} 。

一、引 言

光栅衍射效率的精密测定,是一个很重要的实际问题。因为它对提高光栅制作质量,发展光栅的各种应用以及改善各种光谱设备的性能都具有重要意义。

过去,光栅衍射效率的测定,大多数都是采用相对测量法^[1~3],测量精度也不高,有的测量误差精度都未给出。随着激光的出现,光栅被广泛地用来作为激光器内的调频元件和腔片。因而对光栅绝对衍射效率,提出更高的测量精度要求。

本文提出了一种利用激光作光源的精密测定平面衍射光栅绝对衍射效率的新方法。这种方法,不仅给出的是绝对值,而且精度较高,使用方便,易于推广应用。

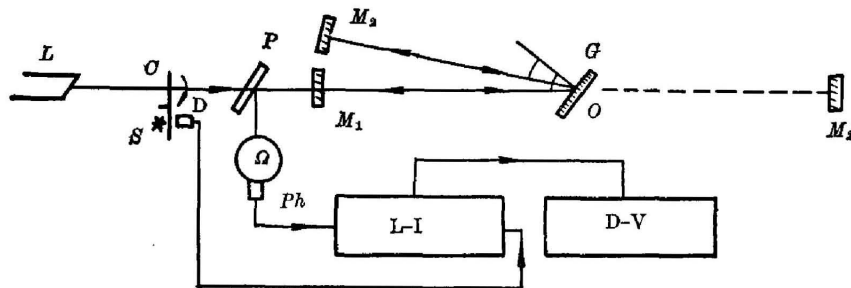


图 测量系统简图

Fig. Schematic diagram for measuring system

二、测 量 原 理

我们知道,通过多次反射可以极大地提高测量高反膜反射率的精度^[4]。由于激光光源有很好的方向性和单色性,激光被光栅衍射后,除了光束因多次被光栅色散而在色散平面内略有一点发散而外,光腔的性质与普通反射镜共振腔基本相同^[5]。因此,可以将过去用来提高测量镜面反射率精度的方法用来提高测量光栅衍射效率的精度。

这里,仍然采用一个参考腔来进行这一工作。大家知道,当光线满足共振条件时,腔长

d 、反射镜曲率半径 b_i 和光线在镜面上投影的夹角 θ 有如下的关系^[1]:

$$d_{\pm} = (b_1 + b_2)/2 \pm (1/2)(b_1^2 + b_2^2 + 2b_1b_2 \cos \theta)^{1/2}, \quad (1)$$

其中 $\theta = 2k\pi/n$, k 为光点在镜面上的分布圈数, n 为光线在镜面上的反射次数。

我们在一个腔镜上开了一个引光槽, 光线从该槽输入, 又从该槽输出。光线满足共振条件时, 在引光槽处以 1:1 成像。至于光点在腔镜上的分布, 可以根据需要任意调整。

实验装置如图所示。L 为 He-Ne 激光器, O 为调制板, S 为小灯泡, D 为硒光电池, P 为分束器, M_1 和 M_2 均为全反球面镜, 并在 M_1 上开有一个小的引光槽, M_2 可以绕中心 O 旋转, G 为待测光栅, Ω 为积分球, ph 为光电倍增管, L-I 为锁相放大器, D-V 为数字电压表。

测量步骤如下: 当光栅未置入光腔之前, 我们测得由参考腔输出的光强 I_1 为

$$I_1 = I_0 R_1^{n-1} R_2^n, \quad (2)$$

式中 I_0 为入射光强, R_1 和 R_2 分别为 M_1 和 M_2 的反射率, n 为光在镜面 M_2 上的反射次数。由于在镜面 M_1 上开有一个引光槽, 故光在 M_1 上的反射次数应减 1。当光栅置入参考腔之后, 这时 M_2 转到 M_1 一侧, 设光栅的衍射效率为 η , 则此时由光腔输出的光强 I_2 为

$$I_2 = I_0 R_1^{n-1} R_2^n \eta^{2n}. \quad (3)$$

将(3)式用(2)式除, 我们便可求得待测光栅的衍射效率

$$\eta = (I_2/I_1)^{1/2n}. \quad (4)$$

因此, 只要测出 I_1 和 I_2 , 我们便可测得光栅的绝对衍射效率 η 。用这种方法测定的最大百分误差为

$$|\Delta\eta/\eta| = (1/2n)(|\Delta I_1/I_1| + |\Delta I_2/I_2|). \quad (5)$$

由此可见, 反射次数愈多, 测量的精度就愈高。因为测量误差与反射次数 n 作反比。

三、实 验

1. 反射次数 n 的选择

考虑到国产光栅的衍射效率一般都不算太高, 例如, 本文测量的光栅, 对 6328 Å 的波长, 其衍射效率约为 40%。为了调整光路的方便和有较高的信噪比, 我们没有试图将反射次数选得较多, 而只选用了 $n=2$, 因而在光栅上的衍射次数为 4 次。由于我们采用了两面曲率半径相同的镀铝全反凹面镜, 即 $b_1 = b_2 = 800$ mm, 按(1)式有

$$d = b[1 - \cos(k\pi/n)]. \quad (6)$$

若令 $k=1$, $n=2$, 则这时 $d=b$, 即为共焦腔。若要求 n 为其它值, 则需改变共振腔的腔长。一般说来, 对于衍射效率较高的光栅, n 的值可以选得较大, 以便在有较好信噪比的情况下获得最好的结果。这里我们采用的是两面曲率半径相同的参考共振腔。当然, 也可采用平-凹和 $b_1 \neq b_2$ 的共振腔。

2. 检测系统的选择

我们对检测系统的要求不外乎三条: 第一是要较高的信噪比; 第二是要有较大的、线性较好的动态范围; 第三是要求零点漂移较小。根据我们的分析, 目前广泛用于弱信号检测的锁相放大器能较好地满足这些要求。

为了避免光线在放置光栅和不放置光栅时照在接收器上的位置发生微小变化, 而因光阴极表面响应的选择性引起测量误差, 我们采用了直径为 100 mm、内涂氧化镁的积分球。接收器用的是日本产的 R647 型光电倍增管。锁相放大器用的是国产的 JD-1 型仪器。

我们测量了一块国产光栅。光栅刻线为 600 l/mm, 定向波长约为 633 nm 的 4 级。测量结果如下表所示。

表 测量结果
Table The results of measurement

次	数	数	值
	1		0.4102
	2		0.4122
	3		0.4124
	4		0.4169
	5		0.4137
	6		0.4136
	7		0.4170
	8		0.4170
	9		0.4127
	10		0.4132
	平均值		0.4139
	均方差		$O_{n-1} = \pm 2.3 \times 10^{-3}$

四、结果分析

1. 测量结果的可靠性

在我们的测量中可能造成系统误差的来源主要的有两种:

① 检测系统的非线性 由于测量参考光强 I_1 和信号光强 I_2 相差约有两个量级。因此, 如果检测系统的响应存在着非线性, 则将造成系统测量误差。对此, 我们利用偏光衰减片和多孔法测量了本系统的非线性响应。结果表明, 在我们测量光强范围内, 检测到的响应偏离, 在光源起伏误差 ($\pm 2 \times 10^{-18}$) 范围内, 与均方差同一量级, 故需对测量结果加以修正。

② 光束被拦截 由于光束要在参考腔内穿越两次, 最后又从引光槽输出, 如果在进入接收器之前, 光束在途中有任何拦截, 亦将造成系统误差。由于我们的引光槽为 $3.5 \times 35 \text{ mm}^2$, 而光束在该处的直径约为 1.5 mm。因此, 不会引起任何问题。

至于在两次测量中光斑在两面参考镜面上的分布可能不重合, 也可能因反射率的不均匀而给结果带来误差。根据测量, 这种影响 $< 0.1\%$ 。因此总的准确度为

$$\sqrt{2.3^2 + 2^2 + 1} = 3.2 \times 10^{-3}.$$

2. 精度可望进一步提高

我们在本实验中没有采取光源起伏的补偿措施。根据我们过去的实验, 如果在激光射入参考腔之前, 分出一部分光来作监视之用, 同时用相同的检测系统检测, 然后作归一化处理, 可以使光源起伏造成的误差减少约一个量级。就是说, 用了这种措施, 有可能使测量误

差达到万分之几。当然提高反射次数还可进一步提高测量精度。

本方法的主要之点在于简单方便, 测量精度较好, 便于推广应用。

作者向刘亚淑、陈莉娜和刘华同志在工作上的协助表示感谢。

参 考 文 献

- [1] R. L. Hilliard; *SPIE Proc.*, 1979, **196** (Aug), 172.
- [2] W. R. Hunter & P. K. Prinz; *Appl. Opt.*, 1979, **16**, No. 12 (Dec), 3171.
- [3] E. И. 耶尔米洛夫, A. B. 马雷;《光学与光谱技术》1983, № 2 (Feb), 66.
- [4] 王永楷, 庄大奎;《光学学报》, 1982, **2**, No. 1 (Jan), 67.
- [5] 王裕民;《激光》, 1982, **9**, No. 6 (Jun), 365.
- [6] D. Kelsall; *Appl. Opt.*, 1970, **9**, No. 1 (Jan), 85.

Absolute measurement of grating diffraction efficiency

HUANG YONGKAI ZHUANG DAKUN AND XU GENCHUAN
(Shanghai Institute of Optics and Mechanics, Academia Sinica)

(Received 4 May 1984; revised 18 June 1984)

Abstract

This paper describes a new method of measuring absolute diffraction efficiency of a grating. The main advantage is that the measurement precision is increased by using multiple diffraction. The experimental setup and results are given. Under nonoptimum conditions the measurement uncertainty is less than 4×10^{-3} .