



中华人民共和国国家标准

GB/T 43690—2024

成像衍射光学元件衍射效率的测量方法

Test method for diffraction efficiency of imaging diffractive optical elements

2024-03-15发布

2024-10-01实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会

发布

目次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 原理 1

5 测量条件 2

6 样品 2

7 仪器设备 2

 7.1 光源 2

 7.2 分光元件 3

 7.3 聚光镜 3

 7.4 空间滤波器 3

 7.5 平行光管 3

 7.6 光电探测器 3

 7.7 针孔光阑 3

8 测量步骤 3

 8.1 衍射效率测量装置的光轴一致性 3

 8.2 测量单一波长衍射效率 4

 8.3 测量多个波长衍射效率 4

9 测量数据处理 5

 9.1 单一波长的衍射效率测量数据处理 5

 9.2 多个波长的衍射效率测量数据处理 5

10 测量报告 6

附录 A（资料性） 测量数据记录表 7

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国科学院提出。

本文件由全国光电测量标准化技术委员会(SAC/TC 487)归口。

本文件起草单位：长春理工大学、中国科学院空大信息创新研究院、中国计量大学。

本文件主要起草人：朴明旭、崔庆丰、张博、张玉慧、董科研、付跃刚、王璞、马艳敏、张淑琴。

成像衍射光学元件衍射效率的测量方法

1 范围

本文件描述了成像衍射光学元件衍射效率测量的原理、测量条件、样品、仪器设备、测量步骤、测量数据处理等内容。

本文件适用于成像衍射光学元件的衍射效率测量。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

主衍射级次 main diffraction order
成像衍射光学元件的第一级衍射级次。

3.2

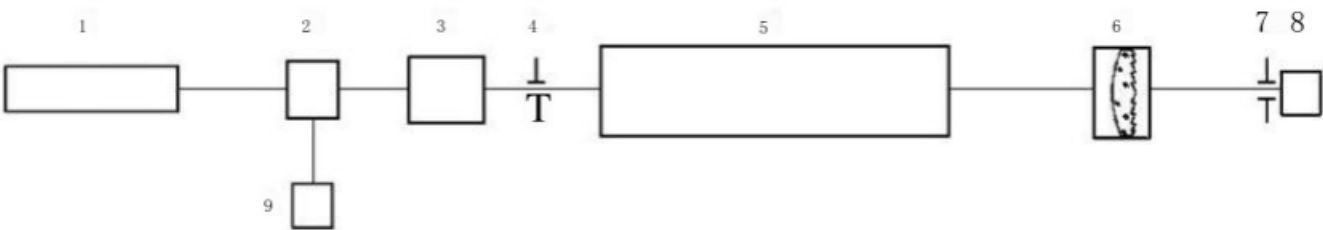
衍射效率 diffraction efficiency
含有成像衍射元件的光学系统的主衍射级次光能与后焦面的总光能之比。

3.3

基底材料 substrate material
加工成像衍射光学元件的光学材料。

4 原理

通过测量含有成像衍射元件的光学系统的主衍射级次能量和后焦面总能量，然后计算两者之比得到成像衍射光学元件的衍射效率。成像衍射光学元件衍射效率的测量系统框图见图1。



标引序号说明:

- 1——光源;
- 2——分光元件;
- 3——聚光镜;
- 4——空间滤波器;
- 5——平行光管;

- 6——样品;
- 7——针孔光阑;
- 8——光电探测器1;
- 9——光电探测器2。

图 1 成像衍射光学元件衍射效率的测量系统框图

由光源发出的光束经分光元件分成两束光，一束光经过聚光镜、空间滤波器和平行光管出射平行光后，入射到样品，由光电探测器1在其后焦面位置处接收能量；另一束光直接经分光元件反射后由光电探测器2接收，作为参考光路。在衍射效率测量时，空间滤波器的位置位于平行光管物镜焦面上。针孔光阑放置在光电探测器1前，测量样品后焦面上主衍射级的光能量 E ，同时记录参考光能量 E_1 。针孔光阑不能使全部能量通过，只有中央亮斑和邻近的少数亮环能量通过并被光电探测器1所接收。然后，从测量光路中移出光电探测器1前放置的针孔光阑，测量并记录样品后焦面上的总能量 E_0 和参考光能量 E_1 。根据测量结果，按公式(1)计算成像衍射光学元件的衍射效率：

$$\eta(\lambda) = \frac{E_{\text{主}} E_1'}{P(r) E_1' E_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- $\eta(\lambda)$ —— 成像衍射元件在光源波长为 λ 时的衍射效率；
- $E_{\text{主}}$ —— 光电探测器1显示的主衍射级的光能量，单位为瓦(W)；
- E_1' —— 测量总能量时光电探测器2显示的参考光能量，单位为瓦(W)；
- E_1 —— 测量主衍射级能量时光电探测器2显示的参考光能量，单位为瓦(W)；
- E_0 —— 光电探测器1显示的后焦面上总能量，单位为瓦(W)；
- $P(r)$ —— 通过针孔光阑的主衍射级能量的比例，按公式(2)计算：

$$P(r) = 1 - J_0^2\left(\frac{kar}{f'}\right) - J_1^2\left(\frac{kar}{f'}\right) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- J_0 —— 零阶贝塞尔函数；
- k —— 波数，单位为负一次方米(m⁻¹)；
- a —— 针孔光阑半径，单位为米(m)；
- r —— 积分区域半径，单位为米(m)；
- f' —— 样品焦距，单位为米(m)；
- J_1 —— 一阶贝塞尔函数。

5 测量条件

- 除特殊要求外，测量条件应满足以下要求：
- a) 环境温度：20℃±0.5℃；
 - b) 相对湿度：≤70%；
 - c) 清洁光学元件表面，避免光学元件表面出现划痕、灰尘或污染。

6 样品

样品为含有成像衍射光学元件的光学系统，该系统主衍射级次的成像质量达到或接近衍射极限，在系统焦面上出现标准的艾里衍射光斑。

7 仪器设备

7.1 光源

衍射效率测量装置的光源为激光器，且光源波长符合样品的使用要求。

7.2 分光元件

分光元件的反射率宜为30%, 透过率宜为70%。

7.3 聚光镜

选用20倍或40倍的显微物镜, 或者短焦距单片正透镜或负透镜。

7.4 空间滤波器

空间滤波器的直径按公式(3)计算:

$$d \leq \frac{0.61\lambda}{D} f' \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

- d ——空间滤波器直径, 单位为米(m);
- λ ——光源波长, 单位为米(m);
- D ——样品的入瞳直径, 单位为米(m);
- f' ——平行光管的焦距, 单位为米(m)。

7.5 平行光管

平行光管的焦距应大于样品焦距的3倍, 平行光管的口径应大于样品入瞳直径的1.2倍。

7.6 光电探测器

光电探测器采用数字显示光功率计, 显示的有效位数不少于小数点后4位。

7.7 针孔光阑

根据夫琅禾费圆孔衍射理论, 若包括艾里斑的中央亮斑和一级衍射亮环, 按公式(4)计算针孔光阑半径:

$$a = f' \frac{2.233\lambda}{D} \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:

- a ——针孔光阑半径, 单位为米(m);
- f' ——样品的焦距, 单位为米(m);
- λ ——光源波长, 单位为米(m);
- D ——样品的入瞳直径, 单位为米(m)。

8 测量步骤

8.1 衍射效率测量装置的光轴一致性

衍射效率测量装置的光轴一致性调整步骤如下。

- a) 调整光源的位置, 使光源处于平行光管物镜的中心。
- b) 在光源前面放置光屏, 将光束在光屏上的位置做标记, 并且固定光屏位置。
- c) 在光源与光屏之间放入分光元件和聚光镜, 调整聚光镜的位置, 直到光屏上出现一个亮度均匀的圆光斑, 并且光斑的中心与之前在光屏上的标记重合。

- d) 根据光源波长 λ 、样品的入瞳直径 D ，以及平行光管的焦距 f_l ，通过公式(3)计算空间滤波器的直径 d ，并将该空间滤波器靠近聚光镜放置，在垂直于光轴方向上调整空间滤波器的位置，使光斑的亮度逐渐增加，直至在光屏上观察到同心的亮暗衍射环。调整完成后，从光路中移出光屏。
- e) 沿光轴方向移动空间滤波器，使其接近平行光管的焦面。在平行光管的光束出射方向放置光屏，沿光轴移动光屏的位置，观察光屏上圆形光斑的尺寸。若移动光屏时圆形光斑尺寸发生变化，需要重复调整空间滤波器的位置，直到移动光屏时圆形光斑尺寸不变。调整完成后，从光路中移出光屏。

8.2 测量单一波长衍射效率

8.2.1 测量主衍射级的光能量

主衍射级的光能量测量步骤如下：

- a) 完成8.1之后，放入样品；
- b) 根据光源波长 λ 、样品的焦距 f' 和样品入瞳直径 D ，通过公式(4)计算针孔光阑半径 a ；
- c) 将针孔光阑放置在光电探测器1前面，保证针孔光阑与光电探测器1的相对位置不变；
- d) 采用三维位移台对光电探测器1和针孔光阑同时进行X、Y、Z扫描测量，且每个方向的扫描间距不超过 $100\ \mu\text{m}$ ，记录光电探测器1的示值，取示值中最大值作为样品主衍射级的光能量 E_{ip} ；
- e) 采用光电探测器2记录的参考光能量 E_l 。

8.2.2 测量总能量

总能量的测量步骤如下：

- a) 保持光电探测器1的位置不动，移开其前面放置的针孔光阑，记录光电探测器1所接收的总能量 E_0 ；
- b) 采用光电探测器2记录的参考光能量 E_l 。

8.2.3 测量单一波长衍射效率

单一波长的衍射效率测量步骤如下：

- a) 将针孔光阑半径 a 代入公式(2)，计算得到通过针孔光阑的主衍射级能量的比例 $P(r)$ ；
- b) 将通过针孔光阑的主衍射级能量的比例 $P(r)$ 、光电探测器1显示的主衍射级的光能量 E_p 和总能量 E_0 、光电探测器2显示的参考光能量 E_l 和 E 。等参数代入公式(1)，计算得到样品在单一波长的衍射效率 $\eta(a)$ 。

8.3 测量多个波长衍射效率

多个波长的衍射效率测量步骤如下：

- a) 在样品的应用波段范围内，选择不少于3个波长的光源；
- b) 针对不同波长的光源 λ ($s=1,2,3,\dots,n$)，重复8.2。根据不同光源波长，重新计算通过针孔光阑的主衍射级能量的比例 $P(r)$ ，并测量 E_p 、 E_0 、 E_l 和 $E\%$ 等参数，再代入公式(1)计算样品的衍射效率值 $\eta(a)$ 。

9 测量数据处理

9.1 单一波长的衍射效率测量数据处理

9.1.1 衍射效率的测量平均值

衍射效率测量平均值的计算步骤如下:

- a) 根据成像衍射光学元件衍射效率的测量步骤,针对光源波长 λ 测量 $N(N \geq 3)$ 组主衍射级的光能量 E_p 和总能量 E_0 ,以及参考光能量 E_i 和 $E\%$,根据公式(1)计算得到每次样品的衍射效率 $\eta_i(a)(i=1,2,3,\dots,N)$;
- b) 将计算得到的 N 次衍射效率按公式(5)取平均值:

$$\eta_{\text{ave}}(\lambda) = \frac{\sum_{i=1}^N \eta_i(\lambda)}{N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- $\eta_{\text{ave}}(\lambda)$ ——光源波长 λ 对应衍射效率的实际测量平均值;
- $\eta_i(\lambda)$ ——光源波长 λ 的第 i 次衍射效率测量值, $i=1, 2, 3, \dots, N$;
- N ——总测量次数。

9.1.2 衍射效率的理论计算值

根据待测成像衍射光学元件的理论微结构高度和基底材料折射率,按公式(6)计算主衍射级次的衍射效率理论值:

$$\eta_{\text{theor}}(\lambda) = \text{sinc}^2 \left\{ m - \frac{1}{\lambda} \sum_{k=1}^L [H_k (n_k(\lambda) - 1)] \right\} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- $\eta_{\text{theor}}(\lambda)$ ——光源波长 λ 对应衍射效率的理论计算值;
- m ——成像衍射光学元件的衍射级次;
- k ——待测成像衍射光学元件的层数, $k=1,2,3,\dots,L$;
- H_k ——待测成像衍射光学元件的第 k 层理论微结构高度,单位为米(m);
- $n_k(a)$ ——成像衍射元件的第 k 层基底材料在光源波长 λ 处的折射率;
- λ ——光源波长,单位为米(m)。

9.1.3 衍射效率理论值与测量值的偏差

根据样品的衍射效率实际测量平均值和理论计算值,按公式(7)计算衍射效率偏差:

$$\Delta\eta(a)=[\eta_a(a)-\eta_{\text{ave}}(a)] \times 100\% \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

- $\Delta\eta(a)$ ——光源波长 λ 对应衍射效率理论计算值与实际测量平均值的偏差;
- $\eta_a(a)$ ——光源波长 λ 对应衍射效率的理论计算值;
- $\eta_{\text{ave}}(\lambda)$ ——光源波长 λ 对应衍射效率的实际测量平均值。

9.2 多个波长的衍射效率测量数据处理

多个波长的衍射效率测量数据处理步骤如下:

- a) 针对不同波长的光源 λ , ($s=1,2,3,\dots,n$), 重复9.1, 根据公式(5)得到不同光源波长处的衍射效率测量平均值 $\eta(a_s)$, 且根据公式(6)得到衍射效率的理论计算值 $\eta_{th}(a_s)$
- b) 根据公式(7), 得到样品在不同光源波长处的衍射效率理论计算值与实际测量平均值的偏差 $\Delta\eta(a_s)$ 。

10 测量报告

测量报告应至少包括以下内容。

- a) 样品名称和参数信息：
 - 1) 样品的名称、编号；
 - 2) 样品焦距、入瞳直径、波段；
 - 3) 理论微结构高度；
 - 4) 仪器设备参数。
- b) 测量条件：
 - 1) 测量环境温度和相对湿度；
 - 2) 测量地点；
 - 3) 测量光源波长；
 - 4) 测量次数。
- c) 测量结果：
 - 1) 衍射效率测量值和平均值；
 - 2) 衍射效率理论值与测量值的偏差。

测量报告记录表见附录A。

附录 A
(资料性)
测量数据记录表

测量数据记录表见表A.1。

表A.1 测量数据记录表

环境温度 ℃				相对湿度 %			
仪器设备参数	平行光管焦距 mm						
	针孔光阑直径 mm						
	空间滤波器直径 mm						
样品名称				样品的参数		焦距 mm	
						入瞳直径 m	
						波段 μm	
						理论微结构高度 μm	
光源波长 μm	次数	E _{1p}	E ₁	E ₀	E ₀	衍射效率 %	衍射效率平均值 %
	1						
	2						
	3						
	1						
	2						
	3						
	1						
	2						
	3						
光源1对应衍射效率理论计算值与实际测量平均值的偏差 %							
光源2对应衍射效率理论计算值与实际测量平均值的偏差 %							
光源3对应衍射效率理论计算值与实际测量平均值的偏差 %							

www.bzxz.net

免费标准下载网