

**中华人民共和国国家计量技术规范**

JJF××××─××××

干涉式三维表面形貌测量仪校准规范Calibration Specification of 3D Surface

Interferometric Measuring Instruments

××××-××-××发布 ××××-××-××实施

**国 家 市 场 监 督 管 理 总 局** 发 布

**JJF ××××**─**××××**

干涉式三维表面形貌测量仪

校准规范

**Calibration Specification of 3D Surface**

**Interferometric Measuring Instruments**

归 口 单 位：全国几何量长度计量技术委员会

主要起草单位：

参加起草单位：

本规范委托全国几何量长度计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

目 录

[引 言 II](#_Toc150453349)

[1 范围 1](#_Toc150453350)

[2 引用文件 1](#_Toc150453351)

[3 概述 1](#_Toc150453352)

[4 计量特性 2](#_Toc150453353)

[4.1 垂直方向长度测量误差 2](#_Toc150453354)

[4.2 垂直方向长度测量重复性 2](#_Toc150453355)

[4.3 水平方向长度测量误差 2](#_Toc150453356)

[4.4 水平方向长度测量重复性 2](#_Toc150453357)

[4.5 水平方向正交误差 2](#_Toc150453358)

[4.6 测量噪声 2](#_Toc150453359)

[4.7 残余平面度 2](#_Toc150453360)

[5 校准条件 2](#_Toc150453361)

[5.1 环境条件 2](#_Toc150453362)

[5.2 校准项目和校准用标准器 2](#_Toc150453363)

[6 校准项目和校准方法 3](#_Toc150453364)

[6.1 垂直方向长度测量误差 3](#_Toc150453365)

[6.2 垂直方向长度测量重复性 4](#_Toc150453366)

[6.3 水平方向长度测量误差 4](#_Toc150453367)

[6.4 水平方向长度测量重复性 6](#_Toc150453368)

[6.5 水平方向正交误差 6](#_Toc150453369)

[6.6 测量噪声 7](#_Toc150453370)

[6.7 残余平面度 7](#_Toc150453371)

[7 校准结果表达 7](#_Toc150453372)

[8 复校时间间隔 7](#_Toc150453373)

[附录A 8](#_Toc150453374)

[附录B 10](#_Toc150453375)

# 引 言

JJF1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF1071-2010 《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1094-2002《测量仪器特性评定》和JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本校准规范制定工作的基础性系列文件。

本规范为首次制定。

干涉式三维表面形貌测量仪校准规范

# 1 范围

本规范适用于干涉式三维表面形貌测量仪的校准，其它基于干涉原理的显微镜校准也可参照本规范。

# 2 引用文件

本规范引用下列文件。

JJG 77 干涉显微镜检定规程

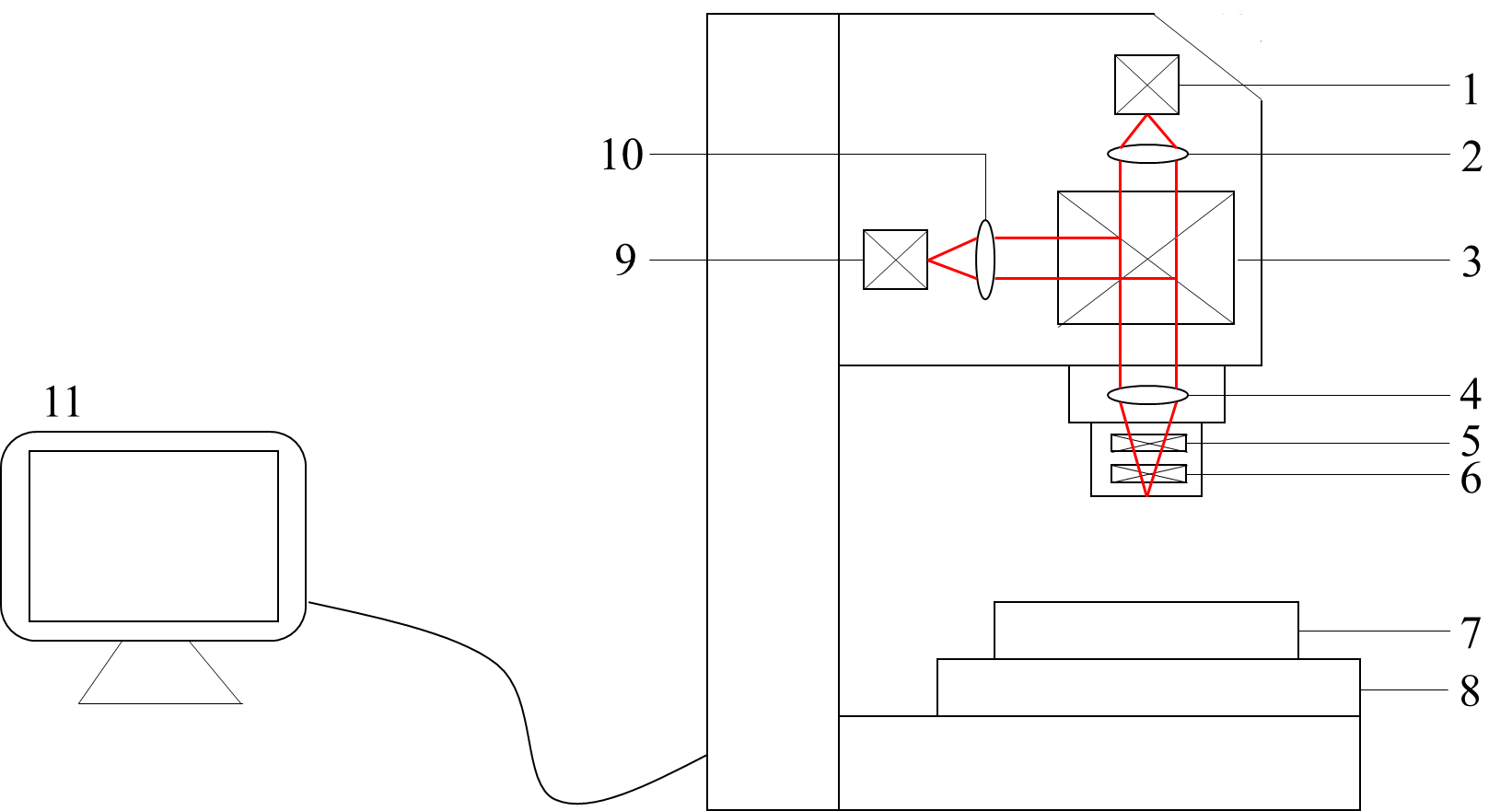
GB/T 19067.1 产品几何技术规范（GPS）表面结构轮廓法测量标准 第一部分：实物测量标准

ISO 25178-604: 2013 产品几何量技术规范(GPS) 表面结构:区域法—第604部分：非接触式(相干扫描干涉法)仪器的标称特性（Geometrical Product Specifications (GPS) — Surface texture: Areal—Part 604 : Nominal characteristics of non-contact (coherence scanning interferometry) instruments）

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用本规范。

# 3 概述

干涉式三维表面形貌测量仪基于双光束干涉的原理，经样品表面反射回的参考光与测量光形成干涉条纹，并经由CCD采集，经过算法重构获得表面形貌，在垂直方向上可以达到亚纳米级的分辨力，其结构示意图见图1。



1—高速CCD；2—成像透镜；3—分光镜；4—物镜；5—参考镜；6—分光镜；7—水平位移机构（样品台）；8—二维倾斜调整机构；9—复合光源；10—准直透镜；11—计算机（画线）

图1 干涉式三维表面形貌测量仪结构示意图（光路走向）

# 4 计量特性

4.1 垂直方向长度测量误差

4.2 垂直方向长度测量重复性

4.3 水平方向长度测量误差

4.4 水平方向长度测量重复性

4.5 水平方向正交误差

4.6 测量噪声

4.7 残余平面度

# 5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 温度：（20±1）℃，温度变化量：0.5℃/h。

5.1.2 相对湿度：≤65%。

5.1.3 校准用标准器与被校仪器等温时间不少于0.5 h。

5.1.4 实验室内应无影响校准结果的振动、电磁辐射等因素。

5.2 校准项目和校准用标准器

干涉式三维表面形貌测量仪校准项目和校准用标准器见表1。

表1 干涉式三维表面形貌测量仪校准项目和校准用标准器

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 校准项目 | 物镜倍率*M* | 标准器 | 技术要求 |
| 1 | 垂直方向长度测量误差 | / | 标准台阶/凹槽 | 台阶高度/沟槽深度  （20~10000）nm  *U*rel≤1%, *k*=2 |
| 2 | 垂直方向长度测量重复性 |
| 3 | 水平方向长度测量误差 | <50× | 一维标准立体栅格 | 栅格平均间距（20~100）µm  *U*rel≤0.5%, *k*=2 |
| ≥50× | 栅格平均间距（5~20）µm  *U*rel≤1%, *k*=2 |
| 4 | 水平方向长度测量重复性 | <50× | 一维标准立体栅格 | 栅格平均间距（20~100）µm  *U*rel≤0.5%, *k*=2 |
| ≥50× | 栅格平均间距（5~20）µm  *U*rel≤1%, *k*=2 |
| 5 | 水平方向正交误差 | <50× | 二维标准立体栅格 | 栅格平均间距100µm  *U*rel≤0.5%, *k*=2 |
| ≥50× | 栅格平均间距20µm  *U*rel≤1%, *k*=2 |
| 6 | 测量噪声 | / | 超光滑样板 | 表面粗糙度值（*Sa*）＜1nm |
| 7 | 残余平面度 | / | 超光滑样板 | 表面粗糙度值（*Sa*）＜1nm |
| 注：校准项目所采用的二维标准立体栅格包含10个以上周期，标准器应根据被校仪器的物镜放大倍率、视场范围等因素选取。 | | | | |

# 6 校准项目和校准方法

6.1 垂直方向长度测量误差

使用标准台阶进行垂直方向的长度测量误差校准。将标准台阶放置于视场中心，在标准器的有效特征区内，去除图像尺寸10%的边缘后，均匀选取上、中、下3个区域进行测量。在每个测量区域等间隔（一般选取间隔为图像宽度的10%）均匀提取5条轮廓线，如图2所示。计算5条轮廓线台阶高度的算术平均值作为该区域的台阶高度测得值，多个区域台阶高度测得值的算术平均值作为该标准台阶的高度测得值。干涉式三维表面形貌测量仪的垂直方向长度测量误差与相对误差可分别由式（1）与式（2）计算，轮廓线的台阶高度评价方法依据国标GB/T 19067.1-2003中的3*W*准则。如图3所示，将台阶底部宽度定义为*W*，评定长度为3*W*，将台阶顶部两侧2*W*/3的平均Z向高度值与底部中心1*W*/3的Z向高度值作差，即为轮廓线的台阶高度测得值*H*。标准凹槽同样适应于垂直方向长度测量误差校准。

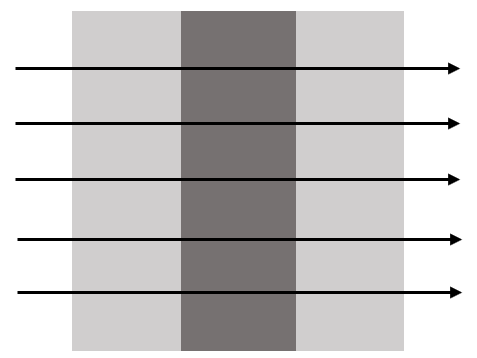


图2 垂直方向长度测量误差校准示意图

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （1） |
|  |  | （2） |

式中：Δ*H* —垂直方向上的长度测量误差；

*H* —标准台阶高度的测得值；

*H*s —标准台阶高度的标准值；

Δ—垂直方向上的长度测量相对误差。

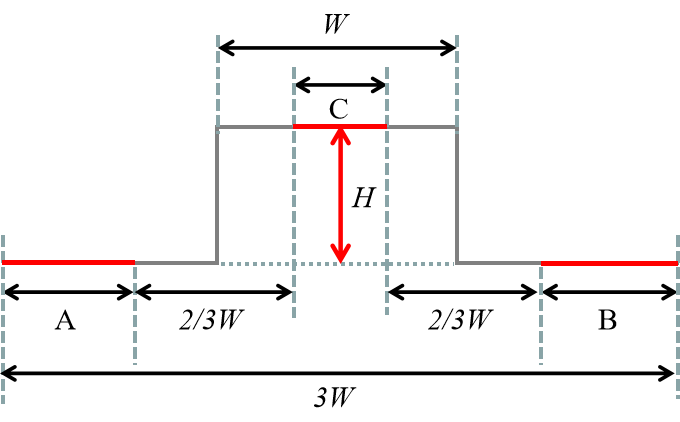


图3 3*W*准则示意图

6.2 垂直方向长度测量重复性

按照6.1所述方法选取和放置标准台阶标准器，使用被校仪器对标准器的同一有效特征区域进行连续多次重复测量，测量次数不少于6次，两次测量之间的时间间隔不小于1min。并按照6.1中的计算方法得到每幅测量图像的台阶高度测得值，多次重复测量的垂直方向台阶高度值的标准偏差*s*即为垂直方向长度测量重复性测得值（式（3））。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （3） |

式中：*s*—干涉式三维表面形貌测量仪长度测量重复性，nm；

*Li*—第*i*次测量的测量值；

—次测量值的算术平均值；

—测量次数。

6.3 水平方向长度测量误差

将一维标准立体栅格置于样品载物台并垂直于X轴放置，在标准器的有效特征区域内，去除图像尺寸10%的边缘后如图4所示，均匀选取上、中、下3个区域进行测量。

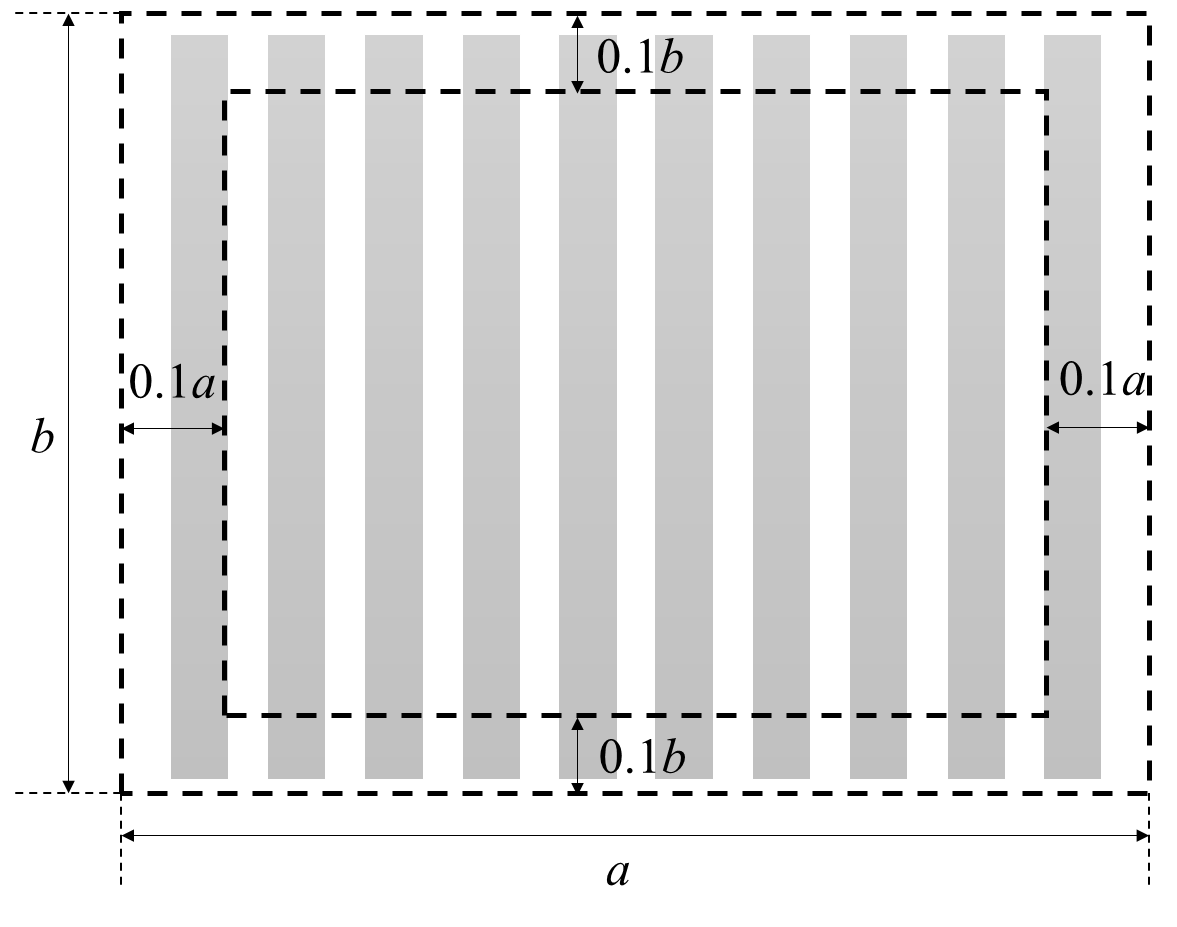


图4 去除图像边缘示意图

在每个测量区域等间隔均匀提取5条轮廓线如图5所示，计算5条轮廓线栅格平均间隔的算术平均值作为该区域的栅格平均间隔测得值，三个区域的栅格平均间隔测得值的算术平均值作为X方向栅格平均间隔的测得值。

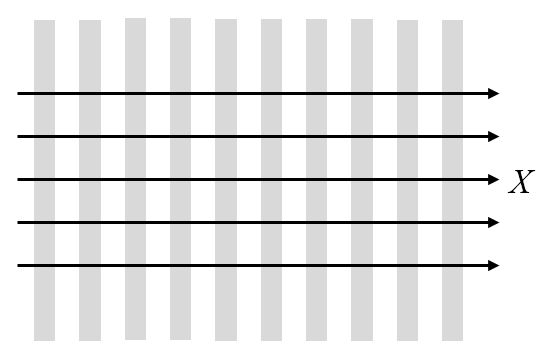


图5 X方向长度测量误差校准示意图

使用“重心法”评价轮廓线的栅格平均间隔，具体评价过程如下：

在轮廓线上选取完整连续的且不少于10个周期的栅格结构作为评定区域，分别计算每个周期的重心位置，如图6所示。首尾重心间的水平距离即为评定长度*L*，X方向一维标准立体栅格的平均间距测得值*P*可由式（4）计算。

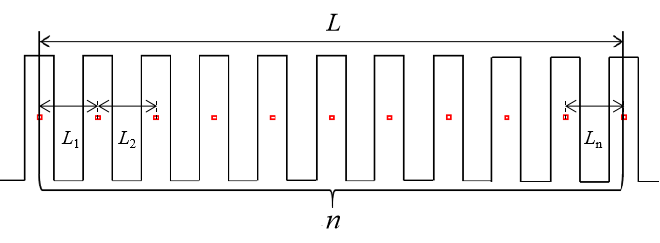


图6 重心法测量栅格平均间距示意图

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （4） |

式中：*P*—一维标准立体栅格平均间距的测得值，nm；

*L*—评定长度，nm；

*n*—评定长度对应的周期数。

干涉式三维表面形貌测量仪长度测量误差与相对误差可分别由式（5）与式（6）计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5） |
|  |  | （6） |

式中：Δ*P* —干涉式三维表面形貌测量仪X方向上的长度测量误差；

*P* —一维标准立体栅格平均间距的测得值；

*P*s —一维标准立体栅格平均间距的校准值；

Δ—X方向上的长度测量相对误差。

进行Y方向校准时，只需旋转一维标准立体栅格使其线条边缘与Y轴垂直放置，并按照上述X方向校准方法进行校准。

6.4 水平方向长度测量重复性

选取一维标准立体栅格标准器，并平行于X方向放置，使用被校仪器对标准器的同一有效特征区域进行连续多次重复测量，测量次数不少于6次，两次测量之间的时间间隔不小于1min。并按照6.3中的计算方法得到每幅测量图像的栅格平均间距测得值，计算多次重复测量的水平方向栅格平均间距的标准偏差s即为水平方向长度测量重复性测得值（见式（3））。

进行Y方向校准时，只需旋转一维标准立体栅格使其线条边缘与Y轴垂直放置，并按照上述X方向校准方法进行校准。

6.5 水平方向正交误差

将二维标准立体栅格的横向线条平行于X方向放置。如图7所示，去除测量图像尺寸10%的边缘后，选取X、Y方向5个间隔周期以上测量长度，测量栅格图像上横向与纵向栅格方向的夹角。横向与纵向栅格方向夹角测得值与标准值之差即为水平方向正交误差。



图7 水平方向正交误差校准示意图（实物图）

6.6 测量噪声

将超光滑样板放置在样品台上，选择样品中央为测量区域，调节仪器直至视场内出现0.5个周期的干涉条纹，即视场为全亮或全暗状态。在样板同一位置连续做两次重复测量，两幅表面形貌图相减可得到差异平面轮廓，计算差异平面轮廓的均方根*Sq*表示为测量噪声。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （7） |

式中：*m*、*n* —形貌图的横纵方向采样点；

*Z*(*xi*, *yj*) —点(*xi*, *yj*)的高度值。

6.7 残余平面度

选择超光滑样板样板中央为测量区域，按6.6的测量步骤重复测量10次，求得其平均形貌图，使得测量噪声最小化，平均形貌图的最大高度*Sz*即为残余平面度。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （8） |

式中：*Sp* —形貌图的最大峰值；

*Sv* —形貌图的最大谷值。

# 7 校准结果表达

经过校准的扫描电子显微镜出具校准证书。校准证书应包含校准结果，示值误差以及不确定度。校准证书应符合JJF1071-2010中的5.12要求。

# 8 复校时间间隔

复校时间间隔根据仪器使用情况由用户自行确定，建议为1年。

附录A

**校 准 证 书 内 容**

A.1校准证书应包括以下内容

1.标题：校准证书；

2.实验室名称和地址；

3.进行校准的地点；

4.证书编号、页码及总页数；

5.送检单位的名称和地址；

6.被校对象的描述和明确标识；

7.进行校准的日期；

8.对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；

9.校准所使用的计量标准名称及有效期；

10.校准环境的描述；

11.校准项目的校准结果；

12.校准结果的测量不确定度；

13.校准员、核验员、批准人签名；

14.校准证书签发日期；

15.复校时间间隔的建议；

未经实验室书面批准，不得部分复制校准证书

A.2 校准证书内页格式

校准证书内页格式见表A.1

表A.1 干涉式三维表面形貌测量仪校准证书（内页）格式

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1、XYZ长度测量误差   |  |  |  | | --- | --- | --- | | 放大倍率 | 长度测量误差/nm | 长度测量误差的扩展不确定度(*k*=2)/nm | |  |  |  | |  |  |  | |  |  |  |   2、XYZ长度测量重复性   |  |  | | --- | --- | | 放大倍率 | 长度测量重复性/nm | |  |  | |  |  | |  |  |   3、正交误差   |  |  | | --- | --- | | 放大倍率 | 正交误差/° | |  |  |   4、测量噪声   |  |  | | --- | --- | | 放大倍率 | 测量噪声/nm | |  |  |   5、残余平面度   |  |  | | --- | --- | | 放大倍率 | 残余平面度/nm | |  |  | |

附录B

干涉式三维表面形貌测量仪不确定度评定

干涉式三维表面形貌测量仪测量误差的不确定度受到放大倍数、位移扫描系统漂移、光学系统像差的影响。本附录为干涉式三维表面形貌测量仪进行水平方向、垂直方向测量误差校准结果的测量不确定度评定。

B.1垂直方向校准结果的测量不确定度评定模型与评定示例

B.1.1垂直方向校准结果的测量不确定度评定模型

B.1.1.1 垂直方向测量模型

根据测量方法，用标准台阶对干涉式三维表面形貌测量仪校准时，测量结果可以表示为：

式中，*P*—干涉式三维表面形貌测量仪的测得值；

*P*s—标准器的标准值；

—仪器的测量误差；

B1.1.2 标准不确定度合成

以上校准值的各分量互相独立，所以校准结果的标准不确定度合成可表示为：

测量不确定度来源：

*u*1——测量重复性引入的不确定度；

*u*2——标准台阶校准值的不确定度；

*u*3——仪器示值分辨力引入的不确定度。

扩展不确定度 *U=k*·*u*c*，k*=2。

B.1.2 垂直方向校准结果的测量不确定度评定示例

本示例中采用的标准台阶是标称值为200nm的标准台阶，选用10倍物镜。

B.1.2.1 测量重复性引入的不确定度

对标准台阶测量10次，测量的实验标准偏差为0.4nm。

B.1.2.2 根据证书提供的数据，标准样板的不确定度为1.2nm。

B.1.2.3 仪器的示值分辨力为0.1nm，按照均匀分布，引入的不确定度分量为0.06nm。该分量远小于测量重复性引入的不确定度，可忽略。

B.1.2.4 测量结果的合成不确定度

扩展不确定度*U*=*k*·*u*c=2.6nm，*k*=2。

B.2 水平方向校准结果的测量不确定度评定模型与评定示例

B.2.1 水平方向校准结果的测量不确定度评定模型

B.2.1.1 X或Y方向测量模型

根据测量方法，用一维标准立体栅格对干涉式三维表面形貌测量仪校准时，X或Y方向测量结果可表示为：

式中，*P*—干涉式三维表面形貌测量仪的测得值；

*P*s—标准器的标准值；

—仪器的测量误差；

B.2.1.2标准不确定度合成

以上校准值的各分量互相独立，所以校准结果的标准不确定度合成可表示为：

测量不确定度来源：

*u*1——测量重复性引入的不确定度；

*u*2——一维标准立体栅格校准值的不确定度；

*u*3——仪器示值分辨力引入的不确定度.

扩展不确定度 *U=k*·*u*c，*k=*2。

B.2.2 水平方向校准结果的测量不确定度评定示例

本示例中采用的是栅格平均间距标称值为50µm的一维标准立体栅格，选用20倍物镜。

B.2.2.1 测量重复性引入的不确定度

对一维标准立体栅格测量10次，测量的实验标准偏差为1.1µm。

B.2.2.2 根据证书提供的数据，一维标准立体栅格的不确定度为2.1µm。

B.2.2.3 仪器的示值分辨力为10nm，按照均匀分布，引入的不确定度分量为5.8nm。该分量远小于测量重复性引入的不确定度，可忽略。

B.2.2.4 测量结果的合成不确定度

扩展不确定度*U*=*k*·*u*c=4.8µm，*k*=2。