

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX-XXXX

计量型扫描探针法栅格间距校准规范

Calibration Specification for Micro-/Nano- pitch standard

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局发布

计量型扫描探针法栅格间距校准规范

Calibration Specification for Micro-/Nano- pitch standard

归口单位：全国几何量长度计量技术委员会

主要起草单位：

参与起草单位：

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.....	III
1 范围.....	4
2 引用文件.....	4
3 术语.....	4
3.1 栅格间距.....	4
3.2 扫描探针显微法.....	4
3.3 计量型扫描探针显微镜.....	5
4 概述.....	5
5 计量特性.....	5
5.1 平均栅格间距.....	5
5.2 栅格间距均匀性.....	6
5.3 二维栅格间距正交性.....	6
6 校准条件.....	6
6.1 环境条件.....	6
6.2 校准用设备.....	6
7 校准项目和校准方法.....	7
7.1 外观检查.....	7
7.2 平均栅格间距.....	7
7.3 栅格间距均匀性.....	8
7.4 二维栅格间距的正交角度.....	9
8 校准结果表达.....	10
9 复校时间间隔.....	10
附录 A 原始记录参考格式.....	11
附录 B 校准证书内页格式.....	13
附录 C 栅格间距标准样板结果的不确定度评定.....	14

引言

本规范依据JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》、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》编制。

本规范根据***。

本规范为首次发布。

计量型扫描探针法栅格间距校准规范

1 范围

本规范适用于栅格间隔不大于100 μm 的栅格间距标准样板，如：单一间距、规则形状阵列和特殊排列的间距结构的首次校准、后续校准和使用中检查。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

GB/T 39516—2020 微纳米标准样板（几何量）

ISO 18115-2:2013 表面化学分析 词汇 第2部分：扫描探针显微术术语

（Surface chemical analysis—Vocabulary—Part2: Terms used in scanning-probe microscopy）

IEC/TS 62622-1-2012 纳米技术 - 栅格标样的描述、测量、尺寸参数
（Nanotechnologies-Description, measurement and dimensional quality parameters of artificial gratings）

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（也包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语

3.1 栅格间距 mean pitch of grating

以周期性的几何结构形式形成微纳米级水平方向几何尺寸，以相邻几何结构中心间距表征栅格间距。

3.2 扫描探针显微法 scanning probe microscopy, SPM

在待测表面上进行机械式探针扫描，同时记录检测器的信号，对表面进行成像的方法。通过探针于表面之间的相互作用力来获取纳米级尺度的表面轮廓或形貌特征。典型的设备包括原子力显微镜（Atomic Force Microscope, AFM）、扫描隧道显微镜

(The scanning tunneling microscope, STM) 等。

3.3 计量型扫描探针显微镜 Metrological Scanning Probe Microscope, MSPM

具有激光干涉测量系统,使测量量值能够直接溯源至激光波长的扫描探针显微镜。比如,沿其 X、Y、Z 坐标轴分别装备校准位置误差的微型激光干涉测量系统的扫描探针显微镜。

4 概述

微纳米级栅格间距标准样板具有微纳米级准确度和均匀性、栅格间距不大于 $100\mu\text{m}$ 的周期性结构,按其几何结构可以分为一维栅格和二维栅格。通过其复现的间距值作为标准量值,实现对微纳米测量仪器水平方向量值的校准。典型的栅格间距标准样板外形如图 1 所示。

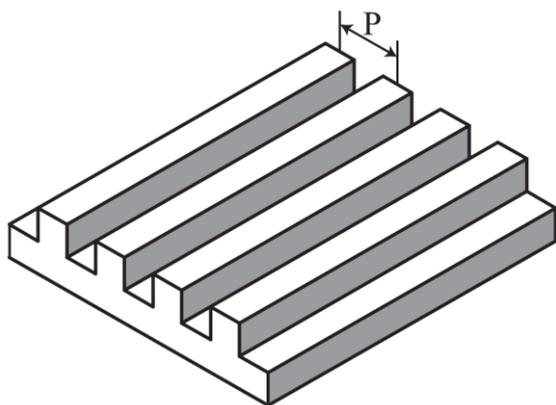


图 1a.一维栅格间距

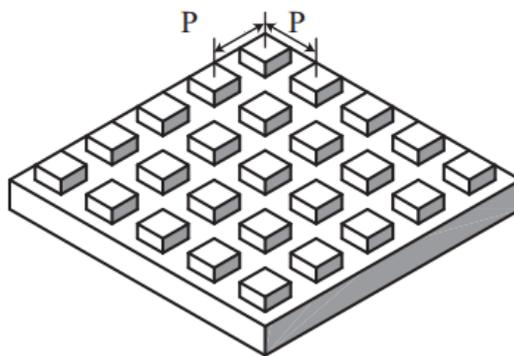


图 1b.二维栅格间距

5 计量特性

5.1 平均栅格间距

表面具有重复栅格结构的周期长度,通常用栅格平均间距表示。

表 1 栅格间距标准样板计量特性技术要求

序号	计量特性名称	技术要求
----	--------	------

1	平均栅格间距	平均栅格间距测量不确定度： 间距测量范围：(0~100) μm 不确定度： $U=1.0\text{ nm}+1.0\times 10^{-5}\times P, k=2$
2	栅格间距均匀性	$P\leq 10\mu\text{m}$ 实验标准偏差小于 5nm $10\mu\text{m} < P\leq 100\mu\text{m}$ 实验标准偏差小于 8nm
3	二维栅格间距正交性	$MPE: \pm 0.05^\circ$

5.2 栅格间距均匀性

在有效测量区域内均匀选取多个位置进行栅格间距测量，以其测量结果的实验标准偏差表示。

5.3 二维栅格间距正交性

对于二维微纳米栅格间距标准样板，以二维栅格间距 X、Y 方向的夹角表示其正交性。

6 校准条件

6.1 环境条件

- 1) 环境温度：(20±0.5) °C ；
- 2) 相对湿度：50%RH；
- 3) 空气洁净度：优于10万级；
- 4) 被校准样板在室内平衡温度时间>6h；
- 5) 周围无影响仪器正常工作的机械震动源。

6.2 校准用设备

表 2 微纳米栅格间距标准样板的校准项目及主要校准用设备

序号	校准项目	主要校准用设备
1	平均栅格间距	测量范围：(0~20) μm
2	栅格间距均匀性	不确定度： $U=0.5\text{nm}, k=2$

3	二维栅格间距正交性	测量范围：（20~100） μm 不确定度： $U = 1.0 \text{ nm} + 2.0 \times 10^{-7} \times P, k = 2$
---	-----------	------------------------------------------------------------------------------------------------

7 校准项目和校准方法

7.1 外观检查

标准样板校准前先进行外观检查，必要时可使用光学显微镜进行。标准样板应对图形区域、有效测量区域等工作区域给予明确标识，以便于校准。标准样板表面不应该有影响使用性能的腐蚀、划痕、断线等缺陷。

7.2 平均栅格间距

将样板固定在测量台上，调整样板的水平和倾斜，使扫描 X 方向沿栅格结构周期重复方向。探针在样板表面沿台阶结构的法向截面轮廓进行扫描。在光学观测系统辅助下，调整至有效测量区域。

选择样板有效测量区域内均布的 10 个测量区域分别进行测量，在每个位置重复测量 6 次。每个测位 6 次实测值的平均值作为该测位的测量结果，取 10 个测位的测量结果的平均值作为栅格样板栅格间距的测量结果。

如图3所示，采用重心法作为栅格间距的测量方法。首先通过最小二乘计算出扫描图像的零位面，然后利用重心计算公式计算零位面以上的每个凸台的重心点坐标作为栅格点，栅格点之间的距离就是栅格间距，计算公式如下：

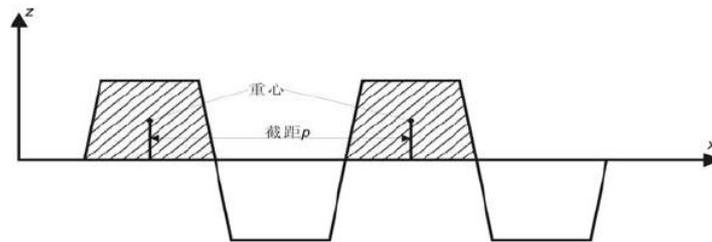


图3 重心法计算间距

$$l_n = \frac{\sum_{i=1}^s z_i x_i}{\sum_{i=1}^s z_i} \quad (1)$$

式中：

l_n ：所选取的第 n 个刻线中心沿测量线方向的坐标值，nm；

Z_i ：所选区域测量点 Z 向坐标值，nm；

X_i ：所选区域测量点 X 向坐标值，nm。

分别计算首尾刻线重心坐标值，将首尾刻线重心间距除以栅格间距个数得到栅格间距的单次测量结果，计算公式如下：

$$P_i = \frac{l_n - l_1}{n - 1} \quad (2)$$

式中：

P_i ：栅格间距单次测量值，nm；

l_1 ：所选取的第 1 线的重心值，nm；

l_n ：所选取的第 n 刻线的重心值，nm；

n ：选取的周期个数。

上述方法连续重复测 10 次，计算 10 次测量值的平均值作为平均栅格间距的测量结果，计算公式如下：

$$P = \frac{\sum_{i=1}^m P_i}{m} \quad (3)$$

式中：

P ：平均栅格间距测量值，nm；

P_i ：栅格间距单次测量值，nm；

m ：重复测量次数。

7.3 栅格间距均匀性

在测量区域中，选取 5 个有效位置（O、A、B、C、D）作为考核区域，如图 4a 所示。在图 4b，在每一个考核区域的有效测量区域中，两侧分别取 4 条均匀分布的测量线，测量栅格间距根据测量区域的大小确定，以均匀覆盖测量区域为原则。分别对

每条测量线上的栅格间距进行一次测量，以 9 条测量栅格间距的实验标准差作为该区域栅格间距均匀性的测量结果，计算公式如下：

$$E_v = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^t (P_k - \bar{p})^2}{t-1}} \quad (4)$$

式中：

E_v ：某个考核区域的栅格间距标准样板均匀性，nm；

P_k ：某条测量线上栅格间距单次测量值，nm；

t ：所选测量线数；

\bar{p} ：一条测量线上栅格间距的平均值，nm。

最终，选取 5 个考核区域测量结果的最大值，作为微纳米栅格间距标准样板的均匀性。

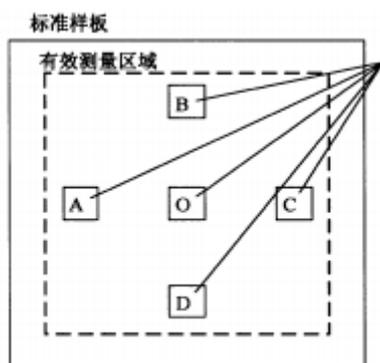


图 4a 均匀性测量位置示意图

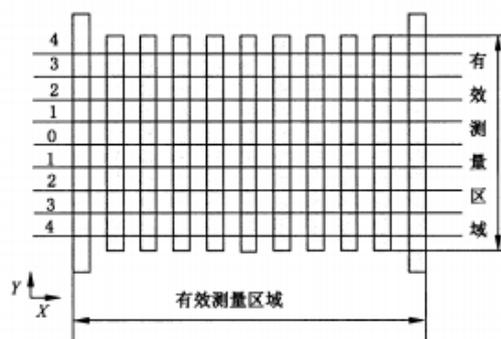


图 4b 均匀性测量位置示意图

7.4 二维栅格间距正交性

通过提取 X、Y 方向测量线的斜率信息，确定该样板的二维栅格间距的正交性。分别记录 X 测量方向和 Y 测量方向各测量点的 (X、Y) 坐标值，并计算 X、Y 测量方向的斜率，计算公式如下：

$$k_x = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}$$

$$k_y = \frac{\sum_{j=1}^m (x_j - \bar{x})(y_j - \bar{y})}{\sum_{j=1}^m (y_j - \bar{y})^2}$$

式中：

k_x, k_y ：X、Y 测量方向的斜率；

x_i, x_j : 测量点 X 坐标;

x, y : 测量点 X、Y 坐标的算数平均值;

y_i, y_j : 测量点 Y 坐标;

n, m : X、Y 测量方向测量点数。

二维栅格间距正交性, 计算公式如下:

$$\theta_k = \left| \arctan(k_x) - \arctan(k_y) \right| - 90 \quad (7)$$

式中:

θ_k ——二维栅格间距正交性单次测量值。

如此连续测量 10 次, 计算 10 次的平均值作为二维栅格间距正交性的测量结果, 计算公式如下:

$$\theta_{xy} = \frac{\sum_{k=1}^t \theta_k}{q} \quad (8)$$

式中:

θ_{xy} : 二维栅格间距正交性;

t : 重复测量次数。

8 校准结果表达

经校准的栅格间距出具校准证书。校准证书包括的信息应符合 JJF 1071 的要求。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过 12 个月。

附录 A 原始记录参考格式

栅格间距校准原始记录

客户名称

联络信息

接收日期

器具名称:		校准所依据/参照的技术文件(代号、名称)							
生产厂商:									
型号/规格:									
出厂编号:									
校准环境条件及地点: 温 度: °C 湿 度: % RH 地 点:									
校准使用的计量基(标)准装置(含标准物质)/主要仪器									
名 称	测量范围	不确定度/准确度等级	证书编号	证书有效期至 (YYYY-MM-DD)					
1. 样板外观:									
2. 校准结果及测量不确定度:									
标称值 ()	测量值(μm)	标称值 ()	测量值(μm)						
序 号		序 号							
1		1							
2		2							
3		3							
4		4							
5		5							
6		6							
7		7							
8		8							
9		9							
10		10							
周期数		周期数							
平均值()		平均值()							
<i>u</i> ()		<i>u</i> ()							
校准值()		校准值 ()							
<i>U</i> ₉₅ ()		<i>U</i> ₉₅ ()							
3. 栅格间距均匀性: $E_v = E_{\max}$									
测量区 O									
测量位	4	3	2	1	0	1	2	3	4

置									
E_O									
测量区 A									
测量位置	4	3	2	1	0	1	2	3	4
E_A									
测量区 B									
测量位置	4	3	2	1	0	1	2	3	4
E_B									
测量区 C									
测量位置	4	3	2	1	0	1	2	3	4
E_C									
测量区 D									
测量位置	4	3	2	1	0	1	2	3	4
E_D									
4.二维栅格正交性:									
θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_7	θ_8	θ_9	θ_{10}
MPE									

附录 B 校准证书内页格式

校准数据/结果

序号	校准项目	校准结果	
1	外观检查		- -
2	平均栅格间距		$U_{95} =$
3	均匀性		$E_v =$
4	正交性误差		MPE:

——以下空白——

附录 C 栅格间距标准样板结果的不确定度评定