



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX-XXXX

硅片轮廓测量仪校准规范

Calibration Specification for
silicon wafer profilometer

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

硅片轮廓仪校准规范

Calibration Specification for silicon
wafer profilometer

JJF XXXX-XXXX

归口单位：全国几何量长度计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

重庆市计量质量检测研究院

参加起草单位：南京市计量监督检测院

武汉精测电子集团股份有限公司

广州计量检测技术研究院

深圳市中图仪器股份有限公司

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
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和计量单位.....	1
3.1 正表面 front side.....	1
3.2 中位面 median surface.....	1
3.3 中心厚度 center thickness	1
3.4 总厚度变化量 total thickness variation (TTV)	1
3.5 总指示读数 total indication reading (TIR)	1
3.6 翘曲度 warp.....	1
3.7 弯曲度 bow.....	1
4 概述.....	2
5 计量特性.....	2
5.1 中心点厚度示值误差.....	2
5.2 总厚度变化量示值误差.....	3
5.3 平整度测量重复性.....	3
5.4 弯曲度测量重复性.....	3
5.5 翘曲度测量重复性.....	3
6 校准条件.....	3
6.1 环境条件.....	3
6.2 校准项目及校准用的标准器及设备.....	3
7 校准项目和校准方法.....	3
7.1 中心点厚度示值误差.....	3
7.2 总厚度变化量示值误差.....	4
7.3 平整度测量重复性.....	4
7.4 弯曲度测量重复性.....	4
7.5 翘曲度测量重复性.....	5
8 校准结果表达.....	5
9 复校时间间隔.....	5
附录 A 校准证书内容及内页格式.....	6
附录 B 硅片轮廓测量仪中心点厚度示值误差校准结果的不确定度评定示例.....	7
附录 C 硅片轮廓标准测量装置的不确定度评定.....	10

引 言

JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、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》共同构成支撑本校准规范制定的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

硅片轮廓测量仪校准规范

1 范围

本校准规范适用于非接触原理、（2~12）英寸的硅片轮廓测量仪的校准。

2 引用文件

本规范参考了下列文件：

GB/T 29507-2013 硅片平整度、厚度及总厚度变化测试 自动非接触扫描法

GB/T 32280-2022 硅片翘曲度和弯曲度的测试自动非接触扫描法

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）适用于本规范。

3 术语和计量单位

下列术语和定义适用于本规范。

3.1 正表面 front side

半导体硅片的前表面，在上面已经制造或者将制造半导体器件的暴露表面。

3.2 中位面 median surface

与硅片的正表面和背表面等距离点的轨迹。

3.3 中心厚度 center thickness

硅片中心点的厚度为硅片的标称厚度。

3.4 总厚度变化量 total thickness variation (TTV)

硅片的最大厚度值与最小厚度值的绝对差值。

3.5 总指示读数 total indication reading (TIR)

一种硅片平坦度的评价参数，表示为厚度值相对于基准平面偏差的最大绝对变化量总指示读数。根据硅片厚度分布，基准平面的确立方法包括三种，分别为理想背表面平面、正表面三点平面以及正表面最小二乘法。

3.6 翘曲度 warp

自由无夹持硅片的中位面相对于参考平面的最大和最小距离之差。参考平面确立方法包括最小二乘拟合法和背表面 3 点拟合方法。

3.7 弯曲度 bow

自由无夹持硅片中位面的中心点与参考平面间的偏离。参考平面确立方法包括最小二乘拟合法和背表面 3 点拟合方法。

注：弯曲度和翘曲度需要做重力校正。

4 概述

硅片测量仪是一种基于非接触传感器扫描样品上下表面实现硅片厚度、形貌参数测量的仪器。根据扫描方式不同，分为双探头（光谱共焦传感器、电容位移传感器）逐点扫描测量方法、单探头（单点红外干涉传感器、线红外干涉传感器）逐点扫描测量方法、双探头激光平面干涉扫描测量方法、单探头红外平面干涉扫描测量方法四大类；根据样品固定方式不同，可以在水平或者垂直的状态下，放置在平坦、洁净的吸盘或者晶片边缘加持装置上。

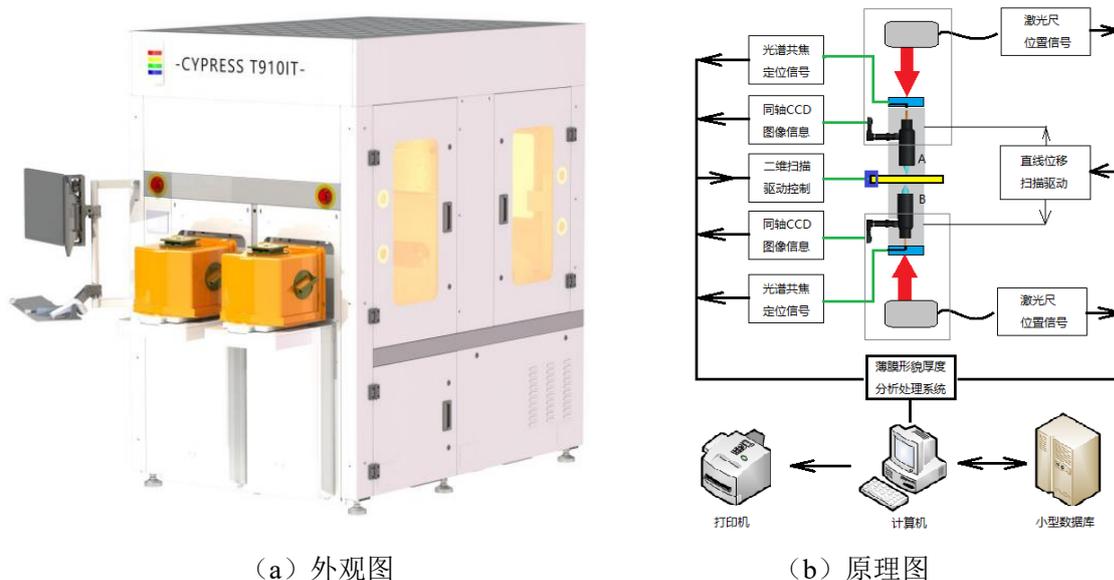


图 1 硅片轮廓测量仪测量原理示意图

5 计量特性

5.1 中心点厚度示值误差

测量重复性要求见表 1。

表 1 典型硅片轮廓测量仪主要技术参数表

厚度测量范围	150 μm ~2000 μm
厚度示值误差	$\pm 1\mu\text{m}$
厚度测量重复性	0.6 μm
平整度测量重复性	1.3 μm
翘曲度测量重复性	1.3 μm
翘曲度测量重复性	1.3 μm

注：由于校准工作只给出测量结果，不判断合格与否，上述计量特性仅供参考。实际计量特性参考制造厂商技术要求。

5.2 总厚度变化量示值误差

示值误差要求见表 1。

5.3 总指示读数测量重复性

测量重复性要求见表 1。

5.4 弯曲度测量重复性

测量重复性要求见表 1。

5.5 翘曲度测量重复性

测量重复性要求见表 1。

6 校准条件

6.1 环境条件

- a) 温度：(20±3) °C，温度的稳定性：每小时变化量不超过 1°C。
- b) 湿度：≤65%RH。
- c) 校准室内无影响测量的振动、光噪音、气流扰动等干扰源。

6.2 校准项目及校准用的标准器及设备

硅片轮廓测量仪校准用标准器见表 2。允许采用满足测量不确定度要求的其它测量标准器。

表 2 校准项目及校准用标准器

序号	校准项目	校准用标准器及计量特性
1	中心点厚度示值误差	(2~12) 英寸 硅片轮廓标准片，测量不确定度满足 1/3 原则。
2	总厚度变化量示值误差	
3	平整度测量重复性	
4	弯曲度测量重复性	
5	翘曲度测量重复性	

7 校准项目和校准方法

校准前，按仪器说明书要求设置相关参数，并进行预热。在确保没有影响校准计量特性的因素后方可进行校准。

7.1 中心点厚度示值误差

依据硅片轮廓测量仪的测量范围或者实际使用需求，选择覆盖实际使用范围的至少 3 片不同中心点厚度的硅片轮廓标准片，用其校准中心点厚度示值误差。将标准片安装至硅片轮廓测量仪上，去边 3mm，进行全区域扫描测量，计算出中心点厚度值 h 。

选择按式 (1) 计算不同标准片的厚度示值误差。

$$\Delta h_i = h_i - h_0 \quad (1)$$

式中： Δh_i —厚度示值误差， μm ；

h_i —标准片厚度的测量值；

h_0 —标准片校准值。

重复测量 10 次，取平均值，作为中心点厚度示值误差的测量结果。

7.2 总厚度变化量示值误差

用硅片轮廓标准片校准总厚度变化量示值误差示值误差。将标准片安装至硅片轮廓测量仪上，去边 3mm，进行全区域扫描测量，计算出硅片总厚度变化量 T_i 。

选择按式（2）计算不同标准片的厚度示值误差。

$$\Delta T_i = T_i - T_0 \quad (2)$$

式中： ΔT_i —厚度示值误差， μm ；

T_i —标准片厚度的测量值；

T_0 —标准片校准值。

重复测量 10 次，取平均值，作为总厚度变化量示值误差的测量结果。

7.3 总指示读数测量重复性

用硅片轮廓标准片测量总指示读数测量重复性。依据硅片轮廓测量仪测量范围或者实际测量需求，选择合适硅片轮廓标准片。

将标准片安装至硅片轮廓测量仪上，去边 3mm，进行全区域扫描测量，计算出总指示读数值 P_i 。

重复测量 10 次，按公式（3）计算实验标准偏差 s ：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n-1}} \quad (3)$$

式中： P_i —第 i 次测量时测量仪的总指示读数测量结果， μm ；

\bar{P} —10 次测量的算术平均值， μm ；

n —测量次数， $n=10$ 。

以实验标准偏差作为总指示读数测量重复性的测量结果。

7.4 弯曲度测量重复性

用硅片轮廓标准片测量弯曲度测量重复性。依据硅片轮廓测量仪测量范围或者实际测量需求，选择弯曲度在测量范围内的硅片轮廓标准片。

将标准片正表面向上安装至硅片轮廓测量仪上，去边 3mm，进行全区域扫描测量，计算出弯曲度测量结果 F_i 。

反转标准片，使其正表面向下安装至硅片轮廓测量仪上，去边 3mm，进行全区域扫描测量，计算出弯曲度测量结果 B_i 。

测量仪的弯曲度测量结果等于 $(F_i - B_i) / 2$ 。

$$w_i = \frac{F_i - B_i}{2} \quad (4)$$

重复测量 10 次，按公式 (5) 计算实验标准偏差 s ：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (w_i - \bar{w})^2}{n-1}} \quad (5)$$

式中： w_i —第 i 次测量时测量仪的弯曲度测量结果， μm ；

\bar{w} —10 次测量的算术平均值， μm ；

n —测量次数， $n=10$ 。

以实验标准偏差作为弯曲度测量重复性的测量结果。

7.5 翘曲度测量重复性

用硅片轮廓标准片校准翘曲度测量重复性。依据硅片轮廓测量仪测量范围或者实际测量需求，选择翘曲度在测量范围内的硅片轮廓标准片。

将标准片正表面向上安装至硅片轮廓测量仪上，去边 3mm，进行全区域扫描测量，计算出翘曲度测量结果 q_i 。

重复测量 10 次，按公式 (5) 计算实验标准偏差 s ：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}{n-1}} \quad (4)$$

式中： q_i —第 i 次测量时测量仪的弯曲度测量结果， μm ；

\bar{q} —10 次测量的算术平均值， μm ；

n —测量次数， $n=10$ 。

以实验标准偏差作为翘曲度测量重复性的测量结果。

8 校准结果表达

校准结果应包含下列内容：

- 校准条件；
- 校准项目名称和校准结果；
- 测量结果的不确定度。

9 复校时间间隔

硅片轮廓测量仪复校时间间隔由用户根据实际情况自主决定，建议复校时间间隔为 1 年。

附录 A

校准证书内容及内页格式

A.1 校准证书应包括但不限于以下条目内容：

- 标题：校准证书；
- 实验室名称和地址；
- 进行校准的地点；
- 证书或报告编号、页码及总页数；
- 送检单位的名称和地址；
- 被校准仪器名称；
- 被校准仪器的制造厂、型号规格及编号；
- 校准所使用的计量标准名称及有效期；
- 本规范的名称、编号和对本规范的任何偏离、增加或减少的说明；
- 校准时环境温度与湿度情况；
- 校准项目的校准结果及不确定度；
- 校准人签名、核验人签名、批准人签名；
- 校准证书签发日期；
- 复校时间间隔的建议；
- 未经校准实验室书面批准，不得部分或全部复制校准证书。

A.2 推荐的校准证书内页格式见表A.1

表A.1 校准证书内页格式

证书编号：

校准环境条件	温度： _____ °C 相对湿度： _____ %	地点：
序号	校准项目	校准结果
1	中心点厚度示值误差	
2	总厚度变化量示值误差	
3	总指示读数测量重复性	
4	弯曲度测量重复性	
5	翘曲度测量重复性	

校准员：

核验员：

附录 B

硅片轮廓测量仪中心点厚度示值误差校准结果的不确定度评定示例

B1 测量方法

硅片轮廓测量仪中心点厚度示值误差是通过与硅片轮廓标准片比较测量进行校准的。首先把硅片轮廓标准片安装到硅片轮廓测量仪上，调整硅片测量仪器与硅片之间的位置使得硅片标准片位于设备的测量行程内。控制硅片轮廓测量仪对硅片标准片进行连续扫描测量。比较硅片轮廓测量仪的中心点厚度与硅片轮廓标准片中心点厚度之间的差值，将其作为硅片轮廓测量仪中心点厚度示值误差。

下面以 12 英寸硅片轮廓测量仪的中心点厚度示值误差校准结果不确定度为例进行分析。

B2 测量模型

按硅片轮廓测量仪的校准方法，中心点厚度示值误差 δ_i 按公式 (B.1) 进行计算：

$$\delta_i = h_i - S \quad (\text{B.1})$$

式中： h_i —硅片轮廓测量中心点厚度读数值

S —硅片轮廓标准片的读数值

B3 灵敏系数与合成标准不确定度

B.3.1 灵敏系数

硅片轮廓测量仪和标准片的测量读数示值相互独立，所以

$$\text{灵敏系数 } c_i: c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial h} = 1, c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial S} = -1$$

B.3.2 合成标准不确定度

令 u_1 与 u_2 分别表示 h 和 S 的标准不确定度，则合成标准不确定度 u_c 为：

$$u_c^2 = c_1^2 \cdot u_1^2 + c_2^2 \cdot u_2^2 = u_1^2 + u_2^2 \quad (\text{B.2})$$

B4 标准不确定度分量一览表

表 B.1 不确定度评定一览表

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	灵敏系数	标准不确定度	说明
u_1	硅片轮廓测量仪测量值引入不确定度分量	1	0.115 μm	用 A 类方法进行评定

u_2	硅片标准片中心点测量值引入不确定度	1	0.067 μm	用 B 类方法评定
-------	-------------------	---	---------------------	-----------

B5 标准不确定度分量的计算

B.5.1 硅片轮廓测量仪示值引起的不确定度分量 u_1

B.5.1.1 硅片轮廓测量仪的测量重复性引入的不确定度分量 u_{11}

硅片轮廓测量仪的测量重复性引入的不确定度分量，在相同条件下，可通过 10 次连续重复测量，按贝塞尔公式计算其实验标准偏差得到。

$$u_{11} = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{B.3})$$

引用硅片轮廓测量仪的测量重复性要求，则该项不确定度分量为 0.2 μm 。

$$u_{11} = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.115 \mu\text{m}$$

B.5.1.2 硅片轮廓测量仪的测量分辨力引入的不确定度分量 u_{12}

硅片轮廓测量仪的显示分辨力一般为 0.01 μm ，按均匀分布处理，则：

$$u_{12} = \frac{0.01}{2\sqrt{3}} = 0.003 \mu\text{m}$$

B.5.1.3 温度漂移引入的不确定度分量 u_{13}

通过对传感器正反行程方向的闭环测量并取平均值后，此项误差引入的不确定度分量很小可以忽略。

$$u_{13} = 0$$

比较测量重复性引入的不确定度分量 u_{11} 和分辨力引入的不确定的度分量 u_{12} ，取结果较大者，则不确定度分量为：

$$u_1 = u_{11} = 0.115 \mu\text{m}$$

B.5.2 硅片轮廓标准片示值引入的不确定度分量 u_2

B.5.2.1 硅片轮廓标准测量装置引入的不确定度分量 u_{21}

参照附录 C，硅片轮廓标准测量装置引入的不确定度分量为 0.045 μm 。

$$u_{21} = 0.045 \mu\text{m}$$

B.5.2.2 硅片轮廓标准片测量重复性引入的不确定度分量 u_{22}

采用硅片轮廓标准测量装置对硅片轮廓标准片进行测量，重复性测量标准偏差为 0.050 μm ，则：

$$u_{22} = 0.050 \mu\text{m}$$

硅片轮廓标准片示值引入的不确定度分量为：

$$u_2 = \sqrt{u_{21}^2 + u_{22}^2} = 0.067 \mu\text{m}$$

B6 合成标准不确定度 u_c

u_1 、 u_2 相互独立，按近似正态分布考虑，合成标准不确定度：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.133 \mu\text{m}$$

B7 扩展不确定度

取包含 $k=2$ ，则相对扩展不确定度为：

$$U = 2 \cdot u_c = 2 \times 0.133 = 0.27 \mu\text{m}$$

不同测量范围和分辨力的硅片轮廓测量仪，示值误差校准结果不确定度评估方法类同。

附录 C

硅片轮廓标准测量装置的不确定度评定

C1 测量方法

硅片轮廓标准片中心点厚度是通过硅片轮廓标准测量装置进行定值的。硅片轮廓标准测量装置由上下同轴的两个光谱共焦位移传感器组成，采用一等量块对零之后，通过XY运动平台完成硅片轮廓标准片参数的测量。

C2 测量模型

硅片轮廓标准片采用硅片轮廓标准测量装置进行定值，中心点厚度 S 按公式 (C.1) 进行计算：

$$S = D - a_i - b_i \quad (\text{C.1})$$

式中： D —硅片轮廓标准测量装置两个传感器的距离

a_i —硅片轮廓标准测量装置上传感器示值

b_i —硅片轮廓标准测量装置下传感器示值

C3 灵敏系数与合成标准不确定度

C.3.1 灵敏系数

两个传感器的测量读数示值相互独立，所以

$$\text{灵敏系数 } c_i: c_1 = \frac{\partial S}{\partial D} = 1, c_2 = \frac{\partial S}{\partial a} = -1, c_3 = \frac{\partial S}{\partial b} = -1$$

C.3.2 合成标准不确定度

令 u_1 、 u_2 、 u_3 分别表示 D 、 a 和 b 的标准不确定度，则合成标准不确定度 u_c 为：

$$u_c^2 = c_1^2 \cdot u_1^2 + c_2^2 \cdot u_2^2 + c_3^2 \cdot u_3^2 = u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 \quad (\text{C.2})$$

C4 标准不确定度分量一览表

表 C.1 不确定度评定一览表

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	灵敏系数	标准不确定度	说明
u_1	传感器距离引入不确定度分量	1	0.032 μm	用 A 类方法评定
u_2	上传感器引入不确定度	1	0.022 μm	用 A 类方法评定
u_3	下传感器引入不确定度	1	0.022 μm	用 A 类方法评定

C5 标准不确定度分量的计算

C.5.1 硅片轮廓标准测量装置传感器距离引起的不确定度分量 u_1

C.5.1.1 传感器同轴度引入的不确定度分量 u_{11}

采用一等量块对传感器同轴度进行测试，传感器同轴度引入的不确定度为：

$$u_{11} = 0.030 \mu\text{m}$$

C.5.1.2 传感器对零引入的不确定度分量 u_{12}

采用一等量块对传感器对零，对零引入的不确定度为：

$$u_{12} = \frac{0.022}{2} = 0.011 \mu\text{m}$$

硅片轮廓标准测量装置传感器距离引起的不确定度分量为：

$$u_1 = \sqrt{u_{11}^2 + u_{12}^2} = 0.032 \mu\text{m}$$

C.5.2 硅片轮廓标准测量装置上传感器引入的不确定度分量 u_2

C.5.2.1 硅片轮廓标准测量装置上传感器的测量重复性引入的不确定度分量 u_{21}

硅片轮廓标准测量装置传感器量程为 $160 \mu\text{m}$ ，最大测量误差为 $0.038 \mu\text{m}$ ，按均匀分布处理，则：

$$u_{21} = \frac{0.038}{\sqrt{3}} = 0.022 \mu\text{m}$$

C.5.2.2 硅片轮廓标准测量装置上传感器的测量分辨力引入的不确定度分量 u_{22}

硅片轮廓标准测量装置上传感器的显示分辨力一般为 $0.005 \mu\text{m}$ ，按均匀分布处理，则：

$$u_{22} = \frac{0.005}{2\sqrt{3}} = 0.002 \mu\text{m}$$

硅片轮廓标准测量装置上传感器不确定度分量为：

$$u_2 = \sqrt{u_{21}^2 + u_{22}^2} = 0.022 \mu\text{m}$$

C.5.3 硅片轮廓标准测量装置下传感器引入的不确定度分量 u_3

C.5.3.1 硅片轮廓标准测量装置下传感器的测量重复性引入的不确定度分量 u_{31}

硅片轮廓标准测量装置传感器量程为 $160 \mu\text{m}$ ，最大测量误差为 $0.038 \mu\text{m}$ ，按均匀分布处理，则：

$$u_{31} = \frac{0.038}{\sqrt{3}} = 0.022 \mu\text{m}$$

C.5.3.2 硅片轮廓标准测量装置下传感器的测量分辨力引入的不确定度分量 u_{32}

硅片轮廓标准测量装置下传感器的显示分辨力一般为 $0.005 \mu\text{m}$ ，按均匀分布处理，则：

$$u_{32} = \frac{0.005}{2\sqrt{3}} = 0.002 \mu\text{m}$$

硅片轮廓标准测量装置下传感器不确定度分量为：

$$u_3 = \sqrt{u_{31}^2 + u_{32}^2} = 0.022 \mu\text{m}$$

C6 合成标准不确定度 u_c

u_1 、 u_2 和 u_3 相互独立，按近似正态分布考虑，合成标准不确定度：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.045 \mu\text{m}$$

C7 扩展不确定度

取包含 $k=2$ ，则相对扩展不确定度为：

$$U = 2 \cdot u_c = 2 \times 0.045 = 0.090 \mu\text{m}$$

中华人民共和国
国家计量技术规范
XXXXXXXXXX 校准规范
JJFXXXX—XXXX
国家市场监督管理总局发布