

《扫描探针显微镜校准规范》 征求意见稿编制说明

编制单位：

2024 年 6月 5日

《扫描探针显微镜校准规范》

征求意见稿编制说明

一、工作简况

1.1 任务来源

本项目根据国家市场监督管理总局市监计量发【2023】56号《市场监管总局办公厅关于印发2023年国家计量技术规范项目制定、修订及宣贯计划的通知》，中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所作为主要起草牵头单位承担《扫描探针显微镜校准规范》项目的修订。项目周期为24个月，2023年9月至2025年9月。全国几何量长度计量技术委员会负责归口管理。

1.2 主要参加单位和工作组成员及其所做的工作

2023年9月，《扫描探针显微镜校准规范》修订任务下达后，牵头单位北京长城计量测试技术研究所组织相关单位成立了修订编写组。由中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所、上海计量测试技术研究院、贵州计量测试院、中国计量科学研究院、同济大学等组成。

起草单位及工作分配详见表1，起草人及工作分配详见表2。

表1 起草单位及承担工作

序号	起草单位	承担工作
1	中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所	主要起草，承担修订的起草任务
2	上海计量测试技术研究院	主要起草，从技术及应用角度对规范进行校核及完善
3	贵州计量测试院	协助起草，从技术及应用角度对规范进行校核及完善
4	中国计量科学研究院	协助起草，从技术及应用角度对规范进行校核及完善
5	同济大学	主要起草，从技术及应用角度对规范进行校核及完善

表2 起草人员及工作分配

序号	起草人	起草单位	承担工作
1	朱振宇	中国航空工业集团公司北京 长城计量测试技术研究所	负责制定计划和实施方案
2	雷李华	上海计量测试技术研究院	负责规范正交校准修订
3	李华丰	中国航空工业集团公司北京 长城计量测试技术研究所	负责规范线间格校准修订
4	傅云霞	上海计量测试技术研究院	实验验证制定
5	程鑫彬	同济大学	实验验证
6	李强	中国航空工业集团公司北京 长城计量测试技术研究所	实验验证
7	施玉书	中国计量科学研究院	规范内容校验审核
8	何小洁	贵州计量测试院	规范内容校验审核
9	蔡潇雨	上海计量测试技术研究院	规范内容校验审核

1.3 制定背景及必要性

扫描探针显微镜在物理、化学、生物、医学、材料等基础学科研究中得到广泛应用，其量值溯源需求主要体现在 MEMS、微小卫星、半导体工业、超大规模集成电路、光存储、超精密加工等工业、国防应用领域的产品质量、性能、指标测量、控制和溯源上。

扫描探针显微镜在复杂微结构及装备微系统的测量过程中满足其计量需求，解决装备中纳米器件、纳米系统的量值溯源问题。

随着微电子、超精加工水平的不断提高，微结构、微系统以及MEMS器件已广泛的应用到各种装备中，而该类系统和器件的性能很大程度上决定着产品的质量和寿命。采用扫描探针显微镜对结构参数的准确计量有助于分析产品的本质特性、质量控制、工艺调整等。目前应用于各级研究机构、高校、工业部门需计量后使用扫描探针显微镜已近600余台套，具有显著计量溯源的需求，其社会的计量需求迫切。

扫描探针显微镜的校准工作目前国内已经广泛开展，相应的计量技术机

构、实验室具备满足扫描探针显微镜校准的基础技术条件和相应的基础设备。以中国计量院、上海计量院、贵州省院和航空304所等单位为代表的国家、国防、大区和省市级的计量技术机构长期开展纳米尺度测量仪器的研究和相应的计量方法研究，各研究院所具备自行研制的纳米三维测量仪器、通用商用纳米尺度测量仪器及相关的洁净和恒温的实验室，有着长期从事纳米尺度测量技术研究的科研技术团队和计量人员，团队成员已经开展了多项关于纳米计量、器件研制的科研课题，具有纳米尺度计量技术研究理论基础和实践经历和相关的纳米计量技术研究经验。并且拥有和扫描探针显微镜相关的纳米表面形貌样板的计量标准，能够满足该类计量标准的稳定运行和溯源有效性。

扫描探针显微镜作为纳米尺度测量、分析工具应用广泛。其自身的计量工作是业界正在致力于研究的重要方向，这对于半导体工业和超精密加工技术来说有着非同一般的意义，其测量方法及技术规范将对量值统一，保障应用数据可靠具有重要意义。目前国内外相继不断出现该类仪器的测量方法标准及技术细约约定，并日趋细致化，其共性的计量特性的校准不断发展完备。扫描探针显微镜的校准准确与否关系到其应用的领域所涉及的关键技术参数的评价与控制。

目前关于其测量方法的技术规范在国内外的研究不断深入，需要对现有的《扫描探针显微镜校准规范》进行修订，融合新兴的技术进入规范，以适应扫描探针显微镜的计量需求，保证纳米量值使用的准确统一，该工作具有迫切的现实意义。

1.4 编制过程

2023 年 1 月：根据扫描探针显微镜的校准需求，开展技术调研和资料收集，成立了规范修订编写组，考虑到科学研究、先进制造、纳米测量等领域对该类设备的通用需求，修订了《扫描探针显微镜校准规范》国家计量技术规范制修订项目建议书。

2023 年 2 月：规范修订编写组参加了全国几何量长度计量技术委员会组织的 2023 年国家计量技术规范制修订项目评审会，根据全体委员的评审意见，修改完善了项目建议书。

2023 年 4 月，编写组制定了《扫描探针显微镜校准规范》国家计量技术规范修订启动会，经各编写单位讨论，通过《扫描探针显微镜校准规范》国家计量技术规范修订主要内容和工作计划。

2023年6月，编写组开展阶段性工作协调工作，对拟定修改内容和后续工作任务进行了讨论和安培。

2023 年 11 月，编写组完成《扫描探针显微镜校准规范》国家计量技术规范修订基本工作，组织了线上线下讨论，确定了细节修改内容。

2023 年 12 月，编写组完成《扫描探针显微镜校准规范》国家计量技术规范修订基本工作，形成征求意见草稿。

二、标准编制原则、主要内容及其确定依据

2.1 标准编制原则

- a) 满足我国计量技术规范JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》。
- b) 符合国家各类标准。
- c) 名词术语，国家计量领域有明确定义的，予以采用，国家计量领域没有明确定义的，予以明确含义。
- d) 不同厂家采用不同定义的同一个术语，按普遍性原则，选取一种较为通用的定义形式。
- e) 内容力求实用、方便、易执行。指标项目物理意义明确。有利于扫描探针显微镜的使用和研究，有利于扫描探针显微镜校准技术的发展。
- f) 操作规定力求清晰明确，避免模棱两可。
- g) 充分体现：①、校准过程的严格性和灵活性。②、现阶段条件的可行性及将来的发展情况。③、扫描探针显微镜评价的完备性。
- h) 扫描探针显微镜的各种性能指标较多，本规范力求以最少的指标数目、最小的工作量，将扫描探针显微镜的最主要性能评价出来，同时兼顾规范的全面性。
- i) 由于我国尚未有关于扫描探针显微镜的国家标准，而ISO标准尚处于草案阶段，因此，本规范在尽量遵循和靠近ISO标准的基础上，在校准设备和措施上，做了一些调整和补充。

2.2 标准主要内容及修订内容

a) 范围

本规范适用于以几何表面形貌为测量对象的扫描探针显微镜的校准。

扫描探针显微镜根据其设计原理不同,校准时需要根据实际情况选择相关的计量特性。对有特殊要求的测量任务,如对溯源要求较高的测量,不在本校准规范的适用范围。

b) 术语和定义

根据调查反馈的信息,对描述SPM计量校准中应用的术语进行了定义,包括扫描探针显微镜、纳米尺度和纳米计量等,以便于对SPM进行规范的评价并向用户提供表征参考。

c) 概述

对扫描探针显微镜应用的领域及其技术特点进行了相关的技术阐述。

d) 计量特性

由于扫描探针显微镜的原理、方案复杂多样,不同的生产厂家、甚至同一生产厂家不同的产品都有较大区别。本规范中的计量特性项中,包括仪器系统Z向漂移、X、Y扫描域位移误差、Z轴扫描域位移误差、仪器测量的系统噪声和X、Y坐标正交性误差等做了较为明确和全面的展示。

e) 标准器及校准环境

规范的征求意见稿列出里校准用主要仪器设备及校准所需的环境。

f) 校准项目和方法

扫描探针显微镜作为一种较复杂的几何量光电测量仪器设备,具有很多方面的性能指标,几乎每一项指标,都可能受到特别关心,完全描述与校准这些性能指标是一项非常复杂与繁重的工作,为了减轻正常周期校准的工作,达到以最少的工作量获取最大的效率,同时又考虑到校准指标及项目的全面性,本规范并未将所有指标项目收入,只是选取了其中人们最为关心的基本项目,希望能以最小的工作量获得最大的效益。

g) 主要修改内容

本规范包括适用范围、引用文件、术语和定义、计量特性、校准条件及环境、标准器、校准项目和方法、结果表达等内容。其中关于计量特性的校准为

规范的主体内容，主要开展扫描探针显微镜 Z 向漂移； X 、 Y 轴位移测量误差； Z 轴位移测量误差；扫描探针显微镜测量重复性； X 、 Y 轴坐标正交性误差等校准方法和结果处理。

本次修订的关键部分是针对目前 X 、 Y 轴位移测量方法， X 、 Y 轴坐标正交性测量方法进行内容重组，将近年来不断成熟的测量方法和计量标准引入到规范当中，以适应现阶段扫描探针显微镜校准的需要。同时对规范中其它相关部分根据需要进行适应性修改，对规范中校准项目及采用的标准器中的部分内容进行修正，增加了一维和二维纳米线间隔样板分类描述，以制造工艺为分类，分别确认了刻蚀和原子沉积类型。在扫描探针显微镜 X 、 Y 轴位移测量误差中确认增加采用沉积纳米级样板进行扫描探针显微镜校准 X 、 Y 轴位移测量结果的稳定性和可靠性实验，通过技术实验确定了其可靠性和准确度关系。在扫描探针显微镜 X 、 Y 轴坐标正交性误差测量中，增加了沉积纳米级样板进行扫描探针显微镜校准 X 、 Y 轴坐标正交性测量方法，通过研究处理后图像数据稳定性和可靠性实验来最终应用到规范中。

h) 校准项目的选择

由于该规范为指导性文件，因而在使用本规范评价时，并不一定要求校准每一个指标参数（这样一来工作量极大），所以规范中未将校准项目在“新制造”、“使用中”和“修理后”三种情况下的校准要求明确区别，可根据用户最关心的指标来选择校准。对于“新制造”的扫描探针显微镜，只须在生产单位校准所有的项目，而“修理后”的仪器，除特殊规定的指标外，一般只需校准受影响的指标项目。

i) 校准结果及校准周期

按本规范执行校准后，以校准证书或报告形式给出校准结果，加盖校准印章。校准周期推荐为1年。

三、经济效益、社会效益

本规范修订的研究成果能够实现扫描探针显微镜的准确校准，解决现有部分计量标准与需求不匹配的问题，完善国家计量技术体系，为微电子、超精加工等行业提供计量溯源保障，完善纳米几何结构参数的高准确度测量与科学研究，弥补现有测量仪器和计量系统能力之间的差距，为建立相应的纳米尺度计量标准奠

定技术基础，保证纳米量值准确溯源，满足目前广泛应用的纳米几何结构参数测量的扫描探针类测量仪器的校准需求，对推动新材料研究、提高MEMS加工工艺水平、促进装备中广泛使用的微系统的有效性、可靠性、互换性提供技术保障，具有较大的经济和显著的社会效益。

四、与有关法律、行政法规及相关标准的关系

本规范符合我国有关现行法律、法规的相关规定，与我国现行法律、法规和相关标准协调一致，与其他相关标准无矛盾和不协调的地方。

五、重大分歧意见的处理经过和依据

本在修订过程中无重大分歧意见。

六、涉及专利的有关说明

本规范的某些内容可能涉及专利。本规范的发布机构不承担识别这些专利的责任。

七、其他应当说明的事项

无。

《扫描探针显微镜校准规范》

修订工作组

2024年06月05日