



中国腐蚀与防护学会团体标准

T/CSCP 0059.4-2025

微机电系统 (MEMS) 材料腐蚀芯片及传感 器

第 4 部分：元器件选型及测试

Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS) material corrosion chip
and sensor——

Part 4: Component selecting and testing

2025-09-01 发布

2025-10-01 实施

中国腐蚀与防护学会 发布

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	6
2 规范性引用文件	6
3 术语和定义	6
4. 技术要求	6
4.1 敏感元器件	6
4.2 信号处理电路	7
4.3 封装结构	8
5. 测试方法	8
5.1 外观检查	8
5.2 性能测试	8
5.3 长期稳定性测试	9
6. 检验规则	10
6.1 例行检验	10
6.2 型式检验	10
6.3 抽样检验	10
7. 标志、包装、运输、贮存	10
7.1 标志	10
7.2 包装	10
7.3 运输	11
7.4 贮存	11
附录 A	12

检验项目 12

全国团体标准信息平台

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。

本文件是 T/CSCP 0059-2025《微机电系统（MEMS）材料腐蚀芯片及传感器》的第4部分。T/CSCP 0059-2025《微机电系统（MEMS）材料腐蚀芯片及传感器》已经发布了以下部分：

- 第1部分：通用要求；
- 第2部分：选材与评价；
- 第3部分：测试方法；
- 第4部分：元器件选型及测试；
- 第5部分：电路设计及测试。

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。

本文件由中国腐蚀与防护学会提出。

本文件由中国腐蚀与防护学会归口。

本文件起草单位：北京科技大学、中国电力科学研究院有限公司、南方电网科学研究院有限公司、广州天韵达新材料科技有限公司、北京材料基因工程高精尖创新中心、广州市南沙区贝科耐蚀新材料研究院、中国铁道科学研究院集团有限公司。

本文件主要起草人：杨小佳、李晓刚、程学群、郝文魁、黄路遥、张强、卢壹梁、黄增浩、陈云、孙雷、李清、徐迪、朱仁政、廖永力、杨国威、张达威、刘超、杨体绍、杨吉可、杜翠薇、刘智勇、张博威、骆鸿、韩钰、马宏驰。

本文件为首次发布。

引 言

《微机电系统（MEMS）材料腐蚀芯片及传感器》涵盖了 MEMS 材料腐蚀芯片及传感器的设计、选材、测试及芯片电路、元器件选型设计方法。目前，该标准由五个部分构成：

- 第 1 部分：通用要求。目的是规定 MEMS 材料腐蚀芯片及传感器通用要求，包括 MEMS 材料腐蚀芯片及传感器的设计要求、选材要求、制造要求及测试要求。
- 第 2 部分：选材与评价。目的是规定 MEMS 材料腐蚀芯片及传感器各部分材料的选材与评价方法，包括选材原则、常用材料类型及其性能指标、评价与验证方法。
- 第 3 部分：测试方法。目的是规定 MEMS 材料腐蚀芯片及传感器测试方法，包括测试项目及方法、测试条件、性能评估指标及判定准则。
- 第 4 部分：元器件选型及测试。目的是规定 MEMS 材料腐蚀芯片及传感器的元器件选型及测试，包括元器件技术要求、测试方法、检验规则、标志、包装、运输及贮存。
- 第 5 部分：电路设计及测试。目的是规定 MEMS 材料腐蚀芯片及传感器的电路设计及测试方法，包括电路设计要求、性能要求及测试方法。

微机电系统（MEMS）材料腐蚀芯片及传感器 第4部分：元器件选型及测试

1 范围

本文件规定了微机电系统（Micro-Electro-Mechanical System，以下简称 MEMS）材料腐蚀芯片及传感器的元器件技术要求、测试方法、检验规则、标志、包装、运输及贮存。

本文件适用于 MEMS 材料腐蚀芯片及传感器的设计、制造、检验和使用过程中的元器件选型及测试。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 10123 金属和合金的腐蚀 基本术语和定义

GB/T 11349.1 机械振动与冲击 机械导纳的试验确定 第1部分：基本术语与定义、传感器特性

GB/T 19292.1 金属和合金的腐蚀 大气腐蚀性 第1部分：分类

GB/T 38341 微机电系统（MEMS）技术 MEMS 器件的可靠性综合环境试验方法

3 术语和定义

GB/T 10123、GB/T 19292.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

信号处理电路 signal processing circuit

对敏感元件输出的微弱信号进行处理的电路系统。

3.2

封装结构 package structure

用于保护敏感元件和信号处理电路的物理结构。

4 技术要求

4.1 敏感元器件

4.1.1 材料选择

敏感元件的材料选择需严格依据目标腐蚀监测环境的特性和要求进行。

a) 所选材料应具备优异的耐腐蚀性，能够在特定的化学介质、湿度、温度等环境条件下长期稳定

工作；

- b) 材料应具有良好的灵敏度和稳定性，能够对微小的腐蚀参数变化产生显著且稳定的响应；
- c) 在强酸性腐蚀环境监测应用中，宜选用铂、金等贵金属或经过表面改性处理的半导体材料，腐蚀速率应 ≤ 0.01 mm/y；
- d) 对典型结构材料监测，材料应与待监测结构材料的成分、组织结构及加工工艺一致，确保腐蚀行为的一致性；
- e) 考虑各向异性腐蚀特性，选择合适的晶向和加工工艺。

4.1.2 结构设计

敏感元件的结构设计应遵循最大化腐蚀介质接触面积、最小化外界干扰影响的原则。

- a) 通过微纳结构设计，确保腐蚀介质能够充分与敏感材料接触，提高检测灵敏度和响应速度；
- b) 综合考虑结构的机械强度、刚度和抗振动性能，采用有限元分析等方法优化结构设计；
- c) 应能承受 50 g 以上的冲击加速度；
- d) 谐振频率应远离工作频率，避免共振导致的性能退化或结构损坏。

4.1.3 性能指标

a) 敏感元件应具备高灵敏度特性，能够在规定的腐蚀条件下对目标腐蚀参数的微小变化产生可精确测量的信号响应。灵敏度指标需根据具体应用场景和设计要求进行明确规定，一般要求灵敏度误差不宜超过 $\pm 5\%$ FS。

b) 在一定的腐蚀参数变化范围内，敏感元件的输出信号与腐蚀参数之间应呈现良好的线性关系。通过实验测试和数据拟合分析，线性度误差不应超过 $\pm 5\%$ 。

c) 在相同的腐蚀条件下，敏感元件多次测量的输出信号应具有高度的一致性。通过重复性测试，计算测量结果的标准偏差，重复性误差不应超过 $\pm 5\%$ 。

d) 在全温区（ $-45^{\circ}\text{C} \sim 120^{\circ}\text{C}$ ）范围内，性能参数变化不应超过 $\pm 5\%$ 。

4.2 信号处理电路

4.2.1 电路设计

信号处理电路应采用低噪声、高增益、高稳定性的设计方案。

- a) 运用先进的电路设计技术和仿真工具，优化电路拓扑结构；
- b) 选择低噪声、高精度的电子元器件，有效抑制外界电磁干扰和电路自身噪声；
- c) 电路应具备良好的抗干扰能力，通过合理的屏蔽、滤波和接地设计，降低电磁兼容性（EMC）问题对信号质量的影响；

d) 在强电磁场环境（如变频器附近）应优选带光纤元件隔离的设计；

e) 接口电平需与系统匹配，防止 3.3 V 器件直接连接 5 V 系统导致烧毁。

4.2.2 性能指标

信号处理电路的增益特性、噪声水平、匹配响应、电磁干扰性及待机电流应满足指标要求。

- a) 信号处理电路的增益应具有高精度特性，增益误差不应超过 $\pm 2\%$ ；
- b) 在规定的工作条件下，电路的输出噪声应控制在较低水平，输出噪声的均方根值不应超过 1 mV；
- c) 信号处理电路的带宽应与传感器对腐蚀信号的响应速度要求相匹配，匹配响应速度不应低于 ms

级；

d) 应满足相应的 EMC 标准要求，在 10 V/m 辐射骚扰场强下，输出信号变化 $\leq 2\%$ ；在脉冲干扰测试中，输出信号瞬时变化不超过满量程的 $\pm 5\%$ ；

e) 无线传感节点应用中，待机电流应 $< 1\mu\text{A}$ 。

4.3 封装结构

4.3.1 材料与工艺

封装结构的材料应选用具有优异耐腐蚀性、高密封性和良好机械强度的材料。

a) 宜选用陶瓷、工程塑料等，拉伸强度 $\geq 150\text{ MPa}$ ，冲击强度 $\geq 10\text{ kJ/m}^2$ ；

b) 封装工艺需确保封装结构与敏感元件、信号处理电路之间形成可靠的电气连接和物理密封；

c) 采用先进的封装技术，宜选用倒装焊、金丝键合、灌封等，保证封装结构的气密性和长期稳定性；

d) 高湿度场景建议选择镀金电极版本；

e) 工业场景需选择防护等级达 IP67 以上的型号。

4.3.2 性能指标

封装结构材料应具有良好的密封性能、足够的强度、承受温度循环和湿热能力和耐腐蚀性能。

a) 封装结构应具备良好的密封性能，在规定的压力和湿度条件下，封装内部的湿度变化不应超过 $\pm 5\%$ 。

b) 封装结构应具有足够的机械强度，能够承受规定的机械冲击和振动试验。在机械冲击（100 000 g 冲击，0.5 ms）和振动试验条件下，封装结构不应出现损坏、开裂等现象。

c) 应能承受温度循环（ $-45^\circ\text{C} \sim 120^\circ\text{C}$ ）和恒定湿热（ $85^\circ\text{C}/85\%\text{RH}$ ）测试，性能变化不超过允许范围。

d) 接触腐蚀介质部分应选用兼容材料，宜选用硅油/316 L 不锈钢，防止介质腐蚀导致失效。

5. 测试方法

5.1 外观检查

采用目视检查和光学放大设备（放大倍数不低于 5 倍）观察相结合的方法。

a) 检查元器件的外观是否有损坏、变形、裂纹等缺陷；

b) 检查引脚是否有氧化、弯曲、断裂等情况；

c) 检查封装是否严密，标识是否清晰完整。

5.2 性能测试

5.2.1 敏感元件性能测试

敏感元器件应进行灵敏度、线性度、重复性及温度特性测试。

a) 灵敏度测试应将敏感元件置于模拟实际腐蚀环境的试验箱中，严格按照规定的腐蚀条件进行试验。通过精确控制和改变目标腐蚀参数，使用高精度的信号测量设备测量敏感元件的输出信号变化，依

据测试数据计算灵敏度。灵敏度误差不应超过 $\pm 5\%$ FS。

b) 线性度测试应在一定的腐蚀参数变化范围内, 逐步改变腐蚀参数, 测量敏感元件输出信号与腐蚀参数之间的对应关系。通过数据采集系统记录多组数据, 采用最小二乘法等数据拟合方法进行线性拟合, 计算线性度误差, 线性度误差不应超过 $\pm 5\%$ 。

c) 重复性测试应在相同的腐蚀条件下, 对敏感元件进行多次独立测量。每次测量后, 记录输出信号数据, 计算多次测量结果的标准偏差和重复性误差, 评估敏感元件的重复性性能。重复性误差不应超过 $\pm 5\%$ 。

d) 温度特性测试应在恒温箱内测量零位输出漂移, 要求 $\leq 10 \text{ mg}/^\circ\text{C}$ 。在全温区($-45^\circ\text{C} \sim 120^\circ\text{C}$)范围内测试性能参数变化。输出漂移不超过

5.2.2 信号处理电路性能测试

信号处理电路应进行增益精度测试、噪声水平测试、带宽测试及 EMC 测试。

a) 增益精度测试应使用高精度信号发生器向信号处理电路输入已知幅度和频率的标准信号, 通过示波器或数字万用表等测量设备测量电路的输出信号幅度。根据输入和输出信号幅度计算增益, 与设计增益值进行对比, 计算增益误差。增益误差不应超过 $\pm 2\%$ 。

b) 噪声水平测试应在无输入信号的情况下, 使用频谱分析仪或噪声测量仪等设备测量信号处理电路的输出噪声。对测量得到的噪声信号进行分析, 计算输出噪声的均方根值, 评估电路的噪声水平。加速度计噪声密度要求 $\leq 100 \mu \text{g}/\sqrt{\text{Hz}}@10\text{Hz}$ 。

c) 带宽测试应使用频率可变的信号发生器向电路输入不同频率的正弦信号, 保持输入信号幅度恒定。通过示波器观察电路对不同频率信号的响应, 记录输出信号幅度随频率的变化情况, 确定电路的带宽。

d) EMC 测试应在测试区域周围布置电磁干扰源, 产生 $50 \text{ kHz} \sim 100 \text{ MHz}$ 的电磁干扰场, 检测传感器在电磁干扰下的输出信号稳定性和抗干扰能力。

5.2.3 封装结构性能测试

封装结构应进行密封性测试、机械强度测试及环境可靠性测试。

a) 密封性测试应将封装好的元器件置于特定的压力和湿度环境测试设备中, 如高低温湿热试验箱或真空检漏设备。经过规定的测试时间后, 采用湿度传感器或气体检漏仪等设备测量封装内部的湿度变化或气体泄漏情况, 评估封装结构的密封性。按照 GB/T 38341 的恒定湿热加速试验方法。

b) 机械强度测试应按照 GB/T 11349.1 和 GB/T 38341 规定的机械冲击和振动试验标准, 将封装好的元器件安装在机械冲击试验台或振动试验台上。施加规定的机械冲击 (100000 g 冲击, 0.5 ms) 或振动条件 (随机振动, 频率范围 $10 \text{ Hz} \sim 2000 \text{ Hz}$), 试验后检查封装结构是否出现损坏, 使用测试设备测量传感器性能是否发生明显变化。

c) 环境可靠性测试应按照 GB/T 38341 进行综合环境可靠性测试, 包括温度循环测试 ($-65^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$, 1000 次循环)、高压蒸煮测试 (121°C , 100%湿度, 2 个大气压, $12 \text{ h} \sim 24 \text{ h}$) 和复合环境测试。

5.3 长期稳定性测试

将 MEMS 腐蚀芯片及传感器元器件安装在稳定性测试装置中, 模拟实际工作环境条件。

a) 设置温度在 $10^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ 范围内循环变化, 相对湿度在 $45\% \sim 80\%$ 范围内波动;

- b) 腐蚀介质以 1 ml/min 循环流过腐蚀芯片及传感器表面；
- c) 连续运行不少于 30 d，定期 1 h 记录输出信号值；
- d) 工业应用的传感器在连续运行 180 d 内，相对标准误差不宜超过 5%；高要求领域相对标准误差应控制在 $\pm 3\%$ 以内。

6. 检验规则

6.1 例行检验

出厂前应进行例行检验。例行检验的项目及要求见表 A.1。

6.2 型式检验

型式检验的项目及要求见表 A.1。在下列情况下应进行型式检验。

- a) 新产品试制或老产品转厂生产；
- b) 正式生产后，如结构、材料、工艺有较大改变，可能影响产品性能；
- c) 产品长期停产后，恢复生产；
- d) 国家质量监督机构提出型式检验要求。

6.3 抽样检验

抽样检验的项目及要求见表 A.1。在下列情况下应进行抽样检验。

- a) 新产品试制或老产品转厂生产；
- b) 传感器产品进行流程稳定的大批量生产；
- c) 产品长期停产后，恢复生产；
- d) 国家质量监督机构提出抽样检验要求。

7. 标志、包装、运输、贮存

7.1 标志

元器件的外包装上应标明以下内容。

- a) 产品名称、型号、规格；
- b) 生产厂家名称、地址、联系方式；
- c) 生产日期、批次号；
- d) 主要技术参数和性能指标；
- e) 符合相关标准和认证的标识；
- f) 潮湿敏感等级。

7.2 包装

元器件应采用适宜的包装材料和包装方式进行包装，确保在运输和贮存过程中不受损坏。

- a) 包装材料应具有良好的防潮、防震、防静电性能；
- b) 对于潮湿敏感器件，应使用带有干燥剂和湿度指示卡的防潮袋包装；
- c) 包装内应附有产品说明书、合格证、质量检验报告等文件；
- d) 产品室内、外表面应加保护膜，防止表面损伤。

7.3 运输

在运输过程中，应采取有效措施避免元器件受到剧烈振动、碰撞和受潮。

- a) 选择合适的运输工具和运输方式，如专用的运输包装箱、减震设备等；
- b) 装运产品的运输工具应有防雨措施并保持清洁无污物；
- c) 产品在运输装卸时，应保证产品不变形、不损伤、表面完好；
- d) 运输环境应符合产品的贮存条件要求。

7.4 贮存

元器件应贮存在干燥、通风、无腐蚀性气体的环境中。

- a) 贮存温度和湿度应符合产品说明书的要求，环境温度应低于 50℃，距离热源应大于 1 m；
- b) 产品不应直接接触地面，底部垫高不应小于 5 cm，产品应立放，立放角不应小于 70°，并有防倾倒措施；
- c) 在贮存过程中，应定期对元器件进行检查，如检查外观是否有损坏、性能是否发生变化等；
- d) 对于潮湿敏感器件，应定期检查湿度指示卡，确保包装完整性；
- e) 应建立库存重新评估程序，定期检查贮存元器件的性能状态。

附录 A

(规范性)

检验项目

表 A.1 检验项目

检验项目	检验方法 条文号	试样数量	检验项目		
			例行检验	型式检验	抽样检验
外观检查	5.1	1	√	√	√
灵敏度	5.2.1	3	√	√	√
线性度	5.2.1	3	√	√	√
重复性	5.2.1	3	√	√	√
温度特性	5.2.1	1	-	√	-
增益精度	5.2.2	1	-	√	-
噪声水平测试	5.2.2	1	-	√	-
带宽测试	5.2.2	1	-	√	-
EMC 测试	5.2.2	3	-	√	-
密封性测试	5.2.3	3	-	√	-
机械强度测试	5.2.3	3	-	√	√
环境可靠性测试	5.2.3	3	-	√	√
长期稳定性测试	5.3	3	-	√	√