



中国腐蚀与防护学会团体标准

T/CSCP 0059.1-2025

微机电系统（MEMS）材料腐蚀芯片及传 感器

第1部分：通用要求

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

Part 1: General requirements

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.....	5
2 规范性引用文件.....	5
3 术语和定义.....	5
4 一般要求.....	6
4.1 外观要求	6
4.2 电气特性要求.....	6
4.3 基本性能参数要求.....	6
4.4 结构要求	6
5 设计要求.....	6
5.1 设计原则	6
5.2 芯片设计	6
5.3 传感器整体设计.....	7
5.4 可靠性设计	8
5.5 可测试性设计.....	8
6 选材要求.....	8
6.1 选材原则	8
6.2 敏感材料与功能材料.....	8
6.3 结构材料与基体材料.....	9
6.4 封装材料	9
6.5 材料兼容性	10
6.6 环保与安全要求.....	10
7 制造要求.....	10
7.1 总则	10

7.2 环境与设施	10
7.3 关键工艺控制.....	10
7.4 封装工艺	11
7.5 标识与可追溯性.....	12
8 测试要求.....	12
8.1 试验条件	12
8.2 外观和结构检查.....	12
8.3 电气性能测试.....	12
8.4 传感性能测试.....	12
8.5 环境适应性试验.....	13
8.6 电磁兼容性（EMC）试验.....	13
8.7 外壳防护等级试验.....	13
8.8 长期稳定性与寿命试验.....	13
附录 A.....	14
附录 B.....	15

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1部分。T/CSCP 0059-2025 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、张强、卢壹梁、黄增浩、黄路遥、郝文魁、陈云、孙雷、李清、徐迪、朱仁政、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、马宏驰、王晓芳、杨丙坤、韩钰。

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》涵盖了微机电系统（MEMS）材料腐蚀芯片（以下简称 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1部分：通用要求

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通用技术、设计、选材、制造及测试要求。

本文件适用于各类 MEMS 材料腐蚀芯片及传感器的设计、制造、检验与应用，用于腐蚀环境的监测与评估。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 A：低温

GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 B：高温

GB/T 2423.3 环境试验 第2部分：试验方法 试验 Cab：恒定湿热试验

GB/T 2423.17 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 Ka：盐雾

GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验

GB/T 35010 半导体芯片产品(所有部分)

GB 50472 电子工业洁净厂房设计规范

IEC 60050（所有部分）国际电工词汇表（International electrotechnical vocabulary）

3 术语和定义

IEC 60050（所有部分）、GB/T 35010（所有部分）界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

微机电系统材料腐蚀芯片 MEMS material corrosion chip

采用微机电系统（MEMS）技术制造的，包含一个或多个用于感知材料腐蚀或环境腐蚀因子的微结构的微型化核心敏感元件。

3.2

MEMS 材料腐蚀传感器 MEMS material corrosion sensor

由一个或多个 MEMS 材料腐蚀芯片、信号调理电路、封装外壳、连接器等组成的，能输出标准化信号的完整测量装置。

3.3

腐蚀速率 corrosion rate

单位时间内单位面积上材料的腐蚀失重或腐蚀深度，常用 mm/a（毫米每年）表示。

3.4

响应时间 response time

从被测量发生阶跃变化的瞬间起，到传感器输出信号达到其最终稳定值的 90%所需的时间。

4 一般要求

4.1 外观要求

传感器外壳表面应平整、光洁，无裂纹、毛刺、锈蚀和明显划痕；标识应清晰、牢固；所有接口应无损坏。

4.2 电气特性要求

电源电压、功耗、输出信号形式及范围、负载能力等应符合制造商产品技术规格书的规定。

4.3 基本性能参数要求

灵敏度、测量范围、分辨率等关键参数应符合制造商产品技术规格书的规定。

4.4 结构要求

传感器的结构应坚固、密封良好，便于现场安装与维护。

5 设计要求

5.1 设计原则

芯片及传感器的设计应遵循安全、可靠、耐用、可制造及可测试的原则。设计输出应包含全套设计文件，包括但不限于设计图纸、技术规格书、材料清单、计算书、仿真报告等。

5.2 芯片设计

5.2.1 敏感元件设计

芯片的敏感元件设计应符合下列要求。

a) 微电极、微梁、薄膜敏感元件的形状、尺寸和布局应基于其电化学、力学、质量变化等监测原理进行优化设计，以确保足够的灵敏度、信噪比和响应速度。

b) 敏感元件具有高度一致的几何特征和表面状态，以确保输出信号的一致性和可重复性。

c) 微机械结构的设计应进行力学仿真，确保其在工作应力、运输振动及压力波动下具有足够的机

械强度和抗疲劳能力，避免结构失效或塑性变形。

5.2.2 引线互连设计

芯片的引线互连设计应符合下列要求。

- a) 芯片上的电互连线应具有足够的截面积，以确保其电阻值稳定，并能承受制造过程中的电流负载。
- b) 应设计有足够大小和强度的键合区，以确保与外部引线实现可靠的电连接。

5.2.3 保护与隔离设计

芯片的保护与隔离设计应符合下列要求。

- a) 不同功能的电极和互连线之间应有有效的介质隔离层，以防止短路和漏电流。
- b) 考虑不同材料间热膨胀系数的失配，通过缓冲层、释放结构设计降低热应力，防止结构翘曲或开裂。

5.3 传感器整体设计

5.3.1 机械结构设计

传感器的机械结构设计应符合下列要求。

- a) 传感器外壳应具有足够的机械强度和刚度，以保护内部核心元件免受外部机械冲击、振动及流体压力的影响。
- b) 传感器的安装接口应符合通用机械标准或行业惯例，确保其易于安装和更换。
- c) 应明确传感器所能承受的最高工作压力和爆破压力，其承压部件的设计应进行相应的压力仿真与验证。

5.3.2 密封设计

传感器的密封设计应符合下列要求。

- a) 防护等级不应低于 IP65，确保有效防止粉尘侵入和短时浸水影响。
- b) 应根据应用场景选择可靠的密封方式，宜采用 O 型圈密封、激光焊接、玻璃-金属键合，密封材料的化学兼容性应符合本文件第 6 章的规定。

5.3.3 电气接口与连接设计

传感器的电气接口与连接设计应符合下列要求。

- a) 明确界定接器型号、线序、输出信号类型等电气接口，优先选用行业通用、成熟的接口标准。
- b) 电磁兼容性（EMC）应符合 8.6 的要求，宜采取电源滤波、信号屏蔽、印刷电路板（PCB）布局优化等措施。

c) 电源输入端宜设计防反接保护和过压/过流保护电路，提高现场使用的容错性。

5.4 可靠性设计

5.4.1 充分考虑产品预期的温度、湿度、压力、化学介质环境条件，通过材料选择、结构设计和工艺设计，确保其能在此环境下长期、稳定工作。

5.4.2 应对敏感芯片、密封件关键部件进行寿命预估与仿真，确保产品达到设计使用寿命。

5.4.3 在产品的设计阶段宜进行失效模式与影响分析，识别潜在的设计风险，并采取相应的预防和改进措施。

5.5 可测试性设计

产品在生产过程和最终检验时应可测试，可测试性设计有下列要求。

a) 在电路设计中，应预留必要的测试点，用于验证电气功能和进行故障诊断。

b) 设计应支持对传感器进行在线校准或标定的能力。

c) 宜设计简单的自诊断功能，便于用户快速判断传感器状态。

6 选材要求

6.1 选材原则

材料的选择应基于 MEMS 材料腐蚀芯片及传感器（以下简称“芯片及传感器”）的预期应用环境、性能指标、可靠性及寿命要求。所选材料应满足其功能需求，并保证在腐蚀介质中长期服役下的化学稳定性、机械完整性和功能可靠性。所有材料应有明确且可追溯的化学成分、物理性能和供应商信息。

6.2 敏感材料与功能材料

6.2.1 敏感材料

敏感材料指直接与环境腐蚀介质接触并发生响应以获取信号的关键材料，应符合下列要求

a) 敏感材料应具有稳定、可重现的电化学特性。宜优先选择在目标监测介质中腐蚀机理明确、响应灵敏的材料。

b) 同一批次及不同批次的敏感材料，其化学成分、微观结构、热处理状态应保持一致，以确保传感器输出信号的一致性。

c) 宜采用薄膜、微电极阵列、微梁等 MEMS 结构形式，薄膜材料应致密、无缺陷，与基底结合牢固。

6.2.2 功能材料

功能材料指用于构成参比电极、对电极和工作电极的材料，应符合下列要求。

- a) 参比电极应选择特定腐蚀介质中具有稳定、可重现电位的材料体系，微参比电极应具有良好的长期稳定性和抗极化能力。
- b) 对电极应选择惰性材料，其在测量过程中本身应无显著溶解或变化。
- c) 工作电极即 6.2.1 中所述的敏感材料。

6.3 结构材料与基体材料

6.3.1 基体材料

基体材料指用于支撑和承载敏感元件及电路的基底/基板材料，应符合下列要求。

- a) 应具有优异的电绝缘性能，表面电阻率和体积电阻率应满足电路隔离要求。
- b) 在目标腐蚀环境中应呈惰性，不溶解、不溶胀、不发生性能退化，宜选用玻璃、氧化铝、石英、特定高性能聚合物或带有绝缘层的硅基材料。
- c) 应具有足够的机械强度、刚度和韧性，以满足制造、封装和使用过程中的应力要求。
- d) 材料的热膨胀系数应与其上附着的薄膜功能材料相匹配，避免因温度变化产生过大热应力导致失效。

6.3.2 结构材料

结构材料指用于电信号引线、键合和内部封装的互连与封装材料，应符合下列要求。

- a) 引线材料应具有良好的导电性和化学稳定性，宜选用金、铂、铝等金属丝或其复合薄膜。键合点应能抵抗环境腐蚀。
- b) 用于芯片粘接或内部结构封装的粘接材料应具有优异的耐化学介质特性、低释气性和长期老化稳定性，宜选用环氧树脂、硅胶等胶粘剂。

6.4 封装材料

6.4.1 外壳材料

外壳材料指传感器最外部的保护性结构材料，应符合下列要求。

- a) 外壳主体材料应能有效抵御目标腐蚀介质的侵蚀，宜根据应用场景选择 316/316L 不锈钢、哈氏合金、聚偏氟乙烯、聚醚醚酮等工程塑料或特种金属。
- b) 应提供足够的机械强度，保护内部敏感芯片免受冲击、振动和压力损伤。

6.4.2 密封材料

密封材料指用于电气接口、壳体接缝处的材料，应符合下列要求。

- a) 应与腐蚀介质兼容，不发生溶胀、老化、硬化或分解，宜选用氟橡胶、全氟醚橡胶、聚四氟乙烯

等。

b) 应能在整个设计寿命期内和预期的工作温度、压力下保持有效的密封性能。

6.5 材料兼容性

所有相邻或接触的不同材料之间应具有良好的化学兼容性和电化学兼容性，避免产生电偶腐蚀、应力腐蚀开裂等可能导致器件早期失效的问题。

6.6 环保与安全要求

选材应符合国内外相关环保法规（如 RoHS、REACH）的要求，禁止使用铅、汞、镉、六价铬等有害物质。

7 制造要求

7.1 总则

芯片及传感器的制造过程应在受控的环境和工艺条件下进行，以确保产品性能的一致性、可靠性和可重复性。制造商应建立并实施一套完整的质量保证体系，对关键工艺步骤、原材料、设备和人员进行严格控制与记录。

7.2 环境与设施

7.2.1 芯片的微纳加工、键合、封装等核心工序应在符合 GB 50472 要求的洁净环境中进行。洁净室等级应根据工艺关键性确定，不宜低于 ISO 7 级，关键区域应达到 ISO 5 级或更高要求。

7.2.2 生产区域应对温度、湿度、振动和静电进行有效监控和控制，其控制范围应符合工艺文件的规定。

7.2.3 生产过程中产生的废水、废气和废料应符合国家及地方环保法规的要求，并进行合规处理。

7.3 关键工艺控制

7.3.1 光刻

光刻应符合下列要求。

- a) 应控制光刻胶的涂覆厚度、均匀性及前烘条件。
- b) 曝光应对准精度、曝光能量和焦距进行监控，确保图形转移的保真度。
- c) 显影后应进行严格的在线检测，检查图形缺陷、钻蚀和残留。

7.3.2 薄膜制备

薄膜制备应符合下列要求。

a) 采用物理气相沉积、化学气相沉积、电镀方法制备的敏感材料薄膜和电极材料薄膜，其厚度、成分、应力、附着力及微观结构应进行严格控制与检测。

b) 薄膜的沉积速率、基底温度、工作气压关键工艺参数应有明确的工艺规范并保持稳定。

7.3.3 刻蚀

刻蚀应符合下列要求。

a) 湿法刻蚀应控制刻蚀液的浓度、温度和刻蚀时间，确保各向异性刻蚀的均匀性和一致性。

b) 反应离子刻蚀、电感耦合等离子体干法刻蚀应控制射频功率、气体流量、腔室压力参数，确保刻蚀的各向异性、选择比和侧壁形貌符合设计要求。

7.3.4 微加工与释放

微加工与释放应符合下列要求。

a) 用于制造微梁、悬臂梁、薄膜微结构的牺牲层腐蚀释放工艺应彻底，避免结构粘连。

b) 应控制临界点干燥过程的参数，防止微结构因表面张力而坍塌或损坏。

7.3.5 互连与键合

互连与键合应符合下列要求。

a) 金丝球焊、超声焊引线键合和倒装焊应控制键合压力、功率、时间和温度，确保键合点的拉力和剪切力满足可靠性要求。

b) 阳极键合、共晶键合、玻璃粉键合等晶圆级键合应控制键合环境的洁净度、温度曲线和压力，确保键合界面的密封性和强度。

7.4 封装工艺

7.4.1 对敏感芯片和引线应进行内封装保护，宜采用涂覆凝胶或专用封装胶的方法，其材料应具备优异的耐化学腐蚀性和电气绝缘性，涂覆过程不应引入气泡或应力。

7.4.2 外壳封装

外壳封装应符合下列要求。

a) 外壳与基座、电缆接口处的焊接或激光密封应保证焊缝连续、无虚焊、无裂纹，密封性符合本文件第 6 章的要求。

b) 采用螺纹、法兰等机械式密封结构时，其紧固力矩应符合设计文件规定，并使用合格的密封件。

7.4.3 对于需要灌封的传感器，灌封材料应在真空环境下进行以排除气泡，并按照材料供应商提供的工艺要求进行固化，确保填充饱满、无缺陷。

7.5 标识与可追溯性

7.5.1 应在芯片基板或传感器外壳的显著位置进行永久性标识,内容包括但不限于产品型号、批号、序列号、制造商标识。

7.5.2 应建立并维护产品的全流程可追溯系统,流程包括原材料、晶圆批号、关键工艺参数、最终产品,记录保存期限应不少于产品的设计寿命。

8 测试要求

8.1 试验条件

8.1.1 芯片及传感器的测试应包括外观和结构检查、电气性能测试、传感器性能测试、环境适应性试验、电磁兼容性(EMC)试验、外壳防护等级试验以及长期稳定性与寿命试验。

8.1.2 除环境适应性试验、长期稳定性与寿命试验和特殊规定外,所有试验应在下述标准试验大气条件下进行,环境温度 $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$;相对湿度 $60\% \pm 5\%$;大气压力 $86\text{ kPa} \sim 106\text{ kPa}$ 。

8.1.3 被测传感器应在 8.1.2 规定的条件下稳定至少 1h,测试所用仪器、仪表的准确度等级应优于被测参数要求精度一个数量级或三倍以上。

8.2 外观和结构检查

8.2.1 在正常光照条件下,采用目视法和手感法检查。

8.2.2 产品外观应符合 4.1 的要求,使用螺纹量规等工具检查机械接口尺寸是否符合设计图纸。

8.3 电气性能测试

8.3.1 使用直流稳压电源和高精度数字万用表,在额定电压下测量传感器的工作电流,计算静态和最大工作功耗。

8.3.2 输出信号测试

输出信号测试按下列方法。

- a) 模拟输出应给传感器施加零点和量程点的标准模拟量,测量其输出电流或电压值,计算误差。
- b) 数字输出应通过 RS-485 等通信接口读取传感器数据,验证通信协议、数据帧格式及数据准确性。

8.4 传感性能测试

8.4.1 一致性测试宜将传感器与经更高等级计量标准器校准的参考传感器一同置于标准腐蚀试验溶液中,宜选用按 ASTM G31 规定配制的 3.5wt% 氯化钠溶液,在恒温条件下,连续测量至少 3 次,记录传感器输出值。

8.4.2 重复性测试宜在流动的试验装置中,使被测介质的浓度发生阶跃变化,用数据采集记录仪记录传感器从初始值达到稳定值 90%所需的时间,重复测量 3 次取平均值。

8.5 环境适应性试验

8.5.1 高温工作试验按 GB/T 2423.2 中“试验 Bb”的规定进行。

8.5.2 低温工作试验按 GB/T 2423.1 中“试验 Ab”的规定进行。

8.5.3 恒定湿热试验按 GB/T 2423.3 “试验 Cab”的规定进行。

8.5.4 盐雾试验按 GB/T 2423.17 “试验 Ka”的规定进行。

8.5.5 振动试验按 GB/T 2423.10 “试验 Fc”的规定进行。

8.6 电磁兼容性 (EMC) 试验

8.6.1 静电放电抗扰度试验按 GB/T 17626.2 的规定进行。

8.6.2 射频电磁场辐射抗扰度试验按 GB/T 17626.3 的规定进行。

8.7 外壳防护等级试验

按 GB/T 4208 的规定进行。

8.8 长期稳定性与寿命试验

8.8.1 将传感器置于加速腐蚀环境或实际工况环境中,连续或间歇通电运行,每 24h 在标准条件下测试其性能参数,记录输出信号的漂移量。

8.8.2 总试验时间应不少于 1000h,以评估其长期稳定性和工作寿命。

附录 A

(规范性)

腐蚀速率计算方法示例

A.1 总则

本附录提供了基于电化学原理的 MEMS 腐蚀芯片计算腐蚀速率的通用方法示例。其他原理（如电阻法、质量损失法）的计算方法应由制造商在产品技术说明书中详细规定。

A.2 基于电偶电流法的计算

根据电偶电流 I_{galv} 计算碳钢腐蚀速率 v_1 ，计算按公式(A.1)。

$$v_1 = \frac{I_{galv} \cdot M}{n \cdot F \cdot A \cdot \rho} \quad (\text{A.1})$$

式中：

M——Fe 摩尔质量，M=55.85g/mol；

n——Fe²⁺氧化电子数，n=2；

F——法拉第常数，F=96485C/mol；

A——面积，单位为平方毫米（mm²）；

ρ——密度，ρ=7.87 g/cm³。

根据电化学工作站测试同条件的碳钢腐蚀速率 v_2 ，计算按公式(A.2)。

$$v_2 = \frac{i_{corr} \cdot M}{n \cdot F \cdot A \cdot \rho} \quad (\text{A.2})$$

式中：

M——Fe 摩尔质量，M=55.85g/mol；

n——Fe²⁺氧化电子数，n=2；

F——法拉第常数，F=96485C/mol；

A——面积，单位为平方毫米（mm²）；

ρ——密度，ρ=7.87 g/cm³。

附录 B

(资料性)

MEMS 材料腐蚀芯片及传感器的工作原理

B.1 电化学电阻探针原理

电化学电阻探针是指利用电阻测量原理测量被测电极的电阻值，当电阻电极因发生电化学腐蚀减薄时，其电阻会发生相应的变化，根据电阻变化对金属电极的减薄进行标定，进而检测材料腐蚀速率。

B.2 电化学电偶探针原理

电化学电偶探针是指利用双电极体系在腐蚀环境下腐蚀电位存在电势差的原理，利用电流采集设备，将待测电极材料与参比电极之间的腐蚀电流进行采集，并通过相关标定试验，将两者之间的腐蚀电流转化为材料的腐蚀速率。

B.3 电化学极化原理

采用三电极体系，对工作电极施加一定的电位，并对电位以一定的频率和步长进行扫描，并收集相应的电流信息，通过绘制电位-电流图，并利用塔菲尔定律，拟合出腐蚀电流，并根据法拉第定律换算成材料的腐蚀速率。

B.4 电化学交流阻抗原理

采用三电极体系，对工作电极施加一定频率的交流扰动电位，测量不同频率下施加扰动电位与电流值之间的相位差和大小，通过电路的拟合，绘制交流阻抗谱，由电极系统的响应与扰动信号之间的关系得到的电极阻抗，推测电极的等效电路，进而可以分析电极系统所包含的动力学过程及其机理，由等效电路中有关元件的参数值估算电极系统的动力学参数，如电极双电层电容，电荷转移过程的反应电阻，扩散传质过程参数等。

B.5 电化学噪声原理

采用双电极体系，在恒电位或恒电流下测量金属试件由于腐蚀产生电化学噪声时的电流或电位的波动，通过对波动信号的频域和时域进行分析，甄别腐蚀前期如点蚀发生时可通过电化学噪声测量，并预测孔蚀发生的倾向。

B.6 电化学阵列电极原理

采用阵列电极传感器，并利用多个电极并联或者串联在一起，形成一个整体，每个电极都是一个独立的电化学单元，共同组成一个电化学反应系统。每个电位都有自己的电位，通过控制电位，实现电化学反应的控制和调节。

B.7 石英晶体微天平原理

利用石英晶体的压电效应，将石英晶体电极表面质量变化转化为石英晶体振荡电路输出电信号的频率变化。当石英晶体振荡片的机械振动产生交变电场时，电路的振荡频率等于石英晶体振荡片的谐振频率。通过主机将测得的谐振频率收集并转化为电信号输出，从而实现对质量变化的检测。