



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

微机电系统（MEMS）技术 传感器用MEMS压 电薄膜的环境试验方法

Micro-electromechanical systems (MEMS) technology - Environmental test
methods of MEMS piezoelectric thin films for sensor application

(送审稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 试验流程	1
4.1 概述	1
4.2 初始测量	2
4.3 试验	2
4.4 后处理	2
4.5 最终测量	2
5 环境和介质耐电压试验	3
5.1 环境试验	3
5.2 介质耐电压试验	6
附录 A （规范性） 测试结果报告	8
参 考 文 献	11

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2020 给出的规则起草。

本标准采用翻译法等同采用 IEC 62047-37:2020 《Semiconductor devices - Micro-electromechanical devices - Part 37: Environmental test methods of MEMS piezoelectric thin films for sensor application》。

本标准对 IEC 62047-37:2020 做了以下编辑性修改：

——为与现有标准协调，将标准名称改为《微机电系统(MEMS)技术 传感器用MEMS压电薄膜的环境试验方法》。

——删除了国际标准的前言；

——修正了公式编号、公式符号，使各公式能够正确对应文字描述内容；

——修正了图片编号、图片中的符号与文字，使各图片能够正确对应文字描述内容；

——修正了表格内容错误，使文本表达与附录A的内容相对应；

——更改了语言表达方式，使之符合中文表达习惯，易于理解。

本标准由全国微机电技术标准化技术委员会提出并归口。

本标准起草单位：XXXX、XXXXX。

本标准主要起草人：XXXX、XXXXX。

微机电系统（MEMS）技术 传感器用 MEMS 压电薄膜的环境试验方法

1 范围

本文件规定了在环境应力(温度和湿度)、机械应力和应变下,评估MEMS压电薄膜材料耐久性的试验方法,以及用于质量评估的试验条件。本文件具体规定了在温度、湿度条件和外加电压下测量被测器件耐久性的试验方法和试验条件。

本文件适用于评估MEMS压电薄膜材料的耐久性和质量,也适用于评估在硅衬底上形成的压电薄膜的正压电性能,例如用作声学传感器或悬臂式传感器的压电薄膜。

本文件不包括可靠性评估,如基于威布尔分布预测压电薄膜寿命的方法。

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。

IEC 62047-30 半导体器件-微机电器件 第30部分: MEMS压电薄膜机电转换特性的测量方法 (Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices –Part 30: Measurement methods of electro-mechanical conversion characteristics of MEMS piezoelectric thin film)

3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

4 试验流程

4.1 概述

通过测量在施加温度和湿度环境应力前后被测器件的压电性能来评价其退化程度。图1为试验过程的基本流程。

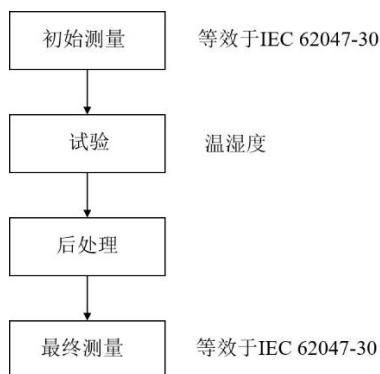


图1 试验流程

4.2 初始测量

环境试验中使用的测量方法应符合IEC 62047-30中描述的方法。测量的环境条件应符合：

- 环境温度：25℃±3℃；
- 相对湿度：45%~75%；
- 大气压：86kPa~106kPa。

4.3 试验

4.3.1 被测器件的试验设置和环境条件

对于需要被测器件连续运行工作的试验，将被测器件放置在一个能调整到规定的温度和湿度条件的试验台上。对试验条件进行监测，以确保试验箱环境达到规定条件时不会出现异常。

对于不需要被测器件连续运行工作的试验，可以将被测器件放置在一个试验台上，该试验台可以放置在试验箱中，也可以不放置在试验箱中。

在以上试验中，存放和移动被测器件和试验台时，操作人员应确保：

- 水不会滴到被测器件上；
- 被测器件不会直接浸入水中。

4.3.2 试验持续时间

试验持续时间在5.1.1到5.1.7中描述。

4.3.3 试验次数和被测器件数量

试验次数和被测器件数量的规格要求应考虑每次试验中的失效机理、失效分布和其他预期因素。如需要进行中间测量，可按照下列时间表进行：

- 24h (+8h, -0h)；
- 48h (+8h, -0h)；
- 96h (+8h, -0h)；
- 168h (+8h, -0h)；
- 480h (+72h, -0h)。

试验持续时间应扣除取出被测器件和进行中间测量所需要的时间。

4.4 后处理

在试验完成后，首先停止施加的机械应力应变或振动，然后将被测器件从试验箱中取出并返回到标准条件下。但这不适用于在测试温度下停止施加的机械应力应变或振动后，被测器件明显从退化状态恢复的情况。

4.5 最终测量

温湿度环境试验中使用的测量方法应符合IEC 62047-30的规定。通过比较最终测量值和初始测量值来评估被测器件的退化程度。试验的环境条件应符合：

- 环境温度：25℃±3℃；
- 相对湿度：45%~75%；
- 大气压：86kPa~106kPa。

一般情况下，在确保被测器件表面干燥后，应在环境试验后的48h内进行最终测量。在进行最终测量前的中间测量时，应将被测器件在取出进行测量后的96h内放回试验箱。宜在对被测器件停止施加电压后的96h内完成最终测量。

5 环境和介质耐电压试验

5.1 环境试验

5.1.1 概述

试验中使用的设备包括：

- 一种能够保持预定试验温度、湿度和允许温度、湿度试验的试验箱或试验室；
- 振荡器或外部致动器，用于产生所述单压电晶片梁的预定偏转；
- 一种具有能够承受试验温度和湿度、能产生机械应力和应变或振动的设备。

在试验过程中，试验箱应能够保持其整个内部在设定的温度误差 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 和设定的相对湿度误差 $\pm 5\%$ 。所施加的机械应力和应变，以及制定操作方法时应考虑到被测器件的极限。为维持被测器件合适的运行状态，应用电路应考虑到负载条件和其他因素。

注1：被测器件的退化程度是通过测量被测器件在施加温度和湿度环境应力前后的压电性能来评价的。

注2：被测器件的退化程度是采用IEC 62047-30中的测量方法来评估的。

注3：设计一种用于同时测试多个被测器件的测试电路，使一个被测器件在测试期间的故障不会影响到另一个被测器件的测试。

5.1.2 高温影响试验

用于评估MEMS压电薄膜在高温下的工作能力。在高温下对压电薄膜施加机械应力和应变(梁弯曲变形)，以评估这些条件在长时间内造成的影响。应根据传感器的预期应用，确定被测器件的测量参数，包括振动模式(谐振模式或非谐振模式)、输入波形、频率等。

应采用以下试验条件：

- 试验温度： $\geq 85^{\circ}\text{C}$ ；
- 试验时间： $\geq 96\text{h}$ 。

本试验结果的示例见附录A。

注1：样品试验温度能包括 85°C 、 105°C 和 125°C ；

注2：样品试验持续时间能包括96h、480h和960h。

5.1.3 高温高湿影响试验

用于评估MEMS压电薄膜在高温高湿条件下的工作能力。在高温和高湿条件下对压电薄膜施加机械应力和应变(梁弯曲变形)，以评估这些条件在长时间内造成的影响。应根据传感器的预期应用，确定被测器件的测量参数，包括振动模式(谐振模式或非谐振模式)、输入波形、频率等。

表1为可选择的试验条件。

表1 可选择的试验条件

条件	温度($^{\circ}\text{C}$)	相对湿度(%)
A	40 ± 2	90 ± 5
B	60 ± 2	90 ± 5
C	85 ± 2	85 ± 5

试验参数应确定如下：

- 试验应变：弯曲梁作用下压电薄膜的最大应变(操作最大值)；
- 试验时间：≥96h。

注：样品试验持续时间能包括96h、480h和960h。

5.1.4 高温贮存

用于评估MEMS压电薄膜在高温条件下的贮存能力。压电薄膜在高温下保持较长时间，以评估这些条件产生的影响。

应采用以下试验条件：

- 试验温度：≥85℃；
- 试验时间：≥96h。

注1：样品试验温度能包括85℃、105℃和125℃。

注2：样品试验持续时间能包括96h、480h和960h。

5.1.5 低温贮存

用于评估MEMS压电薄膜在低温条件下的贮存能力。压电薄膜在低温下保持较长时间，以评估这些条件产生的影响。

应采用以下试验条件：

- 试验温度：≤-20℃；
- 试验时间：≥96h。

注：样品试验持续时间能包括96h、480h和960h。

5.1.6 高温高湿贮存

用于评估MEMS压电薄膜在高温高湿条件下的贮存能力。压电薄膜在高温高湿条件下保持较长时间，以评估这些条件产生的影响。表2为可选择的试验条件。

表2 可选择的试验条件

条件	温度(℃)	相对湿度(%)
A	40±2	90±5
B	60±2	90±5
C	85±2	85±5

试验参数应确定如下：

- 试验时间：≥96h。

注：样品试验持续时间能包括96h、480h和960h。

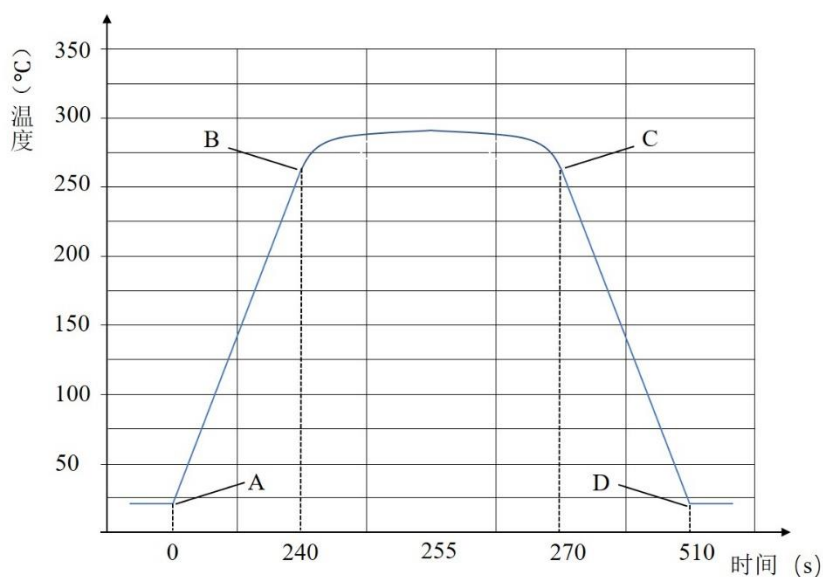
5.1.7 焊接热试验

用于评估焊接过程中产生的热对MEMS压电薄膜的影响。回流焊焊接所需的温度和时间见表3。

表3 焊接热试验条件

	规定温度(℃)	保温时间(s)
试验条件	265±5	30±5

图2为一个无铅焊料回流条件下的温度分布图。在D点之后，被测器件的性能测试宜在室温下进行，测试最多可重复三次，每次持续时间为10秒。



标引序号说明:

- A ——开始加热;
- B ——完成加热;
- C ——开始冷却;
- D ——完成冷却。

图2 无铅焊料回流焊的温度分布图

表4为无铅焊料回流焊的温度分布情况。

表4 无铅焊料回流焊的温度分布条件

	时间 (s)	斜率 (°C/s)	温度 (°C)
A	0		20
B	240		265
C	270		265
D	510		20
A-B		1.02	
C-D		1.02	

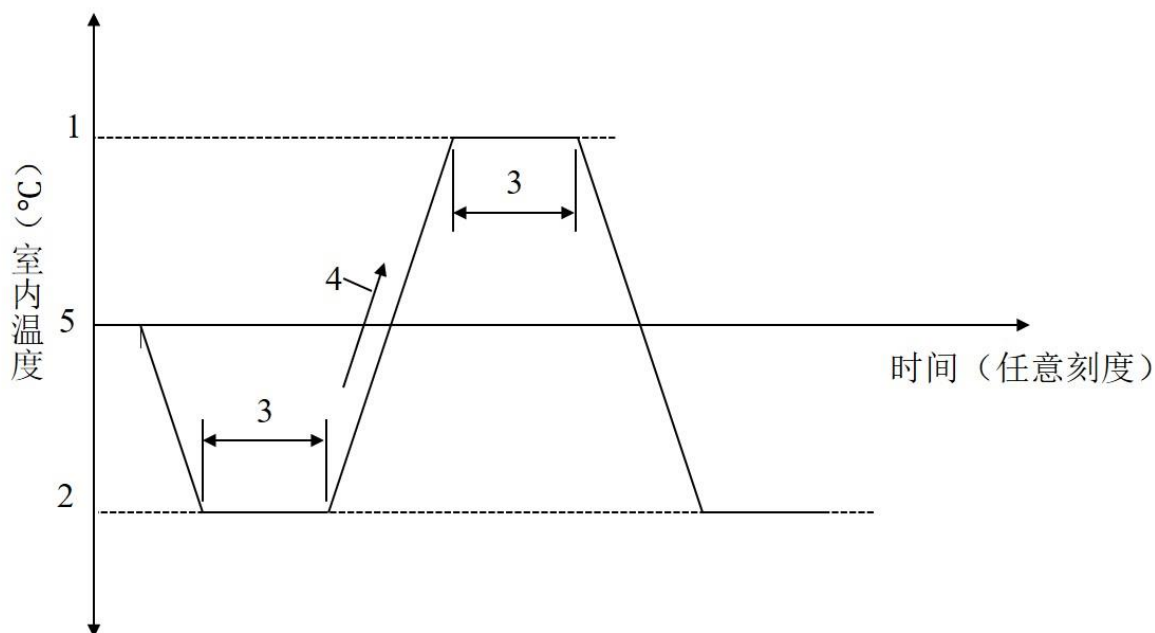
5.1.8 温度循环试验

用于评估MEMS压电薄膜在极限高温和极限低温之间循环的耐受性。采用IEC 60068-2-14:2009第8条以及GB/T 2423.22-2012第八条规定的试验方法（试验Nb：规定变化速率的温度变化）。

一个试验循环如下：

- 试验箱的温度以规定的下降速率 R 降低到低温 T_A ；
- 内部温度稳定后，被测器件在低温下暴露指定时间 t_1 ；
- 试验箱的温度以规定的上升速率 R 升高到高温 T_B ；
- 内部温度稳定后，被测器件在高温下暴露指定时间 t_1 ；
- 然后将试验箱中的温度以规定的速率降低到 $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 。

图3是温度循环试验的温度曲线。测试宜在加热或冷却过程后在室温下进行。试验连续重复N次。



标引序号说明：

- 1 ——高温 T_B : 85°C (+15, -0) ;
- 2 ——低温 T_A : -20°C (+0, -10) ;
- 3 ——高温或低温持续时间 t_1 : $\geq 1\text{h}$;
- 4 ——上升或下降速率 R : $100^{\circ}\text{C}/\text{h}$;
- 5 ——室温 T_R : 20°C (+10, -10) 。

注：循环次数是任意的。

图3 温度循环试验的温度曲线

5.2 介质耐电压试验

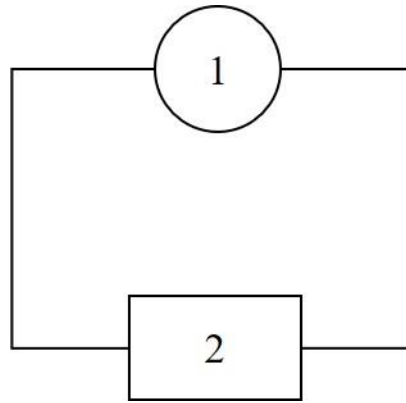
用于评估MEMS压电薄膜对超过额定电压的耐受性。应考虑被测器件的限制来确定所施加的电压和操作方法。在电场强度 $100\text{kV}/\text{cm}$ 下测试顶部和底部电极之间的初始漏电流，提高电压，当漏电流增加到初始漏电流的 10^3 倍时，确定其耐压值，同时应给出下列试验参数和结果：

- 电极（材料、尺寸、形状、厚度）；
- 输入波形和/或施加电压的增加比率；
- 施加电压的极性（顶部电极上的正极或负极）；
- I-V 曲线；
- 耐压试验后的电极照片；
- 试验温度和湿度。

示例：电压上升率设为 $2\text{V}/\text{s}$ ，规定电压值设为额定电压的1.2倍，规定时间设为60s。

设计一种用于同时测试多个被测器件的测试电路，使一个被测器件在测试期间的故障不会影响到另一个被测器件的测试。

图4为直流电压的耐压测试电路。



标引序号说明：

1 ——带有可变直流电压源和电压表的泄漏电流测试仪；

2 ——被测器件。

图4 直流电压耐压测试电路示例

附 录 A
(规范性)
测试结果报告

A.1 概述

给出了压电薄膜环境试验的一个例子。A.2总结了高温影响试验的流程和测量结果。

A.2 高温影响试验

以下步骤为高温影响试验的测量流程示例。正压电测量使用如图A.1所示的三点弯曲系统进行。该试验方法可以推导出与IEC 62047-30中描述的相同的 $e_{31,f}^d$ 压电系数。

- a) 样品是通过溶胶-凝胶工艺沉积的 2 μm 厚的 PZT 压电薄膜；
- b) 试样是(100)单晶硅衬底的 625 μm 厚的单晶梁；
- c) 顶部和底部铂电极的厚度分别为 0.2 μm 和 0.05 μm ；
- d) 沿<110>晶向将样品切割成 40mm 长和 2mm 宽的梁形状；
- e) 用三角形夹具夹住单晶梁的两端；
- f) 激振器的顶端放置在梁的固定部件中心，通过激振器施加振动使得梁弯曲变形；
- g) 由激光多普勒振动计测量振动幅度；
- h) PZT 薄膜上的最大应力 S 用以下公式计算：

$$S_1 = \frac{Ph_s l_0}{2EI} = \frac{6h_s}{l_0^2} u \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

- P ——载荷；
- h_s ——厚度；
- l_0 ——固定部件长度；
- u ——变形量；
- E ——硅的杨氏模量；
- I ——面积惯性矩。

- i) 压电系数 $e_{31,f}$ 由下式定义：

$$e_{31,f} = \frac{d_{31}}{s_{11}^E + s_{12}^E} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

- d_{31} ——横向压电系数；
 - s_{11}^E 、 s_{12}^E ——压电薄膜在恒定电场下的弹性柔量。
- 其中，为了阐明从正压电效应导出的压电系数，压电系数 $e_{31,f}$ 写成 $e_{31,f}^d$ 。

- j) $e_{31,f}^d$ 的正压电系数由下式计算：

$$e_{31,f}^d = \frac{l_0^3}{3(1-\nu_s)(2l_0-l_1)l_1 h_s W} Q \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

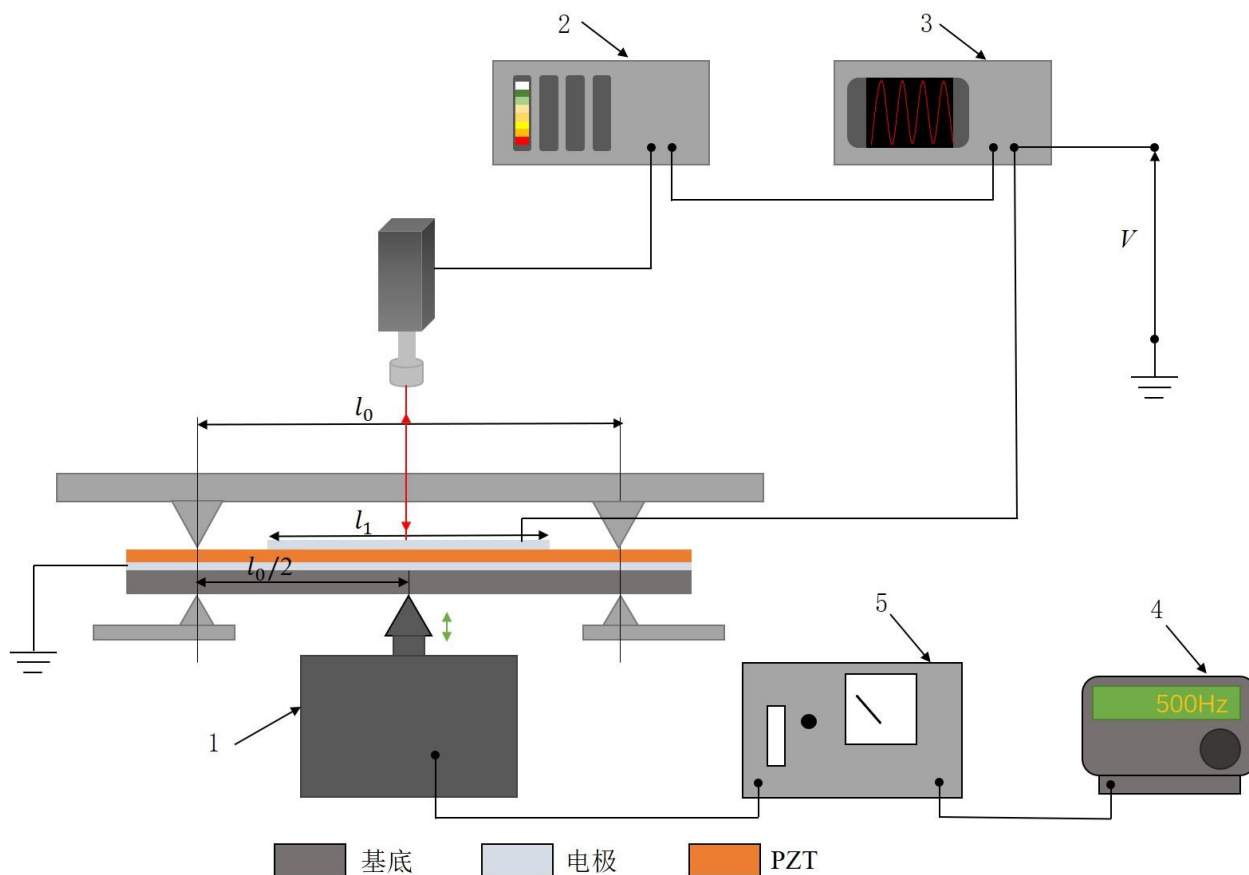
- l_1 ——电极长度；
- W ——梁宽度；

ν_s ——硅的泊松比；

Q ——产生的电荷。

用于该等式的测试条件示例如表A. 1所示。

k) 影响温度为 23℃ 和 100℃ 的环境试验结果见表 A. 2。



标引序号说明：

- 1——激振器；
- 2——激光多普勒振动计；
- 3——示波器；
- 4——函数发生器；
- 5——功率放大器。

图A. 1 正压电系数的测量装置

表A. 1 高温影响试验的测试条件示例

参数	数值
最大应变 S_1	8.3×10^{-5}
PZT 厚度	2 μm
硅厚度 h_s	625 μm
梁宽度 W	2mm
梁固定部件长度 l_0	15mm

表A.1 高温影响试验的测试条件示例（续）

参数	数值
电极长度 l_1	10mm
变形量 u	5 μ m
振动频率	500Hz

表A.2 高温影响试验（23°C和 100°C）

温度：23°C	时间（h）	0	1	10	24
	$ e_{31,f}^d (C/m^2)$	5.4	3.5	2.7	2.4
温度：100°C	时间（h）	0	1	10	24
	$ e_{31,f}^d (C/m^2)$	5.5	2.9	2	1.7

参 考 文 献

- [1] IEC 60068-2-14:2009 Environmental testing – Part 2-14: Tests – Test N: Change of temperature
- [2] IEC 60068-2-58 Environmental testing – Part 2-58: Tests – Test Td: Test methods for solderability, resistance to dissolution of metallization and to soldering heat of surface mounting devices (SMD)
- [3] IEC 60384-1 Fixed capacitors for use in electronic equipment – Part 1: Generic specification
-