



中华人民共和国国家标准

GB/T 42709.12—2026/IEC 62047-12:2011

半导体器件 微电子机械器件 第 12 部分：采用 MEMS 结构谐振法的 薄膜材料弯曲疲劳试验方法

Semiconductor devices—Micro-electromechanical devices—
Part 12: Bending fatigue testing method of thin film materials using resonant
vibration of MEMS structures

(IEC 62047-12: 2011, IDT)

2026-07-30 发布

2027-02-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 试验设备 2

 4.1 通则 2

 4.2 驱动器 2

 4.3 检测器 2

 4.4 控制器 3

 4.5 记录器 3

 4.6 并行测试 3

5 试样 3

 5.1 通则 3

 5.2 谐振特性 3

 5.3 试验部位 3

 5.4 试样制备 3

6 试验条件 4

 6.1 试验振幅 4

 6.2 载荷比 4

 6.3 振动频率 4

 6.4 波形 4

 6.5 试验时间 4

 6.6 试验环境 4

7 初始测量 4

 7.1 参考强度测量 4

 7.2 频率响应测试 5

8 试验程序 5

 8.1 通则 5

 8.2 加载初始负载 5

 8.3 过程监测 5

 8.4 计算循环次数 5

 8.5 终止试验判定 5

 8.6 记录数据 6

9 试验报告 6

附录 A (资料性) 集成驱动和位移检测结构的静电器件的试验示例 8

 A.1 试样 8

 A.2 试验设备 9

 A.3 试验条件 9

 A.4 初始测试 10

附录 B (资料性) 采用外部驱动和集成位移检测应变计器件的试验示例 11

 B.1 试样 11

 B.2 试验设备 11

 B.3 试验条件 12

 B.4 初始测试 12

附录 C (资料性) 外部电磁驱动的离面振动试验示例 13

 C.1 试样 13

 C.2 试验设备 14

 C.3 初始测试 14

附录 D (资料性) 基于帕里斯(Paris)定律和威布尔(Weibull)分布的脆性材料疲劳寿命理论计算 ... 15

 D.1 应力和疲劳寿命的关系 15

 D.2 疲劳寿命分布 15

 D.3 初始负载效应 16

附录 E (资料性) 分析实例 18

 E.1 硅的疲劳试验结果 18

 E.2 S-N 曲线拟合 19

 E.3 多晶硅的疲劳寿命预测 19

参考文献 20

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 GB/T 42709《半导体器件 微电子机械器件》的第12部分。GB/T 42709 已经发布了以下部分：

- 第2部分：薄膜材料拉伸试验方法；
- 第3部分：拉伸试验用薄膜标准试验片；
- 第5部分：射频 MEMS 开关；
- 第6部分：薄膜材料轴向疲劳试验方法；
- 第7部分：用于射频控制和选择的 MEMS 体声波滤波器和双工器；
- 第8部分：带状薄膜拉伸特性测量的弯曲试验方法；
- 第12部分：采用 MEMS 结构谐振法的薄膜材料弯曲疲劳试验方法；
- 第19部分：电子罗盘；
- 第21部分：MEMS 薄膜材料泊松比测试方法；
- 第22部分：柔性衬底导电薄膜机电拉伸测试方法；
- 第29部分：室温下悬空导电薄膜的机电松弛试验方法；
- 第35部分：柔性 MEMS 器件弯曲形变下的电特性测试方法；
- 第36部分：MEMS 压电薄膜的环境及介电耐压试验方法；
- 第38部分：MEMS 互连中金属粉末膏体粘附强度测试方法；
- 第40部分：MEMS 惯性冲击开关阈值测试方法。

本文件等同采用 IEC 62047-12:2011《半导体器件 微电子机械器件 第12部分：采用 MEMS 结构谐振法的薄膜材料弯曲疲劳试验方法》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

- 图1、图A.2、图B.2、图C.2的标引序号说明放入了图中。

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。

本文件由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本文件由全国集成电路标准化技术委员会(SAC/TC 599)和全国微机电技术标准化技术委员会(SAC/TC 336)共同归口。

本文件起草单位：杭州大立微电子有限公司、东南大学、中国电子技术标准化研究院、浙江大立科技股份有限公司、中国科学院微电子研究所、工业和信息化部电子第五研究所、国科大杭州高等研究院、中国科学院上海微系统与信息技术研究所、中国计量大学、复旦大学义乌研究院。

本文件主要起草人：姜利军、刘翔、王磊、刘若冰、朱晓荣、钱良山、钱剑、池积光、潘峰、刘海涛、马志刚、焦斌斌、陈勇国、李春来、刘世界、唐国良、罗雯雯、肖克来提、陈亮、李方浩、康永印、董蕾。

引 言

GB/T 42709《半导体器件 微电子机械器件》拟由以下部分构成。

- 第 2 部分:薄膜材料拉伸试验方法。目的在于规定 MEMS 薄膜材料的拉伸试验方法。
- 第 3 部分:拉伸试验用薄膜标准试验片。目的在于规定 MEMS 薄膜材料拉伸试验用试验片的相关要求。
- 第 5 部分:射频 MEMS 开关。目的在于规定射频 MEMS 开关的术语和定义、特性要求、测试方法等。
- 第 6 部分:薄膜材料轴向疲劳试验方法。目的在于规定 MEMS 薄膜材料的轴向疲劳试验方法。
- 第 7 部分:用于射频控制和选择的 MEMS 体声波滤波器和双工器。目的在于规定 MEMS 体声波谐振器、滤波器和双工器的术语和定义、特性要求、测试方法等。
- 第 8 部分:带状薄膜拉伸特性测量的弯曲试验方法。目的在于规定用于测量带状薄膜拉伸特性的弯曲试验方法。
- 第 9 部分:晶圆间键合强度测量。目的在于规定 MEMS 晶圆的键合强度试验方法。
- 第 11 部分:悬空微电子机械系统材料的线性热膨胀系数测试方法。目的在于规定悬空 MEMS 材料的线性热膨胀系数测试方法。
- 第 12 部分:采用 MEMS 结构谐振法的薄膜材料弯曲疲劳试验方法。目的在于规定 MEMS 薄膜材料弯曲疲劳试验方法。
- 第 13 部分:MEMS 结构粘结强度的弯曲和剪切试验方法。目的在于规定 MEMS 结构的粘附强度试验方法。
- 第 16 部分:MEMS 膜残余应力的晶圆曲率和悬臂梁挠度试验方法。目的在于规定 MEMS 薄膜残余应力的晶圆曲率和悬臂梁挠度两种试验方法。
- 第 19 部分:电子罗盘。目的在于规定电子罗盘的术语和定义、特性要求、测试方法等。
- 第 21 部分:MEMS 薄膜材料泊松比测试方法。目的在于规定 MEMS 薄膜材料的泊松比测试方法。
- 第 22 部分:柔性衬底导电薄膜的机电拉伸测试方法。目的在于规定 MEMS 导电薄膜材料的机电性能拉伸试验方法。
- 第 26 部分:微沟槽和针结构的描述和试验方法。目的在于规定 MEMS 微沟槽和针结构的描述和试验方法。
- 第 27 部分:玻璃浆料键合强度的微型 V 形试验(MCT)测量方法。目的在于规定玻璃熔结结构的粘结强度的 MCT 试验方法。
- 第 29 部分:室温下悬空导电薄膜的机电松弛试验方法。目的在于规定 MEMS 器件的悬空导电薄膜在室温下的机电松弛试验方法。
- 第 32 部分:MEMS 谐振器非线性振动测试方法。目的在于规定 MEMS 谐振器的非线性振动性能测试方法。
- 第 35 部分:柔性 MEMS 器件弯曲变形下的电特性测试方法。目的在于规定柔性机电器件的弯曲变形状态电特性测试方法。
- 第 36 部分:MEMS 压电薄膜的环境及介电耐压试验方法。目的在于规定 MEMS 压电薄膜的环境及介电耐受性能试验方法。

- 第 38 部分:MEMS 互连中金属粉末膏体粘附强度测试方法。目的在于规定 MEMS 互连中金属粉末膏体粘附强度的试验方法。
- 第 40 部分:MEMS 惯性冲击开关阈值测试方法。目的在于规定 MEMS 惯性冲击开关的阈值测试方法。
- 第 44 部分:MEMS 谐振电场敏感器件动态特性测试方法。目的在于规定用于评估和确定 MEMS 谐振电场敏感器件动态性能的术语、定义和测试方法。

半导体器件 微电子机械器件

第 12 部分:采用 MEMS 结构谐振法的 薄膜材料弯曲疲劳试验方法

1 范围

本文件描述了采用 MEMS 结构谐振法的薄膜材料弯曲疲劳的试验方法,采用长度和宽度尺寸都在 $10\ \mu\text{m}\sim 1\ 000\ \mu\text{m}$,厚度在 $1\ \mu\text{m}\sim 100\ \mu\text{m}$ 的谐振微结构,适用于长度和宽度都小于 $1\ \text{mm}$,厚度为 $0.1\ \mu\text{m}\sim 10\ \mu\text{m}$ 的薄膜材料的弯曲疲劳试验。

用于 MEMS 的主要结构的薄膜材料常具有微米级的典型尺寸,采用沉积工艺生长,通过光刻等非机械方式加工。通常 MEMS 结构比非 MEMS 结构具有更高的固有谐振频率和强度,为了评估和确认 MEMS 结构的寿命,需加载高至 10^{12} 次的载荷周期来进行疲劳试验。本文件规定的试验方法,通过高载荷和高频弯曲应力的谐振,在短时间里评估微观尺度材料的机械疲劳特性。

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 42709.3—2026 半导体器件 微电子机械器件 第 3 部分:拉伸试验用薄膜标准试验片 (IEC 62047-3:2006, IDT)

ISO 12107 金属材料 疲劳试验 数据统计方案与分析方法 (Metallic materials—Fatigue testing—Statistical planning and analysis of data)

注: GB/T 24176—2009 金属材料 疲劳试验 数据统计方案与分析方法 (ISO 12107:2003, IDT)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

幅值 amplitude

一个载荷周期中,最大值与最小值的代数差的一半。

3.2

载荷比 load ratio

一个周期中,载荷最大值与最小值的代数比。

3.3

S-N 曲线 S-N curve

应力/应变(S)对循环次数(N)的曲线。

3.4

参考强度 reference strength

静强度或瞬时失效强度。