

T/ZOIA

中关村光电产业协会团体标准

T/ZOIA 3020—2025

半导体磁阻元件技术规范

Technical specification of Semiconductor Magneto Resistive (SMR) Element

目 次

前 言 1

1 范围 2

2 规范性引用文件 2

3 术语和定义 2

4 技术要求 4

 4.1 外观及尺寸 4

 4.2 材料与结构 4

 4.3 封装及材料 5

 4.4 电磁特性 6

 4.5 可靠性 6

5 试验方法 8

 5.1 外观及尺寸 8

 5.2 晶圆 8

 5.3 封装及材料 8

 5.4 电磁特性测试 8

 5.5 可靠性测试 9

6 检验规则 11

7 标志、包装、运输和贮存 12

 7.1 标志 12

 7.2 包装 12

 7.3 运输 12

 7.4 贮存 12

附 录 A （规范性附录） 13

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。

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。

本文件由中国传感器与物联网产业联盟能源专委会提出。

本文件由中关村光电产业协会归口。

本文件起草单位：苏州矩阵光电有限公司、北京智芯微电子科技有限公司、昂赛微电子（上海）有限公司、西安中科阿尔法电子科技有限公司

本文件主要起草人：肖广顺、何渊、朱忻

半导体磁阻元件技术规范

1 范围

本标准规定了半导体磁阻元件技术规范（以下简称“SMR”）术语和定义、技术要求、试验方法、检验规则、标志包装运输和贮存。

本标准适用于半导体磁阻元件的验收、检测及性能实验。

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 2423.22 环境试验 第2部分：试验方法 试验 N：温度变化

IEC 61760-2 Surface Mounting Technology - Part 2: Transportation and Storage Conditions of Surface Mounting Devices (SMD) - Application Guide

J-STD-020 JOINT IPC/JEDEC Standard Moisture/Reflow Sensitivity Classification for Non-hermetic Surface Mount Devices (SMDs)

JESD22-A101 Steady-State Temperature-Humidity Bias Life Test

JESD22-A102D Accelerated Moisture Resistance - Unbiased Autoclave

JESD22-A103 High Temperature Storage Life

JESD22-A104 Temperature Cycling

JESD22-A108 Temperature, Bias, And Operating Life

JESD22-A110 Highly Accelerated Temperature and Humidity Stress Test (HAST)

JESD22-A113 Preconditioning Of Nonhermetic Surface Mount Devices Prior To Reliability Testing

JESD22-A118 Accelerated Moisture Resistance - Unbiased Hast

JESD22-B102E Solderability

JESD47 Stress Test Driven Qualification Of Integrated Circuits

JS-001 Human Body Model(HBM)

JS-002 Charged Device Model(CDM)

3 术语和定义

GB/T 4475 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

半导体磁阻 SMR

当半导体材料处于外加磁场中时，载流子（电子或空穴）受洛伦兹力作用发生运动偏转，导致电流路径变化或散射概率增加，从而引起电阻值的改变，这一现象称为半导体磁阻效应。磁阻效应的强弱与半导体材料本身性质有关（物理磁阻效应），也与材料的几何形状相关（几何磁阻效应），使用半导体材料制备的用于检测磁场的元件被称为半导体磁阻元件（Semiconductor Magneto Resistance, SMR）。

3.2

基底材料

用于承载半导体材料的基底。

3.3

功能层材料

用于产生磁阻效应作用的半导体。

3.4

金属栅格

用于分割半导体材料的金属层，通常使用多条金属层来构建金属栅格。常用于提升SMR初始电阻，也用于构建不同长宽比来放大几何磁阻效应。

3.5

长宽比 L/W

被金属栅格分割后，半导体材料单独区域的长宽比，如图1所示，即 L/W 。

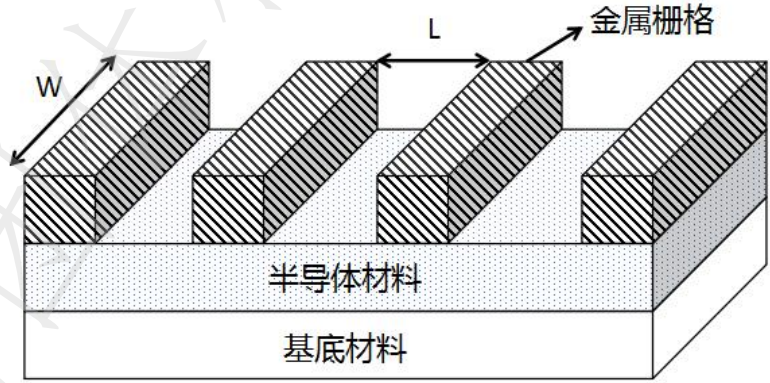


图1. SMR结构示意图

3.6

初始电阻 $R(0)$

在零磁感应强度下，SMR的固有电阻值 $R(0)$ ，国际通用单位为欧姆（符号为 Ω ）。初始电阻的大小直接影响到SMR在电路中的电流和电压特性。

3.7

磁感应电阻 $R(B)$

在一定磁感应强度下，SMR的电阻值 $R(B)$ 。

3.8

磁阻比 $R(B)/R(0)$

在一定磁感应强度下，SMR的磁感应电阻 $R(B)$ 与零磁感应强度下 $R(0)$ 的比值，即 $R(B)/R(0)$ 。磁阻比的大小直接反应了SMR磁阻效应的强弱。

3.9

磁阻变化比 $\Delta R/R(0)$

相较零磁感应强度下，SMR在一定磁感应强度下的电阻变化值 $\Delta R=R(B)-R(0)$ ，与零磁感应强度下 $R(0)$ 的比值，即 $\Delta R/R(0)=(R(B)-R(0))/R(0)$ 。磁阻变化比同样反应了SMR磁阻效应的强弱。

3.10

磁感应电阻-磁感应强度变化曲线 ($R(B)-B$)

随着磁感应强度的变化，磁感应电阻 $R(B)$ 的变化。该曲线反应了SMR在不同磁感应强度下的电阻，其斜率代表了SMR的灵敏度。

3.11

磁阻变化比-磁感应强度变化曲线 ($\Delta R/R(0)-B$)

随着磁感应强度的变化，磁阻变化比 $\Delta R/R(0)$ 的变化。该曲线反应了SMR在不同磁感应强度下的电阻变化情况。

3.12

电阻-温度变化曲线 ($R(0)-T$)

随着工作温度的变化，初始电阻 $R(0)$ 的变化。该曲线反应了SMR本身的半导体材料在不同温度下的电阻变化情况。

3.13

磁阻变化比-温度变化曲线 ($\Delta R/R(0)-T$)

随着工作温度的变化，磁阻变化比 $\Delta R/R(0)$ 的变化。该曲线反应了SMR在不同温度下磁阻效应的强弱。

4 技术要求

4.1 外观及尺寸

外观，应保持清洁、无划伤破损、引脚无氧化生锈；器件型号、生产批次、厂商（产地）等标识的印刷应清晰自然。

尺寸，无特殊要求，应根据应用场景及客户要求确定。

4.2 材料与结构

4.2.1 基底材料

无特殊要求，可采用云母、玻璃、陶瓷、硅片等。

为提升SMR磁阻效应，宜使用具有聚磁性的材料。

4.2.2 功能层材料

应使用具有半导体磁阻效应的材料，且为提升SMR磁阻变化比，宜使用高迁移率的半导体材料，例如InSb、InAs等。如图2所示，功能层材料迁移率越高，SMR磁阻比越大。

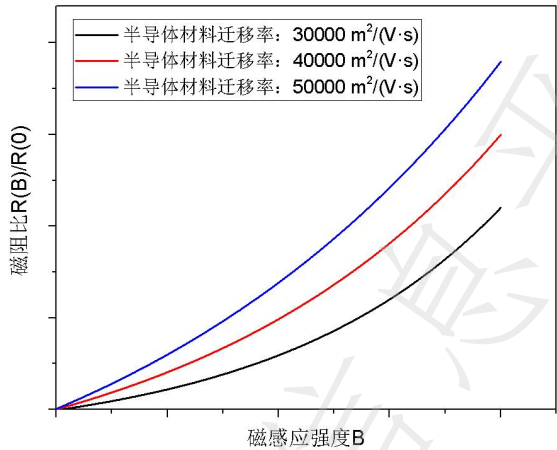


图2. 半导体材料迁移率对SMR磁阻比 $R(B)/R(0)$ 影响

4.2.3 金属栅格材料

应使用金、银、铜等良好导电性导体。

4.2.4 长宽比 L/W

为充分发挥几何磁阻效应，功能区长宽比 L/W 应小于1。如图3所示， L/W 值越低，SMR磁阻变化比越大。

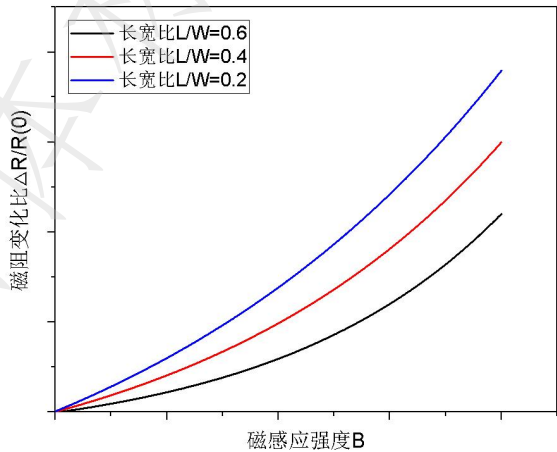


图3. SMR长宽比 L/W 对磁阻变化比 $\Delta R/R(0)$ 影响

4.3 封装及材料

4.3.1 引线

可采用金线、铜线等，应符合相应的产品标准规定。

4.3.2 灌封材料

可采用环氧树脂、硅树脂、聚酰亚胺等塑封材料，应符合相应的产品标准规定。

4.3.3 框架

可采用铜材等，应符合相应的产品标准规定。

4.4 电磁特性

4.4.1 初始电阻 $R(0)$

SMR初始电阻范围 $100\ \Omega \leq R(0) \leq 4000\ \Omega$ 。

4.4.2 磁阻变化比 $\Delta R/R(0)$

磁阻变化比值大小与SMR磁阻效应强弱有关。

$B=0.4\text{T}$ 下，SMR磁阻变化比范围， $\Delta R/R(0) \geq 100\%$ 。

磁阻变化比-磁感应强度变化曲线（ $\Delta R/R(0)-B$ ）

磁感应强度 B 范围， $-1\text{T} \leq B \leq 1\text{T}$ 。

图4为不同磁场强度下InSb-SMR磁阻变化比 $\Delta R/R_0$ ，当 $B < 0.1\text{T}$ 时， R 应与 B^2 成正比；当 $B > 0.1\text{T}$ 时， R 应与 B 成正比。

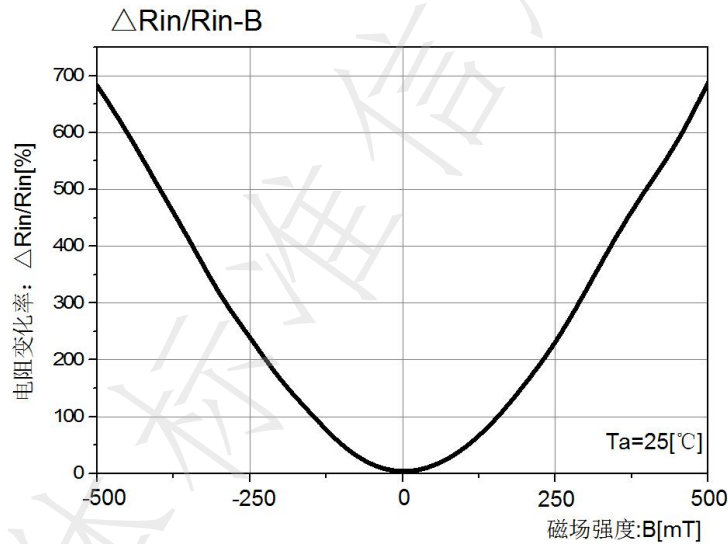


图4. 不同磁场强度下InSb-SMR磁阻变化比 $\Delta R/R_0$

4.4.3 温度 T

SMR工作温度范围， $-40^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ 。

SMR贮存温度范围， $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ 。

4.4.4 电阻-温度变化曲线（ R_0-T ）

曲线线型与半导体材料本身温度特性相关，电阻变化率（ R_0-T ） $< 2\%/^\circ\text{C}$ ， $T=0 \sim 40^\circ\text{C}$ 。

4.4.5 磁阻变化比-温度变化曲线（ $\Delta R/R(0)-T$ ）

曲线线型与半导体材料本身温度特性以及磁阻效应强弱相关，（ $\Delta R/R(0)-T$ ） $< 4\%/^\circ\text{C}$ ， $T=0 \sim 40^\circ\text{C}$ 。

4.5 可靠性

4.5.1 静电放电敏感度等级（ESDS）

人体模式（HBM）静电放电敏感度等级，应达到表1中2级或者更高水平。

表 1. HBM ESDS 元件分级

等级	电压范围 V
0	<250
1A	250~500
1B	500~1000
1C	1000~2000
2	2000~4000
3A	4000~8000
3B	≥8000

4.5.2 潮湿敏感度等级（MSL）

潮湿敏感等级，应达到表2中3级或者更高水平。

表 2. 潮湿敏感度等级（MSL）

等级	车间寿命 Floor life		吸收要求 Soak requirements				
			标准 Standard	加速的等效环境 Accelerated equivalent			
				热活化能 0.40 eV~0.48 eV	热活化能 0.30 eV~0.39 eV	环境	
	时间	环境		时间 h	时间 h		
1	不受限	≤30 °C/85 %RH	168 +5/-0	85 °C/85 %RH	NA	NA	NA
2	365 d	≤30 °C/60 %RH	168 +5/-0	85 °C/60 %RH	NA	NA	NA
2a	28 d	≤30 °C/60 %RH	696 +5/-0	30 °C/60 %RH	120 +5/-0	120 +5/-0	60 °C/60 %RH
3	168 h	≤30 °C/60 %RH	192 +5/-0	30 °C/60 %RH	40 +5/-0	40 +5/-0	60 °C/60 %RH
4	72 h	≤30 °C/60 %RH	96 +5/-0	30 °C/60 %RH	20 +5/-0	20 +5/-0	60 °C/60 %RH
5	48 h	≤30 °C/60 %RH	72 +5/-0	30 °C/60 %RH	15 +5/-0	15 +5/-0	60 °C/60 %RH
5a	24 h	≤30 °C/60 %RH	48 +5/-0	30 °C/60 %RH	10 +5/-0	10 +5/-0	60 °C/60 %RH
6	标签 时间	≤30 °C/60 %RH	标签 时间	30 °C/60 %RH	NA	NA	NA
注 1：车间寿命时间是表示从防潮包装中取出器件到器件通过回流焊处理之间的时间； 注 2：0.40 eV~0.48 eV 栏通常适用于含铅焊料引线的器件； 注 3：0.30 eV~0.39 eV 栏通常适用于无铅焊料引线的器件。							

4.5.3 可焊性试验

试验后镜检，应外观正常、PAD上锡均匀、焊料覆盖面积达到95%以上。

4.5.4 高温蒸煮试验

试验后，取出充分除去表面凝露，在室温下恢复2h~6h进行性能测试，R(0)试验后相较试验前R(0)变化率在±20%以内， $\Delta R/R(0) > 200\%$ (B=0.4T)。

4.5.5 高温存储试验

试验后目视或镜检，外观应无可见损伤；在室温下恢复≥1 h后进行性能测试，R(0)试验后相较试验前R(0)变化率在±20%以内， $\Delta R/R(0) > 200\%$ (B=0.4T)。

4.5.6 低温工作寿命试验

试验后目视或镜检，外观应无可见损伤；在室温下恢复≥1 h后进行性能测试，R(0)试验后相较试验前R(0)变化率在±20%以内， $\Delta R/R(0) > 200\%$ (B=0.4T)。

4.5.7 加速抗湿性无偏置(UHast) 试验

试验后目视或镜检，外观应无可见损伤；在常态下恢复≥1 h后进行性能测试，R(0)试验后相较试验前R(0)变化率在±20%以内， $\Delta R/R(0) > 200\%$ (B=0.4T)。

4.5.8 冷热冲击试验

试验后，取出充分除去表面凝露，在室温下恢复2h~6h进行性能测试，R(0)试验后相较试验前R(0)变化率在±20%以内， $\Delta R/R(0) > 200\%$ (B=0.4T)。

4.5.9 高温工作寿命试验

试验后，取出充分除去表面凝露，在室温下恢复2h~6h进行性能测试，R(0)试验后相较试验前R(0)变化率在±20%以内， $\Delta R/R(0) > 200\%$ (B=0.4T)。

4.5.10 高加速温湿度应力试验 (BHAST)

试验后目视或镜检，外观应无可见损伤；在常态下恢复≥1 h后进行性能测试，R(0)试验后相较试验前R(0)变化率在±20%以内， $\Delta R/R(0) > 200\%$ (B=0.4T)。

5 试验方法

5.1 外观及尺寸

外观检查，可使用立体显微镜或高倍放大镜对SMR表面进行观测。

尺寸检测，可使用图像尺寸测量仪或卡尺进行测量。

试验数据应符合4.1技术要求。

5.2 晶圆

材料，包括基底材料 and 功能层材料、金属栅格使用XRF (X射线荧光光谱分析, X-Ray Fluorescence) 进行材料检测。

长宽比，可使用5~20倍量测显微镜进行检测。

试验数据应符合4.2技术要求。

5.3 封装及材料

引线、灌封材料、框架使用EDS进行材料检测。

试验数据应符合4.3技术要求。

5.4 电磁特性测试

5.4.1 初始电阻 $R(0)$ 测试

在常温无磁环境下，使用万用表对SMR进行电阻测试，测试电流设定为1mA。

将测试结果记录为 $R(0)$ 。

试验数据应符合4.4.1技术要求。

5.4.2 磁阻变化比 $\Delta R/R(0)$ 测试

在常温环境下，将SMR置于电磁场环境中，设定电磁场 $B=0.4T$ 。使用万用表对SMR进行电阻测试，测试电流设定为1mA。

将测试结果记录为 $R(B)$ ，结合5.2.1计算得到 $\Delta R/R(0) = (R(B) - R(0))/R(0)$ 。

试验数据应符合4.4.2技术要求。

5.4.3 磁阻变化比-磁感应强度变化曲线（ $\Delta R/R(0)-B$ ）测试

应根据5.2.2的测试方法，测试SMR在不同磁感应强度 B 下的磁阻变化比 $\Delta R/R(0)$ 。

将测试结果绘制成 $\Delta R/R(0)-B$ 曲线。

试验数据应符合4.4.3技术要求。

5.4.4 电阻-温度变化曲线（ $R(0)-T$ ）测试

在无磁环境下，将SMR置于控温环境中，设定不同温度。使用万用表对SMR进行电阻测试，测试电流设定为1mA。

将测试结果绘制成 $R(0)-T$ 曲线。

试验数据应符合4.4.5技术要求。

5.4.5 磁阻变化比-温度变化曲线（ $\Delta R/R(0)-T$ ）测试

应根据5.2.2及5.2.4的测试方法，测试SMR在不同温度 T 下的磁阻变化比 $\Delta R/R(0)$ 。

将测试结果绘制成 $\Delta R/R(0)-T$ 曲线。

试验数据应符合4.4.6技术要求。

5.5 可靠性测试

5.5.1 静电放电敏感度等级（ESDS）试验

按照JESD 22-A114规定，使用静电放电发生器进行测试。如图5所示，为ESD-HBM模式的典型测试线路；测试点应包括VCC（VDD）、VSS及其它所有的引出端。设置4.5.1规定的电压等级，进行测试。

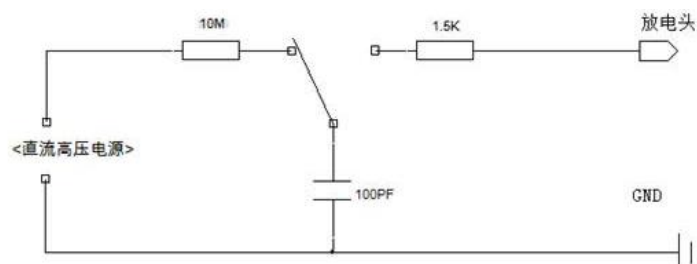


图 5. HBM-ESD 典型测试线路

5.5.2 潮湿敏感度等级（MSL）试验

应使用烘培测试仪测试SMR封装材料中的水汽含量。根据4.5.2潮湿敏感度等级，按表2中对应的吸收要求进行潮气吸收（吸收前器件应在125~130℃温度条件下烘烤24 h），吸收周期结束后进行3次回流焊，回流焊温度与时间关系应按J-STD-020规定的要求设定。

5.5.3 可焊性试验

通孔插装(THT)的SMR，参照要求JESD22-B102E Solderability，试验前加助焊剂。待焊槽温度稳定在250℃，将器件引出端在槽内保持2s（大热容量器件可要求保持时间5s）。

表面贴装(SMT)的SMR，试验前加助焊剂，焊槽温度稳定在250℃。若器件有引脚引出的贴片器件，则将引脚浸入焊槽内保持2s；若器件无引脚引出，则将器件焊盘全部浸入焊槽内保持2s。

5.5.4 高温蒸煮试验

实验流程参考JESD22-A102。试验条件设定：温度（121+/-2）℃；湿度100% RH；蒸气压29.7 Psia/205kPa；时间96（-0，+5）hours。

5.5.5 高温存储试验

参照标准 JESD22-A108。在4.4.4上限贮存温度条件下放置1000 h。

5.5.6 低温工作寿命试验

参照标准 JESD47。在4.4.4下限贮存温度条件下放置 1000 h。

5.5.7 加速抗湿性无偏置(UHast) 试验

参照标准 JESD22-A118。在温度 110±2℃、湿度 85%±5%RH 环境条件下放置 264 h。

5.5.8 冷热冲击试验

按照 GB/T 2423.22-2012 中 7.2 的规定，在下列条件下进行：

- a) 传感器处在非工作状态；
- b) 低温：按产品技术条件或详细规范的规定，选取贮存温度的最低值；
- c) 高温：按产品技术条件或详细规范的规定，选取贮存温度的最高值；
- d) 持续时间：宜从下列数值中选取：30 min，1 h，2 h，3 h；
- e) 温度转换时间：2 min~3 min；
- f) 循环周期数：5。

5.5.9 高温工作寿命试验

参照JESD22-A108。试验条件设定：温度125℃（有特殊要求按规定温度，但不超过最高结温）；时间1000 hours；电压≥Vcc Max；。

5.5.10 高加速温湿度应力(BHAST)试验

参照标准 JESD22-A110。给样品施加Vcc-Max，可选择条件（1）或者条件（2）：（1）温度130±2℃，湿度85±5%RH，蒸汽压33.3psia/230kPa，时间96+2 h。（2）温度110±2℃，湿度85±5%RH，蒸汽压17.7psia/122kPa，时间264+2 h。

5.5.11 振动试验

按照GB/T 2423.10-2019中试验Fc的规定，在下列条件下进行：

- a) 传感器处在非工作状态；
- b) 扫频振动：频率范围为10 Hz~150 Hz，每个坐标轴20个扫频周期；
- c) 在固定的频率比进行振动试验，持续30 min；
- d) 加速度：宜从下列数值中选取：10 m/s²，20 m/s²。

5.5.12 冲击试验

按照GB/T 2423.5-2019中试验Ea的规定，在下列条件下进行：

- a) 传感器处在非工作状态；
- b) 冲击峰值加速度：100 m/s²；
- c) 冲击持续时间：11 ms；
- d) 冲击波形：半正弦波；
- e) 冲击方向和次数：三个互相垂直轴每个轴的两个方向上都承受三次连续冲击，共计18次。

6 检验规则

出厂检验及型式试验项目见表3。

表 3. 试验项目

序号	试验项目	出厂检验	型式试验	试验方法
1	外观及尺寸	√	√	5.1
2	晶圆		√	5.2
3	封装及材料		√	5.3
4	初始电阻 R(0)测试	√	√	5.4.1
5	磁阻变化比 $\Delta R/R(0)$ 测试	√	√	5.4.2
6	磁阻变化比-磁感应强度变化曲线 ($\Delta R/R(0)$ -B) 测试		√	5.4.3
7	电阻-温度变化曲线 (R0-T) 测试	√	√	5.4.4
8	磁阻变化比-温度变化曲线 ($\Delta R/R(0)$ -T) 测试	√	√	5.4.5
9	静电放电敏感等级 (ESDS) 测试		√	5.5.1
10	潮湿敏感等级 (MSL) 测试		√	5.5.2
11	可焊性测试		√	5.5.3
12	高温蒸煮测试		√	5.5.4
13	高温存储测试		√	5.5.5

14	低温工作寿命测试		√	5.5.6
15	加速抗湿性无偏置测试（UHAST）		√	5.5.7
16	冷热冲击测试		√	5.5.8
17	高温工作寿命测试		√	5.5.9
18	高加速温湿度应力试验（BHAST）		√	5.5.10
19	振动试验		√	5.5.11
20	冲击试验		√	5.5.12

7 标志、包装、运输和贮存

7.1 标志

芯片应放入包装盒内，盒内应放入产品合格证。产品合格证应标明：型号及名称；产地、制造厂名或厂标；数量、检验质量和制造年月；出厂日期或出厂编号。

7.2 包装

所有包装均采用防静电材料制成，包装用材料不应含有影响芯片质量的酸性碱性或其它腐蚀性物质。芯片外加密闭防静电袋，同时应采取防潮措施。

7.3 运输

按照 IEC 61760-2，温度不低于-40℃，气压不低于 30kPa，气压变化小于 6kPa/min，湿度不高于 75%，没有水滴，不允许凝结。

7.4 贮存

按照 IEC 61760-2，芯片应存放在温度 18℃~28℃，相对湿度 10%~75%的清洁、周围无腐蚀气体的环境中，避免阳光直射。

附录 A
(规范性附录)

A.1 测试项目及抽样数量、通过判定

表 4. 抽样数量及判定标准

序号	试验项目	英文缩写	批次/数量	时间或数量/失败数
1	各电性能检测	Char	1 Lot/30 units	30 units/0 Fail
2	外观检测	Appearance	1 Lot/30 units	30 units/0 Fail
3	材料检测	Material	10 Lot/1 units	1 units/0 Fail
4	静电放电敏感等级 测试	ESDS	3 Lots/77 units	1000 hrs/ 0 Fail
5	潮湿敏感等级测试	MSL	1 Lot/30 units	24 hrs/ 0 Fail
6	可焊性测试	SD	1 Lot/15 units	5 sec/0 Fail
7	高温蒸煮测试	AC	3 Lots / 25 units	96 hrs / 0 Fail
8	高温存储测试	HTSL	3 Lots/25 units	1000 hrs/ 0 Fail
9	低温工作寿命测试	LTOL	1 Lot/32 units	1000 hrs/ 0 Fail
10	加速抗湿性无偏置 测试	UHAST	3 Lots / 25 units	264 hrs/ 0 Fail
11	冷热冲击测试	TC	3 Lots / 25 units	5 cycles / 0 Fail
12	高温工作寿命测试	HTOL	3 Lots/77 units	1000 hrs/ 0 Fail
13	高加速温湿度应力 试验	BHAST	3 Lots / 25 units	264 hrs/ 0 Fail
14	振动试验	VT	3 Lots / 25 units	0.5h/0 Fail
15	冲击试验	ST	3 Lots / 25 units	18 times/0 Fail