

ICS 31.080.99

CCS L 55

T

团体标准

T/CWDPA XXX—2026

功率器件封装用液态金属导热界面 材料热阻抗测试规范

Specification for thermal impedance test of liquid metal thermal interface
materials for power device packaging

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国西部开发促进会 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 试验条件 2

 4.1 环境条件 2

 4.2 测试温度 2

 4.3 施加压力 2

 4.4 稳态判定 2

5 仪器设备 2

 5.1 热阻抗测试装置 2

 5.2 计量棒（量热棒） 2

 5.3 辅助设备 2

6 试样制备 3

 6.1 试样要求 3

 6.2 试样用量 3

 6.3 试样施加 3

 6.4 试样厚度测量 3

7 试验步骤 3

 7.1 测试准备 3

 7.2 试样安装 3

 7.3 测试运行 3

 7.4 厚度变化测试 4

 7.5 温度依赖性测试 4

 7.6 测试结束 4

8 试验数据处理 4

 8.1 热阻抗计算 4

 8.2 表观导热系数计算 4

 8.3 接触热阻估算 5

 8.4 测试结果的有效性 5

 8.5 数值修约 5

9 试验报告 5

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。

本文件由中国西部开发促进会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次发布。

功率器件封装用液态金属导热界面材料热阻抗测试规范

1 范围

本文件规定了功率器件封装用液态金属导热界面材料热阻抗测试的试验条件、仪器设备、试样制备、试验步骤、试验数据处理、试验报告。

本文件适用于镓基液态金属及其合金（如镓铟合金、镓铟锡合金等）作为功率器件封装用导热界面材料的热阻抗测试。

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 8446.2 电力半导体器件用散热器 第2部分：热阻和流阻测量方法

3 术语和定义

GB/T 8446.2界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

液态金属导热界面材料 liquid metal thermal interface material

以镓（Ga）、铟（In）、锡（Sn）等低熔点金属及其合金为主要成分，在室温或工作温度下呈液态，用于填充功率器件与散热器之间微观界面空隙以降低接触热阻的导热材料。

3.2

热阻抗 thermal impedance

在稳态热传导条件下，单位面积上的温度差与通过该面积的热流密度之比。

注：热阻抗的单位为平方厘米开尔文每瓦（ $\text{cm}^2 \cdot \text{K/W}$ ）或平方米开尔文每瓦（ $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ）。

3.3

表观导热系数 apparent thermal conductivity

在规定的测试条件下，由实测热阻抗和试样厚度计算得到的导热系数值，单位为瓦每米开尔文 [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]。

注：对于非均质材料，表观导热系数不同于材料的本征导热系数。

3.4

稳态热流法 steady-state heat flow method

通过对试样施加恒定的热流密度，待温度场达到稳定后，测量试样两侧温度差和通过试样的热流密度，据此计算热阻抗和导热系数的测试方法。

3.5

接触热阻 contact thermal resistance

两种固体材料接触界面处，由于表面微观不平整导致的附加热阻，单位为平方厘米开尔文每瓦（ $\text{cm}^2 \cdot \text{K/W}$ ）。

3.6

黏结层厚度 bond line thickness; BLT

液态金属导热界面材料填充于功率器件与散热器接触界面之间的实际厚度，单位为毫米（mm）。

4 试验条件

4.1 环境条件

试验应在以下环境条件下进行：

- a) 环境温度：23 °C ± 5 °C；
- b) 相对湿度：≤ 80 %RH。

4.2 测试温度

热端温度宜在以下范围内选取：

- a) 推荐测试温度：50 °C、70 °C、100 °C、125 °C、150 °C；
- b) 温度控制精度：± 0.5 °C；
- c) 温度差：冷端温度应保持稳定，热端与冷端的温度差宜不小于 30 °C。

4.3 施加压力

压力施加方式应采用气动或伺服电机控制，确保压力均匀且恒定，施加在试样上的压力宜在以下范围内选取：

- a) 推荐压力值：0.1 MPa、0.3 MPa、0.5 MPa、1.0 MPa、2.0 MPa、3.0 MPa；
- b) 压力控制精度：± 2 %。

4.4 稳态判定

当试样热端和冷端温度在 10 min 内的变化量不大于 0.2 °C 时，可判定温度场达到稳态。

5 仪器设备

5.1 热阻抗测试装置

热阻抗测试装置应符合 ASTM D5470 的规定，主要由以下部分组成：

- a) 加热单元：应能提供稳定的热流，功率范围宜为 10 W ~ 300 W，功率稳定度应优于 ± 0.5 %；
- b) 冷却单元：应采用恒温循环水冷系统，冷却能力应不小于 200 W，温度控制精度应优于 ± 0.5 °C；
- c) 测温元件：应采用精度不低于 ± 0.1 °C 的热电偶或铂电阻温度传感器，每个测温位置至少布置 2 支传感器，取平均值作为该位置的温度；
- d) 测厚装置：应能在线测量试样厚度，测量精度应优于 ± 0.005 mm，分辨率不低于 0.001 mm；
- e) 压力施加与测量装置：应能施加 0.05 MPa ~ 5.00 MPa 的可调压力，压力测量精度应优于 ± 1 %；
- f) 数据采集系统：采样频率应不低于 1 Hz，应能实时记录温度、压力、厚度、热流功率等参数。

5.2 计量棒（量热棒）

计量棒应采用导热系数已知且均匀的金属材料（推荐无氧铜或铝合金）制成，其导热系数应在 25 °C ~ 150 °C 范围内经标定，标定不确定度应优于 ± 2 %。计量棒的横截面积应均匀，其面积测量精度应优于 ± 0.5 %。

5.3 辅助设备

应包括以下设备：

- a) 恒温恒湿箱：温度范围 15 °C ~ 200 °C，湿度范围 20 %RH ~ 95 %RH；
- b) 表面粗糙度测量仪：分辨率不低于 0.01 μm；
- c) 电子天平：精度不低于 0.1 mg；
- d) 干燥箱：温度范围室温 ~ 200 °C，控温精度 ± 2 °C。

6 试样制备

6.1 试样要求

- 6.1.1 液态金属导热界面材料试样应是均匀的液态或膏状体，不应含有可见的气泡、杂质或异物。
- 6.1.2 试样应与测试装置的计量棒表面具有良好的润湿性。若液态金属与计量棒表面润湿性不足，宜对计量棒表面进行镀层处理（如镀金、镀银或镀镍）。
- 6.1.3 同一批次试样应至少制备3个，每个试样宜进行不少于3次重复测试。

6.2 试样用量

试样用量应根据测试面积和预期的黏结层厚度（BLT）确定。推荐试样用量按式（1）计算：

$$V=A \times t \times \rho \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- V ——试样用量，单位为毫克（mg）；
 - A ——有效传热面积，单位为平方厘米（ cm^2 ）；
 - t ——目标黏结层厚度，单位为厘米（cm）；
 - ρ ——液态金属密度，单位为克每立方厘米（ g/cm^3 ）。
- 注：典型镓基液态金属的密度范围为 $5.5 \text{ g}/\text{cm}^3 \sim 6.5 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。

6.3 试样施加

应将准确称量的液态金属试样置于计量棒热端表面中心位置，然后缓慢闭合测试装置，使试样在压力作用下均匀铺展至预定厚度。施加压力应由低到高逐步增加至目标值，每个压力点应保持不少于60 s的稳定时间。

6.4 试样厚度测量

- 6.4.1 试样厚度应在测试过程中实时测量。
- 6.4.2 对于无法在线测量的装置，应在测试完成后立即测量试样周边至少4个点的厚度，取其平均值作为试样厚度。
- 6.4.3 厚度测量应在试样卸压后3 min内完成，以减少液态金属流动导致的厚度变化。

7 试验步骤

7.1 测试准备

- 7.1.1 检查测试装置的电气连接、水路连接和气路连接是否正常。
- 7.1.2 开启恒温循环水冷系统，设定冷端温度至目标值（推荐 25°C 或 30°C ），待温度稳定后方可进行下一步操作。
- 7.1.3 开启加热单元预热，设定热端温度至目标值。
- 7.1.4 清洁计量棒接触表面，确保表面无油污、氧化层或残留物。表面粗糙度 R_a 应不大于 $0.4 \mu\text{m}$ 。
- 7.1.5 按照6.2的规定称取液态金属试样。

7.2 试样安装

- 7.2.1 将称量好的液态金属试样置于热端计量棒表面中心。
- 7.2.2 启动压力控制单元，以不超过 0.05 MPa/s 的速率施加压力至目标值。
- 7.2.3 在目标压力下保持60 s，使液态金属充分铺展。
- 7.2.4 记录初始厚度值。

7.3 测试运行

7.3.1 升温加热

启动加热单元，以不超过 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 的升温速率将热端加热至目标温度，在加热过程中持续监测热端温度和冷端温度。

7.3.2 数据记录

当热端温度达到目标值并稳定后，开始记录数据。数据记录应包括以下参数：

- a) 热端温度 TH ；
- b) 冷端温度 TC ；
- c) 热流功率 Q ；
- d) 试样厚度 t ；
- e) 施加压力 P ；
- f) 环境温度和湿度。

7.3.3 稳态判定与记录

按照4.4的规定判定是否达到稳态。达到稳态后，连续记录不少于10 min的数据。

7.3.4 异常处理

测试过程中若发现温度波动超过 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或压力波动超过 $\pm 2\%$ ，应终止测试并检查原因。

7.4 厚度变化测试

7.4.1 对于需要研究压力对热阻抗影响的测试，应在不同压力下（参见4.3）分别测量热阻抗和对应的黏结层厚度。

7.4.2 每个压力点应保持不少于120 s的稳定时间后再进行数据采集。

7.4.3 压力改变时，应以不超过0.05 MPa/s的速率变化至下一个目标值。

7.5 温度依赖性测试

7.5.1 对于需要研究温度对热阻抗影响的测试，应在不同热端温度下（参见6.2）分别测量热阻抗。

7.5.2 温度改变时，应以不超过 $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率变化至下一个目标值，并在目标温度下保持不少于300 s的稳定时间。

7.6 测试结束

7.6.1 测试完成后，关闭加热单元，保持冷却系统继续运行直至计量棒温度降至 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下。

7.6.2 卸除压力，取出试样。

7.6.3 清洁计量棒表面，检查表面是否有腐蚀、氧化或其他损伤。

7.6.4 记录测试过程中的异常情况（如有）。

8 试验数据处理

8.1 热阻抗计算

采用稳态热流法测量液态金属导热界面材料的热阻抗，根据式（2）进行各稳态条件下的热阻抗值的计算：

$$R_{\theta} = \frac{A \times (TH - TC)}{Q} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

R_{θ} ——热阻抗，单位为平方厘米开尔文每瓦（ $\text{cm}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ）；

A ——有效传热面积，单位为平方厘米（ cm^2 ）；

TH ——热端温度，单位为摄氏度（ $^{\circ}\text{C}$ ）；

TC ——冷端温度，单位为摄氏度（ $^{\circ}\text{C}$ ）；

Q ——热流功率，单位为瓦（ W ）。

注：对于每个测试条件，取不少于10 min稳态数据的平均值作为该条件下的热阻抗测试结果。

8.2 表观导热系数计算

8.2.1 单厚度直接计算法

根据式（3）计算表观导热系数：

$$K_{app} = \frac{t}{R_{\theta}} \times 10 \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

K_{app} ——表观导热系数，单位为瓦每米开尔文 $[W/(m \cdot K)]$ ；

t ——试样厚度，单位为毫米（mm）；

R_{θ} ——热阻抗，单位为平方厘米开尔文每瓦（ $cm^2 \cdot K/W$ ）；

10——单位换算系数（ $1 cm^2 \cdot K/W = 0.0001 m^2 \cdot K/W$ ， $1 mm = 0.001 m$ ）。

8.2.2 多厚度线性回归法

当采用不同厚度试样进行测试时，应采用线性回归法计算表观导热系数。将不同厚度 t_i 下的热阻抗 $R_{\theta,i}$ 进行线性拟合，计算公式见式（4）：

$$R_{\theta,i} = R_c + \frac{t_i}{K_{app}} \times 10 \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$R_{\theta,i}$ ——第*i*个试样的热阻抗，单位为平方厘米开尔文每瓦（ $cm^2 \cdot K/W$ ）；

R_c ——拟合直线的截距，即两接触面的接触热阻之和，单位为平方厘米开尔文每瓦（ $cm^2 \cdot K/W$ ）；

t_i ——第*i*个试样的厚度，单位为毫米（mm）；

K_{app} ——由拟合直线斜率计算得到的表观导热系数，单位为瓦每米开尔文 $[W/(m \cdot K)]$ ；

10——单位换算系数。

8.3 接触热阻估算

对于液态金属导热界面材料，接触热阻 R_c 可按以下方法估算：

- a) 方法一：通过不同厚度试样的热阻抗线性回归，截距即为两接触面的接触热阻之和（参见8.2）；
- b) 方法二：在相同测试条件下，分别测量有试样和无试样（直接接触）时的总热阻，两者之差即为试样的热阻抗；进一步通过厚度外推可获得接触热阻。

8.4 测试结果的有效性

8.4.1 同一试样重复测试结果的相对偏差应不大于 $\pm 5\%$ 。

8.4.2 同一批次3个试样测试结果的平均值作为该批次材料的测试结果，相对标准偏差应不大于 $\pm 10\%$ 。

8.4.3 若测试结果超出上述偏差范围，应检查试样制备过程、仪器状态和测试条件，确认无误后重新测试。

8.5 数值修约

测试结果的数值修约应符合以下规定：

- a) 热阻抗：保留3位有效数字，单位 $cm^2 \cdot K/W$ ；
- b) 表观导热系数：保留3位有效数字，单位 $W/(m \cdot K)$ ；
- c) 温度：保留1位小数，单位 $^{\circ}C$ ；
- d) 厚度：保留3位小数，单位mm；
- e) 压力：保留2位小数，单位MPa。

9 试验报告

试验报告应至少包括以下内容：

- a) 报告编号和日期；
- b) 试样名称、牌号、生产批号、生产厂家；
- c) 试样成分（镓含量、铟含量、锡含量等主要元素的质量分数）；
- d) 测试条件（热端温度、冷端温度、施加压力、环境温湿度）；
- e) 试样尺寸（有效传热面积、黏结层厚度）；
- f) 测试结果（热阻抗值、表观导热系数值、接触热阻（如适用））；
- g) 测试日期、测试人员、测试机构名称和盖章。