

团 体 标 准

T/CASA 018—2021

微纳米金属烧结连接件 剪切强度试验方法

Test method for shear strength of micro and nano metal
sintered joints

(委员会草案)

202X-XX-XX 发布

202X -XX-XX 实施

第三代半导体产业技术创新战略联盟 发布

目 次

| | |
|--------------------|-----|
| 前 言..... | III |
| 引 言..... | V |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件..... | 1 |
| 3 术语和定义..... | 1 |
| 4 方法原理..... | 2 |
| 5 仪器及设备..... | 2 |
| 5.1 推力测试机 | 2 |
| 5.2 剪切试验装置关系图..... | 2 |
| 5.3 样品尺寸测量仪器..... | 3 |
| 6 样品要求..... | 3 |
| 6.1 样品尺寸要求 | 3 |
| 6.2 样品制备 | 3 |
| 7 测试条件..... | 3 |
| 8 测试步骤..... | 4 |
| 9 剪切强度的计算与参考值..... | 4 |
| 10 失效模式判定..... | 4 |
| 11 测试报告..... | 5 |
| 参考文献..... | 6 |
| 附录 A（参考性附录） | 7 |

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这些专利的责任。

本文件由北京第三代半导体产业技术创新战略联盟标准化委员会（CASAS）制定发布，版权归 CASAS 所有，未经 CASAS 许可不得随意复制；其他机构采用本文件的技术内容制定标准需经 CASAS 允许；任何单位或个人引用本文件的内容需指明本文件的标准号。

本文件起草单位：深圳第三代半导体研究院、北京半导体照明科技促进中心、南方科技大学、上海贺利氏工业技术材料有限公司、有研粉末新材料股份有限公司、北京康普锡威科技有限公司、广东工业大学、重庆大学、国家纳米科学中心、香港应用科技研究院、哈尔滨理工大学、中国科学院微电子所、工业和信息化部电子第五研究所、北京第三代半导体产业技术创新战略联盟。

本文件主要起草人：叶怀宇、刘旭、张婧、张敬国、赵朝晖、潘旭、梁明会、谢斌、刘洋、王可、周斌、高伟、赵璐冰、张凯。

引 言

金属互连材料在半导体封装工业中占据关键地位。传统封装采用焊料合金互连，但其析出的金属间化合物导致互连层服役温度较低且脆性较高。作为最适合于第三代半导体模块封装的界面连接技术之一，以微纳米银、微纳米铜为代表的新型微纳米金属烧结互连技术具有组分单一、低工艺温度、高服役温度的优点，而且芯片连接件的可靠性也可以得到大幅提升。

剪切强度作为微纳米金属烧结件主要的性能指标之一，其测试方法广受关注。因微纳米金属烧结技术尚属技术推广阶段，业内尚未针对使用该技术制备的烧结件制定专门的的剪切强度测试方法标准。传统焊料剪切强度较低，其测试方法标准和强度判定规则不再适用。同时，因行业内各单位的测试仪器型号不同，样品规格、测试条件、操作步骤等条件也各有不同，这使得产业内从业人员无法在统一的条件下比较微纳米金属烧结件的剪切强度性能。希望借此标准的制定，有效规范行业内测试方法，使得各测试参数可有效比对，助力微纳金属烧结技术的产业化发展。

微纳米金属烧结连接件剪切强度试验方法

1 范围

本文件规定了微纳米金属烧结连接件剪切强度的测试方法。

本文件适用于微纳米金属烧结连接件剪切强度的测定和失效模式判定（如果出现失效），用于微纳米金属材料的测试评价及相关领域的从业者。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

T/CASA 017 中界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

剪切 shear

构件的横截面沿外力方向发生的错动变形。

3.2

剪切强度 shear strength

烧结连接件试样剪切断裂前所承受的最大切应力。

[来源：GB/T 34558—2017，3.6.1.6]

3.3

烧结（连接）件 as-sintered sample

使用微纳米金属烧结材料，通过烧结工艺制备的芯片-基板、基板-底板或基板-热沉等三明治结构连接部件。

3.4

基板 substrate

半导体封装中用来进行芯片粘接的基体。可为芯片提供电气互连、机械保护和支撑、散热通路。

3.5

烧结层厚度 bondline thickness

烧结完成后形成的烧结连接层的厚度。

3.6

测试仪器 testing machine

用于微纳米金属烧结连接件剪切强度测试的特定仪器，如推力测试机。

3.7

剪切高度 shear height

剪切过程中推刀距离连接基体上表面的高度。

3.8

剪切速度 shear rate

剪切过程中推刀移动的速度。

3.9

夹具 fixture

测试仪器中夹持试验样品，使其固定的工具。

3.10

推刀 contact tool

用于向测试样品被连接件施加剪切载荷的工具。

4 方法原理

测试过程中，通过夹具将测试样品（烧结连接件）固定，被连接件位于夹持面上方。通过推刀向被连接件的侧面施加推力，该推力随着推刀行程缓慢增加（增加的速度取决于剪切速度的设置），从而使被连接件与连接基体的结合面受到剪切力的作用。当推刀施加的推力足够大时，将使被连接件脱离连接基体。

根据最大推力的值、被连接件和连接基体的结合面面积，计算出剪切强度。

剪切强度计算公式如下：

$$\tau = F/W \times L \dots\dots\dots (1)$$

式中：

τ —— 剪切强度，单位为N/mm²，或MPa；

F —— 试样被剪断时的最大载荷，单位为N；

W —— 试样的宽度，单位为mm；

L —— 试试样的长度，单位为mm， $L \geq W$ 。

注：如果需要，应计算平均强度和标准偏差。

5 仪器及设备

5.1 推力测试机

推力测试机能够满足静态加载条件，并记录推刀行程和对应的推力值，精度不低于±1%。推力测试机的推刀与夹具应具备相对旋转能力。同时，需配备显微成像系统辅助调节位置距离。

推力测试机需具备合适量程，根据测试经验，被连接件面积小于5 mm×5 mm以时，测试机最大推力应该在1000 N以上；被连接件面积大于或等于5 mm×5 mm时，测试机的最大推力建议应该在 2000 N 以上。

5.2 剪切试验装置关系图

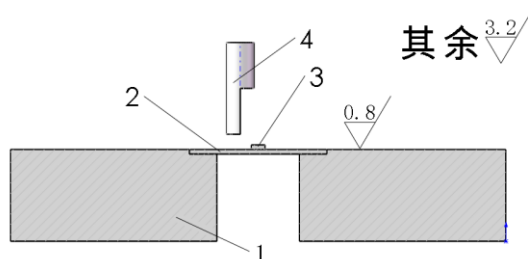


图1 剪切试验装置示意图

注：1 夹具，2 连接基体，3 被连接件，4 推刀。

5.3 样品尺寸测量仪器

千分尺或游标卡尺，精度为 0.02 mm 以上。

6 样品要求

6.1 样品尺寸要求

测试时，应给出被连接件(如芯片)的厚度(H)、长(L)、宽(W)、连接基体的厚度(h)和长(l)、宽(w)；如涉及在同一连接基体上布局多个芯片，还应包括芯片的间距尺寸(d)。

以3 mm (W) ×3 mm (L) 被连接件为例，如图2所示，连接基体尺寸推荐为大于30 mm (w) ×30 mm (l)，厚度(h)大于1 mm，被连接件之间的间距(d)应不小于5 mm，从而为多个被连接件之间预留足够的推刀行程空间。按图 2 布局的 9 个被连接件烧结于一个连接基体时，剪切强度的测试可以一次进行。

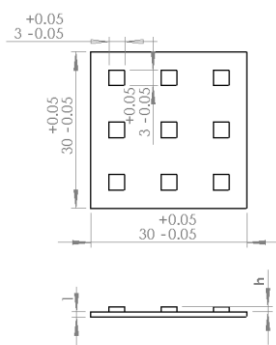


图2 3 mm (W) ×3 mm (L) 被连接件的样品尺寸示例图

6.2 样品制备

为保证试验中被连接件不先于烧结接头被剪切破坏，推荐使用按照被连接件（如芯片）尺寸切割的铜板作为被连接件进行测试，铜板厚度(H) 1 mm 以上，宜使用线切割方法，以保证铜板表面和边缘的平整。测试铜板表面需采用与实际应用芯片被连接一侧相同的金属化表面工艺进行处理。

7 测试条件

- a) 试验环境温度应在 23 ± 2 °C，湿度应保持在 50~70%；
- b) 剪切速度应不大于 300 $\mu\text{m/s}$ ；
- c) 剪切高度应小于 1/3 试样厚度（有压烧结接头测试时，剪切高度推荐值为 100 μm ，无压烧结接头测试时，剪切高度推荐值 150 μm ）；
- d) 加力方向应与连接基体平面平行，并与被连接件待推面垂直；
- e) 试样数量应为 5 个或 5 个以上。

8 测试步骤

利用推力测试机，测试剪切力值的步骤如下：

- a) 打开电脑，开启推力测试机；
- b) 根据预估剪切强度数值，选择安装对应推力测试模块，以保证在其量程范围内；
- c) 通过夹具将样品连接基体固定，被连接件朝上，被连接件承受推力的一边需靠近推刀一边；
- d) 根据芯片尺寸，选择安装对应测试推刀，需保证推刀面宽于被连接件最长边，推刀平面应与被连接件表面呈 90°。
- e) 在测试软件中，设置推刀剪切高度、推刀下降速度、剪切速率等测试参数；
- f) 在光学镜头下观察，使用操纵杆控制推刀移动，当推刀正面与连接基体相距约 1 mm。推刀下边沿距离基板上表面 1 mm 时停止移动；
- g) 手动微调样品台，使得被连接件待推面与推刀面平行；
- h) 点击测试按钮，等待测试自动完成；
- i) 记录剪切力值（F），观察并记录断面断口形态。

9 剪切强度的计算与参考值

根据测试记录的各参数，按照公式（1）进行剪切强度的计算。

一般情况下，若被连接件面积小于 $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ ，剪切强度应不小于 10 MPa。若被连接件面积大于或等于 $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ 时，剪切强度应不小于 30 MPa。

10 失效模式判定

因在数据分析时，只有相同类别的失效模式间进行剪切强度比较，才具有实际工程价值，因此需对样品测试后进行失效模式判定。根据失效后，被连接件与连接基体、烧结层之间脱离的状态，可分为以下几种失效模式：

- a) 被连接件被破坏脱离，连接基体上残留有被连接件碎片，如图 3a 所示；
- b) 被连接件非破坏脱离，连接基体上残留有烧结层材料，连接基体表面未裸露，如图 3b 所示；
- c) 被连接件非破坏脱离，烧结层内部断裂，连接基体部分仍被烧结层覆盖，图 3c 所示；
- d) 被连接件非破坏脱离，且与烧结层一起脱离连接基体，连接基体表面完全裸露，图 3d 所示。

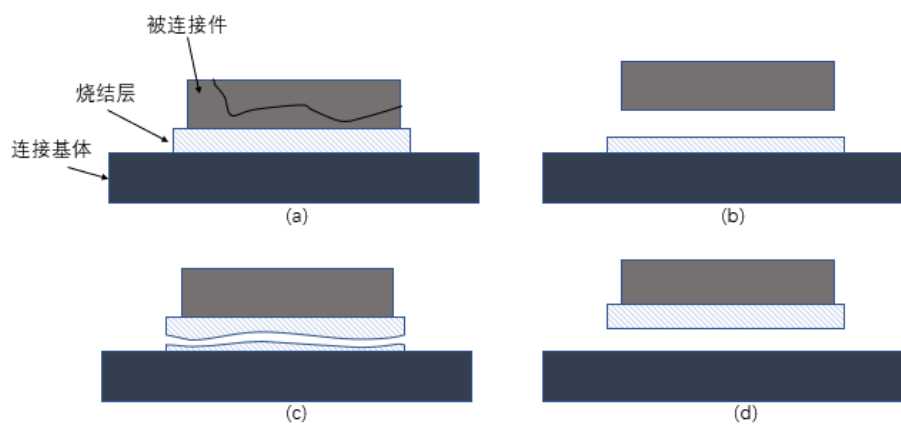


图3 失效模式示意图

11 测试报告

报告至少应包含以下内容：

- a) 制样和测试日期，测试人员；
- b) 样品名称、规格和编号，烧结材料信息、烧结连接件信息、样品尺寸等；
- c) 仪器型号、推刀信息、检测点位置；
- d) 测量结果，包括剪切高度、速度、剪切强度、剪切强度标准差；
- e) 失效模式。

参 考 文 献

- [1] GB/T 4937.19-2018 半导体器件 机械和气候试验方法 第 19 部分：芯片剪切强度
- [2] SEMI G63-95 芯片的剪切强度的测试方法
- [3] YS T485-2005 烧结双金属材料剪切强度的测定方法

附录 A
(参考性附录)

微纳米金属烧结连接件剪切强度测试报告表

A.1 剪切强度测试参考表

| | | |
|---------------------|------------|------|
| 实验信息 | | |
| 样品名称 | | |
| 样品数量 | | |
| 烧结材料类型 | | |
| 被连接件类型 | | |
| 被连接件尺寸 | | |
| 连接基体尺寸 | | |
| 备注(如被连接件和连接基体表面金属化) | | |
| 剪切速率 | | |
| 剪切高度 | | |
| 样品编号 | 剪切强度 (MPa) | 失效模式 |
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | |
| 平均值 (MPa) | | |
| 标准差 (MPa) | | |

