

ICS 31.180

CCS L 30



# 团体标准

T/CSTM 00907—2022

## 高频基板材料试验方法

Test methods for high-frequency substrate materials

2022-12-27 发布

2023-03-27 实施

中关村材料试验技术联盟

发布

## 目次

前 言 .....	1
引 言 .....	2
1 范围 .....	3
2 规范性引用文件 .....	3
3 术语和定义 .....	3
4 要求 .....	4
5 厚度 .....	5
6 电性能 .....	5
7 热性能 .....	9
8 物理性能 .....	9
9 机械性能 .....	10
10 可加工性 .....	14
11 工艺适应性 .....	16
12 环境可靠性 .....	19
附录 A（规范性）高频基板材料覆铜箔蚀刻方法 .....	24
附录 B（资料性）起草单位和主要起草人 .....	26

## 前 言

本部分参照 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》，GB/T 20001.4—2015 《标准编写规则 第 4 部分：试验方法标准》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。

本文件由中国材料与试验标准化委员会电子材料标准化领域委员会（CSTM/FC51）提出。

本文件由中国材料与试验标准化委员会电子材料标准化领域委员会（CSTM/FC51）归口。

全 国 标 准 发 布 使 用 网  
CSTM 标准发布使用

## 引 言

随着 5G 通信频率的不断提高，高频基板材料一方面作为信号传输的关键载体，其各项性能均影响着信号传输的稳定性和完整性，另一方面在国产化背景下，迫切需要更为系统完善的高频基板材料的测试与验证方法。目前国内外针对高频基板材料的试验和验证方法较少，国内较为齐全的标准如 GB/T 4722 -2017 与 GJB 9491-2018 只关注覆铜板（CCL）材料或者印制板（PCB）级别的常规性能要求和测试方法。本文件在充分吸收 GB/T 4722 -2017、GJB 9491-2018 和 T/CSTM 00910-2022《高频介质基板的介电常数和介质损耗角正切测试方法 带状线测试法》标准优点的基础上，建立了一套完整的高频基板材料测试与验证方法。对比国内外现有标准，本文件改进优化的内容：

- a) 包含 CCL 的测试和验证两个环节，验证是通过 CCL 加工成 PCB 后在元件级评估 CCL 的质量水平，放在一起综合评价更加系统化；
- b) CCL 材料级测试针对高频信号（1GHz~40GHz）增加了介电常数、损耗因子和温度系数的带状线试验方法；PCB 元件级验证新增插入损耗、模拟回流焊和导电阳极丝（CAF）等测试项目；
- c) 考虑到 CCL 在传统通信频段下可近似被认为是各向同性，但在 5G 毫米波通信频段会展现出 X、Y、Z 各向异性特点，增加了高频材料 Z 向介电常数和介质损耗角正切的测试方法。

# 高频基板材料试验方法

## 1 范围

本文件规定了高频基板材料的厚度、电性能、热性能、物理性能、机械性能和工艺适应性的测试方法，以及在印制板级（以下简称 PCB）电性能、机械性能、可加工性、工艺适应性和环境可靠性的验证方法。

本文件适用于高频基板材料在材料级的性能测试及加工成 PCB 后的元件级验证。

## 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 4722-2017	印制电路用刚性覆铜箔层压板试验方法
GB/T 2036	印制电路术语和定义
GJB 9491-2018	微波印制板通用规范
T/CSTM 00910-2022	高频介质基板的介电常数和介质损耗角正切测试方法 带状线测试法

## 3 术语和定义

GB/T 2036 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**特性阻抗** characteristic impedance

传输波中电压与电流的比值，及在传输线的任一点对传输波产生的阻抗，在印制板中，特性阻抗值取决于导线的宽度、导线离接地面的距离以及它们之间的介质的介电常数。

[来源：GB/T 2036-1994，4.80]

### 3.2

**介电常数** dielectric constant

规定形状电极之间填充电介质获得的电容量与相同电极之间为真空时的电容量之比。

[来源：GB/T 2036-1994，6.3.6]

### 3.3

**介质损耗角正切** loss tangent

**损耗因子** loss factor

**损耗因数** dielectric dissipation factor

对电介质施加正弦波电压时，通过介质的电流相量超前于电压相量间的相角的余角称为损耗角，该损耗角的正切值称为损耗因数。

[来源：GB/T 2036-1994，6.3.7]

### 3.4

**耐电弧性** arc resistance

在规定试验条件下，绝缘材料耐受沿其表面的电弧作用的能力。通常用电弧在材料表面引起碳化至表面导电所需时间表示。

[来源：GB/T 2036-1994，6.3.12]

### 3.5

尺寸稳定性 dimensional stability

由温度、湿度、化学处理、老化或应力等因素引起的尺寸变化的量度。

[来源：GB/T 2036-1994，6.4.11]

## 4 要求

### 4.1 试验条件

#### 4.1.1 正常试验的标准大气条件

除另有规定外，试验应在下列条件下进行：

- a) 温度：15℃~35℃；
- b) 相对湿度：20%~80%；
- c) 大气压力：试验场所气压。

#### 4.1.2 仲裁试验的标准大气条件

如果测试参数依赖于温度、湿度与气压，则试验应在下列仲裁试验的标准大气条件下进行：

- a) 温度：(23±2)℃；
- b) 相对湿度：45%~55%；
- c) 大气压力：86 kPa~106 kPa。

### 4.2 试样

#### 4.2.1 试样状态

根据测试项目的不同，高频基板材料试样状态有表面不覆铜箔状态和表面覆铜箔状态；PCB试样状态为接收态PCB光板。

#### 4.2.2 取样方法

除另有规定外，高频基板材料试样应从距板材边缘大于20mm的区域切取；PCB试样根据测试项目的不同截取标准图形或整板测试试样。

#### 4.2.3 试样的蚀刻方法

除另有规定外，高频基板材料试样的蚀刻及蚀刻后试样的清洗干燥方法见附录A。

### 4.3 试验报告

除另有规定外，试验报告应包括但不限于下列内容：

- a) 试样信息，如：试样牌号、生产厂家、数量等；
- b) 试验条件信息：环境条件、测试标准、测试条件等；
- c) 试验设备基本信息，例如：设备名称、型号、编号等；
- d) 测量结果；
- e) 人员与日期信息：试验日期、检测人和批准人等。

## 5 厚度

测量高频基板材料的厚度时，应按GB/T 4722-2017 中5.3规定的方法进行。

## 6 电性能

### 6.1 介电常数、介质损耗角正切值及温度系数

测量高频基板材料的介电常数、介质损耗角正切值及温度系数应按T/CSTM 00910-2022规定的方法进行。

### 6.2 体积电阻率和表面电阻率

测量高频基板材料的体积电阻率和表面电阻率时，应按GB/T 4722-2017 中8.3规定的方法进行。

### 6.3 耐电弧性

测量高频基板材料的耐电弧性时，应按GB/T 4722-2017中 8.6规定的方法进行。

### 6.4 连通性和非连通性（PCB）

#### 6.4.1 目的

本方法用于验证将高频基板材料加工成PCB后的连通性和非连通性。

#### 6.4.2 设备

本试验所需适用于规定试验步骤的设备如下：

- a) 微欧计：测量分辨率100nΩ或更小；
- b) 高阻仪：能测量 $10^{12}\Omega$ 或更高电阻的设备；能稳定输出至少200V<sub>DC</sub>测试电压。

#### 6.4.3 试样

除另有规定，试样应为使用高频基板材料制备的接收态PCB板。

注：标准测试图形由供需双方协商确定。

#### 6.4.4 试验步骤

##### 6.4.4.1 连通性

测试位置为PCB板上3个位置的导体电阻，将导电图形上的规定点通过适当的方式连接到微欧计，如用测试探针接触规定的导线或焊盘，然后读取测试结果。

##### 6.4.4.2 非连通性

用合适的方法将导电图形上比较接近而不相连接的测试点连接到高阻仪，如用测试探针接触规定的导线或焊盘，并在每个网络 and 所有相邻的其他网络之间施加测试电压，测试同一层的电路非连通性。在每层网络和每个相邻层的电气隔离网络间施加电压，测试相邻层的电路非连通性。手工测试时的电压最小应为200V，持续至少5s。测量PCB板上3个位置的导体间绝缘电阻。

##### 6.4.5 报告

除4.3的规定外，试验报告还应包括：

- a) 导体电阻阻值、导体间绝缘电阻阻值；
- b) 非连通性测试电压。

## 6.5 介质耐电压（PCB）

### 6.5.1 目的

本方法适用于验证将高频基板材料加工成PCB后的相邻网络之间介质耐电压性能。

### 6.5.2 设备

本试验所需适用于规定试验步骤的设备如下：

耐压测试仪：能够提供500 VDC每秒的电压升高速率，至少输出 $1000_0^{+3}$ V电压的耐电压测试仪。

### 6.5.3 试样

除另有规定，试样应为使用高频基板材料制备的接收态PCB板。标准测试图形由供需双方协商确定。

### 6.5.4 试验步骤

6.5.4.1 接收态试样按照下述步骤1)~步骤6)进行耐湿热处理，步骤1)~步骤6)为1个循环，如图1所示，共进行10个循环，试验箱暴露期间测试图形应施加 $100V \pm 10V$ 直流极化电压；

- 1) 试样箱内的温度应在2.5h内从 $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ 升至 $(65 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，在此期间相对湿度为90%~100%；
- 2) 在温度为 $(65 \pm 2)^\circ\text{C}$ 及相对湿度为90%~100%条件下保持3h；
- 3) 然后，试验箱温度应在2.5h内降至 $25 \pm 10^\circ\text{C}$ ，相对湿度为80%~100%；
- 4) 从第8h开始，试验箱温度应在2.5h内从 $25^\circ\text{C}$ 升至 $(65 \pm 2)^\circ\text{C}$ 。在此期间，相对湿度为90%~100%；
- 5) 在温度为 $(65 \pm 2)^\circ\text{C}$ 及相对湿度为90%~100%条件下保持3h；
- 6) 然后，试验箱的温度应在2.5h内降至 $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，相对湿度为80%~100%。

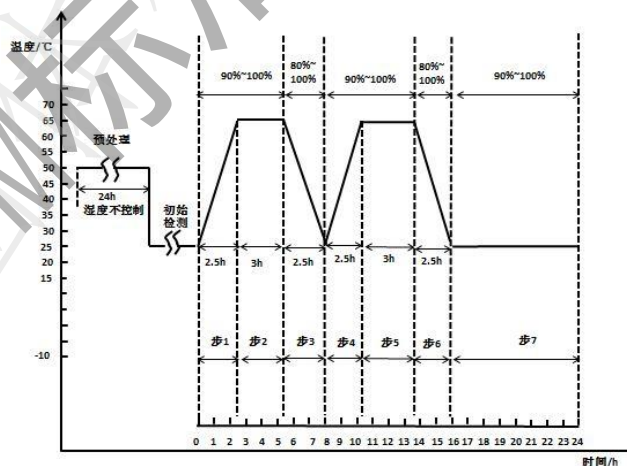


图1 耐湿热试验控制图

6.5.4.2 将耐湿热处理后的样品上的测试点连接到耐压测试仪上，并施加直流电压，施加的电压和时间应符合下列要求：

- 1) 试验电压： $1000_0^{+3}$ V直流电压；
- 2) 施加电压的持续时间： $30_0^{+3}$ s，施加电压的速率为500V/s；
- 3) 施加点：同层的介质耐电压测试，电压应加在每个导电图形的共同区域与每个相邻导电图形的共同区域之间。层间的介质耐电压测试，电压应加在每层导电图形与每个相邻层的电气绝缘导电图形之间；

6.5.4.3 测试3个位置，记录试验过程是否出现火花、放电或击穿现象。

#### 6.5.5 报告

除4.3的规定外，试验报告还应包括：

- a) 测试过程中的施压大小、施压时间；
- b) 介质耐电压测试结果。

### 6.6 特性阻抗（PCB）

#### 6.6.1 目的

本方法适用于验证将高频基板材料加工成PCB后的特性阻抗。

#### 6.6.2 设备

本试验所需适用于规定试验步骤的设备为时域反射法（TDR）阻抗分析仪或者同等功能带TDR模块的网络分析仪。

#### 6.6.3 试样

试样为设计有50Ω单端阻抗线或100Ω差分阻抗线图形的PCB板（被测阻抗值应由供需双方协商确定），典型测试图形如图2所示。线宽/线距应基于应用需求设定（其中差分阻抗线建议间距为178 μm），线长应大于50mm且小于150mm，具体长度应由印制板客户或供应商规定。



图2 阻抗线示意图

#### 6.6.4 试验步骤

##### 6.6.4.1 预热

开启仪器预热30min，使其达到稳定。

##### 6.6.4.2 仪器校准

仪器校准按如下步骤进行：

- a) 连接测试电缆与网络分析仪，并使用制造供应商提供的的力矩扳手旋紧；
- b) 设置频率扫描范围；
- c) 连接网络分析仪和校准件进行电缆校准；
- d) 若采用TDR进行测试，仪器校准按设备商推荐程序进行。

##### 6.6.4.3 测试程序

测试程序按如下步骤进行：

- a) 连接单端/差分测试探头，将探头置于空气中测量测试探头的波形，建立测试区域起点；

- b) 将探头连接到被测样品，测量被测样品的波形，将终点光标放置于被测样品波形的末端作为测试区域的终点；
- c) 数据处理，对测试区域内所得曲线设置取值范围（50%~70%或供需双方协商确定），读取该范围内的平均值，该值为传输线的阻抗值，记录传输线阻抗值；
- d) 选取3条阻抗线进行测试，重复6.6.4.3中步骤b)~步骤c)。

### 6.6.5 报告

除4.3的规定外，试验报告还应包括：

- a) 测试位置；
- b) 阻抗测量结果平均值。

### 6.7 插入损耗（PCB）

#### 6.7.1 目的

本方法采用AFR（Automatic Fixture Removal，自动夹具去除）法验证将高频基板材料加工成PCB后的插入损耗。

#### 6.7.2 设备

本试验所需适用于规定试验步骤的设备如下：

- a) 网络分析仪；
- b) 校准件；
- c) 同轴线缆，根据测试频率需求配置不同频率同轴线缆；
- d) 标准连接器，具体型号根据测试频率界定。

#### 6.7.3 试样

试样为设计有两种长度的单端传输线或差分传输线测试图形的PCB板，典型测试图形如图3所示。传输线两端应设计有信号发射连接器焊盘，该焊盘用于与连接器连接。线宽/线距/线长应基于应用需求设定（其中差分阻抗线建议间距为178  $\mu\text{m}$ ），长线与短线的长度差值建议大于50.8mm。针对测试图形所经过孔需做背钻处理，减少残桩对测试的影响。

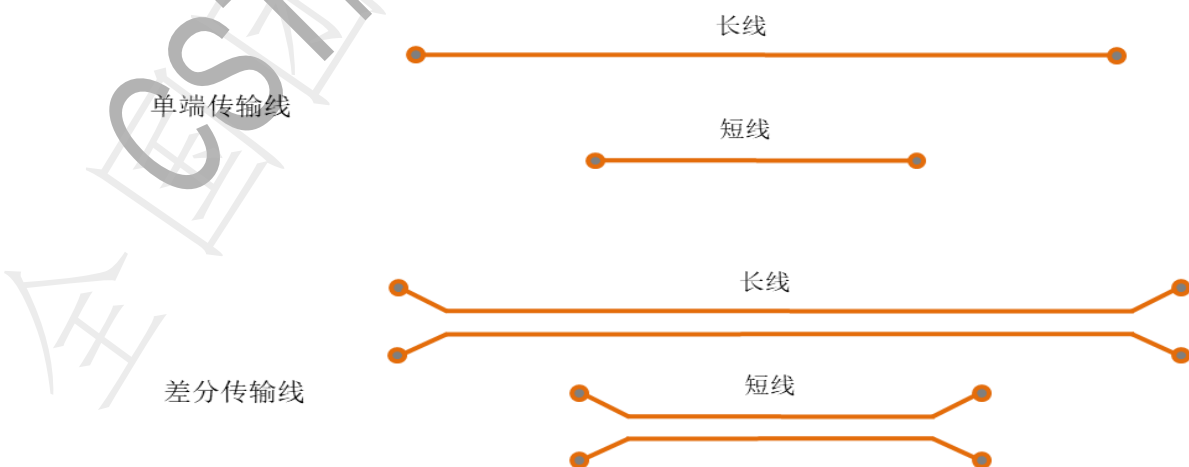


图3 AFR插入损耗测试传输线示意图

#### 6.7.4 试验步骤

#### 6.7.4.1 预热

网络分析仪设备应在制造商推荐的校准周期内进行校准，测试前主机至少开机预热 30min，使仪器达到稳定。

#### 6.7.4.2 仪器校准

仪器校准按如下步骤进行：

- a) 连接测试电缆与网络分析仪，并使用制造供应商提供的的力矩扳手旋紧；
- b) 设置频率扫描范围；
- c) 连接网络分析仪和校准件进行线缆校准。

#### 6.7.4.3 测试程序

测试程序按如下步骤进行：

- a) 将标准连接器安装在PCB测试板，并使用螺丝拧紧；
- b) 连接电缆和标准连接器，并使用制造供应商提供的的力矩扳手旋紧；
- c) 设置测试频率范围；
- d) 测试长线损耗；
- e) 测试短线损耗；
- f) 依据设备制造商提供的软件算法进行去嵌处理；
- g) 根据要求标定相应测试频点的插入损耗。

#### 6.7.5 报告

除4.3的规定外，试验报告还应包括：

- a) 测试频率；
- b) 插入损耗曲线图。

### 7 热性能

#### 7.1 Z轴膨胀系数（TMA 探针法）

测量高频基板材料的Z轴膨胀系数时，应按GB/T 4722-2017中 6.8 规定的方法进行。

#### 7.2 热分解温度（Td）（TGA 法）

测量高频基板材料的热分解温度时，应按GB/T 4722-2017中 6.9规定的方法进行。

#### 7.3 X/Y轴膨胀系数（TMA 拉伸法）

测量高频基板材料的X/Y轴膨胀系数时，应按GB/T 4722-2017 中6.10规定的方法进行。

### 8 物理性能

#### 8.1 导热系数

##### 8.1.1 目的

本试验方法适用于测试高频基板材料的导热能力。

### 8.1.2 设备

本试验所需适用于规定试验步骤的设备如下：

本试验所需适用于规定程序的设备为界面材料热阻及热传导系数测量系统或等效设备，需配置压力控制模组（压力控制范围至少4kgf~50kgf），加热端模组和冷端模组（温度稳定性至少在 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 以内）。测试接触表面应当具备或优于 $0.4\mu\text{m}$ 的粗糙度及 $5\mu\text{m}$ 的平行度。

### 8.1.3 试样

试样尺寸为 $26\text{mm}\times 26\text{mm}$ 或适用于仪器测试接触表面的尺寸。

### 8.1.4 试验步骤

试验步骤如下：

- a) 系统开机，建议开机后预热15min，随后进行厚度清零；
- b) 设置测试条件，默认条件为：平均温度 $50^{\circ}\text{C}$ ，压力100psi；
- c) 测量导热膏热阻并记录；
- d) 测量试样厚度，在试样正反两面涂覆导热膏后进行导热系数测试；
- e) 测试完成后读取导热系数数值。

### 8.1.5 报告

除4.3的规定外，试验报告还应包括：

- a) 测试的温度、压力；
- b) 导热系数结果。

## 8.2 吸水率

测量高频基板材料的吸水率时，应按GB/T 4722-2017中 9.2规定的方法进行。

## 9 机械性能

### 9.1 铜箔剥离强度

#### 9.1.1 目的

本方法用于测试高频基板材料在接收态和热应力后条件下的剥离强度。

#### 9.1.2 设备

本试验所需适用于规定试验步骤的设备如下：

- a) 拉力试验机，能准确测量至 $0.05\text{N}$ ，夹具应能夹住每个铜箔剥离条的整个宽度；
- b) 抗蚀绝缘胶带，或等效物，具有一定宽度；
- c) 附录A规定的设备和材料；
- d) 量具，分辨率 $0.025\text{mm}$ ；
- e) 空气循环烘箱，能保持 $(125\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ；
- f) 可控温电热焊锡槽，能保持规定的温度，允许偏差为 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ；
- g) 温度测量仪，可测 $25\text{mm}$ 液面下焊锡温度，并能够测量规定的焊锡温度，允许温度偏差 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ；
- h) 秒表，或等效计时器，分辨率为 $0.2\text{s}$ ；
- i) 硅油、小镊子或类似的试样夹具；

j) 体视显微镜，至少能放大10倍。

### 9.1.3 试样

本方法规定的试样如下：

- 用贴胶带和附录A规定的蚀刻方法制成如图4所示的铜箔剥离条，仲裁和鉴定试验时，用合适的印制电路工艺图形转移方法制备，以保证铜箔剥离条边缘光滑；
- 每一条铜箔剥离条宽度为  $(3 \pm 0.2)$  mm，长度至少为75mm，数量为横纵向各2条；
- 对于很难测试的薄型基板应采用固定装置或粘在刚性基材上使其平放；
- 鉴定和仲裁试验，试验应在125℃下预烘烤处理  $(4 \pm 0.5)$  h。

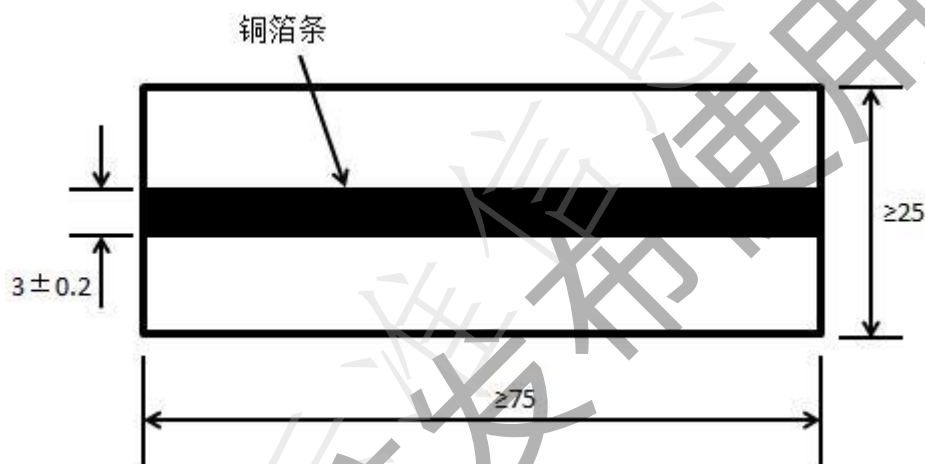


图4 剥离强度试样示意图

### 9.1.4 试验步骤

#### 9.1.4.1 状态 A 剥离强度

接收态要求如下：

- 在夹持端剥起测试条不超过10mm，然后把被剥离的测试条末端固定在夹具上；
- 用夹具固定试样，使之不影响施加垂直拉力。准备试验时，测试条端头应处于垂直位置，夹具与拉力试验机之间的金属连线应该处于自由状态，垂直拉伸时倾斜角应在  $\pm 5^\circ$  之内；
- 启动试验机，以50mm/min的速度在垂直方向施加拉力，直至剥离最少25mm长；
- 观察和记录图5规定的最小平均负载。测量测试条的实际宽度，同最小负载一起记录。

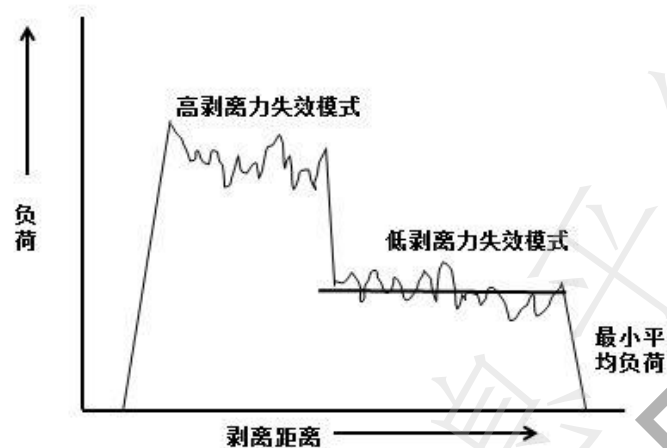


图5 剥离失效模式图示

#### 9.1.4.2 状态 B 剥离强度

热应力后要求如下：

- 试样上涂一层薄的硅油脂，保持在  $(232 \pm 5)^\circ\text{C}$  的焊锡槽中浮焊  $(10 \pm 1/0)$  秒；
- 取出试样并冷却至室温。清除试样上的焊锡、硅油后，用正常或校正后放大10倍的显微镜检查试样表面是否起泡或分层；
- 按9.1.4.1步骤进行剥离强度测试。

#### 9.1.5 结果计算

按式（1）计算每一个剥离条的剥离强度：

$$P_s = \frac{L_m}{W_s} \dots \dots \dots (1)$$

式中：

- $P_s$ —剥离强度，单位为牛顿每毫米（N/mm）；  
 $L_m$ —最小平均负荷，单位为牛顿（N）；  
 $W_s$ —剥离条宽度，单位为毫米（mm）。

#### 9.1.6 报告

除4.3的规定外，试验报告还应包括：

- 最小剥离强度，单位为牛顿每毫米（N/mm）；
- 试样处理条件；
- 铜箔厚度、试样厚度；
- 如试样处理条件为热应力，则应描述试样热应力后是否分层起泡等异常现象。

#### 9.2 尺寸稳定性

测量高频基板材料的尺寸稳定性时，应按GB/T 4722-2017中 7.4规定的方法进行。

#### 9.3 弓曲和扭曲（PCB）

验证高频PCB的弓曲和扭曲性能时，应按GB/T 9491-2018中4.8.5.4规定的方法进行。

注：考核不同厂商材料的弓曲和扭曲性能时，应基于同样PCB设计图形和PCB工艺制程参数。

## 9.4 粘合强度 (PCB)

### 9.4.1 目的

本方法适用于验证将高频基板材料加工成PCB后表面安装盘的粘合强度。

### 9.4.2 设备

本试验所需适用于规定试验步骤的设备如下：

- a) 拉力试验机，能准确测量至0.05N；
- b) 焊烙铁，温度误差 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ；
- c) 光学显微镜，可放大10X~30X倍数；
- d) 测试引线；
- e) 焊锡：有铅焊锡（Sn60Pb40或Sn63Pb37型）或无铅焊锡（SAC305或SAC307型）。

### 9.4.3 试样

试样为PCB上尺寸为 $(0.2\sim 2.5)\text{mm}\times(0.1\sim 1.25)\text{mm}$ 的表面安装盘。

### 9.4.4 试验步骤

试验步骤如下：

- a) 使用光学显微镜放大测量所测表面安装盘的尺寸大小；
- b) 用75%的异丙醇和25%的去离子水清洗待测试样和测试引线；
- c) 将测试引线焊接到所测表面安装盘上，将烙铁头的温度调节至合适温度，有铅焊接要求需确保焊盘接受到焊接温度为 $(232\pm 5)^{\circ}\text{C}$ ；无铅焊接要求需确保焊盘接受到焊接温度为 $(260\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 。焊接完成后，将试样置于测试机的固定架上。除非有测试温度要求，否则测试应在室温 $(18^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C})$ 下进行；
- d) 将未焊接的引线头固定在测试机的夹具上，并保持垂直状态；
- e) 用50mm/min的速度垂直拉引线，直到发生失效或超过规定值；
- f) 引线断裂或引线拉脱，不应认为是失效，应将新的引线焊接到新的表面安装盘上；
- g) 计算表面安装盘的粘结强度。

### 9.4.5 结果计算

结果计算如下：

- a) 表面安装盘的粘结强度计算公式：粘结强度=拉脱力值/表面安装盘的面积；
- b) 测量5个表面安装盘的粘结强度（至少包含两种尺寸），并记录最小粘合强度值。

### 9.4.6 报告

除4.3的规定外，试验报告还应包括：

- a) 被测表面安装盘的面积， $\text{mm}^2$ ；
- b) 表面安装盘的拉脱力值，N；
- c) 拉力机速率， $\text{mm}/\text{min}$ ；
- d) 五个焊盘粘合强度、最小粘合强度值， $\text{N}/\text{mm}^2$ 。

## 9.5 表面剥离强度 (PCB)

### 9.5.1 目的

本方法适用于验证将高频基板材料加工成PCB后的印制导线的剥离强度。

### 9.5.2 设备

本试验所需适用于规定试验步骤的设备如下：

- a) 拉力试验机，能准确测量至0.05N，夹具应能夹住每个铜箔剥离条的整个宽度；
- b) 量具，分辨率0.025mm。

### 9.5.3 试样

试验应在具备适当长度和均匀宽度的直导线上进行，导线长度应不小于50.0mm，宽度为3.2mm。试验前应采取化学方法退除锡铅镀层、焊料涂层、其他电镀金属抗蚀层，或制造中防止沉积金属的抗沉积层，试样上不应有任何有机涂层。

### 9.5.4 试验步骤

试验步骤如下：

- a) 测量被测印制导线宽度，记为W，mm；
- b) 印制导线一端从基材上至少剥离10mm，用适当的方法把试样固定好，用夹子将剥离的印制导线的整个宽度夹住；
- c) 以垂直于试样并均匀增加其拉力，直到以(50±5)mm/min的速度将导线剥离；
- d) 重复9.5.4中a)~c)步骤剥离4条导线，每一条剥离长度应不小于25mm。试验中剥离导线所需的单位宽度的最小力即为剥离强度。

### 9.5.5 结果计算

按式(2)计算每一个剥离条的剥离强度：

$$P_s = \frac{F}{W} \dots \dots \dots (2)$$

式中：

- $P_s$ —剥离强度，单位为牛顿每毫米(N/mm)；
- F—剥离力，单位为牛顿(N)；
- W—剥离条宽度，单位为毫米(mm)。

### 9.5.6 报告

除4.3的规定外，试验报告还应包括：

- a) 剥离强度，单位为牛顿每毫米(N/mm)；
- b) 剥离条宽度，mm；
- c) 最小剥离力，N。

## 10 可加工性

### 10.1 结构完整性(PCB)

#### 10.1.1 目的

本方法适用于验证将高频基板材料加工成PCB后的结构完整性。

### 10.1.2 设备

本试验所需适用于规定试验步骤的设备如下：

- a) 研磨机，（0~800）rpm无级调节；
- b) 金相显微镜，可放大50X~200X。

### 10.1.3 试样

接收态PCB板上截取带有镀覆孔的试样。

### 10.1.4 试验步骤

将试样用环氧树脂镶嵌后进行平磨抛光，直到划痕和污斑消失，漂洗干净后，在金相显微镜下对样品镀覆孔进行观察和测量，观察测量项目如下：

- a) 介质层厚度：测量介质层厚度；
- b) 分层和空洞：观察是否有分层和空洞；
- c) 树脂凹缩：测量最大树脂凹缩尺寸；
- d) 连接盘起翘：观察是否有连接盘起翘现象；
- e) 镀覆孔镀铜层要求如下：
  - 1) 铜镀层厚度测量：按照图6所示位置测量孔铜及面铜厚度；

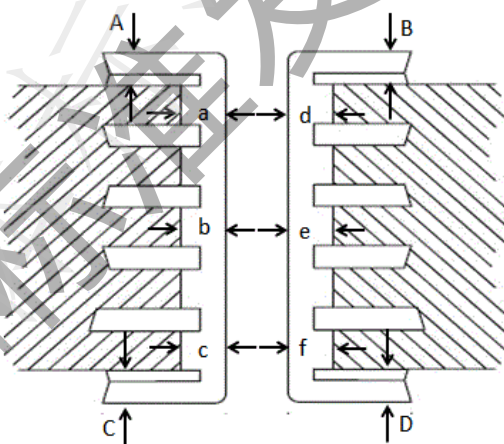


图6 孔铜及面铜厚度测量图示

- 2) 镀覆孔与基材的分离：观察是否有镀覆孔孔壁与介质间的分离；
- 3) 镀覆孔孔壁：观察孔壁是否有结瘤、孔壁粗糙、镀层褶皱或增强材料突出等与高频基板材料本身质量有关的缺陷。
- f) 芯吸：测量最大芯吸，见图7为芯吸示意图。

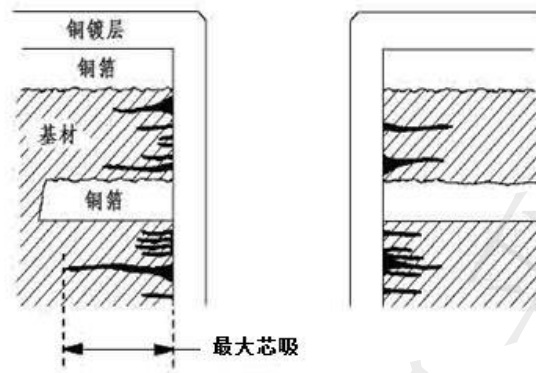


图7 芯吸示意图

### 10.1.5 报告

按4.3的规定。

## 11 工艺适应性

### 11.1 热应力

#### 11.1.1 目的

本方法用于测试高频基板材料的耐热冲击性能。

#### 11.1.2 设备

设备要求如下：

- 可控温电热焊锡槽，能保持规定的温度，控温允许偏差为 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ；
- 温度测量仪，可测25mm液面下焊锡温度，并能够测量规定的焊锡温度，允许温度偏差为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ；
- 秒表或其他合适的计时器，最小读数值应小于0.2s；
- 小镊子或类似的试样夹具；
- 空气循环烘箱，能够保持温度 $(125 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ ；
- 滑石粉或硅油；
- 干燥器；
- 放大镜，可放大4X~10X；
- 显微镜，放大倍数在100倍~200倍范围内。

#### 11.1.3 试样

试样要求如下：

- 准备试样尺寸为 $(50 \pm 1)\text{mm} \times (50 \pm 1)\text{mm}$ ，厚度为原板厚度，数量为3块，试样应当在距离板边缘大于25.4mm的板面内任意地方取样；
- 试样边缘应当清洁并用砂纸打磨，呈光滑状态；
- 对仲裁或鉴定试验，试样应当放置在温度为 $(125 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 的空气循环烘箱中保持 $(4 \sim 6)\text{h}$ ，试样从烘箱中取出后应放在干燥器中，使其冷却至室温。

#### 11.1.4 试验步骤

试验步骤如下：

- a) 试验前打开锡炉，设置温度（ $232 \pm 5$ ）℃；
- b) 助焊剂处理：试样从干燥器中取出后，应当立即轻轻磨擦或用其它适当的方法清洁金属表面，用松香助焊剂处理，然后垂直放置晾干；
- c) 试样涂覆完助焊剂后，将试样保持在规定温度的焊料槽液面，浮焊（ $10 \pm 1/0$ ）s。温度在25.4mm深液面处测量，应当保持试样与焊料面充分接触；
- d) 试样从焊料中取出冷却至室温，用适当的溶剂清除掉试样上的助焊剂；
- e) 使用11.1.2 h) 规定的显微镜设备检查试样表面有无明显起泡、分层和其它损伤，分层和起泡的鉴定和仲裁检验应采取显微切片的方法，鉴定检验用显微切片放大倍数为100倍，仲裁检验为200倍，并记录。

### 11.1.5 报告

除4.3的规定外，试验报告还应包括：目视及切片检查的结果。

## 11.2 热应力（PCB）

### 11.2.1 目的

本方法适用于验证将高频基板材料加工成PCB后的耐热冲击性能。

### 11.2.2 设备

本试验所需适用于规定试验步骤的设备如下：

- a) 烘箱：空气循环烘箱，能保持温度（ $125 \pm 2$ ）℃；
- b) 焊锡槽：可控恒温器的电热焊锡锅；
- c) 温度测量仪，可测25mm液面下焊锡温度，并能够测量规定的焊锡温度，允许温度偏差为 $\pm 2$ ℃；
- d) 秒表或其他合适的计时器，最小读数值应小于0.2s；
- e) 镊子或类似的试样夹具；
- f) 研磨机，（0~800）rpm无级调节；
- g) 显微镜，可放大50X~200X；
- h) 助焊剂：RMA型焊剂；
- i) 焊料：焊锡：有铅焊锡（Sn60Pb40或Sn63Pb37型）、无铅焊锡（SAC305或SAC307型）。

### 11.2.3 试样

试样厚度为印制板厚度，截取带有镀覆孔典型区域。

### 11.2.4 试验步骤

试验步骤如下：

- a) 截取印制板带有镀覆孔区域试样，使用研磨机打磨试样边缘，呈光滑状态；
- b) 试样在125℃条件下烘干处理6h，然后将试样放在干燥器的陶瓷平板上，冷却至室温；
- c) 在干燥器中取出试样后及时涂上RMA型助焊剂，有铅焊接需求样品须在 $232 \pm 5$ ℃的熔融有铅焊料中保持 $10 \text{s} \pm 1/0 \text{s}$ ，共3次（或由供需双方协商确定）；无铅焊接需求样品在 $260 \pm 5$ ℃的熔融无铅焊料中保持 $10 \text{s} \pm 1/0 \text{s}$ ，共3次（或由供需双方协商确定），试样背面与焊料液位持平；
- d) 试验后把试样放在绝缘板上冷却至室温，显微镜观察试样表面有无分层、起泡、白斑等，并进行显微剖切检验。

### 11.2.5 报告

除4.3的规定外，试验报告还应包括：

- a) 热应力温度、时间、次数；
- b) 外观检查结果；
- c) 切片检查的结果，包括介质层厚度、铜镀层厚度、芯吸、分层、空洞、树脂凹缩、镀层分离、镀层开裂、连接盘起翘等观察结果。

### 11.3 模拟返工（PCB）

#### 11.3.1 目的

本方法适用于验证将高频基板材料加工成PCB后的耐模拟返工性能。

#### 11.3.2 设备

本试验所需适用于规定试验步骤的设备如下：

- a) 焊烙铁，在整个试验过程中，烙铁温度应保持在（232~260）℃；
- b) 烘箱：空气循环烘箱，能保持温度（125±2）℃；
- c) 焊料：无腐蚀性松香的锡铅合金，并且焊料丝的直径应不大于1.5mm；
- d) 研磨机，（0~800）rpm无级调节；
- e) 显微镜，可放大50X~200X；
- f) 引线：直径小于孔径0.3mm。

#### 11.3.3 试样

PCB板上截取约5cm×5cm带镀覆孔的试样。

#### 11.3.4 试验步骤

试验步骤如下：

- a) 截取印制板约5cm×5cm带镀覆孔的试样；
- b) 先把试样在120℃~140℃条件下烘干处理6h，然后将试样放在干燥器的陶瓷平板上，冷却至室温；
- c) 把导线插入孔中，并用机器或手工方式焊接到连接盘上；
- d) 焊接后，用手工拆焊和焊接（焊下和焊上）五个循环，在每次脱焊和重焊时，应使用新导线；
- e) 焊接烙铁通常最大60W，烙铁头温度调节至合适温度，确保孔焊盘接受到（232~260）℃的温度。  
在脱焊和焊接时，烙铁应加在导线上，而不是在PCB的焊盘铜箔上；
- f) 拆焊和焊接第五个循环后，进行外观和显微剖切检验。

#### 11.3.5 报告

除4.3的规定外，试验报告还应包括：

- a) 外观检查的结果；
- b) 切片检查的结果，包括介质层厚度、铜镀层厚度、芯吸、分层、空洞、树脂凹缩、镀层分离、镀层开裂、连接盘起翘等观察结果。

### 11.4 模拟回流焊（PCB）

#### 11.4.1 目的

本方法适用于验证将高频基板材料加工成PCB后耐组装回流焊接热应力的性能。

#### 11.4.2 设备

本试验所需适用于规定试验步骤的设备如下：

- a) 烘箱：空气循环烘箱，（105~125）℃；
- b) 回流炉：应具有良好的环境控制系统。

#### 11.4.3 试样

试样为接收态整板PCB，表面应无油污、油脂和其他污染。

#### 11.4.4 试验步骤

试验步骤如下：

- a) 试验前先把试样在105℃~125℃条件下烘干处理6h，然后将试样放在干燥器的陶瓷平板上，冷却至室温；
- b) 调节回流炉的加热程序，使回流曲线满足如下条件：升温到217℃时的斜率：（0-3）℃/s；恒温时间：从150℃升到210℃：60s~150s；液相线（≥217℃）以上总时间：60s-150s；回流峰值温度：260℃±3℃；峰值以下5℃总时间：10s~30s；必要时，由供需双方协商确定回流曲线条件；
- c) 除非另有规定，试样应至少进行3次回流焊循环；
- d) 回流后观察试样表面有无分层、起泡、白斑等，并使用显微剖切方式对结构完整性进行检验。

#### 11.4.5 报告

除4.3的规定外，试验报告还应包括：

- a) 模拟回流条件；
- b) 外观检查的结果；
- c) 切片检查的结果，包括介质层厚度、铜镀层厚度、芯吸、分层、空洞、树脂凹缩、镀层分离、镀层开裂、连接盘起翘等观察结果。

### 12 环境可靠性

#### 12.1 温度冲击（PCB）

##### 12.1.1 目的

本方法适用于验证将高频基板材料加工成PCB后的抗温度冲击性能。

##### 12.1.2 设备

本试验所需适用于规定试验步骤的设备如下：

- a) 高低温冲击试验箱，温度偏差范围为±2℃，低温能维持-55<sub>0</sub><sup>0</sup>℃，高温能维持125<sub>0</sub><sup>+5</sup>℃；
- b) 微欧计，测量分辨率：100nΩ。

##### 12.1.3 试样

试样为接收态PCB板（含温度冲击测试图形），表面应无污物、油脂和其他污染。标准测试图形由供需双方协商确定。

##### 12.1.4 试验步骤

###### 12.1.4.1 试验条件选择

试验条件见表1。

表1 温度冲击试验条件

树脂类型	步骤	温度℃	时间 (min)
热塑性	1	$-40_{-5}^0$	$15_0^{+2}$
	2	$85_0^{+5}$	$15_0^{+2}$
混合性	1	$-55_{-5}^0$	$15_0^{+2}$
	2	$105_0^{+5}$	$15_0^{+2}$
热固性	1	$-55_{-5}^0$	$15_0^{+2}$
	2	$125_0^{+5}$	$15_0^{+2}$

注：（1）试样温度从室温到达规定温度的时间不大于2min；  
（2）本表所列试验条件供参考，具体条件可由供需双方协商确定。

#### 12.1.4.2 试验过程

试验过程如下：

- 印制板试样应按表1条件经受100个温度循环；
- 试验前测量电阻；
- 试验中，在第一次和最后一次高温下测量电阻；
- 试验后测量电阻；
- 试验后观察试样表面有无镀层裂缝、起泡、白斑等，并进行显微剖切对结构完整性进行检查。

#### 12.1.5 结果计算

分别测试第一次和最后一次高温下的电阻，并式（3）按计算电阻变化率。

$$\text{电阻变化率} = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

式中：

$R_1$ —第一次高温电阻；

$R_2$ —最后一次高温电阻。

#### 12.1.6 报告

除4.3的规定外，试验报告还应包括：

- 温度冲击条件；
- 电阻测量结果；
- 外观检查的结果；
- 切片检查的结果，包括介质层厚度、铜镀层厚度、芯吸、分层、空洞、树脂凹缩、镀层分离、镀层开裂、连接盘起翘等观察结果。

### 12.2 湿热与绝缘电阻（PCB）

#### 12.2.1 目的

用加速方法验证将高频基板材料加工成PCB后耐潮热劣化影响的能力。

#### 12.2.2 设备

本试验所需适用于规定试验步骤的设备如下：

- a) 高低温交变湿热试验箱，温度范围（-40~+150）℃，湿度范围（25~98）%RH，温度波动小于等于0.5℃，温度偏差±2.0℃，湿度偏差±3.0%RH（>75%RH），±5.0%RH（≤75%RH）；
- b) 高阻仪，能测量 $10^{12}\Omega$ 或更高电阻的设备；能稳定输出至少200V<sub>DC</sub>测试电压；
- c) 直流稳压电源，能提供100V±10V直流电压。

### 12.2.3 试样

除另有规定，试样应为具有湿热和绝缘电阻测试图形的接收态PCB板。标准测试图形由供需双方协商确定。

### 12.2.4 试验步骤

试验步骤如下：

- a) 焊接引线并使用无水酒精或异丙醇清洗试样；
- b) 预处理：（50±2）℃放置24h；
- c) 测试条件：
  - 1) 试验（步骤1~步骤6为1个循环），如 6.5.4的图1所示；
    - 步骤1.（25±2）℃至（65±2）℃，（90~100）%RH，2.5h；
    - 步骤2.（65±2）℃，（90~100）%RH，3h；
    - 步骤3.（65±2）℃至（25±2）℃，（80~100）%RH，2.5h；
    - 步骤4.（25±2）℃至（65±2）℃，（90~100）%RH，2.5h；
    - 步骤5.（65±2）℃，（90~100）%RH，3h；
    - 步骤6.（65±2）℃至（25±2）℃，（80~100）%RH，2.5h，循环结束。
  - 2) 共10个循环；
  - 3) 箱中暴露时，所有各测试图形应施加100V±10V直流极化电压；
  - 4) 从箱中取出后，应在室温下2h内进行最后的测试；
  - 5) 使用（500+10/-0）V直流电压进行绝缘电阻的最后测试；

注：将试样放入试验箱中时，试样的表面应与试验箱中风向平行，且试样不得重叠。

- d) 分别测试3种类型导线（表层、内层及层间，如不具备以上3种类型导线，可由供需双方协商确定测试导线类型）的试验前绝缘电阻和试验后绝缘电阻。

### 12.2.5 报告

除4.3的规定外，试验报告还应包括：

- a) 湿热试验条件；
- b) 试验前后表层、内层及层间绝缘电阻值。

## 12.3 导电阳极丝（Conductive Anodic Filament, CAF）测试（PCB）

### 12.3.1 目的

本方法用于验证将高频基板材料加工成PCB后耐CAF生长能力，适用于含玻纤布的基板材料验证。

### 12.3.2 设备

本试验所需适用于规定试验步骤的设备如下：

- a) 烘箱：空气循环烘箱，能保持温度（125±2）℃；
- b) 高低温交变湿热试验箱，温度范围（-40~+150）℃，湿度范围（25~98）%RH，温度波动小于等于0.5℃，温度偏差±2.0℃，湿度偏差±3.0%RH（>75%RH），±5.0%RH（≤75%RH）；

## c) 绝缘电阻在线测试系统:

- 1) 电阻测试范围:  $(10^6 \sim 10^{13}) \Omega$  (加载 100V 时),  $(10^6 \sim 10^{12}) \Omega$  (加载 5V 时);
- 2) 测试间隔: 不大于 15min;
- 3) 设备偏置及测试电压要求: 至少包含  $(-100 \sim 300) V_{DC}$ ;
- 4) 精度要求:
  - $(1 \times 10^6 \sim 1 \times 10^{10}) \Omega$  精度  $\leq \pm 5\%$ ;
  - $(1 \times 10^{10} \sim 1 \times 10^{11}) \Omega$  精度  $\leq \pm 10\%$ ;
  - $> 1 \times 10^{11} \Omega$  精度  $\leq \pm 20\%$ 。

## 12.3.3 试样

试样应为接收态具有CAF测试图形的PCB板,表面应没有污物、油脂和其他污染。CAF的典型测试图形示意图如图9所示,常见孔径/孔中心间距尺寸见表2,具体尺寸和测试图形设计可由供需双方协商确定。

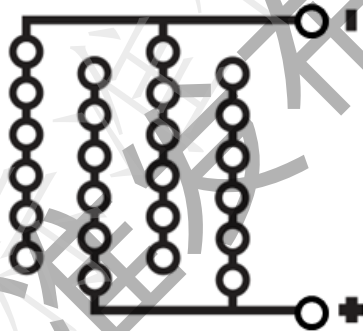


图9 CAF测试图形图示

表2 CAF测试图形常见孔径/孔中心间距尺寸

孔径/mm	孔中心间距/mm
0.20	0.50
0.25	0.65
0.30	0.8
0.45	1.0

## 12.3.4 试验步骤

## 12.3.4.1 试样准备

试验准备如下:

- a) 先把试样在125℃条件下烘干处理6h,然后将试样放在干燥器的陶瓷平板上,冷却至室温;
- b) 从干燥器取出试样后,使用合适的方法对样品进行标识,例如划线器,确保标识不会对测试区有污染;
- c) 模拟装配和返工: CAF试样应经过有代表性的模拟有铅/无铅回流焊(3次~6次,由供需双方协商);
- d) 连接线: 使用测试线将待测网络连接,通常采用焊接于试样焊盘方式连接,在焊接过程中,通过对烙铁使用适当的时间/温度参数,确保避免损坏靠近电镀孔的PCB层压材料;

- e) 焊接后的清洁：连接导线后，进行适当的局部清洁和冲洗。连接线连接点之间的绝缘电阻应在96小时的调节过程中保持良好；
- f) 干燥：在 $(105 \pm 2)$  °C的干净烘箱中烘烤样品板至少30分钟；
- g) 预处理条件：任何初始绝缘电阻测量之前，在 $(23 \pm 2)$  °C和 $(50 \pm 5)$  %RH的相对湿度下，无偏压状态下预处理测试板样品至少30分钟；
- h) 温度/湿度/偏压 (T/H/B) 测试箱：将试样垂直放置和环境试验箱中，使气流与试验箱中所有试验板的方向平行。每个测试板之间至少2.5厘米。将测试板尽可能地朝着试验箱的中心放置，以防止非最佳气流和/或冷凝液滴落在测试板上。将所有连接线引至潮热箱外部，箱内连接线远离测试图形，此外，连接线不应妨碍样品周围的气流，最后密封测试箱。以1小时的缓变设置到预设的温度和湿度。

#### 12.3.4.2 试验过程

试验过程如下：

- a) 电阻测量：测试电压 $100V_{DC}$ ，保持时间60s，测量每个测试板测试图形的绝缘电阻；偏压性和测试电压的极性应始终相同；
- b) 在进行初始绝缘电阻测量后，在 $85 \pm 2$  °C温度、相对湿度 $85 \pm 3$  %RH，无偏压的条件下稳定96小时（ $\pm 30$ 分钟），在96小时（ $\pm 30$ 分钟）稳定期后，应测量每个测试图形绝缘电阻；
- c) 测偏置电压值 $50V_{DC}$ ，测试电压： $100V_{DC}$ ，测试时间： $500h$ ；
- d) 检查可疑的CAF测试故障，如导线脱落、断开、焊接点而非图形区漏电等，则该测试样本不再适用于数据分析。

#### 12.3.5 结果处理

结果处理如下：

- a) 96h稳定后的绝缘电阻值小于 $10^7 \Omega$ 的测试样品应排除，因为此故障是由于PTH孔质量或层压能力造成的；
- b) 绘制时间-电阻曲线图。

#### 12.3.6 报告

除4.3的规定外，试验报告还应包括：

- a) 预处理条件；
- b) 测试条件：偏置电压、测试时长、测试温湿度、测试电压；
- c) 时间-电阻曲线图。

附录 A  
(规范性)  
高频基板材料覆铜箔蚀刻方法

### A.1 酸性氯化铜蚀刻法

#### A.3.1 目的

本方法是用酸性氯化铜蚀刻液除去高频基板材料试样的所覆铜箔的一种蚀刻和清洗方法,仅作为除去铜箔的一种方法参考。

#### A.3.2 仪器与材料

本试验所需适用于规定程序的仪器和材料如下:

- a) 标准化学蚀刻机,或适当的化学蚀刻的试验设备;
- b) 空气循环干燥箱,温度能保持在 $(80\pm 5)$ ℃;
- c) 其他所需物品,砂纸、软毛刷、去离子水、蒸馏水。

#### A.3.3 化学药品

本方法需用以下化学药品:

- a) 酸性氯化铜蚀刻液配方见表A.1

表 A.1 酸性氯化铜蚀刻液配方

化学药品	浓度
氯化铜 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.54kg/L
盐酸 HCl (工业级)	9.3% (重量比) (3N) 25% (体积比)
蒸馏水/去离子水	适量

- b) 中和液: 10% (重量比) 的氢氧化钠 (NaOH);
- c) 清洗液: 化学纯级异丙醇 (适量);
- d) 图形显影材料: 抗蚀刻系列材料,能形成适合的导电图形。

#### A.3.4 试样

试样尺寸由蚀刻以后要进行的检验或试验及蚀刻设备的尺寸确定。必要时,用砂纸或其他合适的方法打磨试样边缘,使呈光滑状态并清洗干净。

#### A.3.5 步骤

##### A.3.5.1 蚀刻

蚀刻步骤如下:

- a) 在喷淋蚀刻箱内或其他合适的容器中蚀刻除去铜箔,酸性氯化铜蚀刻液的比重为1.26~1.28,温度控制在 $(30\pm 6)$ ℃;
- b) 铜箔被完全除去后立即取出,蚀刻时间应尽可能短,以防止裸露的层压板过度暴露于蚀刻液中;
- c) 如试样是在实验室条件下蚀刻,需要对蚀刻液良好搅拌。

注:对35 $\mu\text{m}$ 铜箔,如蚀刻时间超过15min或70 $\mu\text{m}$ 铜箔蚀刻时间超过30min,蚀刻液宜予更换。采用新鲜蚀刻液时,对35 $\mu\text{m}$ 铜箔约需7min,对70 $\mu\text{m}$ 铜箔约需15min即可完全蚀刻。

##### A.3.5.2 中和蚀刻剂

将试样迅速浸入10%草酸溶液中以中和残留的蚀刻剂,然后用蒸馏水或去离子水冲洗。

#### A.3.5.3 清洗

清洗步骤如下：

- a) 如果试样使用了抗试剂或抗蚀胶带，应采用标准工业方法将其除去；
- b) 当试样需要进行电性能试验时，在清洗之前不允许把蚀刻试样晾干；
- c) 对于一般的性能试验，在自来水龙头下用软毛刷刷洗试样，然后用蒸馏水或用去离子水冲洗。  
对于重要的或仲裁试验，层压板试样应浸在试剂级的异丙醇中5min，然后马上用去离子水冲洗5min。

#### A.3.5.4 干燥

晾干试样，对于仲裁试验，应放在干燥箱内于 $(80\pm 5)$ ℃下干燥1h。

#### A.3.6 试验评定

确定和记录在蚀刻过程中发生的任何异常情况如下：

- a) 试样完全除去铜在蚀刻液里停留的时间是否比平时长；
- b) 材料弯曲或变形；
- c) 材料变色或其他肉眼可见的变化。

附录 B  
(资料性)  
起草单位和主要起草人

本文件起草单位：工业和信息化部电子第五研究所、电子科技大学、中兴通讯股份有限公司、广东生益科技股份有限公司、浙江华正新材料股份有限公司、广州广合科技股份有限公司、成都恩驰微波科技有限公司、深圳先进电子材料国际创新研究院、山东国瓷功能材料股份有限公司。

本文件主要起草人：贺光辉，何骁，宁敏洁，李星星，罗定锋，周亮，肖美珍，陈泽坚，洪璞旭，周波，沈江华，孙朝宁，曾红，彭镜辉，李恩，余承勇，王峰，王玉，魏新启，董辉，任英杰，卢悦群，葛鹰，于淑会，杨宏伟，刑晶，罗道军。