

# T/CPCA

## 中国电子电路行业团体标准

T/CPCA XXX.4—20XX

### 电子电路检测方法：化学性能测试方法

Test methods of electronic circuits: Chemical testing

(征求意见稿)

2026.6.11

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国电子电路行业协会 发布



## 目 次

1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 通用试验要求 .....	1
4.1 试验条件 .....	1
4.1.1 试验的标准大气条件 .....	1
4.1.2 仲裁试验的标准大气条件 .....	1
4.2 试样 .....	1
4.3 结果报告 .....	2
5 化学性能测试方法 .....	2
5.1 孔隙率 .....	2
5.1.1 镀层孔隙率 气体暴露法 .....	2
5.1.1.1 目的 .....	2
5.1.1.2 试样 .....	2
5.1.1.3 设备和材料 .....	2
5.1.1.4 步骤 .....	2
5.1.1.5 结果报告 .....	3
5.1.2 铜上镀金层孔隙率 电图像法 .....	3
5.1.2.1 目的 .....	3
5.1.2.2 试样 .....	3
5.1.2.3 设备和材料 .....	3
5.1.2.4 步骤 .....	3
5.1.2.5 结果报告 .....	4
5.1.3 镍上镀金层孔隙率 电图像法 .....	4
5.1.3.1 目的 .....	4
5.1.3.2 试样 .....	4
5.1.3.3 设备和材料 .....	4
5.1.3.4 步骤 .....	4
5.1.3.5 结果报告 .....	4
5.1.4 镀层孔隙率 硝酸蒸汽法 .....	4
5.1.4.1 目的 .....	4
5.1.4.2 试样 .....	4
5.1.4.3 设备和材料 .....	4
5.1.4.4 步骤 .....	5
5.1.4.5 结果报告 .....	5
5.2 镍腐蚀测试 (SEM) .....	5
5.2.1 目的 .....	5
5.2.2 试样 .....	5
5.2.3 设备和材料 .....	5

5.2.4	步骤	6
5.2.4.1	剥金	6
5.2.4.2	观察	6
5.2.5	结果报告	8
5.3	排气测试	8
5.3.1	目的	8
5.3.2	实验室环境及测试条件	8
5.3.2.1	实验室环境	8
5.3.2.2	测试条件	8
5.3.3	试样	8
5.3.3.1	试样制备	9
5.3.3.2	试样数量	9
5.3.4	设备和材料	9
5.3.4.1	测试装置	9
5.3.4.2	分析天平	11
5.3.4.3	恒温恒湿箱	11
5.3.4.4	干燥皿	11
5.3.5	测试准备	11
5.3.5.1	试样准备	11
5.3.5.2	测试系统准备	11
5.3.6	步骤	11
5.3.7	数据计算与处理	12
5.3.7.1	数据计算	12
5.3.7.2	数据处理	13
5.3.8	结果报告	13
5.4	耐霉性测试	13
5.4.1	目的	13
5.4.2	试样	13
5.4.3	设备和材料	13
5.4.4	步骤	13
5.4.5	结果报告	15
5.5	阻燃性	15
5.5.1	水平燃烧试验	15
5.5.1.1	目的	15
5.5.1.2	试样	15
5.5.1.3	设备和材料	16
5.5.1.4	步骤	16
5.5.1.5	结果报告	17
5.5.2	灼热丝试验	17
5.5.2.1	目的	17
5.5.2.2	试样	17
5.5.2.3	设备和材料	17
5.5.2.4	步骤	19
5.5.2.5	观察和测量	20
5.5.2.6	试验结果的评定	20

5.5.2.7 结果报告 .....	20
5.5.3 针焰试验 .....	20
5.5.3.1 目的 .....	20
5.5.3.2 试样 .....	20
5.5.3.3 设备和材料 .....	21
5.5.3.4 步骤 .....	21
5.5.3.5 观察和测量 .....	24
5.5.3.6 试验结果的评定 .....	24
5.5.3.7 结果报告 .....	24
5.5.4 垂直燃烧试验 .....	24
5.5.4.1 目的 .....	24
5.5.4.2 设备和材料 .....	24
5.5.4.3 试样 .....	25
5.5.4.4 步骤 .....	25
5.5.4.5 结果报告 .....	27
5.6 涂层耐溶剂和耐焊剂性 .....	27
5.6.1 目的 .....	27
5.6.2 试样 .....	27
5.6.3 设备和材料 .....	27
5.6.4 步骤 .....	28
5.6.4.1 模拟焊接 .....	28
5.6.4.2 摩擦试验 .....	28
5.6.4.3 仲裁方法 .....	28
5.6.5 评价 .....	29
5.6.6 结果报告 .....	29
5.7 离子污染 .....	29
5.7.1 手工萃取法 .....	29
5.7.1.1 目的 .....	29
5.7.1.2 设备和材料 .....	29
5.7.1.3 步骤 .....	29
5.7.1.4 结果报告 .....	30
5.7.2 仪器萃取法 .....	30
5.7.2.1 目的 .....	30
5.7.2.2 设备和材料 .....	31
5.7.2.3 步骤 .....	31
5.7.2.4 结果报告 .....	31
5.7.3 离子色谱法 .....	31
5.7.3.1 目的 .....	31
5.7.3.2 设备和材料 .....	31
5.7.3.3 步骤 .....	32
5.7.3.4 评价 .....	32
5.7.3.5 结果报告 .....	32
5.8 镀金层耐腐蚀性 混合气体法 .....	32
5.8.1 目的 .....	32
5.8.2 试样 .....	32

5.8.3 设备和材料	32
5.8.3.1 气体系统	32
5.8.3.2 工作室	33
5.8.3.3 气体输送系统	33
5.8.3.4 气体分析系统	33
5.8.4 步骤	34
5.8.4.1 试验样品组成	34
5.8.4.2 初始检测	34
5.8.4.3 预处理	35
5.8.4.4 严酷等级	35
5.8.4.5 腐蚀测试步骤	35
5.8.5 恢复（试验结束后）	36
5.8.6 最终检测	36
5.8.7 结果报告	36
5.9 卤素含量	36
5.9.1 离子色谱法	36
5.9.1.1 目的	37
5.9.1.2 设备和材料	37
5.9.1.3 试样	37
5.9.1.4 步骤	37
5.9.1.5 结果报告	40
5.9.2 X 射线荧光光谱法（XRF）	40
5.9.2.1 目的	40
5.9.2.2 设备和材料	40
5.9.2.3 样品制备	40
5.9.2.4 步骤	40
5.9.2.5 结果报告	40
附录 A（资料性）剥金方法	41
A.1 ENIG 的氰化剥金方法	41
A.2 碘化钾/碘（非氰化物）测试方法的 ENIG 剥金程序	41
A.3 以宽束氩离子研磨的方法剥离印制板上 ENIG 表面处理的金镀层	41
参考文献	45

## 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 T/CPCA XXX《电子电路检测方法》的第 4 部分。T/CPCA XXX 还包括以下部分：

- 第 1 部分：外观和尺寸检验方法；
- 第 2 部分：电气性能测试方法；
- 第 3 部分：物理性能测试方法；
- 第 5 部分：环境试验方法。

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。

本文件由中国电子电路行业协会（CPCA）提出。

本文件由中国电子电路行业协会（CPCA）标准化工作委员会归口。

本文件主起草单位：安捷利美维电子（厦门）有限责任公司、深圳市美信检测技术有限公司、广东生益科技股份有限公司、工业和信息化部电子第五研究所、黄石广合精密电路有限公司。

本文件主要起草人：朱云、张伟、彭璟、陈锡强、李志斌、罗云浩、王小兵、刘申兴、冯椿婷、杨颖、周咏。

本文件参与起草单位：深南电路股份有限公司、生益电子股份有限公司、广州广合科技股份有限公司、东莞广合数控科技有限公司、电子科技大学、龙南鼎泰电子科技有限公司、四川英创力电子科技股份有限公司、深圳市深联电路有限公司、广东微谱标准技术有限公司、苏州维嘉科技股份有限公司、江苏苏杭电子有限公司、广州安费诺诚信软性电路有限公司、汕头超声印制板公司、江西旭昇电子股份有限公司、江西鼎华芯泰科技有限公司、重庆方正高密电子有限公司、珠海焕新方正科技有限公司、中电科普天科技股份有限公司、博敏电子股份有限公司、竞陆电子（昆山）有限公司、广州兴森快捷电路科技有限公司、尼得科精密检测设备（浙江）有限公司、中兴通讯、深圳市大族数控科技股份有限公司、重庆航凌电路板有限公司、深圳华秋电子有限公司、中认南信（江苏）检测技术有限公司。

本文件参与起草人：戴炯、任尧儒、潘冬梅、黎钦源、黄欣、王正非、陈苑明、王敬永、张仁军、余条龙、张盘新、汪嵩庆、孟凡辉、叶宗顺、杨存杰、孙该贤、黄凤艳、马步霞、周洪根、何忠亮、曹磊磊、王锋、李超谋、陈世金、黄志宏、胡梦海、何涛、曾福林、王寿桥、赵勇、李晓锋、张乃红、招淑玲、霍发燕、郑道远。

本文件为首次制定。



# 电子电路检测方法

## 化学性能测试方法

警告：本文件使用到的一些试剂有危险性，应由有经验的技术人员配置操作或在其指导下配置操作。

### 1 范围

本文件规定了电子电路，刚性印制板、挠性印制板、刚挠结合印制板的化学性能测试方法。

本文件适用于电子电路，刚性印制板、挠性印制板、刚挠结合印制板包括孔隙率、镍腐蚀测试(SEM)、排气测试、耐霉性测试、阻燃性、耐溶剂性、离子污染、镀金层耐腐蚀性 混合气体法、卤素含量、热分解温度的化学性能测试方法。

### 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 4677-2026 印制板测试方法

GB/T 5169.16-2017 电工电子产品着火危险试验 第16部分：试验火焰 50 W水平与垂直火焰试验方法

GB/T 5169.22-2015 电工电子产品着火危险试验 第22部分：试验火焰 50W火焰 装置和确认试验方法

T/GPCA 009 电子电路术语

T/GPCA XXX.1-20XX 电子电路检测方法 外观和尺寸检验方法

T/GPCA XXX.5-20XX 电子电路检测方法 环境试验方法

### 3 术语和定义

T/GPCA 009界定的术语和定义适用于本文件。

### 4 通用试验要求

#### 4.1 试验条件

##### 4.1.1 试验的标准大气条件

试验的标准大气条件应符合以下要求：

- a) 温度：15℃～35℃；
- b) 相对湿度：45%～75%；
- c) 气压：86 kPa～106 kPa。

##### 4.1.2 仲裁试验的标准大气条件

仲裁试验的标准大气条件应符合以下要求：

- a) 温度：(23±1)℃；
- b) 相对湿度：48%～52%；
- c) 气压：86 kPa～106 kPa。

#### 4.2 试样

除非另有规定，试验应使用在制或成品印制板。

对于特定的测试，要使用附连测试板。

为了使试样能代表成品板，附连测试板可以包含在成品板的在制板上，或者采用与成品板相同的材料和加工工艺生产的单独的综合测试板。生产单独的综合测试板时，测试板应与在线批量生产的成品板（可包含其他型号）在同一生产流程中同步完成，测试板数量需足够覆盖测试项目，以得到比较完备的综合评定。

### 4.3 结果报告

结果报告应至少包括以下内容：

- a) 试验方法标准编号及版本号；
- b) 样品描述：如名称、型号、批号、制造日期、制造单位等；
- c) 试验设备的型号和名称；
- d) 试样处理及环境条件；
- e) 试验日期；
- f) 试验人员；
- g) 试验结果；
- h) 与本标准试验方法的任何偏离。

## 5 化学性能测试方法

### 5.1 孔隙率

#### 5.1.1 镀层孔隙率 气体暴露法

##### 5.1.1.1 目的

将试样暴露在含有二氧化硫和硫化氢的潮湿环境中，使镀层不连续处产生明显的腐蚀产物，确定某些金属镀层的不连续性。

注：本试验方法的可用性和试验结果的可靠度都有限，建议仅在供需双方同意时采用。

##### 5.1.1.2 试样

铜上有或无镀镍底层的金镀层、钯镀层和铑镀层的成品板的适当部位。

##### 5.1.1.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 试验装置为一个10 L的玻璃干燥器，干燥器里有一个多孔上釉的瓷板作为被测试样的支架。为避免漏气，在干燥器和盖上需涂上密封脂；
- b) 100 mL带盖的玻璃瓶；
- c) 蒸馏水；
- d) 三氯乙烯或合适的溶剂；
- e) 二氧化硫气体；
- f) 硫化氢气体：用硫化亚铁和盐酸反应制备，用排水集气法收集，气体充满玻璃瓶后，用布把水擦干。

##### 5.1.1.4 步骤

测试步骤如下：

- a) 洗净并干燥干燥器的内表面和瓷板，在干燥器底部用0.5 mL的蒸馏水润湿；
- b) 将试样用三氯乙烯或合适的溶剂蒸气去油，然后用不起毛的细布擦干；
- c) 待试样恢复到室温，将试样放在干燥器的瓷板上，试验面向上；
- d) 将充满二氧化硫气体的玻璃瓶水平放置在瓷板上，并靠近试样，打开瓶盖，立即将干燥器盖严；
- e) 干燥器保持密封状态24 h后打开干燥器盖，在常温下保持1 h，取出玻璃瓶；
- f) 将充满硫化氢气体的玻璃瓶水平放置在瓷板上，打开瓶盖，立即盖严干燥器，保持24 h；

- g) 试验结束后, 打开干燥器盖并取出试样, 注意不要用手触及试验面;  
h) 用10倍放大镜检查试样, 并记录试样的每个接触片上孔隙的个数和记录腐蚀情况图片, 或按公式(1)计算孔隙率。

注1: 测量区域应在零件图纸上标明, 如未标明, 推荐取理论接触区域并向外扩展0.51 mm。

注2: 当测量区域边缘的孔隙有至少3/4处在测量区域内时, 应对孔隙进行计数, 而处在测量区域内但产生于测量区域外或形状不规则的孔隙则不计入内, 参见图1。

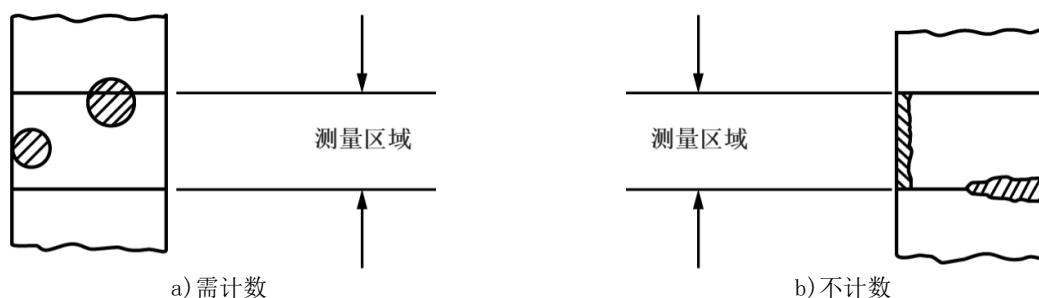


图1 测量区域边缘孔隙计数示意图

$$K = \frac{N}{S} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$K$ ——单位面积上的孔隙率, 单位为个每平方厘米 (个/cm<sup>2</sup>);

$N$ ——试样表面测量区域的孔隙数, 单位为个;

$S$ ——试样表面测量区域的面积, 单位为平方厘米 (cm<sup>2</sup>)。

### 5.1.1.5 结果报告

除4.3的规定外, 报告还应包括:

- a) 表面镀层类型;
- b) 孔隙率计算结果。

### 5.1.2 铜上镀金层孔隙率 电图像法

#### 5.1.2.1 目的

用电图像法检验无镀镍底层上特定金属镀层的不连续性。

注: 本试验方法的可用性和试验结果的可靠度都有限, 建议仅在供需双方同意时采用。

#### 5.1.2.2 试样

铜上无镀镍底层的金镀层、钯镀层和铑镀层的成品板的适当部位。镀层区域需用在中性有机溶剂(如丙酮)浸泡过的无尘布擦拭以去除油渍。

#### 5.1.2.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下:

- a) 电图像测试仪, 尺寸150 mm×25 mm的高纯度铝板作为阴极, 可加压至200 N/cm<sup>2</sup>, 并能在低于12 V的电源下传递平滑无脉冲直流电;
- b) 高质量转印纸, 如涂有一层不感光明胶层的高质量照相纸, 裁剪成适当的尺寸;
- c) 电解液, 将0.59 g NaCl和1.06 g Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>共同溶解在1 L蒸馏水中;
- d) 显影液, 将0.25 g二硫代乙二酰二胺缓慢加热溶解于100 mL乙醇中。

#### 5.1.2.4 步骤

测试步骤如下:

- a) 将转印纸片浸泡在电解液中30 min;
- b) 取出纸片, 将其放在吸水纸之间挤压以去除多余的电解液, 接着将感光乳剂面向下放置在试样

镀层上，用作阳极，然后将其放置在铝板下面；

- c) 施加 $140\text{ N/cm}^2 \sim 170\text{ N/cm}^2$ 的作用力将这一组合压紧；
- d) 在压制过程中，施加4 V固定直流电压60 s，打开压机，取出转印纸浸泡在显影液30 s；
- e) 建议用镊子夹住转印纸浸入显影液溶液中，因为溶液会在手指上形成顽固的黑点；
- f) 生成的电图像用自来水冲洗，然后烘干，镀层上存在的任何缺陷（如孔隙）都会通过电图像上以深橄榄绿斑点反映出来；
- g) 用10倍放大镜目检电图像，镀金中的孔隙是亮粉色斑点，孔隙率按公式（1）计算。

#### 5.1.2.5 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 表面镀层类型；
- b) 孔隙率计算结果。

#### 5.1.3 镍上镀金层孔隙率 电图像法

##### 5.1.3.1 目的

用电图像法检验镀镍底层上特定金属镀层的不连续性。

注：本试验方法的可用性和试验结果的可靠度都有限，建议仅在供需双方同意时采用。

##### 5.1.3.2 试样

铜上有镀镍底层的金镀层、钯镀层和铑镀层的成品板的适当部位。镀层区域需用在中性有机溶剂（如丙酮）浸泡过的无尘布擦拭以去除油渍。

##### 5.1.3.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 电图像测试仪，尺寸 $150\text{ mm} \times 25\text{ mm}$ 的高纯度铝板作为阴极，可加压至 $200\text{ N/cm}^2$ ，并能在低于12 V的电源下传递平滑无脉冲直流电；
- b) 高质量转印纸，如涂有一层不感光明胶层的高质照相纸，裁剪成适当的尺寸；
- c) 电解液，将0.59 g NaCl 和1.06 g  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  共同溶解在1 L蒸馏水中；
- d) 显影液，将0.25 g二硫代乙二酰二胺缓慢加热溶解于100 mL乙醇中。

##### 5.1.3.4 步骤

同5.1.2.4。

##### 5.1.3.5 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 表面镀层类型；
- b) 孔隙率计算结果。

#### 5.1.4 镀层孔隙率 硝酸蒸汽法

##### 5.1.4.1 目的

将试样暴露在对金属基材有腐蚀性的气氛中。在有孔隙的地方，试剂会侵蚀金属基材并产生腐蚀产物。通过检查试样的腐蚀产物来揭示金镀层孔隙的存在。

##### 5.1.4.2 试样

适用于铜、铜基合金和镍上的金镀层。

##### 5.1.4.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 玻璃干燥器，干燥器盖或底部的配接面不应当使用密封剂（如旋塞润滑脂等）。密封剂可能会使它们粘在一起，而任何用于松开卡住的盖子的方法都可能非常危险；

- b) 试样支架，由玻璃或不会附着硝酸蒸汽的其他材料制成的支撑结构，用于将被测试样固定于干燥器上部；
- c) 硝酸，69.0%~71.0% HNO<sub>3</sub>；
- d) 10%重量比氢氧化钠溶液；
- e) 多硫化物试剂，多硫化物试剂制备：将硫化钠晶体溶解在水中直至溶液饱和。添加过量的硫磺（每1000 mL多于250 g）。搅拌并让溶液静置24 h。在室温下过滤并用水稀释至比重为1.142。溶液应该呈红橙色。要检查试剂的有效性，在室温下将干净的铜或高纯度铜（大于95%）合金试样浸入试剂中，试样应当在10 s内变黑。

#### 5.1.4.4 步骤

测试步骤如下：

- a) 为尽可能避免盖子被卡住，干燥器配接表面周围以等间隔压平至少三条压敏聚四氟乙烯胶带（粘合面朝下）。将约300 mL硝酸（或根据干燥器尺寸确定硝酸用量，应当确保在底部放置约301 mL的硝酸时，6.45 cm<sup>2</sup>的硝酸表面积对应的空间不超过164 cm<sup>3</sup>）置于干燥器底部，盖上干燥器，等待约30 min达到平衡后开始测试；
- b) 用1, 1, 1-三氯乙烷或甲苯或其他合适的溶剂清洁试样，并用过滤后的干燥空气（表压低于207 kPa（30 psi））吹干；
- c) 以10倍放大倍数检查清洁过的试样表面是否有痕迹或颗粒物。如果有任何残留，用溶剂重新清洁或使用干净的软刷将其清除；
- d) 将清洁后的干净试样放在支架上，以便有足够的空间让硝酸蒸汽和空气环绕在试样周围；
- e) 小心地取下干燥器盖，将支架放在干燥器中并立即盖上盖子，以防止蒸汽过度损失、破坏先前建立的平衡；测试应当在（24±3）℃的温度和最大60%的相对湿度下进行。试样暴露于硝酸蒸汽的时间应当为1 h，除非另有规定；
- f) 在暴露于硝酸蒸汽1 h后，将试样从干燥器中取出，在室温下立即将其浸入10%重量比氢氧化钠溶液中25 s~30 s。用水冲洗试样，然后在室温下将其浸入多硫化物试剂中25 s~30 s。再次用水冲洗并使用过滤后的压缩空气（表压小于207 kPa）吹干；
- g) 以10倍的放大倍数检查试样。黑色腐蚀产物证明存在孔隙。应当在相关图纸或规范中规定可接受的孔数、尺寸和位置。

注：所有工作都要在通风橱内进行，因为释放的蒸汽有毒。应该佩戴完全覆盖眼部的化学护目镜，并准备好洗眼设施。

#### 5.1.4.5 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 表面镀层类型；
- b) 黑色腐蚀产物描述。

### 5.2 镍腐蚀测试（SEM）

#### 5.2.1 目的

本方法用于评定化学镀镍/浸金（ENIG）表面处理方式印制板的镍腐蚀情况。

#### 5.2.2 试样

表面处理方式为化学镀镍/浸金（ENIG）的印制板。

#### 5.2.3 设备和材料

**警告：**氰化物有剧毒，使用时应该特别注意。

本方法所用设备和材料如下：

- a) 扫描电子显微镜：应SE（二次电子）探测器在3000倍下清晰成像，用于观察镍腐蚀情况；
- b) 以缓冲氰化物为基础的溶液或碘化钾/碘溶液或离子研磨仪（氩离子）；
- c) 烧杯、纯水、酒精、压缩空气；
- d) 防护装置：通风橱、手套、口罩、护目镜。

注1：碘化钾/碘溶液是一种氧化剂，对皮肤和呼吸道有刺激性，应佩戴手套、口罩、护目镜等防护装置在通风橱内进行操作。

注2：以缓冲氰化物为基础的溶液：这是最常见的用于剥金的溶液，大多数化学溶剂在室温下使用。也有例外情况，建议仔细阅读制造商的使用说明书。

注3：碘化钾/碘溶液：这个溶液可以用来去除金，但观察到的是比氰化物溶液更有侵蚀性的晶粒边界攻击。结果说明时应该考虑到这一点。在每次使用时都要重新配置剥金溶液。

## 5.2.4 步骤

### 5.2.4.1 剥金

下述是对ENIG沉积层剥金的方法，有关更多详细信息，见附录A。化学剥离方法的停留时间和工艺步骤提供的这些停留时间是严格的指导时间，剥离样品应当在纯水中冲洗，并立即用干净、无油的压缩空气干燥：

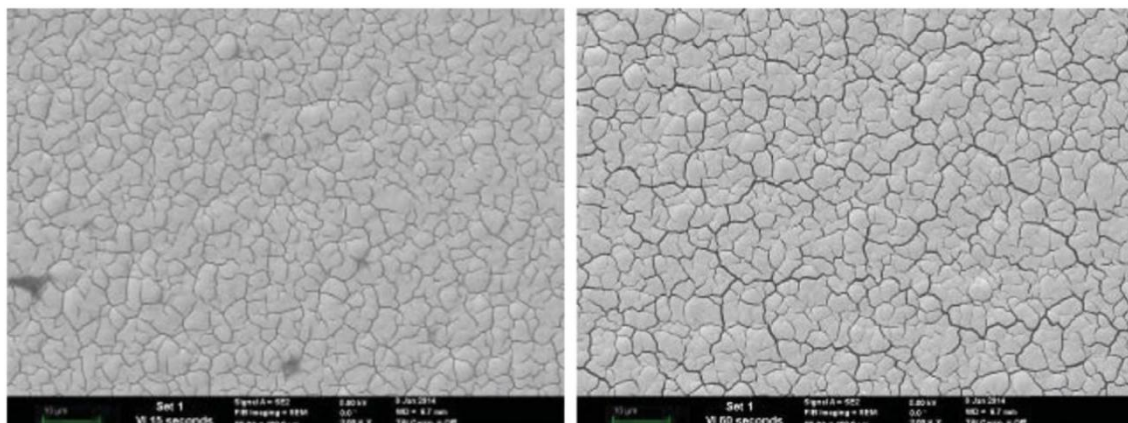
- 氰化物溶液剥离：一般在室温（22℃）下操作，对于符合该规范的沉积厚度，一般需要15 s~30 s；
- 碘化钾碘溶液剥离：在室温下（22℃）使用的“新制”剥离溶液。停留时间不应超过15 s，注：碘化钾碘剥离不应再用于显微剖切。
- 以宽束氩离子研磨的方法剥离印制板上ENIG表面处理的金镀层；
- 使用压缩空气或罐装空气除去表面上松散碎屑或粉尘，或者使用溶剂或酒精清洗样品表面；
- 选择一个 $5^{\circ}$ ~ $45^{\circ}$ 之间的离子枪的角度（相对于样品表面）角度（推荐 $25^{\circ}$ ）。
- 选择一个在1 kV~10 kV之间的离子枪加速电压（推荐5 kV）。
- 在5 kV电压条件下，离子枪电流推荐使用2 mA。
- 通常1 min~5 min的时间足以将金层完全去除，其目的是完全去除金层而又不会明显研磨进镍层。

注：在研磨过程中，可用显微镜每30 s~60 s检查一次样品表面。当研磨区域目视呈灰色或镍层的颜色时，表明金层已基本去除。。

### 5.2.4.2 观察

使用SEM评估对于过腐蚀的证据，应当使用扫描电镜检查剥金后的样品，使用SE（二次电子）探测器在3000倍下进行检测。更高倍数下的评估可能会发现单点腐蚀，但是该腐蚀评估不能作为过腐蚀的拒收条件。

晶界增强与过腐蚀必须区分晶界增强与剥金以及过腐蚀的情况。在镍晶瘤表面会出现过腐蚀，同时显示晶界增强（见图2 ~图6）。

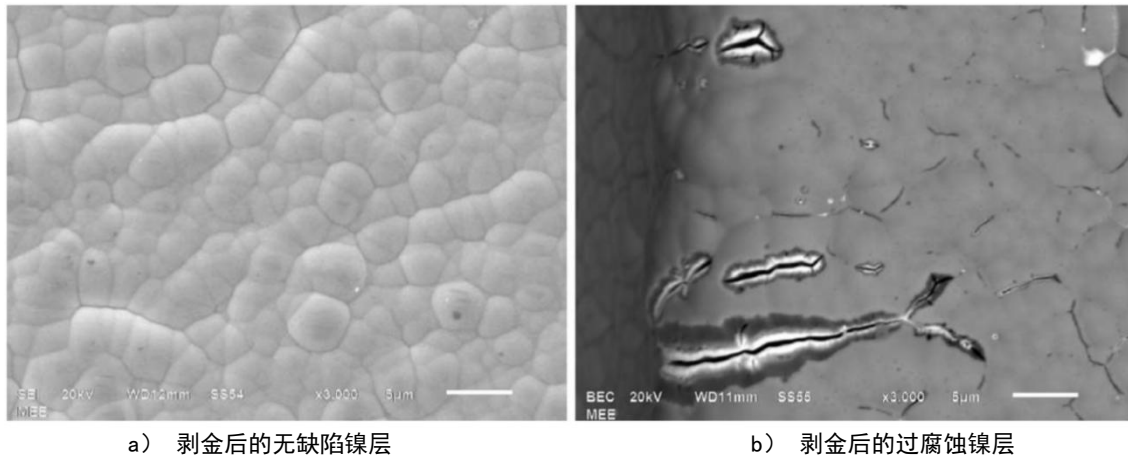


a) 碘化钾/碘 ( $KI/I_2$ ) 溶液停留15 s

b) 碘化钾/碘 ( $KI/I_2$ ) 溶液停留60 s

图2  $KI/I_2$ 基剥离液随着剥金时间的增长，晶界增强效应相应增长





a) 剥金后的无缺陷镍层

b) 剥金后的过腐蚀镍层

图6 离子研磨方法对比

过腐蚀的验证一旦发现剥金后出现过腐蚀现象，在对样品进行评估拒收或接受之前，需要对样品进行截面情况的评估，按T/CPCA 50XX.1-20XX 7进行显微剖切的制备和腐蚀深度的测量。

### 5.2.5 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 测试位置；
- b) 剥金方法及参数；
- c) 测试扫描电子显微镜照片。

## 5.3 排气测试

### 5.3.1 目的

本方法用于评价印制板在真空环境下的出气性能。

### 5.3.2 实验室环境及测试条件

#### 5.3.2.1 实验室环境

实验室环境应满足以下要求：

- a) 温度：15℃～25℃；
- b) 相对湿度：20%～60%；
- c) 大气压力：常压；
- d) 洁净度：优于100 000级。

#### 5.3.2.2 测试条件

测试条件应满足以下要求：

- a) 试样受热温度为 $(125 \pm 1)$ ℃；
- b) 收集板温度为 $(25 \pm 1)$ ℃；
- c) 真空度优于 $7 \times 10^{-3}$  Pa。

### 5.3.3 试样

试样应符合以下要求：

- a) 送检样品在测试前，其固化、清洗和其他处理过程应与印制板正常生产工艺处理过程一致，不对送检样品做进一步的清洗或其他附加处理；
- b) 送检人员对送检样品应进行适当的包装，包装物应不会带来额外污染，防止出现尘埃污染、气体腐蚀和机械损伤，一般采用带封口的样品袋或玻璃器皿等；
- c) 送检样品质量一般不小于10 g。

### 5.3.3.1 试样制备

应满足以下要求：

- 在试样制备过程中应佩戴无粉、不掉毛的手套或指套，如乳胶手套；
- 材料如有要求清洗，则应使用中性清洗剂（如去离子水）进行清洁，所用的清洁剂应不与试样发生反应；
- 试样应切割成边长为1.5 mm~3 mm的小块。

### 5.3.3.2 试样数量

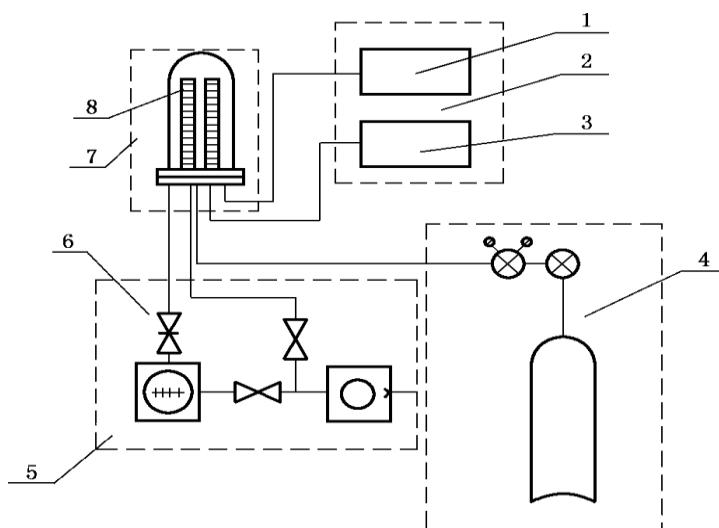
选取3份试样，每份试样的质量为 $1 \times 10^{-1} \text{ g} \sim 3 \times 10^{-1} \text{ g}$ 。

### 5.3.4 设备和材料

#### 5.3.4.1 测试装置

##### 5.3.4.1.1 组成

测试装置主要由真空单元、测试单元、温度控制单元组成。测试装置整体结构示意图见图7。



说明：

- 1——样品腔温控仪；
- 2——温度控制单元；
- 3——收集腔温控仪；
- 4——充气装置；
- 5——真空机组；
- 6——高真空阀门；
- 7——真空测试室；
- 8——测试单元。

图7 测试装置整体结构示意图

##### 5.3.4.1.2 真空单元

真空单元由真空测试室、真空机组、充气装置、真空计等组成：

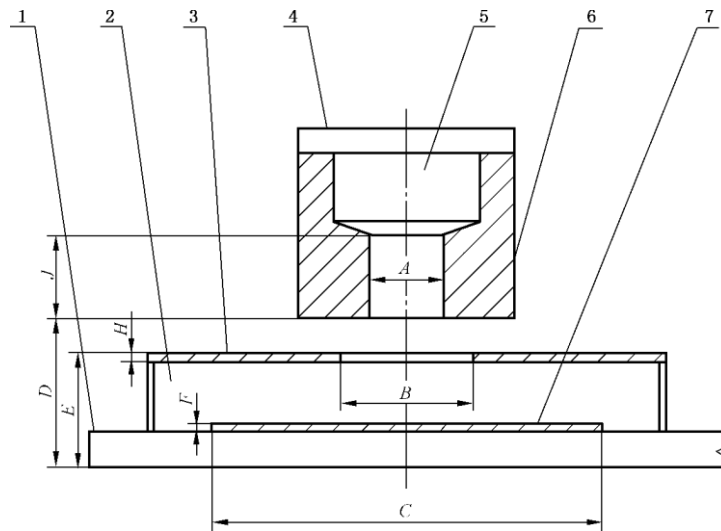
- 真空测试室应满足以下要求：
  - 真空测试室由真空容器和6个以上相同测试单元组成，测试单元允许组合在一起，并位于真空容器内；
  - 真空容器应采用低出气材质（如304不锈钢），材质应不会带来额外污染。
- 真空机组应采用无油机组，并在样品腔空载加热到155℃时，真空度应优于 $1 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ 。加入

试样后，在室温条件下，应保证从大气压抽到  $7 \times 10^{-3}$  Pa 不超过 1h，并在样品腔加热到  $126^\circ\text{C}$  时，维持真空度优于  $7 \times 10^{-3}$  Pa，且真空机组工作时不会对真空测试室造成污染；

- c) 充气装置由氮气瓶和阀门组成。可向真空容器中充入氮气，氮气纯度应优于 99.9%；
- d) 真空计的测量下限应优于  $1 \times 10^{-4}$  Pa。

### 5.3.4.1.3 测试单元

测试单元包括出气单元和收集单元，出气单元和收集单元用中间带孔的隔板隔开，测试单元示意图见图 8，关键尺寸见表 1；



说明：

- 1——冷沉基座；
- 2——收集腔；
- 3——隔板；
- 4——端盖；
- 5——样品腔；
- 6——铜加热棒；
- 7——收集板。

图8 测试单元示意图

表1 装置关键尺寸数据表

单位为毫米

符号	基本尺寸	极限偏差	符号	基本尺寸	极限偏差
A	直径 $\Phi 6.3$	$\pm 0.10$ 同轴度 $\Phi 0.20$	E	9.65	$\pm 0.10$
B	直径 $\Phi 11.1$	$\pm 0.10$ 同轴度 $\Phi 0.20$	F	0.65	$\pm 0.10$
C	直径 $\Phi 33.0$	$\pm 0.10$ 同轴度 $\Phi 0.20$	H	0.75	$\pm 0.10$
D	13.45	$\pm 0.10$	J	12.7	$\pm 0.10$

- a) 出气单元由样品盒、样品腔、端盖、铜加热棒组成，应满足以下要求：
- 1) 样品盒用于盛放样品，材质宜为铝；
  - 2) 样品腔用于盛放样品盒，材质宜为铜或铝；
  - 3) 端盖用于封盖样品腔；
  - 4) 铜加热棒用可调变压器供电，并通过温控仪控制其加热温度。
- b) 收集单元由收集板、收集腔、冷沉基座组成，应满足以下要求：
- 1) 收集板的材质宜为铝，表面粗糙度为 $1.6\mu\text{m}$ ，表面镀铬，并在收集腔内可进行拆卸；
  - 2) 收集腔用于放置收集板，材质宜为铝；
  - 3) 收集板放置于收集腔内，利用冷沉基座控温，控温精度为 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
  - 4) 冷沉基座采用收集腔温控仪进行控温，控温精度为 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

#### 5.3.4.1.4 温度控制单元

温度控制单元主要由样品腔温控仪和收集腔温控仪组成；

- a) 样品温控仪用于对样品腔进行温度控制，温度控制范围为 $50\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 230\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。控温精度为 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 收集温控仪用于对冷沉基座进行温度控制，温度控制范围为 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。控温精度为 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

#### 5.3.4.2 分析天平

最大量程高于 $2\text{ g}$ ，感量为 $1\times 10^{-6}\text{ g}$ 。

#### 5.3.4.3 恒温恒湿箱

恒温恒湿箱的温度控制范围为 $1\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，控温精度为 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，湿度控制范围为 $20\%\sim 80\%$ ，湿度控制精度为 $\pm 5\%$ 。

#### 5.3.4.4 干燥皿

干燥皿用于测试前放置空白收集板、样品盒。干燥皿内置活性干燥剂，活性干燥剂应在有效使用期内。

#### 5.3.5 测试准备

##### 5.3.5.1 试样准备

应满足以下要求：

- a) 将制备好的试样放入称量瓶内（通常为敞口玻璃瓶），并将称量瓶敞盖置于 $(23\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $45\%\sim 55\%$ 的恒温恒湿箱中 $24\text{ h}$ ；
- b) 将清洗后的样品盒置于 $(23\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $45\%\sim 55\%$ 的恒温恒湿箱中 $24\text{ h}$ 。

##### 5.3.5.2 测试系统准备

应满足以下要求：

- a) 用中性清洗剂或有机溶液清洗真空测试室、收集板，清洗完自然晾干后将收集板放入干燥皿中大约 $0.5\text{ h}$ ，然后取出收集板及样品盒放入真空室中进行抽真空，当压力达到 $1\times 10^{-4}\text{ Pa}$ 后，加热样品腔至 $(150\pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，保温 $4\text{ h}$ ；
- b) 真空测试室冷却到室温，关闭高真空阀门；
- c) 依次关闭高真空泵（如分子泵），前级泵（如机械泵），打开放气阀充入纯度优于 $99.9\%$ 的氮气；
- d) 打开真空室取出收集板和样品盒放入干燥皿中备用。

#### 5.3.6 步骤

测试步骤如下：

- a) 从干燥皿中取出收集板，用天平称重并记录其质量 $G_1$ ；

- b) 从干燥皿中取出样品盒，用天平称重并记录其质量*B*；
  - c) 从恒温恒湿箱中取出称量瓶，将试样置于样品盒中，每种材料放3份试样，在实验室环境下，2 min内称完装有试样的样品盒质量*S<sub>1</sub>*并记录；
  - d) 打开真空容器舱门，依次将装有试样的样品盒放置于样品腔内，并将对应的收集板放入收集腔内，保留3个样品腔只放置空白样品盒，并在放置空白样品盒对应位置放置空白收集板，记录空白收集板质量*C<sub>CI</sub>*；
- 注：空白收集板用于监测是否存在交叉污染或检验试验步骤是否正确。
- e) 盖紧样品腔的端盖，端盖与器壁间不能存在明显的缝隙；
  - f) 关闭真空容器，打开高真空阀门，抽真空；
  - g) 设置收集腔温控仪温度为(25±1)℃；
  - h) 当真空度到达7×10<sup>-3</sup> Pa时，开启样品腔温控仪，并在1 h内应达到(125±1)℃；
  - i) 维持收集腔冷沉基座温度在(25±1)℃，样品腔温度在(125±1)℃；，此过程持续24 h；
  - j) 关闭高真空阀门，关闭样品腔温控仪，停止加热；
  - k) 样品腔冷却到50℃，一般应在2 h内达到，关闭收集腔温控仪；
  - l) 往真空容器充入纯度99.9%以上的干燥氮气，使真空室内压力应比当地大气压高出1×10<sup>4</sup> Pa~3×10<sup>4</sup> Pa；
  - m) 打开真空容器；
  - n) 迅速将装有试样的样品盒和收集板取出并放入干燥皿中保持约0.5 h；
  - o) 取出装有样品的样品盒，在10 min内完成称重并记录其质量*S<sub>F</sub>*，随后称量收集板（包括空白收集板），并记录其质量*C<sub>F</sub>*（包括空白收集板*C<sub>CF</sub>*）；
  - p) 如果空白收集板质量变化大于50 μg，则所得数据作废，需重新进行测试；
  - q) 如果需要测试*WVR*，则应将装有试样的样品盒再放置于(23±2)℃，相对湿度45%~55%的恒温恒湿箱中24 h后，再重称其质量*S<sub>F</sub>*并记录。

### 5.3.7 数据计算与处理

#### 5.3.7.1 数据计算

##### 5.3.7.1.1 空白收集板质量变化

空白收集板的质量变化按式(2)计算。

$$C_s = C_{CF} - C_{CI} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- C<sub>s</sub>*——空白收集板的质量变化值，单位为克(g)；
- C<sub>CF</sub>*——空白收集板终止质量的数值，单位为克(g)；
- C<sub>CI</sub>*——空白收集板初始质量的数值，单位为克(g)。

##### 5.3.7.1.2 总质量损失

总质量损失按式(3)计算。

$$TML = \frac{S_1 - S_F}{S_1 - B} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- TML*——总质量损失的数值；
- S<sub>1</sub>*——装有试样的样品盒初始质量的数值，单位为克(g)；
- S<sub>F</sub>*——装有试样的样品盒终止质量的数值，单位为克(g)；
- B*——样品盒质量的数值，单位为克(g)；

##### 5.3.7.1.3 收集的可凝挥发物

收集的可凝挥发物按式(4)计算。

$$CVCM = \frac{C_F - C_1}{S_1 - B} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- CVCM*——收集的可凝挥发物的数值；

$G_1$ ——收集板初始质量的数值，单位为克（g）；

$G_2$ ——收集板终止质量的数值，单位为克（g）。

#### 5.3.7.1.4 水汽回吸量

水汽回吸量按式（5）计算。

$$WVR = \frac{S_{F'} - S_F}{S_1 - R} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$WVR$ ——水汽回吸量的数值；

$S_F$ ——试验后装有试样的样品盒重新在恒温恒湿箱中存放24 h后质量的数值，单位为克（g）。

#### 5.3.7.2 数据处理

同一种材料对应的3份试样，分别计算  $TML$ 、 $CVC$ 和  $WVR$ 的平均值作为评价测试材料的出气指标，分别计算  $TML$ 、 $CVC$ 和  $WVR$ 的标准偏差以评价材料出气性能的不均匀度。

按标准设备要求和标准试验条件所获取的  $TML$ 的测试精度为±10%， $CVC$ 的测试精度为±20%。

#### 5.3.8 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 试样形态、尺寸、制备及预处理过程，可包括但不限于处理时间和处理温度；
- b) 样品受热温度、收集板温度、真空测试室压力、测试时间。

#### 5.4 耐霉性测试

##### 5.4.1 目的

本方法通过模拟适合霉菌生长的环境条件，评估印制板的抗霉菌性能。

##### 5.4.2 试样

除非另有规定，试验应使用在制或成品印制板。试样最小尺寸为50 mm×50 mm。

##### 5.4.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 试验箱；  
恒温箱，能保持温度（30±1）℃和相对湿度（95±2）%，并有紫外线光源（360nm）用于测试后的净化。应防止凝露滴到试样上，试样周围通风良好，空气、试样支架与试样的接触面积应最小。
- b) 消毒器；
- c) 离心机；
- d) pH计；
- e) 菌体计数器；
- f) 恒温箱；
- g) 洗皿机；
- h) 培养皿；
- i) 滤纸；
- j) 媒介溶液；
- k) 微生物；
- l) 喷雾器，（15 000±3 000）孢子。

##### 5.4.4 步骤

测试步骤如下：

- a) 测试培养溶液制备
  - 1) 矿物盐溶液按表2含量配制，将下表矿物盐溶液放入消毒器，在121℃下的消毒时间至

少于 20 min。加入 0.01 的标准氢氧化钠溶液，调整溶液的 pH 值，使消毒后的 pH 值在 6.0~6.5 之间。准备足够的盐溶液供测试使用；

表2 矿物盐溶液成分

名称	含量
磷酸二氢钾 (KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> )	0.7 g
磷酸氢二钾 (K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> )	0.7 g
硫酸镁 (MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O)	0.7 g
硝酸铵 (NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> )	1.0 g
氯化钠 (NaCl)	0.005 g
硫酸亚铁 (FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O)	0.002 g
硫酸锌 (ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O)	0.002 g
硫酸锰 (MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O)	0.001 g
蒸馏水	1 000 mL

- 2) 所有测试试剂均采用化学纯；
- 3) 采用蒸馏水或同等级纯度的水；
- 4) 混合菌体孢子悬浮液的制备按表3；

表3 混合菌体孢子悬浮液要求

名称	美国模式培养物集存库 (ATCC) 编号
黑曲霉菌 ( <i>Aspergillus niger</i> )	9642
黑毛球菌 ( <i>Chaetomium globosum</i> )	6205
粉红胶枝菌 ( <i>Gliocladium virans</i> )	9645
金孢霉菌 ( <i>Aureobasidium pullulans</i> )	9348
青霉菌 ( <i>Penicillium funiculosum</i> )	9644

- 5) 上述霉菌培养物分别保存在适当的培养基，如土豆葡萄糖琼脂（培养基）内，但黑毛球菌应当在无机盐培养基表面的滤纸条上培养（无机盐培养基是前述无机盐溶液，但其中加有 15.0 g/L 的琼脂）；
- 6) 主霉菌培养物在 (6±4) °C 温度条件下的保存期限不应超过 4 个月。在此期内应当制备次培养物。新的霉菌培养物应当从次培养物中选；
- 7) 如出现遗传或生理学变化，获得了新的培养物，用于制备新的培养物或孢子悬浮液的次培养物应当在 (30±1) °C 繁殖至少 9 d；
- 8) 孢子悬浮液的制备应按以下步骤进行：
  - i 在每种霉菌的次培养物中加入 10 mL 含有 0.05 g/L 的无毒润湿剂，如硫代琥珀酸二辛酯钠或月桂硫酸酯钠的无菌溶液；
  - ii 用一无菌的铂或镍铬合金制的接种丝轻刮测试微生物培养物生长表面以释放霉菌；
  - iii 将孢子放入一个无菌的 125 mL 磨口锥形玻璃烧瓶中，瓶内加有 45 mL 无菌水和 50~75 个直径 5 mm 的玻璃珠；
  - iv 激烈摇动烧瓶，以使孢子从母体中分离出来并使孢子凝块破裂；
  - v 将分散有霉菌孢子的悬浮液通过一个铺有 6 mm 厚玻璃棉的玻璃漏斗过滤到一个无菌烧瓶内。本过程能除去影响喷淋的大块菌体和琼脂培养基凝块；
  - vi 离心过滤孢子悬浮液，除去上层清液；
  - vii 将残留物放入 50 mL 无菌水中，再离心过滤；
  - viii 用该方式清洗三次，获得每种霉菌的孢子；
  - ix 用无菌无机盐溶液稀释最后清洗过的留存物，使制成的孢子悬浮液每毫升中含有 (1 000 000±200 000) 个孢子（用菌落计数器确定）；
  - x 对每一种用于测试的微生物重复上述操作，再将等体积的各种孢子悬浮液混合而成最后的混合孢子悬浮液。该液可每天重新配制，或在 (6±4) °C 温度

下保存，但不超过 7 d。

- b) 接种体活力控制测试，每天进行一组测试，分别放三张面积为 25 mm×25 mm 的无菌滤纸，在测试皿的凝固矿物盐培养基上，用喷雾器喷洒孢子悬浮液直至形成水珠状凝聚进行接种。在温度  $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$  和相对湿度不低于 85% 的环境条件下繁殖霉菌，7 d 后检查繁殖情况。在所有三块滤纸上的控制测试中，均应有霉菌大量生长，否则，应重新测试；
- c) 空白测试  
步骤如下：
- 1) 除接种体活力控制测试外，应当使用敏感载体与测试样品一同进行接种测试，以确认培养箱具有促进霉菌生长的适当条件；
  - 2) 该空白测试包括 284.5 g/m<sup>2</sup> 的漂白洗净、长度为 5 cm 的棉布条，已浸有 10% 乙二醇 0.1% KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0.1% NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, 0.025% MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 和 0.05% 酵母萃取液 (PH 5.3) 的混合液，并除去过量混合液；
  - 3) 棉布条悬挂在空气中晾干，然后放入测试箱进行霉菌接种。
- d) 试样测试和空白测试的霉菌接种  
测试步骤如下：
- 1) 应当将测试样品和空白试条安放在合适的支架上，或悬挂在挂钩上。测试用物品在进行霉菌测试前 72 h 不应清理。该装置在霉菌测试前或测试时，应保持不受污染；
  - 2) 试验箱的预处理条件为温度  $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$ ，相对湿度  $(95 \pm 2)\%$ ，至少 4 h；
  - 3) 测试样品和空白试条均用预先消毒过的喷雾器或雾化器将混合霉菌孢子悬浮液以细雾状喷在其上和内部（如未完全密封）。喷淋样品时，应仔细喷淋到在使用或保存过程中样品的所有暴露表面。如表面不能润湿，应喷淋至出现微滴凝聚。经此接种后，立即开始繁殖测试。
- e) 试样繁殖测试  
测试步骤如下：
- 1) 繁殖测试操作的空气温度为  $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$ ，相对湿度为 85%；
  - 2) 7 天后，检查空白试条上霉菌生长情况，以确认环境条件适合霉菌生长。如检查中发现环境条件不适合于霉菌生长，全部测试应当重新进行；
  - 3) 如空白试条表明环境条件适合于霉菌生长，测试继续进行。从接种时计算共测试 28 天，或按规定进行天数完成。
- f) 测试结果评估
- 1) 报告对霉菌生长有营养的试样；
  - 2) 试样的侵蚀情况不在测试结果中汇报，要单独记录；
  - 3) 评估后，材料和试验箱的所有部位必须用紫外线 (360 nm) 照射至少 2 h，或用 1: 750 的氯化苄基二甲基烷基铵溶液（1 份氯化苄基二甲基烷基铵溶于 750 份蒸馏水）喷洗；
  - 4) 营养琼脂含有营养琼脂的培养皿被盖起来以后，视为具有所要求的湿度。如培养皿较大，则需要用胶带纸进行密封。

#### 5.4.5 结果报告

按 4.3 的要求。

### 5.5 阻燃性

#### 5.5.1 水平燃烧试验

##### 5.5.1.1 目的

本试验是用低能量试验火焰来模拟实际着火时的等级，用以评定印制板对单个电子元件偶然过热所引起的着火危险性和小火蔓延具有的抵抗能力。

##### 5.5.1.2 试样

试样应符合以下要求：

- 试样应在成品板或试验板上裁取，其尺寸为长 $(125\pm 5)$  mm，宽 $(13\pm 1)$  mm，厚度为原印制板厚度；
- 试样边缘应平滑、无毛刺、棱角半径不超过1.3 mm，并应除去金属层；
- 试样至少一组，每组四块，在每块试样离点燃端 $(25\pm 0.5)$  mm处画一条与长轴垂直的标记线；
- 试样应在正常大气条件下放置48 h。

### 5.5.1.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

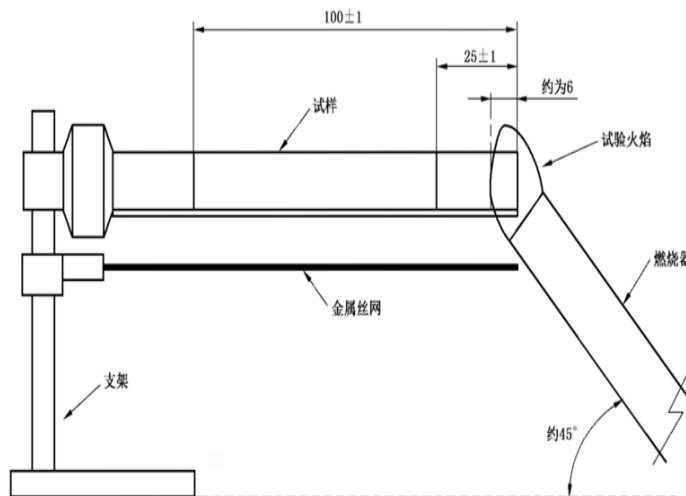
- 燃烧源：一个管长约100 mm、内径 $(9.5\pm 0.5)$  mm的本生灯（但管内不装稳定器等装置）。应使用工业甲烷或热容量约为 $37\text{ MJ/m}^3$ 的天然气，并用适当的调节器和产生均匀气流的流量计控制流量；
- 具有通风设备的柜或试验室；
- 固定支架；
- 秒表或相应的以秒为单位的计时器；
- 金属网：约8目/cm，面积为 $100\text{ mm}\times 100\text{ mm}$ 清洁铁丝网。

### 5.5.1.4 步骤

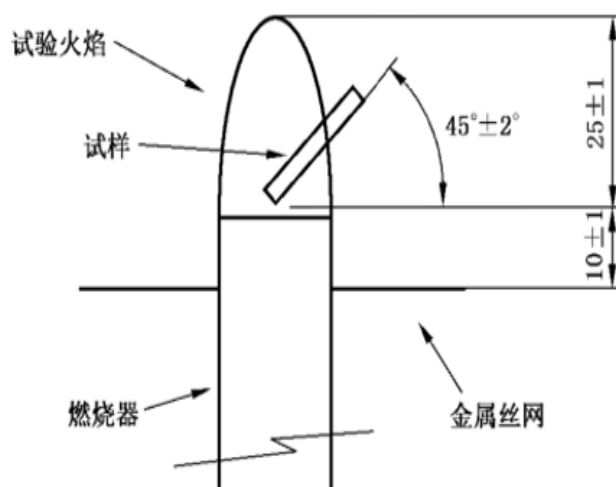
测试步骤如下：

- 试验应在试验柜或试验室中进行。将试样未画线一端夹在试验装置的试样夹上，调节试样，使纵轴与底平面成 $(45\pm 10)^\circ$ 夹角，并能看到试样上的划线。然后将面积约 $100\text{ mm}\times 100\text{ mm}$ 的铁丝网水平地夹在试样下方，与试样最底边相距 $(10\pm 1)$  mm，试样自由端伸出铁丝网外边 $(13\pm 1)$  mm（见图9），排风扇在试验时应处于关闭状态，在两次试验的间隙时打开，以排出有害气体；
- 先将燃烧器放在远离试样的地方，点燃并调节到产生高达25 mm左右的黄顶蓝色状态火焰，通过调节空气量，使火焰顶部的黄色外焰部分消失，这时火焰为高度 $(25\pm 1)$  mm的蓝色火焰，必要时可反复测量和调节火焰的高度；
- 以 $(45\pm 10)^\circ$ 倾角移动本生灯，使其中心轴与试样纵轴线保持在同一垂直面上，火焰施加在试样自由端前部，进入深度约6.5 mm，本生灯的位置不得移动，此时开始计时；
- 试样经点火30 s后移走火焰，测定移去灯的瞬间到火焰从试样上消失为止的燃烧时间，以秒为单位，并观察试样是否继续燃烧超过标记线。

单位为毫米



a) 正视图



b) 俯视图

图9 水平燃烧试验

### 5.5.1.5 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- 四个试样燃烧时间的平均值和其中最长持续燃烧时间；
- 是否有试样燃烧超过标记线；
- 试样是否熔化或滴落，若有，滴落物是否燃烧；
- 试样的厚度。

### 5.5.2 灼热丝试验

#### 5.5.2.1 目的

评定印制板在规定条件下暴露于灼热丝下的阻燃性，所用灼热源的强度近似于单个电子元件偶然过热或灼热发红的等级。

#### 5.5.2.2 试样

试样应符合以下要求：

- 试样为成品印制板或试验板（在材料、类型、尺寸、设计、面积、厚度以及导电图形分布等方面能代表成品板）；
- 试样尺寸一般为150 mm×150 mm，但较小成品板必须按它的实际尺寸；
- 除非另有规定，应从五块印制板上取样，共五个试样；
- 试样应在有空气循环的（125±2）℃恒温箱中预处理24 h，然后放在盛有无水氯化钙的干燥器中，在室温下冷却4 h。

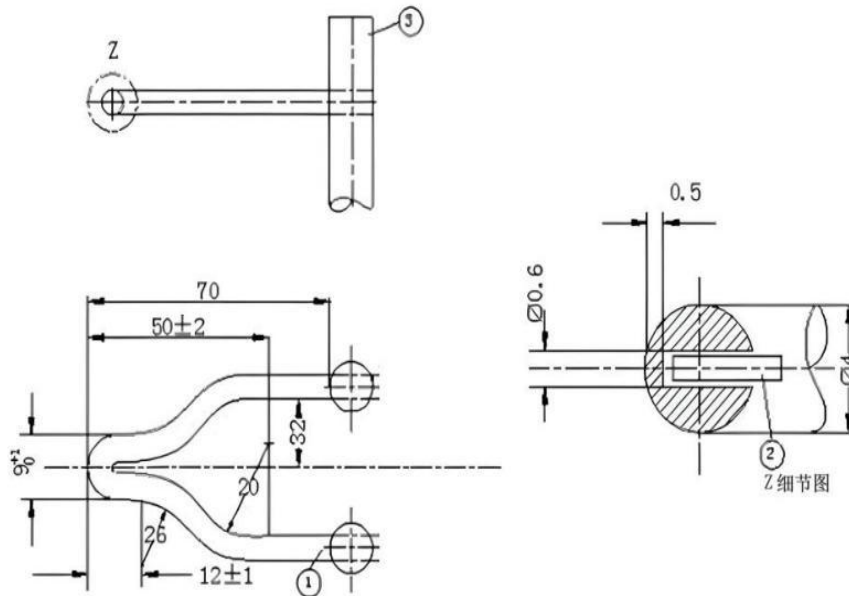
#### 5.5.2.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- 有通风设施的试验柜或试验箱；
- 灼热丝试验装置：灼热丝是用直径为4 mm的镍（80%）铬（20%）丝制成的规定尺寸的环，制环时必须小心以免顶端出现细微裂纹，见图10；
- 一个带有护套的细金属丝热电偶，外径为0.5 mm，NiCr和NiAl电线，焊接点在护套内，热电偶用来测量灼热丝的温度；
- 构成护套的金属至少耐960℃高温，热电偶安装在灼热丝顶端钻的直径0.6 mm的小孔内（如图10中的“Z”所示）；
- 测量热电偶电压的仪器应准确至1%；

- f) 通电加热灼热丝，将灼热丝顶端加热至960℃所需的电流为120A~150A；
- g) 试验装置的设计应使灼热丝保持水平，且可对试样施加0.8N~1.2N的力，灼热丝和试验样品在相对移动时一直保持该压力值，且灼热丝和试样的相对移动距离至少为7mm，试验装置见图11；
- h) 秒表或相应的以秒为单位的计时器，分辨率至少±0.5s；
- i) 空气循环恒温箱，能控制温度(125±2)℃；
- j) 白松木板：约10mm厚，单位面积质量为12g/m<sup>2</sup>~30g/m<sup>2</sup>，放置于试样的下方；
- k) 薄棉纸：定量为12g/m<sup>2</sup>~30g/m<sup>2</sup>，用于覆盖试样下放的木板；
- l) 干燥器。

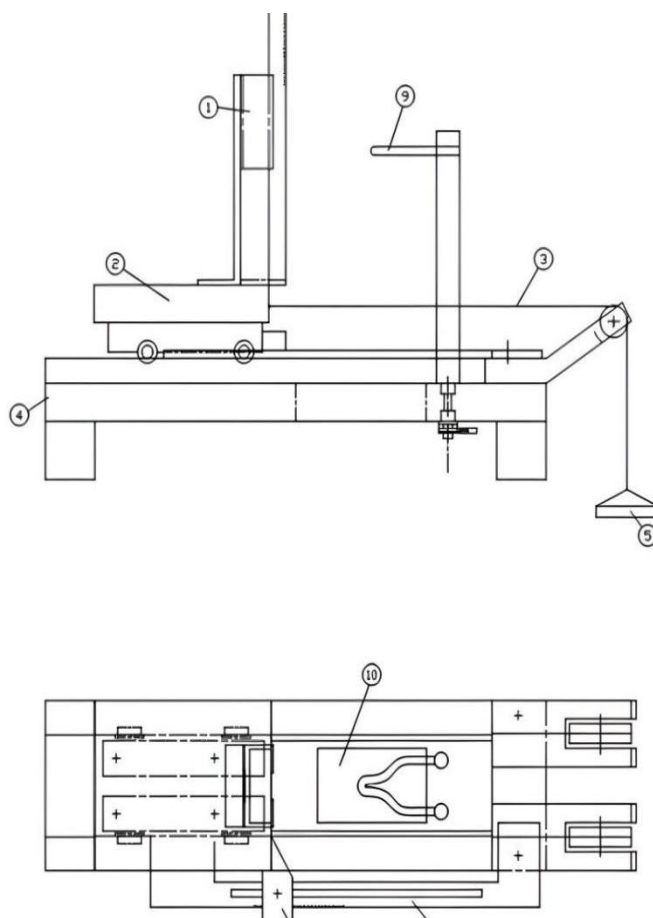
单位为毫米



说明：

- 1——灼热丝牢固焊接在3的位置；
- 2——热电偶；
- 3——螺栓。

图10 灼热丝



说明:

- |         |                          |
|---------|--------------------------|
| 1——定位块; | 6——定位器;                  |
| 2——小车;  | 7——火焰测量尺;                |
| 3——拉紧绳; | 8——穿透度测量尺;               |
| 4——底板;  | 9——灼热丝;                  |
| 5——砝码;  | 10——底板上的开孔, 用于从试样上落下的颗粒。 |

图11 试验装置

#### 5.5.2.4 步骤

测试步骤如下:

- 将试样置于空气循环恒温箱中, 在  $(125 \pm 5)^\circ\text{C}$  条件下预处理 24 h, 然后放在干燥器中, 在室温下冷却 4 h;
- 试样如果不是垂直放置, 相关规范应详述试样的方向;
- 试验在有通风设备的试验柜或试验室中进行, 将灼热丝与试样表面相垂直, 在白松木板上放一层薄棉纸, 然后把木板放在离试样施加火焰部位底部  $(200 \pm 5)$  mm 位置, 再进行试验, 在试验时应关闭排风扇, 只有在两次试验的间隙打开, 以排除有害气体;
- 热电偶应在温度  $960^\circ\text{C}$  进行校准, 校准方法为: 在灼热丝顶端放置银箔 (其纯度 99.8%, 面积  $2\text{ mm}^2$ , 厚度 0.6 mm), 通过增大电流加热灼热丝, 当银箔熔化时温度达到  $960^\circ\text{C}$ ;
- 在五次测试后应进行重新校准, 以补偿在热电偶中和在连接中的变化;
- 注意确保热电偶能随因热伸长引起的灼热丝顶端的移动而移动;
- 采取某种方式固定试样, 使在测试夹具上的热损耗最小;
- 灼热丝顶端应接触正常使用时试样承受热压的部位或基材和表面涂覆层最大结合的特征部位。灼热丝顶端应在距离试样上边缘下方至少 15 mm 处, 灼热丝应通过加热达到详细规范规定的优选温度, 温度应使用已校准的热电偶来测量, 在试验开始之前, 必须注意确保温度和加热电流

至少在 60 s 内保持稳定，并且在这段时间内或校准过程中热辐射不会影响试样（如适当隔离或使用隔板），严酷等级应根据灼热丝顶部的温度选择见表 4 ；

- i) 灼热丝顶端应与试样接触（ $30 \pm 1$ ）s 或相应详细规范规定的接触时间，在规定时间内应维持加热电流。然后将灼热丝与试样慢慢分离，以免继续加热试样和可能影响测试结果的空气流动；
- j) 每次测试或校准前应去除灼热丝顶端的所有残留物（通过刷除的方法）。

表4 灼热丝顶部的温度及公差

序号	优选的试验温度	公差
	℃	℃
1	550	±10
2	650	±10
3	750	±10
4	850	±15
5	950	±15

#### 5.5.2.5 观察和测量

在对试样施加灼热丝和结束后的30 s期间，要对试样和放在它下面的薄棉纸进行观察并作如下的记录：

- a) 从施加灼热丝开始到试样或它下面的薄棉纸起燃的持续时间（ $t_i$ ）；
- b) 从施加灼热丝开始到火焰熄灭的持续时间（ $t_e$ ）（火焰熄灭可能在施加期间或以后）；
- c) 火焰的最高高度（但起火开始时，可能产生高的火焰，为时约1 s，这种火焰不计在内）。高度是指当灼热丝施加在试样上时，由灼热丝上缘至可见火焰顶部的垂直距离。

#### 5.5.2.6 试验结果的评定

除非另有规定，试样符合下列两种情况之一的应认为通过灼热丝试验：

- a) 无火焰或不灼热发红；
- b) 如果试样或下面的薄棉纸产生燃烧或灼热发红，但在灼热丝移去后30 s内熄灭，即持续时 $t_a \leq t_a + 30$  s时，试样和下面的薄棉纸未着火或熄灭。

#### 5.5.2.7 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 试样数量，（如果不是5个）；
- b) 试样位置，（如果不垂直）；
- c) 灼热丝施加点；
- d) 灼热丝尖端温度；
- e) 施加温度的持续时间，如果不是30 s；
- f) 试样是否燃烧或灼热发红，若有燃烧，当 $t_a \leq t_a + 30$  s后试样是否熄灭；
- g) 试样是否有熔化或滴落，若有，滴落物是否点燃薄棉纸。

### 5.5.3 针焰试验

#### 5.5.3.1 目的

评定印制板在规定条件下暴露于针焰下的阻燃性。所用点燃源的强度近似于单个电子元件偶然过热或着火的等级。

#### 5.5.3.2 试样

试样应符合以下要求：

- a) 试样为成品印制板或试验板（在材料、类型、尺寸、设计、面积、厚度以及导电图形分布等方面能代表成品板）；
- b) 试样尺寸一般为150 mm×150 mm，但较小成品板必须按它的实际尺寸；
- c) 除非另有规定，应从五块印制板上取样，共五个试样；
- d) 试样应在有空气循环的（125±2）℃恒温箱中预处理24 h，然后放在盛有无水氯化钙的干燥器中，在室温下冷却4 h。

### 5.5.3.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 有通风设施的试验柜或试验室；
- b) 燃烧源，由长度至少35 mm，内径（0.5±0.1）mm，外径不超过0.9 mm的管子构成，燃烧管内不得有空气，燃烧源应放在可移动的夹具中，燃烧源用纯度95%以上的丁烷气，也可用丙烷气，但是应以纯度95%丁烷气作为基准气体，试验前调整燃烧源以使产生（12±1）mm高的火焰，如图12 ；
- c) 秒表或相应的以秒为单位的计时器，分辨率至少±0.5 s；
- d) 空气循环恒温箱，能控制温度（125±2）℃；
- e) 白松木板：约10 mm厚，单位面积质量为12 g/m<sup>2</sup>~30 g/m<sup>2</sup>，放置于试样的下方；
- f) 薄棉纸：符合GB/T 22813-2008规定的定量为12 g/m<sup>2</sup>~30 g/m<sup>2</sup>，用于覆盖试样下放的木板；
- g) 干燥器。

### 5.5.3.4 步骤

测试步骤如下：

- a) 试验在具有通风设备的试验柜或试验室中进行，将试样一端夹在试验装置的试样夹上，试样位置根据要求呈水平位置或垂直位置或倾斜约80°角，并且低边均处于水平位置（如图12 ~图16 ），在白松木板上放一层薄棉纸，然后把木板放在离试样施加火焰部位（200±5）mm的位置，再进行试验，在试验时应关闭排风扇，只有在两次试验的间隙时打开，以排除有害气体；
- b) 先将燃烧器放在远离试样的地方，点燃并调节火焰高度为（12±1）mm；
- c) 以约45°倾角移动燃烧器，根据有关规定使火焰施加在试样的表面或边缘，火焰进入深度约2 mm时，开始计时；
- d) 试样呈水平位置时，火焰若施加在试样表面，则施加点离邻近的边缘不得小于10 mm（见图12 ），火焰若施加在试样边缘上，火焰施加点离邻近边缘的距离不得小于10 mm（见图13 ）；
- e) 试样呈垂直位置时，火焰若施加在试样边缘，则被试边缘与燃烧器顶端的垂直距离要调节到8 mm~10 mm（见图14 ），火焰若施加在试样表面时，则燃烧器顶端与被试表面水平距离约5 mm（见图15 ）；
- f) 试样呈倾斜80°位置时，火焰施加在试样表面，则施加点离邻近边缘不得小于10 mm（见图16 ）；
- g) 当试样使用位置未知或可变时，应按图14 和图16 进行试验；
- h) 火焰施加在试样表面或边缘的持续时间应优先选择下列值（t<sub>a</sub>）：5 s、10 s、20 s、30 s、60 s、120 s；
- i) 相关的规范应规定所用的严酷等级。

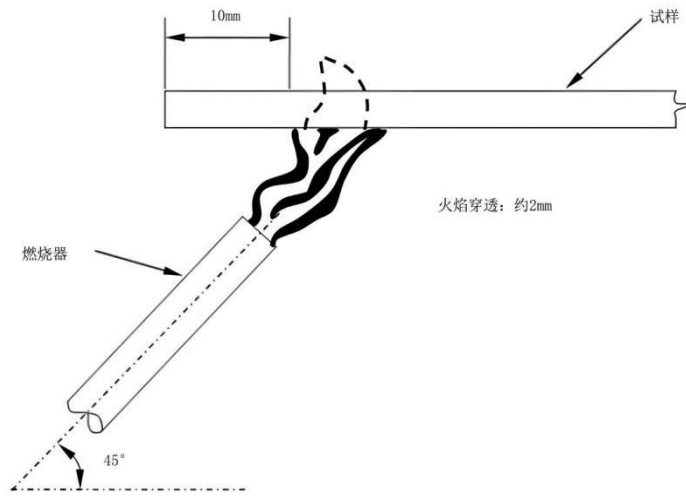


图12 水平试样-火焰灼烧表面示意图

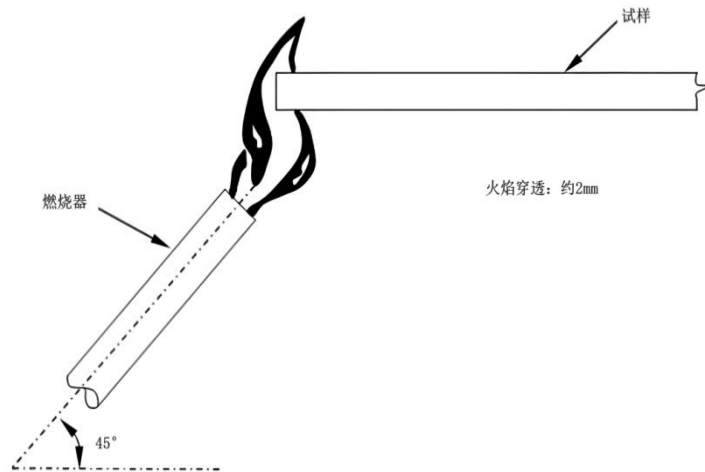


图13 水平试样-火焰灼烧边缘示意图

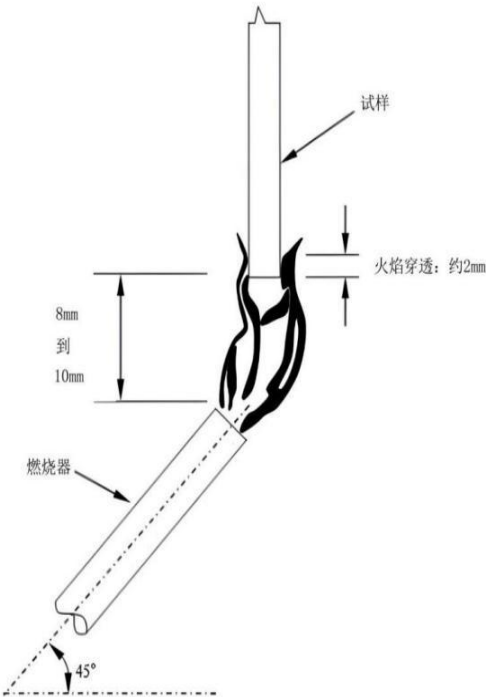


图14 垂直试样-火焰灼烧边缘示意图

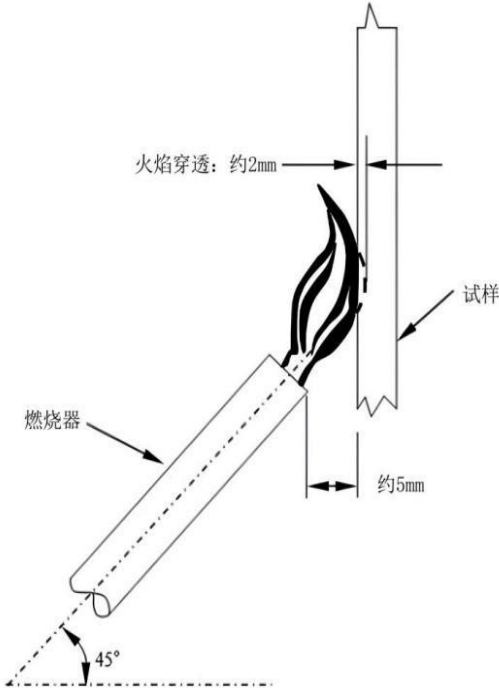


图15 垂直试样-火焰灼烧表面示意图

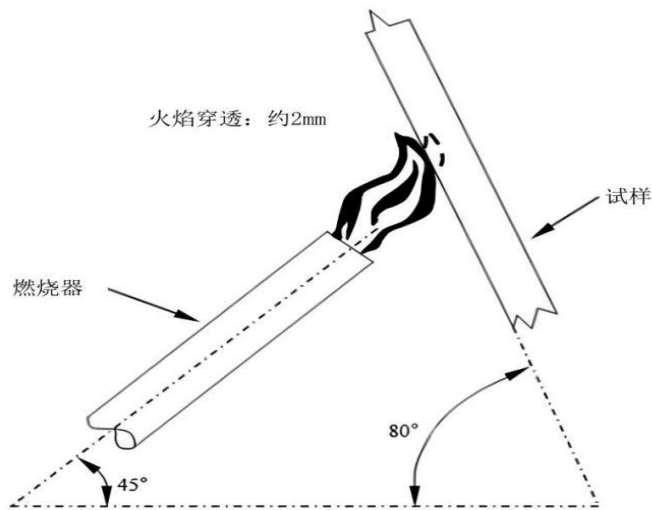


图16 倾斜试样-火焰与试样侧视图

### 5.5.3.5 观察和测量

试验时，应对试样和放在它底下的薄棉纸作观察并作如下的记录（ $t_b$ ）：

- 若试样或放在下面的薄棉纸起火，测量和记录燃烧持续时间：燃烧的持续时间是指试验火焰移开的瞬间一直到火焰熄灭或一直到试样或试验用的薄棉纸不再有灼热发红现象这段时间；
- 试样冷却到室温并用清洁干布清理后，测量它的燃烧长度：燃烧长度是从施加试验火焰部位（面积）的中心到最远的燃烧的距离，燃烧的痕迹是指试样表面由于燃烧而损坏的面积，包括烧焦的面积，判定痕迹时，可不考虑颜色的变化，烟的生成和由于热、表层的熔化和烧焦所产生的变形。

### 5.5.3.6 试验结果的评定

除非另有规定，试验样品符合下列四种情况之一的可认为能经受住针焰试验：

- 无火焰或不灼热发红；
- 从试样上落下的燃烧或灼热的颗粒未使燃烧蔓延到试验样品下的薄棉纸上，或者停止施加试验火焰时，试样并未燃烧或灼热发红；
- 燃烧的持续时间 $t_b=30$  s；
- 燃烧的长度不超过相关产品标准的规定。

### 5.5.3.7 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- 试样数量，（如果不是5个）；
- 试样位置；
- 火焰施加点；
- 试验火焰施加时间；
- 试样是否起燃， $t_b=t_a+30$  s及燃烧长度。

## 5.5.4 垂直燃烧试验

### 5.5.4.1 目的

本方法用于评定印制板的垂直燃烧等级。

### 5.5.4.2 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- 燃烧试验箱，试验箱的容积至少为  $0.5\text{ m}^3$ ，试验箱应允许观察试验的进程并且应是无通风环境，允许燃烧期间试样周围空气的正常热循环。试验箱的内表面应是深色的，将一个照度计面向试

试验箱后部放在试样的位置时，显示的照度应小于 20 lx，为安全与方便起见，（能完全密闭的）试验箱应装有排气装置，如排气扇，以便排出可能有毒的燃烧产物，如果有安排排气装置，在试验期间应关闭该装置，并在试验后立即打开，以排出燃烧废气，此时，可能需要有强制关闭的风门；

- b) 本生灯，灯管长为  $(100 \pm 10)$  mm，内径为  $(9.5 \pm 0.3)$  mm；
- c) 燃气：纯度不低于 98% 的甲烷气体，装有均衡气流的稳压阀和流量计；
- d) 秒表或其他合适的计时器，分辨率为 0.1 s；
- e) 量尺，分辨率为 1 mm；
- f) 支架，应有可调节试样位置的夹具或类似装置；
- g) 条件处理箱，能维持温度为  $(23 \pm 2)$  °C、相对湿度为  $(50 \pm 10)$  %；
- h) 空气循环式烘箱，换气量最小能达到 5 次/h，温度能保持  $(70 \pm 2)$  °C；
- i) 干燥器，盛有无水氯化钙或其他干燥剂，能在  $(23 \pm 2)$  °C 下保持相对湿度不超过 20%，也可使用其他等效设备；
- j) 千分尺，分辨率为 0.01 mm；
- k) 压力计，能够测量到 200 mm 水柱，增量为 5 mm；
- l) 流量计，精度为  $\pm 2\%$  的质量流量计；
- m) 脱脂棉。

#### 5.5.4.3 试样

尺寸  $(125 \pm 5)$  mm  $\times$   $(13.0 \pm 0.5)$  mm，厚度为板厚，最大厚度不超过 13 mm，数量为 20 个。

#### 5.5.4.4 步骤

##### 5.5.4.4.1 预处理

测试步骤如下：

- a) 将试样分为四组，每一组 5 个试样；
- b) 将两组试样放在温度为  $(23 \pm 2)$  °C、湿度为  $(50 \pm 5)$  % 的条件箱中处理至少 48 h；
- c) 将另两组试样放入  $(70 \pm 2)$  °C 的空气循环烘箱中保持  $(168 \pm 2)$  h，然后将试样放入干燥器中冷却至少 4 h。

注：每一个条件处理完成后取出一组试样进行试验，另一组试样作为备用。试样一旦从干燥器中取出，必须在 30 min 内进行试验。

##### 5.5.4.4.2 试验环境条件

所有试样应在温度为 15 °C ~ 35 °C、相对湿度不超过 75% 的实验室环境下进行试验。

##### 5.5.4.4.3 试样的安装

试样长轴垂直安放，在其上端 6 mm 长度内夹持。试样的下端应位于脱脂棉上方  $(300 \pm 10)$  mm 的位置（见图 17）。脱脂棉尺寸约为 50 mm  $\times$  50 mm，厚度不超过 6 mm，最大质量为 0.08 g。

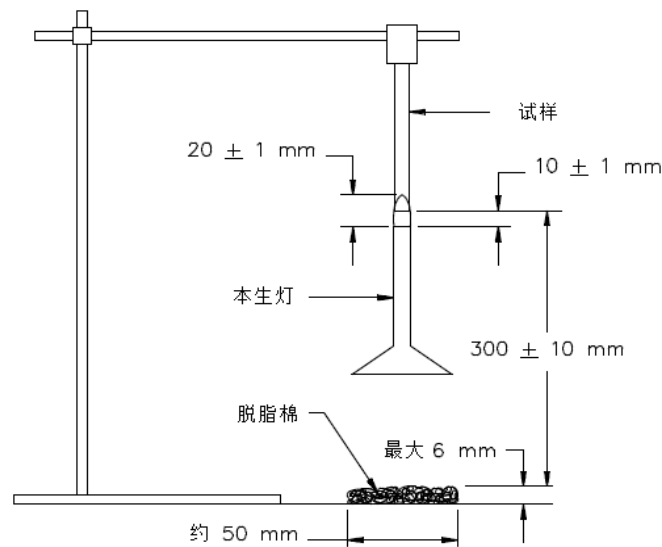


图17 垂直燃烧试验装置

#### 5.5.4.4.4 火焰装置

调整装置步骤如下：

- 为了产生 50 W 测试火焰，应调节甲烷气体压力为 0.1 MPa，流量为  $(105 \pm 5)$  mL/min，背压差应低于 10 mm 水压；
- 本生灯应放置在远离样品的位置点火，调整本生灯，使其产生高度为  $(20 \pm 1)$  mm 的蓝色火焰，通过调节气体流量和本生灯的空气端口，直到产生大约  $(20 \pm 1)$  mm 的黄尖蓝色火焰，然后增加进空气，直到黄尖消失，再次测量火焰高度，并在必要时进行调整；
- 每个月应至少确认一次火焰，确保试验火焰符合 GB/T 5169.22-2015 的规定，确认火焰前至少等待 5 min 使火焰装置条件达到平衡，当发生下述情况时，应对火焰进行确认：
  - 当燃气供应有变动时；
  - 当任何试验装置和/或参数有变动时；
  - 存在争议的情况。

#### 5.5.4.4.5 火焰的施加和观察

测试步骤如下：

- 本生灯管的中心轴线保持垂直，面对试样宽面，水平方向以约 300 mm/s 的速度接近试样，将试验火焰在中心线上施加至试样底边的中点，为此应使本生灯的顶端在中点下边  $(10 \pm 1)$  mm，使本生灯保持在该距离  $(10 \pm 0.5)$  s，从火焰完全定位在试样下方开始计时，根据试样长度或位置的变化，必要时调整本生灯位置，如果试样发生收缩、变形或熔化，则火焰的施加点应保持在试样主要部分的接触点上；
- 如果试样在火焰施加期间产生熔融滴落物，则将本生灯倾斜至与试样长边成  $45^\circ$  角，并从试样下方适当移开，以免材料落入本生灯管中，同时将本生灯燃烧口的中心与试样剩余主要部分（不计材料熔融流延部分）之间的距离保持为  $(10 \pm 1)$  mm；
- 在对试样施加火焰  $(10 \pm 0.5)$  s 后，立即以约 300 mm/s 的速度撤离本生灯，撤出距离试样至少 150 mm，同时启动计时装置开始测定余焰时间  $t_1$ （精确到 s）；
- 当试样火焰熄灭时，即使本生灯未完全撤离到距离样品 150 mm 的位置，也应立即将试验火焰移回试样下方原来的位置上，本生灯顶端在试样残余底棱边之下  $(10 \pm 1)$  mm，如有必要，按上述移动本生灯的方式避开熔融滴落物，在第二次施加火焰  $(10 \pm 0.5)$  s 后，立即以约 300 mm/s 的速度撤离本生灯至少 150 mm 远，同时启动计时装置，开始测定试样的余焰时间  $t_2$  和余灼时间  $t_3$ （精确至 s），每个试样测试后，燃烧试验箱的排气装置应进行排空。观察记录余焰和余灼时间的同时，也应记录：

- 1) 有无任何颗粒或熔融物从试样上滴落，如有，则是否引燃了脱脂棉；
- 2) 试样是否燃烧至夹持夹具。

注1：如果难以通过视觉区分火焰和发光状态，可用镊子夹起一小块脱脂棉，使其与待测区接触。脱脂棉的点燃将表面存在火焰。

注2：如果测试火焰在火焰施加过程中熄灭，则该测试样品将被废弃，并使用另一组样品进行测试。唯一例外情况是当测试火焰的熄灭是由于样品析出的气体直接导致的。在这种情况下，应立即重新点燃本生灯，并将其重新施加到样品上，以确保施加的总时间达到 $(10 \pm 0.5)$  s。

#### 5.5.4.4.6 “燃烧至夹持夹具”的判定

如果“燃烧至夹持夹具”的情况难以判定，可在试样冷却后，用柔软的干布擦掉残余的烟灰和流出残留物，并检查夹具线下边2 mm的试样燃烧或热解的迹象。忽略夹具下边试样的任何热损坏，例如熔融或变形。如果试样（夹具下边2 mm处）的损坏是由施加可视试验火焰引起的，这种情况则不认为是烧至了夹持夹具。如果试样的损坏是由于试样燃烧着的火焰前沿引起的，则认为这种材料是烧至了夹持夹具。此外，如果试样被全部烧尽，则也认为材料是烧至了夹持夹具。

重新试验的评判标准

如果一组5个试样中只有1个试样不符合要求，则应对另外一组5个试样进行试验。余焰时间的总和，如果V-0级在51 s~55 s、V-1和V-2级在251 s~255 s的范围内，则要增补一组5个试样进行试验。第二组的所有试样均应符合该级规定的所有评判标准。

分级

根据下表所示的评判标准，应将材料分为V-0、V-1或V-2级。如果试验结果不符合这些规定的评判标准，该材料则不能用该试验方法分级。

表5 垂直燃烧等级

评定依据	V-0	V-1	V-2
每个试样的余焰时间 ( $t_1$ 、 $t_2$ )	$\leq 10$ s	$\leq 30$ s	$\leq 30$ s
每组5个试样的总余焰时间 $t_1+t_2$	$\leq 50$ s	$\leq 250$ s	$\leq 250$ s
每个试样在施加第二次火焰后余焰时间加余灼时间 ( $t_2+t_3$ )	$\leq 30$ s	$\leq 60$ s	$\leq 60$ s
任一试样有焰燃烧和灼热燃烧是否蔓延至夹具	否	否	否
燃烧颗粒或滴落物是否点燃脱脂棉	否	否	是

#### 5.5.4.5 结果报告

除4.3的规定外，试验报告还应包括试样垂直燃烧等级。

### 5.6 涂层耐溶剂和耐焊剂性

#### 5.6.1 目的

评定印制板上的油墨标志、阻焊层和绝缘涂层在规定的焊接操作前后抵抗规定溶剂或焊剂的能力。

#### 5.6.2 试样

具有油墨标识、阻焊层或绝缘涂层的在制板、成品板、附连测试板或综合试验板。

#### 5.6.3 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 焊料槽：具有电加热且能恒温控制，槽深至少75 mm，温度保持在 $260_0^{+5}$  °C范围内；
- b) 有铅焊料：应为Sn63/Pb37或者Sn60/Pb40合金。其他合金可在供需双方商定情况下使用。焊料中锡含量应在所用标称合金的±1%以内，铜，金，镉，锌，铝的总含量不应超过0.52%；

- c) 无铅焊料：应为 Sn96.5/Ag3.0/Cu0.5 (SAC305)。其他无铅焊料可在供需双方商定情况下使用；
  - d) 助焊剂：由 25% (质量比) 的松香与 75% (质量比) 异丙醇混合而成。其他助焊剂仅在供需双方商定情况下使用；
  - e) 热辐射加热设备 (如气相、红外、热风再流焊设备, 波峰焊设备等)；
  - f) 典型的溶剂是：异丙醇、煤油、乙苯、三氯三氟乙烷乙二醇一丁醚、单乙醇胺, 或某几种溶剂的共沸物, 或加热到一定温度的溶剂混合物等；
  - g) 如果特定应用领域对试验溶剂有特殊要求, 则按照相关规定选择溶剂；
- 注：溶剂对人体健康和安全有危害, 避免溶剂接触眼睛和皮肤。
- h) 毡垫：羊毛含量不少于 85%, 厚度约 6mm~7mm, 表面积不少于 6.5cm<sup>2</sup>；
  - i) 刷子：采用非活性材料做手柄, 硬鬃毛长约 3cm, 每行包括 8 束~10 束鬃毛, 且鬃毛末端基本位于同一平面, 当有变软、弯曲、磨损或掉毛现象时应更换。

#### 5.6.4 步骤

##### 5.6.4.1 模拟焊接

测试步骤如下：

- a) 试样首先进行预处理：试样应放置在 (125±5) °C 的空气循环式烘箱中保持不少于 6h 或按相关规范的规定, 试样从烘箱中取出后应放在温度 (23±2) °C, 相对湿度 (45±5) % 的标准大气条件下冷却至温度低于 35 °C, 任何情况下, 恢复时间不得超过 8h；
- b) 然后按照 T/CPCA 5XXX.5-20XX 5.1.3 涂覆助焊剂后完成焊料槽浮焊试验, 浮焊时间 5<sup>+1</sup> s；
- c) 或供需双方协商确定采用其他热辐射加热设备模拟完成印制板可能经历的焊接操作过程；
- d) 试样按有关规范的规定涂焊剂, 但省去清洗程序。

##### 5.6.4.2 摩擦试验

测试步骤如下：

- a) 试样应固定在一个盘中以防止在试验过程中移动, 盘中的溶剂应完全浸没过试样的表面；
- b) 试样在溶剂中浸泡 1min 后, 用毡垫或刷子, 施加 0.5N/cm<sup>2</sup> 的压力, 或按规定的方法摩擦试样的表面；
- c) 摩擦应是往复式的, 行程约 50mm, 频率约每秒 1 次, 应进行至少 10 个摩擦周期；
- d) 每种溶剂应使用新的毡垫或刷子, 或者在使用下一种溶剂前清洗干净并干燥后再使用；
- e) 试验结束后除去溶剂, 并对试样进行目检。

##### 5.6.4.3 仲裁方法

仲裁方法如下：

- a) 在供需双方存在争议的情况下, 试验应用等效于图 18 的试验装置进行；
- b) 该装置主要包含一个稳定工作的往复气缸马达。往复机械应采用一种能保持毡垫与试样表面平行的结构, 表面各处压力应相同, 运动时能施加约 0.5N/cm<sup>2</sup> 的压力；
- c) 试验结束后除去溶剂, 并对试样进行目检。

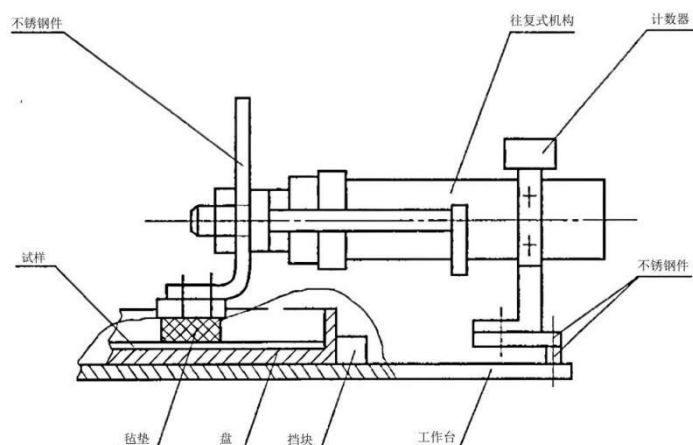


图18 摩擦试验装置示意图

### 5.6.5 评价

测试完成后，应目视检查试样标识的完整性与可读性。若标识存在整体或局部缺失、褪色、晕染、模糊或移位等缺陷，致使在150 mm标准观察距离下无法清晰辨识，或借助放大倍数不超过3倍的光学辅助设备（如放大镜）仍无法准确识别，则视为涂层无法耐受规定溶剂或焊剂。

### 5.6.6 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 焊接操作，（当要求时）；
- b) 使用的焊料和焊剂，（当要求焊接时）；
- c) 溶剂种类、数量、顺序；
- d) 试验后表面状况。

## 5.7 离子污染

### 5.7.1 手工萃取法

#### 5.7.1.1 目的

本方法用于评定从印制线路板的表面及内部萃取吸收的总离子含量。

#### 5.7.1.2 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 异丙醇，分析纯；
  - b) 氯化钠，分析纯；
  - c) 去离子水，电阻率大于 $16\text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$ （电导率小于 $0.0625\ \mu\text{S}/\text{cm}$ ）；
  - d) 萃取液：由 $(75\pm 2)\%$ 异丙醇/去离子水组成，电阻率大于 $16\text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$ （电导率小于 $0.0625\ \mu\text{S}/\text{cm}$ ）；
  - e) 氯化钠（NaCl）标准液：浓度为 $0.06\text{ g}/\text{L}$ ；
  - f) 溶液配置和存放仪器：烧杯、量杯、洗瓶、容量瓶、移液管、漏斗等；
- 注：这些塑料制品可以是高密度聚乙烯、聚甲基戊烯（聚戊烯）、聚丙烯，不能使用玻璃器皿。
- g) 电导电桥（带测量探头）或其他等效测量仪器。

#### 5.7.1.3 步骤

测试步骤如下：

- a) 校准电导电桥；
- b) 准备浓度为 $0.06\text{ g}/\text{L}$ 氯化钠标准液和 $1\text{ L}$ 萃取液；
- c) 在萃取液中加入 $5\text{ mL}$ 的氯化钠标准液，搅拌并测量电阻率/电导率；
- d) 再加入 $20\text{ mL}$ 的氯化钠标准液，此时氯化钠标准溶液共 $25\text{ mL}$ ，搅拌并测量电阻率/电导率；

- e) 再加入 25 mL 的氯化钠标准液，此时氯化钠标准溶液共 50 mL，搅拌并测量电阻率/电导率；绘制电导率和溶液浓度的三点列线图，应得到一个线性关系，并且  $R^2$  值为大于等于 0.99 时，仪器才会被认为是校准通过的；

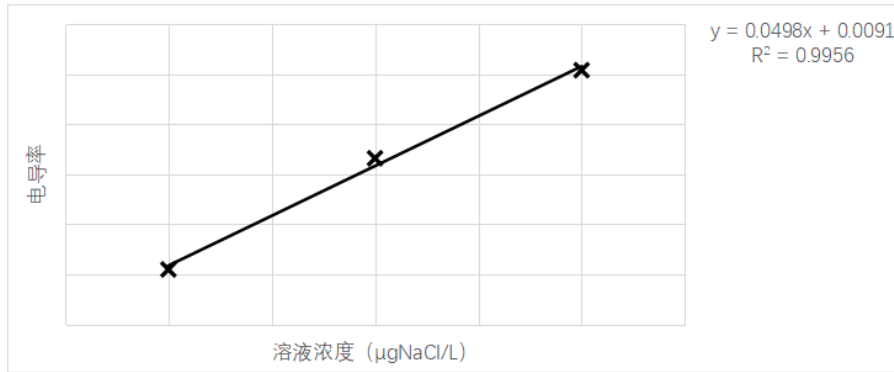


图19 电导率与溶液浓度列线图

- f) 用去离子水预清洗所有塑料容器，最后用萃取液冲洗；  
 g) 将漏斗放在收集萃取液的量筒上，然后将试样悬挂在漏斗内；  
 h) 根据计算出的试样面积准备萃取液，每平方厘米试样需要10 mL萃取液；  
 i) 用细流冲洗试样表面，每面至少冲洗1 min；  
 j) 冲洗完成后，记录萃取液体积；  
 k) 用电导电桥或等效仪器测量收集萃取液的电阻率/电导率；  
 l) 电阻率/电导率读数可用来转化为微克氯化钠当量。方法如下：  
 m) 从图19 中定位电阻率/电导率与校准曲线相交的位置；  
 n) 将垂直线从交点仰延伸到X轴，读取并记录  $\mu\text{g/L NaCl}$ ；  
 o) 用NaCl溶液的浓度 $\mu\text{g/L}$ 乘以使用的测试溶液总体积。这一结果得出从印制线路板中去除的总的NaCl当量；

$$T = M \times V \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- $T$ —从印制板萃取的氯化钠等价物的总量的数值，单位是微克 ( $\mu\text{g}$ )；  
 $M$ —氯化钠浓度测试的数值，单位是微克每升 ( $\mu\text{g/L}$ )；  
 $V$ —试样溶液的总体积，单位是升 (L)；

- p) 将NaCl当量微克除以印制板或组件的面积，得出每平方厘米面积上的离子污染量。

$$T / A = \mu\text{g NaCl}/\text{cm}^2 \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- $T$ —从印制板萃取的氯化钠等价物的总量的数值，单位是微克 ( $\mu\text{g}$ )；  
 $A$ —试样的表面积，单位是平方厘米 ( $\text{cm}^2$ )。

#### 5.7.1.4 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 试样面积；
- b) 试验中萃取液的温度；
- c) 单位面积上所含氯化钠最大当量值；
- d) 与本标准试验方法的任何差异。

#### 5.7.2 仪器萃取法

##### 5.7.2.1 目的

本方法用于评定从印制线路板的表面及内部萃取吸收的总离子含量。

### 5.7.2.2 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 异丙醇，分析纯；
- b) 去离子水，电阻率大于 $16\text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$ （电导率小于 $0.0625\ \mu\text{S}/\text{cm}$ ）；
- c) 萃取液：由 $(75\pm 2)\%$ 异丙醇/去离子水组成，电阻率大于 $16\text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$ （电导率小于 $0.0625\ \mu\text{S}/\text{cm}$ ）；
- d) 氯化钠（NaCl）标准液：浓度为 $750\ \mu\text{g}/\text{mL}$ ；或SCS 3#标准液；
- e) 比重计： $0.800\ \text{g}/\text{cm}^3\sim 0.900\ \text{g}/\text{cm}^3$ ；
- f) 表面离子污染测试仪（带离子交换柱）。

### 5.7.2.3 步骤

测试步骤如下：

- a) 接通仪器电源，打开溶液循环回路开关；
- b) 将贮存在容器中的萃取液通过离子交换柱进行净化处理，直到萃取液电阻率值达到 $20\text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$ 或以上；
- c) 在测试箱内注入固定体积的测试溶液，采用氯化钠（NaCl）标准液按照仪器商提供的校准说明对设备进行校准；
- d) 将校准测试后的萃取液，排放至溶液贮存箱。通过离子交换柱循环系统再处理，直至萃取液电阻率值达到 $20\text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$ 或以上。此时，将净化处理后的萃取液引入测试槽内；
- e) 按照设备商的程序，将试样放入测试槽内，开始自动萃取试样表面的离子物质；
- f) 在测试过程中，随着离子物质的分解，离子材料被提取到溶液中，电阻率会不断地下降。当电阻率函数不再及时变化时，试验可以终止。仪器可设置测试时间或自动终止；
- g) 初始电阻率和最终电阻率，以及测试槽中溶液体积及试样表面积，被系统用于计算试样的氯化钠相当量和离子污染量，可直接获取测试结果。

### 5.7.2.4 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 试样面积；
- b) 试验中萃取液的温度；
- c) 单位面积上所含氯化钠最大当量值；
- d) 与本标准试验方法的任何差异。

## 5.7.3 离子色谱法

### 5.7.3.1 目的

本方法通过对清洗试样表面粒子污染物后的萃取液进行色谱仪器分析，测量印制板离子型污染物含量，反映印制板表面的清洁度。本方法适用于仲裁试验。

### 5.7.3.2 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 去离子水，电阻率大于 $18\text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$ （电导率小于 $0.0556\ \mu\text{S}/\text{cm}$ ）；
- b) 萃取液：由 $(75\pm 2)\%$ 异丙醇/去离子水组成，电阻率大于 $16\text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$ （电导率小于 $0.0625\ \mu\text{S}/\text{cm}$ ）；
- c) 热塑封袋：低离子萃取袋（KAPAK无污染包装袋），污染物含量小于 $0.25\ \text{mg}/\text{kg}$ ；
- d) 塑料薄膜封口机；
- e) 乙烯基手套：氯小于 $3\ \text{mg}/\text{kg}$ ；
- f) 容量瓶；
- g) 移液器；
- h) 注射器；
- i) 恒温水浴锅；
- j) 离子色谱仪：测量离子浓度精度不低于 $0.5\ \text{mg}/\text{L}$ 。

### 5.7.3.3 步骤

测试步骤如下：

- a) 测量试样的尺寸，并计算表面积；
- b) 将试样放入热塑封袋中，按照 $0.5 \text{ mL/cm}^2$ 注入萃取液；
- c) 在另外一个热塑封袋内添加同样体积的萃取液作为比对试样；
- d) 将两个热塑封袋空气排空后加热密封，浸入 $(80 \pm 2)^\circ\text{C}$ 恒温水浴中1 h后，取出冷却至室温；
- e) 轻轻摇动热塑封袋，使内部萃取溶液充分混合。将萃取溶液转移到样品瓶中，或使用干净的注射器从热塑封袋中直接抽出萃取溶液待分析。提取的萃取溶液应尽快进行分析，从提取之时起不得超过8 h；
- f) 按照设备商规定的方法启动离子色谱仪，使其达到稳定的基线；
- g) 将萃取液注入离子色谱仪进行测试，分析试样溶液的阴离子和阳离子含量；
- h) 色谱图中的值通常以百万分之一（mg/L， $\mu\text{g/mL}$ ）表示；根据萃取体积和试样表面积，计算出所有定量的离子。结果用微克每平方厘米离子表示。

$$W = (C - B) \times V / A \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$W$ —试样每平方厘米面积上的离子污染量，单位是微克每平方厘米（ $\mu\text{g/cm}^2$ ）；

$C$ —离子色谱仪测得的试样离子浓度，单位是微克每毫升（ $\mu\text{g/mL}$ ）；

$B$ —离子色谱仪测得的空萃取袋的离子浓度，单位是微克每毫升（ $\mu\text{g/mL}$ ）；

$V$ —萃取液的总体积，单位是毫升（mL）；

$A$ —试样的表面积，单位是平方厘米（ $\text{cm}^2$ ）。

### 5.7.3.4 评价

可用于评价的离子包括：

阴离子：溴化氯，氟化硝酸盐，氟，硝酸盐，亚硝酸盐，磷酸盐，硫酸盐；

阳离子：铵，钙，锂，镁，钾，钠；

弱有机酸：醋酸，己二酸，甲酸，谷氨酸，苹果酸，甲烷硫酸盐，珀酸盐，邻苯二甲酸盐。

### 5.7.3.5 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括：

- a) 是否有影响离子交换柱和分析方法选择的其他离子；
- b) 试验中萃取液的温度要求；
- c) 萃取液中异丙醇的体积比；
- d) 离子污染量；
- e) 与本标准试验方法的任何差异。

## 5.8 镀金层耐腐蚀性 混合气体法

### 5.8.1 目的

本方法用于确定表面处理方式为电镀金的印制板，在承受工作或贮存室内环境中因污染气体（如二氧化硫、硫化氢、二氧化氮和氯气等）作用下的腐蚀影响。

### 5.8.2 试样

表面处理方式为镀金的印制板成品或试验板。

### 5.8.3 设备和材料

#### 5.8.3.1 气体系统

本方法所用气体系统如下：

- a) 气体系统通过让压缩空气通过温度高于湿空气露点的水浴室，将湿空气送入工作室。在计算温度时，任何额外加入试验气体中的干空气都宜加以考虑。工作室内的空气相对湿度宜定期检查，同时水浴室的水温要相应调整；

- b) 压缩空气宜除油和污染物，宜使用一个或多个油阱，油过滤器和化学过滤装置（比如干活性炭和分子滤网的组合）处理，并定期更换或活化。水宜是蒸馏水或去离子水。在这种情况下，工作室内的空气通过抽气排出，这样就在工作室内部形成低气压（与试验箱内工作室外部的空间相比）。工作室外部的湿空气通过一个孔被抽入到工作室内部，孔径的大小影响到气压差。调节从工作室抽出空气的流速以获得规定的每小时气体体积更换数。

### 5.8.3.2 工作室

本方法所用工作室如下：

- 试验气体由各种具有化学活性的成分组成，因此容易被吸附、吸收或与工作室和管道所用的结构材料进行化学反应。工作室材料，推荐采用玻璃、聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）、聚四氟乙烯（PTFE）、聚偏二氟乙烯（PVDF）和奥氏体不锈钢[含18%的铬（Cr），10%的镍（Ni），并加入钼（Mo）、钛（Ti）、铌（Nb）或其他抗腐蚀性材料以耐受氯化物的侵蚀]。通常需加入比规定含量高得多的气体，特别是氯气，以便在工作空间内获得规定的气体浓度。当使用某些种类的不锈钢时，工作室将发生腐蚀；
- 工作室的最小体积推荐为 $0.1\text{ m}^3$ ；
- 工作室可以是任何形状。与立方体形状的工作室相比，圆柱状的工作室一般能得到较均匀的气流和较大的工作空间（相对于整个工作室的体积）。工作室的试验样品宜只允许偶尔暴露于阳光或其他光源下；
- 试验箱的设计宜保证工作室壁和其他部件能容易地进行彻底清洁。工作室壁可以被加热至规定温度或稍微高些的温度，以免发生凝露，通常采用空气夹层（可以是外部的一个箱体）或水夹层；
- 工作室宜采用恰当的气密密封装置，使试验期间的电气测量、电气和机械的操作能够正常进行。试验气体最好从试验箱的底部开口位置导入，从相对应的顶部开口排出。在开口前的位置可以使用缓冲装置以改善气流的均匀性；
- 排气管可以加热以避免凝露和腐蚀；
- 为了改善气流均匀性，允许气体强制流动。气体的强制流动可以采用风扇或圆盘回转试样架让试验样品在试验气体中缓慢移动来实现。一般情况下，风扇所产生的紊流气体能加速腐蚀速率，而使用回转试样架所产生的均匀气流流速只限于一个恒定直径。当使用风扇或回转试样架时，其散发出的热量宜予以考虑。正常情况下风扇宜安装在远离试验物品的位置以免散发出的热量影响试验结果，回转试样架的动力装置宜安装在试验箱的外部以免热量散发到工作室内部。设备使用前，宜研究风扇和回转试样架的影响。

### 5.8.3.3 气体输送系统

本方法所用气体输送系统如下：

- 气体输送系统、管道、阀门等不宜吸附试验气体或对气体的吸附不宜影响试验效果。聚四氟乙烯（PTFE）是一种管道常使用的材料。阀门等部件通常采用耐酸钢加工制成，钢表面优先选用聚四氟乙烯（PTFE）涂覆，特别是在潮湿条件下氯会侵蚀耐酸钢；
- 气体可以由渗透管提供，纯净空气、合成空气或氮气作为载气。另一种办法是使用气体钢瓶，最好使用稀释后的气体（通常采用氮气稀释）。气体宜足够清洁，不能影响试验效果。宜采用高纯度的气体：规定活性气体以外的其他活性气体的最大浓度是该规定活性气体浓度的0.1%。某些气体如二氧化氮中的一氧化氮允许有更高的浓度，最大可达二氧化氮气体浓度的10%；
- 调控气体流量可以采用计量泵，孔板流量计或质量流量计。推荐使用质量流量计来调控低浓度的腐蚀性气体；
- 在腐蚀性气体导入工作室之前，最好使用混合室。各种腐蚀性气体相互混合时，每种腐蚀气体的浓度宜避免引起相互之间不必要的化学反应。

### 5.8.3.4 气体分析系统

#### 5.8.3.4.1 温度和湿度

不受所用腐蚀性气体影响的各种方法均可用于测量温度和湿度。温度和湿度的控制可在稀释的腐

蚀性气体混合之前进行。在试验设备中，这一工作可在工作室外的箱体内进行。在此情况下，温度和湿度设置可根据稀释的腐蚀性气体的混合情况来调节。工作室内真实的温度和湿度与外部测得的温度与湿度之间的关系宜定期检查（一般每年 2 次）。宜限制仪器暴露在工作室内的腐蚀环境中。

#### 5.8.3.4.2 气体

本方法所用气体如下：

- a) 为了避免在采样管中产生凝露现象，这些管道可以加热。管道中的相对湿度最高允许为80%，稍低一些更好；
- b) 工作室与工作室外的压力差对气体分析仪器功能可能产生的影响宜彻底检查。许多检测仪器要求检测与周围环境压力一致的气体样品。当工作室存在负压时，有些检测仪器从工作室抽取气体可能产生困难，因而会给出过低的读数。而工作室压力为正压更容易控制，因为采取措施降低压力到环境压力比较容易；
- c) 二氧化硫分析测试可以采用荧光紫外法、电导法和比色法等；
- d) 硫化氢分析可以采用荧光紫外法、气相色谱火焰光度法、金膜探头吸附法（受NO<sub>2</sub>干扰）、电导法或者比色法；
- e) 二氧化氮分析可以采用化学荧光法或比色法；
- f) 氯气测量可以采用电化学方法或比色法，这两种方法均会受到试验气体中其他腐蚀性气体的影响，因此，氯的分析只有在不含其他气体条件下才能进行；
- g) 所有气体混合后，氯的总含量可以采用离子色谱法分析，这种方法得到的氯含量为氯气的浓度值。试验用仪器宜根据制造商的说明进行计量。此外，所有仪器宜采用校准气体源定期计量。当采用荧光紫外类型的仪器时，在校准气体源中宜选用空气作为载气，因为它与使用氮气作为载气时获得的读数不一样；
- h) 最应注意的是，很多方法（如用荧光紫外法分析二氧化硫）都受相对湿度的影响。使校准单元中载气的相对湿度达到取样管中同样的相对湿度是很困难的。因此，记录使用来源于试验箱的纯净空气，使用和采样时相同的温度、相对湿度、流速和相同的管道加热方式进行测量的读数，并将其与使用校准单元中的纯净载气时的读数相比较。当对试验箱中的腐蚀性气体进行分析时，得到的读数也宜按照这一差值进行相应的校正。

#### 5.8.4 步骤

##### 5.8.4.1 试验样品组成

试验样品由下面两部分组成：

- a) 要进行评价的试验样品，应符合以下要求：
  - 1) 相关产品规范应确定试验样品在试验期间的状态，如连接件是连接或不连接、开关是断开或闭合运行或加负载。散热的试验样品处于运行或负载状态期间，工作空间的温度和相对湿度应保持在规定的范围内。当试验样品放入试验箱时，试验样品和试验箱所处的状态不应使试验样品表面产生凝露现象。试验样品的总体积不应超过整个工作空间体积的 10%。如果超过 10%，则超过 10%的量应包括在试验报告中；
  - 2) 试验样品的总表面积不应超过整个工作空间表面积的 10%。如果超过 10%，则超过 10%的量应包括在试验报告中；
  - 3) 试验样品之间的最小间距不小于 10 mm，以避免影响均匀的气流。
- b) 腐蚀监测材料，应符合以下要求：
  - 1) 铜片试样作为腐蚀监测材料与试验样品一起试验，以检验试验条件的一致性。铜片试样准备至少 5 件，试验期间与试验样品一起暴露，并用分辨率为 0.01 mg 的天平称量铜片试样在试验中的重量增加值，以作为腐蚀程度的衡量标准和试验再现性与重复性的监控标准；
  - 2) 除铜片试样外，其他材料如镀金试片或其他试样也可以作为腐蚀监测材料。

##### 5.8.4.2 初始检测

确认试样试验前的外观与性能参数。

注：试样状态的试前照片对于确定是否发生退化是有用的。或者，另外保留一个未经实验的样品有助于进行比较。

### 5.8.4.3 预处理

相关规范应规定试验前对试样所采用的清洁方法，还应说明是否去除临时保护层。使用的清洁方法不应影响腐蚀气体对试样的作用，也不应引起任何二次腐蚀。试验前宜尽量避免用手触摸试样表面。

### 5.8.4.4 严酷等级

试验严酷等级取决于以下因素：

- a) 试验时间：优先选用4 d、7 d、10 d、14 d和21 d；
- b) 试验条件：试验条件有4种，具体参数见表6，试验条件的选择由供需双方协商决定。

表6 试验条件

试验参数	条件1	条件2	条件3	条件4
H <sub>2</sub> S (10 <sup>-9</sup> vol/vol)	100±20	10±5	100±20	10±5
NO <sub>2</sub> (10 <sup>-9</sup> vol/vol)	—	200±50	200±50	200±20
Cl <sub>2</sub> (10 <sup>-9</sup> vol/vol)	—	10±5	20±5	10±5
SO <sub>2</sub> (10 <sup>-9</sup> vol/vol)	500±100	—	—	200±20
温度 (°C)	25±1	30±1	30±1	25±1
相对湿度 (%)	75±3	70±3	75±3	75±3
试验气体每小时体积更换数	3~10	3~10	3~10	3~10
铜片试样的增重[mg/(dm <sup>2</sup> ·d)]	1.0~2.0	0.3~1.3	1.2~2.2	1.2~2.4

注：

1. 由于试验条件1~试验条件4的腐蚀性不同，编号次序和相应的铜片试样腐蚀增重不反映其严酷等级。
2. 相关方可以协商同意使用不同的温度和相对湿度值（如40°C和80%）。铜片的增重值可能与表中给出的值不同。

### 5.8.4.5 腐蚀测试步骤

试样应根据相关规范按其正常工作位置状态进行试验，并选择适合被评估零件的气体腐蚀测试和暴露时间，选择下面试验程序1和试验程序2其中一种进行试验。

#### 5.8.4.5.1 试验程序 1

当试验气体中不含氯（条件1）或测量氯浓度的方法不受试验气体中其他气体干扰时应采用下述程序：

- a) 规定的温度稳定后，开始注入湿空气，稳定和调节温度与湿度，以避免在工作室内壁及试验样品上产生凝露；
- b) 开始向湿空气中导入腐蚀性气体并使其稳定；
- c) 测量与调节气体浓度并使其稳定；当需要测量氯浓度时，以试验气体中的全部氯（不仅仅是氯气Cl<sub>2</sub>）作为氯气浓度；试验气体中的氯只应以氯气Cl<sub>2</sub>形式充入；
- d) 放入试验样品和腐蚀监测材料。在试验期间前4天铜片试样应与试验样品一起暴露。如有必要，铜片试样可在试验期间再暴露4 d，并将此写入试验报告中。试验样品和腐蚀监测材料应均匀分布于工作空间内，不应相互接触和遮挡试验气体，试验样品的状态应符合相关规范（如连接/不连接，电负载或运行）。试验时间应从此时开始计算；
- e) 试验条件稳定可能需要一定的时间；如果有必要，可测量与调节温度、湿度和气体浓度；调节过程中应避免气体浓度的任何超标，调节和稳定的最长时间不应超过24 h；
- f) 试验过程中温度、湿度和气体浓度应保持在规定的范围内；试验期间允许打开试验箱。开箱的次数应受限制：
  - 1) 试验持续时间少于4 d，不准许开箱；
  - 2) 试验持续时间为4 d~10 d，允许开箱1次；

- 3) 试验持续时间超过10 d, 允许每周开箱1次;
  - 4) 开箱持续时间以取、放试验样品或腐蚀监控材料所必需的时间为限。
- g) 试验结束后, 取出试验样品和腐蚀监测材料。

#### 5.8.4.5.2 试验程序 2

当试验气体中含氯(条件2、条件3、条件4)或测量氯含量的方法受到试验气体中其他气体的干扰时, 应采用下述程序:

- a) 规定的温度稳定后, 开始注入湿空气, 稳定和调节温度与湿度, 以避免在工作室内壁及试验样品上产生凝露;
- b) 开始向湿空气中导入氯气并使其稳定;
- c) 测量和调节氯浓度, 并使其稳定;
- d) 放入试验样品和5.8.4.1 b) 规定的腐蚀监测材料; 在试验期间前4天铜片试样应与试验样品一起暴露。如有必要, 铜片试样可在试验期间再暴露4 d, 并将此写入试验报告中。试验样品和腐蚀监测材料应均匀分布于工作空间内, 不应相互接触和遮挡试验气体, 试验样品的状态应符合相关规范(如连接/不连接, 电负载或运行);
- e) 使温度、湿度和氯浓度稳定可能需要一段时间, 因为氯在试验样品表面具有较高的初始化学反应与吸附速率; 如果有必要, 可测量和调节氯的浓度; 在调节过程中应避免气体浓度的任何超标, 调试好的氯浓度至少稳定2 h; 调节和稳定的最长时间不应超过24 h;
- f) 开始注入其他气体并使其稳定, 如有必要, 可测量和调节温度、湿度和气体浓度(氯除外); 在调节过程中应避免气体浓度的任何超标, 调节和稳定的最长时间不应超过24 h; 试验时间从所有气体全部通入时开始计算;
- g) 在试验过程中, 温度、湿度和气体浓度应保持在规定的范围内, 但是氯浓度不能控制, 确保氯浓度在规定范围内的方法是试验结束后按规定测量氯含量; 试验期间允许打开试验箱;
- h) 开箱的次数应限制:
  - 1) 试验持续时间少于4 d, 不准许开箱;
  - 2) 试验持续时间为4 d~10 d, 允许开箱1次;
  - 3) 试验持续时间超过10 d, 允许每周开箱1次;
  - 4) 开箱持续时间以取、放试验样品或腐蚀监控材料所必需的时间为限。
- i) 试验结束后, 除继续通入氯气以外, 停止通入其他气体, 等待足够的时间使其他气体排出试验箱, 最大程度避免影响氯的分析;
- j) 为确保试验的有效性, 测量的氯浓度应在规定的范围内;
- k) 取出试验样品和腐蚀监测材料。

#### 5.8.5 恢复(试验结束后)

试验结束后, 应将从试验箱中取出的试验样品按相关规范存放。

#### 5.8.6 最终检测

试样应进行目视检查, 如有必要应按照相关规范进行电气和机械性能检测, 记录试验结果。相关规范应提供试样合格与不合格的判别准则。如果必要的测试不能在规定的时间内完成, 在恢复条件下存放时间最长可以延长为7 d, 这种存放时间的延长应在试验报告中说明。

#### 5.8.7 结果报告

除4.3的规定外, 报告还应包括:

- a) 气体浓度测量值;
- b) 每个铜片试样的增重, 单位 $\text{mg}/(\text{dm}^2 \cdot \text{d})$ ;
- c) 试样暴露周期和在试验箱内的位置。

### 5.9 卤素含量

#### 5.9.1 离子色谱法

### 5.9.1.1 目的

本方法用于离子色谱法测定印制板中的卤素（氯、溴）含量。

### 5.9.1.2 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- a) 离子色谱分析仪，仪器最小检测浓度 $\leq 0.02 \mu\text{g/mL}$ ；
- b) 充氧燃烧瓶，带铂金或镍铬筐和硬质玻璃瓶塞，容量为1 000 mL；
- c) 氧弹，带立式充氧器和点火控制器；
- d) 无灰定量滤纸；
- e) 乙烯基手套：氯小于3 mg/kg；
- f) 打火机或酒精灯；
- g) 助燃剂，如石蜡、脱脂棉；
- h) 点火丝；
- i) 坩埚，不锈钢、陶瓷质等；
- j) 移液枪，各种容量；
- k) 高纯氧气，纯度99.9%以上；
- l) 容量瓶，各种容量；
- m) 量筒，100 mL；
- n) 电子天平，最小感量值为0.1 mg；
- o) 适当的试样粉碎设备；
- p) 针式过滤器，孔径 $\leq 0.45 \mu\text{m}$ ；
- q) 去离子水，或蒸馏水；
- r) 吸收液，0.009 mol/L氢氧化钠（NaOH）溶液；
- s) 色谱分析用氯离子标准溶液；
- t) 色谱分析用溴离子标准溶液；
- u) 无水碳酸钠基准试剂；
- v) 碳酸氢钠基准试剂。

### 5.9.1.3 试样

试样面积为 $(50 \pm 1) \text{ mm} \times (50 \pm 1) \text{ mm}$ ，数量为三块。

### 5.9.1.4 步骤

#### 5.9.1.4.1 试样预处理

将试样按材料拆分，然后用适当的粉碎设备（粉碎机、钻屑机、磨切机等）将试样制成粉屑状。

#### 5.9.1.4.2 检验液的制取

##### 5.9.1.4.2.1 氧瓶燃烧法

测试步骤如下：

- a) 用电子天平称取粉屑状试样 $(110 \pm 5) \text{ mg}$ ，包裹于无灰定量滤纸中。试样称量准确至0.1 mg，记为 $m$ 。推荐滤纸的形状修剪成如图20 所示，包样顺序如图21 所示；
- b) 样品包裹好后，往充氧燃烧瓶中注入20 mL的0.009 mol/L NaOH溶液，作为吸收液；
- c) 从燃烧瓶上部通入氧气，待氧气量充足后，将用滤纸包好的试样放置在瓶塞悬挂的铂金筐中，点燃滤纸，然后如图22 所示插入燃烧瓶中，将瓶塞塞好；
- d) 燃烧结束后，将燃烧瓶恢复正常位置，在室温下静置30 min~60 min；
- e) 待样品被完全吸收后，将溶液移至100 mL容量瓶中，用去离子水分三次冲洗氧瓶，将清洗液转移到容量瓶内，用去离子水稀释到100 mL，作为检测液，准备使用离子色谱仪分析；
- f) 不加样品，按照相同的步骤，准备好空白试验检测液。

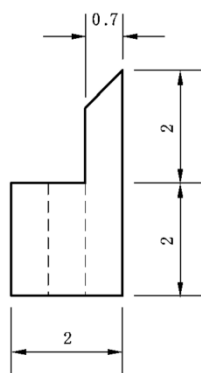


图20 滤纸修剪形状及大小

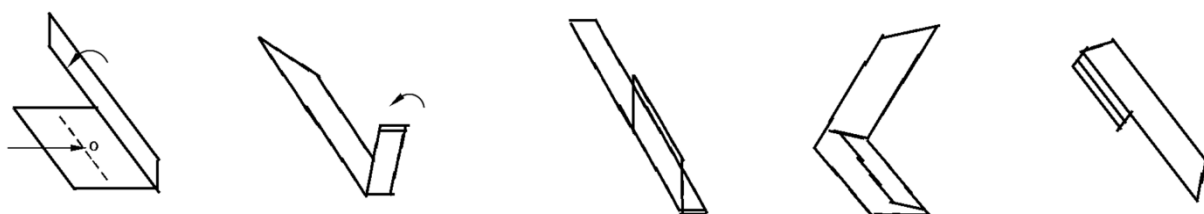


图21 滤纸包样方法

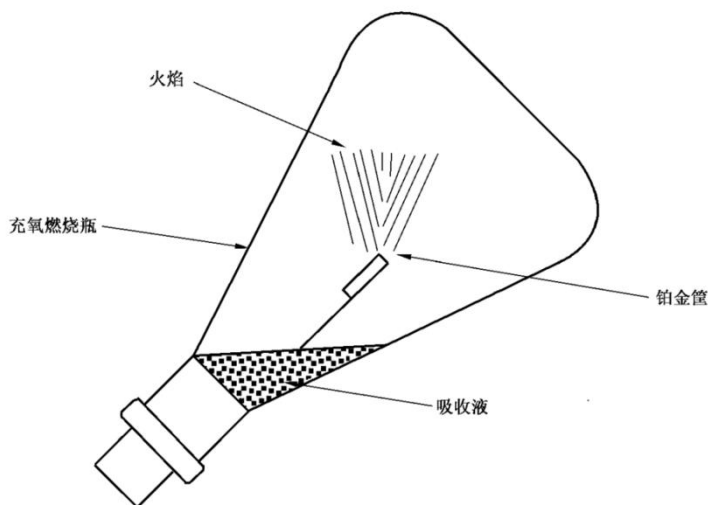


图22 氧瓶燃烧示意图

#### 5.9.1.4.2.2 氧弹燃烧法

测试步骤如下：

- a) 称取样品 0.1 g~0.2 g (精确到 0.0001 g) 至坩埚，其上覆盖 100mg 助燃剂；
- b) 拧开氧弹盖，取一根约 9 cm 长的点火丝，使点火丝与助燃剂接触，两端挂在两根有斜缝的点火丝杆上，并打活结；
- c) 在氧弹内加入 20mL 吸收液，拧紧氧弹盖，将充氧器接在氧气瓶上，将氧气导管接在氧弹上；
- d) 缓缓打开气阀，限压在 1.0MPa，往氧弹内充入氧气，然后用放气阀放气。连续充气放气三次或以上，排出氧弹内氮气，然后充氧气，压力平衡时间不少于 30 s；
- e) 将氧弹的点火帽戴好，插好点火电极，点火，然后关闭电源；
- f) 燃烧 1min~2min 后，取下氧弹，放入水浴中冷却 30min 以上，并不时摇晃氧弹，使吸收更完全；

- g) 冷却后,取出氧弹,放气阀放气,拧开氧弹盖,将溶液倒至 100 mL 容量瓶中,用去离子水分三次冲洗坩埚、点火丝杆、氧弹盖内表面和氧弹内壁;
- h) 将清洗液转移至 100 mL 容量瓶内,待冷却至室温后,稀释定容到 100 mL,作为检测液,准备使用离子色谱仪分析;
- i) 不加样品,按照相同的步骤,准备好空白试验检测液。

#### 5.9.1.4.2.3 仪器准备

如图 23 所示安装离子色谱分析系统,推荐使用如表 7 所示的离子色谱仪器参数。

表7 离子分析色谱仪条件参数示例

色谱条件	设置
淋洗液	4.5 mmol/L Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 和 1.4 mmol/L NaHCO <sub>3</sub> 混合溶液
淋洗速率	1.2 mL/min
色谱柱	预流柱、阴离子分离柱
抑制器	超级阴离子抑制器
检测器	电导检测器

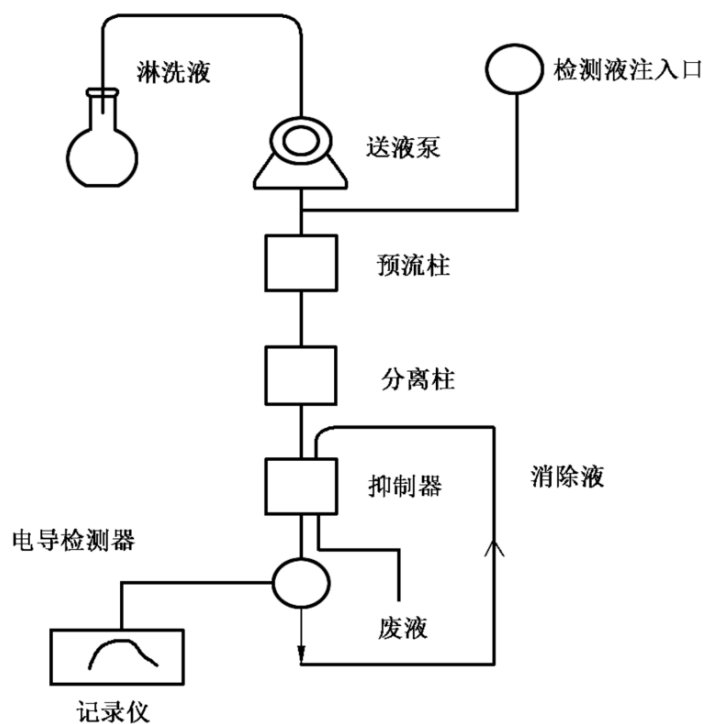


图23 离子色谱分析系统

#### 5.9.1.4.2.4 检测液离子色谱分析

按照相关仪器操作规程,将试样及空白检测液经过孔径至少 0.45 μm 的过滤膜过滤后注入离子色谱分析系统中,色谱仪系统的电脑设备将自动分析出检测液中氯、溴离子的浓度,单位为 μg/g,准确至 0.01 μg/g。试样检测液浓度记录为  $N$ ,空白检测液浓度记录为  $N_0$ 。

结果计算

按下式计算试样中氯、溴的含量(重量百分比),准确至 0.001%。取三个试样的平均值作为结果值。

$$W_t = \frac{(N - N_0)V}{10W} \times 100\% \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$W_t$ ——试样中卤素（氯、溴）的含量；

$N$ ——试样检测液中卤素（氯、溴）的浓度，单位为微克每克（ $\mu\text{g/g}$ ）；

$N_0$ ——空白检测液中卤素（氯、溴）的浓度，单位为微克每克（ $\mu\text{g/g}$ ）；

$V$ ——吸收液的量，为100 mL（相当于100 mg）；

$M$ ——试样的称量，单位为毫克（mg）。

### 5.9.1.5 结果报告

按4.3的规定。

## 5.9.2 X射线荧光光谱法（XRF）

### 5.9.2.1 目的

本方法用于X射线荧光光谱法（XRF）测定印制电路板中的卤素（氯、溴）含量。

### 5.9.2.2 设备和材料

本方法所用设备和材料如下：

- X射线荧光光谱仪；
- 剪切机；
- 压片机：工作压力不小于20MPa；
- 粉碎机：粉碎后粒径可达0.5 mm及以下；
- 液氮：工业级；
- 硼酸：分析纯（105℃烘1h，置于干燥器内储存）。

### 5.9.2.3 样品制备

将印制电路板剪切成小于10 mm×10 mm的方块（块数能满足2 cm<sup>3</sup>体积的要求），经液氮冷却后，用粉碎机粉碎成粒径小于0.5 mm的粉末，混匀后。取体积约为2 cm<sup>3</sup>的样品粉末，用硼酸衬底压制成片，厚度不低于2 mm。共压制两个试样。

### 5.9.2.4 步骤

#### 5.9.2.4.1 仪器准备

开启X射线荧光光谱仪，并预热至少0.5 h。

#### 5.9.2.4.2 X射线荧光光谱法分析有害物质推荐的分析谱线

表8 X射线荧光光谱法分析有害物质推荐的分析谱线

分析元素	推荐谱线
氯（Cl）	K-L <sub>2,3</sub> （K <sub>α</sub> ）
溴（Br）	K-L <sub>2,3</sub> （K <sub>α</sub> ）

#### 5.9.2.4.3 工作曲线的绘制

选择与被测样品基体相匹配的标准样品，按照X射线荧光光谱仪的测量条件，测定标准物质中的待测元素的荧光强度，根据标准物质所给定的标准值和光谱仪所测得的强度绘制工作曲线。

#### 5.9.2.4.4 测定

将制备好的试样放入X射线荧光光谱仪样品仓内，根据所绘制工作曲线对样品进行分析，读出结果。

### 5.9.2.5 结果报告

除4.3的规定外，报告还应包括根据筛选结果给出符合性评价。

## 附录 A (资料性) 剥金方法

### A.1 ENIG 的氰化剥金方法

使用氰化物溶液来剥离金层的方法应用比较广泛。氰化剥金液含有适量碱性介质的氰盐，在整个剥金过程中，大部分溶液被缓冲以维持碱性。溶液中可能还含有抑制剂，抑制剂的作用是减弱金层被剥离后药水对镍层的攻击。大多数浸金供应商会提供他们各自的氰化物剥离工艺。

这些剥金工艺通常是在室温下进行，停留时间在60 s范围内。最低有效的停留时间应该在实际剥离前通过测试来确定，以确保对金层底下的镍层没有不良影响。

剥金后的试样应彻底清洗并干燥。

### A.2 碘化钾/碘（非氰化物）测试方法的 ENIG 剥金程序

该方法提供了一种从ENIG体系（表面）中去除浸金层的无氰化物剥金代替方案。

由于低质量的化学试剂和水会降低蚀刻的效率和蚀刻的均匀性，因此优选化学纯级别的试剂和去离子水（或蒸馏水、RO优质水）。用于配置、操作和存储溶液的玻璃烧杯或容器应要求与氧化剂相兼容。

溶液浓度和无氰化金蚀刻溶液配比：

碘化钾/碘，KI/I<sub>2</sub>，400 g/L，（2.4 M，分子量166.01）

单质碘，I<sub>2</sub>，200 g/L，（0.7 M，分子量253.81）

操作条件在室温下，适当增加机械搅拌可促进新配制的蚀刻液的蚀刻效果。新配的溶液的典型的蚀刻速率为280nm/min，随着放置和使用时间的推移，蚀刻速率会有所下降。当蚀刻溶液老化后，将溶液温度升至70℃将有助于提高蚀刻速率。

测试步骤如下：

- a) 使用具有耐化学溶剂特性的夹具来夹持或固定试样；
- b) 预先清洗样品，去除试样表面的有机污染物。如果在清洗过程中使用到醇类物质（例如异丙醇等），在浸入蚀刻溶液前，确保试样是干燥的，且无任何醇类试剂残留；
- c) 将样品浸入去离子水中进行预润湿；
- d) 将样品浸没在室温溶液中，并适当搅拌；
- e) 蚀刻停留时间会因样品而异，但一般在15 s~60 s范围内；
- f) 停止蚀刻后将样品浸入装有水的烧杯或容器中，清洗样品上残留的蚀刻溶液；
- g) 再将样品浸入装有大量去离子水的容器中清洗30 s~60 s或更长时间，以确保清洗干净；
- h) 使用无水乙醇处理或风干样品来去除残留的水分。

注1：碘化钾/碘溶液是一种氧化剂，必须佩戴适当的个人防护装置在通风橱下进行操作。

注2：查阅MSDS正确处理和存储。

注3：如果使用新配制的溶液，在70℃下进行蚀刻，则蚀刻是非常具有攻击性的，不仅金层会蚀刻掉，镍层和铜层都会被蚀刻掉。

注4：长时间的停留会加强对镍层晶界的攻击。

### A.3 以宽束氩离子研磨的方法剥离印制板上 ENIG 表面处理的金镀层

高能氩离子与金层表面的金原子相碰撞，并将金原子从表面溅射出来，从而达到去除金层的目的。因为没有化学反应，所以金层被剥离时就不会有镍腐蚀或晶界被攻击的风险。在金层被完全剥离后，一些化学镍层将被离子研磨掉，但是被除去的化学镍层并不会改变剩余化学镍层的化学特性，也不会对镍层的过腐蚀产生误判。尽管如此，在金层被完全剥除后，谨慎起见应立即停止所有的研磨。

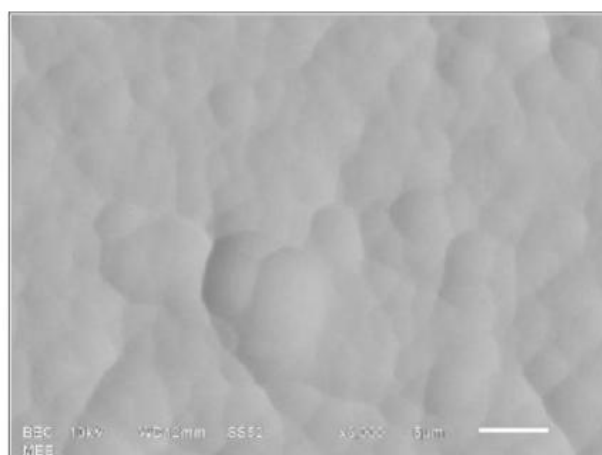
因为离子研磨仪设备种类繁多，导致这种方法在一定程度上还不够具体。因此，采用宽束氩离子研磨制备样品需要进行一些方法的开发。有经验的离子研磨仪操作员在确定仪器参数时，应该不会有太多困难，使得它在去除金层时不会去除太多的镍层。

研磨角度在5°~45°之间（离子束相对于样品表面）。根据离子研磨机制造商的不同，通常被称为平面研磨、抛光、表面改性等功能或模式。一些宽束氩离子研磨仪因其氩离子束相对于样品表面的角

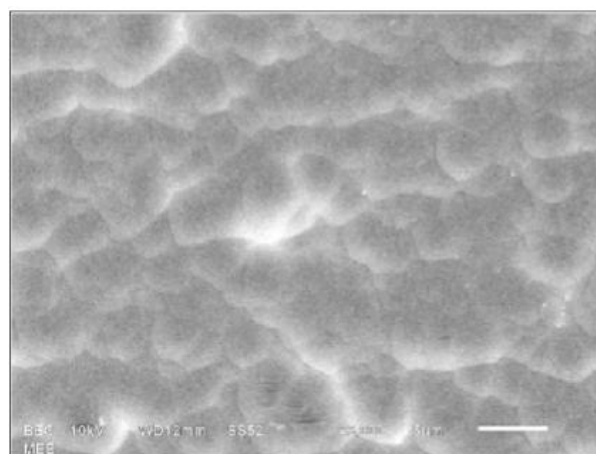
度是固定的（通常为90°），因此仅限于截面的制作，这些仪器如不经任何改造的情况下是不能用于剥金处理的。

操作方法如下：

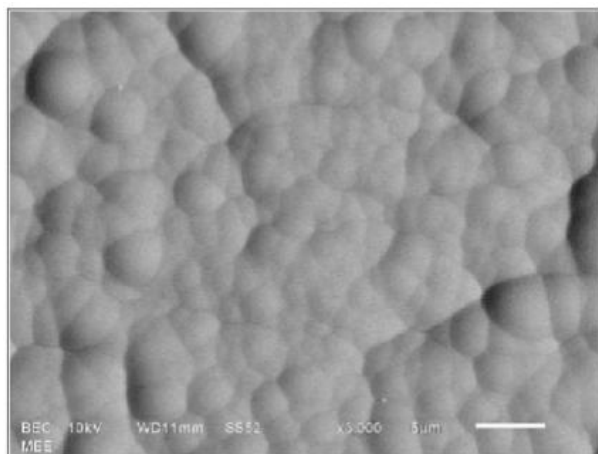
- a) 虽然非必要，但使用光学显微镜和/或SEM/EDS确定样品在研磨前的形貌及记录所有异常（刮痕、沉积物等）是很有用的；
- b) 减小样品的尺寸，使之符合所使用的特定离子研磨机的样品尺寸要求。样品可以用锯或其他切割工具切割。一般来说，要离子研磨的区域应尽可能靠近最终样品附连板的中心位置；
- c) 在需离子研磨的区域附近应去除所有表面贴装器件。一般来说，如果表面贴装器件能全部去除是最好的；
- d) 在样品上留下的任何表面贴装器件都可能会对氩离子束造成阴影效果，并减小剥金的有效性和可重复性；
- e) 使用压缩空气或罐装空气除去表面上松散碎屑或粉尘。使用溶剂或酒精清洗也可以接受，只要它们不会留下残留物且不与金层发生反应。在离子研磨前样品应该完全干燥处理；
- f) 将样品固定在离子研磨机的样品架上。双面胶带、导电碳胶带、碳漆、银漆、夹子或其他方法均可用于固定样品，只要它们是真空兼容的且不会对离子研磨区域造成遮蔽或阴影；
- g) 使用一个样品架可以方便地将样品转移至光学显微镜、SEM或者XRF，并从样品架中取出样品分析。如果需要进一步研磨，则样品无需重新定位；
- h) 将样品置于离子研磨仓内，并将仓内抽真空至操作所需的真空度；
- i) 调整样品台和离子枪，以便于需要研磨的区域对准离子枪；
- j) 离子枪的角度（相对于样品表面）选择一个5°~45°之间的角度。25°的离子枪角度被发现是效果很好的角度，且这是一个很好的起点。较高的角度可提高去除速度，但可能会产生形貌特征伪像，以及轻微夸大的表面特征，如刮痕和晶粒结构。较低的角度（5°或更少）将会降低去除速度，并可能导致ENIG的结瘤形貌对结瘤间的低谷处形成阴影效果；
- k) 离子枪加速电压选择一个在1 kV~10 kV之间的电压。5 kV被发现是效果较好的电压。较高的电压可提高去除速率。高压（8 kV或者更高）可能显著加热样品而没有明显增加去除速率；
- l) 离子枪电流选择一个合适的电流值。较高的电流将提高去除速率。在鞍形场离子枪上的5 kV电压条件下，使用2 mA效果较好；
- m) 样品台的移动离子研磨过程匀速转动样品台对去金的均匀性和减少阴影效应，并限制产生的研磨伪像均有帮助。如果旋转无法进行，那么样品至少需进行最大角度的摇摆。样品台的X轴和Y轴方向上的移动也可以适当调整，以便离子研磨覆盖更大的面积；
- n) 完全去除金层所需的时间很大程度上取决于其他离子枪的设定和金层的厚度。通常只需几分钟就可以完全剥离金层。最好一开始只研磨一个较短的时间（30 s~60 s），然后检查样品金层的去除情况，再接着根据需要进行继续研磨。例如在配置2把鞍形场离子枪下，使用5 kV、2 mA、25°研磨角的参数，通常1 min~5 min的时间足以将金层完全去除。其目的是完全去除金层而又不会明显研磨进镍层；
- o) 研磨结束后从离子研磨仪中取出样品；
- p) 使用光学显微镜进行检查。如果研磨区域仍存在金色，那么需要进一步研磨。如果研磨区域已成镍层的灰色，那么绝大部分金层已经被去除了。如果研磨区域目视呈灰色或镍层的颜色，则使用SEM的背散射模式进行检查。残留的金层相对于更暗的镍层会更加明亮。有些金可能留在较深的晶界中，特别是在严重镍腐蚀区域。结合SEM，通过EDS分析研磨表面，以验证金已被去除。如果SEM/EDS检查发现表面仍存在金层，则继续进一步研磨和检查直到金层完全被去除；
- q) 即使在最初的方法开发之后，也可能需要对设置进行一些调整。如果后续的金层厚度更厚或更薄，那么研磨的时间应该相应做调整。



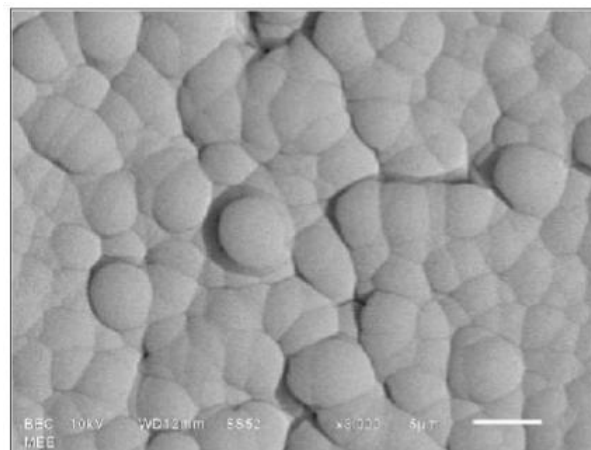
图A. 1 离子研磨前 ENIG 表面处理的表面 SEM 图（背散射）



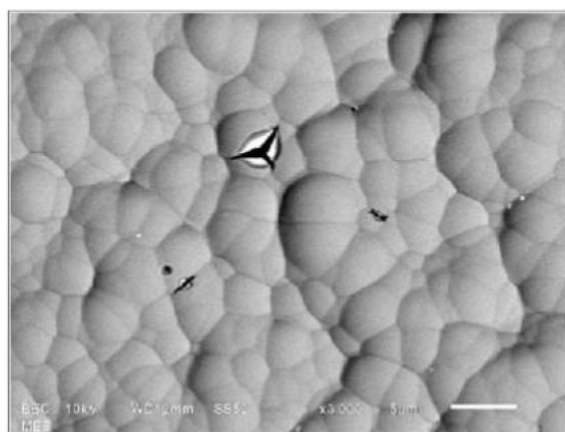
图A. 2 经 30s 离子研磨 ENIG 表面的 SEM 图（背散射），一些金明显残留表明样品仍需进一步研磨



图A. 3 经 1min 离子研磨 ENIG 表面的 SEM 图（背散射），结瘤形貌完整且无金残留表明样品已研磨适当



图A. 4 经 15min 离子研磨 ENIG 表面的 SEM 图（背散射），明显无金残留，但明显的颗粒结构和一些沟槽形貌表明样品已被过度研磨



图A. 5 经 15min 离子研磨 ENIG 表面的 SEM 图（背散射），过腐蚀依然明显但没有显著扩大

**注1:** 宽束氩离子研磨是一种可靠的方法，具有广泛的多样的设置。研磨角度、能量和时间的微小变化通常不会对结果造成太大的差异。

**注2:** 即使样品被过度研磨，其影响也主要在形貌上。因为它不是基于化学反应，所以镍的化学性质并没有被研磨过程所改变。此外研磨过程并没有反应产物残留。

**注3:** 较高角度和较高能量的过度研磨，会导致镍层中注入微量的氩离子。EDS分析时氩元素的主峰位置在2.96 keV，并与银元素主峰位置相重合（2.98 keV）。一些EDS系统会将氩元素的峰值误标为银元素。如果EDS检测到氩元素，则应减小研磨角度、能量和/或时间以减少氩离子的注入。

除了从ENIG的表面处理上剥离金层之外，离子研磨也可以用来从任何表面处理上剥离薄的镀层。由于不同材料之间的研磨速率差别很大，一些方法的开发是有必要的。例如金的研磨速率要比钨的研磨速率快得多。

### 参 考 文 献

- [1] GB/T 2423.51-2020 环境试验 第2部分：试验方法 试验Ke：流动混合气体腐蚀试验
  - [2] GB/T 4722-2017 印制电路用刚性覆铜箔层压板试验方法
  - [3] GB/T 34517-2017 航天器用非金属材料真空出气评价方法
  - [4] GB/T 39560.301-2020 电子电气产品中某些物质的测定 第3-1部分：X射线荧光光谱法筛选铅、汞、镉、总铬和总溴
  - [5] IPC-4552B 印制板化学镀镍/浸金（ENIG）镀覆性能规范
  - [6] IPC-TM-650 2.3.24.2A 铜基合金和镍上金属镀层的孔隙率（硝酸蒸汽试验）
  - [7] IPC-TM-650 2.3.41 基材中总卤素含量的测试方法
  - [8] IPC-TM-650 2.6.1G 印制板材料的耐霉性
  - [9] ASTM B799-1995(2025) Standard Test Method for Porosity in Gold and Palladium Coatings by Sulfurous Acid/Sulfur-Dioxide Vapor
-