

技术管理规范之CAF失效成因及预防

■IPG技术管理/WSN

随着物联网技术的蓬勃发展，利尔达公司会设计、制造越来越精密的智能产品，而智能产品都离不开PCB(Printed Circuit Board，印制电路板)。但是PCB或多或少都可能产生一种被称为电子产品“癌症”的严重问题——CAF失效。

CAF(Conductive Anodic Filament)，即导电阳离子迁移，是指在偏压（直流电压或脉冲电压）条件下，PCB基板中的金属铜离子和所吸收的水分等物质发生了电化学反应，继而生成为金属离子，这些金属离子沿着基板玻纤间的微裂通道迁移，导致两个不同网络之间的内阻下降而引发的漏电现象。任由CAF发展会导致产品功能逐步失效，进而造成严重的品质问题。本文将围绕CAF失效问题分析其发生机理、潜在风险及预防措施。

一、认识CAF失效

CAF失效机理的电化学反应式及示意图如下：

铜在阳极发生铜腐蚀： $Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$ ， $2H_2O \rightarrow \frac{1}{2}O_2 \uparrow + 2H^+ + 2e^-$

铜在阴极发生铜沉积： $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$ ， $H_2O + e^- \rightarrow \frac{1}{2}H_2 \uparrow + OH^-$

CAF的发生，使不同网络之间的绝缘性能下降，轻则引起电路功能失效、系统功耗偏高，重则引起电路短路，甚至引起火灾，严重影响产品的可靠性。

CAF的失效位置一般有四种，如图2：孔与孔，孔与线，线与线，层与层；其中孔与孔是最常见和最容易发生的CAF失效。

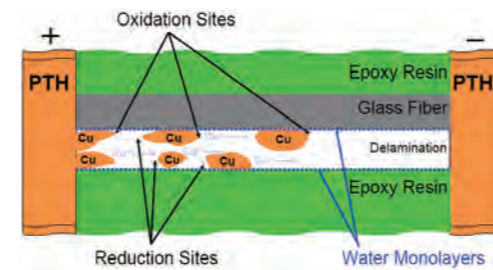


图1 CAF失效示意图

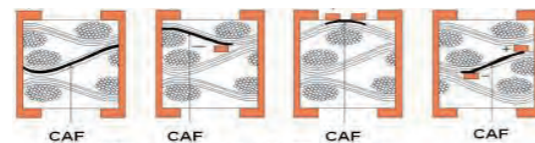


图2 CAF失效模型

二、引起CAF失效的主要原因

根据CAF的定义可知，产生CAF的条件有：

- 1、线路之间存在电势差，提供了离子迁移的动力；
- 2、有金属离子物质存在；
- 3、有水分存在，提供了离子化的环境；
- 4、有材料间隙存在，提供了离子迁移的通道。

在实际应用中，由于设计需要、芯片引脚间距、引脚功能定义、高温高湿的使用环境等因素，决定了我们无法从前三个条件中完全避免CAF问题，故而离子迁移通道成为影响CAF的关键因素，通道形成的主要原因就是CAF失效的主要原因。

● PCB基材的影响

PCB基材主要由玻纤布、环氧树脂组成，环氧树脂作为粘合剂将玻纤布粘合在一起形成PCB基材，使用不同的玻纤布、不同的配方工艺生产出来的PCB基材，在CAF性能方面存在很大差异。图3为不同玻纤的物理编织结构，从图片对比上来看，不同的纺织结构中玻纤束和玻纤束之间的缝隙不同，缝隙越大、耐CAF性能越差。这三种玻纤布耐CAF性能的比较：LD布>普通开纤布>普通布。

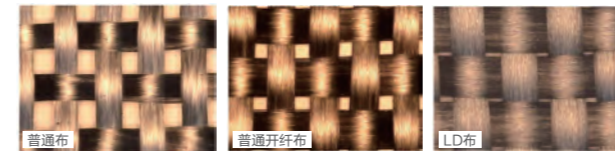


图3 玻纤布编织结构

基材加工时的浸润效果如果不好，就会出现如图4所示的情况，玻纤与玻纤尚未完全填充，造成气泡的残留。这个微小的缺陷会成为离子迁移的重要通道。树脂对玻纤的浸润效果越好，CAF的性能也会越好。

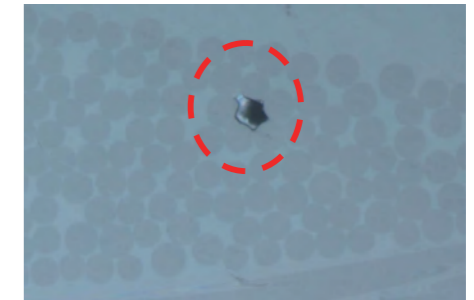


图4 基材浸润后的不良气泡

● PCB制程的影响

在PCB制作过程中，钻孔、除胶渣等工艺会加速通道产生。

由于PCB钻孔时对玻纤束的机械应力，导致玻纤被拉伸或分离而出现间隙（如图5所示），离子会通过这个间隙迁移。而钻孔时钻头的锋利程度，同样会导致间隙差异，使用激光钻孔会比机械钻孔影响小很多。

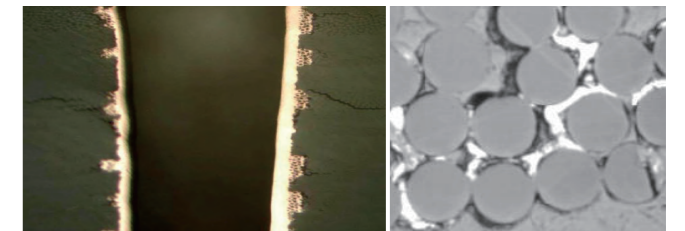


图5 PCB钻孔后产生的间隙

PCB加工过程中的除胶渣工艺，目的是消除钻孔过程中在孔内或孔壁产生的胶渣、异物，使孔内镀铜后与内层线路有可靠的连接。然而除胶渣工艺会带来PCB的晕圈变大，降低了通道之间的有效距离，如图6中二次除胶渣后，PCB的有效防火墙会降低。

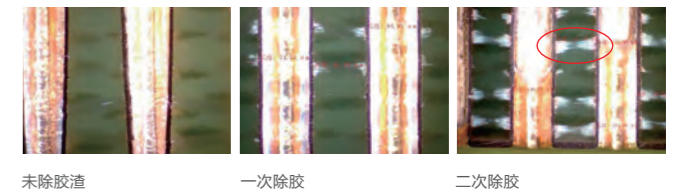


图6 不同除胶次数晕圈对比

● PCB设计的影响

在PCB的结构中孔的排列方式对CAF性能影响较大，孔的排列方式不同，其CAF效应不同。一般存在三种排列方式，如图7所示。三种排列方式中耐CAF性能对比：错位排列>纬向排列>经向排列。

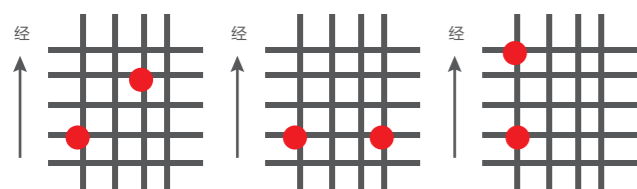


图7 PCB上过孔的排列方式

在PCB叠层结构中，通常会有多种PP可供选择，常用的PP为7628、2116和1080。如图8所示，根据表格中的参数可知，7628玻纤布中，经向每英寸包含44根玻纤，纬向每英寸包含33根玻纤，而1080玻纤布中，这两个参数分别为60根和49根。这说明1080玻纤布相对于7628玻纤布，单根玻纤的直径更细，玻纤束之间的缝隙就会更小，产生通道的可能性也就越低。

规格	基重g/m ²	厚度mm	经纬密及纱的种类(per inch)				透气度 (cc/cm ² /s)
			经向		纬向		
7628	210(208)	0.18	44±2	ECG75	33±2	ECG75	4.25↓
1506	165	0.14	47±2	ECE110	46±2	ECE110	31.20↓
2116	104	0.09	60±2	ECE225	59±2	ECE225	62.0↓
2313	81	0.08	60±2	ECE225	64±2	ECD450	98.2↓
1080	48	0.05	60±2	ECD450	49±2	ECD450	330.0↓
106	24.4	0.03	56±2	ECD900	56±2	ECD900	...

图8 不同型号玻纤布参数

这是因为：

1、CAF主要是在同一玻纤束内的间隙中产生，使用错位排列可以使过孔不在同一玻纤束上，从而不容易发生CAF失效。

2、纬向玻纤相比经向更扁平，树脂的浸润性更好，同时钻孔的裂伤也会比经向的轻微，所以其耐CAF性能也好一些。

图9为在一块PCB中，同时使用1080和7628玻纤布进行叠层，经过加工后产生晕圈的效果，从图中可以看出，7628玻纤布产生严重的晕圈，其耐CAF的有效通道的性能更低。

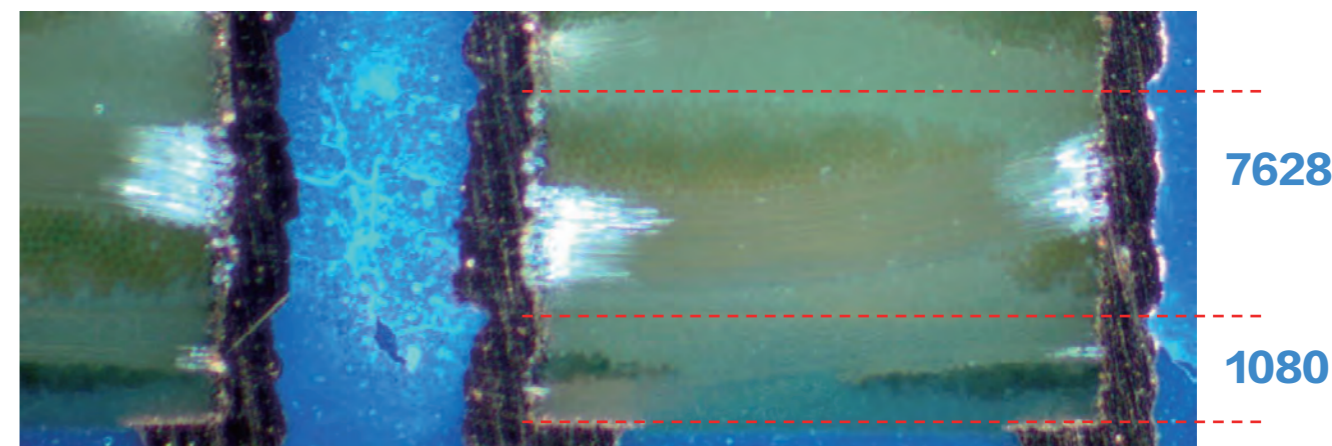


图9 不同PP产生的晕圈对比

三、CAF失效的预防措施

从以上的原因分析可以得知，避免CAF失效的方法，关键在于提高具有电势差的过孔与过孔之间的有效防火墙，以下为提高PCB耐CAF失效的几种可行方案：

- 1、选取具有耐CAF能力的PCB基材；
- 2、降低钻孔的损伤，降低钻孔时钻头在每个使用周期内的钻孔数量，提高钻头的研磨频率，降低钻头的重复使用率；
- 3、使用对孔径损伤更小的激光钻孔工艺；
- 4、在满足需求的前提下，尽可能减少除胶渣次数，同时对该工序的作业规范进行严格管控；
- 5、优化密集孔设计，提高孔间距，采用错位排列的方式设计孔的分布；
- 6、选用合适的玻纤布进行叠层结构设计。

四、小结

经过十多年的电子产品研发和生产经验的积累，我们已经对PCB中CAF失效成因有了足够的认识，并掌握了其预防措施，我们有信心设计和制造出性能更加稳定可靠的物联网智能产品。