

# 倒装芯片中铝腐蚀的红外显微镜观测研究

卢基存 宗祥福

(复旦大学材料科学系 上海 200433)

吴建华 林添明

(新加坡微电子研究所 新加坡 117685)

**摘要** 倒装芯片 (flip chip) 是当前电子封装领域中的研究热点之一。本文利用新型的红外显微镜, 在不破坏焊点的情况下, 首次观测到一种倒装芯片封装器件经过稳态湿热试验后的铝腐蚀模式, 并用一种有损失效分析的方法验证了红外显微镜的观测结果。实验发现, 该倒装芯片在含有与不含有下部填充料的情况下具有完全不同的铝腐蚀模式和腐蚀机理。

EEACC: 0170J, 0170L, 0170N, 7230G

## 1 引言

塑料封装集成电路中的铝金属腐蚀是影响其可靠性的重要因素。由于塑料远低于陶瓷的防水性能, 以及集成电路制造中使用的腐蚀性化学物质在芯片上的残留等因素, 芯片上的铝条易在化学和电化学反应下被腐蚀。对于传统的电子封装如双列封装 (DIP), 四边引线扁平封装 (QFP) 等的铝腐蚀问题, 人们已有较深入的研究<sup>[1-3]</sup>。而对于倒装芯片中的铝腐蚀, 文献中的报道则相对较少。倒装芯片封装就是将芯片的具有器件的正面通过合金焊料球或其它导电材料 (如导电高分子) 与印制线路板相连接。为提高倒装芯片的抗热应力可靠性, 通常在芯片与印制线路板的间隙中填入下部填充料<sup>[4]</sup>。由此可见, 倒装芯片在铝焊接区的设计, 封装结构, 制造工艺, 使用的材料等方面都与传统塑封器件不同, 因此其中的铝腐蚀模式与机理也将不同。

为了研究倒装芯片的铝腐蚀机理, 首先需要准确地表征其中的铝腐蚀模式。然而, 传统的用化学溶剂 (如发烟硝酸) 腐蚀塑料外壳和钝化层以观测铝布线的方法不完全适用于倒装芯片的铝腐蚀分析。原因是芯片与印制线路板之间的间隙很小 (一般为 50~150 $\mu\text{m}$ ), 化学溶剂很难完全腐蚀掉这微小间隙中的下部填充料。为了观测到铝腐蚀, 寻求新的失效分析方法, 特别是不破坏铝布线的检测方法是很有必要的。由于铝原子的质量很小, 作为芯片上布

卢基存 男, 1970 年生, 博士生, 主要从事电子封装器件的可靠性测试和失效分析工作

宗祥福 男, 博士生导师, 主要研究领域包括电子器件的工艺与微分析技术, 高密度电子封装, 新型电子材料及器件等

1998-09-17 收到, 1999-02-11 定稿

线的铝条又很薄, 因此采用观测封装器件内部金属导线的 X 射线技术无法检测到铝条。本文使用一种新型红外显微镜, 利用红外线穿透硅片的性质, 在不破坏焊点的情况下观测芯片上的铝条。同时, 提出一种改进的化学腐蚀方法以直接观察铝腐蚀, 并验证红外显微镜的观测结果。

红外显微镜是集成电路失效分析的一个很有效的分析工具。由于纯硅片对于其吸收限 1.06 微米以上波长的红外线是透明的, 因此在红外显微镜下可以透过倒装芯片观测到正面的器件版图以及铝条。在电子封装器件失效分析中, 红外显微镜已被用来检测金丝键合缺陷<sup>[5]</sup>、内部金属层损伤<sup>[6]</sup>等。本文则是首次应用红外显微镜研究倒装芯片中的铝腐蚀。

## 2 实验

### 2.1 倒装芯片封装样品制备

该倒装芯片封装样品采用了电阻测试芯片, 芯片上每一行不相邻的铝条通过铅锡焊点 (37w t% Pb 和 63w t% Sn) 和 FR-4 印制线路板上的铜印制线串联起来。铝条的局部腐蚀会导致整个串联电路电阻的增加, 甚至断路。为了进一步研究下部填充料的使用对倒装芯片抗腐蚀性能的影响, 共生产了两批样品。一批样品未使用下部填充料, 另一批则使用了下部填充料, 每批样品的数目均为 16。然后, 对这些样品进行稳态湿热试验, 潮湿试验箱中工作区温度设定为 85℃, 相对湿度为 85%。每隔一段时间, 将样品从试验箱中拿出来进行电阻测量。器件失效标准是任何一行的焊点串联电路的电阻增加 10% 以上。实验发现, 不含有下部填充料的样品在 800h 后开始失效, 而含有下部填充料的样品则通过了 1000h 寿命的 GB 4590-84 标准要求, 平均寿命约 1800h。最后, 从每批失效样品中随机抽取 3 个样品进行红外显微镜观测。

在红外显微镜观测中, 为了减少芯片粗糙背面对红外线的散射, 提高红外成像的对比度, 倒装芯片背面需要进行抛光处理。抛光过程中使用了含从大到小不同颗粒的金钢砂纸, 直到最小颗粒尺寸为 0.5 μm。然后, 将芯片背面放在粘有 0.05 μm 铝粉颗粒的绒布上抛光。经过这样的抛光处理后, 在 400 倍的普通光学显微镜暗场下看不出倒装芯片背面有明显的表面划痕。

### 2.2 红外显微镜观测

红外显微镜观测倒装芯片中铝腐蚀的实验装置如图 1 所示。对于波长超过 1.06 μm 的红外线, 芯片和聚酰亚胺钝化层是透明的, 而铝条则能反射绝大多数的入射红外线。铝条因与周围的聚酰亚胺钝化层对红外线具有不同的反射率而能被红外显微镜有效观测到。红外显微镜中的红外探测器对成像清晰度有很大的影响。传统的红外显微镜

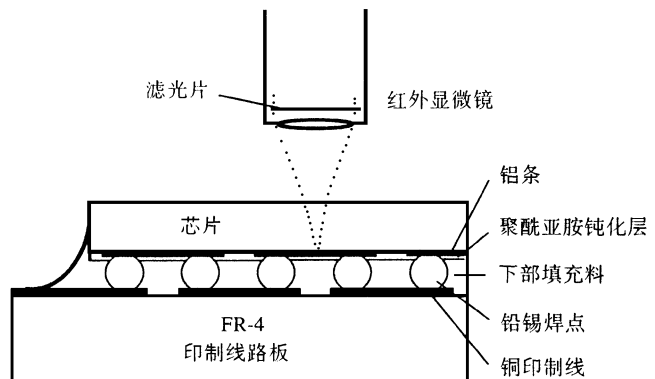


图 1 倒装芯片中铝腐蚀的红外显微镜观测实验装置示意图

大多使用电耦合探测器,能探测到的最大红外线波长约为  $1.1\mu\text{m}$ ,即来自物体的连续波长红外线中,仅有  $1.06\sim 1.1\mu\text{m}$  波长范围内的红外线能被这种探测器探测到,因而较难获得理想的图像亮度与反衬度。本实验中的红外线显微镜则采用了一种聚焦平面阵列探测器,能探测  $0.8\sim 2.4\mu\text{m}$  波长范围内的红外线。同时,为了控制进入探测器的红外线波长范围,在探测器前放有一滤光片。通过计算机控制的驱动装置可以选择使用不同中心波长的滤光片,以得到最佳的图像质量。在下面的工作中,我们使用的是一中心波长为  $1.25\mu\text{m}$ ,半高宽为  $0.4\mu\text{m}$  的滤光片,这时得到的铝条图像最清晰。实验使用的光源是一小红外灯泡。根据红外光源与倒装芯片样品的相对位置,红外显微镜有两种工作模式:光源放置于芯片上方时为反射模式,光源放置于印制线路板下方时为透射模式。

### 2.3 倒装片中铝腐蚀的有损失效分析

为了验证红外显微镜对倒装芯片铝腐蚀观测的准确性,经红外显微镜测试后的样品又进行了有损失效分析以直接观察铝腐蚀。由于直接用化学溶剂腐蚀倒装芯片以暴露铝条的方法难以奏效,我们改进了这一化学腐蚀方法。首先通过机械应力将芯片从印制线路板上剥离。方法是将倒装芯片的印制线路板固定在一金属平台上,用一芯片接触工具从芯片侧面逐步施加平行于芯片表面的剪切力,直到芯片脱离印制线路板。对于不含有下部填充料的倒装芯片,因为芯片与印制线路板仅依靠铅锡焊点相连接,在较小的剪切力下就能将芯片剥离。剥离后,芯片铝焊接区上留有少量铅锡焊料,绝大部分焊料留在印制线路板上。对于含有下部填充料的倒装芯片,芯片与印制板之间不仅依靠铅锡焊点,而且依靠下部填充料相连接。由于芯片与下部填充料间的粘接力很大,超出了剥离试验设备最大  $100\text{kg}$  力的剪切力。另外,过高的剪切力可能使芯片在剥离前断裂。所以,为了充分减少芯片与下部填充料的粘接力,将倒装芯片下的金属平台加热至  $150^\circ\text{C}$ ,使下部填充料软化,就可以用较小的剪切力将芯片剥离。最后,用化学溶剂腐蚀掉剥离芯片上的聚酰亚胺钝化层,就可以直接在普通显微镜下观察铝腐蚀图形。

## 3 结果与讨论

红外显微镜观测发现,该倒装芯片在含有与不含有下部填充料的情况下具有不同的铝腐蚀形式,下面分别讨论:

### 3.1 不含有下部填充料的倒装芯片中的铝腐蚀

在不含有下部填充料的情况下,根据电阻测量结果,倒装芯片边缘的铝条首先被腐蚀。这可能是在芯片边缘处铅锡焊点承受较大的因芯片和印制线路板热不匹配引起的热应力,从而导致焊点易与聚酰亚胺钝化层分离,芯片表面腐蚀性化学物质随水汽通过此分离间隙腐蚀硅片上的铝条。图 2(见图版 I) 为一个典型的不含有下部填充料的倒装芯片边缘处的铝腐蚀模式,可见铝腐蚀主要发生在铝焊接区及其附近区域。当铝条在某一位置被完全腐蚀掉时,电路就会开路。图 2 中(a)和(b)分别是使用红外显微镜和有损失效分析方法对同一样品铝腐蚀的观测。可见两种方法观测到的焊点附近的铝腐蚀图形是一致的,说明红外显微镜能够准确地检测到铝腐蚀模式。由于在芯片剥离后少数铅锡焊料仍残留在铝焊接区,因此该焊接区上的腐蚀图形不能在普通显微镜下被观察到,但在红外显微镜下可以看到铝条上所有位置的腐蚀图形。

实验发现,在芯片被剥离后,焊点附近的聚酰亚胺钝化层易产生裂纹以及与芯片之间的分层,外界腐蚀性物质也将通过该钝化层上的不规则裂纹而腐蚀下面的铝条,从而使铝腐蚀呈现出<sub>不规则</sub>的形状

### 3.2 含有下部填充料的倒装芯片中的铝腐蚀

在含有下部填充料的情况下,倒装芯片所有位置的铝条上均可观察到腐蚀,下部填充料的使用大大减少了边缘焊点的应力,从而使倒装芯片边缘与中央的腐蚀程度相似。图 3(图版 I)为一个典型的含有下部填充料的倒装芯片中的铝腐蚀模式。根据图 3,一些铝焊接区中有一环形腐蚀区域,正是这种环形铝腐蚀使铅锡焊点与芯片上的铝条完全分离开来,从而导致电路的开路。图 3 上部还有一种弧形的铝腐蚀,焊接区中间的铝尚未与周围的铝条完全分离。这种局部铝腐蚀模式不会引起整个电路开路或电阻的很大变化,因而较难在电阻测量中被检测出来,但是通过红外显微镜可以清楚地观察到这种局部的铝腐蚀形状。所以,红外显微镜观测铝腐蚀比电阻测量更灵敏,并且它可以用来连续监测铝腐蚀在一定环境中的发展过程,从而为研究腐蚀机理提供更多的实验数据。

为了更清楚地观察铝焊接区中的环形腐蚀,提高了红外显微镜的放大倍率,观测到的图形如图 4(a)所示(见图版 I)。可见这种环型腐蚀区域又分为两部分。图 4(b)(见图版 I)为普通显微镜对该芯片剥离和腐蚀后的观测图形,可见环形铝腐蚀区域也分为两部分。通过尺寸测量,确定环形区域的中央圆环以内是铝焊接区,即该中央圆环是铅锡焊点下金属层与聚酰亚胺钝化层在铝条上的交界。倒装芯片长时间放置于潮湿试验箱中,焊点下金属层易与聚酰亚胺分离,从而外界腐蚀性物质易随水汽通过分离缝隙,并向两边腐蚀铝条而形成环形的铝腐蚀图形。在芯片剥离过程中,铝焊接区中被腐蚀铝条上的铅锡焊料因失去与芯片的粘附力而留在印制线路板上,但在聚酰亚胺钝化层和芯片交界的角落处仍有少量焊料残余,该残余焊料形成图 4(a)和(b)中环形铝腐蚀的中央圆环(见图版 I)。

## 4 结论

由于采用了能探测较大波长范围的红外探测器,该红外显微镜能清晰地观测到倒装芯片中的铝腐蚀。红外显微镜分析具有样品制备简单,空间分辨率高,可在加速试验中连续检测等优点。

为了直接观察倒装芯片中的铝腐蚀,本文提出了一种有损失效分析方法。它通过普通显微镜直接观察剥离和腐蚀后芯片上的铝腐蚀,证明了红外显微镜能准确地观测倒装芯片中的铝腐蚀。

该倒装芯片在不含有与含有下部填充料的情况下具有完全不同的铝腐蚀模式,说明下部填充料的使用不仅提高了倒装芯片的抗铝腐蚀性能,而且改变了铝腐蚀机理。

## 参 考 文 献

- [1] J. S. Osenbach, J. L. Zell, IEEE Trans Compon Hybrids Manuf Technol, 1993, 16(3): 350~ 359.
- [2] Y. Koubuchi, J. Onuki, IEEE Trans Electron Devices, 1990, 37(5): 1259~ 1263.
- [3] 郑国祥,李越生,宗祥富,等,半导体学报, 1998, 19(9): 702~ 706.

- [ 4 ] G O M alley, J. Giesler, S M achuga, *IEEE Trans Compon Packag Manuf Technol Part B*, 1994, **17**(3): 248~255
- [ 5 ] M. K. Shell, S. Golwallar *et al* , "Application of Infrared M icroscopy for Bond Pad Damage Detection ", 29th Annual Proc Int Reliab. Phys Symp. ,NY,U SA , 1991: 152~ 159
- [ 6 ] P. A lpern, R. Tilgner, *IEEE Trans Compon Hybrids Manuf Technol* , 1992, **15**(1): 114~ 117.

## Inspection of Aluminum Corrosion in Flip Chip by IR M icroscope

Lu J icun, Zong X iangfu

(*Department of Materials Science, Fudan University, Shanghai 200433*)

W u Jianhua, L in Thiam Beng

(*Institute of Microelectronics, Singapore 117685*)

Received 17 September 1998, revised manuscript received 11 February 1999

**Abstract** Flip chip is one of the hot research fields in electronic packaging. In this paper, we firstly report the IR microscopic inspection for aluminum corrosion in flip chip assemblies that have been subjected to temperature and humidity test. To verify the observation by IR microscope, a destructive failure analysis method for aluminum corrosion detection has been developed. It has been found that flip chip assemblies with and without underfill in this study have different aluminum corrosion modes and mechanism.

**EEACC:** 0170J, 0170L, 0170N, 7230G



图 2 不含有下部填充料的倒装芯片中的铝腐蚀模式  
(a) 红外显微镜观测(反射模式) (b) 普通显微镜观测

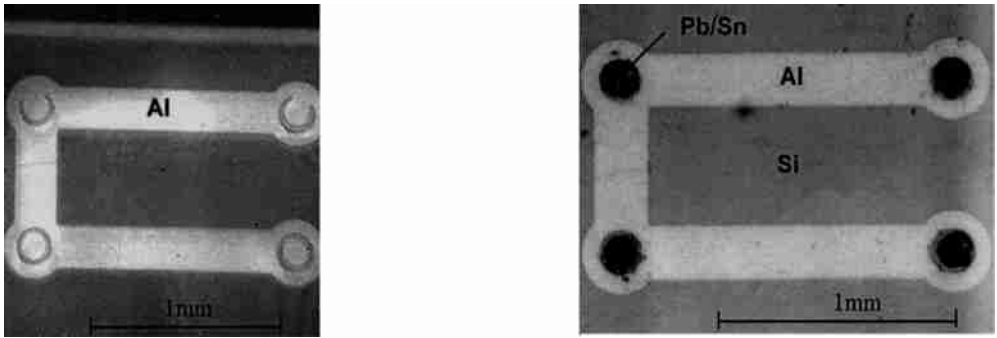


图 3 含有下部填充料的倒装芯片中的铝腐蚀模式  
(a) 红外显微镜观测(透射模式) (b) 普通显微镜观测

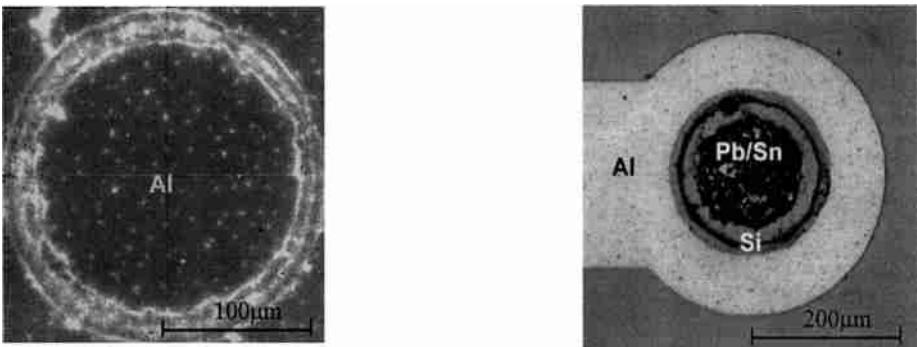


图 4 较高倍率显微镜观测的含有下部填充料倒装芯片中的铝腐蚀模式  
(a) 红外显微镜观测(反射模式) (b) 普通显微镜观测