

电子器件的失效分析

王开建[†] 李国良 张 均 王 靖

(贵州大学信息工程系, 贵阳 550004)

摘要: 为了研究材料晶体形态与器件性能的关系及其形成机理, 寻求提高器件质量的依据, 利用显微设备、电子探针等对电子器件引脚可焊接性极差的失效现象进行了分析。

关键词: 电子; 元件; 失效; 检测

EEACC: 0170N; 2560

中图分类号: TN307

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2006)S0-0295-04

1 引言

随着电子信息技术的飞速发展, 电子设备在各个领域的应用日益广泛, 对电子产品提出了更高的要求。长寿命、高可靠性电子器件, 一方面取决于材料的化学成分和宏观缺陷的影响, 另一方面与材料的微观组织、结构分布和器件的失效机理有着密切的关系。因此, 人们开始注意电子材料与器件的微观结构和失效机理方面的联系^[1], 这对提高器件的成品率、可靠性和促进电子技术的高速发展, 都具有十分重要的意义。

即使是在相同工艺条件下, 制造器件的成品率往往也相差很大, 从而促使人们对材料质量作进一步深入地研究, 发现影响器件性能比较严重的因素还有其他一些内在质量, 如氧、碳、重金属杂质, 电导率的微区不均匀性, 微缺陷, 热氧化层错, 杂质补偿度等^[2]。因此, 积极开展材料与器件性能关系的研究工作, 探索各种晶体缺陷的形成机理、分布特点、存在形态、相互作用及其在器件工艺过程中的变化规律, 分析它们对器件性能的影响, 是一个重要的研究课题。

本文根据实践中遇到的电子器件的失效现象, 对失效的主要形式进行了分类, 并以其中一个电子器件的失效分析为例, 对电子器件的失效原因进行了探讨。

2 电子器件失效的主要形式

电子器件失效的主要形式有两大类: 一类是器件内部失效, 另一类是器件外部即外引线失效。器件

内部失效的主要表现形式是器件易烧坏或者器件不能正常使用, 其原因有加工缺陷、加工工艺不当、划伤、腐蚀和氧化、材料缺陷等。器件外部引线失效的主要形式是外引线断腿和可焊性差。外引线断腿主要原因是锈蚀斑点、应力作用、晶体粗大、金属镀层质量不好、组织缺陷等。

3 电子器件的失效分析方法

进行电子器件的失效分析, 可根据失效的形式和设备的条件进行。除应用镜检和电学测量等一般分析方法外, 往往需要进一步作理化分析, 如扫描电镜、电子探针、离子探针、X 射线衍射和形貌照像、光电子能谱、俄歇能谱、红外显微镜、红外热分析、质谱检漏等方法。

本文仅针对器件外部引线缺陷介绍常见的一些失效现象和失效机理, 尤其是对可焊性非常不好的器件进行了较详细的分析。

4 外引线失效分析

4.1 外引线断腿

多年来, 半导体器件外引线断腿是生产中的一个普遍存在的质量问题, 因断脚而失效的器件很多。

外引线断裂多发生在管脚根部, 用显微镜观察裂纹的起源多为锈蚀斑点, 逐渐发展为贯穿直径的断裂。裂纹开始沿晶界开裂, 后蔓延成穿晶裂纹。这是符合断裂力学条件的, 这种沿晶界开裂, 后蔓延成穿晶裂纹的现象称为解理断裂。根据各种金属的成分不同, 其解理面也不一样。另外, 主干裂纹延伸的

[†] 通信作者。Email: kjwang1@sina.com

2005-10-11 收到, 2006-01-16 定稿

同时还有若干分枝同时发展,裂纹的纵深一般较宽度大若干数量级,主裂纹走向与拉应力方向垂直,分枝则与拉应力呈一定角度.用扫描电镜观察断腿的自然断口,可以看到明显的脆性断裂特征.断口形貌特点多为准解理断裂,有大量的河流花样,有的呈鱼骨花样,覆盖在断口上的腐蚀物有泥纹花样,腐蚀坑周围有球状及壳状产物.

经 X 射线能谱分析还可以看见:断口上的球状、壳状产物及泥纹花样皆含氯元素.锈斑轻微处多呈球状产物,氯含量较低.较严重处(裂纹源)有腐蚀坑,并为泥纹所覆盖,氯含量最高.故在断口上可以看到不同形状的腐蚀产物同时并存.造成外引线生锈断腿的原因,除材料本身存在的质量问题外(如晶粒粗大且大小不均匀等),外引线经多次测试,承受多次弯折,根部受变形和相应的拉力较严重,并在与玻璃烧结和热压时又叠加上热应力;镀金层质量不好(如有针孔,厚度不匀,起皮脱落,局部未镀上等)、表面划伤和可伐管的焊料渗透造成的缝隙处,在外引线酸洗时以及包装、存放、使用过程中,极易受到污染(包括手汗的沾污)而残留 Cl^- 和 H^+ 等,它们浓缩后引起原电池孔蚀——锈斑,以此为源在应力作用下,形成应力腐蚀开裂,尤其在潮湿环境中, Cl^- 和 H^+ 的应力腐蚀作用更大.这些都是外引线断腿的原因,对此人们研究的较多.

经电镜分析还可以看见:断口上有一些组织缺陷,如晶粒粗大,晶粒大小不一,因冷热加工造成组织应力和晶粒及晶界异常,塑性变形后晶体的完整性受到了破坏等.还有材质原有缺陷,化学成分偏析造成的晶体结构异常,材料成分不合理造成的组织结构不理想,有疏松点或气泡,有微裂纹等.

4.2 电子器件引脚的可焊性分析

在实际应用中,我们遇到一批代号为 URS507L KLDA95 的器件引脚可焊性极为不好,我们把这批器件作为研究对象,称其为失效件.为了加以比较,选用了引脚可焊性很好的,代号为 LT KBJ408G716 的器件作为对比,称其为对比件.通过显微分析、电子探针分析等手段对上述两种器件材料的微观组织进行了分析,借此寻求失效机理.

4.2.1 宏观分析

从外观上用肉眼观察,发现失效件和对比件没有区别,但是失效件引脚的硬度明显较小、塑性好,而对比件的引脚硬度大、塑性差.

4.2.2 微观鉴定

沿着失效器件和对比器件的引脚在切线方向截取试样.通过显微分析,发现两个试样虽然都是铜质材料,但是由于所含微量元素不同,处理工艺不同,所以组织结构完全不一样.图 1(a)是可焊性非常差

的失效件,图 1(b)是同一个试样的心部高倍组织.图 2(a)是可焊性很好的对比件,图 2(b)是同一个试样的心部高倍组织.

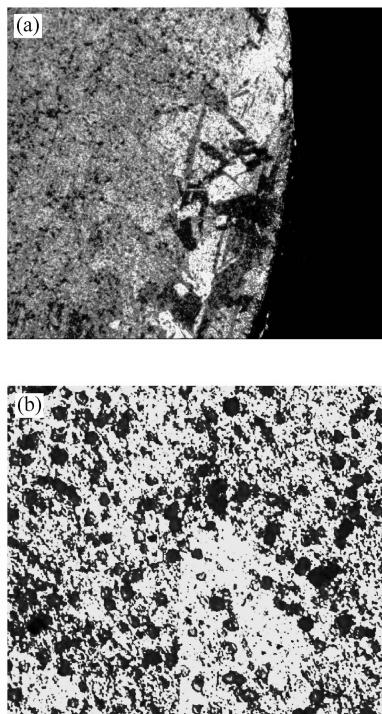


图 1 失效件的显微照片 (a) 15% 盐酸浸蚀 (200 \times); (b) 15% 盐酸浸蚀 (500 \times)

Fig.1 Micrographs of invalid device (a) 15% hydrochloric acid etching (200 \times); (b) 15% hydrochloric acid etching (500 \times)

4.2.3 电子探针鉴定

通过电子探针鉴定,图 1(a)中 Cu 含量大于 99%,其中 Bi, Ni, Sn, P, S 等微量元素在纯铜含量范围内,但是 Sb(锑)的含量较高,属于 Cu-Pb 合金.

图 2(a)中 Cu 含量达到 99.9% 以上,其他微量元素,如 Bi, Ni, Pb, Sn, P, S, Al 等含量甚微,属于无氧铜范围.

4.2.4 分析

纯铜具有良好的导电、导热性,是面心立方体晶格,在温度和压力变化的情况下,都不会发生同素异型转变^[3].它的强度低, $\sigma_b = 20\text{kg/mm}^2$; 塑性很高,延伸率 δ 约为 30%~38%; 塑性变形能力强.纯铜的机械性能和变形能力随着温度升高而变化.在中温区塑性剧烈降低,在较低或较高温度下则塑性变形能力很好^[4].

在电子探针鉴定中发现失效件的锑含量较高,锑可以提高铜的耐腐蚀性;但却严重地降低铜的导电性和导热性,导电用铜的含锑量不允许超过 0.002%.锑能与含氧铜中的 Cu_2O 起反应,形成分

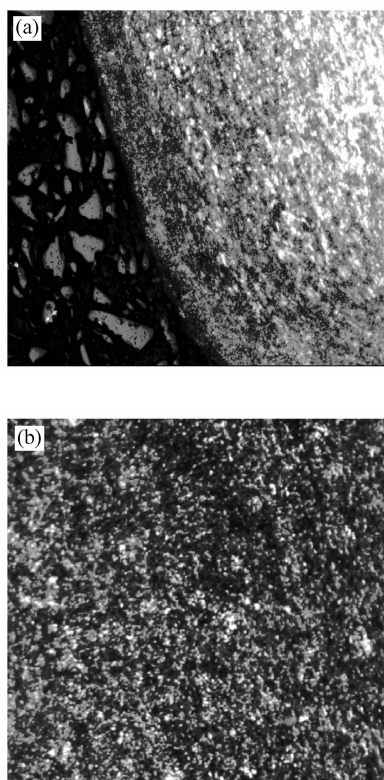


图2 对比件的显微照片 (a) 15% 盐酸浸蚀(200×); (b) 15% 盐酸浸蚀(500×)

Fig.2 Micrographs of valid device (a)15% hydrochloric acid etching(200×); (b) 15% hydrochloric acid etching(500×)

布于晶内部的高熔点球状的粗大质点(见图1(b)),从而改善塑性.所以从失效件实物上,可知它的塑性很好.同时该试样的表面组织粗大,并且由于压延变形,在试样的边沿还出现了孪晶组织.

对比件可以确定为无氧铜,无氧铜是一种广泛使用的金属材料,这是因为无氧铜具有导电率、导热率高,可焊性、塑性、化学稳定性好等优点.但是无氧铜易出现氢病、含氧不均匀、表面起泡、疏松、缩孔等缺陷^[5].所以目前多采用弥散无氧铜,简称弥散铜.最常用的方法是在铜中加入一定量的铝,并使其氧化成弥散的 Al_2O_3 质点. Al_2O_3 质点非常细,粒径只有 5~100nm,均匀分布在无氧铜的基体内.在这个试样中,通过电子探针鉴定,发现材质含 Al. 弥散的 Al_2O_3 质点具有钉扎作用,能阻碍形变弥散铜的回复和再结晶,大大提高了再结晶温度,同时又阻止晶粒变形.但是弥散相颗粒越细,分布越均匀,则强度越高.从图2(a)可以看出,弥散相的颗粒非常细,从实物可以观测到硬度(强度)较高.但是弥散无氧铜保持了很好的导电率和可焊性.

5 结论

通过微观图片的对比,可以找到器件失效的原因.失效件因锑含量较高,严重地降低铜的导热性和可焊性,这是降低可焊性的因素之一.同时还由于该试样的表面组织粗大及形变孪晶组织的出现,致使金属的组织应力增大.有资料表明经塑性变形后的金属,导热性降低^[6].尤其是铜经塑性变形后导热性降低了 73% 左右,这是降低可焊性的因素之二.又因为这种粗大的组织晶界面积相对小,导致焊料金属依赖晶界缺陷的焊接的机会降低,这是降低可焊性的因素之三.

同时有关实验证明,铜在低温下的塑性变形容易产生孪生组织.从图1可以看出,局部粗大的晶粒呈多边形.进一步证实了本电子器件的引脚采用的是冷拔丝工艺.形变孪生组织的存在还会导致组织应力变大,组织结构、晶界密度等受到不同程度的影响^[7].所以具有这样组织的引脚极易产生断脚.

根据本文对失效件的分析,建议电子器件的引线使用弥散无氧铜.通过比较可知,弥散无氧铜导电率和可焊性很好.如果采用含有其他微量元素的铜,必须进行细化晶粒处理.

参考文献

- [1] Compilation groups. Electronic material and component expiration analysis microstructure atlas. Beijing: Chinese Standard Press, 1985: 428 (in Chinese) [“图谱”编写组. 电子材料与器件失效分析显微组织图谱. 北京: 中国标准出版社, 1985: 428]
- [2] Tianjiakai G. The alloy and the microstructure designs. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1985: 185 (in Chinese) [田家凯 G. 合金及显微结构设计. 北京: 冶金工业出版社, 1985: 185]
- [3] Qu Xixin. Electronic component material handbook. Beijing: Electronic Industry Press, 1989: 915 (in Chinese) [曲喜新. 电子原件材料手册. 北京: 电子工业出版社, 1989: 915]
- [4] Compilation group. Non-ferrous metal material processing handbook. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1978: 104 (in Chinese) [“重有色金属材料加工手册”编写组. 有色金属材料加工手册. 北京: 冶金工业出版社, 1978: 104]
- [5] Compilation group. Non-ferrous metal and its heat treatment. Beijing: National Defence Industry Press, 1981: 89 (in Chinese) [“有色金属及其热处理”编写组. 有色金属及其热处理. 北京: 国防工业出版社, 1981: 89]
- [6] Hillert M. Alloy proliferation and thermodynamics. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1984 (in Chinese) [Hillert M. 合金扩散和热力学. 北京: 冶金工业出版社, 1984]
- [7] Liu Guoxun. Metallography principle. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1980: 197 (in Chinese) [刘国勋. 金属学原理. 北京: 冶金工业出版社, 1980: 197]

Failure Analysis of Electronic Devices

Wang Kaijian[†], Li Guoliang, Zhang Jun, and Wang Jing

(*Department of Information Engineering, Guizhou University, Guiyang 550004, China*)

Abstract: In order to study the relation of crystal structure of material to performance of device and to improve performance of device, we analyze failure phenomena of the pin of electronic devices with poor weld ability by microscope and electronic probe.

Key words: electron; components; failure; examines

EEACC: 0170N; 2560

Article ID: 0253-4177(2006)S0-0295-04

[†] Corresponding author. Email: kjwang1@sina.com

Received 11 October 2005, revised manuscript received 16 January 2006