

电子焊料中银含量对焊缝微观组织及力学性能影响

赵宁¹ 何燕² 李维俊³ 段佐芳³ 王艳宜⁴ 刘乐华⁵ 刘锴⁵ 张培新⁴ 林峰¹

(1. 深圳职业技术学院 广东深圳 518055 2. 广东工业大学 广东广州 510006 3. 深圳维特偶股份有限公司 广东深圳 518000 4. 深圳大学 广东深圳 518060 5. 深圳瑞欧光技术有限公司 广东深圳 518000)

摘要: 在电子焊料无铅化的大背景下, 很多无铅锡银铜系合金被广泛应用。本文针对无铅焊料锡银铜合金中不同 Ag 含量对焊料微观组织和力学性能的对对应关系进行探析, 同时研究了不同 Ag 含量对焊缝的组织形态及失效断裂的影响。

关键词: 锡银铜合金; IMC 金属间化合物; 焊接微观组织; 失效断裂

绿色环保是电子信息产品生产的重要指标之一。当前, 欧盟、美国和日本等国家或地区均通过了禁止或限制铅在电子行业中应用的立法, 设置环保壁垒, 加快电子信息产业绿色转型, 且随着我国可持续发展战略的实施, 绿色环保理念深入人心, 而传统微电子焊接材料中铅等元素会对环境及人体健康造成较大影响。在此背景下, 改变传统的制造模式、推行绿色制造技术已成为微电子焊接材料行业持续发展的重要途径。当前, 为开拓国际市场, 保证相关产品符合市场准入条件, 我国电子焊料锡膏已经基本实现了无铅化。当前广泛应用的无铅焊料合金有 Sn0.3Ag0.7Cu (简称 SAC0307)、Sn1.0Ag0.5Cu (简称 SAC105)、Sn3.0Ag0.5Cu (简称 SAC305) 等合金。以上无铅合金中, SAC305 的综合性能最为优异, 包括力学性能和工艺性能。然而, 在实际焊接时, 焊料合金润湿被焊元器件和 PCB 上面的焊盘, 随后形成焊接接头, 在这个过程中, 焊料合金的元素和焊盘表面镀层进行元素扩散交换, 形成稳定的焊缝组织, 这个焊缝组织会随着 Ag 含量的不同而略显差异^[1-2], 进而反映到焊后接头的力学性能差异。这种差异可通过等微量元素的添加进行改善乃至消除。本文重点分析了各类无铅焊料的焊后组织及力学性能, 以及相应的改善方案。

1 常见无铅锡银铜焊料的合金微观组织分析

SAC 系列合金焊料中, Ag 含量的高低直接决定了焊料的微观组织^[3], 如图 1 是合金 SAC0307 的微观组织图片, 可以看出在 Sn 基体中出现少量的 Cu_6Sn_5 和 Ag_3Sn 两类金属间化合物 IMC^[4], 此时的 IMC 呈现不规则的弥散分布状态, IMC 粒度较粗; 继续提高 Ag 含量, 观察合金 SAC105 的微观组织如图 2 所示, 可以看出 Cu_6Sn_5 和 Ag_3Sn 两类金属间化合物 IMC 相在 Sn 基体中分布的范围更广, 并呈现出近似网格状的分布态势, IMC 粒度变细小; 继续提高 Ag 含量, 得到合金 SAC305 的微观组织, 如图 3 所示, 可以看出焊料中 Ag_3Sn 相分布更密集, 呈现密密麻麻的点状分布, IMC 粒度变得更加细小。

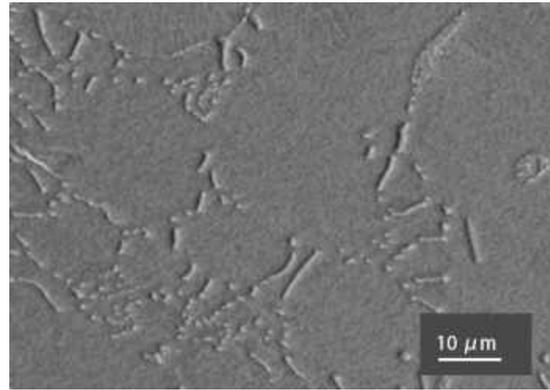


图 1 合金 SAC0307 的微观组织图片

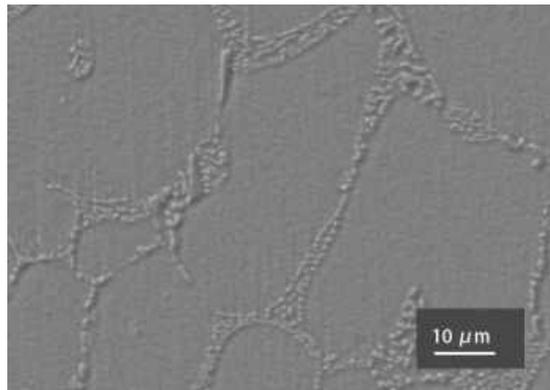


图 2 合金 SAC105 的微观组织

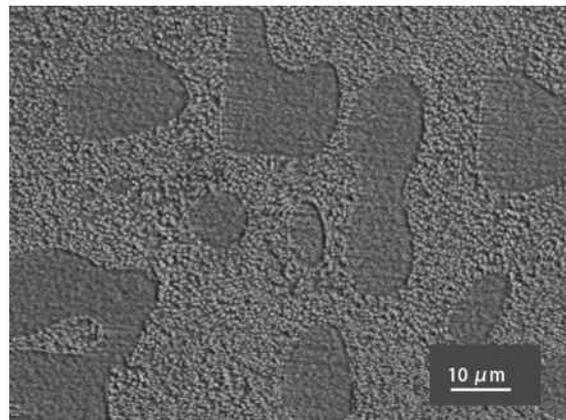


图 3 合金 SAC305 的微观组织

2 无铅锡银铜焊料的焊后微观组织分析

无铅焊料合金在焊接过程中,通过和被焊金属表面润湿铺展,进而进行原子扩散交换,形成稳定的焊接层。其中,在焊料和被焊金属的接触位置会形成金属间化合物 IMC。焊料中 Ag 含量不同导致 IMC 层的不同状态,具体体现在 IMC 层的厚度和连续性。如图 4 是 SAC0307 的焊接微观图片,可以看出焊缝中 IMC 层的厚度比较薄且呈现断续的状态;如图 5 是 SAC105 的焊接微观图片,可以看出 IMC 层厚度薄,但呈现连续的状态;如图 6 是 SAC305 的焊接微观图片,可以看出 IMC 层很厚且呈现连续的状态。

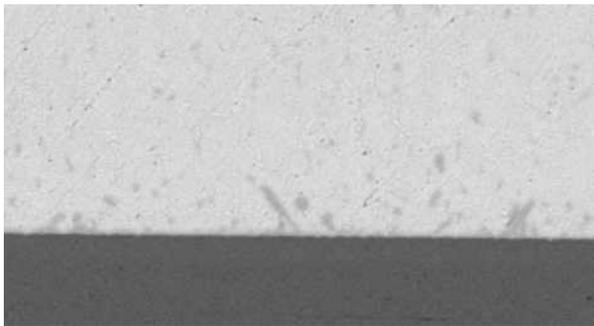


图 4 SAC0307 的焊接微观图片

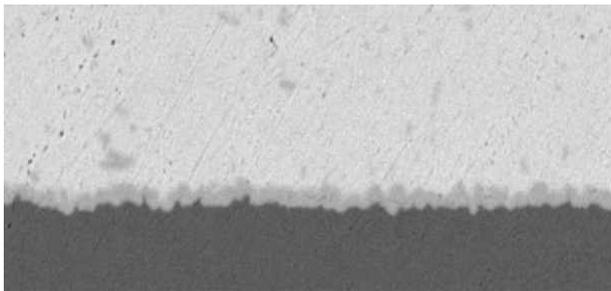


图 5 SAC105 的焊接微观图片

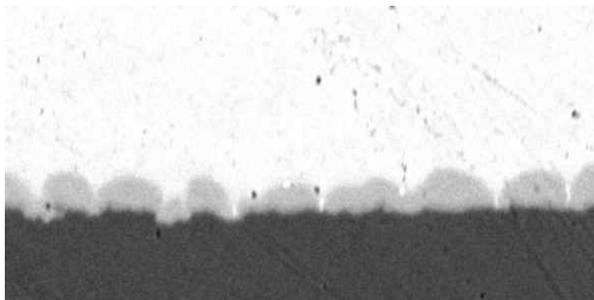


图 6 SAC305 的焊接微观图片

由此可见,随着 Ag 含量的提高,焊缝中 IMC 层逐渐增厚,且由不连续的状态变成连续状态。由于 IMC 层本身很脆,焊后失效断裂的位置也常常位于 IMC 层,所以在焊接过程中应尽量避免出现较厚的连续 IMC 层。

3 无铅焊料的焊后力学性能及失效分析

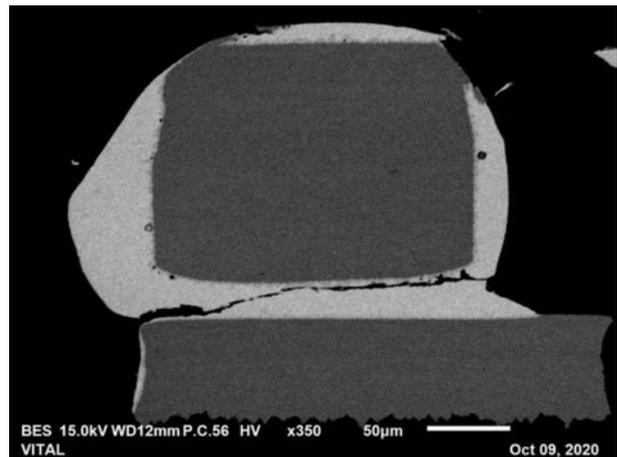
由于不同 Ag 含量造成合金的组织不同,合金呈现的力学性能将出现差异,具体如下,随着 Ag 含量

的上升,起弥散强化的金属间化合物相 IMC 比例上升,提高了合金的力学强度,但这类 IMC 本身呈现脆性,导致高 Ag 含量的合金普遍呈现韧性不足,即强度 SAC305>SAC105>SAC0307,延伸率 SAC0307>SAC105>SAC305。无铅锡银铜焊料的力学性能如下表 1 所示:

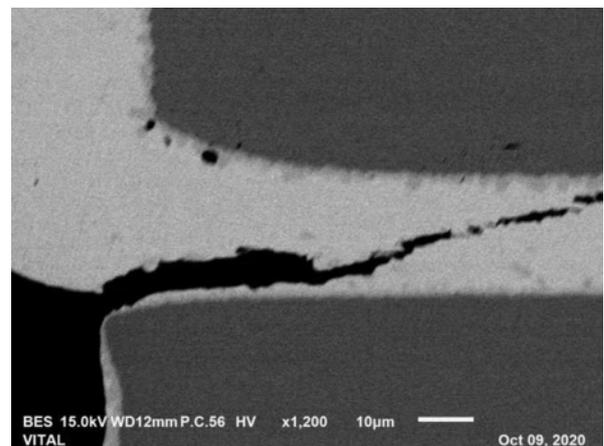
表 1 无铅锡银铜焊料的力学性能

合金	SAC0307	SAC105	SAC305
抗拉强度 /MPa	27	28	42
延伸率 /%	38	35	31

焊后最主要的失效模式之一是断裂,而焊接过程中在焊缝中出现的大量的金属间化合物 IMC 层是引起失效断裂的主要原因。如图 7 显示了低 Ag 无铅焊料焊后的断裂位置,可以看出断裂位置位于焊缝中间区域焊锡层,不属于一般脆性断裂。如图 8 显示了高 Ag 无铅焊料焊后的断裂位置,可以看出断裂位置位于焊缝 IMC 层区域,属于一般脆性断裂。



BES 15.0kV WD12mm P.C.56 HV x350 50μm
VITAL Oct 09, 2020



BES 15.0kV WD12mm P.C.56 HV x1,200 10μm
VITAL Oct 09, 2020

图 7 低 Ag 无铅锡银铜焊料焊后的断裂位置

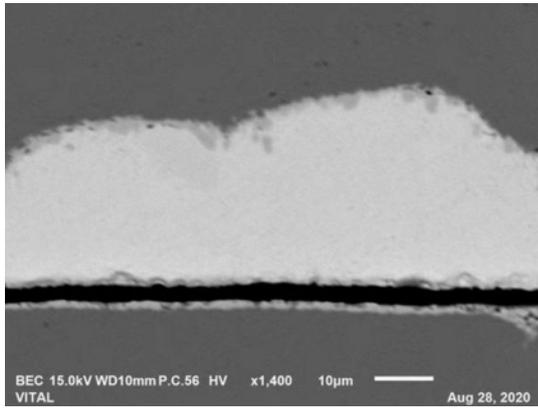


图 8 高 Ag 无铅焊料焊后的断裂位置

face and shear strength between SnAgCu-xNi solder and Cu substrate during isothermal aging at 150 C[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2009, 486(1-2): 474-479.

[3]Kim H, Zhang M, Kumar C M, etal.. Improved drop reliability performance with lead free solders of low Ag content and their failure modes[C]//Electronic Components and Technology Conference, Florida, 2007: 962-967.

[4] 孙凤莲, 胡文刚, 王丽凤, 马鑫. Bi 对 Sn-0.3Ag-0.7Cu 无铅钎料熔点及润湿性能的影响 [J]. 焊接学报, 2008(29):5-8.

参考文献

- [1] 刘洋, 孙凤莲, 王家兵. Ag 元素含量对 Sn-Ag-Cu 钎料焊接性的影响 [J]. 焊接学报, 2011 (32):25-28.
[2]Liu P, Yao P, Liu J. Evolutions of the inter-