

# 62Sn36Pb2Ag 焊料和 63Sn37Pb 焊料 在硅光电池电极焊接中的对比

丁颖 吴广东 王修利 严贵生

(北京控制工程研究所,北京 100190)

**文 摘** 分别使用 62Sn36Pb2Ag 焊料和 63Sn37Pb 共晶焊料焊接模拟式太阳敏感器硅光电池电极,通过力学试验和加速热循环试验,对比分析了两种焊料形成的焊点性能和显微组织结构。研究表明,由于 Ag 元素的加入,与 63Sn37Pb 焊料相比,62Sn36Pb2Ag 焊料焊点显微组织内部颗粒状的  $Ag_3Sn$  有效起到了位错钉扎的作用,在强化焊点的同时,也提高了焊点抗热失配能力和抗蠕变性能。在经历力学试验和  $-105 \sim +105^\circ C$  循环试验后,62Sn36Pb2Ag 焊点裂纹扩展率远低于 63Sn37Pb 焊点。在给定的试验条件和温度循环范围内,62Sn36Pb2Ag 焊料的抗热失配能力和高温抗蠕变性能较 63Sn37Pb 焊料表现更加优异。

**关键词** 锡铅银焊料,锡铅焊料,硅光电池,显微组织,抗热失配,蠕变

中图分类号: TG115.28

DOI: 10.3969/j.issn.1007-2330.2015.02.017

## Contrast of 62Sn36Pb2Ag Solder and 63Sn37Pb Solder Used in Silicon Battery

DING Ying WU Guangdong WANG Xiuli YAN Guisheng

(Beijing Institute of Control Engineering, Beijing 100190)

**Abstract** The performance and the microstructure analysis were carried out on 62Sn36Pb2Ag solder and 63Sn37Pb solder used in silicon battery of analog sun sensor by mechanical test and accelerated thermal cycle test. Results show that the granulated  $Ag_3Sn$  plays the role of dislocation pinning effectively in 62Sn36Pb2Ag solder because of the addition of Ag element. In strengthening the joints, the granulated  $Ag_3Sn$  also improves the resistance to the thermal mismatch and the creep of the solder. After experiencing mechanical test and the temperature cycle test from  $-105$  to  $+105^\circ C$ , the crack growth rate of 62Sn36Pb2Ag joint is much less than the 63Sn37Pb joint. Under the certain test condition in the article, the resistance to the thermal mismatch and the creep of 62Sn36Pb2Ag is better than 63Sn37Pb solder.

**Key words** 62Sn36Pb2Ag, 63Sn37Pb, Silicon battery, Microstructure, Thermal mismatch, Creep

### 0 引言

焊点可靠性直接决定了电子产品的使用寿命,特别是对于空间用电子产品,由于不具备维修性,一旦焊点失效就意味着整个产品的寿命缩短或终止,因此,焊点的可靠性至关重要。模拟式太阳敏感器是空间飞行器上广泛采用的一种光学姿态测量部件,用来测量太阳矢量与飞行器之间的方位角,以确定空间飞

行器的姿态,适用于三轴稳定空间飞行器<sup>[1]</sup>。模拟式太阳敏感器安装于太阳帆板上,其结构由刀口板、光学入射缝板、A/B 硅光电池组件、主体结构、电连接器等组成。其中,A/B 硅光电池组件是由 A/B 硅光电池与陶瓷基座组成,其结构示意图如图 1 所示。其内部陶瓷基座上 A、B、C、D、G(公共端)电极由一侧引极各焊接一根导线至外电连接器(每块电池共 5

收稿日期: 2014-12-02

作者简介:丁颖,1978 年出生,工学博士,高级工程师,主要从事电子封装和装联技术研究。E-mail:dingyoe@gmail.com

个焊点)。每个电极均是单点单线连接,因此,任何一个焊点失效都会造成整个硅光电池无法正常工作。

硅光电池组件陶瓷基座电极以往采用 63Sn37Pb 共晶焊料进行焊接,参考 ECSS 的规定,63Sn37Pb 焊点的工作温度 $-55 \sim +85^{\circ}\text{C}$ <sup>[2]</sup>,而模拟式太阳敏感器的实际使用温度 $-105 \sim +95^{\circ}\text{C}$ ,实际使用工况超过了 ECSS 标准规定的范围,且硅光电池电极是以陶瓷为基体,与金属基体相比,陶瓷和焊料之间的热膨胀系数差异更大,在温度交变过程中,因热失配产生的应力也更大,焊点可靠性需要进一步考察。在 ECSS 标准中,除了 63Sn37Pb 焊料,航天器产品中还推荐使用 62Sn36Pb2Ag 焊料,该焊料熔点和 63Sn37Pb 焊料接近,但其综合性能却优于 63Sn37Pb 焊料<sup>[3]</sup>。因此采用 62Sn36Pb2Ag 焊料和 63Sn37Pb 焊料进行对比,以探索适合硅光电池陶瓷电极焊接的最佳焊料。

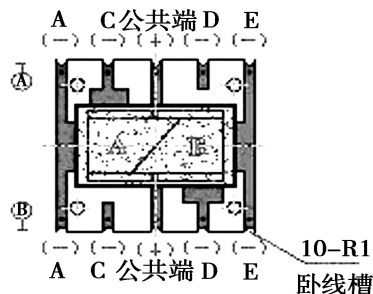


图1 A/B 光电池组件结构示意图

Fig. 1 Sketch map of A/B silicon battery structure

## 1 试验材料及过程

试验使用硅光电池组合件 6 套,AF250-19×0.08 导线若干。分别采用 63Sn37Pb 焊料(简称 SnPb 焊点)和 62Sn36Pb2Ag 焊料(简称 SnPbAg 焊点)焊接模拟式太阳敏感器硅光电池电极。试验的操作流程如图 2 所示。

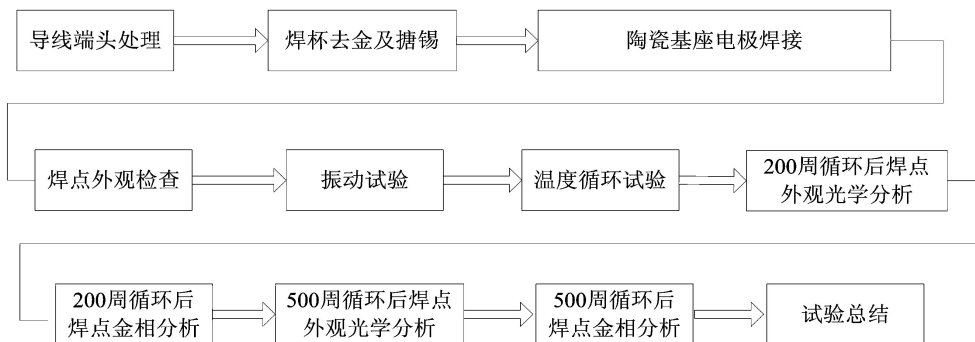


图2 硅光电池试验流程

Fig. 2 Experimentation flow of silicon battery

### 1.1 陶瓷基座电极焊接

硅光电池电极为陶瓷基体焊杯型,焊杯镀层为 WMo 合金/Ni/Au(镀金层厚度为 $1 \sim 1.5 \mu\text{m}$ ),为了避免焊接时 Au 向焊料内扩散,形成脆性的金属间化合物  $\text{AuSn}_4$ ,必须对焊杯充分去金,确保焊杯表面无镀金层残留,镀层完好、无损伤。

分别使用两种焊料对陶瓷基座电极进行焊接。导线在陶瓷基座电极上的焊点采用贴焊方式,导线搭接长度不低于 2 mm,焊接时烙铁头空载温度为 $280 \sim 310^{\circ}\text{C}$ ,每个焊端焊接时间为 $3 \sim 5 \text{ s}$ 。操作过程中注意对电池表面的保护。焊接后用蘸有异丙醇溶液的无尘纸将焊点擦拭干净。

### 1.2 环境试验条件

电池组合件装配后进行环境试验。力学试验后产品测试数据正常,焊点质量完好。随后进行温度循环试验,试验条件如下:环境压力:正常环境压力;试验温度: $-105 \sim +105^{\circ}\text{C}$ ;变温速率: $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ;停留时间:每次循环在最高(低)试验温度持续时间为 30 min;循环次数:200 次、500 次。对于一个合格的焊点,200 次环境试验后,内部裂纹长度应不超过焊点

连接长度的 25%。

## 2 结果与分析

环试后,首先利用光学显微镜检查焊点外观,观察焊点表面是否有裂纹等损伤。然后对 SnPb 焊点和 SnPbAg 焊点分别进行金相剖切,通过光学显微镜和扫描电镜分析,计算微裂纹长度、IMC 层厚度和成分、气孔含量等。剖切位置如图 3 所示。焊点均沿垂直于导线方向剖切进行扫描电镜观察。

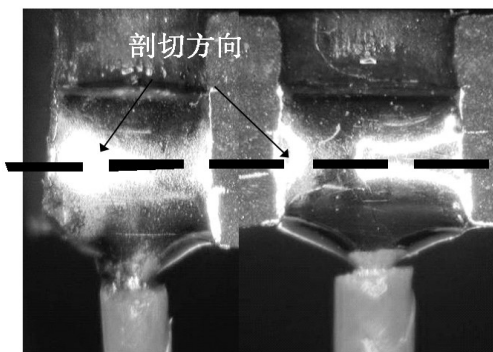
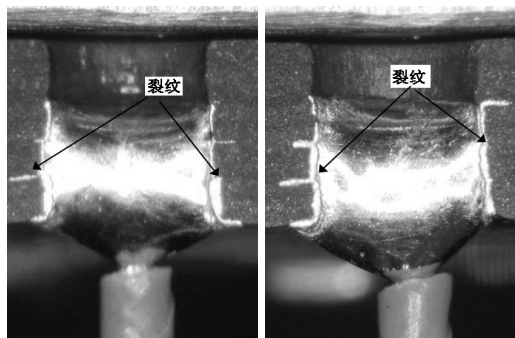


图3 焊点金相剖切位置

Fig. 3 Cutaway place of welding point

### 2.1 焊点外观检查结果

环试后,利用光学显微镜检查焊点外观,发现焊点均出现了不同程度的裂纹,如图4所示。环试后,无论是SnPb焊点还是SnPbAg焊点,在焊料和陶瓷基体的边缘处均出现了微裂纹,这是由于陶瓷的线膨胀系数一般为 $(6\sim 7)\times 10^{-6}\text{ m/K}$ ,而焊料的线膨胀系数为 $(20\sim 25)\times 10^{-6}\text{ m/K}$ ,两者差异较大,在热循环过程中,因线膨胀系数的失配而产生较大热应力,并在焊料和陶瓷基体的边缘处形成应力集中,从而易引发微裂纹的产生。



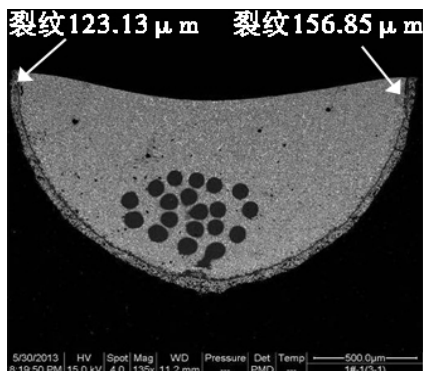
(a) SnPb 焊点 (b) SnPbAg 焊点  
图4 环试后焊点典型外观

Fig. 4 Welding point appearance after testing

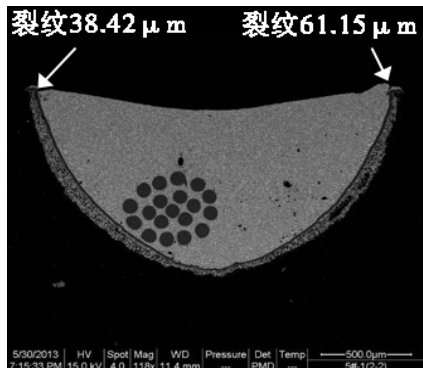
## 2.2 温度循环后焊点显微组织对比分析

### 2.2.1 裂纹情况分析

200次温度循环后对样件分别进行金相剖切,结果典型照片如图5所示。



(a) SnPb 焊点



(b) SnPbAg 焊点

图5 200次温度循环后焊点金相分析结果照片

Fig. 5 SEM photo after 200 cycles

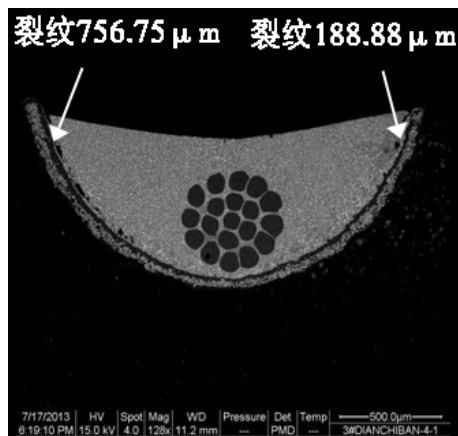
对焊点剖切后发现,焊点表面的裂纹向焊点结合面出现了不同程度的延伸,经统计,SnPb焊点和SnPbAg焊点的裂纹比例如表1所示。由表1可知,经过力学振动试验和200周温度循环试验后,SnPb焊点和SnPbAg焊点的裂纹比例均未超过25%,均能满足指标要求,但SnPb焊点的裂纹比例约为SnPbAg焊点的2倍,这与焊料不同的显微组织结构有关。

表1 SnPb焊点和SnPbAg焊点温度循环后裂纹比例

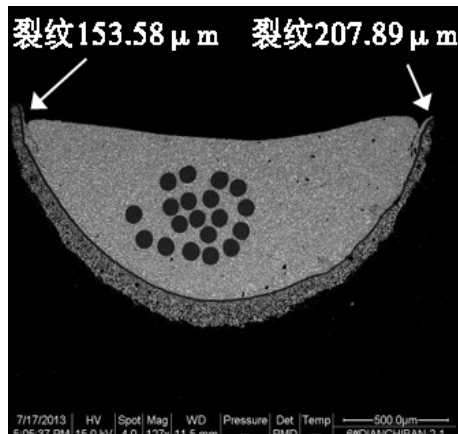
Tab.1 Crack proportion of SnPb and SnPbAg welding point after temperature cycles

循环次数	焊料	位号					均值
		A	C	公共端	D	B	
200	SnPb	5.2	11.2	9	7.8	4.2	7.48
	SnPbAg	2.1	3.6	5.4	4.3	2.5	3.58
500	SnPb	65.9	40.4	50.8	37	6	40.2
	SnPbAg	6.6	13.1	17.3	12.8	6.8	14.9

500次温度循环后对SnPb焊点和SnPbAg焊点分别进行金相剖切,剖切结果典型照片如图6所示。随着温度循环次数的增加,在热失配产生的应力作用下,焊点表面的裂纹向焊点结合面进一步扩展,裂纹长度增加(表1)。



(a) SnPb 焊点



(b) SnPbAg 焊点

图6 500次温度循环后焊点金相分析结果照片

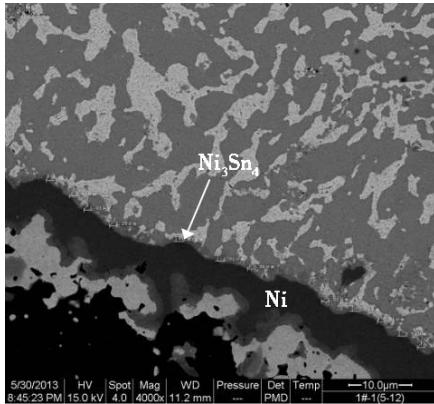
Fig. 6 SEM photo after 500 cycles

经力学振动试验和 500 周温度循环试验后, SnPb 焊点裂纹比例约为 SnPbAg 焊点的 3 倍。SnPb 焊点裂纹比例均值达到了 40.2%, 超过了 25% 的指标要求, 而 SnPbAg 焊点的裂纹比例仍能满足指标要求。

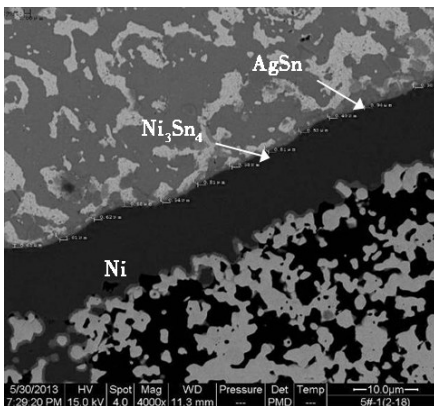
### 2.2.2 金属间化合物层厚度及成分分析

焊接过程中, 判断焊料与母材是否发生了充分的冶金反应, 形成良好的冶金结合, 要从金属间化合物层的状态来判断。通过扫描电子显微镜对焊料和陶瓷基体的结合界面进行观察, 陶瓷基座电极为陶瓷基体上镀 WMo 合金/Ni, 在焊接过程中, Ni 元素通过扩散溶入熔融的焊料, 与 Sn 发生反应, 焊料和陶瓷基体之间形成了  $Ni_3Sn_4$  金属间化合物, 其平均厚度约为  $0.89 \mu m$ , 如图 7(a) 所示。

对于 SnPbAg 焊点, 焊料和陶瓷基体之间除了生成  $Ni_3Sn_4$  金属间化合物, 其平均厚度约为  $0.66 \mu m$ , 焊料内部布着弥散的  $Ag_3Sn$ , 如图 7(b) 所示。



(a) SnPb 焊料



(b) SnPbAg 焊料

图 7 焊料和陶瓷基体焊点界面显微组织结构;  
Fig. 7 Microstructure between solder and ceramics

62Sn36Pb2Ag 焊料中的 Ag 元素会以  $Ag_3Sn$  的形式呈颗粒状分布, 在材料受力变形的过程中,  $Ag_3Sn$  颗粒能起到有效的位错钉扎作用, 阻碍位错的运动, 可以降低或阻碍裂纹的扩展, 从而提高焊点抗热失配的能力, 焊料的高温蠕变性能也更好<sup>[4]</sup>, 因此, 经过相同的热循环次数后, SnPbAg 焊点内的裂纹长度远小于 SnPb 焊点内的裂纹长度。

适当的金属间化合物层对于焊料和母材之间形成良好的冶金结合是必要的, 并且随着温度循环次数的增加, 金属间化合物层的厚度会有所增加, 但通过测量两种焊料不同热循环次数后的 IMC 层厚度, 发现在热循环过程中, IMC 层厚度均未发生明显粗化现象, 均在可接受的范围内, 环试后焊料内部显微组织也未出现明显粗化。通过扫描电子显微镜分析, 未发现焊点内部存在明显气孔, 导线和焊料也结合良好。

### 3 结论

采用两种焊料进行硅光电池电极的焊接, 通过可靠性加速试验及金相分析, 试验结果均符合工艺及相关标准的要求。采用 SnPb 焊料可以满足要求, 但从焊料抗热失配能力, 焊点裂纹扩展率等方面讲, 在  $-105^\circ C \sim +105^\circ C$  温度范围内, 62Sn36Pb2Ag 焊料的抗热失配能力和高温抗蠕变性能较 63Sn37Pb 焊料表现更加优异, 因此推荐使用 62Sn36Pb2Ag 焊料进行硅光电池陶瓷电极的焊接。

### 参考文献

- [1] 杜永超, 刘春明, 欧伟. 空间太阳敏感器用硅光电池 [C]. 第十七届全国半导体集成电路、硅材料学术会议, 三亚, 2011; 206-209
- [2] High-reliability soldering for surface-mount and mixed technology [M]. European Space Agency, 2008
- [3] 董义. 基于溶蚀现象剖析来体现 62Sn36Pb2Ag 焊料价值 [C]. 2010 中国高端 SMT 学术会议, 武汉, 2010; 238-240
- [4] 丁颖, 申坤, 张冉. 62Sn36Pb2Ag 钎料中 Ag 元素对 AgCu/SnPbAg/CuBe 焊缝性能的影响 [J]. 焊接学报, 2011, 32 (8): 65-68

(编辑 任涛)