

射频天线黄铜振子感应钎焊气孔缺陷

孙凤莲¹, 冯立臣¹, 殷祚炆¹, 孟奇²

(1. 哈尔滨理工大学 材料科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040; 2. 安弗施(上海)无线射频系统有限公司, 上海 201613)

摘要: 借助高频感应加热设备, 采用测量钎料在母材表面的铺展面积的方法, 分析了 Sn-3.0Ag-0.5Cu (SAC305)、Sn-58Bi 和 Sn-17.0Bi-0.5Cu (SBC1705) 三种高粘度(180 Pas) 焊膏在黄铜表面的可焊性. 并通过无源互调(Passive Intermodulation, PIM) 测试和 X 射线检测, 对比了 SAC305 和 SBC1705 焊膏焊后黄铜振子的 PIM 值和焊点气孔率. 结果表明: 高粘度 SBC1705 焊膏在黄铜表面的可焊性最好, 其次是 Sn-58Bi 焊膏, 最后是 SAC305 焊膏; SBC1705 焊点气孔率 < 1%, 而 SAC305 焊点气孔率为 5% ~ 7%, 两种焊点气孔率都在 < 25% 的合格范围内, 但 SBC1705 焊后振子的 PIM 测试结果比 SAC305 焊后振子的 PIM 测试结果更稳定. 综合生产成本考虑, 高粘度 SBC1705 焊膏更适合射频天线黄铜振子的感应钎焊工艺.

关键词: 射频天线; 黄铜振子; 感应钎焊; 缺陷

DOI: 10.15938/j.jhust.2015.02.018

中图分类号: TG425.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2015)02-0097-04

The Porosity Defects of the Radio Frequency Antenna Brass Oscillator Joints by Induction Soldering

SUN Feng-lian¹, FENG Li-chen¹, YIN Zuo-zhu¹, MENG Qi²

(1. College of Material Science and Engineering, University of Science and Technology, Harbin 150040, China;

2. Radio Frequency System Corporation Ltd., Shanghai 201613, China)

Abstract: The solderability of three kinds of high viscosity (180 Pa·s) pastes (Sn-3.0Ag-0.5Cu, Sn-58Bi and Sn-17.0Bi-0.5Cu) were studied by the high-frequency induction heating equipment and the area on brass substrate. The Passive Intermodulation (PIM) was compared by the PIM testing and the porosity of brass oscillator after SAC305 and SBC1705 solder pastes soldering was compared by the X-ray detection. The results showed that the solderability of high viscosity paste SBC1705 is the best on brass substrate, followed by Sn-58Bi solder paste, and finally SAC305 solder paste; the porosity of SBC1705 solder joints is less than 1%, while the porosity of SAC305 solder joints is 5% to 7%, the porosity of the two solder joints are within the acceptable range (< 25%), but the PIM test results of oscillator after SBC1705 soldering are more stable. Comprehensive considerations, high viscosity solder paste SBC1705 is more suitable for radio frequency antenna brass oscillator induction soldering process.

Keywords: radio frequency; brass oscillator; induction soldering; defects

收稿日期: 2014-06-02

作者简介: 冯立臣(1988—), 男, 硕士研究生;

殷祚炆(1988—), 男, 博士研究生.

通讯作者: 孙凤莲(1957—), 女, 博士, 教授, 博士研究生导师, E-mail: sunflian@163.com.

0 引言

随着大功率多通道通信系统的不断涌现,一种潜在的干扰源-无源互调 (passive intermodulation, PIM) 越来越受到人们的关注^[1]. 移动通信天线中的 PIM 干扰来源于天线系统中无源器件的非线性,其中接触非线性表示任何具有非线性电流电压关系的非线性的金属接触. 松动、被氧化和有焊接缺陷的金属接头就是典型的例子^[2]. 天线振子是天线上的元器件,具有导向和放大电磁波的作用,使天线接收到的电磁信号更强,一般采用导电性较好的金属制造. 传统的钎焊方式是用手工电烙铁加热,对于稍大的工件还需采用辅助加热,其主要存在问题: 工件整体受热,加热时间较长,工件变形大等^[3]. 相比之下本文采用高频感应加热方式进行局部钎焊,具有加热效率高,焊接变形小等特点.

目前采用导电、导热性好的 Sn-3.0Ag-0.5Cu (SAC305) 焊膏焊接黄铜振子,焊后经 X 射线检测发现焊点内部存在大量气孔. 气孔的存在,一方面降低了焊点的质量,导致射频天线的 PIM 值不稳定. 另一方面降低了热传导的效率,导致器件的提前老化^[4]. 同时, SAC305 钎料属于高银型 ($\geq 1\%$) 钎料,大大增加了生产成本.

Sn-Bi 系无铅钎料因其熔点较低、润湿性良好、成本比较低廉而被广泛应用于低温焊接领域. 其中 Sn-58Bi 共晶钎料的熔点仅为 139°C ,被认为是传统 SnPb 焊料的理想替代品之一. 北京有色金属研究总院研究发现在 Sn-Bi 亚共晶合金基础上添加 Cu 元素,减少了电阻率高的 Bi 元素含量,大幅提高了焊料的导电、导热性,这可以有效缓解焊点在使用过程中发热疲劳失效问题^[5-7]. 因此,为了提高天线振子的焊接质量,减少气孔缺陷,进一步降低生产成本,本研究以低温焊膏 Sn-58Bi、Sn-47.0Bi-0.5Cu (SBC1705) 为研究对象,以高银焊膏 SAC305 作为对比,分析 3 种焊膏在黄铜表面的可焊性,对比不同焊膏焊后振子的 PIM 值和焊点气孔率,以优选出一种适合黄铜振子感应钎焊工艺且价格相对低廉的焊料.

1 试验材料与方法

试验所用母材为 H70 黄铜,试验选用的 3 种高黏度焊膏分别为 SAC305、Sn-58Bi 和 SBC1705,焊膏

参数如表 1 所示.

表 1 焊膏参数

焊膏种类	黏度/(Pa·s)	熔化温度/ $^{\circ}\text{C}$	市场价格/(RMB/kg)
SAC305		217 ~ 221	800
Sn-58Bi	180	139	600 ~ 640
SBC1705		166 ~ 210	600 ~ 640

铺展性试验参照国家标准 GB/T11364-2008《钎料润湿性试验方法》进行. 取适量的等体积焊膏放在黄铜试样(尺寸为 $20\text{ mm} \times 20\text{ mm} \times 0.5\text{ mm}$)上,焊接方法为高频感应钎焊,并采用热电偶对焊膏融化峰值温度进行测量. 焊接参数如表 2 所示. 铺展面积用数码相机照片配合 AutoCAD 软件进行测算. 并对不同焊膏焊后的振子进行 PIM 测试和 X 射线检测, PIM 测试参照通信行业标准 YD/T 1059-2004《移动通信系统基站天线技术条件》进行, PIM 测试床如图 1 所示.

表 2 焊接参数

焊膏	感应电流/A	加热时间/s	焊接峰值温度/ $^{\circ}\text{C}$
SAC305	340	8 ~ 9	240
Sn-58Bi	215	8 ~ 9	150
SBC1705	240	8 ~ 9	215

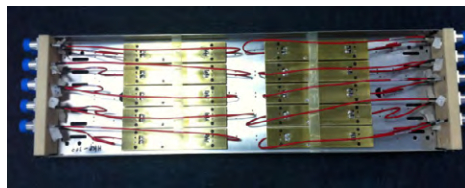


图 1 PIM 测试床

2 试验结果与分析

2.1 钎料的润湿与铺展

钎料对母材润湿是形成优良焊点的基本前提. 一般来说,如果钎料对母材的润湿性能良好,则可焊性通常也比较好. 测量钎料在母材表面的铺展面积是评价可焊性的方法之一^[8]. 低黏度 ($120\text{ Pa} \cdot \text{s}$) SAC305 焊膏在黄铜表面润湿性很好,但感应钎焊时会发生崩陷,因此选用 3 种高黏度焊膏进行分析.

SAC305、Sn-58Bi 和 SBC1705 3 种高黏度焊膏的铺展性能试验结果见图 2. 从图中可以看出, SBC1705 焊膏和 Sn-58Bi 焊膏在黄铜表面的铺展性均优于 SAC305 焊膏. 这是由于 Bi 是表面活性元素,在熔融状态下作为表面活性剂向熔体表面富集,

明显降低合金的表面张力和表面自由能,减小了熔融合金的接触角,有利于提高合金润湿性,使焊料具有良好可焊性^[8]。因此,Sn-58Bi 和 SBC1705 焊膏在黄铜表面均具有良好的可焊性。

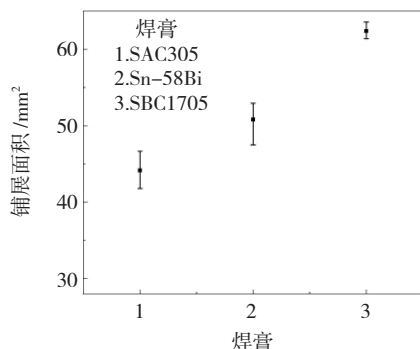


图2 3种焊膏在黄铜表面的铺展性能

在射频天线中良好的导电性可以降低 PIM 值,而良好的可焊性会提高焊点质量,减少内部缺陷,获得稳定的 PIM 值。通过可焊性对比研究可知,高黏度 SAC305 焊膏在黄铜表面的可焊性较差,但其导电性很好,而高黏度 Sn-58Bi 焊膏在黄铜表面的可焊性较好,但其导电性较差,3种钎料的物理性能参数如表3所示。因此,SBC1705 焊膏比 Sn-58Bi 焊膏更适合射频天线黄铜振子的感应钎焊工艺。

表3 钎料的物理性能参数

钎料	电阻率 $/ (10^{-6} \Omega \cdot \text{m})$	热导率 $/ (\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$	热膨胀系数 $/ (10^{-5} / \text{K})$
SAC305	0.12	64	19.1
Sn-58Bi	0.33	21	15
SBC1705	0.16	45.1	19.85

2.2 焊后 PIM 测试结果及分析

PIM 是由无源器件的非线性引起的,其中接触非线性是无源非线性的主要模式之一。如果金属与金属之间存在间隙,那么在微小间隙处,由于电流的波动或有较强信号时,很容易形成微观的击穿,这些不稳定的击穿,使导致 PIM 产生的形式具有偶然性,且幅度随时间而变化^[14]。因此,当两种金属采用焊接方式连接时,如果焊接有缺陷,如虚焊、裂纹、气孔等,都将使 PIM 值存在不稳定性。

SAC305 焊膏和 SBC1705 焊膏焊后黄铜振子的 PIM 测试结果如图3和图4所示,测试时间为20s。目前在通信行业中,普遍认为 PIM 为 -150dBm 就对正常通信不产生干扰,因此为了保证质量,定义 PIM 值 -153dBm 为通过线,如图3中红色实线所

示。 X, A, B, Z 是本射频天线黄铜振子钎焊试验 PIM 检测的各项指标,其中 X 值(测试开始5s后的初始值), A 值(测试稳态阶段的最大值,停留该值的时间需超过1s), Z 值(测试结束的终值)决定天线是否通过,而 B 值(测试暂态阶段的最大值,停留该值时间需少于1s)决定天线的稳定性。从图中可以看出, SAC305 焊膏和 SBC1705 焊膏焊接的黄铜振子均通过测试。但相比于 SAC305 焊膏焊后振子的 PIM 值($X = -173.7\text{dBm}, A = -173.7\text{dBm}, B = -141.4\text{dBm}, Z = -172.8\text{dBm}$), SBC1705 焊膏焊后振子 PIM 值($X = -159.1\text{dBm}, A = -157.7\text{dBm}, B = -157.7\text{dBm}, Z = -161.3\text{dBm}$)更为稳定。

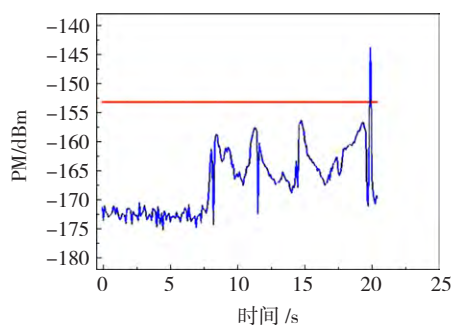


图3 SAC305 焊后黄铜振子的 PIM 测试结果

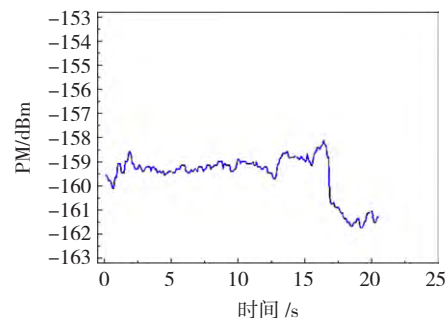


图4 SBC1705 焊后黄铜振子的 PIM 测试结果

2.3 焊后 X 射线检测结果及分析

分别随机选取 SAC305 焊膏和 SBC1705 焊膏焊后的黄铜试样和实际工件的焊点进行 X 射线观察,拍摄所得照片如图5所示。图中颜色较浅的圆孔就是气孔。并通过 CAD 软件统计测得 SAC305 焊点内气孔率为 $5\% \sim 7\%$,而 SBC1705 焊点内气孔率小于 1% 。根据 IPC-610D 的制造工业标准,空洞率小于 25% 属于可接受范围^[1],因此两种焊膏焊点都是符合标准的,但气孔的存在对产品性能留有隐患。

分析 SAC305 焊点气孔较多的原因可能是其熔点比 SBC1705 焊膏高,焊接时从 SAC305 焊膏中释

放出的易挥发的化合物更多, SAC305 焊膏的表面张力比 SBC1705 大, 且高黏度 SAC305 焊膏在黄铜基板上的润湿性比高黏度 SBC1705 焊膏差, 润湿角更大, 焊点中气孔需要走更长的路程才会脱离焊点. 又由于感应加热升温速度又快, 而加热时间(8~9 s)相对较短, 挥发的物质不易排净, 并且焊后空冷, 冷却速率较快, 一部分气体在金属钎料凝固前未能脱离钎料表面, 继而在 SAC305 焊点内部形成大量气孔, 而在 SBC1705 焊点内部形成少量的气孔.

气孔的产生虽不能避免, 但可以尽量的减少, 这就需要选择在母材表面可焊性好的钎料, 焊前去除工件表面油污和杂质, 焊接过程中升温速率不能过快, 并需保温一定时间, 使气孔有足够的时间脱离熔融钎料表面.

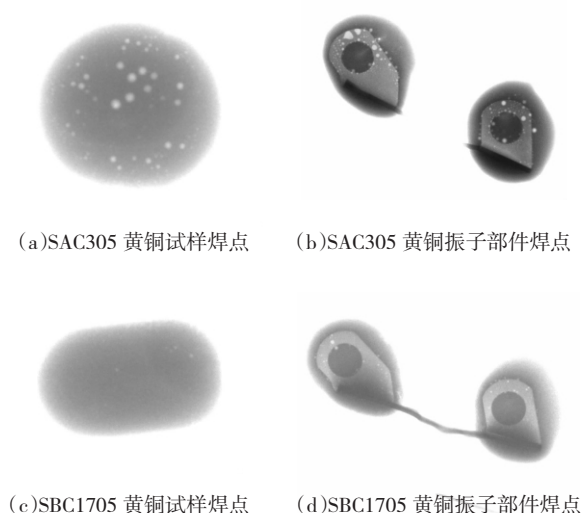


图5 焊点 X 射线检测照片

3 结 语

高黏度 SBC1705 焊膏在黄铜表面的可焊性最

好, 其焊点气孔率 < 1%, 焊后振子 PIM 值符合通信行业标准, 并且表现稳定; SAC305 焊膏在黄铜表面的可焊性较差, 其焊点气孔率为 5%~7%, PIM 检测结果虽符合通信行业标准, 但焊点内存在大量的气孔, 使其焊后振子 PIM 值存在不稳定性, 产品质量存在隐患; Sn-58Bi 焊膏在黄铜表面的可焊性较好, 但其导电性较差. 因此, 综合生产成本考虑, SBC1705 焊膏更适合黄铜振子的感应钎焊工艺.

参 考 文 献:

- [1] GOLIKOV V, HIENONEN S, VAINIKAINEN P. Passive Intermodulation Distortion Measurements in Mobile Communication Antennas [J]. // Vehicular Technology Conference, 2011 Fall, IEEE VTS 54th, 2001, 4: 2623-1625.
- [2] 蒋江湖, 吴少周, 张世全. 移动通信天线的无源互调干扰研究 [J]. 陕西理工学院学报, 2011, 27(2): 46-50.
- [3] 杨林, 朱建军, 冬红, 等. 铝合金微波组件的感应钎焊工艺研究 [J]. 现代雷达, 2012, 34(1): 79-85.
- [4] 华根瑞, 王海涛, 袁晶, 等. Sn-58Bi 在镀镍层表面的焊接工艺 [J]. 电子科技, 2012, 25(7): 139-147.
- [5] 王阳, 胡望宇, 舒小林, 等. Sn-Bi 合金系低温无铅焊料的研究进展 [J]. 材料导报, 2006(3): 23-25.
- [6] 徐骏, 胡强. Sn-Bi 系列低温无铅焊料及其发展趋势 [J]. 电子工艺技术, 2009, 30(1): 1-4.
- [7] 张青科, 邹鹤飞, 张哲峰. SnBi/Cu 界面 Bi 偏聚机制与时效脆性抑制 [J]. 中国科学: 技术科学, 2012, 42(1): 13-21.
- [8] 孙凤莲, 胡文刚, 王丽凤, 等. 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, 2012, 29(10): 6-8.
- [9] 张晓瑞, 汪春雷, 赵宏欣, 等. Sn-Zn, Sn-Ag-Cu 和 Sn-Bi-Cu 无铅焊锡合金与铜的润湿性 [J]. 过程工程学报, 2009, 9(4): 829-832.
- [10] 易炎高. 基站电调天线无源互调研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2012: 5-15.
- [11] 朱晓云. 信号放大元件焊接空洞减少的制造方案设计 [D]. 浙江: 浙江大学, 2013: 1-10.

(编辑: 温泽宇)