

半导体激光钎焊无铅钎料润湿铺展性能的研究

Study on Wettability and Spreadability of Lead-free

Solder with Diode Laser Soldering Process

韩宗杰¹, 薛松柏¹, 王俭辛¹, 张 亮¹, 禹胜林^{1, 2}

(1 南京航空航天大学 材料科学与技术学院,

南京 210016; 2 中国电子科技集团公司 第 14 研究所, 南京 210013)

HAN Zong-jie¹, XUE Song-bai¹, WANG Jian-xin¹, ZHANG Liang¹, YU Sheng-lin^{1, 2}

(1 College of Materials Science and Technology, Nanjing

University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China; 2 The 14th

Research Institute, China Electronics Technology Group Corporation, Nanjing 210013, China)

摘要: 采用半导体激光软钎焊系统对 Sn-Ag-Cu 无铅钎料在 Cu 基体上进行了润湿铺展性能实验, 研究了半导体激光工艺参数对 Sn-Ag-Cu 无铅钎料润湿铺展性能的影响规律。结果表明: 随着激光输出功率的增加, 无铅钎料的铺展面积逐渐增加, 润湿角逐渐减小; 当激光输出功率增加到某一特定范围时, 无铅钎料的润湿铺展性能达到最佳。在一定的激光输出功率范围内, 随着激光钎焊时间的增加, 无铅钎料在 Cu 基体上的润湿铺展性能逐渐优化, 并在激光钎焊时间达到一定值时达到最佳。当激光输出功率过低或过高时, 无论怎样改变激光钎焊时间, 液态钎料在 Cu 基体上的润湿铺展效果均很差。

关键词: 半导体激光软钎焊; Sn-Ag-Cu 无铅钎料; 润湿铺展性能

中图分类号: TG425.1; TG456.7 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381(2008)09-0076-04

Abstract: Wettability and spreadability of Sn-Ag-Cu lead-free solder on Cu substrate were tested by diode laser soldering system, influence of different soldering parameters on wettability and spreadability of Sn-Ag-Cu lead-free solder was studied. The results indicate that, as the laser output power increases, the spreading area of lead-free solder increases and the wetting angle decreases, the optimal wettability and spreadability is obtained while the laser output power increase to a certain range. Within a certain laser output power, the wettability and spreadability of Sn-Ag-Cu lead-free solder becomes better as the increase of laser soldering time, and it reaches the optimal state when the laser soldering time increase to a certain range. While the laser output power is too low or too high, the wettability and spreadability of Sn-Ag-Cu lead-free solder on Cu substrate is always poor whatever the laser soldering time is short or long.

Key words: diode laser soldering; Sn-Ag-Cu lead-free solder; wettability and spreadability

表面组装技术 (Surface Mount Technology, SMT), 是指将片状元器件 (表面组装元器件) 安放在 PCB 基板的表面上, 通过波峰焊或再流焊等方法加以焊接的组装技术^[1], 它是 20 世纪 60 年代中期开发、70 年代获得实际应用的一种电子装联技术^[2]。

在表面组装技术中主要使用的是软钎焊方法, 钎焊是利用液态钎料在母材表面润湿、铺展与母材相互溶解扩散以及在母材间隙中润湿、毛细流动、填缝与母材相互溶解和扩散而实现零件间的连接^[3, 4]。要使液态钎料填充到钎缝的间隙中去, 其前提条件是液态钎料必须能够良好地润湿母材。因此钎料的润湿铺展性

能是保证可靠钎焊连接的重要前提条件。

绿色环保无铅钎料的应用已是大势所趋^[5-8], 由于无铅钎料熔点高, 润湿性差, 给传统的波峰焊和再流焊方法带来了前所未有的挑战; 而激光软钎焊方法具有其他再流焊方法不可比拟的优点, 诸如局部加热, 快速加热, 快速冷却等, 因而在无铅微电子组装领域应用前景广阔。

本工作选取了国际公认的 Sn-Ag-Cu 无铅钎料, 研究了半导体激光钎焊 Sn-Ag-Cu 无铅钎料的润湿铺展性能, 以期对激光无铅钎焊工艺的实施与完善提供借鉴^[9, 10]。

1 实验原理与方法

1.1 实验原理

在激光加热条件下, 液态钎料在基体(基板)表面的润湿、铺展, 构成了一个由固态基体、液态钎料、气态空气组成的三相界面体系, 如图 1 所示。

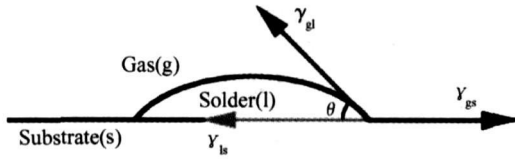


图 1 液态钎料的铺展原理图

Fig. 1 Spreading schematic diagram of liquid solder

表述上述关系有 Young's 方程^[11, 12]:

$$\gamma_{gl} \cos \theta = \gamma_{gs} - \gamma_{ls} \quad (1)$$

其中, γ_{gl} 为钎料表面张力; γ_{gs} 为基体表面张力; γ_{ls} 为钎料/基体界面张力; θ 为钎料-基体-空气三相界面接触角, 也称为润湿角。

从 Young's 方程可以看出, 钎料对母材的润湿性取决于具体条件下的三相相互作用, 但不论情况如何, γ_{gs} 增大、 γ_{gl} 或 γ_{ls} 减小, 都能使 $\cos \theta$ 增大, θ 角减小, 即能改善液态钎料对母材的润湿性。

1.2 实验材料与方法

本实验所用材料包括: (1) Sn-3.0Ag-0.5Cu 无铅钎料焊膏: 质量为 15mg; (2) 基体材料为纯 Cu: 尺寸为 20mm × 20mm × 0.1mm。Cu 基体表面预处理流程如下:

(1) 砂纸打磨 Cu 片表面: 去除氧化膜、粗化表面, 利于钎料的铺展和润湿。(2) 丙酮液中超声振荡清洗。用来去除表面所粘附的汗渍、油污。(3) 无水乙醇中超声振荡清洗。溶解表面有机物, 去除实验材料上的水分。(4) 吹风机吹干实验 Cu 片。

应用半导体激光软钎焊系统进行实验, 如图 2 所示, 将表面预处理后的 Cu 片放置到工作台上, Cu 基体表面印刷钎料焊膏, 然后启动激光软钎焊系统, 以半导体激光作为热源加热熔化钎料, 研究其润湿铺展行为。

润湿铺展实验完毕, 拍摄钎料焊点的外观形貌, 并采用测量钎料在 Cu 片表面的润湿角和铺展面积两种方法进行钎料润湿铺展性能的评价, 具体测量方法如下:

钎料凝固后, 将铺展试样用扫描仪扫描, 并将之拷贝到 AutoCAD 中, 然后利用 AutoCAD 软件中计算封闭曲线面积指令计算钎料的铺展面积。然后沿铺展试

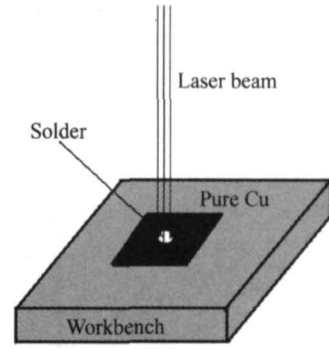


图 2 实验方法示意图

Fig. 2 Schematic diagram of experiment

样的中心剖开, 用扫描仪扫描试样断口, 并将之拷贝到 AutoCAD 中, 用 AutoCAD 的角度标注功能测定润湿角。

对于每组参数组合均做 8 个试样, 取其润湿角和铺展面积的平均值。

2 实验结果与讨论

2.1 激光输出功率对无铅钎料润湿铺展性能的影响

图 3 显示了无铅钎料在 Cu 基体的铺展面积和润湿角随激光输出功率的变化规律, 其中激光钎焊加热时间均为 0.5s, 可以看出, 随着激光输出功率的增加, Sn-3Ag-Cu 无铅钎料的铺展面积逐渐增加, 并在输出功率为 17.5W 左右时达到最大; 与此同时, 无铅钎料的润湿角有逐渐减小的趋势, 也在输出功率为 17.5W 左右时达到最小。

不同激光输出功率条件下 Sn-3Ag-Cu 无铅钎料的铺展照片如表 1 所示, 其中激光钎焊加热时间为 0.5s。当激光输出功率 ($P \leq 13W$) 较小时, 激光输出能量不足以使钎料完全熔化, 谈不上润湿铺展; 激光输出功率增加至 14W 时, 激光输出能量已经能完全熔化钎料, 但是熔融液态钎料在 Cu 基体上的润湿铺展效果较差; 随着激光输出功率进一步增加至 15、16W 时, 液态钎料润湿铺展效果明显改善; 当激光输出功率进一步增加至 17W 时, 液态钎料在 Cu 基体上的铺展面积达到最大, 润湿角最小, 效果最佳。此后, 激光输出功率继续增大, 液态钎料在 Cu 基体上的润湿铺展性能开始降低, 且凝固后的钎料焊点周围出现金属氧化渣 ($P \geq 19W$), 表明过高的激光输出功率引起温度过分升高, 导致了钎料氧化; 特别地, 当激光输出功率增加至 21W 时, 钎料表面氧化蒸发非常严重, 凝固后仅可看到钎料的氧化渣。

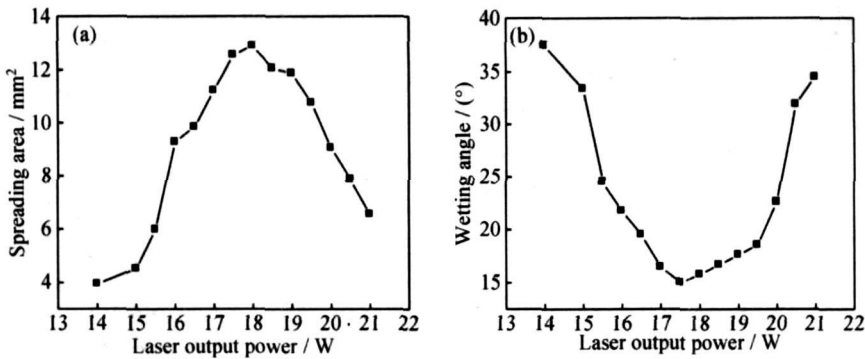
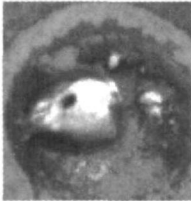

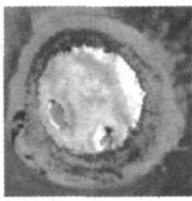

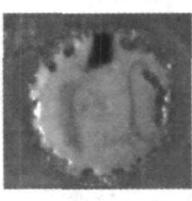
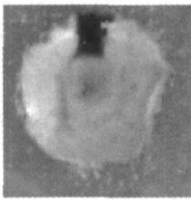
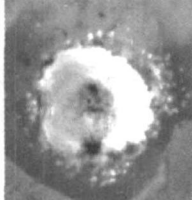
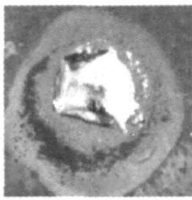
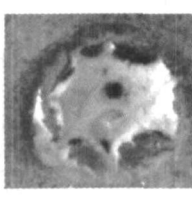
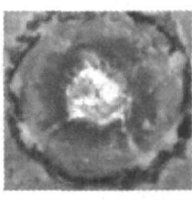


图 3 激光输出功率对无铅钎料润湿铺展性能的影响 (a) 铺展面积; (b) 润湿角
Fig. 3 Effects of laser output power on wettability and spreadability of lead-free solder
(a) spreading area; (b) wetting angle

表 1 不同激光输出功率条件下 Sn-Ag-Cu 无铅钎料的铺展照片

Table 1 Spreading photo of Sn-Ag-Cu lead-free solder with different laser output power

Laser output power / W	13	14	15	16	17
Spreading photo					
Laser output power / W	18	19	20	21	22
Spreading photo					

2.2 激光钎焊时间对无铅钎料润湿铺展性能的影响
三种不同激光输出功率(16.5、17.5、18.5W) 条件下, Sn-Ag-Cu 无铅钎料在 Cu 基体上的铺展面积和润湿角随激光钎焊时间的变化规律如图 4 所示。可以看

出, 在激光输出功率一定的条件下, 随着激光钎焊时间的增加, Sn-Ag-Cu 无铅钎料在 Cu 基体上的润湿铺展性能逐渐优化, 并在激光钎焊时间达到一定值时达到最佳, 此后润湿铺展性能随钎焊时间的增加而变差。

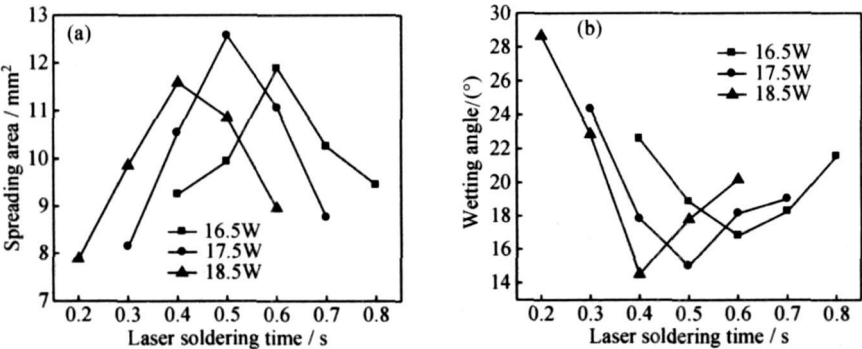


图 4 激光钎焊时间对无铅钎料润湿铺展性能的影响 (a) 铺展面积; (b) 润湿角
Fig. 4 Effects of laser soldering time on wettability and spreadability of lead-free solder
(a) spreading area; (b) wetting angle

此外,不同激光输出功率获得最佳润湿铺展性能所对应的最佳激光钎焊时间不尽相同,对于 16.5W、17.5W 和 18.5W,最佳激光钎焊时间分别为 0.6s、0.5s 和 0.4s。

研究还发现,当激光输出功率过低($P \leq 13\text{W}$)或过高时($P \geq 19\text{W}$),无论怎样改变激光钎焊时间,液态

钎料在 Cu 基体上的润湿铺展效果均很差,见图 5。这是由于激光输出功率过低($P \leq 13\text{W}$)时,无论怎样延长钎焊时间,激光输出能量都不足以使钎料完全熔化;而激光输出功率过高($P \geq 19\text{W}$)时,过高激光输出能量导致了钎料急速的温度升高,即使缩短钎焊时间也会导致液态钎料因过热而导致的氧化乃至挥发。

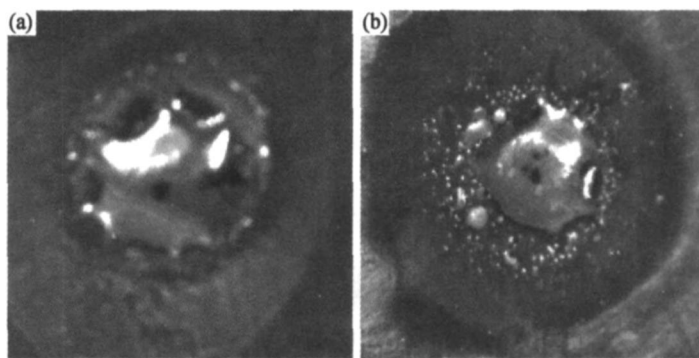


图 5 过低、过高的激光输出功率条件下 Sn-Ag-Cu 无铅钎料的铺展照片 (a) 13W+0.8s;(b) 20W+0.3s

Fig. 5 Spreading photo of Sn-Ag-Cu lead-free solder with different laser output power

(a) 13W+0.8s;(b) 20W+0.3s

已有研究指出^[13, 14]:激光输出功率越大,加热速度越快,熔融钎料的过热度也就越大,这导致了焊点内部组织的粗化和钎料与基体结合面处 Cu 向 Sn 中的大量溶解,冷却后焊点内会产生较多的金属间化合物相 Cu_6Sn_5 、空位甚至空洞缺陷,从而恶化焊点性能。因此采用激光软钎焊时,应适当控制输出功率和加热时间,以控制钎料与基板界面的温度,从而控制焊点的内部显微组织和焊点性能。

3 结论

(1) 随着激光输出功率的增加,无铅钎料的铺展面积逐渐增加,润湿角逐渐减小;当激光输出功率增加到某一特定范围($17\text{W} \leq P \leq 19\text{W}$)时,无铅钎料的润湿铺展性能达到最佳。

(2) 在一定的激光输出功率范围($16.5\text{W} \leq P \leq 18.5\text{W}$)内,随着激光钎焊时间的增加,无铅钎料在 Cu 基体上的润湿铺展性能逐渐优化,并在激光钎焊时间达到一定值时达到最佳。

(3) 当激光输出功率过低($P \leq 13\text{W}$)或过高时($P \geq 19\text{W}$),无论怎样改变激光钎焊时间,液态钎料在 Cu 基体上的润湿铺展效果均很差。

参考文献

[1] SJ/T 10668-2002, 表面组装技术术语[S].
[2] 张文典. 实用表面组装技术[M]. 第 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2006.
[3] 马鑫, 何鹏. 电子组装中的无铅软钎焊技术[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2006.

[4] 张启运, 庄鸿寿. 钎焊手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
[5] 菅沼克昭. 无铅焊接技术[M]. 宁晓山译. 北京: 科学出版社, 2004.
[6] ABTEW M, SELVADURAY G. Lead-free solders in microelectronics[J]. Materials Science and Engineering R, 2000, 27(5): 95-141.
[7] 于大全. 电子封装互连无铅钎料及其界面问题研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2004.
[8] ZENIN V V, BELYAEV V N, SEGAL Y E, et al. Lead-free solders in IC manufacture: a review[J]. Russian Microelectronics, 2003, 32(4): 247-256.
[9] 张启运. 无铅钎焊的困惑、出路和前景[J]. 焊接, 2007, (2): 6-10.
[10] 陈方, 杜长华, 黄福祥, 等. Sn-0.7Cu 无铅钎料对铜引线材料的润湿性[J]. 材料导报, 2004, 18(9): 99-101.
[11] 李松, 张同俊, 安兵. 微电子封装领域中合金润湿性测量的研究进展[J]. 材料导报, 2005, 19(3): 80-82.
[12] 程兰征, 章燕豪. 物理化学[M]. 第 2 版. 上海: 上海科学技术出版社, 2003.
[13] 韩宗杰, 鞠金龙, 薛松柏, 等. 半导体激光软钎焊 Sn-Ag-Cu 焊点微观组织[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2006, 37(2): 229-234.
[14] 韩宗杰, 薛松柏, 王俭辛, 等. QFP 器件半导体激光钎焊焊点力学性能和显微组织[J]. 焊接学报, 2006, 27(10): 41-44.

基金项目: 江苏省普通高校研究生科研创新计划资助项目(CX07B_087z); 江苏省“六大人才高峰”资助项目(06-E-020)

收稿日期: 2008-06-02; 修订日期: 2008-07-12

作者简介: 韩宗杰(1981—), 男, 博士研究生, 主要从事无铅钎料及微电子焊接技术的研究, 联系地址: 南京航空航天大学材料科学与技术学院(210016)。E-mail: hanzongjie113@nuaa.edu.cn