键合参数对 AgAuPdRu 键合线键合性能影响研究

范俊玲¹,朱丽霞¹,曹 军²,姚亚昔²

(1. 焦作大学 化工与环境工程学院, 河南 焦作 454000; 2. 河南理工大学 机械与动力工程学院, 河南 焦作 454000)

摘 要:利用扫描电镜研究 φ0.025 mm 的 Ag-0.8Au-0.3Pd-0.03Ru 银基键合线不同键合参数对无空 气焊球(free air ball, FAB)形状及球焊点、楔焊点形貌的影响,结果表明,烧球电流或者烧球时间其 中之一不变时, FAB 直径随着烧球时间(烧球电流一定)和烧球电流(烧球时间一定)的增加而增大, 烧球电流为 30 mA、烧球时间为 700 μs 时,键合线 FAB 呈标准圆球形;键合压力一定时,键合线 球焊点焊盘直径随着超声功率的增大而显著增加,键合功率为 80 mW、键合压力 0.30 N 时,球焊 点具有较好的微观形貌;键合压力为 0.25 N,超声功率为 80 mW 时,楔焊点具有规则的鱼尾形貌, 并具有较好的连接强度。

关键词:银基键合线;无空气焊球(FAB);烧球时间;烧球电流;键合功率;键合压力 中图分类号:TG146.3;TG457.19 文献标识码:A 文章编号:1004-0676(2019)02-0059-05

Effects of Bonding Parameters on Bonded Properties for AgAuPdRu Alloy Bonding Wire

FAN Junling¹, ZHU Lixia¹, CAO Jun², YAO Yaxi²

(1. Chemical and Environmental Engineering Institute, Jiaozuo University, Jiaozuo 454000, Henan, China;

2. School of Mechanical and Power Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, Henan, China)

Abstract: The effects of different bonding parameters on the performance of $\varphi 0.025$ mm Ag-0.8Au-0.3Pd-0.03Ru alloy bonding wire were analyzed by using scanning electron microscope. The results showed that, if electronic flame off (EFO) current is constant, the free air ball (FAB) diameters will elongate with the increase of the electronic flame off time. And the ball will expand as the electronic flame off (EFO) current is intensified, if electronic flame off time is fixed. The alloy bonding wire free air ball will be in a standard ball-shape when the electronic flame off current and time are 30 mA and for 70 µs, respectively. At a constant bonding force, the bonded pad diameters will augment significantly with the elevation of the ultrasonic power used. For Ag-0.8Au-0.3Pd-0.03Ru alloy bonding wire, the bonded ball would be in good shape if a bonding power of 80 mW and a bondingforce of 0.30 N were selected, and the second bonded ball would be in a regular shape with excellent bonded strength when 0.25 N bonding force and 80 mW bonding power were used.

Key words: Ag alloy bonding wire; FAB; EFO current; EFO time; bonded power; bonded force

键合银线由于其优秀的电学性能,可降低器件 高频噪声、降低大功率发光二极管(light-emitting diode, LED)发热量等,以及适当的成本因素,且在 LED 封装中可以有效降低光衰,提高转化率,键合 银线的诸多优势,使其应用于微电子封装^[1-6],尤其 是 LED 封装;但纯银线在应用过程中存在键合过程 中参数窗口范围较小、强度较低,在低弧度引线封 装中容易出现塌丝和线弧不稳定等缺陷^[7],以及高 温条件下失效几率较高,无法满足大功率 LED 等器 件的使用^[8-9]等问题。通过合金化获得高性能键合银

收稿日期: 2019-04-16

基金项目:河南省高等学校重点科研项目项目(19B430006)

第一作者: 范俊玲, 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 微电子封装研究。E-mail: 37967531@qq.com

基键合线是改善键合银线性能的有效途径,金、钯 等元素与银具有类似的特性且无限互溶,能够提高 银线的强度及高温稳定性[10-11],并增加其键合过程 中的参数窗口范围及界面连接强度。诸多学者针对 Ag-Pd 合金特性及键合 Ag-Pd 合金线制备开展了诸 多研究, Feng 等^[12]通过电化学方法研究了 Ag-Pd 合金热力学特性,得出 Ag-Pd 热力学稳定性显著高 于银的结论。Chuang 等^[13]研究了 Ag-8Au-3Pd 键合 合金线组织结构热稳定性,得出了 Ag-8Au-3Pd 键 合合金线热处理后组织为退火孪晶结构,该组织结 构能够提高 Ag-8Au-3Pd 键合合金线高温稳定性的 结论;曹军等^[14-15]研究了 Ag-4Pd 键合合金线的冷 变形和热处理过程,得出了 Ag-4Pd 合金线热处理 过程中出现孪晶组织,孪生形核及亚晶吞并长大形 核为其主要形核方式,且其热影响区长度低于键合 银线的结论。

上述研究多涉及的是银基键合线制备、性能及 键合强度等方面的研究,而对于银基键合线键合参 数对其无空气焊球(FAB)及焊点形貌的影响鲜有论

表1 Ag-0.8Au-0.3Pd-0.03Ru 键合线键合参数

Tab.1 Bonding parameters for Ag-0.8Au-0.3Pd-0.03Ru allov bonding wire

述。本文通过对不同键合参数下 Ag-0.8Au-0.3Pd-0.03Ru 银基键合线 FAB 及焊点形貌进行研究,进 一步探究键合参数对 Ag-0.8Au-0.3Pd-0.03Ru 银基 键合线键合性能的影响规律,为银基键合线在微电 子封装方面的应用提供支持。

实验 1

1.1 材料及仪器

正试验材料为 q0.025 mm 的 Ag-0.8Au-0.3Pd-0.03Ru 银基键合线, 键合线拉断力为 0.1053 N, 伸 长率为12%。

键合设备型号: KAIJO FB-988, 封装类型: 2835 LED, 劈刀类型: R2-1271-1222-08B, 键合过程中 采用 N₂气体(流速 0.6 L/min)保护。

1.2 实验方法

将 Ag-0.8Au-0.3Pd-0.03Ru 键合线在自动键合 设备上进行不同键合参数的键合实验,键合参数如 表1所列。

The second					
球键合		楔键合		烧球	
压紧力 $F_{\rm f}/N$	0.45	键合力 F ₁ /N	0.20/0.25/0.30/0.35	放电电压/V	5000
键合力 F/N	0.20/0.25/0.30/0.35	超声功率 P_1/mW	60/70/80/90	放电电流/A	26/28/30/32
超声功率 P/mW	60/70/80/90	键合时间 t ₁ /ms	12	烧球时间/ms	500/600/700/800
键合时间 t/ms	12	键合力 F ₂ /N	0.95	尾丝长度/mm	0.34
	—	超声功率 P_2/mW	95	键合温度/℃	220
_	_	键合时间 t ₂ /ms	12		_

采用 JEOL JSM-6700F 扫描电镜对键合线 FAB、球焊点及楔焊点进行形貌观测。

2 结果与讨论

2.1 不同键合参数对键合线 FAB 形貌影响

图 1 为烧球电流 30 mA 时, FAB 随烧球时间变 化的扫描电镜图像。

由图1可知,当烧球电流一定时,FAB 直径及 形貌随着烧球时间的增大而改变。烧球时间小于 600 us 时 FAB 的形貌呈扁圆状,图 1(a)、(b)所示; 烧球时间为 700 µs 时 FAB 的形貌呈标准圆球,图 1(c)所示; 烧球时间为 800 µs 时 FAB 的形貌呈尖头 球,图1(d)所示。



图1 不同烧球时间下 FAB 扫描电镜图像(烧球电流:30 mA) Fig.1 SEM images of FAB for different EFO time (EFO current: 30 mA)

图 2 为烧球电流为 700 µs 时 FAB 随烧球电流 变化的图像。根据图 2,当烧球时间一定时,FAB 直径及形貌随着烧球电流的增大而改变。烧球电流 小于 28 mA 时 FAB 的形貌呈扁圆状,图 2(a)、(b) 所示;烧球时间为 30 mA 时 FAB 的形貌呈标准圆 球(图 2(c));烧球时间为 32 mA 时 FAB 的形貌呈尖 头球(图 2(d)),但尖头球现象不如大烧球电流明显。



 (a). 28 mA, (b). 28 mA, (c). 30 mA, (d). 32 mA
图 2 不同烧球电流下 FAB 的扫描电镜图像 (烧球时间: 700 μs)
Fig.2 SEM images of FAB at different EFO current (EFO time: 700 μs)

Ag-0.8Au-0.3Pd-0.03Ru 键合线经过打火杆放 电烧球后,键合线熔化并在表面张力作用下形成 FAB,打火杆放电结束后,熔球仍在成长,球的温 度较高,使得尾丝继续往上熔化;当烧球电流较小 (26 mA 和 28 mA)或烧球时间较短时(500 μs 和 600 μs),由于产生的热量较少,键合线熔化较少,且底 部由于热量不足而开始凝固,从而产生扁圆球,图 1(a)、(b)和图 2(a)、(b)所示;当烧球电流 30 mA 烧 球时间 700 μs 时,其产生的热量使键合线充分溶解 成球,并从颈部开始凝固,形成规则的圆球,图 1(c) 所示;当烧球电流较大(30 mA)或烧球时间较长时 (800 μs),较多的热量使得键合线尾线自下而上迅速 熔化成球,由于球的体积较大,FAB 从焊球颈部开 始向下凝固的过程中其底部也开始凝固,并形成尖 顶形状,如1(d)、图 2(d)所示。

图 3 为不同烧球电流和烧球时间条件下 Ag-0.8Au-0.3Pd-0.03Ru 键合线 FAB 直径分布图。

根据上述结果,当烧球电流一定时,FAB 直径 随着烧球时间的增加而增大;当烧球时间一定时, FAB 直径随着烧球电流的增大而变大,且烧球时间 对焊球直径的影响比烧球电流更为显著。当烧球时



图 3 烧球参数对 Ag-0.8Au-0.3Pd-0.03Ru 键合线 焊球直径的影响

Fig.3 Effect of EFO parameters on FAB diameters of Ag-0.8Au-0.3Pd-0.03Ru alloy wire

间为 800 μs, 烧球电流为 34 mA 和 25 mA 时, 键合 线焊球直径具有极大值和极小值, 极大值为 68.18 μm, 极小值为 30.83 μm, FAB 平均直径为键合线直 径的 1.3~2.8 倍。

2.2 不同键合参数对键合线球焊点形貌影响

图 4 为键合压力为 0.25 N, 键合线球焊点焊盘 直径随超声功率变化的扫描电镜图像。根据图 4, 超声功率为 60 mW 时, 球焊点焊盘直径为 64.9 μm(图 4(a)); 超声功率为 70 mW 时, 球焊点焊盘直 径增加至 68.5 μm(图 4(b)); 超声功率为 80 mW 时, 球焊点焊盘直径增加至 74.7 μm(图 4(c)); 超声功率 为 90 mW 时, 球焊点焊盘直径为 72.6 μm(图 4(d))。



(a). 60 mW; (b). 70 mW; (c). 80 mW; (d). 90 mW
图 4 键合线球焊点不同超声功率下的扫描电镜图像(键合压力 0.25 N)
Fig.4 SEM images of ball bonded at different bonding

power (bonded force 0.25 N)

图 5 所示为超声功率为 80 mW, 键合线球焊点 焊盘直径随超声压力变化的扫描电镜图像。由图 5 可知,键合压力为0.20 N时,球焊点焊盘直径为70.1 μm, 如图 5(a)所示;键合压力为0.25 N时,球焊点 焊盘直径为74.6 μm, 如图 5(b)所示;键合压力为 0.30 N时,球焊点焊盘直径为75.2 μm, 如图 5(c) 所示;键合压力为0.35 N时,球焊点焊盘直径为76.3 μm, 如图 5(d)所示。



(a). 0.20 N; (b). 0.25 N; (c). 0.30 N; (d). 0.35 N
图 5 键合线球焊点不同键合压力下的
扫描电镜图像(超声功率 80 mW)
Fig.5 SEM images of the ball bonded at different bonding forces (bonding power 80 mW)

根据上述结果,在键合过程中,超声功率和键 合压力通过劈刀施加在键合线上,使得键合线与焊 盘紧密接触,在超声的作用下键合线与焊盘表面产 生高频振动,以实现键合线与基板之间产生快速扩 散而生成一定的连接强度。键合压力一定时(键合压 力为 0.25 N),随着超声功率的增加,在大功率高频 振动的作用下键合线形变激活能升高,其形变更为 容易,球焊点焊盘直径增加;进一步增加超声功率, 由于压力一定,键合线 FAB 与焊盘发生相对移动, 降低了超声高频振动对键合线的影响,球焊点焊盘 直径减小,如图 4(d)所示。超声功率一定时(超声功 率为 80 mW),键合线由超声高频振动产生的形变 激活能不变,而键合压力对键合线形变影响较小, 随着键合压力增加,球焊点焊盘直径增加,但增加 幅度较小。

图 6 为烧球电流 30 mA、烧球时间 700 μs 时, 不同键合压力和超声功率条件下 Ag-0.8Au-0.3Pd-0.03Ru 键合线球焊点焊盘直径分布图。

由图 6 可知,键合压力较大时(键合压力 0.30 N



图 6 键合压力和超声功率对 Ag-0.8Au-0.3Pd-0.03Ru 键合线球焊点焊盘直径的影响

Fig.6 Effect of the bonding force and power on the ball bonded pad of Ag-0.8Au-0.3Pd-0.03Ru alloy wire

和 0.35 N), 键合线球焊点焊盘直径随着超声功率的 增大而增大, 但键合压力过大使得芯片产生弹坑的 几率增加;键合压力较小时(键合压力 0.20 N 和 0.25 N), 键合线球焊点焊盘直径随着超声功率的增大而 先增大后减小。超声功率一定时, 键合线球焊点焊 盘直径随着键合压力的增大而增加, 但变化量不大; 键合压力为 0.35 N 超声功率 90 mW 时, 键合线球 焊点焊盘直径达到极大值, 极大值为 73.42 μm。

2.3 不同键合参数对键合线楔焊点形貌影响

图 7 为不同键合压力和不同超声功率条件下 Ag-0.8Au-0.3Pd-0.03Ru 键合线楔焊点焊盘直径分 布图。



图 7 键合压力和超声功率对 Ag-0.8Au-0.3Pd-0.03Ru 键合线楔焊点大小的影响

Fig.7 Effect of the bonding force and power on the wedge bonded by Ag-0.8Au-0.3Pd-0.03Ru alloy wire 由图 7 可知,键合压力一定时,键合线楔焊点 焊盘直径随着超声功率的增大而增大,但过大的键 合压力将增加楔焊点颈部应力,增加楔焊点颈部断 裂几率。超声功率一定时,键合线楔焊点焊盘直径 随着键合压力的增大而增加;当键合压力为 0.35 N, 超声功率 90 mW 时,键合线楔焊点焊盘直径达到极 大值,极大值为 93.55 μm。

图 8 所示为键合压力为 0.25 N, 键合线楔焊点 焊盘直径随超声功率变化的扫描电镜图像。



(a). 60 mW; (b). 70 mW; (c). 80 mW; (d) 90 mW
图 8 不同超声功率下键合线楔焊点的扫描电镜图像
(键合压力 0.25 N)

Fig.8 SEM images of wedge bonded at different bonding forces for the alloy bonding wire (bonded force 0.25 N)

由图 8 可知,超声功率为 60 mW 时,楔焊点鱼 尾宽度为 86.4 µm,如图 8(a)所示;超声功率为 70 mW 时,楔焊点鱼尾宽度增加至 89.2 µm,如图 8(b) 所示;超声功率为 80 mW 时,楔焊点鱼尾宽度增加 至 90.3 µm,如图 8(c)所示;超声功率为 90 mW 时, 楔焊点鱼尾宽度为 91.7 µm,如图 8(d)所示。此外, 随着超声功率的增加,楔焊点鱼尾变薄,楔焊点颈 部将产生较大的形变应力,进而导致楔焊点在颈部 断裂,由此,对于 Ag-0.8Au-0.3Pd-0.03Ru 键合线楔 焊点,当键合压力为 0.25 N,超声功率为 80 mW 时, 楔焊点具有规则的鱼尾形貌,连接强度较好。

3 结论

 当烧球电流或者烧球时间其中之一不变时, FAB 直径随着烧球时间和烧球电流的增加而增大, 烧球电流为 30 mA、烧球时间为 700 μs 时,键合线 FAB 呈标准圆球形。 2) 键合压力一定时,键合线球焊点焊盘直径随着超声功率的增大而显著增加,键合功率为80mW、键合压力0.30N时,球焊点具有较好的微观形貌。

3) 当键合压力为 0.25 N, 超声功率为 80 mW 时, 楔焊点具有规则的鱼尾形貌,并具有较好的连接强度。

参考文献:

- 曹军, 吴卫星. 镀 Au 键合 Ag 线性能对键合质量的影 响研究[J]. 材料科学与工艺, 2018, 26 (1): 96-100.
 CAO J, WU W X. Effects of Au coated Ag bonding wire properties on bonded quality [J]. Materials science and technology, 2018, 26(1): 96-100.
- [2] CZERNY B, MAZLOUM-NEJADARI A, KHATIBI G, et al. Fatigue testing method for fine bond wires in an LQFP package[J]. Microelectronics reliability, 2016, 64: 270-275.
- [3] DAVID G, SABINE H, MANFRED R, et al. Heavy copper wire-bonding on silicon chips with aluminum-passivated Cu bond-pads[J]. Microelectronic engineering, 2016, 156: 41-45.
- [4] MARTIN S. R, CHRISTIAN E. The reliability of wire bonding using Ag and Al [J]. Microelectronics reliability, 2016, 63(1): 336-341.
- [5] KUNIMUNE T, KURAMOTO M, OGAWA S, et al. Ultra thermal stability of LED die-attach achieved by pressureless Ag stress-migration bonding at low temperature[J]. Acta materialia, 2015, 89(1): 133-140.
- [6] SCHNEIDER-RAMELOWA M, EHRHARDT C. The reliability of wire bonding using Ag and Al[J]. Microelectronics reliability, 2016, 63: 336-341.
- [7] SCHNEIDER-R M, GEIBLER U, et al. Development and status of Cu ball/wedge bonding in 2012[J]. Journal of electronic materials, 2013, 42(3): 558-595.
- [8] TSENG Y W, HUNG F Y, LUI T S. Microstructure, tensile and electrical properties of gold-coated silver bonding wire[J]. Microelectronics reliability, 2015, 55(3/4): 608-612.
- [9] HSUEH H W, HUNG F Y, LUI T S, et al. Microstructure, electric flame off (EFO) characteristics and tensile properties of silver-lanthanum alloy wire[J]. Microelectronics reliability, 2014, 54(11): 2564-2569.