

镀钯铜线性能对键合质量的影响研究

曹 军¹, 范俊玲², 薛铜龙¹

(1.河南理工大学 机械与动力工程学院,河南 焦作 454000;2.焦作大学 化工与环境工程学院,河南 焦作 454003)

摘要: 研究了不同性能镀钯铜线对其键合质量的影响,分析了不同钯层厚度、不同延伸率和拉断力、镀钯铜线热影响区长短对铜线键合质量的作用机制.研究表明:镀钯铜线钯层厚度过小会造成 Electronic-Flame-Off (EFO) 过程中的 Free Air Ball (FAB) 偏球、第一焊点形状不稳定及钯层分布不均匀;延伸率过小和拉断力过大会造成焊点颈部应力集中,并产生微裂纹而造成焊点的拉力和球剪切力偏低;镀钯铜线的高强度和低延伸率降低其再结晶温度,造成热影响区和颈部晶粒粗大,降低其力学性能,焊接过程中产生颈部裂纹和塌丝.

关键词: 镀层厚度;延伸率;拉断力;热影响区;键合

中图分类号: TG249.7 文献标志码: A 文章编号: 1005-0299(2014)05-0048-06

Investigation of copper coating Pd wire properties and bonding quality

CAO Jun¹, FAN Junling², XUE Tonglong¹

(1.School of Mechanical and Power Engineering, HeNan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China;
2.Chemical and Environmental Engineering Institute, Jiaozuo University, Jiaozuo 454003, China)

Abstract: The different mechanical properties of Pd coated copper wire were investigated, and the effects of Pd thickness, wire elongation/strength and wire HAZ on the strength of copper wire bonding were discussed. It is found that small Pd thickness can cause the Pd elements to distribute non-uniformly on Free Air Ball after Electronic Flame Off, lead to form a Golf ball, and the ball shape will be unstable. Small elongation and high tensile strength may cause micro-crack at the bonding neck, thus resulting in insufficient bonding strength. High tensile strength and small elongation of copper coating Pd wire can decrease the temperature of recrystallization, increase the length of HAZ, and form excessive large grain on the neck, those can cause some crack on the neck and flat wire, then reduce the life of device.

Keywords: Pd thickness; elongation; tensile strength; HAZ; bonding

键合铜线以其低的成本因素、优良的电学性能和力学性能,在微电子封装逐步替代金线应用于中低端半导体器件中,但实际应用中,由于铜线本身容易腐蚀(氧化)、Cu/Al金属间化合物在高温高湿环境下容易失效等原因,在大规模集成电路及LED封装中的应用受到了限制^[1-5].镀钯铜线在铜线表面形成一层纯钯,能够有效提高铜线的耐腐蚀性能及高温高湿环境下器件的可靠性.随着集成电路及半导体器件向封装多引线化、高集成度和小型化发展,要求使用线径更细、性能更

好的键合丝进行窄间距、长距离的键合,镀钯铜线以其良好的性能,在大规模集成电路及LED中逐渐替代键合金线应用于芯片和引脚的连接^[6-15].近年来,国内外学者对在微细铜线的镀钯进行了较多的试验研究.HANG C J和PERSIC J等在微细铜线上直接涂镀金属钯,得到了镀层均匀的镀钯铜线^[16];TANNA Suresh, PISIGANJairus L等研究了镀钯铜线上的金属钯对FAB硬度的影响,得出了金属钯能够降低FAB硬度的结论^[17].但其中多数研究涉及的是有关镀钯铜线及镀钯铜线性能方面的研究,而对于镀钯铜线性能对键合质量的影响研究鲜有论述.本文通过对镀钯铜线不同钯层厚度及不同力学性能的镀钯铜线对键合质量的影响进行研究,进一步探究镀钯铜线性能对键合

收稿日期: 2013-05-02.

基金项目: 甘肃省科技攻关项目(2GS064-A52-05).

作者简介: 曹 军(1979-),男,讲师.

通信作者: 曹 军, E-mail: cavan@hpu.edu.cn.

质量的影响因素,为镀钯铜线的生产及在微电子方面的应用提供理论依据。

1 试验

1.1 试验材料

试验材料为 0.020 mm 不同钯层厚度的镀钯铜线,钯层厚度分别为 PdCu1: 35 ~ 50 nm、PdCu2: 85 ~ 100 nm, PdCu1、PdCu2 镀钯铜线分别在不同温度下进行热处理,力学性能分别为: PdCu1、PdCu2 在 250 °C 热处理 3 s, PdCu1-1、PdCu2-1 延伸率为 1.8%, 拉断力为 27.2 g; PdCu1、PdCu2 在 510 °C (θ) 温度热处理 4 s, PdCu1-2、PdCu2-2 延伸率为 15.2%, 拉断力为 7.82 g. PdCu1、PdCu2 镀钯铜线不同热处理条件下的性能变化如图 1、图 2 所示。

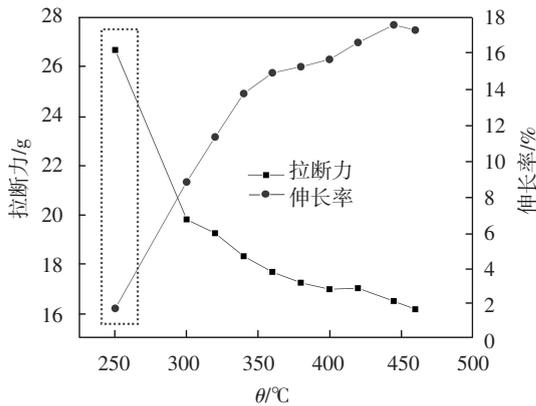


图 1 镀钯铜线拉断力和延伸率与退火温度的关系曲线 ($t = 3$ s)

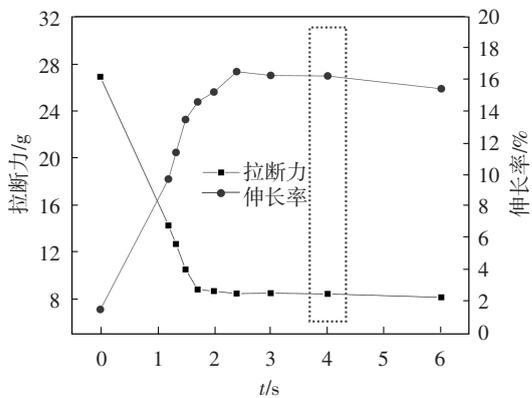


图 2 镀钯铜线拉断力和延伸率与退火时间的关系曲线 ($\theta = 510$ °C)

1.2 试验方法

分别采用 PdCu1-1、PdCu1-2、PdCu2-1 和 PdCu2-2 镀钯铜线在自动键合设备上 进行键合试验,键合设备型号:ESEC Wire Bonder 3100 Plus,封装形式:Smart Card Film,劈刀类型:SPT SU-25140-415E-ZU36-E,键合参数如表 1~3 所示,键合过程

中采用 95% N_2 + 5% H_2 混合气体保护,气体流量 0.6 L/min,采用 Dage Series 4000, BS250 测试仪对键合点的拉力、剪切力进行测试,并对测试数据进行统计分析,采用 V400ACE Focused Ion beam (FIB)、JEOL JSM-6700F 扫描电镜(EDS)对不同性能镀钯铜线试验样品的键合形貌进行分析。

表 1 球键合参数

接触压力/g	键合压力/g	超声功率/mW	键合时间/ms
85	45	160	9

表 2 楔键合参数

键合压力 1/g	超声功率 1/mW	键合时间 1/ms	键合压力 2/g	超声功率 2/mW	键合时间 2/ms
90	400	3	85	130	4

表 3 烧球参数

预放电电压/V	烧球电流/A	烧球时间/ms	尾线长度/ μ m
5 000	0.52	0.45	180

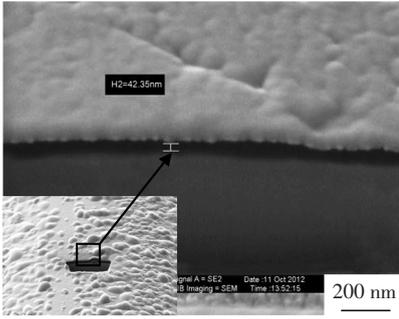
2 分析与讨论

2.1 不同钯层厚度对键合质量的影响研究

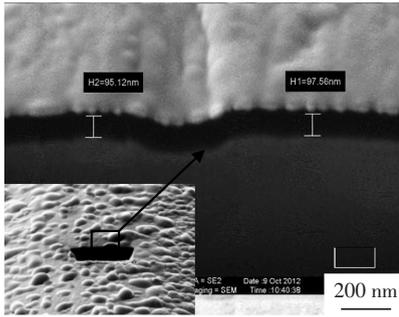
图 3 是不同钯层厚度铜线的 FIB 图片,可以看出, PdCu1、PdCu2 钯层厚度分别为 42.35 和 95 nm. 图 4 分别是 PdCu1、PdCu2 镀钯铜线经过 EFO 后的 FAB 图片,可以看出, PdCu1 镀钯铜线经过 EFO 后其 FAB 成球较偏,呈高尔夫球杆状,如图 4(a) 所示; PdCu2 镀钯铜线成球规则,对称性较好,如图 4(b) 所示. 图 5 为 PdCu1、PdCu2 镀钯铜线 FAB 的 EDS 分析. 从图 5(a) 中可以看出, PdCu1 镀钯铜线的 FAB 上钯的分布不均匀,在曲率较小处钯的含量较高,曲率较大处钯含量较低,甚至部分区域检测不到金属钯;而 PdCu2 镀钯铜线的 FAB 上,钯的分布较均匀,且整个球上都有钯的存在,如图 5(b) 所示。

镀钯铜线经过 EFO 后,钯和铜同时熔化并迅速凝固成 FAB, FAB 直径的尺寸约为线径的 2~3 倍, PdCu1 镀钯铜线由于其镀层较薄,其钯不能够均匀分布于 FAB 上,由于 Pd 在熔点温度时 (1 554 °C) 的表面张力为 1 500 mN/m, Cu 在熔点温度时 (1 084 °C) 的表面张力为 1 290 mN/m; 当两者均熔化时状态 (温度应高于 1 554 °C), Cu 的表面张力明显小于 Pd, 在凝固过程中, 由于表面张力的影响在钯含量较多的区域, 凝固后其曲率半径较小, 造成高尔夫球杆形状的 FAB; PdCu2 由于钯层厚度较厚, 在熔化成球后, 钯原子能够均

匀的分布在 FAB 上,其成球形状较好.而对于高尔夫球杆状的 FAB,在键合后第一焊点将形成不规则的第一焊点,且在曲率较大位置铜将会溢出,从而造成焊线的短路;此外,高尔夫球杆状 FAB 会造成焊接区域减少,降低第一焊点的拉力和剪切力.因此,对于 0.020 mm 镀钯铜线,钯层厚度不应该低于 95 nm,亦即钯层厚度应该不低于线径的 0.47%.

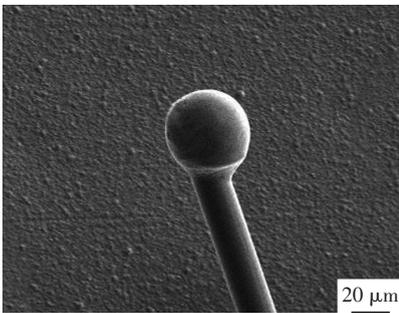


(a) PdCu1 镀钯铜线 (42.35 nm)

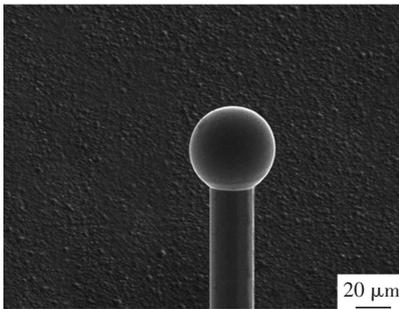


(b) PdCu2 镀钯铜线 (96.34 nm)

图 3 镀钯铜线 PdCu1 与 PdCu2 钯层厚度的 FIB 分析

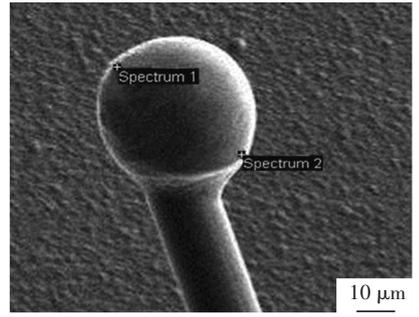


(a) PdCu1 镀钯铜线铜球形貌

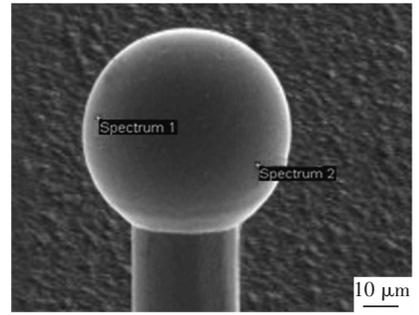


(b) PdCu2 镀钯铜线铜球形貌

图 4 PdCu1 镀钯铜线与 PdCu2 镀钯铜线铜球形貌



(a) PdCu1 镀钯铜线铜球 EDS 分析



(b) PdCu2 镀钯铜线铜球 EDS 分析

图 5 PdCu1 镀钯铜线与 PdCu2 镀钯铜线铜球 EDS 分析

2.2 不同力学性能对键合性能的影响研究

图 6~9 是分别采用 PdCu2-1、PdCu2-2 镀钯铜线键合后,球尺寸、球剪切力、拉力测试统计分析结果.

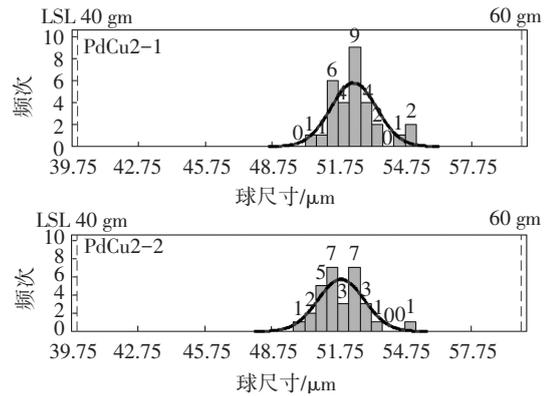


图 6 PdCu2-1、PdCu2-2 球尺寸统计分析

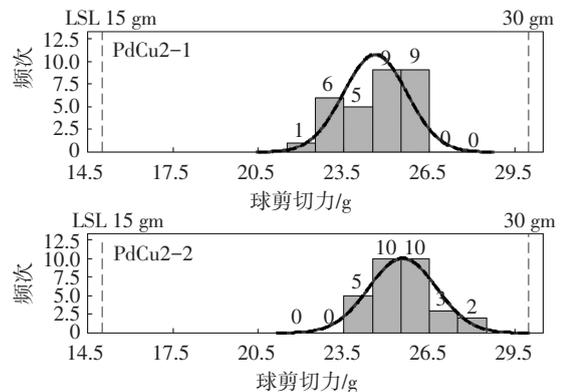


图 7 PdCu2-1、PdCu2-2 球剪切力统计分析

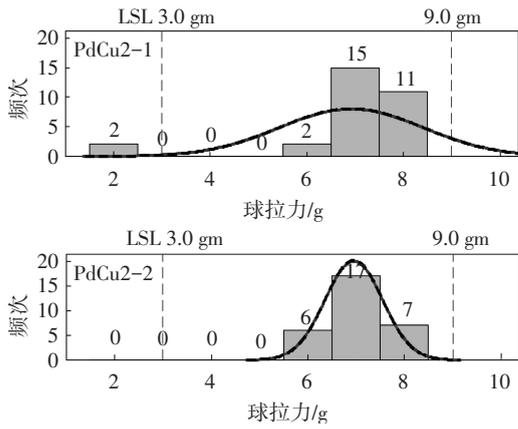


图8 PdCu2-1 和 PdCu2-2 镀钯铜线键合后球拉力分析

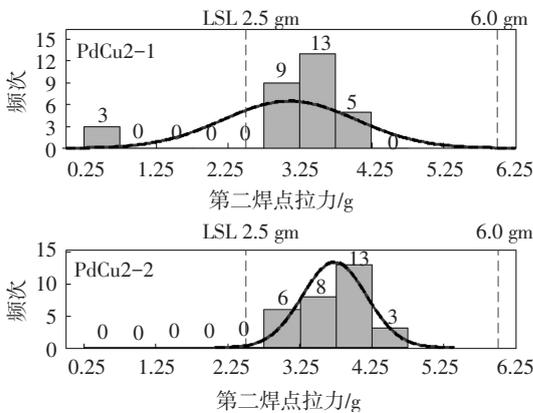


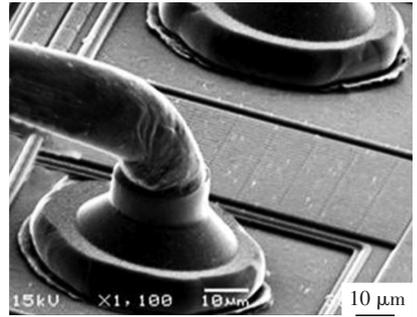
图9 PdCu2-1 和 PdCu2-2 镀钯铜线键合后第二焊点拉力分析

从图6、图7可以看出,PdCu2-1、PdCu2-2经过EFO成球后,其球尺寸大小没有差别,同时两种不同力学性能镀钯铜线的球剪切力大小相同;而PdCu2-1镀钯铜线的拉力存在个别偏低(低于3g),如图8、图9所示,导致器件失效。

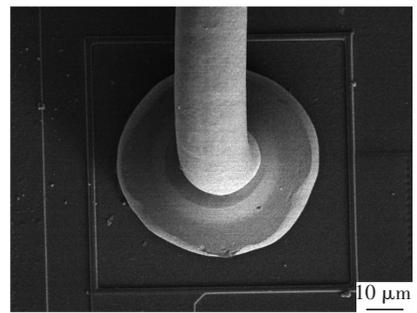
PdCu2-1、PdCu2-2在EFO过程中熔化成球,且尾丝长度一致,由于铜的导热性能好,并在外界气流作用下铜球从与铜线连接方向开始定向凝固形成柱状晶组织,镀钯铜线力学性能的差异在熔化并再次凝固之后将不再存在,因此,PdCu2-1、PdCu2-2球尺寸的大小和球剪切力不存在差异。

图10、图11分别是PdCu2-1镀钯铜线和PdCu2-2镀钯铜线键合后第一焊点和第二焊点的显微形貌,从图10可以看出,不同力学性能对第一焊点颈部影响,第一焊点颈部需要反复大变形来完成焊线的成拱,PdCu2-1镀钯铜线由于其强度高且加工硬化严重,热超声键合在瞬间产生较大变形,从而会导致严重的应力集中,如果线材本身存在应力,其塑性变形能力不足,则在超声、压力和温度等复合场的作用下,使第一焊点颈部产生严重应力集中并伴有滑移产生(图10(a)),

进而引起微裂纹,致使第一焊点颈部断裂而失效。对于第二焊点,其键合过程中是线材在劈刀作用下,对其施加一定的超声和压力实现第二焊点的键合连接,PdCu2-1镀钯铜线的延伸率偏低,同时强度较高,其键合过程中由于铜线内部存在明显的应力集中,会造成第二焊点颈部开裂,如图11(a)所示。

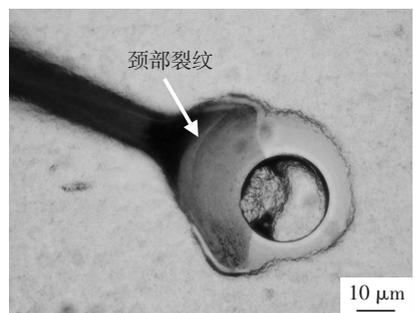


(a) PdCu2-1 镀钯铜线形貌(颈部裂纹)

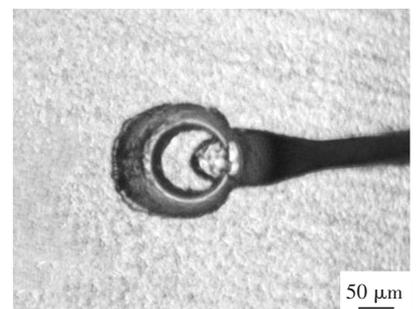


(b) PdCu2-2 镀钯铜线形貌

图10 PdCu2-1 与 PdCu2-2 镀钯铜线第一焊点形貌



(a) 第二焊点颈部裂纹



(b) 第二焊点无鱼尾

图11 PdCu2-1 镀钯铜线第二焊点形貌

此外,因 PdCu2-1 镀钯铜线强度高延伸率低,其塑性变形能力较差,还会造成第二焊点无鱼尾,如图 11(b)所示,致使第二焊点键合区域小,拉力过低,造成器件失效。

2.3 不同力学性能(延伸率和拉断力)对镀钯铜线热影响区的影响研究

图 12 为 PdCu2-1、PdCu2-2 镀钯铜线的热影响区,可以看出 PdCu2-1 的热影响区高于 PdCu2-2 的热影响区,其长度分别为 150 和 120 μm 。

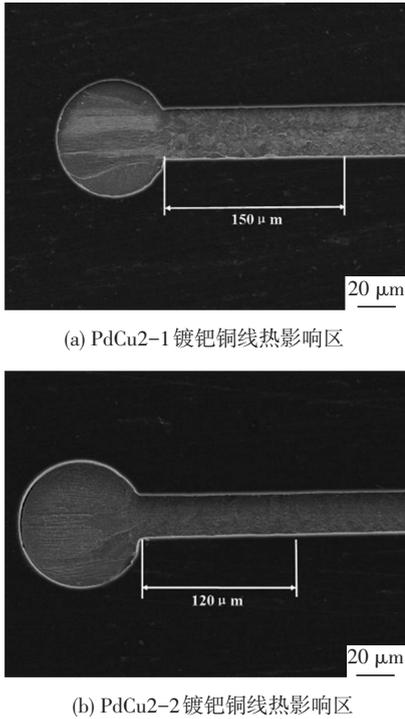


图 12 PdCu2-1 与 PdCu2-2 镀钯铜线热影响区长度

PdCu2-1 镀钯铜线具有高强度和低延伸率,线材内部存在加工硬化现象,并存在较多的滑移、位错等缺陷,这些内部缺陷会造成线材再结晶温度的降低,亦即 PdCu2-1 线材的再结晶温度低于 PdCu2-2 线材, PdCu2-1 镀钯铜线的热影响区长度高于 PdCu2-2 镀钯铜线。在 EFO 过程中,由于受到端部热流的影响, PdCu2-1 线材由于内部缺陷较多,参与形核的原子团较多,加上低的再结晶温度,在其颈部容易形成粗大晶粒,造成线材颈部力学性能降低,焊接过程中容易造成颈部裂纹和塌丝现象,尤其在低弧度焊接中,造成器件失效。

3 结 论

1) 钯层厚度影响 FAB 形状,过小(低于线径的 0.47%)的钯层厚度会形成高尔夫球杆状 FAB 球,且其 FAB 球钯层分布不均匀,钯层厚度不应低于线径的 0.47%。

2) 镀钯铜线的力学性能(延伸率和拉断力)对 FAB 尺寸和球剪切力没有影响,高强度、低延伸率的镀钯铜线因应力集中而引起焊点颈部裂纹,塑性变形能力差而降低第二焊点连接区域,降低焊点的连接强度。

3) 高强度、低延伸率镀钯铜线的内部应力缺陷降低镀钯铜线的再结晶温度,增加镀钯铜线的热影响区长度,在其颈部形成粗大晶粒,造成颈部裂纹或塌丝。

参考文献:

- [1] 丁雨田,曹军,胡勇,等.冷变形和热处理对单晶 Cu 键合丝性能影响[J].机械工程学报,2009,45(4):83-88.
DING Yutian, CAO Jun, HU Yong, et al. Effects of annealing and drawing on properties of single crystal copper bonding wire [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2009, 45(4): 83-88.
- [2] SAIKI H, MARUMO Y, NISHITAKE H, et al. Deformation analysis of Au wire bonding [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2006, 177: 709-712.
- [3] 曹军,丁雨田,郭庭彪.铜线性能及键合参数对键合质量影响研究[J].材料科学与工艺,2012,20(4):76-79.
CAO Jun, DING Yutian, GUO Tingbiao. Effect of copper properties and bonding parameters on bonding quality [J]. Materials Science and Technology, 2012, 20(4): 76-79.
- [4] MURALI S, SRIKANTH N, CHARLES J. Grains deformation substructures and slip bands observed in thermosonic copper ball bonding [J]. Materials Characterization, 2003(50):39-50.
- [5] ELLIS T W, LEVINE L, WICEN R. Copper: Emerging material for wire bond assembly [J]. Solid State Technology, 2000,43(4):71-77.
- [6] 曹军,丁雨田,曹文辉.单晶铜键合丝制备过程中的断线研究[J].机械工程学报,2010,46(22):84-89.
CAO Jun, DING Yutian, CAO Wenhui. Research of break line in single crystal copper bonding wire drawing [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46(22): 84-89.
- [7] HUNG F Y, LUI T S, CHEN L H, et al. An investigation into the crystallization and electric flame-off characteristics of 20 μm copper wires [J]. Microelectronics Reliability, 2011(51):21-24.
- [8] SRIKANTH N, MURALI S, HONG Y M, et al. Critical study of thermosonic copper ball bonding [J].

- Thin Solid Films, 2004, (462-463): 339-345.
- [9] REZVANI A, MAYER M, SHAH A, et al. Free-air ball formation and deformability with Pd coated Cu wire. (2011) Proceedings-Electronic Components and Technology Conference, ART. no. 5898711: 1516-1522.
- [10] TOMOHIRO Uno. Enhancing bondability with coated copper bonding wire [J]. Microelectronics Reliability, 2011, (51): 88-96.
- [11] WONG Z W. Wire bonding using copper wire [J]. Microelectron Int, 2009, 26(1): 6-10.
- [12] KAIMURI S, NONAKA T, MIZOGUCHI A. The development of Cu bonding wire with oxidation-resistant metal coating [J]. IEEE Transactions on Advanced Packaging, 2006, 29 (2): 227-231.
- [13] YOW K Y, EU P L. Focused heat treatment after bonding for Cu wire bond reliability improvement [c]//. Proc. 10th Electronics Packaging Technology Conference. Singapore: [S.n.], 2008: 965-970.
- [14] LI Junhui, LIU Linggang, MA Bangke, et al. Dynamics features of Cu-wire bonding during overhang bonding process [J]. IEEE Electron Device Letters, 2011, 32(12): 1731-1733.
- [15] LI Junhui, DUAN Jian, HAN Lei, et al. Microstructural characteristics of Au/Al bonded interfaces [J]. Materials Characterization, 2007 (58): 103-107.
- [16] HANG C J, SONG W H, LUM I, et al. Effect of Electronic Flame off parameters on copper bonding wire: Free-air ball deformability, heat affected zone length, heat affected zone breaking force [J]. Microelectronic Engineering, 2009, 8 (10): 2094-2103.
- [17] TANNA Suresh, PISIGAN Jairus L, SONG W H, et al. Low cost Pd coated ag bonding wire for high quality fab in air [C]//Electron Comp Technology Conference (ECTC). San Diego: [S.n.], 2012.

(编辑 吕雪梅)