

银丝键合烧球参数对键合质量的影响

周文艳, 吴永瑾*, 陈家林, 杨国祥, 孔建稳, 康菲菲

(昆明贵金属研究所, 贵研铂业股份有限公司 稀贵金属综合利用新技术国家重点实验室, 昆明 650106)

摘要: 经键合试验, 测试焊线挑断力和焊球推力, 观察焊球和电极界面形貌, 研究了烧球电流和时间对银键合丝键合质量的影响。结果表明, 随烧球电流增大、时间延长, 键合无空气焊球(FAB)直径增大; FAB球颈晶粒尺寸是电流和时间共同作用的结果, 晶粒尺寸越大、挑断力越小, 18 mA-1.0 ms烧球所得挑断力最小; 在FAB尺寸相近的前提下随烧球电流减小, 焊球推力降低, 键合过程中电极易受损导致电极材料挤出率增大; 高电流-短时间(23 mA-0.6 ms)烧球有利于银丝获得较好的键合质量。

关键词: 金属材料; 银键合丝; 烧球; 电流; 时间; 键合质量; 无空气焊球(FAB)

中图分类号: TG146.3⁺² **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0676(2017)03-0034-06

Effect of Electronic Flame Off Parameters on the Bonding Using Silver Wire

ZHOU Wenyan, WU Yongjin*, CHEN Jialin, YANG Guoxiang, KONG Jianwen, KANG Feifei

(Kunming Institute of Precious Metals, State Key Laboratory of Advanced Technologies for Comprehensive Utilization of Platinum Metals, Sino-Platinum Metals Co. Ltd., Kunming 650106, China)

Abstract: The effect of electronic flame off current and time on the bonding quality of silver wire was studied via bonding, wire pulling and ball shearing test. Results showed that diameter of the FAB enlarged with the increase of current and time. Grain size at the ball neck was the combined result of current and time. Larger grain would lead to smaller pulling force, thus the pulling force reached the minimum value at 18 mA-1.0 ms. With the current decreasing on the basis of similar FAB size, ball shear force decreased and the percentage of gold bleeding out increased as a result of electrode damage. The bonding at a higher current and for a shorter time (23 mA-0.6 ms) resulted in comprehensively better quality.

Key words: metal materials; silver bonding wire; electronic flame off; current; time; bonding quality; free air ball(FAB)

引线键合的目的是实现芯片与基板电路间的电连接, 因此是半导体封装的关键环节之一^[1]。目前应用的键合丝材料主要有金丝、铜丝、银丝、合金丝和铝硅丝等^[2-3]。银是导电性能最好的有色金属, 线材软度与金相近, 且采用银丝键合可提高LED灯的亮度和散热性^[4-5]。因此, 银丝成为替代金丝以降低封装成本的较为理想的键合丝材料之一。

在引线焊接的工艺中, 球焊键合是最常用的方

法^[6]。影响球焊键合质量的因素较多, 包括材料特性、键合工艺参数、环境气氛等。键合过程中能否形成球形度好、大小一致、表面光滑的无空气焊球(Free air ball, FAB)^[7-9], 是形成良好键合的关键因素之一。因此, 烧球参数的选择是影响球焊键合质量的主要因素。一些学者针对烧球参数对键合质量的影响展开了研究, Chen等^[10]研究了尾丝长度、劈刀类型、材料特性及烧球参数等对成球过程的影响,

收稿日期: 2016-10-20

基金项目: 云南省科技创新平台建设计划院所技术开发专项(2015DC016)。

第一作者: 周文艳, 女, 博士, 研究方向: 贵金属功能材料。E-mail: zhouwenyan4058@126.com

*通讯作者: 吴永瑾, 男, 工程师, 研究方向: 贵金属功能材料。E-mail: wyj@ipm.com.cn

田艳红等^[11]的研究表明烧球电流和烧球时间是影响球直径的主要因素。然而，已有研究涉及的多是键合金丝及镀钎铜丝，对键合银丝鲜有论述。

本文以银基键合丝为研究对象，探讨烧球电流和时间 2 个主要参数对键合质量的影响，为银基键合丝在微电子封装中的应用提供支持。

1 实验

1.1 材料

实验材料为贵研铂业股份有限公司生产的 S5 型银基键合丝，丝直径为 20 μm ，断裂负荷为 6.5~7.5 cN，延伸率为 10%~14%。采用贴片式 2835 LED 灯珠进行键合试验。

1.2 试验方法

键合设备为 HANS-5201 H 型(大族光电公司)平面焊线机。每组烧球参数键合灯珠数量为 936 个，共键合 1872 条线，烧球电流为 14~23 mA，烧球时间为 0.6~1.4 ms，打火空气击穿电压为 6000 V。

用 DS2-5N 数显推拉力计(深圳市安睿特测量仪器有限公司)进行焊线挑断力和焊球推力测试。每组参数下分别测试至少 10 条焊线的挑断力和焊球推力，取其平均值为测定结果。

用 SZM45-T1 连续变倍体式显微镜(舜宇光学科技有限公司)观察第一焊点电极的金挤出情况并计数，以金挤出焊点数占焊点总数的百分比(金挤出率)表征各组参数下的金挤出情况。

用 Hitachi S-3400N 扫描电子显微镜观察 FAB 及焊点推球测试前后的形貌。

2 结果与讨论

2.1 烧球参数对 FAB 成形的影响

键合过程中烧球电流和烧球时间是影响 FAB

成形的主要因素。图 1 所示为不同烧球电流下 FAB 直径随烧球时间的变化。

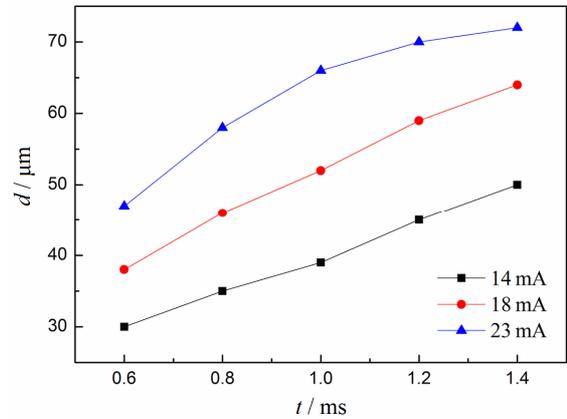


图 1 不同电流下 FAB 直径随烧球时间的变化

Fig.1 Variation of FAB diameter with time under different current

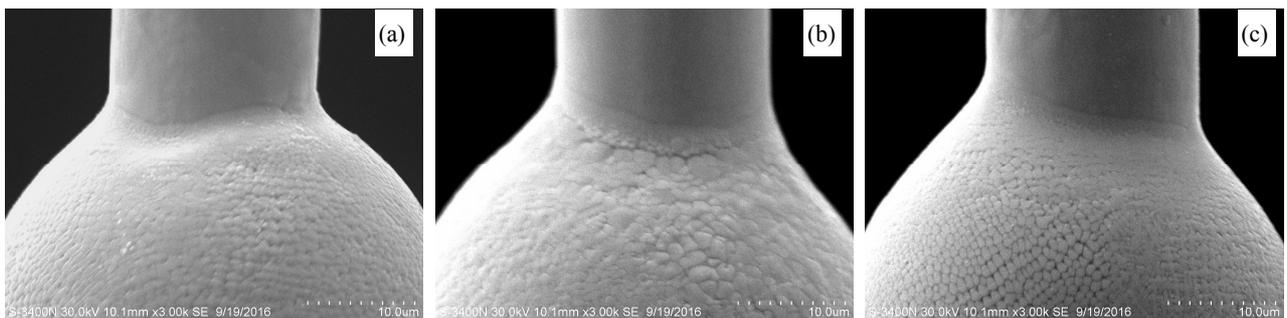
由图 1 可见，随电流增大、时间延长，FAB 直径均增大。球焊键合工艺中较适宜的 FAB 直径一般为线径的 2~3 倍^[12]。

本文以线径的 2.5 倍，即 50 μm 为 FAB 直径，选择 5 组烧球电流和烧球时间参数(如表 1 所列)，研究烧球参数对银丝键合质量的影响。图 2 所示为 23/6、18/10、14/14 三组参数下球颈部的形貌。

表 1 烧球电流与烧球时间参数

Tab.1 Parameters of electronic flame off current and time

参数代码	烧球电流/mA	烧球时间/ms
23/6	23	0.6
20/8	20	0.8
18/10	18	1.0
16/12	16	1.2
14/14	14	1.4



(a). 23/6; (b). 18/10; (c). 14/14

图 2 不同烧球参数下 FAB 球颈部 SEM 图像 Fig.2 SEM images of FAB neck under different parameters

对比可见, 图 2(b)中球颈部的晶粒尺寸明显大于图 2(a)、(c), 且在垂直于轴线方向出现了较明显的环形裂纹。烧球过程中, 线尾在电火花作用下熔化形成 FAB 的同时, 球颈部也获得一定的能量。23/6 参数下由于电流较大, 球颈部单位时间内获得的能量较高, 但电火花作用时间很短, 因此球颈部未出现异常的晶粒长大。18/10 参数下虽然单位时间内球颈部获得的能量低于前者, 但烧球时间延长了近一倍, 因此球颈部发生较明显的晶粒长大; 晶粒尺寸较大时缓解热应力的能力下降^[13], 因此在烧球结束后, 由于冷却过程中产生的热应力的作用, 在垂直于轴线方向产生环形裂纹。当烧球参数为 14/14 时, 虽然烧球时间延长, 但由于球颈部单位时间内获得的能量较低, 晶粒长大变缓, 因此球颈部未出现明显晶粒长大或裂纹。

2.2 烧球参数对键合质量的影响

2.2.1 键合强度

焊线结束后, 采用焊线挑断力、焊球推力测试评价上述 5 组烧球参数下的键合强度, 结果如图 3 所示。

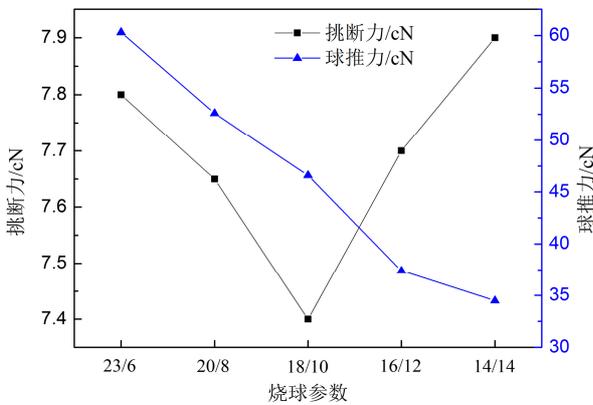


图 3 不同烧球参数下焊线挑断力、焊球推力测试结果

Fig.3 Results of wire pull and ball shear force under different parameters

由图 3 可见, 在 18/10 参数下挑断力最低。结合图 2 可知, 此条件下球颈部晶粒尺寸较大, 且由前述分析可推测其球颈部以上的热影响区再结晶晶粒的尺寸也会在一定程度上大于其他条件下, 根据 Hall-Petch 法则^[14]:

$$\sigma_y = \sigma_0 + kd^{1/2} \quad (1)$$

式中 σ_y 是材料的屈服极限, σ_0 表示移动单个位错时产生的晶格摩擦阻力, k 为与材料种类和晶粒尺寸有关的常数, d 为平均晶粒尺寸。

由式(1)可知, 球颈部及热影响区晶粒的尺寸较大时, 晶界阻碍位错运动并减少应力集中的作用减弱^[15-16], 即式中 σ_0 降低而 d 增大, 故 σ_y 减小。挑断力测试过程中基本以球颈部或球颈部以上热影响区部位断裂为主, 由于 18/10 参数晶粒尺寸大且有裂纹, 因此挑断力最低。

此外, 图 3 显示焊球推力随电流减小而逐渐降低。据已有研究结果^[17], 键合过程中焊球前端熔化较充分。采用高电流-短时间, 与低电流-长时间烧球参数相比, 前者所能达到的最高温度值较高, 焊球的变形能力较好而有利于键合, 获得的焊球与电极的结合强度较高, 因此推力值较高; 而低电流条件下 FAB 所能达到的最高温度值较低, 因而变形能力较差, 与电极不能形成良好结合, 故推力值降低。

2.2.2 电极材料挤出

除挑断及推力等强度外, 评价键合质量还需考察焊点的形貌及推球后是否有残余金属等指标^[18]。银丝键合过程中由于 FAB 硬度等问题会造成第一焊点电极材料挤出现象, 如图 4 所示。

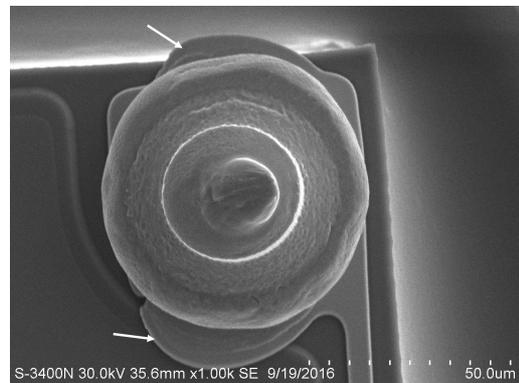


图 4 电极金挤出形貌

Fig.4 Morphology of the electrode with gold bleeding out

如图 4 中箭头所指位置所示, 电极发生明显变形导致电极金挤出现象, 而发生挤出的电极由于与 p 极搭接或破损而易引发器件短路或其他可靠性问题, 属不良键合。

统计计算了不同烧球参数下，发生金挤出的第一焊点数量占第一焊点总数的比例，即金挤出率，结果如图 5 所示。

由图 5 可见，随烧球电流降低，金电极挤出率逐渐增大。与前述类似，烧球电流越高时，熔融 FAB 所能达到的最高温度值越高，因此 FAB 较软^[19]、变形能力较好而不易损伤电极。相反电流较低时，最高温度值较低，使 FAB 较硬、变形能力差，FAB 被劈刀压下并与电极焊合的过程中易损伤电极，故金挤出率随电流降低而逐渐增大。

2.2.3 推球后电极和键合面形貌

图 6 所示为 23/6 烧球参数下推球测试后电极和焊球键合面的形貌。

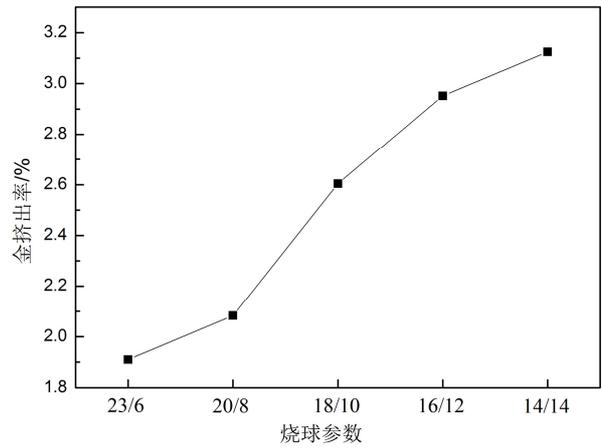


图 5 不同烧球参数下的金挤出率

Fig.5 Percentages of gold bleeding out under different parameters

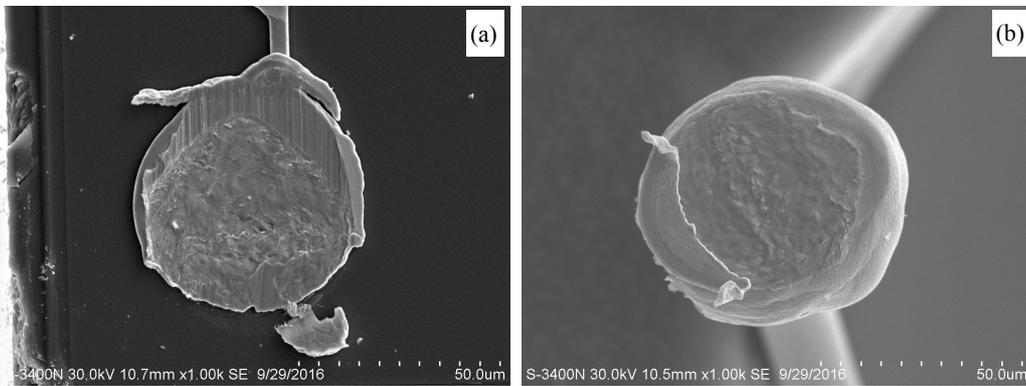


图 6 23/6 烧球参数下推球测试后电极(a)和焊球(b)键合面形貌

Fig.6 Morphology of electrode (a) and ball (b) after shear test under the parameter of 23/6

由图 6 可见，焊球被推掉后电极基本保持完整，由焊球键合面可见界面连接面积达 80%以上。表明在此烧球参数下焊球与电极界面结合较好，同时焊

线的强度较高，电极损伤较少，综合键合质量较好。

图 7 所示为 14/14 烧球参数下推球后电极和焊球键合面的形貌。

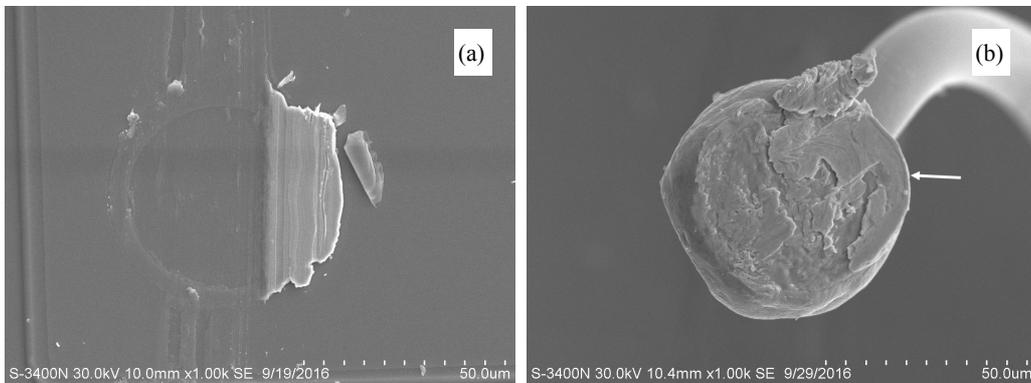


图 7 14/14 烧球参数下推球后电极(a)和焊球(b)键合面的形貌

Fig.7 Morphology of electrode (a) and ball (b) after shear test under the parameter of 14/14

由图 7(a)可见焊球被推掉的同时约 2/3 的电极也一同被推掉,而焊球键合界面(图 7(b))较不平整,且粘附有部分电极材料(箭头所指位置)。此烧球参数下焊球硬度较高,电极受损较多,电极与芯片间的结合受到一定的破坏,因此易于被推掉,是导致低电流条件下焊球推力值降低的原因之一。在应用于 LED 照明时,出现这种现象的芯片也容易引发器件可靠性问题^[20],属于不合格品。

综上所述,经对银键合丝进行 FAB 形貌、挑断力、焊球推力、电极金挤出率及键合界面形貌表征分析,采用高电流-短时间(23 mA-0.6 s)烧球,球颈部晶粒长大不明显、焊球变形能力好,有利于银丝获得良好的键合质量。

3 结论

1) 随烧球电流、时间提高,键合过程中的无空气焊球(FAB)直径增大。采用中等电流-中等时间参数(18 mA-0.6 ms)烧球时,球颈部晶粒较大,在垂直于轴线方向产生环形裂纹,焊线挑断力低。

2) 随烧球电流减小,焊球推力降低;同时,低电流长时间烧球参数下键合时电极易受损,导致电极材料挤出率增大。

3) 采用高电流-短时间(23 mA-0.6 ms)的烧球参数,焊球与电极界面结合较好,焊线的键合强度较高,电极损伤较少,所得银丝键合质量较好。

参考文献:

- [1] GOMES J, MAYER M, LIN B. Development of a fast method for optimization of Au ball bond process[J]. *Microelectronics reliability*, 2015,55: 602-607.
- [2] 田春霞. 电子封装用导电丝材料及发展[J]. *稀有金属*, 2013, 27(6): 782-787.
TIAN C X. Materials of conducting silks and their development using in electronics packaging[J]. *Chinese journal of rare metals*, 2013, 27(6): 782-787.
- [3] 陈永泰, 谢明, 王松, 等. 贵金属键合丝材料的研究进展[J]. *贵金属*, 2014, 35(3): 66-70.
CHEN Y T, XIE M, WANG S, et al. Research progress on the precious metal bonding wire materials[J]. *Precious metals*, 2014, 35(3): 66-70.
- [4] CHUANG T H, LIN H J, CHUANG C H, et al. Thermal stability of grain structure and material properties in an annealing twinned Ag-4Pd alloy wire[J]. *Journal of alloys and compounds*, 2014, 615(6): 891-898.
- [5] 马晓霞, 李玉芹, 范红, 等. 一种键合金银合金丝的制备方法: CN201210259179.3[P]. 2012-11-14.
MA X X, LI Y Q, FAN H, et al. Fabrication method of a Au-Ag alloy bonding wire: CN201210259179.3[P]. 2012-11-14.
- [6] 黄玉财, 程秀兰, 蔡俊荣. 集成电路封装中的引线键合技术[J]. *电子与封装*, 2006, 6(7):16-20.
HUANG Y C, CHENG X L, CAI J R. Wire bonding technology in IC packaging[J]. *Electronics and packaging*, 2006, 6(7):16-20.
- [7] PEQUEGNAT A, HANG C J, MAYER M, et al. Effect of EFO parameters on Cu FAB hardness and work hardening in thermosonic wire bonding[J]. *Journal of materials science: materials in electronics*, 2009, 20: 1144-1149.
- [8] GUO R, GAO L M, MAO D L, et al. Study of free air ball formation in Ag-8Au-3Pd alloy wire bonding[J]. *Microelectronics reliability*, 2014, 54(11): 2550-2554.
- [9] PEQUEGNAT A, KIM H J, MAYER M. Effect of gas type and flow rate on Cu free air ball formation in thermosonic wire bonding[J]. *Microelectronics reliability*, 2011, 51(1): 43-52.
- [10] CHEN J L, LIN Y C. A new approach in free air ball formation process parameters analysis[J]. *IEEE transactions on electronics packaging manufacturing*, 2000, 23(2): 116-122.
- [11] 田艳红, 杨东升, 王春青. 细铜丝超声球焊烧球工艺参数优化及铜球组织分析[J]. *焊接学报*, 2011, 32(1): 41-44.
TIAN Y H, YANG D S, WANG C Q. Optimization on parameters of electronic flame off process of ball bonds with fine diameter copper wire[J]. *Transactions of the China welding institution*, 2011, 32(1): 41-44.
- [12] 郭迎春, 杨国祥, 孔建稳, 等. 键合金丝的研究进展及应用[J]. *贵金属*, 2009, 30(3): 68-71.
GUO Y C, YANG G X, KONG J W, et al. Development and application of gold bonding wires[J]. *Precious metals*, 2009, 30(3): 68-71.
- [13] 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.
- [14] HANG C J, WANG C Q, TIAN Y H, et al. Microstructural study of copper free air balls in thermosonic wire bonding[J]. *Microelectronic engineering*, 2008, 85(8): 1815-1819.

[15] KIM K S, SONG J Y, CHUNG E K, et al. Relationship between mechanical properties and microstructure of ultra-fine gold bonding wires[J]. *Mechanics of materials*, 2006, 38(1): 119-127.

[16] 杨国祥, 郭迎春, 孔建稳, 等. 稀土元素对键合金丝组织与性能的影响[J]. *贵金属*, 2011, 32(1): 16-19.
YANG G X, GUO Y C, KONG J W, et al. Effects of rare earth elements on structure and properties of gold bonding wire[J]. *Precious metals*, 2011, 32(1): 16-19.

[17] HANG C J, SONG W H, LUM I. 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, 86(10): 2094-2103.

[18] 叶德洪, 宗飞, 刘赫津, 等. 剪切推球测试条件对 Au 球焊点推球结果的影响[J]. *电子工艺技术*, 2011, 32(1): 7-11.
YE D H, ZONG F, LIU H J, et al. Effects of ball shear test setting on ball shear result of Au ball wire bonding[J]. *Electronics process technology*, 2011, 32(1): 7-11.

[19] ZONG Z W, HO H M, TAN Y C, et al. Study of factors affecting the hardness of ball bonds in copper wire bonding[J]. *Microelectronic engineering*, 2007, 84(2): 368-374.

[20] 张亚楠, 韩雷. 欠键合/过键合与功率设置及温度关系的研究[J]. *半导体技术*, 2010, 35(1): 84-89.
ZHANG Y N, HAN L. Study on the relation between under-bonding/over-bonding and power setting & temperature[J]. *Semiconductor technology*, 2010, 35(1): 84-89.

本刊声明

《贵金属》已加入科技期刊学术不端文献检测系统（AMLC），根据严重疑似学术不端文献（ALM）的判定标准：

（1） 本文与发表在前的且本文未注明引用的其他文献的文字重合度大于 40%。

（2） 一稿多发稿件中第一次发表以后重复发表的稿件，包括同一作者改动已经发表的文献再次投稿发表的文章，其改动部分少于 10%。

经系统检测，对存在严重抄袭的稿件，本刊将予以退稿处理。

凡本刊登载的文章，将同时被中国知网、万方数据-数字化期刊群、维普中文科技期刊数据库和超星期刊域出版平台等全文收录，并供本刊授权和合作媒体使用，本刊支付的稿酬已包含作者著作使用费。作者向本刊投稿，即视为同意将文章编入以上数据库。

投稿文稿需通过所在单位保密审查，相关手续由作者自行办理。本刊不承担技术秘密被公开的责任。

《贵金属》编辑部
2017 年 8 月