

微电子封装银合金键合线的研究及发展前景

曹 军, 吴卫星

(河南理工大学 机械与动力工程学院, 河南 焦作 454150)

摘 要: 论述了微电子封装中常用的键合金线、键合铜线和键合银线的局限性, 从机械性能、键合性能、可靠性等方面分析了键合银合金线的特征及作为键合引线的优势, 并在此基础上阐述了键合银合金线重点研究方向以及在未来集成电路封装中的发展前景。

关键词: 微电子封装; 键合引线; 银合金线; 集成电路(IC)封装; 发展前景

中图分类号: TG146.3⁺1, TN4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0676(2017)S1-0007-05

Research and Development Prospect of Ag Alloy Bonding Wire in Microelectronic Packaging

CAO Jun, WU Weixing

(School of mechanical and power engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454150, Henan, China)

Abstract: The limitations of Au bonding wire, Cu bonding wire and Ag bonding wire, which are commonly used in microelectronic packaging, were discussed. The excellent mechanical properties, bonding properties and high reliability of bonding Ag alloy wire were analyzed. And the research direction and development prospect of Ag alloy wire as bonding wire in the future IC packaging were described.

Key words: electronic packaging; bonding wire; Ag alloy bonding wire; IC packaging; development prospect

引线键合以其工艺简单、技术成熟、成本低廉、适合多种封装形式的特点, 在电子封装中依然是主流技术。随着微电子产业的蓬勃发展, 对封装技术的要求越来越高, 芯片封装技术朝着高密度、小型化、适应高发热方向发展, 对键合引线的要求也越来越高, 高密度、高热导率、低弧度、超细直径的键合引线成为了研发重点^[1]。键合金线因其耐腐蚀性好、可靠性高, 在集成电路(IC)封装行业的中高端产品中广泛使用, 但是金线造价昂贵, 为降低封装成本, 市场上又相继推出了各种金线的替代品, 其中键合铜线作为金线的可行性替代材料已经开始应用, 但由于其硬度较大, 键合时容易导致芯片损伤; 且在非气密性封装中易发生腐蚀, 直接影响键合后器件的可靠性, 只能应用于一些中低端产品。键合银线由于其优秀的电热学性能(可降低器件高

频噪声、降低大功率 LED 发热量等)、良好的稳定性及适当的成本因素, 开始逐渐应用于微电子封装中, 但纯银线具有强度低、易发生电子迁移、金属间化合物生长难以控制, 以及较易被腐蚀硫化等弊端, 导致纯银线键合可靠性低, 使之高可靠性、低弧度等封装领域应用受到限制。通过合金化获得高性能键合银合金线^[2-5]是改善键合银线性能的途径, 可有效克服纯银线在电子封装中强度低、电子迁移率高、易腐蚀及集成微电子电路(IMC)生长不易控制等问题, 是键合引线重点研究和发展的方向。

1 常用键合引线在微电子封装中的局限

1.1 键合金线

金线因其良好的稳定性及较易扩散到基体金属

产生一定的连接强度以满足键合连接强度要求,在电子工业中广泛应用。但金线在键合过程中存在纯金强度低且价格昂贵、容易形成塌丝、尾丝过长等问题(如图 1、2 实测图片所示);加入微合金成分后虽然会增大机械强度,但会增加电阻率和降低其抗蠕变能力而断裂失效,封装成本也过高。另外金的耐热性差,再结晶温度较低,球焊时容易造成球颈部断裂;Au-Al 引线键合系统中,由于相互扩散速率差异,在键合界面容易形成引起高电阻或电路开路的柯肯达尔空洞和导致脆性断裂的金属间化合物,导致引线键合失效^[6-7]。

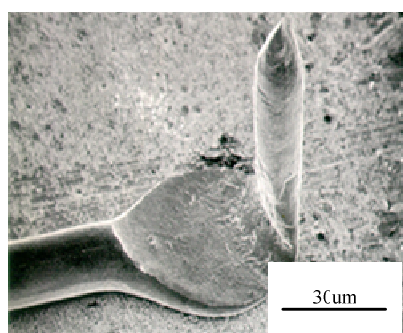


图 1 键合过程低强度导致尾丝断裂

Fig.1 Rupture of tail wire in bonding process

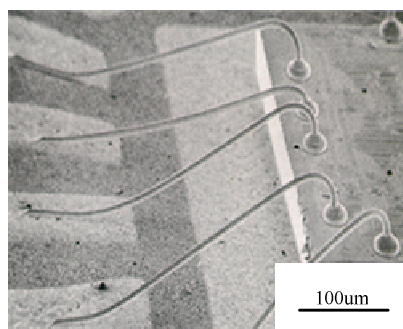


图 2 键合成弧过程中强度低形成塌丝

Fig.2 The formation of collapse in bonding process

1.2 键合铜线

随着微电子封装行业的快速发展,键合铜线因其优良的力学性能和电学性能且成本较低,越来越多的在分立器件、表面贴装型封装(SOP)等中广泛应用。其中微合金铜线、镀钯铜线等高性能铜线逐步被应用于集成电路中。但是键合铜线容易氧化(如图 3 所示),在球焊过程中须采用 N_2+H_2 混合气体保

护,增加了使用成本^[8]。此外铜线硬度过高又容易造成基板损伤,形成“弹坑”缺陷(如图 4 所示)。键合铜线在高温高湿环境下键合界面生成了 Cu_9Al_4 金属间化合物,在弱酸环境下易腐蚀,进而键合界面形成裂纹(如图 5 所示)^[9],导致引线键合失效,这些都阻碍了铜键合线在高端微电子封装中的应用。

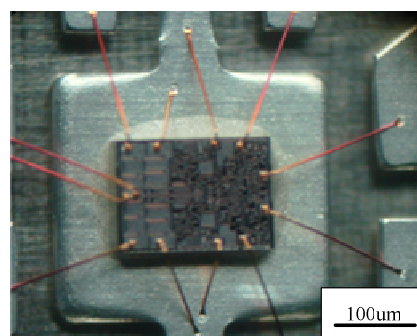


图 3 键合铜线焊线氧化^[8]

Fig.3 Cu bonding wire solder line oxidation

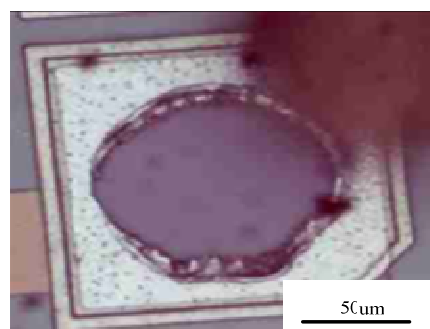


图 4 键合铜线因其硬度过高造成基板损伤^[8]

Fig.4 Cu bonding wire cause damage to substrates due to their excessive hardness

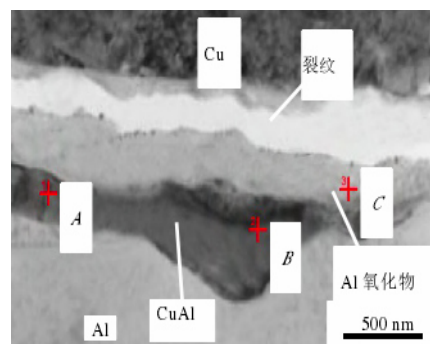


图 5 高温高湿环境下键合界面产生裂纹^[9]

Fig.5 Cracks occur at the bonding interface under high temperature and humidity conditions

1.3 键合银线

键合银线有高导电率及易于成球等优点, 开始在部分引线封装中应用, 但由于导热率高、高温强度低等原因, 其键合过程中参数窗口范围较小, 且高温条件下球焊点颈部强度低而引起颈部裂纹失效的几率较高(如图 6 实测图片所示), 进而降低生产效率及大功率 LED 器件的使用寿命; 此外, 纯银线又较易被腐蚀硫化导致键合的可靠性低(如图 7 实测图片所示), 这些都制约了键合银线的应用。

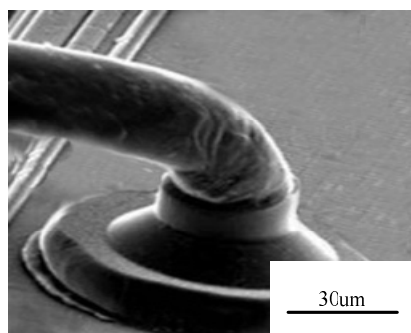


图 6 高温环境中键合银线第一焊点变形照片
Fig.6 Solder joint deformation in high temperature environments

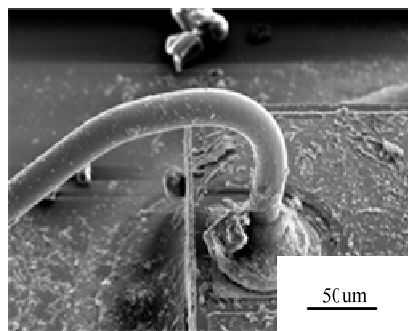


图 7 键合银线被腐蚀硫化变黑照片
Fig.7 Ag bonding wire corrosion

2 银合金线的发展及优势

2.1 银合金线研究现状

银与钯具有很多相似的性质且能够无限互溶形成连续的固熔体, 加入钯元素后能够有效提高银基体的耐腐蚀性、力学性能及高温可靠性^[10-11]。Chuang 等^[12]研究了 Ag-4Pd 键合合金线热处理过程, 得出热处理过程中易于形成孪晶组织的结论; Guo 等^[13]对 Ag-8Au-3Pd 键合合金线的无空气焊球

(Free Air Ball, FAB)形成过程进行研究, 得出了低电流、长时间的键合参数易于形成无缺陷 FAB 的结论; Du 等^[14]对银合金线和镀钯铜线在湿热环境下的可靠性进行了对比研究, 得出银合金线可靠性高于镀钯铜线的结论; Tseng 等^[15]对 Ag-2Pd 键合合金线键合界面特性进行研究, 得出钯元素可以减缓键合界面金属间化合物生长和扩散速度的结论。上述研究为银合金线在微电子封装中的广泛应用提供了理论支持。

2.2 银合金线优势

与金线相比, 银合金线工艺参数与金线相似, 且键合参数窗口较大, 键合适应性强。银合金线成本相对较低, 是同等线径的金线的 20%左右。银合金线在 LED 封装中, 其反光性较好, 不吸光, 亮度与使用金线封装相比较可提高 10%左右。由于基体为银, 与镀银支架焊接时, 可焊性较好。通过掺杂铈、铜等合金元素, 可提高银合金线的抗腐蚀和抗氧化性能, 降低 IMC 的生长和扩散速度, 增强了银合金线键合点可靠性^[16]。

2.2.1 银合金线力学性能

键合引线材料的力学性能是键合质量的关键, 较高的强度能使键合线抵抗一定的机械应力, 具有稳定的成弧性。合理的伸长率能够获得稳定的尾丝长度, 进而确保了 FAB 形状均匀, 获得稳定的第一焊点形貌。表 1 是 20 μm 键合金线、键合铜线、键合银线、键合银合金线等力学性能对比。从表 1 中可以看出银合金线具有较高的强度和伸长率, 可以满足低弧度、长间距及高密度引线器件封装。

表 1 键合引线力学性能对照表

Tab.1 Mechanical properties of bonding wire

序号	Au 线	Cu 线	Ag 线	Ag 合金线
拉断力/g	8	9.6	7.8	8.9
伸长率/%	4.5	10	9.7	11.6

2.2.2 银合金线的键合性能

Gu 等^[17]研究了银合金线和镀钯铜线键合强度, 得出银合金线键合强度高于镀钯铜线, 且其 FAB 硬度低、键合参数较小的结论。在银基体中添加金、钯等元素, 金和钯能与银发生包晶反应, 降低银的晶界电压, 进而减慢银合金线的电化学腐蚀。添加铝、钛等元素能在银表面形成致密的氧化层, 使银表面钝化, 减少硫化、氧化等腐蚀, 提高银合金线的抗腐蚀和抗氧化性能。用 0.1 mol/L 硫化钠水溶液

室温下浸泡金线、镀钯铜线、银线和银合金线 200 h 获得抗腐蚀数据如图 8 所示^[18]。从图 8 中可以看出银合金线的抗腐蚀性能较好,跟金线基本一致。由于银合金线良好的耐腐蚀性能,在用电子火焰(Electronic Flame Off, EFO)烧球过程中无需气体保护,球表面平整光滑且球焊点形状较规则(如图 9 所示),易于获得稳定的第一焊点形貌^[19]。但对于银合金线而言,合金成分不合理或合金成分不均匀会导致 FAB 凝固区间较大,从而产生偏球、高尔夫球等缺陷,由此,优化的合金组份及合金成分的均匀是确保银合金线良好键合性能的关键。

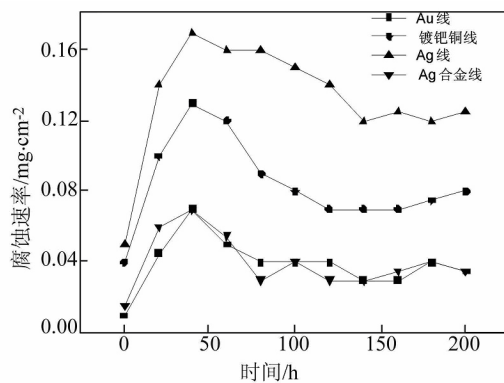


图 8 不同键合引线抗腐蚀性能比较^[18]

Fig.8 Comparison of corrosion resistance of different bonding wires

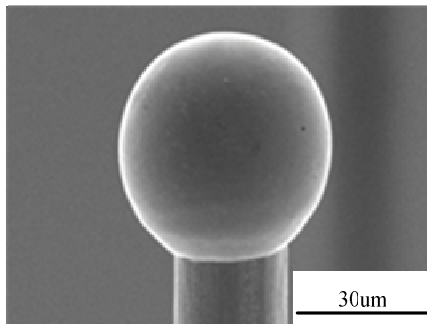


图 9 规则的银合金线球焊点形貌^[19]

Fig.9 Solder joint morphology of regular silver alloy wire ball

2.2.3 银合金线的可靠性

Gu 等^[17]进一步对银合金线进行了高加速温湿度测试(Unbiased Highly Accelerated Stress Test, UHAST)、高温储存测试(High Temperature Storage Life Test, HTST)、温度循环测试(Temperature Cycling Test, TCT),测试结果如表 2 所示。UHAST 240 h 时约 50%的芯片发现了电气腐蚀问题,但 HTS

能通过 500 h, TCT 能通过 1000 个循环。通过增加钯的含量可有效抑制界面腐蚀已被研究者们证实,调整银合金线中微量元素的含量可使其可靠性进一步提高。由于氧气的存在,银线在高温高湿环境中会产生电化学腐蚀,使界面产生裂纹。对于银合金线,由于钯的存在,钯与氧形成 PdO 富集在表面阻碍银离子扩散,界面没有裂纹。

表 2 银合金线可靠性结果^[17]

Tab.2 Reliability results of silver alloy wires

类型	UHAST (240 h)	HTS (500 h)	TC (1000 circle)
失效率	50%	0	0

3 结语

1) 银合金线具有优良的机械性能、键合性能、抗腐蚀与抗氧化性能及较高的可靠性。

2) 合金元素可有效抑制银线的电子迁移,减缓 IMC 的生长和扩散,提高器件的可靠性。

3) 合金成分不合理或合金成分不均匀会导致 FAB 凝固区间较大,从而易于产生 FAB 缺陷,优化合金组份是获得高性能键合银合金线的关键。

参考文献:

- [1] 丁雨田, 曹军, 许广济, 等. 电子封装 Cu 键合丝的研究及应用[J]. 铸造技术, 2006, 27(9): 971-974.
- [2] 赵钰. 铜丝键合工艺在微电子封装中的应用[J]. 电子元器件应用, 2002(8):48-51.
- [3] 沙帕拉·K·普拉萨德. 复杂的引线键合互连工艺[M]. 刘亚强, 译. 北京: 中国宇航出版社, 2015: 12-38.
- [4] WU J, ROCKEY T, YAUW O, et al. Bonding of Ag-alloy wire in LED packages[C]//Electronic Manufacturing Technology Symposium (IEMT), 2012, 35th IEEE/CPMT International, IEEE, 2012: 1-4.
- [5] 蔡幸樺, 李俊德, 林欣蓉, 等. 高性能 Ag-4Pd 合金線電遷移破壞研究[C]// 2014 海峡两岸破坏科学与材料试验学术会议暨全国 MTS 材料试验学术会议论文集, 2014.
- [6] 朱建国. 键合金丝的合金化研究动向[J]. 贵金属, 2002, 23(3): 57-61.
- [7] 徐慧. 铜及金丝与铝合金焊盘键合的金属间化合物生长和可靠性[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.
- [8] 曹军. 键合铜线性能及键合性能研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2012.
- [9] 曹军, 范俊玲, 尚显光, 等. 高温高湿环境对键合 Cu

- 线可靠性影响的研究[J]. 机械工程学报, 2016, 52(6): 86-91.
- [10] LI B H, YE J T, LIAO J K, et al. Effect of pretreatments on the metal-ceramic bonding strength of a Pd-Ag alloy[J]. Journal of dentistry, 2014, 42(3): 319-328.
- [11] LI J, LIU L, MA B, et al. Dynamics features of Cu-wire bonding during overhang bonding process[J]. IEEE Electron device letters, 2011, 32(12): 1731-1733.
- [12] CHUANG T, WANG H, TSAI C, 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: 891-898.
- [13] GUO R, GAO L, MAO D, et al. Study of free air ball formation in Ag-8Au-3Pd alloy wire bonding[J]. Microelectronics reliability, 2014, 54(11): 2550-2554.
- [14] DU Y, LIU Z, XIONG T, et al. Bond reliability under humid environment for Pd coated Cu and Ag alloy wire bonding[C]//Electronic Packaging Technology (ICEPT), 2015 16th International Conference on, IEEE, 2015: 835-839.
- [15] TSENG Y W, HUNG F Y, LUI T S, et al. Effect of annealing on the microstructure and bonding interface properties of Ag-2Pd alloy wire[J]. Microelectronics Reliability, 2015, 55(8): 1256-1261.
- [16] 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.
- [17] GU L Q, CHEN Q, LI J J, et al. 存储器封装中 Ag 线和 Cu 线的比较[J]. 功能材料与器件学报, 2013, 19(5): 240-244.
- [18] 林良, 臧晓丹. 封装用抗腐蚀高可靠性银合金丝[J]. 电子与封装, 2014, 14(3): 9-13.
- [19] CHO J S, JEONG H S, MOON J T, et al. Thermal reliability & IMC behavior of low cost alternative Au-Ag-Pd wire bonds to Al metallization[C]//2009 59th Electronic Components and Technology Conference, IEEE, 2009: 1569-1573.