

防止 4J29 引线框架电镀层开裂的新工艺

汪烈焰, 朱超锋, 林楚宏, 蔡阳伦

(北京理工大学 珠海学院, 广东 珠海 519000)

摘要: **目的** 防止 4J29 细引线框架在电镀 Ni/Au 或 Ni/Pd/Au 过程中镀件细线断裂及镀层局部出现开裂。**方法** 采用对比的方法, 通过 200 倍放大镜仔细观察电镀工艺改变或调整前后细引线镀层外观质量, 再经过单片弯折实验, 观察电镀后细线有无断裂或开裂现象, 对有断裂或开裂等缺陷的产品进行统计, 计算次品率。**结果** 电镀前对工件进行热处理, 基本可以消除工件电镀后框架细线断裂的问题。通过改变电镀镍工作液组成及工艺条件, 能有效解决镀件局部出现开裂的问题。电镀前, 原始片热处理的工况为: 温度 420~450 °C, 保温时间 120 min, 采用自然冷却的方式冷却到室温。电镀镍的工艺规范为: 氨基磺酸镍 250~350 g/L, 硼酸 25~35 g/L, 润湿剂 (K12) 0.01 g/L, 糖精 0.3~0.4 g/L, pH 值 3~5, 温度 50~60 °C, 电流密度 3.0~5.0 A/dm²。**结论** 开发了一种防止 4J29 引线框架电镀后细线断裂及电镀层开裂的新的电镀工艺方法。经过企业实际使用, 并抽样进行每单片 10 次 90° 弯折实验, 新的电镀工艺生产的产品, 其次品率稳定控制在 2% 以下, 其他性能检测也符合企业产品质量要求。

关键词: 4J29 合金; 引线框架; 电子封装; 热处理; 电镀; 电镀镍; 电镀金

中图分类号: TQ153 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3660(2017)06-0282-05

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2017.06.045

A New Technology for Preventing Plating Cracks of 4J29 Lead Frame

WANG Lie-yan, ZHU Chao-feng, LIN Chuo-hong, CAI Yang-lun

(School of Materials Science and Environmental Engineering, Beijing Institute of Technology, Zhuhai 519000, China)

ABSTRACT: The work aims to prevent 4J29 fine wire from breaking and plating local cracking during Ni/Au or Ni/Pd/Au plating. By comparison and contrast, appearance quality of the fine-wire plating was observed using a 200× magnifying glass before and after the plating process was changed or adjusted, and then bending test was performed to observe whether the electroplated fine-wire was subject to breaking or cracking, products subject to such defects were counted, and defect rate was calculated. Heat treatment of the workpiece before electroplating could eliminate crack of the thin frame after the workpiece was electroplated. By changing composition and process conditions of electroplating working solution, local cracking of the plated workpiece could be effectively resolved. Operating conditions of heat treatment were as follows: temperature of 420~450 °C, holding time of 120 min, cooling mode of natural cooling to room temperature; electroplating process specification was as follows: 250~350 g/L of nickel sulfamate, 25~35 g/L of boric acid, 0.01 g/L of wetting agent (K12), saccharin of 0.3~0.4 g/L, pH of 3~5, temperature of 50~60 °C, current density of 3.0~5.0 A/dm². A new electroplating process is developed to prevent fine wires from breaking and the plating from cracking after 4J29 lead frame is electroplated. After actual use by enterprises, and sampling each unwaver for ten 90° bending tests, defective rate of the products produced in new electroplating process falls within 2% and other performance tests meet enterprise product quality requirements as well.

收稿日期: 2017-01-23; 修订日期: 2017-05-02

Received: 2017-01-23; Revised: 2017-05-02

作者简介: 汪烈焰 (1964—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事应用电化学及有机添加剂等方面的研究。

Biography: WANG Lie-yan (1964—), Male, Master, Engineer, Research focus: electrochemical applications and organic additives.

KEY WORDS: 4J29 alloy; lead frame; electronic packaging; heat treatment; electroplating; electronicckelling; electrogilding

在电子工业中,需要通过引线框架把封装的芯片以及部分元器件与其他电路进行电气连接,随着大规模集成电路和超大规模集成电路的发展,电路的连线密度越来越高,因此,对引线框架的形状和密度(线宽及线间距)的要求越来越复杂和精细^[1-3]。根据使用目的和对象,常常需要对 4J29 合金零件表面进行电镀处理,具体镀种的选择和电镀工艺的确定应以满足具体使用要求而定,对 4J29 合金作为引线框架而言,目前采用较多的是电镀 Ni/Au 或 Ni/Pd/Au 工艺^[4-6]。

本研究的主要目的是为了解决长期困扰某企业的技术问题,即 4J29 合金细引线框架在电镀 Ni/Au 过程中常会出现镀件细线断裂,特别是镀层局部出现开裂等质量问题,严重时次品率达 60%。通过生产现场调研发现,镀件细线断裂及镀层局部开裂主要产生于电镀镍环节。经过分析初步判定,产生上述质量问题的主要原因可能在于“内应力”造成的不良影响。

本研究小组在查阅大量文献的基础上^[7-11],通过改变电镀前处理工艺和电镀液组成及工艺条件,特别是从添加剂的选择和使用等方面入手,最大限度地降低镀层的内应力,通过多次反复试验,成功地解决了上述质量问题,同时也间接证明了“内应力”是导致镀层开裂的主要原因。经过企业的实际生产应用,效果显著,次品率稳定控制在 2%以下。

1 实验

采用对比的方法,通过 200 倍放大镜仔细观察工艺改变或调整前后细引线镀层外观质量,再经过单片弯折实验,观察细线有无断裂或开裂现象,对有断裂或开裂等缺陷的细线数进行统计,计算次品率。次品率=每批实验有缺陷的细线数/每批实验总细线数。

1.1 材料准备及工艺过程

实验使用的 4J29 合金引线框架原始片由某企业提供,单片大小为 1.5 cm×1.2 cm,引线框架线宽为 0.1~0.2 mm,线间距为 0.33~0.38 mm,厚度为 0.2 mm,单片线数 24 条。该企业自行采购 4J29 片材,外发某蚀刻厂蚀刻,蚀刻后的细引线框架返回企业自行电镀。经现场调查,该蚀刻厂采用光化学图形转移、酸性蚀刻技术制作而成。其制作工艺为:4J29 片材—漂洗—贴膜—曝光—显影—蚀刻—去摸—漂洗—烘干。实验用化工材料均为电镀级。

电镀工艺过程为:框架—热处理—超声波除油—水洗—电解除油—水洗—水洗—浸蚀—水洗—电镀

镍—水洗—活化—水洗—电镀金—封闭—水洗—烘干—检验。

1.2 电镀工艺规范

原始片热处理的工艺规范见表 1。

表 1 原始片热处理工艺规范
Tab.1 Specification for heat treatment of raw sheet

温度/℃	保温时间/min	冷却方式
420~450	120	自然冷却至室温

超声波除油的目的是清除零件表面的各种污物,其工作液组成及工艺条件为:磷酸三钠 15.0~20.0 g/L,碳酸钠 10.0~15.0 g/L,OP-10 0.5~1.0 g/L,十二烷基苯磺酸钠 0.5~1.0 g/L,温度 45~50℃,时间 10~15 min,超声波频率 30 kHz。

在超声波除油的基础上再进行电化学除油,以期达到彻底清除零件表面污物的目的。为防止发生“氢脆”对工件应力产生影响,本工艺直接采用阳极电解除油,通过选择适当的添加剂和控制阳极电流密度,防止阳极电解除油产生的氧(或氧气)对零件的氧化过腐蚀。其工作液组成及工艺条件为:氢氧化钠 20.0~25.0 g/L,五水偏硅酸钠 10.0~15.0 g/L,十二烷基硫酸钠 0.5~1.0 g/L,水软化剂 3.0~5.0 g/L,温度 40~50℃,电流密度 2.0~5.0 A/dm²,时间 20~30 s,阳极材料为不锈钢孔板。

采用氨基磺酸镍为主盐的电镀液,电镀镍的工艺规范见表 2。

表 2 电镀镍工艺规范
Tab.2 Specification for electroplated nickel process

镀液组成及工艺条件	参数
氨基磺酸镍/(g·L ⁻¹)	250~350
硼酸/(g·L ⁻¹)	25~35
润湿剂(K12)/(g·L ⁻¹)	0.01
添加剂	适量
pH 值	3~5
温度/℃	50~60
电流密度/(A·dm ⁻²)	3~5

采用氰化弱酸性镀金液,电镀金的镀液组成及工艺条件为:氰化金钾 12.0~15.0 g/L,磷酸二氢钾 2.0~4.0 g/L,柠檬酸钾 20~25 g/L,酒石酸锑钾 5.0~6.0 g/L,pH 值 5~6,温度 40~50℃,阴极电流密度 0.2~1.0 A/dm²,阳极材料为铂钛网。

采用纯水或热纯水彻底清洗,以消除镀层表面的残余盐类,必要时还可进行化学钝化进行防变色处理。

2 结果与讨论

2.1 原始片热处理对镀层品质的影响

引线框架材料的特征包括一次特性和二次特性。一次特性是指材料的物理、机械和化学等性能。二次特性是指冲压、蚀刻、电镀、钎焊、封装及耐蚀等性能。引线框架片材经过冲压、蚀刻等处理后,表面残余应力值大且不均匀,是引起二次特性差的关键所在^[12]。

本研究对某企业既有的 4J29 合金框架电镀镍金(或镍钯金)工艺进行改进的方法之一——对 4J29 合金框架电镀之前进行热处理,目的是消除零件成形后残存于零件中的机械加工应力,以及经过酸性蚀刻过程中可能产生的“氢脆”对工件应力的影响^[13]。热处理温度的选择原则是:在保证达到处理目的的前提下,不使晶粒过分长大,冷态合金在 700~1000 ℃进行退火处理后,机械性能发生变化^[14—16],因此本研究 4J29 合金框架去应力热处理温度为 420~450 ℃,保温为 120 min。试验结果见表 3,单片 10 片,细引线 240 条,后文研究数量与此相同。

表 3 热处理前后镀镍层缺陷统计

Tab.3 Ni-plated layer defects before and after heat treatment statistics

单片是否经 过热处理	镀后质量有缺 陷数量(条)	次品率/%	备注
否	77	32.1	某企业既有电镀
是	34	14.3	镍工艺(瓦特型)

实验结果表明,热处理后的框架经过镀镍,其细线断裂现象基本消除,电镀镍层局部产生裂纹现象也明显减少,裂纹宽度变窄,但仍不能有效解决产品质量问题。

2.2 电镀液组成对镀层品质的影响

2.2.1 电镀液种类对镀层品质的影响

镀镍电镀液的种类较多,常用的有硫酸盐型、硫酸盐-氯化物型、氯化物型以及氨基磺酸盐型等,其中氨基磺酸盐型镀层比其他种类镍镀层的应力要低许多^[12]。采用本研究设计的氨基磺酸盐型镀镍工艺与某企业既有的瓦特型镀镍工艺进行对比实验,实验结果见表 4。实验结果表明,选择镀层内应力相对较小的氨基磺酸盐型电镀液替代瓦特型电镀液,产品的次品率相应减少。

2.2.2 添加剂种类对镀层品质的影响

固定表 2 中的氨基磺酸盐型电镀液其他组分及

表 4 不同电镀液对镀层品质的影响(工件经过热处理)
Tab.4 Watt-type bath and sulfamate-type plating solution on the coating quality (heat treated workpiece)

镀液种类	电镀后观察缺陷 数量(条)	次品率/%	备注
瓦特型	36	15.2	企业既有工艺
氨基磺酸盐型	21	8.7	无添加剂

工作条件不变,研究电镀添加剂种类对镀层品质的影响,其结果见表 5。实验结果表明,在其他条件不变的情况下,选择 1,5-奈二磺酸肼或糖精作为添加剂的电镀液,细线的次品率相对较低。比较镀镍层的光亮效果,使用糖精作为添加剂的光亮度明显高于其他添加剂。

表 5 添加剂种类对镀层品质的影响

Tab.5 Effects of different additives on coating quality

添加剂(含量 0.5 g/L)	质量缺陷数量(条)	次品率/%
无添加剂	21	8.7
1,5-奈二磺酸	8	3.2
1,3,6-奈三磺酸	10	4.2
糖精	9	3.6
肼	14	5.8

2.2.3 添加剂含量对镀层品质的影响

固定表 2 中的氨基磺酸盐型电镀液其他组分及工作条件不变,研究电镀添加剂糖精的含量对镀层品质的影响,其结果见表 6 和图 1。由图 1 可知,在其他条件不变的情况下,糖精浓度对镀镍层品质的影响比较明显,随着浓度的增加,次品率下降并出现极小值,当质量浓度从 0.4 g/L 增加到 0.5 g/L 时,次品率又增大。因此,糖精质量浓度以 0.3~0.4 g/L 为宜。

表 6 电镀添加剂的浓度对镀层品质的影响

Tab.6 Concentration of plating additive effect of plating quality

糖精含量/(g·L ⁻¹)	质量缺陷数量(条)	次品率/%
0.0	21	8.7
0.05	11	4.6
0.1	8	3.3
0.2	6	2.5
0.3	4	1.7
0.4	4	1.7
0.5	9	3.6
1.0	8	3.3
2.0	9	3.6

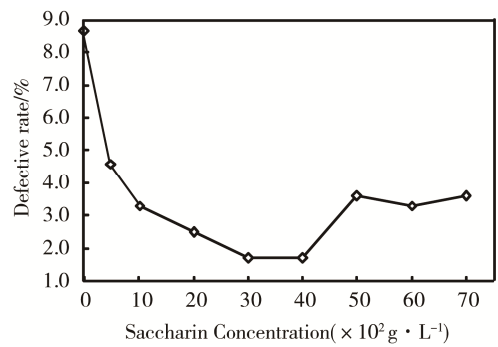


图 1 电镀添加剂的浓度对镀层品质的影响
Fig.1 Effect of electroplating additive concentration on plating quality

2.3 电镀工作条件对镀层品质的影响

2.3.1 阴极电流密度对镀层品质的影响

固定表 2 中的氨基磺酸盐型电镀液组分、浓度及工作条件不变，其中添加剂（糖精）的质量浓度为 0.3~0.4 g/L，研究电流密度对镀层品质的影响，其结果见表 7 和图 2。由图 2 可知，在其他条件不变的情况下，电流密度对镀镍层品质的影响比较明显，随着电流密度的增大，次品率下降并出现极小值，当电流密度从 5.0 A/dm² 增加到 6.0 A/dm² 时，次品率又显著增大。因此，控制电流密度以 3.0~5.0 A/dm² 为宜。

表 7 电流密度对镀层品质的影响
Tab.7 Effect of current density on coating quality

电流密度/(A·dm ⁻²)	质量缺陷数量（条）	次品率/%
1	10	4.0
2	8	3.3
3	4	1.7
4	4	1.7
5	4	1.7
6	13	5.4
7	23	9.6

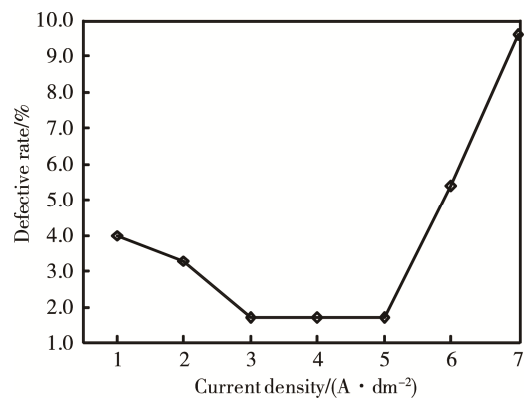


图 2 电流密度对镀层品质的影响
Fig.2 Effect of current density on coating quality

2.3.2 电镀工作液温度对镀层品质的影响

固定表 2 中的氨基磺酸盐型电镀液其他组分、含

量及工作条件不变，其中添加剂（糖精）的质量浓度为 0.3~0.4 g/L，电流密度为 3.0~4.0 A/dm²，研究温度对镀层品质的影响，其结果见表 8 和图 3。由图 3 可知，在其他条件不变的情况下，电镀液温度对镀镍层品质的影响比较明显，随着温度的升高，次品率下降并出现极小值，当温度从 60 ℃ 升高到 70 ℃ 时，次品率又显著增大。因此，控制温度以 50~60 ℃ 为宜。

表 8 电镀液温度对镀层品质的影响
Tab.8 Effect of electroplating solution temperature on coating quality

镀液温度/℃	质量缺陷（条）	次品率/%
20	14	5.8
30	10	4.1
40	6	2.5
50	3	1.3
60	4	1.7
70	43	17.9
80	56	23.3

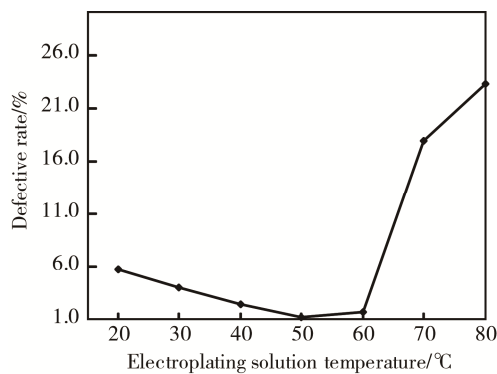


图 3 电镀液温度对镀层品质的影响
Fig.3 Effect of temperature of plating solution on coating quality

3 结论

- 1) 开发了一种防止 4J29 引线框架电镀后细线断裂及电镀层开裂的新的电镀工艺方法，该方法前处理增加了热处理工艺，改变了电镀镍工作液组成及工作条件。
- 2) 热处理的最佳工艺为：温度 420~450 ℃，保温时间 120 min，采用自然冷却方式冷却到室温。电镀镍的最佳工作条件为：氨基磺酸镍 250~350 g/L，硼酸 25~35 g/L，润湿剂（K12）0.01 g/L，糖精 0.3~0.4 g/L，pH 值 3~5，温度 50~60 ℃，电流密度 3.0~5.0 A/dm²。
- 3) 经过企业实际使用，并抽样进行每单片 10 次 90°弯折实验，新工艺的产品次品率稳定控制在 2% 以下，其他性能检测符合产品质量要求。

参考文献：

[1] 向文永，陈小祝，匡同春，等. 集成电路用引线框架材

- 料的研究现状与趋势[J]. 材料导报, 2006(3): 122—125.
- XIANG Wen-yong, CHEN Xiao-zhu, KUANG Tong-chun, et al. Research Status and Trend of Lead Frame Materials for Integrated Circuits[J]. Material Review, 2006(3): 122—125.
- [2] 刘凯, 齐亮, 谢春晓. IC 引线框架材料概述[J]. 热处理, 2006(2): 21—24.
- LIU Kai, QI Liang, XIE Chun-xiao. Introduction of IC Leadframe Material[J]. Overview of IC Lead Frame Materials[J]. Heat Treatment, 2006(2): 21—24.
- [3] 黄福祥, 张津, 杜长华, 等. 引线框架材料的研究发展现状[C]//海峡两岸第二届工程材料研讨会论文集. 福建: 中国机械工程学会, 2004.
- HUANG Fu-xiang, ZHANG Jin, DU Chang-hua, et al. Research and Development of Lead Frame Materials[C]// Proceedings of the Second Cross Strait Symposium on Engineering Materials. Fujian: China Mechanical Engineering Society, 2004.
- [4] 曾旭, 卢桂萍, 杨杰, 等. 引线框架可焊性电镀新技术[J]. 电子工艺技术, 2009(5): 291—294.
- ZENG Xu, LU Gui-ping, YANG Jie, et al. New Technology of Lead Frame Solderable Electroplating [J]. Electronic Technology, 2009(5): 291—294.
- [5] 李明. 电子封装中电镀技术的应用[J]. 电镀与涂饰, 2005(1): 44—49.
- LI Ming. Application of Electroplating Technology in Electronic Packaging[J]. Electroplating & Finishing, 2005 (1): 44—49.
- [6] 刘适如. 4J29 合金电镀工艺介绍[J]. 上海钢研, 1982(S1): 40—44.
- LIU Shi-ru. Introduction of 4J29 Alloy Electroplating Process [J]. Shanghai Steel Research, 1982(S1): 40—44.
- [7] 邹森. 电镀工艺主要参数对氨基磺酸镍镀层的影响[J]. 电子工业专用设备, 2011(8): 44—46.
- ZOU Sen. Effect of Main Parameters of Electroplating Process on Nickel Sulfamate Coating[J]. Special Special Equipment for Electronic Industry, 2011(8): 44—46.
- [8] 邹森, 李亚明, 杨凤梅. 电流密度对氨基磺酸镍电镀镍镀层的影响[J]. 山东化工, 2011(8): 55—56.
- ZOU Sen, LI Ya-ming, YANG Feng-mei. Effect of Current Density on Nickel Sulfamate Electrodeposited Nickel Coatings[J]. Shandong Chemical Industry, 2011(8): 55—56.
- [9] 满红娜. 电镀层内应力的产生和消除方法[J]. 电镀与环保, 2009(3): 17—19.
- MAN Hong-na. Factors and Eliminating Methods of Internal Stress in Plating[J]. Electroplating & Pollution Control, 2009(3): 17—19.
- [10] 刘仁志. 影响镍镀层内应力的因素及排除方法[J]. 电镀与涂饰, 2004(5): 64—66.
- LIU Ren-zhi. Factors and Eliminating Methods of Internal Stress in Plating[J]. Electroplating & Finishing, 2004(5): 64—66.
- [11] 童修强, 唐祥云. 氨基磺酸镍镀层低应力的理论分析[J]. 电镀与精饰, 1989(4): 3—7.
- TONG Xiu-qiang, TANG Qiang-yun. Theoretical Analysis of Low Stress in Nickel Sulfamate Coating[J]. Plating & Finishing, 1989(4): 3—7.
- [12] 林冀, 王孝培. 集成电路引线框架材料成品退火工艺探讨[J]. 上海钢研, 1995(6): 28—32.
- LIN Ji, WANG Xiao-pei. Discussion on Annealing Process of Integrated Circuit Leadframe Materials[J]. Shanghai Steel Research, 1995(6): 28—32.
- [13] 高心心, 郭建章, 潘大伟, 等. 模拟深海环境下高强钢焊缝阴极保护研究[J]. 装备环境工程, 2016(4): 124—130.
- GAO Xin-xin, GUO Jian-zhang, PAN Da-wei, et al. Cathodic Protection Research of High-strength Steel Welding Line in Simulated Deep-sea Environment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2016(4): 124—130.
- [14] 燕峰, 刘春丽. 4J29 膨胀合金晶粒长大倾向的研究[J]. 辽宁科技大学学报, 2011(4): 337—339.
- YAN Feng, LIU Chun-li. Study on Grain Growth Tendency of 4J29 Expansive Alloy[J]. Journal of Liaoning University of Science and Technology, 2011(4): 337—339.
- [15] 孙炳华, 孙海燕, 孙玲. 集成电路引线框架的热性能分析[J]. 南通大学学报(自然科学版), 2006(4): 57—59.
- SUN Bing-hua, SUN Hai-yan, SUN Ling. Thermal Performance Analysis of Integrated Circuit Lead Frame[J]. Journal of Nantong University (Natural Science), 2006 (4): 57—59.
- [16] 王以康. 4J29 合金简介[J]. 上海钢研, 1982(S1): 22—23.
- WANG Yi-kang. The Introduction of 4J29 Alloy[J]. Shanghai Steel Research, 1982(S1): 22—23.