

“高密度有机封装基板”专题

基于有机基板的化学镍钯浸金工艺应用与测评

刘彬灿¹, 李轶楠²

(1. 深圳市化讯半导体材料有限公司, 广东 深圳 518000; 2. 无锡中微高科电子有限公司, 江苏 无锡 214035)

摘要: 有机基板被广泛应用于电子封装领域, 常见的表面处理工艺包括电镀镍金、化学镍金、浸锡、浸银等工艺。在众多表面处理工艺中, 化学镍钯浸金工艺因其具有较好的综合性能展现出显著优势。化学镍钯浸金工艺是在化学镍金工艺的基础上增加化镀钯处理, 采用该工艺先对基板表面进行化镀镍处理, 再进行化镀钯处理, 最后完成化学浸金处理。钯镀层可以防止金在沉积过程中腐蚀镍镀层以及阻挡镍向金属间化合物 (IMC) 层扩散。利用 X-Ray、电子扫描显微镜 (SEM)、聚焦离子束 (FIB) 等图像分析方法, 对比了不同厂商的化学镍钯浸金镀层的厚度、微观形貌及质量, 结果表明, 平整且致密的钯镀层可以有效避免镍腐蚀现象。

关键词: 表面处理工艺; 化学镍钯浸金工艺; 有机基板; 镍腐蚀

中图分类号: TN305.94 **文献标志码:** A **文章编号:** 1681-1070 (2024) 02-020110

DOI: 10.16257/j.cnki.1681-1070.2024.0084

中文引用格式: 刘彬灿, 李轶楠. 基于有机基板的化学镍钯浸金工艺应用与测评[J]. 电子与封装, 2024, 24 (2): 020110.

英文引用格式: LIU Bincan, LI Yi'nan. Application and evaluation of chemical nickel-palladium immersion gold process based on organic substrates[J]. Electronics & Packaging, 2024, 24(2): 020110.

Application and Evaluation of Chemical Nickel-Palladium Immersion Gold Process Based on Organic Substrates

LIU Bincan, LI Yi'nan

(1. Samcien Semiconductor Materials Co., Ltd., Shenzhen 518000, China;
2. Wuxi Zhongwei High-Tech Electronics Co., Ltd., Wuxi 214035, China)

Abstract: Organic substrates are widely used in the field of electronic packaging, and common surface treatment processes include electroplating nickel-gold, chemical nickel-gold, immersion tin, immersion silver and other processes. Among the various surface treatment processes, the chemical nickel-palladium immersion gold process shows significant advantages due to its good comprehensive performance. Chemical nickel-palladium immersion gold process is based on the chemical nickel-gold process with the addition of chemical palladium plating treatment. This process first performs chemical nickel plating treatment on the substrate surface, followed by chemical palladium plating treatment, and finally completes the chemical immersion gold treatment. The palladium coating can prevent the gold from corroding the nickel coating during deposition process and prevent nickel from diffusing into the intermetallic compound (IMC) layer. By using X-Ray, scanning electron microscopy (SEM), focused ion beam (FIB) and other image analysis

收稿日期: 2024-01-04

E-mail: 刘彬灿 bincan2008@sina.com

methods, the thickness, micro-morphology and quality of chemical nickel-palladium immersion gold coatings from different manufacturers are compared, and the results show that the flat and dense palladium coating can effectively avoid the nickel corrosion phenomenon.

Keywords: surface treatment process; chemical nickel-palladium immersion gold process; organic substrate; nickel corrosion

0 引言

在电子封装行业,有机封装基板主要起到承载芯片、为芯片提供电气连接及散热等作用,其应用比较广泛。近年来,许多研究者对基于有机基板的化学镍钯浸金工艺进行研究,研究内容主要聚焦于工艺参数对镀层性能的影响,工艺参数主要包括温度、pH 值、电流密度等。此外,研究者还探讨了有机基板材料的特点及其对镀层性能的影响^[1-4],这些研究为本文提供了理论依据和参考。封装基板的表面处理工艺种类繁多,主要包括浸锡、浸银、有机可焊性保护剂工艺、电镀镍金、化学镍钯浸金等。由于电子封装产品对回流次数、存储时间和电气互连性能的要求越来越高,优化表面处理工艺以满足电子产品对高质量、低成本封装的要求成为当前研究的重点。

化学镍钯浸金工艺具有高可靠、低成本的特点,在硬质电路板、有机基板和金属基板的制造过程中被广泛应用。化学镍钯浸金工艺在封装领域具有显著优势,该工艺可以优化金丝球焊作业性能,提高了焊点可靠性并增强了产品对多次回流焊的耐受能力。采用该工艺的电子产品贮存时间长,可以很好地满足环氧塑封工艺和焊接工艺的要求^[5],因此化学镍钯浸金工艺被称为最理想的表面处理技术之一。该工艺是在化学镍金工艺基础上发展而来的,化学镍金工艺是在铜的表面电镀上导电性能优良的镍和金,通过涂层使产品获得较长时间的保护。化学镍钯浸金工艺利用化镀镍、化镀钯及化学浸金的方式对铜表面进行处理,在镍镀层和金镀层之间增加了 1 层钯镀层作为阻挡层。该阻挡层减少了镍金原子之间的相互扩散,能够避免镍镀层在发生取代反应时被腐蚀,可以有效避免在化学浸金过程中因焊盘黑化而导致的焊盘失效^[6]。

由于化学镍钯浸金工艺流程较长,整个工艺过程中涉及到多种药水,且药水处于持续变化状态,药水的变化导致工艺参数、药水温度、药水 pH 值、药水浓度之间存在交互影响,因此,在实际加工过程中,对化学镍钯浸金镀层质量的控制比较困难。本文通过理论

分析和实验研究相结合的方法研究化学镍钯浸金工艺过程,针对镀层致密性和耐腐蚀性提出性能测评方法,为基于有机基板的化学镍钯浸金工艺应用提供了优化方案,不仅有助于降低生产成本,同时丰富了化学镍钯浸金工艺的研究内容,为推动相关产业的发展提供有力支持。

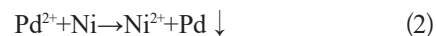
1 化学镍钯浸金工艺及失效情况

1.1 化学镍钯浸金工艺原理

采用化学镍金工艺可在基板上形成 3 层金属结构,3 层结构分别为铜层、镍镀层、金镀层。化学镍钯浸金工艺主要是在化学镍金工艺的基础上增加化镀钯处理环节,从而形成了铜层、镍镀层、钯镀层、金镀层 4 层金属结构,即在镍镀层和金镀层之间增加了 1 层钯镀层。钯镀层能够阻挡镍原子向金镀层扩散,从而起到抑制镍腐蚀的作用。相比金镀层,钯镀层的结构更加致密,其具有抗氧化和抗腐蚀的作用,提高了镀层的化学稳定性。在化学镍钯浸金工艺中,钯镀层的形成主要通过氧化还原反应实现,其反应方程式为



通过置换反应能够将钯金属和镍离子置换出来,其反应方程式为



当钯镀层较厚时,致密的钯镀层会阻碍金与镍的置换,金主要与钯进行置换,导致金在沉积过程中分布不均匀,金镀层的外观存在色差。当钯镀层较薄时,液态金通过钯镀层的晶格间隙与镍镀层接触,金会同时和钯、镍发生置换,钯镀层和镍镀层之间会出现剥离现象。

1.2 化学镍钯浸金工艺过程

化学镍钯浸金工艺是一种非选择性的表面加工工艺,其工艺流程包括:1) 酸洗;2) 对基板进行化学除油和电解除油,再进行热水洗和双水洗;3) 预浸和活化;4) 沉镍、沉钯、沉金,每一次沉积后都要进行双水洗,将经过金属沉积和水洗的基板取出并干燥。

由于不同厂商使用的药水特性不同,气体流量不

同,其具体的工艺过程也有所不同。有些制造商会引入微蚀刻技术以提高透明度和洗涤效果,在酸洗后加入化学钯溶液,以避免因镍泄漏而导致的半塞孔内的液体残留,从而大大提升了清洗效率。为了提升镀层的均匀性,有些生产厂家在化学浸金工艺中采用化学薄金工艺,即使用金来代替镍。有些厂家则选择化学厚金工艺,即在薄金镀层的基础上利用碱还原技术增加金的厚度,化学薄金和化学厚金工艺均可以增加镀层的均一性。因此,在选择药水的过程中,要同时兼顾

工艺配套性与药水稳定性。

1.3 焊盘黑化异常

化学镍钯浸金工艺中涉及众多工艺参数,如药液浓度、药液温度等参数,且参数之间存在交互关系。因此,化学镍钯浸金工艺的不良率控制难度较大,该环节也是失效现象高发的关键环节。化学镍钯浸金工艺的典型失效情况如表 1 所示,图 1 为有、无镍腐蚀现象的镍镀层表面扫描电子显微镜 (SEM) 图。

表 1 化学镍钯浸金工艺的典型失效情况

影响因素	镀层形成情况	结果	失效现象
在浸金溶液中浸泡时间太短	金镀层太薄,结构不够致密	金镀层无法保护镍镀层,导致镍镀层受到腐蚀和氧化,容易形成薄氧化镍镀层	金镀层浸润性不佳,影响后续金丝键合作业
浸金溶液中氢离子浓度太高 ^[7]	镍镀层被氢离子过度咬蚀,其表面更易被氧化	镍镀层被氧化后易形成裂纹	镍镀层中镍元素富集,导致形成“黑镍”,进而引发形成焊盘黑化现象 ^[8-9] ,在后续焊接时,由于氧化生成的裂纹处的焊点易断裂

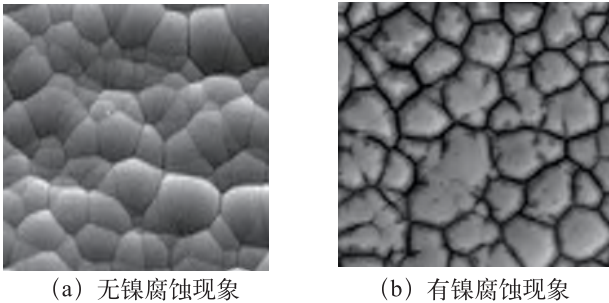


图 1 有、无镍腐蚀现象的镍镀层表面扫描电子显微镜 (SEM) 照片^[9]

无镍腐蚀现象的镍镀层表面如图 1 (a) 所示,镍镀层边缘清晰完整,晶格界限清晰可见。有镍腐蚀现象的镍镀层表面如图 1 (b) 所示,晶格界限变得粗糙。镍腐蚀将严重影响后续芯片键合、倒装等工序的良率及可靠性,因此应防止焊盘黑化的发生。

采用化学镍钯浸金工艺可以在镍镀层表面形成致密的钯镀层,其对镍镀层具有保护作用,进而避免产生“黑镍”,能够大幅减少焊盘黑化的发生。金属钯

具有较高的熔点,在高温焊接时钯在焊料中的扩散速率比金在焊料中的扩散速率慢,钯在焊料中形成的屏障效应可实现对镍镀层的有效保护。此外,钯的硬度较高,不仅可以提高焊接可靠性,还可以提高金属层的整体耐磨性能^[10]。在焊接过程中形成了锡-钯合金,该合金具有较强的抗腐蚀能力,可以提高产品的使用寿命。金属钯在保护镍镀层的同时可以作为金的替代品使用,以减少金的使用量,在相同镀层厚度的条件下,使用钯代替金大约可以节省 60% 的成本^[11]。

2 化学镍钯浸金镀层质量

由于化学镍钯浸金工艺复杂性和多变性,其在封装过程中容易引发异常,因此需要对化学镍钯浸金镀层质量进行控制才能达到理想的工艺效果。通过对化学镍钯浸金工艺的研究并参考相关文献,总结出化学镍钯浸金镀层质量优良的评价标准,如表 2 所示。

表 2 化学镍钯浸金镀层质量优良的评价标准

测试项目	评价方法	测试仪器	评价标准
金镀层表面致密性	采用 SEM 观察金镀层表面	SEM (JY/T 0584-2020)	晶格致密、平整
钯镀层表面致密性	使用褪金水去除金镀层,采用 SEM 观察钯镀层表面	SEM (JY/T 0584-2020)	晶格致密、平整
界面 IMC 层分析	焊锡后,采用 SEM 对样品切片进行分析	SEM (JY/T 0584-2020)	IMC 均匀生长且连续
镀层厚度	通过 X-Ray 测量不同区域的厚度	X-Ray	GB/T 16921—2005

2.1 化学镍钯浸金工艺参数的影响

由于工艺参数的控制差异或稳定性问题, 产品的质量和可靠性极易受到影响。不同厂家在工艺过程中使用的电镀药水、监控方法及参数控制水平均不相同。采用 SEM 测量不同厂家样品的化学镍钯浸金镀层厚度。a 样品为国内某化学镍钯浸金厂家的产品, b 样品为国外某化学镍钯浸金厂家的产品, c 样品为深圳市化讯半导体材料有限公司的产品, 不同厂家样品的化学镍钯浸金镀层厚度如表 3 所示。

表 3 不同厂家样品的化学镍钯浸金镀层厚度

样品	镍镀层厚度 / μm	钯镀层厚度 / μm	金镀层厚度 / μm
a	4.35	0.17	0.13
b	3.26	0.28	0.10
c	3.89	0.07	0.07

由表 3 可知, 不同厂家样品的化学镍钯浸金镀层

厚度存在差异。然而, 只要镀层中的晶粒完整性得以保持, 晶粒间晶界的氧化物等生成物符合规定要求, 这些差异通常不会对产品的整体性能产生显著影响。图 2 为不同厂家样品的化学镍钯浸金镀层的 SEM 图。

由图 2 可知, a 样品的镀层出现了脆性断裂, b 和 c 样品的镀层均匀、致密且平整, 这说明在化学镍钯浸金工艺中, 对药水和镀层的监控至关重要, 只有均匀、致密的镀层才可以有效避免镍腐蚀等问题的产生。

2.2 采用 X-Ray 测量镀层厚度

使用 X-Ray 对 c 厂家产品的化学镍钯浸金镀层的不同区域进行测量, 选择 3 个样品分别进行测量, 在同一样品的镀层上选择 3 个不同的位置分别进行测量, 镍钯浸金镀层不同位置的厚度如表 4 所示。表 4 和表 3 的数据差异揭示了不同测量手段在评估镀层特性时可能产生的不一致性。因此在实际生产过程中可利用 X-Ray 和 SEM 测量相结合的方式对生产工艺稳定性进行监控。

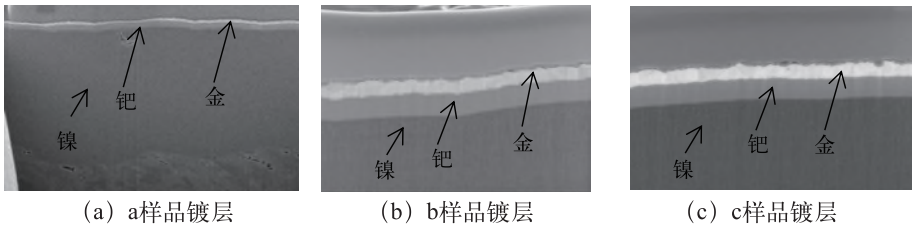


图 2 不同厂家的化学镍钯浸金样品镀层的 SEM 图

表 4 c 厂家产品化学镍钯浸金镀层不同位置的厚度

样品及位置	镍层厚度 / μm	钯层厚度 / μm	金层厚度 / μm
1 号样品 1 区	4.23	0.08	0.07
1 号样品 2 区	4.15	0.09	0.07
1 号样品 3 区	4.79	0.07	0.06
2 号样品 1 区	3.36	0.10	0.11
2 号样品 2 区	3.24	0.10	0.10
2 号样品 3 区	3.69	0.10	0.12
3 号样品 1 区	4.89	0.10	0.11
3 号样品 2 区	4.65	0.10	0.09
3 号样品 3 区	4.32	0.11	0.10

钯镀层的厚度既不能太厚也不能太薄。钯镀层太薄无法起到抗氧化和抗腐蚀的效果, 钯镀层太厚又会增加贵金属的加工成本。根据业内工程经验, 将钯镀层厚度控制为 0.05~0.15 μm, 将金镀层厚度控制为 0.025~0.050 μm 较为合适。选择较薄的金镀层不仅可以降低成本, 还可以使产品价格更具市场竞争力。

2.3 化学镍钯浸金镀层切片分析

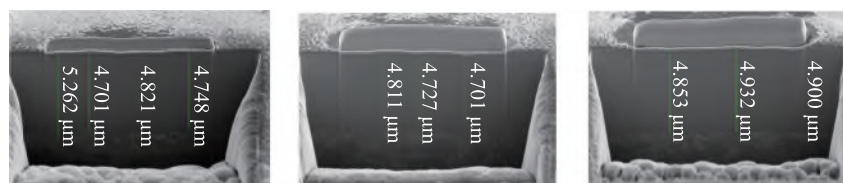
对 c 厂家不同批次产品的化学镍钯浸金镀层做切片分析, 观察镀层的镍腐蚀情况。c 厂家不同批次化学

镍钯浸金镀层的切片分析如图 3 所示。由图 3 可知, c 厂家的化学镍钯浸金镀层未出现镍腐蚀的情况, 也没有明显的渗透腐蚀痕迹, 镀层厚度分布均匀, 这说明在镍镀层和金镀层之间的钯镀层结构致密, 能有效防止金镀层对镍镀层的腐蚀。

2.4 化学镍钯浸金镀层褪金处理

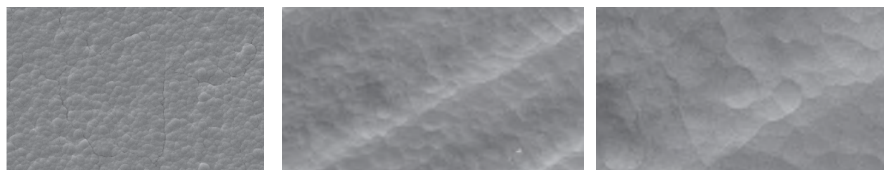
使用褪金水对 3 家厂商产品的化学镍钯浸金镀层进行褪金处理, 观察钯镀层表面的致密性。不同厂家产品的化学镍钯浸金镀层经过褪金处理后的表面形貌如图 4 所示。a 厂家产品的钯镀层表面呈银灰色, 其表面花纹不完整, 表面存在渗透腐蚀痕迹。b 厂家和 c 厂家产品在生产过程中采取了严格的工艺控制措施, 其化学镍钯浸金镀层的钯镀层表面呈银白色, 其结晶完整、均匀且致密, 具有该外观特征的钯镀层能够起到良好的阻挡作用。

由图 4 可知, a 厂家产品的化学镍钯浸金镀层经过褪金处理后发生了镍腐蚀, 而 b、c 厂家产品的化学镍钯浸金镀层经过褪金处理后没有发生镍腐蚀。因此, 结晶完整、均匀且致密的化学镍钯浸金镀层可以有效防止焊盘黑化的发生, 进而避免由此引起的连接



(a) 一批次 (b) 二批次 (c) 三批次

图3 c厂家不同批次产品化学镍钯浸金镀层的切片分析



(a) a厂家 (b) b厂家 (c) c厂家

图4 不同厂家产品的化学镍钯浸金镀层经过褪金处理后的表面形貌

失效等可靠性问题。

3 结论

在前人研究的基础上,本文探讨了基于有机基板的化学镍钯浸金工艺的应用与测评,深入研究了化学镍钯浸金工艺在有机基板上的适用性,通过各项性能测试提供了更为全面的实验数据,评估了化学镍钯浸金工艺的性能,为实际应用提供了参考。

采用化学镍钯浸金工艺的有机基板的长期稳定性尚不明确,需要通过更长期的实验来观察其稳定性,其适用性可能受到基板材料、厚度和表面处理方式等因素的影响,需要进一步进行定量分析研究。为了解决上述问题,可以采取以下基本思路:延长实验时间以观察采用化学镍钯浸金工艺的有机基板的长期稳定性,从而更准确地评估其在实际应用中的可靠性;研究不同基板材料、厚度和表面处理方式对化学镍钯浸金工艺适用性的影响,以优化工艺参数,扩大其应用范围。

若采用化学镍钯浸金工艺的有机基板长期稳定性良好,则有望被广泛应用于塑封电子产品。通过优化工艺参数,提高其工艺适用性,将进一步拓展其应用范围,促进塑封电子产业的发展。针对不同有机基板材料、厚度和表面处理方式的研究,将有助于揭示化学镍钯浸金工艺的适用性规律,为实际应用提供理论指导。

参考文献:

- [1] 方明,王爱琴,谢敬佩,等. 电子封装材料的研究现状及发展[J]. 热加工工艺, 2011, 40(4): 84-87.
- [2] 张世镖,李健,赵国惠,等. 废弃线路板中金属循环利用技术研究进展[J]. 黄金, 2021, 42(3): 79-82.

- [3] 曹焱. AlN 基板氧化及直接敷铜工艺的基础研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2020.
- [4] KAO B, OEZKOEK M, ROBERTS H. Pure palladium in ENEPIG surface finishes-physical properties of the Pd deposition and their influence on soldering and wire bonding [C]// 2010 5th International Microsystems Packaging Assembly and Circuits Technology Conference (IMPACT), Taipei, 2010.
- [5] 陈润伟,黄辉祥. 浅析化学镍钯金镀层厚度对性能的影响[J]. 印制电路信息, 2014(z1): 258-263.
- [6] MILAD G. Latest developments in surface finishing for PWB[J]. The PCB Magazine, 2012(5): 13.
- [7] BRADLEY E, HANDWERKER C A, BATH J, et al. Lead-free electronics: INEMI projects lead to successful manufacturing[M]. New York: Wiley-IEEE Press, 2007.
- [8] 陆裕东,何小琦,恩云飞,等. P 对 Au/Ni/Cu 焊盘与 SnAgCu 焊点焊接界面可靠性的影响[J]. 稀有金属材料与工程, 2009, 38(3): 477-480.
- [9] MILAD G, WALSH D. New developments in ENIG and ENEPIG[J]. The PCB Magazine, 2013(6): 24.
- [10] 郑莎,欧植夫,翟青霞,等. 化学镀镍钯浸金表面处理工艺概述及发展前景分析[J]. 印制电路信息, 2013, 21(5): 8-11.
- [11] 林金塔,吴梅珠. 化学镀镍 / 化学镀钯 / 浸金表面涂覆层的再提出[J]. 印制电路信息, 2011, 19(3): 29-32.
- [12] 赵科,李茂松. 高可靠先进微系统封装技术综述[J]. 微电子学, 2023, 53(1): 115-120.

作者简介:

刘彬灿 (1993—), 男, 河南漯河人, 本科, 主要从事镍钯浸金表面处理技术和热滑移临时键合胶产品的研发工作。

