

# 化学镀的研究进展及发展趋势

张丽, 张彦

(衡水学院 应用化学系, 河北 衡水 053000)

**摘要:** 化学镀能够有效增强基体材料的表面性能, 拓展其应用范围, 在许多领域具有广泛的应用前景。综述了化学镀的基本原理、处理方法及施镀工艺, 详细讨论了化学镀的研究进展。归纳了化学镀层的种类及应用技术, 主要包括化学镀镍、化学镀铜、化学镀钴、化学镀银、化学镀锡、化学镀金等。分别讨论了各类化学镀的研究进展、优势、劣势及应用范围。在此基础上归纳了化学镀存在的问题, 主要为对能源的消耗和对环境的污染, 引起了人们的广泛关注。化学镀技术发展呈现多元化的趋势, 主要集中在激光增强化学镀、超声波化学镀、粉体化学镀、多层化学镀、稀土化学镀、复合化学镀。化学镀未来的发展方向一是原有化学镀工艺的进一步完善和提高, 二是具有商业价值的新领域以及超功能性新材料所带来的化学镀技术新应用。

**关键词:** 化学镀; 镀镍; 镀铜; 镀钴; 镀银; 镀锡; 镀金

**中图分类号:** TG174.4    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1001-3660(2017)12-0104-06

**DOI:** 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2017.12.018

## Research Progress and Development Trend of Chemical Plating

ZHANG Li, ZHANG Yan

(Department of Applied Chemistry, Hengshui University, Hengshui 053000, China)

**ABSTRACT:** Chemical plating can enhance surface properties of substrate materials effectively and expand its application range of substrate materials, hence it has extensive application prospect in many fields. Basic principle, handling method and application technology of chemical plating were reviewed. Research progress of electroless plating were discussed in detail, and types and application technologies of chemical plating were summarized, mainly including chemical nickel plating, chemical copper plating, chemical cobalt plating, chemical silver plating, chemical tin plating and chemical gold plating. Moreover, research progress, advantages, disadvantages and application scope of various chemical plating were discussed. Problems of chemical plating were concluded. The main concerns—energy consumption and environmental pollution have attracted much public concern. Chemical plating technology showed diversification trend of development, mainly in laser-enhanced chemical plating, ultrasonic chemical plating, powder chemical plating, multi-layer chemical plating, rare earth chemical plating and composite electroless plating. One development direction of chemical plating in the future is to further improve original chemical plating process, the other is new application of chemical plating technology brought by new field of commercial value and super functional new materials.

收稿日期: 2017-07-01; 修订日期: 2017-09-30

Received: 2017-07-01; Revised: 2017-09-30

基金项目: 河北省教育厅青年专项资助项目 (15211231); 河北省科技厅自筹经费项目 (16211410)

Fund: Supported by Youth Special Project Supported by Hebei Provincial Department Education (15211231), Self Financing Project of Hebei Provincial Science and Technology Department (16211410)

作者简介: 张丽 (1982—), 女, 硕士, 讲师, 主要研究方向为精细化工。

Biography: ZHANG Li(1982—), Female, Master, Lecturer, Research focus: fine chemicals.

**KEY WORDS:** chemical plating; nickel plating; copper plating; cobalt plating; silver plating; tin plating; gold plating

化学镀是一种良好的材料表面改性技术, 主要原理为在金属离子溶液中, 利用强还原剂将金属离子还原成单质金属, 并沉积在基体材料表面形成致密镀层<sup>[1-3]</sup>。此方法不仅可以在金属表面形成镀层, 还可以在非金属表面形成镀层, 具有涂膜层薄、孔隙率低、包覆性好等特点<sup>[4-6]</sup>。同时, 基体材料的抗腐蚀性、耐磨性、导电性和导磁性等大幅度提高。以上优点使其在电子产业、材料加工、军事设备等领域得到了广泛应用<sup>[7]</sup>。

## 1 化学镀的研究现状

随着社会的进步和科技的发展, 化学镀表面处理技术的优良特性受到人们的广泛关注。总结前期研究, 化学镀主要有置换沉积、接触沉积和还原沉积三种方式, 化学镀的基体材料从金属发展到了合金和非金属, 化学镀层的功能和化学镀液的种类也不断得到扩展和丰富<sup>[8-11]</sup>。但是, 化学镀过程对能源的消耗和对环境的危害也日益严重。因此, 如何改进和完善化学镀技术, 探索性能更为优异的镀层和基体, 从而降低化学镀的成本和减少对环境的危害, 对化学镀的应用和发展具有重要意义<sup>[12-14]</sup>, 本文综述了化学镀的研究进展及发展趋势。

## 2 化学镀技术的研究进展

### 2.1 化学镀镍的应用研究

化学镀镍通常是指镀镍合金(镍-磷和镍-硼合金)。由于镍合金性能优异, 能够有效改善基体材料表面的性质, 提高其强度和稳定性, 进一步丰富和拓展其功能<sup>[15]</sup>。随着机械、制造等领域的发展, 具有良好抗磨耐腐蚀性能的复合化学镀得到较多发展。

闫丽丽等<sup>[16]</sup>通过在碳纤维表面化学镀镍, 使其导电性能明显增强。然后将镀镍碳纤维作为导电填料制备镀镍碳纤维/环氧树脂复合材料。研究发现其电磁屏蔽能力有较大幅度提高, 且复合材料屏蔽效能主要取决于材料的电阻率。黄晖等<sup>[17]</sup>采用化学沉积的方法在钢铁表面镀镍, 借助电化学技术比较了钢铁和化学镀层的耐腐蚀性能。Rams 等<sup>[18]</sup>为提高化学镀镍的效果, 先将镍与铝粉混合加热, 使其在基体材料界面生成镍-铝过渡金属, 得到镀层均匀的复合材料, 使基体材料性能得到有效提高。郑智等<sup>[19]</sup>通过试验研究了硫酸铈与硫酸铜对化学镀镍的影响, 结果发现两者均能降低体系的活化能, 从而优化了施镀工艺。矫海霞

等<sup>[20]</sup>采用二甲基胺硼烷作为还原剂, 在碳纤维表面化学镀 Ni-Co-B 三元合金, 结果获得了连续、均匀的合金涂层, 基体磁性明显改善。由于化学镀镍层具有优秀的均匀性、硬度、耐磨性和耐蚀性等综合物理化学性能, 该项技术已经得到广泛应用<sup>[21]</sup>。

### 2.2 化学镀铜的应用研究

化学镀铜是在含有铜离子的溶液和基体材料的界面加入还原剂, 将铜离子在基体表面还原成单质铜。还原剂的种类较多, 应用较多的为硼氢化物、二甲胺基硼烷(DMAB)和甲醛等。H. Honma<sup>[22]</sup>采用乙醛酸作还原剂, 在基体表面化学镀铜。该方法效率高, 能够减轻对环境的危害。K. Kondo 等<sup>[23]</sup>采用三乙醇胺作络合剂进行化学镀铜, 提高了化学镀的镀速和稳定性。刘建国等<sup>[24]</sup>采用 CO<sub>2</sub> 激光诱导液相沉积技术, 在环氧树脂基体界面沉积出了金属铜线。秦静等<sup>[25]</sup>通过试验研究了化学镀铜地热地板的化学结构与导热性能, 发现镀铜地热地板的导热率明显增强, 且随着施镀时间的增加, 导热率逐渐增大。

化学镀铜还可以用来制造复合粉体, 如化学镀铜聚酯微粉可用作导电填料, 粉煤灰空心微粉化学镀铜可以作为电磁屏蔽和吸波材料。随着化学镀铜技术的应用, 超级化学镀铜逐渐发展了起来, 其原理是利用铜在不同层面的沉积速率不同, 使铜完全填充在基体的道沟或微孔中。

化学镀铜操作简单, 不需要通电, 稳定性高, 工作温度和溶液浓度适用范围较宽。同时, 铜层致密, 有极佳的结合力, 而且可以在任何非导电的基体上进行沉积。以上特点使化学镀铜在印制板制造中得到了广泛应用。其中, 应用最多的是进行孔金属化, 以完成双面或多层印制板层间导线的联通<sup>[26,27]</sup>。

### 2.3 化学镀钴的应用研究

化学镀钴最大优点是具有独特的强磁性, 而且其磁性可以通过改变镀液组成及工艺参数来调整。所以, 化学镀钴技术在磁性材料的加工与使用领域应用前景广阔。在化学镀钴中, Co-Ni-P 合金应用较多, Co-Ni-P 镀层兼具了 Ni-P 和 Co-P 两种合金的优势, 能够使基体材料的电磁转换性能增强, 同时耐磨性和镀膜硬度提高, 拓展基体材料的应用范围。随着镀钴技术的发展, Co-Fe-P、Co-W-P 和 Co-Cu-P 合金镀层因其良好的耐磨性和磁性<sup>[28]</sup>, 在计算机领域也得到广泛应用。

张积桥等<sup>[29]</sup>通过在碳纤维表面化学镀钴对其表面性能进行改善, 获得了均匀连续的镀层, 并研究了

配方比例和施镀时间对镀层厚度和性质的影响。侯鑫等<sup>[30]</sup>以硫酸钴和硫酸镍为基础,通过在碳纤维表面镀钴-镍合金得到均匀、致密的碳纤维/钴-镍合金复合粒子,发现其主要结构为面心立方结构的 Co-Ni 合金。李国辉等<sup>[31]</sup>通过实验研究了化学镀钴对 AB<sub>3</sub> 型储氢合金电化学性能的影响,结果表明镀钴后合金的放电比容量增大,稳定性提高,电化学反应活性增强。毕红等<sup>[32]</sup>研究了化学镀钴对碳纳米管吸收峰的变化,发现施镀后材料的吸收峰向高频方向移动,且吸收强度增加。李元豪等<sup>[33]</sup>通过实验研究了施镀工艺对镀层沉积速率的影响,并优化了化学镀工艺。

## 2.4 化学镀银的应用研究

化学镀银凭借其优良的导电性、导热性及可焊性,在电子机械、印刷电路、光学等领域得到广泛应用。但银价格昂贵以及镀液稳定性差等原因限制了化学镀银的使用范围。近年来,随着化学镀技术的进步,化学镀银得到了较大发展<sup>[34]</sup>。在镀液中添加硫脲、氨基羧酸和聚胺等能够提高镀液的稳定性以及镀层的外观<sup>[35,36]</sup>。

范佳臻等<sup>[37]</sup>采用不同的方法研究了低碳钢表面化学镀银的效果,置换法与直接还原法均能在基体表面形成镀层,且使接触角明显提高。其中,还原法的结构更致密,而置换法的结合强度更高。俞晟等<sup>[38]</sup>研究了 PdCl<sub>2</sub> 和 HCl 的质量浓度对聚乙烯膜化学镀银层稳定性和导电性的影响,确定了镀液的最佳配方,优化了镀银层的稳定性和导电性。李祝等<sup>[39]</sup>在玻璃纤维表面化学镀银,并将其应用在环氧树脂中,结果发现当改性时间为 100 min、葡萄糖为还原剂、主盐硝酸银质量浓度为 20 g/L 时,镀银效果最好,制备的复合材料体积电阻率大幅降低,导电效果明显提升。李金龙等<sup>[40]</sup>通过试验在 3-巯丙基三乙氧基硅烷 (KH580) 改性的玻璃纤维表面化学镀银,发现当 KH580 质量分数为 2% 时,基体材料的镀银层均匀致密,镀层结合牢固,电阻率大幅度降低。

近年来,在各种非金属纤维、微球等粉体材料上施镀成为了研究的热点。宋春雨等<sup>[41]</sup>在涤纶纤维表面采用不经活化处理的方法化学镀银,通过表征和分析发现,涤纶纤维适合采用无活化处理方法化学镀银,此种方法能够快速催化化学镀银反应,形成致密均匀的金属银层,使纤维导电性能提高。张爱女等<sup>[42]</sup>在试验中采用聚多巴胺对铝球表面进行预处理,然后在改性的基体表面化学镀银,研究发现当硝酸银的质量浓度为 10 g/L 时,在铝球表面可形均匀致密的单质银,且镀银铝球的导电性大幅提高。同时,聚氨酯泡沫塑料表面镀银,可用于制备发泡金属<sup>[43]</sup>。

银镀层很容易抛光,有很强反光能力和良好的导热性、导电性和焊接性能。随着技术的不断发展,

化学镀银广泛应用于电子工业、通讯设备和仪器仪表制造业,以减少金属零件表面的接触电阻,从而提高金属的焊接能力。同时,其还用于石膏、电铸模等非导体表面制备导电层<sup>[44]</sup>。

## 2.5 化学镀锡的应用研究

化学镀锡具有施镀温度较低、镀层厚度均匀、操作方便及可焊性好等优点,在表面安装技术 (SMT)、电子元器件以及 PCB 板等领域有很好的发展前途。同时,其也是实现取代热风整平表面涂覆绿色化的重要手段<sup>[45]</sup>。

王星星等<sup>[46]</sup>研究了施镀时间、加热温度、保温时间对 BAg35CuZnSn 钎料化学镀锡的影响,发现微米锡化学镀层可改善 BAg35CuZnSn 钎料的润湿铺展性能。当施镀时间为 10 min、加热温度为 820 ℃、保温时间为 35 s 时,BAg35CuZnSn 钎料表面镀锡后的效果最好,润湿铺展面积为 460 mm<sup>2</sup>。王钰蓉等<sup>[47]</sup>研究了温度对化学镀锡的影响,在含镀离子的氯化胆碱-水溶液中对铜片进行化学镀锡,结果表明锡的沉积速率随着温度的升高不断加快,耐蚀性和可焊性有所提高,且在不同的温度下,镀锡层的晶相组成不同。周栋等<sup>[48]</sup>通过对黄铜基体镀锡,以改善其性能,综合分析了其形貌和厚度,发现黄铜表面镀锡层的结合力和耐蚀性都明显提高。白苗等<sup>[49]</sup>采用化学镀的方法制备了 Ni/Sn 双镀层芳纶纤维,分析了芳纶纤维的表面形貌、镀层成分和物相变化,发现前处理能够洁净催化过渡表面,当镀液 pH 值为 0.8~1.2,施镀温度为 150 min 时,镍锡镀层与芳纶纤维结合致密且牢固,镀层耐腐蚀性、结合强度和导电性能良好。但化学镀锡工艺仍然存在镀膜过厚、镀速慢及发黑变色等问题<sup>[50,51]</sup>。

## 2.6 化学镀金的应用研究

化学镀金可根据镀液中是否含有还原剂分为置换型化学镀金和还原型化学镀金。其中,置换镀是利用所镀金属与被镀金属之间的电位差,而还原镀则需要加入还原剂,最终析出所镀金属。化学镀金由于其优良的性质,在电子元器件、光学仪器及首饰等方面得到了广泛应用。

赵林南等<sup>[52]</sup>在镀液中加入聚丙烯酰胺和聚乙二醇,研究了添加剂对压电陶瓷表面无氰化学镀金的影响,结果表明加入质量浓度为 1.5 g/L 的聚乙二醇或质量浓度为 2.0 g/L 的聚丙烯酰胺时,化学镀镀速较高,镀层性能较好。比较而言,聚乙二醇对镀速影响较大,而聚丙烯酰胺则对镀层耐腐蚀性的提高起主要作用。王尧<sup>[53]</sup>通过加入有机缓蚀剂和还原剂,设计了无氰化学镀金工艺,减轻了镀金过程中的基体腐蚀,减少了后续焊接失效的发生。以此为基础,选择苯腈

三氮唑 (BTA) 作为无氰化学镀金液中的添加剂, 当 BTA 质量浓度为 50 mg/L 时, 镀金层质量较好。李冰等<sup>[54]</sup>通过单因素试验对亚硫酸盐体系镀金工艺及性能进行改善, 得出了化学镀金的最佳条件为:  $\text{Na}_3\text{Au}(\text{SO}_3)_2$  浓度 25 mmol/L,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  浓度 0.3 mol/L, 三乙醇胺浓度 0.1 mol/L,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  浓度 5 mmol/L,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  浓度 0.2 mol/L, pH 值 6.5, 施镀温度 60 °C, 搅拌速率 1 m/min。此时, 镀液稳定, 镀层厚度均匀, RSD 小于 10%, 表面粗糙度为 20.8 nm 左右, 满足化学镀金工艺的要求。化学镀金中要镀的部分不需要电器连接, 镀层均匀, 更适合于表面贴装。

### 3 展望

化学镀作为优异的表面处理技术, 其过程主要涉及预处理、镀液配方、操作工艺条件等方面, 由于其对基体材料表面性质的改善, 在众多领域得到了广泛应用。同时, 化学镀对能源的消耗和对环境的污染也引起了人们的重视, 如何更好地改善化学镀技术已经成为重要问题。近年来, 化学镀技术发展呈现多元化的趋势, 化学镀未来的发展方向有两个: 一个是原有化学镀工艺的进一步完善和提高, 另一个是具有商业价值的新领域以及超功能性新材料所带来的化学镀技术新应用。

#### 参考文献:

- [1] LUO H, CAI Q, WEI B, et al. Effect of  $(\text{NaPO}_3)_2$  Concentrations on Corrosion Resistance of Plasma Electrolytic Oxidation Coatings Formed on Magnesium Alloy[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2008, 464(1): 537-543.
- [2] LIU G, XU C, CHEN H, et al. Electroless Deposition Method for Silver-coated Carbon Fibres[J]. Micro & Nano Letters, 2015, 10(6): 315-317.
- [3] ZHAO G L, YONG Z, ZHANG H, et al. Correlation between Corrosion Resistance and the Local Atomic Structure of Electroless, Annealed Ni-P Amorphous Alloys[J]. Materials Letters, 2014, 132: 221-223.
- [4] CHENGY H, ZOU Y, CHENG L. Effect of the Microstructure on the Antifouling Property of the Electroless Ni-P Coating[J]. Materials Letters, 2008, 62: 4283-4285.
- [5] PENG S, SONG L, WANG Y, et al. The Suspension-emulsion Combined Polymerization of Fluorinated Acrylic Monomer and the Fluorinated Latex Film Surface Properties[J]. Colloid and Polymer Science, 2011, 289(2): 149-157.
- [6] DUARI S, BARMAN T K, SAHOO P. Comparative Study of Tribological Properties of Ni-P Coatings under Dry and Lubricated Conditions[J]. Science Direct, 2014, 5: 978-987.
- [7] CAVALLOTTI P L, MAGAGNIN L, CAVALLOTTI C. Influence of Added Elements on Autocatalytic Chemical Deposition Electroless Ni-P[J]. Electrochimica Acta, 2013, 114: 805-812.
- [8] XU Y F, ZHENG X J, HU X G, et al. Preparation of the Electroless Ni-P and Ni-Cu-P Coatings on Engine Cylinder and Their Tribological Behaviors under Bio-oil Lubricated Conditions[J]. Surface & Coatings Technology, 2014, 258: 790-796.
- [9] ZHU L, LUO L, LUO J, et al. Effect of Electroless Plating Ni-Cu-P Layer on Brazability of Cemented Carbide to Steel[J]. Surface & Coatings Technology, 2012, 206: 2521-2524.
- [10] HUI Z, ZHANG H H, JIAN Z C. A New Method for Electroless Ni-P Plating on AZ31 Magnesium Alloy[J]. Surface and Coatings Technology, 2007, 202(1): 133-139.
- [11] WANG X J, YU G, OUANG Y J, et al. One-step Pickling-activation before Magnesium Alloy Plating[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2009, 19(2): 504-510.
- [12] NIE D, XU C, CHEN H, et al. Chain-like CoNi Alloy Microstructures Fabricated by a PVP-assisted Solvothermal Process[J]. Materials Letters, 2014, 131: 306-309.
- [13] 孙书杰, 刘秀军, 冯志海, 等. 碳纤维表面化学镀的研究进展[J]. 材料导报, 2014, 28(5): 42-46.  
SUN Shu-jie, LIU Xiu-jun, FENG Zhi-hai, et al. Development of Electroless Plating on Surface of Carbon Fibers[J]. Materials Reviews, 2014, 28(5): 42-46.
- [14] 陈曙光, 刘君武, 丁厚福. 化学镀的研究现状、应用及展望[J]. 热加工工艺, 2000(2): 43-45.  
CHEN Shu-guang, LIU Jun-wu, DING Hou-fu, et al. The Present Situation, Applications and Expectation of Electroless Plating[J]. Heat Process Property, 2000(2): 43-45.
- [15] 王峰, 宣天鹏, 孟栋. 超声波下化学镀 Co-Ni-P 合金工艺的研究[J]. 电镀与环保, 2014, 34(1): 26-29.  
WANG Feng, XUAN Tian-peng, MENG Dong. A Study of Ultrasonic Electroless Co-Ni-P Alloy Plating Process[J]. Electroplating & Pollution Control, 2014, 34(1): 26-29.
- [16] 闫丽丽, 乔妙杰, 雷忆三, 等. 化学镀镍碳纤维/环氧树脂复合材料电磁屏蔽性能[J]. 复合材料学报, 2013, 30(2): 44-49.  
YAN Li-li, QIAO Miao-jie, LEI Yi-san, et al. EMI Shielding Effectiveness of Electroless Nickel-plated Carbon Fibers/Epoxy Resin Composites[J]. Acta Materialiae Compositae Sinica, 2013, 30(2): 44-49.
- [17] 黄晖, 富阳, 刘艳华, 等. Ni-P 化学镀层对工业锅炉腐蚀防护的可行性研究[J]. 电镀与环保, 2014, 34(6): 40-42.  
HUANG Hui, FU Yang, LIU Yan-hua, et al. Feasibility Study of Ni-P Electroless Coating on Corrosion Protection of Industrial Boiler[J]. Electroplating & Pollution Control, 2014, 34(6): 40-42.
- [18] RAMS J, URENA A, ESCALERA M D. Electroless

- Nickel Coated Short Carbon Fibers in Aluminium Matrix Composites[J]. Compos: Part A, 2007, 38: 565-567.
- [19] 郑智, 李雨, 刘定福. 硫酸铈与硫酸铜对化学镀镍的影响[J]. 电镀与环保, 2016, 36(1): 27-30.  
ZHENG Zhi, LI Yu, LIU Ding-fu. Influences of  $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$  and  $\text{CuSO}_4$  on Electroless Nickel Plating[J]. Electroplating & Pollution Control, 2016, 36(1): 27-30.
- [20] 矫海霞, 谢广文, 崔作林. 纳米螺旋碳纤维表面化学镀 Ni-Co-B 涂层研究[J]. 材料工程, 2007, 2007(4): 47-49.  
JIAO Hai-xia, XIE Guang-wen, CUI Zuo-lin. Study of Electroless Nickel-Cobalt-Boron Coatings on Helical Carbon Nanofibers[J]. Materials Engineering, 2007, 2007(4): 47-49.
- [21] 马春阳, 吴蒙华, 曲智家. 超声波-化学镀 Ni-P-SiC 纳米复合镀层的工艺研究[J]. 金属热处理, 2011, 36(4): 89-92.  
MA Chun-yang, WU Meng-hua, QU Zhi-jia. Technology of Ultrasonic-electroless Plating Ni-P-SiC Nanocomposite Coating[J]. Heat Treatment of Metals, 2011, 36(4): 89-92.
- [22] ABYANEH M Y, STERRITT A, MASON T J. Effects of Ultrasonic Irradiation on the Kinetics of Formation, Structure, and Hardness of Electroless Nickel Deposits [J]. Journal of the Electrochemical Society, 2007, 154 (9): 467-472.
- [23] HONAMA H, KOBAYASHI T. Electroless Copper Deposition Presence Using Glyoxylic Acid as a Reducing Agent[J]. Journal of the Electrochemical Society, 1994, 141(3): 21-24.
- [24] KONDO K, ISHIKAWA J, TAKENAKA O, et al. Electroless Copper Plating in the Presence of Excess Triethanol Amine[J]. Journal of the Electrochemical Society, 2009, 137(6): 1859-1860.
- [25] 刘建国, 陈存华, 黄维玲, 等.  $\text{CO}_2$  激光诱导局域化学镀铜的研究[J]. 激光技术, 2003, 27(1): 16-18.  
LIU Jian-guo, CHEN Cun-hua, HUANG Wei-ling, et al. Experimental Study of  $\text{CO}_2$  Laser Induced Locally Chemical Depositions of Copper[J]. Laser Technology, 2003, 27(1): 16-18.
- [26] 秦静, 陈丽杰, 沈德君. 电热式化学镀铜地热地板的表面化学结构与导热性[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2017, 18(2): 277-280.  
QIN Jing, CHEN Li-jie, SHEN De-jun. Surface Chemical Structure and Thermal Conductivity of Electrothermal Electroless Copper Plating Geothermal Floor[J]. Journal of Beihua University(Natural Science), 2017, 18(2): 277-280.
- [27] 邹思云, 周贤良, 崔霞, 等.  $\text{SiC}_p$  表面化学镀铜对  $\text{SiC}_p/\text{Al}$  复合材料耐蚀性的影响[J]. 材料热处理学报, 2017, 38(5): 6-12.  
ZOU Si-yun, ZHOU Xian-liang, CUI Xia, et al. Effect of Electroless Copper Plating on Surface of  $\text{SiC}_p$  on Corrosion Resistance of  $\text{SiC}_p/\text{Al}$  Composites[J]. Transactions of Materials and Heat Treatment, 2017, 38(5): 6-12.
- [28] 钟三子, 冯建中, 黄君涛. 化学镀铜的研究进展[J]. 广东化工, 2009, 36(8): 96-97.  
ZHONG San-zi, FENG Jian-zhong, HUANG Jun-tao. Progress of Electroless Plating Copper[J]. Guangdong Chemical Industry, 2009, 36(8): 96-97.
- [29] 魏超, 任婷. 超声波辅助化学镀 Ni-P 工艺研究[J]. 表面技术, 2017, 46(3): 91-95.  
WEI Chao, REN Ting. Technology of Ultrasound-assisted Ni-P Electroless Plating[J]. Surface Technology, 2017, 46(3): 91-95.
- [30] 张积桥, 杨玉国, 朱红, 等. 碳纤维化学镀钴工艺研究[J]. 电镀与精饰, 2008, 30(5): 31-33.  
ZHANG Ji-qiao, YANG Yu-guo, ZHU Hong, et al. Study on Electroless Cobalt Plating Technology on Carbon Fiber[J]. Plating and Finishing, 2008, 30(5): 31-33.
- [31] 侯鑫, 刘贵林, 陈慧玉, 等. 碳纤维表面化学镀钴-镍合金工艺研究[J]. 电镀与涂饰, 2016, 35(4): 174-178.  
HOU Xin, LIU Gui-lin, CHEN Hui-yu, et al. Study on Electroless Cobalt-Nickel Alloy Plating on Surface of Carbon Fiber[J]. Electroplating & finishing, 2016, 35 (4): 174-178.
- [32] 李国辉, 黄红霞, 王新颖. 镀钴对  $\text{AB}_3$  型储氢合金电化学性能的影响[J]. 电源技术与设计, 2015, 39 (12): 2653-2655.  
LI Guo-hui, HUANG Hong-xia, WANG Xin-ying. Effect of Electroless Cobalt Plating on Electrochemical Properties for  $\text{AB}_3$  Type Hydrogen Storage[J]. Alloy Power Technology Research and Design, 2015, 39(12): 2653-2655.
- [33] 毕红, 吴先良, 李民权. 镀钴碳纳米管/环氧树脂复合材料的制备与其微薄吸收特性研究[J]. 宇航材料工艺, 2005(2): 34-36.  
BI Hong, WU Xian-liang, LI Min-quan. Electroless Plating Preparation and Microwave Absorbing Properties of Co-coated Carbon Nanotubes/Epoxy Composite [J]. Aerospace Materials & Technology, 2005(2): 34-36.
- [34] 李元豪, 沈翔, 沈晓丹. 镀钴碳纳米管的制备及其电磁特性[J]. 材料保护, 2011, 44(3): 4-7.  
LI Yuan-hao, SHEN Xiang, SHEN Xiao-dan. Preparation and Electromagnetic Properties of Electroless Cobalt Coating on Carbon Nanotubes[J]. Journal of Materials Protection, 2011, 44(3): 4-7.
- [35] 李金龙, 陈健, 汪庆卫, 等. 化学镀银工艺对玻璃纤维性能影响研究[J]. 化工新型材料, 2017, 45(3): 193-195.  
LI Jin-long, CHEN Jian, WANG Qing-wei, et al. Influence of Electroless Plating Process on the Property of Glass Fiber[J]. New Chemical Materials, 2017, 45 (3): 193-195.
- [36] CHLADOVA A, WIENER J, LUTHULI J M, et al. Dyeing of Glass Fibers by the Sol Gel Method[J]. Autex Research Journal, 2011, 11(1): 18-22.
- [37] 梅冰, 乔学亮, 邱小林, 等. 粉体化学镀银的研究进展[J]. 材料保护, 2006, 39(12): 41-44.

- MEI Bing, QIAO Xue-liang, QIU Xiao-lin, et al. Research Progress of Electroless Silver Plating on Powders[J]. Journal of Materials Protection, 2006, 39(12): 41-44.
- [38] 范佳臻, 田如锦, 滕颖丽. 低碳钢表面化学镀银方法分析[J]. 大连交通大学学报, 2016, 37(2): 111-113.  
FAN Jia-zhen, TIAN Ru-jin, TENG Ying-li. Electroless Silver Plating on Low Carbon Steel[J]. Journal Dalian Jiaotong University, 2016, 37(2): 111-113.
- [39] 俞晟, 李邦玉, 张采. 活化条件对聚乙烯膜化学镀银层稳定性和导电性的影响[J]. 电镀与环保, 2017, 37(1): 41-43.  
YU Sheng, LI Bang-yu, ZHANG Cai. Influence of Activation on the Stability and Conductivity of Electroless Silver Coating on Polyethylene Membrane [J]. Electroplating & Pollution Control, 2017, 37 (1): 41-43.
- [40] 李祝, 李红, 张志伟. 镀银玻璃纤维的制备及其在环氧树脂中的应用[J]. 电镀与环保, 2016, 35(15): 788-792.  
LI Zhu, LI Hong, ZHANG Zhi-wei. Preparation of Silver-coated Glass Fiber and Its Application in Epoxy Resin[J]. Electroplating & Pollution Control, 2016, 35(15): 788-792.
- [41] 李金龙, 汪庆卫, 王宏志, 等. 巯基改性玻璃纤维化学镀银导电性的研究[J]. 功能材料, 2016, 47(11): 11051-11055.  
LI Jin-long, WANG Qing-wei, WANG Hong-zhi, et al. Study of the Conductivity on the Electroless Plating Silver Glass Fiber Modified with Mercapto Group[J]. Functional Materials, 2016, 47(11): 11051-11055.
- [42] 宋春雨, 延亚峰, 史晨, 等. 无活化化学镀银涤纶纤维的制备及性能研究[J]. 化工新型材料, 2016, 44(7): 179-181.  
SONG Chun-yu, YAN Ya-feng, SHI Chen, et al. Preparation of Silver-coating Polyester Fiber by Electroless Plating with no Activation[J]. New Chemical Materials, 2016, 44(7): 179-181.
- [43] 张爱女, 张琼瑶, 王红梅. 铝球化学镀银工艺的研究[J]. 电镀与环保, 2016, 36(1): 24-26.  
ZHANG Ai-nyu, ZHANG Qiong-yao, WANG Hong-mei. Electroless Silver Plating on Aluminum Microsphere[J]. Electroplating & Pollution Control, 2016, 36(1): 24-26.
- [44] 王政, 赵炯心. 化学镀银导电聚氨酯纤维的制备[J]. 合成技术及应用, 2006, 21(3): 35-40.  
WANG Zheng, ZHAO Jiong-xin. The Study of Chemical Silver Plating on Polyurethane Fiber[J]. Synthetic Technology and Application, 2006, 21(3): 35-40.
- [45] SHUKLA S, SEAL S, RAHAMAN Z, et al. Electroless Copper Coating of Cenospheres Using Silver Nitrate Activator[J]. Materials Letters, 2002, 57(1): 151-156.
- [46] 屠振密, 李宁, 黎德育, 等. 化学镀钴-磷基多元合金的研究现状[J]. 表面技术, 2003, 32(1): 15-21.  
TU Zhen-mi, LI Ning, LI De-yu, et al. Research Status of Electroless Plating of Cobalt-Phosphorus Multicomponent Alloy[J]. Surface Technology, 2003, 32(1): 15-21.
- [47] 王星星, 龙伟民, 朱坤, 等. 化学镀锡层对 BAg35-CuZnSn 钎料润湿性的影响[J]. 焊接, 2014(9): 32-35.  
WANG Xing-xing, LONG Wei-min, ZHU Kun, et al. The Effect of the Chemical Tin Coating on BAg35CuZnSn Solder Moisture[J]. Welding, 2014(9): 32-35.
- [48] 王钰蓉, 曹小云, 陈靓, 等. 温度对浸镀锡镀层的影响[J]. 常州大学学报(自然科学版), 2015, 27(1): 32-36.  
WANG Yu-rong, CAO Xiao-yun, CHEN Jing, et al. Effect of Plating Temperature on Immersion Tin coating[J]. Journal of Changzhou University(Natural Science Edition), 2015, 27(1): 32-36.
- [49] 周栋, 王瑀, 丁毅, 等. 黄铜化学镀锡层性能的研究[J]. 电镀与环保, 2016, 36(2): 25-27.  
ZHOU Dong, WANG Yu, DING Yi, et al. Study on the Properties of Electroless Tin Coating on Brass[J]. Electroplating & Pollution Control, 2016, 36(2): 25-27.
- [50] 白苗, 孙勇, 段永华, 等. 芳纶纤维表面化学镀 Ni/Sn 研究[J]. 功能材料, 2014, 45(4): 4134-4138.  
BAI Miao, SUN Yong, DUAN Yong-hua, et al. Study of Electroless Ni/Sn Plating on Kevlar Fiber[J]. Function Materials, 2014, 45(4): 4134-4138.
- [51] 徐瑞东, 郭忠诚, 靳跃华. 铜基上化学镀锡新工艺初探[J]. 电镀与涂饰, 2001, 20(4): 26-34.  
XU Rui-dong, GUO Zhong-cheng, QIN Yue-hua. Preliminary Investigation of Electroless Tin Plating on Copper Substrate[J]. Electroplating & Finishing, 2001, 20(4): 26-34.
- [52] 赵国鹏, 樊江莉, 温青. 化学镀可焊性锡基合金的研究进展[J]. 电镀与涂饰, 2001, 20(1): 46-49.  
ZHAO Guo-peng, FAN Jiang-li, WEN Qing. Progress of Research on Electroless Plating of Solderable Tin Alloy[J]. Electroplating & Finishing, 2001, 20(1): 46-49.
- [53] 赵林南, 张娜, 张颖, 等. 添加剂对压电陶瓷表面化学镀金工艺的影响[J]. 材料保护, 2016, 49(4): 33-35.  
ZHAO Lin-nan, ZHANG Na, ZHANG Ying, et al. Influence of Additives on Electroless Gold Plating Process on Piezoelectric Ceramic Surface[J]. Journal of Materials Protection, 2016, 49(4): 33-35.
- [54] WANG Y, LIU H, BI S, et al. Effects of Organic Additives on the Immersion Gold Depositing from a Sulfite-Thiosulfate Solution in an Electroless Nickel Immersion Gold Process[J]. RSC Advances, 2016, 6: 9656-9662.
- [55] 李冰, 李宁, 谢金平, 等. 亚硫酸盐体系置换镀金的性能表征及工艺优化[J]. 电镀与涂饰, 2016, 35(9): 444-448.  
LI Bing, LI Ning, XIE Jin-ping, et al. Characterization of Gold Coating Plated by Immersion in Sulfite-based Bath and Process Optimization[J]. Electroplating & Finishing, 2016, 35(9): 444-448.