

# 非金属材料表面化学镀银

黄少强, 邱文革, 李生华

(北京工业大学 环境与能源工程学院, 北京 100022)

**摘要:**介绍了非金属材料表面化学镀银工艺及研究现状. 非金属材料化学镀银工艺包括表面预处理和实施化学镀银 2 个步骤, 其中表面预处理过程包括粗化、敏化和活化. 根据化学镀银反应机理, 分别探讨了还原法、置换法和自组装方法. 研究认为, 还原法与其他方法相比操作相对简单, 仍是目前研究的重点; 置换法除了可以获得单一镀层外, 还可获得性能优良的合金镀层. 在探索镀层沉积机理等方面也有广阔的前景; 自组装法是一种很有发展潜力的化学镀方法, 特别适用于对镀层结合力要求较高的化学镀过程.

**关键词:**非金属材料; 表面预处理; 化学镀银

中图分类号: TQ 153

文献标识码: A

文章编号: 0254-0037(2005)01-0075-06

近年来, 各种功能性材料发展迅速, 导电高分子材料作为其中一个重要分支由于其应用领域广而备受关注. 根据其结构特点, 导电高分子材料可分为结构型和复合型两大类. 其中复合型导电高分子材料指高分子材料本身不具导电性, 在加工成型阶段通过加入导电填料而使制品具有导电性<sup>[1]</sup>. 而镀金属的碳纤维、玻璃纤维、玻璃微球等用作导电填料由于重量轻、易加工成型及电阻率可调性大等优点成为近来开发的热点<sup>[2,3]</sup>. 目前, 上述导电填料的应用研究多集中在抗静电及电磁波屏蔽方面<sup>[4,6]</sup>, 如军事工业中的隐身技术和吸波材料<sup>[7]</sup>, 电子工业中的抗外电磁场干扰以及阻碍电子元器件自身产生的电磁场外溢<sup>[8]</sup>. 在高密度聚乙烯薄膜制成的微囊表面镀银, 可用于临床上介入疗法球囊电极<sup>[9]</sup>; 在空心或实心微球(玻璃或陶瓷)表面镀银可用作厚膜电路材料、电容器、垫圈和密封材料<sup>[10]</sup>; 近年来还开发出各种用途的导电涂料<sup>[11-14]</sup>. 除上述应用外, 在印制板、非金属(如陶瓷制品)表面镀银后还可获得导电性良好, 且具可焊性的表面精饰镀层.

随着材料保护和精饰技术的发展, 对材料表面进行金属化的方法很多, 如电镀、化学镀、喷镀等. 化学镀则由于工艺相对简单、不要求材料本身具有导电性而特别适用于各种形状不规则的非金属基体施镀.

## 1 化学镀银预处理工艺及其进展

化学镀是不加外电流, 在金属表面的催化作用下经控制化学还原法进行的金属沉积过程<sup>[15]</sup>. 非金属材料的化学镀银工艺通常包括材料表面预处理和实施化学镀银 2 个步骤.

表面预处理包括粗化、敏化、活化 3 步. 粗化的目的是在材料表面形成小的凹坑以增大比表面积, 增加表面能, 提高表面活性, 使敏化和活化时金属离子和金属容易吸附于非金属材料表面. 敏化是用  $\text{SnCl}_2$  溶液处理非金属以在其表面均匀吸附一层  $\text{Sn}^{2+}$ , 利用其还原性将在活化步骤中吸附于非金属材料表面的  $\text{Pd}^{2+}$  还原为 Pd, 以形成活性中心, 催化施镀过程中金属离子的还原, 而后利用金属的自身还原作用得到一定厚度的镀层.

预处理工艺依材料不同也有很大差别. 尼龙纤维预处理通常先用三氯乙烯处理, 再经胶体钯活化、NaOH 解胶等<sup>[16]</sup>. 碳纤维则要在粗化前进行去胶、除油处理, 在活化后进行还原前处理<sup>[17]</sup>. Hideo 等<sup>[18]</sup>详细研究了表面预处理过程对  $\text{Al}_2\text{O}_3$  陶瓷微粒表面微观结构及化学镀层结合强度的影响. 为了得到性能优良的镀层, 先用 HF-HNO<sub>3</sub> 腐蚀  $\text{Al}_2\text{O}_3$  微粒表面的玻璃层, 继而用 10% NaOH 溶液在 450 °C 处理 10 min. 在

预处理步骤中加入适量添加剂如二氧化硒( $\text{SeO}_2$ )、硫酸铍( $\text{BeSO}_4$ )、 $\text{V}_2\text{O}_5$ 和烷基胺等都能在不同程度上改善镀层结合力。ABS树脂预处理工艺为先用铬酸、硫酸混合溶液进行浸蚀(粗化),然后中和,活化采用 $\text{SnCl}_2$ 和 $\text{PdCl}_2$ 的HCl溶液。通过实验发现,活化液中 $\text{Sn}^{2+}$ 和 $\text{Pd}^{2+}$ 的比例对活化效果影响很大:当 $n(\text{Sn}^{2+})/n(\text{Pd}^{2+}) \leq 2$ 时, $\text{Pd}^{2+}$ 易被还原;当 $n(\text{Sn}^{2+})/n(\text{Pd}^{2+}) > 2$ , $\text{Pd}^{2+}$ 的还原受抑制。经过活化后,ABS树脂还要用热HCl或 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 处理,以除去过量的 $\text{Sn}^{2+}$ (过量的 $\text{Sn}^{2+}$ 会抑制后面化学镀过程中的氧化还原反应)或使 $\text{Pd}^{2+}/\text{Sn}^{2+}$ 氧化还原反应进行彻底,此步骤称为加速步骤(acceleration step)<sup>[19]</sup>。总之,非金属材料预处理过程都是根据材料本身的特点进行的,其根本出发点是如何提高表面微观粗糙度,增加表面活性,增强镀层与表面结合力。

## 2 化学镀银国内外研究现状

经过表面预处理的材料,可以在镀银液中实施化学镀银。化学镀银液通常由银盐溶液和还原剂2部分组成,为了改善镀液的性能和镀层的质量,通常还要加入助剂如络合剂(调节反应速度)、稳定剂和光亮剂等。银盐溶液通常为 $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ 的强碱性溶液,还原剂则有较大的选择余地,常用的有甲醛、葡萄糖、酒石酸、酒石酸盐和次亚磷酸盐等<sup>[16,20]</sup>。也有报道用联氨作还原剂进行化学镀银<sup>[21]</sup>,但现在却很少使用,其余的还原剂还有二甲胺基硼烷<sup>[22]</sup>。开发新的还原剂和添加剂以改进镀银层质量是近年来化学镀银工艺发展的一个趋势。有报道以2-氨基乙硫醇为还原剂可以在中性pH条件下获得耐候性镀银层<sup>[23]</sup>,以3,5-二碘铬氨酸作稳定剂也可有效改善镀层质量<sup>[24]</sup>。

根据非金属表面预处理后施镀时反应机理的不同,可将化学镀银分为3类:还原法、置换法和“自组合法”。

### 2.1 还原法

还原法即直接在经过表面预处理的基材表面镀银,利用 $\text{Ag}^+$ 和Pd的氧化还原作用生成银镀层。由于其操作相对简单仍是目前研究的重点。

所用基材多为纤维状、微球状等形态。有报道在碳纳米管外化学镀银<sup>[25]</sup>。由于碳纳米管因高度石墨化,表面活性很低,且表面曲率大,形成均匀致密的银镀层比较困难,T.W.Ebbesen等人<sup>[26]</sup>只在其外面镀上一层不连续的银微粒,通过改进,在对碳纳米管进行预处理的基础上,在一定温度和pH下施镀以减慢反应速度,表面镀覆效果有所改善。微球粉体方面,通过控制温度、搅拌方式、pH值和装载量等工艺参数对SiC陶瓷微粒施镀,可得结合紧密的镀层<sup>[27]</sup>。 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 陶瓷微粒经表面预处理,用次磷酸钠为还原剂,以焦磷酸钠为络合剂,并通过适当的化学镀设备控制微粒运动,可以获得表面形态较好的均匀镀层<sup>[28]</sup>。Yoshio Kobayashi等<sup>[29]</sup>先用Stöber方法制得单分散 $\text{SiO}_2$ 胶状溶液,通过快速离心分离得到 $\text{SiO}_2$ 胶体离子,用 $\text{SnCl}_2$ 和 $\text{CF}_3\text{COOH}$ 混合溶液处理,最后加入银氨溶液, $\text{Ag}^+$ 与 $\text{Sn}^{2+}$ 发生氧化还原反应使表面沉积出纳米银离子。其他形态材料方面,如在钛合金上镀银的工艺为:将其经过砂纸打磨、电化学除油、浸蚀、活化等处理,使表面导电性和化学活性都较原来钛合金为好,镀银后用制作制备高性能电池材料<sup>[30]</sup>。通过在镀银液中加入适当的络合剂、还原剂、稳定剂等,对镀银工艺加以改进,使玻璃表面的镀层性能也得到了进一步的改善<sup>[31]</sup>。为了进一步提高玻璃表面银镀层均匀致密性和耐腐蚀性,可在其中一种镀液组分中加入 $\text{Bi}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 或 $\text{Fe}^{3+}$ 等离子,通过耐蚀性试验证明镀层性能有所改善,并且镀银效率也有了提高<sup>[32]</sup>。分析原因为,传统的化学镀银工艺中,银氨溶液和还原性组分反应可生成银胶体而呈弱负性电位,易通过相互聚集以减少比表面积而稳定,对形成优良的镀层不利。钻石表面镀银也有所报道<sup>[33]</sup>,通过实验得出,镀层结合力与表面粗糙化度在一定程度上呈正相关,因为活化步骤中钯原子和继而生成的银沉积在经粗化处理后形成的微型凹坑中,结合力就强,还可通过控制镀液浓度对镀膜外观加以改进。银氨溶液的配制方法对镀层性能也有所影响,在对石英柱瓦管进行化学镀银时,直接将固体 $\text{AgNO}_3$ 加入浓氨水中配成银氨溶液,这样得到的镀层在400℃和-180℃下均不变色,也不发生脱落<sup>[34]</sup>。

作者所在的研究小组通过实验发现,在玻璃微球、玻璃纤维表面镀银时,镀速对镀银层质量有很大影响<sup>[35]</sup>。通过用葡萄糖、酒石酸钾钠、葡萄糖和酒石酸混合物、葡萄糖和酒石酸钾钠混合物作还原剂进行实验,发现用葡萄糖和酒石酸钾钠混合还原剂进行化学镀银所得镀层在均匀性、结合紧密度方面都比较好,导电率最低可达  $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 。分析因为其一定程度上使反应更加缓和,有利于镀层的“各向同性”堆积,进一步验证了沉积速度与镀层的关系。此外,镀液 pH 值、稳定剂也能在很大程度上影响沉积速度。

## 2.2 置换法

置换法是通过先非金属材料表面镀上还原性较强的金属如 Cu、Sn 等,再利用置换反应获得表面镀银层。用置换法除了可以获得单一镀层外,还可获得性能优良的合金镀层。

有报道在聚丙烯腈基(PAN)碳纤维表面先通过镀 Cu,然后用置换法镀银,所得镀银层厚度和均匀性都比较好<sup>[36]</sup>。不同种类碳纤维对镀速的影响很大<sup>[37]</sup>。在同样的实验条件下,化学气相沉积(VCD)碳纤维镀速最快,沥青基碳纤维居中,PAN基碳纤维最慢。其因为它们石墨化程度不同,石墨化程度愈高则镀速愈快。对沉积机理进行研究,发现在金属沉积过程中,高能活性位点首先被占据,镀层随后以此位点为中心倾向于沿轴向扩展,直到以不同位点为中心的镀层相接触。只有表面第 1 层金属沉积完成,才开始在晶粒间界这些活性位点上进行后续镀层的沉积。日本专利报道了通过置换镀在  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 、玻璃纤维等粉体材料上镀银<sup>[38]</sup>。先是在基体上化学镀 Ni,再化学镀 Cu,然后通过 Cu 与 Ag 的置换反应,消耗掉化学镀 Cu 层,实际上获得由基底镀 Ni 层与表面镀 Ag 层组成的双重构造的镀层粉体。与直接在基体上进行化学镀 Ag 相比,其 Ag 的有效利用率(镀层中的 Ag/镀液中的 Ag)大大提高,所得材料的固有体积电阻也较小,可在导电胶和导电性涂料中应用。高保娇<sup>[39]</sup>等在微米级铜粉上化学镀银,认为在固液两相界面上同时存在着 2 种反应过程——置换反应和电化学反应。由于置换反应产物铜氨配离子在铜粉表面吸附作用较银氨配离子强,阻碍反应进一步发生,此后的反应则依靠电化学作用,在点缀式银粒部位上形成多分子银层,而不能得到连续的银膜。通过不断对镀银铜粉用稀硫酸洗涤可以除去铜氨配离子,得到包覆完全的镀层。为了得到适应不同需要的镀层,可选择在基体材料上镀铜后同时加入包含  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{Ag}^+$  的置换液。 $\text{Cu}^{2+}$  浓度低时,可使镀银层快速沉积; $\text{Cu}^{2+}$  浓度高时,可得结合紧密的银镀层。此反应中实际上是  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{Ag}^+$  竞争被还原<sup>[40]</sup>。关于置换型镀液配方也有所报道<sup>[41]</sup>,其组分包括可溶性银盐、含有 2 个单硫醚基的水溶性含硫有机物、无机酸或有机酸(调节 pH < 7 以获得稳定性良好的酸性镀液)、硫脲类化合物、表面活性剂和防变色剂等,规定了各组分的使用浓度范围,应用效果良好。

由上看出,置换法除了可以获得优良的镀层外,在探索镀层沉积机理等方面也有广阔的前景。

## 2.3 “自组装法”

为得到结合紧密的镀层,“自组装法”是一种有效的方法,因为其与还原法和置换法不同,银镀层与非金属表面间依靠共价键结合,但其操作烦琐、限制条件多,目前相关方面的报道很少。

东南大学一研究小组用此法镀银获得成功<sup>[42]</sup>,他们先用三甲氧基巯基丙基硅烷作偶联剂,通过溶剂抽提法在玻璃表面形成含巯基的自组装单分子膜,在化学镀过程中高活性的银通过共价键与巯基结合,而后利用 Ag 与 Ag 之间的金属相互作用力,新生银颗粒可在金属表面快速沉积出光亮的银层;并通过 XPS、SEM、X 射线衍射等检测手段对镀层进行分析,验证了上述理论的正确性。有研究发现<sup>[43]</sup>,经氨基甲基硅烷化的玻璃微球表面更容易与活化步骤中  $\text{Pd}^{2+}$  结合,随后用  $\text{NaH}_2\text{PO}_2$  溶液在 80 °C 处理,再进行化学镀则能收到好的效果。“自组装法”是一种很有发展潜力的化学镀方法,特别适用于对镀层结合力要求较高的化学镀过程。

## 3 问题与展望

真正的化学镀银工艺应该是自 1946 年 A Brenner 等<sup>[44]</sup>弄清了化学镀镍的催化特性以后才发展起来的,过去多数都是在平面或曲率半径很大的玻璃材料上施镀,而在碳纤维、玻璃纤维和各种微球等基材上

应用则是在导电高分子材料出现(1974年)之后.在这些材料上镀银机理和工艺方面与传统的镀银工艺都有很大差异.当前的主要问题是如何进一步提高镀层结合力、均匀性及耐候性等.对镀层沉积机理的研究或许有助于这些问题的解决.此外,对镀银填料开发更多新用途以满足经济建设需要必然是将来发展的方向.

### 参考文献:

- [1] 孙酣经. 功能高分子材料及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 1990. 56.  
SUN Han-jing. Functional Polymer Composites and Their Applications[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1990. 56. (in Chinese)
- [2] 谭松庭, 章明秋, 曾汉民. 屏蔽EMI用导电性高分子复合材料[J]. 材料工程, 1998(5): 6-9.  
TAN Song-ting, ZHANG Ming-qiu, ZENG Han-min. Electroconductive polymer composites for shielding EM[J]. Materials Engineering, 1998(5): 6-9. (in Chinese)
- [3] 杜仕国. 抗电磁干扰高分子材料的研究与应用[J]. 军械工程学院学报, 1995, (3): 21-25.  
DU Shi-guo. Study and application of anti-electromagnetic interference polymer composites[J]. Journal of Ordnance Engineering College, 1995, (3): 21-25. (in Chinese)
- [4] 王宏军. 国外粉末导电填料/聚合物导电复合材料近期研究开发的特点[J]. 化工进展, 1990(6): 36-40.  
WANG Hong-jun. The characteristics of research and development of powder conductive fillers/polymer conductive composites abroad at present[J]. Progress of Chemical Engineering, 1990(6): 36-40. (in Chinese)
- [5] 赵择卿. 高分子材料抗静电技术[M]. 北京: 纺织工业出版社, 1991. 267-271.  
ZHAO Ze-qing. Anti-static Electricity Technic of Polymer Material[M]. Beijing: Textile Industry Press, 1991. 267-271. (in Chinese)
- [6] 涂铭旌, 黄婉霞, 陈家钊, 等. 电磁波屏蔽功能复合材料研究进展[J]. 功能材料, 1998(29): 3-6.  
TU Ming-jing, HUANG Wan-xia, CHEN Jia-zhao, et al. Study condition of functional composites for shielding electromagnetic interference[J]. Functional Materials, 1998(29): 3-6. (in Chinese)
- [7] 华宝家, 肖高志, 构建生. 碳纤维在结构隐身材料中的应用研究[J]. 宇航材料工艺, 1994(3): 31-34.  
HUA Bao-jia, XIAO Gao-zhi, GOU Jian-sheng. Study on the application of carbon fibres in the field of structural materials for concealing body[J]. Aerospace Materials & Technology, 1994(3): 31-34.
- [8] 徐维正. 世界碳纤维前途光明[J]. 化工新型材料, 1997(5): 27-28.  
XU Wei-zheng. The future of carbon fibres is bright in the world[J]. New Chemical Materials, 1997(5): 27-28. (in Chinese)
- [9] 谢广文, 姜杰, 石玉龙. 高分子材料表面化学镀银工艺的研究[J]. 青岛化工学院学报, 2001, 22(2): 155-157.  
XIE Guang-wen, JIANG Jie, SHI Yu-long. Study on the process of electroless silver plating on the surface of polymer composites[J]. Qingdao Institute of Chemical Technology, 2001, 22(2): 155-157. (in Chinese)
- [10] KIESCHE E. Antistats & conductive additives: Plenty of news for growing markets[J]. Plastics Technology, 1986, 32(7): 91-92.
- [11] 杜仕国. 导电涂料的研究及进展[J]. 涂料工业, 1995(6): 29-31.  
DU Shi-guo. Study on the conductive coatings and their progress[J]. Paint & Coatings Industry, 1995(6): 29-31. (in Chinese)
- [12] 陈锦宏, 李玮. 电磁屏蔽导电涂料[J]. 广州化学, 2001, 23(1): 44-47.  
CHEN Jin-hong, LI Wei. Conductive coatings for shielding electromagnetic interference[J]. Guangzhou Chemistry, 2001, 23(1): 44-47. (in Chinese)
- [13] 张兴义. 导电涂料国内外的研究概况[J]. 电机电器技术, 2000(3): 33-36.  
ZHANG Xing-yi. Research condition of conductive coatings around the world[J]. DIANJI DIANJI JISHU, 2000(3): 33-36. (in Chinese)
- [14] 边蕴静. 电磁波屏蔽涂料[J]. 化工新型材料, 1997(7): 17-19.  
BIAN Yun-jing. Coatings for shielding electromagnetic interference[J]. New Chemical Materials, 1997(7): 17-19. (in Chinese)
- [15] 曾华梁, 吴仲达, 秦月文, 等. 电镀工艺手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1989. 523.  
ZENG Hua-liang, WU Zhong-da, QIN Yue-wen, et al. Handbook of Electroplating Technics[M]. Beijing: China Machine Press, 1989. 523. (in Chinese)
- [16] 杨松青. 织物上化学镀镍工艺的研究[J]. 有色金属(冶炼部分), 1990(5): 45-48.  
YANG Song-qing. Study on electroless nickel plating of fabrics[J]. Nonferrous Metals(Extractive Metallurgy), 1990(5): 45-48. (in

Chinese)

- [17] 何为,唐先忠,迟兰州. 碳纤维表面化学镀镍工艺研究[J]. 电镀与涂饰, 2003, 22(1): 8-11.  
HE Wei, TANG Xian-zhong, CHI Lan-zhou. Study on technic of electroless nickel plating on surface of carbon fibres[J]. Electroplating & Finishing, 2003, 22(1): 8-11. (in Chinese)
- [18] HIDEO Honma, YASUNORI Kouchi. Direct electroless copper plating on alumina ceramics[J]. Plat Surf Finish, 1990, 77(6): 54-58.
- [19] MANDICH N V, KRULIK G A. On the mechanisms of plating on plastics[J]. Plat Surf Finish, 1993, 80(12): 68-73.
- [20] 姜晓霞,沈伟. 化学镀理论及实践[M]. 北京:国防工业出版社, 2000. 358-363.  
JIANG Xiao-xia, SHEN Wei. The Fundamental and Practice of Electroless Plating[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2000. 358-363. (in Chinese)
- [21] 熊晓东,翟玉春,田彦文. 联氨化学镀液的研究概况[J]. 电镀与精饰, 1996, 18(5): 21-25.  
XIONG Xiao-dong, ZHAI Yu-chun, TIAN Yan-wen. The general situation of the study on chemical plating solution of hydrazin[J]. Plating & Finishing, 1996, 18(5): 21-25. (in Chinese)
- [22] 《表面处理工艺手册》编审委员会. 表面处理工艺手册[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1994. 251-252.  
The Editor Committee of Surface Treatment Technical Manual. Surface Treatment Technical Manua[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1994. 251-252. (in Chinese)
- [23] 绳舟秀美,城口废子,谷久保正人,等. 2-アミノエタソチオルを還元剤とする无电解银めっき[J]. 表面技术, 1999, 50(10): 928-932.  
HIDEMI N, KEIKO S, MASATO T, et al. Autocatalytic eletroless silver deposition using 2-aminoethanethiol as reducing agen[J]. Hyomen Gijutsu Kyokai, 1999, 50(10): 928-932. (in Japanese)
- [24] 绳舟秀美. 金属およびその他のめっき[J]. 表面技术, 1990, 41(12): 1283-1284.  
INOUE T. Electroless noble metals plating on non-metallic powders[J]. Hyomen Gijutsu Kyokai, 1990, 41(12): 1283-1284. (in Japanese)
- [25] 陈小华,张高明,李宏健,等. 碳纳米管的化学镀银及SEM研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 1999, 26(6): 14-17.  
CHEN Xiao-hua, ZHANG Gao-ming, LI Hong-jian, et al. Preparation of coating of carbon nanotube with silver and SEM stud[J]. Journal of Hunan University(Natural Science Edition), 1999, 26(6): 14-17. (in Chinese)
- [26] EBBESEN T W, HIURA H, MARGARE E. Carbon nanotubes decoratior[J]. Adv Mater, 1996, 8(8): 155.
- [27] 王玲. 用化学镀实现陶瓷微粒表面金属化[J]. 材料保护, 1998, 31(7): 16-17.  
WANG Ling. Metalize the ceramic powders by electroless plating[J]. Materials Protection, 1998, 31(7): 16-17. (in Chinese)
- [28] 何志亮,邢建东,高义民. 陶瓷颗粒化学镀镍工艺及设备[J]. 电镀与精饰, 2003, 25(3): 27-29.  
HE Zhi-liang, XING Jian-dong, GAO Yi-min. Process and equipment of electroless nickel plating on porcelain granule[J]. Plating and Finishing, 2003, 25(3): 27-29. (in Chinese)
- [29] KOBAYASHI Yoshio, SALGUEIRIÑO-MACEIRA Verónica, LIZ-MARZ N L M. Deposition of silver nanoparticles on silica spheres by pretreatment steps in electroless plating[J]. Chem Mater, 2001, 13(5): 1630-1633.
- [30] 陈怀超,韩志忠. 钛合金上直接镀银工艺[J]. 材料保护, 2002, 35(1): 28.  
CHEN Huai-chao, HAN Zhi-zhong. Direct silver plating technic on Ti alloy[J]. Materials Protection, 2002, 35(1): 28. (in Chinese)
- [31] 李贤成. 玻璃化学镀银[J]. 材料保护, 1995, 28(9): 30.  
LI Xian-cheng. Electroless silver plating on glass[J]. Materials Protection, 1995, 28(9): 30. (in Chinese)
- [32] 蔡积庆. 镜制品化学镀银[J]. 电镀与环保, 2002, 22(4): 23-24.  
CAI Ji-qing. Chemical silver plating on glass[J]. Electroplating & Pollution Control, 2002, 22(4): 23-24. (in Chinese)
- [33] 郑仕远. 水钻表面镀银新工艺[J]. 电镀与涂饰, 2000, 19(3): 15-16.  
ZHENG Shi-yuan. New technic of silver plating on diamond[J]. Electroplating & Finishing, 2000, 19(3): 15-16. (in Chinese)
- [34] 李杰森,唐清. 石英杜瓦管化学镀银工艺[J]. 电镀与精饰, 1995, 17(3): 17-18.  
LI Jie-sen, TANG Qing. Electroless silver plating on quartz tube[J]. Plating and Finishing, 1995, 17(3): 17-18. (in Chinese)
- [35] 黄少强,邱文革. 玻璃微球表面化学镀银[J]. 电镀与涂饰, 2004, 23(1): 7-9.  
HUANG Shao-qiang, QIU Wen-ge. Electroless silver plating on glass microspheres[J]. Electroplating & Finishing, 2004, 23(1): 7-9. (in Chinese)
- [36] CHENG H M, ZHOU B L, ZHENG Z G. Chemical silver plating on carbon fibers[J]. Plat Surf Finish, 1990, 77(5): 130-132.

- [ 37 ] WARRIER S G , LIN R Y . Silver coating on carbon and SiC fibres[ J ]. J Mater Sci , 1993 , 28( 18 ) :4868-4877 .
- [ 38 ] 川上浩 , 小山田 雅明 . 无电解银めっき粉体およびその製造方法[ P ]. JP : 11061424 , 1999-03-05 .  
INOUE T , KUMAGAI T . The Fabrication Technics of Electroless Silver Plating on Powders[ P ]. JP : 11061424 , 1999-03-05 . ( in Japanese )
- [ 39 ] 高保娇 , 蒋红梅 , 张忠兴 . 用银氨溶液对微米级铜粉镀银反应机理的研究[ J ]. 无机化学学报 , 2000 , 16( 4 ) :669-673 .  
GAO Bao-jiao , JIANG Hong-mei , ZHANG Zhong-xing . Study on the mechanism of silver plating on micron scale Cu powder by using argentamin[ J ]. Chinese Journal of Inorganic Chemistry , 2000 , 16( 4 ) :669-673 . ( in Chinese )
- [ 40 ] ELMORE G V . Silver replacement bath[ J ]. Res Discl , 1993 , 348 : 265 .
- [ 41 ] HONMA H , HASEGAWA A . Displacement Type Silver Electroless Plating Bath[ P ]. JP : 309875A , 2000-11-07 .
- [ 42 ] 刘正春 , 贺全国 , 肖鹏峰 , 等 . 自组装化学镀银[ J ]. 化学学报 , 2002 , 60( 4 ) :627-632 .  
LIU Zheng-chun , HE Quan-guo , XIAO Peng-feng , et al . Electroless Ag plating on self-assembly monolayer[ J ]. Acta Chimica Sinica , 2002 , 60( 4 ) :627-632 . ( in Chinese )
- [ 43 ] 浜谷健生 , 熊谷八百三 . アミノシリソ理ガラス上への无电解ニッケルめっき[ J ]. 表面技術 , 1990 , 41( 11 ) :1159-1162 .  
HAMAYA T , KUMAGAI Y . Electroless nickel deposition to the glass beads treated with aminosilane[ J ]. Hyomen Gijutsu Kyokai , 1990 , 41( 11 ) :1159-1162 . ( in Japanese )
- [ 44 ] BRENNER A , RIDDELL G E . Nickel plating on steel by chemical reduction[ J ]. J Research Natl Bur Standards , 1946 ( 37 ) :31-34 .

## Silver Plating Chemically on Non-metallic Materials

HUANG Shao-qiang , QIU Wen-ge , LI Sheng-hua

( College of Environmental and Energy Engineering , Beijing University of Technology , Beijing 100022 , China )

**Abstract** : Silver plating chemically on nonmetallic materials was introduced . The technique of silver plating chemically on non-metallic materials generally consist of two steps : surface pretreatment and silver plating chemically . The former process includes roughing , sensitizing and activating . According to different mechanism , there techniques of silver plating chemically , namely , reduction , replace and self-assemble , were reviewed .

**Key words** : non-metallic materials ; surface pretreatment ; silver plating chemically