

2011-11-28

Electroless Plating Silver without Pd Activation on Polyamide Fabrics and Its Properties

Yun MENG

Ya ping ZHAO

Zai sheng CAI
zshcai@dhu.edu.cn

Recommended Citation

Yun MENG, Ya ping ZHAO, Zai sheng CAI. Electroless Plating Silver without Pd Activation on Polyamide Fabrics and Its Properties[J]. *Journal of Electrochemistry*, 2011 , 17(4): Article 5.

DOI: 10.61558/2993-074X.2858

Available at: <https://jelectrochem.xmu.edu.cn/journal/vol17/iss4/5>

This Article is brought to you for free and open access by Journal of Electrochemistry. It has been accepted for inclusion in Journal of Electrochemistry by an authorized editor of Journal of Electrochemistry.

锦纶织物无钯活化化学镀银工艺及性能研究

孟 云,赵亚萍,蔡再生*

(东华大学 生态纺织教育部重点实验室,上海 201620)

摘要: 应用无钯活化化学镀方法在预制聚苯胺层的锦纶织物上沉积金属银,研究了化学镀条件(主盐硝酸银、还原剂葡萄糖、络合剂氨水、氢氧化钠用量、温度和时间)对金属沉积速率和织物方阻的影响.优化化学镀的最佳工艺为:硝酸银 12 g/L,葡萄糖 2.8 g/L,氨水 100 mL/L,氢氧化钠 8 g/L,温度 30 °C,时间 50 min.同时讨论了聚苯胺中间层对金属银晶粒尺寸、织构系数和耐腐蚀等性能影响.结果表明,以聚苯胺作锦纶织物施镀中间层可有效提高金属化织物的导电、耐腐蚀以及耐洗等性能.

关键词: 无钯活化;化学镀;银;聚苯胺;导电织物

中图分类号: TS195.5

文献标识码: A

为提高纺织品附加值及其应用性能以适应现今全球纺织新材料日趋激烈、复杂的竞争环境,从织物本身的物理性能和导电性能两方面考虑,借助化学镀技术将织物表面金属化,在保持纺织品原有柔软性能基础上,使其呈现特殊的光泽、导电和抗菌等多种特殊功能,为金属化织物开拓更加广阔的应用前景^[1-2].金属银具有优异的导电性和热稳定性,在催化、杀菌、生物和电子元器件等领域有着广泛的应用^[3].目前织物表面化学镀的预处理活化液大多采用离子钯或胶体钯溶液,但价格较贵,同时还会污染镀层,这在一定程度上影响了化学镀银织物的应用^[4].

另一方面,为了提高金属与织物的结合力及其它性能,施镀之前,先在织物表面预制一层高分子膜已成为新的研究方向,其中聚苯胺因原料易得和产物稳定等特点在金属化织物中的开发应用已引起国内外关注^[5-9].Park等^[10]已把它用于化学镀铜织物的制作并取得了良好的效果.国内有关此方面的研究还处于起步阶段,涉及纺织品表面处理应用更是鲜有报道.作者课题组此前已就织物表面沉积聚苯胺^[11-16]及其在织物化学镀铜方面的应用作了深入研究^[17].本文以聚苯胺作为织物表面化学镀的预制层,同时采用无钯活化的化学镀方法在强度高、耐热性好、机械性能优良的锦纶

织物表面得到外观均匀致密、方阻值小、耐腐蚀性能优良的金属化锦纶织物,并探讨了制备条件对金属沉积速率和织物方阻的影响,优化了最佳的制备工艺.

1 实验

1.1 材料、试剂

织物:平纹锦纶织物(128 ± 2 g/m²)

试剂:苯胺盐酸盐、氯化亚锡、硝酸银、氢氧化钠、葡萄糖、盐酸、氨水、丙酮(国药集团化学试剂有限公司)均为分析纯,标准洗涤剂.

1.2 仪器

KQ 250DE 型数控超声波清洗器(昆山超声波仪器有限公司),RY 25012 常温型染样机(上海龙灵电子科技有限公司),Rapid P-A0705 型电动均匀轧车(瑞比公司).

1.3 化学镀银织物制备

1) 聚苯胺/锦纶织物制作流程

锦纶织物 → 浸入 20 g/L 氢氧化钠溶液 (95 °C, 浴比 1:50, 60 min) → 5% 醋酸溶液浸洗 → 蒸馏水清洗, 烘干 → 放入 0.5 mol/L 的苯胺盐酸盐溶液中使吸附 (95 °C, 浴比 1:50, 60 min) → 室温晾干 → 浸入由过硫酸铵和盐酸组成的氧化液

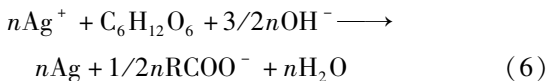
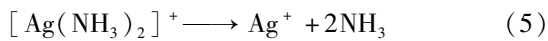
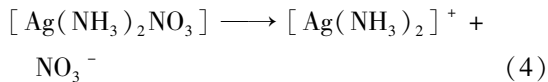
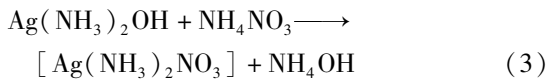
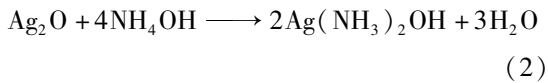
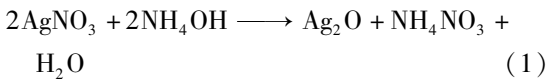
(浓度均为 0.2 mol/L)中(约 5 s,在 1.0 kg/cm² 下浸轧)→将织物置于 0 ℃环境中继续反应 2 h(织物上的苯胺充分氧化聚合为聚苯胺)→丙酮浸洗去除表面残留的短链产物(苯胺聚合过程中未聚合为聚苯胺大分子而终止的短链自由基产物)。

2) 敏化

二氯亚锡敏化(10 g/L, 35 ℃, 10 min),充分水洗. 因 Sn²⁺ 水解后形成的 SnO₂ 吸附在织物表面,荷负电,容易吸引荷正电的 Ag⁺,使得 Ag⁺ 被 Sn²⁺ 还原后吸附在织物表面. 这样,由于 Ag 已在敏化过程中因诱导反应而沉积在织物表面,利于下一步化学镀银的继续沉积.

3) 银/聚苯胺/锦纶织物的制备

银氨溶液的配制:在不断搅拌下向已配制好的 AgNO₃ 溶液中缓慢加入 NH₄OH,溶液变浑浊,生成沉淀物,继续加入 NH₄OH 至沉淀物完全溶解. 化学镀银时,银氨溶液和还原液按体积比 1:3 取量,将银氨溶液倒入还原液并混合均匀,最后放入已敏化的织物. 化学镀银反应机理如下:



1.4 表面方阻

使用 RTS-9 型双电测四探针测试仪测定织物表面方阻,计量单位为 mΩ/sq.

1.5 沉积速率

使用 BT 124S 型分析天平(灵敏度 10⁻⁴ g)称量样品化学镀前后的质量差,并由式(7)计算施镀过程银的沉积速率:

$$\nu = \frac{\Delta m}{10.5S} \times \frac{60}{t} \times 10^4 \quad (7)$$

式中:ν,沉积速率(μm/h);Δm,施镀前后质量差(g);S,基体面积(cm²);t,施镀时间(min);

10.5 g/cm³,金属银的密度.

1.6 镀层形貌

HITACHI TM-1000 扫描电子显微镜(日立公司)观察镀层表面形貌.

1.7 镀层结构

D/max-2550 PC 型 X 射线衍射仪(XRD)测定镀层结构. CuKα 靶,波长(λ) 0.15406 nm,管电压 40 kV,管电流 30 mA,扫描速率 10°·min⁻¹.

1.8 耐腐蚀性能

将化学镀银织物浸泡在 5% (by mass) 的 NaCl 溶液中测定不同浸泡时间织物的方阻变化,评价耐腐蚀性能.

1.9 耐洗性能

参照标准 AATCC 61-2007,将织物放入预热到 40 ℃ 的 200 mL 0.37% 标准洗涤剂的皂洗液中,洗涤 45 min,记为一次洗涤. 洗涤后,在清水中清洗干净. 测量织物方阻变化,评价镀银后织物的耐洗性能.

2 结果与讨论

2.1 无钯活化化学镀银织物制备工艺影响因素

1) 硝酸银浓度的影响

图 1 示出,在保持葡萄糖浓度 2.8 g/L,氢氧化钠浓度 8 g/L,氨水浓度 100 mL/L,30 ℃ 化学镀施镀时间 50 min 下,改变硝酸银浓度(6, 8, 10, 12, 14, 16 g/L)测定由化学镀得到的银/聚苯胺/锦纶复合织物的金属沉积速率及其方阻变化.

如图可见,随着镀液中 Ag⁺ 浓度的增加,镀速也逐渐增大,此时由于金属银在织物表面沉积量增加,从而使复合织物的导电性能提高. 但当硝酸银浓度超过 12 g/L 后,金属银沉积速率反而下降. 原因即在如果镀液中 Ag⁺ 浓度过高,将会导致镀液发生自分解,降低镀液的稳定性^[18] 并容易形成粗糙的镀层,使复合织物的导电性下降.

2) 葡萄糖浓度的影响

在硝酸银浓度为 12 g/L,实验条件如上述,改变葡萄糖浓度(2.2, 2.4, 2.6, 2.8, 3.0, 3.2 g/L),由化学镀银得到的银/聚苯胺/锦纶复合织物,其金属银沉积速率与方阻变化如图 2 所示.

如图,随着镀液中葡萄糖浓度的增加,Ag⁺ 被还原的速率,也就是沉积速率同时增加. 但是,倘

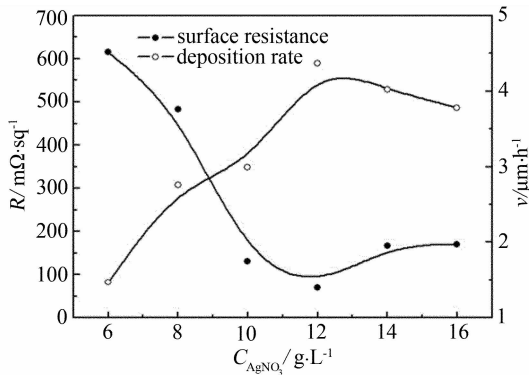


图1 硝酸银浓度对化学镀银织物方阻和金属银沉积速率的影响

Fig. 1 Effects of silver nitrate concentrations in bath on the square resistance and metal deposition rate for the silver-coated fabric by electroless plating ($C_{C_6H_{12}O_6}$: 2.8 g/L, C_{NaOH} : 8 g/L, C_{NH_4OH} : 100 mL/L)

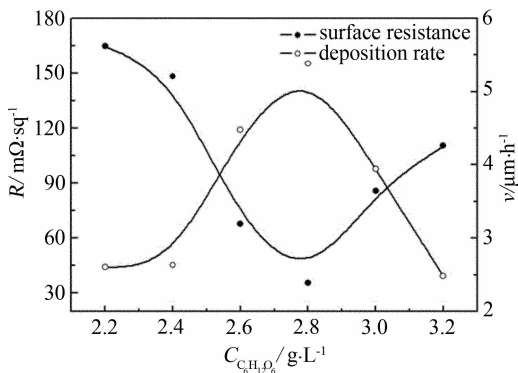


图2 葡萄糖浓度对化学镀银织物方阻和金属银沉积速率的影响

Fig. 2 Effects of glucose concentrations in bath on the square resistance and metal deposition rate for the silver-coated fabric by electroless plating (C_{AgNO_3} : 12 g/L, C_{NaOH} : 8 g/L, C_{NH_4OH} : 100 mL/L)

若葡萄糖浓度过大,则因反应过快,镀液温度升高伴随稳定性下降,以致不能在织物表面形成致密的镀层,而且过快的沉积速率还会出现镀层均匀性以及复合织物的导电性下降。

3) 氨水浓度的影响

由于化学镀液中 Ag^+ 的标准电位与还原剂葡萄糖的电位差较大,为了避免 Ag^+ 过快从溶液本体中析出,通常以氨水作为络合剂来稳定镀液^[3,19],反应式如(1)~(3)。图3给出在保持葡萄糖浓度为 2.8 g/L,实验条件如上述,由不同氨水浓度(60,80,100,120,140 mL/L)的化学镀液施镀得到的银/聚苯胺/锦纶复合织物的金属银沉积速

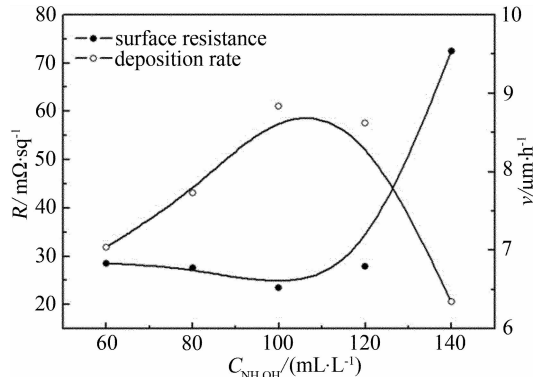


图3 氨水浓度对化学镀银织物方阻和金属银沉积速率的影响

Fig. 3 Effects of ammonium hydroxide concentrations in bath on the square resistance and metal deposition rate for the silver-coated fabric by electroless plating (C_{AgNO_3} : 12 g/L, $C_{C_6H_{12}O_6}$: 2.8 g/L, C_{NaOH} : 8 g/L)

率与其方阻的变化。

化学镀银机理表明,氨水的浓度对镀液的稳定性乃至整个反应过程都影响较大。配置镀液时,从氨水加入使银氨溶液变浑浊,生成沉淀物最后缓慢澄清看,可以推测该过程镀液中 Ag^+ 被络合的程度。实验表明,在 $[Ag^+/NH_3]$ 比值为 1:18 左右时可形成较稳定的络合物。倘如镀液中氨水浓度过低,即 $[Ag^+/NH_3]$ 比值远大于 1:18,则因镀液中 Ag^+ 没有完全被络合而不稳定,也就是有效成分较低;氨水浓度过大又会出现因络合作用过度,镀液过分稳定,导致还原反应速率即沉积速率降低^[20]。如图可见,最适宜的氨水浓度为 100 mL/L。此时,金属银在复合织物上的沉积速率最快,导电性也最佳。

4) 氢氧化钠浓度的影响

以氨水浓度为 100 mL/L,其它实验条件如上不变,由添加不同用量的氢氧化钠(6,7,8,9,10 g/L, pH 值依次为 11,11.5,12,12.5,13)溶液之化学镀银液施镀得到的银/聚苯胺/锦纶织物的金属银沉积速率与其方阻变化如图4所示。

氢氧化钠在镀液中有两个作用,一是与 Ag^+ 生成 $AgOH$,然后再与氨水络合,其次是可使镀液的化学稳定性得到提高并具有一定的催化作用^[19]。由图可见,随着氢氧化钠浓度的增加,银的沉积速率增大,复合织物导电性提高。但如氢氧化钠浓度过大将使镀液中产生 $AgOH$ 或棕黑色 Ag_2O 沉淀物,致使镀速变慢,导电性能也随之降低^[3]。

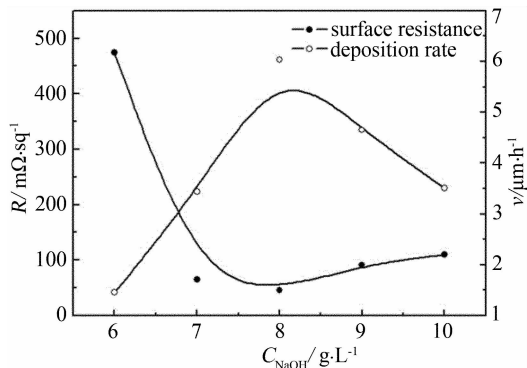


图 4 氢氧化钠浓度对化学镀银织物方阻和金属银沉积速率的影响

Fig. 4 Effects of sodium hydroxide concentrations on the square resistance and metal deposition rate for the silver-coated fabric by electroless plating (C_{AgNO_3} : 12 g/L, $C_{C_6H_{12}O_4}$: 2.8 g/L, C_{NH_4OH} : 100 mL/L)

5) 温度的影响

图 5 示明氢氧化钠浓度为 8 g/L,其他实验条件如上不变,于不同温度(25, 30, 35, 40, 45 °C)下化学镀银,所得银/聚苯胺/锦纶复合织物的金属沉积速率与其方阻变化.

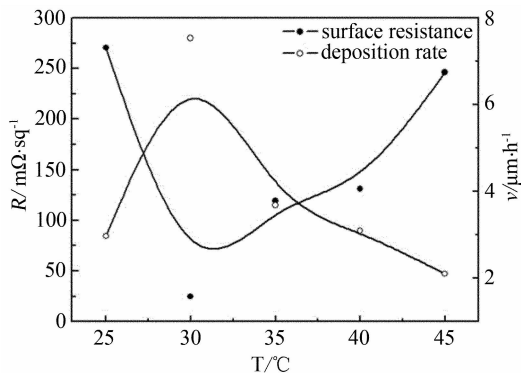


图 5 温度对化学镀银织物方阻和金属银沉积速率的影响

Fig. 5 Effects of bath temperature on the square resistance and metal deposition rate for the silver-coated fabric by electroless plating

如图,随着温度升高,该金属沉积速率先增大后减小,导电性能则呈先减小后增大趋势.这是因为化学镀银是个吸热反应,升高镀液温度,有利于反应进行,金属沉积速率从而加快,复合织物的导电性也随之提高;但如镀液温度过高则因还原反应过于剧烈,必将导致银在织物表面沉积不均匀,结构疏松,镀层粗糙,会出现部分结合不牢固的银

脱落.此外氨水在较高温度下也易挥发,镀液变得不稳定,降低了金属银的沉积速率^[20],导电性也同时下降.

6) 施镀时间的影响

保持温度为 30 °C,其它实验条件如上不变,由不同化学镀银施镀时间(30, 40, 50, 60, 70 min)制备的银/聚苯胺/锦纶复合织物的金属沉积速率与其方阻变化如图 6 所示.

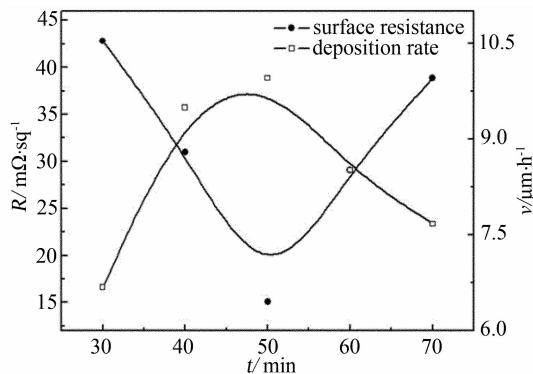


图 6 施镀时间对化学镀银织物方阻和金属银沉积速率的影响

Fig. 6 Effects of plating time on the square resistance and metal deposition rate for the silver-coated fabric by electroless plating

化学镀银过程中,镀液中有效成分随着施镀时间的延长而不断减少,加之反应时间长,织物表面会出现一些结合牢度低的金属颗粒,造成镀层粗糙,易脱离织物表面,降低了金属沉积速率和复合织物的导电性,即如图 6 所示.施镀时间为 50 min 时,可得到导电性能较好,金属银沉积速率较高的复合织物.

2.2 化学镀银织物的表征

1) 表观形貌分析

图 7 给出了 4 种锦纶织物表观形貌的 SEM 照片.可以看出,未经化学镀的锦纶织物表面光亮光滑(a),经过化学镀银后得到的银/锦纶织物(d)表面沉积的金属银比较疏松,出现较明显的裂纹,意味镀层与织物的结合力低.但如该锦纶织物先经预处理,即将聚苯胺沉积在它的表面,形成一粗糙覆盖层(b).然后再化学镀银后得到银/聚苯胺/锦纶织物(c).与银/锦纶织物相比,显然前者沉积的金属粒子尺寸更加均一分散,也更均匀.可见聚苯胺中间层的存在有利于促进小尺寸高分散均匀性

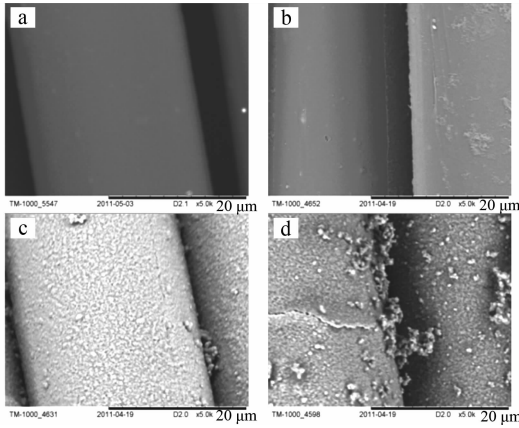


图 7 不同锦纶织物表面观形貌的 SEM 照片
a. 锦纶; b. 聚苯胺/锦纶; c. 银/聚苯胺/锦纶; d. 银/锦纶
Fig. 7 SEM images of the surface morphologies of different fabrics
a. polyamide; b. polyaniline/polyamide; c. silver/polyaniline/polyamide; d. silver/polyamide

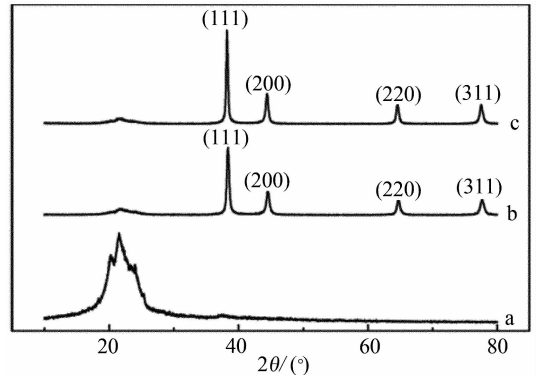


图 8 不同织物的 XRD 图谱
谱线: a. 聚苯胺/锦纶; b. 银/锦纶; c. 银/聚苯胺/锦纶
Fig. 8 XRD patterns of different fabrics
a. polyaniline/polyamide; b. silver/polyamide; c. silver/polyaniline/polyamide

的金属银粒子在织物表面的生长,这可能与聚苯胺的导电性有关^[21].

2) 镀层结构分析

图 8 示出锦纶表面聚苯胺覆盖层和化学镀银镀层晶体结构的 XRD 图谱. 可以看出,化学镀银镀层呈现面心立方结构,分别在 2θ 为 $38.1^\circ, 44.3^\circ, 64.4^\circ, 77.5^\circ$ 附近显示 (111), (200), (220), (311) 晶面特征衍射峰 (c), 图中无明显的第二相出现^[22], 表明该聚苯胺/锦纶织物表面经化学镀银后仅引入了金属银, 无其它杂质. 但在低角度方向, 隐约可见结晶强度大大下降的聚苯胺特征峰.

据 Scherrer 公式^[23]:

$$D = \frac{0.89\lambda}{\beta_{1/2} \cos\theta} \quad (8)$$

式中 D 为粒子直径, $\lambda = 0.154 \text{ nm}$, 0.89 为晶粒的形状因子, $\beta_{1/2}$ 为样品晶面衍射峰的半峰高宽 (2θ 标度的峰), θ 为衍射角度. 晶粒尺寸为各衍射

晶面晶粒尺寸的平均值. 表 1 列出按图 8 谱线计算所得两种镀层晶粒的有效粒径尺寸. 表中同时给出按式(9)计算的各晶面织构系数 (TC)^[24], 即镀层的择优取向:

$$TC = \frac{I(hkl)/I_0(hkl)}{\sum I(hkl)/I_0(hkl)} \quad (9)$$

式中 $I(hkl)$ 为相对衍射强度, $I_0(hkl)$ 为标准相对衍射强度.

由表 1 可见,以聚苯胺/锦纶织物为基质获得金属银镀层,其晶粒尺寸比之银/锦纶镀层从 25.02 nm 减小至 16.76 nm . 二者的晶面织构系数都体现了该化学镀银层具有 (111) 晶面择优取向, 尤以银/聚苯胺/锦纶织物表面的银镀层在 (111) 方向择优取向更强^[24-25].

3) 耐腐蚀和耐洗性能分析

图 9 比较了两种不同复合织物在 5% NaCl 溶液中浸泡一定时间后的方阻变化, 并以此评价它们的耐腐蚀性能. 由图可知, 经过 NaCl 溶液浸泡后, 与银/锦纶织物相比, 银/聚苯胺/锦纶织物具

表 1 不同镀层晶粒尺寸与晶面织构系数比较

Tab. 1 The crystallite size and crystal plane texture of different silver deposits

No.	Type of fabric	Crystallite size/nm	TC/%			
			(111)	(200)	(220)	(311)
1	silver/polyamide	25.02	30.3	25.0	20.5	24.2
2	silver/polyaniline/polyamide	16.76	40.3	23.3	15.1	21.3

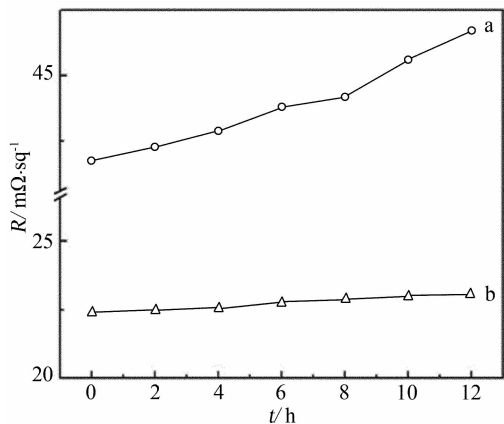


图 9 两种锦纶织物在 5% NaCl 溶液中耐腐蚀性能比较

a. 银/锦纶, b. 银/聚苯胺/锦纶

Fig. 9 Comparison of corrosion resistance for two fabrics in 3.5% NaCl solution

a. silver/polyamide; b. silver/polyaniline/polyamide

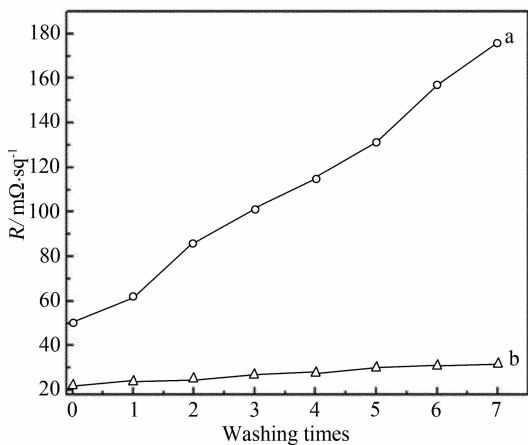


图 10 两种织物方阻随洗涤次数的变化

a. 银/锦纶; b. 银/聚苯胺/锦纶

Fig. 10 Variations of the square resistance with washing times for two fabrics

a. silver/polyamide; b. silver/polyaniline/polyamide

有更好的耐腐蚀性能。原因即在前者表面镀层存在缺陷和裂痕(见图 7d), 腐蚀过程中 Cl^- 从织物表面轻易地穿透进入镀层内部, 产生许多腐蚀孔, 而腐蚀孔的存在又进一步扩大了腐蚀溶液和镀层的接触面积, 从而加大了腐蚀的程度^[26]。由于银/聚苯胺/锦纶织物表面镀层均匀且致密, 能在很大程度上抑制 Cl^- 的浸入, 故而其抗腐蚀性能较强。又从图 10 佐证, 聚苯胺中间层的存在有利于提高镀层与织物的结合牢度, 使得镀层致密、缺陷少, 这与表观形貌观察结果一致。

3 结 论

应用无钎活化化学镀方法制备银/聚苯胺/锦纶导电织物, 首先要保证镀液稳定并应尽可能提高金属银沉积速率, 以期降低复合织物方阻。该化学镀的优化条件为: 硝酸银 12 g/L, 葡萄糖 2.8 g/L, 氨水 100 mL/L, 氢氧化钠 8 g/L, 温度 30 ℃, 时间 50 min。

银/聚苯胺/锦纶织物与银/锦纶织物相比, 前者呈现出均匀致密的表观形貌、较低的方阻、较小的晶粒尺寸和较好的耐腐蚀和耐洗性能。

参考文献 (References) :

- [1] Jiang S Q, Newton E, Yuen C M M, et al. Application of chemical silver plating on polyester and cotton blended fabric[J]. Textile Research Journal, 2007, 77 (2) : 85-91.
- [2] Padilla A P, Rodríguez J A, Saitúa H A. Synthesis and water ultrafiltration properties of silver membrane supported on porous ceramics [J]. Desalination, 1997, 114 (3) : 203-208.
- [3] Jiao H J (焦红娟), Guo H X (郭红霞), Li Y Q (李永卿), et al. Preparation and properties of conductive silver-coated PET fibers[J]. Journal of East China University of Science and Technology (Natural Science Edition) (华东理工大学学报(自然科学版)). 2006, 32 (2) : 173-176.
- [4] Jiang X X (姜晓霞), Shen W (沈伟). Electroless plating theory and its practice (化学镀理论及实践) [M]. Beijing: Defense Industry Press, 2000: 237.
- [5] Gitanjali M, Mausumi G, Kumar S T, et al. Au nanoparticles and polyaniline coated resin beads for simultaneous catalytic oxidation of glucose and colorimetric detection of the product [J]. Langmuir, 2005, 21 (5) : 1663-1667.
- [6] Tseng R J, Huang J X, Ouyang J Y, et al. Polyaniline nanofiber/gold nanoparticle nonvolatile memory [J]. Nano Letters, 2005, 5 (6) : 1077-1080.
- [7] Li L, Yan G P, Wu J Y, et al. Preparation of polyaniline-metal composite nanospheres by in situ microemulsion polymerization [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2008, 326 (1) : 72-75.
- [8] Dallas P, Niarchos D, Vrbanic D, et al. Interfacial polymerization of pyrrole and in-situ synthesis of polypyrrole/silver nanocomposites [J]. Polymer, 2007, 48 (7) : 2007-2013.

- [9] Ma Z H, Tan K L, Kang E T. Electroless plating of palladium and copper on polyaniline films [J]. *Synthetic Metals*, 2000, 114(1): 17-25.
- [10] Park N, Kim I W, Kim J. Copper metallization of poly(ethylene terephthalate) fabrics via intermediate polyaniline layers [J]. *Fibers and Polymers*, 2009, 10(3): 310-314.
- [11] Zhou Z Y(周兆懿), Zhao Y P(赵亚萍), Cai Z S(蔡再生), et al. Preparation and characterization of inorganic acids doped polyaniline on PET fibers [J]. *Chemical Industry and Engineering Progress(化工进展)*, 2010, 29(5): 909-913.
- [12] Zhou Z Y(周兆懿), Zhao Y P(赵亚萍), Cai Z S(蔡再生). Preparation of polyaniline/polyester conducting composite fabric with in-situ polymerization [J]. *Dyeing and Finishing(印染)*, 2009, 35(5): 1-5.
- [13] Zhao Y P(赵亚萍), Zhou Z Y(周兆懿), Cai Z S(蔡再生), et al. Effect of oxidative conditions on properties of polyaniline/polyester conducting fabrics [J]. *Dyeing and Finishing(印染)*, 2010, 36(4): 1-6.
- [14] Zhou Z Y(周兆懿), Cai Z S(蔡再生), Zhao Y P(赵亚萍), et al. Thermal stability of hydrochloride doped polyaniline on PET fibers [J]. *New Chemical Materials(化工新型材料)*, 2010, 38(11): 75-77.
- [15] Zhao Y P, Zhou Z Y, Fu X L, et al. Thermodynamics study of monomer adsorption process for fabrication of conductive textiles [C]// *Proceedings of the Second International Conference on Advanced Textile Materials & Manufacturing Technology*, Hangzhou: Zhejiang University Press, 2010, 20-24.
- [16] Zhao Y P, Cai Z S, Zhou Z Y, et al. Adsorption behavior of monomers and formation of conducting polymers on polyester fibers [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2011, 119(2): 662-669.
- [17] Fu X L(符晓兰), Zhao Y P(赵亚萍), Cai Z S(蔡再生). Preparation of polyaniline/metal composite conductive fabric by electroless plating [J]. *Dyeing and Finishing(印染)*, 2010, (18): 1-4.
- [18] Wang Z(王政), Zhao J X(赵炯心). The study of chemical silver plating on polyurethane fiber [J]. *Synthetic Technology and Application(合成技术及应用)*, 2006, 21(3): 35-39.
- [19] Zhang H(张辉), Zhan J C(詹建朝), Shen L P(沈兰萍). Electroless silver plating of PET fabric enhanced by ultrasonic wave [J]. *Surface Technology(表面技术)*, 2006, 35(5): 37-39.
- [20] Zhang B W(张邦维), Hu W Y(胡望宇), Wang L L(王玲玲), et al. Effects of plating process parameters on electroless deposition rate [J]. *Electroplating and Pollution Control(电镀与环保)*, 1999, 19(5): 15-22.
- [21] Trchová M, Stejskal J. The reduction of silver nitrate to metallic silver inside polyaniline nanotubes and on oligoaniline microspheres [J]. *Synthetic Metals*, 2010, 160(13/14): 1479-1486.
- [22] Jiang S X(姜绶祥), Guo R H(郭荣辉), Zheng G H(郑光洪). Crystal structure and properties of electroless silver plating on polyester fabric [J]. *Electroplating and Finishing(电镀与涂饰)*, 2009, 28(7): 22-24.
- [23] Klug H P, Alexander L E. X-ray diffraction procedures for polycrystalline and amorphous materials [M]. New York: John Wiley & Sons, 1974: 196-200.
- [24] Dai H B(戴洪斌). Study of the texture of electrodeposited Fe-Ni alloy [J]. *Electroplating and Pollution Control(电镀与环保)*, 1994, 14(6): 5-7.
- [25] Xu S K(许书楷), Yang F Z(杨防祖), Zhou S M(周绍民). Effect of deposition conditions on the texture of zinc deposits [J]. *Electrochemistry(电化学)*, 1995, 1(4): 408-413.
- [26] Su Y Q(苏永其), Liu R(刘瑞), Yao J Y(姚锦元), et al. Corrosion mechanism of nanocrystalline zinc coating on steel sheet used for automobile in NaCl solution [J]. *Electroplating and Finishing(电镀与涂饰)*, 2011, 30(1): 10-13.

Electroless Plating Silver Without Pd Activation on Polyamide Fabrics and Its Properties

MENG Yun, ZHAO Ya-ping, CAI Zai-sheng*

(*Key Laboratory of Science & Technology of Eco-Textile,*

Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: Silver was deposited on the surface of polyaniline coated polyamide fabrics by electroless plating without using conventional palladium chloride solution as activator. Effects of electroless plating conditions such as the concentrations of silver nitrate, reducing agent glucose, complexing agent ammonium hydroxide, sodium hydroxide in the bath, as well as the depositing time and bath temperature on the rate of metal deposition and the square resistance were studied. Optimum electroless plating conditions were: 30 °C, 50 min, with silver nitrate 12 g/L, ammonium hydroxide 100 mL/L, glucose 2.8 g/L, sodium hydroxide 8 g/L. Meanwhile, effects of the intermediate polyaniline layer on the metal crystallite size, texture and corrosion resistance of composite conducting fabrics were discussed. The results showed that the intermediate polyaniline layer between polyamide fabric and silver could effectively improve the conductance, corrosion resistance and laundry resistance of composite conducting fabrics.

Key words: Pd-free activation; electroless plating; silver; polyaniline; conducting fabric