

# 化学镀银玻璃纤维

李芝华, 曹 鼎, 孙 健

(中南大学, 湖南 长沙 410083)

**摘 要:** 镀银玻璃纤维有抗电磁辐射、抗静电、消毒杀菌、反射雷达波等优异性能。玻璃纤维化学镀银法具有工艺简单、所得镀层均匀且结合力强等优点, 近年来引起了人们较多的关注。本文介绍了玻璃纤维上化学镀银的方法和应用背景, 详细探讨了玻璃纤维化学镀银的影响因素, 并针对目前玻璃纤维化学镀银存在的一些问题提出了建议。

**关键词:** 化学镀银; 玻璃纤维; 影响因素

**中图分类号:** TG 154.5; TG 146.3<sup>+2</sup>

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-185X(2008)04-0748-05

镀银玻璃纤维既具备银的优异导电性和化学稳定性, 又拥有玻璃纤维的高抗拉强度、耐腐蚀性和耐热性, 因而其作为一种可应用于导电高分子复合材料的新导电填料具有广泛的应用潜力和前景<sup>[1]</sup>。

玻璃纤维化学镀银是近年来研究较多的一种方法。目前的研究多集中于如何改善镀银玻璃纤维的导电率, 而针对其它有关性能影响因素的系统研究则相对较少。本文详细介绍了化学镀银玻璃纤维的制备方法、性能影响因素及其应用。

## 1 玻璃纤维化学镀银

### 1.1 化学镀

近年来, 采用化学镀方法在玻璃纤维基体上镀金属层而制得功能材料的报道日益增多<sup>[2~13]</sup>。这种化学镀不需要外加电流, 它是通过化学还原法实施的金属沉积过程<sup>[14]</sup>。

### 1.2 玻璃纤维化学镀银的新工艺与技术

银镜反应是最早采用的玻璃纤维化学镀银法<sup>[15~17]</sup>, 同时也是目前使用较多的方法。玻璃纤维化学镀银通常分为预处理及施镀两个阶段。其工艺较成熟, 但仍存在一些问题。随着玻璃纤维化学镀银技术的发展, 各种玻璃纤维化学镀银的新工艺正在不断涌现。

#### 1.2.1 预处理工艺

预处理的主要作用是提高玻璃纤维表面的粗糙度, 使表面由疏水性转为亲水性, 从而增强基体与镀层的结合力, 同时在玻璃纤维表面形成催化活性中心, 促使自催化反应的进行。

目前预处理工艺需要改进的方面仍较多。使用氯

化钡活化液, 钡作为贵金属成本较高, 少量残留的锡与钡会沉积在银镀层中形成杂质, 而且预处理的流程与所需的溶液也相对较多; 使用氯化钡活化液还会造成银的团聚, 导致很难形成均匀的银镀层。这些都在一定程度上影响了玻璃纤维化学镀银的应用。为了解决这些问题, 人们进行了各种尝试, 并获得了一定的进展。Liu<sup>[18]</sup>等用带巯基的硅烷对玻璃纤维表面进行自组装修饰, 然后进行化学镀银, 制得了结合力较高的镀层。Tong<sup>[19]</sup>等在玻璃纤维上使用一层银的原始镀层来代替预处理, 继而通过银的自我催化来完成化学镀银过程。Schaeffers<sup>[20]</sup>等也使用纯纳米银粉层作为催化层, 在其上得到的化学镀银层厚度达到 200 nm, 银镀层的平均粒径为 40 nm。该方法可以制得不同表面结构的银镀层, 并能很好地调整纳米银镀层表面离子的体谐振, 从而应用于光学与遥感领域。研究还发现 Ag-W 介质能防止银的团聚<sup>[21~23]</sup>, 但缺点是钨会提高镀层的电阻率。Cha<sup>[24]</sup>等采用 Au 活化液来代替 Pd 活化液。Au 具有相对较低的导电率 ( $2.4 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ ), 因此保证了镀层的电阻率不会受到太大的影响。Au 与 Ag 还具有相同的晶体结构和近似的晶格常数<sup>[25]</sup>, 同时 Au 的还原电位高<sup>[26]</sup>, 使得 Au 很容易沉积于玻璃纤维上。采用该方法制得的银镀层电阻率低, 达到  $1.95 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ 。该技术的缺点是增加了成本。

#### 1.2.2 施镀工艺

在施镀过程中, 经过预处理后的玻璃纤维浸入到按一定比例配制的镀银液中。镀银液的组成对施镀效果有着决定性的影响。

镀银液的成分主要包括主盐及络合物、还原剂。

收到初稿日期: 2008-03-29; 收到修改稿日期: 2009-01-04

作者简介: 李芝华, 男, 1963 年生, 博士, 副教授, 中南大学材料科学与工程学院, 湖南 长沙 410083, 电话: 0731-8830838, E-mail: ligfz@mail.csu.edu.cn

由于镀银液不稳定, 寿命短, 通常还需要加入稳定剂以防止镀液出现混浊而发生分解。开发新型、高效的还原剂与助剂是人们研究的热点。Park<sup>[27]</sup>等采用硝酸银和丁胺的乙醇溶液作为镀银液, 制得的镀银层粒径在 20~150 nm, 同时该银镀层还表现出良好的紫外线吸收特性以及表面增强拉曼散射效应。

目前还原剂与助剂的选择尚处在摸索阶段, 寻找合适的还原剂与助剂是当前玻璃纤维化学镀银的发展方向。

## 2 玻璃纤维化学镀银的影响因素

目前关于玻璃纤维化学镀银的影响因素研究工作较多。本文结合相关文献, 总结出影响镀银沉积率、镀银速率、溶液稳定性、镀层厚度、镀层结合力及镀层外观质量的因素。

### 2.1 镀银沉积率

银的昂贵价格, 导致化学镀银的成本较高。如何降低成本, 使化学镀银有利于工业化生产是研究的重点。提高镀银沉积率, 可以提高银的有效利用率与镀银效率, 从而减少作业时间和镀银成本。

镀银沉积率偏低是目前存在的普遍问题。研究发现, 合适的还原剂可以显著提高镀银沉积率。Bahls<sup>[28]</sup>测试了相同条件下的酒石酸钾钠(罗谢尔盐)、果糖、右旋葡萄糖、葡庚糖酸钠以及葡萄糖醇(山梨醇)等还原剂对沉积率的影响。研究表明, 采用山梨醇时镀银沉积率达到了 0.167 mg/cm<sup>2</sup>, 采用葡庚糖酸钠时沉积率为 0.159 mg/cm<sup>2</sup>, 采用其它还原剂则更低。在银氨络离子浓度为 0.05 mol/L, 氢氧化钠浓度为 0.15 mol/L, 温度为 25 °C 以及反应时间为 2 min 时, 少量的山梨醇就可以得到较高且稳定的沉积率。此工艺不仅具有较高沉积率, 还能以固定方式或者流水线方式作业。因此适用于工业化流程的批量作业。

某些助剂的加入也可以提高镀银沉积率, 寻找合适的还原剂和助剂是提高镀银沉积率的有效途径。蔡积庆<sup>[29]</sup>研究发现, 在含有 AgNO<sub>3</sub> 的银氨溶液或者含有还原剂和强碱性物质的还原性溶液中, 至少加入 Bi<sup>3+</sup>、Al<sup>3+</sup>、Fe<sup>3+</sup> 的化合物添加剂中的一种, 镀银效率可以提高到 40% 以上。该方法可以在玻璃等基板上形成均匀致密性、耐腐蚀性、附着性和精密反射像诸性能优良的镜制品。

### 2.2 镀银速度

在一定程度上提高镀银速度可以显著减少施镀时间, 降低成本。影响镀银速度的因素也较多, 在一定范围内提高主盐及还原剂的质量浓度可以增加镀层表面活性粒子的数量, 从而加快镀液反应, 提高镀银

速度。溶液 pH 值和反应温度的增加也可以提高镀银速度。

研究发现助剂对镀银速度也有较大的影响。Takuya<sup>[30]</sup>等人的研究表明, 在镀银液中加入一些浓度超过 0.001 mol/L 的可溶金属盐时, 镀银层的沉积速度和镀层厚度能够获得显著提高, 这些金属包括铜、镍、钴、锌、金。Krulik<sup>[31]</sup>等研究发现, 在化学镀银溶液中加入氨基酸可以有效提高镀银速率。其镀银配方为: 20 g/L 硫代硫酸钠, 20 g/L 亚硫酸钠, 0.1 g/L 乙二胺四乙酸(disodium, EDTA), 1 g/L 银化合物, 在 pH 值为 8.5 及 90 °C 下镀银层沉积速率达到了 19.72 μm/h。

黄少强<sup>[32]</sup>讨论了一些助剂对镀银速度与镀银质量的影响, 发现选用乙醇和聚乙二醇(PEG1000)作助剂对镀银反应比较有利, 可得到表面状况较好的镀层。另外, 在化学镀过程中镀液 pH 值也对反应速度和镀层质量影响较大。

镀银速度的控制对镀层外观质量以及电导率都有很大的影响。不稳定的镀银速度是制约化学镀银玻璃纤维发展的重要原因, 因此如何保持稳定及合适的镀银速度是进一步研究的重要内容。

### 2.3 溶液稳定性

在工业化生产中, 溶液稳定性与化学镀银玻璃纤维成本有着密切的关系。在溶液稳定的情况下, 通过补充新溶液可使镀银液重复利用, 从而降低成本。

人们对如何保持溶液的稳定性进行了较多的研究, 确保还原剂稳定是其中一个重要的环节。Sivertz<sup>[33]</sup>等采用葡糖酸作为镀银还原剂。此还原剂在强碱环境下仍具有良好的稳定性, 适合温度也较广, 在 65 °C 下葡糖酸可以保持 30 d 甚至更久, 而醛糖还原剂在同等条件下则只能维持几分钟。Bahls<sup>[34]</sup>则发现 D-葡萄糖胺、N-葡甲胺和葡糖胺酸作为还原剂在强碱溶液中有较好的稳定性, 比葡糖酸盐和多元醇等有更好的温度适应性(21~54 °C)。其中 N-葡甲胺和葡糖胺酸的效果更好。Mandich<sup>[35]</sup>等采用的化学镀银液包括银化合物, 还原剂为硫代硫酸盐以及亚硫酸盐, 相比于采用甲醛、还原糖、硼氢化物、水合肼等其他还原剂而言, 此配方具有更好的稳定性以及沉积率。

同时, 人们也在积极探索其它控制溶液稳定性的方法。Ludwig<sup>[36]</sup>等进行的研究表明, 调整镀银液中的氧气含量, 可以有效地控制溶液的稳定性, 并达到改变沉积率和沉积界面粗糙度的目的。其原理是银被氧化成氧化银阴离子, 从而防止溶液的自催化分解。该银液可以保持一周的稳定性。因此通过选择合适的还原剂以及加入其它添加剂等手段来控制溶液稳定性将是今后的发展方向。

## 2.4 镀层厚度

化学镀银玻璃纤维的电阻率与镀层厚度有很大的关系。较厚的均匀银镀层能够有效地减小镀银玻璃纤维的电阻率,因而镀银层厚度的提高是拓展化学镀银玻璃纤维应用领域的关键因素。适中的镀银速度可以相对提高镀层厚度,因为过快的镀银速度会导致镀液中发生银的自催化反应,使得银析出到溶液中,甚至沉积在容器上,这就使沉积在玻璃纤维上的银相对减少,从而减小镀层厚度。

研究发现合适的溶液配方及实验环境是控制镀层厚度的关键。Kozlov<sup>[37]</sup>等人采用硝酸银、氢氧化铵和水合肼作为化学镀银液可以制得较厚的镀银层。其较佳的施镀环境如下: pH 值为 8~13, 温度为 20~98 °C, 镀银时间为 5~30 min。施镀后得到了 2 μm 厚的光亮镀银层。这种镀银层可以应用于玻璃纤维光学波导管, 并作为电子设备中的导电通道。

## 2.5 镀层结合力

镀层结合力是衡量镀层好坏的重要参数, 较强的镀层结合力也是提高化学镀银玻璃纤维实用价值的保证。合适的还原剂可以提高镀层结合力, 预处理效果的好坏也直接影响到镀层的结合力。陈步明<sup>[38]</sup>等用硝酸银溶液代替传统的氯化钾活化液, 降低了化学镀银的生产成本。并在此条件下得到了导电性好, 结合力强的镀银玻璃纤维。

## 2.6 镀层外观质量

一般来说, 适当降低温度, 控制银沉积速度以及装载量可以改善化学镀银玻璃纤维的镀层外观。同时镀银液和还原剂的加入顺序对镀层外观的影响也很大, 但究其原因仍是 pH 值的影响。

改善化学镀银玻璃纤维镀层外观的另外一个方法是在溶液中加入光亮剂。Perovetz<sup>[39]</sup>等使用了一种含光亮剂的镀银溶液和镀银乳液。该镀银溶液和镀银乳液中包括镀银液、还原剂、表面活性剂、湿润剂、光亮剂等。其中光亮剂采用了硅藻土或者红氧化铁, 该配方无毒性。研究表明, 该工艺在镀银的同时还能进行抛光, 并能有效地避免镀银和抛光时的污染。

# 3 化学镀银玻璃纤维的应用

## 3.1 电子工业领域

化学镀银玻璃纤维在电子工业领域获得了非常广泛的应用。为了屏蔽电子器件或电子设备的电磁波干扰, 由化学镀银玻璃纤维填充的导电塑料、导电涂料、导电复合材料等获得广泛应用。与镀银玻璃微珠<sup>[40~44]</sup>相比, 镀银玻璃纤维导电填料更容易形成导电通路, 加入量较少时即可形成导电网络。含有化学镀银玻璃

纤维的导电胶粘剂、导电橡胶可以填补缝隙, 起到电气导通、电磁屏蔽及密封作用<sup>[45]</sup>。Moon<sup>[46]</sup>等发现, 当镀银玻璃纤维添加量为 3%至 5%时, 各向同性导电胶与锡之间在老化期间仍具有稳定的接触电阻。混凝土中加入玻璃纤维可改善混凝土的抗拉、抗弯、抗剪、抗冲击、抗疲劳以及断裂韧性, 而加入了化学镀银玻璃纤维的特种混凝土还能防止电磁泄露, 可作为信息保密室、重要会议室的墙体材料<sup>[47,48]</sup>。Komatsu<sup>[49]</sup>等制备出具有超导性质的镀银  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$  玻璃陶瓷纤维, 这种材料在 70 K 下即呈现出超导性。化学镀银玻璃纤维已经广泛应用于光纤波导管的制备<sup>[50~60]</sup>。Bendada<sup>[61]</sup>等将镀银玻璃纤维波导管用于高灵敏温度探测器, 可以探测出高分子膜在喷射成形时的表面及体温度。

## 3.2 国防军事领域

随着科技的进步, 电子战在现代战争中越来越体现出其重要性。在海上环境中, 如何提高电子战的能力以应对反舰导弹的威胁给各国提出了更高的要求。箔条是干扰敌方雷达系统最廉价、最有效的手段之一。箔条的主要形式是铝箔条、极细的镀金属玻璃纤维棒或镀银单纤维尼龙丝, 其长度为敌方雷达频率波长的一半。这种箔条可形成反射敌方雷达脉冲的偶极子。同时这些箔条可覆盖宽频带(宽频带箔条) 以提供有效的保护, 使一些偶极子水平漂浮、另一些偶极子垂直漂浮, 以干扰水平或垂直极化的雷达发射<sup>[62,63]</sup>, 起到保护舰船的作用。

## 3.3 日用纺织品领域

世界卫生组织将电磁辐射列为必须防治的第 3 大污染。大多数合成纤维都是低导电性纤维, 会因为摩擦而产生静电, 由此合成纤维制成的织物在使用时可带 10 kV 以上的高电位, 所以不可避免地会产生放电、吸尘等现象。化学镀银玻璃纤维作为耐高温织物的原料既有优异的抗静电性能, 同时具有消毒杀菌的作用<sup>[64,65]</sup>。因此, 化学镀银玻璃纤维织物用于调节体温、抗菌除臭、抗静电及抗电磁辐射等方面将显示出更有效的作用。

## 3.4 医学卫生领域

化学镀银玻璃纤维突出的抗菌、除臭等特性在医学卫生领域也获得广泛应用。化学镀银玻璃纤维织物不仅强度高、不吸湿、尺寸稳定、透气性好、手感柔软、易弯曲、适应各种形状, 而且具有抗菌除臭的功能, 因而适于制作矫形绷带<sup>[66,67]</sup>。

化学镀银玻璃纤维在医学研究领域的应用也取得了进展。Gessner<sup>[68]</sup>等发现化学镀银玻璃纤维可作为表面增强拉曼散射基体, 使得在高分辨率下研究生物样

品, 如植物组织及微生物细胞等成为可能。

## 4 结 语

化学镀银玻璃纤维作为性能优异的导电填料已经引起了人们的重视。化学镀银玻璃纤维在工业、军事及日常生活的各个领域有着巨大的应用潜力。但目前化学镀银玻璃纤维的大量应用仍存在着一些挑战。大力研究开发新型的无毒、稳定、高效的还原剂、助剂及玻璃纤维化学镀银新工艺, 推动化学镀银玻璃纤维在实际中的广泛应用, 是当前化学镀银玻璃纤维发展的重要方向。随着化学镀银工艺技术的进一步成熟, 化学镀银玻璃纤维必将在社会生产和生活的各个方面产生更大的影响。

### 参考文献 References

- [1] Bao Hongquan(鲍红权), Liu Qianghua(刘强华), Zhao Chao-hua(赵超华) *et al. Fiber Glass(玻璃纤维)*[J], 1997, 4: 2
- [2] Cane F N. *US Patent*, 5648125[P]. 1997
- [3] Ying H, Ke S, Zijun L *et al. Mater Lett*[J], 2007, 61(8~9): 1742
- [4] Peret T J. *US Patent*, 7158708B2[P]. 2007
- [5] El-Baradie Z M, Shoeib M. *Corros Prev Control*[J], 2003, 50(3): 146
- [6] Ives Jr *et al. US Patent*, 6753034B2[P]. 2004
- [7] Onosato Y. *US Patent*, 7063779B2[P]. 2006
- [8] Ying H, Fei H, Wentao Z *et al. Rare Metals*[J], 2007, 26(4): 365
- [9] Chen M S. *US Patent*, 6251252B1[P]. 2001
- [10] Matsuura Y, Oyama T, Miyagi M. *Appl Opt*[J], 2005, 44(29): 6193
- [11] Imori T *et al. US Patent*, 7045461B2[P]. 2006
- [12] Oyama T. *Rec Electr Commun Eng Conversazione Tokohu Univ*[J], 2006, 74(1): 181
- [13] Kong B *et al. US Patent*, 6797312B2[P]. 2004
- [14] Mallory G O, Hajdu J B. *Electroless Plating-Fundamentals and Applications*[M]. New York: William Andrew Publishing, 1990, 387: 441
- [15] Hu J, Zhao B, Xu W *et al. Langmuir*[J], 2002, 18: 6839
- [16] Saito Y, Wang J J, Smith D A *et al. Langmuir*[J], 2002, 18: 2959
- [17] Saito Y, Wang J J, Batchelder D N *et al. Langmuir*[J], 2003, 19: 6857
- [18] Liu Z C, He Q G, Xiao P F *et al. Mater Chem Phys*[J], 2003, 82(2): 301
- [19] Tong H, Zhu L, Li M *et al. Electrochim Acta*[J], 2003, 48: 2473
- [20] Schaefer S, Rast L, Stanishevsky A. *Mater Lett*[J], 2006, 60: 706
- [21] Inberg A, Ruzin A, Torchinsky I *et al. Thin Solid Films*[J], 2006, 496(2): 515
- [22] Glickman E, Inberg A, Bogush V *et al. Microelectron Eng*[J], 2004, 76(1~4): 182
- [23] Inberg A, Bogush V, Croitoru N *et al. J Electrochem Soc*[J], 2007, 154(1): 1
- [24] Cha S H, Koo H C, Kim J J. *J Electrochem Soc*[J], 2005, 152(6): 388
- [25] Kittel C. *Introduction to Solid State Physics*[M]. New York: John Wiley & Sons, 1996: 23
- [26] Bard A J, Faulkner L R. *Electrochemical Methods; Fundamentals and Applications*[M]. New York: John Wiley & Sons, 2001: 808
- [27] Park H K, Yoon J K, Kim K. *Langmuir*[J], 2006, 22(4): 1626
- [28] Bahls H. *US Patent*, 3983266[P]. 1976
- [29] Cai Jiqing(蔡积庆). *Electroplating and Pollution Control(电镀与环保)*[J], 2002, 22(4): 23
- [30] Takuya H *et al. US Patent*, 3337350[P]. 1967
- [31] Krulik G A *et al. US Patent*, 5318621[P]. 1994
- [32] Huang Shaoqiang(黄少强), Qiu Wenge(邱文革), Chen Haitao(陈海涛). *Materials Protection (材料保护)*[J], 2004, 10: 23
- [33] Sivertz C *et al. US Patent*, 3776740[P]. 1973
- [34] Bahls H J. *US Patent*, 4737188[P]. 1988
- [35] Mandich N V *et al. US Patent*, 5322553[P]. 1994
- [36] Ludwig F A *et al. US Patent*, 4550036[P]. 1985
- [37] Kozlov A S *et al. US Patent*, 6387542B1[P]. 2002
- [38] Chen Buming(陈步明), Guo Zhongcheng(郭忠诚), Zhang Jielei(张杰磊). *Plating and Finishing(电镀与精饰)*[J], 2007, 29(3): 13
- [39] Perovetz L M *et al. US Patent*, 4925491[P]. 1990
- [40] Song Y G, Han B M, Chang S. *Opt Commun*[J], 2001, 198(1~3): 7
- [41] Lekatou A, Faidi S E, Lyon S B *et al. Materials Research Society Symposium- Proceedings*[C]. Boston: Materials Research Society, 1996, 409: 229
- [42] Mehrani P, Bi H T, Grace J R. *Powder Technol*[J], 2007, 173(2): 73
- [43] Hall M M, Clare A G J. *Biomed Mater Res Part B Appl Biomater*[J], 2005, 75(2): 435
- [44] Jiang Y, Whitehouse C, Jensen L *et al. J Phys Condens Matter*[J], 2003, 15(34): 5871

- [45] Norman R H. *Plastics & Rubber Inst*[J], 1983, 17: 1
- [46] Moon K, Li Y, Wong C P. *Proc Int Symp Exhib Adv Packag Mater Process Prop Interfaces*[C]. Atlanta: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2004, 9: 126
- [47] Ghugal Y M, Deshmukh S B. *J Reinf Plast Compos*[J], 2006, 25(6): 617
- [48] Tucker D, Ethridge E, Toutanji H. *Collect Tech Pap Aerosp Sci Meet*[C]. Reno: American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc, 2006, 9: 6335
- [49] Komatsu T, Hirose C, Ohki T *et al.* *Appl Phys Lett*[J], 1990, 57(2): 183
- [50] Cossman P, Romano V, Sporri S *et al.* *Lasers Surg Med*[J], 1995, 16: 66
- [51] Gannot I, Schrunder S, Dror J *et al.* *IEEE Trans. Biomed. Eng*[J], 1995, 42: 967
- [52] Matsuura Y, Kasahara R, Katagiri T *et al.* *Proc SPIE – Int Soc Opt Eng*[C]. San Jose: SPIE-Int Soc Opt Eng, 2003, 4957: 79
- [53] Kasahara R, Katagiri T, Matsuura Y *et al.* *Proc SPIE – Int Soc Opt Eng*[C]. San Jose: International Society for Optical Engineering, 2004, 5317: 81
- [54] Iwai K, Shi Y W, Matsuura Y *et al.* *Proc SPIE – Int Soc Opt Eng*[C]. San Jose: SPIE-Int Soc Opt Eng, 2002, 4916: 115
- [55] Rabii C D, Gibson D J, Harrington J A. *Appl Opt*[J], 1999, 38(21): 4486
- [56] Mohebbi M, Fedosejevs R, Gopal V *et al.* *Appl Opt*[J], 2002, 41(33): 7031
- [57] Papagiakoumou E, Papadopoulos D N, Anastasopoulou N *et al.* *Opt Commun*[J], 2003, 220(1~3): 151
- [58] Gibson D J, Harrington J A. *Appl Opt*[J], 2004, 43(11): 2231
- [59] Yi W S, Ito K, Matsuura Y *et al.* *Opt Lett*[J], 2005, 30(21): 2867
- [60] Liu X X, Han J J, Zhao X J. *Proc SPIE – Int Soc Opt Eng*[C]. San Jose: SPIE-Int Soc Opt Eng, 2003, 5061: 254
- [61] Bendada A, Cole K, Lamontagne M *et al.* *IR Phys Tech*[J], 2004, 45: 59
- [62] Han Xiurong(韩秀荣), Wang Quanshui(王泉水). *Shipborne Weapons(舰载武器)*[J], 1997, 3: 37
- [63] Jung W K, Ahn S H, Ahn B C *et al.* *J Compos Mater*[J], 2007, 41(11): 1375
- [64] Kim Y H, Kang Y S. *Mater Res Soc Symp Proc*[C]. San Francisco: Materials Research Society, 2004, 820: 221
- [65] Ikemizu M, Iimori K, Yoshikawa H. *Shapu Giho*[J], 2006, 94: 25
- [66] Kelay M S, Bader D L, Reed P E. *J Thermoplast Compos Mater*[J], 1997, 10(1): 76
- [67] White R, Schuren J, Konn D R. *Clin Biomech*[J], 2003, 18(1): 19
- [68] Gessner R, Rosch P, Kiefer W *et al.* *Biopolym Biospectrosc Sect*[J], 2002, 67(4~5): 327

## Silver Coated Glass Fiber by Electroless Plating

Li Zhihua, Cao Ding, Sun Jian

(Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** Silver coated glass fiber has some attractive performances such as antistatic, anti-electromagnetic-radiation, deodorization, antibacterium and radar-reflection. The technology of the electroless silver plating on glass fiber has the advantages of simple fabrication, and uniform coating with strong adhesion, and receives more and more attention in recent years. The preparation methods and applications of electroless silver plating on glass fiber are introduced, the influence factors of electroless silver plating on glass fiber are discussed in detail. Finally some problems in preparation and application are suggested.

**Key words:** electroless silver plating; glass fiber; influence factors

---

Biography: Li Zhihua, Ph. D., Associate Professor, College of Materials Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, P. R. China, Tel: 0086-731-8830838, E-mail: ligfz@mail.csu.edu.cn