

## 金属化竹纤维的8mm微波干扰性能研究

陈昕<sup>1</sup>, 潘功配<sup>1</sup>, 杨黎飞<sup>1</sup>, 赵军<sup>1,2</sup>, 曹传新<sup>3</sup>, 许进兴<sup>1</sup>

(1. 南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094;

2. 防化指挥工程学院4系, 北京 102205;

3. 解放军理工大学工程兵学院, 江苏 南京 210007)

**[摘要]** 为研制一种轻质毫米波干扰材料, 试验以化学镀的方式对竹纤维进行表面金属化改性(镀覆的金属为铜和镍); 并检测了金属化竹纤维的8mm波衰减性能。测试结果显示金属化竹纤维的8mm波衰减性能较好: 20mg镀铜竹纤维可衰减17.5dB, 30mg镀镍竹纤维可衰减24.2dB。化学镀工艺对金属化竹纤维的衰减性能有一定影响, 在相同工艺下所制备试样的8mm波衰减分贝值随测试用量的增加而增加。试验结果表明金属化竹纤维可望成为一种新型毫米波干扰材料。

**[关键词]** 8mm微波干扰; 竹纤维; 金属化; 化学镀铜; 化学镀镍; 毫米波干扰材料

**[中图分类号]** TQ153.1

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1001-3660(2007)03-0017-03

## Study on the 8mm Microwave Interference Capability of Metallized Bamboo Fibre

CHEN Xin<sup>1</sup>, PAN Gong-pei<sup>1</sup>, YANG Li-fei<sup>1</sup>, ZHAO Jun<sup>1,2</sup>, CAO Chuan-xin<sup>3</sup>, XU Jing-xing<sup>1</sup>

(1. Chemical Engineering School, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;

(2. 4th Department, Institute of Chemical Defense and Technology, Beijing 102205, China)

(3. Engineering Institute of Engineering Corps, PLA Univ. of Sci. and Tec. Nanjing 210007, China)

**[Abstract]** Bamboo fibre was metallized by electroless copper plating and electroless nickel plating to prepare a new type light microwave interference material. The 8mm microwave attenuation capability of metallized bamboo fibre was tested and the result shows that the attenuation decibel of 20mg copper plating sample reaches 17.5dB and 30mg nickel plating sample reaches 24.2dB. The plating technology has effect on attenuation capability of sample. The attenuation decibel of same sample increases with its dosage. The test result indicates that metallized bamboo fibre is a new type hopeful microwave interference material.

**[Key words]** 8mm microwave interference capability; Bamboo fibre; Metallization; Electroless copper plating; Electroless nickel plating; Microwave interference material

## 0 引言

非金属材料表面金属化是开发新材料的一种重要手段。采用适宜的表面处理工艺在非金属材料表面形成金属覆盖层的过程称为非金属材料表面金属化, 表面金属化赋予非金属材料一些电磁、光学、光电子学及热学等与表层金属相关的功能特性, 最终形成一种兼有金属和非金属优点的高性能复合材料。近年来, 对空心微珠、玻璃纤维、碳纤维、碳化硅纤维等轻质非金属材料进行表面金属化改性成为新型微波干扰材料的一个研究热点。这些金属化材料综合了基体密度低和表层金属电磁性能好的优点, 既可用于电磁屏蔽填料, 也可用作对抗雷达的干扰材料<sup>[1-8]</sup>。

在各种表面金属化技术中, 化学镀具有不需要外加电源、

操作方便、工艺简单、镀层均匀、孔隙率小、外观良好, 且可在非金属基体表面沉积金属镀层的显著优点。本文以竹纤维为基体, 采用化学镀的方式使其表面金属化; 探索了适宜竹纤维化学镀的工艺, 并初步测试了金属化竹纤维的8mm波衰减性能。

## 1 试验方法和材料

### 1.1 竹纤维简介

竹纤维的主要成分是纤维素、半纤维素和木质素, 提纯后纤维素含量可达93%以上, 其生产过程从原料的提取到纤维的制造全部实施绿色生产, 是一种价格低廉、资源广泛、环境友好的新型天然纤维材料。竹纤维外表面有无数微细凹槽, 这些凹槽可以使金属镀层与竹纤维基体紧密咬合、牢固结合。竹纤维的微观结构特殊, 检测发现其横截面布满了不规则的椭圆形孔隙, 这种高度“中空”的结构将使竹纤维基体改性材料在作为干扰材料使用时具有更好的漂浮性能。视原料与工艺不同, 竹纤维密度在0.49~0.90g/cm<sup>3</sup>之间, 其密度较其它天然纤维与化学纤维及碳纤维、玻璃纤维等纤维材料都低; 以竹纤维为基体将制

**[收稿日期]** 2006-09-12

**[作者简介]** 陈昕(1972-), 女, 重庆梁平人, 讲师, 在读博士, 研究方向: 军事化学与烟火技术。

备更轻的微波干扰材料<sup>[9]</sup>。

## 1.2 金属化竹纤维的制备

竹纤维是对化学镀无本征催化活性的非金属基体,故对其进行化学镀处理的关键就是通过适宜的预处理使其表面具有催化活性,试验发现其适宜的化学镀工艺为:除油→敏化→活化→化学镀。试验采用的除油剂为无水乙醇,用  $\text{SnCl}_2$  敏化液敏化,活化剂为胶体钯。化学镀镍的工艺参数为:镀液配方为  $20\text{g/L NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 30\text{g/L NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + 10\text{g/L Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 30\text{g/L NH}_4\text{Cl}$ ; pH 值 7~8; 温度  $60^\circ\text{C}$ ; 时间 5min, 搅拌。化学镀铜的工艺参数为:镀液配方  $40\text{g/L KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O} + 9\text{g/L NaOH} + 42\text{g/L Na}_2\text{CO}_3 + 14\text{g/L CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} + 4\text{g/L NiCl}_2 + 53\text{mL/L}$  市售 37% 甲醛溶液; pH 值 12~13; 温度  $60^\circ\text{C}$ ; 时间 3min; 搅拌。一般而言,化学镀工艺参数如镀液配方、镀液酸度、镀覆温度、搅拌强度及装载量等因素都将对镀件的金属化效果产生影响。试验过程中发现,装载量对竹纤维金属化效果有重要影响。装载量原意为镀件表面积与镀液体积的比值;竹纤维体积微小且形状不规则,其表面积很难定量测定,故本试验中装载量的含义引申为竹纤维质量与镀液体积的比值,以  $\text{g/L}$  表示。

## 1.3 金属化竹纤维的 8mm 波衰减性能测试

静态测试镀铜竹纤维 8mm 波衰减性能的装置由 8mm 波噪声发生器、接收器、示波器与数据采集处理系统组成;接收器接收发生器发射的信号并转变成电压信号。测试时,将镀铜竹纤维样品制作为测试样板,置于发生器和接收器之间。测试样板为均匀分散粘附在透明胶带上的金属化竹纤维试样,试样质量与分散面积的比值称为面密度,以  $\text{g/m}^2$  表示。

首先测量放置测试样板前的初始 8mm 波信号电压值  $U_0$ , 放置测试样板后再测量通过测试样板后的 8mm 波信号电压值  $U$ 。试样的 8mm 波透过率与最终电压值和初始电压值的比值成正比,根据式(1)  $T = U/U_0$  可求出 8mm 波通过被测试样的透过率  $T$ ; 式(1)中,  $T$  为透过率,  $U$  为最终电压值,  $U_0$  为初始电压值。再根据式(2)  $A = -20\log T$  可求出被测试样对 8mm 波的衰减分贝数; 式(2)中,  $A$  为衰减分贝数,  $T$  为透过率<sup>[10]</sup>。

## 2 试验结果和讨论

### 2.1 竹纤维表面金属化效果

化学镀过程中,竹纤维发生断裂;金属化竹纤维样品的外观类似于金属粉(见图 1),放大 150 倍显微镜照片显示金属化竹纤维并非球形微粒,而是棒状纤维,其尺寸约为长(200~1250)  $\mu\text{m}$  × 粗 50  $\mu\text{m}$ 。对金属化竹纤维样品作 X 射线衍射分析的图谱为不平滑的波形曲线,表明样品中所含的金属是非晶态结构;参照铜/镍单质的标准特征谱线发现,试样的特征峰与铜/镍基线吻合良好,表明经化学镀处理后的竹纤维表面确实沉积了铜/镍单质。

竹纤维发生断裂的原因在于化学镀过程中使用的敏化液和活化液均为强酸性溶液,而竹纤维中空的结构使酸对其具有强烈腐蚀效果,在机械搅拌作用下断裂分散成微型纤维。试验中试用银氨活化液对竹纤维进行活化则不能得到微粉状的金化样品,只能制备外观为金属丝状的金化竹纤维。

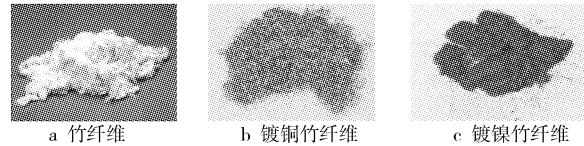


图 1 化学镀处理前后的竹纤维

Figure 1 The appearance of bamboo fibre and metallized bamboo fibre

### 2.2 金属化竹纤维的 8mm 波衰减性能

金属铜是电的良好导体,纯铜的电阻率  $1.67\mu\Omega \cdot \text{cm}$ ,化学镀铜工艺所沉积铜镀层的电阻率  $1.92\mu\Omega \cdot \text{cm}$ ,表明镀铜竹纤维也具有较好的导电性。在电磁场中,具有导电性的镀铜竹纤维将对通过吸收和散射的共同作用而引起电磁波的衰减。金属镍也是电的良好导体,纯镍的电阻率为  $6.84\mu\Omega \cdot \text{cm}$ ;化学镀镍工艺所沉积镍镀层的电阻率为  $18 \sim 22\mu\Omega \cdot \text{cm}$ ,化学镀镍工艺所沉积镍镀层还具有一定铁磁性,基于其镀层的电磁学性能,镀镍竹纤维也将对 8mm 波产生吸收和散射而引起衰减。

测试结果表明,20mg 镀铜竹纤维(测试面密度  $0.64\text{g/m}^2$ )可以衰减 8mm 波 17.5 dB; 20mg 镀镍竹纤维(测试面密度为  $0.64\text{g/m}^2$ )可以衰减 8mm 波 17.6dB; 30mg 镀镍竹纤维(测试面密度  $0.96\text{g/m}^2$ )可以衰减 8mm 波 24.2 dB。由于化学镀工艺直接影响金属镀层的性能,在不同工艺下制备的金属化竹纤维的 8mm 波衰减性能有一定差异,相同质量(20mg, 测试面密度  $0.64\text{g/m}^2$ )的镀铜竹纤维,在装载量 0.2g/40mL 条件下制备样品的平均衰减分贝值为 12.1dB,而在装载量 0.2g/100mL 条件下制备样品的平均衰减分贝值则可达 20.1dB。

对于相同工艺制备的金属化竹纤维,测试样品用量对其 8mm 波衰减性能数据有较大影响,试验选取于相同化学镀工艺下制备的金属化竹纤维,测试其在不同测试面密度下的 8mm 波衰减性能数据。图 2 即为装载量 5g/L 条件下制备的镀铜竹纤维在不同面密度下的 8mm 波衰减性能,图 3 为装载量 2g/L 为在装载量 2g/L 条件下制备的镀镍竹纤维在不同面密度下的 8mm 波衰减性能。

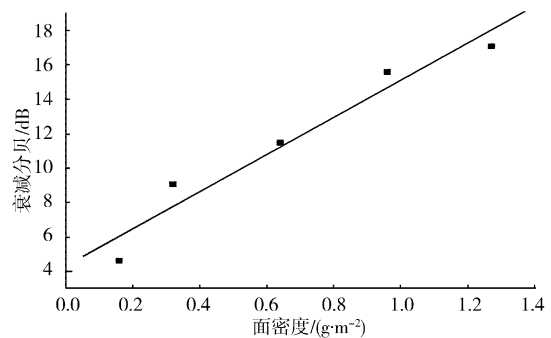


图 2 装载量 5g/L 条件下制备的镀铜竹纤维在不同面密度下的 8mm 波衰减性能

Figure 2 The 8mm microwave attenuation capability on condition of different test surface density of copper plating bamboo fibre prepared on plating loadage 5g/L

测试结果显示:对于同种金属化竹纤维样品来说,其对 8mm 波的衰减分贝数随着其在测试样板上面密度的增加呈线性增大趋势。在干扰材料浓度不太大的情况下,其浓度、吸收层厚度和电磁波透过率之间的关系,可以用式(3)比尔-朗伯公式

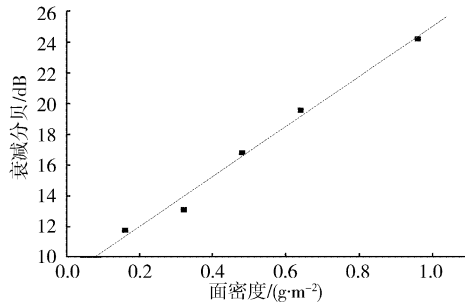


图3 装载量2g/L制备的镀镍竹纤维  
在不同面密度下的8mm波衰减性能

Figure 3 The 8mm microwave attenuation capability  
on condition of different test surface density of nickel  
plating bamboo fibre prepared on plating loadage 2g/L

$I = I_0 \exp(-kCl)$ 描述,式(3)中:透过率  $T = I/I_0$ ,  $k$  为由材料决定的系数,  $C$  为干扰材料浓度,  $l$  为吸收层厚度。将式(3)  $I = I_0 \exp(-kCl)$  与式(2)  $A = -20\log T$  联立,进行必要的数学处理,就可以看到  $C$  与  $A$  具线性关系。本试验的结果较好地证实了这一关系。

### 2.3 金属化竹纤维与其它吸波材料的性能对比

将金属化竹纤维的8mm波衰减性能数据膨胀石墨、铝箔条、镀铝玻璃纤维、PAN碳纤维的8mm波衰减性能数据进行对比(见表1),对比结果表明金属化竹纤维在密度与衰减性能方面均具有优势,是一种极具有发展潜力的新型8mm波干扰材料。

表1 金属化竹纤维与其它干扰材料的8mm波性能  
Table 1 The 8mm microwave attenuation capability of  
metallized bamboo fibre and other interfere materials

干扰材料	面密度/(g·m <sup>-2</sup> )	8mm 衰减分贝/dB
膨胀石墨	9.88	18.0
铝箔条	—	13.2
镀铝玻璃丝	—	17.5
PAN碳纤维	—	18.7
镀铜竹纤维	0.64	17.5
镀镍竹纤维	0.96	24.2

### 3 结论

在试验采用的化学镀工艺条件下,竹纤维可形成外观类似金属粉的微型金属化纤维。金属化竹纤维因其金属镀层所具有的电磁学性能而通过吸收和散射的共同作用衰减8mm波。化学镀工艺参数对金属化竹纤维的衰减性能有一定影响。对于相同化学镀工艺制备的试样,随试样用量的增加,其衰减分贝数增加。实验所制备的金属化竹纤维对8mm波具有较好的衰减性能,表明通过金属化的方式对竹纤维进行表面改性所研制的新型微波干扰材料具有较好的研究前景。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 张振华,孟锦宏,曹晓晖. 空心玻璃微珠表面金属化及电磁性能[J]. 表面技术,2006,35(5):10-11
- [2] 葛凯勇,王群,毛倩瑾,等. 空心微珠表面改性及其吸波特性[J]. 功能材料与器件学报,2003,9(1):67-70
- [3] 郭伟凯,李家俊,赵乃勤,等. 纤维类雷达波吸收剂的研究进展[J]. 宇航材料工艺,2003,(6):12-15,46
- [4] Terskaya I N, Budanov V V, Makarov S V, et al. Electroless nickel and copper plating of carbon fibers with the use of sulfur-containing reducing agents[J]. Russian Journal of Applied Chemistry, 2004, 77(2):236-240
- [5] 刘海波. 镀铝玻璃纤维电磁屏蔽材料屏蔽性能的测试与研究[J]. 中国建材科技,2000,(4):38-40
- [6] 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
- [7] 肖友军. 玻璃纤维表面化学镀Cu及其催化脱氢性能研究[J]. 表面技术,2000,29(2):11-14
- [8] 牛继涛. 镀铝玻璃纤维工艺的探讨[J]. 光电对抗与无源干扰, 2002,(1):20-23
- [9] 肖加余,曾竟成,王春奇,等. 高性能天然纤维复合材料及其制品研究与开发现状[J]. 玻璃钢/复合材料,2000,(2):38-43
- [10] 关华,潘功配,周遵宁,等. 可膨胀石墨发烟剂对毫米波衰减性能的试验研究[J]. 火工品,2004,(2):1-3

(上接第11页)

电过程起抑制作用,能提高阴极极化,使Zn-Ni合金镀层晶粒细化。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Brenner A. Electrodeposition of Alloys [M]. New York and London: Academic press,1963.
- [2] Fukushima M, Akigama T. Mechanism of the electrodeposition of Zn with iron-group metals from sulfate baths[J]. 金属表面技术,1982,33(11):20-24
- [3] 何为. 锌镍合金的异常共沉积与正常共沉积的转变[J]. 表面技术,1998,27(2):22-24
- [4] 李华锋,周晓荣,柳立名,等. 弱酸性电镀光亮锌镍合金的研究[J]. 电镀与涂饰,1999,18(1):8-12
- [5] 肖作安,费锡明,邹勇进. 锌镍合金镀层耐腐蚀性的研究[J]. 材料保护,2005,38(3):15-17
- [6] 屠振密. 电镀合金原理与工艺[M]. 1. 北京:国防工业出版社,1993.
- [7] Higashi K, Fukushima M, Urakawa T. Mechanism of the electrodeposition of zinc alloys containing a small amount of cobalt[J]. J Electrochemical Society, 1981, 128(10):2081-2085
- [8] 屠振密,韩书梅,杨哲龙,等. 防护装饰性镀层[M]. 北京:化学工业出版社,2004.