

· 光电器件与材料 ·

新型柔性毫米波材料导电布的制备与测试

辛宇天¹, 陆丽丽², 徐令慧²

(1. 东北电子技术研究所, 辽宁 锦州 121000; 2. 天诺光电材料股份有限公司, 山东 济南 250300)

摘要: 提出一种新型柔性毫米波材料导电布的制备方法, 采用真空磁控溅射复合镀膜技术在涤纶基布表面沉积金属镀层。检验导电布的导电性能和镀层附着力, 并应用毫米波辐射计测试系统测试导电布与金属铝板的3 mm波段毫米波辐射特性。结果表明, 导电布镀覆均匀, 质地柔软轻薄, 有良好的镀层结合强度及较强的导电性能。导电布在3 mm波段的毫米波辐射与金属板的性能相当。

关键词: 导电布; 真空磁控溅射; 复合镀膜; 3 mm波段; 毫米波辐射

中图分类号: TM206

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2013)-05-0030-03

Fabrication and Testing of Conductive Substrate with New Flexible Millimeter Wave Material

XIN Yu-tian¹, LU Li-li², XU Ling-hui²

(1. Northeast Research Institute of Electronics Technology, Jinzhou 121000, China;

2. Tiannuo Electro-optical Material Ltd. Co., Jinan 250300, China)

Abstract: A fabrication method of a kind of new and flexible conductive substrate with millimeter wave material is introduced. The metal coating is deposited on the surface of terylene substrate using the composite coating technology of vacuum magnetic control sputtering. The conductive performance and coating adhesion of the conductive substrate are tested. And the millimeter radiation characteristics in 3 mm waveband between the conductive substrate and the metal aluminum board are tested by a millimeter wave radiometer testing system. The results show that the conductive coating is uniform, flexible, ethereal and thin and has good coating adhesion strength and stronger conductive performance. The millimeter wave radiation of conductive substrate in 3 mm waveband corresponds to the performance of metal board.

Key words: conductive substrate; vacuum magnetron sputtering; composite coating; 3 mm wave band; millimeter wave radiation

导电布作为一种新型柔性材料, 在通讯设备、计算机、家用电器等民用工业领域有广泛应用。通过对基布表面实施金属化处理, 改变其导电性能, 使其成为一种优良的毫米波材料^[1]。采用国际领先的真空磁控溅射复合镀膜技术可实现材料表面金属化, 其具有耐腐蚀、耐磨、镀层致密度高、均匀性佳和使用寿命长等优点^[2], 并因为质地柔软轻薄, 可随意弯曲, 在毫米波波段无论是屏蔽效果还是辐射特性都接近金属^[3]。

1 导电布的制备

新型导电布采用涤纶材料作为基布。在进行工艺处理之前, 须对基布表面进行预处理, 包括清理、剪切、烘干、除湿等几个步骤。

1.1 传统导电布制备工艺

传统导电布的制备工艺主要有电镀、化学镀、金属丝混纺、磁控溅射和真空蒸镀等几种工艺, 几种工

艺的优缺点见表1。

表1 几种导电布制备工艺优缺点比较

制备方法	优点	缺点	技术成熟度
电镀	电导率高、耐磨、耐腐蚀、效率高、成本低	金属不易匀化	较好
化学镀	效率高	涂层分布不均匀、污染严重、工艺不易控制	较好
金属丝混纺	成本低、寿命长、可靠性高	织物手感较硬、金属辐射特性较低	较好
磁控溅射	可靠性高、附着力好、无三废	成本高	较好
真空蒸镀	速度快、无三废	膜层薄、易脱落	差

其中使用最广泛的是化学镀工艺,尽管化学镀的技术成熟、效率很高,但存在产品性能不稳定,产品含有磷、镉等有害元素,并且化学镀还有废液难以处理,污染严重的致命缺点。随着世界环保意识的不断提高,磁控溅射、真空蒸镀等工艺得到更多的应用,并随着人们对可靠、清洁、污染小的制备工艺的需求,传统工艺的融合得到开发应用。

1.2 新型导电布采用的制备工艺

新型柔性毫米波材料导电布制备过程是将经过预处理的涤纶基布放入已抽成真空的真空室内,向真空室内注入少量氩气,正负极之间产生辉光放电,使氩气电离,受磁场影响,氩气正离子与阴极上的金属镍靶碰撞,靶材在碰撞能量作用下,使镍靶表面的原子或分子溅镀附着在涤纶基布表面上。经过溅射的基布通过复合镀膜技术分别电镀金属铜和金属镍,制成Ni/Cu/Ni膜层结构的导电布^[4]。

新型柔性毫米波材料导电布的制备所采用的磁控溅射与电镀复合镀膜技术是将两种传统的导电布制备工艺有机地结合起来。即采用磁控溅射工艺对基布进行导电化处理,生成附着力好的金属过渡层,再利用电镀在此基础上加厚镀层,生成与基布结合强度高且均匀稳定的金属膜。这种新型工艺方法既能克服其他传统工艺存在的一些缺陷,又能将磁控溅射附着力良好与电镀高效低成本的优势相结合。

2 导电布性能分析

2.1 导电布的导电性能

材料的导电性能与其毫米波辐射性能有直接的

关系,导电性越强,其毫米波辐射性能越接近金属材料。将制备的导电布裁剪成50 mm×25 mm试样,用ZY9987型微欧仪测量表面电阻,取6个试样的平均值,测量结果为 $\leq 0.02 \Omega$ 。由此可见,导电布的导电性接近金属。

2.2 导电布的镀层附着性能

采用胶粘法测定镀层附着力,将附着强度大于10 N/25 mm,长度约为90 mm的胶带粘附在制备的导电布镀层表面,用3 kg的橡皮辊滚压15次,再用垂直镀层的拉力迅速剥离胶带,目视粘胶带,仅有少量金属颗粒被剥离,说明镀层与基材之间结合良好,附着力合格。

3 导电布测试

3.1 测试原理

物体本身的毫米波辐射信号,取决于物体的几何特性和介电特性。亮度温度描述的是物体自身的辐射温度,而辐射计接收到的辐射,除了物体自身的辐射,还有物体散射周围环境及天空的辐射,以及传播路径上大气的辐射,这些辐射之和称为物体的视在温度,它其实就是天线口面附近的亮度表征。在实际应用中,视在温度也即通常意义上的辐射温度^[5]。

采用一个简单的二维模式来分析计算辐射温度。当辐射计天线扫描到地面时,则天线口面附近的辐射温度可表示为^[6]

$$T_{Bg}(\theta, \phi, p_i, \Delta f) = \rho_g(\theta)T_s + \epsilon_g(\theta)T_g + \epsilon_{at}(\theta)T_{at} + \rho_g(\theta)T_{at}\epsilon_{at} \quad (1)$$

式中, θ 为入射角; ϕ 为方位角(可认为它的变化不影响探测); p_i 为极化(i 既表示水平极化也表示垂直极化); Δf 为接收机的带宽; ρ_g 为地面的反射系数; ϵ_g 、 ϵ_{at} 为地面和大气的发射率; T_s 、 T_g 、 T_{at} 为天空、地面和大气的真实温度。

当天线扫描到地面金属目标时,天线附近的温度为

$$T_{BT}(\theta, \phi, p_i, \Delta f) = \rho_T T_s + \rho_T T_{at} \quad (2)$$

式中, ρ_T 为地面金属目标的反射系数。

地面和地面金属目标的对比度为

$$\Delta T = T_{Bg}(\theta, \phi, p_i, \Delta f) - T_{BT} \quad (3)$$

于是可得

$$\Delta T_T = \rho_g(\theta)T_s + \varepsilon_g(\theta)T_g + \varepsilon_{at}(\theta)T_{at} + \rho_g(\theta)T_{at}\varepsilon_{at} - \rho_T T_s - \rho_T T_{at}\varepsilon_{at}(\theta) \quad (4)$$

假设天空无云,即 $T_{at}=0$,则由辐射方程知目标与背景之间的毫米波发射温度对比度为

$$\Delta T_T = \rho_g(\theta)T_s + \varepsilon_g(\theta)T_g - \rho_T T_s \quad (5)$$

无论金属目标处于高温还是低温,由于其毫米波发射率为零,故 $\rho_T \approx 1$ 。它主要反射天空的毫米波辐射温度^[7]。

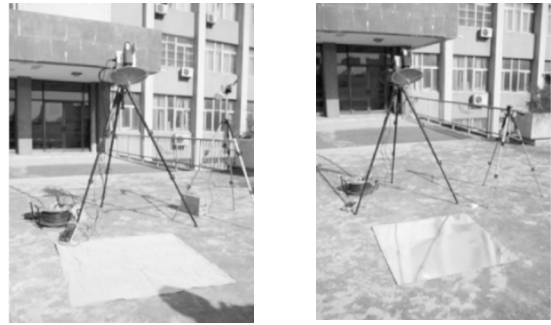


图1 导电布毫米波测试 图2 金属铝板毫米波测试

3.2 测试设备和方法

用3 mm毫米波辐射计测试系统(口径300 mm,波束宽度0.8°,灵敏度<0.5 K)进行制备导电布及金属铝板的毫米波辐射性能测试(导电布以及3 mm厚金属铝板分别制成1 m×1 m的试样,调整毫米波辐射计接收天线,分别取天线轴向与地面垂线夹角为20°、30°和40°进行测试)。测试场景如图1、图2所示。

3.3 测试结果

制备的导电布、金属铝板、背景的3 mm波段毫米波辐射测试数据见表2,测试条件:高度1.4 m,温度0.2℃~0.4℃,湿度10%,表2中角度为毫米波辐射计天线轴向与地面垂线的夹角。

表2 3 mm波段辐射特性测试数据

温度 对象	20℃夹角辐 射温度/K	误差/ K	30℃夹角 辐射温度/K	误差/ K	40℃夹角辐 射温度/K	误差/ K
镀铜镍导电布	72.6	2.7	73.1	1.7	75.2	2.6
金属铝板	69.9	0	71.4	0	72.6	0
水泥地背景	245.1	-	239.6	-	232.0	-

从表2可看出,制备的导电布在3 mm波段的毫米波辐射特性与金属铝板比较接近。分析导电布的辐射温度略高于同等条件下的金属板的原因是:导电布的导电性和平整度稍逊于金属板。但都与背景存在巨大的温度差,因此制备的导电布具有金属材料的毫米波辐射特性,据国内文献报导,碳纤维导电布在3 mm波段的RCS实测值,与同尺寸的碳纤维布相比,其在3 mm波段的RCS值增幅为351%^[8],而经银金属表面改性后,碳纤维导电布的毫米波散射能力显著增强^[9]。

4 结论

新型柔性毫米波材料导电布的制备是在涤纶基布上采用真空磁控溅射结合电镀复合镀膜工艺,与传统工艺相比,新型导电布制备工艺先进,制得的导电布镀覆均匀,质地柔软结实,有良好的镀层结合强度及较强的导电性能。通过3 mm毫米波辐射计测试系统测试数据的分析,新型导电布与同尺寸的金

板相比,其在3 mm波段的毫米波辐射特性相当。

参考文献

- [1] 奚文骏,冯玉光.导电衬垫在电磁屏蔽中的应用[J]. 电子元件应用,2005(4):24-32.
- [2] 王春齐,曾竟成,张长安.电磁屏蔽复合材料包装箱的研究[J]. 纤维复合材料,2006(2):28-30.
- [3] 王鸿博,魏取福,高卫东.PET基纳米Ag薄膜导电及电磁屏蔽性能研究[J]. 真空科学与技术学报,2008,28(1):37-41.
- [4] 许凤凤,魏取福,孟玲玲.非织造基磁控溅射纳米银薄膜导电性能的研究[J]. 化工新型材料,2012,40(6):105-107.
- [5] 聂建英,李兴国,娄国伟,等.变温目标毫米波被动探测辐射特性分析[J]. 光电工程,2010,37(7):1-7.
- [6] 李兴国,李跃华.毫米波近感技术基础[M]. 北京:北京理工大学出版社,2009.
- [7] 雷伟敏.毫米波辐射特性分析与研究[J]. 丽水学院学报,2008,30(5):16-18.
- [8] 侯伟,潘功配,关华,等.镀铜碳纤维布的制备及性能研究[J]. 电镀与涂饰,2008,27(7):15-20.
- [9] 关华,潘功配,侯伟,等.镀银碳纤维布的制备及其毫米波RCS特性[J]. 电镀与涂饰,2009,28(8):25-29.