

Ti₃C₂T_x MXene 负载玻璃纤维材料制备与电磁屏蔽性能

秦文峰, 符佳伟, 刘国春, 王新远, 李亚云, 范宇航

(中国民用航空飞行学院, 四川 广汉 618307)

摘要: 采用多巴胺对玻璃纤维织物改性处理和原位生成 Ti₃C₂T_x MXene, 通过真空抽滤法制备了 Ti₃C₂T_x 负载玻璃纤维复合材料, 研究了 Ti₃C₂T_x 负载量对电磁屏蔽的影响。结果显示: 刻蚀之后 Ti₃C₂T_x 的(002)衍射峰从 $2\theta=9.5^\circ$ 移动到 $2\theta=6.1^\circ$, Ti₃AlC₂ 的(104)衍射峰消失不见, 表明 Ti₃C₂T_x 刻蚀成功。SEM 结果表明, 成功地将 Ti₃C₂T_x 纳米片附着在玻璃纤维表面, 改善了玻璃纤维的导电网络。由于 Ti₃C₂T_x 高导电性和表面的 -OH 官能团, 电磁波和其发生欧姆损耗和偶极损耗, 从而降低电磁波能量, 达到电磁屏蔽效果。在 2~18 GHz 频率范围内, Ti₃C₂T_x 负载量为 2.55 mg/cm² 的 MGF-4 的最大电磁屏蔽效果为 55.1 dB, 其表面电阻为 0.95 Ω/sq 。

关键词: 玻璃纤维; Ti₃C₂T_x MXene; 电磁屏蔽

中图分类号: TG113.22+4

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2020)11-3896-06

在现代社会生活中, 由于人们生活中电子设备的广泛使用, 已经造成了严重的电磁干扰和电磁辐射。它不仅会影响电子通信的正常工作, 而且会对人体健康造成潜在的危害^[1-3]。近年来, 以碳纳米管、石墨烯等为代表的碳基材料^[4-7]被广泛应用于微波吸收和电磁屏蔽材料的研发与制备。相比与传统碳基材料, 新出现的二维 MXene 材料具有高比表面积、高导电性等特性, 这些特性使 MXenes 拥有广泛的应用前景。

MXene 是一种新型的二维过渡金属碳/氮化物和碳-氮化物, 通过选择性地从三维的 MAX 结构中刻蚀 Al 层来制备的^[8]。MXene 一般表示为 $M_{n+1}X_nT_x$, 表达式中: M 表示早期过渡金属(如 Ti、V、Nb、Mo 等), X 一般代表 C 或 N 元素, T_x 为表面官能团(如 -O、-OH、-F 基团)^[9-12]。其中, Ti₃C₂T_x 是 MXenes 种类中最具代表性的产物之一, 在电磁屏蔽^[13,14]、微波吸收^[15]和超级电容器^[16]领域受到广泛关注。Shahzad^[17]课题组制备出一种柔韧性和高导电性 Ti₃C₂T_x/SA 薄膜, 厚度仅为 45 μm 时, 电磁屏蔽为 92 dB。北京理工大学 He^[18]等通过自组装制备了超薄的 Mxene 复合薄膜, 发现厚度 100 μm Ti₃C₂T_x/羟乙基纤维素复合膜的电磁屏蔽超过 20 dB, 比屏蔽效能达到 7000 dB cm^2/g 。因此, Ti₃C₂T_x MXene 在电磁屏蔽领域具有潜在的应用前景。

玻璃纤维具有优良的力学性能, 在很多领域得到广泛应用, 但其本身不具备导电性, 限制了应用范围。

导电性玻纤常见制备方法有化学镀、化学气相沉积等技术。化学镀虽然具有方便和经济性, 但是镀液的处理比较麻烦, 对环境污染较大; 化学气相沉积技术拥有金属涂层厚度均匀、沉积速度快等优点, 但在处理温度较高, 会对纤维和织物强度和模量等力学性能有一定影响; 因此, 本研究通过真空抽滤法制备 Ti₃C₂T_x 负载玻璃纤维, 使玻璃纤维具备良好的导电性, 研究了不同 Ti₃C₂T_x 负载量时的电磁屏蔽性能。

1 实验

试验及试剂: 玻璃纤维织物切成 2.7 cm×2.7 cm, 盐酸(37%)、氟化锂(LiF)、乙醇(C₂H₅OH)和丙酮(CH₃COCH₃)均从成都科龙试剂有限公司购买; 三羟甲基氨基甲烷(Tris)和多巴胺盐酸盐从西亚试剂有限公司购买; Ti₃AlC₂ MAX 相(纯度 99%, 粒度约 38 μm)从福斯曼科技(北京)有限公司购买, 所有化学试剂均为分析纯。

采用原位生成 HF 蚀刻法制备了 Ti₃C₂T_x MXene: 将 3 mol 氟化锂添加到 20 mL 的 12 mol 盐酸(浓度 37%)中, 让混合溶液搅拌 10 min, 确保氟化锂完全溶解。缓慢加入 1 g Ti₃AlC₂ 粉末, 在 38 $^\circ\text{C}$ 油浴下反应 48 h。用去离子水稀释, 采用 8000 r/min 离心时间 5 min, 重复上述步骤数次, 直到上清液 pH 值大于 5, 就可以得到多层碳化钛 ($\text{m-Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$)。将最终的粘土状物体放进 250 mL

收稿日期: 2019-11-15

基金项目: 四川省教育厅项目(18ZB0686); 民航局教育人才类项目(14002600100017170)

作者简介: 秦文峰, 男, 1976 年生, 博士, 教授, 中国民用航空飞行学院航空工程学院, 四川 广汉 618307, E-mail: qwfgrh@126.com

去离子水中,在冰浴中超声处理 1 h, 3500 r/min 离心 1 h, 最后制备出少层的碳化钛($\text{d-Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$)纳米片备用。

将玻璃纤维放入乙醇和丙酮(体积比 1:1)的混合溶液中超声清洗 30 min。用离子水冲洗数次,在 60 °C 烘箱干燥 2 h,用 40 g/L NaOH 在室温下蚀刻 24 h,去离子水冲洗数次,随后放入烘箱干燥。最后,将 0.2 g 多巴胺溶于 150 mL 去离子水中,用 Tris 调节 pH 至 8.5。在室温下浸入多巴胺溶液中 24 h,然后用去离子水冲洗数次,在 60 °C 下干燥 2 h。

通过真空过滤方法,将一定体积的 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 溶液抽滤在改性玻璃纤维织物上,在真空烘箱中 60 °C 干燥 6 h。玻璃纤维上 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载量分别为 1.12、1.61、2.01、2.55 mg/cm²,标记为 MGF-1、MGF-2、MGF-3、MGF-4。

玻璃纤维织物表面 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 含量计算公式如下:

$$\text{负载量} = \frac{W_1 - W_2}{A} \quad (1)$$

式中: W_1 和 W_2 分别为织物涂覆前后的质量(mg)。A 是织物样品的面积(cm²)。

用 X 射线衍射仪(Xpert Pro MPO)研究了 Ti_3AlC_2 、 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 和 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载玻璃纤维的晶体结构。使用 X 射线光电子能谱仪(Escalab 250Xi)进行 XPS 测试。用 SEM(JSM-5900LV)观察了 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载玻璃纤维的微观形貌。采用接触角测定仪(HARE-SPCAX1)测试样品表面接触角性能。用四探针装置(RTS-9)测量了 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载玻璃纤维的表面电阻。在矢量网络分析仪(Keysight E5063A ENA)上测试了样品在 2~18 GHz 频率范围内的电磁屏蔽特性。

2 结果与讨论

2.1 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载玻璃纤维 XRD 分析

图 1 为样品的 XRD 图谱。XRD 图谱表明, $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 的(002)衍射峰出现和 Ti_3AlC_2 的(104)衍射峰强度降低或消失可以证实 Ti_3AlC_2 的铝层已经被选择性的刻蚀掉了。从图谱中可以看出,经过 48 h 刻蚀后, Ti_3AlC_2 的(104)衍射峰消失不见,刻蚀之后(002)衍射峰的位置向左偏移,从 $2\theta=9.5^\circ$ 移动到了 $2\theta=6.1^\circ$,表明经过刻蚀之后的已经生成了 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 产物。由于 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载玻璃纤维材料表面 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载量较少。因此,其(002)衍射峰强度没有纯 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 的衍射峰强。

2.2 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载玻璃纤维形貌分析

图 2 分别为玻璃纤维粗化、多巴胺改性、 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 涂覆改性玻璃纤维织物的 SEM 形貌。经过 NaOH 刻蚀之后,玻璃纤维表面出现大量点状痕迹,使得纤维表面变得粗糙;多巴胺在溶液中自发氧化聚合,多巴胺溶液的颜色慢慢地从浅棕色变成深黑色,原始玻璃

纤维颜色从亮白色变成灰色(图 2b),表面成功地聚合出多巴胺。从图 2a 的 SEM 照片可以看到,刻蚀后的纤维相对粗糙,有利于多巴胺自发氧化聚合。改性后的玻璃纤维表面不同于刻蚀后的玻璃纤维,会在玻璃纤维表面产生多巴胺点状结块。MPG-1 和 MPG-4 样品的表面上都有明显的外观皱纹。首先,在制备过程中由于 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载量较少,通过可以看出 MPG-1 的 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 纳米片负载在玻璃纤维上形成一层致密的、连续的褶皱膜,可以使绝缘的玻璃纤维具有导电性能。随着 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载量的增加,负载在玻璃纤维上的同时,绝大部分都沉积在织物表面形成一层致密的 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 薄膜,可以进一步提升玻璃纤维的导电性。

2.3 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载玻璃纤维 XPS 分析

$\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载玻璃纤维 X 射线光电子能谱(XPS)见图 3。结果显示, $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载玻璃纤维存在 Ti, C, O 和 F 元素, Ti 2p 区域的 XPS 光谱,分别为 Ti-C、Ti²⁺、Ti³⁺以及 TiO₂, 这些峰对应于 Ti 的不同氧化态,表明末端基团与 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 具有不同的组合,分别位于 455、455.6、456.7、458.5、461.1、462.2、463.2、463.7 eV; 位于 282、282.3、284.5、285.5、289.1 eV 处的峰对应 C 1s 光谱中的 Ti-C-T_x, C-C, -CH₂-&-CH₃-, CH_x/CO, 其中再结合能 282、282.3 eV 处证实了 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ MXene 的存在;在 O 1s 区域 529.8、530.5、531.6 和 533.2 eV 处出现 4 个峰,分别对应 TiO₂、C-Ti-O_x、C-Ti-(OH)_x-OH 和 Ti-H₂O 键;F 1s 光谱 685.2 和 686.2 eV 处分别对应 C-Ti-F_x 的 Al-F_x 成分。XPS 光谱分析表明 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 表面存在大量(-OH, -F, -O)。

2.4 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载玻璃纤维接触角测试

$\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载玻璃纤维接触角如图 4 所示。在没有经过 NaOH 刻蚀的玻璃纤维织物接触角高达 117.9°,具有高疏水性;经过 NaOH 刻蚀以后,接触角下降到 94.3°,

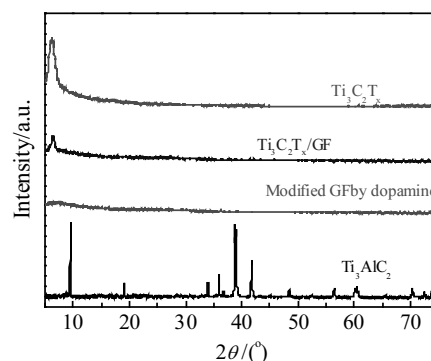


图 1 Ti_3AlC_2 、多巴胺改性玻璃纤维、 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载玻璃纤维和 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 的 XRD 图谱

Fig.1 XRD patterns of Ti_3AlC_2 , modified GF by dopamine, $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x/\text{GF}$ and $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$

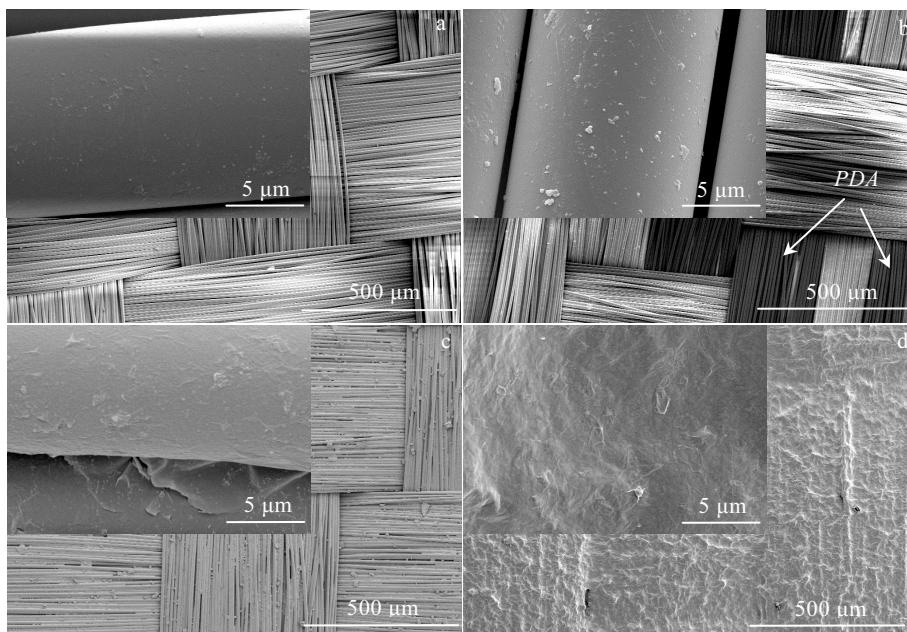
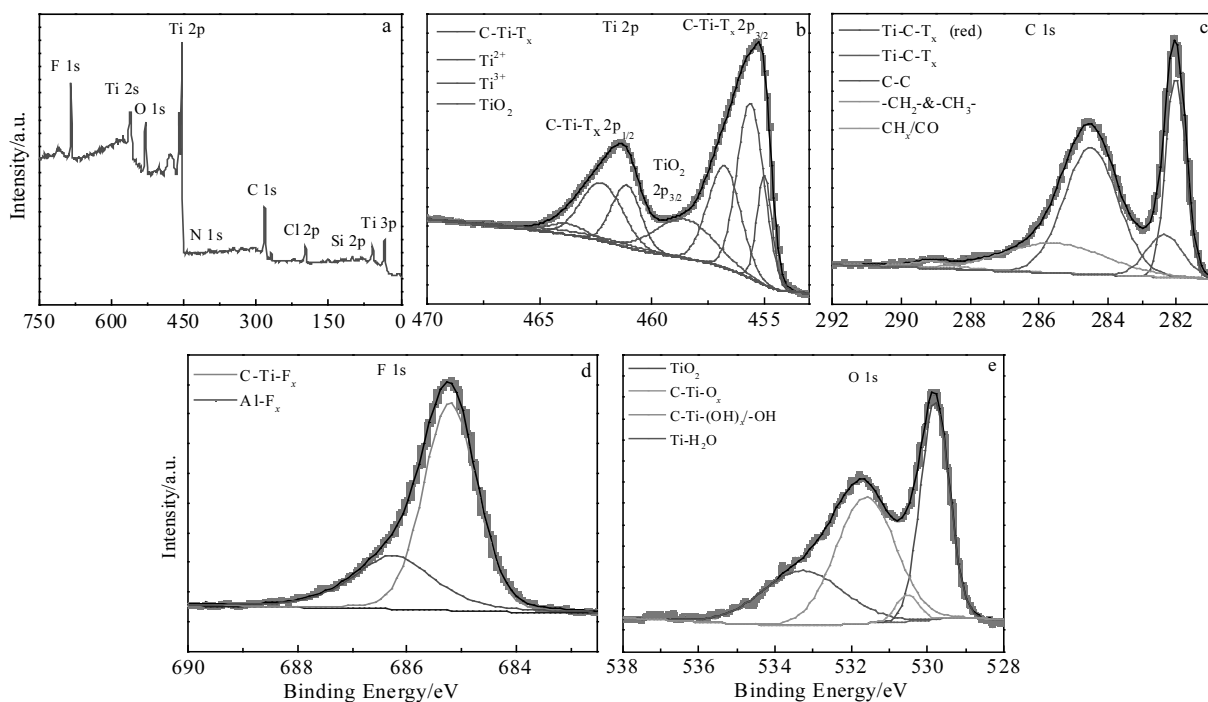


图 2 NaOH 刻蚀、改性之后 MPG-1 及 MPG-4 的 SEM 照片

Fig.2 SEM images of NaOH etched GF (a), PDA modified GF (b), MPG-1 (c), and MPG-4 (d)

图 3 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载玻璃纤维 XPS 光谱图以及各元素光谱图Fig.3 Survey XPS spectrum of the $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ composite (a) and Ti 2p (b), C 1s (c), F 1s (d), and O 1s (e) spectra

相比于未刻蚀的接触角变小,说明有利于多巴胺和 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 的负载; MPG-1 的接触角为 57.6° , 相比改性玻璃纤维的接触角有了巨大的下降,因为在 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 包裹玻璃纤维织物之后, $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 纳米片表面大量的 -OH 提升

织物的亲水能力;但是 MPG-4 样品相比于 MPG-1 的接触角上升到 72.1° , 因为经过 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 涂覆后,大量的 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 在玻璃纤维织物表面形成一层 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 薄膜减小了其于水接触的机会,从而增加了接触角。由于 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$

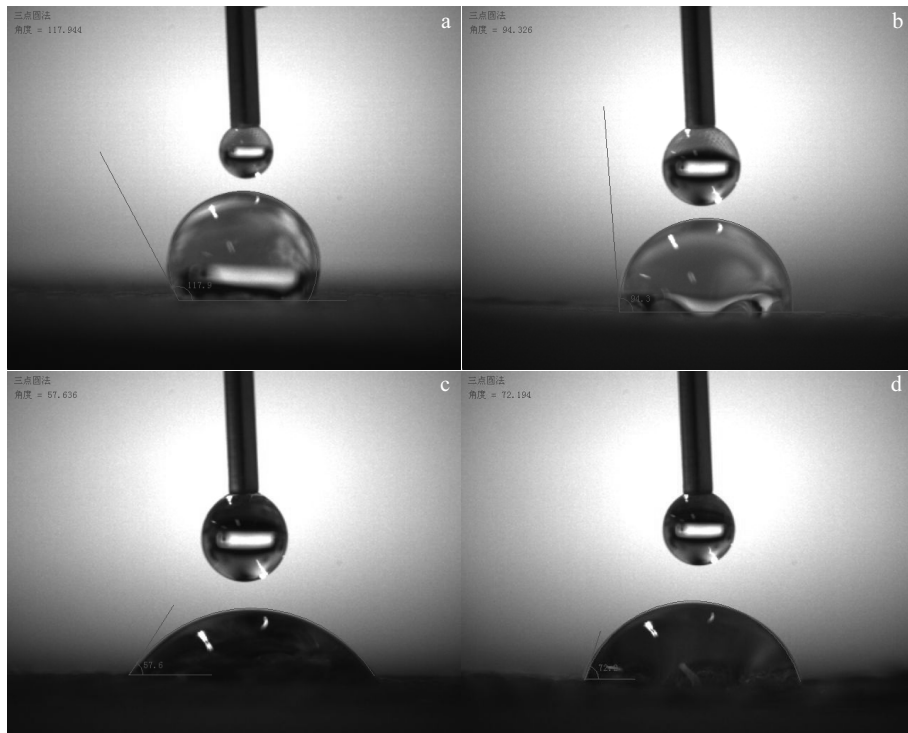


图 4 玻璃纤维织物、NaOH 刻蚀、MPG-1 及 MPG-4 的接触角照片

Fig.4 Contact angle photo of pure-GF (a), NaOH etched GF (b), MGF-1 (c), and MGF-4 (d)

本身具有的亲水基团羧基,但是相比于原始玻璃纤维织物的接触角还是明显下降,结果表明, $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 纳米片负载玻璃纤维织物有利于后续与其他材料复合。

2.5 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载玻璃纤维表面电阻分析

图 5 为 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载量对样品表面电阻的影响。样品的表面电阻随着 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载量的增加而明显降低。当 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载量为 1.12 mg/cm^2 时,由于玻璃纤维织物上的 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 量较少,表面电阻为 $27.48 \text{ } \Omega/\text{sq}$;但当 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载量增加至 2.6 mg/cm^2 时,表面电阻降低至 $0.96 \text{ } \Omega/\text{sq}$ 。由于随 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载量的增加, $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 纳米片层堆叠形成了更多的导电网络,提高了导电率从而降低表面电阻。电子传输有利于提高材料的电导率,而局部导电网络的形成对复合材料的电导率影响较大^[14]。 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载量越高, $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 纳米片之间的距离越小,电子更容易传输。因此, $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载量越高,电导率越大, $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载玻璃纤维电阻就越小^[20]。

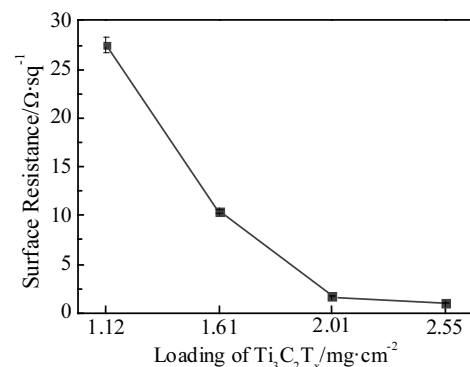
2.6 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载玻璃纤维电磁屏蔽分析

双端口网络系统的 $S_{11}(S_{22})$ 和 $S_{12}(S_{21})$ 参数代表反射和透射系数。通过参数分析屏蔽材料的透射率(T)、反射率(R)和吸收率(A),可以用以下公式表示:

$$R = |S_{11}|^2 = |S_{22}|^2 \quad (2)$$

$$T = |S_{12}|^2 = |S_{21}|^2 \quad (3)$$

$$A = 1 - T - R \quad (4)$$

图 5 样品表面电阻与 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载量的关系Fig.5 Surface resistance versus $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ loading

总电磁屏蔽通过以下公式计算:

$$SE_A = -10 \log \left(\frac{T}{1-R} \right) = -10 \log \left(\frac{|S_{21}|^2}{1-|S_{11}|^2} \right) \quad (5)$$

$$SE_R = -10 \log (1-R) = -10 \log (1-|S_{11}|^2) \quad (6)$$

$$SE_T = SE_A + SE_R + SE_M \approx SE_A + SE_R \quad (7)$$

式中, SE_A 是吸收损耗; SE_R 是反射损耗, SE_M 是多重内部反射损耗, SE_T 是总电磁屏蔽损耗。当 SE_A 大于 10 dB 时, SE_M 可以忽略不计^[16]。

在 2~18 GHz 频率范围内测试电磁屏蔽性能效能如图 6 所示。由于玻璃纤维本身的绝缘性质,因此几乎没

有电磁屏蔽性能。相反,随着 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载量的增加,样品的 SE_T 和 SE_A 随之增大, MGF-1、MGF-2、MGF-3、MGF-4 最大电磁屏蔽分别为 19.7、30.4、47.1 和 55.1 dB,表明其具有优异的屏蔽性能。从图 6c 可以看出,随着 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载量的增加,平均电磁屏蔽无论是 SE_T 还是 SE_A 都是增加。平均 EMI SE_T 从 18.3 dB 增加到 52.4 dB,平均 EMI SE_A 从 14.9 dB 增加到 46.8 dB。随着 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载量的增加,总的电磁屏蔽性能明显提升,且 SE_T 值和 SE_A 值的变化幅度远远高于 SE_R 值, SE_A 值远远大于 SE_R 值,因此吸收损耗在总的电磁屏蔽中起主导作用^[16,19,20]。首先,由于 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 具有高导电性,表面具有大量自由电子,电磁波进入后就立即被反射,剩余的电磁波通过

$\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 纳米片与高电子密度 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 相互作用,产生欧姆损耗从而降低电磁波能量,达到电磁屏蔽效果^[16]。其次, $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 薄膜结构导致丰富的界面极化和散射传播的电磁波,这有利于电磁波进入薄膜结构之后的内部反射和吸收^[21],有效提高了 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载玻璃纤维织物的电磁屏蔽性能。最后,通过 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 的 XPS 分析表明, $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 表面有许多缺陷和 -OH 官能团。官能团的电荷密度差异会显现出非对称性,形成偶极子,缺陷和官能团结构导致电子在空间中分布的不对称性,之间形成偶极矩。在交变电磁场作用下,这些偶极子被极化,通过弛豫损耗将电磁能转化为热能,从而使电磁波的能量衰减,达到电磁屏蔽效果^[4,22,23]。

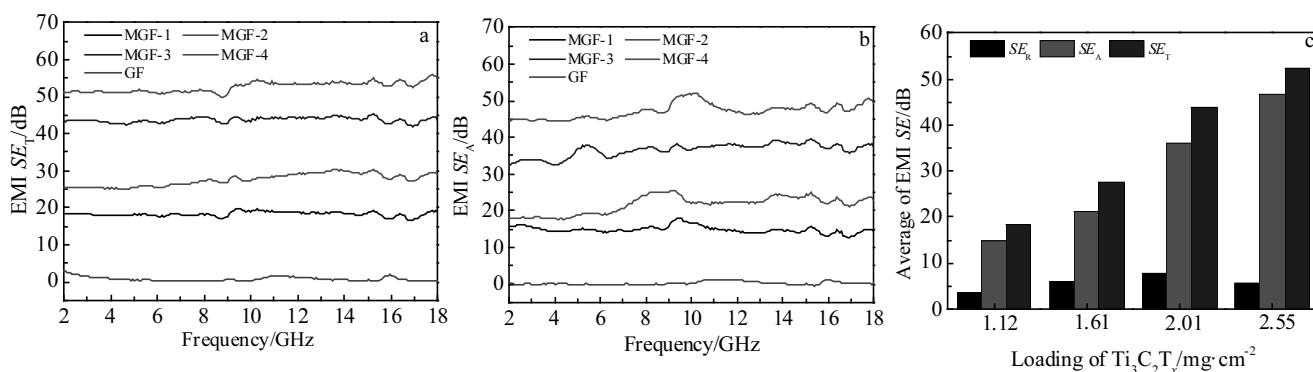


图 6 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载玻璃纤维在 2~18 GHz 频率的电磁屏蔽和平均电磁屏蔽

Fig.6 EMI SE_T (a) and EMI SE_A (b) of the samples with different $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ loadings; average EMI SE in frequency range of 2~18 GHz (c)

3 结 论

1) 采用真空辅助过滤法制备了不同 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载量玻璃纤维复合材料。成功地将 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 纳米片附着在玻璃纤维表面,改善了玻璃纤维的导电网络。

2) $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 的(002)衍射峰出现, Ti_3AlC_2 的(104)衍射峰消失。因此, $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 成功制备。

3) 随着不同 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载量的增加, $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载玻璃纤维的表面电阻(MGF-4)达到 $0.96 \Omega/\text{sq}$ 。

4) 在 2~18 GHz 频率范围内,电磁屏蔽性能随 $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ 负载量增大而增加, MGF-4 最大电磁屏蔽效果为 55.1 dB。

参考文献 References

[1] Lu Tong(吕 通), Zhang Enshuang(张恩爽), Yuan Yin(原 因) et al. *Chemical Journal of Chinese Universities* (高等学校化学学报) [J], 2019, 40(10): 2059
[2] Lu Jian(卢 健), Wei Wei(危 韦), Yang Guang(杨 光) et al. *New Chemical Materials* (化工新型材料)[J], 2019, 47(9): 104

[3] Wang Jianzhong(王建忠), Xi Zhengping(奚正平), Tang Huiping(汤慧萍) et al. *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2011, 40(9): 1688
[4] Cao W Q, Wang X X, Yuan J et al. *Journal of Materials Chemistry C*[J], 2015, 3(38): 10 017
[5] Balci O, Polat E O, Kakenov N et al. *Nature Communications* [J], 2015, 6: 6628
[6] Cao M S, Song W L, Hou Z L et al. *Carbon*[J], 2010, 48(3): 788
[7] Wen B, Cao M S, Lu M M et al. *Advanced Materials*[J], 2014, 26(21): 3484
[8] Naguib M, Kurtoglu M, Presser V et al. *Advanced Materials*[J], 2011, 23(37): 4248
[9] Cao M S, Cai Y Z, He P et al. *Chemical Engineering Journal*[J], 2019, 359: 1265
[10] Fan Z M, Wang Y S, Xie Z M et al. *Nanoscale*[J], 2018, 10(20): 96 429 652
[11] Alhabeb M, Maleski K, Anasori B et al. *Chemistry of Materials* [J], 2017, 29(18): 7633

- [12] Verger L, Xu C, Natu Va *et al.* *Current Opinion in Solid State and Materials Science*[J], 2019, 23(3): 149
- [13] Liu J, Zhang H B, Sun R H *et al.* *Advanced Materials*[J], 2019, 29 (38): 1 702 367
- [14] He P, Wang X X, Cai Y Z *et al.* *Nanoscale*[J], 2019, 11(13): 6080
- [15] Qing Y C, Zhou W C, Luo F *et al.* *Ceramics International*[J], 2016, 42(14): 16 412
- [16] Zhu M S, Huang Y, Deng Q H *et al.* *Advanced Energy Materials*[J], 2016, 6(21): 1 600 969
- [17] Shahzad F, Alhabeb M, Hatter C B *et al.* *Science*[J], 2016, 353(6304): 137
- [18] He P, Cao M S, Cai Y Z *et al.* *Carbon*[J], 2020, 157: 80
- [19] Geng L, Zhu P, Wei Y *et al.* *Cellulose*[J], 2019, 26(4): 2833
- [20] Cui C, Xiang C, Geng L *et al.* *Journal of Alloys and Compounds*[J], 2019, 788: 1246
- [21] Cao W T, Chen F F, Zhu Y J *et al.* *ACS Nano*[J], 2018, 12(5): 4583
- [22] He P, Cao M S, Shu J C *et al.* *ACS Applied Materials & Interfaces*[J], 2019, 11(13): 12 535
- [23] Cao M S, Wang X X, Cao W Q *et al.* *Small*[J], 2018, 14(29): 1 800 987

Preparation and Electromagnetic Shielding Properties of $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ MXene/ Glass Fiber Composites

Qin Wenfeng, Fu Jiawei, Liu Guochun, Wang Xinyuan, Li Yayun, Fan Yuhang
(Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, China)

Abstract: The $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ MXene was successfully etched via situ HF method. Glass fiber was modified with dopamine. The $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ /Glass fiber composites were prepared by the vacuum filtration, the EMI SE of the samples with different $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ loadings was studied. The results show that the peak at 002 is moved from $2\theta=9.5^\circ$ to $2\theta=6.1^\circ$, and peak at 104 of Ti_3AlC_2 disappears after etching by in-situ HF method. The $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ is successful obtained. SEM image indicates that the $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ nanosheets are successfully attached to the surface of the glass fiber, which improve the conductive network of the glass fiber. Electromagnetic wave energy and $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ loaded glass fiber possess electromagnetic shielding effect, due to the high conductivity of $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ and a large amount of electrons on the surface, which induces that contribute to ohmic losses with electromagnetic waves. The maximal electromagnetic shielding effectiveness of the $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ loading of 2.55 mg/cm^2 is 55.1 dB in the frequency range of 2~18 GHz, and the surface resistance is $0.95 \Omega/\text{sq}$.

Key words: glass fiber; $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ MXene; electromagnetic shielding effectiveness

Corresponding author: Qin Wenfeng, Ph. D., Professor, Aviation Engineering Institute, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, P. R. China, E-mail: qwfgrh@126.com