

温度对原子氧试验中样品性能的影响

姜海富¹ 秦 玮¹ 柴丽华² 郭 亮¹ 周晶晶¹

(1 北京卫星环境工程研究所可靠性与环境工程技术重点实验室, 北京 100094)

(2 北京工业大学材料学院, 北京 100124)

文 摘 在不同的样品温度下,利用微波源原子氧对 ITO/Teflon/Ag 和硫化硅橡胶进行了辐照试验。结果表明:样品温度 $\leq 150^{\circ}\text{C}$ 时,原子氧作用造成 ITO/Teflon/Ag 的质量变化较小;样品温度 $\leq 100^{\circ}\text{C}$ 时,硅橡胶的质量损失随着样品温度的升高而增大。温度对 ITO/Teflon/Ag 的太阳吸收比影响不大,而随着温度的增加,硫化硅橡胶的太阳吸收比逐渐升高。不同样品温度原子氧试验后两种材料发射率变化不明显。

关键词 ITO/Teflon/Ag,硫化硅橡胶,质量损失,太阳吸收比,发射率

中图分类号:V524.3

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2016.03.016

Effects of Temperature on Sample Property of Atomic Oxygen Test

JIANG Haifu¹ QIN Wei¹ CHAI Lihua² GUO Liang¹ ZHOU Jingjing¹

(1 Beijing Institute of Spacecraft Environment Engineering, Science and Technology on Reliability and Environmental Engineering Laboratory, Beijing 100094)

(2 School of Materials Science & Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124)

Abstract Atomic oxygen (AO) irradiation test of ITO/Teflon/Ag film and vulcanized silicon rubber is conducted using microwave induced AO simulation facility. The results indicate that the mass of ITO/Teflon/Ag film changes very little when sample temperature no more than 150°C , but the mass loss is increased with increasing sample temperature, which not exceeds 100°C , for vulcanized silicon rubber. After irradiation, the solar absorptance of ITO/Teflon/Ag film displays a minor change. In contrast, the solar absorptance of vulcanized silicon rubber is increased with increasing temperature. The emissivity of this two type samples has no obvious change.

Key words ITO/Teflon/Ag, Vulcanized silicon rubber, Mass loss, Solar absorptance, Emissivity

0 引言

在距地球表面 200~700 km 的低地球轨道(LEO),残余气体由 80%的原子氧(AO)和 20%的 N_2 组成。当航天器以 7~8 km/s 的速度在轨运行时,原子氧束流以 $10^{12}\sim 10^{15}$ atoms/cm²·s 的通量和 5 eV 左右的动能与其表面碰撞,足以对航天器表面材料性能产生巨大影响。温度交变也是航天器在轨运行时遭遇的主要环境因素,这种高温、低温的反复交变会引起材料的热疲劳,导致材料表面出现微裂纹,对材料与原子氧之间相互作用产生影响^[1-2]。

本文选取 ITO/Teflon/Ag 和硫化硅橡胶为研究

对象,在不同温度下对上述两种材料进行原子氧辐照试验,研究样品温度对原子氧效应的影响。

1 试验

1.1 材料

ITO/Teflon/Ag 薄膜二次表面镜(20 mm×20 mm),中科院上海硅酸盐研究所生产,由 Teflon 薄膜正面镀制 ITO 导电层及背面镀制 Ag 反光层组成,其中 Teflon 薄膜厚度 80 μm ,ITO 导电层和 Ag 反光层厚度均为 100 nm。GD414C 硫化硅橡胶($\Phi 20$ mm),中昊晨光化工研究院生产。

1.2 仪器设备

收稿日期:2016-02-03

作者简介:姜海富,1980 年出生,高级工程师,主要从事宇航材料空间环境效应研究。E-mail:haifujiang@163.com

原子氧环境地面模拟设备,北京卫星环境工程研究所自制(图1)。试验中样品温度由温度控制系统调节,该系统由冷却和加热装置组成。样品温度可控

制在-80~200℃。德国赛多利斯 ME215S 电子天平,量程 0~210 g,精度 10^{-5} g;美国 TESA 2000 便携式太阳吸收比和发射率测试仪,波长范围 250~2 500 nm。

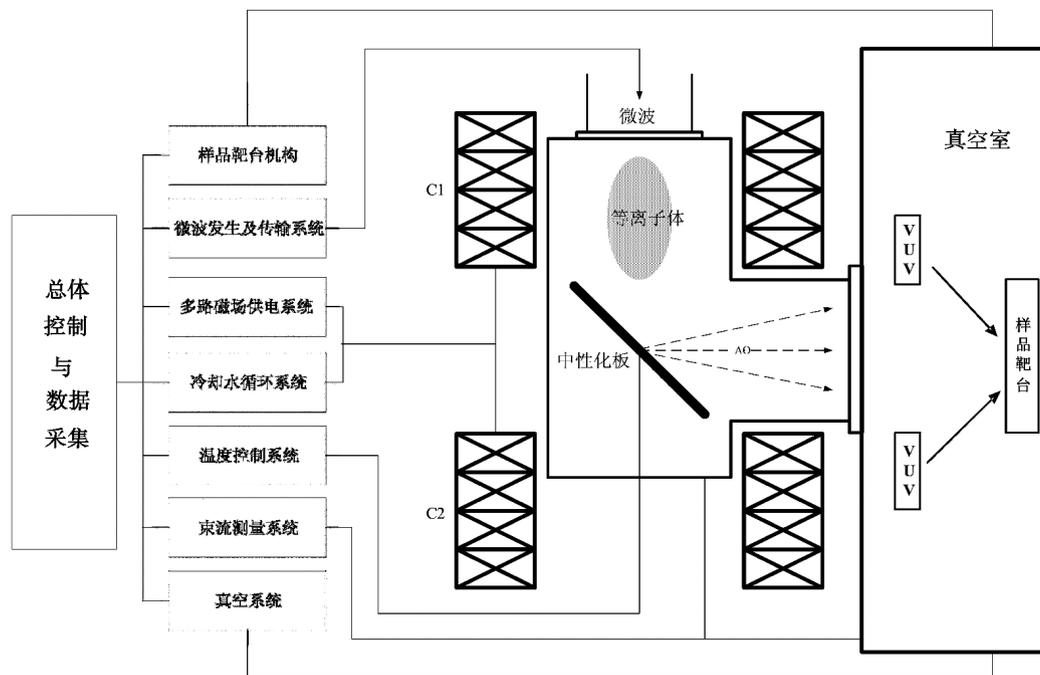


图1 原子氧环境地面模拟设备结构示意图

Fig.1 Schematic of AO simulation facility

1.3 试验参数

原子氧试验参数如下:温度选取 25、100 和 150℃,AO 积分通量为 $1 \times 10^{20}/\text{cm}^2$,真空压力为 60 mPa。

2 结果与讨论

2.1 反应率

表1给出了不同温度下 ITO/Teflon/Ag 和硫化硅橡胶两种材料原子氧造成的质量变化和反应率,其中材料的原子氧反应率按公式(1)计算。

$$Re = \frac{\Delta m}{\Phi A_k} \quad (1)$$

式中, Δm 为试验前后材料的质量损失, Φ 为原子氧积分通量, A_k 为材料的面积。

从表1中可以看出,样品经过 25、100 和 150℃ 的原子氧暴露后,ITO/Teflon/Ag 的质量损失很小,均保持在 10^{-5} g 量级,样品温度的升高没有导致材料质量损失的明显变化,其原子氧反应率也比较低,在 10^{-25} ~ 10^{-26} g/atom 量级,属于抗原子氧剥蚀能力较好的材料,表明材料表面的 ITO 膜对基底 Teflon 材料起到了有效的保护作用。

硫化硅橡胶质量损失及反应率变化与 ITO/Teflon/Ag 材料明显不同(表2)。当样品温度不超过 100℃ 时,随着温度的上升,硫化硅橡胶的质量损失明显加大,由最初的 0.41 到 3.43 mg,原子氧反应率也明显上升,这说明温度的升高加速了原子氧对硫化硅宇航材料工艺

橡胶的剥蚀作用,促进了氧化反应的进行;但当样品温度达到 150℃ 时,该样品的质量损失与 100℃ 样品十分接近,说明在 100~150℃,样品温度对原子氧剥蚀效应的加速效果基本一致。

表1 ITO/Teflon/Ag 质量损失和反应率

Tab.1 Mass loss and erosion yield of ITO/Teflon/Ag

样品	样品温度/℃	质量损失/mg	反应率/ 10^{-26} g·atom ⁻¹
1#	25	0.02	5.00
2#	100	0.05	12.50
3#	150	0.06	15.0

表2 硫化硅橡胶质量损失和反应率

Tab.2 Mass loss and erosion yield of vulcanized silicon

样品	样品温度/℃	质量损失/mg	反应率/ 10^{-24} g·atom ⁻¹
1#	25	0.41	1.31
2#	100	3.43	10.9
3#	150	3.42	10.8

2.2 太阳吸收比

图2为 ITO/Teflon/Ag 薄膜二次表面镜与硫化硅橡胶原子氧试验前后的太阳吸收比对比图。可以看出,经过 3 个温度的原子氧暴露后,ITO/Teflon/Ag 的太阳吸收比分别为 0.13、0.12、0.12,与原始样品 0.12 相比变化很小,这主要是由于原子氧对 ITO/Teflon/Ag 表面的 ITO 薄膜破坏较小所致。硫化硅橡胶的太阳吸收比随着温度的升高呈现逐渐上升的趋势,经过

3个温度的原子氧暴露后,硫化硅橡胶太阳吸收比分别为0.27、0.30、0.34,表明原子氧作用后,硫化硅橡胶表面性能退化严重。硫化硅橡胶属于聚合物材料,原子氧与聚合物材料作用时,入射的氧原子会破坏材料表面的分子键和官能团,并发生化学反应,生成气态小分子,材料表面粗糙度上升,造成材料太阳吸收比的下降^[3-4]。

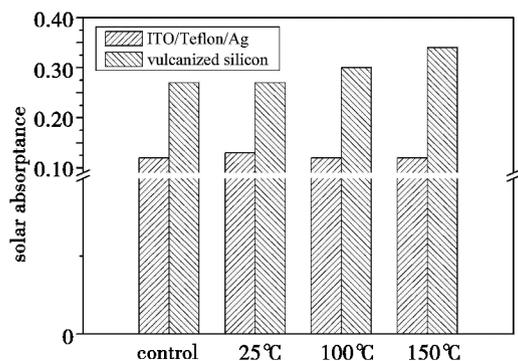


图2 ITO/Teflon/Ag与硫化硅橡胶太阳吸收比
Fig.2 Solar absorptance of ITO/Teflon/Ag film and vulcanized silicon

2.3 发射率

图3为ITO/Teflon/Ag与硫化硅橡胶原子氧试验前后发射率对比图。

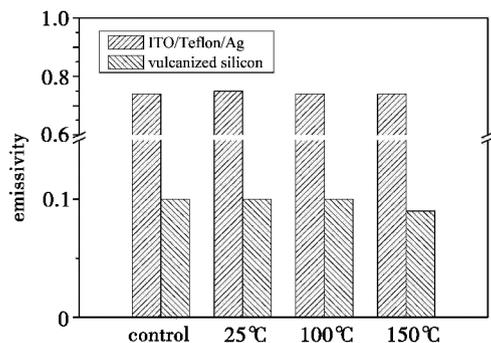


图3 ITO/Teflon/Ag和硫化硅橡胶发射率
Fig.3 Emissivity of ITO/Teflon/Ag film and vulcanized silicon

可以看出,经过3个温度的原子氧暴露后,ITO/Teflon/Ag的发射率分别为0.75、0.74、0.74,硫化硅橡胶的发射率分别为0.10、0.10、0.09,与两种材料原始的发射率0.74、0.10相比变化很小,说明不同样品温度的原子氧环境下两种材料的发射率稳定。

3 结论

(1)原子氧暴露后,不同温度下的ITO/Teflon/Ag样品质量损失均较小,说明ITO膜对基底材料的保护作用明显;硅橡胶的质量损失随着温度的升高变化显著。

(2)原子氧暴露后,不同温度下的ITO/Teflon/Ag太阳吸收比变化较小;而硫化硅橡胶的太阳吸收比随样品温度的升高增加明显。

(3)原子氧暴露后,样品温度对于ITO/Teflon/Ag和硅橡胶的发射率影响不大。

参考文献

- [1] 王文文,刁训刚,王天民. γ 射线和原子氧辐照对ZnO:Al薄膜的影响[J]. 宇航材料工艺, 2010,40(3):39-43.
- [2] 张欣,吴宜勇,何世禹. 抗原子氧有机/无机氧化硅复合涂层的研究[J]. 宇航材料工艺, 2007,37(4):19-23.
- [3] LI T,JIANG L X,FENG W Q.The effects of space atomic oxygen erosion on epoxy and silicone adhesives in LEO spacecraft[J].Spacecraft Environment Engineering,2009,26(3):222-224.
- [4] BANKS B A,DEGROH K K,MILLER S K,et al.Lower earth orbital atomic oxygen interactions with spacecraft materials [R].NASA/TM-2004-213400.