

doi: [10.11933/j.issn.1007-9289.20180726001](https://doi.org/10.11933/j.issn.1007-9289.20180726001)

SiON/SiO₂ 复合膜层对太阳能电池阵列板间电缆的表面改性及其耐空间环境性能

曹章轶¹, 吴敏¹, 马聚沙¹, 陈萌炯¹, 王训春¹, 张宗波²

(1. 上海空间电源研究所 空间电源技术国家重点实验室, 上海 200245; 2. 中国科学院化学研究所 高技术材料实验室, 北京 100190)

摘要: 在空间站工作的太阳能电池阵列板间电缆上下表面为聚酰亚胺薄膜, 在低轨运行时会受到原子氧的强烈侵蚀, 需要采取措施对其进行保护。采用射频磁控溅射法在电缆表面制备了颗粒尺寸均匀、排列致密的 SiO₂ 膜层。通过表征空间环境试验前后样品发现由于电缆表面的凸起颗粒等缺陷无法完全被 SiO₂ 膜层覆盖, 导致原子氧会对缺陷位置产生侵蚀作用。采用全氢聚硅氮烷溶液对板间电缆基底进行表面改性处理, 制备的聚硅氧氮烷涂层 (SiON) 可以有效地覆盖电缆基底表面的凸起颗粒等缺陷, 使得其上溅射的 SiO₂ 膜层表面光滑平整。经原子氧暴露试验, SiON/SiO₂ 层内部没有受到其侵蚀作用, 可以防止原子氧对电缆基底的破坏。经多次冷热循环试验, SiON/SiO₂ 复合膜层仍然具备良好的结构特性与结合性能。

关键词: 聚硅氧氮烷; SiO₂; 复合膜层; 表面改性; 板间电缆

中图分类号: TG174.444

文献标志码: A

文章编号: 1007-9289(2018)06-0055-08

Surface Modification and Space Environment Resistant Behavior of SiON/SiO₂ Composite Coating on Flat Cable of Solar Array

CAO Zhangyi¹, WU Min¹, MA Jusha¹, CHEN Mengjiong¹, WANG Xunchun¹, ZHANG Zongbo²

(1. State Key Laboratory of Space Power-sources Technology, Shanghai Institute of Space Power-sources, Shanghai 200245, China; 2. Laboratory of Advanced Polymer Materials, Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: Polyimide is the primary material for flat cable of solar arrays in space station. It can be easily attacked by atomic oxygen (AO). It is necessary to improve its AO erosion resistance. SiO₂ coating was deposited on the flat cable using RF magnetron sputtering. The grain size of SiO₂ coatings was uniform with a compact structure. The results of FESEM and EDS indicate that the SiO₂ coatings cannot cover protrusion particles so that the atomic oxygen can erode these protrusion particles, resulting in the presence of pinhole defect sites. The surface of the flat cable was modified by immersion in the perhydropolysilazane solution. The silicon oxynitride coatings (SiON) can effectively cover protrusion particles on the flat cable surface. The SiO₂ coating was deposited on it followed by thermal annealing in the air. The exposure to atomic oxygen has little effect on the interior of SiON/SiO₂ composite coating. The composite coating can prevent the flat cable from destruction by atomic oxygen. After thermal cycling, the SiON/SiO₂ composite coating still exhibits excellent physical properties.

Keywords: SiON; SiO₂; composite coating; surface modification; flat cable

收稿日期: 2018-07-26; 修回日期: 2018-11-19

网络出版日期: 2018-11-30 11:01; 网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3905.TG.20181130.1101.002.html>

通信作者: 吴敏(1977—), 女(汉), 高级工程师, 博士; 研究方向: 半导体材料及其空间防护应用; E-mail: minwindyw@163.com

基金项目: 上海航天技术研究院材料与工艺研发项目 (GYYY2017-18)

Fund: Supported by SAST Materials and Process Modification Research Project (GYYY2017-18)

引用格式: 曹章轶, 吴敏, 马聚沙, 等. SiON/SiO₂ 复合膜层对太阳能电池阵列板间电缆的表面改性及其耐空间环境性能[J]. 中国表面工程, 2018, 31(6): 55-62.

CAO Z Y, WU M, MA J S, et al. Surface modification and space environment resistant behavior of SiON/SiO₂ composite coating on flat cable of solar array[J]. China Surface Engineering, 2018, 31(6): 55-62.

0 引言

在高度为 300~400 km 的空间站轨道环境中,原子氧是残余气体的主要成份^[1-2]。在空间站的运行过程中,原子氧束流以约 4~5 eV 的动能和 $10^{12} \sim 10^{15} \text{ atom/cm}^2 \cdot \text{s}$ 的通量撞击空间站表面,对表面材料产生重大的影响^[3-4]。在空间站上配备的柔性太阳能电池阵结构中扁平式板间电缆用于电池阵电能的传输,是电池阵的关键部件之一。其上、下表面均使用 25 μm 厚的聚酰亚胺 (Kapton® HN) 薄膜,中间层为铜条,总厚度约为 300 μm ^[5]。聚酰亚胺和原子氧接触时退化很快,其原子氧剥蚀率可以达到 $3.0 \times 10^{-24} \text{ cm}^3/\text{atom}$ 、25 μm 厚的聚酰亚胺材料在半年至 1 年内就会被原子氧剥蚀掉,从而影响板间电缆的正常运行和使用寿命,因此需要采取措施对其进行保护^[6]。

在聚酰亚胺表面涂覆原子氧防护涂层,制备工艺简单,成本较低,技术相对成熟^[7]。目前,研究较多的涂层材料可分为有机涂层和无机涂层两大类。有机涂层中常采用聚硅氧烷、聚硅氮烷、氟化聚合物等材料。在空间站轨道环境中,有机涂层具有柔韧性高的特点,但其防护效果不能令人满意,在空间环境因素作用下容易出现老化、裂纹、脱落等现象^[8];无机涂层中,以 SiO_2 和 Al_2O_3 为代表的氧化物涂层为主。其制备工艺相对简单,并且具有较好的抗原子氧侵蚀性能。然而氧化物涂层柔韧性较差,在加工、储运和使用过程中容易产生裂纹,成为原子氧侵蚀基底材料的通道^[9]。

为了结合有机和无机原子氧防护层两者优势,采用全氢聚硅氮烷溶液对板间电缆基底进行表面改性处理,处理后形成的聚硅氧氮烷涂层可以覆盖电缆基底凹凸不平的缺陷,使其实现平整表面。之后采用真空射频磁控溅射法在聚硅氧氮烷涂层表面制备 SiO_2 膜层,膜层厚度控制在 70~80 nm,形成复合原子氧防护层。通过制备工艺的优化,提升复合膜层的结晶质量以及与板间电缆的结合性能。并结合后续大气退火,进一步改善 SiON/SiO_2 复合膜层的柔韧性、致密度以及附着力。对复合膜层先后开展了原子氧地面模拟试验和高低温环境试验,验证膜层对空间环境的适应能力,着重分析了电缆基底表面改性对复合膜层抵抗原子氧侵蚀的影响。

1 试验

1.1 样品制备

1.1.1 溅射法沉积 SiO_2 层

采用沈阳聚东真空技术研究所生产的多靶磁控溅射镀膜机,选择射频磁控溅射法制备 SiO_2 层。靶材采用纯度为 99.999% 的 SiO_2 靶,放电气体为纯度 99.99% 的 Ar 气。镀膜前,腔室的本底真空度为 $6 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ 。在沉积涂层的过程中,通过控制溅射时间来控制膜层的厚度。随着膜层厚度增加,由于膜层内部应力和缺陷的累积,导致附着力下降;通过改变溅射功率、溅射压强、基底温度来调节膜层的沉积速率。低沉积速率制备的膜层颗粒尺寸大结构松散,附着力差。高沉积速率制备的膜层结构均匀致密,但内应力大,容易破裂^[10]。经前期工艺优化,溅射压强和功率分别采用 0.35 Pa 和 300 W,溅射时间为 25 min,相应的膜层厚度为 70~80 nm。

1.1.2 电缆基底表面改性

针对柔性电缆基底表面凸点缺陷问题,将板间电缆基底放入全氢聚硅氮烷溶液进行表面改性处理。溶液中各种物质的质量分数为全氢聚硅氮烷 5%,氧化物填料 1%,胺类催化剂 0.05%,烷烃类溶剂 93.949%,流平添加剂 0.001%。样品浸泡 30s 后取出,待溶剂挥发后,转移至 DHG-9146A 型电热恒温鼓风干燥箱对涂层进行固化,固化温度为 120 $^{\circ}\text{C}$,时间为 2 h。全氢聚硅氮烷是一种主链为 Si—N 键,侧基全部为 H 的聚合物^[11],其结构中存在大量反应性基团 Si—H 和 N—H,在板间电缆基底上有优异的附着特性^[12]。

表面处理后形成厚度约为 1 μm 的聚硅氧氮烷涂层 (SiON) 不仅可以覆盖板间电缆基底表面凸点缺陷,产生一个比较光滑的表面来沉积 SiO_2 膜层,而且提高了整体涂层与电缆基底之间的附着力。处理后采用溅射法沉积 SiO_2 层,形成复合原子氧防护膜层。

1.1.3 复合硅膜层退火处理

对制备的 SiON/SiO_2 复合原子氧防护硅膜层进行大气退火,退火温度为 120 $^{\circ}\text{C}$,退火时间为 1 h。退火处理有利于 SiO_2 层原子与基底原子间的相互扩散,形成一个扩散区,提高膜层与基底的结合力^[13]。同时,退火处理可以改善 SiO_2 膜层的

结晶质量, 提高其致密性, 并且减少膜层内的空位缺陷, 释放内应力, 降低外载荷时裂纹产生的概率^[14]。

1.2 结构表征及性能测试

采用日本 HITACHI 公司生产的 S-4800 型场发射扫描电子显微镜 (FESEM) 和美国 VARIAN 公司生产的 Dimension3100 型扫描探针显微镜 (SPM) 对制备的膜层的表观形貌进行表征; 采用 FESEM 配备的 EDAX GENESIS XM2 型 X 射线能谱仪 (EDS) 分析 SiO₂ 的表面成分。利用剥离强度为 4 N/cm 的胶带对膜层与电缆基底的结合性能进行测试。

原子氧暴露试验采用兰州空间技术物理研究所研制的原子氧地面模拟设备对防护膜层进行原子氧地面模拟试验, 其利用微波同轴放电技术产生高密度氧等离子体, 通过中性化系统把氧等离子体转化为氧原子束^[15]。原子氧能量约为 5 eV, 原子氧通量密度 0.96×10^{16} atom/cm²·s, 暴露时间 121.5 h, 原子氧累积通量为 4.2×10^{21} atom/cm²。高低温试验是将样品放置在温度交变范围 -110~110 °C 的冷热循环环境试验箱中, 经温度交变 1000 次, 以验证防护膜层承受多次冷热循环的能力。

2 结果与讨论

2.1 溅射法沉积的 SiO₂ 层及其抗原子氧侵蚀性能

图 1 为溅射法沉积的 SiO₂ 层的 FESEM 表面形貌。从图 1(a) 可以看出, 电缆基底上沉积的 SiO₂ 膜层经大气退火, 膜层表面分布着致密排列的颗粒, 颗粒之间没有明显的孔洞和缝隙, 颗粒

尺寸均匀一致。从图 1(b) 可知, SiO₂ 层表面没有显现裂纹。

图 2 为原子氧试验后 SiO₂ 膜层的电缆 FESEM 形貌。从图 2(a) 可知, 经原子氧暴露试验, SiO₂ 膜层的表层颗粒形貌发生了明显的变化, 原子氧的侵蚀使得颗粒尺寸显著减小。从图 2(b) 可知, 膜层表面分布有许多直径为几十微米大小的圆斑, 在圆心处出现孔洞, 且在一些圆斑位置膜层出现了开裂、破损现象。图 2(c) 和 (d) 显示, 圆斑中心受到原子氧的强烈侵蚀, 侵蚀深度延伸至板间电缆基底, 产生了近似圆柱形的坑洞, 其深度约为 5~10 μm。

对比图 1(b) 和图 2(b), 可见图 1(b) 中 SiO₂ 层表面存在部分凸起颗粒, 这些凸起的颗粒受到原子氧的侵蚀产生了坑洞及其周围的圆斑。如图 3 所示, 根据 EDS 组份表征, 凸起颗粒的成分包括 P 和 Ca 等杂质。由于组份测试时电子束深入电缆基底聚酰亚胺膜, 图谱上出现了 C、O 等聚酰亚胺膜的成分。此外, 我们发现沉积 SiO₂ 膜层前, 在板间电缆表面就存在部分凸起颗粒, 它们的成分也是 P 和 Ca, 如图 4 所示。经原子力显微镜 (AFM) 表征发现, 如图 5 所示, 板间电缆表面大小不一的凸起颗粒接近半球形, 它们的凸起高度可以高至几百纳米。因此, 认为 SiO₂ 层表面的凸起颗粒来自于电缆表面聚酰亚胺膜上本身就存在的凸起颗粒, 由于 SiO₂ 层的厚度只有 70~80 nm, 无法完全覆盖这些高度不一的凸起颗粒起到防护作用, 使得原子氧对未被 SiO₂ 层覆盖的凸起颗粒产生侵蚀作用, 沿着该侵蚀通道深入掏蚀至板间电缆基底内部^[16]。

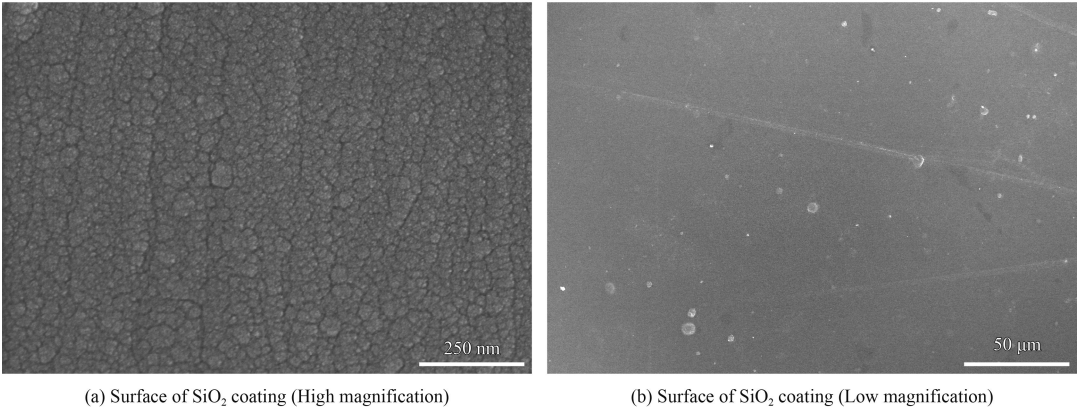


图 1 SiO₂ 层的 FESEM 表面形貌

Fig.1 FESEM surface images of SiO₂ coatings

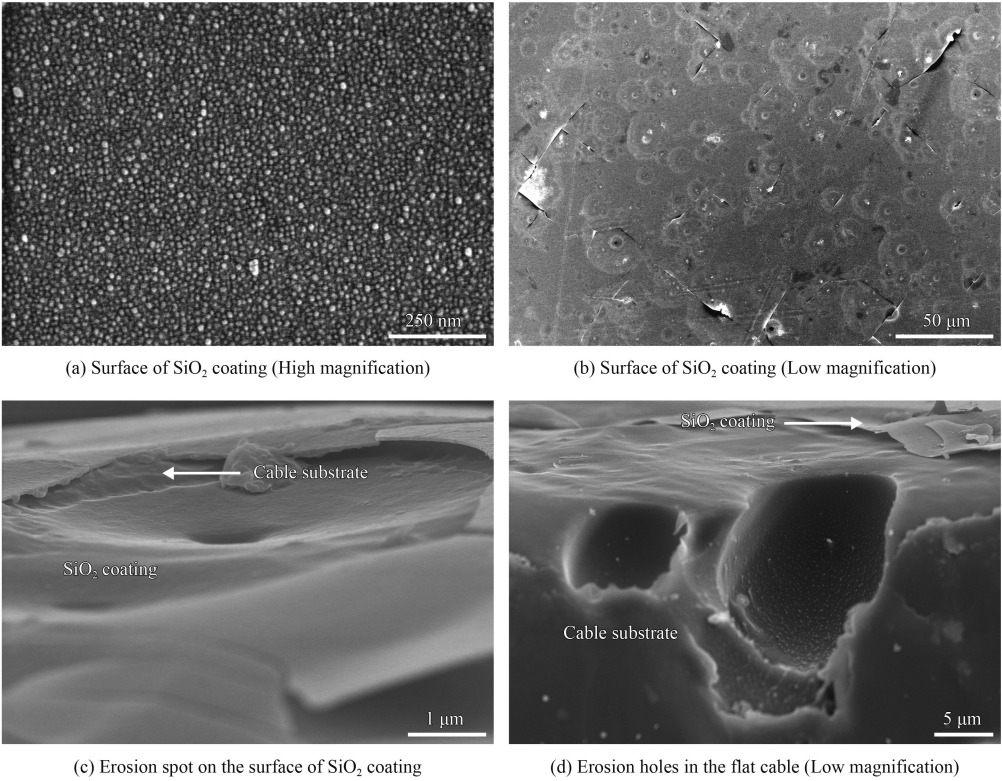


图 2 原子氧试验后 SiO₂ 膜层的电缆 FESEM 形貌

Fig.2 FESEM images of flat cable with SiO₂ coatings after atomic oxygen exposure

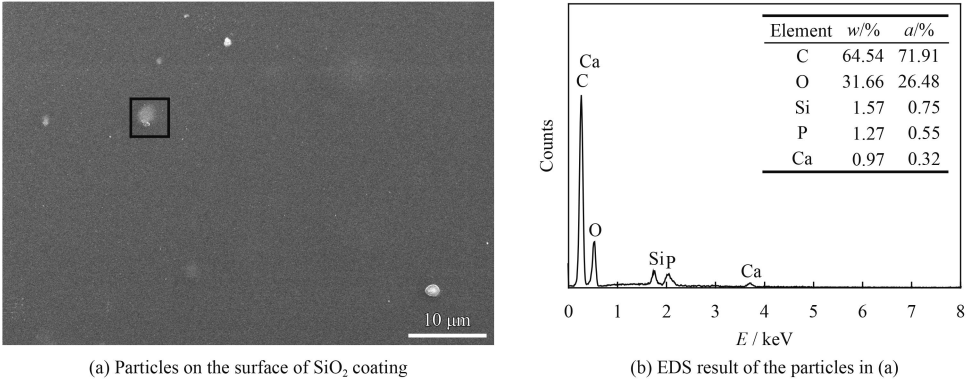


图 3 SiO₂ 膜层表面凸起颗粒的 FESEM 形貌和 EDS 分析

Fig.3 FESEM image and EDS spectrum of particles on SiO₂ coatings surface

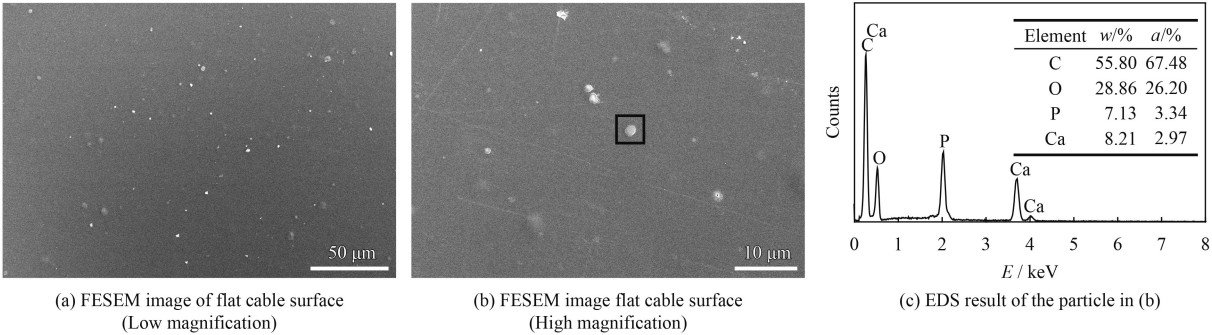


图 4 电缆表面颗粒的 FESEM 形貌和 EDS 分析

Fig.4 FESEM images and EDS spectrum of particles on flat cable surface

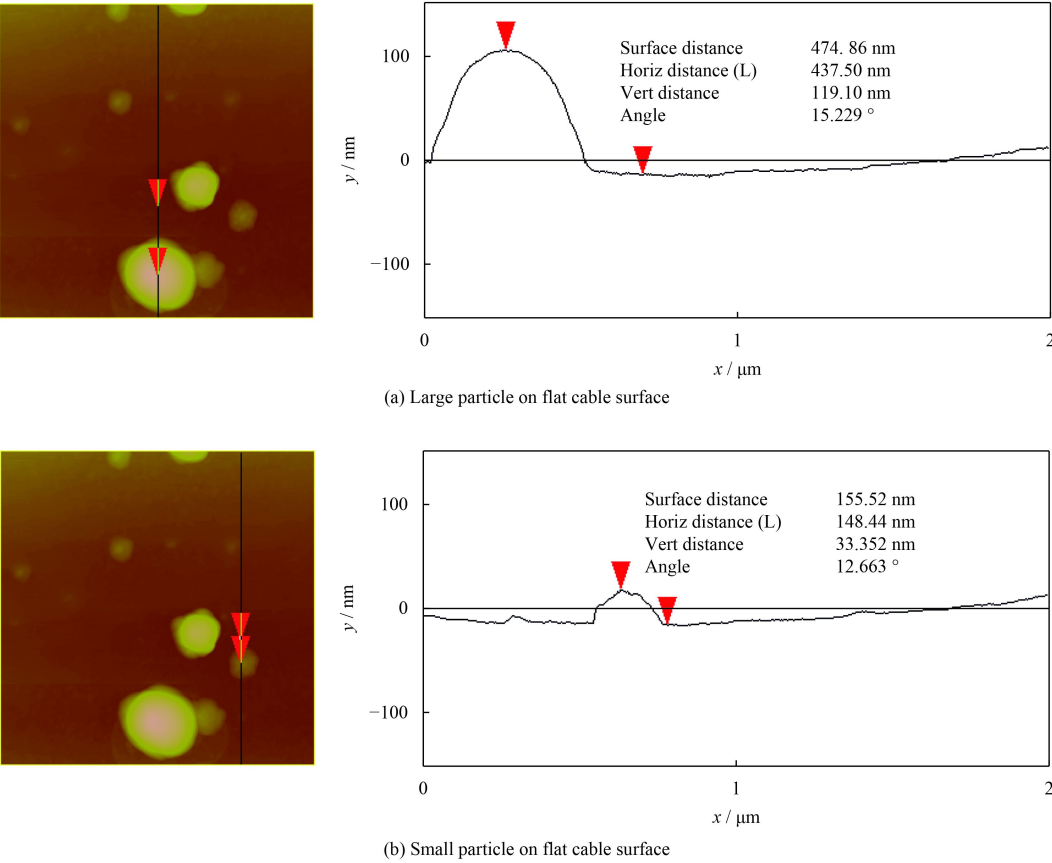


图 5 电缆表面凸起颗粒的 AFM 形貌和尺寸表征

Fig.5 AFM images and size measurement of particles on flat cable surface

2.2 电缆基底表面改性及复合膜层

为解决电缆基底缺陷导致抗原子氧能力下降，增加整体涂层与电缆基底之间的附着力，对电缆基底进行表面改性。从图 6(a) 可知，沉积厚度约 $1 \mu\text{m}$ 聚硅氧氮烷涂层对电缆基底进行表面改性处理后，涂层可以完全覆盖电缆基底表面的凸起颗粒，涂层表面光滑平整。对制备的 SiON/SiO₂ 复合原子氧防护硅膜层进行大气退火，退火温度为 120°C ，退火时间为 1 h，进而提高膜层与基底

的结合力以及膜层的致密性。从图 6(b) 可知，在聚硅氧氮烷涂层上采用射频磁控溅射法制备的 SiO₂ 膜层，颗粒更加致密排列，尺寸均匀一致，微观部分区域有约几十纳米直径的小孔，可能是由于聚硅氧氮烷涂层在加热固化过程中膜层内气体挥发留下的小孔，在溅射 SiO₂ 膜层后以原有的表面状态保留。从图 6(c) 可知，SiON/SiO₂ 复合膜层表面没有显现裂纹，也没有大小不一的浅色凸起颗粒。

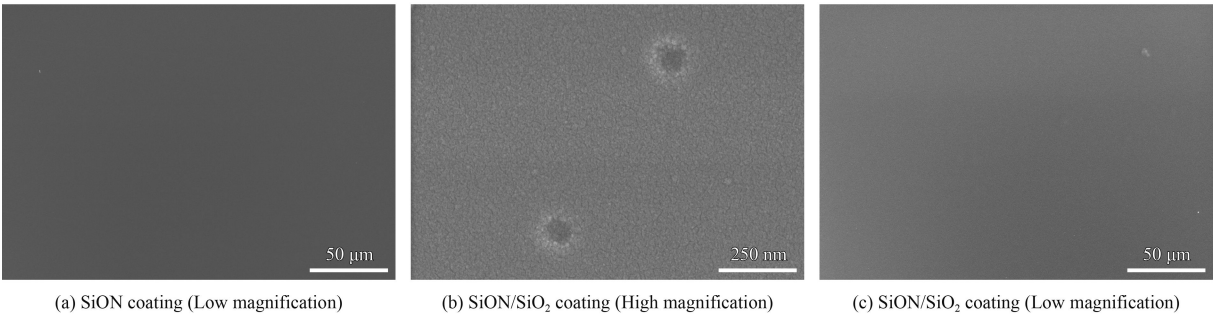


图 6 SiON 单膜涂层和 SiON/SiO₂ 复合膜层的 FESEM 形貌

Fig.6 FESEM images of SiON and SiON/SiO₂ coatings

2.3 SiON 单膜涂层与 SiON/SiO₂ 复合膜层的抗原子氧性能

将沉积厚度接近 1 μm 的聚硅氧氮烷涂层与 SiON/SiO₂ 复合膜层进行原子氧暴露试验对比,从图 7(a)可知,经原子氧暴露试验, SiON 单膜涂层表面出现大面积开裂现象,开裂部分经扫描电镜放大发现涂层下面的聚酰亚胺材料已被侵蚀如图 7(b),表明仅采用 SiON 单膜涂层不能有效抵抗原子氧的侵蚀。对比 SiON/SiO₂ 复合膜层表面,从图 7(c)看出在原子氧暴露试验后没有出现圆斑、开裂、破损等现象。但是膜层表面却显现出颜色深浅不一的情况。从图 7(d)可知,颜色较浅

的区域内部分 SiO₂ 表层颗粒形貌发生改变,可能与原子氧反应有关,但膜层仍然覆盖在电缆基底。从图 7(e)可知, SiON/SiO₂ 复合膜层内部没有坑洞,它可以很好地保护其下的电缆基底免受原子氧侵蚀的影响。

因此,我们认为聚硅氧氮烷涂层可以有效地覆盖电缆基底表面的凸起颗粒,使得其上的 SiO₂ 膜层表面光滑平整。经原子氧暴露试验,单一溅射沉积的 SiO₂ 膜层的表层颗粒由于存在膜层未覆盖缺陷会受到原子氧的侵蚀,然而 SiON/SiO₂ 复合膜层具备一定的防护能力,可以防止原子氧对电缆基底的破坏。

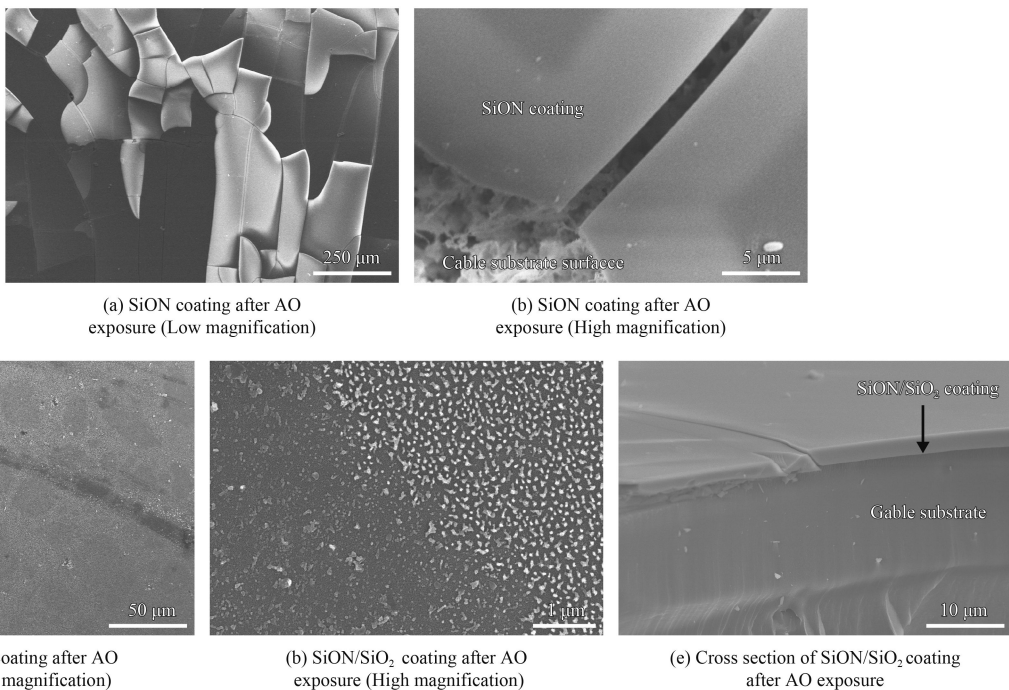


图 7 原子氧试验后 SiON 单膜涂层与 SiON/SiO₂ 复合膜层的 FESEM 形貌

Fig.7 FESEM images of SiON and SiON/SiO₂ coatings after atomic oxygen exposure

2.4 冷热循环对 SiON/SiO₂ 复合膜层性能的影响

空间站在轨道运行期间反复进出地球阴影,环境交替变化,温度变化范围一般在-110~110 $^{\circ}\text{C}$,工作寿命为 15 年的空间站将承受 88 000 次左右的冷热循环^[17]。由于 SiON/SiO₂ 复合膜层与电缆基底存在热膨胀系数差,长期的热循环作用可能会在复合膜层中造成热应力,热应力积累到一定的程度复合膜层中便会产生裂纹^[18]。因此,针对 SiON/SiO₂ 复合膜层进行冷热循环实验,从图 8(a)(b)可知,冷热循环试验后 SiON/SiO₂ 复合膜层表面的颗粒形貌没有发生明显的改变,膜层表

面也没有出现裂纹。随后采用剥离法表征 SiON/SiO₂ 复合膜层与电缆基底的结合强度,使用剥离强度为 4 N/cm 的胶带紧贴膜层中间区域,按压赶出存在的气泡。粘贴 10 min 后,拉起胶带一端,并使胶带与膜层表面成 180 $^{\circ}$,以 5 mm/s 的速度将胶带拉离表面,测试膜层的表面形貌,观察表面是否出现裂纹、剥落等现象^[19]。从图 8(c)(d)可知, SiON/SiO₂ 复合膜层的表层颗粒会部分脱落,但膜层表面没有出现裂纹、孔洞、剥落等现象。因此,冷热循环试验没有对 SiON/SiO₂ 复合膜层产生重大的负面影响,复合膜层表面不存在裂纹,

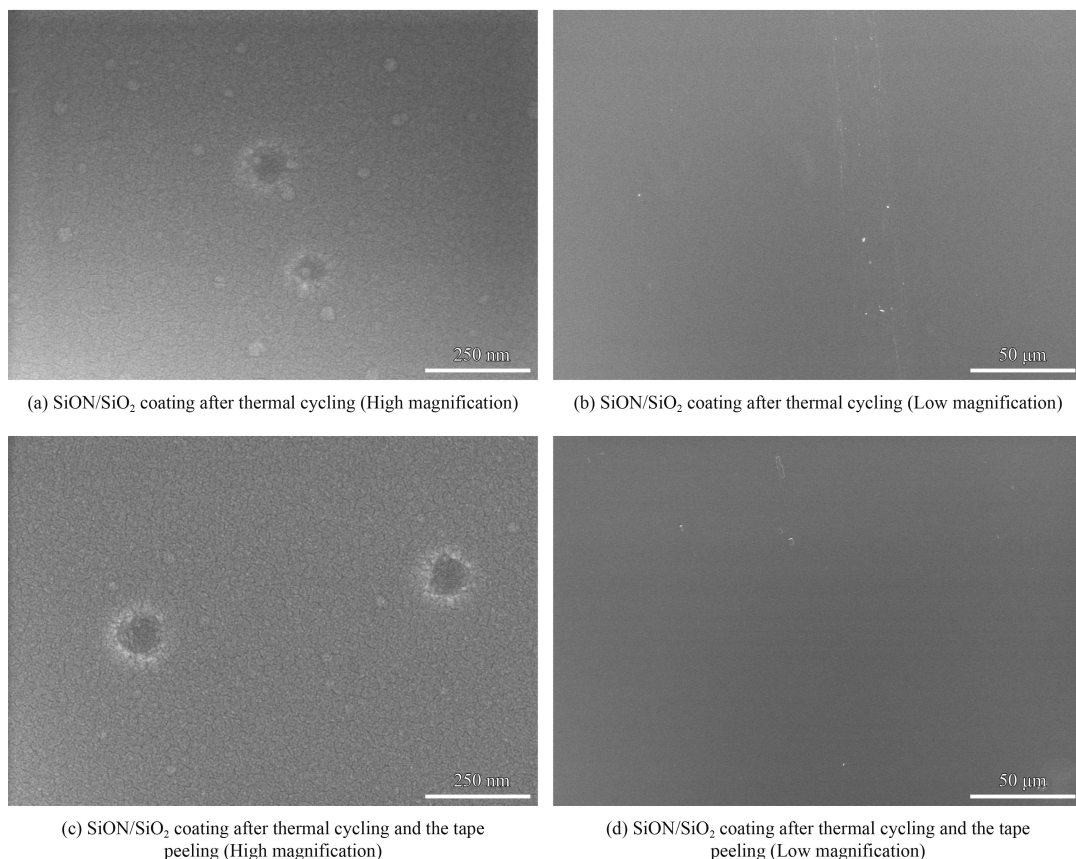


图8 冷热循环试验后 SiON/SiO₂ 复合膜层的 FESEM 表面形貌

Fig.8 FESEM surface images of SiON/SiO₂ coatings after thermal cycling test

复合膜层与电缆基底的结合性能良好。

3 结 论

(1) 在太阳能电池阵板间电缆上采用磁控溅射方法制备了颗粒尺寸均匀、排列致密的 SiO₂ 镀层。然而该镀层无法完全覆盖分布在板间电缆基底表面凸点等缺陷。经原子氧暴露试验, 这些凸起颗粒会受到原子氧的侵蚀, 沿着侵蚀通道原子氧可以深入掏蚀至板间电缆基底。

(2) 采用全氢聚硅氮烷溶液对板间电缆基底进行表面改性处理, 制备的聚硅氧氮烷涂层可以有效地覆盖电缆基底表面的凸起颗粒, 使得其上的 SiO₂ 膜层表面光滑平整, 形成 SiON//SiO₂ 复合膜层。经原子氧暴露试验, SiON/SiO₂ 复合膜层内部没有形成坑洞, 可以很好地保护其下的电缆基底免受原子氧侵蚀的影响。

(3) 经冷热循环试验, SiON/SiO₂ 复合膜层的颗粒形貌没有发生明显的改变, 膜层表面也没有出现裂纹, 且 SiON/SiO₂ 复合膜层与板间电缆的结合性能良好。

参考文献

- [1] REDDY M R. Review: effect of low earth orbit atomic oxygen on spacecraft materials[J]. *Journal of Materials Science*, 1995, 30: 281-307.
- [2] HEDIN A E. MSIS-86 thermospheric model[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1987, 92(A5): 4649-4662.
- [3] BANKS B A, KARNIOTIS C A, DWORAK D, et al. Atomic oxygen durability evaluation of a UV curable creamer protective coating[R]. NASA, 2004.
- [4] LI T, JIANG L X, FENG W Q, et al. The effects of space atomic oxygen erosion on epoxy and silicone adhesives in LEO spacecraft[J]. *Spacecraft Environment Engineering*, 2009, 26(3): 222-224.
- [5] JONES P A, SPENCE B R. Spacecraft solar array technology trends[J]. *IEEE Aerospace and Electronic System Magazine*, 2011, 26(8): 141-152.
- [6] PETER P N, GREGORY J C, SWANN J T. Effects on optical systems from interactions with oxygen atoms in low earth orbits[J]. *Applied Optics*, 1986, 25(8): 1290-1298.
- [7] PACKIRISAMY S, SCHWAM D, LITT M H. Review atomic oxygen resistant coatings for low earth orbit space structures[J]. *Journal of Materials Science*, 1995, 30: 308-320.

[8] GROSSMAN E, GOUZMAN I. Space environment effects on polymers in low earth orbit[J]. [Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B](#), 2003, 208: 48-57.

[9] BANKS B A, SNYDER A, MILLER S K, et al. Atomic-oxygen undercutting of protected polymers in low earth orbit[J]. [Spacecraft Rockets](#), 2004, 41(3): 335-339.

[10] WANG T, DIAO X, WANG X. Inhomogeneous optoelectronic and microstructure property distribution across the substrate of ZnO: Al films deposited by room temperature magnetron sputtering[J]. [Applied Surface Science](#), 2001, 257: 9773-9779.

[11] 张宗波, 肖凤艳, 罗永明, 等. 全氢聚硅氮烷 (PHPS) 涂层材料研究进展[J]. [涂料工业](#), 2013, 43(4): 74-79.
ZHANG Z B, XIAO F Y, LUO Y M, et al. Research progress in perhydropolysilazane coatings[J]. [Paint & Coatings Industry](#), 2013, 43(4): 74-79 (in Chinese).

[12] GUNTNER M, KRAUS T, KRENKEL W, et al. Particle-filled PHPS silazane-based coatings on steel[J]. [International Journal of Applied Ceramic Technology](#), 2009, 6(3): 373-380.

[13] GRITSENKO L V, ABDULLIN K A, GABDULLIN M T, et al. Effect of thermal annealing on properties of polycrystalline ZnO thin films[J]. [Journal of Crystal Growth](#), 2017, 457: 164-170.

[14] ZAIER A, MEFTAH A, JABER A Y, et al. Annealing effects on the structural, electrical and optical properties of ZnO thin films prepared by thermal evaporation technique[J]. [Journal of King Saud University-Science](#), 2015, 27(4): 356-360.

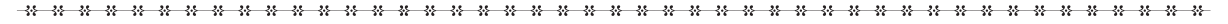
[15] 李中华, 王敬宜, 王云飞. 同轴源原子氧地面模拟设备性能优化[J]. [航天器环境工程](#), 2005, 22(1): 41-49.
LI Z H, WANG J Y, WANG Y F. Optimiazation of the co-axis source atomic oxygen ground simulation facility[J]. [Spacecraft Environment Engineering](#), 2005, 22(1): 41-49 (in Chinese).

[16] DE GROH K K, DEVER T M, QUINN W F. The effect of leveling coating on the atomic oxygen durability of solar concentrator surfaces[C]. NASA TM-102557, 1990.

[17] BARNES J A, COGSWELL F N. Thermoplastics for space[J]. [SAMPE Quarterly](#), 1989, 20(3): 22-27.

[18] CHEN K S, ZHANG X, LIN S Y. Intrinsic stress generation and relaxation of plasma-enhanced chemical vapor deposited oxide during deposition and subsequent thermal cycling[J]. [Thin Solid Films](#), 2003, 434(1-2): 190-202.

[19] 毕凯, 刘军, 陈春. 高速钢上氮化碳薄膜附着力及其影响因素的研究[J]. [材料保护](#), 2005, 38(12): 11-16.
BI K, LIU J, CHEN C. Factors affecting the adhesion force of carbon nitride film on high-speed steel substrate[J]. [Journal of Materials Protection](#), 2005, 38(12): 11-16 (in Chinese).



• 本刊讯 •

2018 年中国再制造大会在广州成功举行

2018 中国再制造大会于 11 月 15—17 日在广州白云国际会议中心成功举行。大会主题为“高端智能再制造创新发展”，目的是凝聚国内再制造科研院所和企业代表，交流再制造最新发展，研讨再制造在各国面临的机遇和挑战，并就促进再制造产业发展感兴趣的话题进行讨论，为加快我国再制造产业发展积累经验。

来自国家工信部、中国科学院和中国工程院的 5 位院士、百余名专家学者、工程师和企业家欢聚一堂，分析再制造产业的发展形势，交流近年来再制造领域的最新研究成果，探讨再制造创新发展的前沿热点，共议促进再制造产业健康发展的措施。

大会在热烈的掌声中圆满闭幕，对于高端智能再制造创新发展，与会代表都有了不同的认识。当前再制造已扩展到机动车辆、工程机械、机床、矿山机械、办公设备等，渗透于这些再制造产品中的关键共性技术需要深入地进行研究，贯穿于这些再制造产品与领域中的产业政策与管理措施需要不断地创新。因此，加强再制造学术和产业之间的交流与合作，必将为再制造产业的发展注入活力。

(本刊编辑部 供稿)