

文章编号 1004-924X(2008)11-2055-05

空间紫外遥感仪器漫反射板的真空紫外辐照特性

张振铎^{1,2}, 王淑荣¹, 李福田¹, 李 博^{1,2}, 林冠宇¹, 袁钾光³

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039;
3. 中国人民解放军总装备部 沈阳军代局驻长春地区军代室, 吉林 长春 130033)

摘要: 由于漫反射板漫反射率值的变化将直接影响空间紫外遥感仪器在轨辐射定标结果, 因此, 对各种影响因素进行了研究。基于空间紫外辐照环境构建了漫反射板真空紫外辐照特性研究装置, 利用该装置对空间紫外遥感仪器 Al+MgF₂ 漫反射板的真空紫外辐照特性进行了研究。实验结果表明, 真空紫外辐照加速了漫反射板漫反射率值的衰减, 漫反射板在 160~300 nm 整个波段出现衰减现象; 衰减程度随辐照时间的增加不断增大; 各波长处的衰减呈线性规律变化, 衰减速率随波长的不同而不同。文中对可能引起衰减的原因进行了初步分析。

关键词: 真空紫外辐照; 遥感仪器; Al+MgF₂ 漫反射板; 空间环境; 漫反射衰减

中图分类号: TP73 **文献标识码:** A

Vacuum ultraviolet radiation characteristics of diffuser in space ultraviolet remote sensing instrument

ZHANG Zhen-duo^{1,2}, WANG Shu-rong¹, LI Fu-tian¹, LI Bo^{1,2}, LIN Guan-yu¹, YUAN Jia-guang³

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3. Military Representative Office in Changchun, Shenyang Military Region, General Armament Department of Chinese People's Liberation Army, Changchun 130033, China)

Abstract: Several effect factors on the radiometric calibration results of space ultraviolet remote sensing instruments in orbit were studied, for the diffuse reflection ratio of a diffuser was changed in space environment. A device to study vacuum ultraviolet radiation characteristics of diffuser by simulating space ultraviolet radiation environment was build up, and the vacuum ultraviolet radiation characteristics of Al+MgF₂ diffuser in space ultraviolet remote sensing instrument were researched. The experimental results show that vacuum ultraviolet radiation accelerates the degradation of diffuser reflection ratio at 160~300 nm; the degradation value increases with the increment of radiation time; the degradation varies linearly at 160~300 nm and the degradation rate differs with the wavelengths. Finally, Factors that might cause degradation of diffuse reflection ratio were analyzed primarily.

Key words: vacuum ultraviolet radiation; remote sensing instrument; Al+MgF₂ diffuser; space environment; diffuse degradation

收稿日期: 2008-03-13; 修订日期: 2008-04-03.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 40675083)

1 引言

漫反射板是星载光学遥感仪器在轨辐射定标及探测的重要手段,在紫外、可见和近红外遥感仪器中应用特别广泛。漫反射板在空间环境下的稳定性将直接影响遥感仪器在轨辐射定标结果,从而影响仪器的探测结果及数据反演结果^[1-2]。

影响空间环境的因素多种多样,主要是太阳电磁辐射、带电粒子辐射、高真空、冷黑环境、原子氧侵蚀,以及微流星和空间碎片的撞击等。从美国对在轨的 TOMS 及 SBUV 仪器太阳漫反射板漫反射率的长期观测数据可知,其漫反射板漫反射率值都存在着不同程度的衰减,且在卫星入轨初期,真空紫外辐照是造成漫反射板衰减的主要原因^[3]。近年来,随着紫外遥感仪器数目的增多,真空紫外辐照对紫外遥感仪器漫反射板漫反射率的影响已成为科学研究的热点之一^[4-5]。

本文基于空间紫外辐照环境,构建了漫反射板真空紫外辐照特性研究装置,并利用该装置对空间紫外遥感仪器漫反射板在真空紫外辐照下的稳定性进行了考察。

2 试样的制备

空间紫外遥感仪器漫反射板采用研磨和光学镀膜的方法制成^[6]。选用在紫外-真空紫外波段具有较强反射能力的铝作基底材料,将表面光滑、洁净的铝板用 65 μm 大小的金刚砂研磨,研磨后用高压去离子水将铝板上的磨料冲洗掉。镀膜采用高真空镀膜机蒸镀 Al 金属反射膜,为防止空气中 Al 膜表面氧化形成 Al_2O_3 氧化层而导致对紫外光辐射的严重吸收,在膜层表面加镀了一层厚度约为 40 nm 的 MgF_2 膜,用于以阻止氧化层的形成,增强反射膜性能稳定性,通过镀膜还可以提高铝漫反射板在紫外波段的反射能力。

3 实验装置

漫反射板真空紫外辐照特性研究装置由真空测试室、无油高真空机组、真空紫外辐照光源及样品台构成。

真空测试室:卧室结构,外形尺寸 $\Phi 1\ 200$

$\text{mm} \times 1\ 500\ \text{mm}$,内空间净尺寸 $\Phi 900\ \text{mm} \times 1\ 200\ \text{mm}$ 。

无油高真空机组:选用法国 ALCTEL 公司 11 L ACP40 干式泵和美国 APD 公司 4000 L M16 低温泵构成,使真空测试室洁净无油。极限真空度可达 $10^{-5}\ \text{Pa}$ 。

真空紫外辐照光源:选择由德国 PTB 标定的氟化镁窗口标准氙灯 V0248 作为辐照光源,其在紫外,特别是在真空紫外波段具有较强的光谱分布^[7-8],波长为 115~300 nm。实验中,氙灯的发光中心到漫反射板中心的距离为 400 mm,此距离下,氙灯在 $120\ \text{nm} \leq \lambda \leq 200\ \text{nm}$ 真空紫外波段的积分辐照度值与该波段上地外的太阳积分辐照度值一致,比较结果如图 1 所示。

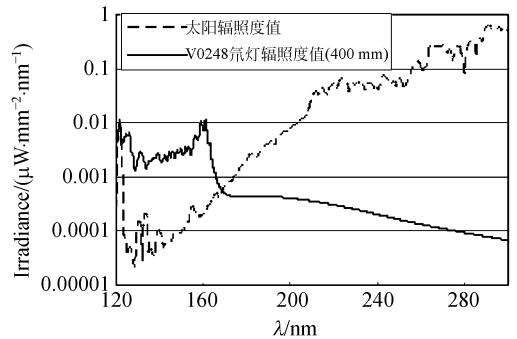


图 1 太阳与氙灯的辐照度值对比曲线

Fig. 1 Comparison of irradiation values of deuterium lamp and the sun

4 实验方法及结果

4.1 整机辐照实验

空间紫外遥感仪器为风云三号气象卫星上的有效载荷。由前置漫反射板、消偏器、Ebert-Fastie 型光栅双单色仪、光电倍增管探测器及电控系统组成,是一台能在 160~400 nm 波段测量绝对光谱辐照度和绝对光谱辐亮度的扫描式紫外光谱仪器。仪器采用了双漫反射板结构,两块漫反射板重叠安装但不互相接触,可交替移入光路中进行光谱测量。双漫反射板机构如图 2 所示。

将空间紫外遥感仪器放置在真空室样品台上并将两块未被辐照过的 $\text{Al}+\text{MgF}_2$ 漫反射板安装在仪器的双漫反射板机构上。其中一块作为待测板,当真空度达到 $10^{-5}\ \text{Pa}$ 量级时,将待测板移入光路,氙灯光源在高真空下连续辐照待测板。

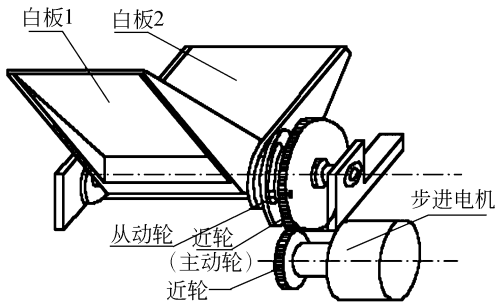


图 2 双漫反射器机构

Fig. 2 Mechanism for double diffusers

期间,通过紫外遥感仪器对待测板漫反射的氙灯光谱的读出值来实时考察待测板漫反射率+氙灯光谱辐照度值+仪器系统中光学和色散元件的光谱透射、反射及色散率(以下简称仪器内部元件特性)随时间的变化情况。另一块漫反射板作为参考板,只是在待测板实时考察结束后移入光路,通过紫外遥感仪器对参考板氙灯光谱的读出值来几乎同步地监测氙灯光谱辐照度值以及仪器内部元件特性随时间的变化情况。真空下,氙灯连续辐照待测板累计达 50 h,其中每隔 2 h 对待测板和参考板进行一次波长扫描测量,波段为 160~300 nm。在整个实验过程中,参考板累计辐照时间 < 1 h,近似认为其漫反射率值无变化。在不同辐照时间下,通过参考板氙灯光谱的读出值来修正待测板读出值,并将待测板的读出值向真空辐照 0 h 归一,便得到待测板在真空紫外辐照下的漫反射率值随时间的变化规律。结果如图 3 所示:

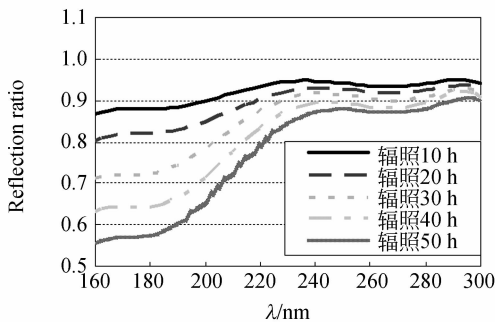


图 3 不同辐照时间的漫反射板漫反射率值变化曲线
Fig. 3 Changes in reflection ratios of diffuser in radiation time

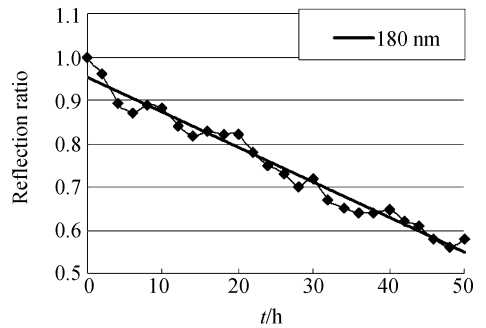
由图 3 可见:

(1)真空辐照过程中,漫反射板漫反射率值在 160~300 nm 整个波段出现衰减现象;

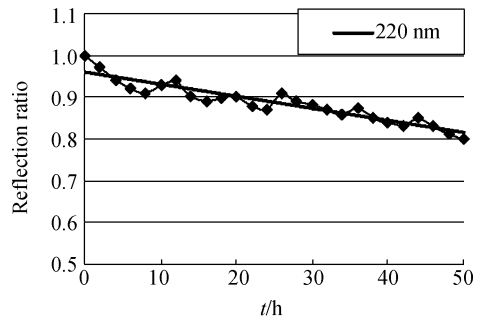
(2)160~300 nm 整个波段的衰减程度随辐照时间的增加不断增大;

(3)衰减速率随波长的不同而不同,越向短波方向,衰减速率越大。

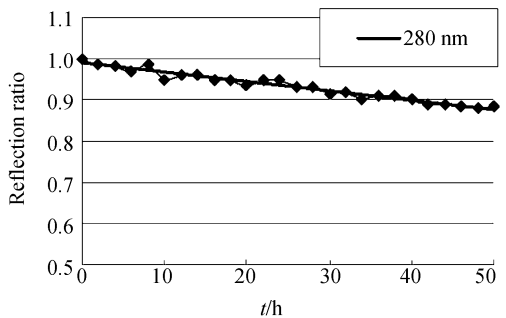
分别在 180、220、280 nm 波长处对漫反射板漫反射率归一化值与辐照时间的关系做拟合,它们可近似用线性关系 $y=kt$ 表示(辐照更长时间的衰减规律有待进一步考察)。其中, y 为漫反射率归一化值; k 为衰减因子,大小随波长的变化而变化; t 为辐照时间。拟合结果如图 4 所示。



(a) 180 nm



(b) 220 nm



(c) 280 nm

图 4 不同波长的漫反射板漫反射率值变化曲线

Fig. 4 Changes in reflection ratios of diffuser in different wavelengths

50 h 真空辐照后,关氙灯,将漫反射板保持
在高真空状态下 20 h,发现其漫反射率值略有下
降,但衰减值远小于真空紫外辐照 20 h 的衰减值,
结果如图 5 所示。由此可见,真空紫外辐照加速
了漫反射板漫反射率值的衰减。

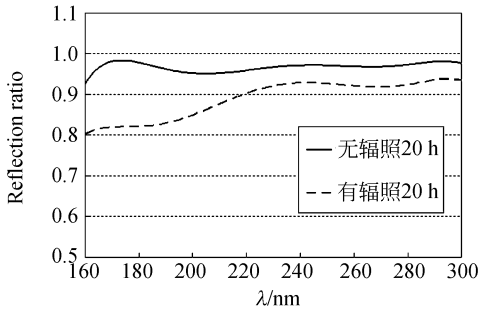


图 5 同一块漫反射板在有/无真空紫外辐照下的漫
反射率值变化曲线

Fig. 5 Changes in reflection ratios of the same dif-
fuser with or without radiation

4.2 单板辐照实验

将一块未被辐照过的漫反射板样品直接放置
在真空室样品台上,氙灯光源在 400 mm 距离下
辐照漫反射板 5 h(辐照距离与整机实验时相同)。
辐照前后分别利用 Lambda-9 紫外-可见-近
红外分光光度计测量了漫反射板样品在 200~
400 nm 的半球反射率,通过前后测量结果的比值
计算得到了漫反射板的衰减结果,同样观察到了

衰减现象。单板实验和整机实验漫反射板的衰减
速率比对结果如图 6 所示。由图 6 可见,在波长
重叠区域内,衰减结果随波长变化的规律几乎一
致,这也进一步证实了整机实验结果的正确性。

5 衰减机制初步讨论

根据以上实验结果,可以确定衰减现象与真空
紫外辐照有直接关系,分析可能的衰减原因有
以下两点:

(1) 氙灯发出的强紫外辐射直接破坏了漫反
射板 MgF_2 膜的化学结构,从而引起漫反射板漫
反射率的衰减;

(2) 污染物在漫反射板表面的光化学沉积引
起的漫反射板漫反射率的衰减。在真空紫外辐照
的情况下,真空室中的污染物与紫外辐照相互作
用,被附着在漫反射板表面,从而引起漫反射率
的衰减。无紫外辐照时,这种附着的速度十分缓
慢。污染物可能来自空间紫外遥感仪器的内部材
料或者是真空室中的其它物质,它们在高真空环
境中部分参与光化学沉积作用,部分残留在真空
室中。如果这种假设原因成立的话,那么单板辐
照实验时,样品漫反射率值的衰减可能就是真空
紫外辐照与部分残留污染物作用的结果。

6 结 论

基于空间紫外辐照环境,构建了漫反射板真
空紫外辐照特性研究装置,利用该装置对空间紫
外遥感仪器 $Al+MgF_2$ 漫反射板在真空紫外辐照
下的特性进行了研究,结果表明:(1)真空紫外辐
照加速了漫反射板漫反射率值的衰减;(2)真空
辐照过程中,漫反射板在 160~300 nm 整个波段
出现衰减现象;(3)衰减程度随辐照时间的增加不
断增大;(4)各波长处的衰减呈线性规律变化,衰
减速率随波长的不同而不同,越向短波方向,衰
减速率越大。

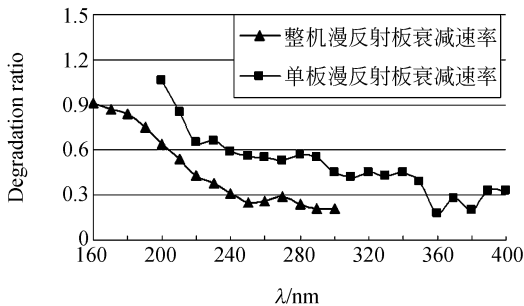


图 6 整机/单板实验漫反射板衰减速率对比

Fig. 6 Comparison of degradation ratios

参考文献:

- [1] BARNES W, XIONG X, XIE X, *et al.*. Four years of aqua MODIS on-orbit radiometric calibration [J]. *SPIE*, 2006, 6361:63610R-1-63610R-10.
- [2] ESPOSITO J, XIONG X X, WU A SH, *et al.*. MODIS reflective solar bands uncertainty analysis [J]. *SPIE*,

2004, 5542:448-458.

- [3] JAROSS G, CEBULA R, DELAND M, *et al.*. Backscatter ultraviolet instrument solar diffuser degradation [J]. *SPIE*, 1998, 3427:432-444.
- [4] SCHMJJT D R, TOBBEN H H, RINGEL G A, *et al.*. Degradation of supersmooth surfaces for UV/EUV/X-ray applications in space [J]. *SPIE*, 2001, 4498:111-120.
- [5] CHRISTOPHE G S. Wavelength and coverage dependence of spacecraft contaminant photodeposition [J]. *SPIE*, 1996, 2864:258-268.
- [6] 刘颖, 李福田. 若干材料紫外-真空紫外漫反射特性的研究[J]. 光学学报, 2001, 21(3):371-375.
LIU Y, LI F T. Characteristics of various diffuser materials at UV-VUV spectral range [J]. *Acta Optica Sinica*, 2001, 21(3):371-375. (in Chinese)
- [7] 邢进, 王淑荣, 李福田. 紫外-真空紫外辐射标准光源的比对[J]. 光学精密工程, 2004, 12(4):373-379.
XING J, WANG SH R, LI F T. Comparisons between radiometric scales on UV-VUV radiant standard light sources[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2004, 12(4):373-379. (in Chinese)
- [8] 黄煜, 王淑荣, 张振铎, 等. 用 150 W 氘灯标定 200~300 nm 光谱辐照度[J]. 光学精密工程, 2007, 15(8):1215-1219.
HUANG Y, WANG SH R, ZHANG ZH D, *et al.*. Calibration of 200~300nm spectral irradiance using 150 W deuterium lamp [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(8):1215-1219. (in Chinese)

作者简介:张振铎(1982—),男,吉林长春人,在读博士研究生,主要从事空间紫外遥感技术与辐射定标方面的研究。E-mail:zhenduo69@163.com

通讯作者:王淑荣(1961—),女,吉林长春人,研究员,博士生导师,主要从事光学检测、紫外辐射计量测试及空间紫外光谱遥感技术的研究。E-mail: srwang@ciomp.ac.cn.

● 下期预告

高温环境下超声电机机械性能测试试验

郑 伟, 赵淳生

(南京航空航天大学 国防重点学科实验室精密驱动研究所, 江苏 南京 210016)

超声电机(USM)是一种新型的电机,应用压电陶瓷的压电逆效应产生振动,并以摩擦传递运动,非常适合应用于航空航天器。因此,高温环境下超声电机的性能如何是将其应用于航空航天器之前必需掌握的问题之一。研制了一种在高温环境下测试超声电机机械性能装置,该系统包含了温度环境试验箱、转速转矩测量仪以及连接轴,并提出了在高温环境下测试超声电机性能的方法。通过该装置和试验方法,对超声电机进行了高温环境试验,其温度范围为 50~150 ℃。试验结果表明:随着环境温度的升高,超声电机的转速下降;当环境温度 < 70 ℃ 时,超声电机最大力矩随着温度的上升而增加;当环境温度 > 80 ℃ 时,则最大转矩随着温度的上升而下降,当环境温度到 150 ℃ 时,超声电机不工作。超声电机在高温环境下需要降低其性能使用。该试验装置和试验方法同样适用于低温环境。