

硅油对遥感仪器镜面污染的研究

裴云天

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

摘要: 对被硅油污染的镜面进行了光谱测试, 测得了硅油的红外吸收波段及吸收系数. 实验证明吸收波段上的油膜透过率随着油膜厚度增加呈指数衰减.

关键词: 遥感, 镜面, 污染.

引言

空间遥感仪器在使用中性能会逐步下降^[1], 据分析, 主要原因是一些材料放气在遥感仪器光学镜面上冷凝和吸附, 引起光学效率下降所致. 在应用卫星发射早期, 污染气体主要是水汽, 当水汽在低温光学元件上结霜时会使光学元件透过率大幅度下降. 这一问题在国内外都已进行了大量的研究, 已初步解决了水汽污染问题.

在卫星工作中、后期, 污染源主要是一些高分子化合物, 如润滑油分子. 目前国内空间润滑油常用硅油, 星上各类仪器需油润滑的运动部件很多, 为此本文进行了硅油对光学镜面污染影响的实验研究.

1 实验

我们加工了 10 块 $\Phi 30$ 的平面镜, 并在同一镀膜机内同时镀上 Al+SiO. 然后在镜面上溅上不同厚度的硅油. 若在镜面上硅油的重量为 W , 硅油的比重为 ρ , 镜面的表面积为 S , 油膜的厚度为 d , 则有

$$W = \rho \cdot S \cdot d,$$

即 $d = W/\rho \cdot S$.

由于镜面表面积为 $\frac{\pi}{4}D^2$, 即为 7.07cm^2 , 硅油的比重为 1.0091g/cm^3 , 则只要测量镜面上硅油的重量 W , 即可求得硅油在镜面上的厚度 d . 我们用二次称重法, 分别求得不同镜子的油膜厚度 (见表 1). 然后将这些镜子放到 PE 983 型红外分光光度计上测试反射率, 其结果如图 1 所示. 测试波长为 $4000\sim 300\text{cm}^{-1}$ ($2.5\sim 33\mu\text{m}$).

本文 1992 年 5 月 18 日收到, 修改稿 1993 年 3 月 17 日收到.

表 1 镜面油膜厚度
Table 1 Thickness of oil film deposited on a mirror

No.	1	9	6	10	8	4
$d(\mu\text{m})$	0	0.85	1.09	1.28	1.81	2.59

2 理论分析

光入射到带油膜的镜子上, 将形成多光束反射, 其总反射能量可以考虑为多光束能量之和.

由于油膜厚度在微米量级, 可忽略散射效应, 另外也忽略干涉及偏振因素, 则不难推出下列诸式^[2]:

$$a = R_2^2(1 + \rho_1 R - 2\rho_1)[\rho_1(1 - R_2)^2 + R_2(1 - \rho_1 R_2)],$$

$$b = -R_2\{(1 + \rho_1 R - 2\rho_1)[(1 - R_2)^2 + (1 - \rho_1 R_2)] + R_2(R - \rho_1)(1 - \rho_1 R_2)\},$$

$$c = (R - \rho_1)(1 - \rho_1 R_2),$$

$$\rho_1 = (n - 1)^2 / (n + 1)^2,$$

$$at^4 + bt^2 + c = 0.$$

式中 R 为有油污染时镜面反射率, R_2 为无油污染时镜面反射率, R 和 R_2 均可从分光计中实测得到; ρ_1 为光从空气入射到油膜时的反射比; n 为硅油折射率, $n = 1.4183$; t 为油膜的透过率. 这样, 由上述公式即可计算出不同厚度油膜的透过率 t .

由图 1 可知, 硅油在 800cm^{-1} 附近有一强的吸收峰, 我们计算了该波长硅油的透过率, 结果列于表 2.

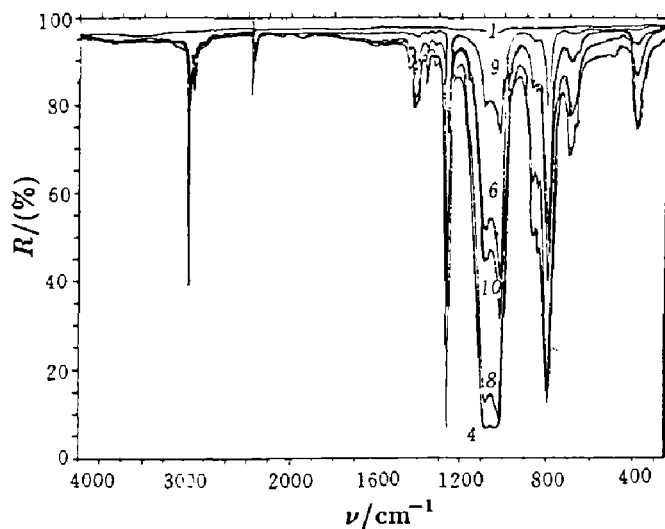


图 1 带有硅油的镜子的反射率曲线
Fig. 1 Reflective spectrum of the mirror contaminated with Si-oil

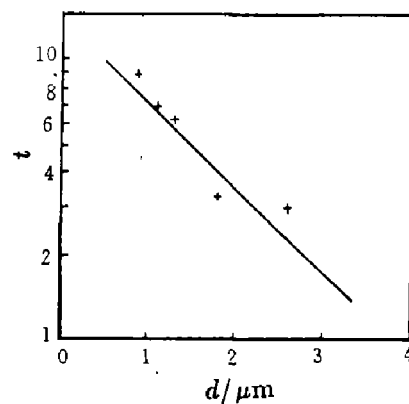


图 2 油膜在 800cm^{-1} 波长的透过率曲线
Fig. 2 Transmissivity of oil film vs. its thickness at 800cm^{-1}

表 2 油膜在 800 cm^{-1} 处透过率计算值
Table 2 Calculated transmissivity of oil film at 800 cm^{-1}

$d(\mu\text{m})$	R	a	b	c	t
0	0.9756				1
0.85	0.7902	0.8689	-1.616	0.7381	0.8980
1.09	0.4829	0.8606	-1.323	0.4398	0.6970
1.28	0.4000	0.8583	-1.244	0.3593	0.6309
1.81	0.1268	0.8510	-0.9841	0.09405	0.3242
2.59	0.1170	0.8507	-0.9748	0.08454	0.3074

一般认为^[1,2], 油膜透过率随着油膜厚度 d 的增加呈指数衰减, 即有 $t = Ae^{-Bd}$. 对表 2 数据用最小二乘法作线性回归, 可求得常数 $A=1.3986$, 吸收系数 $B=0.6447(1/\mu\text{m})$, 相关系数 $\gamma=-0.931$, 其透过率曲线如图 2 所示.

3 结论

从以上实验及理论分析, 我们可以得到下列结论:

(1) 从图 1 可知, 硅油在 2960cm^{-1} 、 1260cm^{-1} 、 $1000\sim 1100\text{cm}^{-1}$ 、 800cm^{-1} 处有强吸收峰. 在 800cm^{-1} 处吸收系数为 $0.6447/\mu\text{m}$.

(2) 油膜透过率随着油膜厚度的增加呈指数衰减, 符合布格尔定律. 这次实验相关系数 (0.93) 不高的原因是, 镜面上喷镀的油膜厚度不够均匀, 油膜厚度数据有误差.

(3) 由于 800cm^{-1} ($12.5\mu\text{m}$) 及 $1000\sim 1100\text{cm}^{-1}$ ($9\sim 10\mu\text{m}$) 是国内外应用卫星大量使用的热红外波段, 因此润滑油对镜面的污染问题必须引起高度重视. 常用的防范措施包括改进仪器的油封系统, 减少润滑油的泄漏; 加强光学镜面的保护, 必要时可在一些光学镜面附近设置一些低温档板; 当镜面沾污上油膜后, 用加热方法去污. 光学镜面的防污工作是延长遥感仪器使用寿命的重要方面. 随着应用卫星技术的发展, 还须进一步完善镜面的防污、去污措施.

致谢: 作者感谢兰增瑞、余忠和、陈诗伟和季华美同志在实验中给予的大力帮助.

参考文献

- 1 Scialdone J.J. *Space Simulation*, Washington, D.C.: Goddard Space Flight Center, 1975, p.63
- 2 Liu Chang-Keng and Tien C.L. *AIAA*, 1973;(73-149):3

STUDY OF Si-OIL CONTAMINATION ON MIRROR OF REMOTE SENSING INSTRUMENT

PEI YUNTIAN

*(Shanghai Institute of Technical Physics,
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)*

Abstract: The spectra of Si-oil which contaminated the mirror were measured. The infrared absorption band and absorption coefficient of Si-oil were obtained. The experimental results demonstrate that the transmissivity of oil-film in the absorption band is exponentially decreased with the increase of the film thickness.

Key words: remote sensing, mirror, contamination.