

JEM-EUSO 用 MgF₂ 光学薄膜の原子状酸素耐性について

神戸大学 田川雅人、横田久美子、太刀内寛人

原子力機構 寺岡有殿

理研 滝澤慶之

Anti-Atomic Oxygen Properties of MgF₂ Optical Coating for JEM-EUSO Mission

Kobe University, Masahito Tagawa, Kumiko Yokota, Hiroto Tachiuchi

JAEA, Yuden Teraoka

Riken, Yoshiyuki Takizawa

-Email: tagawa@mech.kobe-u.ac.jp

Abstract: Effect of atomic oxygen on the candidate of lens materials for the 1st objective lens of JEM-EUSO telescope was evaluated by the laser detonation ground-based atomic oxygen exposure facility at Kobe University. It was confirmed that transparency of PMMA was gradually lost by the atomic oxygen exposure. MgF₂ anti-reflection coating was also oxidized by the reaction with hyperthermal atomic oxygen exposure. Due to its imperfection of the coating, oxidization of material may be continued with increasing the fluence. It was not recommended to use the combination of PMMA and MgF₂ on the 1st objective lens of LEM-EUSO telescope. Note that the collaboration of Riken and Kobe University was initiated by the 26th Space Utilization Symposium in 2010.

Key words: JEM-EUSO, Telescope, Lens, MgF₂, Atomic Oxygen,

1. 緒言

JEM-EUSO ミッションはISSの曝露部に搭載する光学システムで、その大口径レンズの第1段外表面は宇宙環境に直接曝露される[1]。したがって、ISS軌道上の原子状酸素環境のもとで、原子状酸素の直接曝露の可能性があり、その耐久性をあらかじめ評価しておく必要がある。

本研究ではJEM-EUSO用光学レンズおよびその光学コーティング材料の耐原子状酸素特性について実験を行った結果について報告する。なお、本共同研究は昨年(2010年)開催された宇宙利用シンポジウムにおいて共同研究が企画され1年間にわたり実施されたものである。

2. 原子状酸素環境地上模擬実験装置

原子状酸素地上試験に用いられるレーザーデトネーション原子状酸素環境模擬実験装置は、炭酸ガスレーザーとパルスバルブの組み合わせにより、軌道上における宇宙機との相対衝突速度をほぼ再現した上で、高フラックスの原子状酸素パルスを生成できる。本システムはレーザー推進の原理を応用したもので、米国 Physical Sciences Inc.により開発されたことから、PSI型原子状酸素発生装置とも呼ばれている[2]。図1には神戸大学で使用しているレーザーデトネーション原子状酸素環境模擬実験装置の写真を示す。このタイプの原子状酸素発生装置は国内では現在のところ宇宙航空研究開発機構で

1台と神戸大学で2台が稼動状態である。本装置が作り出す原子状酸素環境は、現在利用可能な技術としては最も現実の宇宙環境に近いものである。軌道上と同じ材料との衝突速度 8 km/s を実現でき、かつフラックスもほぼ軌道上の値に近い(ただし後者は高度による差が大きい)。実宇宙環境との違いを明確にするためには、発生させた原子状酸素ビームのキャラクタリゼーションが重要である。そのため、神戸大学の装置では原子状酸素ビームの組成と速度分布を 238 cm 後方に設置された四重極質量分析管とシンチレーション検出器で解析できる[3]。

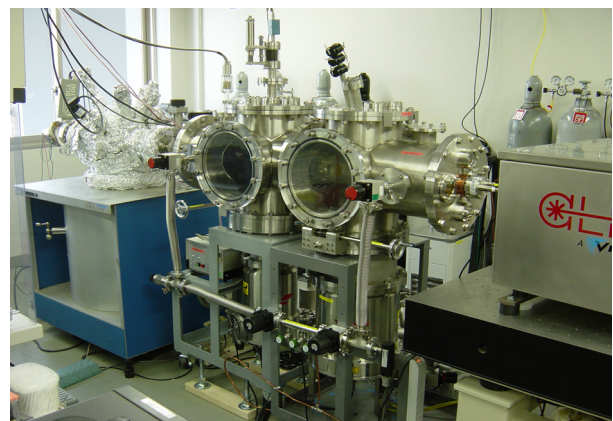


図1 神戸大学のレーザーデトネーション型原子状酸素環境実験装置

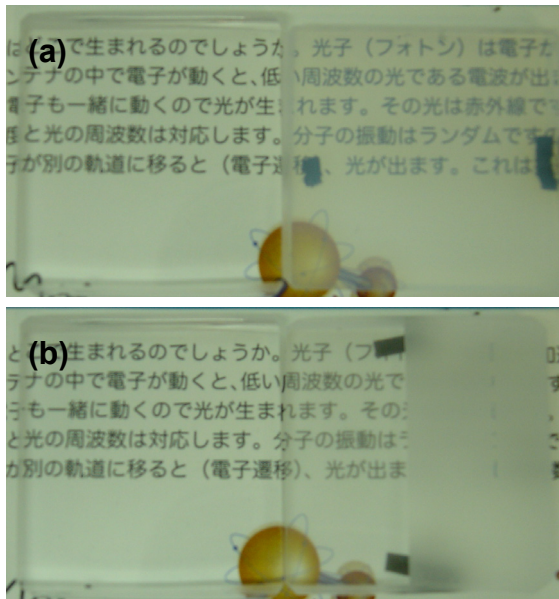


図2 原子状酸素照射前後における PMMA の外観変化。(a) ノンコート PMMA、(b) MgF₂ コート PMMA。いずれも左側は未照射ノンコート PMMA。

3. 試料

実験に用いたのは JEM-EUSO 用レンズ光学材料候補である PMMA と MgF₂ コーティングである。PMMA の試料厚さは 5 mm、MgF₂ コーティングの厚さは 180 nm である。さらに MgF₂ の材料としての原子状酸素との反応性を研究するために Si ウエハーと QCM 上に同時蒸着を施し、表面分析と反応レート解析を行った。

4. 実験結果

図 2(a) に原子状酸素を照射前後における PMMA の外観を示す (照射量 9.7E20 AO/cm²、高度 400 km における太陽活動極大時で約 2 ヶ月分に相当)。(a) がノンコート PMMA、(b) は MgF₂ コート PMMA である。いずれも各写真の左側は比較のための照射前のノンコート PMMA である。左側の照射前のサンプルと比較すると、右側の照射サンプルは明らかに透過率が低下していることがわかる。スペクトル透過率のデータからは、MgF₂ コートつき PMMA では 400 nm 付近で透過率が 92% から 80% に低下していることが明らかになっている。MgF₂ コートの有無による差異は小さいが、MgF₂ コート PMMA の方が若干劣化は少ない。なお、MgF₂ コートサンプル (b) の右側半分は MgF₂ コート時にマスクとしてポリイミドテープが貼付されていた部分であり、原子状酸素照射により失透している。これはポリイミドテープのシリコン樹脂が原子状酸素により酸化劣化

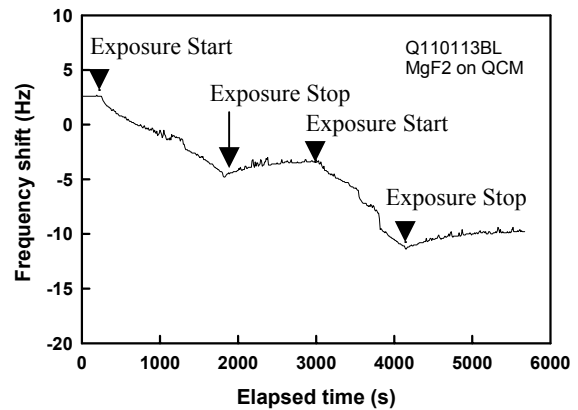


図3 原子状酸素照射時の MgF₂-QCM の共振周波数変化

したためであると思われる。本事象は ISS 環境におけるシリコンコンタミネーションに透過率劣化の可能性を示唆しており、光学系付近のコンタミネーション管理が重要であることを示している。

SPring-8 BL23SU で計測された XPS 解析からは酸素吸着と Mg の表面酸化が確認されているが、通常の MgO の XPS スペクトルデータベースとは一致しない。これは表面状態が一般的な MgO とは異なることを示している。高温における MgO の蒸気圧は高いため、高エネルギー原子状酸素の衝突によるエネルギー転送により MgO の昇華や Mg イオンの体積拡散が生じ、大気中のような安定した MgO 不動態酸化膜の形成が生じないものと思われる。このことは、QCM 上に成膜した MgF₂ 薄膜への原子状酸素照射下では薄膜質量変化が飽和しないこと (図 3) や、AFM 測定で表面粗さが増加する変化とも関連性があるものと思われる。

5. 結論

JEM-EUSO 用光学レンズ材料候補としての PMMA と MgF₂ は原子状酸素耐性が低く、長期間の ISS 曝露環境では使用を忌諱するか、保護コーティングが必要である。

参考文献

- [1] <http://jemeuso.riken.jp/>.
- [2] Caledonia, G. E., et al.: A high flux source of energetic oxygen atoms for material degradation studies, AIAA Journal, Vol.25, No.1, (1987) pp.59-63.
- [3] Tagawa, M., Yokota, K., et al.: Effect of ultraviolet emission from the oxygen plasma on the accelerated erosion phenomenon of fluorinated polymer in the atomic oxygen ground tests, High Performance Polymers, Vol. 22 No.2 (2010) 213-224.