

原子状酸素と紫外線の複合照射による透明フィルムの光学特性変化*¹

Optical Characteristic Change of Transparent Film Due to Combined Exposure to Atomic Oxygen and Ultraviolet Ray

奥村 哲平*²・細田 聡史*³・金正 浩*³・岩田 稔*⁴・趙 孟 佑*⁵

Teppei OKUMURA, Satoshi HOSODA, Jeongho KIM, Minoru IWATA and Mengu CHO

Key Words: ETFE Film, Spacecraft Charging, Material Degradation, Arc Mitigation, Atomic Oxygen, Ultraviolet Ray

Abstract: ETFE film covered solar array was developed for arc mitigation in LEO environment. We used ETFE film because its transmittance is excellent at the wavelengths from 300 to 900 nm. In LEO, however, the film will encounter serious space environment, such as AO and UV. Electrical power output may decrease due to degradation of transmittance. To study the effects of AO and UV radiation on ETFE film, we used a combined space effect test facility at JAXA. Although the film color turned white after the test, there was no change of film transmittance. Because of AO-induced erosion, texture structure was formed on the film surface, that trapped incident light and made it pass the film after scattering.

1. はじめに

太陽電池アレイを用いた大電力/高電圧発電技術の開発は将来の宇宙開発に必須の技術となる。しかし、低地球軌道環境では太陽電池アレイ電圧が 100 V を超えると、プラズマとの干渉によりその表面で放電が発生し、電圧の上昇とともに発生頻度が増加する¹⁾。我々は太陽電池アレイを無色透明な Ethylene-co-tetrafluoroethylene polymer フィルム(以下、ETFE フィルムと略す)で覆うことにより、放電を抑制することに成功した²⁾。フィルムの透過率は波長 300~900 nm で 90%以上であるため、太陽電池アレイ出力に大きな影響を与えることはない。

過去に軌道上で実測された別種の ETFE フィルムの原子状酸素浸食率は $1 \times 10^{-18} \text{ m}^3/\text{atom}$ と報告されており³⁾、12.5 μm のフィルム厚では半年程度の寿命に相当する。浸食の進行はコーティング等で遅らせられるが、浸食の過程でフィルムの光透過率が低下することはより重要である。そこで、我々は ETFE フィルムに原子状酸素と紫外線の複合照射を行った。本論文では、複合照射の影響により劣化したフィルムが太陽電池出力へ与える影響をフィルムの光学特性の変化の観点から論じ、透明フィルムの帯電防御材としての有効性を検討する。

2. 実験装置

2.1 試験サンプル 第 1 図に試験サンプルを示す。太

陽電池セルはポリイミドで絶縁されたアルミニウム基板上に RTV シリコンを用いて貼り付けられた。太陽電池セルとしては、単結晶シリコンセルと InGaP/GaAs セル(以下 2J セル)を用いた。ETFE フィルムは厚さ 12.5 μm のものを使用し、太陽電池セル全体を覆うことができるように基板に固定した。

2.2 真空複合環境試験設備 原子状酸素と紫外線を同時にサンプルに照射(以下、複合照射試験と略す)するために、宇宙航空研究開発機構総合技術研究本部が所有する真空複合環境試験設備⁴⁾を使用した。この装置を用いて生成した原子状酸素はエネルギーが 5 eV で、軌道上で原子状酸素が持つエネルギーを模擬することができる。紫外線照射は 48 本の重水素ランプを用いて行われた。紫外線は波長 120~200 nm の積分強度に換算して太陽光強度の 5 倍であった。

3. 試験結果

複合照射試験は 30 時間実施された。試験中に照射された原子状酸素は $1.7 \times 10^{20} \text{ atoms cm}^{-2}$ である。SEES(Space Environments and Effects System)⁵⁾のデータを元に 2001 年 10 月から 2002 年 10 月の期間と高度 400 km・軌道傾斜角 51.6 度を仮定して見積ると、今回の原子状酸素照射量は軌道上 17 日分に相当する。また、紫外線の照射量は軌道上 2 日分に相当する。なお、九州工大で実施した重水素ランプによる紫外線単独照射では、軌道上 4 年以上の照射後の太陽電池の短絡電流値の低下は約 7%にとどまっている²⁾。

複合試験後、フィルムが白濁する劣化現象を確認した。試験前後の単結晶シリコンおよび 2J セルの開放電圧 V_{oc} 、短絡電流 I_{sc} 、フィルファクター FF をそれぞれ第 1 表、第 2 表に示す。第 1 表、第 2 表に示すように両サンプルにおいて、フィルムが白濁していたにもかかわらず太陽電池出力

*¹ © 2006 日本航空宇宙学会

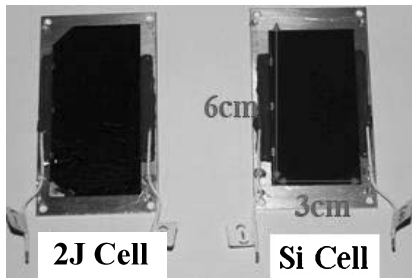
平成 17 年 9 月 26 日原稿受理

*² 九州工業大学大学院工学研究科電気工学専攻

*³ 九州工業大学産学官連携研究員

*⁴ 九州工業大学宇宙環境技術研究センター

*⁵ 九州工業大学工学部電気工学科



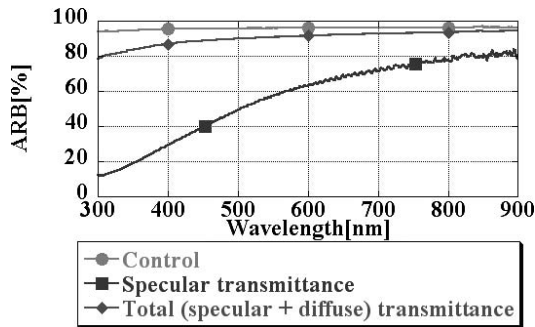
第1図 試験サンプル (左: 2J セル, 右: 単結晶シリコン)

第1表 Si セルのサンプルの試験前後での電気性能

	V_{oc} (mV)	I_{sc} (mA)	FF
Before	610.6	1029.5	0.720
After	610.9	1034.4	0.718

第2表 2J セルのサンプルの試験前後での電気性能

	V_{oc} (mV)	I_{sc} (mA)	FF
Before	2346.3	404.3	0.863
After	2348.1	406.6	0.868

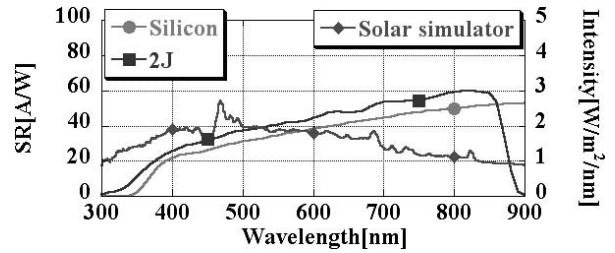


第2図 未使用フィルムと試験後のフィルムの透過率

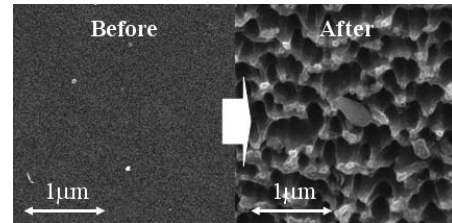
への影響は見られなかった。

以上の結果から目視による白濁は透過する光が直進せずに散乱したためと考え、未使用のフィルムと試験後のフィルムの正透過率（直進光のみを考慮した透過率）と散乱透過率（散乱して透過する光も考慮した透過率）を分光器により測定した。結果を第2図に示す。波長 300 ~ 900 nm の範囲の積分値で正透過率と散乱透過率の比較を行った結果、正透過率に関しては試験後のフィルムは未使用のフィルムに対して 40%低下していた。一方、散乱透過率に関しては 5%の低下に留まっていた。このことから、複合照射を行ったフィルムでは透過した光の散乱率が高くなったことがわかる。また、第3図に一般的な単結晶シリコンと 2J セルの分光感度特性を示す。散乱透過率が低下している 300 ~ 400 nm の領域では、太陽電池セルの分光感度も高い領域ではないため、電気出力に影響が現れなかったと考えられる。

第4図に未使用のフィルムと試験後のフィルムにおいて撮影した電子顕微鏡写真の結果を示す。第4図より試験後のフィルムには原子状酸素の衝突が原因と考えられる凹凸、即ちテクスチャ構造が形成されている。このテクスチャ構造により試験後のフィルムでは透過光の散乱率が高くなったと考えられる。



第3図 シリコン太陽電池と 2J 太陽電池の分光感度



第4図 未使用のフィルムと試験後のフィルムの電子顕微鏡写真

4. ま と め

放電抑制を意図して太陽電池セル表面に貼り付けられた ETFE フィルムに対して、原子状酸素と紫外線の複合照射試験を行い、セル電気性能への影響を調査した。試験後、フィルムは白濁したが電気性能には影響が現れなかった。光学特性と表面の構造を調べた結果より、原子状酸素により表面に凹凸が発生し透過光の散乱率が増加したため電気特性に影響が現れなかったことがわかった。このことから、透明フィルムは、原子状酸素によって浸食されたとしても完全に無くなるまでは、太陽電池の出力を維持したまま帯電防御材として機能できることがわかった。今後は長期間の原子状酸素曝露に耐えられるフィルムや表面加工の選定、および試験が必要である。

本試験を行う際に、ご助言をいただいた宇宙航空研究開発機構の川北氏、石澤氏、今井氏等、また三菱電機株式会社に感謝する。本研究は(財)日本宇宙フォーラムが推進している「宇宙環境利用に関する地上研究公募」プロジェクトの一環として行ったものである。

参 考 文 献

- Hastings, D. and Garrett, H.: Spacecraft-Environment Interaction, Cambridge University Press, London, 1996.
- Hosoda, S., Okumura, T., Kim, J., Cho, M. and Toyoda, K.: 400 V Solar Array Technology for LEO Plasma Environment: Laboratory Test Results, AIAA Paper 2005-0480, 2005.
- Kamenetzky, R. R., Linton, R. C., Finckenor, M. M. and Vaughn, J. A.: Effects of Atomic Oxygen on Polymeric Materials Flown on EOIM-3, LDEF: 69 Months in Space, Third Post-Retrieval Symposium Part 3, NASA CP-3275, 1993, pp. 1011-1023.
- 今井文一, 岩田 稔, 中山陽一, 今川吉郎: 真空複合環境試験設備の開発と性能評価, 第 45 回宇宙科学技術連合講演会, 01-2F11, 2001.
- <http://sees.tksc.nasda.go.jp>