

宇宙プラズマ環境を模擬した電子ビーム照射による衛星用ポリイミド熱制御材料の帯電特性

Electron-Beam-Induced Charging of Poly-imide Films

藤井 治久 [1]

Haruhisa Fujii[1]

[1] 奈良高専 電気

[1] none

1. はじめに

人工衛星の表面には、宇宙の熱真空環境から衛星内部の搭載機器を保護する目的で、熱制御材料が使用される。熱制御材料は、PI (poly imide) などの高分子フィルムの片面にアルミニウムなどの金属を蒸着したものであるため、これらの熱制御材料は宇宙環境に存在する電子、陽子などのプラズマ粒子により帯電し、特に静止軌道などの高々度を飛翔する衛星が地球の蝕に入った場合や地磁気嵐に遭遇した場合、電子の影響を大きく受けることが知られている。この帯電により宇宙機器・システムが種々の悪影響を受ける [1,2]。例えば、衛星本体からの推進剤などが静電的に付着して表面材料の特性劣化を引き起こしたり、放電を誘発し衛星の予期せぬ動作異常を生じさせたりする。したがって、この衛星表面材料の帯電機構を解明し、帯電抑制・防止技術を開発することが将来の衛星の信頼性向上、長寿命化に不可欠である。

ここでは、このような高々度の宇宙プラズマ環境中を飛翔する衛星が受ける電子流を模擬した電子ビームを高真空中で照射することにより、アルミニウム蒸着 PI の帯電特性を検討した。

2. 実験方法

直径 57mm 程度に切り出した裏面が金属蒸着された PI フィルムを試料台に取り付けた後、真空容器に納め真空引きを行なった。真空容器内圧力が 1×10^{-6} Torr 以下になった時点でエネルギー E およびビーム電流密度 J_b の電子ビームを試料に照射した。照射時間 T_i は全て 60 分とした。試料面でのビーム径は約 70mm であるが、試料台の内径が 50mm であるので、照射領域は 19.6cm² である。試料の表面電位 V_s は非接触表面電位計 (TREK 360HV 型) を用いて測定した。実験は全て室温 (20) で行なった。

3. 実験結果

図に PI フィルムの表面電位の電子ビーム電流密度依存性を示す。これは各 E、 J_b の条件で $T_i = 60$ min 間照射したときの到達表面電位である。表面電位は J_b の増加とともに高くなるが、次第に飽和の傾向を示す。この図より、表面電位 V_s を $V_s = J_b^n$ とすると、n 値は、 $n < 0.5$ となる。また、各種の厚さの PI フィルムを $E = 30$ keV で照射したときの帯電電位の J_b 依存性は、到達表面電位 V_s は J_b が大きくなると高くなるが、次第に飽和する傾向がある。この傾向は、膜厚が小さいほど低い J_b で生ずる。このような表面電位特性から、 $J_b = 0.2$ nA/cm² での到達表面電位を照射エネルギーの関数として求めると、表面電位は照射エネルギーに依存し、低エネルギー領域ではエネルギーとともに高くなるが、高エネルギー領域では逆に低下する。つまり、あるエネルギーでピークを持つということがわかる。また、膜厚が大きいほどそのピークは高エネルギー側にシフトする。

4. 実験結果の検討

エネルギー E の電子ビームを絶縁物に照射すると、入射電子はそのエネルギーによって決まる深さ分布をもって蓄積する。その深さは PI の場合、3.7 μ m@15keV、6.1 μ m@20keV、12.1 μ m@30keV、20 μ m@40keV である。表面から電子の入射する距離 x (照射領域) 内においては放射線誘起電導 (RIC: Radiation-Induced Conduction) が生じ抵抗率が低下する。一方、電子が侵入する距離 x よりも深い領域 (非照射領域) においては、照射領域に帯電した電位により電導電流が流れる。電導電流密度 J_1 は、表面から深さ x の位置に蓄積した電荷によって形成された電界 $V_s/(d - x)$ (d: 試料厚さ) と体積抵抗率 r とによって、

$$J_1 = 1/r \cdot V_s/(d - x)$$

と表される。PI は、この非照射領域で、電界強度が $\sim 3 \times 10^5$ V/cm 以上になると電界強度のほぼ 4 乗に比例して体積抵抗率 r が低下するので、電流密度が大きくなり帯電が抑制される。電子のエネルギー E が低い場合は x が小さく電界強度が高くなりにくい、E が高くなると逆に非照射領域の電界強度が高くなり、電流がリークしやすくなる。つまり、あるエネルギーで帯電電位にピークが存在することになると考えられる。したがって、同じ E、 J_b の条件では厚さの厚い方が、このピークになるエネルギーは高くなる。一方、13 μ mPI のように 30keV の電子ビームが照射されると電子の侵入深さ x と厚さ d がほぼ等しくなるので殆ど帯電しない。

5. まとめ

宇宙プラズマ環境を模擬した電子ビームを種々の条件で PI に照射した結果、表面電位を V_s 、ビーム電流を J_b とすると、

$$V_s = J_b^n, n < 0.5$$

なる関係が得られた。また、これらの特性は非照射領域の電界強度と体積抵抗率に基づく電導電流の大小によって説明される。

参考文献

[1] H.B.Garrett, Rev. Geophys. Space Phys., Vol.19 (1981) p.577

[2] 趙・藤井、日本航空宇宙学会誌、Vol.51 (2003) p.109

