[20027]

次世代衛星・航空機の高信頼化に資するプロトン照射衛星材料の

帯電物性に関する研究

Study of charge accumulation phenomena on proton irradiated materials for progressing of high reliability of next generation satellite and aircraft

三宅 弘晃 #.A), 榎 海星 A), 田中 康寬 A), Hiroaki Miyake ^{#,A)}, Kaisei Enoki ^{A)}, Yasuhiro Tanaka ^{A)} ^{A)} Tokyo City University

Abstract

It is necessary to evaluate the reliability of insulation materials used for high altitude equipment, such as e-plane, because the deterioration of the materials due to the radio-active rays is concerned. Such deterioration is related to the charge accumulation in the bulk of irradiated materials under DC stress. In this paper, we report the experimental results of space charge distribution in the proton irradiated dielectric material under DC stress and physicochemical analysis to evaluate the modification of molecular structure of proton irradiated materials for identifying the origin of charge accumulation and deterioration.

Keyword: radiation, proton, power electronics, insulation materials, space charge, physicochemical analysis

1. はじめに

近年、パワーエレクトロニクス機器の高性能化、 高信頼化に向けた研究が盛んに行われている。特に 高信頼化に関し、様々な環境下で使用されることか ら、例えば低気圧環境下における放電の発生、放射 線による材料劣化等が懸念される。そこで、本研究 では放射線、特に陽子線による絶縁材料の絶縁性能 の低下に注目し、パルス静電応力(pulsed electroacoustic: PEA)法を用いて、陽子線照射された 当該機器に使用される絶縁材料内の空間電荷分布測 定を行い、絶縁特性評価を行った。さらに、照射試 料において物理化学分析を行うことで、照射試料に おける分子構造の劣化変化の検討を行ったので、以 下に報告する。

2. 陽子線照射後の空間電荷分布測定

2.1 測定試料及び実験条件

測定試料として厚さ約 200 μm の板状に加工した PPSを用いた。陽子線照射は加速エネルギーを2 MeV、 照射電流密度を 0.3、30 nA/cm²、照射時間を 30 分と した。空間電荷分布測定は電界 20 kV/mm に相当す る直流電圧を 30 分印加し、5 秒間隔で印加 30 分、 短絡 30 分の計 60 分間行った。測定装置には当研究 室で開発をしたパルス静電応力法による空間電荷測 定装置を用いた^[1]。

2.2 実験結果及び考察

図 1(a)に未照射、(b)に 30 nA/cm²照射時の測定結果 を示す。同図(A)、(B)に空間電荷分布の経時変化、電 界分布をそれぞれ示す。陽子線は図中右側から照射 し、縦破線は照射陽子の計算飛程(45 μm)である^[2]。

同図(A)より、未照射試料において正負ホモ電荷の 注入が観測された。陽子線照射試料では、電圧印加 時の正負ホモ電荷の蓄積量が増加し、陽極からの注



Fig. 1. Space charge distributions measurement results on insulation materials irradiated by proton.



Fig. 2. Maximum electric field on each irradiation current density

[20027]

入ホモ電荷に関しては、試料厚さ方向照射面から58 μmの位置に蓄積ピークが観測された。この正電荷は 印加後にもそのほとんどが残留している。以上より、 陽子線照射により注入障壁の低下及び導電率の上昇 等が発生し飛程近傍では深いトラップが形成されて いると考えられる。また、陽子線照射により試料の 放射化も確認されたため、放射化によるγ線が陰極か らの注入負電荷量の増加に寄与したものと推察した。

図 2 に各照射電流密度における電圧印加時の最大 電界を示す。最大電界値は未照射、0.3 nA/cm²それぞ れ 24.1 kV/mm、24.9 kV/mm であった。また 30 nA/cm² の最大電界値は 26.7 kV/mm となり、印加電界の約 1.3 倍となった。これは、陽子線照射による分子構造の変 化、放射化、導電率上昇等の現象が複雑に依存したことに よって生じたと考えられる。そこでまずは陽子線照射が、 試料の構造変化について物理化学分析を実施し、検討を行 ったので次章にて説明を行う。

陽子線照射試料における物理化学分析 による組成変化の同定

3.1 測定試料及び実験条件

陽子線を照射した PPS における照射前後における 材料の分子構造変化について、XPS による分子構造 解析及び EDX による元素分析により実施した。ここ では特に酸化劣化の状況に注目し為、酸素との結合 を中心に分析を行った。用いた試料は 2 章で用いた ものと同様であり、測定試料の厚さは約 200 μm の板 状に加工した物である。陽子線照射は 2 MeV、0.3 ~ 30 nA/cm²、照射時間を 30 分とした。尚、EDX にお いては陽子線の計算飛程陽子線の計算飛程(45 μm) から照射面から 40 μm までの試料断面に対して実施 した。

3.2 実験結果及び考察

図3に XPS による未照射、照射試料における Cls スペクトルから、C-O 及び C=O 結合信号における C-O の存在比を求め、未照射試料の平均値により規格 化をし縦軸に示した。同図より、照射時においては 照射電流量に比例し C-O 結合の存在比が増加してい る傾向にある事が分かる。これより、陽子線照射に より、照射粒子数の増加に伴い酸化劣化^[3]を示す結 果となった。

図4に試料内陽子線照射領域断面のEDX分析結 果を示す。縦軸には各照射条件での酸素元素の存在 比を、未照射試料における平均値で規格化した値を 示している。同図より照射粒子数に対して有意差は 確認されなかった。これはバルク内の酸化度が図3 で得られたような試料表面での酸化と比較し小さく、 試料に対する酸化透過度が低いことを意味している 事が考えられる^[4]。

4. 結論

陽子線を照射した PPS において直流課電時の空間 電荷分布測定を行った結果、照射試料においては試 料内に陽極から注入する正電荷量が増加し、陽子線



Fig. 3 XPS analysis result on the sample surface. The C-O ratio calculated from the C_{1s} spectrum on each irradiated sample.



Fig. 4 EDX analysis result at the cross section from the irradiation surface to the penetration depth.

の飛程近傍において多量の正電荷蓄積が生じた。こ れらの電荷蓄積挙動の変化においては、試料の酸化 を原因と想定し、物理化学分析を実施した結果、試 料表面においては照射粒子量に応じ酸化度の増加傾 向が確認された。試料表面の酸化により電極からの 正孔の注入障壁が低下し、未照射試料と比較し電荷 注入が多くなった事が考えられる。また、試料内の 酸化度は未照射試料と比較し顕著な差が確認されな いことから、飛程近傍における正電荷蓄積に関して は酸化以外の捕獲中心が形成されたものと考えられ、 捕獲中心形成の原因については今後の課題である。

文 献

- H. Miyake and Y. Tanaka, "Space Charge Distribution in Polymethyl Methacrylate and Quartz Glass Irradiated by Protons", Sensor and Materials, Vol. 29, No. 8, pp. 1213-1222, 2017
- [2] J. F. Ziegler, J. P. Biersack and U. Littmark, "The Stopping and Range of Ions in Solids", Pergamon Press, New York, 1985.
- [3] 千葉 潮, 榎 海星, 三宅 弘晃, 田中 康寛, 第15回
 宇宙環境シンポジウム講演予稿集, JAXA-SP-18-009, ISSN: 2433-2232, 2018
- [4] 瀬口, マテリアルライフ, Vol.9, No.1, pp.20-27, 1997