

# 内容梗概

題目：衛星帯電防止電子エミッタフィルムの実用化に向けた  
動作性能改善および動作原理解析に関する研究

指導教員：豊田和弘

213D5009 濱田大毅

## ・はじめに

宇宙環境下の人工衛星は時に帯電による放電事故が発生する。衛星帯電防止電子エミッタフィルム(ELF)はそれを防ぐ、比較的軽量小型な受動素子として実用化への期待が高まっている。

## ・研究目的

本研究では ELF 動作の安定性および出力の性能改善の達成を目標として、異なる絶縁体層を持つ 5 種類の ELF サンプルについて、紫外線と電子線による 2 種類の帯電方法によって ELF の電界電子放出を発生させ、その動作出力の比較と評価を行うことが目的である。また、ELF 出力の安定性の改善を目標とした、電子放出中での三重接合点付近における微小範囲表面電位計測手法を確立し、実際にその表面電位の遷移を測定することを目的である。

## ・実験方法

ELF サンプルを搭載したアルミ基板を-3kV にバイアスし、真空中で紫外線・電子線照射を実施、表面電位と電界電子放出電流を計測する。光学試験では BSO 結晶を用いたサンプルを-3kV にバイアスした基板に乗せ、紫外線・電子線を照射した後にレーザーを用いて光の変調を確認した。

## ・結果及び結論

Fr サンプルに  $MgF_2$  コーティングを施したサンプル(M-Fr サンプル)では 112 分の紫外線照射で平均  $0.16\mu A$  の電子放出電流が 341 秒間持続した。この結果は  $MgF_2$  コーティング前と比較すると約 64 倍の電子放出時間となった。しかし M-Pi サンプルでは電界電子放出が発生しなかった。また CFRP サンプルにおいては、他サンプルより低い 50 V の表面帯電で電界電子放出が発生した。次に平均電子環境での電子線試験において M-Fr サンプルは 12 分の電子線照射で平均  $2.8\mu A$  の電子放出電流が 24.8 秒間持続し、最悪環境を模擬した電子線を照射した場合には 3 分の電子線照射で平均  $5.4\mu A$  の電子放出電流が 25.1 秒間持続した。

光学試験では模擬 ELF 上で電界電子放出を発生させることが出来ず、光量変調を観察することによる表面電位測定では振動によるズレ・回折格子によって、紫外線と電子線での帯電方法の差によるトリプルジャンクション付近での微小範囲帯電の推移の違いまで観察するまでの精度には至らなかった。それぞれの課題に対して改善案を考察した。

Research on improvement of operating performance and analysis of operating principles  
for practical use of satellite antistatic electron emitter film

Professor Supervisor : Kazuhiro Toyoda

213D5009 Daiki Hamada

• Introduction

Satellites in the space environment sometimes experience electrical discharge accidents due to charging. Satellite antistatic electron emitter films (ELFs) are expected to be a relatively lightweight and compact passive device that can prevent such accidents.

• Research Objectives

The objective of this study is to compare and evaluate the operating output of five different ELF samples with different insulator layers, in which ELF field electron emission is generated by two different charging methods, UV and electron beam, with the goal of improving the stability of ELF operation and output performance. The objective is also to establish a method for measuring the micro-range surface potential near the triple junction point during electron emission with the goal of improving the stability of ELF output, and to actually measure the surface potential transitions.

• Experimental Procedure

An aluminum substrate with an ELF sample is biased to -3kV, UV and electron beam irradiation is performed in vacuum, and the surface potential and field electron emission current are measured. In the optical test, a sample made of BSO crystal was placed on a substrate biased at -3kV, irradiated with UV and electron beams, and then a laser was used to check the modulation of light.

• Results and Conclusions

The Fr sample with MgF<sub>2</sub> coating (M-Fr sample) sustained an average electron emission current of 0.16  $\mu$ A for 341 seconds after 112 minutes of UV irradiation. This result is approximately 64 times longer than the electron emission time before MgF<sub>2</sub> coating. However, no field electron emission occurred in the M-Pi sample. In the CFRP sample, field electron emission occurred at a surface charge of 50 V, which is lower than the other samples. In the average electron environment test, the M-Fr sample showed an average electron emission current of 2.8  $\mu$ A for 24.8 seconds after 12 minutes of electron irradiation, and an average emission current of 5.4  $\mu$ A for 25.1 seconds after 3 minutes of electron irradiation in the worst case environment.

In the optical test, it was not possible to generate field electron emission on the simulated ELF, and the surface potential measurement by observing the light intensity modulation was not accurate enough to observe the difference in the transition of micro-range charging near the triple junction due to the difference in charging methods between UV and electron beam due to vibration-induced displacement and diffraction grating. The results were not accurate enough to observe the difference in the micro-range charging near the triple junction due to the difference between the UV and electron beam charging methods. We discussed improvement plans for each of these issues.

# 目次

1 章 序論	
1.1 はじめに	4
1.2 研究背景	5
1.3 研究動向	6
1.4 研究目的	7
1.5 本論文の構成	7
2 章 原理	
2.1 宇宙環境	8
2.2 衛星帯電と放電	8
2.3 紫外線による衛星の帯電と放電	10
2.4 ELF の電界電子放出	11
2.3.1 ELF の帯電と電界集中	11
2.3.2 ELF の動作原理：トンネル効果	11
2.3.3 ELF の電界電子放出による帯電緩和	12
2.4 ポッケルス効果	13
3 章 実験設備	
3.1 真空・負帯電環境構築機器	14
3.2 紫外線・電子線照射機器	17
3.3 表面電位測定・電子放出電流計測機器	19
3.4 光学測定機器	22
4 章 実験サンプル	
4.1 フッ素樹脂 ELF サンプル (Fr サンプル)	24
4.2 ポリイミド ELF サンプル (Pi サンプル)	24
4.3 MgF <sub>2</sub> コーティングフッ素樹脂 ELF サンプル (M-Fr サンプル)	25
4.4 MgF <sub>2</sub> コーティングポリイミド ELF サンプル (M-Pi サンプル)	25
4.5 CFRP サンプル	26
4.6 BSO 結晶の薄膜導体型模擬 ELF サンプル (FC-BSO サンプル)	27
5 章 実験手法	
5.1 サンプル帯電・放電観測試験	28
5.2 サンプル表面電位の光学測定試験	30

6章 実験結果	
6.1 紫外線環境におけるサンプル帯電・放電観測試験結果	31
6.1.1 紫外線試験：Fr サンプル	31
6.1.2 紫外線試験：Pi サンプル	31
6.1.3 紫外線試験：M-Fr サンプル	32
6.1.4 紫外線試験：M-Pi サンプル	34
6.1.5 紫外線試験：CFRP サンプル	35
6.2 紫外線環境におけるサンプル帯電・放電観測試験結果	37
6.2.1 電子線試験：Fr サンプル	37
6.2.2 電子線試験：Pi サンプル	37
6.2.3 電子線試験：M-Fr サンプル	38
6.2.4 電子線試験：M-Pi サンプル	41
6.2.5 電子線試験：CFRP サンプル	42
6.3 紫外線環境におけるサンプル表面電位の光学測定試験結果	45
6.4 電子線環境におけるサンプル表面電位の光学測定試験結果	46
7章 考察	
7.1 絶縁材料および $MgF_2$ コーティングによる動作性能の差異	49
7.1.1 紫外線試験における差異	50
7.1.2 電子線試験における差異	51
7.1.3 静止軌道環境における紫外線強度での ELF 帯電の推定	54
7.2 サンプルが電子放出閾値電圧を超えて帯電緩和する現象	55
7.3 BSO 結晶の光学測定における帯電の様子の解析	57
8章 結論	58
謝辞	59
参考文献	60

全文を希望の方は [cho.mengu801@mail.kyutech.jp](mailto:cho.mengu801@mail.kyutech.jp) までご連絡ください