

CubeSat を用いた民生部品の低地球軌道上における Total Ionizing Dose Effect の測定 と地上試験用装置の開発

Measurement of Total Ionizing Dose Effect on Low-Earth Orbit of Consumer Components Using CubeSat and
Development of board for Ground Test

学籍番号：213D5003

氏名：大星 旭弘

指導教員：趙 孟佑

1. 研究目的と背景

これまで、人工衛星には宇宙用の部品が称されてきた。しかし、宇宙用の部品は高価かつ、入手に時間がかかるなど、開発を遅延させる原因の1つとなってきた。そこで、低コストで誰でも手に入れることができる COTS (Commercial Off-The-Shelf) と呼ばれる民生品が特に超小型衛星で多く使用されてきた。しかし、民生品は宇宙での動作を保証されていない。そこで衛星で使用する前に宇宙環境を模擬して試験を行う必要がある。しかし、宇宙環境を正確に模擬して試験を行うことは難しく、加速試験を行わざるを得ないことも多いことから試験の正確性を検証することは重要である。

本研究では COTS に特に大きな影響を与えると考えられる放射線環境を取り上げ、中でも照射された放射線線量によって劣化が起こる TID 効果について地上で実施する TID 試験の正確性を検証する。

2. TMCR ミッション

TMCR ミッションは”Total ionizing dose Measurement of COTS and onboard Rad-hard components mission”の略であり、衛星に搭載した COTS の半導体デバイスに対して軌道で TID 試験を行うミッションである。

TMCR ミッションの目的は2つある。1つ目は、地上 TID 試験の正確性を検証すること。2つ目は、搭載した半導体デバイスの劣化具合から衛星に蓄積した放射線量を予測するシステムの検証である。

本研究では超小型衛星 BIRDS4 に搭載された TMCR ミッションから得られたデータを解析することで地上 TID 試験の正確性を検証した。

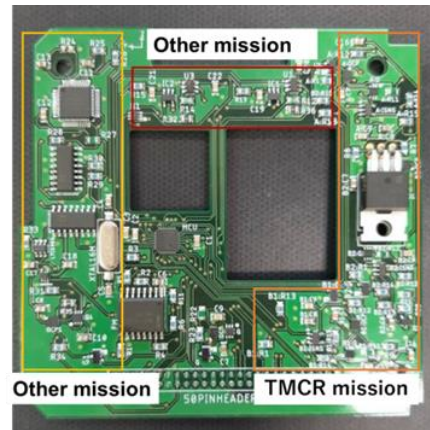


図 2-1 TMCR mission 基板

BIRDS4 で行った TMCR ミッションには図 2-2 に示すように放射線によって劣化しやすいデバイスとして IRF620 を 1 つ、劣化しにくいデバイスとして IRLML6402 を 2 つ搭載した。IRLML6402 はそれぞれ IRLML6402 (1)、IRLML6402 (2) と区別する。



IRF620	IRLML6402
	
N-CH MOSFET	P-CH MOSFET
Equipped with 1	Equipped with 2
Radiation tolerance Low	Radiation tolerance High

図 2-2 BIRDS4 での TMCR ミッションに搭載した半導体デバイス

3. 地上 TID 試験と軌道上での試験の比較

地上 TID 試験は産業医科大学アイソトープ研究センターで線源としてセシウム 137 を使用して行った。線量率は 36Gy/h (2022 年 12 月時点) である。IRF620 の地上 TID 試験結果と軌道上での TID 試験結果の比較を図 3-1 に示す。同様に IRLML6402 についても

図 3-2、図 3-3 に示す。

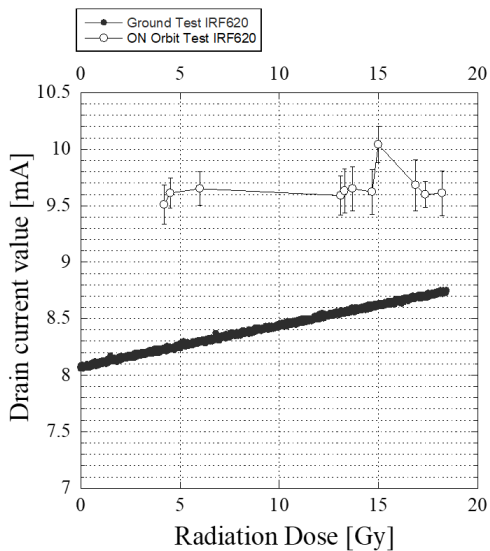


図 3-1 IRF620 の地上 TID 試験結果との軌道上での TID 試験結果の比較

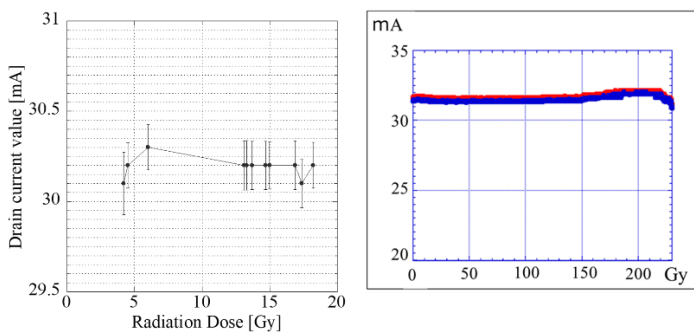


図 3-2 IRLML6402 (1) の地上 TID 試験結果と軌道上での TID 試験結果の比較

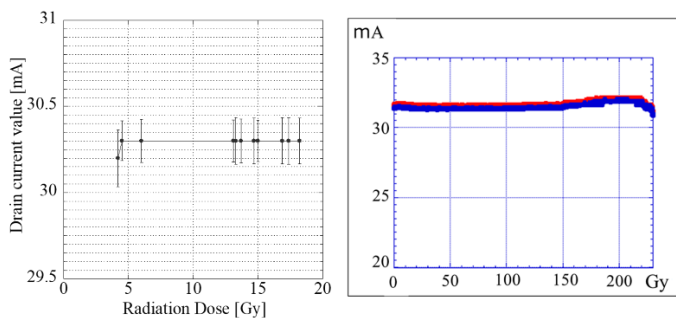


図 3-3 IRLML6402 (2) の地上 TID 試験結果と軌道上での TID 試験結果の比較

4. 考察

3 章より、IRLML6402 については地上、軌道上ともに同様の結果が得られたが IRF620 については異なった結果が得られた。これについてはデバイスの照射前の電流値の違いと地上と軌道上での試験条件の違いにあると考える。図 4-1 に地上 TID 試験で軌道上での TID 試験条件を模擬して行った試験結果を示す。

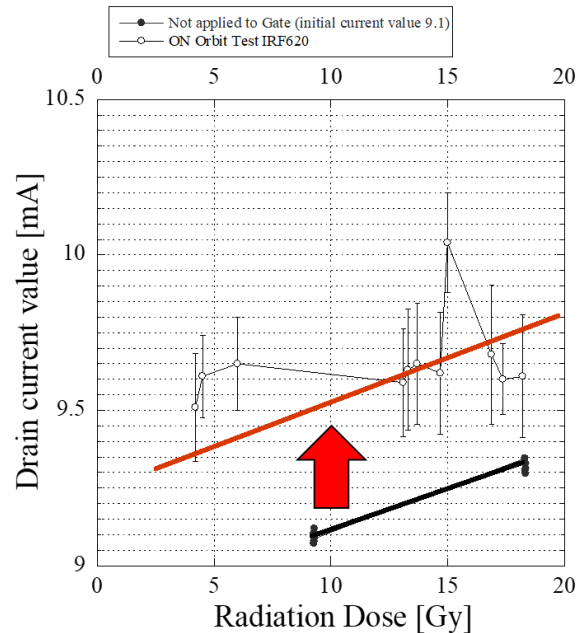


図 4-1 15 分ごとに 5 秒間電圧を印加した試験結果と、軌道上での TID 試験結果の比較

軌道上ではコマンドで指定した時間のみデバイスに印加しており、地上では常時印加していた。また、照射前のドレイン電流値もできるだけ軌道上での試験を行ったデバイスに近いものを選定して行った。比較するのは劣化傾向、つまり、変化する電流値の傾きである。赤線は、地上 TID 試験の照射前の電流値を軌道上での試験を行ったデバイスに合わせるために劣化の傾きを平行に移動させたものである。すると、軌道上での TID 試験結果の標準偏差内に、地上 TID 試験結果に赤線が収まり、地上と軌道上での劣化の違いは、試験条件の違いによるものと仮定できる。

5. 結論

軌道上での TID 試験結果と地上 TID 試験結果を比較することで、地上 TID 試験の正確性を検証したが、地上と軌道上で異なる試験結果を示したため地上 TID 試験が正確であると考えすることはできなかった。しかし、地上と軌道上での試験結果の違いを生み出す原因を仮定することができた。

6. 今後の課題

4 章の考察で仮定された原因をもとに修正し、新たな衛星で TMCR ミッションを行うことで地上での TID 試験の正確性を検証できると考える。

1. research objectives and background

Until now, space components have been used for satellites. However, space components are expensive and time-consuming to obtain, which has been one of the causes of development delays. Therefore, consumer products called COTS (Commercial Off-The-Shelf), which are low-cost and available to anyone, have been widely used, especially for nano-satellites. However, commercial off-the-shelf systems are not guaranteed to work in space. Therefore, they must be tested in a simulated space environment before being used in satellites. However, it is difficult to accurately simulate the space environment, and accelerated testing is often required.

This study focuses on the radiation environment, which is considered to have a particularly large impact on COTS, and examines the accuracy of TID tests conducted on the ground for the TID effect, in which degradation occurs depending on the irradiated radiation dose.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version)

2. TMCR mission

The MCR mission stands for "Total ionizing dose Measurement of COTS and onboard rad-hard components mission. The purpose of the TMCR mission is two-fold.

The purpose of the TMCR mission is two-fold: first, to verify the accuracy of the on-ground TID test, and second, to validate a system to predict the radiation dose accumulated in the satellite based on the degradation of the onboard semiconductor devices.

In this study, the accuracy of the ground TID test was verified by analyzing data obtained from the TMCR mission on board the microsatellite BIRDS4.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version)

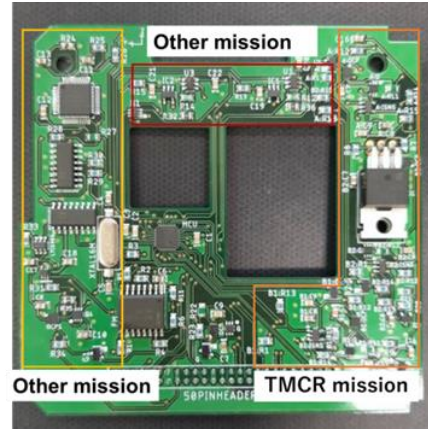


Fig.2-1 TMCR mission board

The TMCR mission performed in BIRDS4 was equipped with one IRF620 device, which is easily degraded by radiation, and two IRLML6402 devices, which are not easily degraded by radiation, as shown in Figure 2-2. IRLML6402 and IRLML6402 are distinguished as IRLML6402(1) and IRLML6402(2), respectively. are distinguished from the following.



IRF620	IRLML6402
	
N-CH MOSFET	P-CH MOSFET
Equipped with 1	Equipped with 2
Radiation tolerance Low	Radiation tolerance High

Fig.2-2 Semiconductor devices on board the TMCR mission in BIRDS4

3. Ground TID testing vs. On-orbit testing

The ground TID test was conducted at the Isotope Research Center of the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology using cesium-137 as the radiation source. The dose rate was 36 Gy/h (as of December 2022). Similarly, Figures 3-2 and 3-3 show the results for IRLML 6402.

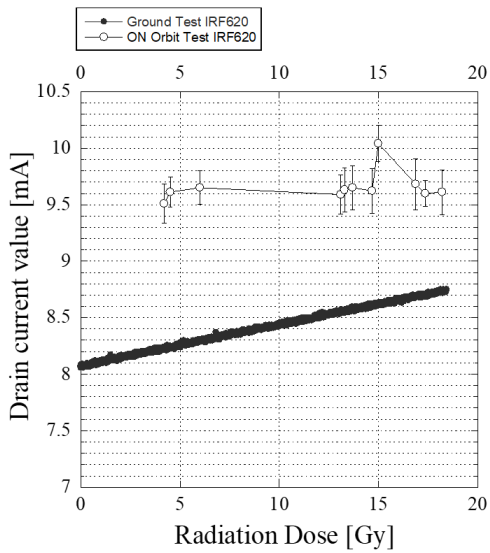


Fig.3-1 Comparison of on-orbit TID test results with IRF620 ground TID test results

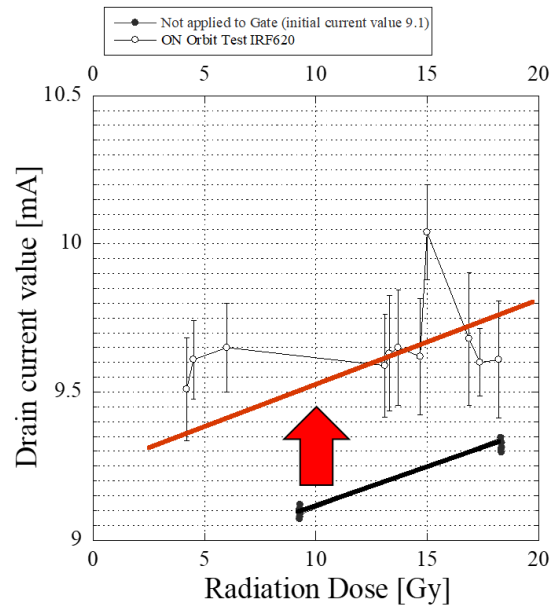


Fig.4-1 Comparison of test results of applying voltage for 5 seconds every 15 minutes and on-orbit TID test results

In orbit, the device was applied only for the time specified by the command, while on the ground it was applied constantly. The drain current values before irradiation were also selected to be as close as possible to those of the devices tested in orbit. The comparison is made in terms of the degradation trend, i.e., the slope of the changing current values. The red line shows the current values before irradiation in the ground TID test moved parallel to the slope of degradation to match the device tested on orbit. The red line then fits the ground TID test results within the standard deviation of the on-orbit TID test results, and it can be assumed that the difference in degradation between ground and on-orbit is due to differences in test conditions.

5. conclusion

The accuracy of the ground TID test was verified by comparing the on-orbit TID test results with the ground TID test results, but the ground TID test could not be considered accurate because it showed different test results on the ground and in orbit. However, we were able to hypothesize the cause of the difference between the ground and on-orbit test results.

6. future tasks

We believe that the accuracy of the TID test on the ground can be verified by modifying it based on the causes assumed in the discussion in Chapter 4 and conducting a TMCR mission with a new satellite.

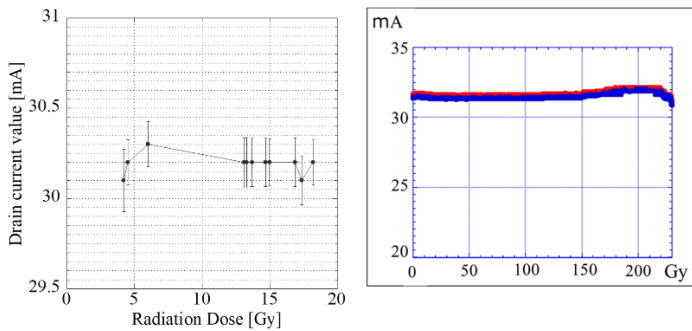


Fig.3-2 Comparison of IRLML 6402(1) ground TID test results with on-orbit TID test results

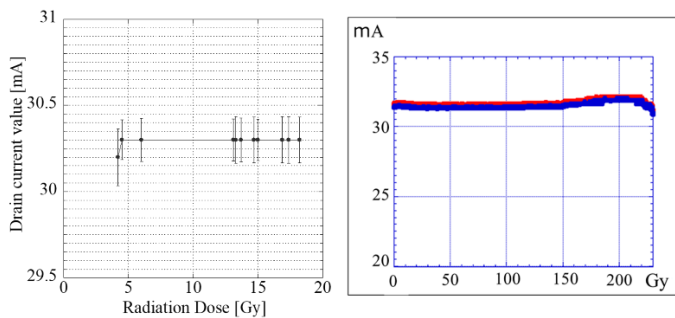


Fig.3-3 Comparison of IRLML 6402(2) ground TID test results with on-orbit TID test results

4. consideration

From Chapter 3, similar results were obtained for IRLML6402 both on the ground and in orbit, but different results were obtained for IRF620. This is due to the difference in the current value before irradiation of the device and the difference in the test conditions on the ground and in orbit. Figure 4-1 shows the results of the ground TID test simulating the on-orbit TID test conditions.

目次

第1章 序論

- 1.1 研究背景
- 1.2 宇宙放射線
 - 1.2.1 放射線について
 - 1.2.2 放射線による半導体への影響
 - 1.2.2.1 Total Ionizing Dose Effect
 - 1.2.3 宇宙放射線環境
- 1.3 超小型衛星搭載民生品データベース
- 1.4 BIRDS4 プロジェクト
- 1.5 先行研究
- 1.6 研究目的

第2章 研究手法

- 2.1 TMCR ミッション
- 2.2 地上 TID 試験
 - 2.2.1 試験設備
 - 2.2.1.1 九州大学加速器センター
 - 2.2.1.2 産業医科大学アイソトープ研究センター
 - 2.2.2 試験システム
 - 2.2.3 被試験デバイスの選定
 - 2.2.4 試験の手順
- 2.3 軌道上での TID 試験
 - 2.3.1 試験システム
 - 2.3.2 被試験デバイスの選定
 - 2.3.3 試験手順

第3章 試験結果

- 3.1 地上 TID 試験の結果
- 3.2 軌道上での TID 試験の結果

第4章 考察

- 4.1 IRLML6402 について、地上 TID 試験と軌道上での TID 試験の比較
- 4.2 IRF620 について、地上 TID 試験と軌道上での TID 試験の比較
 - 4.2.1 被試験デバイスに流れるドレイン電流値による劣化傾向の違い
 - 4.2.2 軌道上と同じ条件での地上 TID 試験

第5章 LEOPARD での新たな軌道上での TID 試験

- 5.1 試験の目的
- 5.2 被試験デバイスの選定
- 5.3 試験システム
- 5.4 試験手順
- 5.5 EM 基板を使用した地上 TID 試験結果
- 5.6 今後必要な要素と試験

- 第 6 章 結論
- 第 7 章 今後の課題
- 第 8 章 謝辞
- 第 9 章 参考文献
- 第 10 章 付録

全文を希望の方は cho.mengu801@mail.kyutech.jp までご連絡ください