

MDS-1(つばさ)搭載民生用メモリ素子の トータルドーズ効果に関する解析結果

新藤浩之, 池田直美, 飯出芳弥, 浅井弘彰, 久保山智司, 松田純夫 (宇宙航空研究開発機構)

Analysis Results of Total Ionization Dose Effects on COTS Memories by MDS-1

Hiroyuki Shindou, Naomi Ikeda, Yoshiya Iide, Hiroaki Asai,
Satoshi Kuboyama and Sumio Matsuda (JAXA)

Key Words: Tsubasa, MDS-1, CSD, Semiconductor Devices, Total Ionizing Dose, Single Event Effect

Abstract

This paper shows the analysis results of the Total Ionizing Dose (TID) Effects on COTS Memories by MDS-1 (Tsubasa) satellite. Seven types of commercial devices are installed and evaluated. The measurement result basically consists with the prediction from the ground test data in all devices. But, in DRAMs, the change of the electrical characteristic caused by TID effect surpasses the prediction. This result indicates that the criteria of the ground TID evaluation test should be carefully determined. These results will be reflected in the establishment of guideline for the ground test technique.

1. はじめに

ロケットや人工衛星等の宇宙機で使用される半導体デバイスは、宇宙空間に存在する放射線により誤動作や特性劣化、損傷を引き起こすことが知られている。一般に半導体デバイスを宇宙に適用する場合、加速器施設を利用した放射線照射試験を実施することでその耐性を評価し、目的とするミッションの軌道上での放射線環境予測結果とあわせて、エラー発生確率予測を行っている。

つばさ衛星に搭載されている民生用半導体部品実験装置 (Commercial Semiconductor Devices : CSD) では、現在地上で実施されている上記評価手法の妥当性を検証することを目的として、7品種の民生用半導体素子を搭載評価した。約1年半もの間、軌道上での放射線影響に関する世界的にも貴重なデータの取得に成功した。本論文では、このうちトータルドーズ効果に関する解析結果について述べる。

2. トータルドーズ(TID)効果

トータルドーズ効果 (Total Ionizing Dose (TID) Effect) とは、長時間放射線に曝されることによって生じる特性劣化現象の総称を意味する。半導体素子では、この影響が閾値電圧のシフトや電源

電流 (リーク電流) の増大、動作タイミングの変化等となって現れ、場合によっては素子の機能そのものに異常をきたすこともある。従って、半導体素子を宇宙空間等の放射線環境下で使用する場合は、トータルドーズ効果に対する耐性がどの程度であるのかを適切に評価・判断し、使用する部品を選定する必要がある。

実際にどの程度放射線を被爆したかを表す指標として一般的に用いられるのが吸収線量 (Absorbed Dose) と呼ばれる値である。単位はグレイ ([Gy], 対象物が Si の場合 [Gy(Si)] と表記) で、 $1[\text{Gy}] = 1[\text{J/kg}]$ に相当する。

3. CSD 搭載評価部品

CSD では Table 1 に示す DRAM 2 品種、SRAM 2 品種、EEPROM、FPGA、Flash Memory の計 7 品種について各 2 個搭載し、シングスイフトアップセット (SEU : 記憶情報の反転現象) およびシングスイフトラッチアップ (SEL : 過電流の発生) の発生時刻と軌道上での発生位置、発生アドレスをモニタしている。また同時に、各デバイスの電気的特性について同時に記録しており、トータルドーズ効果について評価することが可能である。

Table 1: Evaluation samples installed in CSD

Parts number	Device type	Package type etc.
μ PD4265800LE-A60 (DRAM1)	64Mbit DRAM	SOJ 32pin, CMOS 3.3V
HM5165805ATT-6 (DRAM2)	64Mbit DRAM	TSOP2 32pin, CMOS 3.3V
μ PD434008LE-25 (SRAM1)	4Mbit SRAM	SOJ 32pin, CMOS 5.0V
TC554001FTL-85 (SRAM2)	4Mbit SRAM	TSOP2 32pin, CMOS 5.0V
HN58C1001FPI-15 (EEPROM)	1Mbit EEPROM	SOP 32pin, CMOS 3.3V
TC58F401F-10 (Flash Memory)	4Mbit Flash Memory	SOP 44pin, CMOS 3.3V
A14100A-RQ208C (FPGA)	FPGA	RQFP 208pin, CMOS 3.3V

4. 地上評価試験結果

ここで、つばさ打上げ前に実施した CSD 搭載評価サンプルの TID 耐性評価試験結果について述べる。試験にあたっては日本原子力研究所高崎研究所の Co-60 γ 線照射施設を利用し、搭載サンプルと同一ロットのサンプル(各照射レベルにつき3サンプル評価)を用いて照射試験評価を実施した。照射試験結果を Table 2 に示す。DRAM に関しては 200[Gy]程度、SRAM 等の他のデバイスに関しては 100[Gy]程度の耐性を有していると判断された。これらのレベル以上の放射線照射を実施した場合、動作時電源電流(ID), スタンバイ電流(IS), 入力リーク電流(IIL,IIH)および一部の AC 特性に規格値オーバーが観測された。

Table 2: Ground irradiation test result

	Irradiation Level [Gy]	After irradiation	Spec out item in Δ
DRAM1	100	○○○	
	200	○○○	
	450	○○○	
DRAM2	100	○○○	
	200	○○○	
	450	○ Δ Δ	ID
SRAM1	100	○○○	
	200	×××	
SRAM2	100	○○○	
	200	×××	Is, AC
EEPROM	100	○○○	
	200	$\Delta\Delta\Delta$	Is, IIL
	450	×××	Is, IIL
Flash Memory	100	$\Delta\Delta\Delta$	IIH
	200	×××	Is, IIH
	450	×××	
FPGA	100	○○○	
	300	$\Delta\Delta\Delta$	Is

O: Pass, Δ : DC/AC test fail, ×: Function test fail
(Three samples were tested at each irradiation level.)

5. 軌道上取得データ解析結果および考察

次に軌道上で取得したデータの解析結果について述べる。まず、CSD に搭載された各評価サンプルがどの程度被爆したか、吸収線量計(DOS-S)を用いてモニタした結果を物理的な配置情報とあわせて Figure 1 に示す。コンポーネントの最も外側に配置され多量の放射線被爆が予測される DRAM1-2 に関しては、年間約 160[Gy], 他のデバイスに関しては若干のばらつきはあるが約 25~35[Gy]程度の被爆が観測された。これらの値は、コンポーネント形状(シールド条件)を考慮して算出した予測値とほぼ一致している。

次に、2002 年 2 月から 2003 年 9 月までの間の各評価サンプルの電気的特性値モニタ結果から導き出されたトータルドーズ耐性解析評価結果を Table 3 に示す。基本的には地上試験結果から導き出された予測結果を支持する結果が軌道上でも得られているといえる。ただし、DRAM に関しては 2 品種とも予測を大きく上回る特性値の変動が観測された。地上試験結果では、200[Gy]までは十分な耐性があると判断されたにもかかわらず、軌道上では数十[Gy]のオーダーの被爆で特性が大きく変動し、規格値オーバーとなっている(Figure 2-3)。この結果は、DRAM に関してはトータルドーズ以外の他の効果が陽子線被爆により発生し、特性劣化が促進された可能性もあることを示唆しており、今後の研究課題といえる。

6. まとめ

つばさ衛星 CSD ミッションにて得られたトータルドーズ効果に関する解析結果について報告した。軌道上で得られた結果は、現在用いられている地上評価試験手法に基づく予測を基本的に支持していることが判明した。ただし、陽子線に

よる影響評価に関しては、注意深く試験条件を設定し、適切な評価を実施する必要があるといえる。現在、本ミッションで得られた成果を基にメモリ系半導体素子の放射線耐性評価に関するガイドラインを取りまとめる作業を実施している。メモ

リ系以外の半導体素子も含め、体系的な成果を得るためには、今後も継続した実証機会が得られることが必要不可欠であるといえる。

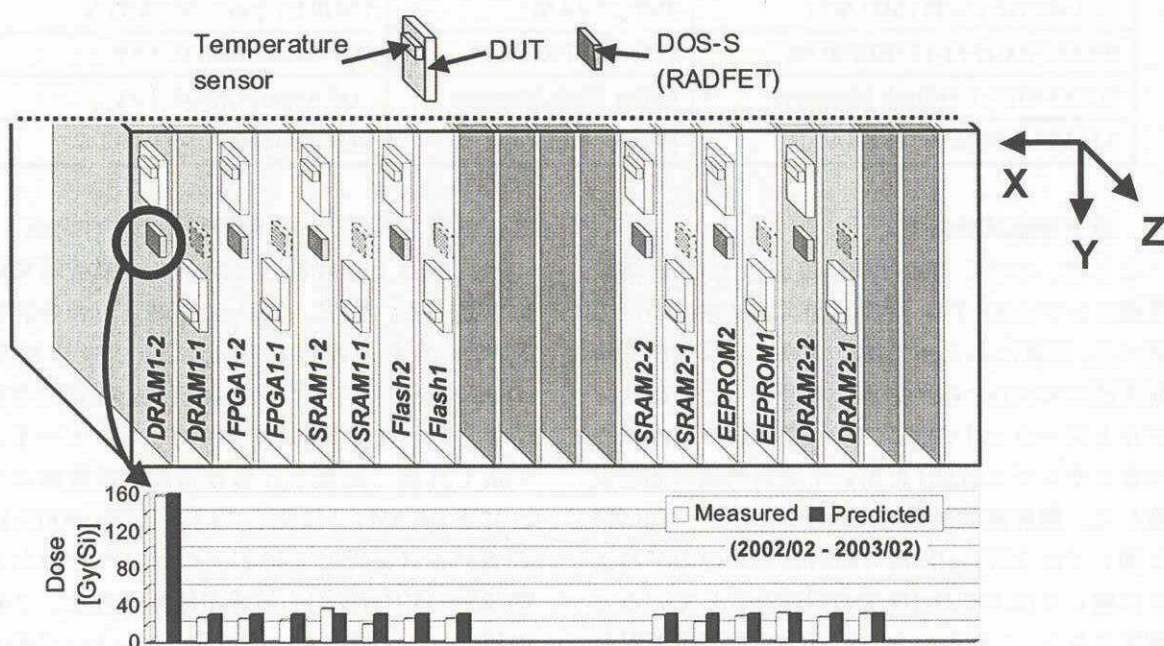


Figure 1: Layout of DUT boards in CSD, and dose monitoring result by DOS-S.

Table 3: TID evaluation result on orbit

Test sample	Total Dose* [Gy]	Monitoring result and Spec out item	Predicted result**
DRAM1-1	59.45	△ Is (@ >0.6[Gy])	○
1-2	362.91	△ Is (@ >53.2[Gy])	○
DRAM2-1	66.65	△ Is (@ >11.1[Gy])	○
2-2	60.25	△ Is (@ >53.3[Gy])	○
SRAM1-1	43.24	○	○
1-2	84.40	○	○
SRAM2-1	50.24	○	○
2-2	69.08	○	○
EEPROM-1	74.09	○	○
-2	65.08	○	○
Flash Mem. -1	57.92	○	○ or △
-2	59.45	○	○ or △
FPGA-1	52.56	○	○
-2	56.72	○	○

*Integrated value from 2002/02 to 2003/09

**Prediction from the ground test data and DOS-S monitoring result.

○: Pass, △: DC/AC characteristic fail, ×: Function fail

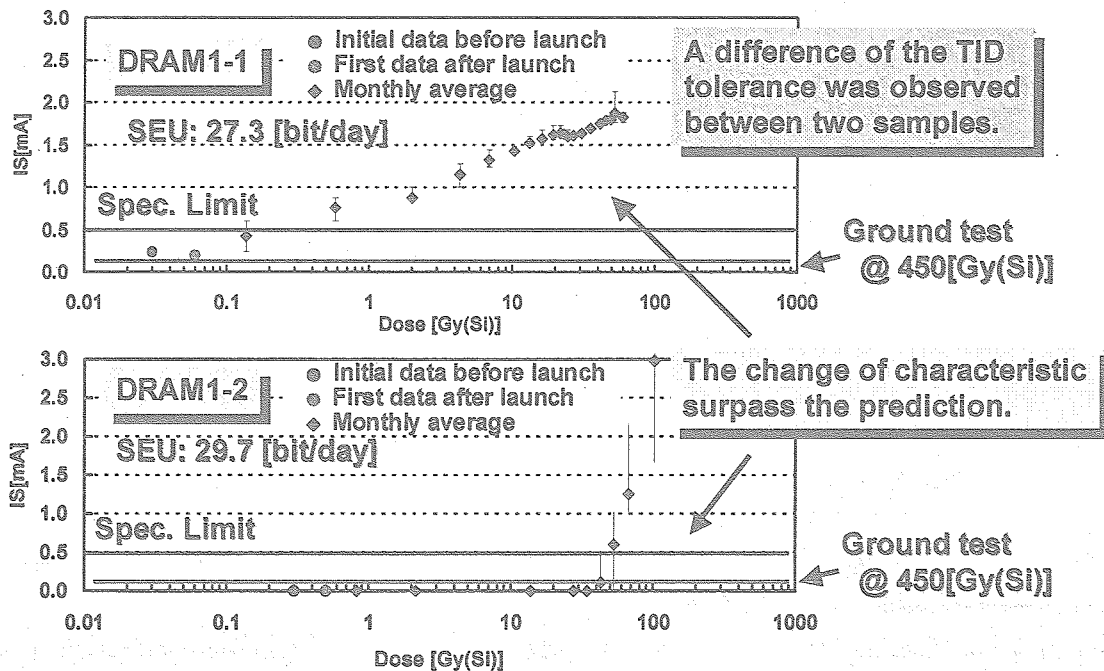


Figure 2: Monitoring data on orbit (DRAM1, Is)

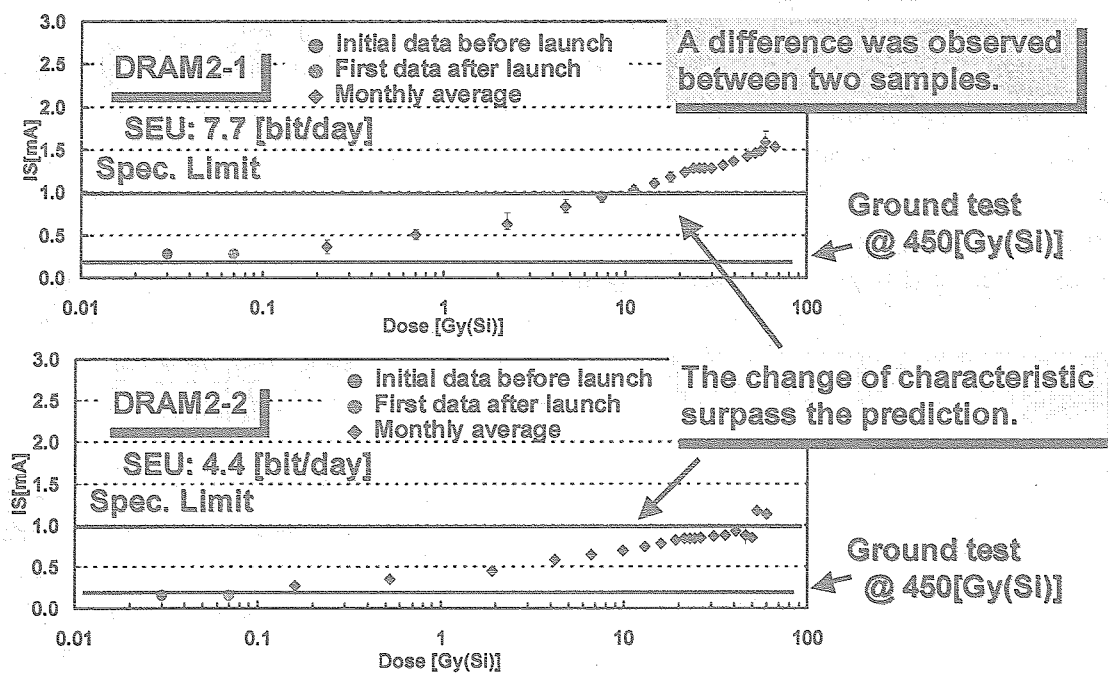


Figure 3: Monitoring data on orbit (DRAM2, Is)