

MDS-1(つばさ)搭載民生用メモリ素子の シングリイベント効果に関する解析結果

池田直美, 新藤浩之, 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 Single Event Effects on COTS Memories by MDS-1

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

Key Words: Tsubasa, MDS-1, CSD, Semiconductor Single Event Effect, SEU

Abstract

Seven kinds of COTS memories were installed in Commercial Semiconductor Devices (CSD) and their single event effects were observed. Single Event Upset (SEU) and Multi-Bit Upset (MBU) were observed in DRAMs and SRAMs, and no Single Event Latchup (SEL) was observed in all memories. The results showed that most of SEU and MBU was caused by protons in Van Allen belt, and that the number of MBU was considerably large to neglect. They also showed that some of the on-orbit data were not consistent with the results obtained from the ground test. This implies that the structure of recent memories have become too small to predict accurate SEU rate by present model.

1. はじめに

宇宙空間に存在する放射線は、ロケットや人工衛星等の宇宙機で使用する半導体デバイスに誤動作、特性劣化、損傷等の様々な悪影響をもたらす。宇宙機で半導体デバイスを使用する際には、これらの放射線による効果が機器の損傷や運用障害を引き起こすことがないようにデバイスを選定し、かつ評価する必要がある。

これまでの宇宙機には、耐放射線性を有する宇宙用の半導体デバイスが使用されてきた。しかし、宇宙用の半導体デバイスは入手性、価格、性能等の制約が多いため、近年は安価で高性能な民生部品の宇宙適用が検討されている。しかし、民生部品の放射線耐性は宇宙用部品に比べ低く、かつ放射線耐性の評価手法も確立されていないのが現状である。

つばさに搭載された民生用半導体部品実験装置 (Commercial Semiconductor Devices : CSD) は、地上における放射線耐性の評価手法の検証・確立を目的としたミッション機器であり、7品種の民生用半導体デバイスが搭載された。約1年半の間、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を取得した。本論文では、得られたデ

ータのシングリイベント効果に関する解析結果について述べる。

2. シングリイベント効果

シングリイベント効果とは、単発のイオンがデバイス中に入射して誤動作や損傷を引き起こすものである。メモリ素子の場合には、シングリイベントアップセット (Single Event Upset : SEU、記憶情報の反転)、及びシングリイベントラッチアップ (Single Event Latchup : SEL、過電流の発生) が問題となる。最近では、デバイスの内部構造の微細化により、単発イオンの入射によって複数の記憶情報が反転するマルチビットアップセット (Multi-Bit Upset : MBU) の発生も報告されている。

シングリイベント効果による影響を地上で評価するには、加速器施設にて放射線照射試験を実施してその耐性を確認し、その結果と宇宙機の軌道上での放射線環境予測結果とを合わせて、モデルを用いてエラー発生確率予測を行う。

3. CSD 搭載評価部品

CSD には Table 1 に示す DRAM 2 品種、SRAM

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

2 品種、EEPROM、FPGA、Flash Memory の計 7 品種について各 2 個ずつサンプルが搭載されており、各々のサンプルについて SEU、SEL の発生時刻と軌道上での発生位置、SEU 発生アドレスをデータとして取得した。同時に、各デバイスの電気的特性のデータも取得し、トータルドーズ効果の評価を実施した。

4. 軌道上取得データ解析結果

軌道上にて、DRAM2 品種及び SRAM2 品種において SEU が観測され、EEPROM、Flash Memory、FPGA においては SEU が観測されなかった。また、SEL はどのデバイスにおいても観測されなかった。

4. 1 SEU 解析結果

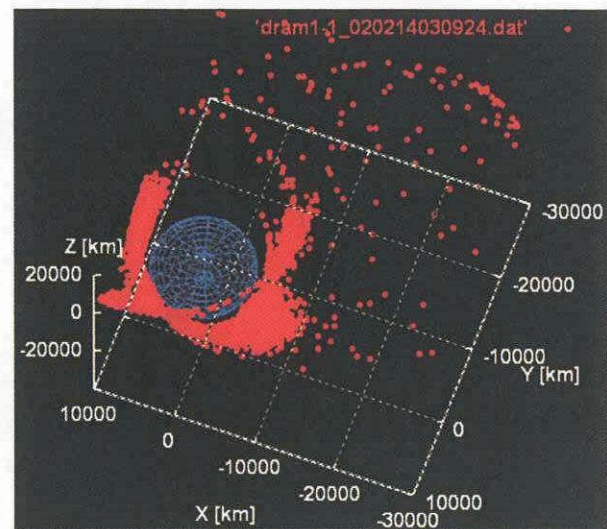
Figure 1 に、DRAM1 における SEU の軌道上の発生位置を示す。地球周辺の低軌道の位置で SEU が頻発していることがわかる。この領域には、陽子（プロトン）を多く含むバンアレン帯内帯が存在している。次に、SEU とその発生高度との関係を Figure 2 に示す。高度 3000km 付近に SEU の発生ピークが見られる。これはバンアレン帯内帯の高度に一致する。Figure 3 には、SEU の発生頻度と陽子のフルエンスとの関係を示した。SEU の発生頻度と陽子のフルエンスは非常によく一致している。

以上より、SEU の多くはバンアレン帯内帯に存在する陽子により引き起こされていることがわかった。

4. 2 MBU 解析結果

Figure 4 に、MBU 解析結果を示す。SEU が同時に複数観測されたものの発生アドレスを解析

することにより MBU を識別した。DRAM では、発生した SEU の 2 割程度以上が MBU として識別されており、デバイスの微細化が MBU の発生率を増加させていることがうかがえる。半導体デバイスの構造は更に微細化の方向に向かっており、今後 MBU の効果は無視できなくなると考えられる。



Inertial coordinate system

Figure 1: SEU position in orbit (DRAM1)

5. 軌道上データと地上試験データとの比較

軌道上実験に先立ち、加速器施設にて照射試験を行った。軌道上のサンプルと同じロットから製造したサンプルを用い、複数の重イオンの照射及び異なるエネルギーの陽子線照射を実施した。得られた結果から、フィッティング関数より特定したパラメータと軌道条件をモデルに入力し、重イオン、陽子それぞれについて SEU 発生確率を算出した。陽子については Bendel 2-parameter function と Weibull function の 2 つのフィッティン

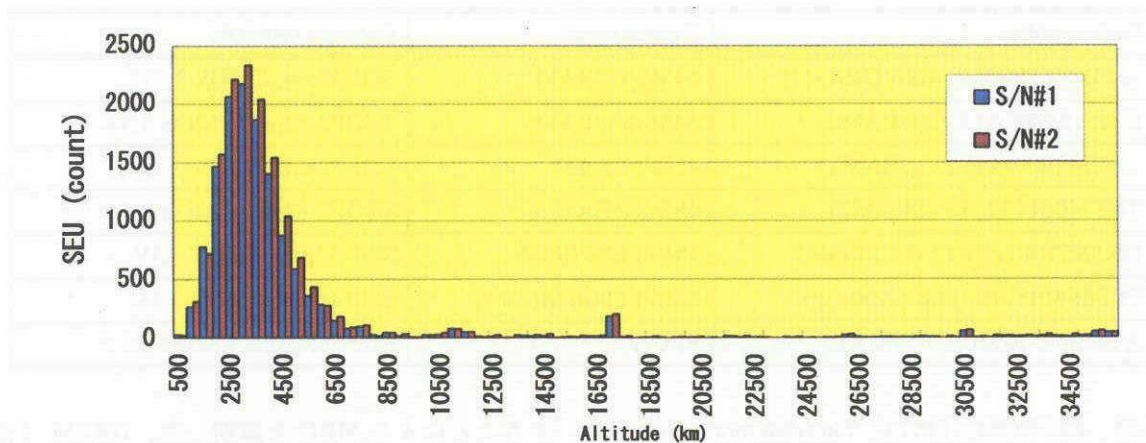


Figure 2: SEU and altitude (DRAM1)

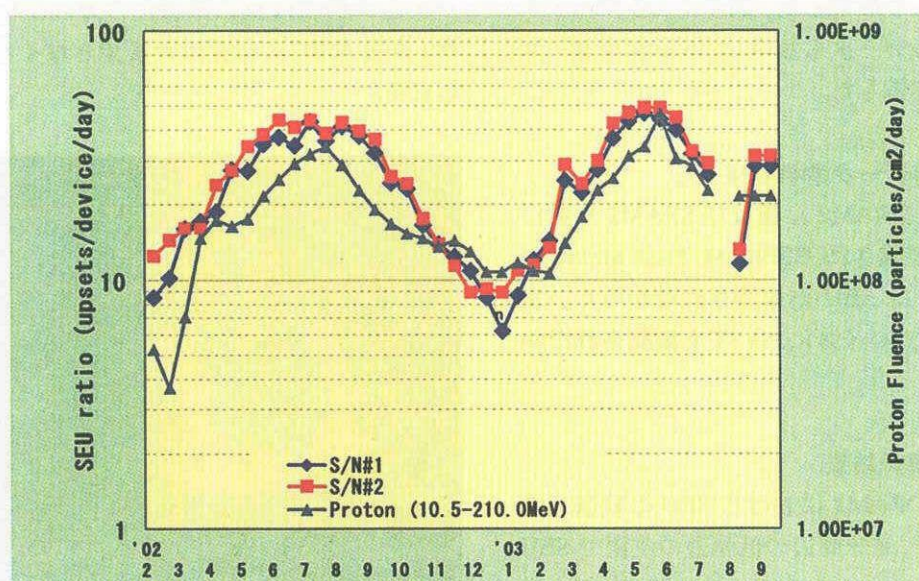


Figure 3: SEU and proton fluence (DRAM1)

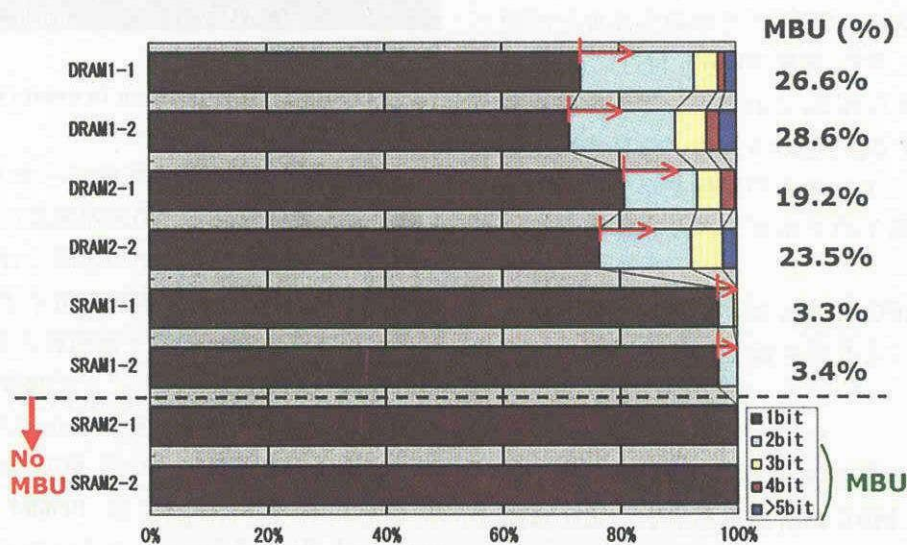


Figure 4: MBU rate

グ関数を用い、重イオンについては後者のみを用いてそれぞれ発生確率を計算した。軌道上の各デバイスの SEU 発生率と地上試験の結果から算出した SEU 発生確率を Table 2 に示す。Figure 5 には、陽子による SEU の発生確率について、軌道上データと地上試験による予測値との誤差を示した。

表及び図からは、軌道上のデータと地上試験による予測値がよく一致しているとは言いがたい。これは、近年のデバイス構造の微細化にモデルが対応しきれていないこと、及びモデルでは MBU が考慮に入られていないことが原因として考えられる。MBU の予測手法は現状確立されておらず、今後取り組むべき重要な課題である。

6. まとめ

CSD で取得したデータからシングルイベント効果に関する解析を行った結果、軌道上では陽子による SEU が支配的であること、デバイス構造の微細化により MBU が無視できないレベルに増加し、かつ従来のモデルによって SEU 発生確率を精度良く予測することが難しくなっていることがわかった。今回のミッションで得られた成果は、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作成に反映される予定である。

今後の課題としては、陽子による SEU 予測モデルの最適化、MBU 予測手法の開発、等が挙げられる。これらの課題に対処していくためにも、今後引き続いて軌道上実証の実施していくことが必要不可欠である。

Table 2: Comparison of observation data and ground data

Sample		Observation data (S/N #1, #2)	Predicted value [upsets/device/day]	
			Bendel	Weibull
DRAM1		21.7 (#1), 23.1 (#2)	9.3	35.8 (p), 2.1 (HI)
DRAM2		6.5 (#1), 3.8 (#2)	2.9	4.6 (p), 0.2 (HI)
SRAM1		4.6 (#1), 1.1 (#2)	1.1	3.1 (p), 3.5E-2 (HI)
SRAM2		0.093 (#1), 0.17 (#2)	0.22	0.8 (p), 5.6E-3 (HI)
EEPROM		0 (#1, #2)	-	0 (p, HI)
Flash Memory		0 (#1, #2)	-	0 (p, HI)
FPGA	C-mod.	0 (#1, #2)	-	0 (p, HI)
	S-mod.	0 (#1, #2)	-	6.5E-4 (HI)

p: proton, HI: heavy ion

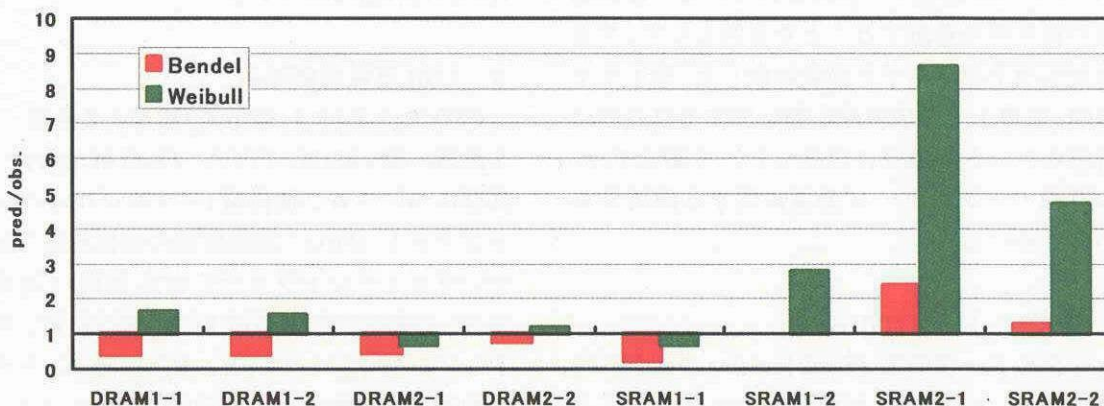


Figure 5: Ratio of predicted SEU rate to observed SEU rate