

宇宙用半導体素子の放射線照射効果 (VII)

Study of the radiation tolerance of semiconductor devices for the space (VII)

竹内 浩造¹⁾ 新藤 浩之¹⁾ 久保山 智司¹⁾ 武山 昭憲²⁾

Kozo TAKEUCHI Hiroyuki SHINDOU Satoshi KUBOYAMA Akinori TAKEYAMA

¹⁾宇宙航空研究開発機構 ²⁾量研

(概要)

衛星システムにおいて電力消費の爆発的な増加は深刻な問題となっている。現状のままでは、近い将来、消費電力の増加により衛星の太陽電池パドル・電池が肥大化してしまうなどの問題が指摘されている。この問題を解決する方法の一つとして、待機状態で完全に電源遮断を行う「ノーマリーオフコンピューティング」が提案されている。我々は宇宙において「ノーマリーオフコンピューティング」を実現するために、次世代不揮発性技術の宇宙適用性を検討している。本研究では、不揮発性技術の一つである原子スイッチメモリ及び FPGA を用い重粒子照射試験によりシングルイベント効果の一つであるシングルイベントアップセット(SEU)の反転断面積を推定した。

キーワード: 宇宙用部品、原子スイッチ

1. 目的

近年、モバイル IT 機器、クラウドコンピューティング、IoT(Internet of Thing, モノのインターネット)の普及とデータ処理量の増大により、国内の IT 機器の消費電力は爆発的に増加し、2025 年までに 5.2 倍になると予想されている(2006 年比)[1]。宇宙用機器も高性能化の要求を背景に地上用機器と同じ運命にあり、消費電力の爆発的な増加は避けられず、衛星の太陽電池パドル・電池が肥大化してしまうなどの問題が指摘されている。この問題を解決する方法の一つとして、待機状態で完全に電源遮断を行う「ノーマリーオフコンピューティング」[2]が提案されている。現状のメモリ・ロジック階層の技術を次世代不揮発性技術(例えば、MRAM(Magneto-resistive RAM), ReRAM(Resistive RAM), PCM(Phase Change Memory)など)に置き換えることが、要求を満たす効果的な方法であると考えられる。これらの不揮発性技術がなければ、地球上だけでなく軌道上においても消費電力の爆発的な増加は避けられないであろう。本研究では、これらの技術を宇宙で応用するための初期評価として原子スイッチ(Atom Switch)の放射線照射試験を行った。

2. 実施方法

原子スイッチは、電気化学的に Cu イオンの架橋の形成/消滅を制御するナノスケールオーダのスイッチで、Ru/PSE(Polymer solid electrolyte)/Cu サンドイッチ構造を有している。Cu 架橋の形成/消滅は、各デジタル状態に対応する低/高抵抗状態を引き起こすため、原子スイッチは ReRAM として分類される。ON/OFF 比が高く、相補型原子スイッチ(CAS, Complementary Atom Switch)[3-4]として FPGA のルーティングスイッチにも適用可能である。図 1 は、(a)対向し直列に接続された原子スイッチである CAS、(b)CAS ベースのメモリ、および(c)マルチプレクサの模式図を示しており、それぞれ FPGA の構成要素である。量研・高崎研 TIARA(Takasaki Ion Accelerators for Advanced Radiation Application)を用いて、原子スイッチ ROM と原子スイッチ FPGA のシングルイベント効果耐性を評価した。原子スイッチ ROM と原子スイッチ FPGA チップに Xe イオン照射を行った。Xe の LET は Si 表面で 68.9 [MeV/(mg/cm²)]であった(SRIM[5]による)。

3. 結果及び考察、今後の展開等

シングルイベントアップセット(SEU)は観測されなかった。照射前後でテストによる書き込み/検証を行った。原子スイッチセルの断面積は 1.5×10^{-11} [cm²]であり、ROM と FPGA それぞれの原子スイッチセルのどこかに 19 発もしくは 122 発重粒子が当たる計算になる。SEU 断面積は、粒子フルエンスと原子スイッチ搭載ビット数により計算される。図 2 に Xe イオン照射によって推定される SEU 断面積とインハウスでの Cf-252 自発核分裂片照射による結果と合わせて示した。図 2 中下矢印は、断面積がその値以下であることを示す。

SEU 断面積はセル断面積よりも十分小さい値であると推定され、また、セルの状態 (ON/OFF) や電圧印加条件によらないことが明らかになった。

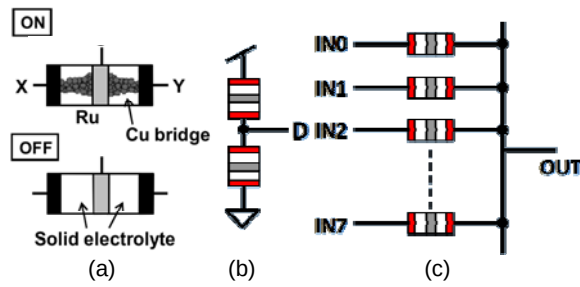


図 1 (a)CAS、(b)CAS メモリ、
(c)CAS マルチプレクサの模式図

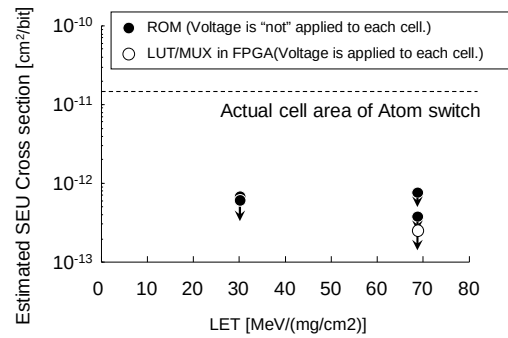


図 2 原子スイッチのセル断面積と推定 SEU 断面積

4. 引用(参照)文献等

- [1]Report by Green IT promotion Committee, METI , 2008
- [2]K. Ando, "Non-volatile magnetic memory", FED Journal, vol. 12, no. 4 pp. 89-95, 2001
- [3]M. Miyamura et al., 15th Int' l Symp. Qual. Electron. Des., pp. 330-334, Mar. 2014
- [4]M. Miyamura et al., FPGA conference, pp. 236-239, 2015
- [5]<http://www.srim.org/>