

半導体メモリデバイスのミュオン誘起ソフトウェア Muon-induced Soft Errors in Semiconductor Memory Devices

渡辺幸信¹、真鍋征也¹、廖望²、橋本昌宜²、安部晋一郎³、
濱田幸司⁴、反保元伸⁴、三宅康博⁴

1 九大、2 阪大、3 JAEA、4 KEK

今日の高度情報化社会は、情報通信技術 (ICT) を用いて生み出される多くの高性能・多機能な電子機器によって支えられており、これらに不具合が生じた場合、甚大な被害が引き起こされる恐れがある。そのため、機器の性能向上に加えて、安心・安全の観点から信頼性の確保が重要となる。近年注目されている電子機器の不具合の原因の一つにソフトウェア[1]と呼ばれる現象がある。ソフトウェアとは電子機器が放射線 (宇宙線) に曝された際に生じる一過性の誤動作や故障のことであり、機器搭載の半導体デバイス内に保持されているデータが放射線により誘起された過渡電流により書き換わることで発生する。宇宙線起因ソフトウェアは宇宙線とメモリデバイスとの相互作用により付与された電荷により偽の電氣的パルスが発生し、メモリ情報 (論理) が反転するシングルイベントアップセット (SEU) 現象に起因することが知られている。

地上における宇宙線の内、主要な成分はミュオン (約 3/4) である。半導体デバイスの微細化・低消費電力化が進むにつれ、半導体デバイスの放射線耐性は低下しており、従来懸念されてきた宇宙線中性子ばかりでなく、宇宙線ミュオンに起因するソフトウェア発生の可能性が指摘され始めている。

そこで、本研究では、J-PARC MLF の MUSE 施設において世界最高強度の正・負ミュオンビームを用いた半導体デバイスの照射実験を行った。実験では、バルクと SOTB 構造の2種類の 65-nm 設計ルール SRAM に低エネルギーミュオン (34~44 MeV/c) を照射し、入射運動量やデバイス印加電圧を変えて、SEU 発生率を測定した。その結果、ミュオンがデバイスの有感領域内に停止する入射運動量領域で、負ミュオンの方が正ミュオンに比べて SEU 発生率が高くなることを実験的に初めて観測することに成功した。PHITS コード[2]を用いたミュオン挙動シミュレーション結果との比較等を通じて、両者の差は、停止位置での負ミュオン捕獲反応により発生する二次軽イオン (陽子やヘリウム) と反跳核による局所的な電荷付与が、ミュオン自身の直接電離による電荷付与に比べて十分大きいことに起因していることを明らかにした。

[1] 例えば、J.L. Austran and D. Munteanu, “Soft Errors”, CRC Press (2015)

[2] T. Sato et al., J. Nucl. Sci. Technol. 50:9, 913-923 (2013).