

半導体メモリ SRAM における中性子・ミュオン起因 ソフトウェア Neutron- and Muon-Induced Soft Errors in SRAMs

加藤貴志¹、反保元伸²、竹下聡史²、田中浩基³、松山英也¹、
橋本昌宜⁴、三宅康博²

1 株式会社ソシオネクスト、2 高エネルギー加速器研究機構、
3 京都大学、4 大阪大学

IoT や AI あるいは自動運転といった高度な情報技術を支える半導体デバイスにおいて、その信頼性は極めて重要である。この信頼性を脅かす問題の一つに、環境放射線により誤動作が引き起こされるソフトウェアが知られている。これは、放射線の電離作用によって半導体デバイスに電荷が付与され、意図せず電子情報が書き換わってしまう現象である。

半導体デバイスは、微細化を中心とした技術進歩によりその性能が向上する一方、放射線耐性の低下が危惧されている。従来、地上環境においてソフトウェアを引き起こす環境放射線として、二次宇宙線に含まれる中性子が主要因と認識されてきた。一方、微細化が進んだ半導体デバイスでは、同じく二次宇宙線に含まれるミュオンが引き起こすソフトウェアへの懸念が高まっている。特に、地上環境のミュオンは、二次宇宙線の約 3/4 を占める数の多い粒子であり、半導体デバイスの信頼性に対する大きな脅威となる可能性がある。

近年、65nm 世代の半導体メモリ SRAM に対するミュオン照射実験が実施され、正ミュオンに比べて負ミュオンのソフトウェア発生率が高く、この原因は負ミュオン捕獲反応であることが示された[1], [2]。しかしながら、先端の半導体デバイスにおけるミュオン起因ソフトウェアの理解のためには、より微細なデバイスにおける調査が必要である。同時に、中性子起因ソフトウェアとの差異を把握することは、対策技術を検討する上でも有意義であろう。

本研究では、トランジスタ構造の異なる 20nm, 12nm の 2 世代の SRAM に対し、MLF MUSE においてミュオン照射実験を実施した。その結果、両者間でソフトウェア発生率に大きな差が確認された。また、同じ SRAM について、大阪大学核物理研究センターにて高エネルギー中性子照射実験、京都大学研究用原子炉にて熱中性子照射実験を行った。これらの実験結果に基づき、ミュオン起因ソフトウェアと中性子起因ソフトウェアを比較した結果、電源電圧依存性や複数ビットエラー発生傾向の違いがあることが分かった。本講演では、これらの結果および考察について述べる。

[1] W. Liao et. al, IEEE Trans. Nucl. Sci. **65**, 1734 (2018).

[2] S. Manabe et. al, IEEE Trans. Nucl. Sci. **65**, 1742 (2018).