

宇宙線ミュオン起因半導体ソフトエラー率の評価に向けた取り組み

九州大学大学院総合理工学研究院

渡辺 幸信

Society5.0 が描く未来社会では、IoT で全ての人とモノがつながり、ロボットや自動運転などの先端技術が社会実装され、より快適な生活を享受できるようになると言われています。現在でも高性能・多機能な電子機器やコンピュータが多用されており、これらの機器の誤動作に伴う社会的・人的なリスクが常に内包されています。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ります。近年注目されている電子機器の誤動作原因の一つに ソフトエラーと呼ばれる現象があります。ソフトエラーとは電子機器に搭載されている半導体デバイスが放射線（宇宙線）に曝された際に生じる一過性の誤動作（図1参照）のことです。宇宙線は絶えず地上に降り注いでおり、その主要な成分（荷電粒子の約75%）はミュオンです。

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、従来から懸念されて対策が進んでいる宇宙線中性子ばかりでなく、宇宙線ミュオンによるソフトエラー発生の可能性も指摘され始めています。2010年代前半に正ミュオン照射試験の報告が数例あるだけで、負ミュオン照射試験の報告はありませんでした。そこで、九大、阪大、JAEA、KEK、J-PARC センターからなる研究チームを立ち上げ、J-PARC MLF 内のミュオン実験施設 MUSE にて、正および負ミュオンビームを用いて、半導体 デバイスの照射試験を行いました[1,2]。本試験では、65nm 設計ルール 12Mbit SRAM に低エネルギーミュオン（運動量 34~44MeV/c）を照射し、入射運動量やデバイス印加電圧を変えて、メモリセルのビット反転発生確率を測定しました。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ビット反転発生率が高くなることを実験的に初めて観測できました[1,2]。この両者の差は、粒子・重イオン輸送計算コード PHITS を用いたシミュレーション結果との比較から、負ミュオン原子核捕獲反応で発生する二次荷電粒子（水素・ヘリウムイオンや反跳重イオン）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十分大きいために生ずることを見出しました。

宇宙線による半導体デバイスの誤動作は確率的に稀にしか起こらない現象ですが、IoT の普及とともに膨大な数の半導体デバイスの使用が見込まれるため、今後、発生数の増加が懸念されています。当研究チームは、宇宙線ミュオン起因ソフトエラー発生機構の詳細をさらに解明し、ソフトエラー率評価のための基盤技術確立のための研究を展開しています。本講演では、その現状について報告いたします。

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

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

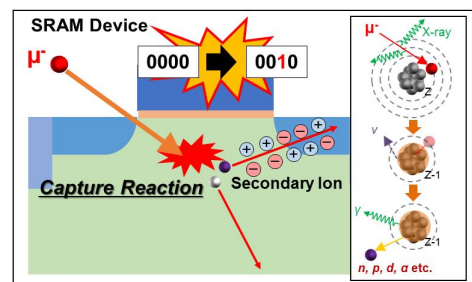


図1 負ミュオン誘起ソフトエラー発生