

## 令和 4 年度 (2022) 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：地下実験室における半導体デバイスのソフトエラー発生率の評価 英文：Soft-error-rate estimation for semiconductor device at underground laboratory
研究代表者	中野貴志 (大阪大学核物理研究センター)
参加研究者	梅原さおり (大阪大学核物理研究センター) 鳥羽忠信 (大阪大学核物理研究センター) 新保健一 (大阪大学核物理研究センター) 上藁巧 (大阪大学核物理研究センター) 井辻宏章 (大阪大学核物理研究センター)
研究成果概要	<p>本研究では、電子回路の安定性に影響を与えるソフトエラーについて、その主原因が宇宙線起源の放射線かそれ以外か、を調査することを目的とする。そのために、宇宙線量の少ない地下実験室でのソフトエラー発生率を測定する。</p> <p>近年、半導体デバイスを用いた電子回路の安定性・信頼性は、環境放射線によるソフトエラー発生率に大きく依存する。ソフトエラーとは、メモリやロジック回路に起こる一時的な誤作動で、これは、放射線が半導体デバイスに入射することで起こる。このソフトエラーは、ハードエラーとは異なり、デバイスの再起動やデータの上書きによって回復してしまう故障である。そのため、症状の再現が難しく、これがソフトエラーの対処の難しさの原因となっている。したがって、どの種類の環境放射線がソフトエラーの主原因かを調べ、その対処法を確立することは重要である。しかし、地上においては、環境放射線は、宇宙線起源・大気中の放射性核種・物質中の放射性核種、と多種にわたり、どれがソフトエラーの主原因かを調べることは困難である。本研究では、環境放射線の一つである宇宙線量 (ミュー粒子、および、高エネルギー中性子) が少ない神岡宇宙素粒子研究施設にてソフトエラー率を調査することで、ソフトエラーの原因調査を行う。</p> <p>2021 年度までの実験で、神岡施設において、デバイス (過去実験 SRAM) を用いたソフトエラー率の測定を行ったところ、地下実験室における中性子によるソフトエラーから予想されるよりも多いソフトエラーが発生した。発生したソフトエラーのうち、<math>\alpha</math></p>

線から想定されるソフトウェアエラーが 48%、原因不明のソフトウェアエラーが 52%発生していることが分かった。この 52%のソフトウェアエラーの原因として、1) 実験系 (FPGA、マイコン、ネットワーク) の不具合、2) デバイス (過去実験 SRAM) 特有の問題の可能性、の二つが考えられる。そのためこれらの影響がどの程度あるかを見積もる測定を行った。まず、1) 実験系 (FPGA、マイコン、ネットワーク) の不具合があるかを調べるために、放射線耐性が非常に高いデバイス (SRAM-A) を用いて測定を行った。また並行して、2) デバイス (過去実験 SRAM) 特有の不具合があるかを調べるために、 $\alpha$  線起因ソフトウェアエラー率の低いデバイス (SRAM-B) を用いて測定を行った。実験セットアップは、図 1 に示す。

図 2 は、本セットアップを用いて 1 年間のエラー発生率測定を行った結果を示している。結果、超高耐性デバイス (SRAM-A) は、想定通りエラーが発生せず、 $\alpha$  線耐性の高いデバイス (SRAM-B) は、環境中性子量・ $\alpha$  線量と中性子・ $\alpha$  線に対する耐性から想定される 5 倍のエラーが発生した。まず、SRAM-A の測定結果から、実験系制御デバイスに対する不具合がないことを確認できた。また、SRAM-B の測定結果から、過去実験 SRAM で発生するソフトウェアエラーは、過去実験 SRAM 固有の問題ではないことが分かった。また、これらの結果から、環境 $\alpha$  線・環境中性子以外のエラー要因がありそうだとわかったため、今後要因を検討していく予定である。

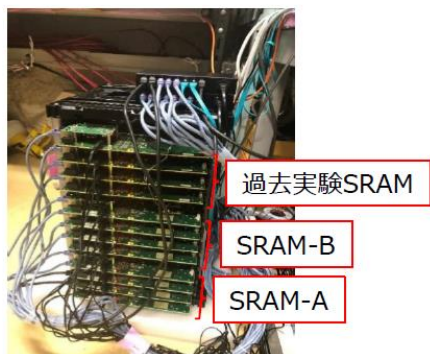


図 1 : 3 種の SRAM のソフトウェアエラー発生率測定の実験の様子。3 種の SRAM のソフトウェアエラーを同時に測定した。

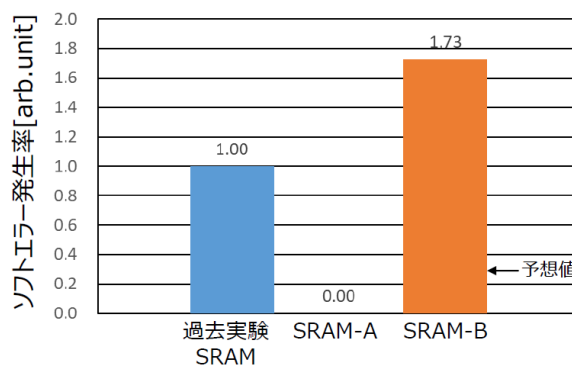


図 2 : 測定した 3 種の SRAM のソフトウェアエラー率を示す。超高耐性デバイス (SRAM-A) は、想定通りエラーが発生しないことを確認した。一方、 $\alpha$  線耐性の高いデバイス (SRAM-B) は、中性子+ $\alpha$  線耐性から想定される 5 倍のエラーが発生した。