

## 2019 (令和元) 年度 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、長崎文彦、荻原政男、小柳隆行、東亮太、鳥羽忠信、新保健一、上菌巧、井辻宏章（大阪大学核物理研究センター）

### 研究成果概要

本研究では、電子回路の安定性・信頼性に影響を与える高集積回路のソフトエラー発生率の評価を、地下実験室で行うことを目的とする。

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。

本研究では、半導体デバイスを用いたソフトエラー発生が、中性子、 $\mu$ 粒子、 $\alpha$ 線のどの環境放射線によるかを、中性子、 $\mu$ 粒子が少ない神岡宇宙素粒子研究施設にて調査する。このソフトエラー率の評価は、多数の半導体デバイスを神岡宇宙素粒子研究施設に設置し、発生するソフトエラー発生をモニターすることで行う。そのために、本年度は下記1)～4)を行い、さらに来年度の測定に向けた準備を進めた。それぞれについて下記に示す。

1) 半導体デバイス 1200 個を搭載したソフトエラーモニタリング実験装置を作成：半導体デバイス 1200 個を搭載したソフトエラーモニタリング実験装置を作成した。これは、地上実験室において、ソフトエラーモニタリングに実績のある装置（3 か月で 30-40 エラーイベントを観測できる装置）である。

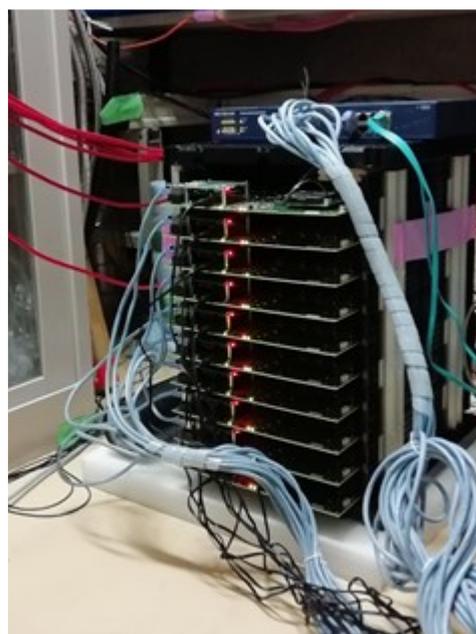


図 1: 実験室 D に設置したソフトエラー発生率評価装置。データはノートパソコンで収集し、ネットワーク経由で、神岡施設外から回収される。

2) ソフトエラー実験装置を神岡施設に設置：上記ソフトエラー実験装置を神岡施設実験室 D に設置し、ネットワーク経由でデータ回収できることを確認した。図 1 は、設置したソフトエラーモニタリング実験装置を示している。

120 個の半導体デバイスを搭載したボードを 10 枚使用することで、1200 個の半導体デバイスを用いた装置となっている。

3) 長期ソフトエラーモニタリング

：半年のソフトエラーモニタリングデータを収集した。モニタリングの様子（一部期間）を図 2 に示す。現在、得られたソフトエラー発生数のデータから、ソフトエラーのタイプを解析し、ソフトエラー発生率の評価を進めている。

4) 放射性不純物によるソフトエラー発生率の評価：放射性不純物によるソフトエラー発生率の評価を進めるために、使用している半導体デバイスの放射性不純物量を、Ge 半導体検出器を用いて測定した。結果、放射性不純物量として、ウラン系列( $^{226}\text{Ra}$  以下)：<math>1.1 \text{ (mBq/16 サンプル)}</math>、トリウム系列( $^{228}\text{Th}$  以下)：<math>0.8 \pm 0.5 \text{ (mBq/16 サンプル)}</math>、を得た。得られた値は、2019 年度に得られたデータの宇宙線起源のソフトエラー発生率を評価する際に用いられる。

また、2020 年度に神岡に設置予定の半導体デバイスの準備を進めた。本半導体デバイス (図 3) は、2019 年度に神岡施設に設置した半導体デバイスと比較すると、 $\alpha$  線に対するソフトエラー断面積が 1 桁以上低いという特徴があり、 $\alpha$  線の影響を相対的に低減されると期待できる。本デバイスを用いたソフトエラー実験装置の作成と基本動作確認を完了し、地上実験室においてソフトエラー率の長期継続測定を開始した。これまでのところ、ソフトエラー事象を複数回観測できており長期運用にも問題ないことを確認できた。今後、地上実験室での実験時間を積み上げた後、神岡施設に持ち込み、地下実験室におけるソフトエラー発生率測定を開始する予定である。

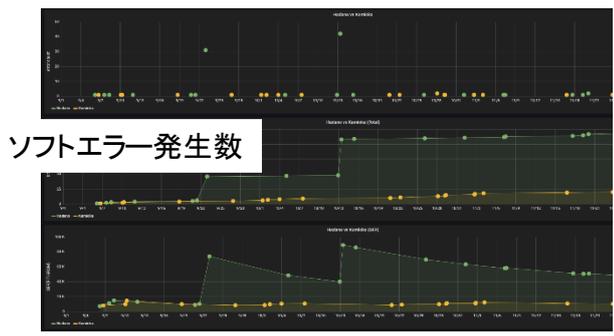


図 2：ソフトエラー発生モニタ状況。安定したデータ収集が行えている。現在、ソフトエラー発生数から発生率を評価するため、各種解析を進めている。



図 3：地上実験室で測定中のソフトエラー率評価装置。