

# 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

2023/2/22

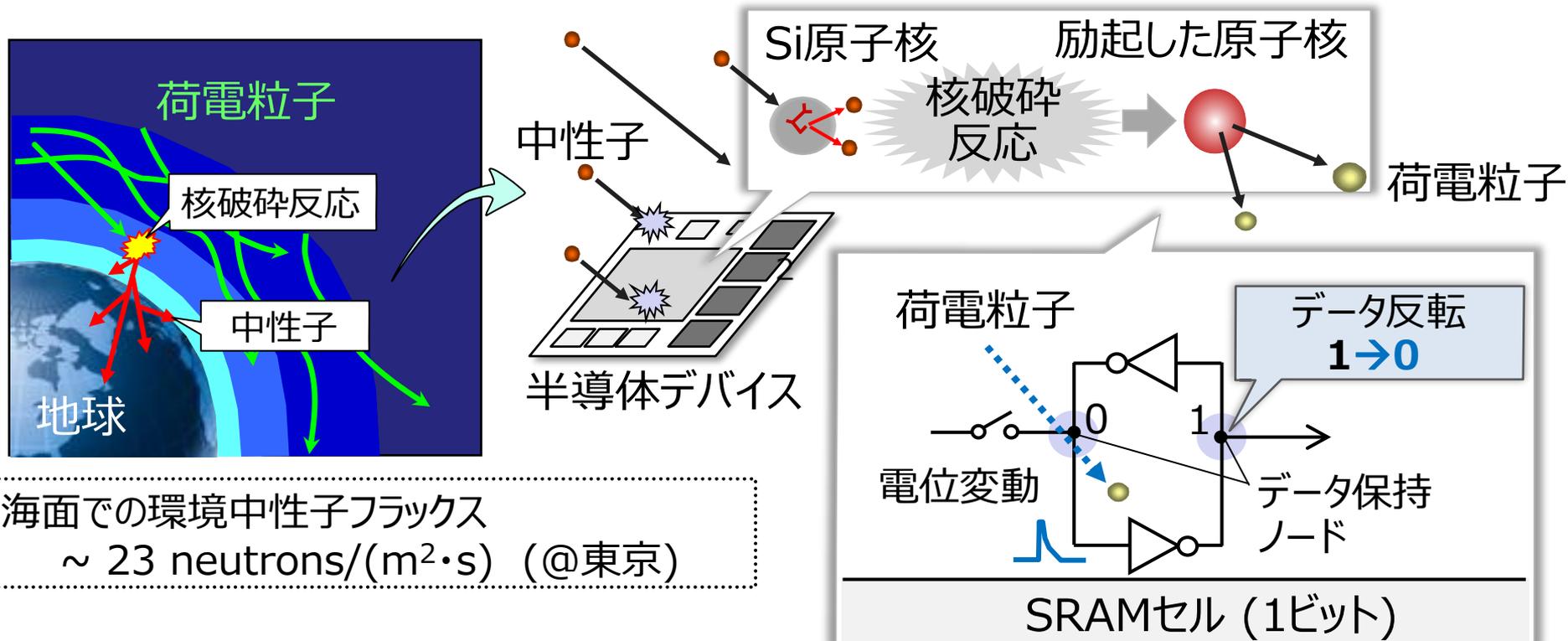
大阪大学 核物理研究センター 共同研究員

株式会社日立製作所 研究開発グループ 生産・モノづくりイノベーションセンタ

○上園 巧、新保 健一、鳥羽 忠信

# 電子システムのソフトウェア

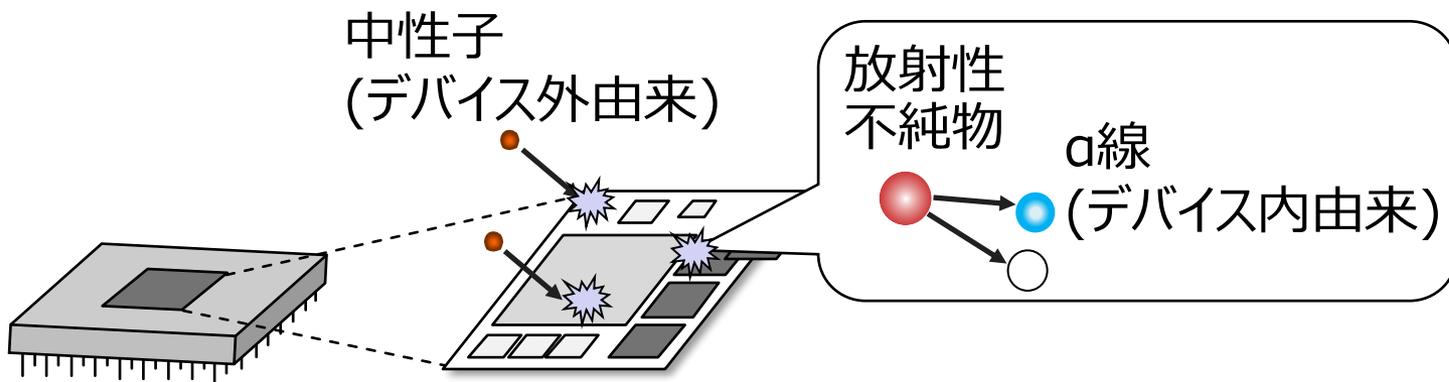
- ◆ 電子システムの安全・高信頼運用には、ソフトウェア対策が重要
- ◆ ソフトエラーは、半導体デバイスで起こる再現性の低い障害
- ◆ 地上環境では、中性子等の放射線によりソフトエラーが発生



ソフトエラー発生率に応じた適切なソフトウェア対策を講じるため、電子システムを構成する半導体デバイスのソフトエラー発生率を把握することが重要

# ソフトエラーモニタリング

- ◆ ソフトエラー発生率の特定のため、設置環境でのソフトエラーモニタリングが必須
- ◆ ソフトエラーはデバイス内・外からの放射線により発生する
  - デバイス内 → 主にα線がソフトエラーの原因で、発生率は環境に依存しない
  - デバイス外 → 主に高エネルギー中性子、低エネルギー中性子(熱中性子)がソフトエラーの原因で、発生率は環境に依存する
- ◆ 地上の計測では、遮蔽が難しい高エネルギー中性子と、熱中性子、α線によるソフトエラーが混在すると考えられ、ソフトエラーの要因弁別は困難である
- ◆ 神岡施設では、高エネルギー中性子のフラックスが地上と比べ5桁小さく、熱中性子を遮蔽すれば、α線によるソフトエラー発生率を特定可能だと予想した



ソフトエラーモニタリング装置を開発し、神岡施設でソフトエラー発生率を計測することにより、ソフトエラーの要因弁別を行った

# 過去実験での課題

## 過去実験(～21年度)

### [概要]

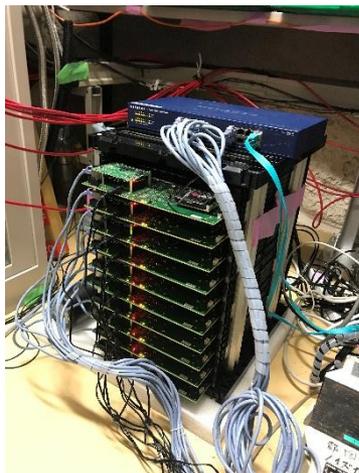
熱中性子の寄与を明確化するため、ソフトウェアモニタリングシステムを遮蔽用筐体で覆った時/覆ってない時の2条件で計測した

### [結果]

別途実施したα線照射試験結果と合わせると、要因不明なエラーが発生

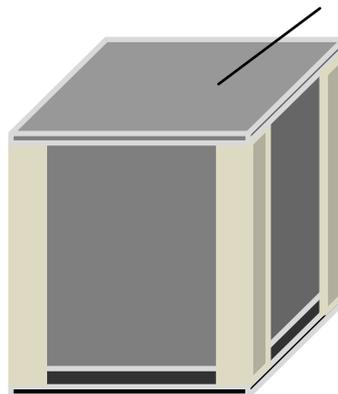
### [課題]

①実験系の不具合や②デバイス特有の問題の可能性が排除できていない



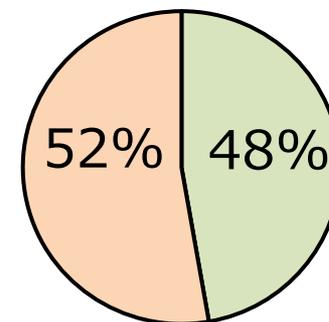
ソフトウェアエラーモニタリングシステム

シリコンゴム系中性子遮蔽材  
(ボロンタイプ、透過率:  $1/10^3$ )



遮蔽用筐体

■ α線 (照射試験で推定)  
■ その他(不明)



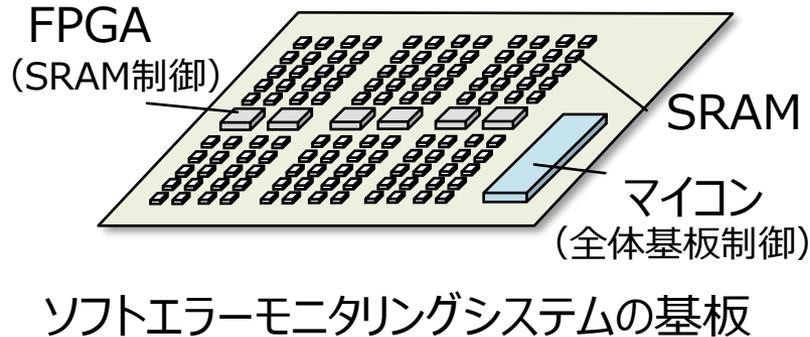
\* Static Random Access Memory  
\*\* Field-Programmable Gate Array

# 実験内容

## 実験の狙い

- ①実験系(FPGA、マイコン、ネットワーク)に不具合がないことを確認
  - ・SRAMデバイス以外のデバイスが外乱の影響を受けていないことを確認するため、エラーが発生しないと想定される**超高耐性デバイス(SRAM-A)**で実験
- ②過去実験に用いたSRAMデバイス特有の課題でないことの確認
  - ・従来モニタリングシステムのSRAMデバイスは $\alpha$ 線に脆弱であることが分かったので、中性子の影響が支配的であり、 **$\alpha$ 線起因ソフトエラー率の低いデバイス(SRAM-B)**で実験

## 実験に用いたSRAM



	中性子起因 エラー率(相対値)	$\alpha$ 線起因 エラー率(相対値)
過去実験SRAM	1.00	1.00
SRAM-A	<0.01*	<0.01*
SRAM-B	0.29	0.01

\*測定限界以下

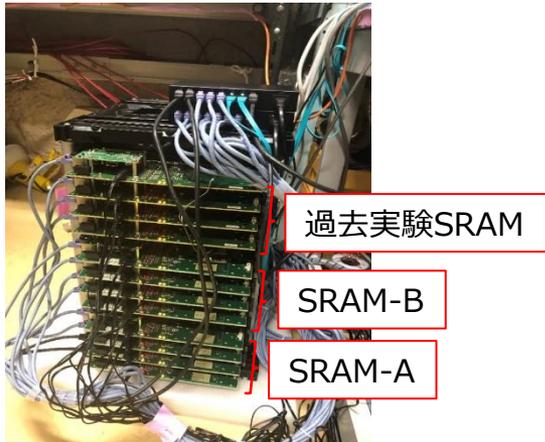
実験系の問題と、デバイス特有の問題がないことを確認することで、当初想定していなかった要因でエラーが発生していることを明確化する

# ソフトウェアモニタリング実験の結果

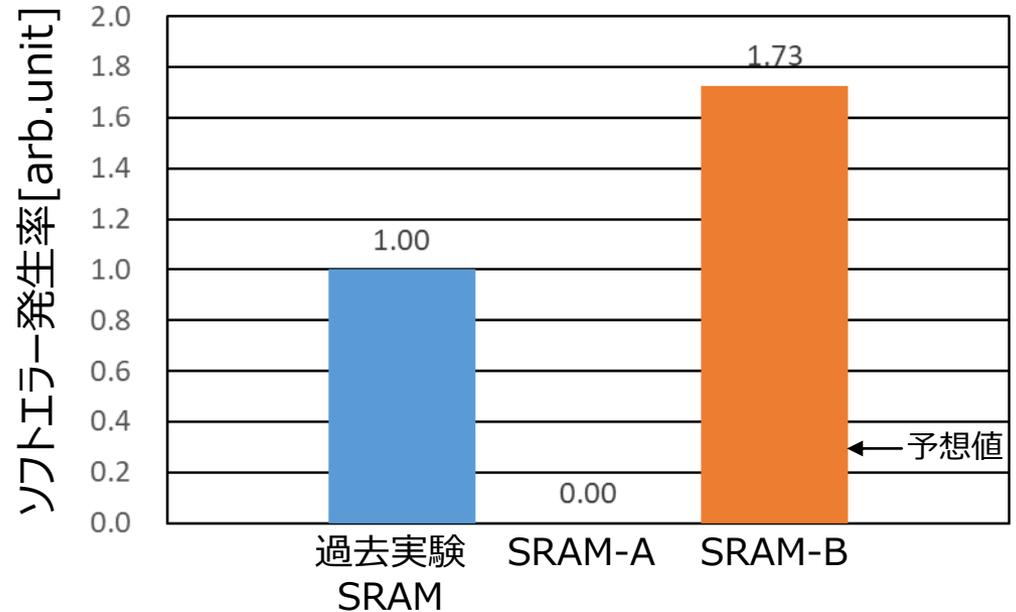
## 実験結果

'21/12/22 ~ '22/12/7 (349日)の期間、神岡施設で実験を行った結果、

- ① 超高耐性デバイス(SRAM-A)は想定通りエラーが発生しなかった  
⇒ 実験系の制御デバイスに対する外乱影響はない
- ②  $\alpha$ 線耐性の高いデバイス(SRAM-B)のエラー率は、中性子+ $\alpha$ 線耐性から想定される値の5倍程度となり、要因不明のエラーが発生した  
⇒ 要因不明のエラーは、過去実験に使用したSRAM固有の問題ではない



ソフトウェアモニタリングシステム



本実験結果から、 $\alpha$ 線や中性子以外のエラー要因がありそうだと分かった  
学会等ではミュオンによるソフトウェアエラーも報告されており、まずは要因を机上で検討していく