

令和 6 年 9 月 12 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2019～2023

課題番号：19H05664

研究課題名（和文）ミュオン起因ソフトエラー評価基盤技術：実測とシミュレーションに基づく将来予測

研究課題名（英文）Muon-induced soft error evaluation platform: future prediction based on measurement and simulation

研究代表者

橋本 昌宜 (Hashimoto, Masanori)

京都大学・情報学研究科・教授

研究者番号：80335207

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 156,570,000円

研究成果の概要（和文）：集積システムの信頼性確保に向けて、宇宙線ミュオン起因のソフトエラーを正しく理解・評価する技術の確立と将来の信頼性動向予測に取り組んだ。ミュオン・シリコン間の物理現象を実験で取得し、それを再現するシミュレーション基盤技術を開発した。シミュレーションと実測による動向予測では、近未来にミュオンによるエラーが爆発的に増えることはないが、中性子と同程度の顕在化を示す見通しを得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ソフトエラーに寄与する低エネルギー環境ミュオン測定、ソフトエラーに寄与する二次粒子に着目した負ミュオンの原子核捕獲反応の実測、最先端FinFETに対する負ミュオン起因エラー測定はすべて世界初の測定結果である。本研究で開発したミュオンソフトエラーを再現するシミュレーション技術は世界中での利用が期待される。ミュオン起因ソフトエラーの評価と低減に必要な基盤技術の開発に成功した。

研究成果の概要（英文）：To ensure the reliability of integrated systems, we worked on establishing technologies for correctly understanding and evaluating soft errors caused by cosmic ray muons and predicting future reliability trends. We developed a simulation infrastructure technology that reproduces the physical phenomena between muons and silicon observed in experiments. Trend predictions based on simulations and actual measurements suggest that while errors caused by muons will not increase explosively in the near future, they are expected to become as prominent as those caused by neutrons.

研究分野：集積システム設計

キーワード：ソフトエラー ミュオン 集積システム VLSI 信頼性

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

集積デバイスの不具合の原因の一つにソフトエラーがある。ソフトエラーとは集積デバイスが放射線に曝された際に生じる一過性の誤動作や故障のことであり、機器中の半導体デバイス内に保持されているデータが放射線により誘起された過渡電流により書き換わることで発生する(図1)。地上には宇宙線が大気と反応して生成された二次宇宙線(中性子、ミュオンなど)が降り注いでおり(図2)、近年の集積デバイスでは中性子がソフトエラーの主要因を占めると言われてきた。

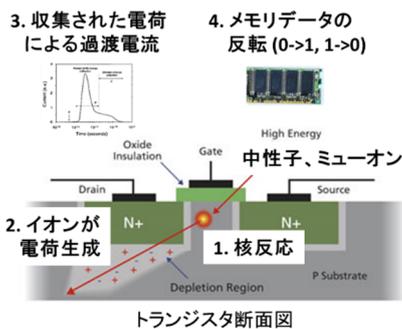


図1: ソフトエラー発生過程



図2: 地上での宇宙線環境

社会インフラとなっているデータセンタでは、大規模化に伴う莫大な消費電力が問題となっており、デバイスの低電圧動作が強く求められている。爆発的に増加するIoT端末も、低電圧動作を求めている。低電圧化と大規模化はソフトエラーを増加させる二重の要因にも関わらず、要求される信頼性は高まる一方である。更に自動運転や介護ロボットなど誤動作が人命に直結するアプリケーションも実用化目前である。

研究代表者らはミュオンによるソフトエラーの研究に取り組んできた。ミュオンには正負ミュオンが存在する。地上に届く粒子数は中性子よりもミュオンのほうが多い。これまで正ミュオン照射実験結果の報告は数例あったが、負ミュオン照射試験の報告はなく、世界に先駆けて照射実験を実施し、ミュオンによってソフトエラーが発生すること、負ミュオンは原子核に捕獲される物理過程により正ミュオンよりソフトエラーへの影響が大きいことを明らかにした。さらに、最新の測定結果では、デバイスの微細化によりミュオンによるソフトエラー確率(ビットあたり)が高まる傾向を示している。これは、中性子の微細化によって確率が下がる傾向(Intel、富士通他の報告)とは正反対である。メモリビット数の増加を考慮するとチップあたりではミュオンによる急激なエラー増加が予想される。中性子のみを予測では漸減しており、従来の中性子のみを考慮した集積システム設計では、予期しない信頼性不良が多発するのではないかという、強い危機感がある。ミュオン起因ソフトエラー評価技術の構築、対策技術の蓄積が集積システムの信頼性確保に向けて急務である。

### 2. 研究の目的

本研究では、集積システムの信頼性確保に向けて、ミュオン起因のソフトエラーを正しく理解・評価する技術を世界に先駆けて確立し、将来デバイスの信頼性動向を明らかにする。宇宙線ミュオンが集積システムの故障を引き起こす最大の要因となるかを世界に先駆けて見極めることが研究目的である。基礎物理現象の把握と実測結果の再現性検証によりシミュレーション技術の精度を格段に高め、将来の集積システムの信頼性確保に貢献する。

研究課題の核心をなす学術的問いは、「宇宙線ミュオンによるソフトエラーが情報システムの最大脅威となるか」である。宇宙線ミュオンによるソフトエラーを物理的に正しく理解し、深刻度と対策の緊急度を明らかにする。システム信頼性向上に必要な評価フレームワーク開発し、宇宙線ミュオン対策技術の学術的基盤を世界に提供する。

### 3. 研究の方法

#### 研究組織と役割分担:

原子核物理からシステムをカバーする研究者が協力して研究に取り組む。将来予測に適用可能な信頼性の高いシミュレーション体系を構築するため、ミュオンと原子核の反応を実験により取得し、シミュレータ開発に必要な基礎物理データを提供(課題1)。最先端デバイスを用いたソフトエラー評価実験を実施して、エラー率の測定とソフトエラー発生メカニズムの分析に必要な物理現象を把握(課題2)。原子核物理、放射線物理、デバイス物理にまたがるマルチ物理シミュレーション技術を開発(課題3)。課題1で得た基礎物理データを原子核物理のシミュレーションに活用する。開発したシミュレーションで、ソフトエラー評価実験結果が再現できるかを確認し、シミュレータの正当性を確認する。将来の集積デバイスのソフトエラー耐性を評価し、情報システムの信頼性予測を提供(課題4)。

#### 課題1: 基本物理現象の実測 (担当: 新倉、渡辺、佐藤)

**課題1-1:** ミュオン起因ソフトエラーでは、デバイス中での電荷付与が大きくなる低エネルギー領域の宇宙線ミュオンによる影響が大きいため、地上(建屋内、地下・トンネル等を含む)における単位時間・面積当たりの入射ミュオン強度及びエネルギー・角度分布を測定して、実環境における宇宙線ミュオンの特性を観測しデータを取得する。

**課題1-2:** 原子核に捕獲された負ミュオンが放出する粒子が、負ミュオンによるソフトエラーの主要因であることが、我々の研究で明らかになりつつある。ソフトエラー確率の正確なシミュ

ュレーションのためには、放出される粒子の種類とその確率、エネルギー分布の情報は、必須となる基礎データであり、それらを取得する。測定に必要な検出器を開発し、ミュオン生成加速器施設において、半導体の材料物質に対する放出粒子のエネルギー分布を測定して、シミュレーションの高精度化(課題3)に貢献する。

#### 課題2: ソフトエラー現象の実測 (担当:橋本、渡辺、佐藤、新倉)

**課題2-1:** 連続状ミュオンビームを用いて、イベント毎に入射ミュオンの時刻と位置、エネルギー、ならびに SRAM メモリ内のビット反転の空間位置と時刻を突き合わせた測定を実施する。新たに設計・試作する高速エラーチェック SRAM チップとミュオン検出器を用いて、ミュオン入射位置とエラー位置の差から二次イオンの飛程情報を取得し、課題3のシミュレーションの再現性確認に用いる。

**課題2-2:** FinFET を含む最先端の製造プロセスでメモリを試作し、ソフトエラー率をミュオン/中性子生成加速器施設で測定する。測定データは課題3で再現性検証データとして活用する。

**課題2-3:** 情報システムに与える影響を調査するため、GPU への照射実験を実施し、AI アプリケーションに対するソフトエラーの影響をシステムレベルで評価する。エラーがマスクされる確率を求めるシステムレベルのシミュレーションによる評価技術も検討する。

#### 課題3: マルチ物理シミュレーション (担当:安部、新倉、鎌倉)

課題1-2で得られたミュオン捕獲の反応機構データを用いて、ミュオンが半導体デバイスに入射した際に与える電荷分布をシミュレーションする。PHITS と呼ばれる任意の3次元体系中における放射線の挙動を、核反応モデルや核データを用いて模擬するモンテカルロ計算コードに実装する。また、課題2で得られた最先端デバイスによるソフトエラー実測結果を再現するためのデバイスシミュレーションを行う。PHITS との間に高効率なインタフェースを構築し、シミュレーションの妥当性を確認する。

#### 課題4: シミュレーションによる将来予測 (担当:橋本、安部、鎌倉、渡辺)

課題3で開発したシミュレーション環境に、将来のデバイス構造を組み込み、地上環境でのソフトエラー率を予測する。FinFET の次の世代のトランジスタ構造も対象とする。中性子、ミュオンの寄与を、さまざまな環境(高度、地上地下、建物)で評価し、ミュオンが最大の脅威となるかを明らかにする。将来の集積システムの高信頼化設計指針を与える。

### 4. 研究成果

#### 課題1-1 ソフトエラーに寄与する低エネルギー宇宙線ミュオンの測定

ソフトエラーレート推定に必要な低運動量領域の宇宙線ミュオン強度や運動量・角度分布の実測データが皆無であったため、200 MeV/c 以下の低運動量領域の正ミュオンと負ミュオンを識別して測定可能な宇宙線ミュオン計測システム(図3)を設計・開発した。図中の永久磁石の上下に設置した2台のドリフトチェンバーを用いて、磁場領域通過前後のミュオンの飛跡を検出し、ミュオンの電荷と運動量を推定することが可能である。独自に開発した運動量推定アルゴリズムを計測データの解析に適用して、予備的な電荷別運動量分布(図4)を導出した。PHITS シミュレーションの結果は、実測のスペクトル形状や正・負電荷成分の収量の違いを概ね再現することが分かった。今後は建屋内での宇宙線観測を継続し、計測システムの下流に設置したトリガー検出器の信号データを用いたミュオンと電子の弁別を行い、天頂角20度以内に入射する正及び負ミュオンの運動量・角度分布データを取得する。また、既存の宇宙線予測モデルと比較することで、その改良を行う。

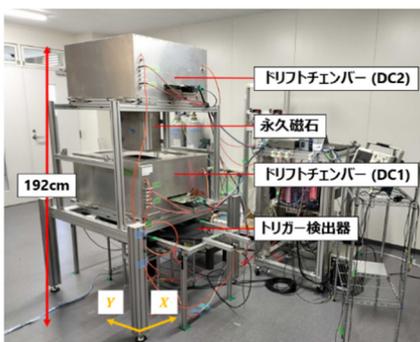


図3 宇宙線ミュオン計測システム

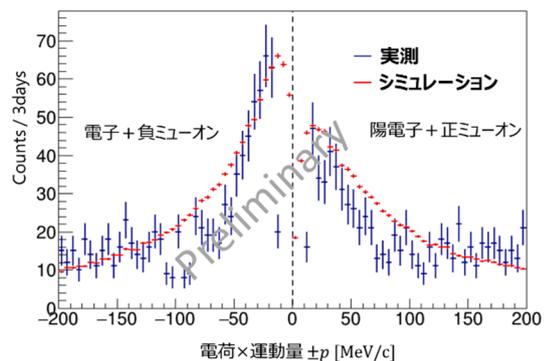


図4 測定した電荷別運動量分布(速報)

#### 課題1-2 負ミュオン捕獲反応の放出粒子の種類、エネルギー分布、放出確率を測定

ソフトエラーレートのシミュレーション精度向上に不可欠な負ミュオン捕獲反応過程の基礎データ取得に取り組んだ。負ミュオン捕獲反応が放出する粒子の放出確率測定は、インビーム放射化法を利用して行った。特に本研究が対象とするシリコン原子核の放射化測定では、粒子放出確率を絶対値で測定するための手法の高度化開発を行なった。実験は、2022年2月 J-PARC MLF の MUSE 施設の大強度ビームを用いた高統計測定と、2023年8月 RAL-ISIS 施設における高品質ビームを用いた高精度測定との2回に分けて実施し、シリコン-28,29,30の同位体濃縮試料それぞれについて、負ミュオン捕獲反応からの粒子放出確率を測定することに成功した。測定

結果は課題3で開発したPHITSによるシミュレーション結果との比較を行なった。特にソフトウェアに対する影響の大きい荷電粒子(陽子・重陽子・アルファ粒子)の放出確率については、PHITSは実験結果をととても良く再現し、課題4の将来予測シミュレーションに適用するための十分な信頼性を持つことを確認した。

測定可能なエネルギー領域の拡張およびソフトウェア発生に大きな影響を与えると予想される低エネルギー放出 $\alpha$ 粒子のエネルギー分布取得を目的とした新規実験を行った。本実験に先立ち、測定に用いる低エネルギー荷電粒子の識別が可能な検出器系を開発し、2020年度から2022年度にかけて九州大学タンデム加速器施設においてテスト実験を行った。開発した検出器系が十分な性能を持っていることを確認するとともに(図5)、本テスト実験により、検出器に対して斜めに入射する荷電粒子による検出器応答について原子核物理実験および放射線計測分野で有用な知見が得られた。

ミュオン原子核捕獲反応から放出される荷電粒子のエネルギー分布測定の本実験は2023年7月に英国ラザフォード・アップルトン研究所(RAL)において遂行した。ミュオン原子核捕獲反応から放出される荷電粒子の識別およびエネルギー測定に成功し、既存データより広いエネルギー範囲で主要な放出荷電粒子である陽子、重陽子、三重陽子、 $\alpha$ 粒子のエネルギースペクトルを取得できた。本実験データはPHITS計算から予測されるより多くの荷電粒子が放出されることを示しており、今後さらなる理論モデルの改良によって、ソフトウェア率のシミュレーション精度向上に資することが期待される。

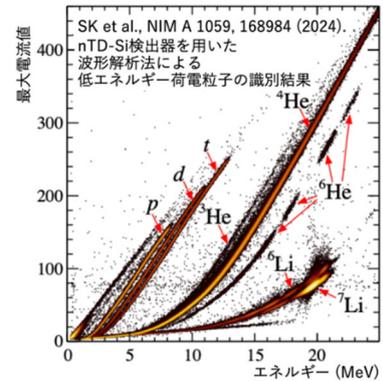


図5 粒子の識別結果

### 課題2-1 放射線粒子ごとのビット反転イベントを正確に測定する観測システム

負ミュオンは、直接電離と原子核捕獲反応を起こすため、一粒子で多くの離れたビットにエラーを発生させる可能性がある。シミュレーションの正しさを検証するためには、このような測定データを収集し、シミュレーションで再現できるか、評価を進める必要がある。この目的のため、シングルイベント観測システムを提案・開発した。検出器で1粒子ごとの通過時刻を検出し、それに対応したビット反転をすべて高速に読み出す専用チップの動作で実現する。55nm, 22nmプロセスでチップを開発・試作した。55nmチップのシステムを用いて陽子線照射を実施し、基本動作を確認した。陽子の通過時間情報とビット反転のタイムスタンプデータを組み合わせることにより、ビット反転を引き起こした陽子を特定することに成功した。さらに、これまで認識できなかったMCUパターンの観察に成功した。阪大RCNP MuSIC施設の稼働が遅れているため、ミュオンを用いた実験が未実施であるが、ビームタイムは確保できており、施設が稼働次第、22nm, 55nmのシステムを用いて測定を進め、シミュレーションの正しさを確認する予定である。

### 課題2-2 FinFET SRAMの負ミュオン起因ソフトウェアの測定

FinFET SRAMで発生する負ミュオン起因ソフトウェアを実測した。12-nm FinFET SRAMに正負ミュオンを照射し(図6)、また比較として28-nmプレナー型SRAMにも照射した。Single Event Upset (SEU, いわゆるソフトウェア)断面積の運動量依存性、電源電圧依存性、正ミュオンに対する負ミュオンのSEU断面積比、Multiple-Cell Upset (MCU, 複数ビット反転)の運動量依存性、MCUのビット反転数の分布を実測した。ピーク運動量における正負ミュオンのSEU断面積を比較したところ(図7)、負ミュオンの方が8.3倍大きく、負ミュオン捕獲反応を正確に再現するシミュレーションがFinFETでも重要性であることが明らかとなった。さらに、SEU断面積は電圧の低下とともに増加し、低電圧ではMCU分布においてより多くの複数ビット反転が生じた。本結果のRADECS2023での発表に対し、**Best Student Abstract Award**を受賞した。一方、正ミュオンの効果が限定的であることから、ミュオン起因ソフトウェアが急増する状況には、少なくとも12-nm世代ではならないことが明らかとなった。また課題3で課題1の成果を取り込んで改良したPHITSを用いてシミュレーションしたところ、測定結果を良く再現することが確認できた。

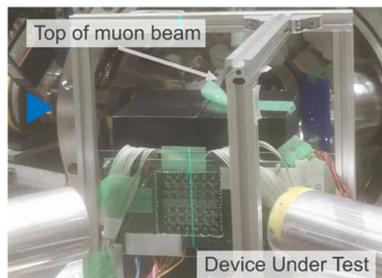


図6 ミュオン照射実験の様子

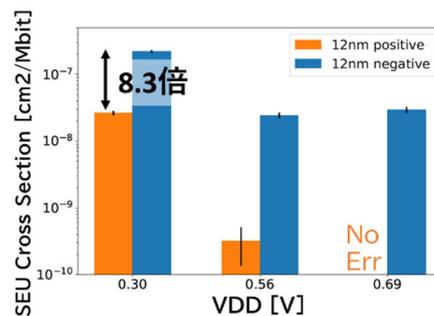


図7 12nm SRAMのミュオン照射結果

### 課題2-3 最先端AIチップの信頼性評価と向上を実現

ニューラルネットワークは高い安全性が求められる自動運転などにも利用されている。最新のハードウェア AI アクセラレータとプロセッサからなる System-on-Chip (SoC) 設計では、ネットワーク精度とハードウェア効率、信頼性の間のトレードオフを効果的に探索することが求められる。本研究では、計算効率が高く最適化された NN モデルを搭載した SoC の信頼評価をフォールト注入と中性子照射で行った。得られた知見は、(1) プロセッサはアクセラレータよりも脆弱性が高い、(2) エラー訂正符号、三重化は命令、データのメモリに必要、(3) 計算ビット幅による脆弱性の違いは限定的、(4) プロセッサへのエラー対策を実施するとアクセラレータの誤動作が顕在化する、である。今後の高信頼 SoC 設計に有益な指針が得られた。

### 課題3 実測物理データを用いた PHITS シミュレータの高度化

負ミューオン原子核捕獲反応からの粒子生成について、課題 1-2(図 8 中 S. Manabe)や先行研究の測定値と PHITS による計算値を比較した結果、軽複合粒子 (重陽子、三重陽子、ヘリウムイオン) の生成量および高エネルギー核子 (陽子、中性子) の生成量を過小評価することが分かった。そこで、軽複合粒子生成の過小評価の改善を目的として、PHITS の量子分子動力学 (JQMD) モデルに表面合体モデル (Surface Coalescence Model) を導入した。また、高エネルギー粒子生成の過小評価の改善を目的として、負ミューオン原子核捕獲反応によって原子が得るエネルギーの分布関数 (励起関数) に、Meson Exchange Current (MEC) の影響を取り入れた。その結果、図 8 に示すように、軽複合粒子生成および高エネルギー核子放出の過小評価を改善した。課題 1-2 の実験結果のさらなる解析に合わせて今後も改善を継続する予定である。

○ Y. G. Budyashov et al., J. Exp. Theor. Phys., vol. 33, p. 11 (1971). ● S. Manabe, Ph. D Thesis, Kyushu Univ. (2021).  
 □ R. M. Sundelin et al., Phys. Rev. C., vol. 7, p. 1037 (1973). ◇ A. Edmonds et al., Phys. Rev. C, vol.105, 035501 (2022).  
 △ T. Kozłowski et al., Nucl. Phys. A, vol. 436, p. 717 (1985).

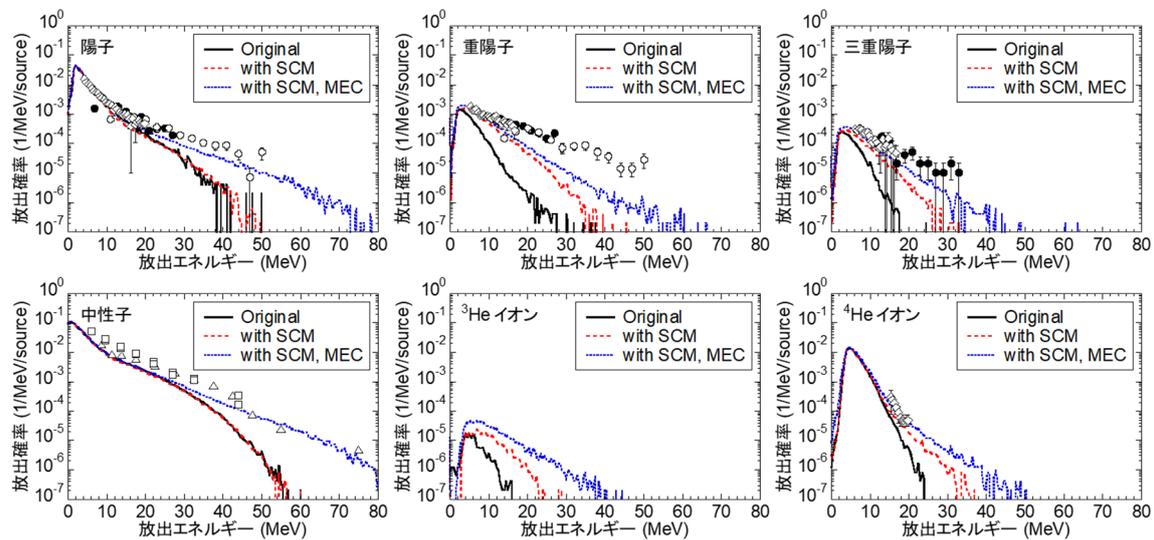


図 8. 粒子放出確率の実験結果とモデルの比較

### 課題4 将来予測シミュレーションと地上でのミューオンの影響

将来の先端半導体構造として研究開発が進められている相補型 FET(CFET)を対象に、放射線入射に起因したビット反転をシミュレーション解析し、留意すべき特徴を探った。3次元 TCAD デバイスシミュレータ HyDeLEOS を使い、CFET 2 個とパストランジスタ 2 個で構成される 6T-SRAM セルのシミュレーションモデルを構築し、様々な線エネルギー付与、および入射位置・方向をもつ放射線を衝突させたときの電位変動の過渡シミュレーションを行ったところ、入射方向により大きく異なる振る舞いが観測された。放射線は複数 FET 内部に過剰キャリアを発生させ、寄生バイポーラ効果によりオフ状態の FET を導通させる。このとき一時的にオン状態となる複数 FET の組み合わせにより、ビット反転の起こりやすさが決まる。この傾向は、回路シミュレーション SPICE を用いた簡易的な高速解析によりある程度予測できることが分かった。CFET 回路は、水平のみならず垂直方向にも高密度に素子を集積させた構造を有するため、複数 FET の導通状態の変化を考慮することが SEU 解析において特に重要となることが分かった。課題 2-2 でのミューオン照射実験では、特定のエネルギーを持つミューオンに対するエラー確率が得られている一方、地上環境でのミューオン起因エラーレートは得られない。課題 2-2 の実験では狭い範囲のエネルギーを持つミューオンに対する評価を行ったが、数の多い高エネルギーミューオンに対するエラー確率は実験できる施設がないことから未解明のまま放置されてきた。そこで、課題 2-2 で測定結果を再現したシミュレーションモデルと課題 3 で改良した PHITS を用いて、高エネルギーミューオンを含めた地上環境のエラーレートを求めるシミュレーションを実施した。これまでに実験してきたエネルギー範囲のミューオンのエラーレート寄与度は限定的で、高エネルギーミューオンの寄与度が大きいことが示唆された。また、中性子と比べてエラーレートは 1/4 程度であり、中性子が遮蔽効果を受けるビル内ではミューオンと中性子のエラーレートが同程度となる見通しを得た。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計44件（うち査読付論文 43件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Deng Yifan, Watanabe Yukinobu, Manabe Seiya, Liao Wang, Hashimoto Masanori, Abe Shin-Ichiro, Tampo Motonobu, Miyake Yasuhiro	4. 巻 71
2. 論文標題 Impact of Irradiation Side on Muon-Induced Single-Event Upsets in 65-nm Bulk SRAMs	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Nuclear Science	6. 最初と最後の頁 912 ~ 920
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TNS.2024.3378216	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Cheng Quan, Huang Mingqiang, Man Changhai, Shen Ao, Dai Liuyao, Yu Hao, Hashimoto Masanori	4. 巻 70
2. 論文標題 Reliability Exploration of System-on-Chip With Multi-Bit-Width Accelerator for Multi-Precision Deep Neural Networks	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers	6. 最初と最後の頁 3978 ~ 3991
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TCSI.2023.3300899	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakagami Naoto, Kamei Satoko, Kawase Shoichiro, Sato Akira, Watanabe Yukinobu	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of a Measuring Method of Cosmic-Ray Muon Momentum Distribution Using Drift Chambers	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Radiation Protection and Research	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14407/jrpr.2023.00423	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawase Shoichiro, Murota Takuya, Fukuda Hiroya, Oishi Masaya, Kawata Teppei, Kitafuji Kentaro, Manabe Seiya, Watanabe Yukinobu, Nishibata Hiroki, Go Shintaro, Kai Tamito, Nagata Yuto, Muto Taiga, Ishibashi Yuichi, Niikura Megumi, Suzuki Daisuke, Matsuzaki Teiichiro, Ishida Katsuhiko, Mizuno Rurie, Kitamura Noritaka	4. 巻 1059
2. 論文標題 Effect of large-angle incidence on particle identification performance for light-charged ( $Z \leq 2$ ) particles by pulse shape analysis with a pad-type nTD silicon detector	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 168984 ~ 168984
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2023.168984	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Q. Cheng, Q. Li, L. Lin, W. Liao, L. Dai, H. Yu, and M. Hashimoto	4. 巻 -
2. 論文標題 How Accurately Can Soft Error Impact Be Estimated in Black-Box/White-Box Cases? -- a Case Study with an Edge AI SoC --	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proc. Design Automation Conference (DAC)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 M. Yoshida, R. Iwamoto, M. Itoh, and M. Hashimoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Stuck Errors in Bits and Blocks in GDDR6 under High-Energy Neutron Irradiation	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proc. European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems (RADECS)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Gomi, K. Takami, R. Mizuno, M. Niikura, Y. Deng, S. Kawase, Y. Watanabe, S. Abe, W. Liao, M. Tampo, I. Umegaki, S. Takeshita, K. Shimomura, Y. Miyake, and M. Hashimoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Muon-Induced SEU Cross Sections of 12-nm FinFET and 28-nm Planar SRAMs	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proc. European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems (RADECS)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 R. Iwamoto and M. Hashimoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Avoiding Soft Error-Induced Illegal Memory Accesses in GPU with Inter-Thread Communication	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. International Symposium on On-Line Testing and Robust System Design (IOLTS)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 ZHANG Yangchao, ITSUJI Hiroaki, UEZONO Takumi, TOBA Tadanobu, HASHIMOTO Masanori	4. 巻 E106.A
2. 論文標題 Vulnerability Estimation of DNN Model Parameters with Few Fault Injections	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 523 ~ 531
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.2022VLP0004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takami Kazusa, Gomi Yuibi, Abe Shin-Ichiro, Liao Wang, Manabe Seiya, Matsumoto Tetsuro, Hashimoto Masanori	4. 巻 -
2. 論文標題 Characterizing SEU Cross Sections of 12- and 28-nm SRAMs for 6.0, 8.0, and 14.8 MeV Neutrons	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of International Symposium on Reliability Physics (IRPS)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IRPS48203.2023.10118134	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Manabe Seiya, Watanabe Yukinobu, Niikura Megumi, Nakano Keita, Nakano Keita, Saito Takeshi Y., Suzuki Daisuke, Kawashima Yoshitaka, Tomono Dai, Sato Akira, Harano Hideki	4. 巻 284
2. 論文標題 Emissions of Hydrogen Isotopes from the Nuclear Muon Capture Reaction in natSi	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 01029 ~ 01029
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/202328401029	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Fukuda, S. Kawase, Y. Watanabe, M. OISHI, T. KAWATA, H. NISHIBATA, S. GO, M. NIIKURA, D. SUZUKI, and S. MANABE	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of a counter telescope for light charged particles emitted from muon capture reaction in Si	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2021 Symposium on Nuclear Data	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11484/jaea-conf-2022-001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ito Kojiro, Itsuji Hiroaki, Uezono Takumi, Toba Tadanobu, Itoh Masatoshi, Hashimoto Masanori	4. 巻 -
2. 論文標題 Constructing Application-level GPU Error Rate Model with Neutron Irradiation Experiment	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems (RADECS)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/RADECS55911.2022.10412577	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Hashimoto, Y. Zhang, K. Ito	4. 巻 -
2. 論文標題 Neutron-Induced Stuck Error Bits and Their Recovery in DRAMs on GPU Cards	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tanaka Tomonari, Liao Wang, Hashimoto Masanori, Mitsuyama Yukio	4. 巻 69
2. 論文標題 Impact of Neutron-Induced SEU in FPGA CRAM on Image-Based Lane Tracking for Autonomous Driving: From Bit Upset to SEFI and Erroneous Behavior	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Nuclear Science	6. 最初と最後の頁 35 ~ 42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TNS.2021.3131346	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ito Kojiro, Zhang Yangchao, Itsuji Hiroaki, Uezono Takumi, Toba Tadanobu, Hashimoto Masanori	4. 巻 68
2. 論文標題 Analyzing DUE Errors on GPUs With Neutron Irradiation Test and Fault Injection to Control Flow	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Nuclear Science	6. 最初と最後の頁 1668 ~ 1674
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TNS.2021.3098845	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kato Takashi, Tampo Motonobu, Takeshita Soshi, Tanaka Hiroki, Matsuyama Hideya, Hashimoto Masanori, Miyake Yasuhiro	4. 巻 68
2. 論文標題 Muon-Induced Single-Event Upsets in 20-nm SRAMs: Comparative Characterization With Neutrons and Alpha Particles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Nuclear Science	6. 最初と最後の頁 1436 ~ 1444
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TNS.2021.3082559	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Zhang Yangchao, Itsuji Hiroaki, Uezono Takumi, Toba Tadanobu, Hashimoto Masanori	4. 巻 -
2. 論文標題 Estimating Vulnerability of All Model Parameters in DNN with a Small Number of Fault Injections	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of Design, Automation and Test in Europe Conference (DATE)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/DATE54114.2022.9774569	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hsu Ting-Shuo, Yang Dun-an, Liao Wang, Itoh Masatoshi, Hashimoto Masanori, Liou Jing-Jia	4. 巻 -
2. 論文標題 Processor SER Estimation with ACE Bit Analysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems (RADECS)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/RADECS53308.2021.9954474	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Mahara Takumi, Manabe Seiya, Watanabe Yukinobu, Liao Wang, Hashimoto Masanori, Saito Takeshi Y., Niikura Megumi, Ninomiya Kazuhiko, Tomono Dai, Sato Akira	4. 巻 67
2. 論文標題 Irradiation Test of 65-nm Bulk SRAMs With DC Muon Beam at RCNP-MuSIC Facility	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Nuclear Science	6. 最初と最後の頁 1555 ~ 1559
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TNS.2020.2972022	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Liao Wang, Hashimoto Masanori, Manabe Seiya, Watanabe Yukinobu, Abe Shin-ichiro, Tampo Motonobu, Takeshita Soshi, Miyake Yasuhiro	4. 巻 67
2. 論文標題 Impact of the Angle of Incidence on Negative Muon-Induced SEU Cross Sections of 65-nm Bulk and FDSOI SRAMs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Nuclear Science	6. 最初と最後の頁 1566 ~ 1572
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TNS.2020.2976125	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kuroda Junya, Miyake Yasuhiro, Manabe Seiya, Watanabe Yukinobu, Ito Kojiro, Liao Wang, Hashimoto Masanori, Abe Shin-ichiro, Harada Masahide, Oikawa Kenichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Measurement of Single-Event Upsets in 65-nm SRAMs Under Irradiation of Spallation Neutrons at J-PARC MLF	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Nuclear Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TNS.2020.2978257	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Itsuji Hiroaki, Uezono Takumi, Toba Tadanobu, Ito Kojiro, Hashimoto Masanori	4. 巻 -
2. 論文標題 Concurrent Detection of Failures in GPU Control Logic for Reliable Parallel Computing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems (RADECS)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ITC44778.2020.9325216	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Zhang Yangchao, Ito Kojiro, Itsuji Hiroaki, Uezono Takumi, Toba Tadanobu, Hashimoto Masanori	4. 巻 -
2. 論文標題 Fault Mode Analysis of Neural Network-based Object Detection on GPUs with Neutron Irradiation Test	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems (RADECS)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/RADECS50773.2020.9857684	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Satoko Kamei, Akira Sato, Shoichiro Kawase, Tadahiro Kin, Misaki Saito, Ryohei Takahashi, and Yukinobu Watanabe	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of A Measurement System for Low Energy Cosmic Muon with Charge Identification Feature	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of 22nd Cross Straits Symposium on Energy and Environmental Science and Technology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Abe Shin-ichiro, Sato Tatsuhiko, Kuroda Junya, Manabe Seiya, Watanabe Yukinobu, Liao Wang, Ito Kojiro, Hashimoto Masanori, Harada Masahide, Oikawa Kenichi, Miyake Yasuhiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Impact of Hydrated and Non-Hydrated Materials Near Transistors on Neutron-Induced Single Event Upsets	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of International Symposium on Reliability Physics (IRPS)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IRPS45951.2020.9128951	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Liao Wang, Ito Kojiro, Mitsuyama Yukio, Hashimoto Masanori	4. 巻 -
2. 論文標題 Characterizing Energetic Dependence of Low-Energy Neutron-induced MCUs in 65 nm bulk SRAMs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of International Symposium on Reliability Physics (IRPS)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IRPS45951.2020.9129621	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hashimoto Masanori, Liao Wang	4. 巻 -
2. 論文標題 Soft Error and Its Countermeasures in Terrestrial Environment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ASP-DAC47756.2020.9045161	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yan Zheyu, Shi Yiyu, Liao Wang, Hashimoto Masanori, Zhou Xichuan, Zhuo Cheng	4. 巻 -
2. 論文標題 When Single Event Upset Meets Deep Neural Networks: Observations, Explorations, and Remedies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ASP-DAC47756.2020.9045134	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Deng Yifan, Watanabe Yukinobu, Manabe Seiya, Liao Wang, Hashimoto Masanori, Abe Shin-Ichiro, Tampo Motonobu, Miyake Yasuhiro	4. 巻 71
2. 論文標題 Impact of Irradiation Side on Muon-Induced Single-Event Upsets in 65-nm Bulk SRAMs	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Nuclear Science	6. 最初と最後の頁 912 ~ 920
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TNS.2024.3378216	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Q. Cheng, Q. Li, L. Lin, W. Liao, L. Dai, H. Yu, and M. Hashimoto	4. 巻 -
2. 論文標題 How Accurately Can Soft Error Impact Be Estimated in Black-Box/White-Box Cases? -- a Case Study with an Edge AI SoC --	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proc. Design Automation Conference (DAC)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Nakagami Naoto, Kamei Satoko, Kawase Shoichiro, Sato Akira, Watanabe Yukinobu	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of a Measuring Method of Cosmic-Ray Muon Momentum Distribution Using Drift Chambers	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Radiation Protection and Research	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14407/jrpr.2023.00423	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Yoshida, R. Iwamoto, M. Itoh, and M. Hashimoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Stuck Errors in Bits and Blocks in GDDR6 under High-Energy Neutron Irradiation	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proc. European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems (RADECS)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Gomi, K. Takami, R. Mizuno, M. Niikura, Y. Deng, S. Kawase, Y. Watanabe, S. Abe, W. Liao, M. Tampo, I. Umegaki, S. Takeshita, K. Shimomura, Y. Miyake, and M. Hashimoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Muon-Induced SEU Cross Sections of 12-nm FinFET and 28-nm Planar SRAMs	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proc. European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems (RADECS)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Iwamoto Riku, Hashimoto Masanori	4. 巻 -
2. 論文標題 Avoiding Soft Error-Induced Illegal Memory Accesses in GPU with Inter-Thread Communication	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of International Symposium on On-Line Testing and Robust System Design (IOLTS)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IOLTS59296.2023.10224889	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Cheng Quan, Huang Mingqiang, Man Changhai, Shen Ao, Dai Liuyao, Yu Hao, Hashimoto Masanori	4. 巻 70
2. 論文標題 Reliability Exploration of System-on-Chip With Multi-Bit-Width Accelerator for Multi-Precision Deep Neural Networks	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers	6. 最初と最後の頁 3978 ~ 3991
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TCSI.2023.3300899	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 ZHANG Yangchao、ITSUJI Hiroaki、UEZONO Takumi、TOBA Tadanobu、HASHIMOTO Masanori	4. 巻 E106.A
2. 論文標題 Vulnerability Estimation of DNN Model Parameters with Few Fault Injections	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 523 ~ 531
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.2022VLP0004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takami Kazusa、Gomi Yuibi、Abe Shin-Ichiro、Liao Wang、Manabe Seiya、Matsumoto Tetsuro、Hashimoto Masanori	4. 巻 -
2. 論文標題 Characterizing SEU Cross Sections of 12- and 28-nm SRAMs for 6.0, 8.0, and 14.8 MeV Neutrons	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of International Symposium on Reliability Physics (IRPS)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IRPS48203.2023.10118134	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Manabe Seiya、Watanabe Yukinobu、Niikura Megumi、Nakano Keita、Nakano Keita、Saito Takeshi Y.、Suzuki Daisuke、Kawashima Yoshitaka、Tomono Dai、Sato Akira、Harano Hideki	4. 巻 284
2. 論文標題 Emissions of Hydrogen Isotopes from the Nuclear Muon Capture Reaction in $^{nat}\text{Si}$	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 01029 ~ 01029
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/202328401029	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ito Kojiro、Itsuji Hiroaki、Uezono Takumi、Toba Tadanobu、Itoh Masatoshi、Hashimoto Masanori	4. 巻 -
2. 論文標題 Constructing Application-level GPU Error Rate Model with Neutron Irradiation Experiment	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems (RADECS)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/RADECS55911.2022.10412577	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Hashimoto, Y. Zhang, and K. Ito	4. 巻 -
2. 論文標題 Neutron-Induced Stuck Error Bits and Their Recovery in DRAMs on GPU Cards	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kuroda Junya, Miyake Yasuhiro, Manabe Seiya, Watanabe Yukinobu, Ito Kojiro, Liao Wang, Hashimoto Masanori, Abe Shin-ichiro, Harada Masahide, Oikawa Kenichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Measurement of Single-Event Upsets in 65-nm SRAMs Under Irradiation of Spallation Neutrons at J-PARC MLF	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Nuclear Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TNS.2020.2978257	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Zhang Yangchao, Ito Kojiro, Itsuji Hiroaki, Uezono Takumi, Toba Tadanobu, Hashimoto Masanori	4. 巻 -
2. 論文標題 Fault Mode Analysis of Neural Network-based Object Detection on GPUs with Neutron Irradiation Test	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems (RADECS)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/RADECS50773.2020.9857684	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計35件 (うち招待講演 15件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 田上凱斗, 橋本昌宜
2. 発表標題 RISC-Vプロセッサに対するフォールトインJECTION実験の結果分析
3. 学会等名 情報処理学会DAシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Hashimoto
2. 発表標題 Applications outside particle physics (soft error)
3. 学会等名 ILC Workshop on Potential ILC Experiments (ILCX) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 橋本昌宜
2. 発表標題 ミューオン起因半導体ソフトエラーの測定と課題
3. 学会等名 RCNP研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 新倉潤
2. 発表標題 負ミューオンを用いた原子核構造研究
3. 学会等名 RCNPでの次期計画検討会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 亀井 智子, 川瀬 頌一郎, 佐藤 朗, 田中裕貴, 中上直人, 金 政浩, 渡辺 幸信
2. 発表標題 電荷識別型低エネルギー宇宙線ミュオン計測システムの開発
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺 幸信
2. 発表標題 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
3. 学会等名 令和3年度J-PARC MLF産業利用報告会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺幸信
2. 発表標題 半導体デバイスの宇宙線起因ソフトエラー解析
3. 学会等名 耐放射線デバイス研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺 幸信
2. 発表標題 半導体デバイスに対する宇宙線起因ソフトエラー研究の現状と展望
3. 学会等名 12回半導体材料・デバイスフォーラム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川瀬頌一郎、福田宏哉、渡辺幸信、新倉潤、橋本昌宣
2. 発表標題 半導体デバイスにおける宇宙線ミュオン起因ソフトエラー発生率評価に向けたミュオン原子核捕獲反応 測定計画（1）概要
3. 学会等名 日本原子力学会2021年秋の大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福田宏哉、川瀬頌一郎、渡辺幸信、大石将也、川田哲平、郷慎太郎、西畑洗希、新倉潤、鈴木大介、真鍋征也
2. 発表標題 半導体デバイスにおける宇宙線ミュオン起因ソフトエラー発生率評価に向けたミュオン原子核捕獲反応 測定計画 (2) 荷電粒子計測システムの開発
3. 学会等名 日本原子力学会2021年秋の大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroya Fukuda, Shoichiro Kawase, Yukinobu Watanabe, Masaya Oishi, Teppei Kawata, Shintaro Go, Hiroki Nisibata, Megumi Niikura, Daisuke Suzuki, Seiya Manabe
2. 発表標題 Development of counter telescopes for light charged particles emitted from muon nuclear reaction on Si
3. 学会等名 2021年核データ研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川瀬頌一郎
2. 発表標題 Siミュオン原子核反応の測定計画
3. 学会等名 RCNP研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 赤澤 光平, 仲西唯吾, 鈴木悠平, 鎌倉良成
2. 発表標題 機械学習を用いた極微細MOSFETの電気特性およびパラメータの推定
3. 学会等名 電子情報通信学会SDM研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Kato, M. Tampo, S. Takeshita, Y. Miyake, H Tanaka, and M. Hashimoto
2. 発表標題 Muon-Induced Single-Event Upsets in 20-nm SRAMs: Comparative Characterization with Neutrons and Alpha-Particles
3. 学会等名 Nuclear and Space Radiation Effects Conference (NSREC) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 室田 拓哉, 川瀬 頌一郎、真鍋 征也、渡辺 幸信、福田 宏哉、田村 幸大、新倉 潤、郷 慎太郎
2. 発表標題 nTD-Si検出器を用いた波形解析による荷電粒子計測システムの開発
3. 学会等名 日本原子力学会2020年秋の大会学生ポスターセッション
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 室田 拓哉, 川瀬 頌一郎, 渡辺 幸信, 真鍋 征也, 福田 宏哉, 西津 美咲, 田中 裕貴, 田村 幸大, 郷 慎太郎, 甲斐 民人, 永田 優斗, 新倉 潤, 北村 徳隆, 水野 るり恵
2. 発表標題 nTD-Si検出器を用いた波形解析による粒子弁別可能な荷電粒子計測システムの開発
3. 学会等名 日本原子力学会九州支部第40回研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 橋本昌宜
2. 発表標題 ミュオン起因半導体ソフトエラーの測定と分析
3. 学会等名 J-PARC MLF 産業利用報告会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橋本昌宜
2. 発表標題 宇宙線起因ソフトエラーの測定と解析
3. 学会等名 応用物理学会シリコンテクノロジー分科会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橋本昌宜
2. 発表標題 Soft Error and Its Countermeasures in Terrestrial Environment
3. 学会等名 Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 R. Mizuno
2. 発表標題 In-beam activation measurement of muon nuclear capture reaction on Si isotopes
3. 学会等名 Workshop on frontier nuclear studies with gamma-ray spectrometer arrays (gamma24) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 R. Mizuno
2. 発表標題 Muon nuclear capture reaction on 28,29,30Si
3. 学会等名 Fall meeting of APS DNP and JPS (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Matsui
2. 発表標題 TCAD Simulation Study of Single-Event Transient in CFET Latch Circuit
3. 学会等名 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai (IMFEDK) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 M. Niikura
2. 発表標題 Nuclear physics for muon-induced soft error
3. 学会等名 Workshop for Computational Technique for Negative Muon Spectroscopy and Elemental Analysis (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 N. Nakagami
2. 発表標題 Development of a measuring method of cosmic-ray muon momentum distribution using drift chambers
3. 学会等名 International Symposium on Radiation Safety and Detection Technology (ISORD-11) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 R. Mizuno
2. 発表標題 Study of muon capture reaction on Si via in-beam muon activation
3. 学会等名 Advances in Radioactive Isotope Science (ARIS) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 M. Hashimoto
2. 発表標題 Toward Robust Neural Network Computation on Emerging Crossbar-based Hardware and Digital Systems
3. 学会等名 ASP-DAC (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 R. Mizuno
2. 発表標題 Measurement of nuclear transmutation via muon capture reaction for Si isotopes
3. 学会等名 Topical Workshops on Modern Aspects of Nuclear Structure (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Akazawa
2. 発表標題 Estimation of SPICE Parameters for MOSFETs with CNN Regression
3. 学会等名 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 R. Mizuno
2. 発表標題 Measurement of muon-induced nuclear transmutation for Si isotopes
3. 学会等名 Trans-scale Quantum Science Institute (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Hashimoto
2. 発表標題 Terrestrial Cosmic-Ray SEE testing
3. 学会等名 RADNEXT facility webinar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋本昌宜
2. 発表標題 ミュオン起因半導体ソフトエラーの評価と課題
3. 学会等名 中間子科学の将来討論会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋本昌宜
2. 発表標題 ミュオン起因ソフトエラーの測定と課題
3. 学会等名 原子力学会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Hashimoto
2. 発表標題 Toward Correct Understanding and Characterization of Cosmic Ray-induced Soft Errors
3. 学会等名 International Test Conference in Asia (ITC-Asia) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Hashimoto
2. 発表標題 Muon-induced Soft Errors in FinFET and Planar SRAMs
3. 学会等名 GB-RADNEXT Workshop 2024 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 水野るり恵
2. 発表標題 Siミューオン原子核捕獲反応による核変換分岐比の測定
3. 学会等名 日本物理学会 第79回年次大会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	安部 晋一郎 (Abe Shin-ichiro) (00727373)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 原子力科学研究所 原子力基礎工学研究センター・研究職  (82110)	
研究分担者	川瀬 頌一郎 (Kawase Shoichiro) (10817133)	九州大学・総合理工学研究院・助教  (17102)	
研究分担者	渡辺 幸信 (Watanabe Yukinobu) (30210959)	九州大学・総合理工学研究院・教授  (17102)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	佐藤 朗  (Sato Akira)  (40362610)	大阪大学・大学院理学研究科・助教    (14401)	
研究分担者	新倉 潤  (Niikura Megumi)  (50644720)	国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器科学研究センター・協力研究員    (82401)	
研究分担者	鎌倉 良成  (Kamakura Yoshinari)  (70294022)	大阪工業大学・情報科学部・教授    (34406)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関