様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　元 年　 ６ 月 １５ 日現在

機関番号：１７１０２
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2016～2018
課題番号：１６Ｈ０３９０６

研究課題名（和文）半導体デバイスのミューオン誘起ソフトエラー率評価のための技術基盤構築

研究課題名（英文）Development of technical platform for estimation of muon-induced soft error rates in semiconductor devices

研究代表者

渡辺　幸信（Watanabe, Yukinobu）

九州大学・総合理工学研究院・教授

研究者番号：３０２１０９５９

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　14,400,000円

研究成果の概要（和文）：国内ミューオン施設（J-PARC/MLF MUSEと阪大RCNP-MuSIC）において、65-nm SRAMデバイスに対するミューオン照射試験を実施した。実験結果は、負ミューオンの方が正ミューオンに比べてシングルイベントアップセット(SEU)断面積が大きいことを示した。シミュレーションにより、両者の相違は負ミューオン原子核捕獲反応に起因していることを明らかにした。さらに、宇宙線ミューオン計測装置を開発し、建屋内でエネルギー分布を取得し、モデル予測との整合性を確認した。照射試験、ミューオン計測、シミュレーション技術に対する研究開発を通じて、ミューオン起因ソフトエラー評価の技術基盤を構築できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義
放射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あるが、IoTの普及とともに世界中で膨大な数の半導体デバイスが使われているため、今後、発生数の増加が予想される。特に、社会インフラを支えている電子機器内でいったん誤動作がおこると、致命的な障害を起こす可能性がある。本研究では、次世代半導体デバイスで顕在化が危惧されている宇宙線ミューオンに起因するソフトエラーの発生機構を実験・シミュレーションにより解明し、エラー率推定のために基盤技術を開発した。その成果を次世代半導体デバイスの設計等に応用することで、車の自動運転やIoT分野の安心・安全な半導体技術創出への貢献が期待される。

研究成果の概要（英文）：We have conducted muon irradiation experiments for 65-nm SRAM devices at two domestic facilities (J-PARC/MLF MUSE and Osaka Univ. RCNP-MuSIC). The experimental results showed that the cross sections for negative-muon induced single-event upsets (SEUs) are much larger than those for positive-muon SEUs. It was clarified that this observation can be explained by the capture of stopping negative muons by nuclei in the device by means of muon transport simulation. Moreover, we have developed a portable spectrometer for cosmic-ray muons, and measured the muon energy distribution in the concrete building and confirmed the consistency between the measured data and model prediction. Thus, we have successfully established a technical platform for estimation of muon-induced soft error rates in semiconductor devices through the present technical development on irradiation experiments, cosmic-ray muon measurements, and soft error simulations.

研究分野：放射線理工学

キーワード：ミューオン　半導体デバイス　照射試験　シングルイベントアップセット　宇宙線ミューオン計測　粒子輸送シミュレーション　PHITS

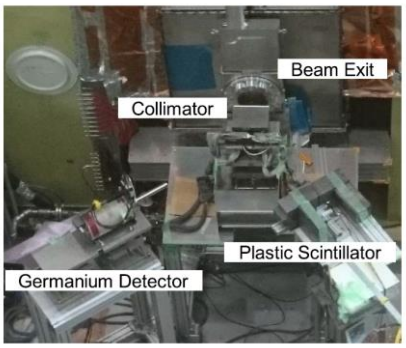
(1) J-PARC MUSE

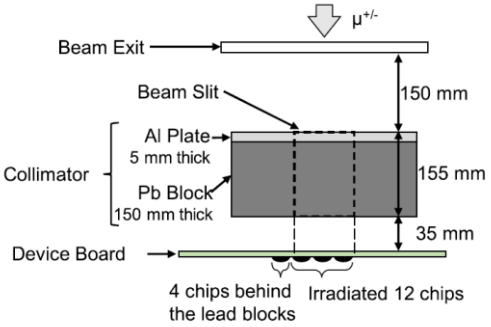
65nm

UTBB-SOI S4b SRAM

J-PARC

MUSE D2





J-PARC MLF MUSE

rN UTBB-SOI S4b SRAM 0.5V

(a)

38MeV/c

SRAM

(SV)

SEU

SEU

SEU

42MeV/c

(a)b)

PHITS[1]

(SV)

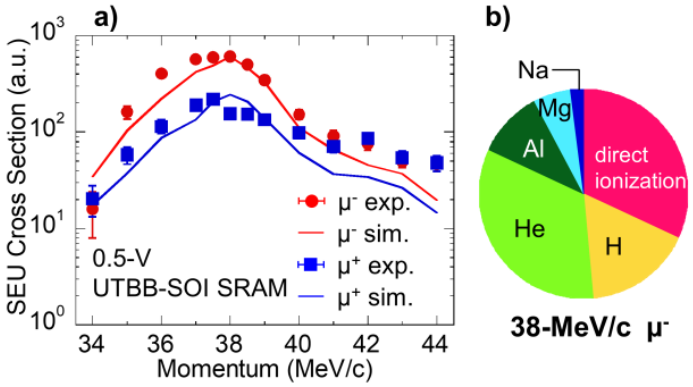
(PHITS-SV)b)

KZ8•

SEU

SEU

(b)

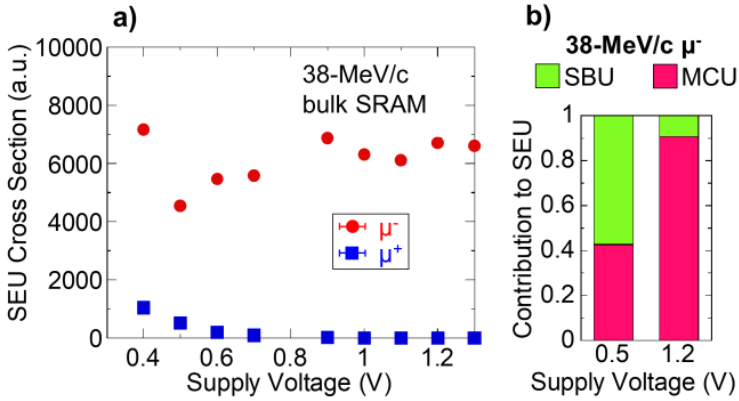


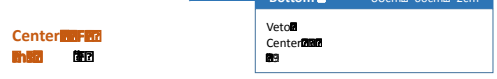
65-nm UTBB-SOI SRAM SEU

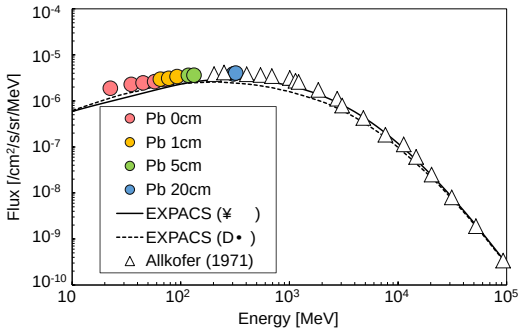
SRAM 38MeV/c

SEU

SEU 0.5V 0.5V







[1] T. Sato et al., J. Nucl. Sci. Technol. 55, 684-690 (2018).
[2] T. Sato, PLoS ONE, vol. 10, no. 12, e0144679 (2015).

7110 0

Seiya Manabe, Yukinobu Watanabe, Wang Liao, Masanori Hashimoto, Keita Nakano, Hikaru Sato, Tadahiro Kin, Shin-ichiro Abe, Koji Hamada, Motonobu Tampo, Yasuhiro Miyake, Negative and Positive Muon-Induced Single Event Upsets in 65-nm UTBB SOI SRAMs, IEEE Transactions on Nuclear Science1w 65 s 2018 1742-1749
DOI: 10.1109/TNS.2018.2839704

r Wang Liao, Masanori Hashimoto, Seiya Manabe, Yukinobu Watanabe, Shin-ichiro Abe, Keita Nakano, Hikaru Sato, Tadahiro Kin, Koji Hamada, Motonobu Tampo, Yasuhiro Miyake, Negative and Positive Muon-Induced Single Event Upsets in 65-nm UTBB SOI SRAMs, IEEE Transactions on Nuclear Science1w 65 s 2018 1734-1741
DOI: 10.1109/TNS.2018.2825469

q ,.(œ ᠎¶ ¾ᴹ 5 ; Epj 64 n ‡ 2017

r % ᠎¶ ¾ᴹ 4{ /2s 2017 2017

s ,.(œ 5 ; ᠎¶ ¾ᴹ 0£m26 78 n ‡ 2017

t Seiya Manabe, Yukinobu Watanabe, Wang Liao, Masanori Hashimoto, Keita Nakano, Hikaru Sato, Tadahiro Kin, Koji Hamada, Motonobu Tampo, Yasuhiro Miyake, Momentum and Supply Voltage Dependences of SEUs Induced by Low-energy Negative and Positive Muons in 65-nm UTBB-SOI SRAMs, Radiation Effects on Components & Systems (RADECS2017), 2017

u Wang Liao, Masanori Hashimoto, Seiya Manabe, Yukinobu Watanabe, Keita Nakano, Hikaru Sato, Tadahiro Kin, Koji Hamada, Motonobu Tampo, Yasuhiro Miyake, Measurement and Mechanism Investigation of Negative and Positive Muon-Induced Upsets in 65nm Bulk SRAMs, Radiation Effects on Components & Systems (RADECS2017), 2017

v ,.(œ 5 ; ᠎¶ ¾ᴹ 0£m26 n ‡ 2017

w % , ᠎¶ ¾ᴹ , p5 W´ , ,.(œ , 5 ; , ú , À , ¾ , o– – , Uï 65-nm SOTB SRAM 2s SEU b n ‡ 2017

x Yukinobu Watanabe, Recent progress in the study of soft errors in semiconductor devices, 2017 2017

y Seiya Manabe, Yukinobu Watanabe, Wang Liao, Masanori Hashimoto, Keita Nakano, Hikaru Sato, Tadahiro Kin, Koji Hamada, Motonobu Tampo, Yasuhiro Miyake, Shin-ichiro Abe, Negative and positive muons-induced single event upsets in 65-nm static random access memories, G Muon &É 2018

z Hikaru SATO, Tadahiro KIN, Yukinobu WATANABE, Development of Detection System for Measurement of Zenith Angular Differential Spectra of Low-energy Terrestrial Cosmic-ray Muon, International Symposium on Radiation Detectors and Their Uses (ISRD2018), 2018

{ ᠎¶ ¾ᴹ , % , ú , À , 4{ , ¾ , o– – , Uï /2s 2017 2018

| Seiya Manabe, Yukinobu Watanabe, Wang Liao, Masanori Hashimoto, Shin-ichiro Abe, Estimation of Muon-Induced SEU Rates for 65-nm Bulk and UTBB-SOI SRAMs, Radiation Effects on Components & Systems (RADECS2018), 2018

} Wang Liao, Masanori Hashimoto, Seiya Manabe, Shin-ichiro Abe, Yukinobu Watanabe, Similarity analysis on neutron- and negative moun-induced MCUs in 65-nm bulk SRAM, Radiation Effects on Components & Systems (RADECS2018), 2018

~ 9N f , % , ᠎¶ᴹ , ú ƒ , À , (Å , ; ¶ , , m5 ± , ,.(• RCNP-MuSIC 0 • 65-nm bulk SRAM 2s SEU b 7 n ‡ 2018

• 9N f , ᠎¶ᴹ , % , ú ƒ , À , (Å , ; ¶ , m5 ± , ,.(• , § DC S SEU 9 G Muon & 2018

W0

8g0