

デバイスシミュレーションによる 耐ソフトエラーフリップフロップの耐性評価

Evaluation of Resistance of Soft Error Tolerant Flip-Flops by Device Simulations

吉田圭汰 杉谷昇太郎 中島隆一 古田潤 小林和淑
Keita Yoshida Shotaro Sugitani Ryuichi Nakajima Jun Furuta Kazutoshi Kobayashi

京都工芸繊維大学
Kyoto Institute of Technology

1 概要

ソフトエラーとは、放射線がトランジスタに突入することによって電荷が発生し、ラッチやフリップフロップの保持値が反転するエラーのことである。ソフトエラーとは一時的な故障であるため再起動により修復可能だが、高い信頼性を要する分野では対策が必要となる。

本稿では、先行研究にて提案された耐ソフトエラーフリップフロップについて、デバイスシミュレータを用い、エラーに強い構造の特定を行った。

2 評価対象回路

耐性評価を行った 2 種類の回路を図 1 に示す。TIFF[1] はソフトエラー対策を施していない回路であり、FBTIFF[2] は、TIFF をもとに改善された回路である。キャリアの移動度の違いにより NMOS トランジスタでエラーが起こりやすいため、NMOS トランジスタの臨界電荷量 Q_{crit} を増加させている。 Q_{crit} とは、保持値の反転に必要な最小の電荷量のことである [3]。

回路シミュレーションにより求めた各ノードの Q_{crit} を表 1 に示す。TIFF において脆弱であったノード①、③の Q_{crit} は FBTIFF では大幅に増加しており、耐性の向上が期待される [2]。

3 ソフトエラー耐性評価結果

静特性の合わせ込みを行った 65 nm bulk プロセスのデバイスモデルを用いて、図 1 の回路のプライマリラッチ、セカンダリラッチ内の NMOS トランジスタを載せたデバイス構造をそれぞれ作成した。それぞれのノードが接続されている NMOS トランジスタのドレイン中央に重イオンを照射するデバイスシミュレーションを行いソフトエラー耐性の評価を行った。

照射する重イオンの強さは、線エネルギー付与 (LET: Linear Energy Transfer) で評価する。これは通過した粒子が生成する電荷量を示す値である。電源電圧を 1.2 V に設定し、LET を変化させながら重イオンを照射することで臨界 LET 値の評価を行う。臨界 LET 値とは、照射した際に保持値が反転する最小の LET 値のことであり、この値が大きいほどソフトエラー耐性は高い。

デバイスシミュレーションにより求めた臨界 LET 値を表 2 に示す。TIFF の脆弱箇所であるノード①、③の臨界 LET 値は Q_{crit} と同様、FBTIFF で耐性の向上が確認できた。これは Q_{crit} を増加させるためのトライステートインバータのゲート幅拡大、パストランジスタの追加

などが要因となっている。ノード②、④については改善前の TIFF のほうが耐性が高いという結果になった。特にノード②は、照射する重イオンの LET を大きくしても反転が起こらなかった。これは寄生バイポーラ効果によるものであると考えられる。ノード④は改善前のほうが耐性が高い理由がわかっていないため、今後この要因となる構造の特定を行う。

4 まとめ

本稿では、先行研究で提案された改善回路の耐性向上の要因をデバイスシミュレーションにより確認した。脆弱であったノード①、③については Q_{crit} 増加のために施された対策により臨界 LET 値も向上した。ノード②、④は改善前のほうが耐性が高い結果となった。今後は様々な回路のソフトエラー耐性をデバイスシミュレーションにより検証し、耐性の高い回路構造およびレイアウト構造を特定する。

参考文献

- [1] 山口潤己 他, DA シンポジウム, pp. 191-196, 2014
- [2] S. Sugitani, et al, IRPS 2023 (to be appeared)
- [3] P. Hazucha, et al, IEEE TNS, Vol. 47, No. 6, pp. 2586-2594, 2000

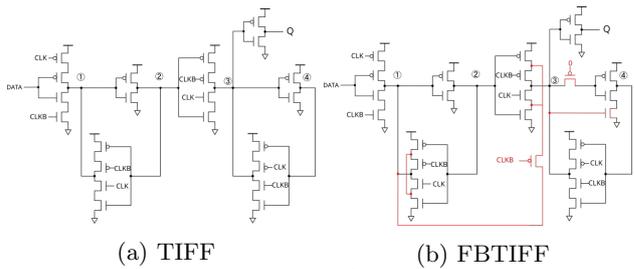


図 1: 評価対象回路

表 1: 臨界電荷量 Q_{crit}

回路構造	Q_{crit} [fC]			
	①	②	③	④
TIFF	3.6	11	3.5	9.8
FBTIFF	8.9	9.4	20	17

表 2: 臨界 LET 値

回路構造	臨界 LET 値 [MeV-cm ² /mg]			
	①	②	③	④
TIFF	0.5	> 15	0.5	1.7
FBTIFF	1.2	0.9	1.9	1.2