

デバイスシミュレーションを用いた ソフトエラー耐性のトランジスタしきい値電圧依存性の評価

Evaluation of Threshold-Voltage Dependence with Soft-Error Tolerance by Device Simulations

小島健太郎
Kentaro Kojima

山田晃大
Kodai Yamada

古田潤
Jun Furuta

小林和淑
Kazutoshi Kobayashi

京都工芸繊維大学
Kyoto Institute of Technology

1 はじめに

IoT (Internet of Things) ではトランジスタしきい値を上げてリーク電流を減らし、待機時間を稼がなければならぬ。本稿では、デバイスシミュレーションを用いて、しきい値電圧が異なる 2 つのトランジスタをソフトエラー耐性を求め、しきい値電圧のソフトエラー耐性への影響を評価する。

2 ソフトエラー

ソフトエラーとは、デバイスへ荷電粒子が突入することにより電子正孔対が生成され、ラッチの保持値やフリップフロップの論理値が反転するエラーのことである。発生したエラーは一時的なものであり、再起動により回復するが、医療分野や航空宇宙などの高い信頼性が要求される分野では重大である [1]。

3 トランジスタモデル比較

低しきい値と IoT 向けの高しきい値の 2 つのトランジスタを、回路シミュレーションを用いて特性比較を行った。図 1 にシミュレーションに用いた回路、表 1 に 11 段のファンアウト 4 のインバータチェーン (11FO4) における消費電力の回路シミュレーション結果を示す。

低しきい値トランジスタはリーク電流が大きい、動作時の消費電力は高しきい値トランジスタよりも約 62% 小さい。高しきい値トランジスタは動作時の消費電力は大きい、静止時のリーク電流による消費電力は低しきい値トランジスタよりも約 96% 小さい。高しきい値トランジスタは静止状態が長いほど電力効率がよく、IoT での使用には有効的である。

4 ソフトエラー耐性評価結果

I-V と C-V 特性を合わせこんだデバイスモデルを作成し、図 2 に示すラッチ回路を構成した。トライステートインバータの NMOS 部分に重イオン照射シミュレーションを行うことでソフトエラー耐性を評価した。

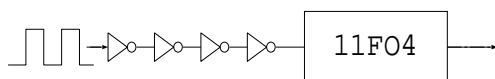


図 1 シミュレーションに用いた回路

表 1 消費電力シミュレーション結果

| しきい値 (標準動作電圧) | 動的電力 [μW] | 静的電力 [nW] |
|---------------|------------------------|-----------|
| 低しきい値 (0.5V) | 11.1 | 12.7 |
| 高しきい値 (0.75V) | 28.9 | 0.49 |

照射する重イオンの強さは、通過した粒子が生成する電荷量を示す値である、線エネルギー付与 (LET: linear energy transfer) で評価する。電源電圧は両モデルとも 0.75 V に設定し、同条件でシミュレーションを行った。重イオンを照射することで、回路の保持値が反転する。反転が起こった LET 値を臨界 LET とよび、臨界 LET が高いほどソフトエラー耐性は高い。図 2 に示すように、ノード N の電圧波形より反転が起こっているかを確認する。トランジスタのゲート中央に重イオンを照射した場合、図より、 $4.2 \text{ MeV}\cdot\text{cm}^2/\text{mg}$ で反転が起こる。同様に高しきい値トランジスタについても評価を行い、ソフトエラー耐性評価結果は表 2 に示す。

高しきい値トランジスタの方が約 17% 臨界 LET が低く、ソフトエラー耐性が低い。

5 まとめ

異なるしきい値のトランジスタモデルを作成し、デバイスシミュレーションを用いて、ソフトエラー耐性評価を行った。しきい値電圧が高くなると、ソフトエラー耐性は低下するという結果が得られた。しきい値により、動作時の電流量が異なり、反転からの回復速度は電流量に依存する。これがソフトエラー耐性と関係していると考えられる。ソフトエラー耐性はしきい値電圧に依存し、IoT に用いられるトランジスタは従来のトランジスタに比べソフトエラー耐性が低い。

参考文献

[1] 山田晃大, 他, DA シンポジウム, pp.1-2, 2017.

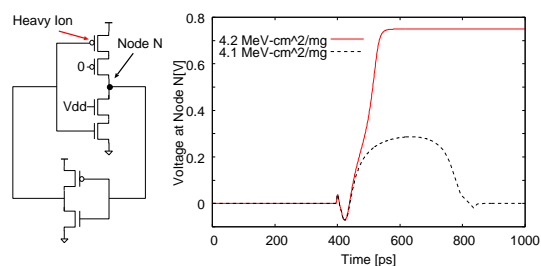


図 2 重イオン照射時のノード N の電圧波形

表 2 ソフトエラー耐性評価結果

| しきい値 | 臨界 LET [$\text{MeV}\cdot\text{cm}^2/\text{mg}$] |
|-------|---|
| 低しきい値 | 5.1 |
| 高しきい値 | 4.2 |