

回路構造によるフリップフロップのソフトエラー耐性評価

Soft Error Tolerance Evaluation of the Flip-flops due to their Circuit Structure

山口潤己
Junki Yamaguchi

古田潤
Jun Furuta

小林和淑
Kazutoshi Kobayashi

京都工芸繊維大学
Kyoto Institute of Technology

1 概要

近年、集積回路の微細化・高集積化に伴い信頼性が低下しており、航空機や医療機器など、高信頼性の求められる場合においてソフトエラー対策が必要となっている。本稿では回路構造の異なる2つのDFFのソフトエラー耐性について検討する。

2 ソフトエラー評価方法

ソフトエラーとは、集積回路に粒子線が通過、または衝突することにより電子正孔対が生成され、一時的にメモリ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。ソフトエラーは電子正孔対によるパルスの発生場所によって種類が分けられており、本稿ではラッチなどのデータを保持している部分にキャリアが収集されることによって、データが反転するSEUについて考える。ラッチなどのデータ保持値を反転させるためには一定以上の電荷が必要で、これを臨界電荷量 Q_{crit} と呼ぶ。回路シミュレーションにより、回路の各ノードに電流源を粒子線により誘起された電流 [1] として付加し、 Q_{crit} を求める。式(1)を用いてエラーが起こりうる全てのノードについてソフトエラー率 (SER) を計算した [2]。 F は中性子量であり、 $0.00565/\text{cm}^2\text{s}$ 、 K は比例定数で値は 2.2×10^{-15} 、 A は粒子が衝突するノードの面積である。 Q_s は電荷収集効率で、プロセスによって異なる。本稿では実測値から求めた 6.92fC を用いた。

$$N_{SER} = F \times K \times A \times \exp\left(-\frac{Q_{crit}}{Q_s}\right) \quad (1)$$

3 ソフトエラー耐性を比較する回路

図1に回路構造の異なる2種類のDFF(TGFF, TIFF)を示す。TGFFはマスターラッチとスレイブラッチはトランスマッションゲートで接続されており、マスターラッチがラッチ状態ではデータは双方向に伝達する。一方でTIFFは、マスターラッチとスレイブラッチはトライステートインバータで接続されており、データはマスターからスレイブへ単方向へ伝達する。

CLK=1、入力が1で図1のように粒子線が衝突した場合を考える。このときTGFFではトランスマッションゲートはON状態なので、粒子線の衝突により発生した電荷がマスターラッチのインバータのドレイン部分に収集され、保持データが反転してしまう可能性がある。しかしTIFFではマスターラッチとスレイブラッチを接続しているトライステートインバータはOFF状態であるのでスレイブラッチに粒子線が衝突しても保持値が反転することはない。よってソフトエラーが引き起こされ

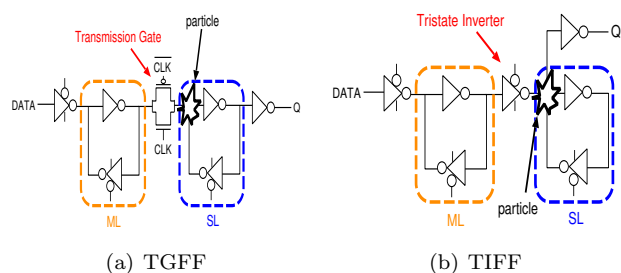


図1 ソフトエラー耐性を比較するフリップフロップのノードの数がTGFFの方が多くなるため、ソフトエラー率は異なる。

4 シミュレーション結果と分析

ソフトエラー率、消費電力、遅延時間、面積をTGFFで正規化した結果を表1に示す。表1中の α は活性化率を指し、クロックエッジトリガの入力に対する出力の変化の割合である。消費電力、遅延時間、面積に関してはTGFFはTIFFよりも小さい。しかし電圧1.2V印加時でのTIFFのソフトエラー率はTGFFよりも約22%小さく、TIFFの方がソフトエラー耐性は高くなった。CLK=1、入力が1で図1のように粒子線が衝突したときの影響を考えなかった場合、ソフトエラー率に大きな違いはなかった。このことから回路構造の違いにより、ソフトエラー耐性が大きく異なることがわかる。

表1 各特性の比較

	SER(1.2V)	電力 ($\alpha=25\%$)	遅延 (1.2V)	面積
TGFF	1.00	1.00	1.00	1.00
TIFF	0.78	1.05	1.13	1.12

5 結論

回路シミュレーションにより、回路構造の異なる2種類のDFF(TGFF, TIFF)のソフトエラー耐性を評価した。消費電力、遅延時間、面積はTGFFの方が優れているが、ソフトエラー率に関してはTGFFの方が約1.2倍大きく、ソフトエラーに対して脆弱である。

謝辞

本研究は、METI, NEDO 委託先であるLEAPの「低炭素社会を実現する超低電圧デバイス技術プロジェクト」において共同実施された。

参考文献 [1] DSN, 2002, pp. 389-398 [2] TNS, Vol.46, No.6, 2000, pp. 2586-2594