

ソフトウェアによる多ビットエラーのラッチ間距離依存性の評価

Measurement of Multiple Cell Upset according to the Distances between Latches on Flip-Flops

古田 潤¹ 小林 和淑^{2,3} 小野寺 秀俊^{1,3}
 Jun FURUTA Kazutoshi KOBAYASHI Hidetoshi ONODERA

京都大学¹, 京都工芸繊維大学², JST, CREST³
 Kyoto University¹, Kyoto Institute of Technology², JST, CREST³

1 はじめに

プロセスの微細化に伴い LSI の信頼性が低下し、ソフトエラーによる一過性のエラーが増加している。ソフトエラーは粒子線の衝突によりトランジスタの出力が反転する現象である。記憶素子に粒子線が衝突すると保持データを反転する SEU (Single Event Upset) が生じる。SEU の対策として三重化フリップフロップなどの多重化回路が提案されているが、複数の保持データが同時に反転する MCU (Multiple Cell Upset) が生じるとエラーになってしまう [1, 2]。エラー耐性の向上には MCU の対策が必要であり、効果的な対策のためには MCU の特性評価が必要不可欠である。MCU の発生の一要因として粒子線の衝突によって生じる基板電位の変動がある [3]。この場合、MCU 特性は値を保持するラッチ間の距離に依存すると考えられる。本稿では 3 種類のシフトレジスタを用いてフリップフロップ (FF) の MCU 発生率を測定し、MCU 発生率のラッチ間距離依存性を評価した結果について報告する。

2 シフトレジスタの構造

MCU 発生率のトランジスタ間距離依存性を測定するために図 1 に示す三種類のシフトレジスタを 65nm CMOS プロセスを用いて試作した。タップレスのセルを用いてシフトレジスタを構成し、タップセルは 50μm 間隔で挿入した。図 1 に示すように奇数行と偶数行の配置をずらすことで上下に配置された FF のマスターラッチ間、スレイブラッチ間の距離を変更している。各配置におけるマスター・スレイブのラッチ間距離の値を図 2 に示す。図 2 に示した配置の FF 間で生じた MCU の発生率を測定することで、各ラッチ間距離における MCU 発生率を取得し、MCU のラッチ間距離依存性を取得する。

3 中性子加速試験による測定結果

大阪大学の核物理研究センターの白色中性子線を用いて加速試験を行い、FF における SEU、MCU 発生率を測定した。図 3 に SEU 中に占める MCU 発生割合のラッチ間距離依存性の測定結果を示す。MCU の割合は FF 間距離のべき乗で減少する結果となった。ラッチ間距離が最も近い 0.50μm では MCU の割合が 30% となっており、MCU の対策をしない場合では三重化 FF の耐性は FF の 3.3 倍と非常に低い値となる。100 倍以上のエラー耐性を実現するには 4μm 以上ラッチを離す必要がある。三重化 FF では 3 つの FF を上下ではなく、左右に配置することで 100 倍程度のソフトエラー耐性となる。

4 まとめ

本稿では FF における MCU のラッチ間距離依存性を測定した結果について報告した。MCU の発生割合はラッチ間距離のべき乗で減少し、最もラッチ間距離に近い 0.50μm では MCU の割合は 30% と非常に大きい結果となった。ソフトエラー耐性の向上には SEU だけでなく MCU も考慮した設計が必要である。

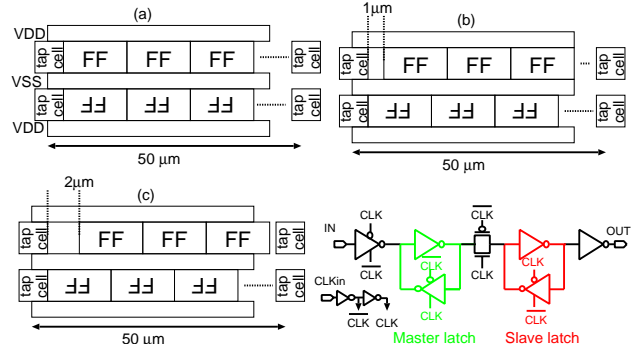


図 1 シフトレジスタのブロック図と FF の構造。

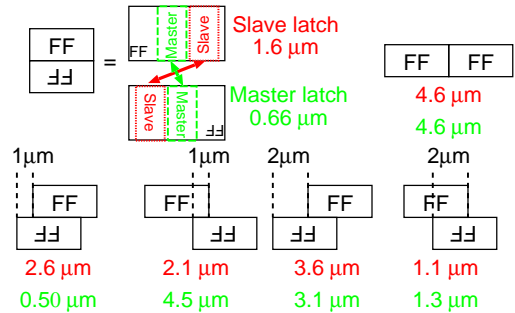


図 2 各配置のラッチ間距離。上の値がスレイブ間、下の値がマスター間のラッチ間距離

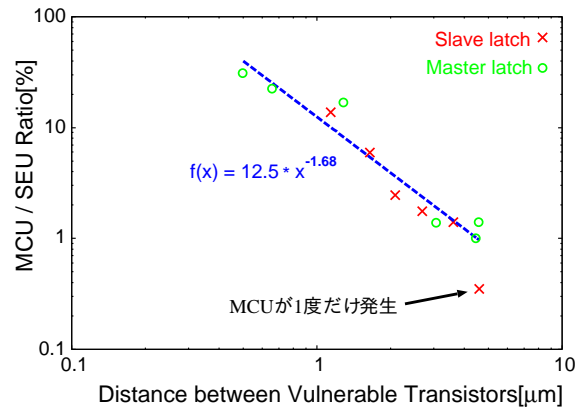


図 3 SEU 中に占める MCU 発生割合のラッチ間距離依存性。

参考文献

- [1] T. Uemura et al., *IOLTS*, pp. 7 – 12, 2011
- [2] J. Furuta et al., *ASP-DAC*, pp. 83 – 84, 2011
- [3] T. Nakauchi et al., *IRPS*, pp. 187 – 191, 2008

謝辞 本研究の一部は、経済産業省から STARC に委託された「次世代回路アーキテクチャ技術開発事業」、及び特別研究員奨励費 (24-7662) により実施した。チップ試作は東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通し 株式会社半導体理工学研究センター、(株) イー・シャトルおよび富士通株式会社の協力でされた。