

集積回路のソフトウェア

Soft Errors on a Semiconductor Chip

小林和淑

Kazutoshi Kobayashi

京都工芸繊維大学工学科学研究科

Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology

1 はじめに

集積回路 (LSI) の微細化に伴い搭載されるトランジスタ数は爆発的に増加している。一方、LSI の適用分野は自動運転や航空宇宙にまで及んでおり、信頼性が毀損すると人命を脅かす。ソフトウェアは宇宙から降り注ぐ中性子、パッケージやボンディングワイヤに含まれる放射性不純物から放出される α 線によって SRAM やフリップフロップなどの記憶素子の記憶値が反転する現象である。永久故障であるハードエラーと異なり、不具合が起こっても電源の再投入やメモリの再書き込で修復できる一時故障である。ソフトウェアはランダムに発生し、LSI になんらの損傷も起こさないため、一時故障の要因がソフトウェアであるかどうかの判断は非常に難しい。日立による日常の一時故障の 90% がソフトウェアという報告 [1] もある。ソフトウェアによると推測された航空機事故も発生しており、2019 年には横河電機でソフトウェアにより 27 億円もの特別損失を計上したとの報道もあった。ここでは我々の研究グループが実施してきたソフトウェアに関する研究の一部を紹介するとともに産官学連携についてもまとめる。

2 ソフトエラー耐性の高いフリップフロップ (FF)

2008 年より JST の CREST による支援のもと、ソフトウェアによる一時故障と BTI (Bias Temperature Instability) による経年劣化について研究を開始した。手始めに Stanford/Intel の提案した BISER FF の弱点を改良した BCDMR FF [2] (図 1) を提案し 65nm プロセスにて試作を行い、 α 線、大阪大学 RCNP の白色中性子を用いたソフトウェア耐性の実験を行い、クロック周波数を高くしても高いソフトウェア耐性を有することを実証した。RCNP での実験では、2009 年に CREST の予算で購入したばかりの自家用車で持ち運べる小型の LSI テスタを持ち込んで実験を行った。信頼性の研究は対策回路もしくは測定回路を提案し、その測定結果を解析することで成り立つ。中性子による地上でのソフトウェア耐性を測定できる加速器施設は世界中を見ても数カ所しかなく、近隣の大阪大学で実験できたことは大変幸運であった。実験費用も研究提案を行い採択されることで無償となり研究の推進に大きく貢献した。

2012 年から 2015 年にかけて超低電圧デバイスプロジェクト (通称 LEAP) の薄膜 BOX 層 FDSOI (SOTB) のプロジェクトに参加し、FDSOI 向けのソフトウェアフリップフロップの研究を開始した。LSI の試作には多額の費用が発生するがプロジェクトの負担で無償で比較的大きなサイズの LSI を試作評価することができた。得

られた成果は SOTB を実用化したルネサスエレクトロニクスのホームページに掲載されている。[3] FDSOI では個々のトランジスタが BOX 層により分離されているため、放射線突入の影響範囲が限定され、高いソフトウェア耐性に繋がる。FDSOI 向けに既存の Guard Gate FF を改良し提案したのが FRFF [4] (図 2) と呼ぶ遅延/電力/面積オーバーヘッドの比較的小さい SOI 向け耐ソフトウェア FF である。FRFF は海外企業の高い評価を受け、現在、先端の微細プロセスにての試作が進行中である。

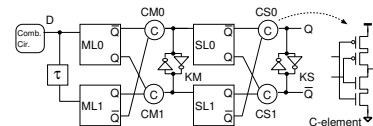


図 1 BCDMRFF

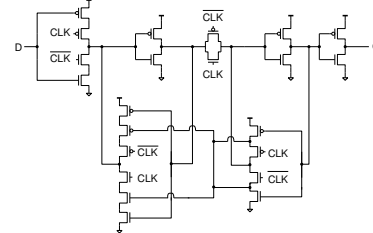


図 2 FRFF

3 量子アプリ共創コンソーシアム (QiSS) を核としたソフトウェアによる産官学連携

ソフトウェアの研究を始めて 12 年が過ぎた。この間、STARC を皮切りに、ルネサスエレクトロニクス、ソシオネクスト、パナソニック、NSW、ローム、NEC スペーステクノロジー各社からソフトウェアに関する共同研究を受け入れてきた。2017 年からは JST の OPERA により、QiSS が立ち上がり、阪大 RCNP 主導の下、「超スマート社会の安全基盤を支えるソフトウェア対策」に関する産官学連携研究活動がスタートした。研究期間は今年度までだが、その後の活動を円滑に進めるため、社団法人量子アプリ社会実装コンソーシアム (QaSS) も立ち上がり、継続的にソフトウェアの産学連携を進めていく予定である。

参考文献

- [1] 信学技法, ICD2009-72
- [2] doi:10.1109/TNS.2011.2169457
- [3] <https://www.renesas.com/jp/ja/application/technologies/sotb-merit>
- [4] doi:10.1109/TNS.2020.3002841