

# 重イオンビームを用いた冗長化フリップフロップの ソフトエラー耐性評価

Soft Error Immunity on Redundant Flip-Flops with Heavy Ion Beams

村上 賢秀  
Katsuhide Murakami

山本 亮輔  
Ryosuke Yamamoto

小林 和淑  
Kazutoshi Kobayashi

京都工芸繊維大学  
Kyoto Institute of Technology

## 1 まえがき

プロセスの微細化に伴い LSI の信頼性が低下し、ソフトエラーの影響が大きくなっている。ソフトエラーを引き起こす原因となる粒子線の種類は地上においては  $\alpha$  線、熱中性子、高エネルギー中性子、宇宙においては重イオンがあげられる。本稿では既存の耐ソフトエラーフリップフロップである BISER フリップフロップ (BISER FF) と、BCDMR フリップフロップ (BCDMR FF) を 65nm プロセスで試作し重イオンビームを用いてエラー耐性を測定を行い、中性子加速試験の結果 [1] 及び宇宙向け DICE FF [2] と比較した。

## 2 重イオンビームによる測定

重イオン測定は JAEA 高崎量子研究所 TIARA で行った。BISER FF と BCDMR FF をそれぞれローカルループ構造のシフトレジスタとし、ツインウェル部に 32400bit、トリプルウェル部に 30240bit 集積したチップを用いた。これらの FF のレイアウトは宇宙空間を想定したものではない。照射したイオンは Kr を使い、照射角は  $90^\circ$  とし、BISER FF と BCDMR FF について各ウェル毎にエラー数をカウントした。測定結果を表 1 に示す。今回の測定では、PLL を利用できなかったため 250kHz~3MHz の低いクロック周波数での測定を行った。また、同チップに搭載してある通常の D-FF においては 45832bit 中 118 個の SEU によるエラーが測定された。次に表 1 の結果から求めた衝突断面積 (Cross-Section) をウェル毎に図 1、図 2 に示す。図 1、2 より、BCDMR FF に比べ BISER FF の方が衝突断面積が小さいという結果が得られた。

## 3 結果の考察

表 1 より、ツインウェルに比べトリプルウェルの場合エラー数が約 1.5 倍から 10 倍少ない。しかし、中性子加速試験ではツインウェルの方がエラーが少ない [1]。中性子によるソフトエラーは、核反応による二次的なイオンが原因であり、重イオンが直接ソフトエラーを起こす場合と異なることが一因である。次に、65nm プロセスの D-FF 及び 90nm プロセス通常のラッチ、ソフトエラー耐性を持つ DICE FF [2] と衝突断面積を比較する。65nm プロセスの通常の FF では  $3.50 \times 10^{-7}$ 、90nm プロセスでは通常のラッチで  $4.46 \times 10^{-8}$ 、DICE FF では  $4.76 \times 10^{-11}$  である。比較すると、65nm プロセスのエラー耐性は 90nm プロセスに比べ約 10 分の 1 である。また、D-FF の約 10 倍から 1000 倍のエラー耐性がある

り、トリプルウェル上の BISER FF の場合、90nm の DICE FF の 10 分の 1 程度のエラー耐性となった。しかし、BCDMR FF は C-element が weak keeper を両側からドライブする構造のため同時反転に強くエラー耐性が高いので、出力の配線ミスで BISER と BCDMR のエラー数が逆になっている可能性がある。今後の課題として、PLL を利用し高いクロック周波数で実験を行うことと、単一のイオンだけでなく複数のイオンでの測定が挙げられる。

表 1 各 FF のウェル毎のエラー数/全ビット数

クロック	ツインウェル		トリプルウェル	
	BISER	BCDMR	BISER	BCDMR
250kHz	253/32400	2212/32400	25/25057	335/27677
1MHz	275/32400	2386/32400	30/26331	701/28234
2MHz	291/32400	994/32400	28/24335	677/26465
3MHz	296/32400	3380/32400	18/27707	1217/28004

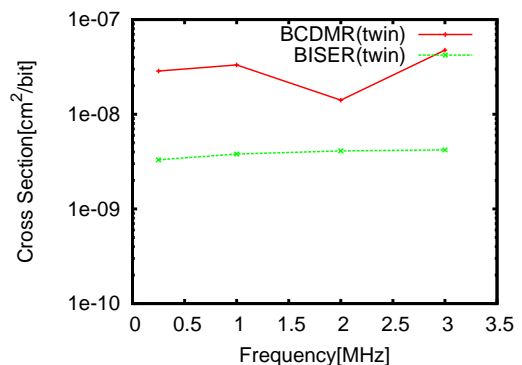


図 1 衝突断面積 (ツインウェル)

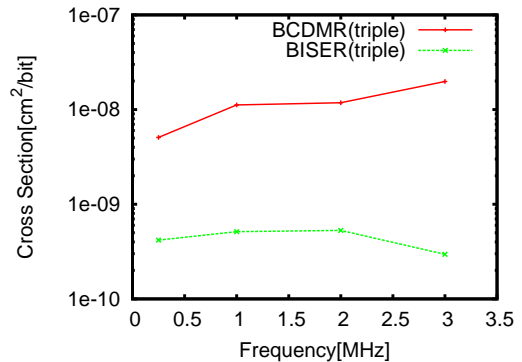


図 2 衝突断面積 (トリプルウェル)

## 参考文献

- [1] 山本 他 ICD2011-129, pp.131-136, 2011
- [2] Maru et al., IEEE TNS, vol.57, no.6, pp.3602-3608, 2010