

医療用炭素線ビームの二次粒子により発生する電子機器のソフトウェアの実測評価

Measurement results of soft errors caused by a medical carbon beam

京都工繊大工¹, 群馬大医² ○(M2) 松本 隆洋¹, 小林 和淑¹ 酒井 真理²

Kyoto Inst of Tech.¹, Gunma Univ.²,

○Takahiro Matsumoto¹, Kazutoshi Kobayashi¹, Makoto Sakai²

E-mail: tmatsumoto@vlsi.es.kit.ac.jp

1 はじめに

放射性粒子の突入により発生するエラーをソフトウェアと呼ぶ。がん治療に用いられる重粒子線により発生する中性子や陽子などの二次粒子により電子機器内のLSIが誤作動する。

本稿では、プロセスノードが28 nmのXilinx製FPGAのソフトウェアを実測した。PHITS [1]でシミュレーションを行い、ソフトウェア率の解析を行った。

2 研究方法・結果

回路の構成を保存するメモリをCRAMと呼び、SRAMを使用する。CRAMの照射後のソフトウェア数を計測した。測定環境を図1に表す。1回の測定につき最大 2.0×10^{11} 個の炭素粒子を照射する。

ソフトウェア数を表1に示す。相対粒子数は照射できる最大粒子数に対して、実際に放射した粒子数の比を示す。重粒子を照射するアクリルの厚さは130 mmと50 mmの2種類である。

3 PHITSによるエラー率の推定

中性子・陽子のスペクトルを図2に示す。シミュレーション回数は 5.0×10^7 回である。

20 MeV以上の陽子のソフトウェア率は中性子と同程度である[2]。20 MeV以上の中性子・陽子の合計のFluxを計算し、地上に対するエラーの起こりやすさを表すAcceleration Factor (AF)

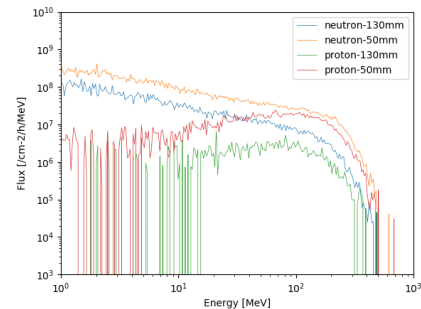


図 2: Neutron / Proton Spectrum

表 1: Results of Irradiation experiment

厚さ	相対粒子数	測定回数	エラー数	AF	SER [FIT/Mbit]	2 σ [FIT/Mbit]
130 mm	1	5	205	1.406×10^8	233.78	188.73
	0.1	5	11	1.406×10^7	125.44	168.78
50 mm	1	1	241	4.532×10^8	426.32	-
	0.1	6	116	4.532×10^7	341.41	218.64
	0.02	5	18	2.811×10^6	1026.71	867.00

を計算した。平均エラー数から求めたSERを概算し、2 σ の範囲を表1に示す。

[3] から、FPGAのSERは 97.86 ± 17.61 FIT/Mbitであり、重粒子線照射から求めたSERはベンダーの開示値よりも高くなっている。

4 まとめ

本稿では、炭素線により生じる20 MeV以上の中性子・陽子のFluxから炭素線環境下のAFを推定した。炭素線近傍では 4.5×10^8 以上のAFとなり、1時間あたりのエラー数が地上での4.5万年以上のエラー数になる。

参考文献

- [1] doi:10.1080/00223131.2017.1419890.
- [2] doi:10.1109/tns.2004.835083.
- [3] Xilinx.Device Reliability Report Second Half2020 version 10.14, Apr. 2021.

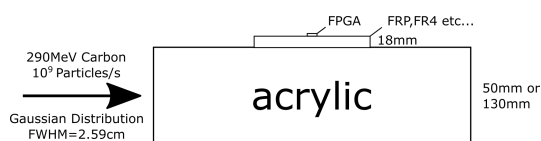


図 1: Diagram of the experimental environment