

M-6

トータルドーズ効果を考慮した細胞体モデルに対する一検討

A Study on Cell Body Model Considering Total Ionizing Dose Effects

○奥山敦司¹, 佐伯勝敏², 関根好文²

*Atsushi Okuyama¹, Katsutoshi Saeki², Yoshifumi Sekine²

Abstract: The error of electronic circuits in the space environment is caused by total ionizing dose effects (TID) and single event effects (SEE).

In this paper, we focused on the TID, when we use brain-type information processing system in the space environment. Especially, we consider a Λ -shape negative resistance device in a proposed cell body model.

As a result, it is clearly shown that the working range by threshold voltage extends, because the aspect ratio of the Λ -shape negative resistance device is increased.

1. まえがき

高集積化による軽量・小型・低消費電力という特徴は、多くの制限がある宇宙環境下において必要不可欠である。しかし、宇宙環境等の放射線環境下ではその影響を受けやすく、シングルイベント効果(以下SEE)、トータルドーズ効果(以下TID)が発生し回路動作に影響が出ることが報告されている^[1]。特に、TIDは存在確率が高い放射線により発生し、回路全体のMOSFETに影響が出る。したがって、耐環境性に優れた電子回路技術が要求される。

我々は、脳型情報処理システムを組み込んだヒューマノイドロボット^[2]を宇宙環境下においても動作可能とすることを目的としている^[3]。

今回、脳型情報処理システムを構成する細胞体モデルが放射線環境下でTIDが発生した場合においても動作可能とするため、細胞体モデルを構成する Λ 形負性抵抗素子に注目し検討を行った。

2. 本論

Fig. 1に細胞体モデルを示す。同図は、生体における膜容量に相当するキャパシタ C_m 、漏れ抵抗部 M_R 、動的バイアス部に相当する C_g 、静的バイアス部 M_D 、バイアス電圧の変化を補助する M_C 、 Λ 形負性抵抗素子に相当する M_{AN} 、 M_{AP} の6要素で構成している。本モデルは、外部入力 I_{in} により出力パルス V_{out} を得ることができる他励振細胞体モデル、 I_{in} を入力せず V_{out} を得ることができる自励振細胞体モデルを構成することが可能である。Fig. 2に細胞体モデルを構成する Λ 形負性抵抗素子を示す。同図は、細胞体モデルにおける V_{OUT} に相当する V_D 、 C_g の両端電圧に相当する V_{b1} 、電源電圧に相当する V_A 、 V_{b2} で構成している。また、 M_{AN} 、 M_{AP} は細胞体モデル

と同様のMOSFETを用いた。

Fig. 3に Λ 形負性抵抗素子を構成するMOSFETがTIDの影響を受け、閾値電圧が変動した場合の V_D - I_{Λ} 特性を示す。同図は、Fig. 2中のMOSFETのアスペクト比をそれぞれ5とし、 $V_A=V_{b2}=1.8[V]$ 、 $V_{b1}=2[V]$ と設定した特性である。図中、閾値電圧をパラメータとし、 $0.0[V]$ は閾値電圧が変動していない場合を示している。また、TIDを考慮し、閾値電圧が $\pm 0.8[V]$ まで、 $0.4[V]$ ごとに変動した場合の特性である。同図より、TIDの影響を受け、閾値電圧が変動した場合、 V_D - I_{Λ} の特性が変化することを示している。

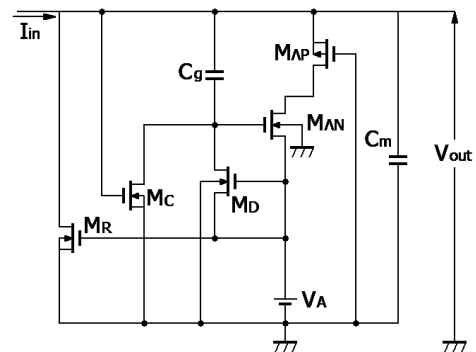


Fig. 1 Cell body model

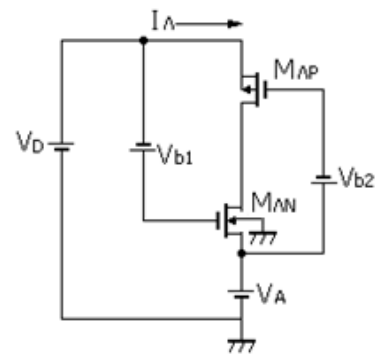


Fig. 2 Λ -shape negative resistance device

1 : 日大理工・学部・子情 2 : 日大理工・教員・子情

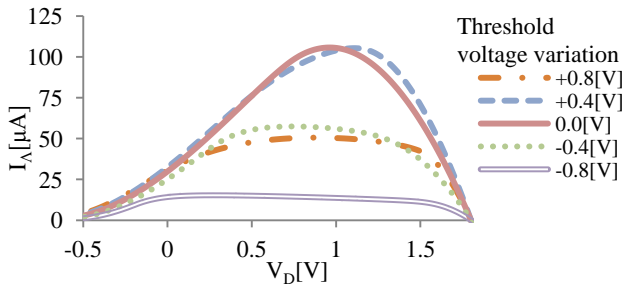


Fig. 3 I_A - V_D characteristics for threshold voltage variation

Fig. 4に Δ 形負性抵抗素子を構成するMOSFETのW/Lを変えた場合の、閾値電圧の変動に対する細胞体モデルの出力最大電圧の推移を示す。同図は、細胞体モデル中、全てのMOSFETの閾値電圧を変化させた場合で、横軸に閾値電圧の変化、縦軸に細胞体モデルの出力最大電圧を示している。同図は、W/Lを増加させ、 Δ 形負性抵抗素子に流れる電流が増加することで、細胞体モデルの閾値電圧の変動に対する動作範囲が0.4[V]~1.2[V]まで広がることを示している。

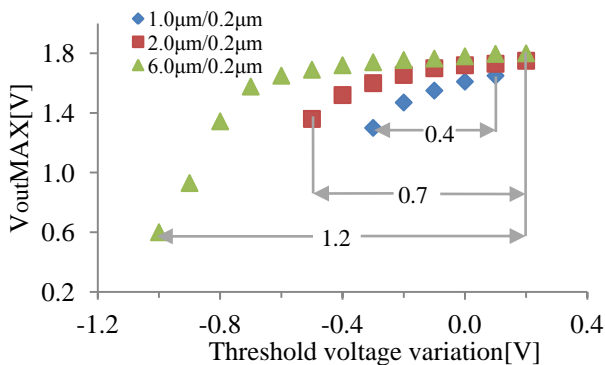


Fig. 4 Characteristics waveform of cell body model for threshold voltage variation

Fig. 5にチップ化を行う細胞体モデルのレイアウトを示す。今回、ROHM社の0.18 μ mプロセスルールを用いて設計を行った。各素子のW/Lを $M_{AP}=M_{AN}=6.0\mu\text{m}/0.2\mu\text{m}$ 、 $M_D=0.3\mu\text{m}/3.0\mu\text{m}$ 、 $M_C=0.5\mu\text{m}/10.0\mu\text{m}$ 、 $M_R=0.3\mu\text{m}/2.5\mu\text{m}$ とし、 $C_M=32\text{fF}$ 、 $C_g=16\text{fF}$ を用いた。

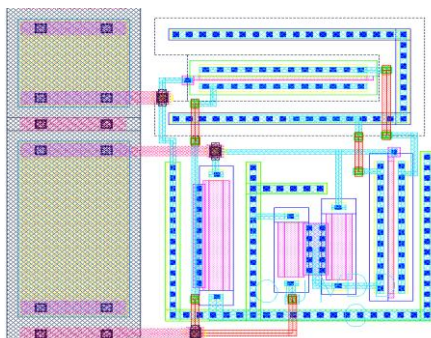


Fig. 5 Layout of cell body model

Fig. 6に、Fig. 5のレイアウトを用いシミュレーションした結果を示す。同図は、寄生容量を考慮した場合と、考慮しない場合の V_{out} を示している。同図より、寄生容量を考慮した場合においても発火可能であり、 V_{out} の最大値が減少することで、発火時間が遅れることを示している。

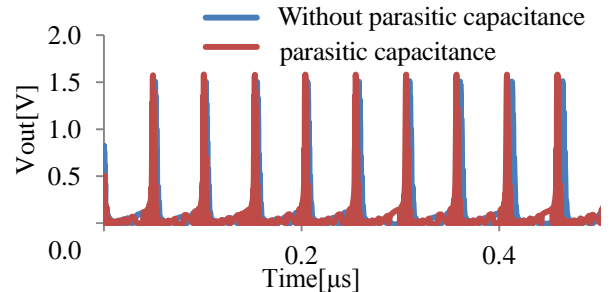


Fig. 6 Output waveforms of a cell body model for considering parasitic capacitance

3. まとめ

今回、細胞体モデルが放射線環境下でTIDが発生した場合においても動作可能とするため、細胞体モデルを構成する Δ 形負性抵抗素子に注目し検討を行った。

その結果、 Δ 形負性抵抗素子を構成するMOSFETのW/Lを増加させることで、細胞体モデルの動作範囲が0.4[V]~1.2[V]まで広がることを明らかにした。

今後は回路構成を変えることで、閾値変動に耐性を持つ細胞体モデルの構築を行う。また、 Δ 形負性抵抗素子のW/Lを変化させた細胞体モデルのチップ化を行い、実測を行う予定である。

4. 謝辞

本研究は、日本大学理工学部シンボリック・プロジェクト形成支援事業（宇宙利用システム）の研究の一環として行われたものである。また、本研究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、日本ケイデンス株式会社、シノプシス株式会社及びビローム株式会社の協力で行われたものである。

5. 参考文献

- [1] 大西一功, 松田純夫: 「半導体素子に対する放射線照射効果」, 信学論, Vol.85, No.9, pp.662-669, 2002.
- [2] 関根好文, 佐伯勝敏: 「カオス発生可能なパルス形ハードウェアニューロンモデルのCMOS実装とその応用」, JNNS, Vol.15, No.1, pp.27-38, 2008.
- [3] 奥山敦司, 渡邊晋吾, 佐伯勝敏, 関根好文: 「SOIを用いた神経回路網モデルの耐環境性評価に対する一検討」, 電気学会C部門大会, No.PS6-7, pp.1891-1892, 2012.