

放射線による局所昇温現象を考慮したソフトエラーシミュレーションの適用可能性 Feasibility study on soft-error simulation with a model for radiation-induced increase in local temperature

JAXA 宇宙研¹, 東大院工² ○小林 大輔^{1,2}, 伊藤 大智¹, 廣瀬 和之^{1,2}
ISAS/JAXA¹, U. Tokyo² ○Daisuke Kobayashi^{1,2}, Taichi Ito¹, Kazuyuki Hirose^{1,2}
E-mail: d.kobayashi@isas.jaxa.jp

【はじめに】ソフトエラーは半導体集積回路が一発の放射線によって誤動作する現象である。今日に至っては、厳しい放射線環境に晒される宇宙用途は元より地上用途であっても、この現象がもたらす影響の評価・対策が欠かせない。TCADシミュレーションがそのために良く使われるが、放射線によって生じる局所的で過渡的な昇温現象が取り込まれていない。我々はこの現象をモデル化し、その必要性を明らかにすることに取り組んでいる。前回^[1]、比較的簡便に悲観的に見積ることを目指してモデルを提案した。その適用可能性について検討する。【モデルの概要】前回の検討では、200 nm 完全空乏型 SOI-CMOS 回路^[2]に、 α 線に代表される重イオン放射線が当たった場合を例とした。チャンネル Si 領域（ボディ領域）が主に放射線に反応する領域 (SV) であり、それを厚さ $t_{\text{SOI}} = 50$ nm で $L = 200$ nm, $W = 200$ nm 角の SOI 薄膜とした。その中央に放射線が垂直入射する。放射線が付与するエネルギー E が全て SV に与えられるとし、かつ、「SV に一様分布すると仮定(*)」して、当該 SV の体積、Si の密度 ρ と比熱 c から $\Delta T = E/\rho c L W t_{\text{SOI}}$ [K]^(式1)と記述した。そして、SV が酸化膜に囲まれていることや Si 薄膜における熱伝導率の急激な減少^[3]を考慮して放熱過程を無視することで、従来のソフトエラー TCAD シミュレーションにおいて、放射線が当たった素子の雰囲気温度を ΔT だけ上昇させて保持すれば良いと結論した。時間発展を無視したため簡便に実装できる。また、一般に温度が高い方が放射線によって発生するノイズが大きくなりソフトエラーの頻度が上がるので、放熱を無視した分悲観的な推定になるだろうと考えた。

【検討】放射線による昇温スポットの、放熱を考慮した時間発展は、拡散方程式に由来するガウス型モデルでしばしば記述される^[4]。このガウス型モデルと我々の一様モデルを比較して適用可能性を検討する。地上中性子放射線環境を想定した場合、線エネルギー付与 (LET) の上限は 20 MeV·cm²/mg として良い^[5]。この時の E を $E = \rho \text{LET} t_{\text{SOI}}$ より推定して比較した結果を図1に示す。なお、ガウス型モデルには、初期の幅 r_0 として 50nm^[6]を用い、熱伝導率 λ として 0.55 W/cm·K^[3]を用いた。図より 100 ps より前では一様モデルによる温度推定が下回り、我々のモデルが悲観的な推定を与えると簡単に言いきれないことがわかる。この場合、悲

観的であるとするには放射線ノイズの時定数と合わせて検討する必要があると複雑である。今後の課題としたい。では、我々の推定が悲観的であると簡単に言い切れる範囲はあるのだろうか。すなわち、仮定(*)の適用範囲を検討する。ガウス型モデルにおいて初期ピーク温度を T_0 とする。 $\Delta T \geq T_0$ が成立する場合、我々のモデルは温度を常に高めに与えたことになり、悲観的な見積りを保証する。 T_0 は $E/\pi \rho c r_0^2 t_{\text{SOI}}$ と記述でき、式1と比較して $LW \leq \pi r_0^2$ を得る。したがって、およそ $L(=W) \sim r_0$ となる系においては、提案手法が悲観的な見積を与えらるって良いであろう。【参考文献】[1] 小林, 第75回応用物理学会秋季学術講演会, 19p-A15-12. [2] 廣瀬, 応用物理 **83**(8) p.655. [3] 内田, 応用物理 **83**(4), p.262. [4] “Defects in Microelectronic Materials and Devices” (CRC Press, 2009) Ch.18. [5] Uemura, *JJAP* **47**(4), p.2736. [6] Oldiges, *IEEE TNS* **47**(6) p.2575.

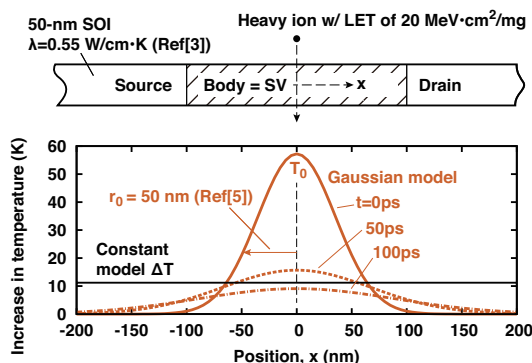


Fig. 1: Radiation induced temperature increase estimated with constant and Gaussian models.