

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

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 シミュレーションは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。【モデル化】200 nm 完全空乏型 SOI-CMOS 回路^[1]に、 α 線に代表される重イオン放射線が当たった場合を考える。エネルギー付与の大半は電離を介してである。励起された電子のエネルギーの一部はフォノン散乱により格子へと輸送され、温度上昇をもたらす。チャンネル Si 領域 (SV) として厚さ $t_{\text{SOI}} = 50$ nm で $200 \text{ nm} \times 200 \text{ nm}$ 角の SOI 薄膜を想定し、ある LET (Linear Energy Transfer) [MeV·cm²/mg] の放射線がその中央に垂直入射したとする。ここで LET は放射線が電離を介して固体に付与する単位長さ当たりのエネルギーである。50 nm 程度の薄膜であれば軌跡方向の LET の変化は無視できる。動径方向については LET は何ら情報を与えないので PHITS コード^[2]で検討した。Fig.1(a) に結果を示す。200 nm 程度の広さがあればエネルギーの大半がその領域に付与されることがわかる ($r = 100$ nm で 7 割)。そこで、動径方向のエネルギーのはみ出しはなく全エネルギー ($E = LET \times t_{\text{SOI}}$) が SV に付与されるとし、かつ、SV に一様分布すると仮定した (類似想定が [3] に見られる)。更に、悲観的な見積りにすべく、 E の全てが温度上昇 ΔT に寄与したと考えると、当該 SV の体積と比熱から ΔT を $0.52 \times LET$ [K] 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^[4]を考慮して放熱を無視すると、放射線が当たった素子の雰囲気温度を ΔT だけ上昇させたシミュレーションが悲観的な見積りを与えると考えた。【試算】Fig.1(b,c) はインバータ回路における TCAD シミュレーションの結果である。Fig.1(b) の通り、放射線による出力電圧の変動は昇温現象の導入により大きくなる。Fig.1(c) はパルス幅 T_w の LET 依存性を示す。昇温現象の効果は LET が大きいほど顕著で最大で 10% 程度である。二次元シミュレーションの結果であるため T_w の絶対値については議論できないが相対的には良いと考えると、ソフトエラー耐性は T_w に比例して低下するので、昇温現象を取り入れていない現在のシミュレーションは楽観的な結果を与えているが、その差は最大で 10% 程度と予想する。[1] 廣瀬他, 応用物理 **83**(8). [2] Sato *et al.*, *J. Nucl. Sci. Technol.* **50**, p.913. [3] Butt and Alam, *IRPS08*, p.547. [4] 内田, 応用物理 **83**(4), p.262. [5] Uemura *et al.*, *JJAP***47**(4), p.2736.

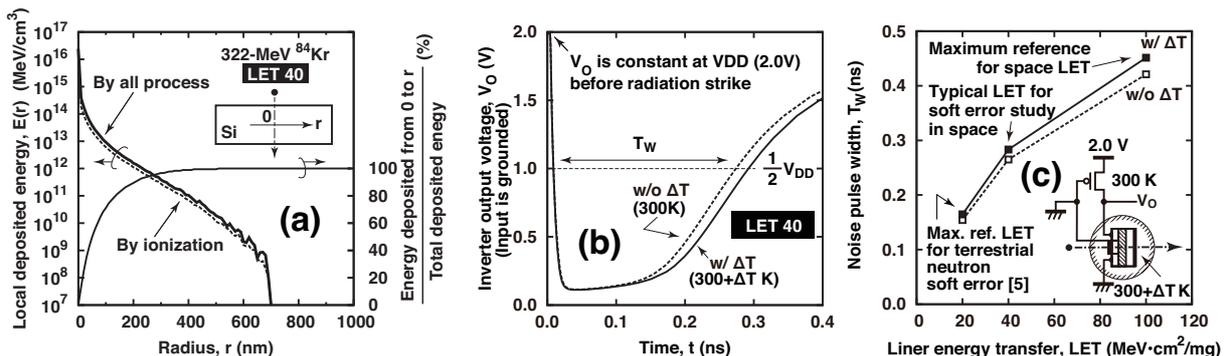


Fig. 1: Profile of energy deposition (a), and radiation-induced noise pulses on an inverter output estimated with and without a model for temperature increase: (b) waveforms and (c) evolutions of temporal widths.