# TID 影響下における MOSFET モデルの検討

**Development of MOSFET model under TID effect** 

## |東京工業大学 ○大島佑太, 安藤幹, 吉田僚一郎, 平川顕二, 岩瀬正幸, 小笠原宗博, 依田孝, 石原昇, 伊藤浩之

Tokyo Institute of Technology, <sup>O</sup>Yuta Oshima, Motoki Ando, Ryoichiro Yoshida, Kenji Hirakawa,

### Masayuki Iwase, Munehiro Ogasawara, Takashi Yoda, Noboru Ishihara, Hiroyuki Ito

### E-mail: paper@lsi.pi.titech.ac.jp

#### 1. はじめに

宇宙,原子力等の放射線照射環境では放射線による 半導体の特性劣化や故障が問題となる.我々は多量の 放射線が長期間照射される環境で MOSFET の特性を 劣化させる TID 効果 (Total Ionizing Dose effect)の対 策技術を検討している.TID 効果は放射線の電離作用 による酸化膜への電荷蓄積により MOSFET の諸特性 を劣化させる現象である.我々は MOSFET の諸特性 を写化させる現象である.我々は MOSFET の特性劣化 を回路シミュレーションに組み込み,回路設計レベル で TID 効果に対策する研究を進めている [1].

本研究では, TID 効果の中でも STI (Shallow Trench Isolation) を始めとする素子分離酸化膜が原因となる RINCE (Radiation Induced Narrow Channel Effect) [2] に 着目し, MOSFET の特性変動モデルを検討した.

#### 2. RINCE

図 1 に NMOS における RINCE の概念図を示す. NMOS に放射線が照射されると電離作用により STI 酸 化膜内に電子・正孔対が生成され、移動度の低い正孔 は酸化膜内にトラップされる. その結果, Drain-Source 間の STI 側壁に正の電界が発生しチャネル形成を促進 するため Drain-Source 間電流 Ibs が増加する (図 1①). 同時に,生成された電子によって STI 酸化膜 (SiO2) と Drain-Source (Si) の間に界面準位が形成される. その 結果, Drain-Source 間の STI 側壁に負の電界が発生し チャネル形成を阻害する形となるため Ios が減少する (図12). ①の影響は②に比べて早い段階で大きく現れ, 後に②の影響が①を上回る.よって, Ibs は放射線照射 直後から増加し、後に減少していく. RINCE によるチ ャネル形成促進・阻害領域はゲート長Lが同一であれ ばゲート幅Wによらず一定となるため、ゲート幅が小 さいほど RINCE による Ibs の変動率は大きくなる.

#### 3. モデリング

RINCE のゲート幅依存性を検証するために、ゲート 長が 180 nm、ゲート幅が 220 nm、440 nm、1760 nm の 3 種類の NMOS に対して、Co60 を線源とするガンマ 線を 400 krad (Si) 照射する実験を行った. 図 2 (Meas.) に NMOS のオン電流 Ion (VGS=VDS=1.8V) の変動率  $\Delta$ Ion [%] (照射前 Ion に対する照射後 Ion の差分の比)の 実測値を示す. 400 krad までの照射では図 1①の影響 による  $\Delta$  Ion の増加は現れたが、②の影響による  $\Delta$  Ion の減少は現れなかった. しかし、Wが小さいほど  $\Delta$  Ion が大きくなる傾向は見られ、RINCE による *I*os 変動に はゲート幅依存性があることが確認できる.

RINCE のゲート幅依存性を表現するために,本研究 では図1のチャネル形成促進・阻害領域を疑似的にゲ ート幅の変化ΔW(D)と考える.特性劣化モデルとして, NMOS の Drain-Source 間電流 *I*<sub>DS</sub>(*D*)を放射線吸収線量 D [rad] の関数, (1)式のように定義する.

$$I_{\rm DS}(D) = I_{\rm DS}(0) \cdot \frac{W + \Delta W(D)}{W}$$
(1)

 $\Delta W(D)$ は図 2 (Meas.) より D に対して線形に変化する と考え, (2)式のように定義する. 係数 a, b は最小二乗 法を用いて実測値にフィッティングした.

$$\Delta W(D) = a \cdot D + b \tag{2}$$

図 2 に、 $\Delta$  Ion の実測値 (Meas.) とモデル計算値 (Model) の比較を示す. ゲート幅が小さいほど $\Delta$  Ion が 大きく増加する RINCE のゲート幅依存性は再現でき ている. しかし、特に 220 nm/180 nm で誤差が大きく 現れており、400 krad 時点で実測値が $\Delta$  Ion = 3.2 [%] に 対してモデル計算値が $\Delta$  Ion = 4.4 [%] となった. 理由 として、TID 効果には本モデルだけでは表現できない ゲート幅依存性が存在していることが考えられる.

#### 4. 結論

本研究では RINCE による MOSFET の特性変動モデ ルを検討した. NMOS の特性劣化の実測値にモデルを フィッティングすることで, RINCE による特性劣化の 傾向を再現した. 今後はモデルの精度向上に向けモデ ル式の検討を進める.

[1] 大島 他, 応用物理学会春季学術講演会, 10p-W934-9, 2019 年 3 月. [2] F.Faccio et al., IEEE transaction on nuclear science, Vol.62, No.6, pp.2933-2940, 2015.



参考文献