

## M-2

## SOI-MOSFET における重イオン照射誘起寄生バイポーラ効果の抑制に関する検討

### Study on suppression of parasitic bipolar effect induced by heavy-ion irradiation in SOI-MOSFET

○金山純一<sup>1</sup>, 古川遼太<sup>2</sup>, 安田光保<sup>2</sup>, 呉研<sup>3</sup>, 高橋芳浩<sup>3</sup>\*Junichi Kaneyama<sup>1</sup>, Ryota Furukawa<sup>2</sup>, Kosuke Yasuda<sup>2</sup>, Yan Wu<sup>3</sup>, Yoshihiro Takahashi<sup>3</sup>

Abstract: The heavy-ion induced parasitic bipolar effects of SOI-MOSFET in which source/drain regions were consisted by SiGe was investigated by 3D device simulation. The duration of transient current and the amount of collected charge could be reduced by using SiGe for source. It was found that the suppression of parasitic bipolar effects was caused by the band offset between Si and SiGe.

#### 1. 序論

現在, 半導体デバイスは高い信頼性を有しているが, 宇宙空間や原子炉周辺などの強い放射線環境下で使用した場合, 一時的な誤動作(ソフトエラー)や恒久的な故障(ハードエラー)などが問題となる. 半導体デバイスに重イオンのような電離放射線が入射すると, その飛程に沿って電子正孔対が発生し, その一部が各電極に収集されることで回路に過渡電流が流れ, ソフトエラーやハードエラーが引き起こされる. この現象をシングルイベント効果(SEE: Single Event Effect)という. 一方, 基板内に埋め込み酸化膜(BOX: Buried Oxide)層を有する SOI(Silicon on Insulator)デバイスでは, BOX 層により支持基板で発生した電荷の収集が抑制されることから, シングルイベント効果に耐性があることが知られている. しかし, SOI デバイスの欠点の 1 つとして, 寄生バイポーラ効果が挙げられる<sup>[1]</sup>. 寄生バイポーラ効果とは, 放射線照射により発生した電子(正孔)が Body に蓄積することで, Body のポテンシャルが変化し, Source から Drain へ放射線照射によって発生した電荷量以上の電荷が注入される現象である. 寄生バイポーラ効果を抑制することは, ソフトエラー低減のための重要な課題の 1 つとなっている.

定電圧印加 SOI-pMOSFET において Source/Drain に SiGe を用いることで, 寄生バイポーラ効果の抑制が可能であることが確認されている<sup>[2][3]</sup>. しかし, これまでの解析は 2 次元モデルによるもので, 3 次元モデルを用いた寄生バイポーラ効果の抑制要因に対する詳細な検討は行われていない. そこで本研究では, 3 次元デバイスシミュレータを用いて, 寄生バイポーラ効果の抑制要因について検討を行った.

#### 2. 計算モデル及びシミュレーション条件

Fig.1 に計算モデルを示す. SOI-pMOSFET の 3 次元計算モデルを作成した. n-Body 不純物濃度:  $1 \times 10^{17}$  [ $\text{cm}^{-3}$ ], Source/Drain 不純物濃度:  $1 \times 10^{20}$  [ $\text{cm}^{-3}$ ], LDD/LDS 不純物濃度:  $1 \times 10^{18}$  [ $\text{cm}^{-3}$ ], チャンネル長: 250 [nm], ゲート酸化膜厚: 5.6 [nm], SOI 層: 500 [nm], BOX 層: 300 [nm], FET 幅  $W$ : 1 [ $\mu\text{m}$ ] である. Ge 濃度は 0%, 20%とした. ただし, BOX 層を介した変位電流の影響を無視するため, 支持基板を除いた構造とした.  $V_G=V_S=0$  [V],  $V_D=-2.5$  [V](オフ状態)として, ゲート電極中央に線エネルギー付与(LET: Linear Energy Transfer): 10 [MeV $\cdot\text{cm}^2/\text{mg}$ ], 飛程: 10 [ $\mu\text{m}$ ]の重イオンが垂直入射した際の照射誘起電流の計算を行い, ドレイン電極における照射誘起電流及びその時間積分値である収集電荷量について検討を行った. この時, 重イオン照射により SOI 層で発生する電荷量  $Q_{dep}=52$  [fC]である.

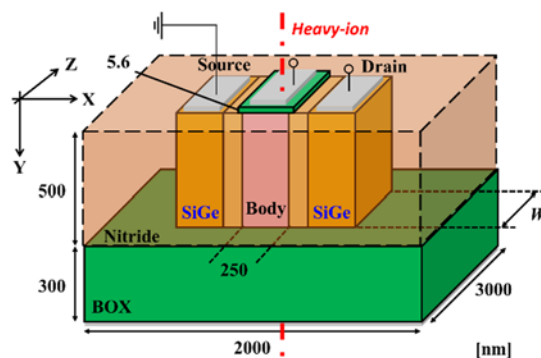


Figure.1 Simulation model for SOI-MOSFET

1: 日大理工・院(前)・電子, 2: 日大理工・学部・電子, 3: 日大理工・教員・電子

### 3. 結果・考察

Fig.2, 3 にドレイン照射誘起電流及び収集電荷量を示す. SiGe を用いることで, 誘起電流の収束時間が短くなるのがわかった. また, Ge 濃度 20%としたとき, 収集電荷量を発生電荷量程度にまで抑制できることがわかった.

Fig.4 に LDS/ボディ界面における電子電流を示す. LDS からボディ方向へ流れる電流を正とした. 結果より, SiGe を用いることで電子電流が増加していることがわかる. これは,  $E_c$  のソース/ボディ間の電位障壁が低下することで, ボディに蓄積した電子がソースに容易に拡散するためである. しかし, これだけでは寄生バイポーラ効果の抑制要因について説明するのは困難である.

そこで,  $E_v$  のオフセットによる影響について検討を行った. SiGe を用いることで, LDS/ボディ間に 0.12 [eV]程度のオフセットが発生する. このオフセットによるソースからの正孔拡散の抑制について検討を行った. Fig.5 に LDS/ボディ界面における正孔電流を示す. 結果より, SiGe を用いることでソースからボディへの正孔拡散を照射直後から抑制できていることがわかる. 計算開始後 0.02 [ns]付近で確認できる負方向電流は, 照射によりボディで発生した電荷がソースに拡散した際に流れる電流である. 以上の結果より, 定電圧印加 SOI-pMOSFET における寄生バイポーラ効果の抑制は,  $E_v$  のオフセットによるソースからの正孔拡散の抑制が要因であることがわかった.

### 4. まとめ

3 次元計算モデルを用いた寄生バイポーラ効果の抑制要因についての検討を行った. 先行研究において確認されていた, 2 次元計算モデルを用いた寄生バイポーラ効果の抑制要因と同様の結果を 3 次元計算モデルにおいても得ることができた. より厳密な議論を行うためにも, 3 次元計算モデルにおけるデバイス内での電荷及び電流分布について今後詳細な解析を行う必要がある.

### 謝辞

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(VDEC)を通し, シノプシス株式会社の協力で行われたものである.

### 参考文献

- [1] 高橋芳浩, REAJ 「信頼性」 Vol.36, No.8, pp460-467 (2014).
- [2] T. Kato et al., JJAP, Vol.52, No.4S, 04CC15 (2013).
- [3] 和田雄友, 呉研, 高橋芳浩, REAJ 「信頼性」 Vol.39, No.3, pp145-153 (2017).

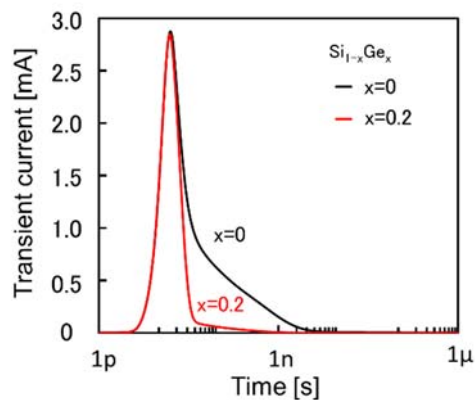


Figure.2 Radiation induced transient current at

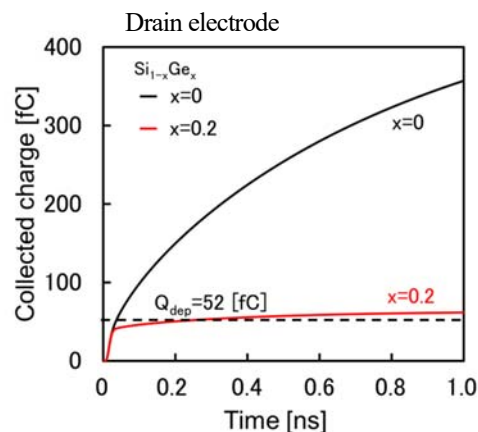


Figure.3 Collected charge at Drain electrode

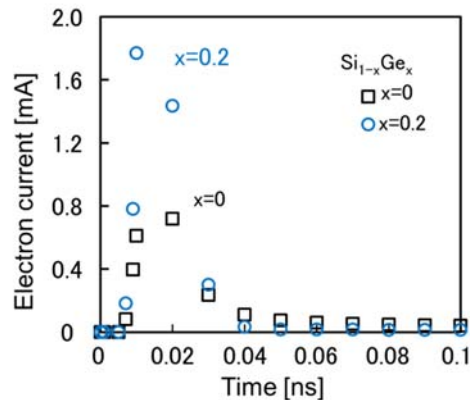


Figure.4 Electron current at LDS/Body interface

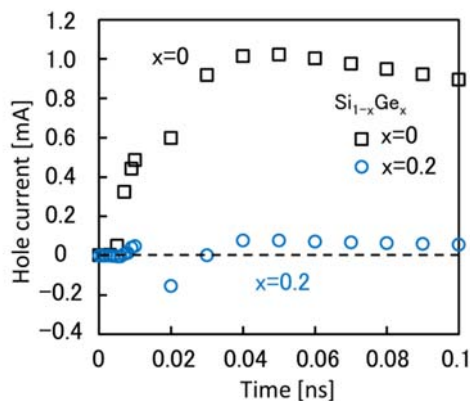


Figure.5 Hole current at LDS/Body interface