

M-4

## SiGe を導入した SOI-MOSFET における重イオン照射効果 Heavy-ion irradiation effects on SOI-MOSFET with SiGe for Source/Drain

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

Abstract: The heavy-ion induced displacement current of SOI-MOSFET in which source/drain regions were consisted by SiGe was investigated by 3D device simulation. It was confirmed that the displacement current through buried oxide layer could be suppressed by miniaturization of the device.

### 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(ソフトウェア)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、ソフトウェア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、ソフトウェア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>。これまでは寄生バイポーラ効果の抑制について検討を行うため、支持基板を除いたデバイスモデルで検討を行ってきた。支持基板を考慮したモデルでは、BOX 層を介した変位電流が発生し、その電荷収集が無視できないことが考えられる。そこで本研究では、SiGe を導入し、支持基板を考慮した SOI-MOSFET に対する重イオン照射効果についてデバイスシミュレータを用いて検討を行った。

### 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:  $1 \times 10^{18}$  [ $\text{cm}^{-3}$ ], 支持基板濃度:  $1 \times 10^{15}$  [ $\text{cm}^{-3}$ ], チャネル長: 250 [nm], ゲート酸化膜厚: 5.6 [nm], SOI 層: 500 [nm] である。Ge 濃度は 20% 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-cm<sup>2</sup>/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、各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。

BOX 層を介した変位電流について詳細な検討を行うため、変位電流による収集電荷量の BOX 層厚依存性、ドレイン領域面積依存性について検討を行った。

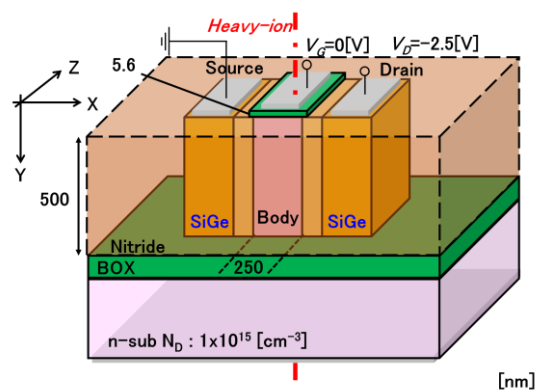


Figure.1 Simulation model for SOI-MOSFET with SiGe for source/drain

1: 日大理工・院(前)・電子, 2: 日大理工・教員・電子

### 3. 結果・考察

Fig.2(a)に BOX 層厚 0.3 [ $\mu\text{m}$ ], (b)に 0.03 [ $\mu\text{m}$ ]の場合の各電極における照射誘起電流および収集電荷量を示す. BOX 層厚 0.3 [ $\mu\text{m}$ ]では, ドレイン, ソース電極での収集電荷量が, 重イオン照射による発生電荷量と同程度となっている. このことより, 支持基板を考慮した場合でも, SiGe の導入による寄生バイポーラ効果の抑制効果について確認することができる. 一方, BOX 層厚 0.03 [ $\mu\text{m}$ ]では, ドレイン電極での収集電荷量の増加に加えて, 基板電極での電荷収集が確認できる. これは, BOX 層を介した電荷収集(変位電流)の影響によるものである. 支持基板を考慮した SOI-MOSFET では BOX 層と支持基板界面に, ドレイン電圧によって空乏層が生じる. この空乏層電界によって, 照射により支持基板で発生した正孔が蓄積され電位変化が生じる. その結果, 電荷中性条件を満たすため, ドレイン電極より電子が供給され, ドレイン電極と基板電極において電荷収集が生じる. このことが, SiGe の導入によって寄生バイポーラ効果を抑制可能でも, ドレイン電極での収集電荷量は増加する要因である. また Fig.2(a), (b)を比較すると BOX 層厚 0.03 [ $\mu\text{m}$ ]の方が変位電流による収集電荷量が多いことが確認できる. 変位電流による収集電荷量は, BOX 層厚が薄膜化するにつれて増加することがわかった. これは, BOX 層の薄膜化によって BOX 層に加わる電界強度が増加したことが要因である.

次に, 変位電流による収集電荷量のドレイン領域面積依存性について検討を行った. Fig.3 に照射後 1 [ns]における収集電荷量のドレイン領域面積依存性を示す. 縦軸は, 全収集電荷量から照射による発生電荷量を除いた値である. 収集電荷量がドレイン領域面積に対し, 比例的に変化していることから, 変位電流密度が一定であることがわかる. デバイスの微細化は立体的に行われるため, BOX 層の薄膜化による変位電流の増加に対し, ドレイン領域面積の縮小による変位電流の減少が有意となることを確認した.

### 4. まとめ

本研究では, SiGe を導入した SOI-pMOSFET における重イオン照射効果について検討を行った. 結果より, SOI-MOSFET の BOX 層の薄膜化により収集電荷量は増加し, ドレイン領域面積の縮小により収集電荷量が減少することを確認した. このことから, デバイスの微細化により BOX 層を介した変位電流が収集電荷量に与える影響を抑制可能であることを確認した.

### 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).

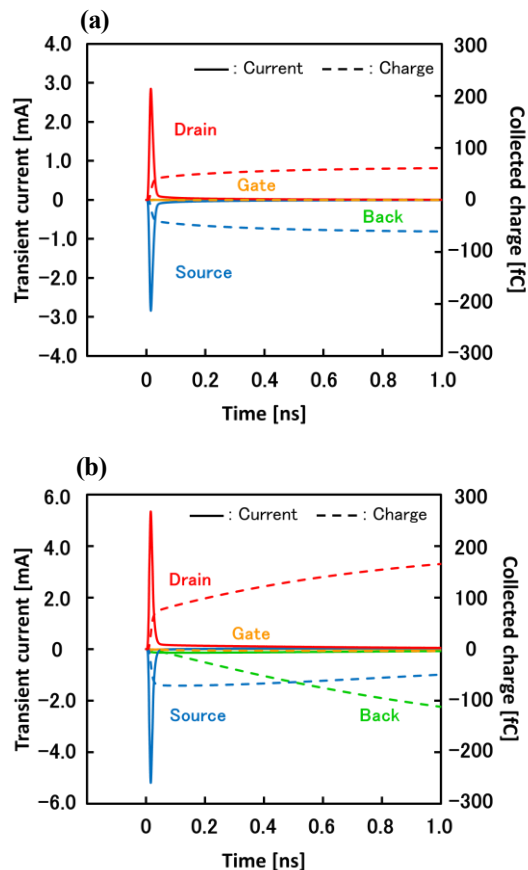


Figure.2 Transient current and collected charge in SOI-pMOSFET with Si<sub>0.8</sub>Ge<sub>0.2</sub> for source/drain  
(a) BOX=0.3[ $\mu\text{m}$ ] (b) BOX=0.03[ $\mu\text{m}$ ]

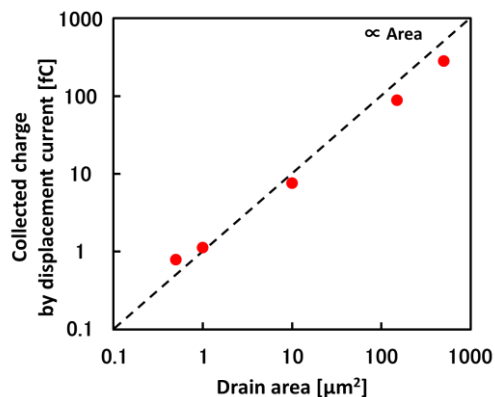


Figure.3 Dependence of collected charge on drain area