

SOI-MOSFET の重イオン照射誘起電流に関する検討 (支持基板不純物タイプによる変化)

Hitting position dependence on heavy-ion induced current in SOI-MOSFET

○小倉俊太¹, 小宮山隆洋¹, 家城大輔², 倉島翼², 高橋芳浩³

* Shunta Ogura¹, Takahiro Komiyama¹, Daisuke Ieki², Tsubasa Kurashima², Yoshihiro Takahashi³

Abstract: We evaluated heavy-ion induced current and collected charge in SOI-MOSFET using device simulation. The collected charge in SOI-pnDiode could be reduced using SOI wafer with different semiconductor types of active layer and handle substrate. However the collected charge in SOI-MOSFET was independent of the type of handle substrate.

1. 序論

劣悪な放射線環境である宇宙空間で半導体デバイスを使用した場合、シングルイベント効果と呼ばれる誤動作や特性劣化が生じる。これは重イオンなど、高エネルギー粒子の照射により半導体内部で発生した電荷が電極に収集されることにより生じる過渡電流に起因する。シングルイベント耐性が高いと注目されている構造の 1 つに SOI (Silicon on Insulator) 構造がある。SOI デバイスでは薄い活性層中で発生した電荷のみが収集に寄与することから、収集電荷量の抑制が期待される。ただし、これまでの研究において、支持基板中で発生した電荷の一部が BOX (埋め込み酸化膜) 層を介して変位電流として収集されることを明らかにした。

これまでの研究報告で、活性層 n 形 ($N_D=10^{15} \text{ cm}^{-3}$), 支持基板 n 形 ($N_D=10^{15} \text{ cm}^{-3}$) の SOI-MOSFET において照射シミュレーションを行なった場合、Bulk 基板上の MOSFET に比べて収集電荷量は大きく抑制されたが、一部の領域では、活性層中における発生電荷量を超える電荷収集が確認された。この電荷収集は、BOX 層を介した変位電流によるものである。一方、活性層 n 形 ($N_D=10^{15} \text{ cm}^{-3}$), 支持基板 p 形 ($N_A=10^{15} \text{ cm}^{-3}$) の SOI-pnDiode において重イオン照射実験を行なった結果、照射により発生する変位電流の抑制が確認され、収集電荷量の抑制も可能であることが確認された。これは、活性層と支持基板の不純物タイプを異なるものにする事で Anode 電極印加電圧によって支持基板表面に生じる空乏層幅を制御でき、収集電荷量の抑制ができるためである。

そこで本研究では、活性層 n 形 ($N_D=10^{15} \text{ cm}^{-3}$), 支持基板 p 形 ($N_A=10^{15} \text{ cm}^{-3}$) の SOI-MOSFET に対する重イオン照射誘起電流の抑制効果について検討を行った。また、その時の照射誘起電流の照射位置依存性についても評価を行った。

2. 計算モデル及びシミュレーション条件

図 1 に示した 2 次元計算モデルを用いて誘起電流を計算した。活性層に n 形 ($N_D=10^{15} \text{ cm}^{-3}$), 支持基板に p 形 ($N_A=10^{15} \text{ cm}^{-3}$), の基板を用いた SOI MOSFET であり、Drain 印加電圧 -10 V , Gate, Source, Back 電極は接地した OFF 状態のデバイスに、加速エネルギー 15 MeV の O イオンが垂直入射 (計算開始後 10^{-11} s) するものとして計算した。なお、電子正孔対は飛程に沿って均一に発生すると仮定した。なお、Si 中での本イオンの飛程は $10 \mu\text{m}$, LET は $67 \text{ fC}/\mu\text{m}$ であり、活性層 (厚さ: $1.5 \mu\text{m}$) での発生電荷量は 100 fC 程度となる。以上の条件で、 $x=50, 100 \mu\text{m}$ の位置に重イオン照射した際の誘起電流について評価した。

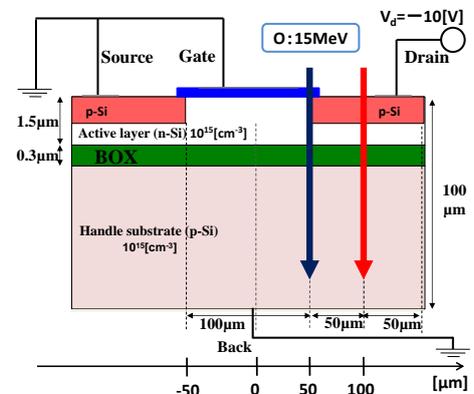


Figure1.Simulation model

3. 結果・検討

図 2 に、チャネルドレイン接合面付近 ($x=50 \mu\text{m}$) に照射した場合の結果を示す。実線は誘起電流を、点線は収集電荷量 (電流の時間積分値) をそれぞれ示す。また電流は、電極から流れ出る方向を正と

して示す. 結果より, 両デバイス共に, 照射直後に Drain, Gate 電極において大きな過渡電流が生じることがわかった. 接合部付近には大きな空乏層電界が発生しており, 照射により発生した電子・正孔対が短時間で分離・収集されたことが原因で, Drain 電極に大きな過渡電流が発生する. 一方, チャンネル領域に蓄積された電子により照射領域近傍のゲート酸化膜電界が大きく変化することにより Gate に変位電流が発生する. なお, n/n, n/p の両デバイス共, 活性層で発生した電荷のみが電荷収集に寄与するため, Drain 電極における電荷収集量は 100 fC 程度に抑えられることがわかった.

図 3 に, ドレイン領域 ($x=100 \mu\text{m}$) に照射した場合の結果を示す. 両デバイス共, 上記と同様な理由で Drain 電極での収集電荷量が抑制可能であることがわかる. ただし, n/p デバイスに照射した場合, Back 電極に Drain 電極と同程度の電流が発生することを確認した. これは, 支持基板内で発生した電荷の一部が BOX 層を介して速やかに収集されたことを示している. そして, n/n デバイスと不純物タイプを変更した n/p デバイスにおいて照射シミュレーション比較を行った場合, 各電極で生じた電荷収集量に変化が確認されなかった. これまでの研究報告から, Drain 領域, Drain 領域エッジ部における照射による収集電荷量は, 抑制効果が得られると予想できるものの, その効果は確認できなかった. この原因として, SOI-MOSFET の Gate, Source 電極における電荷収集が行われていることや, シミュレーションの設定に問題があると考えられる.

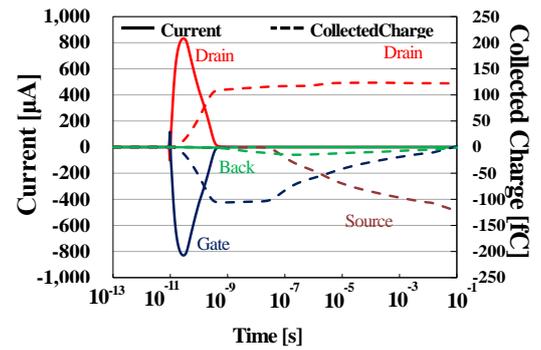
4. まとめ

デバイスシミュレーションにより, SOI-MOSFET における重イオン照射誘起電流の抑制効果について検討した. その結果, 各デバイス共に各領域に照射した場合に活性層で発生する収集電荷量程度に抑制可能であることがわかった. しかし, n/n, n/p SOI-MOSFET を比較すると n/p デバイスにおける照射によって発生する電荷収集量は変化が確認できなかった. これは, SOI-pnDiode と SOI-MOSFET では電荷収集メカニズムが異なること, シミュレーションの設定に問題があることが考えられ, 今後検討していく予定である.

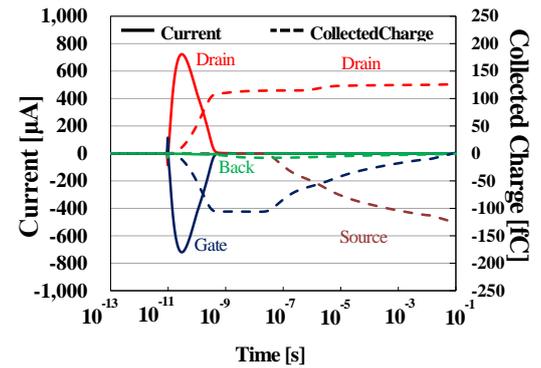
謝辞: 本研究の一部は科学研究費・基盤研究(C)課題番号 23560414, および日本大学理工学部シンボリックプロジェクト (宇宙利用システム) の助成により行われた.

参考文献

- [1] Y.Takahashi, et.al.: "Heavy-ion induced current through an oxide layer", Nucl. Instr. and Meth. B 260 (2007) 309.
- [2] 竹安 秀徳: 平成 22 年度 日本大学理工学研究科 修士論文

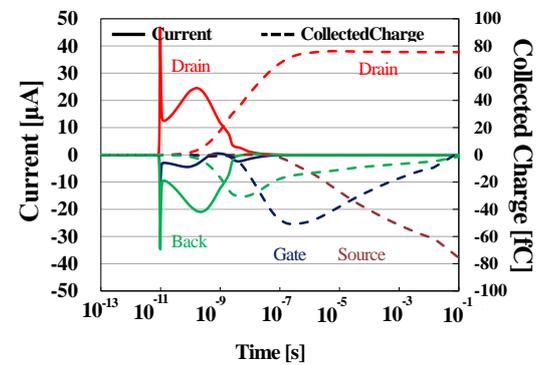


(a) SOI device (n/n device)

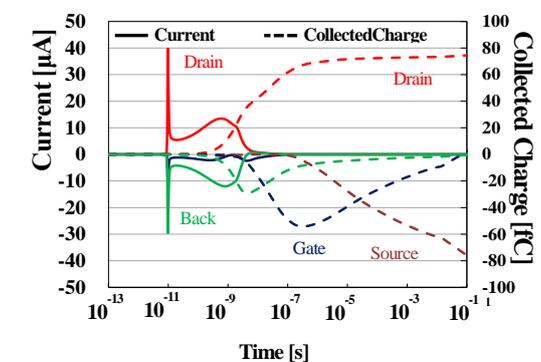


(b) SOI device (n/p device)

Figure 2. Simulated transient current and collected charge in SOI-MOSFET induced by heavy-ion hitting at $x=50 \mu\text{m}$



(a) SOI device (n/n)



(b) SOI device (n/p device)

Figure 3. Simulated transient current and collected charge in MOSFET induced by heavy-ion hitting at $x=100 \mu\text{m}$