

SOI-MOSFET の重イオン照射誘起電流に関する検討  
(照射位置依存性)

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

○小倉俊太<sup>1</sup>, 岡崎勇志<sup>1</sup>, 小宮山隆洋<sup>2</sup>, 佐藤江里子<sup>2</sup>, 高橋芳浩<sup>3</sup>

\* Shunta Ogura<sup>1</sup>, Yuji Okazaki<sup>1</sup>, Takahiro Komiyama<sup>2</sup>, Eriko Sato<sup>2</sup>, Yoshihiro Takahashi<sup>3</sup>

Abstract: We have been investigating heavy-ion induced current and collected charge in SOI-MOSFET by device simulation. The collected charge could be suppressed compared to Bulk-MOSFET. Most of current induced by ion hitting to drain area is caused by a displacement current through a Box layer.

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。

本研究では MOSFET の重イオン照射誘起電流について検討を行った。Bulk 基板上に作製された MOSFET では、ドレイン領域に重イオンが照射された際に収集電荷量が大きくなることが知られているが、SOI 基板上の MOSFET では感応領域が Bulk デバイスと異なることが予想される。併せて BOX 層を介した電荷収集も考えられる。そこで本研究では、デバイスシミュレーションにより両デバイスに対する照射誘起電流の照射位置依存性について評価を行ない、電荷収集メカニズムについて検討した。

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。支持基板、活性層共に n 形 ( $N_D=10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ) 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  $100 \text{ fC}$  程度となる。以上の条件で、 $x = 0, 50, 100 \mu\text{m}$  の位置に重イオンを照射した際の誘起電流について評価した。なお、Bulk 基板上の MOSFET においても同様の計算を行い、比較を行った。

3. 結果・検討

図2にゲート中心 ( $x=0 \mu\text{m}$ ) に照射を行った場合の計算結果を示す。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、電極から流れ出す方向を正として示す。結果より、両デバイス共に Gate, Back 電極に過渡電流が発生することがわかった。これはゲート酸化膜を介した変位電流であるが、そのピーク値は非常に小

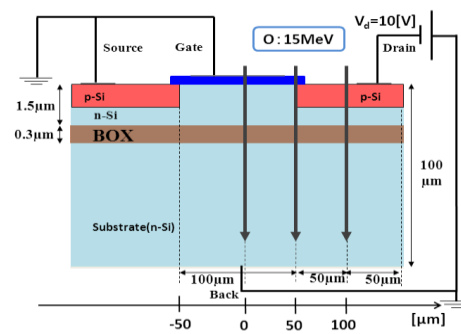
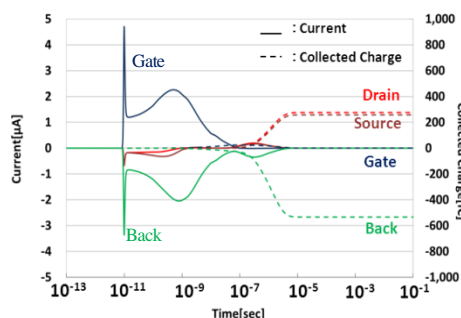
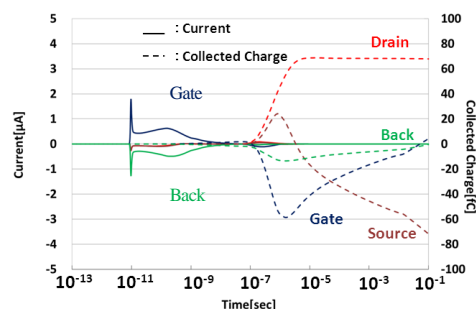


Figure 1. Simulation model



(a) Bulk device



(b) SOI device

Figure 2. Simulated transient current and collected charge in MOSFET induced by heavy-ion hitting at  $x=0$

さく照射直後の電荷収集量はほぼ 0 となることがわかった。これは、基板表面が蓄積状態にあり、発生電荷によるゲート酸化膜の電界変化が小さいことによる。なお、照射後 100 ns 程度経過すると各電極で電荷収集が生ずることもわかった。これは発生した電荷が拡散により移動した結果と考えられるが、電流値は ON 電流に比べて非常に小さいことから、CMOS 回路に誤動作を引き起こすことはない。ただし、短チャネルデバイスでは電流ピークが大きくなることが予想され、今後の検討が必要である。

図 3 に、ドレイン-チャンネル接合面付近 ( $x=50 \mu\text{m}$ ) に照射した場合の結果を示す。両デバイス共に、照射直後に Drain, Gate において大きな過渡電流が発生することがわかった。接合面付近には大きな横方向電界(空乏層電界)が印加されており、発生した電子・正孔対が短時間で分離・収集されたことにより、Drain 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、Bulk デバイスでは分離した電子の多くが Back 電極に収集されることから、Drain, Back において大きな電荷収集が生ずるが、SOI デバイスでは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、Drain 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。

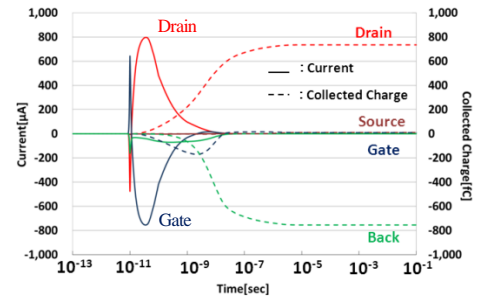
図 4 に、ドレイン領域 ( $x=100 \mu\text{m}$ ) に照射した場合の結果を示す。Bulk デバイスではドレイン拡散領域直下の空乏層電界により分離された正孔、電子が各々 Drain, Back に収集されることから、接合面付近に照射した場合と同様な電荷収集が生ずることがわかった。一方、SOI デバイスでは上記と同様な理由で Drain での収集電荷量が抑圧可能であることがわかる。ただし、SOI デバイスの Back 電極に Drain 電極と同程度の電流が発生することを確認した。これは、支持基板内で発生した電荷の一部が BOX 層を介して収集されたことを示すものである。これまでの研究により、支持基板表面の空乏層幅制御により BOX 層を介した電荷収集を抑圧可能であることを明らかにしている。よって、同様な手法を適用することにより、SOI-MOSFET のドレイン領域に重イオンが照射された際の過渡電流および収集電荷量の低減が可能であると考えており、今後詳細な検討を行う予定である。

4. まとめ

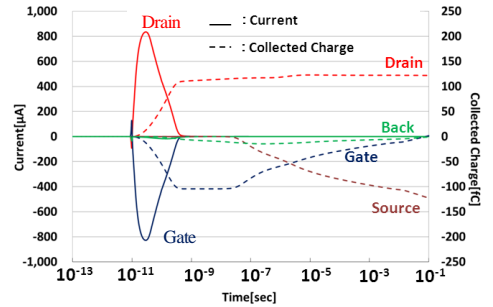
デバイスシミュレーションにより、Bulk-MOSFET と SOI-MOSFET における重イオン照射誘起電流の照射位置依存性について評価した。その結果、両デバイス共にドレイン領域およびその近傍に照射した際に大きな電流が発生するものの、SOI デバイスでは収集電荷量が大幅に抑制可能であることがわかった。ただし、SOI デバイスのドレイン領域に照射した際の電流は、BOX 層を介した変位電流によるものが支配的であり、この電流の抑制により SOI-MOSFET の照射耐性が更に強化可能であるとの知見を得た。

5. 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.

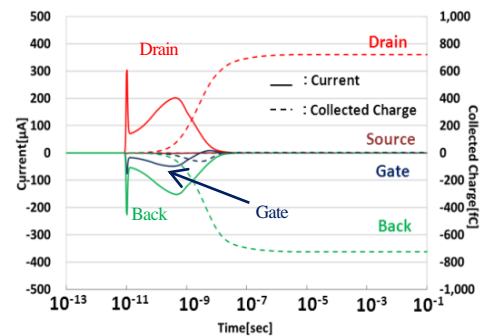


(a) Bulk device

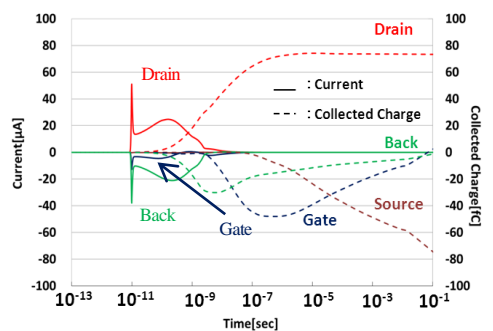


(b) SOI device

Figure2. Simulated transient current and collected charge in MOSFET induced by heavy-ion hitting at  $x=50$



(a) Bulk device



(b) SOI device

Figure4. Simulated transient current and collected charge in MOSFET induced by heavy-ion hitting at  $x=100$