

微細 SOI-MOSFET に対する重イオン照射誘起電流の検討

Heavy ion induced current in short channel SOI-MOSFET

○家城大輔¹, 山本航汰¹, 和田雄友², 呉研³, 高橋芳浩³*Daisuke Ieki¹, Kouta Yamamoto¹, Yusuke Wada², Yan Wu³, Yoshihiro Takahashi³

Abstract: Heavy-ion induced transient currents in SOI-MOSFETs have been investigated. From comparing of the experimental results with simulates results, it was confirmed that the displacement current through buried oxide layer could be suppressed by using highly doped substrate. The amount of collected charge in down scaling device exceed the deposited charge in SOI layer. We expect that the phenomenon is caused by parasitic bipolar effect.

1. 序論

現在, 半導体デバイスは人工衛星等に搭載され宇宙空間においても使用されている. しかし, 宇宙空間は強い放射線環境であり, 放射線照射によるデバイスの特性劣化や一時的な誤動作が, 重要な問題となっている. 半導体デバイスに高エネルギーイオン粒子などが照射されると, その飛程に沿って高密度な電子正孔対が発生し, その一部が電極に収集されることにより回路に過渡電流が発生し, 誤動作が引き起こされる (シングルイベント効果). 一方, SOI (Silicon on Insulator) デバイスは, 基板内に埋め込み酸化膜 (BOX: Buried Oxide) 層を有しており, 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, 放射線耐性向上が期待される. 我々はこれまでに SOI デバイスのシングルイベント耐性を目的に, SOI-pn ダイオード及び SOI-MOSFET の重イオン照射誘起電流について検討を行ってきた. その結果, 支持基板で発生した正孔電荷が SOI 活性層方向に誘起されることにより 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, また, この変位電流は高不純物濃度の支持基板を用いる事により抑制可能であることを確認してきた. [1][2]

これまででは, 日本原子力研究所のタンデム加速器を用いて, 重イオン照射実験を行い, 照射誘起電流の評価を行ってきた. しかし場所分解能は数 μm 程度であり, デバイスサイズを縮小させた場合などには詳細な照射位置依存性評価が困難となる. そこで本研究では, デバイスシミュレータを用いることによって, 微細な SOI デバイスの耐放射線性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

i) 照射実験とデバイスシミュレーションパラメータの整合

図 1 (i) のような 3 次元計算モデルを作成し, Sentaurus-TCAD を用いて誘起電流および収集電荷量のシミュレーションを行い, 照射実験との比較を行った. n 形活性層 ($N_D=10^{15} [\text{cm}^{-3}]$) および n/n⁺ 形支持基板 ($N_D=10^{15}/10^{18} [\text{cm}^{-3}]$) を有するゲート幅 100 [μm] の SOI-MOSFET, Drain 印加電圧 $-5 [\text{V}]$, Source, Gate, Back 電極は接地した状態 (OFF 状態) で, LET=71 [$\text{fC}/\mu\text{m}$], 飛程 10 [μm] のイオン (15 [MeV], O イオンと等価) が垂直入射した際の計算を行った. なお, 電荷の発生率は計算開始後 10 [ps] に最大となり, イオントラック半径方向には $\sigma=50 [\text{nm}]$ のガウス分布で電荷が発生 (飛程に沿っては均一分布) すると設定した. このとき, 厚さ 1.5 [μm] の活性層中の発生電荷量は約 100 [fC] 程度となる.

ii) 微細 SOI デバイスに対するシミュレーション

ゲート幅 0.15 [μm] の SOI-MOSFET に対し, 図 1 (ii) のような 3 次元計算モデルを作成, 同様なシミュレーションを行った. n 形活性層 ($N_D=5 \times 10^{17} [\text{cm}^{-3}]$) および n/n⁺ 形支持基板 ($N_D=10^{15}/10^{18} [\text{cm}^{-3}]$), Drain 印加電圧 $-2 [\text{V}]$, Source, gate, Back 電極は接地した状態 (OFF 状態) で, i) と同様の照射条件を用いた. このとき, 厚さ 0.05 [μm] の活性層中の発生電荷量は 3.55 [fC] 程度となる.

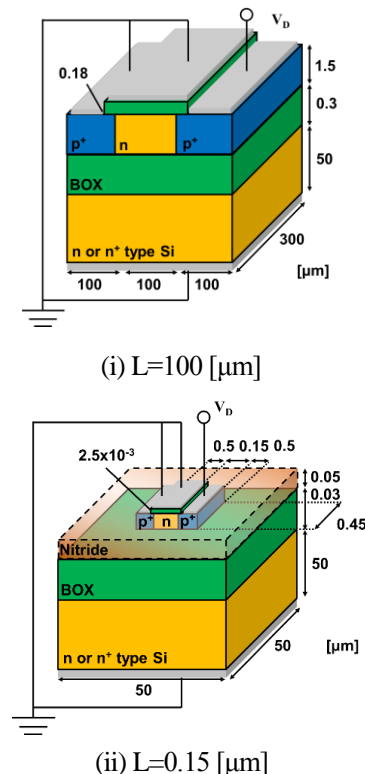


Figure 1. Devices structures

3. 結果・考察

ゲート幅 $L=100$ [μm] のデバイスにおいて、図 2 (a)にドレイン端に照射した際の各電極における照射誘起電流（実線）および収集電荷量（点線）の照射実験結果を、図 2 (b)にシミュレーション結果を示す。なお、電流はデバイスから流れ出す方向を正方向と定義した。

実験結果では誘起電流が数 ns で立ち上がることがわかる。これは、測定時に使用したオシロスコープの帯域および配線によって遅延が生じたためであると考えられる。実際の実験結果では基板 (Back) 電極での電荷収集が行われていないのに対して、シミュレーションの計算結果においては電荷収集が見られる。これは、シミュレーションにおいて、わずかに発生している誘起電流についても計算が行われたため、積算した結果、基板電極での電荷収集が実験結果に比べ多くなったと考えられる。ドレイン電極における収集電荷量については、シミュレーションによる計算結果において、実験結果と同じ 100 [fC]程度となり、また、支持基板の濃度変化と変位電流の関係が実験結果と同様であったことから、シミュレーションによって実験結果を再現することができたとと言える。

ゲート幅 $L=0.15$ [μm]、支持基板濃度($N_D=10^{18}$ [cm^{-3}]) のデバイスにおいて、ドレイン端に照射した際の各電極における照射誘起電流および収集電荷量の計算結果を図 3 に示す。照射直後にドレインおよびソース電極で大きな電流が発生する。これは、BOX 層を介した変位電流を大きく上回る電流である。また、支持基板濃度($N_D=10^{15}$ [cm^{-3}])の場合における計算において同様の結果を示しており、収集電荷量は支持基板濃度にかかわらず発生電荷量以上の電荷収集が行われた。この電荷収集はドレイン/ソース間で行われていることから、照射によって発生した電子正孔対のうち、移動度の違いから正孔がボディに留まることでボディのポテンシャルが下がる（寄生バイポーラ効果）ことで引き起こされたと考えられる。

4. まとめ

ゲート幅 $L=100$ [μm] のデバイスに対して重イオンを照射した際に発生する収集電荷量および BOX 層を介した変位電流について、実際の実験結果と計算結果を比較することでシミュレーションパラメータの整合を行った。また、ゲート幅 $L=0.15$ [μm] の SOI-MOSFET モデルに対して重イオン照射シミュレーションを行った。ドレイン端に照射した場合、発生電荷量以上の電荷収集が行われていた。この原因を解明するとともに抑制することが今後求められる。

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] Y.Takahashi et al., " Heavy-ion induced current though an oxide layer" Nucl.Inst.and Meth.B 260(2007)309
- [2] 小宮山 隆洋 : 「SOI 基板上に作製した MOSFET における重イオン照射誘起電流」, 平成 25 年度 学術講演会論文

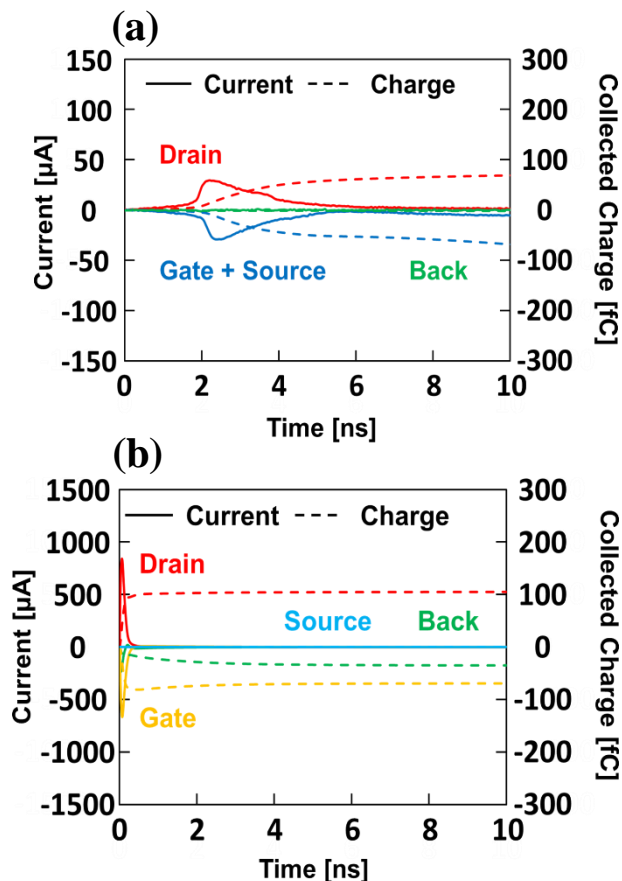


Figure 2. Transient current and collected charge in SOI-MOSFET with $L=100$ [μm] when ion hits to the edge of Drain region (a) experimental results (b) simulated results

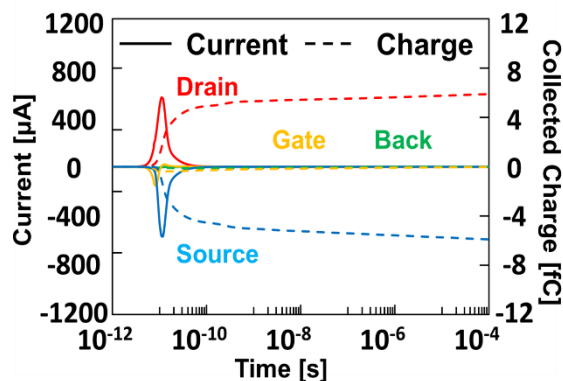


Figure 3. Transient current and collected charge in SOI-MOSFET with $L=0.15$ [μm] when ion hits to the edge of Drain region