

C-5

SOI-MOSFET の重イオン照射誘起電流における支持基板の影響

Influences of substrate on Heavy ion irradiation induced current in SOI-MOSFET

○新垣雅斗¹, 高橋芳浩²*Masato Arakaki¹, Yoshihiro Takahashi²

Abstract: SOI devices are attracting attention for their resistance to Single-event effects. We have investigated the influence of charge generated at the support substrate on pMOSFET via the Box layer. As a result, when parasitic bipolar effects occurred, the support substrate was found to be largely unaffected. We also confirmed that even irradiation around the device may cause malfunctions.

1. 序論

宇宙空間で半導体デバイスを使用すると、重イオンなどの高エネルギー放射線照射によりデバイス内で発生した電荷の収集により過渡電流が発生し、誤作動や故障などが引き起こされる。一方、強い放射線耐性を有する構造として SOI (Silicon on Insulator) デバイスが提案されている。本構造では、薄い活性層で発生した電荷のみが過渡電流に寄与すると予想される。しかし、支持基板内で発生した電荷により発生する変位電流が原因で、活性層で発生電荷以上の電荷が収集されることも報告されている[1]。この影響が大きい場合、デバイス周辺に照射された場合にも誤作動が引き起こされることが懸念される。そこで本研究では、2次元デバイスシミュレータを用いて、支持基板内で発生した電荷が SOI デバイスの重イオン照射誘起電流に及ぼす影響について評価する。

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。厚さ 100 μm の n-Si 支持基板 (不純物濃度 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$)、埋め込み酸化膜厚 10 nm、活性層厚 50 nm の SOI 基板上に作製された、ゲート酸化膜厚:5.6 nm、チャネル長 0.25 μm の pMOSFET について検討した。ここで、n-body, p-S/D の不純物濃度はそれぞれ 1×10^{17} , $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ である。.. $V_D = -1\text{V}$, $V_G = 0\text{V}$ の OFF 状態の MOSFET に対し、LET (Linear Energy Transfer) 10 MeV-cm²/mg、飛程 100 μm 以上の重イオンが、構造各部に垂直入射された際のドレイン端子における照射誘起電流を計算した。このとき、重イオン 1 μm 通過毎に約 100 fC の電子正孔対が発生する。なお、計算開始後 0.01 ns において電荷発生確率が最大となるように設定した。また、支持基板を取り除いた構造 (埋め込み酸化膜下部に Back 電極設定) についても計算し、両者を比較することにより支持基板で発生した電荷の影響について検討した。

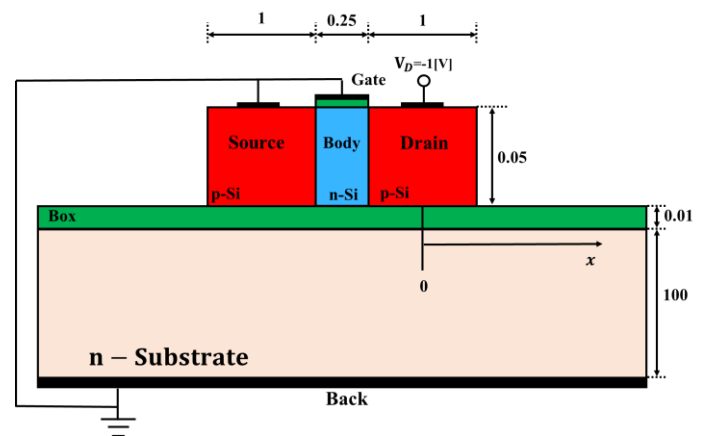


Figure.1 Simulation model

3. 結果・考察

Fig.2 にゲート中心に照射した際の照射誘起電流及びその積分値(収集電荷量)を示す(ドレイン端子に流れ込む電流を正とする). 支持基板無しの場合においても, 収集電荷量は活性層で発生した電荷量(5fC)以上になっていることがわかる. これは, 寄生バイポーラ効果によるものである. また, 支持基板有りの構造とすることにより若干の電流, 収集電荷量の増大は確認できたものの, 支持基板による影響はほぼ無視できることがわかった.

次に, 照射位置をドレイン中心($x=0$)から, $x=0, 1, 1.5, 2.5$ と MOSFET 外側に照射した場合について計算した. Fig.3, 4 に支持基板有りの構造における照射誘起電流および収集電荷量を示す. なお, 支持基板無しの構造においては, ドレイン中心で照射した時でも, 電流ピーク値は $0.05 \mu\text{A}$ 程度と非常に小さいことを確認している. よって, Fig.3 の電流は支持基板内で発生した電荷の一部が埋め込み酸化膜直下に蓄積し, 酸化膜電界が変化することにより発生する変位電流であるといえる. また, x の増大に伴いピークが発生する時間は増大し, 電流ピーク値は小さくなるのがわかる. これは, 照射位置がドレインから離れると, 照射により支持基板内で発生した電荷が拡散によりドレイン直下に到達する時間が増大し, かつ単位時間あたりに蓄積する電荷量が減少することが原因であると考えられる. ただし, Fig.4 に示すように x が変化しても収集電荷量は約 2.5fC (重イオンが Si を 20nm 通過した際に発生する電荷量相当)と, ほぼ一定となることが分かった. これは, 電流ピークは減少する一方, 電流が流れる時間が長期化することを示す. 更に, この収集電荷量はドレインの長さにほぼ比例して増大することを確認した. これは, ドレイン直下の埋め込み酸化膜に蓄積する電荷密度, すなわち変位電流による収集電荷量が, 照射位置によらずほぼ一定であることを示す.

4. まとめ

支持基板で発生した電荷が SOI-MOSFET に重イオン照射誘起電流に及ぼす影響について検討した. その結果, 寄生バイポーラ効果が顕著な短チャネルデバイスでは支持基板の影響は小さいものの, 寄生バイポーラ効果が小さいデバイスでは, 埋め込み酸化膜厚の薄膜化に伴い, 支持基板による影響は大きくなり, デバイス周辺に照射された場合でも, 誤動作を発生させる可能性があることがわかった.

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] Yoshihiro Takahashi et al.;"Heavy-ion induced current through an oxide layer" Nucl.Instr.and Meth. B 260(2007)309-

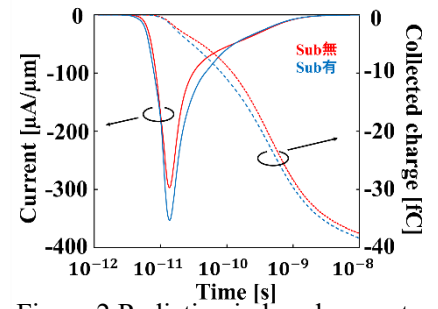


Figure.2 Radiation induced current and collected charge when ion hit to gate electrode.

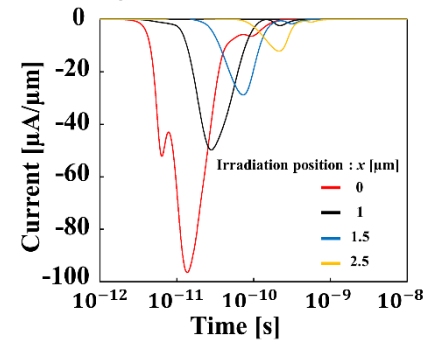


Figure.3 Irradiation position dependence on radiation induced current.

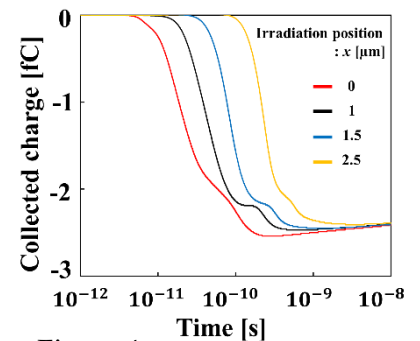


Figure.4 Irradiation position dependence on radiation induced collected charge.