

M-7

SOI-MOSFET における寄生バイポーラ効果の Source/Drain バンドギャップ依存性 Source/Drain band gap dependence of the parasitic bipolar effect in SOI-MOSFET

○和田雄友¹, 山本航汰¹, 高橋芳浩², 呉研²*Yusuke Wada¹, Kota Yamamoto¹, Yoshihiro Takahashi², Yan Wu²

Abstract: As a method for suppressing the parasitic bipolar effect, band gap engineering of the Source/Drain has been suggested. We investigated Source/Drain band gap dependence of the parasitic bipolar effect in SOI-MOSFET by heavy-ion irradiation using device simulation. We found that collected charge decrease steeply with reducing Source/Drain band gap. It suggests that the bandgap engineering is effective for the parasitic bipolar effect.

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、一時的な誤動作や故障などが問題となる。半導体デバイスに電離放射線が照射されると、その飛程に沿って高密度の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流れ、一時的な誤動作や故障が引き起こされる。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、放射線耐性に効果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^[1]。寄生バイポーラ効果とは、放射線照射により発生した正孔(電子)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へ放射線により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。

寄生バイポーラ効果の抑制方法の1つとして、Source/Drain(以下S/D)のバンドギャップエンジニアリングが提案されており、p-ch MOSFETにおいてS/D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とされている^[2]。しかし、S/Dのバンドギャップエンジニアリングによる寄生バイポーラ効果の抑制効果はまだ明確でない。そこで本研究では、デバイスシミュレータを用い、Siホモ接合p-ch SOI-MOSFETのS/Dのバンドギャップを変化させることにより、寄生バイポーラ効果のS/Dバンドギャップ依存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

Fig.1に計算モデルを示す。n-Body不純物濃度: 1×10^{17} [cm^{-3}], p^{++} -S/D不純物濃度: 1×10^{20} [cm^{-3}], p^+ -LDD不純物濃度: 1×10^{18} [cm^{-3}], チャンネル長: 0.25 [μm], ゲート酸化膜厚: 5.6 [nm], SOI層: 0.5 [μm], BOX層: 0.3 [μm]のp-ch SOI-MOSFETモデルを作成した。ただし、BOX層を介した変位電流の影響を無視するため、支持基板を外した構造となっている^[3]。このモデルの中央に、線エネルギー付与(LET: Linear Energy Transfer): 10 [$\text{MeV}\cdot\text{cm}^2/\text{mg}$], 飛程: 10 [μm]の重イオンが垂直入射したと仮定し、そのとき発生するドレイン誘起電流及びその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は約52 [fC]である。また、S/Dのバンドギャップはシミュレータのパラメータファイルで変更可能であり、今回は0.95~1.17 [eV]の範囲で変化させた。このとき、基準のバンドギャップを1.17 [eV]とし、変化後のバンドギャップとの差を ΔE_g とした。

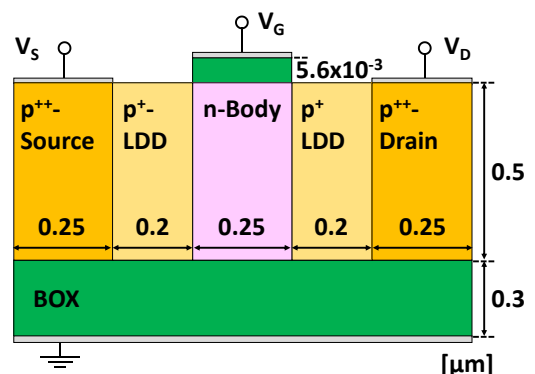


Figure.1 Simulation model for SOI-MOSFET

3. 結果・考察

Fig.2に $V_G = 0$ [V], $V_D = -2.5$ [V], $V_S = 0$ [V](OFF状態)としたときのドレイン誘起電流及び収集電荷量を示す. なお, 各電極から流れ出す方向の電流を正とした. ΔE_g の増加に対し, 誘起電流のピーク値に変化はなかったが, 収束時間が短くなることを確認した. また, 収集電荷量の減少も確認した.

Fig.3にバンドギャップの変化に対する収集電荷量及び Bipolar Gain: β を示す. Bipolar Gain: β は, 発生電荷量 Q_{dep} に対する収集電荷量 Q_{col} の比であり, 寄生バイポーラ効果のデバイスへの影響度を示す. 収集電荷量及び β は, ΔE_g の増加に伴い急激に減少し, 発生電荷量程度まで抑制できることを確認した. 以上の結果より, S/Dのバンドギャップエンジニアリングは寄生バイポーラ効果に対して効果的であることが分かった.

次にバンドギャップの変化による収集電荷量の減少メカニズムについて考察する. Fig.4にValence Band(E_V)のSource端とBodyのポテンシャル差の時間変化を示す. ΔE_g の増加に伴い, ポテンシャル差が大きくなっていることが分かる. この差が大きいくほど, SourceからDrainへ正孔が移動しにくくなるため, 収集電荷量を抑制できたと考えられる. また, 1[ps]から10[ps]にかけて, 蓄積した電子によるポテンシャルの変化が小さくなっていることが分かった. これは, ΔE_g の増加に伴い, Conduction Band(E_C)のSource端とBodyのポテンシャル差が小さくなり, Bodyに蓄積した電子がSourceに移動しやすくなったためだと考えられる.

4. まとめ

寄生バイポーラ効果のS/Dバンドギャップ依存性について検討を行った. S/Dのバンドギャップの低下に伴い, 収集電荷量が急激に減少することから, S/Dバンドギャップエンジニアリングは寄生バイポーラ効果に対し, 効果的であることが分かった. また, E_V のSource端とBodyのポテンシャル差が大きくなる, E_C のSource端とBodyのポテンシャル差が小さくなるような材料をS/Dに用いることにより, 寄生バイポーラ効果の抑制が可能であることが示唆された.

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] 山本航汰: 「微細SOI-MOSFETにおける照射誘起寄生バイポーラ効果に関する研究」, 平成26年度 学術講演会論文
- [2] Takashi Kato et al., “Impact of Parasitic Bipolar Effect on Single-Event Upset in p-Type Metal–Oxide–Semiconductor Field Effect Transistor with Embedded SiGe” Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 52, No. 4S, 04CC15, 2013
- [3] 家城大輔: 「微細SOI-MOSFETに対する重イオン照射誘起電流の検討」, 平成26年度 学術講演会論文

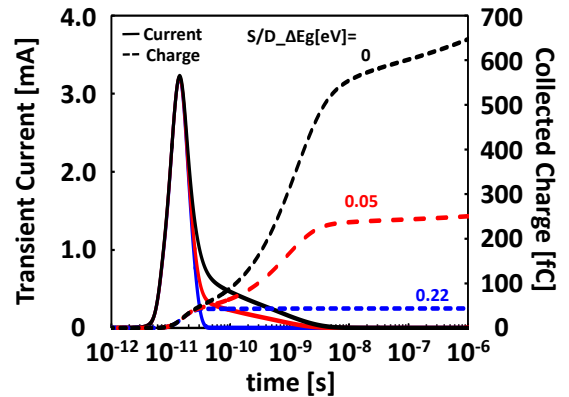


Figure.2 Transient current and collected charge at Drain electrode

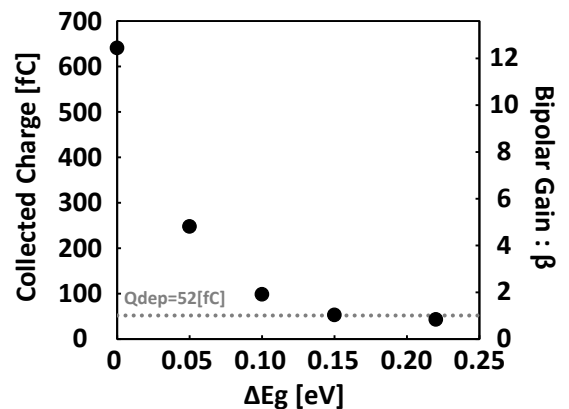


Figure.3 S/D band gap dependence on collected charge and Bipolar Gain

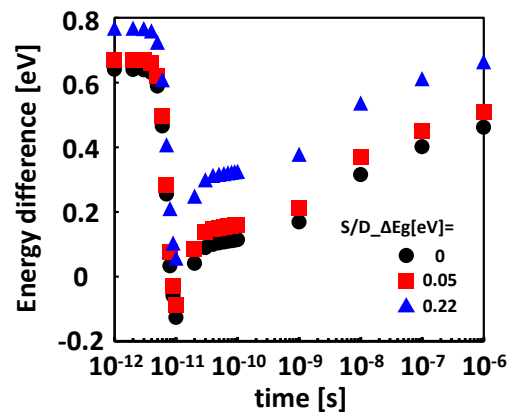


Figure.4 Energy difference between Source and Body at Valence band