

## PN-Body Tied SOI MOSFET の重イオン照射効果

## Heavy ion irradiation effects of PN-Body Tied SOI-MOSFET

○古川遼太<sup>1</sup>, 金山純一<sup>1</sup>, 安田光保<sup>1</sup>, 呉研<sup>2</sup>, 高橋芳浩<sup>2</sup>\* Ryota Furukawa<sup>1</sup>, Junichi Kaneyama<sup>1</sup>, Kosuke Yasuda<sup>1</sup>, Yan Wu<sup>2</sup>, Yoshihiro Takahashi<sup>2</sup>

Abstract: Heavy ion irradiation effects of PN-Body Tied SOI-MOSFET (PNBT device) are investigated by 3D device simulator. In case when the applied voltage to body tie, ( $V_B$ ) was 0, the parasitic bipolar effects could be reduced by PNBT device compared to conventional SOI-MOSFET. However the amount of radiation induced collected charge increased with increase of  $V_B$

## 1. 序論

MOSFET により構成される半導体集積回路を、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、重イオンなどの電離放射線照射により発生した電荷に起因して一時的な誤動作（ソフトウェア）が生じる。SOI(Silicon on Insulator)デバイスは、薄い活性層が埋め込み酸化膜で電氣的に分離されていることから、高いソフトウェア耐性を有する構造として注目されている。更に Body Tied を付加することにより、SOI デバイスで問題となる寄生バイポーラ効果の抑制も可能となり、優れたソフトウェア耐性が得られる。一方近年、Body Tied 構造に pn 接合を導入した PN-Body Tied SOI-MOSFET (PNBT デバイス) を用いる事により、非常に急峻なサブスレッショルド特性が得られることが報告されている[1]。Fig.1 にデバイス構造を、Fig.2 に  $I_D$ - $V_G$  特性を示す。結果より、Body Tie 端子電圧 ( $V_B$ ) に正電圧を印加することにより  $I_D$  の立ち上がりが非常に急峻になることがわかる。これは、Body で発生した電子が Body Tie に収集される際、 $n^+$ 領域の電位が下がることにより、 $p^+$ 領域から Body に正孔が供給され、Body 電位が上昇するというフィードバックが働くことが原因である。しかし、OFF 状態の PNBT デバイスに重イオンが照射された場合、照射により発生した電荷が原因となり、上記と同様なフィードバックが機能し、大きな過渡電流が発生する可能性が考えられる、そこで本研究では PNBT デバイスの耐放射線性について検討するため、3次元デバイスシミュレータを用いて、PNBT デバイスの重イオン照射誘起電流について評価した。

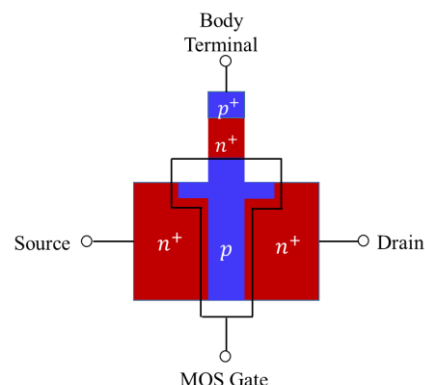
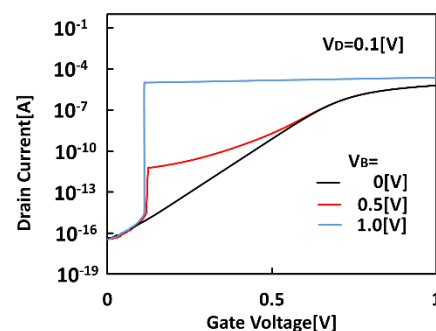


Fig. 1 PNBT SOIMOSFET

Fig. 2  $I_D$ - $V_G$  Characteristic simulation

## 2. 計算モデル及びシミュレーション条件

チャンネル長 1 [ $\mu\text{m}$ ], チャンネル幅 2.4 [ $\mu\text{m}$ ], ゲート酸化膜厚 10 [nm], SOI 膜厚 50 [nm], BOX 膜厚 200 [nm]として3次元モデルを作成した。なお各領域の不純物濃度は p-Body:  $1 \times 10^{17}$  [ $\text{cm}^{-3}$ ], Source/Drain:  $1 \times 10^{20}$  [ $\text{cm}^{-3}$ ], Body Tie:  $n^+$ ,  $p^+$ 共に  $1 \times 10^{18}$  [ $\text{cm}^{-3}$ ]とした。  $V_G=V_S=0$  [V]のオフ状態のデバイスにおいて、ゲート電極中央に線エネルギー付与 (LET: Linear Energy Transfer) 100. [MeV-cm<sup>2</sup>/mg], 飛程 10 [ $\mu\text{m}$ ]の重イオンが垂直入射した際の照射誘起電流の計算を行い、ドレイン電極における照射誘起電流及び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  $Q_{dep}=5.15$  [fC]である。なお、Body Tied 端子電圧 ( $V_B$ ) が及ぼす影響についても評価した。また比較対象として、Body Tie なしのデバイス、 $n^+$ 領域なしの通常の Body Tie を有するデバイスについても計算を行った。

## 3. 結果・考察

Fig. 3 に  $V_B=0$  [V],  $V_D=0.1$  [V]の条件における各デバイスでのドレイン電極での重イオン照射誘起電流の計算結果を示す。また Table.1 には誘起電流の時間積分より評価した収集電荷量を示す。

1: 日大理工・院(前)・電子, 2: 日大理工・教員・電子

Table 1 Collected charge in each device

名称	収集電荷量[fC]
MOSFET	20
BT SOI MOSFET	2.3
PNBT SOI MOSFET	9.3

結果より、Body Tie (BT)無しのデバイスでは寄生バイポーラ効果により大きな収集電荷量が確認される一方、BT を付加することにより過渡電流のパルス幅が短くなり、収集電荷量が発生電荷以下になることが確認された。一方、PNBT デバイスでも寄生バイポーラ効果の低減が確認された。Fig.4 に PNBT デバイスの Body と BT 間におけるバンド構造の照射後の時間変化を示す。なお、観察対象の深さは Body 中心（酸化膜界面からの深さ 25 [nm]）である。結果より、Body に蓄積した正孔により Body 電位が上昇（バンドエネルギーが低下）し寄生バイポーラが ON となるものの、正孔が BT 端子に収集されることにより比較的短時間で Body 電位が回復し、寄生バイポーラが OFF になることにより収集電荷量が抑えられたものと考えられる。

Fig5 に、 $V_B$  を 0, 0.4, 1.0 [V]と変化させた場合の照射誘起電流を示す。なお、本計算では  $V_D=2.5$  [V]とした。結果より  $V_B = 1.0$  [V]の場合、誘起電流は照射後 1 [μs]以上の長時間に至るまで流れ続けることがわかった。Fig.6 に Body と BT 間におけるバンド構造を示す。結果より、Body に蓄積した正孔により Body 電位が上昇すると同時に、 $V_B$ により電子が BT の n+領域に収集されることにより n+層の電位が下がることがわかる。これにより BT の p+領域より正孔が Body に注入されることにより Body 電位の回復が阻止され、長時間ドレイン電流が流れ続けることがわかった。これは、PNBT デバイスのフィードバック機能と同じ原理であり、 $V_B$ を印加した PNBT 構造では BT なしの従来の MOSFET よりも、重イオン照射による収集電荷量が大きくなってしまふことを明らかにした。

#### 4. まとめ

PNBT デバイスの重イオン照射効果について検討を行った。その結果、急峻なサブスレッショルド特性の発現に必要な BodyTie 電圧の増大と共に収集電荷量も大きくなることがわかった。これは、優れたスイッチング特性を有する PNBT デバイスをそのまま放射線環境下で使用することが困難であることを意味する。今後、各領域の不純物濃度や構造が放射線照射効果に及ぼす影響について評価を行い、PNBT デバイスの耐放射線性向上に対する検討を行う予定である。

#### 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] Jiro IDA et.al ; “Characterization of Hysteresis on SOI Based Super Steep Subthreshold Slope FET’s”, IEICE, Vol.E101-C, No.5, pp.334-337, 2018.

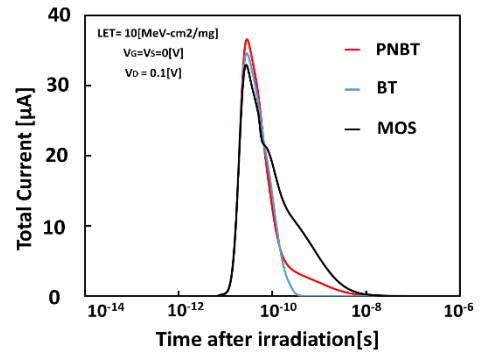


Fig. 3 Heavy ion induced transient current

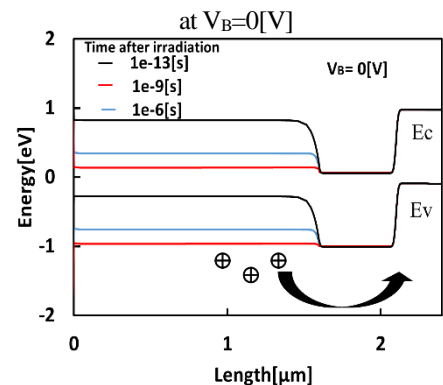


Fig. 4 Energy Band diagram between body to BT ( $V_B=0$ [V])

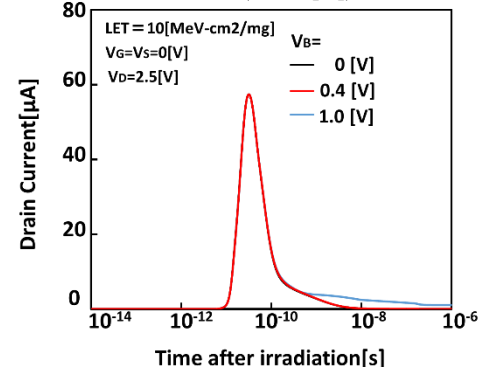


Fig. 5 Heavy ion induced transient current of PNBT device

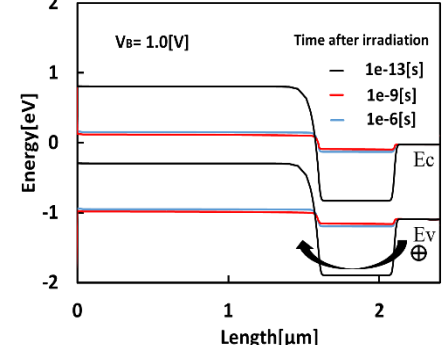


Fig. 6 Energy Band diagram between body to BT of PNBT device ( $V_B=1$ [V])