

PN-Body Tied SOI MOSFET の最適設計に関する検討
 Study on the Optimal Design of PN-Body Tied SOI MOSFETs

○小林晴陽¹, 高橋芳浩²

*Haruhi Kobayashi¹, Yoshihiro Takahashi²

Abstract : In order to understand optimal design of PN-body tied SOI-MOSFET, electrical characteristics of 2D and 3D devices are investigated. The calculation results showed that it is difficult to predict the characteristics of the 3D device from 2D device results.

1. 序論

MOSFET の更なる低消費電力化のために、ドレイン電流がゲート電圧に対して急峻に変化するデバイスが求められているが、一般的な MOSFET にはサブスレッショルド特性の傾きに限界がある。急峻な立ち上がり特性を有する構造として Body Tie 構造に pn 接合を導入した PN-Body Tied SOI-MOSFET (PNBT) が提案されている[1]。Fig.1 にデバイス上面構造を、Fig.2 にサブスレッショルド特性の例を示す。Body Tie 電圧(V_B)を印加しない場合は通常 MOSFET と同様の特性となるが、正電圧を印加すると急峻なサブスレッショルドが出現する。これは、Source から Body に注入した電子の一部が Body Tie 方向に引き抜かれ、n 層内に蓄積することにより n 層の電位が変化。これにより Body Tie から Body に正孔が注入され Body 電位が急激に変化するという Feed forward 現象が原因と説明されている。ただし、n 層の不純物密度や長さなどの設計最適化については解明されていない。本研究では最適設計を目的に、2次元及び3次元デバイスシミュレータを用いて各種構造パラメータが電気的特性に及ぼす影響を評価した。

2. シミュレーションモデル

PNBT の急峻な電流変化は Source から n 層に注入された電子をトリガとしていることから、Source - Body Tie 電極間の電気的特性の把握が重要であると考えられる。そこで計算時間短縮のため、Drain を省略した2次元構造 (Fig.3 (a)) を用いて n 層の長さ L_n および不純物濃度 N_n が、Body Tie 電極電流 I_B -ゲート電圧 V_G 特性に及ぼす影響を評価した。なお、SOI 層の厚さ 50nm、ゲート酸化膜厚 4.4nm、Body 領域の長さ L_b 及び不純物濃度 N_b は各々 $0.3\mu\text{m}$ 、 $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、Source および Body Tied 領域の不純物濃度は $1 \times 10^{20}\text{cm}^{-3}$ 、Body Tie 電極電圧 $V_B=1\text{V}$ と設定した。また、得られた結果を3次元構造 (Fig.3 (b)) に適用することにより、PNBT 構造のサブスレッショルド特性の計算を行い、PNBT の設計に関する2次元構造による評価の有用性について検討した。

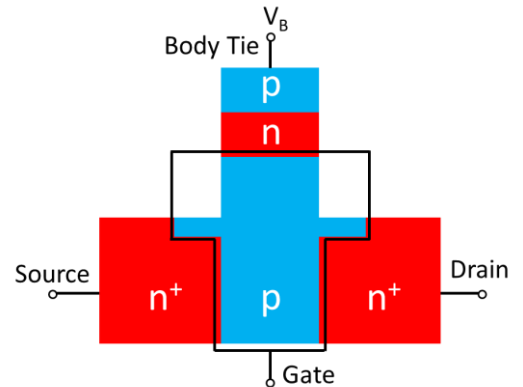


Figure 1. Top view of PNBT SOI MOSFET[1].

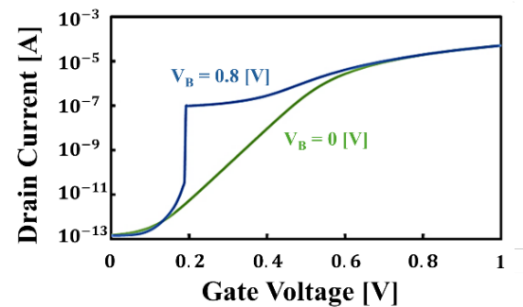


Figure 2. Subthreshold characteristics of PNBT device.

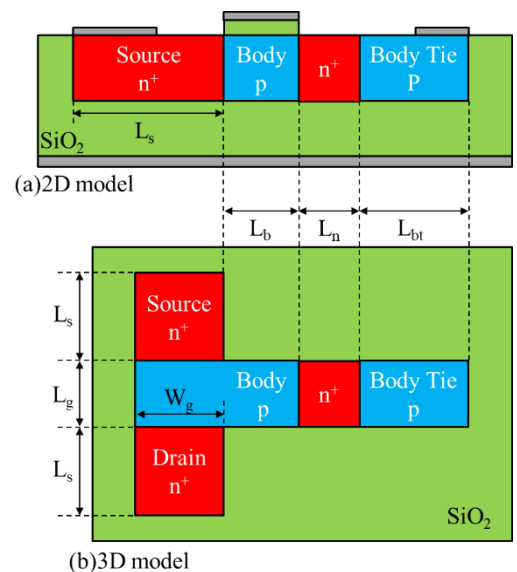


Figure 3. Simulated model in this study.

1 : 日大理工・院 (前)・電子, 2 : 日大理工・教員・電子

3. 結果

Fig.4に $N_n = 7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ としたときの, L_n が I_B - V_G 特性に及ぼす影響を示す. 結果より, 立ち上がり特性は L_n に大きく依存し, L_n が短くなると急峻な変化が見られなくなることがわかった. これは, n 領域に注入された電子の拡散長が L_n よりも長くなり, 多くの電子が Body Tie 電極に収集されたことによると考えている. また, Fig.5 には $L_n = 0.6 \mu\text{m}$ における N_n 依存性を示す. 特性は不純物濃度によっても大きく変化し, N_n が低くなると急峻な変化が消失することがわかった. 現在, n 領域内の過剰電子密度の変化によるものと考えているが, 解明のためには更なる考察が必要である. 上記の計算より, L_n , N_n が急激な電流変化に及ぼす影響を評価した結果, $L_n = 0.6 \mu\text{m}$, $N_n = 7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ において電流の変化桁数が最大となることがわかった.

そこで, 2次元モデルにおいて評価した条件を3次元構造に適用し, $V_B = 1\text{V}$, $V_D = 1\text{V}$ におけるPNBT構造のサブスレッショルド特性を計算した. Fig.6に $N_n = 7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ の条件で L_n を変化させたときの結果を示す. 結果より, 2次元モデルにおいて変化が見られなかった $L_n = 0.4 \mu\text{m}$ においても急峻に変化すること, $0.6 \mu\text{m}$ に比べ $0.8 \mu\text{m}$ としたときのほうが電流変化桁数が大きくなることなど, 2次元構造モデルを用いて予想された結果とは異なることがわかった. また同様に, 3次元構造モデルを用いて N_n 依存性評価も行ったが, Fig.5の結果とは異なる依存性を有することがわかった. なお, 3次元構造モデルの計算結果において, $V_G < 0.3\text{V}$ の領域において電流が負方向になることも確認された. これはBody Tie電極からDrain電極に向けて電流が流れたことによるものである. これらの結果より, Fig.3に示したDrain部を省略した2次元構造モデルにより得られた結果を,PNBTデバイスの最適設計に直接適用することは困難であるという結論を得た. ただし, 2次元構造の3次元構造モデルへの適用方法(Fig.3)に問題がある可能性も残されており, 更なる検討が必要である.

4. まとめ

PNBTデバイスの最適設計を目的に, デバイスシミュレーションを用いてDrain部を省略した2次元構造モデルと, 3次元構造モデルの特性を比較した. その結果, 提案した2次元モデルの計算結果を, PNBTの最適設計に直接適用することは困難であることを確認した.

5. 参考文献

[1] Jiro IDA, et al., IEICE Trans. on Electronics, Vol. E101.C, Issue 5, pp. 334-337, 2018.

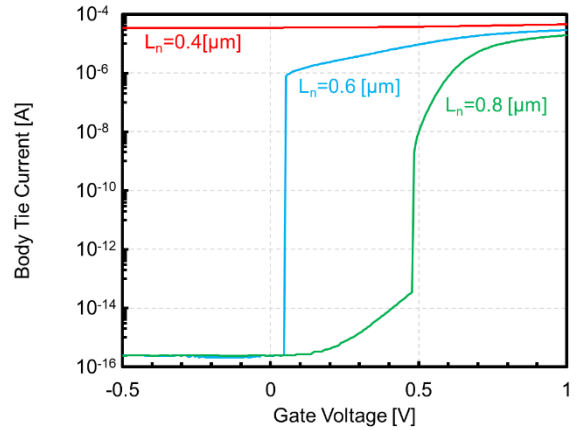


Figure 4. L_n dependence on I_B - V_G characteristic by 2D model when $N_n = 7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$.

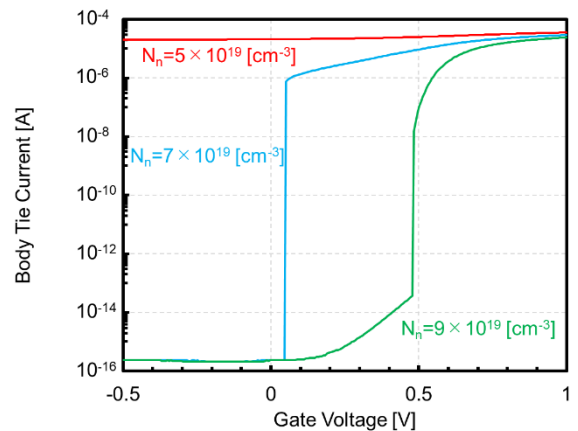


Figure 5. N_n dependence on I_B - V_G characteristic by 2D model when $L_n = 0.6 \mu\text{m}$.

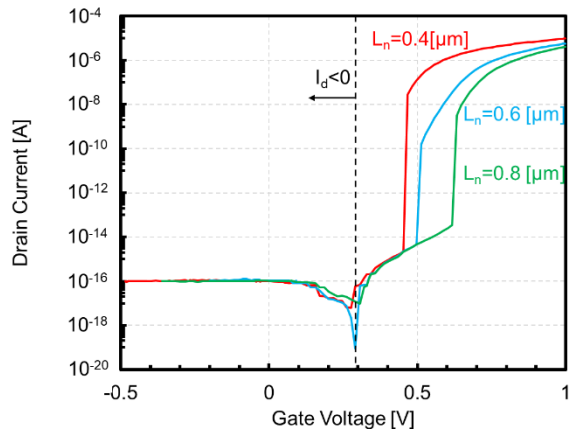


Figure 6. L_n dependence on subthreshold characteristics of PNBT when $N_n = 7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$.