

SJ-MOSFETにおけるスイッチング特性
Switching characteristic of SJ-MOSFET

○中野敬介¹, 呉研², 高橋芳浩²

*Keisuke Nakano¹, Yan Wu², Yoshihiro Takahashi²

Abstract: The switching characteristics of Super Junction (SJ) - MOSFET was investigated. We estimated dependence of the depth of p-type pillar on switching properties. It was found that the switching time can be shortened by SJ-MOSFET with deep p-type pillar.

1.序論

自動車電装機器やサーバー向け電源ユニットなどの大電力を必要とするデバイスにはパワーMOSFETが使用されており、大電流確保のために縦型構造が多用される。また、ドレイン電圧に対する耐圧が高く、低抵抗であるという特徴を有するデバイスとして、Fig.1(a)に示すようなp型ピラー領域をデバイスの深さ方向に伸ばしたSJ(スーパージャンクション)構造を用いたSJ-MOSFETが提案されている[1]。Fig. 2にOFF状態における $I_D - V_D$ 特性のSJ構造の有無による比較を示す。これより、SJ構造の装荷により耐圧が飛躍的に向上可能であることがわかる。

更にSJ-MOSFETは、急峻なスイッチング特性を有していることが報告されている[2]。しかし、p型ピラー領域の深さがスイッチング特性に及ぼす影響は不明である。また、インダクタンス負荷ではスイッチング時に逆方向電流が流れることも考えられ、デバイスの損傷に繋がる可能性がある。そこで本研究では、デバイスシミュレーションを用いて、SJ構造におけるp型ピラー領域のパラメータが耐圧やスイッチング特性に及ぼす影響について評価した。

2.計算モデル及びシミュレーション条件

シミュレーションモデルはFig.1(a)(b)に示した通りである。nドリフト層不純物濃度 $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$, p層不純物濃度 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$, ソース n^+ 層不純物濃度 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$, ドレイン n^+ 層厚 $1 \mu\text{m}$, チャネル長 $4 \mu\text{m}$, チャネル幅 $0.1 \mu\text{m}$, ゲート酸化膜厚: 50nm と設定した。またSJ-MOSFETのp型ピラーの深さ(X_p)は $2 \sim 10 \mu\text{m}$ の範囲で変化させた。

スイッチング特性の評価にはFig. 3の回路を用いた。シノプシス社製のデバイスシミュレータTCADのMixed-modeシミュレーションを用いて、パワーデバイスのスイッチング特性の評価で一般的に用いられるインダクタンス負荷回路について検討した。 $V_{DD} = 25 \text{V}$, インダクタンス負荷 $20 \mu\text{H}$ おいて、ゲート電圧を 20V から 0V に急峻に変化させたときのドレイン電流にp型ピラーの深さ(X_p)が及ぼす影響について評価した。

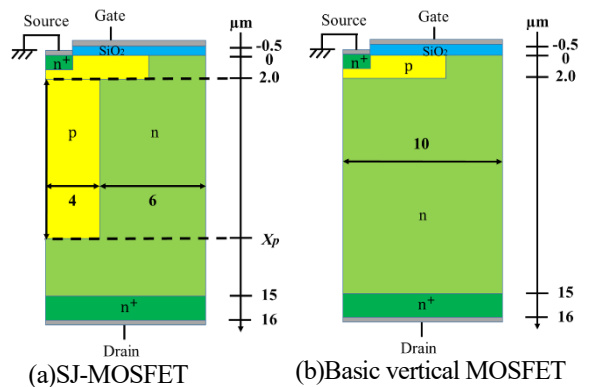


Fig.1 Simulation model of each type of MOSFET

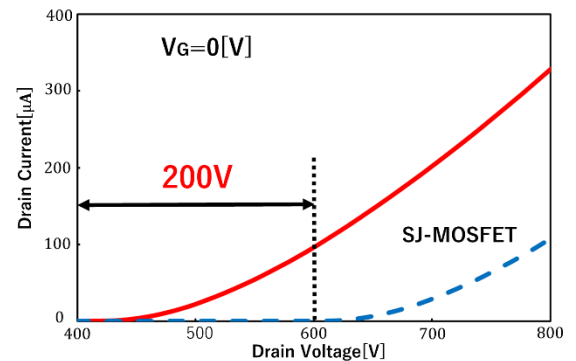


Fig.2 Breakdown voltage of each type of MOSFET

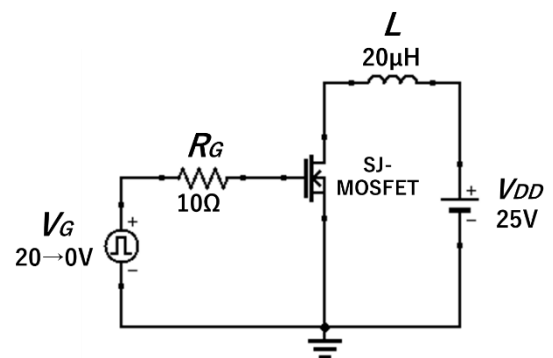


Fig.3 Inductance load inverter circuit in order to estimate switching characteristics

1: 日大理工・院(前)・電子, 2: 日大理工・教員・電子

3. 結果・考察

Fig. 5 に OFF 状態 ($V_G = 0V$) における $I_D - V_D$ 特性 (耐圧特性) に p 型ピラーの深さ X_p が及ぼす影響を示す. 結果より, X_p が大きいほど耐圧が大きくなる事が分かる. これは, pn 接合面積が広くなり, 空乏層領域が大きくなったことが原因だと考えられる. なお X_p は, 耐圧以外の特性静特性へは大きな影響を及ぼさないことを確認している. また, X_p の変化に対し, 耐圧上昇は飽和していく傾向も見られた.

Fig. 6 に MOSFET が ON から OFF に変化した際の, インダクタンス負荷回路のドレイン電流を示す. 結果より, p 型ピラーのが深くなる (X_p が大きくなる) にしたがって, スwitching 時間 (ターンオフ時間) が短くなる事がわかった. これは, 一般的な縦型 MOSFET よりも空乏層が広がり, ゲート-ドレイン容量 C_{GD} が小さくなったためであると考えられる[2]. しかし SJ 構造により, 逆方向電流も増大することも確認できた. これより高速スitching の実現には, p 層を縦方向に伸ばすことが望ましいが, 逆方向電流も増大してしまう事がわかった. ただし, ターンオフ時間および逆方向電流は, p 層領域がある程度深くなるとほぼ変化しなくなることがわかった.

Fig. 7 に X_p が, 耐圧, ターンオフ時間 (ドレイン電流が初めて 0 になるまでの時間), 逆方向電流に及ぼす影響についてまとめたものを示す. これより p 層を深くすることにより耐圧は増大可能なものの, スwitching 速度は $6\mu\text{m}$ 以上の厚さでは, ほぼ変化しなくなることを確認した.

4. まとめ

本研究では, 縦型 MOSFET において SJ 構造を用いて, 急峻なスitching 特性を得られるが, 逆方向電流が増大することを確認した. また, p 層を深くすることによって耐圧の増大やスitching 特性の急峻さを追求することは可能であるが, ある程度で飽和傾向を示すことから, 他のデバイス内パラメータの変更や付随する回路によって対策することが求められる.

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] 寺島知秀, 「材料」 (Journal of the Society of Materials Science, Japan), Vol.64, No.9, pp.701-706 (2015)
- [2] 大西泰彦 「パワーデバイスの高性能化」 信州大学審査学位論文(2015)

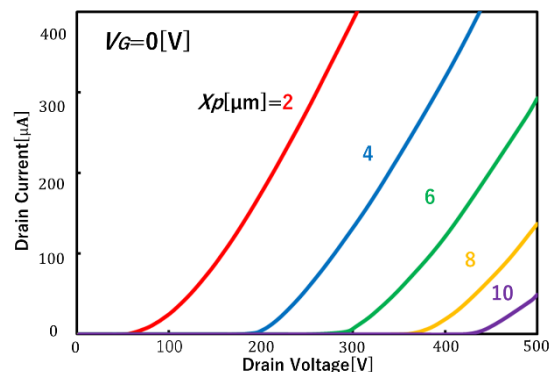


Fig.5 Break down voltage of SJ-MOSFET with varying of the depth of p-type pillar X_p .

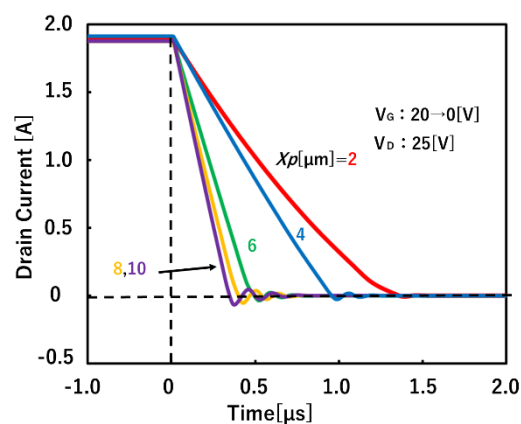


Fig.6 Switching characteristic of SJ-MOSFET with varying of the depth of p-type pillar X_p .

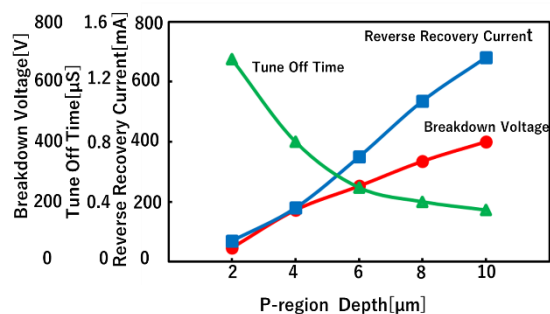


Fig.7 Summary of evaluated results