

パワーMOSFET 構造と特長

概要

本資料はパワーMOSFETの構造と特長について述べたものです。

目次

概要	1
目次	2
1. 構造と特長	3
1.1. パワーMOSFET の構造	3
1.2. パワーMOSFET の特長	4
製品取り扱い上のお願い	5

1. 構造と特長

パワーMOSFET は原理的に多数キャリアのみで動作します。バイポーラトランジスタのような少数キャリアの影響はなく、また、基本的に接合型 FET 以上の高入力インピーダンスをもっています。

パワーMOSFET は、高速性に優れているものの低オン抵抗、高耐圧、大電力は難しいと当初考えられていましたが、近年では、プレーナゲート型の二重拡散構造に加え、トレンチゲート型構造、スーパージャンクション構造(SJ 構造)が主流となり、高速かつ低オン抵抗、高耐圧が可能となっており高性能化が進んでいます。スイッチング用素子として、民生、産業、車載機器など幅広く使用されています。

1.1. パワーMOSFET の構造

パワーMOSFET は、ゲート構造、ドリフト層の構造によって大別でき、前述の近年主流となっている三つの構造を以下に示します。

図 1.1 の(a) は D-MOS 構造です。

二重拡散によりチャンネルを形成し高耐圧を得る D-MOS(Double Diffusion MOS)と呼ばれる構造を採用しています。高集積化ができ、低オン抵抗・低損失で高性能のパワーMOSFET を実現することができます。

図 1.1 の(b) はトレンチゲート構造です。

ゲートを U 溝とし、チャンネルを縦方向に形成することで高集積化を実現し、より低オン抵抗化を図る方法です。この構造は比較的低い耐圧のパワーMOSFET に使用されています。

図 1.1 の(c) はスーパージャンクション構造です。

ドリフト層にスーパージャンクション(SJ)構造と呼ばれる周期的な p / n 構造を形成することで、従来の縦型パワーMOSFET のシリコン限界を下回る超低オン抵抗を実現できます。

従来のパワーMOSFET に比べ、素子の耐圧 V_{DS} と単位面積で規格化されたオン抵抗 $R_{on} \cdot A$ とのトレードオフ関係を大幅に改善し、導通損失を大きく低減できます。

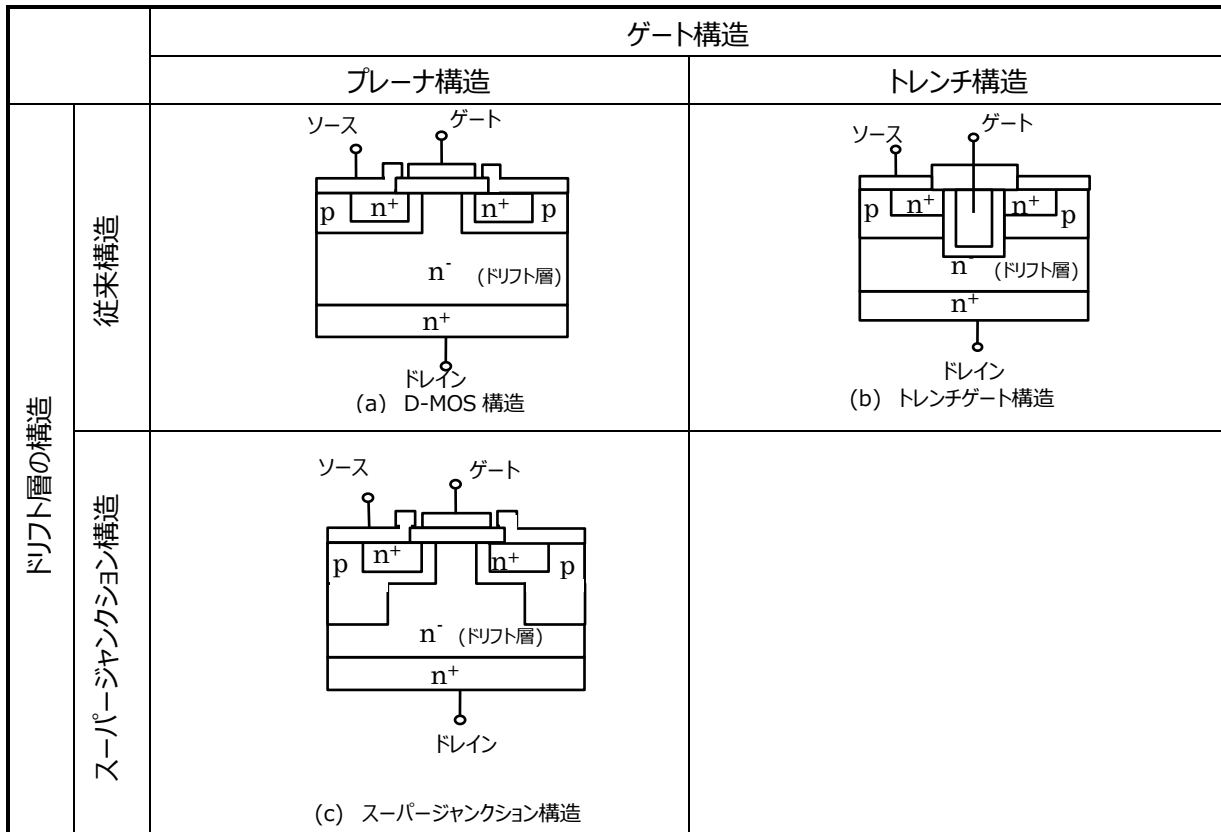


図 1.1 パワーMOSFET の構造

表 1.1 パワーMOSFET 特長比較

東芝製品	高耐圧化	低オン抵抗化	大電流化	高速化
n-MOS (DMOS)	優秀(～900V)	可	可	良好
U-MOS (トレンチゲートMOS)	良好(～250V)	優秀	優秀	良好
DTMOS (SJ-MOS)	優秀(500V～)	優秀	優秀	優秀

1.2. パワーMOSFET の特長

パワーMOSFET の一般的な特長を次に示します。

- (1) MOSFET は基本的に多数キャリアデバイスです。少数キャリアデバイスのバイポーラトランジスタとはこの点で大きく異なります。
- (2) MOSFET は、バイポーラトランジスタのように電流制御ではなく、ゲート・ソース間の印加電圧によって制御する電圧制御デバイスです。
- (3) 多数キャリアデバイスであるため、キャリアの蓄積による遅延時間がなく、高周波のスイッチング動作ができます。
- (4) バイポーラトランジスタでは、高電圧領域において電流集中が発生し、これによる二次降伏現象でジャンクション破壊が起こる危険があります。これを避けるため、素子の動作条件には十分なデレーティングがとられます。パワーMOSFET においては二次降伏現象がおこりにくく、破壊に強い特長を持っていますが、最近の製品には二次降伏現象が見られ、十分素子特性を確認の上使用する必要があります。
- (5) パワーMOSFET のオン抵抗の温度係数は正であるため、高温時の $R_{DS(ON)}$ を考慮して放熱設計を行う必要があります。

表 1.2 にバイポーラ型パワートランジスタとパワーMOSFET の比較を示します。

表 1.2 バイポーラ型パワートランジスタとパワーMOSFET との比較

	バイポーラ型パワートランジスタ	パワーMOSFET
駆動回路	駆動電流の条件によりスイッチング時間かわるため駆動条件の選定が難しく、駆動回路の損失も大きくなります。	バイポーラに対して電圧駆動のため駆動回路の作成が簡単で、駆動回路による損失も小さくなります。
スイッチング時間	構造的に蓄積時間(t_{sta})があり、MOSFETと比較してスイッチング時間は遅くなります。	バイポーラと比べ大幅に高速で、蓄積時間もなく温度の影響も少ないです。
安全動作領域	二次降伏の制限があります。	基本的には電力損失が支配的です。
耐圧 (コレクタ・エミッタ間 / ドレイン・ソース間)	ゲート逆バイアスでの使用が多く V_{CES} だけでなく $V_{CEX}(V_{CBO})$ が定格として使われる場合があります。	トレンチ型構造のゲート逆バイアス時を除き V_{DSS} で制限されます (ゲート逆バイアス時は V_{DSX} で制限されます)。
オン電圧	高耐圧素子の場合でも非常に低く、一般的に負の温度係数を持ちます。	低耐圧素子では極めて低いが、高耐圧素子ではやや大きくなります。温度係数は正であり、並列接続に有効です。
並列接続	電流をバランスさせる必要があり、難しくなります。	発振防止、スイッチング時間の整合などの若干の注意が必要ですが、比較的容易に並列運転ができます。
温度安定性	温度上昇すると、 h_{FE} が大きくなったり V_{BE} が小さくなったりするため、若干の注意が必要になります。	各種パラメータの温度に対する安定度は極めて高いです。

製品取り扱い上のお願い

株式会社東芝およびその子会社ならびに関係会社を以下「当社」といいます。
本資料に掲載されているハードウェア、ソフトウェアおよびシステムを以下「本製品」といいます。

- 本製品に関する情報等、本資料の掲載内容は、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
- 文書による当社の事前の承諾なしに本資料の転載複製を禁じます。また、文書による当社の事前の承諾を得て本資料を転載複製する場合でも、記載内容に一切変更を加えたり、削除したりしないでください。
- 当社は品質、信頼性の向上に努めていますが、半導体・ストレージ製品は一般に誤作動または故障する場合があります。本製品をご使用頂く場合は、本製品の誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないように、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いします。なお、設計および使用に際しては、本製品に関する最新の情報（本資料、仕様書、データシート、アプリケーションノート、半導体信頼性ハンドブックなど）および本製品が使用される機器の取扱説明書、操作説明書などをご確認の上、これに従ってください。また、上記資料などに記載の製品データ、図、表などに示す技術的な内容、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例などの情報を使用する場合は、お客様の製品単独およびシステム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断してください。
- 本製品は、特別に高い品質・信頼性が要求され、またはその故障や誤作動が生命・身体に危害を及ぼす恐れ、膨大な財産損害を引き起こす恐れ、もしくは社会に深刻な影響を及ぼす恐れのある機器（以下“特定用途”という）に使用されることは意図されていませんし、保証もされていません。特定用途には原子力関連機器、航空・宇宙機器、医療機器、車載・輸送機器、列車・船舶機器、交通信号機器、燃焼・爆発制御機器、各種安全関連機器、昇降機器、電力機器、金融関連機器などが含まれますが、本資料に個別に記載する用途は除きます。特定用途に使用された場合には、当社は一切の責任を負いません。なお、詳細は当社営業窓口までお問い合わせください。
- 本製品を分解、解析、リバースエンジニアリング、改造、改変、翻案、複製等しないでください。
- 本製品を、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用することはできません。
- 本資料に掲載してある技術情報は、製品の代表的動作・応用を説明するためのもので、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。
- 別途、書面による契約またはお客様と当社が合意した仕様書がない限り、当社は、本製品および技術情報に関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をしておりません。
- 本製品、または本資料に掲載されている技術情報を、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事用途の目的で使用しないでください。また、輸出に際しては、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守し、それらの定めるところにより必要な手続を行ってください。
- 本製品の RoHS 適合性など、詳細につきましては製品個別に必ず当社営業窓口までお問い合わせください。本製品のご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用ある環境関連法令を十分調査の上、かかる法令に適合するようご使用ください。お客様がかかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は一切の責任を負いかねます。