

第2章 パワー MOSFET の現状と近未来

パワー MOSFET の構造と応用分野

高川 恭一
Kyoichi Takagawa

パワー MOSFET は、各種電源回路をはじめ、自動車用途など、幅広く使われているパワー・デバイスです。年々、高速スイッチング、低 ON 抵抗化が進んできましたが、さらなる性能向上が求められています。

本章では、最新のパワー MOSFET の構造と応用分野、今後の動向について解説します。

パワー MOSFET の構造

● ダイオードが作り込まれている

図 2-1 に N チャネル・パワー MOSFET の断面構造図を示します。これは、ゲート・ソース間に静電破壊防止用の保護ダイオードが内蔵されたタイプで、ゲート・パッドの周辺に形成されています。

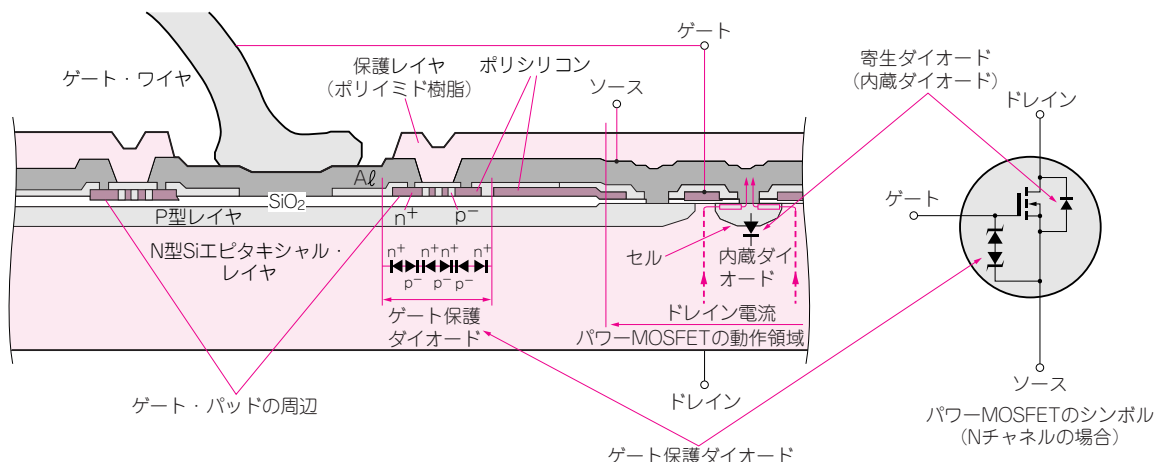


図 2-1 パワー MOSFET の断面構造

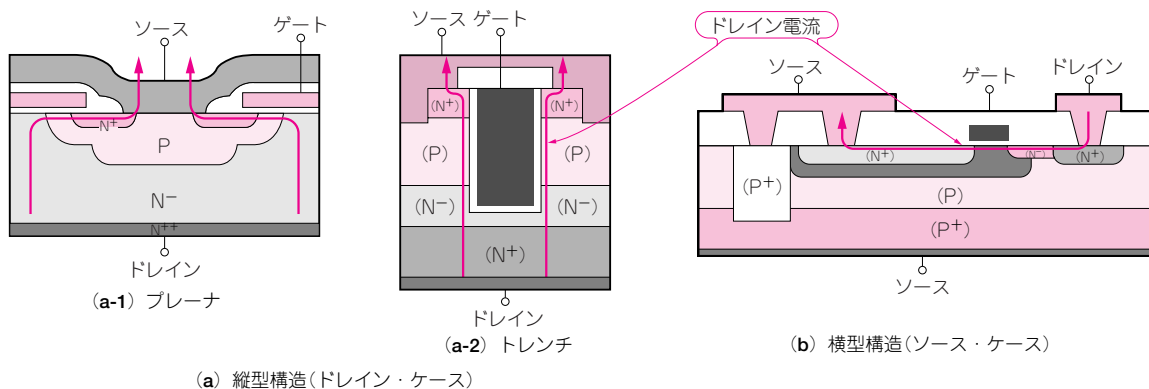


図 2-2 パワー MOSFET の構造による分類

また、パワー MOSFET は、図のように寄生ダイオードが形成されています。これがソース・ドレイン間の内蔵ダイオードであり、ボディ・ダイオードとも呼ばれています。

内蔵ダイオードは、モータの駆動回路や無停電電源 (UPS) などの DC-AC 変換インバータに応用する場合、その特性を積極的に活用することができます。

● パワー MOSFET の構造による分類

図 2-2 にパワー MOSFET の構造分類を示します。パワー MOSFET は、大きく分けて縦型と横型の 2 種類の構造に分類することができます。また、縦型はさらにプレーナ構造とトレンチ構造に分類できます。

これらの構造には、それぞれの特徴を生かせる最適な用途があります。それらをまとめたものを表 2-1 に示します。

▶ 縦型構造

縦型構造は、高耐压化/低 ON 抵抗化に適した構造で、現在、中/高耐压 ($V_{DSS} = 200 \text{ V}$ 以上の素子) の多くのデバイスに適用されています。縦型構造でも低耐压 (100 V 以下) の素子では、さらにプレーナとトレンチの 2 種類が製造されていますが、一般的に低容量、高速スイッチング特性という面ではプレーナが有利で、低 ON 抵抗特性ではトレンチが有利といえます。

しかし、最近では、プロセスや製造装置の進歩により、トレンチ構造で低容量化 (低 Q_g 、低 Q_{gd} 化) がかなり進み、その差は使用する応用機器側から見てほとんど遜色のないレベルになっています。

以上のことから、縦型構造のパワー MOSFET は、高耐压、大電流、低 ON 抵抗という特徴からスイッチング素子として最適な素子といえます。

▶ 横型構造

横型構造は、高耐压化/低 ON 抵抗化が難しい反面、低容量特性、特に逆伝達容量 (帰還容量) C_{rss} が非常に小さいという特徴があります。これは、図 2-2(b) の構造図で示すようにゲート・ドレイン間の容量がフィ

ールド・プレートでシールドされたような構造になっており、構造的に有利だからです。

しかし、セルの面積を大きく取ることと単位面積当たりの ON 抵抗が縦型に比べると格段に大きくなり、一般的にスイッチング用途にはあまり適当ではありません。

このようなことから、横型構造のパワー MOSFET は、高速/高周波特性を必要とする高周波アンプの出力制御素子として最適な素子といえます。

▶ 今後の動向

今後の動向としては、低耐压スイッチング素子への適用があげられます。そのもっとも有望な分野として、CPU コアを駆動する VR (Voltage Regulator ; 電圧レギュレータ) が考えられます。VR は、将来 0.8 V/150 A となることが予想されます。また、負荷の急変に対応するために、高速な応答 (具体的には、電流の立ち上がり応答 $di/dt = 400 \text{ A}/\mu\text{s}$) が可能な速度を求められています^{(1) (2)}。

低電圧化に伴い、電圧変動許容値も数十 mV 以下と、より狭い電圧幅に抑えなければならないため、大容量のコンデンサを多数並列に使用することになり、基板のスペースを大きく必要とするといった問題が発生してしまいます⁽³⁾。

これらの問題を解決する手段としては、電源のスイッチング周波数を高くすることが有効です。このため、現状では 200 k ~ 300 kHz の動作周波数を将来 2 M ~ 5 MHz の CPU 駆動用 VRB (Voltage Regulator Block ; 電圧レギュレータ・ブロック) の検討も報告されています⁽⁴⁾。

動作周波数が 5 MHz ということは、例えば $V_{in} = 5 \text{ V}$ で $V_{out} = 0.8 \text{ V}$ にする場合、VR のハイ・サイド・スイッチは、パルス幅 $t_{PW} = 32 \text{ ns}$ の制御が必要ということになり、素子の応答周波数としては数百 MHz 以上の高周波性能が求められます。

このような高周波帯域での動作のために、構造的に高周波特性に優れた横型構造が見直されています。ま

表 2-1 パワー MOSFET の構造とその特徴を活かした応用例

特性など 区分	縦型構造			横型構造	
	低耐压 (100 V 以下)		高耐压 (プレーナ)	低耐压	高耐压
	プレーナ	トレンチ			
高耐压化	—	—	◎	—	△
低 ON 抵抗化	○	◎	△	△	×
低 C_{iss} (低 Q_g)	○	○	○	◎	◎
低 C_{rss} (低 Q_{gd})	◎	○	○	◎	◎
特徴	高耐压、大電流、低 ON 抵抗			高速、高周波特性	
応用分野、用途など	・ DC-DC コンバータ ・ 小型モータ駆動 ・ 自動車電装機器		・ AC-DC スwitchング電源 ・ UPS 電源 ・ インバータ	・ RF アンプ出力 (携帯電話) (数百 MHz ~ 数 GHz)	・ 高周波電力増幅 (基地局放送機器など)