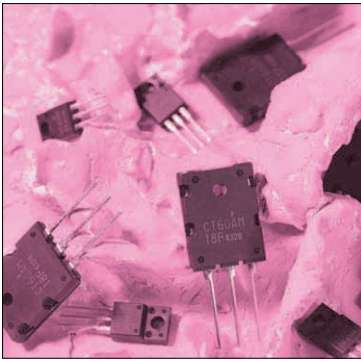


第2章 パワー MOSFET の現状と近未来

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。

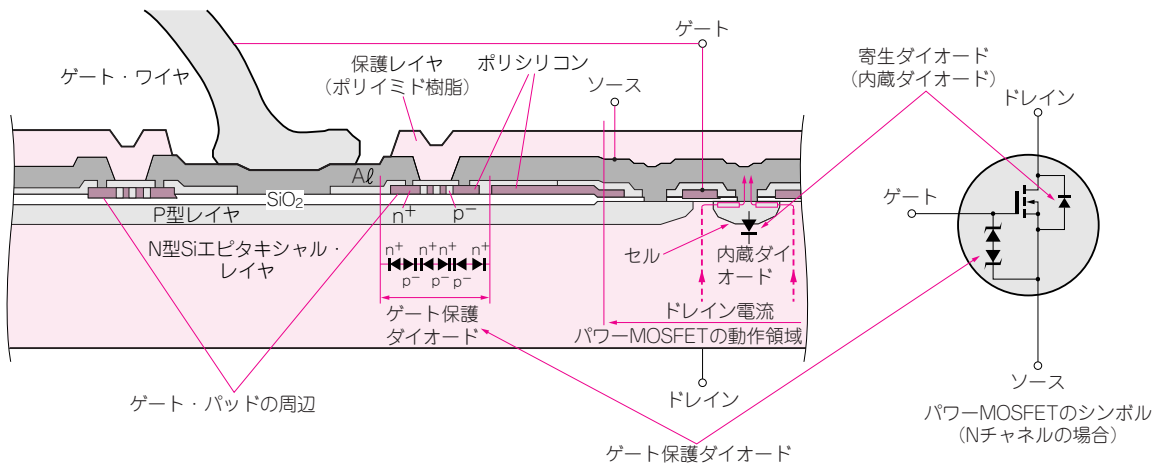


図 2-1 パワー MOSFET の断面構造

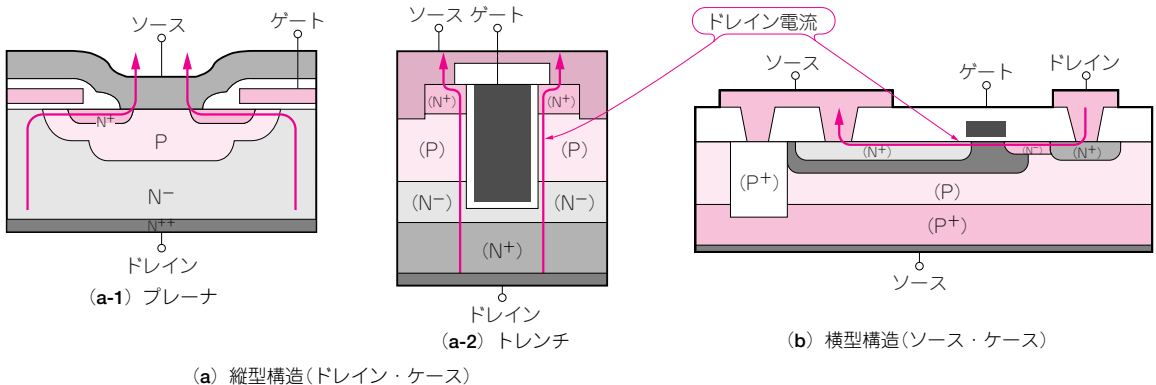


図 2-2 パワー MOSFET の構造による分類

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、高耐圧化/低ON抵抗化に適した構造で、現在、中/高耐圧($V_{DSS} = 200\text{V}$ 以上の素子)の多くのデバイスに適用されています。縦型構造でも低耐圧(100V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、高耐圧、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、高耐圧化/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、低耐圧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0.8V/150A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200k~300kHzの動作周波数を将来2M~5MHz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5MHz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

構造 区分	縦型構造			横型構造	
	低耐圧(100V以下)		高耐圧 (プレーナ)	低耐圧	高耐圧
特性など	プレーナ	トレンチ			
高耐圧化	—	—	◎	—	△
低ON抵抗化	○	◎	△	△	×
低 C_{iss} (低 Q_g)	○	○	○	◎	◎
低 C_{rss} (低 Q_{gd})	◎	○	○	◎	◎
特徴	高耐圧、大電流、低ON抵抗			高速、高周波特性	
応用分野、用途など	<ul style="list-style-type: none"> DC-DCコンバータ 小型モータ駆動 自動車電装機器 		<ul style="list-style-type: none"> AC-DCスイッチング電源 UPS電源 インバータ 	<ul style="list-style-type: none"> RFアンプ出力(携帯電話) (数百MHz~数GHz) 	<ul style="list-style-type: none"> 高周波電力増幅 (基地局放送機器など)