

# パワーMOS FET

古畑 昌一(ふるはた しょういち)

藤澤 尚登(ふじさわ なおと)

西村 武義(にしむら たけよし)

## 1 まえがき

パワー MOS FET の適用範囲は、着実に多方面に拡大してきている。その背景には、今までの最大の課題であったオン抵抗の低減があり、微細化技術、プロセス技術の確立によって、高耐圧素子はほぼ理想値に近づきつつある。現在は、低耐圧素子にこの努力が注がれている。

しかし、過去にバイポーラトランジスタがそうであったように、適用分野ごとに最適な MOS FET のあり方が問われ始めている。富士電機では、富士エレクトロニックコンポーネンツ(株)と、設計、ウェーハプロセス、組立、品質保証、販売活動を一貫して行う中で、市場要求に合った製品化を実施している。ここでは、パワー MOS FET の技術動向、製品系列、製品設計上の技術開発について述べる。

## 2 技術動向と適用分野の拡大

スイッチング電源分野におけるパワースイッチング素子の特性改良の要求は、際限がない。

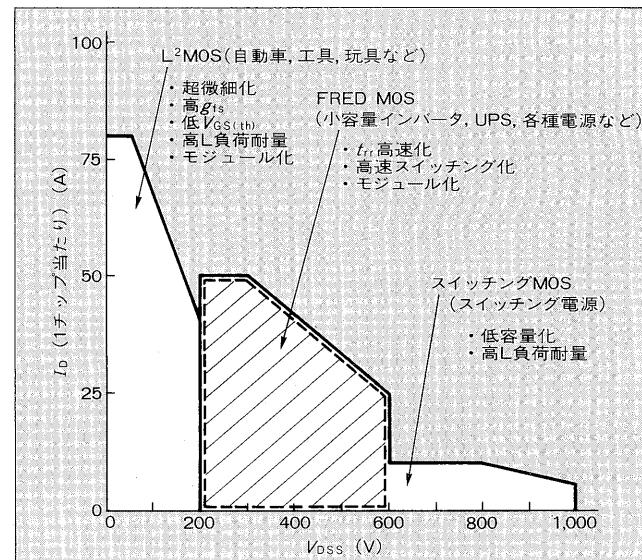
- (1) スイッチング損失増加の抑制と動作周波数の向上
- (2) 高密度実装による放熱性低下を、発生損失低減により補償
- (3) 各種 IC による直接駆動が可能
- (4) 異常時における過電圧耐量の向上
- (5) 並列数低減のための大電流化

上記の要求を適用分野別に区分すると、下記の三つの分野にまとめることができる。

### 2.1 AC100V, 200V 用スイッチング電源分野

この分野に適用される MOS FET のパッケージは TO-220, TO-3P に代表される樹脂モールド形に限定できる。**図 1** のように、ドレン - ソース間電圧の高い製品系列が対象範囲である。これに該当する MOS FET の課題は、①低損失化②高 L 負荷耐量化③大電流化であり、各々具体的には、④入力容量、入力ゲート電荷の低減による高速化⑤パターン設計、拡散プロファイル最適化による耐量向上⑥ウ

図 1 パワー MOS FET の技術動向



エーハ結晶欠陥低減による大面積チップの実現と言える。

### 2.2 インバータ, 無停電電源装置分野

この分野に適用する MOS FET に要求される特性は、前記スイッチング電源分野用に要求される内容を当然考慮したうえ、更に内蔵ダイオードの逆回復時間の高速化及び逆回復耐量の向上が要求される。パッケージとしては、TO-220のような樹脂モールド形やモジュール形が要求される。

### 2.3 バッテリーを電源とする応用分野

自動車用など、低いバッテリー電圧を効率良く負荷に供給できること、5V 電源用 IC による直接駆動ができること、及びサージ電圧に強い素子であることが必要である。つまりロジックレベルにて駆動でき、かつ低オン抵抗の製品系列の整備が急務となる。この分野での素子耐圧は、150~200V 以下に限定されるであろう。

#### 古畑 昌一

昭和39年入社。パワートランジスタの開発・設計に従事。現在、松本工場パワーデバイス部課長補佐。



#### 藤澤 尚登

昭和56年入社。パワー MOS FET の開発・設計に従事。現在、松本工場パワーデバイス部。



#### 西村 武義

昭和59年入社。半導体素子の開発・製造に従事。現在、松本工場パワーデバイス部。

### ③ パワー MOS FET 製品系列紹介

富士電機のパワー MOS FET 製品は、低耐圧から高耐圧まで豊富な系列をそろえ、民生分野から産業分野まで広く使用されている。以下に製品の系列について述べる。

#### 3.1 標準系列

スイッチング電源分野を主に、無停電電源装置、バッテリーを電源とする用途などに開発された製品系列を表1及び表2に示す。この系列の特長は、最適ウェーハプロセスの採用により、

- (1) 高順伝達コンダクタンス ( $g_{fs}$ )
  - (2) 低オン抵抗 ( $R_{DS(on)}$ )
  - (3) ゲートしきい値電圧のばらつき小 ( $V_{GS(th)}$ )
- を実現していることである。

#### 3.2 F II (高速スイッチング) 系列

スイッチング電源の高周波化に対応したF II (高速スイッチング) 系列を新たに加えた。その製品一覧を図2に示す。この系列の特長は、

- (1) 入力容量  $C_{iss}$  の低減 (従来比約30%減)
- (2) スイッチング時間の短縮

表1 低耐圧富士パワー MOS FET 一覧表

形 式 名	外 形	主 要 特 性		
		$V_{DS}$ (V)	$I_D$ (A)	$R_{DS(on)}$ (Ω)
2SK905	TO-3P	50	45	0.03
2SK906	TO-3P	100	32	0.06
2SK947/2SK900	TO-220/TO-220F	250	12	0.3
2SK948	TO-3P	250	13	0.3
2SK901	TO-3P	250	20	0.15
2SK902	TO-3P	250	30	0.1

表2 スイッチング電源用富士パワー MOS FET 一覧表

形 式 名	外 形	主 要 特 性		
		$V_{DS}$ (V)	$I_D$ (A)	$R_{DS(on)}$ (Ω)
2SK949/2SK950	TO-220/TO-220F	500	6	1.2
2SK723	TO-3P	500	7	1.2
2SK724	TO-3P	500	10	0.67
2SK725	TO-3P	500	15	0.38
2SK899	TO-3P	500	18	0.33
2SK897	TO-220F	550	4	1.5
2SK903/2SK904	TO-220	800	3	4.0
2SK954	TO-3P	800	3	4.0
2SK955	TO-3P	800	5	2.0
2SK960	TO-220	900	3	5.0
2SK726	TO-3P	900	3	5.0
2SK727	TO-3P	900	5	2.5

#### (3) $V_{GS} = \pm 30V$ 保証

である。また電流容量では、国内外最大級の450V, 500V, 30A 品を系列に加えることによって、MOS FET を並列に使用せずに済む電源容量範囲が拡大された。パッケージについても TO-220, TO-220F, TO-3P, TO-3PF, TO-3PL を用意し、ユーザーの希望に応ずる系列を整えた(図3)。

スイッチング時間(特にターンオフ時間)の短縮は、単に入力容量  $C_{iss}$  を低減した効果だけでなく、ターンオフ動作の解析から導き出された特性改善も考慮されている。一般にゲート-ソース間に逆バイアスを加えずにターンオフ動作させる使用法は、最もドライブ回路が簡単であり、その使用実績は多い。図4は、特にスイッチング損失が発生するミラー動作期間の考え方を示しており、この図から実際にターンオフ動作する直前のドレイン電流に対するミラーアクション期間の、ゲート-ソース間電圧が重要であることが

図2 F II (高速スイッチング) 新系列

$V_{DS}$	$I_D$	5A	10A	15A	20A	25A	30A
450V		○○○○	○	○	○		●
500V		○○○○	○	○	○		●
800V		○○○	○	○	○		
900V		○○○	○	○	○		

特長 :  $t_{off}$  timeは、スイッチング電源用と比較して約30~50%短い。  
上段 : TO-220/TO-220F  
下段 : TO-3P/TO-3PF  
ただし ● は TO-3PL

図3 樹脂モールドパッケージ系列

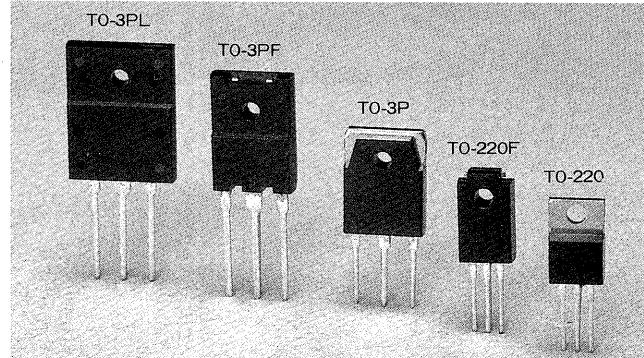


図4 MOS FET のターンオフ動作

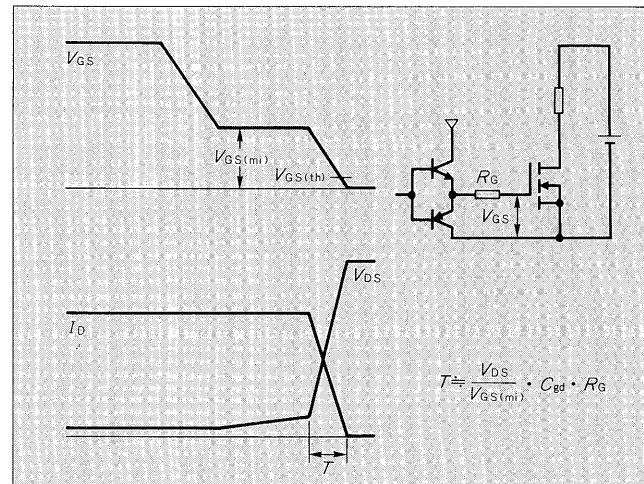


表3 FRED MOS FET 製品一覧表

形式名	外形	主要特性		
		$V_{DS}$ (V)	$I_D$ (A)	$R_{DS(on)}$ (Ω)
BUZ360	TO-3P	800	3.6	3.0
BUZ361	TO-3P	800	2.9	4.0
BUZ380	TO-3P	1,000	5.5	2.0
BUZ381	TO-3P	1,000	4.9	2.6
BUZ382	TO-3P	400	12.5	0.4
BUZ383	TO-3P	400	11.5	0.5
BUZ384	TO-3P	500	10.6	0.6
BUZ385	TO-3P	500	9.0	0.8
				250

表4 pチャネルパワーMOS FET 製品一覧表

形式名	外形	主要特性		
		$V_{DS}$ (V)	$I_D$ (A)	$R_{DS(on)}$ (Ω)
BUZ171	TO-220	-50	-7.0	0.4
BUZ172	TO-220	-100	-5.0	0.8
BUZ173	TO-220	-200	-3.0	2.0

わかる。この系列の製品は、これに留意し高速化を実現している。

### 3.3 他の系列品

FRED MOS FET, pチャネルパワーMOS FETの系列を表3, 表4に示す。前者は、内蔵ダイオードの逆回復時間が250ns以下と高速化しており、モータ制御用インバータ回路に適している。

### 4 技術開発 ( $C_{iss}$ の低減)

最近の、特に高周波パワースイッチングの応用において、入力容量( $C_{iss}$ )の成分のなかで $C_{gd}$ (ゲート-ドレイン間容量)が、ドライブ損失、スイッチング損失へ与える影響は大きい。

パワーMOS FETの入力容量 $C_{iss}$ は、ゲート-ソース間容量 $C_{gs}$ とゲート-ドレイン間容量 $C_{gd}$ の和である。特に $C_{gd}$ は、ドレイン-ソース間電圧に対する依存性(ミラー効果)が大きく、スイッチング動作に与える影響は多大である。

このことからパワーMOS FETの各特性間のトレードオフ関係を理論的に検討し、容量と電圧との関係をモデル化したうえで、パターン設計、プロセス設計に役立てている。図5に解析したパワーMOS FETの断面構造を示す。また、図6は容量と電圧の関係の計算値と実測値であり、両者は非常に良く一致している。更に、図7はゲート幅とゲート酸化膜厚を変数とした場合の容量値とオン抵抗値を、ドレイン-ソース間電圧250Vの条件で示したものである。ゲート幅及びゲート酸化膜厚などが特性に大きな影響を与え、更に各々がトレードオフ関係にあることから、パワー

図5 パワーMOS FETの断面構造と寄生容量

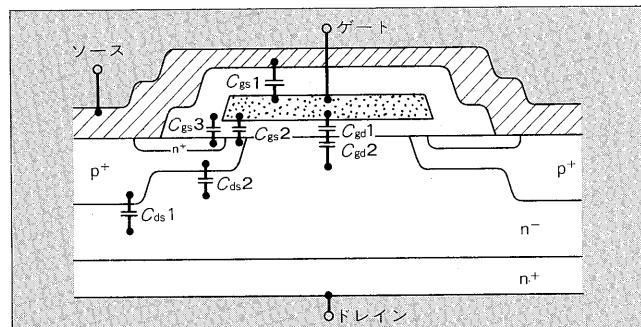
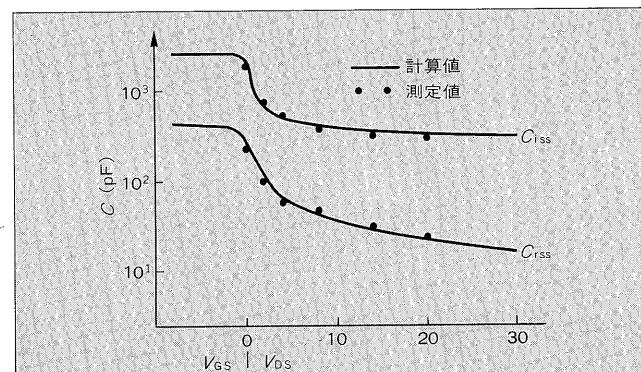
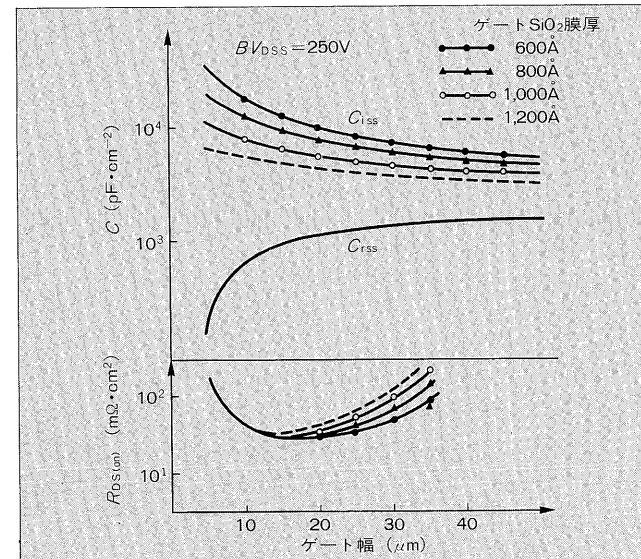
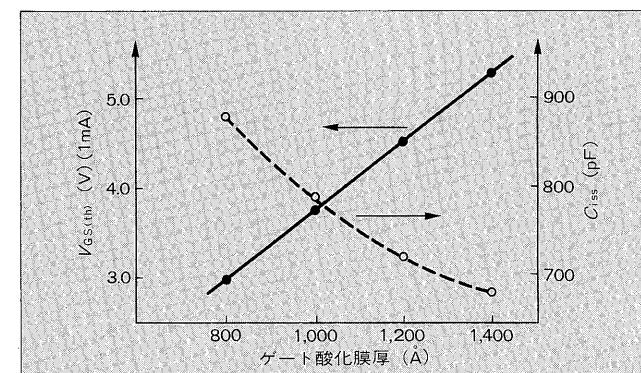


図6 容量・電圧特性

図7 ゲート幅と容量及び $R_{DS(on)}$ の関係(計算値)図8 ゲートSiO<sub>2</sub>膜厚と $V_{GS(th)}$ ,  $C_{iss}$ の関係

MOS FET は用途ごとに最適なセル設計、プロセス設計を行う必要がある。図8にゲート酸化膜厚とゲートしきい値電圧  $V_{GS(th)}$  及び  $C_{iss}$  の関係を示す。ゲート酸化膜の厚さとともに  $V_{GS(th)}$  が大きく変動するが、 $V_{GS(th)}$  はチャネル部不純物拡散濃度で制御可能である。入力容量  $C_{iss}$  の低減は  $C_{gd}$  だけでなく、 $C_{gs}$  の低減も必要である。具体的には、①チャネル長を可能な限り短くすること②ゲート - ソース間保護膜の厚さ、材質など最適に選定することである。

## 5 MOS FET モジュール

一般にスイッチングパワー素子の動作周波数を高めることにより、トランジスタ類やフィルタコンデンサを持つ各種装置は、例外なく小形・軽量化が可能である。このなかで MOS FET モジュールは、容易に大電力を制御できることから、バイポーラトランジスタに比較し、高価ながら総合的メリットにより適用が拡大している。

### 5.1 モジュール系列

新系列の2機種を紹介する。

#### (1) 4MI50F-025

$V_{DSS} = 250V$ ,  $I_D = 50A$  単相ブリッジ構成

#### (2) 2MI100F-025

$V_{DSS} = 250V$ ,  $I_D = 100A$  2素子内蔵

これらの内蔵ダイオードは、逆回復時間150nsの高速ダイオードを使用している。

### 5.2 ドライブ回路

スイッチング素子をインバータ回路に適用する際、常に主端子に加わる  $dv/dt$  電圧に配慮する必要がある。MOS FET モジュールは、一般に複数チップを並列接続し、大電流化を達成している。そして各々のチップには、発振防止用のゲート抵抗が直列に接続されているので、モジュール外側のゲート - ソース端子を短絡しても、MOS FET チップは抵抗を介しての接続となってしまう。

ここでモジュールに、ある  $dv/dt$  電圧が加わると、ドレン - ゲート間に  $C_{gd} \times dv/dt$  電流が流れ、 $C_{gs}$  容量と直列ゲート抵抗に分流する。 $C_{gs}$  電位 ( $= V_{GS}$ ) は直列ゲート抵抗値にもよるが、瞬時  $V_{GS(th)}$  以上に高められ、瞬時に MOS FET はオンする。インバータ回路において、直列に接続された MOS FET が交互にオン・オフ動作する場合、オフ側の素子のドレン - ソース間には、他方の素子のターンオンにより、ある  $dv/dt$  電圧が加わる。図10は500V、50A 定格の2MI50S-050を供試し、ゲート駆動回路にゲート - ソー

図9 4MI50F-025外形図

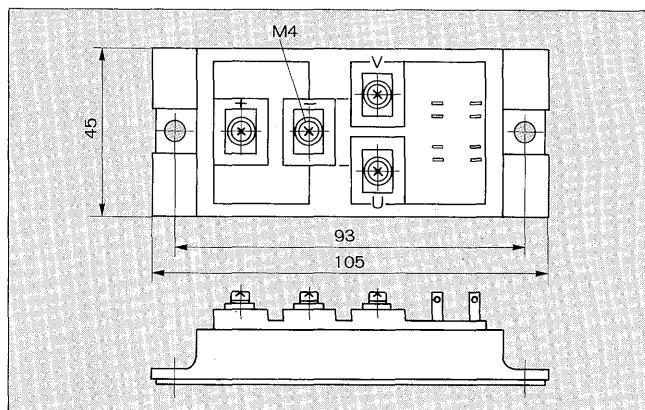
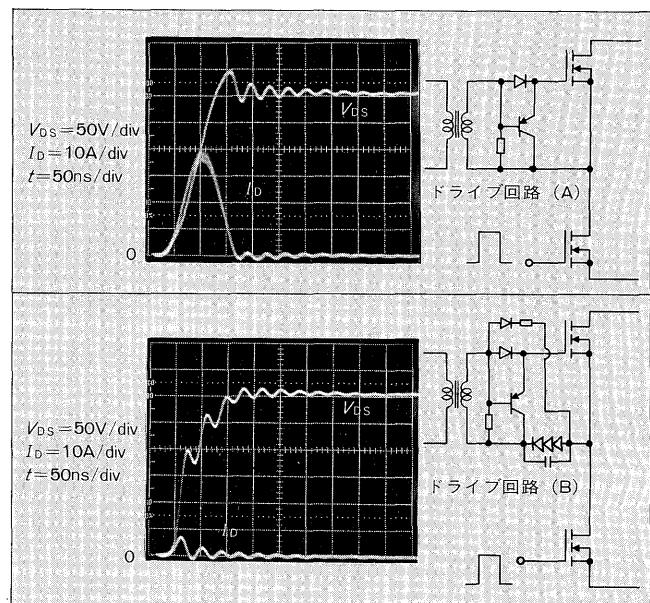


図10  $dv/dt$  電流波形とゲート駆動回路



ス間逆バイアス回路の有無における、上記オフ側素子のドレン - ソース間電圧と電流波形を示す。

高周波動作では、これによる発生損失は無視できないので、MOS FET のゲート - ソース間には2V以上の逆バイアスが必要である。

## 6 あとがき

以上、パワーMOS FET の技術動向、製品系列、応用技術などについて紹介した。更に、富士電機は最新の設計・製造・試験・評価技術を駆使し、ユーザー各位の御期待にこたえるべく、新製品の開発及び製品系列の充実を推進する所存である。



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する商標または登録商標である場合があります。