車載用高機能 MOSFET

梅本　秀利（うめもと　ひでとし）　**山田　昭治**（やまだ　しょうじ）　**鳶坂　浩志**（とびさか　ひろし）

1　まえがき

現在，自動車業界では環境性能，安全性能，快適性の向上をキーワードとする電子システムの増加に伴い，ECU（Electronic Control Unit）の大規模化に年々拍車がかかっており，システムメーカーでは ECU の小型化が切望されている。ECU の小型化を実現するための半導体デバイスとして，パワー半導体とその周辺保護回路，状態検出・状態出力回路，ドライブ回路などを一体化したスマートパワーデバイスが注目され，その適用が着実に伸長している。

富士電機においても，パワー半導体と前述した周辺回路をワンチップ化し，ECU の小型・薄型化，高性能化，高信頼性に応えた半導体製品の開発を行ってきた。その製品群としてハイサイド型，ローサイド型の高機能 MOSFET[(1)]（Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor），イグナイタ駆動用 IPD[(2)]（Intelligent Power Device）などがある（**図1**，**図2**）。これらの共通の特徴は高いサージ耐量（静電気耐量など）と低駆動電圧（3 V）である。**表1**はハイサイド型高機能 MOSFET「F5045P[(3)]」の例である。

これらの中で今回，新たに開発した車載用ローサイド型高機能 MOSFET「F5048」について紹介する。

図1　F5048 パッケージの外観

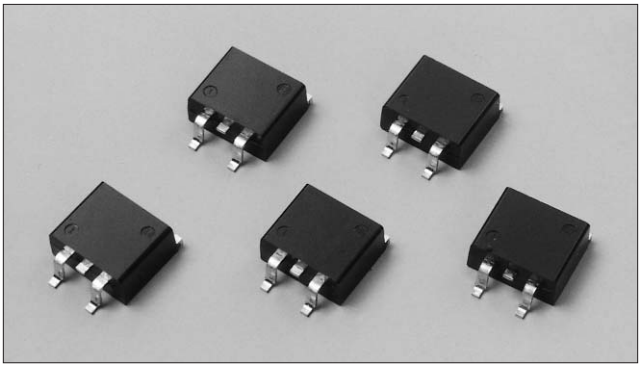


図2　高機能 MOSFET，IPD の製品マップ

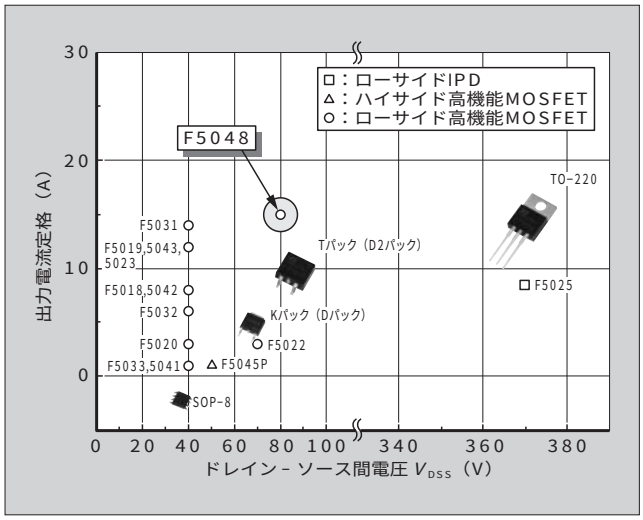


表1　F5045P の最大定格と電気的特性
（特に表記ない限り T_c ＝ 25 ℃）

項　目	記　号	定格	条件	単位
電源電圧	V_{cc}	50	0.25 s	V
出力電流	I_{out}	1	—	A

項　目	記　号	条　件	規格値 最小	規格値 最大	単位
動作電源電圧	V_{cc}	T_c ＝－40～105 ℃	3	33	V
入力電圧	$V_{IN(H)}$	V_{cc} ＝3～5 V, T_c ＝－40～105 ℃	0.7×V_{cc}		V
	$V_{IN(L)}$			0.3×V_{cc}	
	$V_{IN(H)}$	V_{cc} ＞5 V, T_c ＝－40～105 ℃	3.5		V
	$V_{IN(L)}$			1.5	
オン抵抗	$R_{DS(on)}$	V_{cc} ＝14 V, I_{out} ＝0.5 A		0.60	Ω
過電流検出	I_{OC}	V_{cc} ＝14 V	2	—	A
過熱検出	T_{trip}	V_{cc} ＝14 V	150	—	℃

パッケージ：SOP-8

梅本　秀利

インテリジェントパワーデバイスの開発・設計に従事。現在，富士日立パワーセミコンダクタ(株)松本事業所開発設計部。

山田　昭治

インテリジェントパワーデバイスのチップ開発・設計に従事。現在，富士日立パワーセミコンダクタ(株)松本事業所開発設計部。電気学会会員。

鳶坂　浩志

インテリジェントパワーデバイスの開発・設計に従事。現在，富士日立パワーセミコンダクタ(株)松本事業所開発設計部。

2　製品の紹介

2.1　製品の特徴

従来製品，特に高機能 MOSFET 製品群と比較した F 5048 の設計上の特徴は過電流検出の設計思想にある。F 5048 では，従来製品の過電流検出設定値が実使用電流の 2 ～ 3 倍であったのに対し，素子の電流通電能力，負荷短絡時の保護を十分考慮し 10 倍以上の設定値とし，通電開始時に大電流が流れる（例：ラッシュ電流など）ような負荷の制御用として開発している。

なお，本製品は，縦型パワー半導体と横型制御 IC の分離構造として，市場において十分な実績を持つ自己分離構造（**図 3**）を採用し，かつ以下に記す特徴を持っている。

(1)　高い通電能力： 27 A（min.）
(2)　負荷短絡保護機能搭載（過電流，過熱保護）
(3)　誘導性負荷逆起電圧保護機能〔ダイナミッククランプ回路内蔵：クランプ電圧 80 V（min.）〕
(4)　低オン抵抗：125 mΩ（max.）
(5)　ロジックレベル駆動
(6)　SMD（Surface Mounted Device）パッケージ（JEDEC 規格の TO-263 に類似するパッケージ）
(7)　高サージ耐量
〔ESD（Electro Static Discharge）耐量：ドレイン－ソース間±15 kV 以上 at 150 pF，150 Ω〕

2.2　用　途

F5048 は，後述の過電流検出回路設計の最適化により，モータ，ランプなど負荷の通電開始時に瞬間的な大電流を必要とする用途に最適なデバイスである。

また通常，ECU の電源ー GND 間には 27 V あるいは 32 V のパワーツェナーダイオードを併用しているため，パワー素子の耐圧は 40 V で十分である。しかし本製品はパワーツェナーダイオードを使用せず，ロードダンプサージ（80 V，0.25 s）が直接パワー素子に印加される ECU 用に開発されている。

2.3　製品の特性

F5048 の最大定格と電気的特性を**表 2**(a)，(b)に，さらに回路ブロックダイヤグラムを**図 4** に示す。また，主な特性

図 3　自己分離構造の断面図

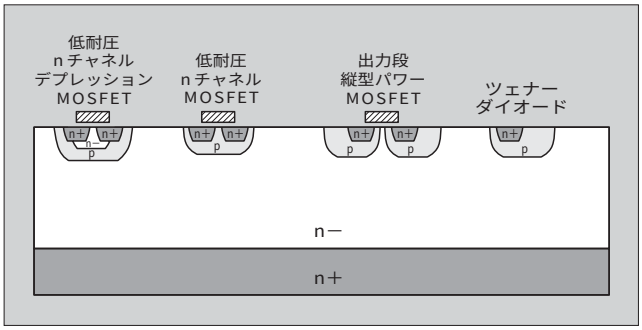


表 2　F5048 の最大定格と電気的特性・サージ耐量

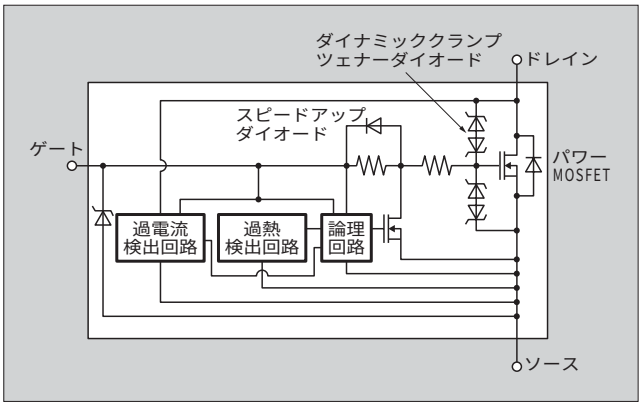
(a) F5048 の最大定格（特に表記ない限り T_c＝25 ℃）

項　目	記号	条　件	定　格	単位
ドレイン－ソース間電圧	V_{DSS}	DC	80	V
ゲート－ソース間電圧	V_{GSS}	DC	−0.3～+7.0	V
ドレイン電流	I_D	DC	15	A
許容電力損失	P_D	—	43	W
接合部温度	T_j	—	150	℃
保存温度	T_{stg}	—	−55～+150	℃

(b) F5048 の電気的特性およびサージ耐量
（特に表記ない限り T_c＝25 ℃）

項　目	記号	条　件		規格値 最小	規格値 最大	単位
ドレイン－ソース間電圧	V_{DSS}	I_D＝1 mA　V_{GS}＝0 V		80	100	V
ゲートしきい値電圧	$V_{GS(th)}$	I_D＝10 mA　V_{DS}＝14 V		1.0	2.8	V
保護機能動作ゲート電圧範囲	$V_{GS(p)}$	――		3.0	7.0	V
ゼロゲート電圧ドレイン電流	I_{DSS}	V_{DS}＝16 V　V_{GS}＝0 V		—	25	μA
ゲート－ソース間電流	$I_{GS(n)}$	V_{GS}＝5 V　通常動作時		—	250	μA
	$I_{GS(un)}$	V_{GS}＝5 V　保護機能動作時		—	350	μA
オン抵抗	$R_{DS(on)}$	I_D＝8 A　V_{GS}＝5 V		—	125	mΩ
ターンオン時間	t_{on}	V_{DS}＝14 V　V_{GS}＝5 V　I_D＝8 A		—	100	μs
ターンオフ時間	t_{off}			—	100	μs
過熱検出保護温度	T_{tip}	V_{DS}＝14 V　V_{GS}＝5 V		150	—	℃
過電流検出	I_{OC}	V_{DS}＝14 V	T_j＝25 ℃	27	—	A
		V_{GS}＝5 V	T_j＝85 ℃	22	—	A
ダイナミッククランプ耐量	E_{CL}	T_j＝150 ℃　I_D＝8 A		100	—	mJ
ESD サージ耐量	—	150 pF，150 Ω ドレイン－ソース間		±15	—	kV
	—	150 pF，1.5 kΩ ゲート－ソース間		±5	—	kV

図 4　F5048 の回路ブロックダイヤグラム



を以下に述べる。

2.3.1　用途に適した通電能力設計

F5048 はランプの点灯やモータの駆動など負荷の通電開始時に瞬間的な大電流を必要とする用途に適する通電能力を確保するため，下記の 2 ポイントを考慮した最適デバイス設計を行っている。

(1)　パワー MOSFET の電流通電能力

適用するアプリケーションの動作条件に適した出力段パワー MOSFET の電流通電能力を確保した。

(2)　ワイヤ溶断電流値（I^2t）

前述の通電能力を確保し，負荷短絡時にボンディングワイヤが溶断破壊しないワイヤ径とした。

2.3.2　最適な保護機能動作

高機能 MOSFET は，負荷が短絡に至った場合，過電流検出と過電流制限，および過熱検出の保護機能を働かせる，二重のフェイルセイフ設計とし，システム，負荷，素子を破壊から守る役割を果たしている。

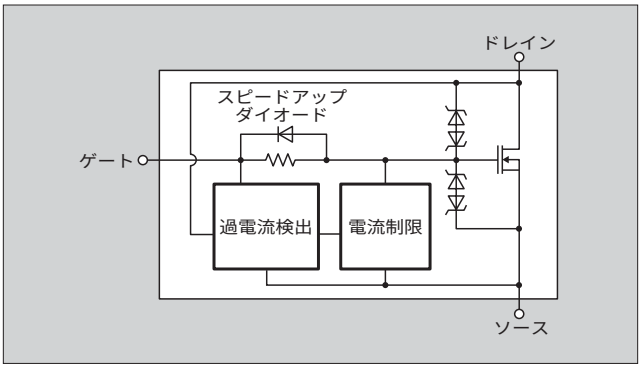
(1)　短絡保護

F5048 の過電流検出回路は，**図 5** に示すようにドレイン－ソース間のオン電圧をモニタする電圧検出方式を採用している。過電流検出方式として，電圧検出タイプは，電流検出タイプに比べ，検出回路が簡素化できるという利点がある。短絡直後にオン電圧が設定した過電流値の電圧まで上昇すると論理回路がこれを識別して動作し，同時に電流制限が働いて素子の破壊を回避している。この過電流検出値は，負荷短絡耐量の電流値より小さく，アプリケーションを満足する電流値を考慮して決定している。これらの特性の通電時間依存性を**図 6** に示す。

(2)　過熱保護

過熱保護は上記の過電流検出，電流制限が動作しさらにオン状態が続いた場合に素子を熱破壊から守る機能である。**図 7** は負荷短絡時に過電流保護から過熱状態に入り，過熱保護によるターンオフ動作と自己復帰によるターンオン動作の繰り返す状態を示している。この過熱検出の回路の応答性を高めるため，過熱検出センサを出力段パワー MOSFET の活性部内に配置することで，同センサを IC 回路部に配置する場合に比べ，10 倍以上の応答性を実現している。

図 5　短絡保護回路（過電流検出と電流制限）



2.3.3　ダイナミッククランプ電圧(VDSS)

前述したように ECU の電源－GND 間には 27 V あるいは 32 V のパワーツェナーダイオードが設置されるため，これまで富士電機製高機能 MOSFET の素子耐圧は 40 V に設定されソレノイドバルブなどの制御に使用されてきた。周知のこのパワーツェナーダイオードの役割は，何らかの理由でバッテリー接続が解除された際に発生する過渡的に高エネルギーのロードダンプサージ（例：80 V，τ= 0.25 s）から ECU 内部を保護することである。しかし，ECU の規模あるいは配置場所によりパワーツェナーダイオードの設置が難しい場合もある。

F5048 はこのような問題に応える素子耐圧を設定（80 V）している。またこの 80 V はチップ上でパワー素子のドレイン－ゲート間に挿入のツェナーダイオードで決定するようにし，通常のオンオフ動作で発生する誘導性成分逆起電力を外付け回路なしで処理できる。本品は 100 mJ 以上の耐量を有するので安心して使用が可能である。

図 6　パワー MOS 部の負荷短絡耐量と電流通電能力および
アルミワイヤ溶断電流値の通電時間依存性

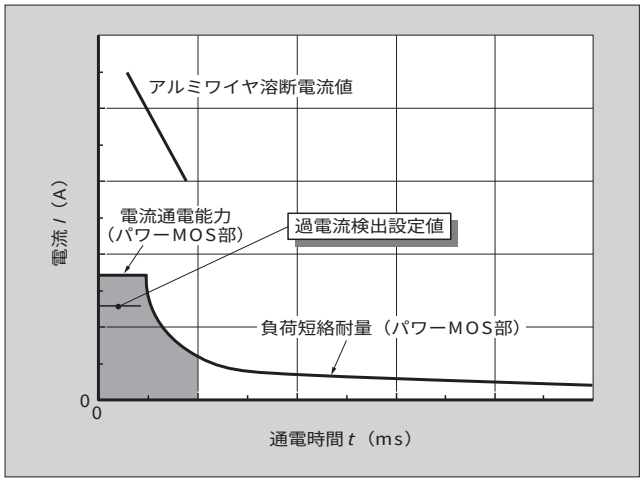


図 7　短絡保護と過熱保護（負荷短絡時）

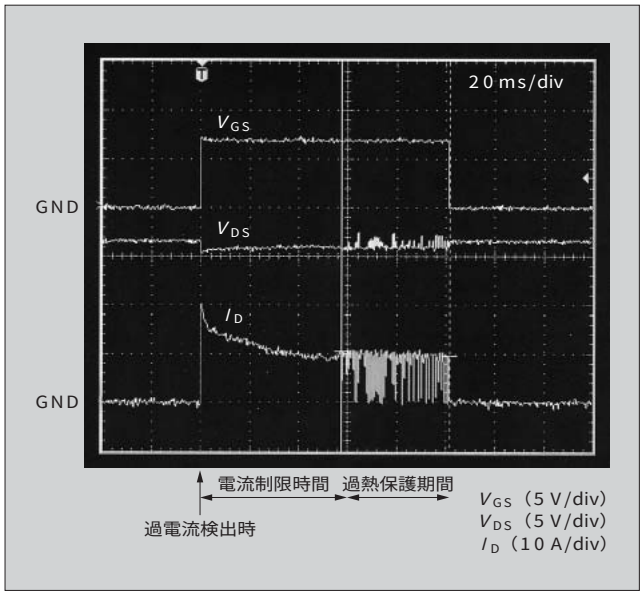
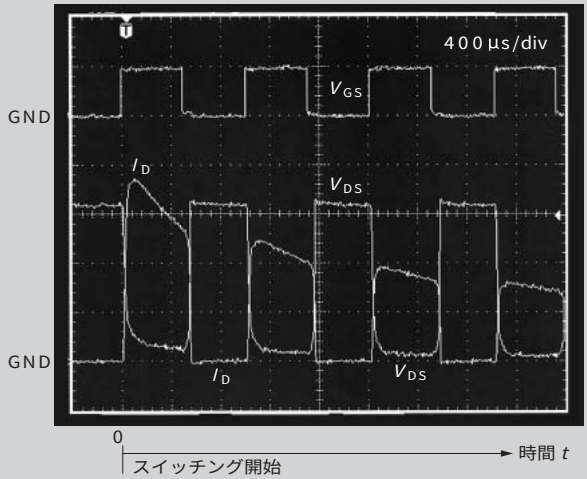


図８　F5048 の代表的なスイッチング波形



ゲート－ソース間電圧 V_{GS}：5 V/div　　ドレイン電流 I_D：5 A/div
ドレイン－ソース間電圧 V_{DS}：5 V/div

試験条件
V_{GS}：5 V，V_{DS}：16 V，パルス周期 T＝1ms，
パルス幅 t_w＝500 μs
ランプ負荷：20 W（負荷温度－40 ℃），ワイヤ長：2 m

ところでこの 80 V 耐圧保証は単に外来サージ電圧に対する対応だけに限定されるものではなく，もちろん 42 V 系バッテリーへの適用を可能としている。

2.3.4　最適なスイッチング時間

自動車に対する要求として，安全性向上に加え高級感と快適性がある。スムーズなモータの始動やランプの調光は PWM（Pulse Width Modulation）制御で実現できる。PWM 制御性能を支配するスイッチング時間であるが，スイッチングノイズの低減に留意した設定とした。F5048 のターンオン時間およびターンオフ時間はともに 60 μs（typ.）であり，1 kHz 程度の高周波動作にも対応可能である。今回の設計では高い電流容量を持つためスピードアップダイオードを内部ゲート抵抗と並列に配置してターンオフ時間を短縮している。**図８**に代表的なスイッチング波形を示す。

2.3.5　高静電破壊耐量

F5048 は従来の高機能 MOSFET の設計手法に基づいて，回路の配線幅やそのパターン，コンタクト抵抗値，回路のレイアウトなどの最適化を行っている。ドレイン－ソース間の静電破壊耐量は条件 150 pF，150 Ω において±15 kV を保証している。

表３　F5048 の信頼性試験結果

試験内容	試験時間（h）				
	サンプル	0	100	200	300
飽和蒸気加圧試験 温度：121℃ 圧力：2.0×10^5 Pa 湿度：100％RH	従来品	0/22	0/22	0/22	3/22
	F5048	0/22	0/22	0/22	0/22

試験内容	試験サイクル数（サイクル）				
	サンプル	0	500	1,000	2,000
熱衝撃試験（液体） 温度：－55～＋150℃ 各５分	従来品	0/22	0/22	0/22	2/22
	F5048	0/22	0/22	0/22	0/22

2.3.6　高い耐環境性能

F5048 ではさらに表面実装パッケージ製品の耐環境性能の向上を図る目的から，組立条件と部材の選定について最適化を行っている。具体的には，①はんだ付け条件の最適化，②低応力・低吸湿の高密着性樹脂適用などの検討を進め，**表３**の信頼性試験結果（飽和蒸気加圧試験，熱衝撃試験）に示すように，表面実装パッケージとしてより高い信頼性能を得ている。

3　あとがき

車載用高機能 MOSFET の新製品として F5048 の製品概要について紹介した。この製品は従来の製品群と同様に車両の安全性・高信頼性化に寄与するものと考えている。今後とも市場からの要望を大切にしながら，多くの用途に対応できるインテリジェントパワー製品の開発を推進していく所存である。

参考文献

(1)　木内伸ほか．インテリジェントパワー MOSFET．富士時報．vol.70，no.4，1997，p.222–226.
(2)　竹内茂行ほか．自動車イグナイタ用 IPS．富士時報．vol.72，no.3，1999，p.164–167.
(3)　鳶坂浩志ほか．ハイサイド高機能 MOSFET．富士時報．vol.74，no.2，2001，p.118–121.

e-Front runners

＊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。