

自動車用大電流 IPS

High Current IPS for Vehicle

岩水 守生 IWAMIZU, Morio

竹内 茂行 TAKEUCHI, Shigeyuki

西村 武義 NISHIMURA, Takeyoshi

富士電機は、自動車用高出力モータの制御などに使用する大電流 IPS (Intelligent Power Switch) を開発した。トレンチ構造を用いたパワー MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) と制御部 IC とをチップオンチップ構造とすることで、小型パッケージで低オン抵抗 (最大 5mΩ) を実現している。高い信頼性を実現するために、過電流・過熱検出、低電圧検出などの保護機能を搭載した。また、放熱性の良いパッケージを採用し、並列接続時のエネルギー分担バランスの良い構成とすることで、低オン抵抗化による電流量の増加から生じる温度上昇に対処している。

Fuji Electric has developed a high current intelligent power switch (IPS) for controlling high output motors of vehicles. The power MOSFET using a trench structure and the control IC are built into a chip-on-chip structure, thereby realizing low on-state resistance (maximum of 5mΩ) with a compact package. To achieve high reliability, protective functions such as overcurrent/overheat detection and low voltage detection have been provided. In addition, a package with good heat dissipation properties has been adopted, and a configuration that offers well-balanced energy distribution in parallel connections is provided. This package can thereby cope with temperature rises caused by an increased current due to a low on-state resistance.

1 まえがき

自動車の電装分野では“環境”“安全”“省エネルギー”をキーワードとして、排ガスの低減、安全な車両制御、高度な燃焼技術による燃費の向上を図っている。これに伴い電子システムが複雑化し、ECU (Electronic Control Unit) の大規模化が進んでいる。ECU は搭載するスペースを捻出するためにエンジンの近くなどに設置され、その設置環境は年々高温化している。そのため、ECU の小型化や高温環境での信頼性の向上が切望され、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の適用が拡大している。

これらの要求に応えるため、富士電機では自動車用大電流 IPS (Intelligent Power Switch) を開発した。

2 特徴と機能

2.1 特徴

図 1 に自動車用大電流 IPS の外形図を示す。本製品は、特にモータなどの誘導性負荷の制御や機械式リレーの半導体化用途で使用されることを意識した設計としている。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 低オン抵抗
- (2) 高放熱小型パッケージ
- (3) 各種保護機能

バッテリー逆接続時の温度上昇の抑制などを行う。

- (4) 高誘導性負荷エネルギー耐量

モータロック時の破壊防止および並列接続時のエネルギー分担が可能である。

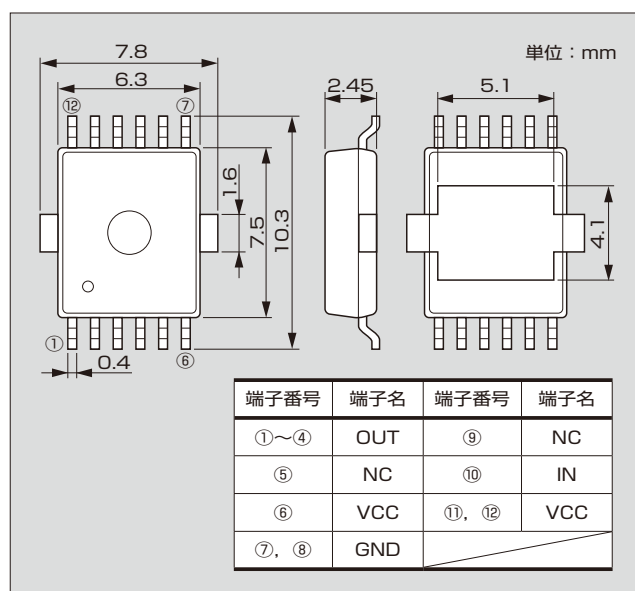


図 1 自動車用大電流 IPS の外形図

2.2 基本性能

開発目標のオン抵抗 5mΩ ($T_c=25^\circ\text{C}$, $I_{out}=40\text{A}$) および小型パッケージ (図 1) を実現するために、自動車電装向けデバイスで実績のある第 3 世代トレンチゲート MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) 技術を用い、低 $R_{on}\cdot A$ のパワー MOSFET チップを開発した。また、回路部には第 4 世代 IPS デバイス・プロセス技術を適用し、2.3 節で述べる保護機能を追加した上で回路部のチップサイズを小型化した。これらのチップを COC (Chip on Chip) 組立技術 (図 2) により、パワー MOSFET チップ上に回路部チップを積層させることで、小型パッケージで大電流の通電が可能となっ

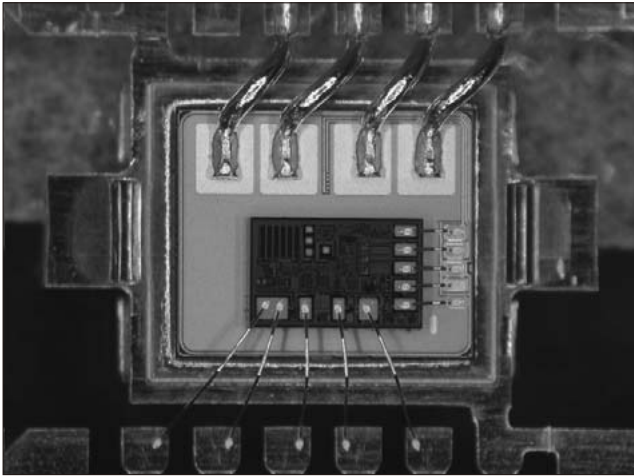


図2 自動車用大電流 IPS のチップ

表1 自動車用大電流 IPS の仕様

項目		定格			
定格	動作電源電圧	6.0~16.0V			
	出力電流	80A			
	許容電力損失	114W (at 25℃)			
	接合部温度	150℃			
項目		条件	規格		
特性	静止電源電流	$I_{cc(off)}$	$V_{cc}=16V$, OUT-GND 短絡, 110℃	50μA (max.)	
	オン抵抗	R_{on}	25℃, 40A, 16V	5.0mΩ (max.)	
			150℃, 40A, 16V	9.0mΩ (max.)	
			25℃, 40A, 6V	7.5mΩ (max.)	
			150℃, 40A, 6V	14.5mΩ (max.)	
	スイッチング時間		$V_{cc}=16V$, $R=0.25\Omega$	$t_{d(on)}$	0.2ms (max.)
				t_r	0.8ms (max.)
				$t_{d(off)}$	0.8ms (max.)
				t_f	0.7ms (max.)
	定常熱抵抗	$R_{th(j-c)}$	-	1.1℃/W	
保護機能	誘導性 負荷クランプ耐量		$I_{out} \leq 80A$, $V_{cc}=16V$, $T_c=150℃$	800mJ (min.)	
	過電流検出機能 (負荷短絡保護)		$V_{cc}=16V$, 負荷ショート	100A (min.)	
	過熱検出機能		検出 155℃ (min.), 復帰 150℃ (min.)		
	低電圧検出機能		検出 4.0V (min.), 復帰 6.0V (max.)		
項目		条件	結果		
信頼性	温度サイクル試験	-55~+150℃	>1,000cycle		
	ブレッシュクッカ試験	130℃, 85%	>300時間		
	高温高湿バイアス試験	85℃, 85%, 16V	>1,000時間		
	パワーサイクル試験	$\Delta T_j=100℃$	>20,000cycle		

(1) 本製品の仕様を表1に、基板実装時の熱抵抗 R_{th} 特性の例を図3に示す。

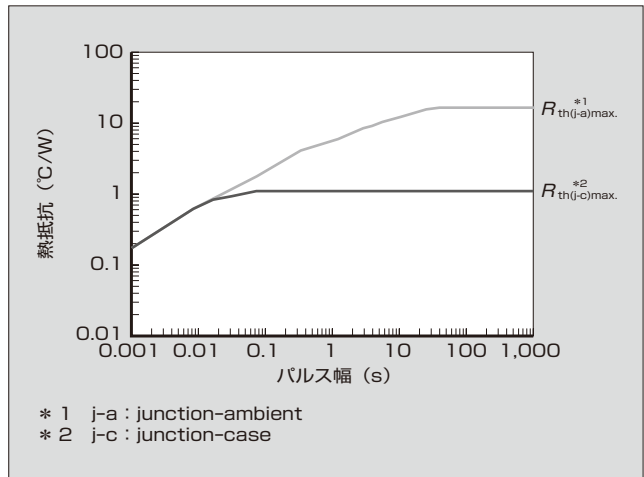


図3 基板実装時の熱抵抗特性の例

2.3 保護機能

本製品は、モータなどの誘導性負荷の制御と機械式リレーの半導体化用途に適した仕様とした。高い信頼性の実現および ECU 側での冗長設計を最小限にするために、次に示す保護機能を搭載している。

(1) 負荷短絡保護機能 (過電流検出, 過熱検出機能)

本製品は、負荷短絡状態を検出する電流センサと温度センサをパワー MOSFET チップ上に搭載することにより、パワー MOSFET の昇温に対する高い応答性と、負荷短絡の状態でもパワー MOSFET の破壊を防止する設計とした。負荷短絡保護は過電流と過熱の二重保護とし、過電流には制限タイプとラッチタイプの2種類を用意して、アプリケーションに合った選択が可能である。

(2) 低電圧検出機能

本製品は、VCC 端子がバッテリーに直接接続されることを考慮している。厳冬期にバッテリー電圧が一定の値まで低下しても十分な通電能力を確保できるようにしている。また、その値より低下した場合は、出力を完全にオフする低電圧検出機能を搭載している。

(3) バッテリー逆接続保護機能

負荷インピーダンスが低い場合にバッテリーの逆接続を行うと、負荷経由でパワー MOSFET のボディダイオードに大電流が流れる。このときに発生する熱で温度が上昇し、端子のはんだが融解する危険性がある (図4)。

本製品では、バッテリーの逆接続を行ったときにパワー MOSFET を積極的にオンさせるバッテリー逆接続保護回路を採用した。パワー MOSFET に通電すると、ボディダイオードに電流が流れる場合よりも圧倒的に損失が低いので、バッテリーの逆接続時に生じる発生損失によるパワー MOSFET の破壊を防止する。

(4) 誘導性負荷クランプ耐量

モータなどの誘導性負荷を駆動するパワー MOSFET の課題として、モータロックによる大電流遮断時に発生する過大な誘導性負荷エネルギーの処理がある。このためには、モータロック時に高い誘導性負荷エネルギーが加わる場合

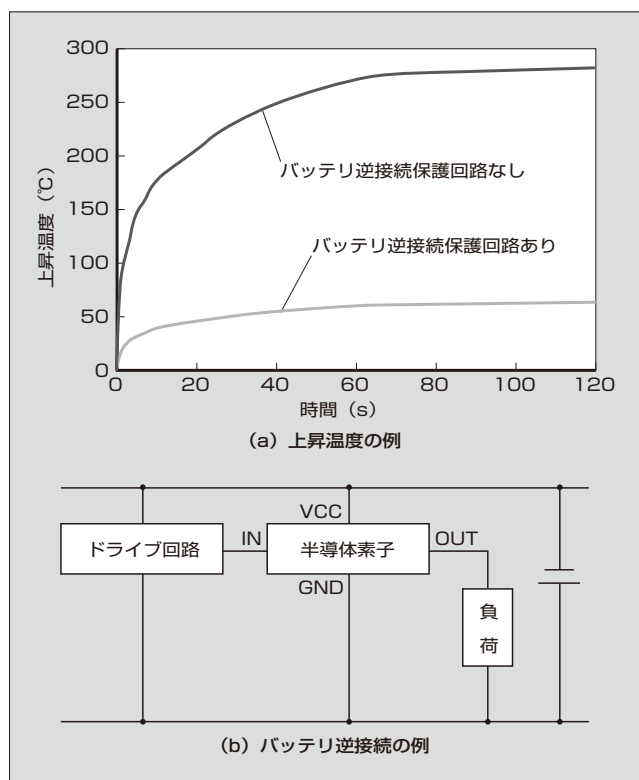


図4 バッテリ逆接続時の回路と温度変化の例

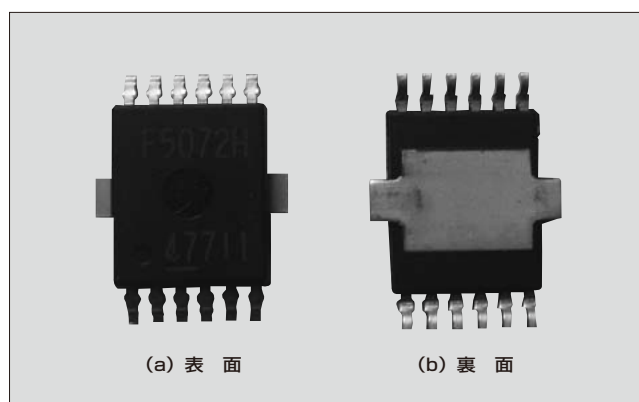


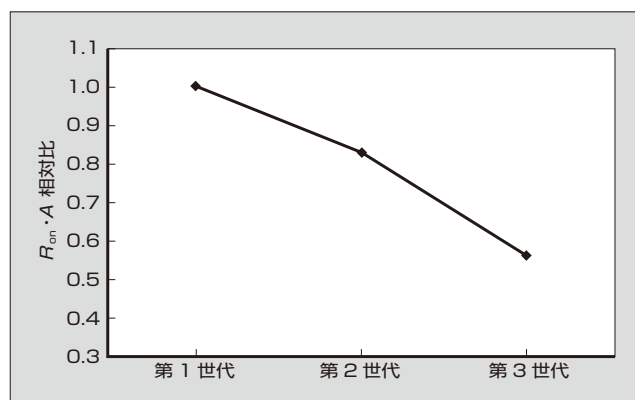
図5 パワーパッケージ (PSOP-12) の構造

でも、素子が破壊しない設計が必要である。

本製品では、1素子単独の誘導性負荷クランプ耐量を高めるのと同時に、並列接続で誘導性負荷を駆動させた際の冗長設計として、誘導性負荷エネルギーを並列接続の素子全てで分担し、破壊耐量が向上する設計とした。

2.4 パワーパッケージ

本製品では、低オン抵抗化による電流量増加に対し、放熱性の良いパワーパッケージ (PSOP-12) を採用している。また、COC組立技術により、大電流を通電するパワーMOSFETをチップ搭載エリアの中央に配置し、放熱バランスの良い構造としている。さらに、実装時に裏面の放熱部にはんだが確実に広がったことを表面から確認できるように、両側からフレームを出す構造とした (図5)。

図6 世代別トレンチ MOSFET の $R_{on} \cdot A$

3 適用技術

3.1 第3世代トレンチゲート MOSFET 技術

開発目標のオン抵抗 $5 \text{ m}\Omega$ ($T_c=25^\circ\text{C}$, $I_{out}=40 \text{ A}$) を実現するために、パワー MOSFET には、第3世代トレンチゲート MOSFET 技術を適用している。本技術の微細加工技術を取り入れることでセル密度を40%以上向上させ、さらにプロセスとウェーハの仕様を最適化することでオン抵抗の大幅な低減と大電流化を図った (図6)。また、薄膜化したトレンチゲートの信頼性を確保するため、形状やプロセス、スクリーニング条件を最適化している。

3.2 IC回路の小型化・高機能化技術

本製品では、IC回路の小型化と高機能化を実現するために、第4世代IPSデバイス・プロセス技術⁽²⁾⁽³⁾を適用している。本技術は、要素デバイス自体の微細化に加え、多層配線技術を適用して要素デバイス間を接続する配線の面積を低減している。

IC回路用デバイスとしては、回路用5V系CMOSに加えて、60V系CMOSを備えている。60V系のデバイスは、ハイサイド型でチップ裏面が電源端子に直結しているため、自動車用12V系バッテリーで発生し得るロードダンプサージなどの各種サージ耐性の要求を満たすことができる。

また、ゲート酸化膜としては、薄膜と厚膜の2種類を用意した。薄いゲート酸化膜のMOSFETはしきい値電圧が低いので、バッテリー電圧の低下時に駆動が要求される回路に使用できる。一方、厚いゲート酸化膜のMOSFETではしきい値電圧は高くなるが、ゲート耐圧を高くすることができるので、例えば外部電源電圧 V_{CC} で直接駆動するような、高電圧でのゲート駆動が必要な回路にも使用することができる。

さらに、寄生動作の心配がないポリシリコン適用デバイスや、トリミングデバイスも備えている。

これらの要素デバイスの組合せにより、従来品よりも高集積化や高精度化が可能であり、市場要求に応えることができる。

4 あとがき

本稿では、自動車用大電流 IPS の特徴や機能、適用した技術について述べた。富士電機は、2014 年度中に自動車用大電流 IPS の市場への供給を開始する。今後も大電流用途の半導体では、パワー MOSFET によるさらなる低オン抵抗化、および IC 回路の微細化により、小型化と高機能化を推進し、市場ニーズに対応していく所存である。

参考文献

- (1) Imai, M. et al. "Development of Power Chip-On-Chip (COC) Package Technology". Mate 2008. p.323-326.
- (2) Toyoda, Y. et al. "60 V-Class Power IC Technology for an Intelligent Power Switch with an Integrated Trench MOSFET" ISPSD 2013. p.147-150.
- (3) 鷹坂浩志ほか. 車載用第4世代IPS「F5100シリーズ」. 富士電機技報. 2012, vol.85, no.6, p.440-444.



岩水 守生

半導体デバイスの開発に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部事業統括部自動車電装技術部。



竹内 茂行

半導体デバイスの開発に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部事業統括部自動車電装技術部。



西村 武義

パワー半導体素子の開発・製造に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部開発統括部デバイス開発部。





*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。