

自動車用トレンチ MOSFET

有田 康彦 (ありた やすひこ)

中村 賢平 (なかむら けんぺい)

西村 武義 (にしむら たけよし)

特集

1 まえがき

近年の原油価格高騰に伴い、自動車の低燃費化はますます重要になっている。また、CO₂削減などの環境意識の高まりから、環境負荷低減を目的とした機構部品の電子化に伴い、自動車電装分野へのパワー MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) の適用が増加している。

例えば、低燃費化を図るために、油圧制御であったパワーステアリング装置がより軽量の電動パワーステアリング (EPS) へと急速に置き換わっている。小型車から適用が始まった EPS は、近年では中型から大型自動車まで適用車種が増加しつつあり、EPS 搭載車の生産台数は年 8% 程度の堅調な増加が予想されている。また、低燃費ならびに環境負荷低減目的で商品化されてきたハイブリッド車 (HEV) の生産台数は、近年の原油価格高騰にも後押しされ、年 25% 程度の伸びが見込まれるようになった。

これらの用途に使用されるスイッチングデバイスである

パワー MOSFET の需要は今後ますます増大し、さらなる性能向上が求められている。

富士電機では、これら自動車の機構部品の電子化や、電子システムの高効率化などの要求に対応するため、各種のパワー MOSFET の開発および製品化を実施している。ここでは、富士電機の自動車電装用パワー MOSFET の中でも、主に EPS 用途ならびに HEV 車の DC-DC コンバータ部に使用されているトレンチ MOSFET について、その系列、特徴および今後の開発動向について紹介する。

2 富士電機のトレンチ MOSFET

表 1 に富士電機の自動車電装用途のトレンチ MOSFET の定格と適用分野を示す。また、そのパッケージの外観を図 1 に示す。現在富士電機では、EPS 用 MOSFET として 40 V、60 V 耐圧品を系列化し、42 V 電源 (36 V バッテリー) 用として 75 V 耐圧品を系列化している。

表 1 富士電機の自動車電装用トレンチ MOSFET の定格と適用分野

トレンチ世代	型 式	電気的特性					パッケージ	用 途	備 考
		V _{ds}	I _d	V _{gs}	R _{ds (on)}	V _{gs (th)}			
FT-I	2SK3270-01	60V	80A	+30V/-20V	6.5mΩ	3±0.5V	TO-220	EPS	
	2SK3271-01	60V	100A	+30V/-20V	6.5mΩ	3±0.5V	TO-3P	EPS	
	2SK3272-01L, S, SJ	60V	80A	+30V/-20V	6.5mΩ	3±0.5V	D2-PACK	EPS	
	2SK3273-01MR	60V	70A	+30V/-20V	6.5mΩ	3±0.5V	TO-220F	EPS	
	2SK3804-01S	75V	70A	+20V/-20V	8.5mΩ	3±0.5V	D2-PACK	EPS, アクティブスタビライザ	
	2SK3730-01MR	75V	70A	+20V/-20V	7.9mΩ	3±0.5V	TO-220F	EPS	
FT-II	2SK4068-32	40 (V)	70 (A)	+30V/-20V	6.0mΩ	3±1.0V	TO-247	EPS	
	2SK4047-01S	60 (V)	70 (A)	+30V/-20V	6.5mΩ	3±0.5V	D2-PACK	EPS, アクティブスタビライザ	
FT-III	F15□□	40 (V)	70 (A)	+30V/-20V	5.2mΩ	3±0.5V	TO-247	EPS	開発中
	F15□□	60 (V)	80 (A)	+30V/-20V	3.0mΩ	3±0.5V	D2-PACK	EPS	開発中
	F15□□	100 (V)	40 (A)	+30V/-20V	18.0mΩ	3±1.0V	TFP	DC-DCコンバータ, HID	開発中



有田 康彦

パワー MOSFET の開発・設計に従事。現在、富士電機デバイステクノロジー株式会社半導体開発営業本部開発統括部ディスクリート・IC 開発部。



中村 賢平

車載用複合デバイス、パワー MOSFET の開発・設計に従事。現在、富士電機デバイステクノロジー株式会社半導体開発営業本部開発統括部ディスクリート・IC 開発部。



西村 武義

パワー半導体素子の開発・設計に従事。現在、富士電機デバイステクノロジー株式会社開発統括部デバイス技術部。

③ 自動車電装用トレンチ MOSFET の特徴

EPS 用電子制御装置は高温雰囲気下で長期間確実に動作することが要求されるため、高信頼性ならびに低損失性が重要である。富士電機では従来から、トレンチ構造を採用した低オン抵抗 MOSFET を EPS 用に系列化しているが、近年ではさらなる低損失化を目的として低オン抵抗化が要求されている。

富士電機ではこの低オン抵抗化の要求に対応するために、トレンチ構造の新規設計を行い、単位面積あたりのオン抵抗を従来のトレンチ MOSFET 「FT-II」 に比べてさらに低減させた新型トレンチ MOSFET 「FT-III」 を開発している。以下にその特徴について紹介する。

(1) トレンチ構造の設計ルール微細化による低オン抵抗化

図 2 に FT-II のチップ構造と FT-III のチップ構造の断面比較を示す。トレンチチップ構造は、ゲート部分に精度のよいエッチングで凹部構造を形成して、チャンネル抵抗成分と JFET (Junction FET) 効果の抵抗成分を大幅に低減することが可能となる。富士電機では、トレンチ部に高品質なゲート酸化膜を形成することで、高いゲート保証電圧 V_{GS} (+30/-20 V) とゲート信頼性を持った低オン抵抗トレンチ MOSFET を製品化している。

今回、トレンチ構造の設計ルールを従来より微細化して

図 1 パッケージ系列の外観

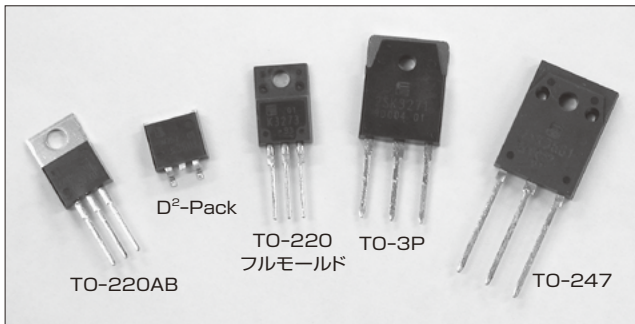
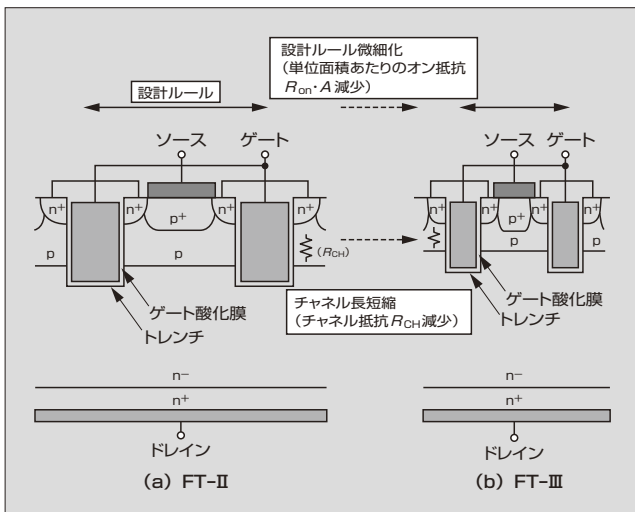


図 2 FT-II と FT-III の断面比較



単位面積あたりのチャンネルの数を増加させた。さらにチャンネル長を最適化してチャンネル抵抗成分をさらに低減することにより、FT-II に比べて単位面積あたりのオン抵抗を 20% 低減した FT-III を実現した。

また、MOSFET はオン抵抗とスイッチングスピードがトレードオフの関係にある。今回製品化している新型トレンチ MOSFET では、オン抵抗 R_{on} とスイッチング時間の指標となるゲートチャージ Q_{gd} との積である性能指数 $R_{on} \cdot Q_{gd}$ を FT-II に比べて約 10% 低減している。図 3 に従来トレンチ MOSFET の FT-I, FT-II および FT-III のチップについて、FT-I の $R_{on} \cdot Q_{gd}$ を 1 とした場合の相対比較結果を示す。

図 4 に 60 V 耐圧の FT-I, FT-II および FT-III のチップについて、同一パッケージ品でモータを駆動した場合の損失シミュレーション例を示す。FT-III のチップは、FT-II のチップに比べてトータル損失で約 25% 低減している。

(2) ゲートしきい値電圧に対する設計

EPS に使用される MOSFET では低オン抵抗特性が重視されているため、オン抵抗特性とトレードオフの関係にあるゲートしきい値電圧 $V_{gs(th)}$ が 1 ~ 2 V 程度の MOSFET が一般的である。しかし、ゲートしきい値電圧が小さいと電磁ノイズなどによる誤動作が起きやすいという問題がある。

富士電機の EPS 用トレンチ MOSFET は、ゲート信頼性を考慮してゲート酸化膜厚およびチャンネル濃度を調整することで、代表的なゲートしきい値電圧を 3 V と最適化し、ノイズ誤動作防止を考慮して設計している。

図 3 $R_{on} \cdot Q_{gd}$ の相対比較

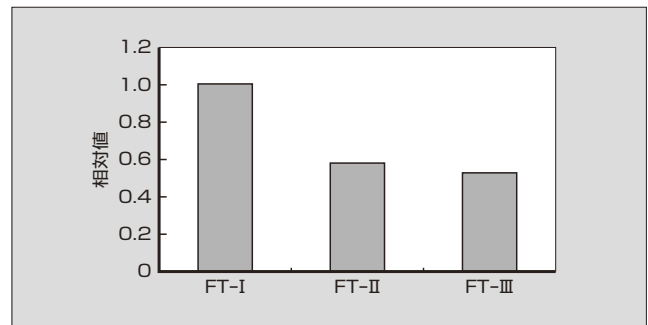


図 4 損失シミュレーション

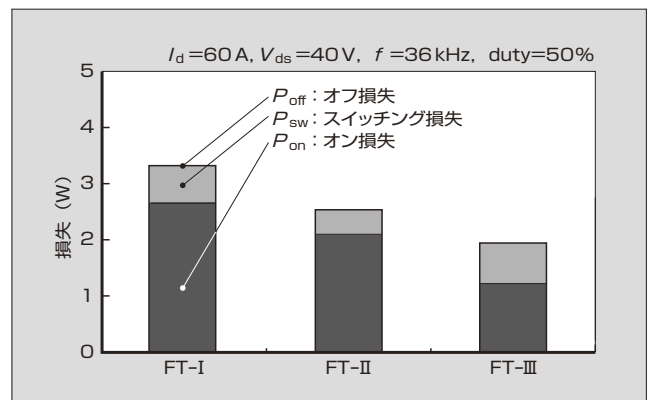


図5 EPSシステムの等価回路

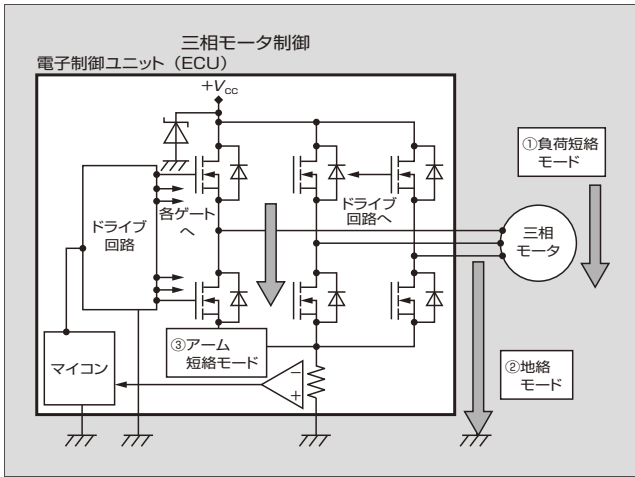
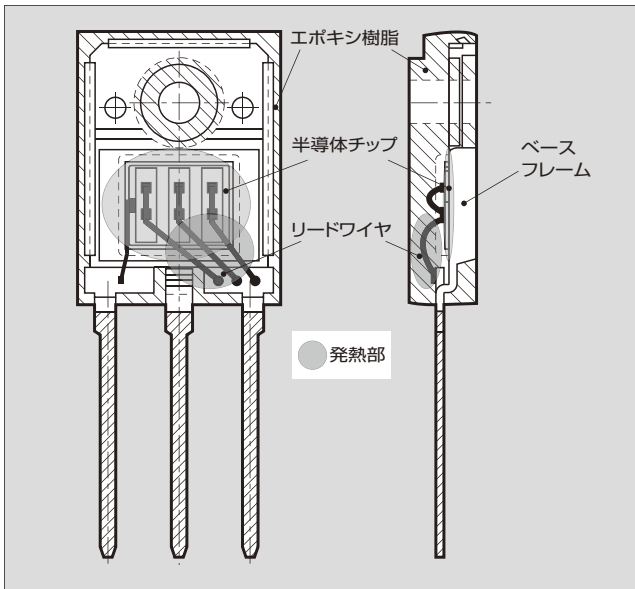


図6 パワー MOSFET の内部構造



(3) 大電流耐量かつ高信頼性

EPS用のシステムにおいては、図5に示すような①

モータの負荷短絡モード、②モータと電子制御ユニット (ECU) を接続する配線の地絡モード、③ Hブリッジまたは三相ブリッジを構成する上下間デバイスのアーム短絡モードなど、瞬時的な大電流責務にも耐えうる信頼性が必要である。

図6に、富士電機のMOSFET製品の内部構造を示す。EPSの最大トルク時(モータ電流30~65A程度)には、大電流によるチップの発熱に加えて、外部端子に接続するリードワイヤ部でも大きな発熱がある。富士電機ではこれらの課題に対し、①内部接続ワイヤの大口径化および②内部接続ワイヤの複数本化という対策を行っている。

以上の特徴を持った富士電機トレンチMOSFETは、EPS以外にも幅広い自動車電装用途への採用が進んでいる。

4 あとがき

富士電機では今まで、今回紹介したような各種自動車電装用トレンチMOSFETを開発し、製品化してきた。現在、さらなる低オン抵抗化および小型化の要求に応えるため、トレンチ構造および結晶の最適化による次世代トレンチ技術の開発に注力している。今後も自動車電装分野における機構部品電子化および電装部品低損失化へのさらなるニーズに応えるため、絶え間ない製品開発と提案を行い、自動車電装分野のますますの発展に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) Onozawa, Y. et al. Development of the next generation 1,200 V trench-gate FS-IGBT featuring lower EMI noise and lower switching loss. Proc. of ISPSD'07.
- (2) 堀内康司ほか. 自動車用パワー MOSFET. 富士時報. vol.76, no.10, 2003, p.601-605.
- (3) 有田康彦, 西村武義. 自動車電装用パワー MOSFET. 富士時報. vol.79, no.5, 2006, p.378-381.



*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。