

車載用電子制御ユニットの高性能化と小型化に貢献する 新世代LV-MOS

New-Generation Low-Voltage MOSFETs Contributing to High-Performance and Compact ECUs for Automotive Use

大蔵 厳太郎

■ OKURA Gentaro

最近の自動車には、年々強化される燃費や排ガスなどの法規制をクリアするために開発された、様々な電子制御ユニット (ECU) が多数搭載されている。これら ECU の性能アップを実現するためには、LV-MOS (低耐圧パワー MOSFET (金属酸化膜半導体型電界効果トランジスタ)) など、使用される車載用パワー半導体の性能向上が不可欠である。

東芝は、これらの市場要求に応えるため、低損失かつ低容量特性を実現した車載用 LV-MOS チップ (Nチャネル及びPチャネル) を開発した。また ECU の小型化に貢献する、三つの面実装パッケージシリーズとペアチップを直接回路基板上に実装できる KGD (Known Good Die) を開発した。

Automobiles are equipped with electronic control units (ECUs) of various types, which have been developed so as to comply with laws and regulations related to fuel consumption and emissions that are becoming increasingly strict year by year. In order to realize high-performance ECUs, it is essential to improve the performance of automotive power semiconductors such as low-voltage metal-oxide-semiconductor field-effect transistors (LV-MOSFETs).

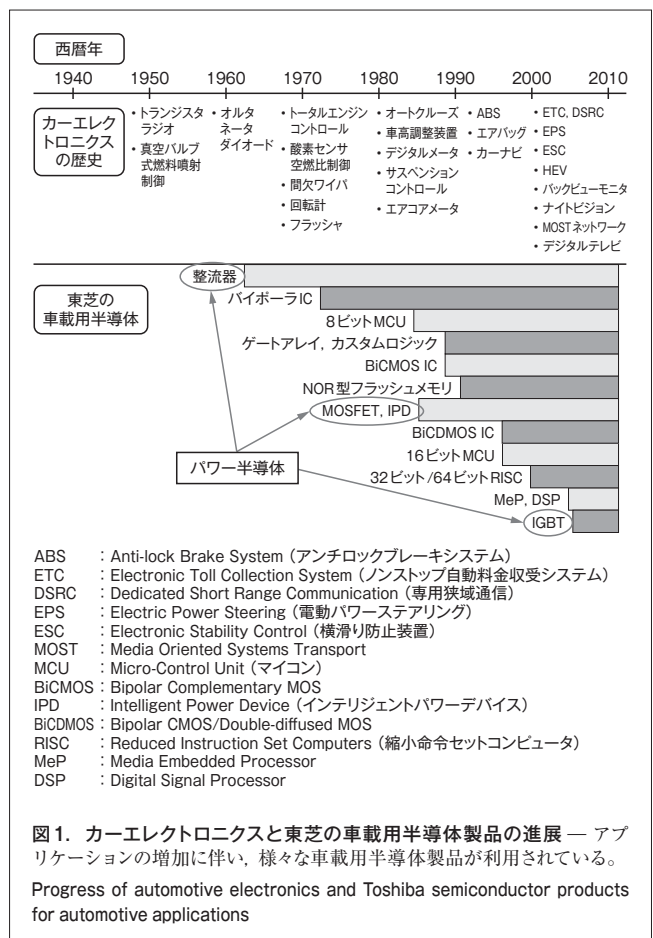
To meet the demands of the automotive electronics market, Toshiba has developed p-channel and n-channel LV-MOSFET chips with low loss and low capacitance characteristics, as well as three types of surface mount packages and a known good die (KGD) that can be mounted directly on a circuit board to contribute to the miniaturization of ECUs.

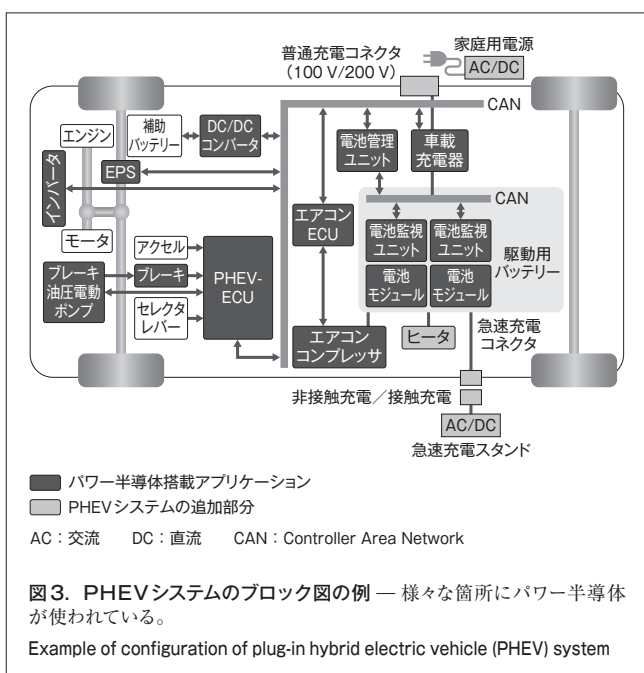
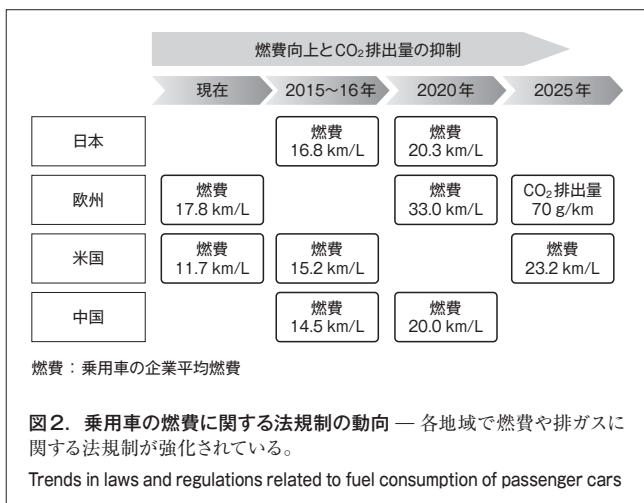
1 まえがき

歴史をひも解くと、内燃機関を動力とした機械部品の組合せであった自動車が、電子制御化 (カーエレクトロニクス) の産声をあげたのは 1950 年代である。その後、様々な自動車の技術革新に半導体デバイス群は深く関わってきた。東芝は、**図 1** に示すとおり、車載用にダイオードやバイポーラトランジスタ、パワー MOSFET (以下、パワー MOS と略記)、IGBT (絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ) などのパワー半導体を開発してきた。

カーエレクトロニクスが今日まで進化してきた背景には、自動車本来の性能である、“走る”、“止まる”、“曲がる”の基本特性を向上させるだけでなく、社会的影響度を考慮した全国各地の法規制 (**図 2**) への対応による部分も大きいことがうかがえる。

近年強化されている燃費規制をクリアする一つの形として、各自動車メーカーは環境対応車の開発を進め、その車種も増え続けている。環境対応車は、1990 年代後半に HEV (ハイブリッド電気自動車)⁽¹⁾、2000 年後半に EV (電気自動車)⁽¹⁾、2012 年に PHEV (プラグイン HEV: **図 3**)⁽¹⁾ が市場に登場し、更に 2014 年には FCV (燃料電池車) の市場投入が発表されている。一方、市場環境も、ガソリン価格の高騰や地球温暖化などによりユーザーの環境対応車志向を後押ししているため、着実に販売台数を伸ばしている。最新の販売台数予測で





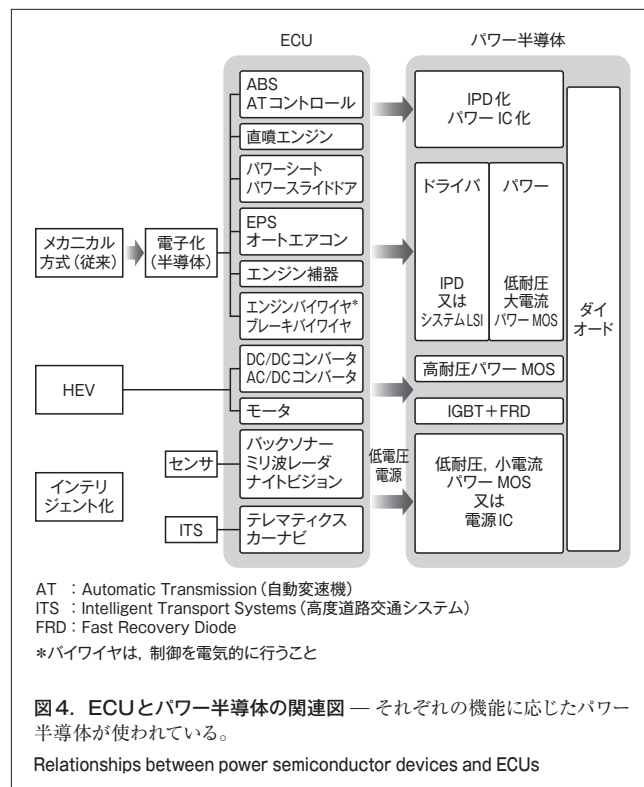
は、環境対応車は2020年には1,000万台/年を超えるとされている。

これらの環境対応車は、走行用モータを駆動するインバータ及び昇圧用のIGBTや、アイドリングストップ時にエンジン及び他のECU部を補佐する電動モータドライブ用のパワーMOSなどを多数使用している。

ECUの性能向上は、車載用パワー半導体の技術革新と密接な関係にあり、自動車の重要な指標である燃費や電費に大きな影響を与えている。

2 自動車アプリケーションの動向

自動車アプリケーションは、環境への配慮 (CO₂ (二酸化炭素) 排出量削減)、資源エネルギーへの対応 (燃費向上)、予防安



全 (交通事故防止) 技術の向上、及び快適性の向上を軸に開発が進んでおり、これらを実現するために、より高度な制御が可能なECUの搭載が増加している (図4)。そして、この動向に合わせて車載用パワー半導体では、高性能 (低損失) 化やECUの小型化に対応した製品の開発が進められている。

車載用LV-MOSは、主に次の二つのアプリケーションに使用されている。

- (1) モータ制御 車載用モータは、その用途とパワーに応じてブラシ付きモータとブラシレスモータが使い分けられている。これらのモータには、LV-MOSシリーズのNチャネルタイプで $V_{DSS} = 40 \sim 80 \text{ V}$ の製品が使用される。ここで、 V_{DSS} はドレインソース間電圧の最大定格を表している。また、駆動方式によってはハイサイド側にPチャネルタイプのパワーMOSが使われる場合もある。
- (2) 電子スイッチ 従来、メカニカルリレーを使用してオン/オフ制御していたスイッチングアプリケーションには、車載用LV-MOSシリーズのNチャネルタイプで $V_{DSS} = 40 \sim 250 \text{ V}$ の製品が使用される。またモータ用途と同様に、駆動方式によってはハイサイド側にPチャネルタイプのパワーMOSが使われる場合もある。更に、パワーMOSに保護機能を付け加えたIPD (インテリジェントパワーデバイス) を使う場合もある。

いずれの用途にも、低損失、容量特性の最適化、及び小型パッケージ化の要求があり、当社はアプリケーションの動向に対応した製品を開発している。

3 車載用LV-MOSの開発動向

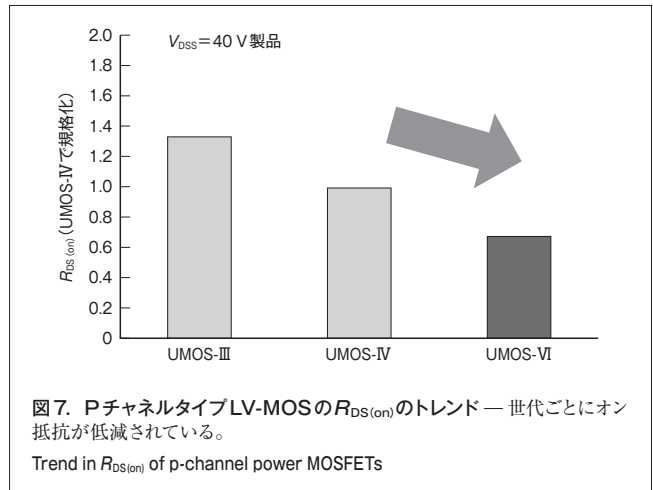
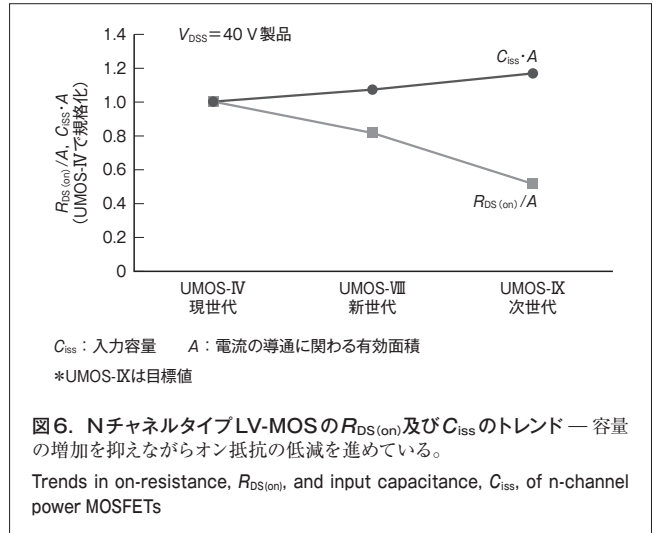
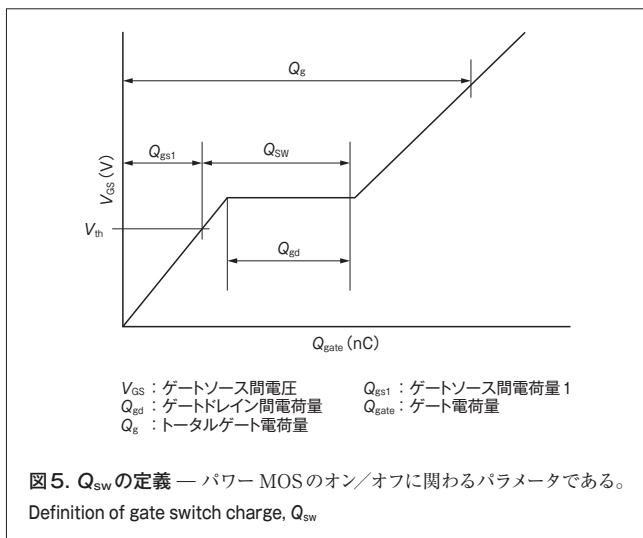
当社の車載用LV-MOSはNチャンネルタイプで $V_{DSS} = 40 \sim 250$ V, 及びPチャンネルタイプで $V_{DSS} = -40 \sim -100$ Vと幅広いアプリケーションに対応できるラインアップを開発している。

3.1 Nチャンネルタイプの開発動向

一般にパワーMOSでは、単位面積当たりの集積度を上げることでオン抵抗を低減してきた。当社は、2000年頃に、従来のプレーナ構造での課題をブレイクスルーできるトレンチ構造のパワーMOSを開発し、飛躍的にオン抵抗を下げる事ができた。しかし、単純に集積度を増加させると、パワーMOSのゲート入力容量が増加するため、オン抵抗損失が低減しても、スイッチング損失が増大する現象が起こる。つまり、オン抵抗を下げた損失低減効果がスイッチング損失の増大に打ち消され、パワーMOS全体での損失が下がらないことが課題になった。

そこで、このオン抵抗とゲート容量の相反する特性をバランスよく向上させるため、この性能を表す指標として、 $R_{DS(on)} \times Q_{sw}$ を定義し、その数値の低減を進めてきた。ここで、 $R_{DS(on)}$ はオン抵抗(ドレインソース間)を表している。また、 Q_{sw} は、ゲートに電荷が蓄積してパワーMOSがオン状態になる過程において、しきい値電圧 V_{th} を超えてミラー期間(注1)が終わるまでのゲート蓄積電荷量と定義している(図5)。この期間でオフ状態のパワーMOSはオン状態に切り替わり、また、逆も同様となる。

Nチャンネルタイプの車載用LV-MOSの開発動向を図6に示す。新世代UMOS-Ⅷは、現世代UMOS-Ⅳと比較して、オン抵抗が20%低減したのに対し、容量の増加分が10%に抑えられている。また、開発中の次世代UMOS-Ⅸでは、同様にUMOS-Ⅳとの比較で、オン抵抗の低減率が50%に対し、容量の増加分が20%に抑えられている(目標値)。このように、



世代が替わるごとに指標 $R_{DS(on)} \times Q_{sw}$ を低減した製品が開発されている。

3.2 Pチャンネルタイプの開発動向

Pチャンネルタイプの車載用LV-MOSの開発動向を図7に示す。Pチャンネルタイプは、オン/オフスイッチとしてのアプリケーションが多いため、Nチャンネルタイプと異なり、低オン抵抗を追求した製品を開発している。

4 車載用LV-MOSFET用パッケージの開発動向

2章で述べたように、自動車に搭載されるECUの数は増えて続けており、その小型化が進められている。これに対応するためには、車載用パワー半導体でも、次世代製品を提供する場合には、現世代よりも小型であることが望まれる。しかし、車載用パワー半導体のパッケージ開発は、小型化と低パッケージ抵抗の実現だけでなく、大電流通電(EPS(電動パワーステ

(注1) ドレインソース間電圧が変化するときゲートソース間電圧が一定になる期間。

アリング)の例では、ドレインピーク電流 I_{DP} (約100 A)の要求や、チャンネル温度 $T_{ch}=175\text{ }^{\circ}\text{C}$ を想定した高温かつ長時間の信頼性要求など、難易度が高い。そのため、パッケージ開発は、チップ性能の向上と同様に、車載用パワー半導体の重要な開発要素となっている。

これらの市場要求に対応するため、ドレイン電流 I_D =数A~150 Aに対応できる面実装パッケージシリーズとして、Cu(銅)コネクタ構造を用いたTO-220SM(W)及びDPAK+と、小型モータ用に最適なSOP系小型パッケージ(SOP Advance, TSON Advance, 及びPS-8)を開発し、ラインアップを拡充している(図8)。また、よりいっそうの小型化要求に対応するために、ベアチップタイプのKGD(Known Good Die)を開発し、量産化している。

- (1) TO-220SM(W) TO-263(D2PAKとも呼ばれる)

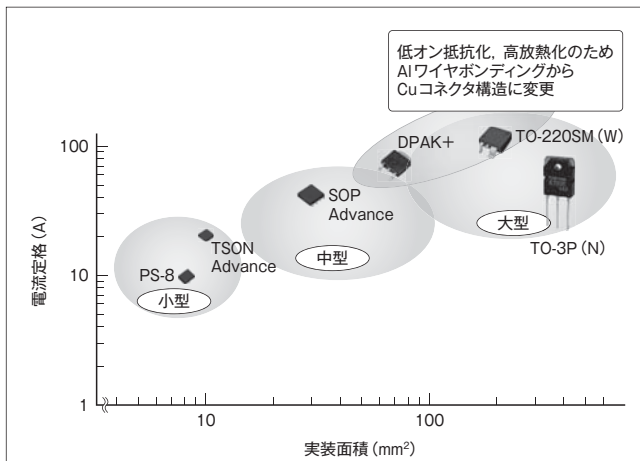


図8. 面実装パッケージのラインアップ—用途に応じた様々な面実装パッケージをラインアップしている。

Lineup of surface mount packages

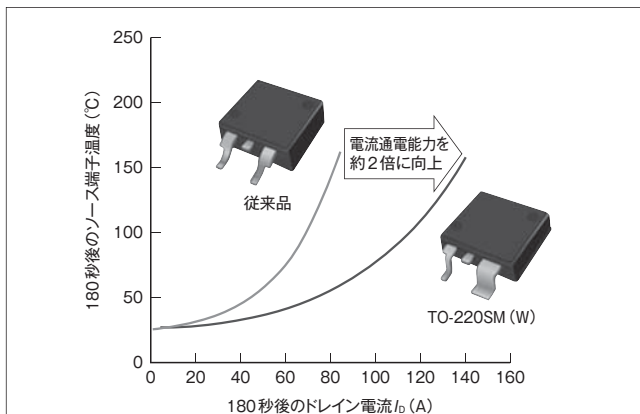


図9. ソース端子温度の比較—TO-220SM(W)は、ソース端子を広げたので、 I_D を大きくしても温度上昇が低く抑えられている。

Comparison of temperature rise at source terminal of conventional and TO-220SM(W) packages

相当の面実装パッケージを開発した。ソース端子の幅を従来品に比べて約2倍の2.8 mmに広げることで、リード部のオン抵抗成分を削減し、放熱面積を拡大したことで、大電流を通電したときの発熱を抑えることができた(図9)。

また、内部のボンディング方式を、従来のAl(アルミニウム)ワイヤから、Cuコネクタ構造に替えることでパッケージ抵抗を0.35 m Ω (標準値)まで低減できた。

- (2) DPAK+ TO-220SM(W)と同様のCuコネクタ構造を用いたTO-252クラス(DPAKとも呼ばれる)相当の面実装パッケージである。Cuコネクタ構造により、パッケージ抵抗を0.8 m Ω (標準値)まで低減した。
- (3) SOP系小型パッケージ DPAK+以下の数A~30 Aをカバーする小型面実装パッケージ群である。SOP Advance及びTSON Advanceは、裏面に放熱板(ドレイン端子)を配置することで、低熱抵抗と高放熱性能を実現している。PS-8は、最新世代のチップを搭載することで、小型モータアプリケーションに最適な製品を提供している。
- (4) KGD 一部のECUでは、ベアチップを直接基板に実装することで、パッケージ製品を並べるよりも更に小型化することが求められる。例えば、EPSでは機構部分にECUを実装する機電一体化の要求がある。これらの市場要求に応えるベアチップ製品を提供するためにKGDを開発した。また、従来のベアチップ測定装置では対応できなかった大電流測定方式を確立し、パッケージ製品と同等レベルのオン抵抗保証を実現している。

5 あとがき

今後、自動車とそのECUは、様々な社会環境や、市場要求、法規制などに対し、柔軟に対応して進化を続けていくことが予想される。

これからも市場からの要求に対応するために車載用パワー半導体のチップ及びパッケージの性能を向上させた新製品を提供し、自動車産業の発展に貢献していく。

文 献

- (1) 東芝. "HEV/EVシステム". 東芝 半導体&ストレージ製品ホームページ. <<http://www.semicon.toshiba.co.jp/application/automotive/ecology/hev-ev/index.html>>. (参照 2014-07-16).



大蔵 厳太郎 OKURA Gentaro

セミコンダクター&ストレージ社 ディスクリット半導体事業部 パワー半導体応用技術部参事。車載用パワー MOSFETの商品企画と応用技術業務に従事。自動車技術会 車載用パワーエレクトロニクス技術部門委員会委員。Discrete Semiconductor Div.