

車載用モーターシステムの小型化に貢献する ドライバー混載IC技術

Technologies for Motor Driver ICs with Controller to Downsize In-Vehicle Motor Systems

羽倉 淳一郎 HAGURA Junichiro 大村 直起 OMURA Naoki 田口 量寛 TAGUCHI Kazuhiro

自動車には、大小様々な可動部品が多数搭載されており、ほぼ全てが機械式からモーターを使用する電動式へと切り替わりつつある。半導体デバイスでモーターを駆動する電動システムでは、パワー素子の集約とパッケージの小型化を両立するため、回路部品の混載技術とともに、部品の放熱対策が重要になる。

東芝デバイス&ストレージ(株)は、開発の上流段階で熱解析技術を駆使したパッケージ設計の最適化を図るとともに、部品点数を削減した電流・温度検出技術などの採用により、車載向けに、パワー素子とコントローラーを1チップ化したモノリシックICや、大電流用途にFET(電界効果トランジスター)とコントローラーを同一パッケージに封入したSiP(System in Package)などの製品を開発している。

Among the large number of moving parts of various sizes used in automobiles, almost all of the mechanically driven parts have been replaced by electrically driven parts using motors in recent years. In the field of motor driver integrated circuits (ICs), technologies for integrating various circuit parts and countermeasures against heat dissipation are essential to achieve a balance between high-density mounting of power semiconductor chips on packages and reduction of the size of packages in order to realize compact in-vehicle motor systems.

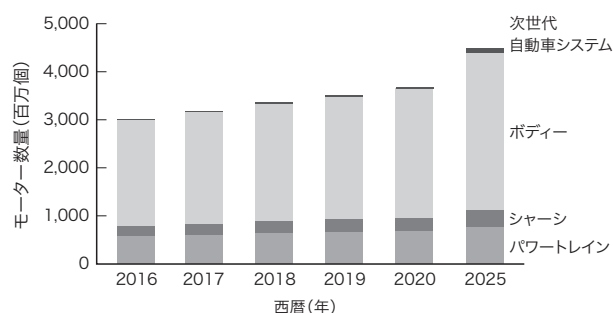
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation is engaged in the development of motor driver IC products for automotive use. These products include monolithic ICs equipped with power elements and a controller in one chip, and system in packages (SiPs) equipped with field-effect transistors (FETs) and a controller in one package for high-current applications. The new motor driver IC products were successfully fabricated by optimizing the package design utilizing thermal simulations at the initial stage of development and applying a technology to detect current and temperature while reducing the number of parts.

1. まえがき

現在、車載用モーター市場は、拡大の一途をたどっている。図1は車載用モーターシステムの領域別世界市場予測⁽¹⁾を示したもので、2025年の需要は、2016年に対して約1.5倍に伸長すると見込まれている。この市場拡大の最大要因は、各国の環境規制・燃費規制への対応と、自動車ユーザーへの更なる利便性・快適性の提供にあると考えられる。

CO₂(二酸化炭素)排出量の規制として、中国では2020年に159 g/km、欧州では2021年に95 g/kmに削減することが求められている。この目標基準を達成するために、EV(電気自動車)やHEV(ハイブリッド電気自動車)など電動車の比率が増加し、各種のバルブやポンプが機械式から電動式に切り替わる傾向が続くと考えられる。

例えば、エンジン周辺ではスロットルの電子制御化に始まり、燃費を最適化するための各種電動バルブが増加しており、普及車クラスでも1台のエンジン制御ユニットに4~5個



* (株)矢野経済研究所「2018 車載モーター市場の最新動向と将来展望」⁽¹⁾に基づいて作成。モーター数量は車両生産台数ベースで、2017年以降は予測値を記載。

図1. 車載用モーターシステムの領域別世界市場予測

2025年の需要は、2016年に対して約1.5倍に伸長すると見込まれている。

Forecast of scale of global market for in-vehicle motor systems by application areas

のHブリッジドライバーICが使用されている。増え続けるドライバーICをECU(電子制御ユニット)に搭載するには、パッ

ケースの小型化と同時に、放熱対策が不可欠になる。

一方、更なる利便性・快適性の向上のために、スライドドアや、バックドア、シート調整などの電動化に用いられる、モーター電流が数十Aの比較的大型のモーターが増加している。これらの用途では、ディスクリート部品のFETを用いて電子回路を構成することが多い。しかし、モーターを駆動する回路、及び安全性を確保するために過電流や過熱などの異常状態を検出する回路を搭載すると、部品点数が多くなるという問題がある。

比較的電流の少ない10A以下のドライバーは、製品コストを抑えるためにモノリシックICへの集約が求められる。一方、10A以上のドライバーは、1チップでの混載が技術的に困難であることから、コントローラーとFETを同一パッケージに封入するSiP技術が必要になる。このSiPによって、回路を構成する部品を大幅に削減できる。

パッケージの小型化を実現する方法は異なるが、モノリシックICとSiPに共通する課題は、放熱性の最適化である。走行中も停車中も常に動作を継続する用途と、自動車への乗降の際や荷物の積み降ろしの際だけに動作する用途では、放熱対策の考え方が異なる。特に後者の用途の場合には、モーター駆動時の過渡的な温度上昇を考慮して、放熱対策が過剰とならないようにモータードライバーICを設計することが重要になる。

ここでは、小型パッケージのモノリシックICで定格電流が5AのHブリッジドライバーを開発した技術、及びSiPによってFETを混載した技術について述べる。

2. モノリシックICの熱設計技術

エンジンのバルブ制御用途を想定したモノリシックICであるTB9051FTGは、CMOS(相補型金属酸化膜半導体)トランジスターで構成されるモーター制御ロジックと、DMOS(二重拡散型金属酸化膜半導体)トランジスターで構成される5AのHブリッジドライバー回路を、1チップ上に混載している。電流容量や、オン抵抗、スイッチング速度などのユーザー要求を満たした上で、パッケージの放熱性を工夫してどこまでパッケージを小型化できるかが開発のポイントになる。

2.1 Cuプレートの積載による熱抵抗の低減

TB9051FTGでは、小型で高い放熱性を備えたパッケージを新規開発した。開発初期の上流設計段階で熱解析技術を活用し、目標の熱抵抗を達成するために各種の放熱手法の有効性を検証した。

TB9051FTGの放熱手法における最大の特徴は、ダイ

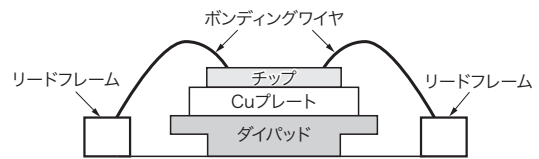


図2. TB9051FTGのパッケージ構造

ダイパッド上にチップを載せるCuプレートを積載することで、優れた放熱性と製造性を実現した。

Structure of monolithic package of TB9051FTG motor driver IC

パッド上にCu(銅)プレートを積載し、更にCuプレート上にチップを載せる構造(図2)を採用したことである。これにより、チップのジャンクション温度 T_j が過渡的な電流増加に伴って上昇することを抑制している。

過渡的な放熱対策としては、チップを載せるダイパッドの材質選定や体積がポイントになる。しかし、通常、チップを載せるダイパッドはリードフレームと一体構造であり、放熱性を向上させるためにダイパッド部だけを厚くすることや、リードフレーム全体を厚くすることは、製造性やコストの観点から良い方法とは言えない。そのため、必要な放熱性を確保するには、パッケージサイズを大型化し、ダイパッド部の面積を広くする方法が一般的である。

新規開発したパッケージは、単一工程でダイパッドにCuプレートを積載する構造を採っている。これにより、必要な熱抵抗に応じてCuプレートの厚さを選定でき、小型パッケージを使用しても十分な放熱性が確保できるようになった。

今回開発したTB9051FTGで、過渡的な放熱特性を検証した結果を図3に示す。同サイズである6mm角の自社既存製品に対し、0.1s後の T_j の上昇を1.5°C低減できた。

2.2 E-PAD構造によるPCBへの放熱

もう一つの特徴は、ダイパッドをパッケージ底面から露出させるエクスポーズドパッド(E-PAD)構造を採用していることである。チップとCuプレート間、及びCuプレートとダイパッド間は、熱伝導率の高いペースト剤で接合されている。また、ダイパッドをパッケージ底面から露出させ、チップからの発熱をPCB(プリント回路基板)に逃がす熱設計を施している(図4)。ダイパッドの露出面は、通常のリフローはんだ工程でPWB(プリント配線板)に接合可能である。E-PAD構造を採ることで、GND(接地)パターンやサーマルビア(基板を貫通させた穴)などのPCBに設けた放熱設計を、チップの放熱にも利用できる。

2.3 実装面積の削減

ダイパッド上へのCuプレートの積載とE-PAD構造の採用

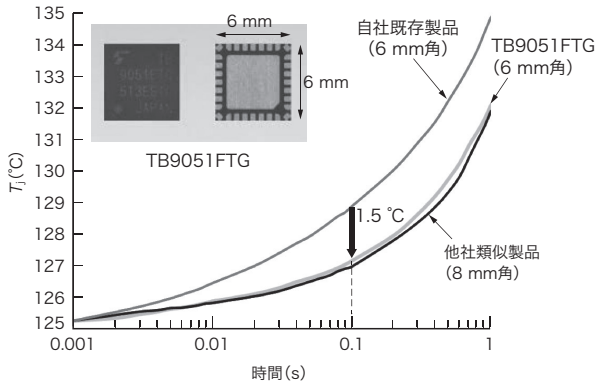


図3. T_j の測定結果

今回開発したTB9051FTGでは、同サイズの自社既存製品に対し、0.1 s後の T_j の上昇を1.5°C低減した。また、同程度の温度上昇を示す他社類似製品に比べ、実装面積を44%削減した。

Results of measurements of transient thermal resistance of motor driver IC packages

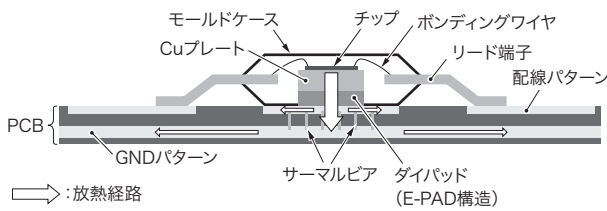


図4. PCBに実装されたパッケージと放熱経路の断面図

ダイバッドをモールドケースから露出させるE-PAD構造を採用し、チップの発熱をPCB内のパターンに逃がして放熱する。

Cross-sectional view of package mounted on printed wiring board (PWB) and heat dissipation paths

により、TB9051FTGのパッケージサイズは6 mm角を実現した。他社類似製品(8 mm角)に比べ、実装面積は44%削減され、ECU基板の小型化に貢献している。

3. SiPの熱設計技術

パワースライドドアやパワーシートなどの自動車ボディ一系用途では、従来はモーター駆動回路にメカニカルリレーを使用してきたが、近年は信頼性の向上と低騒音化を目的に、ディスクリット部品を用いて半導体化する傾向にある。更に、機電一体化(機構部品と電子部品の一体化)、ECUの小型化が加速し、半導体の高集積化や小型化が求められている。

このようなニーズに応じて、当社は大電流を駆動するFETとコントローラチップを同一パッケージに収めたSiP製品として、TB9111FNGを開発した。

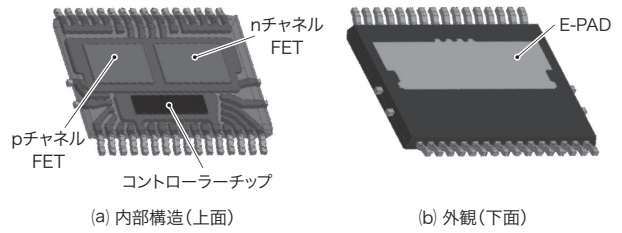


図5. TB9111FNGの内部構造と外観

放熱用E-PAD上に二つのFETを載せて、コントローラチップと同一パッケージに収めた。

Outline and internal structure of SiP of TB9111FNG motor driver IC

3.1 3in1パッケージ技術

TB9111FNGは、ハイサイド駆動用FET(pチャンネル)、ローサイド駆動用FET(nチャンネル)、及びそのゲートを制御するコントローラの計3チップを1パッケージに封入した、3in1パッケージのSiP製品である。外観と内部構造を図5に示す。

FETの上面は大電流が流れるソース電極となっており、ボンディングワイヤ又はクリップでICのリード端子に接続する。この構造により、ソース電極面上にはほかのチップを積層できないため、前述の三つのチップは平面状に配置することになる。一方、FETの下面は大電流が流れるドレイン電極であり、ICのリード端子には接続せず、E-PADそのものを出力端子と一体化している。

発熱源は二つのFETであり、パッケージ筐体(きょうたい)外部への放熱経路としては、主に上面と下面がある。上面と下面を比較した場合、E-PADから直接PCBに放熱できる、下面からの経路の方が高い熱伝導率を確保できる。更に、FETの電流駆動能力と熱伝導率を高めるためには、FETを載せたE-PADの面積をできるだけ広く取るように設計することが重要である。

一方で、PWBへの実装信頼性を確保するために、サイズの大きなパッケージでは、リード端子がガルウイング形状であることが求められる。この製品では、2方向にリード端子が並ぶSOP(Small Outline Package)を採用し、パッケージ幅(短辺)を最大8 mmに設定した。この幅に収めるとともに、前述のとおりE-PADの面積を広く取るため、FETの形状を長方形にしてパッケージ長手方向に横置きとした。更に、コントローラチップを極力細長い形状にすることで、パッケージの小型化と、E-PAD面積の最大化を両立させることができた。

3.2 熱解析技術

FETを混載した際の課題は、熱対策である。モーターを

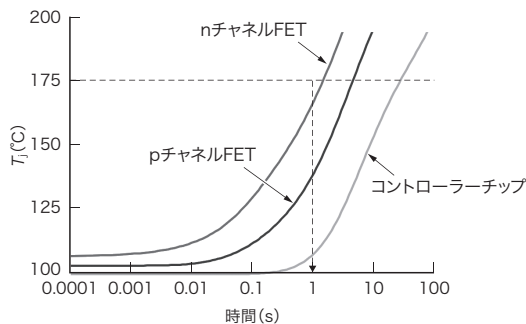


図6. TB9111FNGにおける各チップの熱解析結果

目標とした1 s経過後の T_j を175 °C (FETの絶対最大定格)以下に抑制できることを熱解析で確認した。

Results of thermal simulation of temperature of chips in TB9111FNG package

駆動する電流によってFETチップ自体が発熱するが、チップの T_j が上昇し過ぎると、劣化や破壊の原因になる。したがって、使用条件やPCB設計を最適化する必要がある。

用途や使用条件によって異なるが、内蔵するFETには1個当たり30 ~ 50 A程度の電流が流れて発熱する。このFETの発熱によるチップの劣化や破壊を防止するためには、ICの熱設計が重要になる。TB9111FNGでは、熱解析技術を活用して、パッケージサイズの制約の中で各FETのオン抵抗や、E-PADの面積、チップ形状、パッケージの材質などの最適化を、製品開発の上流段階で行った。

図6は、開発したTB9111FNGの熱解析結果である。搭載したFETでは、 T_j の絶対最大定格は175 °Cであり、目標とした1 s経過後に、175 °C以下に抑制できた。

3.3 電流と温度の検出技術

ディスクリート部品のFET単体では、電流と温度を検出できない。電流を検出する場合は、シャント抵抗で電圧変換し、オペアンプとMCU (Micro Control Unit) の組み合わせで検出する構成が一般的である。しかし、この構成は、部品点数の増加によるコストアップとPCBのサイズアップを招く。温度を検出する場合は、PCB上にサーミスターを配置する手法が広く用いられているが、サーミスターによる温度検出は精度に問題がある。

そこで、TB9111FNGは、pチャンネルとnチャンネルのFETそれぞれに電流検出用と温度検出用の素子を内蔵し、コントローラーチップでFETの電流と温度を検出している(図7)。また、電流値を電圧変換して出力する機能も内蔵しているため、従来の構成で使用していたシャント抵抗とオペアンプを削除できる。温度検出機能についても、FETに内蔵した

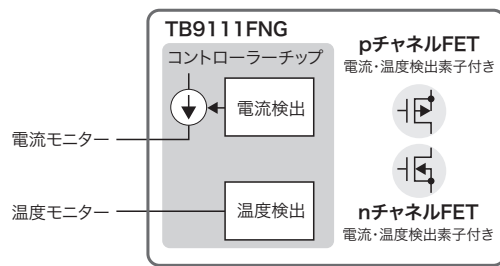


図7. TB9111FNGの機能構成

電流・温度検出素子を、それぞれのFETに内蔵し、コントローラーチップで監視することで、従来の構成で使用していた部品を削減できる。

Functional configuration of TB9111FNG

温度検出素子の電圧をコントローラーチップで測定することにより、温度検出の高精度化を実現するとともに、サーミスターも不要にした。

4. あとがき

自動車に搭載されるモーターの数量は今後も増え続け、モーターを駆動するICの放熱対策がますます重要になってくると考えられる。

東芝デバイス&ストレージ(株)は、長年にわたってアナログICやディスクリート半導体のプロセス技術、回路技術、及び熱解析技術を保有している。今後も、多様化するニーズに対応した車載用モータードライバー ICを開発し、自動車の電動化、高性能化に貢献していく。

文献

- (1) 矢野経済研究所, 2018 車載モータ市場の最新動向と将来展望, 2018, 191p.
- (2) 羽倉淳一郎, ほか, 自動車の電動化と高性能化を支える車載用モーターライバIC, 東芝レビュー, 2014, 69, 8, p.12-15.



羽倉 淳一郎 HAGURA Junichiro
東芝デバイス&ストレージ(株)
ミックスドシグナル IC 事業部
アナログ開発第二部
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.



大村 直起 OMURA Naoki
東芝デバイス&ストレージ(株)
ミックスドシグナル IC 事業部
アナログ開発第二部
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.



田口 量寛 TAGUCHI Kazuhiro
東芝デバイス&ストレージ(株)
ミックスドシグナル IC 事業部
アナログ開発第二部
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.