

# 小型で高い絶縁性能を確保した車載インバータ用 光絶縁型 IGBT ゲートプリドライバ TB9150FNG

TB9150FNG Opto-Isolated IGBT Gate Pre-Driver IC for In-Vehicle Inverters Offering Greater Compactness and Higher Insulation Performance

岸 博明 堀 将彦

■ KISHI Hiroaki ■ HORI Masahiko

ハイブリッド電気自動車 (HEV) や電気自動車 (EV) の市場拡大に伴い、電動モータを駆動するインバータシステムの役割は今まで以上に多様化しつつある。したがって、IGBT (絶縁ゲートバイポーラトランジスタ) などの電動モータ駆動素子を搭載するパワーモジュールや、絶縁素子、IGBT ドライバなどで構成されるインバータシステムには、小型化と多機能化が要求されている。

このような要求に応えるため、東芝は、車載インバータ用光絶縁型 IGBT ゲートプリドライバ TB9150FNG を開発した。TB9150FNG は、絶縁素子であるフォトカプラと、IGBT ドライバ用の制御回路であるプリドライバを集積したパッケージであり、インバータシステムの小型化が可能である。

Accompanying the expansion of the hybrid electric vehicle (HEV) and electric vehicle (EV) markets, the roles of inverter systems used to drive electric motors have become diversified. This has led to demand for the miniaturization and multifunctionality of such inverter systems incorporating power modules equipped with motor driving devices including insulated-gate bipolar transistor (IGBTs), insulated devices, and IGBT driver circuits.

In response to this situation, Toshiba began shipping samples of the TB9150FNG opto-isolated IGBT gate pre-driver integrated circuit (IC) for in-vehicle inverter systems in April 2016. The TB9150FNG integrates photocouplers as insulated devices, a pre-driver as a controller for the IGBT driver circuit, and other devices into one package, making it possible to downsize inverter systems.

## 1 まえがき

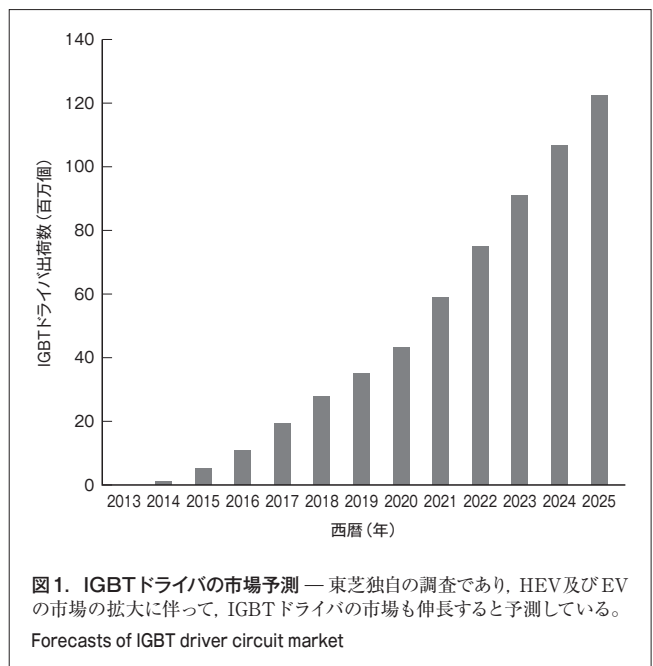
現在、自動車には環境性能が求められており、自動車からの CO<sub>2</sub> (二酸化炭素) 排出量を削減することが重要な課題の一つになっている。そうした背景から、環境性能に優れた HEV 及び EV の市場の拡大に伴って、IGBT ドライバの市場も伸長すると予測している (図 1)。

HEV や EV は、電動モータ及び電池と、それに関連する電動化部品及び電装部品が自動車構造の核になっている。なかでも、電動モータの制御を行うインバータシステムの役割は、今まで以上に多様化し、システムの小型化や多機能化が要求されている。

インバータシステムは、IGBT などの電動モータ駆動素子を搭載するパワーモジュールや、絶縁素子、IGBT ドライバなどで構成されている。

絶縁素子には、主に光結合方式のフォトカプラが使用されている。フォトカプラとは、発光ダイオードなどの発光素子とフォトダイオードなどの受光素子を、それぞれ電氣的に絶縁された端子に接続したもので、入力された電気信号を発光素子で光信号に変換し、その光信号を受光素子で受け、再度電気信号に変換して出力するデバイスである。すなわち、電氣的な絶縁を確保しながら信号のやり取りができるデバイスである。

東芝は、フォトカプラではパワートランジスタ用も含めると



1980 年代から生産実績があり、そこで培ってきた技術は強みの一つだと自負している。

今回、このフォトカプラ技術と IGBT ドライバ用の制御回路を集積したパッケージとして、車載インバータ用光絶縁型 IGBT ゲートプリドライバ TB9150FNG を開発し、インバータシステム

の小型化と多機能化を同時に実現した。

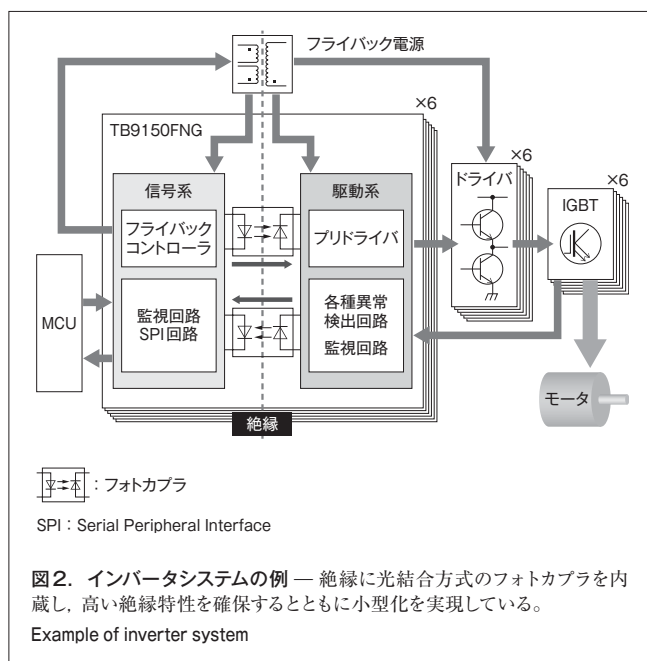
## 2 TB9150FNGの特長

HEVやEVのインバータシステムでは、制御MCU (Micro Controller Unit) からの信号を取り扱う側 (以下、信号系と呼ぶ) と電動モータ制御ドライバ側 (以下、駆動系と呼ぶ) の動作電圧が異なり、駆動系のノイズが大きいので、信号系と駆動系との間に高い絶縁特性が求められる。また、駆動系の制御回路には、IGBTを効率良く駆動するための保護機能など、多機能化を要求されるケースが多い。

TB9150FNGは、信号系のICチップと駆動系のICチップを1パッケージ内に搭載し、かつ絶縁素子としてフォトカプラを内蔵した構造であり、多機能化や小型化と同時に、信号系と駆動系の間に高い絶縁特性を確保している。フォトカプラは、電気的に完全に絶縁された信号伝達方式のため、EMS (電磁感受性) などの外来ノイズに対する高い耐性も期待できる。

また、多機能化の例として、温度センサダイオード用の定電流源とAD (アナログデジタル) コンバータを内蔵しているので、温度センサダイオード付きのIGBTを使用する場合、IGBTの温度を高精度に測定することが可能である。この機能でIGBTの動作温度を高精度にモニタすることで、パワーモジュール出力の高効率化ができ、HEVの燃費やEVの電費の向上に寄与する。

その他にも、フライバックコントローラ機能や電流センス及びDESAT (Desaturation: 非飽和領域残留電圧モニタ) による短絡検出機能などを内蔵しており、インバータシステムの小型化が可能である (図2)。



## 3 パッケージデザイン

絶縁に伴う耐圧性能は、人体、及び実装基板やシステムの安全にとって必要不可欠である。このため、IEC (国際電気標準会議) の規格を基にして各国で制定された安全規格により、デザインにも規制がなされている。

フォトカプラは、電気的な絶縁が重要な機能であるが、これを内蔵していても、絶縁によって分離する部分に対し、安全規格に則した物理的な距離を設ける必要がある。したがって、パッケージ設計時には、構造パラメータとして絶縁耐圧、沿面距離<sup>(注1)</sup>、及び空間距離<sup>(注2)</sup>に十分配慮した設計を行う必要がある。

### 3.1 絶縁耐圧の確保

TB9150FNGは、小型で高密度かつ高集積化を実現するため、信号系ICチップ、駆動系ICチップ、及び各チップに内蔵した受光素子のそれぞれに光信号を送る発光素子2個の合計4素子をつ一つのパッケージ内に収めたマルチチップパッケージである。同一パッケージ内に存在する信号系ICチップと駆動系ICチップの間には、2.5 kV以上の絶縁を確保しなければならない。

このため、このパッケージでは、受光素子と発光素子の間に絶縁体を挟み込んだCOC (Chip on Chip) 構造のフォトカプラにすることで、電気的に分離された状態を作り出している。

この絶縁体及びその接着剤は、高い絶縁耐力に加え、高透明性や低屈折率などの光信号を透過するために必要な光学的性質を持ち、更に耐熱性や耐湿性などの信頼性基準も満足している材料を選定している。

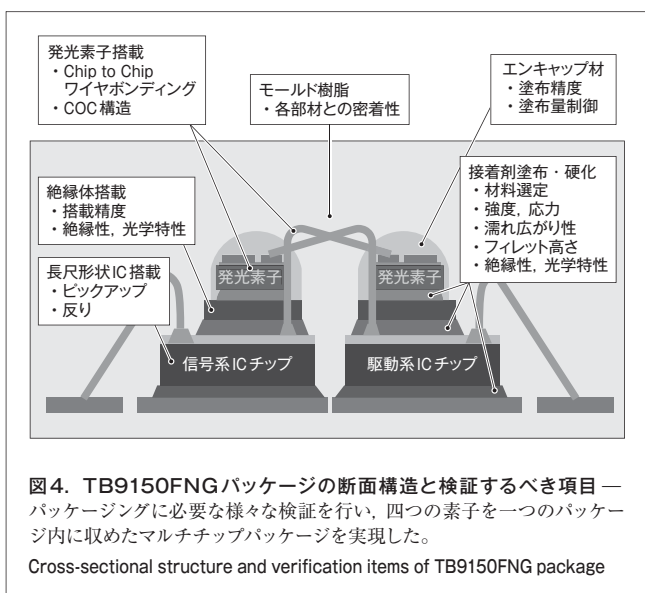
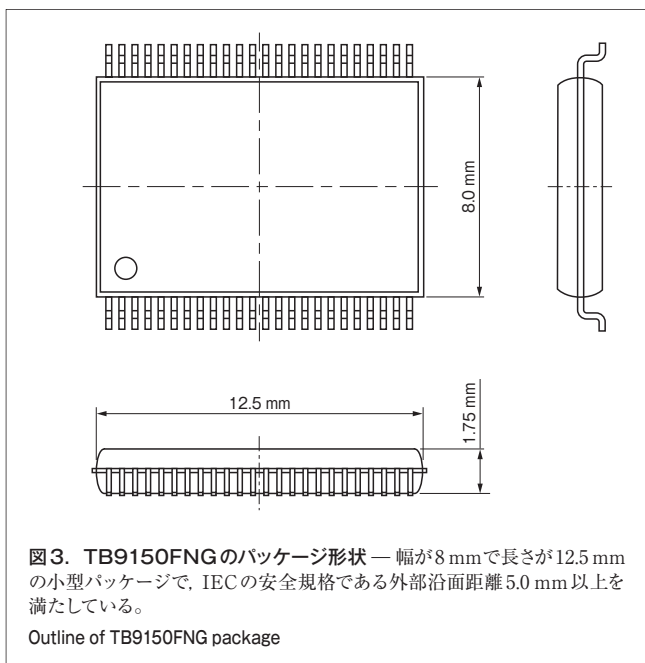
### 3.2 沿面距離と空間距離の確保

前述の安全規格に基づいて、5 mm以上の外部沿面距離 (パッケージ表面に沿った沿面距離) と8 mm以上の空間距離を確保するため、図3に示すように、パッケージ8 (幅) ×12.5 (長さ) mmで48ピンのSSOP (Shrink Small Outline Package) として開発した。また、信号系ICチップと駆動系ICチップを搭載するそれぞれのリードフレームが、必要十分な距離だけ離れるようにダイパッドを分割して設けている。更に、つりピンなどの端子以外の金属がパッケージ外に露出しないようにすることで、外部沿面距離を確保している。

## 4 パッケージ構造の課題と対策

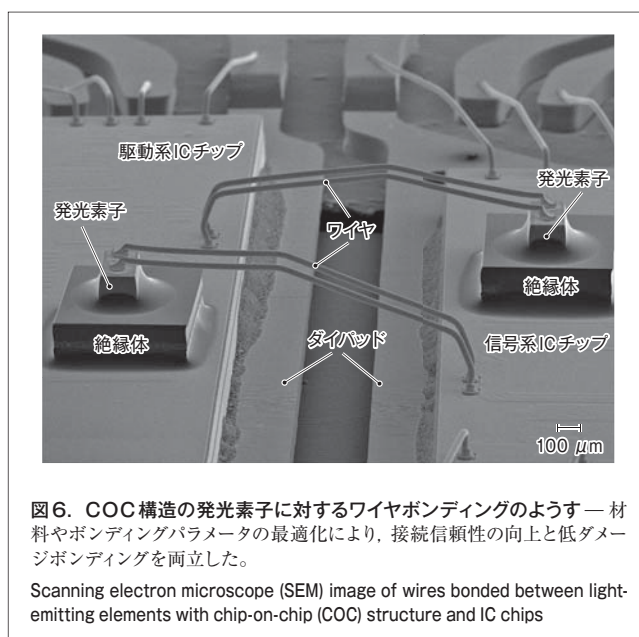
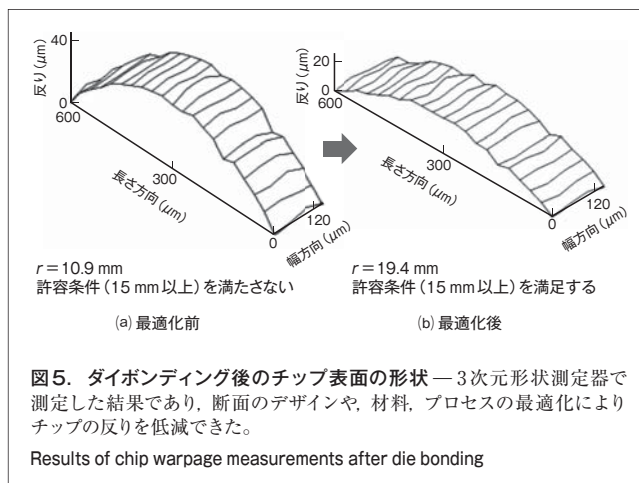
TB9150FNGの断面構造とパッケージングにおいて検証すべき項目を示したのが図4である。以下に、この構造を実現するためのパッケージング技術の例を述べる。

(注1) 絶縁物質に沿った二つの導体間 (入カ-出力端子間) の最短距離。  
(注2) 空気中で二つの導体間 (入カ-出力端子間) の最短距離。



#### 4.1 ダイボンディング技術

このパッケージでは、前述したように、信号系と駆動系の絶縁に必要な十分な空間距離を設けて二つのダイパッドを並べている。ダイパッド形状は縦横比でおよそ1:2と細長い形状になっており、信号系ICチップと駆動系ICチップがそれぞれのダイパッドにボンディングされる。その後、キュアにより接着剤を硬化させるが、その際に、リードフレームと接着剤の線膨張係数の差によってチップの接着面側にせん断応力が発生する。この結果として、チップに曲げモーメントが加わり、より剛性の低い長さ方向に反りが発生する。この反りが大きい場合、その上に搭載する絶縁体及び発光素子との接着性が低下し、場合によっては層間剥離を引き起こしてしまう。例えばチップ上に



積層する絶縁体で、長さ方向を600 μmとした場合、マウントペーストの厚さを考慮しても反り量を3 μm以下にしなければならず、この場合の曲率半径 $r$ は15 mm以上に相当する。反り低減の対策として、接着剤の物性値やダイボンディングプロセスの最適化を行い、15 mm以上の $r$ を実現している(図5)。

#### 4.2 ワイヤボンディング技術

COC構造の最上段にある発光素子にワイヤボンディングを行うためには、高段差に加え、3段積層されて不安定な被着体へのボンディングが必要になる。

ワイヤボンディングは超音波熱圧着方式を用いている。主要なパラメータは、温度や、時間、荷重、超音波の周波数、出力、及び振幅などであるが、接続信頼性を得るためにこれらのパラメータの設定値を過剰にしてしまうと、発光素子への物理的ダメージが大きくなり、場合によってはチップ割れなどを引き起こしてしまう。そこで、このような脆弱(ぜいじゃく)な構造に対



応したボンディングキャピラリ<sup>(注3)</sup>とワイヤを採用し、ボンディングパラメータを最適化することで、接続信頼性の向上(接合強度の確保)と低ダメージボンディングを実現した(図6)。

## 5 信頼性評価結果

TB9150FNGでは、前述したように、受光素子と発光素子の間に絶縁材を挟み込んだCOC構造のフォトカプラを採用している。この構造でパッケージ単体の信頼性試験を行い、フォトカプラの通電特性(O/S:オープン/ショート)及び受光特性( $I_{FHL}$ :入力しきい値電流)の変動を確認した。

実際と同様の48ピンのSSOPを使用し、ICチップも実際と同様の配線プロセスを用いたものをサンプルとした。また、封止材とダイアタッチ(Die Attach)材については、事前のプロセス評価及びMSL(Moisture Sensitivity Level)<sup>(注4)</sup>評価で良好な結果を得た材料を使用している。

リードフレームのダイパッド上に受光素子内蔵のICチップ、絶縁体、及び発光素子を積層して組み立てたサンプルで実施した信頼性試験の試験項目と結果を表1に示す。

信頼性試験前後でのO/S及び $I_{FHL}$ を評価項目として、値の変動有無を確認した。また、外観観察、超音波探傷、及び断面観察により異常の有無を確認した。

その結果、O/Sは全サンプルで大きな変動もなく、規格範囲内に収まっていることを確認した。また、 $I_{FHL}$ についても、値と変動率がともに規格範囲内であることを確認した。

更に、TCT(Temperature Cycling Test:温度サイクル試験)では、2,000サイクル後のサンプルの超音波探傷と断面観察を行い、チップ表面とその接着剤近傍を確認した。その結果、チップ表面及び接着剤ともに、封止樹脂との間の剥離は確認されなかった。

このように、良好な結果が得られ、今回試作した材料及び

構造の組合せ評価において、パッケージとしての信頼性に問題は無いことが確認された。

## 6 あとがき

昨今の自動車に対する環境性能の要求により、IGBTインバータを利用して電動モータを駆動するHEVやEVの需要はますます増加すると見込まれており、それに伴ってIGBTインバータシステムの多機能化や小型化への要求も増えると予測される。また、IGBTインバータシステムの利用は、多機能化や小型化が進めば、自動車産業以外の産業界の様々な用途にも広がる可能性を秘めている。

当社は、IGBTインバータシステムの多機能化や小型化に貢献するため、強みであるフォトカプラ技術と、ドライバ制御IC設計技術を融合したTB9150FNGを開発し、2016年4月からサンプル出荷を開始した。2018年から量産を開始する予定である。

今後も引き続き、多機能化や小型化が期待できるTB9150FNGの構造を応用したパッケージのラインアップ化を検討していく。

表1. パッケージ単体での信頼性試験結果

Results of reliability tests of sample packages

試験項目	条件	評価項目	結果 (故障数/サンプル数)
プリディクション (MSL3)	30℃, 60%, 192時間 260℃リフロー, 3パス	O/S	0/10
		$I_{FHL}$	0/10
TCT	-65~150℃, 2,000サイクル	O/S	0/10
		$I_{FHL}$	0/10
PCT	121℃, 100%, 200時間	O/S	0/10
		$I_{FHL}$	0/10

PCT: Pressure Cooker Test (飽和蒸気圧試験)

(注3) ワイヤボンディング装置で使用される消耗工具。ボンディング対象製品に合わせて設計、製造される精密加工部品である。

(注4) リフローはんだ付けを行ったとき、製品が吸湿によって破損することへの耐性の指標。JEDEC Solid State Technology Association(半導体技術協会)の規格。



岸 博明 KISHI Hiroaki

ストレージ&デバイスソリューション社 ミックスドシグナルIC  
事業部 ミックスドシグナルIC製品技術部主務。組立技術・  
パッケージ開発に従事。  
Mixed Signal IC Div.



堀 将彦 HORI Masahiko

ストレージ&デバイスソリューション社 半導体研究開発セン  
ター パッケージソリューション技術開発部主務。組立技術・  
パッケージ開発に従事。  
Center for Semiconductor Research & Development