

高出力電流と小型化を実現した IGBT／パワー MOSFET 直接駆動フォトカプラ

Photocouplers with High Output Current and Small Package for Direct Driving of IGBTs and Power MOSFETs

河野 典弘 卯尾 豊明 古谷 美樹

■ KAWANO Fumihiro

■ UO Toyoaki

■ FURUYA Miki

フォトカプラは、IGBT（絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ）やパワー MOSFET（金属酸化膜半導体型電界効果トランジスタ）の高電圧部と制御回路間を信号だけ伝達させ電氣的に絶縁するデバイスで、家電製品や産業機器のインバータ回路^(注1)などに幅広く使われている。産業機器ではフォトカプラの使用環境が厳しくなっており、各種の用途向けに最適な特性が要求されている。

このような要求に応えるために東芝は、DIP8パッケージで業界最大^(注2)となる出力電流定格6 Aを実現したTLP358及び、パッケージが業界最小^(注2)のSO6タイプで出力電流定格0.6 AのTLP151を開発した。これらのフォトカプラはパワーデバイスを直接駆動でき、産業機器でのインバータ回路の小型化に効果的である。

Photocouplers, which can connect control signals while maintaining electrical isolation between a control circuit and a power device such as an insulated gate bipolar transistor (IGBT) and a power metal-oxide semiconductor field-effect transistor (MOSFET), are used for inverter circuits in home appliances, industrial equipment, and so on. As the environmental conditions for photocouplers in industrial equipment are becoming very severe, optimum devices for each application are required.

To meet the requirements of industrial equipment, Toshiba has developed two new photocouplers: the TLP358 model, with an output current rating of 6 A in a DIP8 package, and the TLP151 model, whose output current rating is 0.6 A in the smallest SO6 package. These photocouplers can directly drive both an IGBT and a power MOSFET, making it possible to realize smaller inverter circuits in industrial equipment.

1 まえがき

産業機器の代表製品である汎用インバータやAC（交流）サーボコントローラでは、そのインバータ回路の高電圧部と低電圧部間を電氣的に絶縁するために、主にフォトカプラが使用されている。具体的には、マイコンなどの制御回路からの信号をドライバICなどのドライブ回路に絶縁して伝えたり、制御回路からの信号でIGBTやパワー MOSFETのゲートを絶縁して直接駆動するなどの用途がある。

東芝のパワーデバイス直接駆動フォトカプラ（以下、ドライバカプラと呼ぶ）は、パワートランジスタ用を含めると1980年代から生産しており、1990年にIGBTやパワー MOSFETのドライバカプラ TLP250を商品化した。その後、ユーザーの要求に応じて、出力電流定格の向上や、パッケージの種類の拡大、入出力間の伝達遅延時間の特性改善などを図り、ラインアップを充実させてきた。しかし産業機器では、ほかの応用分野に比べてフォトカプラの使用環境が厳しくなっており、各種の用途向けに特性を最適化したデバイスが求められて

いる。

このような要望に応えるため当社は、IGBTやパワー MOSFETのドライバカプラ TLP358及びTLP151を開発した。TLP358は、DIP8パッケージタイプとして業界最大の出力電流定格6 Aを実現し、TLP151は、業界最小のSO6パッケージに組み込まれながら出力電流定格0.6 Aを維持している。ここでは、これらの概要と特長について述べる。

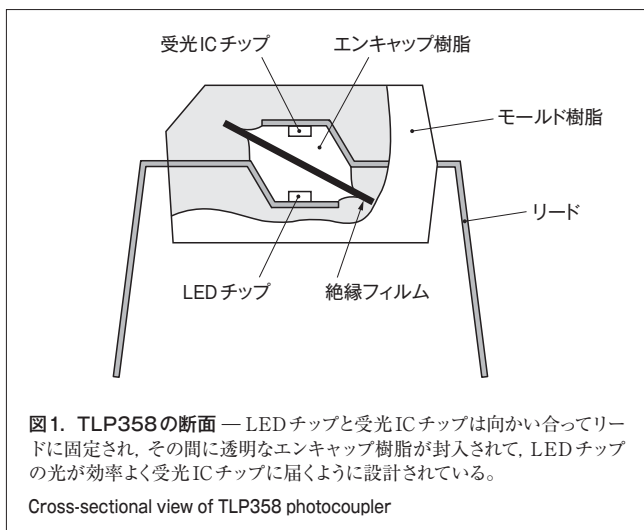
2 ドライバカプラのラインアップと構造

当社のIGBTやパワー MOSFETのドライバカプラでは、出力電流は0.4 Aから2.5 Aまでを、パッケージはSDIP6とDIP8の両タイプをラインアップしている。今回、DIP8パッケージで出力電流が定格6 AのTLP358と、小型・薄型パッケージであるSO6タイプで出力電流が定格0.6 AのTLP151をラインアップに追加した。

ドライバカプラでは、入力側に化合物半導体GaAlAs（ガリウムアルミニウムヒ素）を用いた赤外発光ダイオード（LED）チップが、出力側に高利得で高速の受光ICチップが組み込まれ、樹脂でモールドされている。TLP358の断面を図1に示す。LEDチップと受光ICチップの間は、シリコンの封止材料である透明なエンキャップ樹脂で封入され、LEDチップの光

(注1) 直流電力から交流電力を電氣的に生成する電源回路、又はその回路を持つ電力変換装置。

(注2) 2009年11月現在、パワーデバイス直接駆動フォトカプラにおいて、当社調べ。



が効率よく受光ICチップに到達するようにしている。また、エンキャップ樹脂内にフィルムを挿入し、入出力間の絶縁耐圧を向上させている。

3 ユーザーの要求と課題

ドライバカプラに対するユーザーの主な要求として、出力電流定格の向上や、パッケージの小型化、高温動作領域の拡大などが挙げられる。

ドライバカプラは、高出力電流により、IGBTやパワーMOSFETのゲート容量を瞬時に充放電する。IGBTのゲート容量 C_G が5 nF、ゲート・ソース間オン電圧 $V_{GS(ON)}$ が10 Vという一般的な仕様を用いて計算すると、IGBTの制御に必要な充放電電荷量 Q_G は50 nCとなり、数nsでIGBTのゲートを制御するためにフォトカプラの出力電流は数A必要になる。

一方、ドライバカプラが搭載される汎用インバータなどの産業機器では小型化が進み、部品が実装される基板面積も縮小されている。

ドライバカプラの出力電流やパッケージサイズを制限する要因の一つは、受光ICチップの発熱である。一般的なシリコン半導体プロセスで作製した受光ICチップは、ジャンクション温度 T_j が150℃以下になるように動作させる必要がある。一方、フォトカプラの場合、LEDチップが同一パッケージに組み込まれているため、その寿命の観点から T_j の最大を125℃と規定している。したがって、大きな出力電流が流れても受光ICチップの T_j を125℃以下に設計する必要がある。

4 出力電流定格の向上

TLP358では、出力電流定格を向上させるため受光ICチップを低消費電流にする設計を行った。受光ICチップの消費

電流 I_{CC} と温度上昇 ΔT の関係は(1)式で表される。

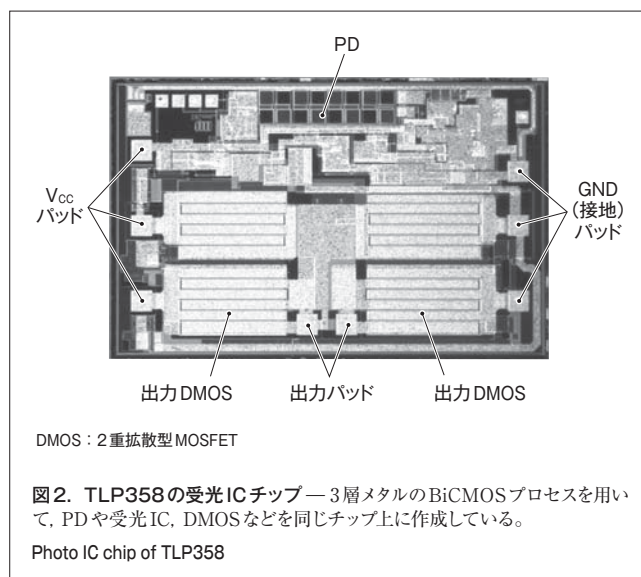
$$\Delta T \geq K \times V_{CC} \times (f \times Q_G + I_{CC}) \quad (1)$$

ここで、 K は熱抵抗、 V_{CC} は動作電圧、 f はIGBTの駆動周波数である。 K はパッケージにより決まる値であるが、TLP358では開発に要する時間や経費を考慮し、既存のパッケージを使用することにしたため、既知の固有の値となる。 f と Q_G は応用回路で決まるため、熱上昇を抑えるためには受光ICチップの低消費電流化が必要となる。現在、当社が把握しているTLP358の他社同等製品の消費電流は5 mAであるため、TLP358の受光ICチップは、消費電流が2 mA以下になるように回路を設計をした。

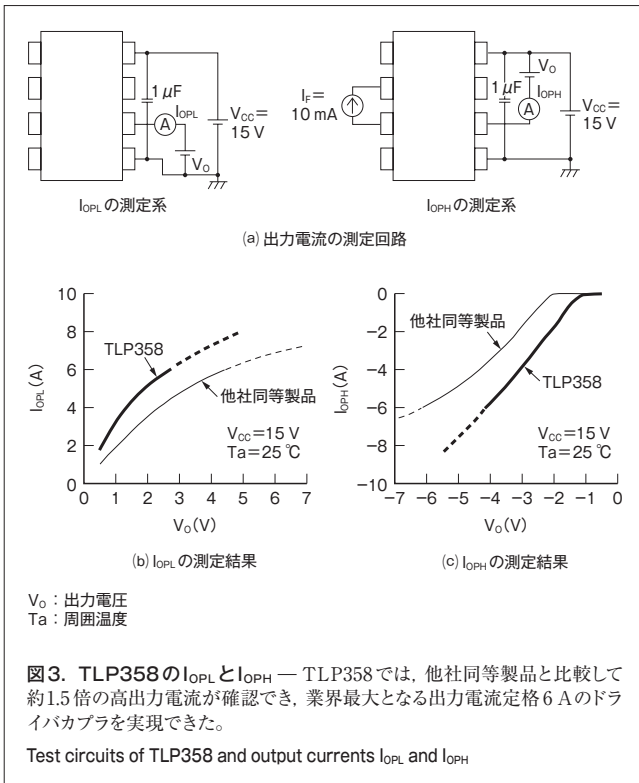
例として、IGBTの f を20 kHz、IGBTの充放電時間を100 nsとすると、前述の消費電流削減に伴う発熱量の減少により、1.5 Aの出力電流の増加を許容することができる。この効果で出力ピーク電流 ± 6 Aを保証できるようになった。

TLP358の受光ICチップを図2に示す。受光ICチップは3層メタルのBiCMOS^(注3)プロセスを用い、フォトダイオード(PD)を受光ICと同一チップ上に作製した。また、高出力電流に耐えるために、出力パッドとボンディングワイヤを二つにしている。

TLP358の出力電流を測定する回路と、出力がローレベルのときの出力ピーク電流 I_{OPL} 及び、出力がハイレベルのときの出力電流 I_{OPH} の測定結果を図3に示す。これらの結果から、他社同等製品と比較してTLP358の出力電流が約1.5倍になっていることが確認でき、業界最大となる出力電流定格6 A保証のドライバカプラを実現することができた。



(注3) 一つの基板に、バイポーラトランジスタとCMOS(相補型MOS)の両方を使って回路を形成する手法。



5 パッケージの小型化

TLP151は、TLP358と同様、IGBTやパワー MOSFETの駆動用に設計された出力電流定格0.6 A保証のドライバカプラで、パッケージの小型化とチップ面積の縮小を目的に開発を行った。

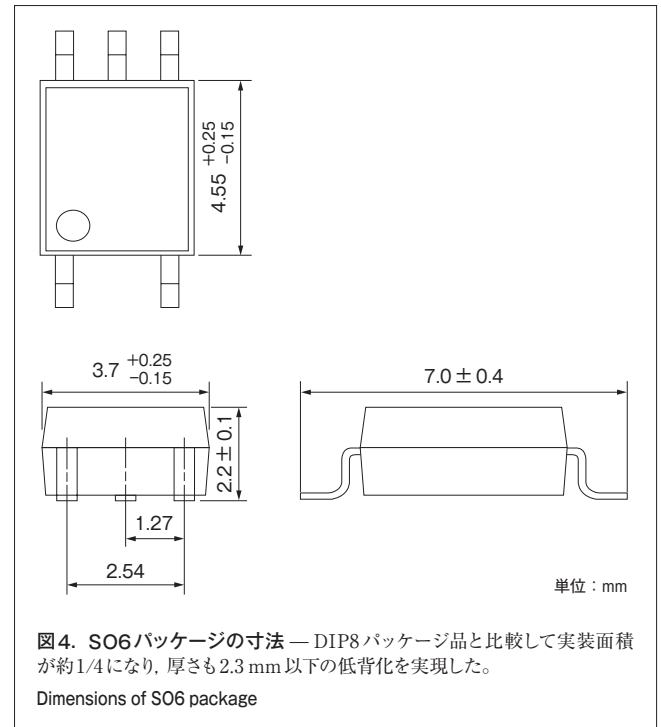
5.1 パッケージの小型化と低背化

ドライバカプラは高出力電流によって発熱するため、多くの場合、放熱性を考慮してDIP8など一般的なIC製品のパッケージを採用している。当社は、パッケージの小型化の要求に応えるため、他社に先駆けてSO6パッケージのドライバカプラTLP151を開発し、DIP8パッケージ製品と比較してドライバカプラの実装面積を約1/4に削減した。

SO6パッケージの寸法を図4に示す。TLP151のパッケージ厚は最長2.3 mmで、他社同等パッケージ以下である。

単純に低背化すると受光ICチップとLEDチップ間の距離が狭くなり感度の変動が起きるので、受光ICチップを薄くしLEDチップ側のフレームを工夫して、受光ICチップとLEDチップ間の距離を保った。低背化してドライバカプラの厚さを2.3 mm以下にしておき、実装機器の厚さを薄くできる。

また、パッケージの縦と横の寸法ばらつきを減らし中心値を大きくすることで、横幅を4.40 mmから4.55 mmに、縦幅を3.6 mmから3.7 mmにして、沿面・空間距離を大きくした。SO6パッケージを採用して、沿面・空間距離を5 mm以上にすることで安全規格の取得範囲が拡大できる。



5.2 チップ面積の縮小

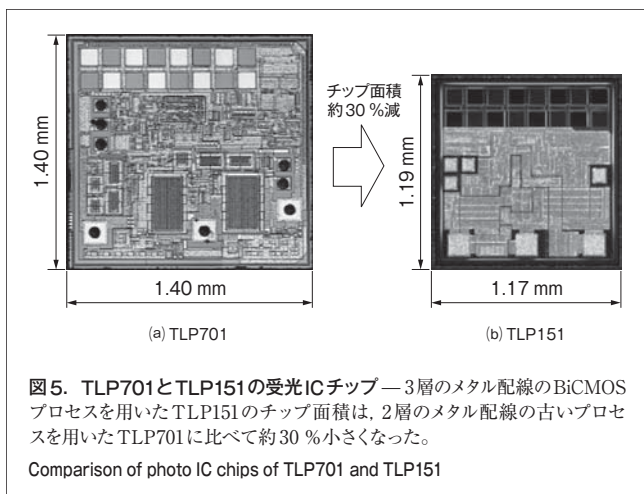
TLP151を設計するにあたり、SO6パッケージに収納するため受光ICチップの面積を縮小した。

既に量産している、SDIPパッケージで出力電流定格0.6 AのドライバカプラTLP701よりも受光ICチップ面積を縮小するため、従来より微細なプロセスを採用した。TLP358と同様に、TLP151では3層メタル配線のBiCMOSプロセスを使用し、PDを同一チップ上に形成した。TLP701では、古いプロセスを使用していたため2層メタルで配線していた。配線の電流容量を考慮すると最上層の配線の電流容量が小さいため、電流が大きい出力回路部分は太い配線が必要となり、チップ面の多くが配線に取られ、チップ面積の増大につながっていた。一方、TLP151では、3層メタル配線のプロセスを使用することで、最上層の配線の電流容量が大きくなったため太い配線が不要になり、有効にスペースを使うことができた。

絶縁耐圧の面では入出力間に高圧が印加されたときの高電界から素子を守るため、素子上を電位の固定されたメタル配線で覆う必要がある。TLP701では最上層で信号経路を配線することが容易でなく、信号経路の配線を通すスペースが必要であった。一方、TLP151では、信号経路を2層目のメタルで配線しても、最上層の配線で素子上を覆うことができるので信号経路の配線がしやすくなり、配線スペースが削減できた。

これらにより同じ機能を持つTLP701に比べて、TLP151ではチップ面積を約30%縮小できた(図5)。

特性面では、SO6のパッケージを使用することで、LED



チップと受光ICチップ間のTLP151の光結合効率がTLP701に比べて約2倍低下する。そのためTLP701のLEDチップよりも光出力が高いLEDチップを採用して、受光ICチップの感度を向上させ、TLP701と同等の入力しきい値電流 I_{FLH} を実現できた。

また、TLP358やTLP151のLEDチップは有機金属気相成長法 (MOCVD: Metal Organic Chemical Vapor Deposition) を採用することで、従来の液相成長法によるLEDチップに比べ高温で長寿命の動作を可能にしている。このLEDチップを採用したことで、動作温度を125℃まで保証できるようになった。受光ICチップの T_j を150℃以下に抑えるため、消費電流を2 mA以下にして熱上昇を抑え、出力電流定格0.6 Aタイプでは業界最小パッケージとなるTLP151を開発することができた。

6 あとがき

当社は、DIP8パッケージで業界最大の出力電流定格6 Aを実現したTLP358と、業界最小のパッケージSO6で出力電流定格が0.6 AのTLP151を開発した。

フォトカプラに使用されているLEDチップは、通電することで時間とともに光出力が劣化し、その度合いは電流値と周囲温度に依存する。一方、小型化が進む産業機器では、部品の実装密度が高くなり、発熱源であるIGBTやパワー MOSFETのパワーデバイスと発熱が小さい小信号系デバイスを離すことが困難になっている。

(注4) インバータ回路でパワーデバイスが破壊しないように、オンとオフの反転動作時に上下アームのゲート制御をともにオフにする期間。

(注5) 信号ラインや電源ラインとGND (接地) 間に発生するノイズ。

そこで、TLP358やTLP151で採用したMOCVD-LEDチップを従来のドライバカプラにも採用し動作温度範囲を拡大することで、機器の小型化や基板上の部品レイアウトの自由度向上に貢献できるものと考えている。現在、SDIPパッケージ製品であるTLP701や、そのDIP8製品であるTLP351、TLP358及びTLP351の中間クラスになる2.5 A出力のTLP350などにもMOCVD-LEDチップを採用することを計画している。

更に、インバータ回路でのデッドタイム^(注4)の設計を容易にするため、フォトカプラのオン時間とオフ時間の差である伝達遅延のばらつきを小さくした製品や、入出力間共通モードノイズ^(注5)及びラインノイズの耐量を大きくした製品などを開発して、ユーザーが使いやすいようフォトカプラのラインアップを拡充していく。



河野 典弘 KAWANO Fumihiro

セミコンダクター社 ディスクリート半導体事業部 光半導体応用技術部参事。フォトカプラの商品企画及び開発に従事。Discrete Semiconductor Div.



卯尾 豊明 UO Toyoaki

セミコンダクター社 ディスクリート半導体事業部 先端オプト素子開発部主務。フォトカプラ用送受信ICの設計・開発に従事。Discrete Semiconductor Div.



古谷 美樹 FURUYA Miki

セミコンダクター社 ディスクリート半導体事業部 先端オプト素子開発部。フォトカプラ用受信ICの設計・開発に従事。Discrete Semiconductor Div.