

# ハイブリッド車用めっきチップ

百田 聖自 (ももた せいじ)

阿部 和 (あべ ひとし)

洞澤 孝康 (ほらさわ たかやす)

特集

## 1 まえがき

地球温暖化防止のための二酸化炭素排出量削減の一環として、自動車業界でもさまざまな取組みがなされている。ガソリンエンジンと電気モータの双方を利用するハイブリッド車は、原油価格の高騰などにも後押しされて日本や米国にて普及が進んでいる。さらなる普及に向けてはシステムの高出力化と小型化が必須であった。

富士電機は産業用 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) モジュールで培った経験を生かしつつ、自動車用途に必要な高信頼性を確保した IGBT-IPM (Intelligent Power Module) を 2006 年 5 月から製品化し、LEXUS GS450h などの昇圧コンバータに供給してきた。そして、このたび 2007 年 5 月に発売されたハイブリッド乗用車 LEXUS LS600h, LEXUS LS600hL に搭載されている PCU (パワーコントロールユニット) 用としてパワーチップの製品化を行った。

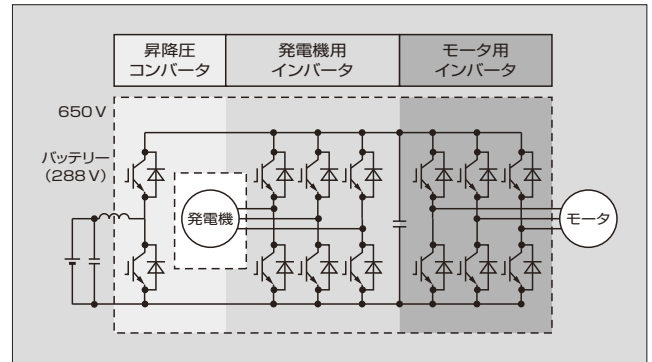
本稿では、これを実現するために開発した IGBT チップ技術としての、高電流密度化と両面冷却構造に適合するチップのめっき電極構造、および信頼性向上への取組みに関しての報告を行う。

## 2 課題

トヨタ自動車株式会社のハイブリッド車用 PCU システム THS-II の特徴は、2 モータ (モータ、発電機) を駆動するインバータとバッテリー電圧を昇圧するコンバータとが組み合わされていることであり、高電圧のバッテリーを使うことなくモータの高出力化を図ることができる。回路図としては図 1 に示すように、14 アームの半導体スイッチで構成されるが、モータ、発電機、昇圧コンバータ、それぞれの出力容量に応じてパワーチップの並列数が異なっており、PCU システムには全体で多数のパワーチップが使われている。

〈注〉 LEXUS : トヨタ自動車株式会社の登録商標

図 1 THS-II の回路図



しかし、このように多数のパワーチップを平面状に配列する従来のモジュール構造では、PCU の床面積が大きくなってしまい、小型化への要求を満たすことはできない。したがってパワーチップ数を減らすことが重要であり、そのためには高電流密度に耐えられるパワーチップの開発と冷却性能を大幅に向上することが課題であった。

## 3 開発概要

LEXUS LS600h, LEXUS LS600hL に採用されている IGBT チップは、富士電機が産業用では 2002 年から量産化を行っている 1,200 V 用 FS (フィールドストップ) 型トレンチゲート IGBT の技術を応用した。この IGBT は、電力変換時の通電損失・スイッチング損失を小さくできる構造であり、これに自動車用として電流密度が増加するようセルデザインに改良を加えた。

チップ表面には一般的にアルミ膜が形成されるが、両面冷却構造では表面側にもはんだ付けが必要となる。それを可能にするためにアルミ電極の上面に Ni 膜をめっき技術により形成した。

また、自動車用として要求される高信頼性を確保するために、ゲート酸化工程前後の加工を改善し、さらにセンシング技術の改善のために、IGBT チップに内蔵されている温度センス素子と電流センス素子の精度向上、および制御



百田 聖自

IGBT チップの開発設計に従事。  
現在、富士電機デバイステクノロジー株式会社半導体事業本部自動車電装事業部 EV 技術部マネージャー。



阿部 和

IGBT チップの開発設計に従事。  
現在、富士電機デバイステクノロジー株式会社半導体事業本部自動車電装事業部 EV 技術部。



洞澤 孝康

半導体プロセス技術の開発に従事。  
現在、富士電機デバイステクノロジー株式会社デバイス研究所プロセス開発部チームリーダー。

用 IC の開発を行った。

#### 4 特徴

##### 4.1 チップの特性改善

IGBT チップの構造は表面に MOS (Metal-Oxide-Semiconductor) ゲートを備える電圧駆動型のスイッチング半導体でありながら、バイポーラトランジスタ以上の電圧・電流定格を持つことにより、600 V 以上の高耐圧素子としては最も高いパフォーマンスを示している。動作としては電流を流すモード (オン) と電流を流さず電圧を維持するモード (オフ) の二つの状態を高周波で繰り返すことができる素子である。素子設計としては、それぞれの状態に対して最適な構造が異なるためトレードオフ関係があり、その改善を進めてきた。

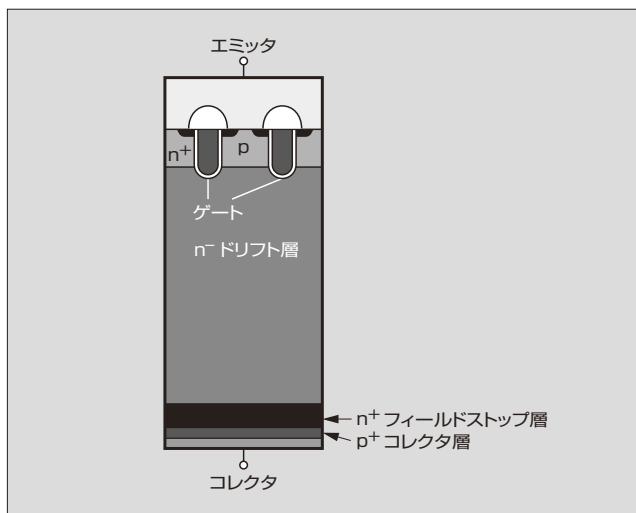
今回採用した FS-IGBT は 1,200 V の耐圧を 140 μm という薄いチップ厚さで確保でき、さらに表面のセル構造をトレンチゲート構造とし、通電時の特性を最大限に高められる構造をとることにより、優れた特性を示している。図 2 に、富士電機の 1,200 V-IGBT セル構造を示す。

FS-IGBT は、薄く高精度に半導体ウェーハを研削する技術と、その裏面に拡散層を形成する技術など高度な生産技術を必要としているが、富士電機では早期から薄いウェーハの加工技術の開発に取り組んできた結果、現在は 100 μm 厚さのウェーハ加工製品まで量産化をしている<sup>(3)</sup>。

さらに給チャネル幅を従来比で 1.5 倍長くしたことにより、図 3 に示した出力特性のように飽和電圧を低下させることができ、高電流密度化を実現した。また、その出力から異常状態を検知して高速に保護動作するためのドライブ IC をセットで開発することにより、この高電流密度素子によるシステムの実用性を可能にした。

従来よりも高電流密度となった素子に対して、自動車用途として要求される過酷な条件での信頼性試験においても素子の特性変動がないことを確認した。

図 2 IGBT のセル構造



##### 4.2 めっき技術

パワー素子が高電流密度で動作可能となっても、素子の動作保証温度  $T_j = 150^\circ\text{C}$  以下で使用するためには、素子を冷却する技術が必要である。従来は IGBT とダイオードチップの表面にはアルミワイヤをボンディングするために一般的にはアルミ膜を形成していたが、それではチップ裏面からの冷却しか実施できない。両面冷却とするには表面側にもはんだ付けができる構造にする必要がある。またチップ表面に冷却構造を設けることで、負荷短絡により素子表面温度の異常上昇することを抑制することができ、結果として信頼性の向上、チップサイズのシュリンクにも効果がある<sup>(4)</sup>。図 4 に従来のモジュール構造、および IGBT とダイオードチップ両面冷却を可能としたデンソー製両面冷却モジュール内部構造比較を示す。

これを可能にするためにアルミ電極の上面に Ni 膜、およびその表面の酸化防止のために Au 膜のめっきを行った。それぞれのチップ写真の比較を図 5 に示す。右側は従来のアルミ電極のチップにワイヤを張った IGBT および FWD

図 3 IGBT の出力特性比較

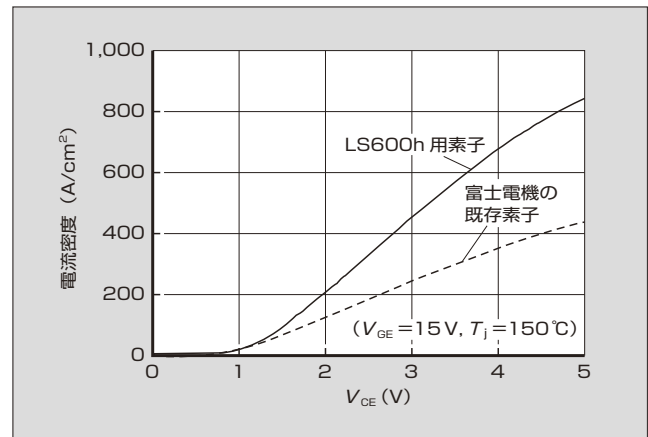


図 4 冷却構造の比較

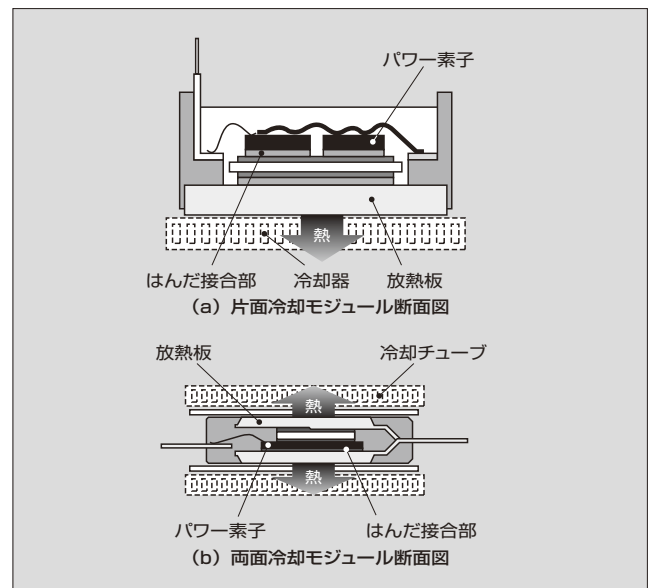
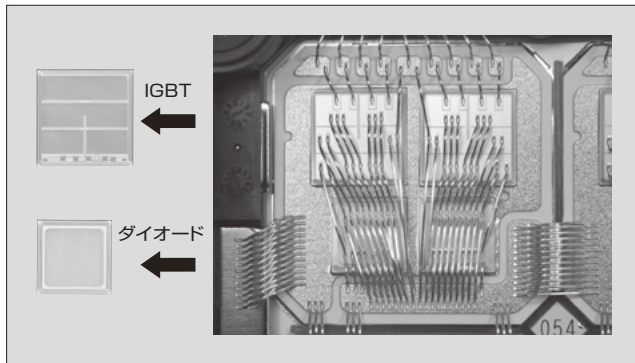


図5 チップの比較



チップであり、左側は表面に Ni および Au めっきを施したチップである。

めっき工程のプロセスのフローを図6に示す。フローは通常のデバイスの作製が終了した後に、Ni めっきと、Au めっきを連続して処理することで完成する。

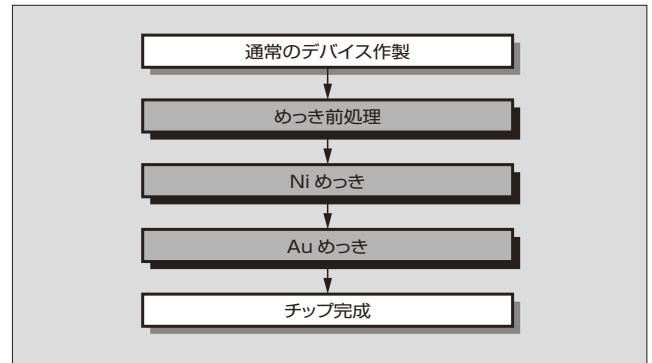
めっき方法によるメリットは、表面の電極が露出している部分にのみ電極を選択的に付けることができ、例えばスパッタ方法などにより全面的に電極を付ける方法とは異なり、ホットエッチングなどの工程を省略できることにある。しかし課題は、ウェーハ裏面へのめっきの回り込み防止と、ウェーハが薄いことにより反っているウェーハに安定した厚さのめっき膜を付けることであった。この技術を株式会社デンソーと共同開発した方法により、製品化を行った。

4.3 高信頼性化

自動車用途では産業用などと比較して負荷変動や温度変化が大きく、さらにフィールド故障が人命にまで影響を与えるために、非常に高い信頼性と耐久性が求められる。特に今回の素子では IGBT チップとしては重要であるゲート酸化膜の信頼性、高温動作による耐圧の変動などの設計・評価に重点を置いた。その結果、ゲート酸化膜形成の前後の工程での処理の改善、および耐圧構造部の寸法の見直しなどにより、自動車用としても十分な信頼性を確保した。

また、IGBT チップは温度・電流などが過大になった場合に破壊することがあり、チップの性能を極限まで使うためには破壊を未然に防ぐ保護技術も重要である。そこで、

図6 めっき工程を含んだプロセスフロー図



温度と電流を出力する機能を IGBT チップに内蔵し、そのばらつきを改善する工夫を行った。その結果、それぞれのセンシング素子の出力から異常状態を検知して高速に保護動作することができるようになった。

5 あとがき

ハイブリッド車の PCU 用パワー半導体の開発ができた。今後、さらなるハイブリッド車の普及に向けては、パワー半導体、バッテリー、モータの特にコストダウンへの取り組みが重要となってくる。富士電機としてはシリコンデバイスの改善や、新材料デバイスの開発などをいっそう進め、地球環境の保護に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) Laska, T. et al. The Field Stop IGBT (FS IGBT) A New Power Device Concept with a Great Improvement Potential. Proc. 12th ISPSD. 2000, p.355-358.
- (2) 小野澤勇一ほか, U シリーズ IGBT モジュール (1,200 V). 富士時報. vol.75, no.10, 2002, p.563-566.
- (3) 百田聖自ほか, T, U シリーズ IGBT モジュール (600 V). 富士時報. vol.75, no.10, 2002, p.559-562.
- (4) Otsuki, M. et al. Advanced thin wafer IGBTs with new thermal management solution. Proc. 15th ISPSD. 2003, p.144-147.