

ハイブリッド車用第2世代めっきチップ

2nd Generation Plated Chip for Hybrid Vehicles

藤井 岳志 Takeshi Fujii

今川 鉄太郎 Tetsutaro Imagawa

洞澤 孝康 Takayasu Horasawa

普及が進むハイブリッド車のシステムは、高出力化、小型化の要求が増している。これに対し、高電流密度化、両面冷却構造に対応した半導体チップが要求され、表面電極にNiめっき膜を形成した構造のチップを開発した。第2世代めっきIGBTチップには、表面トレンチ構造と表面セル構造の最適化および新FS構造を採用した。第2世代めっきダイオードチップでは表面アノード層構造の最適化とFZウェーハの適用により順方向特性の改善を図り、チップの信頼性を向上させた。これらの特性改善により、IGBT、ダイオードのチップサイズ縮小を実現し、システムの高出力化、小型化に対応した。

Systems for popular hybrid vehicles are increasingly required to provide higher system output while having a smaller size. In response, IGBT and diode chips are requested to support higher current densities and double-sided cooling structures. Fuji Electric has developed a chip which is constructed such that a Ni-plating electrode is formed on its surface electrodes. 2nd-generation IGBT chips feature an optimized surface trench cell structure, and employ a new field stop structure. Diode chips incorporate an optimized anode layer structure and utilize FZ wafers to improve forward characteristics and improve chip reliability. These improvements make it possible to reduce IGBT and diode chip sizes, increase system output, and facilitate miniaturization.

1 まえがき

環境問題への関心の高まりにより、クリーンエネルギーの利用、製造に関する技術開発要求が強まっている。自動車業界では、地球温暖化防止のための二酸化炭素排出量削減のため、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が実用化され、さらに電気自動車の開発が進んでいる。

特にハイブリッド車は、トヨタ自動車株式会社のプリウス^{〔注1〕}、本田技研工業株式会社のインサイト^{〔注2〕}のように、自動車製造各社が注力する車種となっている。

富士電機では、ハイブリッド車に搭載されるPCU (Power Control Unit) に用いるIGBT-IPM (Insulated Gate Bipolar Transistor-Intelligent Power Module) を昇圧コンバータ用途に供給している。また、PCUの高出力化、コンパクト化を実現する両面冷却パッケージ構造に適用するIGBTチップ、ダイオードチップの供給を行っており、第1世代めっきIGBTチップ、ダイオードチップを製品化している。

今回、IGBTチップ、ダイオードチップの特性改善を図り、第2世代めっきチップを製品化した。このチップは、ハイブリッド車LEXUS RX450h^{〔注3〕}用のPCUに搭載されている。

本稿では、この第2世代めっきチップの技術内容について報告する。

〔注1〕 プリウス：トヨタ自動車株式会社の商標または登録商標

〔注2〕 インサイト：本田技研工業株式会社の商標または登録商標

〔注3〕 LEXUS：トヨタ自動車株式会社の登録商標

2 開発概要

富士電機は、トヨタ自動車株式会社のハイブリッド車LEXUS LS600hとLEXUS LS600hLに搭載されているPCU用に、第1世代となるめっきIGBTチップ、ダイオードチップを製品化している。

トヨタ自動車株式会社のハイブリッド車用PCUの特徴は、モータ用インバータと発電機用インバータ、バッテリー電圧を昇降圧するコンバータを組み合わせ、高電圧のバッテリーを使うことなくモータの高出力化が図れることである。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ている。モータ、発電機、昇降圧コンバータ、それぞれの出力容量に応じてチップの並列数が異なっている。

使用する半導体パワーチップの数を減らすことは、PCUの小型化やシステムの信頼性向上につながる。半導体チップを高電流密度化することでシステムのチップ使用数を減らせる。

第1世代めっきIGBTチップでは、表面セル設計を見直し、チップの高電流密度化を実現している。また、高電流

図1 PCUの概略回路図

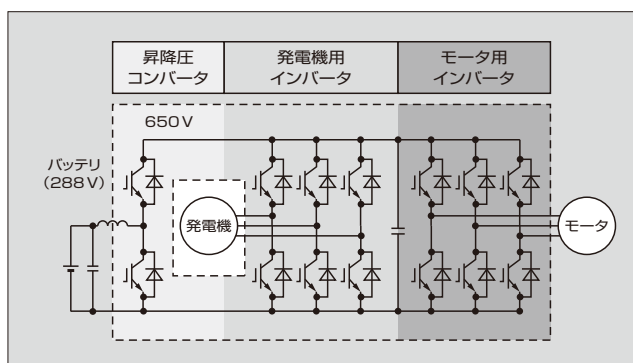
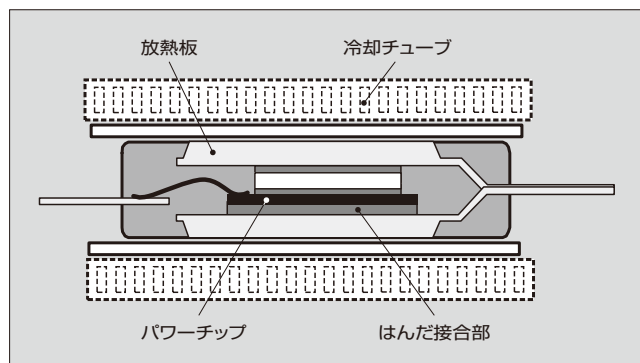


図2 両面冷却モジュール構造の断面図



密度での条件でも自動車用として要求される高い信頼性を実現している⁽¹⁾。

さらに電流密度を高めた場合でも、チップの発熱は動作保証温度の150℃を超えてはならない。このため、トヨタ自動車株式会社製ハイブリッド車用PCUには、図2に示す株式会社デンソー製両面冷却モジュール構造のパッケージが採用されている。チップ裏面側とともに、表面電極側からも素子を冷却することにより、片面冷却構造より大電流での使用が可能となっている。

富士電機では両面冷却モジュール構造を実現するために、IGBTチップ、ダイオードチップの表面電極に、電極のはんだ付けが可能なようにニッケル（Ni）めっき電極を形成している。

第2世代めっきチップでは、新技術を盛り込み、さらに高電流密度に対応したチップ設計を実施することで小型化を進め、LEXUS RX450hへの適用が行われた。

③ めっき IGBT チップ

IGBTチップは、従来のめっきIGBTチップと同様に、1,200V耐圧のトレンチゲート構造、薄いウェーハプロセスを用いたフィールドストップ（FS）構造を持っている⁽²⁾。図3にIGBTチップの断面構造を示す。開発したIGBTチップ（第2世代IGBTチップ）は以下の主な改善点を持つ。

3.1 表面トレンチ構造、表面セル構造の最適化

先に述べたように、めっきIGBTチップは両面冷却構造パッケージに適用されるため、ワイヤボンディングを用いる片面冷却構造のパッケージに比べ、電流密度を約2倍に大きくすることができる。従来のIGBTチップ（第1世代IGBTチップ）は総チャンネル幅を長くすることで飽和電圧を低下させ、高電流密度化を実現した。

第2世代IGBTチップではさらに設計見直しを進めた。トレンチゲート構造を形成するピッチを変更し、表面セル構造の密度を増加させた。これにより、総チャンネル幅を第1世代IGBTチップの約1.5倍に長くし、飽和電圧を低下させ、高電流密度化を実現した。

図4にIGBTチップの飽和電圧出力特性比較を示す。第

図3 IGBTチップの断面構造

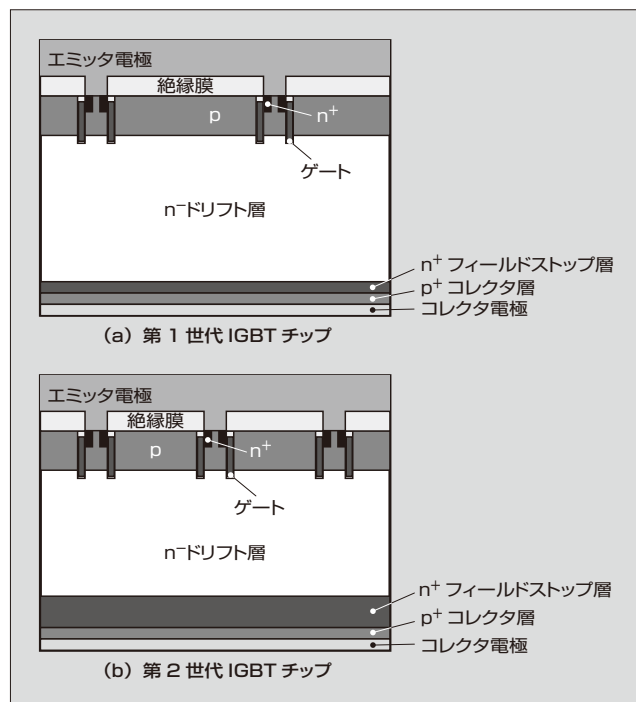
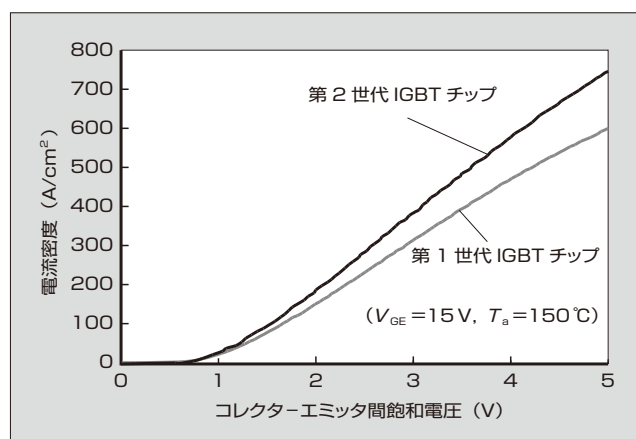


図4 IGBTチップの飽和電圧出力特性比較



2世代IGBTチップは、第1世代IGBTチップに比べ飽和電圧を低下させており、同一飽和電圧で高電流密度を達成している。

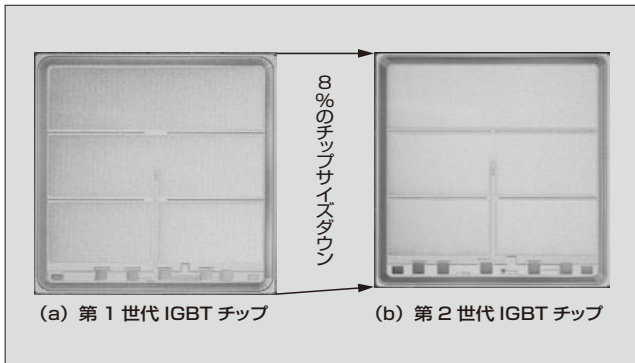
3.2 新FS構造の適用

第1世代IGBTチップでもFS構造を適用しているが、第2世代IGBTチップは同様の効果を得るために新しいFS層構造を採用している。飽和電圧、スイッチング損失の低減が図れ、損失特性をさらに改善するとともに、安定したチップ特性を達成している。

第2世代IGBTチップは第1世代IGBTチップと同様に温度センシング素子、電流センシング素子を内蔵しており、外部保護制御に用いられている。また、ゲート構造部分の加工工程を見直すことで、品質の向上を図っている。

損失特性を改善して、チップサイズを小さくしている。第1世代IGBTチップと第2世代IGBTチップの比較を図

図5 IGBTチップの比較



5に示す。損失の低下により、約8%のチップサイズダウンを実現している。

4 めっきダイオードチップ

めっきダイオードチップは、ペアで用いられるめっきIGBTチップと同様に1,200V耐圧で高電流密度に対応している。

めっきダイオードチップの主な改善点を以下に示す。

4.1 低注入化のために表面アノード層構造を最適化

ダイオードの逆回復特性は表面アノード層からの少数キャリアの注入状態により変化する。注入量が過剰であると逆回復特性がハードリカバリーとなり、電圧振動を発生するなど問題となる。しかし、アノード層の濃度はチップの順電圧降下に影響を与えるため、両面からアノード層の不純物濃度、構造を検討し、低注入アノード構造とすることで逆回復特性の改善を図った。

4.2 フローティングゾーン (FZ) ウェーハの適用

従来のダイオードチップ（第1世代ダイオードチップ）では、基板層を薄く形成することで逆回復損失を低減し、順電圧降下を低く抑える効果を得るため、使用するシリコンウェーハにエピタキシャル成長ウェーハを用いていた。

開発したダイオードチップ（第2世代ダイオードチップ）は、IGBTチップと同様にFZウェーハを使用している。FZウェーハを用いることで順電圧降下のチップ間ばらつきが低減できた。また、チップ内の欠陥量がエピタキシャルウェーハに対し低減されることや、チップ厚さを薄くすることにより、はんだ接合部への熱応力が緩和され信頼性が向上する。

IGBTチッププロセスで得た薄いウェーハプロセスの技術とFS構造の技術をダイオードチップにも用いることで、信頼性の高い低損失ダイオードチップの製造が可能となった。

ダイオードチップの順方向出力特性比較を図6に示す。第2世代ダイオードチップは、第1世代ダイオードチップに対し同一電流密度での順電圧降下を低減している。

第1世代ダイオードチップと第2世代ダイオードチ

図6 ダイオードチップの順方向出力特性比較

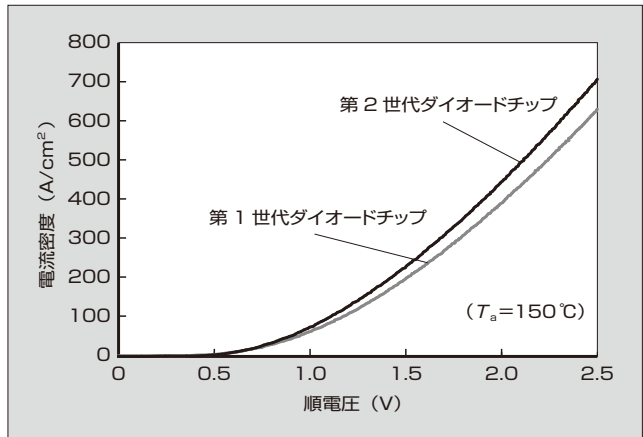
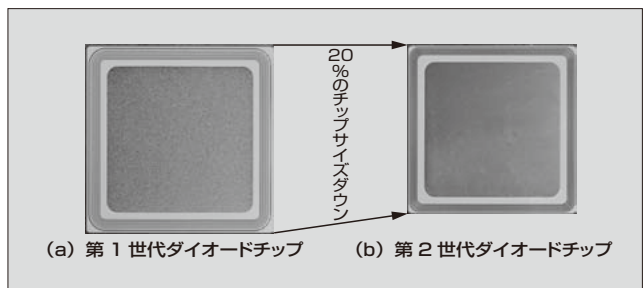


図7 ダイオードチップの比較



プの比較を図7に示す。損失の低下に加え、チップ周辺部に配置されている耐圧構造を変更することで、約20%のチップサイズダウンを実現している。

5 めっき工程

通常、半導体チップの表面電極はアルミ膜で形成され、ワイヤボンディングによりパッケージ電極などと接続している。

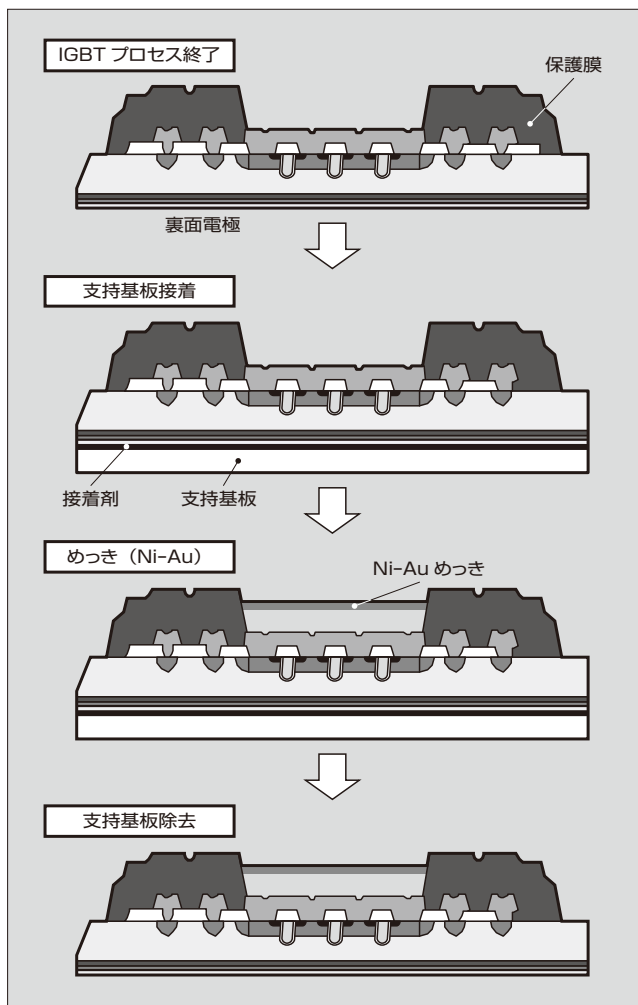
これに対し、第2世代IGBTチップ、ダイオードチップは両面冷却構造パッケージに適用するため、チップ表面電極にはんだ接続でパッケージ電極が接続される。通常のアルミ電極膜では、直接はんだ付けができない。このため、チップ表面電極にNiめっきを積層している。

IGBTチップ、ダイオードチップにめっき層を形成したチップを開発する上では三つの課題があった。

- (a) チップがFS構造を採用し、薄いウェーハ厚でプロセスを流動する必要がある。そのため、めっきプロセス流動中、ウェーハが割れやすい。
- (b) ウェーハが薄いため、チップを構成する各膜の熱膨張係数の違いでウェーハが反っている。
- (c) めっきの際に、裏面電極にもめっきが形成される。

これらを解決するために、第1世代チップのめっき技術を適用し、さらに第2世代めっきチップから自動式のめっき装置を導入し、膜質の改善と膜厚のばらつき低減を行うとともに、物量増に対応するための新生産ラインを構築した。

図8 ウェーハめっき処理の概略工程フロー



ウェーハめっき処理の概略工程フローを図8に示す。裏面電極まで完成したウェーハ裏面に支持基板を貼（は）る。この後、表面アルミ電極上に、無電界Niめっきと、酸化防止用の金（Au）めっきを積層する。めっき後は支持基板をはく離してめっき工程が終了する。

本プロセスにより、薄いウェーハにおいても安定したウェーハめっきプロセスを実現している。

⑥ あとがき

経済性、環境問題などの面から、ハイブリッド車、電気自動車はこれから大きな発展が見込まれる。この中で、今後さらにシステムの小型化の重要性が増すと考えられる。富士電機はデバイスの改善、新材料デバイスの開発などでこの分野での貢献をさらに進めていく所存である。

参考文献

- (1) 百田聖自ほか. ハイブリッド車用めっきチップ. 富士時報. 2007, vol.80, no.6, p.385-387.
- (2) 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.



藤井 岳志

半導体チップの開発設計に従事。現在、富士電機システムズ株式会社半導体事業本部半導体統括部モジュール開発部チームリーダー。



今川 鉄太郎

半導体チップの開発設計に従事。現在、富士電機システムズ株式会社半導体事業本部半導体統括部モジュール開発部。



洞澤 孝康

半導体プロセス技術の開発に従事。現在、富士電機システムズ株式会社半導体事業本部松本製作所チップ製造部課長補佐。



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。