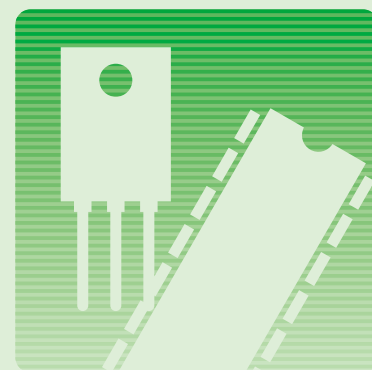


半導体

産業 電装



SDGs（持続可能な開発目標：Sustainable Development Goals）が目指す目標の一つである気候変動問題を解決するため、脱炭素社会の実現に向けた世界的な取組みが急速に進んでいる。自動車の電動化ならびにエネルギーの安定的かつ効率的利用のためのパワーエレクトロニクス機器の高効率化は脱炭素化に向けた有効なアプローチであり、富士電機のパワー半導体はキーデバイスとしてその実現に貢献している。具体的には、パワー半導体の代表的素子である IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）を中心に、さらなる高効率化、小型化、高信頼性化といったニーズに応える製品を、多くの技術革新とともに実現してきた。

産業

富士電機は産業用モジュールとして、低損失で高温動作を保証した最新の第 7 世代 IGBT 技術を適用した製品の系列を拡大している。第 7 世代 IGBT モジュールは、標準品の系列化が完了し、駆動機能や保護機能を備えた IPM（Intelligent Power Module）の系列化を進めている。第 7 世代 IGBT-IPM は、FA、工作機械、空調機器用途向けに、650 V、1,200 V 耐圧の中容量製品の系列に加え、さらに大容量製品として 650 V/200 ~ 450 A、1,200 V/100 ~ 300 A を系列化した。また、ルームエアコンやモータドライブ向けには、650 V/15 ~ 30 A の第 3 世代小容量 IPM を開発した。一方で、SiC 素子の適用拡大も進めており、第 2 世代 SiC トレンチゲート MOSFET を搭載した製品系列の開発を進めている。今回、新たに電鉄用途向けに 3.3 kV/750 A の All-SiC モジュールを開発した。

これら新製品により、電力変換装置のさらなる高効率化、小型・軽量化、高信頼性化に貢献できる。

IC 製品では、電源の高効率化や待機電力削減、グローバル化による、さまざまな電源事情に対応する安全性向上という市場要求に応えるため、第 7 世代 PWM 電源制御 IC「FA8C00 シリーズ」を開発した。IC の端子に接続する外部部品の選択により、使用する電源に合わせた軽負荷時の効率の最適化および低待機電力化が可能であり、入力端子の高耐圧化により IC の安全性も高めている。

電装

電装分野では、電動車（xEV）の駆動用モータの制御に用いるインバータ向けに、小型、高電力密度のパワーモジュールを開発し、製品化している。今回は、100 kW クラスのモータ出力容量をターゲットとした 6 in 1 車載用直接水冷パワーモジュールを開発した。RC-IGBT（Reverse Conducting-IGBT）の高性能化や新設計のアルミニウム冷却器の採用により、業界トップクラスの小型化、高電力密度化を実現した。xEV の DC/DC コンバータなどの電力変換機器の高集積化に対応するため、高効率、小型、低ノイズのスーパージャンクション構造を採用した、第 2 世代 SJ-MOSFET を製品化した。バッテリーの高電圧化と機器の小型化に対応するため、定格電圧 650 V で小型面実装パッケージの T-pack（D2-pack）を採用した製品を系列に加えている。

産業

① 第3世代小容量 IPM「P633C シリーズ」の系列化

●関連論文：富士電機技報 2021, vol.94, no.4, p.256

脱炭素社会の実現に向けた世界的なエネルギー効率向上のニーズの高まりを受け、産業用のモータドライブ機器のインバータ化が加速し、特に低容量の機器では、IGBT とドライブ回路を内蔵した IPM の適用が拡大している。富士電機は、先に国外ルームエアコン向けに製品化した第3世代小容量 IPM「P633C シリーズ」を基に、産業用インバータ、サーボンプ用途における大電流負荷での使用に対応した製品を系列化した。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 大電流負荷での動作に対応する低損失化設計により、IGBT のオン電圧 $V_{CE(sat)}$ を従来製品比で約 13% 低減し、機器の高効率化に貢献した。
- (2) 装置の過熱保護制御方式に対応して、自己停止機能あり・なしの 2 種類を系列化した。

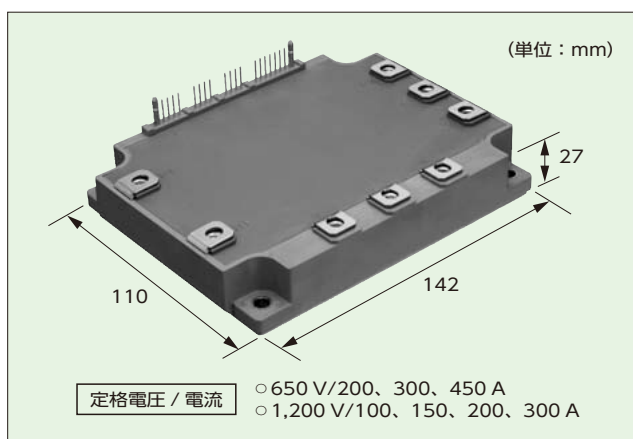
図1 「P633C シリーズ」



② 第7世代 大容量 IGBT-IPM「P631」の系列化

電力変換装置の省電力化、省スペース化に向けて、使用されるインテリジェントパワーモジュール（IPM）には、さらなる低損失化と大電流化が求められている。これに対して富士電機は、第7世代技術の適用により、第6世代 IPM に対して損失を 10% 低減し、連続動作時のチップ許容温度を 125℃から 150℃に拡大することで、最大出力電流を拡大した第7世代 IGBT-IPM を提供している。今回、新たに第7世代大容量 IGBT-IPM「P631」を系列化した。第6世代と同じパッケージを用いて最大定格を従来の 600 V/400 A、1,200 V/200 A から 650 V/450 A、1,200 V/300 A に拡大した。これにより、従来と同じ外形寸法でより大きな電力を扱うことができ、顧客装置の省電力化や省スペース化に貢献する。

図2 「P631」



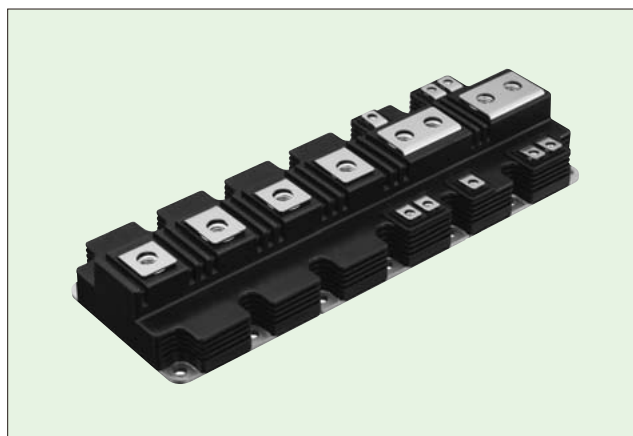
③ 第7世代「X シリーズ」大容量 IGBT モジュールの系列化

富士電機は、IGBT モジュールの低損失化、高信頼性といった市場要求に応えるため、第7世代「X シリーズ」1,200 V/1,800 A 2 in 1 IGBT モジュールを製品化している。今回、太陽光・風力発電向け電力変換装置のさらなる大容量化に対応するため、出力端子を追加した“PrimePACK™ 3+”を開発し、ラインアップに追加した。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 第7世代 X シリーズのチップ技術の適用による低損失化
- (2) 第7世代 X シリーズのパッケージ技術の適用による高温（上限 175℃）動作時の高信頼性化

*PrimePACK™ :Infineon Technologies AG の商標または登録商標

図3 大容量 IGBT モジュール “PrimePACK™ 3+”



産業

④ 第7世代PWM電源制御IC「FA8C00シリーズ」

近年、地球温暖化対策として温室効果ガス排出量削減への取組みが注目され、電子機器の高効率化が求められている。また、さまざまな国や地域の電源事情への対応が求められている。これらに対応して富士電機は、第7世代PWM電源制御IC「FA8C00シリーズ」を開発した。

- (1) 高電圧入力端子の高耐圧化（650V から 710V）により、電力供給が不安定な国外市場でも使用可能
- (2) X-cap 放電機能の内蔵により、感電防止と部品点数削減を両立
- (3) 外付け部品の定数で MOSFET ゲート信号の最小パルス幅を3種類から選択し、軽負荷時の高効率化を実現
- (4) 出力電圧クランプ機能を内蔵することにより、外部レギュレータを削除可能

図4 「FA8C00シリーズ」

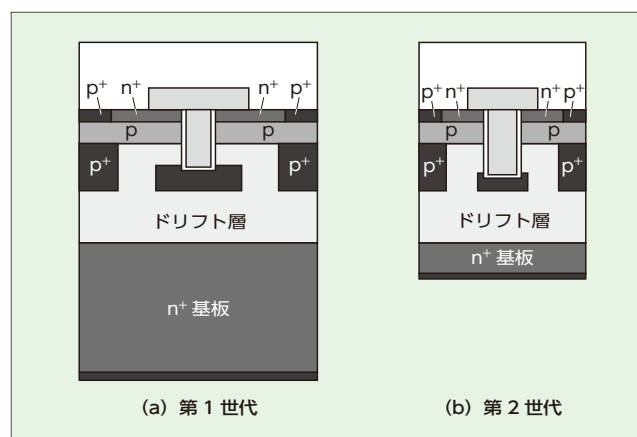


⑤ 3.3kV 第2世代SiCトレンチゲートMOSFET

富士電機は、鉄道車両向けに、従来よりも動作時のオン抵抗を低減した定格3.3kVの第2世代SiCトレンチゲートMOSFETを開発した。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 第1世代品に対して、セルピッチを約2/3に縮小し、SiC基板の厚さを約1/4に薄化した。これにより、単位面積当たりのオン抵抗を約7%低減した。
- (2) 富士電機独自の技術により、SiC-MOSFETのボディダイオード通電時の欠陥成長によるオン抵抗上昇を抑制した。
- (3) デバイス構造の最適化により、Si-IGBTからの置換えがしやすい推奨ゲート駆動電圧+15Vを実現した。

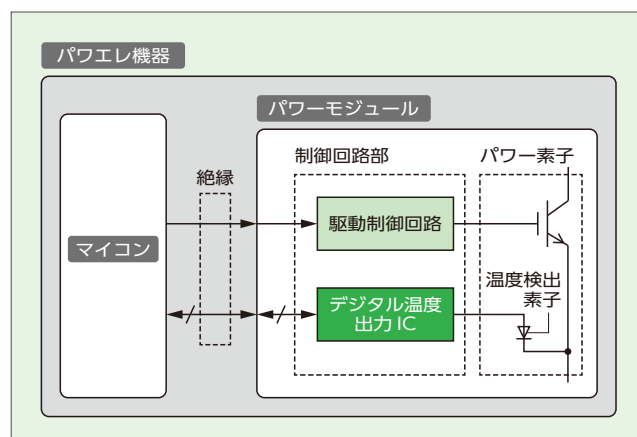
図5 SiCトレンチゲートMOSFETの断面構造



⑥ デジタル温度出力IC技術

パワエレ機器の予知保全対応に向けて、パワーモジュール内に実装されるパワー素子の温度を高精度に計測する技術が求められている。また、パワエレ機器が使用される産業分野においてはIoT活用が進展していることから、計測値はデジタルデータとして出力されることが望まれる。そこで富士電機は、パワーモジュール内蔵用の高精度デジタル温度出力IC技術を開発した。今回開発したICの温度出力範囲は $-50 \sim +200^{\circ}\text{C}$ 、最小分解能は 0.25°C 、出力精度は $\pm 3^{\circ}\text{C}$ である。パワー素子温度を検出し、IC内蔵のAD変換器でデジタル値に変換して出力することで、マイコンなどのデジタル機器での処理が可能である。本ICは産業分野において幅広く適用可能であり、パワエレ機器における高精度な予知保全の実現に貢献する。

図6 デジタル温度出力ICの適用例



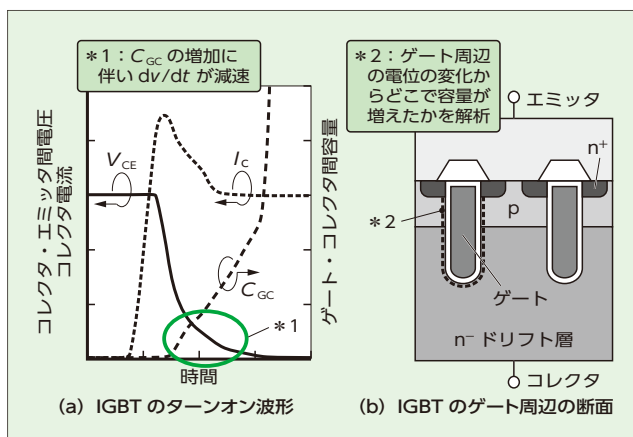
産業

⑦ IGBT のターンオン損失低減に向けた容量解析技術

IGBT の高効率化には、ターンオン損失の低減が重要である。ターンオン中のコレクタ・エミッタ間電圧の変化速度 (dv/dt) は、一定ではなく途中で遅くなっており、損失増加の要因となっている。

富士電機は、TCAD シミュレーションを用いることにより、ターンオン中にゲート・コレクタ間容量 (C_{GC}) が増加するため、 dv/dt が遅くなっていることを明らかにした。また、ゲート周辺の電位の変化から、どこで容量が増加しているかを解析する手法を確立した。今後、本解析手法を用いてターンオン損失を低減し、IGBT のさらなる特性改善を進めていく。

図7 IGBT の容量解析の例



電装

① 車載用第2世代 SJ-MOSFET 「Super J MOS S2FDA シリーズ」の系列化

富士電機は、車載用 DC/DC コンバータや充電器などの電力変換機器に適したパワー MOSFET として、定格電圧 400 V から 600 V の車載用第2世代 SJ-MOSFET 「Super J MOS S2FDA シリーズ」をラインアップしている。今回、バッテリー電圧の高電圧化と DC/DC コンバータなどの小型化のニーズに対応するため、小型面実装パッケージの T-pack (D2-pack) にて、定格電圧 650 V の製品を系列に加えた。T-pack (D2-pack) での系列化により、電力変換機器の高電力密度化 (小型化) に貢献する。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 低オン抵抗 (98 mΩ) により、低損失を実現
- (2) AEC-Q101 準拠により、車載用製品の信頼性を確保

図8 「Super J MOS S2FDA シリーズ」

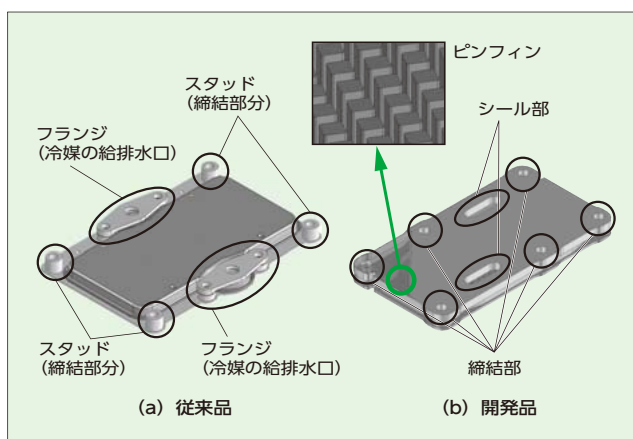


② xEV 向け超小型 RC-IGBT モジュールの冷却器

電動車 (xEV) においては、駆動システムを統合した機電一体の開発が活発化しており、このシステムに適した高電力密度 (小型・薄型、高出力) なパワーモジュールが求められている。富士電機は、パワーモジュールの高電力密度化に向けてピンフィンを採用した新たなアルミニウム冷却器を開発した。この冷却器は熱流体解析に加えて粒子画像流速測定法 (PIV: Particle Image Velocimetry) を併用し、ピンフィンの形状と冷媒の流れを最適化することで冷却性能を向上した。また、シール部や締結部をプレートと一体化することで小型化を実現した。この小型・高放熱冷却器に加えて、RC-IGBT 素子とリードフレーム配線技術を適用した第4世代のパワーモジュールは、第3世代のパワーモジュールに対して約2倍の電力密度を達成した。

関連論文: 富士電機技報 2021, vol.94, no.4, p.240

図9 アルミニウム冷却器





*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。