

パワー半導体の現状と展望

Power Semiconductors: Current Status and Future Outlook

藤平 龍彦 FUJIHIRA, Tatsuhiko

宝泉 徹 HOSEN, Toru

栗原 俊治 KURIHARA, Toshiharu

① まえがき

人口増加と経済成長に伴い、世界のエネルギー消費量は増加の一途をたどっている。CO₂ 排出量を抑制して地球の温暖化を防止するため、省エネルギー（省エネ）化をはじめ太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーの拡大、ハイブリッド自動車（HEV）・電気自動車（EV）など自動車の電動化などによる低炭素化も進展している。パワー半導体は、電力の供給・制御に欠かすことができない部品であり、エネルギーの効率的な利用による省エネ化や低炭素化を牽引（けんいん）するパワーエレクトロニクス技術におけるキーデバイスである。

富士電機は、創業以来、エネルギー技術の革新に取り組んできている。その一つとして、エネルギーを安定的にかつ最も効率的に利用するため、環境にやさしいパワー半導体を開発して製品化し、安全・安心で持続可能な社会の実現に向けて貢献している。

本稿では、今後も高い市場成長が見込まれるパワー半導体の技術および富士電機における製品の現状と展望について述べる。

② パワーモジュール

パワーモジュール^(※1)においては、半導体チップの設計に加え、パッケージの電気設計、放熱設計、絶縁設計、ならびにこれらによって得られた初期の特性が一定期間保持される長期信頼性設計が重要となる。富士電機では、技術革新を繰り返し、高機能で大容量、かつ環境対応といった要求を満足するパワーモジュール開発

を進めてきた。

2.1 パワーモジュール製品

図1に、富士電機のパワーモジュール製品の応用例を示す。家電製品などの小容量用途には、第2世代小容量 IPM (Intelligent Power Module) を製品化している。インバータ、ロボット、無停電電源装置 (UPS) などの中容量産業用途には、モジュールおよび IPM を製品化しており、第7世代チップ技術やパッケージ技術を用いた「X シリーズ」が最新の製品である^{(2),(3)}。中容量市場では、HEV や EV といった車載向けのモジュール、および IPM も製品化してきた⁽⁴⁾。近年では、RC-IGBT (Reverse-Conducting Insulated Gate Bipolar Transistor) を搭載した車載用第3世代直接水冷型パワーモジュールを開発した⁽⁵⁾。さらなる小型化、高信頼性を狙い、第3世代直接水冷技術に加えて、従

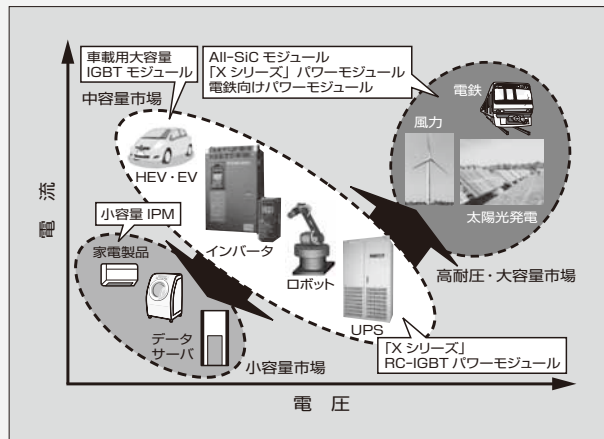


図1 パワーモジュールの製品応用例

(※1) パワーモジュール

ダイオードやトランジスタといった用途に応じた複数個のパワー半導体を配線して電気回路を形成した上でパッケージ化し、使用者の使いやすい形態としたものである。一つのモジュールの中の素子（通常は IGBT+ 逆並列接続 FWD）の数に応じて、1in1, 2in1, 6in1 などと呼ばれる。パワー素子を制御する駆動回路も搭載したものは、インテリジェントパワー

モジュール (IPM) と呼ばれる。

(※2) IPM

Intelligent Power Module の略である。パワー半導体素子に加え、駆動回路、保護回路を内蔵したパワーモジュールである。回路設計の負担を軽減できる上、専用の駆動回路を用いることで半導体素子の性能を最大限に引き出すことができる。

(※3) RC-IGBT

Reverse-Conducting (逆導通) IGBT の略である。モジュールにおいて対して使われる IGBT と FWD をワンチップ化した素子である。IGBT 部と FWD 部が交互に動作するので放熱性に優れ、モジュール内のチップ数を削減できるため、IGBT モジュールの小型化とパワー密度向上につながる。

来のワイヤ配線に替わるリードフレーム配線技術を採用したモジュールを開発した。また、第7世代チップ技術、パッケージ技術を用いたXシリーズの技術とRC-IGBT技術とを組み合わせた産業用RC-IGBTモジュールを開発した。

Xシリーズを大容量帯に拡大し、電力変換装置のさらなる小型化や効率化の要求に応えるモジュールを開発した。また、FWD^{(*)4}(Free Wheeling Diode)を低損失のSiC-SBD^{(*)5}(Schottky Barrier Diode)とし、新規パッケージを採用していっそうの高効率・高信頼性を確保し、電鉄用途にも適したハイブリッドモジュールを開発した。

2.2 All-SiC モジュール

炭化けい素^{(*)6}(SiC)は、次世代のパワー半導体材料として期待されている。SiCは、バンドギャップおよび熱伝導率がシリコン(Si)の約3倍あるため、熱励起キャリアの減少や発生した熱が拡散しやすいので高温動作が可能である。さらに、SiCを用いることにより損失を低減できるメリットもある。パワー半導体のスイッチング損失を小さくするためにはIGBT^{(*)7}をMOSFET^{(*)8}(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)に置き換えることが有効であるが、MOSFETでは導通損失が大きくなるという問題があった。SiCは、最大電界強度がSiの10倍近くあることから、よりデバイスの薄化が可能である。さらに、ドリフト層に高濃度でドーピングできるため、導通損失が低減できるメリットがある。このため、スイッチング素子にSiC-MOSFETを採用することにより、Si-IGBTに比べて損失の低減を図ることができる。このようなSiCの高耐圧、低損失、高温動作といった優れた性質を生かすことにより、小型・高パワー密度

モジュールの実現が可能となる。富士電機では、これらのSiCの優れた特徴を引き出すため、従来のパワーモジュールとは構造が大きく異なる銅ピン接合、樹脂封止技術を用いたAll-SiCモジュールを製品化している⁽⁶⁾。さらには、配電機器向けなど大容量帯の製品の開発を行っている。

SiC-MOSFETの寄生ダイオードは、ボディダイオードと呼ばれ、通電による特性劣化が問題となるため、SiC-SBDを並列接続して、ボディダイオードへの順方向電圧を低減する方法が採られてきた。さらなる小型化や低コスト化のニーズに対応するためには、SiC-SBDを使わずにボディダイオードの通電による特性劣化を抑制する技術が必要となる。富士電機では、特性劣化の原因となる基板結晶の積層欠陥の拡大を抑制する技術の開発に取り組んでいる。

3 パワーディスクリート・パワーIC

パワーディスクリート^{(*)9}は、ダイオードやMOSFETなどのパワー半導体を主に小型の汎用パッケージに搭載した単機能の素子を指す。

富士電機では、車載用DC/DCコンバータや充電器向け、パワーウインドウやパワーステアリング向けなど自動車用の電子制御部品を広く展開している。また、産業や民生分野では、UPSやパワーコンディショナ(PCS)、サーバ、通信基地局、LED照明などに使用される製品を提供している。近年、IoT(Internet of Things)の進展により、PCやサーバといったIT関連機器に加え、デジタル家電をはじめとするさまざまな機器がインターネットに接続されるようになってきている。これらの機器に各種通信機能が付加されることで、電源の占有スペースも限られてきている。そのた

(*)4 FWD

Free Wheeling Diodeの略である。還流ダイオードともいう。インバータなどの電力変換回路において、IGBTと並列に接続され、IGBTをオフした際にインダクタンスに蓄えられたエネルギーを電源側へ還流させる役割を担うデバイスである。SiのFWDでは、PINダイオードが主流である。少数キャリアも用いたバイポーラタイプであるため、順方向電流通流時の電圧降下を小さくできるが、その分、逆回復損失が大きくなる。

(*)5 SBD

Schottky Barrier Diodeの略である。金属と半導体との接合によって生じるショットキー障壁を利用した整流作用を持つダイオードである。その優れた電気特性により、SiC-SBDのFWDへの適用検討が始まっている。少数キャリアも利用するPIN(P-intrinsic-N)ダイオードと比較して、多数キャリアのみで動作するSBDは逆回復スピードが速く、逆回復損失も小さい。

(*)6 SiC

けい素(Si)と炭素(C)の化合物である。3C、4H、6Hなど多くの結晶の構造多形が存在し、構造によって2.2~3.3eVのバンドギャップを持つワイドギャップ半導体として知られる。絶縁破壊電圧や熱伝導率が高いなどパワーデバイスとして有利な物性を持つため、高耐圧・低損失・高温動作デバイスが実現できるとして実用化が進められている。

(*)7 IGBT

Insulated Gate Bipolar Transistorの略である。ゲート部はMOSFETと同じ構造で、酸化物絶縁膜で絶縁されたゲート部を持つ電圧制御型デバイスである。MOSFETとバイポーラトランジスタの長所を生かしたものである。バイポーラ動作であるため伝導度変調を用いることができるので、インバータへの応用に十分なスイッチング速度と高耐圧・低オン抵抗を両立できる。

(*)8 MOSFET

Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistorの略である。電界効果トランジスタの一つであり、酸化物絶縁膜で絶縁されたゲート部を持つ電圧制御型デバイスである。LSIでは最も一般的な構造である。ユニポーラ動作であるため高速動作が可能であるが、耐圧に応じてオン抵抗も上昇するため低耐圧・高周波デバイスとして用いられる。ゲート部が素子の表面にあり、チャンネルが素子面と平行になるプレーナゲートMOSFETに対し、トレンチゲートMOSFETでは素子に溝を形成してゲート部を溝内に埋め込み、チャンネルを素子面に対して垂直方向にしている。

(*)9 パワーディスクリート

パワー素子のIGBTやMOSFETを1素子、またはそれに逆並列にダイオードが挿入された1in1と呼ばれる回路から構成されるパワー半導体である。形状は、汎用的にピンレイアウトが決まっており、TO-220やTO-3Pなどがある。小容量タイプのPC電源、無停電電源装置、液晶ディスプレイ、小型モータの制御回路などに使われている。

め、機器に搭載する電源の小型・薄型化に貢献する半導体スイッチング素子の需要が高まっている。富士電機では、従来のプレーナ型のパワー MOSFET に替わり、損失と耐圧のトレードオフ改善にブレークスルーをもたらしたスーパージャンクション構造⁽⁷⁾を採用した SJ-MOSFET^{(*)10}「Super J MOS シリーズ」を提供している^{(8),(9)}。最新のシリーズに対し、さらに小型で薄型の面実装タイプ品の開発を進めている。

パワー IC^{(*)11} 製品としては、情報通信機器や薄型 TV といった民生機器向けに電源 IC を製品化している。また、車載用途としてはエンジン、トランスミッション、ブレーキなどの電装システム向けに IPS (Intelligent Power Switch) や圧力センサを製品化している。

省エネや環境対応のため自動車の電動化が進展しているが、ガソリンエンジン車、ディーゼルエンジン車においても、低燃費化や大気汚染物質排出量の低減が求められており、圧力センサが貢献している。吸気系では低燃費のために、圧力センサを使って空気と燃料の混合比を高度に制御している。また、排気系では、排出ガスのクリーン化のために、圧力センサを使って燃焼後のガスを再循環する量を高度に制御している。吸気系や排気系に、大気以外に混入する排出ガスなどに対する耐腐食性、電荷を持つ気化燃料に対する耐帯電性が求められている。また、燃料タンクからの漏れを検出する圧力センサも用いられている。

富士電機では 1984 年に車載用圧力センサの量産を開始し、これまで国内外の自動車に採用されている。2010 年からは、デジタルトリミング型の第 6 世代圧力センサを量産している。さらに、この第 6 世代圧力センサをベースにして、省エネ、環境対応ニーズに対応した耐腐食性能・耐帯電性能の付与、高温動作保証、小型化を実現した第 6.5 世代車載用圧力センサを開発した。




④ パワー半導体の開発状況

富士電機のパワー半導体の開発状況について概要を述べる。詳しくは本稿に続く各論文を参照されたい。

4.1 SiC トレンチゲート MOSFET 搭載 All-SiC モジュール

富士電機では、これまで、銅ピン接合と樹脂封止技術を用い、定格容量 1,200 V/100 A までの All-SiC モ

表 1 All-SiC 2 in 1 モジュールのラインアップ

項目	タイプ1	タイプ2	タイプ3L	
外形寸法 (mm)	W68×D26×H13	W68×D26×H13	W126×D45×H13	
外観				
定格	電圧 (V)	1,200		
	電流 (A)	25, 50	75, 100	200, 300, 400
端子	主端子	ソルダーピン		ねじ端子
	補助端子	ソルダーピン		
接続先	主端子	プリント基板		ブスバー
	補助端子	プリント基板		

ジュールを開発してきた。さらに容量を拡大するために、新構造パッケージを開発した。本パッケージに、低オン抵抗と高速スイッチング特性を兼ね備えた SiC トレンチゲート MOSFET を搭載し、定格容量 1,200 V/400 A の All-SiC 2 in 1 モジュールを実現した (表 1)。本パッケージでは、大電流動作に対応するために、主端子にはねじ端子を採用し、主回路配線には低インダクタンス化が可能なラミネートブスバーを採用した。また、本パッケージの構造は、絶対最大定格電圧 1,700 V までの拡張を可能としている。開発した All-SiC モジュールは Si-IGBT モジュールに対し、ターンオン損失を約 87%、ターンオフ損失を約 74%、逆回復損失を約 95% 低減した。これにより、総スイッチング損失を約 84% 低減することができる (209 ページ “SiC トレンチゲート MOSFET 搭載 All-SiC モジュール” 参照)。

4.2 SiC-MOSFET のバイポーラ劣化抑制のためのバッファ層技術

SiC-MOSFET の寄生ダイオードであるボディダイオードに通電すると、SiC エピタキシャル層中に積層欠陥が拡大し、素子抵抗が増大する。この現象はバイポーラ劣化と呼ばれている。積層欠陥は、バイポーラ動作により起こるホールと電子の再結合のエネルギーが基板界面近傍の積層欠陥に与えられることで拡大⁽¹⁰⁾。そこで、エピタキシャル層と基板の界面にホールキャリア寿命の短いバッファ層を挿入し、この層で大

(*) 10) SJ-MOSFET

ドレイン、ソース電極が素子の対向面に形成される縦型パワー MOSFET において、従来は低濃度の n 層でドリフト層を形成していた。これに対し、ドリフト層を周期的な pn カラム構造にしたものが、スーパージャンクション (SJ)-MOSFET である。SJ-MOSFET は、

従来の MOSFET と比較して、素子の $R_{on} \cdot A$ 耐圧とオン抵抗のトレードオフ特性を大幅に改善することができる。

(*) 11) パワー IC

パワー素子と制御・保護回路を一つの半導体チップ

上に集積した高耐圧 IC である。パワーエレクトロニクス機器の小型化や低消費電力化が可能となり、産業、車載、民生の各用途に応じて数十 V クラスから 1,200 V クラスまでのものが製品化されている。

部分の再結合を起こさせることで、基板欠陥近傍での再結合を減少させることを試みた。その結果、バッファ層の導入により積層欠陥の拡大は抑制され、バイポーラ劣化を起こさなくなることが確認できた（214ページ“SiC-MOSFETのバイポーラ劣化抑制のためのバッファ層技術”参照）。

4.3 配電機器向け 3.3 kV 耐圧 All-SiC モジュール


富士電機では、2014年9月から国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）のプロジェクトである“分散型エネルギー次世代電力網構築実証事業”に参画し、太陽光発電を中心とした再生可能エネルギーの導入拡大および電力・機器システム産業における国際競争力の維持・向上に資することを目的として、SiCパワー半導体を用いた次世代電圧調整機器（配電機器）およびその制御システムの開発を行っている。

SiCパワー半導体を用いた次世代の配電機器向けとして3.3 kV耐圧 All-SiCモジュールを開発した（表2）。この All-SiCモジュールでは、Si-IGBTモジュールに対してインバータ発生損失を64%低減したことにより、従来の Si-IGBTモジュールではサイズの制約上不可能であった単柱に装柱可能な配電機器が実現できる。また、モジュール構造として富士電機が既に量産している1.2 kV耐圧モジュールのコンセプト（銅ピン接合、樹脂封止構造）を用い、Si-IGBTに比べて120倍以上のパワーサイクル耐量を持ち、配電機器向けとして十分な耐量を実現した（219ページ“配電機器向け3.3 kV耐圧 All-SiCモジュール”参照）。

4.4 第7世代「Xシリーズ」1,700 V IGBTモジュール “PrimePACKTM”

電力変換装置の高効率化、小型化、高信頼性化に 대응するために、第7世代「Xシリーズ」1,700 V IGBTモジュール “PrimePACKTM”を開発した（表3）。従

表2 3.3 kV耐圧 All-SiCモジュール

外形寸法	W98×D65×H21 (mm)
定格	3,300 V/200 A
モジュール構成	1 in 1
外観	

<注> PrimePACKTM : Infineon Technologies AGの商標または登録商標

表3 Xシリーズ PrimePACKTMのラインアップ

パッケージ	定格		型式	T _{vjop}
	電圧	電流		
M271	1,200 V	900 A	2MBI900XXA120P-50	175 °C
		1,200 A	2MBI1200XXE120P-50	
	1,700 V	900 A	2MBI900XXA170-50	
		1,200 A	2MBI1200XXE170-50	
M272	1,200 V	1,400 A	2MBI1400XXB120P-50	
		1,800 A	2MBI1800XXF120P-50	
	1,700 V	1,000 A	2MBI1000XXB170-50	
		1,400 A	2MBI1400XXB170-50	
		1,800 A	2MBI1800XXF170-50	

来製品と比べて、IGBTにおいては、微細化技術と薄ウェーハ技術により、ターンオフ損失を約11%改善した。FWDにおいては、ドリフト層を薄くするとともにライフタイム制御の最適化により逆回復損失を約16%改善した。これにより、消費電力を約13.8%（キャリア周波数1 kHz）低減し、電力変換装置の高効率化を実現した。また、パッケージにも第7世代の技術を適用し、同型パッケージで従来品「Vシリーズ」の最大定格電流1,400 Aに対して1,800 A品を製品化し、最大定格電流を約29%拡大することにより、業界トップクラスの定格電流を実現した。さらに、連続動作時接合温度 T_{vjop} の175 °C化を実現した（224ページ“第7世代「Xシリーズ」1,700 V IGBTモジュール “PrimePACKTM”参照）。

4.5 大容量 SiC ハイブリッドモジュール「HPnC」

富士電機では、電力変換装置の大容量化かつ小型化の要求に対応し、電鉄用途にも適した大容量 SiC ハイブリッドモジュール「HPnC」を開発している。HPnCでは第7世代 Xシリーズ IGBTチップと SiC-SBDチップを採用したハイブリッドモジュールのライン

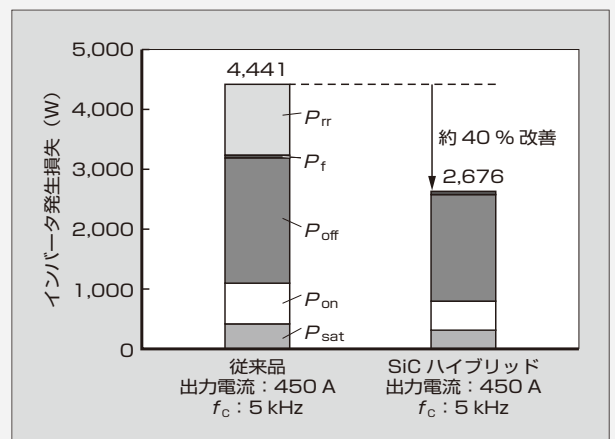


図2 インバータ発生損失シミュレーション結果

アップを検討している。パッケージは他社モジュールとの取付け互換性を確保しつつ、従来モジュールであるHPM (High Power Module) と比較して低インダクタンス化によるサージ電圧の抑制、さらなるスイッチングスピードの高速化や並列接続による大電流化に対応するとともに、端子接合に超音波接合を採用してRoHS指令にも対応した。IGBT チップの特性改善、SiC-SBD チップの採用により、インバータ発生損失を従来品から約40%改善できることを確認した(図2)(228ページ“大容量SiCハイブリッドモジュール「HPnC」”参照)。

4.6 第7世代「Xシリーズ」産業用RC-IGBTモジュールの系列化

富士電機では、第7世代のチップ技術とパッケージ技術を組み合わせたXシリーズにおいて、RC-IGBTを搭載した産業用モジュールの系列化を進めている。RC-IGBTはIGBTとFWDをワンチップ化することにより、チップ数、素子面積の低減や放熱性の増大を図ることができる。さらに、Xシリーズのパッケージ技術により熱抵抗を大幅に下げた。これにより、XシリーズRC-IGBTモジュールでは接合温度上昇 ΔT_{vj} を大幅に下げ、 ΔT_{vj} パワーサイクル耐量が劇的に向上した。従来と同等のパワーサイクル耐量の場合では高出力化を、同等の出力の場合では高信頼性化を図ることができる。このXシリーズRC-IGBTモジュールの特長を生かし、定格電流を従来の600Aから1,000Aまで拡大したXシリーズ「Dual XT」を開発した(表4、表5)(233ページ“第7世代「Xシリーズ」産業用RC-IGBTモジュールの系列化”参照)。

4.7 車載用大容量IGBTモジュール「M660」

HEVやEVの電気モータを動作させるインバータに

表4 「Dual XT」のラインアップ

定格電圧 1,200V	定格電流 (A)						
	225	300	450	600	800	900	1,000
Dual XT	VシリーズIGBT+ VシリーズFWD						
	XシリーズIGBT+XシリーズFWD					Xシリーズ RC-IGBT	

表5 「Dual XT」の特徴

定格電圧	1,200V		
代表型式	2MBI600VN-120-50	2MBI800XNE120-50	2MBI1000XRNE120-50
シリーズ名	第6世代Vシリーズ IGBTモジュール	第7世代Xシリーズ IGBTモジュール	第7世代Xシリーズ RC-IGBTモジュール
チップ	VシリーズIGBT+VシリーズFWD	XシリーズIGBT+XシリーズFWD	XシリーズRC-IGBT
熱抵抗: $R_{th(j-c)}$ (a.u.)	1/1.5 (IGBT/FWD)	0.85/1.1 (IGBT/FWD)	0.55/0.55 (IGBT/FWD)

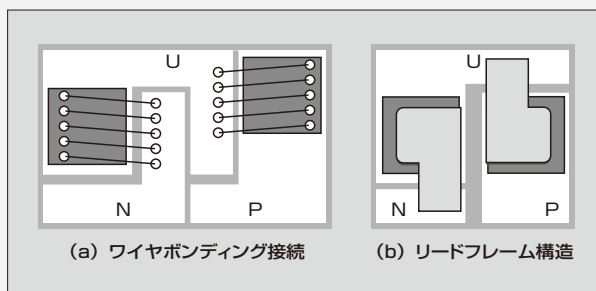


図3 ハーフブリッジ回路内部レイアウトの例

において、重要なキーコンポーネントの一つがIGBTモジュールである。車載用IGBTモジュールには、バッテリー電力を効率よく利用するための低損失化に加え、限られたスペースに搭載するために小型・軽量化などが求められる。また、一般産業用途よりもさらに高い信頼性が求められる。これに加えて、大容量化も同時に実現しなければならない。そこで、富士電機は、他社に先駆けて直接水冷方式を用いた車載用大容量IGBTモジュールを開発している。車載用大容量IGBTモジュール「M660」においては、内部配線に従来のワイヤに替わりリードフレームを採用した(図3)。また、樹脂封止構造とすることにより、製品の小型化とパワーサイクル耐量の向上を行った。さらに、従来よりも特性を改善したRC-IGBTチップの採用とウォータージャケット一体型冷却構造の最適化により、汎用6in1IGBTモジュールとしては世界最大容量の定格750V/1,200Aを実現した(238ページ“車載用大容量IGBTモジュール「M660」”参照)。

4.8 第6.5世代車載用圧力センサ

圧力センサは、自動車の環境負荷を低減するためのエンジンマネジメントを高精度化し、燃費効率を向上するためのキーデバイスの一つである。富士電機では第6世代圧力センサをベースに、耐腐食性能や耐帯電性能を向上し、150℃の動作を保証しつつパッケージサイズを小型化した第6.5世代車載用圧力センサを開発した(図4)。すすなどの外来異物からセンサチップやワイヤを保護するためにゲル状保護材で被覆している。しかし、排出ガス、ガソリンおよび軽油の気化燃料は、この保護材を透過してチップ表面のボンディ

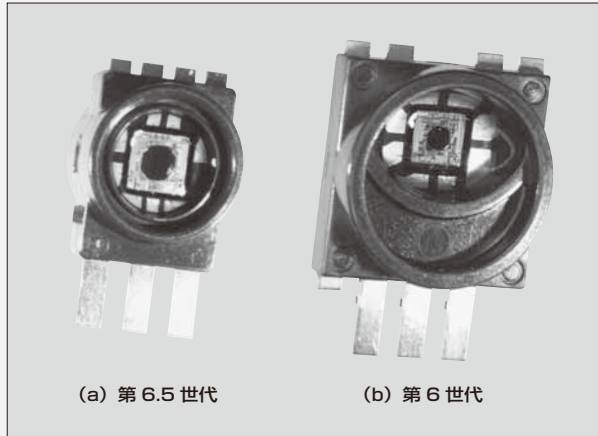


図4 車載用圧力センサ

ングパッドを腐食することがある。そこでこの腐食を防ぐために、腐食防止部を採用した。また、圧力を電気信号に変える圧電抵抗体を配置したダイヤフラムの可撓(かとう)部に対し、ポリシリコンを用いたシールド構造を採用し、構造を最適化することにより帯電粒子の付着による圧電抵抗値の変動を抑制して耐帯電性を向上させた。さらに、回路ブロックの温度特性の最適化を図ることにより、高温動作領域における特性の悪化を抑制し、高温動作保証温度を従来製品の125℃から150℃まで上げた。このように、耐腐食性、耐帯電性の付与、保証温度の高温化を図りつつ、パッケージサイズは第6世代品に対し、体積比で約48%に低減させた(242ページ“第6.5世代車載用圧力センサ”参照)。

4.9 650V 耐圧 PWM 電源制御 IC 「FA8A80 シリーズ」

電子機器向けのスイッチング電源においては、高効率化、低待機電力化および小型化が求められている。加えて、新興国などでは、経済の発展に伴い電子機器の普及が進んでいる一方で、電源事情が不安定な場合がある。そのため、電源ラインからの高いサージに対する耐量の確保など安全性向上の要求がますます強くなっている。

富士電機はこれまでに、高効率で、かつ低待機電力機能を内蔵した小型パッケージ(SOP-8: Small Outline Package)のスイッチング電源制御用カレントモードPWM-IC「FA8A60シリーズ」を製品化している。今回、FA8A60シリーズの優れた特徴を保持しつつ、新たに電源装置の小型化や、安全性を向上する機能を内蔵した650V耐圧PWM電源制御IC

表6 「FA8A80 シリーズ」の機能概要

項目	FA8A80シリーズ	FA8A60シリーズ
起動素子	内蔵	
高圧入力端子最大印加電圧	650V	500V
高圧入力端子ESD耐量(HBM)	±2kV	+1kV/-2kV
LAT端子最大シンク電流	500μA	100μA
外部ラッチ機能	内蔵	
スイッチング周波数低減機能	内蔵	
周波数低減状態設定機能	内蔵	
バースト動作調整機能	内蔵	
過負荷保護レベル 交流入力電圧補正機能	内蔵	
パワーオフモード	内蔵	
待機電力(無負荷時)	30mW以下	

「FA8A80 シリーズ」を開発した。FA8A60シリーズをベースに、AC電源に接続される高圧入力端子の最大印加電圧を500Vから650Vへと高耐圧化させると同時に、起動素子(VH)端子のESD(静電気放電)耐量を2kVに改善することによりサージ耐量を向上させた(表6)。

加えて異常時に電源動作を停止させる異常検出信号入力(LAT)端子の特性改善により、ICの保護対策部品を削減でき電源装置の小型化につながる(246ページ“650V耐圧PWM電源制御IC「FA8A80シリーズ」”参照)。

4.10 DFN8×8パッケージの「Super J MOS S2 シリーズ」「Super J MOS S2FD シリーズ」

エネルギー消費の増加に伴い、電気機器における電力変換部の高効率化が求められている。加えて、電気機器の設置スペースを確保するため電力変換部の小型化も重要な要求の一つである。富士電機では、搭載機器の消費電力削減に貢献する素子の低損失化の要求に応えるために「Super J MOS シリーズ」を提供している。最新シリーズである「Super J MOS S2 シリーズ」(S2シリーズ)およびS2シリーズの寄生ダイオードを高速化した「Super J MOS S2FD シリーズ」(S2FDシリーズ)において、従来のD2-PACKパッケージよりも小型で薄型の面実装タイプであるDFN8×8パッケージを系列に加えた(図5)。DFN8×8パッケージはリード端子を持たない表面実装用の

(* 12)PWM

Pulse Width Modulation(パルス幅変調)の略である。スイッチング素子を用いた電力制御の方式の一つである。

る。DC入力に対し、一定周波数でオン・オフを繰り返す。DC-AC変換を行う際などに一般的に用いられている。DC-AC変換を行う際などに一般的に用いられている。

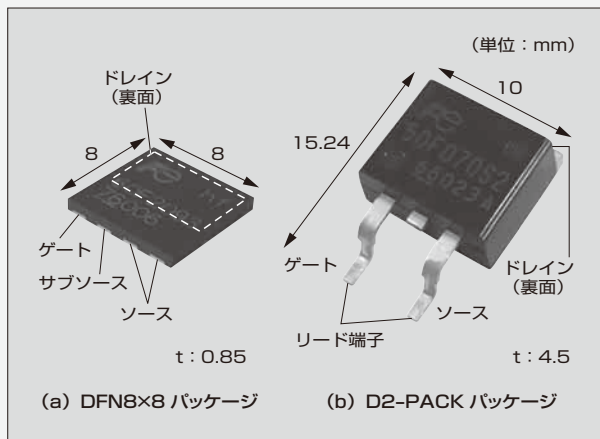


図5 DFN8×8パッケージの外観

構造であり、D2-PACKのようなリード端子を持ったパッケージよりもプリント基板への高密度実装が可能である。DFN8×8パッケージはD2-PACKと比べて、実装面積を58%、パッケージ高さを81%、パッケージ体積を92%それぞれ減少できる。さらに、D2-PACK品に対して単位実装面積当たりのオン抵抗を52%低減し、単位実装体積当たりのオン抵抗は91%低減している。また、サブソース端子を設けることにより、ゲート駆動回路からソース配線のインダクタンスの影響を取り除くことが可能であるため、標準的な3端子パッケージ品であるTO-220と比較してスイッチング損失を30%低減している。そのため、従来のパッケージ製品よりも電源の高周波動作が可能となり、電源の小型化・高電力密度化への貢献が期待できる(251ページ「DFN8×8パッケージの「Super J MOS S2シリーズ」「Super J MOS S2FDシリーズ」参照)。

5 あとがき

富士電機は、創業以来、エネルギー技術の革新に取り組んできており、経営方針として“エネルギー・環境技術の革新により、安全・安心で持続可能な社会の実現に貢献”を掲げている。パワーエレクトロニクス技術は、ますますニーズが高まる省エネルギー化、低炭素化、環境保全を牽引(けんいん)するものであり、このキーデバイスであるパワー半導体の技術革新を通じて、持続可能な社会の実現に貢献していく所存である。

参考文献

(1) 手塚伸一ほか. 第2世代小容量IPMの系列化. 富士電機

技報. 2016, vol.89, no.4, p.261-265.

- (2) 川端潤也ほか. 第7世代「Xシリーズ」IGBTモジュール. 富士電機技報. 2015, vol.88, no.4, p.254-258.
- (3) Thomas Heinzl, et al. “The New High Power Density 7th Generation IGBT Module for Compact Power Conversion Systems”, Proc. PCIM Europe 2015.
- (4) 郷原広道ほか. ハイブリッド自動車用IPMパッケージ技術. 富士電機技報. 2013, vol.86, no.4, p.258-262.
- (5) 荒井裕久ほか. 車載用第3世代直接水冷パワーモジュール. 富士電機技報. 2015, vol.88, no.4, p.269-273.
- (6) 仲村秀世ほか. All-SiCのパッケージ技術. 富士電機技報. 2015, vol.88, no.4, p.241-244.
- (7) Fujihira, T. “Theory of Semiconductor Superjunction Devices”, Jpn. J. Appl. Phys, vol.36, p.6254-6262.
- (8) 渡邊荘太ほか. 第2世代低損失SJ-MOSFET「Super J MOS S2 シリーズ」. 富士電機技報. 2015, vol.88, no.4, p.292-295.
- (9) 渡邊荘太ほか. 高速ダイオードを内蔵した第2世代低損失SJ-MOSFET「Super J MOS S2FD シリーズ」. 富士電機技報. 2016, vol.89, no.4, p.289-293.
- (10) 西川陸雄ほか. 第6世代小型圧力センサ. 富士時報. 2010, vol.83, no.6, p.420-424.
- (11) Maeda, K. et al. Mater. Sci. Forum 725 (2012) 35.



藤平 龍彦

電子デバイスの研究開発に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部開発統括部長。工学博士。電気学会会員、応用物理学会会員、日本金属学会会員、IEEE 会員。



宝泉 徹

パワー半導体の経営全般に従事。現在、富士電機株式会社執行役員、電子デバイス事業本部副本部長。電気学会会員。



栗原 俊治

電子デバイスの生産部門に従事。現在、富士電機株式会社電子デバイス事業本部生産統括部長。



*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。