

パワー半導体の現状と展望

Power Semiconductors: Present Status and Future Outlook

宝泉 徹 Toru Housen

柳沢 邦昭 Kuniaki Yanagisawa

風力発電やメガソーラなどの大規模な新エネルギー分野の拡大に合わせ、大容量モジュールの開発と製品化を進めており、耐圧 1,700 V/電流定格 3,600 A までの IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) モジュールを系列化している。新材料を用いた次世代デバイスを外部機関と共同開発している。高速スイッチングを適用した高速ディスクリット IGBT を開発し、機器の高効率化に貢献している。電源制御 IC は独自の制御方式により、省エネ化、小型化、低ノイズ化を実現し、機器の高性能化に貢献している。自動車用デバイスでは、IPS (Intelligent Power Switch) や圧力センサなどを製品化している。

With the growth of new energy sectors, such as wind power and mega solar, large-capacity modules are being developed and commercialized and Fuji Electric's line-up of IGBT (insulated gate bipolar transistor) modules is rated up to 1,700 V/3,600 A. Wide bandgap semiconductors are being developed jointly with third-parties. High-speed discrete IGBTs for fast switching have been developed and are contributing to the realization of higher efficiency equipment. Power supply control ICs utilize a proprietary control method more energy efficient, smaller size and lower noise, and are contributing to the realization of higher performance equipment. Automotive devices such as IPS (intelligent power switch) and pressure sensors are being commercialized.

1 まえがき

2008 年の世界同時不況を境に、世界各国が実施した環境分野を中心とした補助金制度などの景気刺激策の効果で、2010 年に入り経済環境は急激な回復を見せている。この間、環境に関する省エネルギー (省エネ) 機器や環境対応車、太陽光発電や風力発電などの新エネルギー関連事業が急速に拡大してきた。また、日本では記録的な猛暑日が続き、局地的な豪雨による災害が世界的に発生しており、異常気象と呼ばれる現象が身近に感じられるようになり、環境に対する関心はますます高くなってきている。

富士電機では、2009 年からの新 3 年計画で“エネルギー・環境”事業へ注力し、これらを通じて社会に貢献する企業を目指すことを発表した。CO₂ 削減などの地球環境保護や再生可能エネルギー分野の発展を実現するための中核をなすのは、パワーエレクトロニクス (パワエレ) 技術であり、富士電機は長年パワエレ技術の革新に取り組んできた。パワエレ技術は、エネルギーを動力に変えるための重要技術の一つであり、その基幹部品であるパワー半導体はますますその重要性を増してきている。

本稿では、富士電機が取り組んでいるエネルギー・環境分野に貢献するパワー半導体を中心に、その代表であるパワーモジュール、次世代デバイス、パワーディスクリット、電源制御 IC および自動車用デバイスについて、その現状と今後の展望を紹介する。

2 パワーモジュール

パワーモジュール分野では、エネルギー・環境をキーワードに IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) パワーモジュールの開発を進めている。特に、従来中容量分

野での製品系列を多く取りそろえていたが、風力発電やメガソーラなどの大規模な新エネルギー分野の拡大に合わせ、大容量モジュールの開発製品化を進めている。耐圧 1,700 V/電流定格 3,600 A までの IGBT モジュールを系列化し、耐圧 3,300 V の IGBT モジュールのサンプル展開を進めている。

現在、IGBT パワーモジュールを構成する IGBT チップの中心は、第 6 世代 IGBT チップ「V シリーズ」である。V シリーズは、微細加工を適用し FS (Field Stop) 構造を最適化して、低オン電圧・高速スイッチング・破壊耐量のトレードオフを改善し、理論限界に近い性能を達成している。この V シリーズチップを活用し、新しいパッケージ構造を採用した新製品系列の拡大を図っている。特に、新しい PIM (Power Integrated Module) や 6 個組モジュールでは外部接続端子を PCB (Print Circuit Board: プリント基板) 挿入方式とし、はんだ付け工程の削減を可能にした。また、新構造 2 in 1/1 in 1 IGBT モジュールでは、パッケージ内部のインダクタンスを 50% 削減し、高信頼性を実現した。さらに、鉛フリー (RoHS 対応) 化や 175℃ までの高温動作を可能にしている。

また、装置の高効率化が実現可能なマトリックスコンバータや、アドバンスド NPC (A-NPC: Advanced Neutral-Point-Clamped) 方式のインバータ^(注2)用に、富士電機には、独自の技術を適用し逆方向耐圧を持つ RB-IGBT (Reverse Blocking IGBT) チップがある。このチップを用いて、図 1 に示すように従来 IGBT と組み合わせた A-NPC 回路用 IGBT モジュールやマトリックスコンバー

〈注 1〉 RoHS 指令: 電気電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限についての EU (欧州連合) の指令

〈注 2〉 3 レベルインバータ技術: 425 ページ「解説」参照

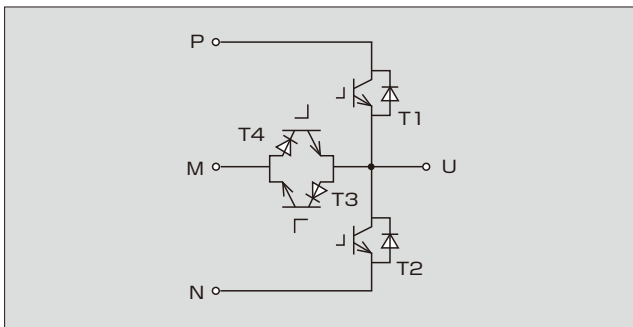


図1 A-NPC インバータの等価回路

タ用の双方向スイッチング IGBT モジュールを開発した。
 富士電機では、ハイブリッド車向けに IGBT モジュール、IPM (Intelligent Power Module) をはじめ、一般用 IGBT の 2 倍の電流密度を持つ両面冷却パッケージ構造に適用するめっき適用 IGBT やダイオードチップなどを開発してきた。これらはいずれも 600 V または 1,200 V 耐圧の製品である。近年、ハイブリッド車や電気自動車のモータ容量が大きくなってきている。モータ出力電流の増加に伴い、モジュールの耐圧最適化による効率向上の要求が高くなった。この要求に応えるため、マイルドハイブリッド車用として耐圧 750 V の IGBT モジュールを開発し、従来に対し約 30% の損失低減を実現した。

パワーモジュール分野では、“エネルギー・環境”分野のキーデバイスとして IGBT のさらなる性能改善に向けた技術開発を進め、顧客ニーズに合った製品開発を行っている。

3 次世代デバイス

現在の中心である第 6 世代 IGBT は、シリコンの理論限界に近づきつつあるため、これまでのような画期的な性能向上が期待できなくなっている。そこで、注目されているのが、炭化けい素 (SiC) や窒化ガリウム (GaN) を材料とした次世代デバイスである。富士電機では、2009 年度より外部機関との積極的な共同開発を実施し、実用化に向けて開発の加速を図っている。

SiC では独立行政法人産業技術総合研究所と共同で、MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) やショットキーバリアダイオードの開発を進めている。2010 年度のサンプル展開を実施する予定である。SiC デバイスを使用することで、従来のシリコンに対し 50% 以上の損失低減が可能であり、パワエレ機器の技術革新に大いに貢献できると考える。

一方、GaN では、古河電気工業株式会社と次世代パワーデバイス技術研究組合を設立し、実用化に向けた研究を推進している。GaN は、シリコンウェーハの上に形成することが可能なことから SiC に比べ安価にできる可能性を持っている。富士電機では、2011 年度中に量産化のめどを付ける予定である。

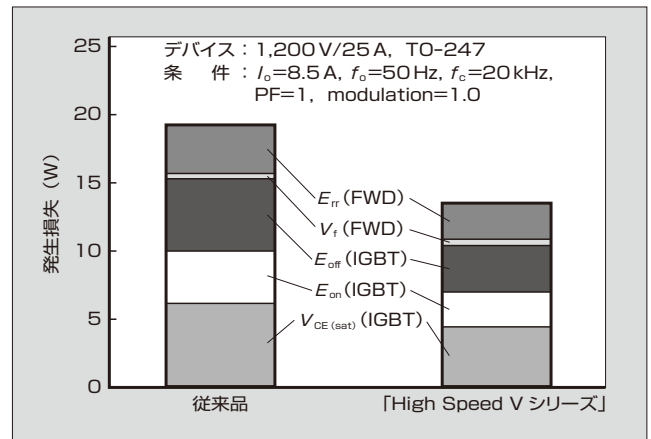


図2 ディスクリート IGBT の 1,200 V 系損失データ

4 パワーディスクリート

近年のインターネットの普及や写真などのデジタルデータの保管といった目的で、小型コンピュータの応用システムが拡大し、小型 UPS (Uninterruptible Power Supply) の重要性が認識されている。また、太陽光発電の普及に伴い、使用されるパワーコンディショナも増加している。これら UPS やパワーコンディショナは常時動作していることから、省資源やランニングコスト削減のため高効率化の要求が強い。これらの要求に対応するため、第 6 世代 IGBT 技術を適用し、高速スイッチングを可能にした高速ディスクリート IGBT 「High Speed V シリーズ」を開発した。内蔵している FWD (Free Wheeling Diode) も高速化を図り、1,200 V 耐圧の製品では、図 2 に示すように従来品に対し約 30% の損失低減を図った。

また、富士電機では薄型テレビやパソコン、サーバなどのスイッチング電源向けに各種デバイスを開発している。高耐圧の MOSFET では、プレーナ型 MOSFET としては世界最高性能の $R_{on} \cdot A$ (単位面積で規格化したオン抵抗) を持つ「SuperFAP-E³シリーズ」を開発し展開している。SuperFAP-E³シリーズは低損失と低ノイズ化を実現し、機器の高効率化に貢献してきた。また、「SuperFAP-E³」に対し約 1/4 と世界最高水準の $R_{on} \cdot A$ を持った Superjunction MOSFET (SJ-MOSFET) の開発も進めている。SJ-MOSFET は、その低オン抵抗性能により、電源の力率改善回路に使用した場合約 15% の損失低減が可能となる。早期の製品化に向け開発を加速していく。

一方、ダイオードでは、超低 I_R ショットキーバリアダイオードや 30 A 以上の大容量品の開発系列化を進めており、太陽光発電分野や大型電源向けに展開している。

富士電機では、ますます厳しくなる高効率化や小型化などの要求に応えるため、従来のシリコンでの技術革新のみでなく、シリコンに対し圧倒的な低損失化を実現する SiC や GaN などの次世代デバイスの開発を加速していく。

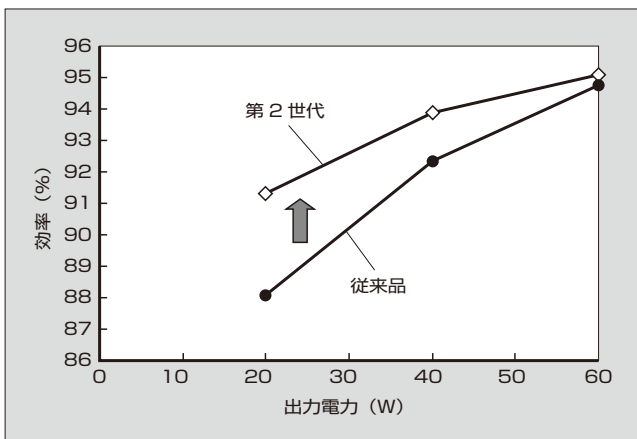


図3 電源制御 IC の効率

5 電源制御 IC

電源制御 IC は、富士電機独自の制御方式を開発し製品に適用することで、スイッチング電源の省エネ、小型化、低ノイズを実現し、機器の高性能化に貢献している。機器の省エネ化に伴いスイッチング電源の適用が一般化しているが、コンデンサインプット型の整流・平滑方式のため電源高調波の問題が発生し、法的規制が行われている。この問題を解決するために力率改善 (PFC: Power Factor Correction) 回路が広く使われている。一方、各種電子機器の省エネ規制は年々厳しくなり、待機電力や軽負荷時の効率向上が求められ、PFC 回路においてもその対応が重要である。富士電機では、このような要求に対応するため、軽負荷時のスイッチングの最大発振周波数を制限することで図3に示すように高効率を実現し、周辺回路部品の削減を可能とした第2世代臨界モード PFC 制御 IC 「FA5590 シリーズ」を開発した。

また、サーバなどの比較的大容量電源向けにハイサイドのドライバを内蔵した高耐圧 IC (HVIC: High Voltage IC) の技術開発を行った。富士電機が開発した HVIC 技術は耐圧が 800 V であり、駆動する MOSFET よりも高耐圧のため破壊するリスクが少ない。さらに、ターンオン・ターンオフの伝達遅延時間を 100 ns 以下に設定し、効率向上に貢献することができる。今後は、今回開発した技術を適用した製品化を行う。

さらに、製品開発をサポートするシミュレーション技術の高度化にも努めている。設計の効率化のためには、シミュレーションによる十分な検証が不可欠であり、本特集でその一端を紹介する。

電源制御用 IC では、高効率化、省エネ化、小型化などの要求に対応するために、富士電機独自の制御技術や特徴あるプロセス技術の研究開発に継続して取り組んでいく。

6 自動車用デバイス

富士電機では、産業用や電源用で培った競争力のある高

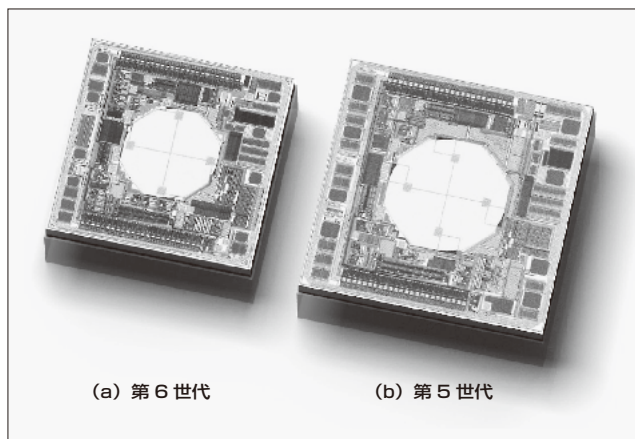


図4 圧力センサチップ

いデバイス技術を基に、自動車分野向けに高信頼性技術を適用した IPS (Intelligent Power Switch)、圧力センサ、イグナイタ用 IGBT、ハイブリッド車用 IGBT 駆動 IC などを展開している。環境・安全・快適をキーワードとして、これらを実現する製品が求められている。このような要求に対応するリニア制御用 IPS と第6世代小型圧力センサを紹介する。

(1) リニア制御用 IPS 「F5064H」

オートマチックトランスミッションでは、リニアに油圧を変えられるリニア制御方式が増加しており、リニアソレノイドに流れる電流を高精度で検出する必要がある。そのため今回開発した IPS は、新回路の適用、デバイスの最適化などを行い、高精度検出用オペアンプを搭載した。

また、オペアンプの入力部の保護のため、30kV 以上の ESD (Electrostatic Discharge) 耐量を持つ保護素子を内蔵し、入力端子がオープンになった場合に出力をオフさせる機能などを内蔵した。出力段 MOSFET には、高耐圧 MOSFET に採用している QPJ (Quasi Plane Junction) 技術を採用することで、従来に対し 25% の低 $R_{on} \cdot A$ を実現した。高精度検出と低損失化により、ECU の小型化への貢献が可能となる。

(2) 第6世代小型圧力センサ

自動車分野も低燃費車などの環境対応が進んでいる。圧力センサはエンジンの高効率化 (低燃費化) やクリーン化のためのキーデバイスとして、吸気圧測定や大気圧測定などに使われる。富士電機では、CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) プロセスをベースに独自の高信頼性回路技術や高度な MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を適用した第5世代の圧力センサを量産し、国内外の自動車や二輪車に採用されている。新しく開発した第6世代圧力センサは、センサ部 (ダイヤフラム) の形状最適化や回路部の微細化を行うことで、第5世代の機能や性能を維持しつつチップサイズを 70% まで低減した。図4に外観比較を示す。今後この技術を適用して製品系列の拡充を行う予定である。

富士電機の自動車用デバイスは、今回紹介した製品のほかに富士電機独自の技術を使ったワンチップ型イグナイタ

などがある。今後も独自の技術を生かし、新しい技術を取り入れながら顧客の要求に応えるような高信頼性で高性能な製品開発を続けていく。

7 あとがき

富士電機では、“エネルギー・環境”をキーワードにして社会に貢献することを経営目標に掲げている。その実現のためには、パワーエレクトロニクス技術がコアとなり、その基幹部品であるパワー半導体の技術革新が不可欠である。

本稿で述べたとおり、富士電機はエネルギー・環境分野に貢献する特徴あるパワー半導体製品の開発に努めており、低損失化、高機能化、小型化、低ノイズ化、高信頼性化などを革新的で独自の技術で実現していく。今後もお客さま

の要求に早く応えるため継続的に技術開発を進め、お客さまの視点での製品開発を行っていく所存である。



宝泉 徹

パワー半導体の開発に従事。現在、富士電機システムズ株式会社半導体事業本部半導体統括部長。電気学会正員。



柳沢 邦昭

富士電機システムズ株式会社執行役員、半導体事業本部長。





*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。