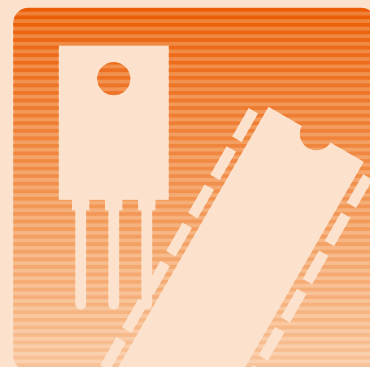


電子デバイス

パワー半導体
感光体
ディスク媒体



展 望

パワー半導体

地球環境保護やエネルギーの安定供給確保のために、再生可能エネルギーの普及“創エネルギー”と、その効率的な利用“省エネルギー”を支えるパワーエレクトロニクス技術に対する世の中の期待は非常に大きい。このような中、富士電機は、エネルギー変換効率が高く、低ノイズで地球環境にやさしいパワー半導体製品を開発し、それらは、環境・エネルギー分野の製品や、産業機械、自動車および家電製品に適用され、世の中に貢献している。

パワー半導体に幅広く適用されている IGBT は、1980 年代に開発され、現在の主流は第 6 世代に及ぶ。富士電機はさらなる低損失化、高放熱、高耐熱化技術を確立し、第 7 世代 IGBT を開発した。近年、新材料として注目されている SiC（炭化けい素）の開発も進め、Si-IGBT と SiC-SBD との複合製品 SiC-MOSFET を適用した第 1 世代の All-SiC モジュールを開発した。

環境・エネルギー分野では、太陽光発電用 PCS 向けの 3 レベル変換回路用 IGBT モジュールの製品系列をさらに拡充した。システムの高電圧化に対応可能な中間スイッチ部に 1,200 V 耐圧の富士電機独自の RB-IGBT を適用した、AT-NPC 回路構成のモジュール製品を量産化した。また、直流電圧 1,500 V システムに対応する NPC3 レベル対応モジュールをラインアップに加えた。

産業機械分野では、サーボアンプの多軸対応に適した IPM 製品を開発した。放熱設計の最適化により IPM の外形を小さくでき、多軸サーボアンプの小型化に貢献する。

家電製品や小容量の産業用モータドライブ向けに、システムの小型化・省エネルギーの要求に対応した第 2 世代小容量 IPM を製品化した。第 7 世代 IGBT 技術を適用し、第 1 世代品に対して定格・最大負荷領域で 20% 以上の低損失化を実現している。

自動車分野では、第 6 世代圧力センサの系列に燃料ガス用の相対圧センサを追加した。-80 ~ +5 kPa レンジの圧力を $\pm 1.5\%$ F.S. 以下 (25℃) の精度で測定でき、燃料供給システムの内圧監視により、有害な燃料ガスの排出抑制に貢献する。さらに、電気自動車、ハイブリッド車などの

モータ駆動に用いられる車載 IGBT の分野では、富士電機独自の直接水冷構造と逆導通型の RC-IGBT チップを用いた製品の系列化を進めている。

電源分野では、通信・エネルギー分野を含むさまざまな用途向けに、高効率な電力変換を実現する第 2 世代低損失 SJ-MOSFET「Super J MOS S2 シリーズ」を製品化した。第 2 世代品では、単位面積で規格化されたオン抵抗をさらに低減し、ターンオフ時のスイッチング損失と電圧サージのトレードオフを改善することで、電力変換効率の向上と使いやすさを両立している。また、電源事情が不安定な新興国向けの家電製品に適した、電源ラインからのサージに強く低待機電力機能を内蔵した高電圧入力対応 PWM 制御 IC「FA8A80 シリーズ」を製品化した。

これからも、地球にやさしいパワー半導体製品を開発し、安全・安心で持続可能な社会の実現を目指していく。

感光体

プリンタや複写機などの電子写真機器に用いられる感光体は、印刷コスト低減を目的とした高速化・高耐久化が求められている。

2015 年度は、新たな添加剤の開発などにより光疲労に伴う画質劣化を解消した高速対応有機感光体を開発・量産化すると共に、次世代高耐久型有機感光体の基本設計を完了した。今後も、これらの高耐久型感光体の量産化を含めて顧客ニーズに応えた感光体を提供し、オフィス環境の省エネルギー、コスト削減、業務効率向上に貢献していく。

ディスク媒体

ハードディスクドライブ (HDD) 向け磁気記録媒体は、クラウドサーバ向けの需要が引き続き旺盛であり、大容量・低コスト化がますます重要となっている。

富士電機は 2015 年度に大容量化が可能な瓦書き記録方式に適した媒体の基本層構成を確立し、2016 年度には記録容量が 1 TB / 枚の 2.5 インチ媒体の量産を開始する予定である。今後も、大容量記録媒体の開発を推進し、IT インフラの中核である高信頼性ストレージを提供していく。

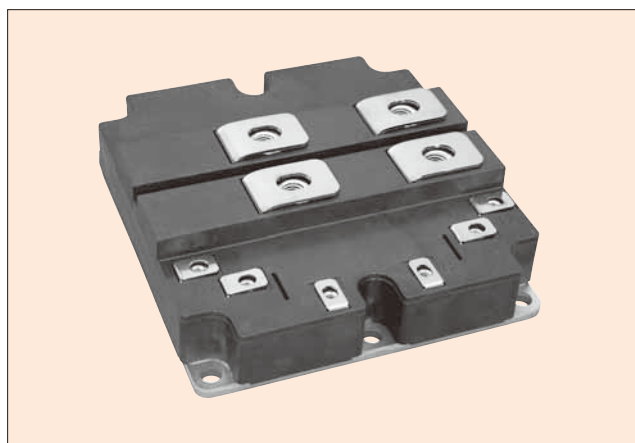
パワー半導体

① 1,700 V 耐圧 SiC ハイブリッドモジュール

近年、高耐熱性と高破壊電界耐量特性を持つ SiC（炭化けい素）デバイスにより、Si デバイスでは実現が困難である飛躍的な低損失化が期待されている。富士電機は、これまでに SiC-SBD（Schottky Barrier Diode）チップと Si-IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）チップとを組み合わせで搭載した、SiC ハイブリッドモジュールを製品化している。今回、新たに電気鉄道の主電源向けに 1,700 V 耐圧 SiC ハイブリッドモジュールを開発した。本製品は、損失を重視した標準仕様に加え、定常損失と低ターンオフサージ電圧を重視した低 $V_{CE(sat)}$ 仕様との 2 系列を持つ。標準仕様では、従来の Si モジュールに対してインバータ動作における発生損失の 32% 低減（キャリア周波数 3 kHz）を実現した。

●関連論文：富士電機技報 2015, vol.88, no.4, p.245

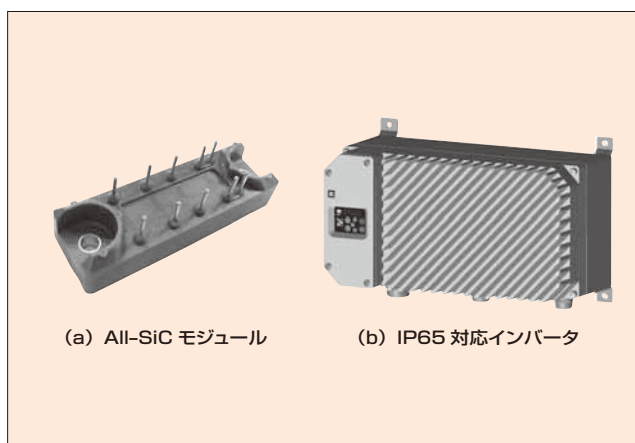
図1 1,700 V 耐圧 SiC ハイブリッドモジュール



② 小容量 All-SiC モジュール

富士電機では、低炭素社会の実現に向け、2014 年に 1,200 V/100 A 定格の All-SiC モジュールを搭載した太陽光発電用パワーコンディショナ（PCS）を製品化した。今回、さまざまなアプリケーションへの展開を見据え、最大 50 A 定格である小容量 All-SiC モジュールを開発した。定格容量に応じたパッケージ構造の最適化により、フットプリントサイズを 100 A 定格品と比較して 30% 低減した。また、従来の Si 製品と比較して 44% の低損失化を実現した。さらに、高温動作保証、高信頼性、低熱抵抗という本パッケージの特長を生かし、自冷構造を持つ密閉空間内にモジュールを適用することで、耐環境性を強化した防じん防水型の高性能コンパクト型 IP65 対応インバータの開発に寄与した。

図2 All-SiC モジュールと IP65 対応インバータ

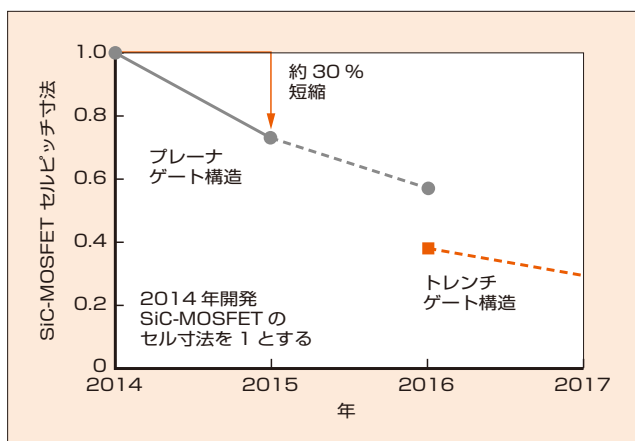


③ 6 インチ SiC-MOSFET

富士電機では、6 インチ SiC（炭化けい素）基板を用い、動作時のオン抵抗をより低減したプレーナゲート構造の SiC-MOSFET（Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor）を開発した。特性改善のため、セルピッチ寸法やチャネル長を従来品に対して約 30% 短縮し、600 V、1,200 V、1,700 V 定格のプレーナ型 SiC-MOSFET を系列化した。

2016 年度は、SiC-MOSFET と SiC-SBD（Schottky Barrier Diode）とを搭載した All-SiC モジュール、およびディスクリット SiC-MOSFET の製品化を計画している。また、よりいっそうの低オン抵抗化のため、プレーナゲート構造でのさらなる微細化とともに、トレンチゲート構造の SiC-MOSFET の技術開発を進めている。

図3 SiC-MOSFET の微細化ロードマップ



パワー半導体

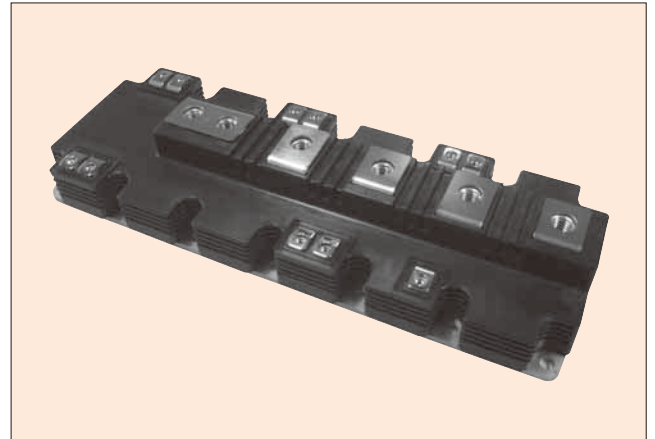
④ 大容量 3 レベル用 IGBT モジュールの系列拡充

富士電機は、風力発電や太陽光発電などの再生可能エネルギー分野に適用される大容量 3 レベル用 IGBT モジュールの開発に注力しており、市場から高い評価を得ている。

大容量 3 レベル用 IGBT モジュールは、3 レベル電力変換回路を 1 パッケージにして大容量化したものである。今回、T-type モジュールの定格 1,700 V/450 A、600 A を製品化し、系列を拡充した。電力変換効率の向上と装置の小型化を実現し、並列接続による装置の大容量化も容易である。さらに、太陽光発電における出力の高電圧化に備え、DC1,500 V に対応できる I-type モジュールの定格 1,200 V/600 A を製品化する。主な特徴を次に示す。

- (1) T-type : RB-IGBT を適用して高効率化を実現
- (2) I-type : T-type と端子の互換性があり置換が容易

図 4 T-type と I-type 共通の大容量 3 レベル用モジュール



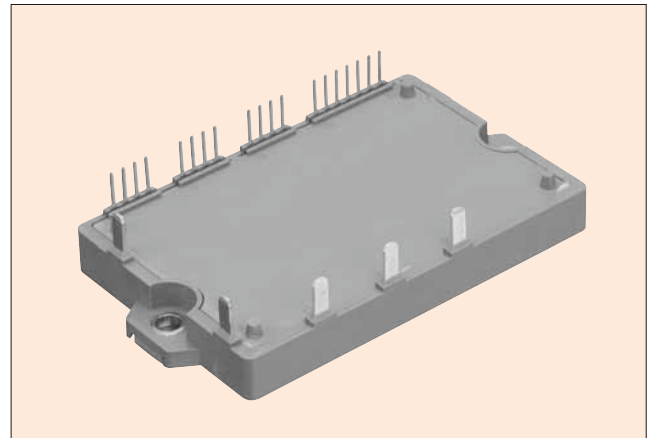
⑤ 「V シリーズ」 IPM 高放熱タイプ「P626 パッケージ」

近年、サーボアンプには、小型化、多軸化、およびキャリア周波数アップによる高性能化が要求されている。そのため、適用される IPM では小型化をはじめ、チップ温度の低減、パワーサイクル寿命の確保が重要な課題である。

今回、高熱伝導の窒化アルミニウム絶縁基板を適用した高放熱タイプ「P626 パッケージ」を開発し、「V シリーズ」IPM の系列を拡充した。熱抵抗を 30% 低減することでチップ温度上昇を低減すると同時に、パワーサイクル寿命の大幅な改善を実現した。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 定格電圧／電流 : 600 V/75 A (6 in 1)
- (2) 外形寸法 : W87×D50×H12 (mm)
- (3) 熱抵抗 $R_{th(j-c)max}$: 0.43 °C/W (IGBT),
0.65 °C/W (FWD)

図 5 「P626 パッケージ」

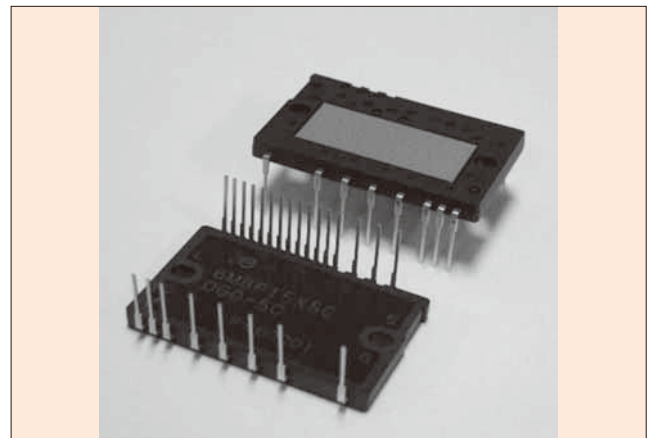


⑥ 第 2 世代小容量 IPM

富士電機は、省エネルギー（省エネ）要求の高いエアコン、洗濯機などの家電製品や産業用モータドライブ市場において、インバータシステムの構築に必要なパワーデバイスや制御 IC などを 1 パッケージに集積した第 2 世代小容量 IPM を開発した。第 2 世代小容量 IPM は、第 7 世代 IGBT 技術をベースとすることで低損失を実現している。その適用効果として、エアコン運転時の全負荷範囲において従来品に対して損失を低減し、特に省エネ性能に影響を与える中間負荷領域において 10% の低損失化を実現している。動作保証温度範囲を 125 °C から 150 °C に広げたことで許容出力電流が約 25% 拡大し、省エネの実現、出力電流の拡大、およびシステム設計の自由度が向上した。

➡ 関連論文 : 富士電機技報 2015, vol.88, no.4, p.259

図 6 第 2 世代小容量 IPM



パワー半導体

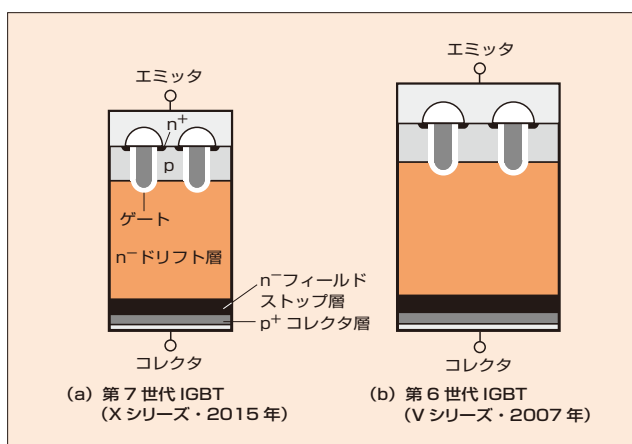
⑦ 第7世代 IGBT チップ

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) モジュールの市場規模は今後も拡大が期待されており、特に環境・エネルギー分野では電力変換装置に対する低損失化の要求が高まっている。この要求に応えるため、第7世代 IGBT・FWD (Free Wheeling Diode) チップの開発を行った。

IGBT チップは、表面構造を微細化し、ドリフト層を薄くすることにより、第6世代 IGBT に対してオン電圧 25% (0.5 V) 低減、ターンオフ損失 10% 低減と、大幅に特性を改善した。FWD チップは、シリコン厚さを薄くするとともに、新たなライフタイムの制御方法によってキャリア分布の最適化を行った。この結果、低損失化とソフトリカバリー化を同時に実現し、同一サージ電圧で逆回復損失の 30% 低減を達成した。

●関連論文：富士電機技報 2015, vol.88, no.4, p.254

図7 第7世代 IGBT チップの断面構造

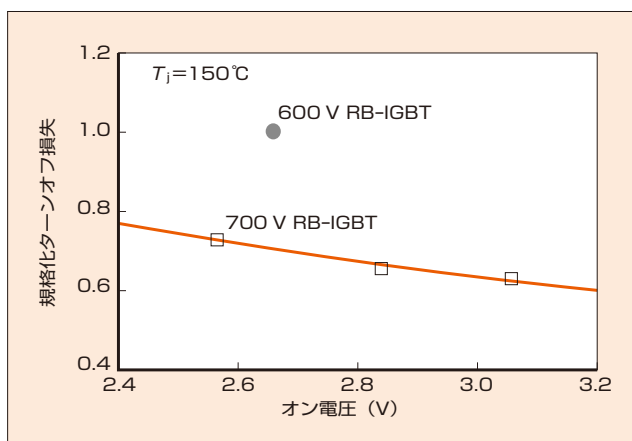


⑧ 大容量電源向け 700 V RB-IGBT

電力変換装置の高効率化のために、順・逆バイアスの双方に耐圧を持つ RB-IGBT を中性点クランプスイッチとする AT-NPC (Advanced T-type Neutral-Point-Clamped) 電力変換回路が注目されている。RB-IGBT の適用で素子数が低減できるほか、低導通損失化が可能になる。

富士電機では、入力電圧の高い地域や装置の大容量化に対応するために、600 V RB-IGBT をベースに、700 V RB-IGBT を製品化している。700 V RB-IGBT の適用により、大容量化時の高速スイッチング、および素子のスイッチング損失とオン電圧のトレードオフの改善による装置の高効率化が可能になる。逆方向の漏れ電流も 600 V RB-IGBT の約 1/10 に低減するため、信頼性や装置設計の自由度の向上に貢献できる。

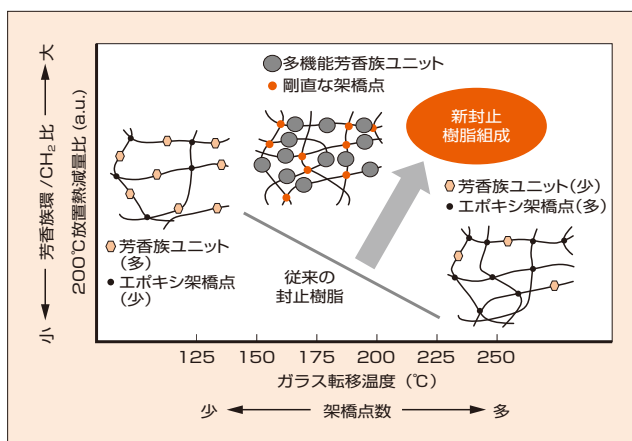
図8 ターンオフ損失とオン電圧のトレードオフ関係



⑨ 高耐熱高密着封止樹脂

富士電機は、動作温度の限界が 175℃ である従来の Si に対して、200℃ 以上の高温でも動作が可能な SiC (炭化けい素) をパワーデバイスに適用し、産業用、車載用への展開を進めている。従来の封止樹脂組成では、耐熱指標であるガラス転移温度 T_g の高温化を図ると熱分解が促進されるため、高温環境における強度、密着性、絶縁性の低下が課題であった。そこで、パワーデバイスとしての絶縁性能の要求を満たす高耐熱高密着封止樹脂を開発した。 T_g を向上しつつ、熱分解による物性低下が少ない高耐熱高密着の樹脂骨格を採用した。200℃ での高温動作を保証する高温放置試験 (UL1557 に準ずる加速試験 225℃ 6,663h 相当) において、封止樹脂と絶縁基板、素子などの構成部材との剥離や、封止樹脂のクラックが発生しない。

図9 封止樹脂の高耐熱高密着の概念図

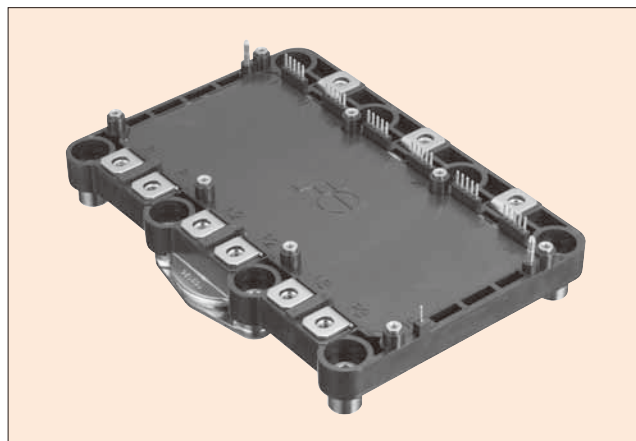


パワー半導体

⑩ 電気自動車・ハイブリッド車用大容量車載標準モジュール

近年、電気自動車およびハイブリッド車に用いられるインバータは、高電力・低損失であることが求められ、主要部品であるパワーモジュールにも、小型でかつ大容量化が求められる。富士電機は、次世代車載用パワーモジュールとして、大容量車載標準モジュールを開発した。本モジュールは、アルミニウムを適用したカバー一体型の冷却器を採用した直接水冷型である。冷却器は、最適化された流路設計により、従来型の冷却器に対して約 40% の冷却性能の向上を実現している。一方、パワー素子は、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) と FWD (Free Wheeling Diode) を同一チップ上に形成した RC-IGBT (逆導通 IGBT) を採用し、汎用 6in1 モジュールとしては最大容量の定格 750 V/800 A を実現している。

図 10 大容量車載標準モジュール

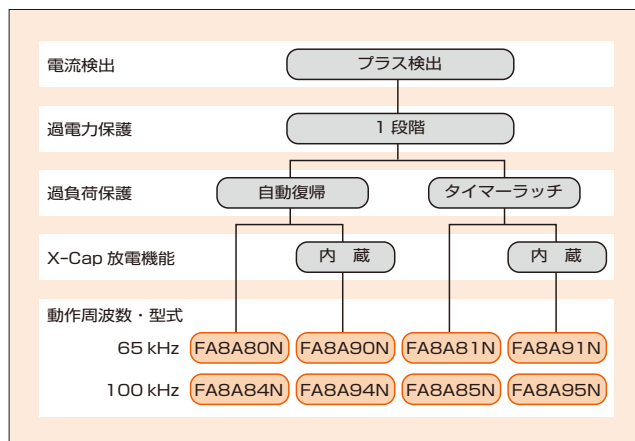


⑪ 高電圧入力対応 PWM 制御 IC 「FA8A80 シリーズ」

近年、家電製品やサーバなどの電子機器は、常時稼動が増え、待機電力の削減要求がますます強まっている。さらに、今後拡大が見込める新興国は、電力事情が不安定なために瞬時停電が多い。このため、瞬時停電からの復帰時に過電圧が発生しても壊れにくく、外部サージに強い高信頼性電源が必要とされている。

富士電機は、状態設定機能・各種保護機能が充実した第 6 世代 PWM 電源制御 IC 「FA8A60 シリーズ」をベースに、AC に接続される高電圧入力端子の ESD 耐量保証 2kV と耐圧保証 650 V が対応可能な高信頼性の「FA8A80 シリーズ」を開発した。FA8A60 シリーズと端子・機能・特性に互換性があり、従来品の電源設計資産を用いることで、新規電源設計要素の簡略化を図ることができる。

図 11 「FA8A80 シリーズ」の系列



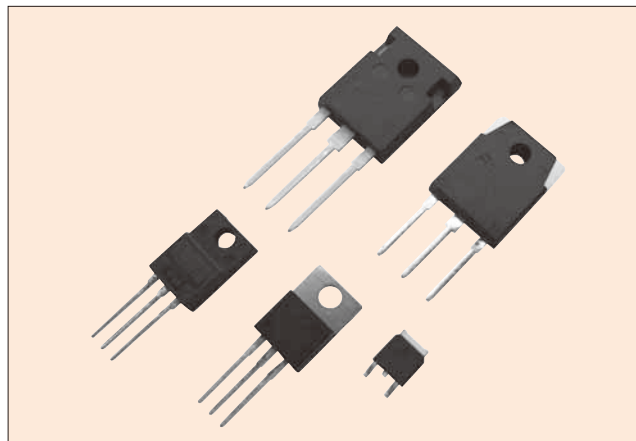
⑫ 「Super J MOS S2 シリーズ」

富士電機は、スイッチング電源の高効率化・小型化に貢献できるパワーデバイスとして、スーパージャンクション技術を適用した「Super J MOS S2 シリーズ」を開発した。本製品は、単位面積当たりのオン抵抗を従来比で 25% 低減しており、寄生容量（出力容量： C_{oss} ）の充放電エネルギーも従来比で 30% 低減している。ターンオフ時のサージ電圧も従来よりも低く抑えているため、低損失で使いやすい製品である。製品の主な仕様は次のとおりである。

- (1) 耐圧：600 V
- (2) オン抵抗：25 ～ 380 mΩ
- (3) パッケージ：TO-247, TO-3P, TO-220F, TO-220, TO-252

➡ 関連論文：富士電機技報 2015, vol.88, no.4, p.292

図 12 「Super J MOS S2 シリーズ」



パワー半導体

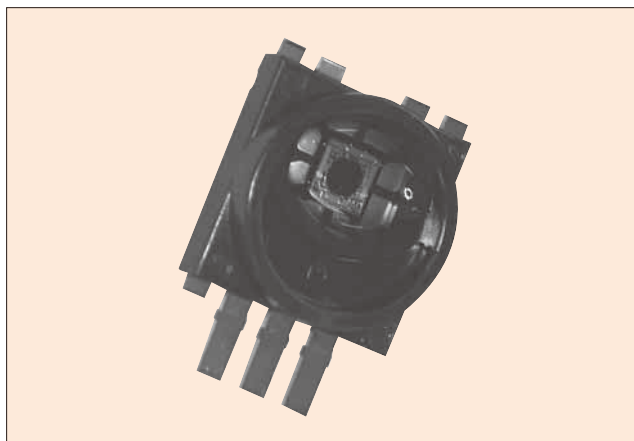
13 車載用燃料タンク圧検知相対圧センサ

近年、自動車には安全性や快適性に加えて、環境負荷の低減が強く求められている。車載用燃料タンク圧検知相対圧センサは、環境負荷物質である燃料蒸発ガスの排出抑制装置の制御を目的としており、第6世代小型圧力センサの技術をベースに、気化燃料への耐性向上やEMC（電磁両立性）の強化、保護機能の向上を行うことで、耐久性の確保と高精度な検知を両立させている。主な特徴を次に示す。

- (1) 圧力／出力電圧範囲：+5 ～ -80 kPa / 0.5 ～ 4.5 V
- (2) 温度範囲：-40 ～ +135℃
- (3) 圧力誤差精度：±1.5%F.S. 以下（25℃）
- (4) 温度誤差精度：2.0 倍（Max）
- (5) 対応燃料：ガソリン、ディーゼル軽油，E10，E25，E85，M15，M100，バイオディーゼル

●関連論文：富士電機技報 2015, vol.88, no.4, p.283

図 13 車載用燃料タンク圧検知相対圧センサ



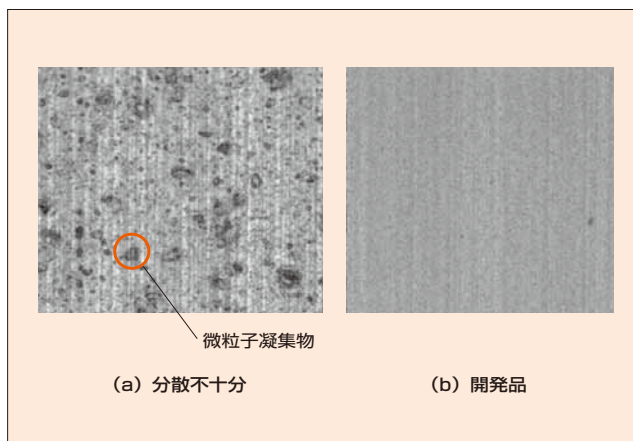
感光体

1 高耐久型有機感光体

感光体が搭載されるプリンタや複写機は、長寿命化、高速化、省資源、小型化などが要求されている。感光体はクリーニング部材やトナーなどの周辺部材との接触により摩耗が進むことから、表面の耐摩耗性を高めて耐久性を向上することが求められている。

富士電機では、感光体の機能性材料の開発による耐久性の向上を進めている。感光体の表面層の耐久性を改善するためには、表面層に微粒子を添加することが有効である。微粒子を表面層に分散することにより、微粒子表面と感光体材料の相互作用から感光体材料の拘束力が向上し、表面層の耐久性が向上する。添加微粒子と表面層への分散技術により、高い耐久性を持つ有機感光体の実現に向けて開発を進めている。

図 14 微粒子分散型感光体の表面状態

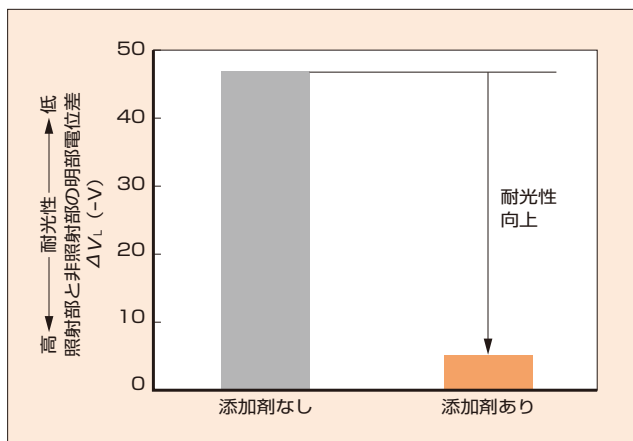


2 高速対応負帯電型有機感光体

オフィスで使用されるプリンタや複写機は、高速印刷化や印刷コストの削減が進められており、これらに搭載される感光体には、高耐久性と高速応答性が求められる。高速応答性に応えるため、電荷輸送層に高移動度の電荷輸送剤を用いるが、高移動度の電荷輸送剤は光疲労しやすい欠点があり、何らかの手段で耐光性を付与する必要がある。

富士電機では、このような課題を解決する高速対応負帯電型有機感光体を開発するため、耐光性の付与に有効な添加剤の開発を進めている。電子輸送剤の分子構造や吸光スペクトルに着目し、最大吸光波長や電気特性への影響を考慮した材料選定、および添加量の最適化により、電気特性などへの悪影響を最小限に抑え、従来に対して耐光性を大幅に改善した感光体の開発に成功した。

図 15 添加剤による耐光性の向上



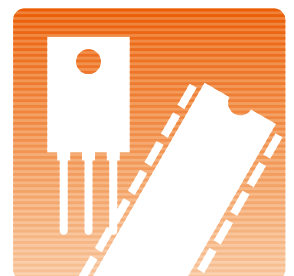
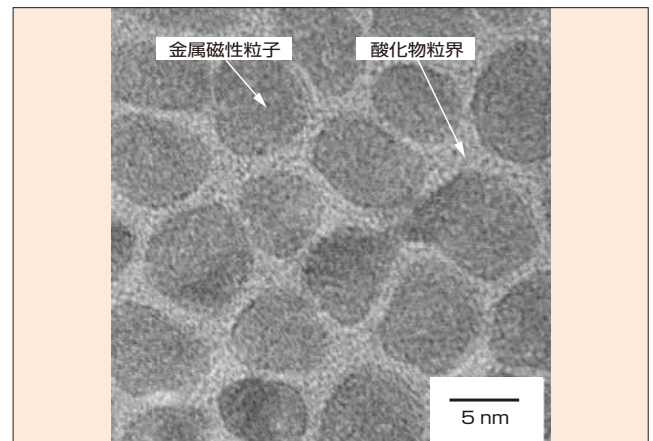
ディスク媒体

① 瓦書き記録（SMR）方式磁気記録媒体の高記録密度化

HDD 市場は、その牽引役が PC 用途からデータセンター向けへとシフトしつつあり、高記録容量化への要求がさらに強まっている。そのため、新しい記録方式である瓦書き記録（SMR）を採用した HDD の製品化が進んでいる。

富士電機では、積層グラニューラ磁性層を持つ多層薄膜記録層の各層組成およびその成膜条件の最適化により、磁性粒子の小径化と均一化を図るとともに、磁性層間の磁氣的相互作用を適切に制御することで、SMR 方式に最適な記録媒体の開発を進めている。その結果、記録容易性を維持しつつ明瞭な磁化反転を実現させ、同時に記録にじみを抑制することで、 $1,235 \text{ Gbits/in}^2$ の高記録密度を達成した。本技術は、2016 年度に製品化を予定しているデータセンター向け HDD 用記録媒体に適用する予定である。

図 16 磁気記録媒体の平面 TEM 像





*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。