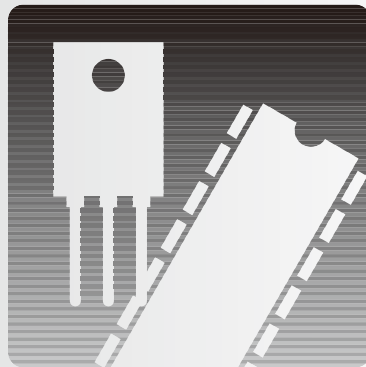


電子デバイス

パワー半導体
感光体
ディスク媒体



展望

パワー半導体

安全・安心で持続可能な社会を実現するために、再生可能エネルギーの普及と、そのエネルギーを効率的に利用す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。これらのニーズが高まる中、富士電機では、エネルギー変換効率が高く低ノイズの、地球環境にやさしいパワー半導体製品を開発している。これらの製品は、環境・エネルギー、産業機械、自動車、家電製品などの分野に広く適用され、世の中に貢献している。

環境・エネルギー分野では、3レベル電力変換回路に対応するRB-IGBT (Reverse-Blocking Insulated Gate Bipolar Transistor) の系列を拡大した。従来系列の600V、1,200Vに加え、900V耐圧チップを開発した。これにより、モジュールおよびディスクリット製品への適用範囲が拡大し、顧客アプリケーションの条件に合致した最適製品の提供が可能となる。また、IGBTモジュール製品の裏面に、フェーズチェンジタイプのTIM (Thermal Interface Material) を形成した1,200V/1,400Aおよび1,700V/1,400A 2in1製品を開発した。TIMには高熱伝導かつ高信頼性材料を選定し、形成したTIMの印刷パターンは顧客装置に搭載した際に、TIMが均一かつ薄く伸び広がるように最適な形成パターンに設計した。これにより、IGBTモジュールの放熱性能を最大限発揮させることが可能となる。

産業機械分野では、高圧インバータ用1,700V耐圧のSiCハイブリッド製品(1,700V/400A 2in1)を開発した。従来製品に対して、インバータ出力を30%向上させることができ、システムコストダウンに貢献する。また、小容量サーボ、インバータ用途の産業用小容量IPM (Intelligent Power Module)を開発した。最新の第6世代「Vシリーズ」IGBTを適用し、低損失・小型パッケージを採用した。さらに、同じく最新の第6世代IGBT技術を適用したIPMに、高放熱パッケージ技術を適用した600V/100, 150, 200A, 1,200V/50, 75, 100A製品系列を開発した。従来のパッケージに高放熱DCB (Direct Copper Bonding)

を採用して、パワー密度を30%向上した。

自動車分野では、高精度な電流検出を可能にすることで、車両の燃費改善・快適性に貢献する第4世代IPS (Intelligent Power Switch)を開発した。電源分野では、液晶ディスプレイなどの電源の高効率化、低ノイズ化、薄型化に貢献し、低待機電力化や保護機能を第1世代品よりも充実させた第2世代LLC電流共振制御ICを開発した。また、逆回復時の寄生ダイオード損失を大幅に改善した「Super J-MOS FREDシリーズ」を開発し、近年需要拡大しているサーバ用電源の高効率化に貢献している。

感光体

感光体の総需要は微減傾向となることが予測されており、一部の感光体メーカーや感光体材料メーカーが事業撤退を行うなど、事業環境は厳しさを増している。その一方で、装置側の高速・長寿命化のトレンドに対応し得る感光体の高性能化が期待されている。

富士電機は2013年度に、感度および耐久性を従来比で30%向上させた感光体を開発・量産化し、装置メーカーの要求に応えた。今後も、シミュレーションを活用した新規材料の開発により、さらなる性能向上を図っていく。

ディスク媒体

ハードディスクドライブ (HDD) 向け垂直磁気記録媒体は、クラウドコンピューティングの進展に伴い、引き続き大容量化および低コスト化の要求が続いている。

富士電機では2013年度に、1枚当たりの記憶容量が1TBの3.5インチアルミニウム基板媒体と同500GBの2.5インチガラス基板媒体について、特性改善品を開発し、量産を開始した。これは、材料組成や製造プロセスの最適化による高性能化を進め、顧客の製造良品率の改善に貢献するものである。今後も、大容量媒体の開発を強力的に推進し、IT社会の発展に貢献していく。

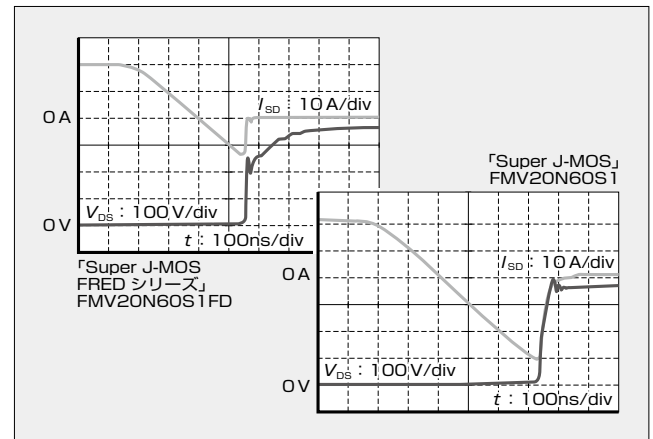
パワー半導体

① 「Super J-MOS FRED シリーズ」

UPS、サーバ、通信電源、パワーコンディショナ（PCS）などの共振回路部、インバータ回路部では、内蔵ダイオードの逆回復損失が低く、逆回復耐量の強い MOSFET（Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor）が要求される。この要求に対応して「Super J-MOS FRED シリーズ」を開発した。従来の Super J-MOS の低オン抵抗・低スイッチング損失特性はそのままに、内蔵ダイオードの逆回復損失を低減し、逆回復耐量を大幅に向上させた。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 逆回復時間 T_{rr} : 約 60% 低減（従来比）
- (2) 逆回復電荷量 Q_{rr} : 約 80% 低減（従来比）
- (3) 耐圧 : 600 V
- (4) オン抵抗 (max.) : 42, 74, 132, 200 m Ω

図1 逆回復波形の例



② 産業用小容量 IPM

近年、システムの省エネルギー化の要求が高まり、産業分野では、汎用インバータ、サーボの需要が拡大している。

富士電機では、小容量の産業用途向けに、三相インバータブリッジ回路と駆動回路を内蔵した、定格 600 V/15, 20, 30 A の産業用小容量 IPM（Intelligent Power Module）の量産を開始した。

本製品は、最適化された低損失デバイスにより省エネルギー化を実現し、さらに、高熱伝導アルミニウム絶縁基板を採用した超小型パッケージの適用と各種保護機能を内蔵することで、システムの小型化と使いやすさの向上を可能にした。

また、UL 認証（UL1557）を取得することで、安全性の要求にも対応している。

図2 産業用小容量 IPM



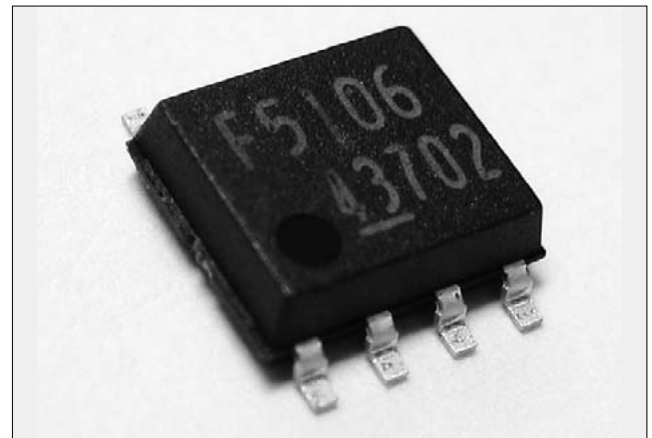
③ ワンチップ リニア制御用 IPS 「F5106H」

自動車電装分野では、システムの小型化、高信頼性化、高機能化の要求が高まっている。これらの要求に応えるため、従来の IPS（Intelligent Power Switch）に高精度電流検出アンプを搭載したワンチップ リニア制御用 IPS 「F5106H」を開発した。

出力段パワー MOSFET をプレーナゲート型からトレンチゲート型に変更し、制御・保護回路の微細化や多層配線技術を用いた第 4 世代 IPS デバイス・プロセス技術を適用している。これにより、ワンチップ化および SOP-8 パッケージへの搭載を可能にしている。さらに、接合部温度の最大定格を 175℃とし、過酷な温度環境における耐久性を向上するとともに、4.5 V までの低電源電圧動作を可能にしている。

●関連論文：富士電機技報 2013, vol.86, no.4, p.273

図3 「F5106H」



パワー半導体

④ 900V 耐圧の逆阻止 IGBT (RB-IGBT)

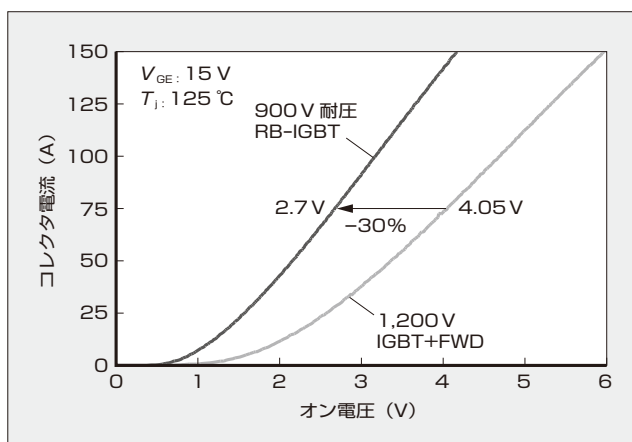
近年、逆阻止 IGBT (RB-IGBT: Reverse-Blocking Insulated Gate Bipolar Transistor) は、3レベル電力変換回路の中間クランプ素子として使用されるなど、需要が高まってきている。富士電機は、電力変換器の高効率につながる RB-IGBT の開発に取り組んできた。

太陽光発電分野の DC1,000V 用大電流定格 RB-IGBT を使用した変換器は、回路規模が大きくなるためモジュール内外で浮遊インダクタンス成分が大きくなり、600V 耐圧 RB-IGBT は適用が困難である。また、1,200V 耐圧 RB-IGBT では定常損失が増える問題がある。そこで、このたび、900V 耐圧 RB-IGBT を開発した。

素子数の削減により、本素子のオン電圧は、1,200V IGBT+FWD に比べて 30% の低減を達成している。

●関連論文：富士電機技報 2013, vol.86, no.4, p.253

図4 オン電圧波形比較

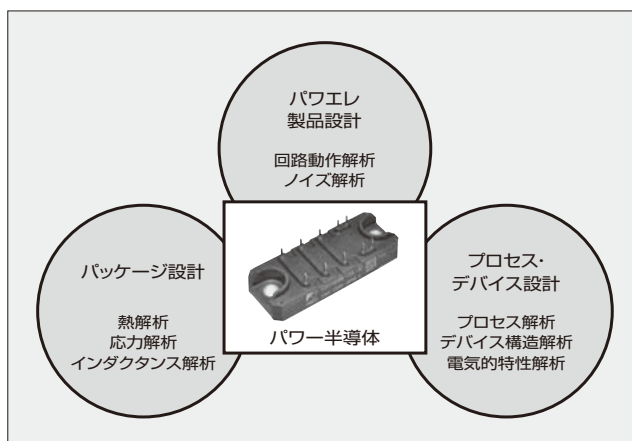


⑤ パワー半導体のシミュレーション技術

富士電機では、デバイスやパッケージの設計をはじめ、パワー半導体を搭載したパワエレ製品の設計におけるシミュレーション技術を開発している。次に示すシミュレーション技術を相互に連携させることで、富士電機の製品の高機能化や高品質化を支えている。

- (1) プロセス・デバイス設計：プロセスやデバイス構造の解析によるデバイスの性能と品質の最適設計
- (2) パッケージ設計：熱解析、応力解析、インダクタンス解析による構造の最適化
- (3) パワエレ製品設計：デバイスの電気特性やパッケージの LCR 成分の高精度なモデリングによる高い確度での回路動作解析、およびノイズ解析による低ノイズ化

図5 パワー半導体の開発におけるシミュレーション技術



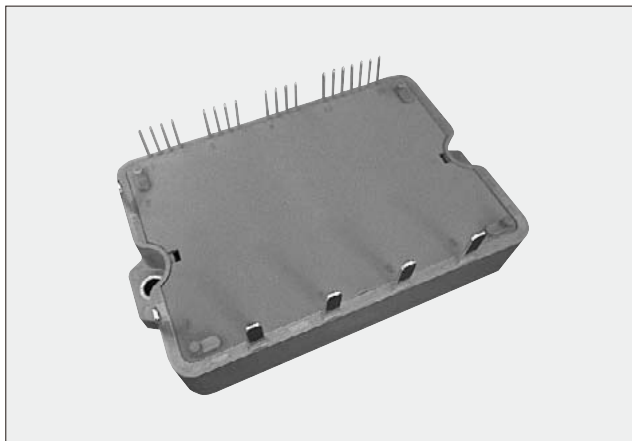
⑥ 「V シリーズ」 IPM の中容量・小型パッケージ

近年、サーボ制御装置などに使用される IPM に対しては、さらなる小型化と定格電流値の拡大の要求が高まっている。今回、サーボ制御装置をターゲットに、600V/100A、1,200V/50A の容量帯をカバーし、さらにプレーキ用素子を内蔵した上で、フットプリントサイズを従来品比で 26% 小型化した「P636 パッケージ」の系列化を完了した。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 外形寸法：W90×D55×H18.5 (mm)
- (2) 定格：600V/50, 75, 100A, 1,200V/25, 35, 50A
- (3) 素子構成：7 in1, 6 in1 系列
- (4) 熱抵抗：20% 低減 (従来品比)
- (5) 性能・機能：第 6 世代 IGBT 搭載, IGBT 駆動回路・保護回路内蔵, アラーム識別機能, デッドタイム短縮

●関連論文：富士電機技報 2014, vol.87, no.1, p.80

図6 「P636 パッケージ」



パワー半導体

7 1,700 V 耐圧 SiC ハイブリッドモジュール

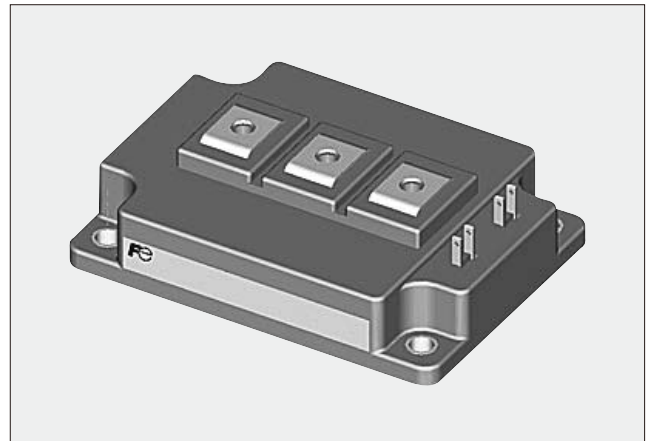
Si デバイスに替わり、耐熱性と高破壊電界耐量を持った SiC デバイスが、装置の高効率化や小型化を実現する新デバイスとして有望視されている。富士電機では、省エネルギーに貢献する高効率インバータ (690 V 系) 向けに 1,700 V 耐圧の SiC ハイブリッドモジュールの開発を推進している。

FWD には、独立行政法人 産業技術総合研究所と共同で開発し、富士電機で量産立上げを行った SiC-SBD チップを適用した。IGBT には、富士電機製で最新の第 6 世代「V シリーズ」IGBT チップを適用した。

漏れ電流特性やスイッチング特性を改善することにより、300 A 品モジュールにおいて、従来の Si モジュールに比べ発生損失を約 26% 低減できることを確認した。

●関連論文：富士電機技報 2013, vol.86, no.4, p.240

図7 1,700 V 耐圧 SiC ハイブリッドモジュール



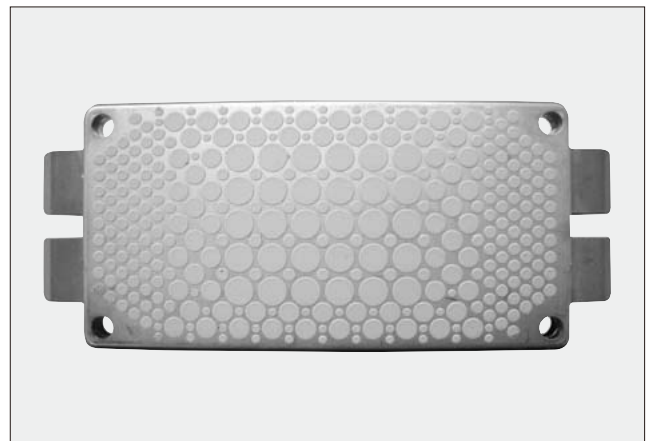
8 TIM プリペースト IGBT モジュール

IGBT モジュールを実装するとき、IGBT モジュールから発生する熱を速やかに伝達するために、冷却フィンと IGBT モジュールの間にサーマルグリースを塗布する。このサーマルグリース塗布を IGBT サプライヤーに求める顧客が増えている。

これに応えるために、フェーズチェンジタイプの TIM (Thermal Interface Material) を用いたプリペースト IGBT モジュールを開発した。採用した TIM は、従来のサーマルグリースの 3 倍以上の放熱性能を持つ。45℃ 付近で液状化し、それ以下の温度では固体状態が維持可能なため輸送性に優れている。これにより、放熱性と信頼性 (サーマルマネジメント) を向上させた IGBT モジュールを実現した。

●関連論文：富士電機技報 2013, vol.86, no.4, p.263

図8 TIM プリペースト IGBT モジュール (背面)



9 175℃連続動作を保証する IGBT モジュール

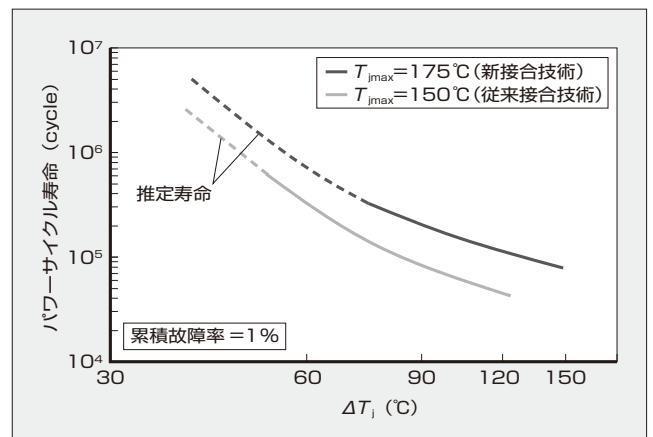
IGBT モジュールのさらなる小型化、高パワー密度化を実現するため、連続動作時のデバイス温度 T_{jmax} の上限を、現行の 150℃ から 175℃ に引き上げる必要がある。

IGBT モジュールの 175℃ 連続動作を保証するため、高耐熱のアルミニウムワイヤ、高温で高強度のはんだ合金、チップ表面電極に Ni を成膜した構造という三つの新接合技術を開発した。このパッケージ技術により、高パワー密度化を実現し、パワーサイクル寿命は全ての温度領域で従来に比べて 2 倍以上を達成した。

また、これらの技術は現行の製造プロセスに適用することができ、175℃ 連続動作を保証する製品の量産において、従来の設備をそのまま利用することができる。

●関連論文：富士電機技報 2013, vol.86, no.4, p.249

図9 パワーサイクル試験 ($T_{jmax}=175℃$) 結果



パワー半導体

10 ハイブリッド自動車用 IPM のパッケージ技術

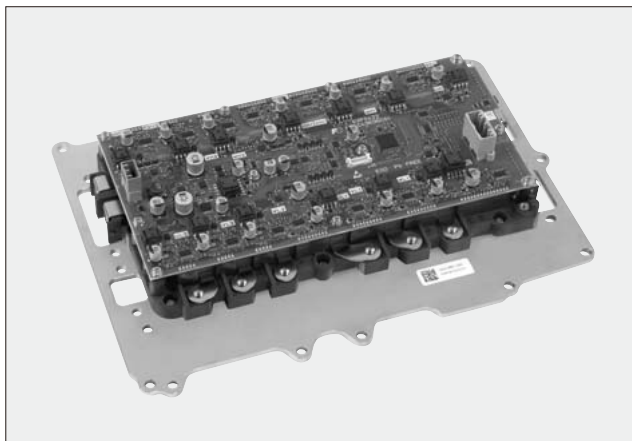
環境規制に対応するためハイブリッド自動車（HEV）や電気自動車（EV）の普及が加速している。富士電機は、HEV 用 IPM（Intelligent Power Module）の量産を開始した。

本製品は、二つのモータを制御するインバータ部と昇降圧コンバータ部を内蔵し、アルミニウム直接水冷構造の採用によりコンパクトかつ軽量で高出力を実現した製品である。この直接水冷構造による放熱設計技術、ならびに熱膨張率の差が大きいアルミニウムと絶縁基板のはんだ接合を可能とする高強度はんだ技術の二つの新技術を開発した。

本製品は、インバータ・コンバータ回路およびコントローラを統合したオールインワン・パッケージを実現したことで、従来品体積比 30% 減、質量比 60% 減を達成した。

●関連論文：富士電機技報 2013, vol.86, no.4, p.258

図 10 ハイブリッド自動車用 IPM



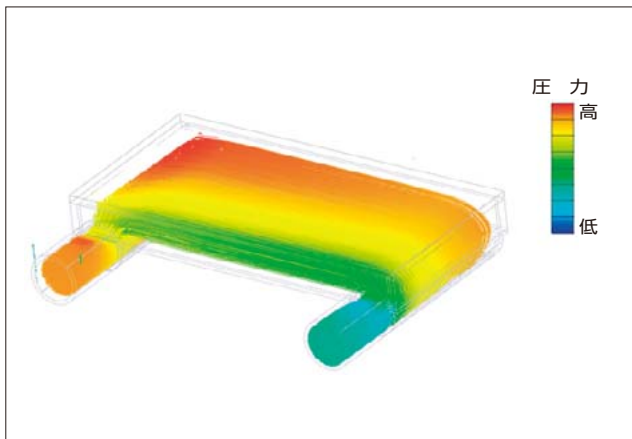
11 熱流体シミュレーション技術

ハイブリッド自動車（HEV）や電気自動車（EV）のモータ制御用途にパワー半導体が用いられており、小型・軽量化を目的に HEV や EV に搭載されるパワー半導体の冷却システムは水冷化が進んでいる。

富士電機では、熱流体解析を用いた冷媒流れの解明と、冷媒の放熱性解析を一貫して行うパワー半導体の水冷冷却システム設計技術を確立した。

冷媒流れについて熱流体シミュレーション解析を用いた冷媒速度の均一化、および腐食要因となる冷媒滞留箇所をなくす冷却器設計を行っている。さらに、顧客ごとに異なる冷却システムに対し、ポンプ性能を踏まえたトータル設計を行うことで、HEV や EV のシステムの最適化と効率向上を図っている。

図 11 パワー半導体冷却システム部の冷媒流れの解析例



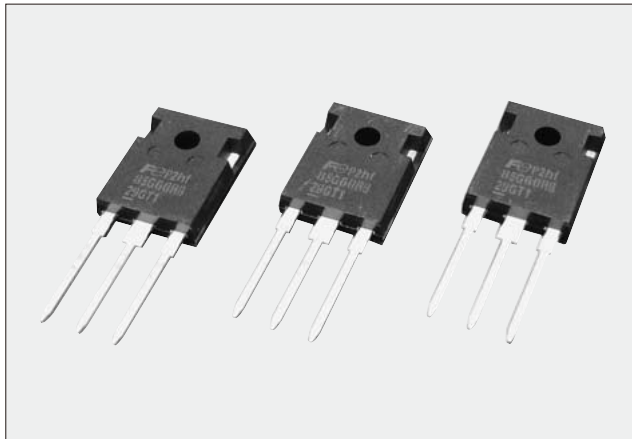
12 600V ディスクリット RB-IGBT 「FGW85N60RB」

●関連論文：富士電機技報 2013, vol.86, no.4, p.284

電力変換装置の高効率化のために、中性点クランプを持つ AT-NPC（Advanced T-type Neutral Point Clamped）電力変換回路が注目されている。順・逆バイアスの双方に耐圧を持った RB（Reverse-Blocking）-IGBT を適用することにより、中性点クランプに使用する素子数が低減でき、さらなる高効率化が可能となる。

富士電機は独自技術の開発により、RB-IGBT の量産を行っている。RB-IGBT を搭載した AT-NPC 用 IGBT モジュールに続き、ディスクリット製品用に開発した RB-IGBT を TO-247 パッケージに搭載した「FGW85N60RB」を製品化した。モジュール製品に比べて、パッケージ内部や主回路部のインダクタンスを小さくできるため、低損失化と高周波動作が可能になる。

図 12 「FGW85N60RB」



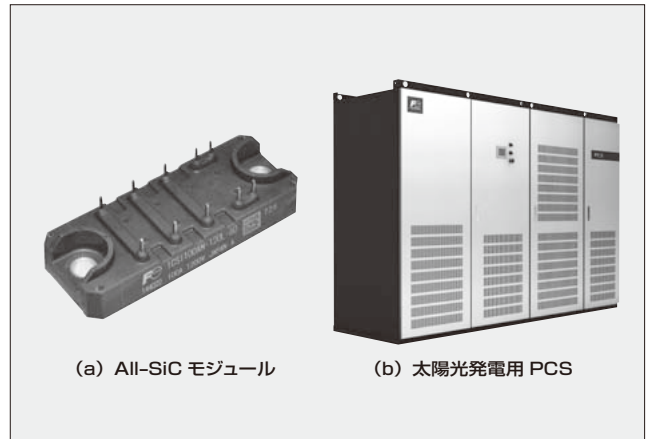
パワー半導体

13 パワーコンディショナ用 All-SiC モジュール

独立行政法人産業技術総合研究所と共同で開発を進めている SiC デバイスの MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) と SBD (Schottky Barrier Diode) を搭載した All-SiC モジュールの製品開発を進めており、パワーコンディショナ (PCS) をはじめとしたさまざまなパワーエレクトロニクス機器への適用を検討している。図(a)に示した 1,200 V/100 A 定格の All-SiC モジュールは、同定格の Si-IGBT モジュールと比べ、モジュール内部インダクタンスは約 1/4、プリントサイズは約 1/2 にし、また、樹脂封止構造とすることで高信頼性を達成した。さらに、パワーモジュールの低損失化・小型化を同時に実現し、太陽光発電用 PCS の高パワー密度化に貢献している。

●関連論文：富士電機技報 2013, vol.86, no.4, p.244

図 13 All-SiC モジュールと太陽光発電用 PCS



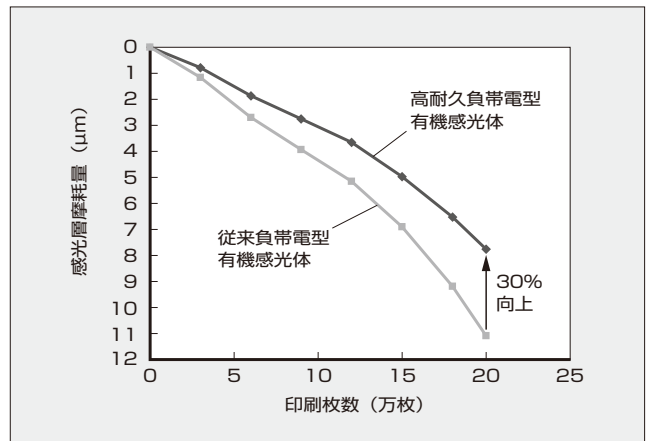
感光体

1 高耐久負帯電型有機感光体

プリンタ・複写機の長寿命化に伴い、感光体には高耐久の要求が強まっている。一方、装置内では各種接触プロセスの増加により、感光体への負荷が増大し、摩耗がより加速している。

富士電機では、これらのプロセスに対応できる高耐久負帯電型有機感光体を開発するため、感光層表面にある電荷輸送層の主成分となるバインダーの開発を進めている。硬度や靱性(じんせい)に着目した独自のシミュレーションによる分子設計と、さまざまな外的ストレスを想定した試験により、従来の特性を大きく上回る新規バインダーの開発に成功した。このバインダーを適用した感光体では、従来品に対して感光層の耐摩耗性を 30% 向上させ、耐久性の強化を実現している。

図 14 高耐久負帯電型有機感光体の耐刷特性



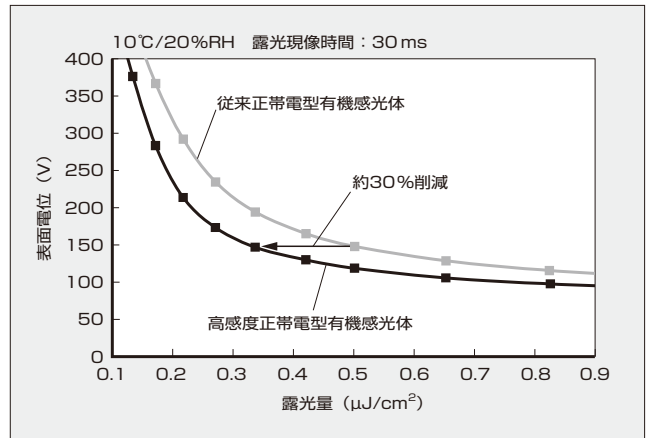
2 高感度正帯電型有機感光体

電子写真方式のレーザープリンタや複写機において、高速化・小型化・省電力化が進む中、露光系の設計裕度を広げることが可能となる、より少ない露光量で短時間に応答する高感度な有機感光体の需要が高まっている。

富士電機は、独自の技術による積層型正帯電有機感光体を開発することで負帯電型有機感光体と同等の感度特性を持つ正帯電型有機感光体を提供している。

今回、さらに電荷輸送材料や電子輸送材料などの各種機能材料の組合せ、配合比の最適化を進めることで、応答性が低下しやすい低温低湿環境においても約 30% 少ない露光量で機能する高感度正帯電型有機感光体を開発した。今後、当該技術を展開した有機感光体を提供していく。

図 15 高感度正帯電型有機感光体の光減衰特性



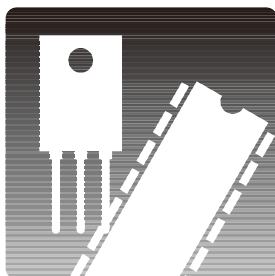
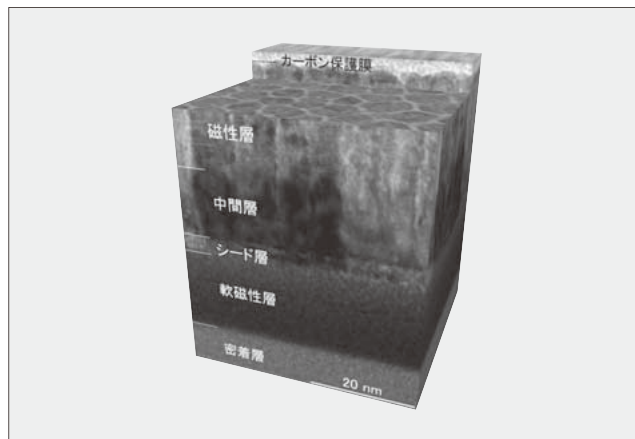
電子デバイス

ディスク媒体

① 大容量・高信頼性垂直磁気記録媒体

クラウドコンピューティングの拡大に伴い、HDD 市場はその牽引（けんいん）役が PC からデータセンターの需要へシフトしつつ堅調に拡大しており、磁気記録媒体の高記録容量化への要求も依然として高い。富士電機では、媒体潤滑膜およびカーボン保護膜の最適化による高信頼性と磁気スペーシング低減の両立、ならびに多層グラニューラ層を持つ媒体層構成の組成・成膜条件最適化による磁性粒子の微細化や均一化などを推進した。さらに、社内で HDD 実機評価が可能な体制を確立し、媒体特性評価の高精度化と評価期間の短縮を実現した。これらの施策により、他社に先行して 1,064 Gbits/in² の記録密度（2.5 インチ媒体 1 枚当たり 712 GB）を達成した。当該技術は、2014 年度に製品化する HDD 向け媒体に適用する予定である。

図 16 開発した磁気記録媒体の断面および平面 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。