



# 三菱電機技報

3

2024

Vol.98 No.3

パワーデバイス



No.3

特 集	パワーデバイス	Power Devices
巻頭 言		
2120年に向けたパワー半導体技術	1-01	Power Semiconductor Technologies toward 2120
伊東淳一		Junichi Itoh
巻頭論文		
パワーモジュールの最新動向と展望	2-01	Latest Trend and Prospect of Power Module Technology
岩上 徹・野口宏一朗		Toru Iwagami, Koichiro Noguchi
車載用パワーモジュール“J3シリーズ”	3-01	Automotive Power Module "J3 Series"
河面英夫・所附武志・東 幸幹・米山 玲		Hideo Komo, Takeshi Tokorozuki, Yukimasa Higashi, Rei Yoneyama
SLIMDIPシリーズのラインアップ拡充と将来展望	4-01	SLIMDIP Series Lineup Expansion and Future Prospects
牧島 仁・高倉一希・浜崎海翔		Hitoshi Makishima, Kazuki Takakura, Kaito Hamasaki
LV100パッケージ製品の 再生可能エネルギー市場向け製品展開	5-01	Product Development of LV100 Package Family for Renewable Energy Market
宮原 聰		Satoshi Miyahara
高耐圧SBD内蔵MOSFETモジュール のサージ電流耐量向上	6-01	Improvement of Surge Current Capability of High Voltage SBD-embedded SiC MOSFET Module
沖元 慶・廣中陽一・羽鳥憲司・菅原勝俊		Shigeru Okimoto, Yoichi Hironaka, Kenji Hatori, Katsutoshi Sugawara
短絡耐量制御を実現する SiCトレンチMOSFET構造	7-01	SiC Trench MOSFET Structure for Controlling Short Circuit Capability
福井 裕・菅原勝俊・足立亘平		Yutaka Fukui, Katsutoshi Sugawara, Kohei Adachi
社外技術表彰	8-01	Technical Commendations

三菱電機では、サステナビリティ経営を実現する4つのビジネスエリアとして、「インフラ」「インダストリー・モビリティ」「ライフ」「ビジネス・プラットフォーム」を設定しています。

三菱電機技報ではこの4つのビジネスエリアに分類し特集を紹介しています。

今回の特集では全エリアを支える基盤となる“パワーデバイス”をご紹介します。

# 卷頭言

## 2120年に向けたパワー半導体技術

Power Semiconductor Technologies toward 2120



伊東淳一 *Junichi Itoh*

長岡技術科学大学 工学研究科 技術科学イノベーション専攻(兼 電気電子情報工学専攻) 教授  
*Professor, Department of Electrical, Electronics and Information Engineering, Nagaoka University of Technology*

将来構想として、2030年、2050年という話はよく聞こえてくる。だが、2050年でさえ、いろいろなしがらみは抜けきれない。たまには思い切って2120年(約100年後)の未来を考えてみてはいかがだろうか。読者の方にも気楽に読んでいただき、ぜひ一緒に考えていただきたい。

さて、100年後を考える前に、100年前を見てみよう。ちょうど三菱電機は三菱造船の電機製作所を母体として約100年前の1921年に創業した。1920年に日本の100年後を想像した雑誌の特集がある。外れているものも多いが、東京の大深度利用、地下鉄の普及、自家用ジェット、インターネットやドクターへリの出現などを予見している<sup>(1)</sup>。

さて、100年後の未来を考えてみよう。電気は貯蔵については多少、難があるものの、発生、変換が容易であり、熱、交通、化学などのセクターカップリングの中心である。つまり、100年先でも電気はエネルギーの中心であり、様々な形に変えて生活を支える。したがって100年経(た)ってもパワーエレクトロニクス(パワエレ)はなくならないどころか、ますます重要となる。その根幹となるパワー半導体の特段の重要性は言うまでもない。

パワー半導体はゲルマニウム、シリコンダイオードから始まり、主にサイリスター、GTO(Gate Turn Off Thyristor)、パワートランジスター、MOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)、IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)と進化を遂げてきた。さらに近年ではご存じのとおり、SiC(シリコンカーバイド)、GaN(ガリウムナイトライド)などが出現し、これらを使ったダイオード(SBD)、MOSFETやIGBTなどが開発されている。この先はダイヤモンドを使うことで、更に性能の向上が見込めるが、IGBT、MOSFETの先の革新的な半導体構造はあるのだろうか?

パワー半導体の発展はそのアプリケーションと深く関わっている。社会の変革をもたらすイノベーションがどのようなときに生まれるか考えてみよう。イノベーションが生まれるときの最大のバリアはコストである。コストアップがユーザーに受け入れられる理由は何だろうか?私はその一つは利便性にあると考えている。例えば20年前、スマートフォンの出現は考えられなかった。毎月支払う多大なコストは昔では到底許容できるものではないと思われる。しかし、現代社会において必須と言えるまで発展した。この理由はひと言で言えば“便利だから”である。人間は一度便利を覚えると戻れない。利便性はコストを超える。

では、人間の欲求をもとに将来のパワエレシステムの方向性を考えてみよう。利便性からあるべき姿を考えてみると、100年後には次のとくくらいできていそうである。(1)空飛ぶクルマ、(2)電動飛行機、(3)ワイヤレス給電、(4)超高パワー密度電源システム(例えば100kW/l)、(5)中圧、高圧へのパワエレ機器の進出、(6)超高速モーターとギヤによる高パワー密度アクチュエーターの出現、(7)宇宙ステーション、月面利用などの宇宙応用技術、(8)パワエレ技術の汎用化。

これらについて必要と思われる技術を詳細に述べるには紙面が足りないので割愛するが、これらを100年と言わずもと早く実現するには何をしたらよいのか、このときパワー半導体はどうあるべきか(単にスイッチング損失と導通損失を減らせばよいということはないのは明らか)、などバックキャストの発想が大切である。バックキャストは最近注目されているが、10年20年先からのバックキャストでは、コスト、規格、企業関係、政治、国家の障壁があり、実現法を創造するのは難しい。純粹に技術を追い求めるには50年、100年先からのバックキャストが重要である。

本稿を読んでいただいた方にはぜひ考えてほしい。“100年先はどうあるべきか”。

### 参考文献

(1) 百年後の日本、日本及日本人、春季増刊号(1920)

## パワーモジュールの最新動向と展望

Latest Trend and Prospect of Power Module Technology



岩上 徹\*  
Toru Iwagami



野口宏一朗†  
Koichiro Noguchi

\*パワーデバイス製作所長 †同製作所 商品戦略部長(工博)

### 要 旨

2050年のカーボンニュートラル実現に向けて、再生可能エネルギーの拡大と、あらゆる分野での省エネルギー化が急務になっている。その実現のため、パワーエレクトロニクスに関する技術開発が注目されている。三菱電機の主力製品の一つであるパワー半導体は、電力システム、電鉄、自動車、家電など、あらゆる分野での適用が広がっている。用途の多様化と高性能化によって、パワー半導体の改善には幅広い技術と高度な設計技術が必要になっている。

### 1. まえがき

電気エネルギーを効率的に利用し、創エネルギー・省エネルギーに貢献するパワーエレクトロニクス技術の応用範囲は多岐にわたる(図1)。このキーパーツとして拡大を続けるパワーデバイスは、数Aから数千Aまでの定格電流、また数百Vから数千Vまでの定格電圧と、様々な種類の製品が開発されてきた。パワーデバイスの代表素子であるSi(シリコン)パワー半導体のIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)は、現在は第7世代まで進化が進んでおり、高効率化・小型化・軽量化・長寿命化など進化に合わせて様々な市場ニーズに対応してきた<sup>(1)</sup>。今後も、Siパワー半導体の進化は継続が予想されるが、近年では更なる高効率化のためにSiC(シリコンカーバイド)パワー半導体の適用が急速に拡大する見込みであり、このSiCパワー半導体自体の性能改善やSiCパワー半導体の性能を引き出すパッケージ技術の進展も見込まれている。



図1-GXの実現に向けた当社のパワー半導体デバイス

本稿では、パワーモジュールが適用される分野ごとに、性能・小型・軽量・コストを最適なバランスで設計した当社パワーモジュールの技術とそれぞれの用途別の製品の展望について述べる。

## 2. パワーモジュール技術の最新動向

### 2.1 パワーチップ技術

現在、パワーモジュールに適用される主力のパワー半導体素子は、Si-IGBTとSiダイオードであるが、近年ではIGBTと環流ダイオードをワンチップ化したRC(Reverse Conducting)-IGBTが注目されている。パワーモジュールの小型軽量化、高出力化に大きく貢献する素子として、エアコンなどの家電製品や産業用モータードライブ、電気自動車などの幅広い分野で採用が拡大している。

当社は2006年に世界で初めて<sup>(注1)</sup>第1世代RC-IGBTを家電製品のモーター制御用パワーモジュールに搭載し製品化した。2015年には微細加工と薄ウエハー技術によって大幅に損失改善した第2世代RC-IGBTを量産開始した。現在は第3世代RC-IGBTでの性能改善に向けて、更なる薄ウエハー化による導通損失の低減に加えて、IGBTゲート容量制御やRC-IGBT特有のダイオード構造によってスイッチング損失の低減、ダイオードレイアウト最適化によって放熱性の改善を進めている(図2)。

(注1) 2023年6月23日現在、当社調べ

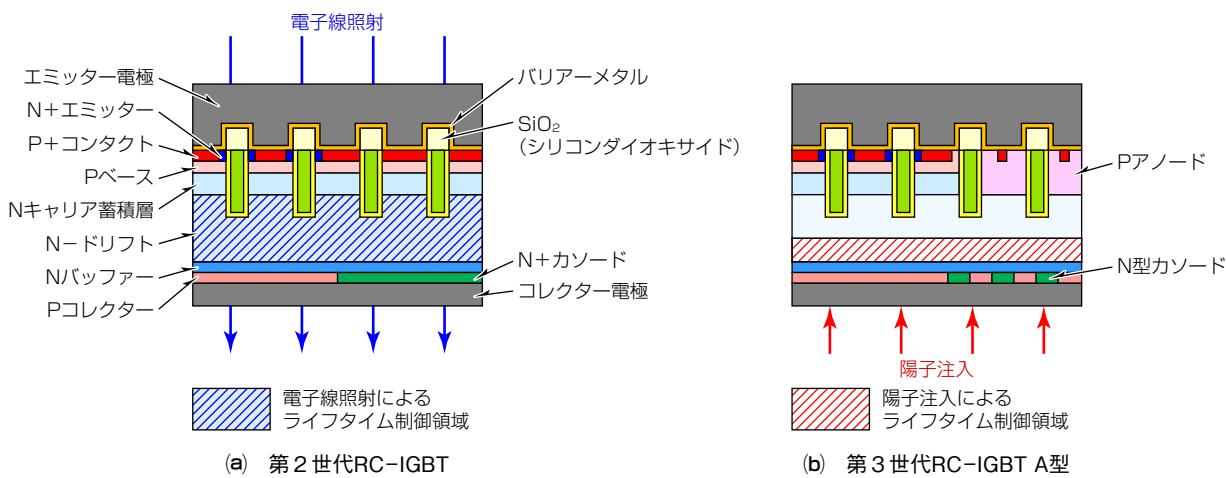


図2- 第2世代RC-IGBTと第3世代RC-IGBTの構造比較

出典：電子デバイス/半導体電力変換合同研究会

WBG(Wide Band Gap)半導体は、高耐圧、低損失、高速スイッチングを実現するパワーデバイスの有望な材料として注目が高まっている。その中でもSiC、GaN(ガリウムナイトライド)、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(ガリウムオキサイド)、AlN(アルミニナイトライド)、ダイヤモンドは、次世代のパワー半導体になり得る材料と考えられている。近年、SiCとGaNは共に、材料品質、先進的なデバイス設計、プロセス能力で目覚ましい進歩を遂げて、現在では鉄道や電源を中心に採用が拡大している。

Siと比較して約10倍高い絶縁破壊電界強度を持つSiCパワー半導体は、同じ定格電圧だとドリフト層を約10倍薄くでき導通損失を大幅に改善できる。合わせてMOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)構造を採用することでスイッチング損失の低減も可能である。信頼性に関しては従来Siパワー半導体よりも動作温度範囲を拡大できる。当社では現在、構造開発を終えた、第2世代プレーナMOSFETを各種モジュールに搭載し製品化を進めている。

近年では、更なる導通損失低減を狙ったトレンチMOSFETであるMIT<sup>2</sup>-MOS(Multiple-Ion-Implantation into Tilted Trench Side Walls)、及び3.3kV以上の耐圧域を狙ったSBD(Schottky Barrier Diode)内蔵MOSFETの開発を進めている。トレンチMOSFETの実用化には、トレンチゲートの先端部分がSi半導体素子と変わらずSi酸化膜に覆われているため、絶縁破壊耐量の確保のために高度な電界ストレスの緩和が必要になる。新構造のMIT<sup>2</sup>-MOSは、トレンチゲート底部に三つの注入層を設けることで解決した。この構造は高信頼性用途の要求に耐え得るSiCトレンチゲートMOSFETとして展開していく。

SBD内蔵MOSFETについては、高耐圧MOSFETで顕著になるMOSFETのボディーダイオードへのバイポーラ電流の通電による特性劣化を抑制するために採用した構造である。

## 2.2 パッケージ技術

Si半導体素子を搭載したIGBTモジュールでは、最大動作温度175°Cが一般的になり、またSiC半導体素子の採用によって更なる高温動作化が見込まれている。高温動作に対応する半導体素子周辺部材の進化が必要になるとともに、半導体素子からの発熱を効率良く放熱する構造・材料開発が必須であり、パワーモジュールのパッケージ技術開発が注力されている。

### 2.2.1 素子接合技術

環境規制で鉛(Pb)の使用が制限されたことで、近年ではスズ(Sn)合金材料のはんだが主に使用されているが、高い信頼性が要求される電鉄や車載向けのパワーモジュールの素子接合については、微細金属パウダーによる金属焼結接合が用いられることが増えてきた。一般的な金属焼結接合では、接合時の高温・高圧による半導体素子へのストレスが問題になる。当社では素子へのストレス緩和策を講じるとともに、無加圧下、低圧力下でも結合可能な金属焼結技術の開発を進めている。

### 2.2.2 ワイヤー配線技術

ワイヤー配線には、以前からアルミニウム(Al)又はアルミニウム合金ワイヤーが使用されているが、近年、高信頼化を目的とした銅(Cu)ワイヤーの採用が進んでいる。しかし、銅ワイヤーをチップに接合させるにはチップ表面に銅やニッケル(Ni)など硬い金属を使用する必要がある。当社では、銅ワイヤーをしのぐ通電能力と寿命向上などを目的に、半導体素子とリードフレームなどの銅板を直接接合材で接続したDLB(Direct Lead Bonding)構造を車載向けのパワーモジュールを中心に採用を継続していく。

### 2.2.3 放熱技術

更なる冷却性能改善と長寿命化のため、半導体素子を搭載した絶縁基板とヒートシンクを一体化し、はんだ層とグリース層の削減を実現する技術を開発した。冷却性能改善によってパワーモジュール自体の小型化・大電流化が可能で高パワー密度実装を実現できる。一方で、近年の市場拡大に合わせて車載向けインバーター形状が多様化しており、それぞれの形状に適したヒートシンク設計の要求が高まっている。ヒートシンク一体型技術に加えて、パワーモジュールとヒートシンクを焼結銀などの熱伝導率の高い金属材料で接合する技術の開発も進めている。

### 2.2.4 封止技術

半導体素子表面の保護やモジュール内部の絶縁確保のために、封止材料が用いられる。当社では、封止材料が筐体(きょうたい)を兼ねたモールド型パワーモジュールと、ケース内部に液状材料を注入して封止するケース型パワーモジュールがある(図3)。モールド型パワーモジュールは、金型を用いて生産するため高い生産性が得られるとともに、樹脂材料によって強固にワイヤーやはんだなどの接合材を保護できるため、信頼性が高いという特長を持ち、民生などの小容量のパワーモジュールから車載などの中容量のパワーモジュールにまで幅広く適用されている。

ケース型パワーモジュールでは、シリコーンゲルで封入される製品が多く見られるが、当社ではダイレクトポッティング(DP)樹脂による封止技術を実現している。DP樹脂は高温環境下で高い安定性を持ち、さらにシリコーンゲルが凝固する-50°C以下の過酷な環境にも耐えることが可能である。さらに低気圧環境や腐食性ガスの浸入耐量など高い耐環境性も持ち合わせる特長を持つ。電力システムや産業向けなどの高い信頼性が要求されるパワーモジュールに適用され、更なる適用範囲の拡大を検討している。



図3-パワーモジュールの封止構造

### 3. 市場別の製品技術と展望

#### 3.1 自動車応用製品

車載用パワーモジュールは、車両の居住空間、荷物スペースの確保及び衝突安全性を確保するためにパワーモジュールの小型化、軽量化、低背化が求められている。当社では20年以上にわたって車載用パワーモジュールを開発・製品化することで、自動車の電動化の発展に貢献してきた。特に近年では電気自動車の普及が急速に進んで、自動車メーカーでも複数の車種の電動化を進めているため、多様な出力のモーター駆動用インバーターの開発が急務になっている。しかしながら、モーター駆動用インバーターに適用するパワーモジュールは、様々な形状・特性があるため、製品ごとにインバーター設計を行わねばならず、開発負荷が高いことが課題になっている。

当社では、これまで培ってきたトランスマート技術を用いたJ3シリーズの開発を進めている(図4)。J3シリーズは、小型、低背、軽量の2in1モジュールであるJ3-T-PMをコアとし、要求に合わせてJ3-T-PMの並列数を増やすことで高出力化できる。また、RC-IGBT又はSiC-MOSFETのパワー半導体を搭載した製品ラインアップによって、モーター最大定格50kWから300kWまで幅広い出力に対応可能である。製品ごとの要求に合わせて並列数や搭載パワー半導体を選択することでインバーター設計を容易に実現でき、開発負荷を軽減できる。

より一層加速する電動化に貢献するためにも、当社はSi、SiCパワー半導体技術、パッケージング技術に対して更なる要素技術開発、及び製品化を継続して進めていく、環境保全や持続可能社会の実現に貢献していく。

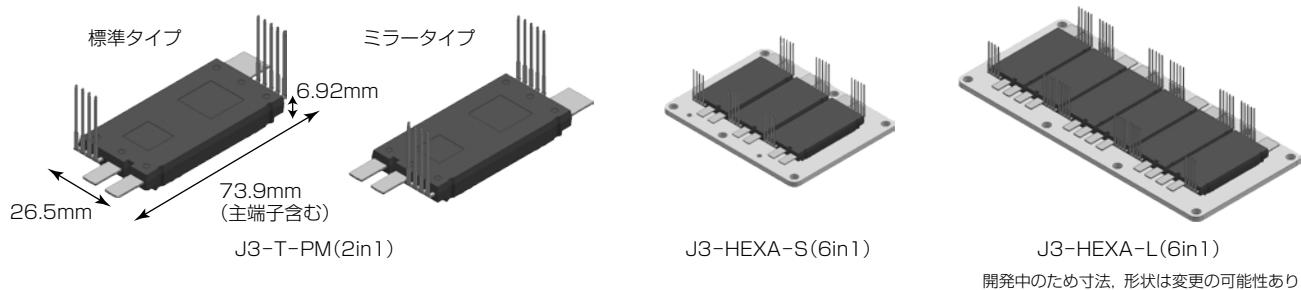


図4-J3シリーズ

#### 3.2 民生応用製品

近年、家電の高機能化と世界的な省エネルギー意識向上に伴い、白物家電市場ではインバーター化が急速に進んでいる。当社では、1997年からパワーチップとそれを駆動するICチップを内蔵したトランスマート構造のDIPIPMを製品化しており、品質向上及びインバーターシステムの設計負荷軽減に貢献してきた。2015年にはSLIMDIPをリリースし、IGBTと環流ダイオードを一つのチップ上に形成した構造を持つRC-IGBTを適用することによって、低コスト化とパッケージとしては業界最小<sup>(注2)</sup>となる小型化を達成した。既存のパッケージである超小型DIPIPMと比較して、フットプリントは30%小型化した(図5)。また、RC-IGBTの高キャリア周波数駆動に適したSLIMDIP-W、ノイズ低減を実現し

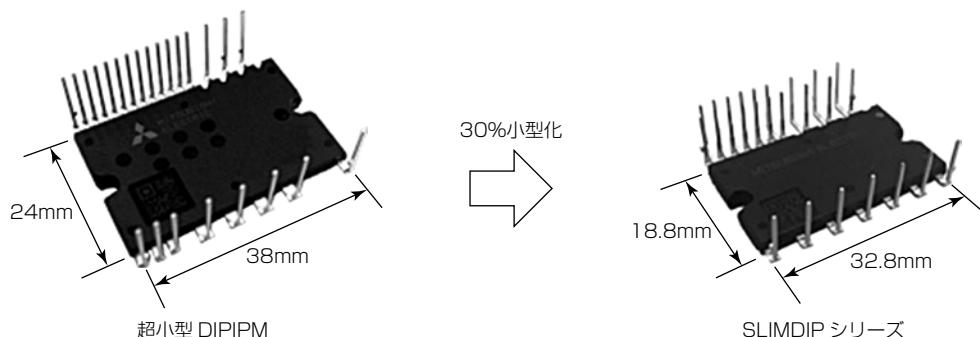


図5-パッケージサイズ比較

たSLIMDIP-X、最大定格30Aの大電流化を実現したSLIMDIP-Zとラインアップを拡充させたことによって、超小型DIPIPMと同等の幅広い容量帯をカバーすることを達成した(表1)。

表1-超小型DIPIPMとSLIMDIPシリーズのラインアップ比較

超小型DIPIPM	SLIMDIPシリーズ	定格電流	定格電圧
PSS05S92*6	SLIMDIP-S	5A	600V
PSS10S9**6	SLIMDIP-M	10A	600V
PSS15S9**6	SLIMDIP-L	15A	600V
PSS20S9**6	SLIMDIP-X, -W	20A	600V
PSS30S9**6	SLIMDIP-Z	30A	600V

今後、SLIMDIPシリーズで白物家電のインバーター化・高効率化をトータルでサポートしていくために、生産効率に優れる12インチウエハー対応のパワー半導体を適用し安定供給に努めるとともに、SiCなど次世代パワー半導体の適用による付加価値向上に努めていく。

(注2) 2015年4月23日現在、当社調べ

### 3.3 再生可能エネルギー応用製品

太陽光発電システムや風力発電システムでは、再生可能エネルギー拡大の期待に対応するため、出力電力の大容量化が求められている。これまで、パワーモジュールの定格電流・定格電圧を上昇させることで出力電力の大容量化に対応してきた。しかしながら、大電流化によってバスバーやケーブルなどのパワーモジュール以外の周辺部品の発熱も著しく大きくなる点や、高電圧化によって半導体素子定格と動作電圧との尤度(ゆうど)が小さくなり宇宙線による破壊耐量の上昇が課題になっている。

当社では、現在主流であるDC1,500V電力変換機器に対応するパワーモジュールとして、鉄道・電力用途で広く使用されている汎用性の高い共通外形パッケージであるLV100タイプを、新たに産業用途向けに開発した(表2)。独自のCSTBT(Carrier Stored Trench-Gate Bipolar Transistor)構造を採用した第7世代IGBT及びRFC(Relaxed Field of Cathode)ダイオードを、高耐電圧仕様にそれぞれ最適化し、トレードオフ関係にある高電圧動作対応と低電力損失を両立させることで、業界最大クラスの電流密度を実現した。また、端子配列の最適化と出力電極の3端子化によって、IGBTモジュールの並列接続の容易化と電極端子の発熱緩和を実現し、様々なインバーター構成への対応と高出力化を可能にした。

表2-当社LV100パッケージ製品ラインアップ一覧

製品	絶縁耐圧 4 kV製品群 (産業用途向けLV100)			絶縁耐圧 6 kV製品群 (電鉄用途向けLV100)	
					
外観サイズ(mm)	100×140×40			100×140×40	
絶縁耐圧(kV)	4			6	
定格電圧(kV)	1.2	1.7	2.0	1.7	3.3
定格電流(A)	Si 800 1,200	Si 800 1,200	Si 1,200	Si 1,200	Si 450 600
ハイブリッドSiC	-	-	-	-	600
フルSiC	-	-	-	-	750 800
品質マネージメント	ISO9001			IRIS	

今後、カーボンニュートラル実現への世界的潮流が加速していくことが見込まれ、更なる大電流化・高電圧化の技術開発を進めるとともに、LV100パッケージの適用領域を産業用途向けにも拡大し標準化に貢献していく。

### 3.4 電鉄・電力応用製品

社会インフラを担う鉄道や電力システム用途では、高信頼性と低損失の要求が高く、特に高速鉄道向けには他製品に先駆けてSiCパワー半導体が搭載されたパワーモジュールが適用されている。鉄道や電力システム用途では、適用される電圧レベルが高いことから、SiCのボディーダイオードのバイポーラ劣化が顕著に見られるという課題があった。

当社で開発したSBD内蔵MOSFETでは、SBDを内蔵することでボディーダイオード通流を抑制し、バイポーラ劣化のリスクを最小化できるようになった。さらに、従来のMOSFETとSBDを個別に搭載する素子構成と比較して、SBDを内蔵した1チップにすることでスイッチング損失の低減が可能になり、更なる高効率化を実現した。

この技術を適用したSiCパワーモジュールを一般鉄道向けなどに適用を拡大し、鉄道や電力システム分野の製品の省エネルギー化に貢献する。

## 4. む す び

当社は、カーボンニュートラルの実現に向けて急速に拡大する市場の要望に合わせて、Si半導体、SiC半導体を中心とした多種多様なパワーデバイス技術と、トランスマールドや樹脂封止などの最新パッケージ技術を組み合わせることで、幅広い要求に対して最適なソリューションを提案する。また、各アプリケーションに適したパワーモジュールのパフォーマンスを追求し、タイムリーに製品を市場に展開することで低炭素社会の実現に貢献していく。

## 参 考 文 献

- (1) 安田幸央, ほか:パワーモジュールの最新動向と展望, 三菱電機技報, 96, No.3, 139~143 (2022)



## 特集論文

# 車載用パワーモジュール “J3シリーズ”

Automotive Power Module "J3 Series"

河面英夫\*

Hideo Komo

米山 玲\*

Rei Yoneyama

所附武志\*

Takeshi Tokorozuki

東 幸幹\*

Yukimasa Higashi

\*パワーデバイス製作所

### 要 旨

近年、脱炭素の各国の政策として自動車の電動化が全世界で加速しており、2030年には世界の新車市場でのEV(Electric Vehicle)車のシェアがガソリン車のシェアを上回ることが予想されている。電動車の普及ではエネルギー効率の改善が必要条件であるため低損失のパワーモジュールが求められている。近年では小型、高効率による長航続距離化、バッテリー搭載量削減が期待できるSiC(シリコンカーバイド)デバイスを搭載したパワーモジュールが各自動車メーカーで採用され、順次市場投入されている。

三菱電機は、高効率なSiCデバイスを搭載した高効率なパワーモジュールファミリーである“J3シリーズ”を開発中であり、世界の電動化に貢献していく。

### 1. ま え が き

地球温暖化、酸性雨等の環境問題への対応を目的として、世界各国で自動車の電動化政策の取組みが活発化している。

電動化での重要なファクターの一つはインバーターの電力損失低減である。当社はパワーモジュールのエネルギー効率化によって電力損失低減に貢献してきた(図1)。これまで当社は車載用パワーモジュールとして、小型・高信頼性を特長とするT-PM(Transfer molded Power Module), 冷却フィンを一体化し小型・高出力密度の特長を持つJ1シリーズを市場投入してきた。今後さらにxEVの普及によって電力損失の低減に一層寄与するためには、更なる性能改善が必要であり、その達成手段の一つとしてSiCパワーデバイスを用いたパワーモジュールであるJ3シリーズの開発を進めている。

本稿では、J3シリーズの製品の概要、及び製品機能の特長について述べる。

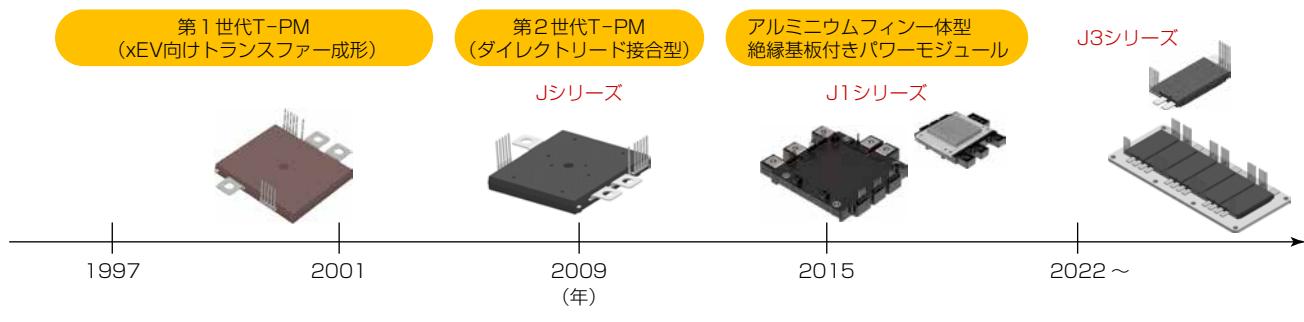


図1-当社パワーモジュール

### 2. J3シリーズ

近年の車載用パワーモジュールについては、車両の居住空間、荷物スペースの確保及び衝突安全性を確保するためのパワーモジュールの小型化、軽量化、低背化が求められている。また、急速な電動化に対応するためのインバーターの開発工数短縮化に寄与するスケーラビリティが必要になっている。これらの課題を解決し、電動化に貢献するパワーモジュールとして、SiC-MOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)を搭載可能なJ3シリーズを開発中である。

## 2.1 SiCパワーデバイス

当社は1990年代からSiCデバイスの開発を開始し、2010年に第1世代プレーナ型SiC MOSFETをリリースし、その後セル寸法や注入条件を最適化した第2世代プレーナ型SiC MOSFETを2013年に量産化した。さらに世界トップクラスの性能を誇るトレンチ型SiC MOSFETを開発中であり、トレンチ型で特に課題になる信頼性や $R_{on}-V_{th}$ トレードカーブの改善を実現している<sup>(1)</sup>。プレーナ型、トレンチ型それぞれのSiCデバイス構造を図2に示す。

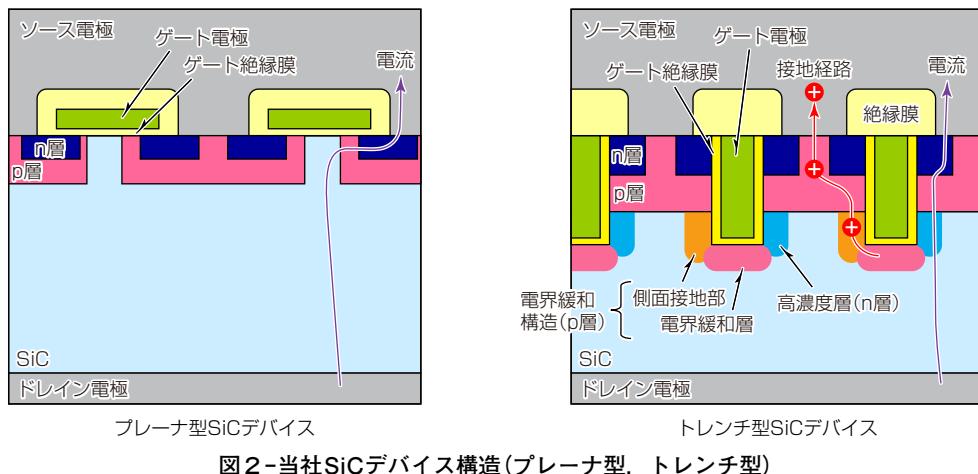


図2-当社SiCデバイス構造(プレーナ型, トレンチ型)

## 2.2 J3シリーズ製品概要

J3シリーズは、 $26.5 \times 73.9 \times 6.92\text{mm}$ (主端子含む)の小型、低背、軽量の2in1モジュールであるJ3-T-PMをコアとして、搭載チップの種類(Si(シリコン)/SiC)、チップ搭載数、及びモジュール並列数等を変更することでJ3-HEXAを構成する(図3)。これによってモーター最大定格50kW以下から300kW以上まで、幅広い出力に対応可能になる(図4)。

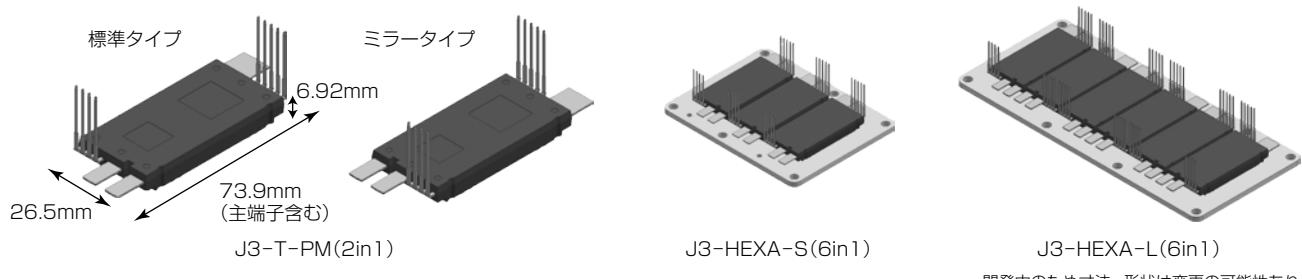


図3-J3シリーズ

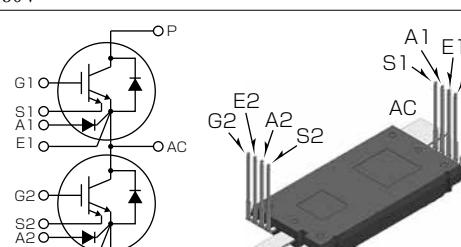
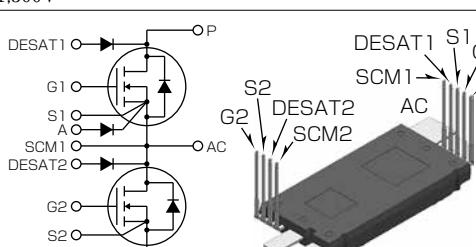
出力	$\sim 50\text{kW}$	$\sim 100\text{kW}$	$\sim 150\text{kW}$	$\sim 200\text{kW}$	$\sim 250\text{kW}$	$\sim 300\text{kW} <$
RC-IGBT (750V)						
SiC-MOSFET (1,300V)						

図4-J3-HEXAのモーター出力カバーレンジ

表1にJ3-T-PMのスペック、及び等価回路図を示す。

パワーチップについては、第3世代Si-RC-IGBT(Reverse Conducting Insulated Gate Bipolar Transistor)<sup>(2)</sup>、及びトレンチゲート型SiC-MOSFETを採用している。Siについては400Vバッテリーを想定し750V耐圧で設計し、SiCについては800V以上のバッテリー電圧を想定し1,300V耐圧で設計した。J3-T-PM(Si)の主な機能としては、オンチップの温度センサー、電流センサーを搭載し、J3-T-PM(SiC)については、多機能チップを内蔵することで、DESAT(Desaturation) Diode、温度センサー、バランス抵抗を内蔵しており、また、SC(Short Circuit)保護用の制御端子であるSCM(Short Circuit Monitor)を持っている。

表1 - J3-T-PMスペック

	J3-T-PM(Si)	J3-T-PM(SiC)
デバイス	Si RC-IGBT	SiC MOSFET
定格電流	400A	350A
定格電圧	750V	1,300V
等価回路図 搭載機能	 <ul style="list-style-type: none"> <li>・オンチップ温度センサー</li> <li>・オンチップ電流センサー</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>・DESAT Diode</li> <li>・温度センサー(チップ外部)</li> <li>・SCM端子(SC保護用)</li> </ul>

## 2.3 J3シリーズでの新規要素技術

モジュールの高出力密度化、スケーラビリティを達成するために、J3シリーズでは前世代T-PMに対して複数の新規要素技術を適用して、性能改善を図っている。各要素技術について詳細を述べる。

- (1) モジュール縦構造改善による熱抵抗低減
- (2) 多機能チップ搭載による高機能化、及び高出力密度化
- (3) SCMによる高速短絡保護

### 2.3.1 モジュールの縦構造改善による熱抵抗低減

第2世代T-PM<sup>(3)</sup>であるJシリーズでは、パワー素子の冷却構造として素子直下にはんだを介して厚みのある銅(ヒートスプレッダ)を配置し、その下面にはモールド封止樹脂よりも熱伝導率の高い絶縁シートを配置した構造にしていた。しかしながら、モジュールと冷却フィンとの接続にグリースを用いる必要があり、放熱性能が低い、ばね機構など複雑な押さえ機構が必要などの課題があった。

今回のJ3シリーズでは、構造変更による放熱性改善を図っており、冷却フィンに実装した形態で、Jシリーズと比較して熱抵抗( $R_{th(j-w)}$ )が37%低減している(図5)。

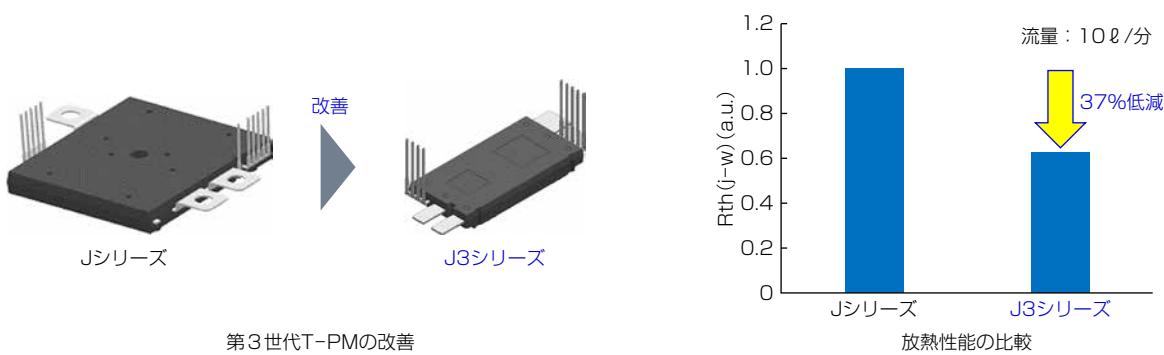


図5-J3シリーズの構造改善と熱抵抗低減効果

### 2.3.2 多機能チップ搭載による高機能化、及び高出力密度化

SiCモジュールでは他並列チップで構成されることが多く、各パワーチップの電流バランスを保つためにバランス抵抗がモジュール内部に配置されている。また、温度モニターを目的とするサーミスタも配置されていることから、それぞれに応じた制御パターンが必要になって、小型化、高出力密度化を阻害する要因になっている。

今回のJ3シリーズでは複数の機能(DESAT Diode, 温度センサーDiode, ゲートバランス抵抗, ソース配線)を集約した多機能チップを搭載することで、小型化、高出力密度化を図っている(表2)。

表2-多機能チップ搭載による利点

No.	搭載機能	利点
1	DESAT Diode	制御基板へのDESAT Diodeの搭載が不要になり、制御基板の設計を簡素化可能
2	温度センサーDiode	サーミスタ搭載構造に対して熱時定数が小さく、温度の応答速度が速い
3	バランス抵抗	複数のバランス抵抗が1チップに集積されており、バランス抵抗を搭載する内部配線、SiCチップ内へのバランス抵抗搭載が不要
4	ソース配線パターン	ソース配線を持つことで、複数チップのソースショートが可能 ソース信号のための内部配線が不要

### 2.3.3 SCMによる高速短絡保護

SiC-MOSFETは低オン抵抗が特徴の素子であり、その背反として飽和電流が大きくなるため、短絡電流保護設計が肝要になる。SiCモジュールではDESAT保護が採用されているが、ブランкиング時間等の考慮が必要になるため、短絡電流の検出時間に限界があった。この課題を解決するために、SCM端子を用いた高速短絡保護技術を開発した。SCM端子はS端子に対して寄生インダクタンス成分を持っており、短絡電流が発生した際のdi/dtとこの寄生インダクタンスによって発生した逆起電力を用いて、制御基板上に構成された検出回路を介してゲート電圧を早期に抑制し、その後従来のDESAT保護方式で遮断する。この方式は従来のDESAT保護方式と比較して、短絡エネルギーを70%程度低減可能になることを確認している(図6)。

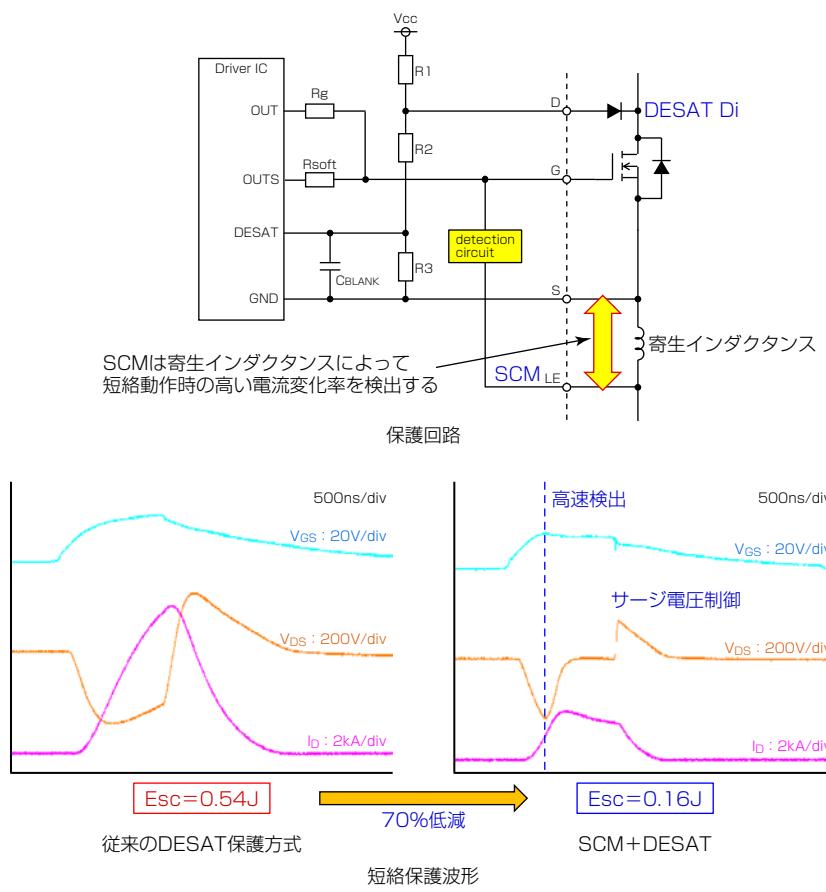


図6-SCM端子を用いた高速短絡保護

### 3. む す び

当社は、車載用パワーモジュールを開発、製品化することで、20年以上にわたって自動車の電動化の発展に貢献してきた。これまで培ってきたトランスファーモールド技術や放熱フィンの一体化技術に加えて、最新世代のRC-IGBT、トレンチ型SiC-MOSFETによる低損失化、多機能チップの適用等による小型、高出力密度化、2in1回路構成単位の組合せによってスケーラビリティーを実現するJ3シリーズを開発中である。これからより一層加速する電動化に貢献するためにも、当社はSi、SiCデバイス技術、パッケージング技術に対して更なる要素技術開発、及び製品化を継続して進めていく、環境保全や持続可能社会の実現へ貢献していく。

### 参 考 文 献

- (1) 菅原勝俊, ほか: 低損失化を実現する新構造SiCトレンチMOSFET, 三菱電機技報, **96**, No.3, 160~163 (2022)
- (2) 曽根田真也: xEVに向けたSi-IGBT技術, 車載テクノロジー, **8**, No.12, 30~35 (2021)
- (3) 河面英夫, ほか: 自動車用SiCパワーモジュール, 三菱電機技報, **96**, No.3, 144~147 (2022)

## 特集論文

# SLIMDIPシリーズの ラインアップ拡充と将来展望

SLIMDIP Series Lineup Expansion and Future Prospects

牧島 仁\*  
Hitoshi Makishima  
高倉一希\*  
Kazuki Takakura  
浜崎海翔\*  
Kaito Hamasaki

\*パワーデバイス製作所

### 要 旨<sup>(1)</sup>

三菱電機は、1997年からパワーチップとそれを駆動するICチップを内蔵したトランスマルチモード構造の“DIPIPM”を製品化しており、1パッケージ化による品質向上及びインバーターシステムの設計負荷軽減に貢献してきた。2015年に業界最小<sup>(注1)</sup>のパッケージを実現した“SLIMDIP-S”“SLIMDIP-L”を発売して以降、高キャリア周波数駆動に適した“SLIMDIP-W”，ノイズ低減を実現した“SLIMDIP-X”，最大定格30Aの大電流化を実現した“SLIMDIP-Z”とラインアップを拡充させた。近年、多機能・高性能化しているエアコンや、洗濯機、冷蔵庫など家電製品の省エネルギー化に貢献している。

(注1) 2015年4月23日現在、当社調べ

### 1. まえがき<sup>(1)</sup>

当社は業界に先駆けて<sup>(注2)</sup>DIPIPMを製品化して以降も、市場要求の変化に応じた製品を次々と開発、量産化してきた。近年、家電の高機能化と世界的な省エネルギー意識向上に伴い、白物家電市場ではインバーター化率が急速に進んでいる。SLIMDIPシリーズは、家庭用エアコンなど白物家電や小容量ファン駆動向けに開発した小容量IPM(Intelligent Power Module)で、製品の小型化、低コスト化を実現しつつ、1パッケージで幅広い容量帯をカバーすることを可能にした製品である。SLIMDIPシリーズは、RC-IGBT(Reverse Conducting - Insulated Gate Bipolar Transistor)×6素子によるインバーター回路と、それを駆動するHVIC(High Voltage Integrated Circuit), LVIC(Low Voltage Integrated Circuit)及びBSD(BootStrap Diode)×3素子で構成している。

SLIMDIPシリーズに採用しているRC-IGBTには当社独自の第7世代IGBTの技術を用いている。

本稿ではSLIMDIPシリーズの概要、特長、及び今後の展望について述べる。

(注2) 1997年8月25日現在、当社調べ

### 2. SLIMDIPシリーズの概要<sup>(1)</sup>

#### 2.1 パワー部

IGBTとFWD(Free Wheeling Diode)を1チップ化したRC-IGBT(6素子)による三相AC出力インバーター回路を構成している。図1にRC-IGBTの断面構造図を示す。

#### 2.2 制御部

図2にSLIMDIPシリーズの外観と内部回路図を示す。

HVIC(1素子)にはP側IGBT用駆動回路、高压レベルシフト回路、フローティング電源電圧低下保護回路(UV, エラー信号(Fo)出力なし)を内蔵している。また、ブートストラップ回路方式の採用によって、15V単一電源駆動が可能である。

LVIC(1素子)にはN側IGBT用駆動回路、保護機能として制御電源電圧低下保護回路(UV), 短絡電流保護回路(SC)に加え、過熱保護回路(OT)及びアナログ温度出力回路(VOT)を内蔵している。短絡電流保護は、外部接続のシャント抵抗で過電流を検知し、LVICにフィードバックしてIGBTを遮断させる。UV, SC及びOTの動作時にFoを出力する。

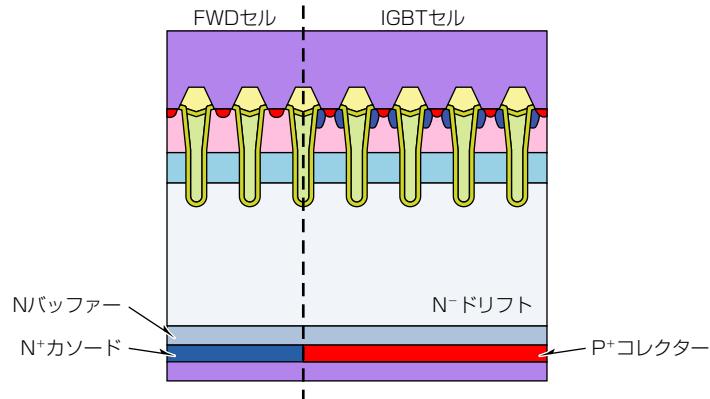
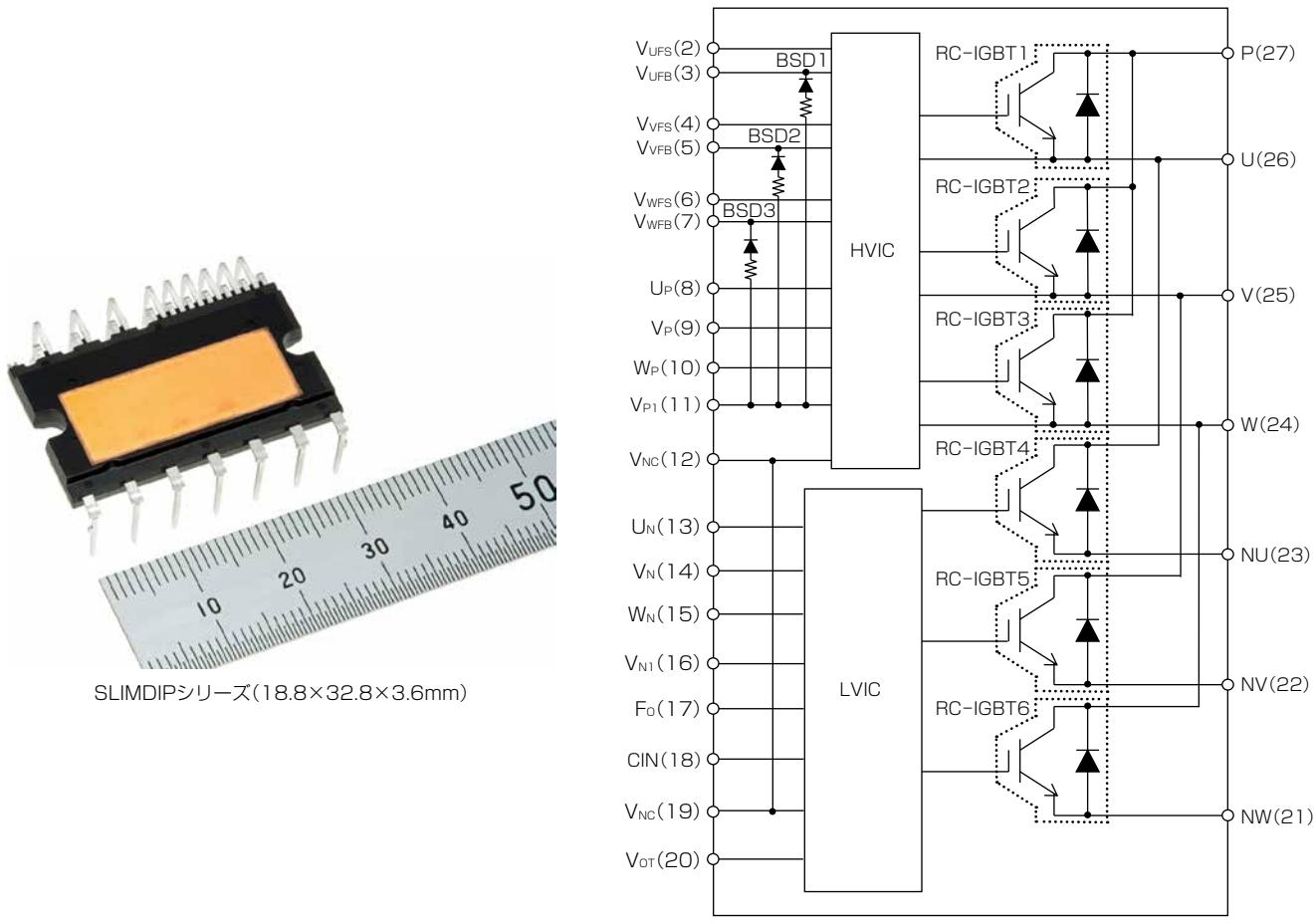
図1-RC-IGBTの断面構造<sup>(2)</sup>

図2-SLIMDIPシリーズと内部回路図

### 3. SLIMDIPシリーズの特長<sup>(1)</sup>

#### 3.1 RC-IGBTの搭載

SLIMDIPシリーズでは、基板占有面積の縮小を目的にパッケージサイズの小型化を追求するため、IGBTとFWDを一つのチップ上に形成した構造を持つRC-IGBTを採用している。このRC-IGBTには当社独自の第7世代IGBTの技術を用いている。図3に示すようにチップ搭載数を半分にできる。この結果、図4に示すパッケージサイズは超小型DIP1PMと比較して30%小型化した。

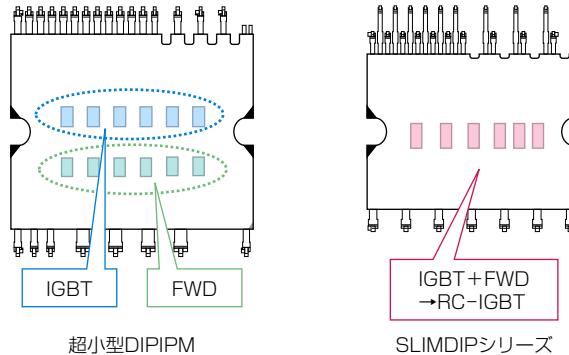


図3-RC-IGBTの搭載

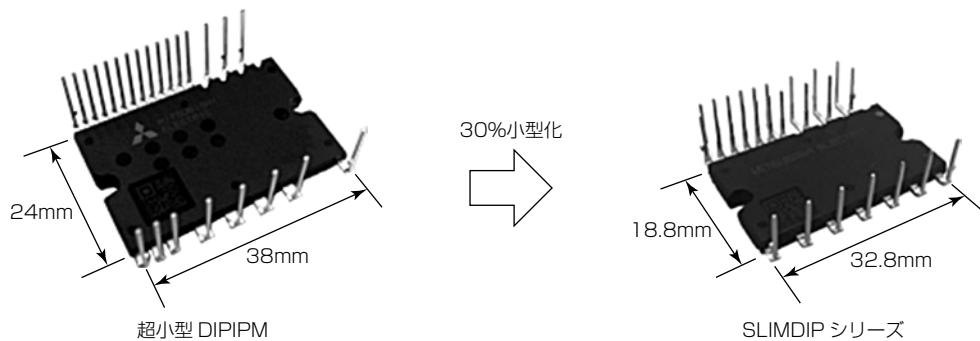


図4-パッケージサイズ比較

### 3.2 配線パターンの簡素化

SLIMDIPシリーズではパッケージサイズの小型化に加えて、システム基板上の配線パターンの簡素化も実現している。DIPIPMのP側IGBTを駆動させるために用いるブートストラップ回路には、制御電源電圧を安定化するために、外部にコンデンサーを接続する必要がある。従来の超小型DIPIPMシリーズの端子配列では、制御電源端子の基準をパワー側に引き回していたため、余分な基板エリアが必要になっていた。SLIMDIPシリーズでは、P側駆動電源の基準端子を制御側に3本設けることで、長い配線パターンを基板上に引き回す必要がなくなり、基板設計の簡素化、基板エリアの縮小に貢献した(図5)。

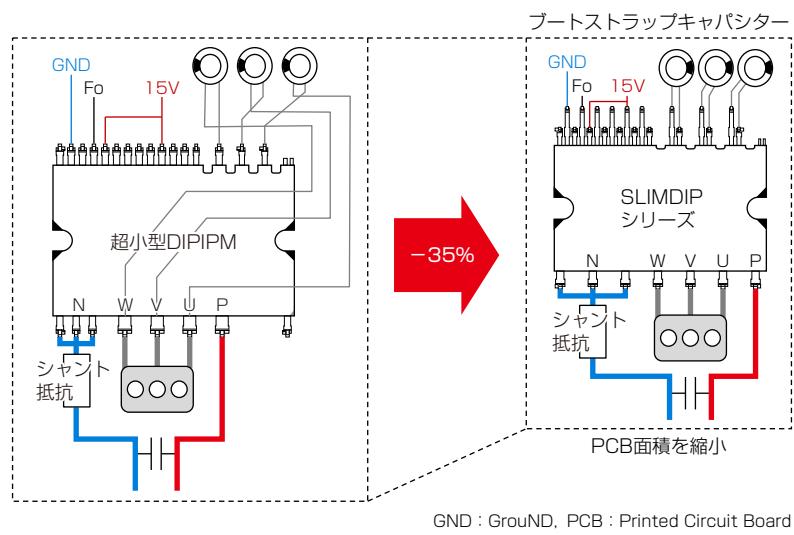


図5-PCB配置比較

### 3.3 機能と最大定格の拡大

超小型DIPPMシリーズでは温度保護機能として過熱保護(OT)又はアナログ温度出力(VOT)のどちらかの機能を選択する仕様であるが、SLIMDIPシリーズでは両方の機能を持つ仕様である。超小型DIPPM Ver.6に対してケース温度Tcの最大温度や絶縁耐圧も拡大しており、機能と最大定格の両方を拡大することによってシステム設計の向上に寄与している。

### 3.4 ラインアップ拡充

2015年のSLIMDIP-SとSLIMDIP-Lのラインアップから始まり、SLIMDIP-W、SLIMDIP-M、SLIMDIP-X、SLIMDIP-Zと定格電流5～30Aを同一パッケージで製品展開した。表1に示すようにSLIMDIP-X及びSLIMDIP-Zのラインアップ追加によって、SLIMDIPシリーズでの適用範囲を拡大させた。定格電流15Aでは、低キャリア周波数駆動に適応したSLIMDIP-Lと高キャリア周波数駆動に適応したSLIMDIP-Wをラインアップすることで、アプリケーションに合わせた最適なデバイスを選定することが可能になる。図6にキャリア周波数-出力電流特性グラフを示す。

表1-SLIMDIPラインアップ

形名	主用途	定格	キャリア周波数
SLIMDIP-S	冷蔵庫、ファン	5A/600V	高速
SLIMDIP-M	ファン、洗濯機	10A/600V	高速
SLIMDIP-L	エアコン	15A/600V	低速
SLIMDIP-W	洗濯機、エアコン	15A/600V	高速
SLIMDIP-X	エアコン	20A/600V	中速
SLIMDIP-Z	エアコン	30A/600V	中速

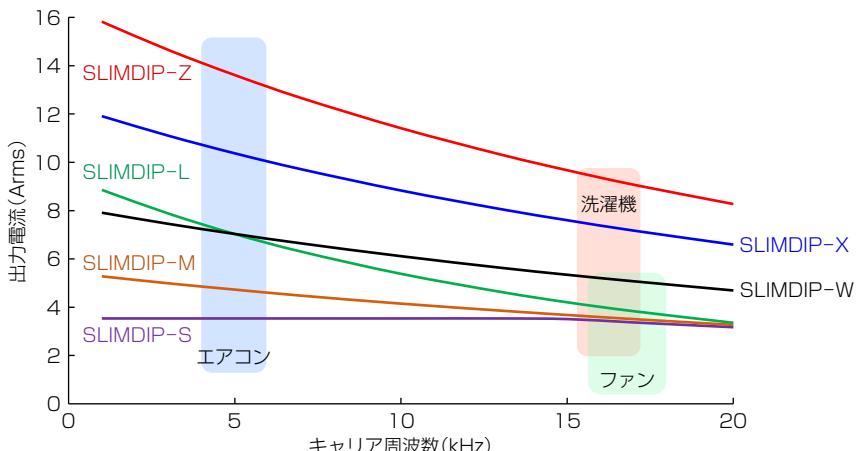


図6- キャリア周波数-出力電流特性

### 4. 今後の展望

近年、各国の脱炭素化に向けた規制の強化によってエネルギー性能を重視する動きがある。一方でアジア圏を中心にコスト重視の動きは根強く、今後は需要の二極化が拡大すると考えられる。市場の要求に対して、SLIMDIPシリーズで白物家電のインバーター化・高効率化をトータルでサポートしていくために、生産効率に優れる12インチウエハー対応のパワー半導体を適用し安定供給に努めるとともに、SiC(シリコンカーバイド)など次世代パワー半導体の適用による付加価値向上に努めていく。

## 5. む す び

SLIMDIPシリーズは、RC-IGBT搭載によるパッケージ小型化、ピン配置による配線パターンの簡素化、及び現行品に対し機能と定格を拡大することで、顧客のインバーターシステムの設計負荷を大幅に削減した。近年、脱炭素化に向けた各国の規制は厳しくなる一方であり、パワーデバイスに求められる期待は年々高まっている。今後も幅広い用途でのインバーター機器普及に貢献できるよう、市場ニーズに対応する製品開発を続けていく。

## 参 考 文 献

- (1) 柴田祥吾, ほか: RC-IGBT搭載パワーモジュール“SLIMDIPシリーズ”, 三菱電機技報, 90, No.5, 307~310 (2016)
- (2) 安田幸央, ほか: パワーモジュールの最新動向と展望, 三菱電機技報, 96, No.3, 139~143 (2022)



# LV100パッケージ製品の 再生可能エネルギー市場向け製品展開

Product Development of LV100 Package Family for Renewable Energy Market

\*パワーデバイス製作所

## 要 旨

化石燃料の代替として注目される再生可能エネルギー電源は、単機当たりの出力性能を向上させることによって発電電力を低資源かつ効率的に供給できる。出力性能向上には、電力変換装置の大電流・高電圧化が必要であり、そのコアパーツであるパワーモジュールがより小さい電力損失で発熱を抑えて、かつ安全に動作することが求められている。

三菱電機は、低電力損失である第7世代IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)を業界標準であるLV100パッケージに搭載した製品を展開している。中でも、2.0kV及び1.2kV耐圧の製品は、太陽光発電や蓄電池、風力発電システムの大電流・高電圧化の技術動向に適応した製品としてその付加価値向上に貢献している。

## 1. ま え が き

カーボンニュートラル実現に向けた再生可能エネルギーを用いた発電システムの導入が加速度的に進んでいる。中でも、太陽光や風力エネルギーを用いた発電システムやその発電エネルギーを効率良く蓄電・輸送・活用するための蓄電池や燃料電池システムが、化石燃料を用いた発電システムの主要な代替システムと大きく期待され、著しく実績を伸ばしている。これらの再生可能エネルギー発電システムの高効率化、すなわち投入資源当たりの出力電力量の最大化を目的として、システム大容量化やシステムコストの低減が活発に進められている。

本稿では、これらの再生可能エネルギー発電システムの中で、特にメガワットを超える大規模発電設備で用いられる電力変換装置(以下“インバーター”という。)で使われるパワーデバイスについて、システム大容量化やシステムコスト低減を実現するためにパワーデバイスに求められる技術要件と、対応する当社製品の展開について述べる。

## 2. 再生可能エネルギーシステム向けインバーターの技術動向

メガワットクラスの太陽光発電システム向けインバーター及び風力発電タービンの電流電圧定格について、各種メーカーの定格ラインアップをプロットしたものを、図1に示す。電圧・電流共に幅広い定格が存在するが、その動向について次に述べる。

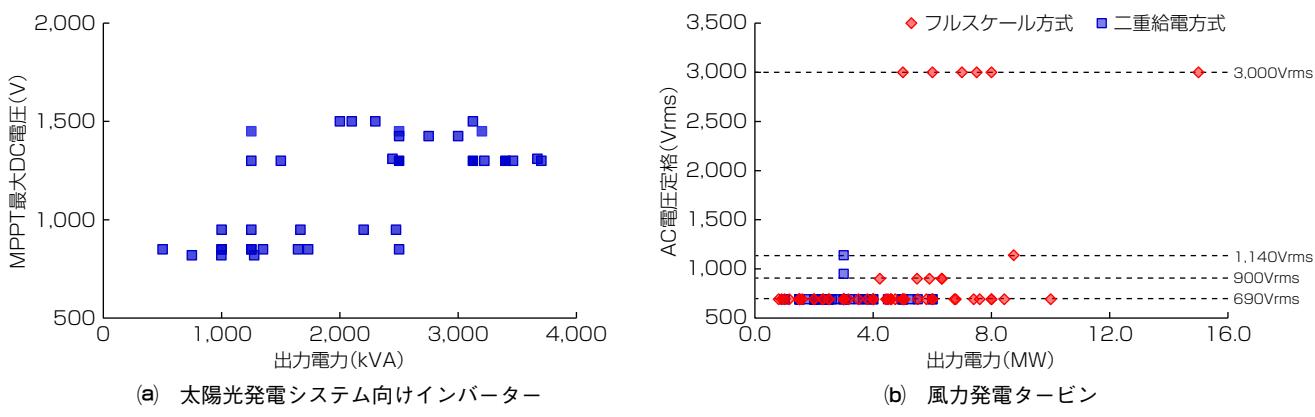


図1-システム出力電力と定格電圧

## 2.1 高出力電流化

太陽光発電システムや風力発電システムでは、出力電力の最大化を追求する開発が進んでおり、その方策の課題が出力電流の最大化である。装置を大型化せずに大電流化を実現するために、大電流動作でもその発熱が小さく抑えられる低電力損失パワーモジュールが求められる。一方で、電流増加に伴い、バスバーやケーブルなどのパワーモジュール以外の周辺部品の発熱も著しく大きくなるため、出力電流の最大化だけでは出力電力の最大化には一定の限界がある。

## 2.2 動作電圧の高電圧化

太陽光発電システムや蓄電池システム用途では、太陽光パネルや蓄電池など直流電源と接続される。そのインバーター入力部は1,000~1,500VDC定格が存在する。現在は、低電圧指令<sup>(1)</sup>の要件に基づく直流電圧の上限値である1,500VDCが主流である。この指令に準拠するコンバーターは定格電圧が1,500VDC(及び1,000VAC)以下でなければならない。直流電圧を最大化することで、同じ出力電力を低い出力電流で実現でき、送電ケーブルなど出力電力当たりのコストが抑制される。定格1,500VDCに対して、太陽光発電システムでは太陽光パネルの出力特性とインバーターのMPPT制御によって、パワーデバイスは900~1,300VDCが主な連続動作点になる。ただし近年は特に、太陽光パネルの設置容量がインバーター定格より大きい場合や、電力の需給調整に伴う供給電力制限が求められる場合などが増えており、その場合1,400VDC程度のより高い連続動作電圧を考慮する必要がある。風力発電システムでも、変換器の入力電圧である交流発電機電圧や、出力電圧である系統接続トランクの一次電圧は、現在は690VACが主流な定格AC電圧であるが、同じ出力電流でより高い出力電力を得るために高出力電圧化が進んでいる。900VACシステムでは、1,400VDC程度を考慮する必要があり、グリッドコードで要求される系統異常時の継続動作要件であるLVRT(Low Voltage Ride Through)やHVRT(High Voltage Ride Through)を満たす必要がある場合は、690VACシステムであっても1,400VDC程度を考慮する必要がある。

このような高電圧動作に対して、パワーモジュールには、スイッチング時に発生するサージ電圧に対する十分な耐圧設計はもとより、宇宙線による破壊耐量(LTDS: Long Term DC Stability)が十分低いことが求められる。LTDSは通常、動作電圧に対して十分な尤度(ゆうど)を持った電圧定格を選択することでその故障率が低くなる。一方で、耐圧尤度を過度に設定すると、一般に電力損失が悪化するというトレードオフがある。良好なLTDS故障率を維持しながら低い電力損失を実現するための方策として、1,200V定格の2in1パワーモジュールを3個組み合わせた3レベルIタイプ回路がよく使用される(図2)。ただし、3レベルIタイプ回路は、必要な素子数が2レベルと比べて3倍多く、パワーモジュールの数も増えるため、制御の複雑化やゲートドライバーなど周辺部品の増加といったデメリットもあり、シンプルな2レベル回路と比べてその優劣は一長一短である。

このように再生可能エネルギー用インバーターの技術開発は、大電流化・高電圧化を追求する動向であり、その大電流・高電圧で低電力損失かつ安全動作を実現するパワーモジュールが求められる。さらに、その回路構成も2レベルや3レベルなど一様ではないため、それらの要求に柔軟に対応できるパワーモジュールが好適である。

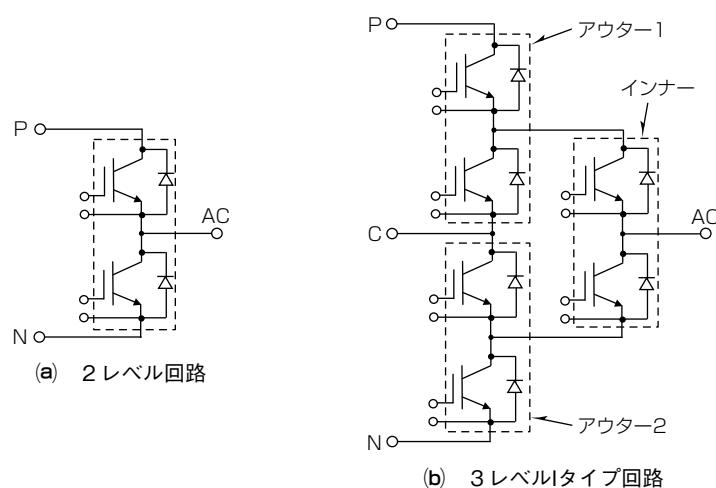


図2-2 レベル回路と2in1素子を3個組み合わせて構成する3レベルIタイプ回路

### 3. 顧客課題を解決するLV100パッケージ製品

表1に、大容量領域の標準パッケージであるLV100パッケージを用いた製品ラインアップを示す。実装サイズ100×140mmのコンパクト性を実現したLV100パッケージは、システムの大電流化・高電圧化に対応するパワーモジュールとして注目されている。パワーモジュール単体の大電流定格化が実現可能であるとともに、パワーモジュール同士の並列接続もしやすく、同一パッケージ外形で異なる電圧定格にも対応できるため、異なるシステム電流容量やシステム電圧定格への拡張性を実現する際に、主にその寸法設計が共通化されたゲートドライバーや冷却器を用いることができる。このように、大電流・高電圧に柔軟に対応可能なLV100パッケージは、同じく大電流・高電圧化が求められる再生可能エネルギー用途に適しており、当社は次に示すように同用途での顧客課題を解決する製品ラインアップを展開している。

表1-当社LV100パッケージ製品ラインアップ

	絶縁耐圧 4 kV製品群 (産業用途向けLV100)			絶縁耐圧 6 kV製品群 (電鉄用途向けLV100)	
製品					
外観サイズ(mm)	100×140×40			100×140×40	
絶縁耐圧(kV)	4			6	
定格電圧(kV)	1.2	1.7	2.0	1.7	3.3
定格電流(A)	Si 800 1,200	Si 800 1,200	Si 1,200	Si 1,200	Si 450 600
ハイブリッドSiC	-	-	-	-	600
フルSiC	-	-	-	-	750 800
品質マネージメント	ISO9001			IRIS	

Si:シリコン, SiC:シリコンカーバイド

#### 3.1 2レベル回路対応2.0kV耐圧製品

1,500VDC定格の太陽光発電、蓄電池システム、900VAC定格の風力発電システムなどの高電圧システムを、2レベル回路の特長であるシンプルな回路構成によって実現可能になる1,200A/2.0kVパワーモジュールCM1200DW-40Tを展開している。低電力損失を実現した第7世代IGBT及びFWD(Free Wheeling Diode)を2.0kV耐圧に展開したパワーデバイスを搭載している。従来の1.7kV耐圧では高電圧動作でLTDSによる故障率が高くなるが、太陽光や蓄電池システムの動作電圧を考慮した最適な耐圧設計によってその故障率を十分低く抑えることができる(図3)<sup>(2)</sup>。一方で、過剰に尤度

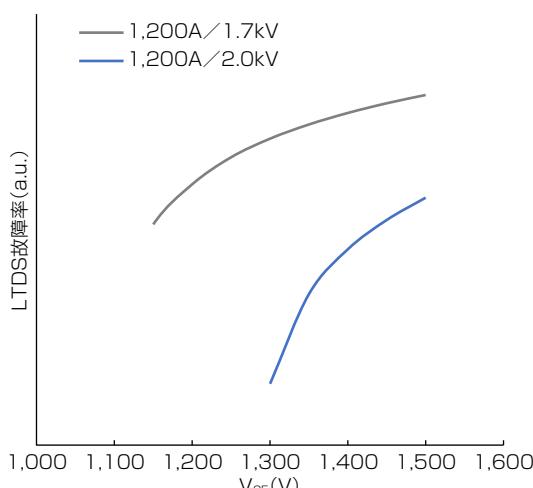
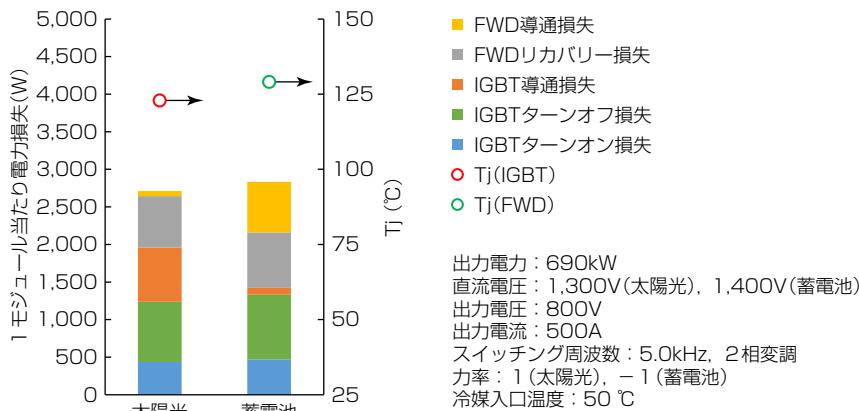


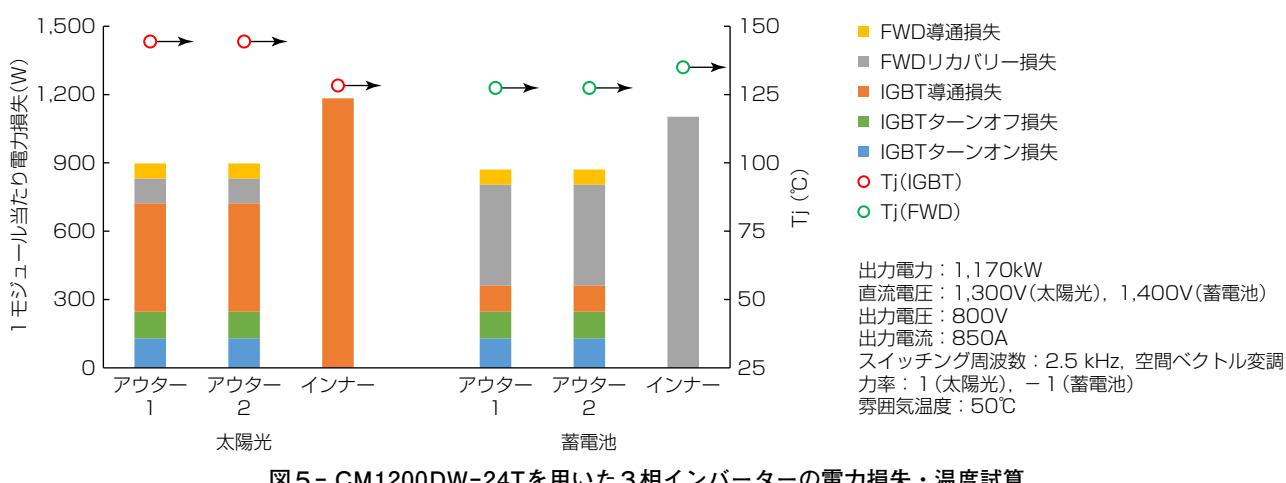
図3-LV100 1,200A製品のLTDS耐量

を取った耐圧設計を避けることで、電力損失の増加も最低限に抑制し、低故障率と低損失の要求に同時にに対応する製品になっている。図4に、1,500VDC定格の太陽光及び蓄電池用途を想定した電力損失及び水冷による冷却を想定した動作温度の試算結果を示す<sup>③</sup>。このように、2レベル回路を用いた690kWインバーターが実現可能であり、さらにパワーモジュールを並列接続することでメガワット級のインバーターも構成できる。



### 3.2 3レベル対応1.2kVクラス耐圧製品

3.1節で述べた高電圧システムを3レベルIタイプ回路で構成する際に最適な1,200A/1.2kV IGBTモジュールCM1200DW-24Tを展開している。第7世代IGBTとFWDを搭載し、低電力損失を実現している。図5に、1,500VDC定格の太陽光及び蓄電池用途を想定した電力損失及び強制空冷による冷却を想定した動作温度の試算結果を示す。このように、3レベルIタイプ回路を用いて1,170kWインバーターが実現可能であり、強制空冷でもメガワット級のインバーターを構成できる。



## 4. 今後の展望

第7世代IGBTと比べて更に低損失化を実現できる次世代IGBTを搭載した大電流パワーモジュールや、今後も上昇していくことが見込まれる動作電圧に対応できる高電圧次世代パワーモジュールなど、これまで述べたインバーター電流・電圧性能の更なる向上が可能になる製品開発を進めて、再生エネルギー電源の付加価値向上に貢献する。3レベルなどマルチレベル回路の応用やSiCデバイスの採用が旺盛(おうせい)な市場でもあり、これらの動向を踏まえた最適な製品を開発していく。

## 5. む す び

2.0kV及び1.2kV耐圧の第7世代IGBTを搭載したLV100パッケージ製品CM1200DW-40T及びCM1200DW-24Tは、近年主流になっている定格1,500VDCの再生可能エネルギー電源用インバーターに適しており、その大電流化・高電圧化の実現を可能にするパワーモジュールである。今後、カーボンニュートラル実現への世界的潮流が加速していくことが見込まれ、更なる大電流化・高電圧化に対応できるパワーモジュール製品への期待は大きい。再生エネルギー電源の付加価値向上に貢献できる次世代製品の開発を進めて、市場・顧客の期待に対応していく。

## 参 考 文 献

- (1) Low Voltage Directive (2014/35/EU)
- (2) Radke, T., et al. : 2000 V Class LV100 IGBT Module Enabling Higher Power Density and Design Simplification in Renewable 1500 V Inverter Systems, PCIM Europe 2022, 383~387 (2022)
- (3) Miyahara, S., et al. : Novel 2000 V IGBT with LV100 package for Renewable Energy Application, PCIM Asia 2022, 200~205 (2022)



## 高耐圧SBD内蔵MOSFETモジュール のサージ電流耐量向上

Improvement of Surge Current Capability of High Voltage SBD-embedded  
SiC MOSFET Module

沖元 慶\*

Shigeru Okimoto

菅原勝俊†

Katsutoshi Sugawara

廣中陽一\*

Yoichi Hironaka

羽鳥憲司\*

Kenji Hatori

\*パワーデバイス製作所

†先端技術総合研究所(博士(工学))

### 要 旨

ワイドバンドギャップ半導体として注目されるSiC(シリコンカーバイド)材料を適用した製品として、新たに高耐圧SBD(Schottky Barrier Diode)内蔵MOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect-Transistor)モジュールを開発した。SBD内蔵MOSFETはSiC製品を扱う上で重要な信頼性課題であるバイポーラ劣化のリスクを最小化し、高い製品信頼性を提供する。一方で、一般的にSBD内蔵MOSFETはサージ電流耐量が低いという欠点があることが広く知られていた。三菱電機はSBD内蔵MOSFETのサージ電流耐量を向上させるための新たなデバイス構造を開発した。これによって、SBD内蔵MOSFETモジュールのサージ電流耐量をバイポーラデバイスである従来のSi(シリコン)製品と同等以上にまで向上させた。

### 1. ま え が き

現在、大電流・高電圧を扱うパワーモジュールの市場は従来のSi製品からSiC製品への変遷期にある。ワイドバンドギャップ半導体であるSiCを用いたMOSFETはSi-IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)よりも大幅な低損失化を実現し、電力変換機器の省電力化や小型化に貢献している。一方で、パワーエレクトロニクス分野で長年研究が行われてきたSiと比較してSiCの歴史はまだ浅く、SiC-MOSFETの信頼性に関する議論は現在でも世界各地で活発に行われている。SiC-MOSFETの信頼性に関する議論の一つに、バイポーラ劣化が挙げられる。MOSFETの構造上、デバイス内部にボディーダイオードが形成され、バイポーラ電流が流れると正孔注入によってSiCの基底面転位を起点として積層欠陥が拡張する。これによって製品の長期間使用ではオン電圧の増加が懸念される。特にチップ総面積が大きくドリフト層が厚い高耐圧製品でバイポーラ劣化のリスクが高くなるため、SiCを扱う上ではこれを抑制する技術が重要になる。

当社は鉄道用途向けで耐電圧3.3kV以上のフルSiC製品を世界に先駆けて<sup>(注1)</sup>開発及び市場投入し、脱炭素社会実現への貢献とともにSiCに関する知見や技術を積み重ねてきた。SiC-MOSFETチップのバイポーラ劣化を防止するための特殊なスクリーニング試験の実施やフリーホイールダイオードとして機能するSBDチップをモジュール内に搭載することで、提供する製品の高い信頼性を確保している。しかしながら、耐電圧3.3kVのMOSFETチップのボディーダイオードにバイポーラ電流を流さないようにするには、MOSFETチップの約1.3倍の大きさのSBDチップが必要になる<sup>(1)(2)</sup>。SBDチップ搭載に際して、モジュール内の大きなスペース確保や大幅なコスト増加を余儀なくされていた。今回、高い製品信頼性が要求される高耐圧帶用途向けに、SBDをMOSFETチップ内に内蔵した耐電圧3.3kVのSBD内蔵MOSFETモジュール(図1)

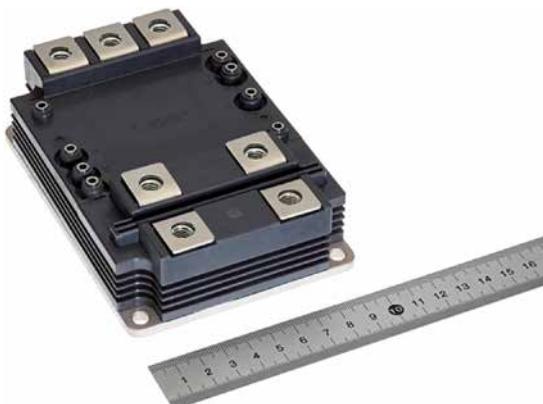


図1-高耐圧SBD内蔵MOSFETモジュール

を新たに開発した。SBD内蔵MOSFET構造によってボディーダイオードへの通流を抑制することでバイポーラ劣化の課題は解決される。一方で、SBD内蔵MOSFETは大電流領域での導通損失が大きいために、一般的にサージ電流耐量が小さいという欠点があることが広く知られている。

本稿ではSBD内蔵MOSFETモジュールのサージ電流耐量向上を実現した方法について述べる。

(注1) 2017年5月11日現在、当社調べ

## 2. サージ電流耐量向上を実現する新たなSBD内蔵MOSFET構造

サージ電流耐量を向上させるSBD内蔵MOSFETの新規構造を図2に示す。SBD領域の一部をp-wellで充填してSBDを不活性化させ、意図的にボディーダイオード動作する極小領域を作り込む。この部分をBMA(Bipolar Mode Activation)セルと呼ぶ。BMAセルは、SBD内蔵MOSFETのサージ電流耐量を向上させるために、主として二つの大きな役割を持っている。

役割の一つ目は、機器の異常動作時にパワーモジュールに対してサージ電流耐量が要求される場合に限って、SBD内蔵MOSFETのボディーダイオードを動作させる。大きな事故電流がパワーモジュールに印加されたとき、SBD内蔵MOSFETチップ内のBMAセルに注入されたキャリアはBMAセルに隣接するセルに向かって拡散する。拡散したキャリアによって隣接するセルのドリフト抵抗が低下し、ボディーダイオードに印加される電圧が増加することでそのセルのボディーダイオードが動作を開始する(図3)。このボディーダイオード動作の伝搬はチップ全体に瞬時に広がる<sup>(3)</sup>。そのため、BMAセルとして必要とされる面積はSBD内蔵MOSFETチップの総面積の1%未満と非常に小さく、電気的特性はBMAセル非搭載のモジュールと同等になる点もこの構造の優れたところである。過電流領域ではボディーダイオードを動作させることで伝導度変調を利用し、大電流通流時の電力消費を抑制してサージ電流耐量向上を実現した(図4)。ボディーダイオードへの通流によるバイポーラ劣化の影響度は、非常時等の限られた回数であれば想定しやすく、そのリスクを最小限に抑えることができる。開発したSBD内蔵MOSFETモジュールは、機器の通常動作時にはボディーダイオード動作が伝搬しないようBMAセルの寸法及び配置数等を設計している。

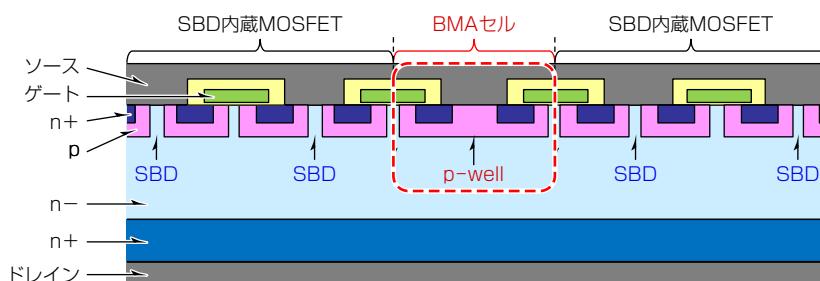


図2-サージ電流耐量向上を実現する新たなSBD内蔵MOSFET構造

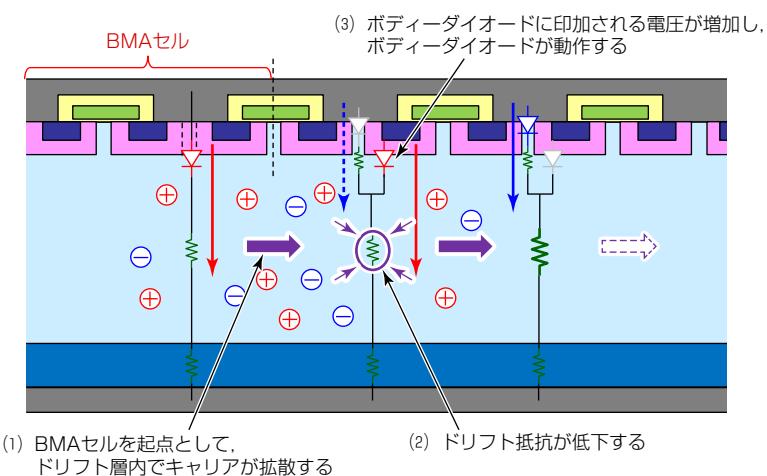


図3-バイポーラ動作の伝搬

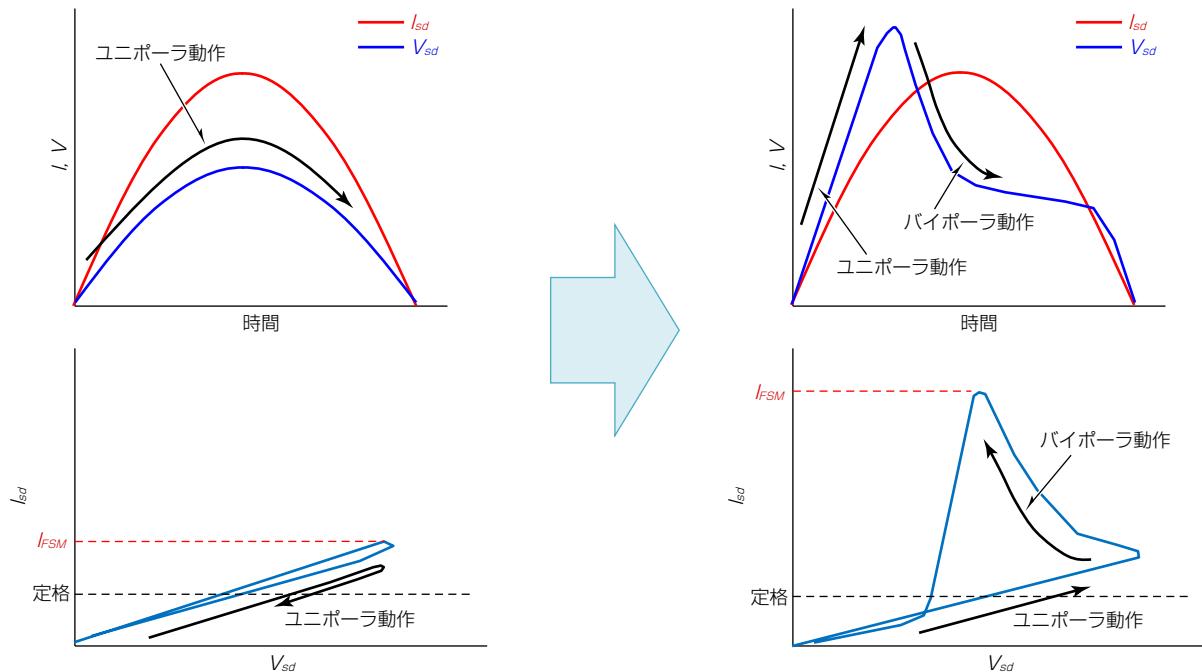


図4-伝導度変調によるサージ電流耐量向上

BMAセルの主な役割の二つ目は、モジュールに搭載されるSBD内蔵MOSFETチップの特性ばらつきの影響を最小化させることである。大電力を扱うパワーモジュールでは、複数の半導体チップを並列接続してモジュール内に実装するのが一般的である。半導体チップ単体では大きなサージ電流耐量を持っていたとしても、パワーモジュールとして組み上げたときにそのサージ電流耐量をチップ単体のサージ電流耐量の和にすることは困難である。その理由は、複数チップ間の特性ばらつきによって早期に動作するチップに電流が集中してしまい破壊に至るためである。これはパワーモジュールのサージ電流耐量評価後の並列接続したチップの外観からも裏付けられる。BMAセル非搭載のモジュール評価ではチップ表面の電極材として用いられるアルミニウムの溶融が一部のチップで確認されており、これらのチップに大電流が流れることを示唆している(図5)。ボディーダイオードの動作タイミングを決めるチップ特性値は、MOSFETチップ内に作り込むSBD領域の幅に大きく依存する。SBD領域の幅はウエハープロセス上の制約によってばらつくため、現時点では大幅に製造精度を向上させてコントロールすることは困難である。その対策としてBMAセルとして意図的にボディーダイオード領域を作り込むことで、スナップバック電圧のばらつきを抑えるとともにその特性値を任意に設計できるようにした。

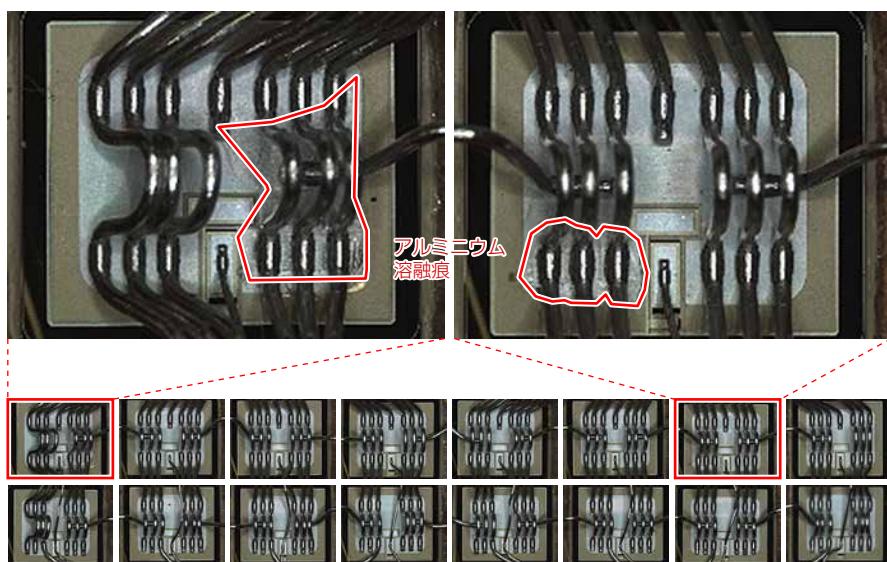


図5-電流集中による早期破壊

図6にSBD内蔵MOSFETチップのボディーダイオード動作開始電圧の測定結果を示す。BMAセル非搭載の場合と比較して、BMAセルを採用した場合の測定結果ではボディーダイオード動作開始電圧のばらつきが小さくなっていることが分かる。このようにチップ間の特性ばらつきを抑制し、過電流が流れたときに特定のチップへ電流が集中するのを防止することでサージ電流耐量を向上させた。

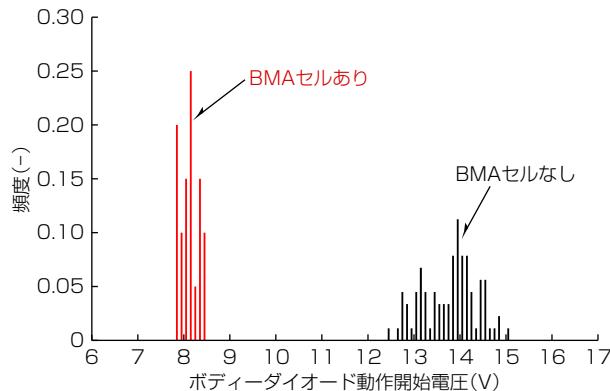


図6-ボディーダイオード動作開始電圧の特性ばらつき

### 3. 開発したSBD内蔵MOSFETモジュールのサージ電流耐量

BMAセルを採用したSBD内蔵MOSFETモジュールのサージ電流耐量を測定した。この製品は定格電流800Aの3.3kVフルSiCパワーモジュール(FMF800DC-66BEW)である。サージ電流耐量の測定は、通電前初期温度 $T_j = 175^\circ\text{C}$ 、パルス幅 $t_p = 10\text{ms}$ の条件で、破壊に至るまで印加電流を徐々に増加させた。この測定でのSBD内蔵MOSFETモジュールの破壊モードは全てゲートショートであり、故障判定後もドレイン-ソース間降伏電圧は3.3kVを維持している。2章で述べたように、サージ電流による熱エネルギーでチップ表面のアルミニウムが溶融するに伴い、チップ表面近傍に位置するゲート部のバリアーメタル及び層間絶縁膜にダメージが入ることでゲートショート故障を引き起こすと考えられる。SBD内蔵MOSFETモジュールの測定結果を図7に示す。参考として、定格電流600AのSiモジュール(CM600DA-66X)の測定結果と比較した。それぞれのモジュールの定格電流値を考慮しても、SBD内蔵MOSFETモジュールは従来のSiモジュールと同等以上のサージ電流耐量を持っていることを確認した。

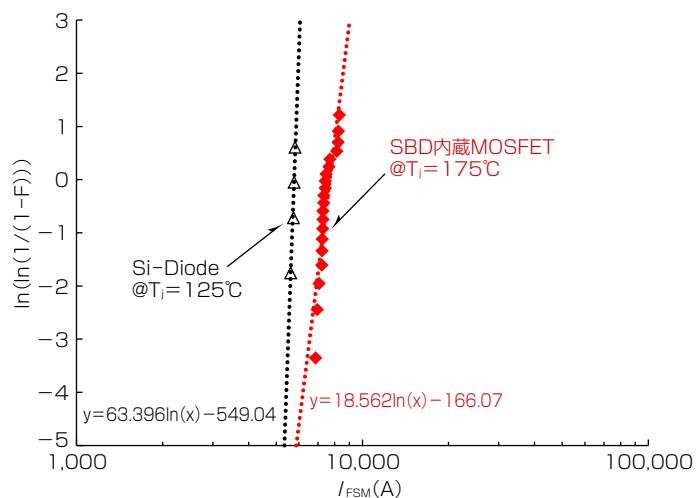


図7-SBD内蔵MOSFETモジュールのサージ電流耐量

また、パワーモジュールが適用される電力変換機器の設計では、サージ電流耐量のパルス幅依存性データも重要になる。特に今回開発したSBD内蔵MOSFETモジュールは、BMAセルを起点としてバイポーラ動作を伝搬させるため、短いパ

ルス幅条件下でもチップ全体へのバイポーラ動作伝搬が完了し、想定されるサージ電流耐量を持っているかを評価する必要があった。通常、サージ電流耐量特性を定義するパルス幅条件  $t_p = 10\text{ms}$  に加えて、 $t_p = 1\text{ms}$ 、 $2\text{ms}$  の条件で測定した。想定されるサージ電流耐量について、SBD内蔵MOSFETの電気抵抗  $R$  はボディーダイオードが十分に動作している場合で一定と仮定すると、熱抵抗特性  $Z_{th(j-c)}$  による次の式を用いてサージ電流耐量のパルス幅依存性を近似的に算出できる。

$$Z_{th(j-c)}(t_p) = \sum_{i=1}^n R_i \left\{ 1 - e^{-\left(\frac{t_p}{T_i}\right)} \right\}$$

$$I_{FSM}(t_p) = I_{FSM}(10\text{ms}) \times \sqrt{\frac{Z_{th(j-c)}(10\text{ms})}{Z_{th(j-c)}(t_p)}}$$

SBD内蔵MOSFETモジュールの熱抵抗特性から算出したサージ電流耐量のパルス幅依存性を図8に示す。このグラフ上にはサージ電流耐量の測定結果から算出される故障率1%の点をプロットしている。想定されるサージ電流耐量と測定結果は同等の傾向を示していることが分かる。これはパルス幅が短い領域でもBMAセルを起点とするバイポーラ動作の伝搬は瞬時に行われて十分に完了しており、SBD内蔵MOSFETモジュールのサージ電流耐量の向上が可能であることを示している。

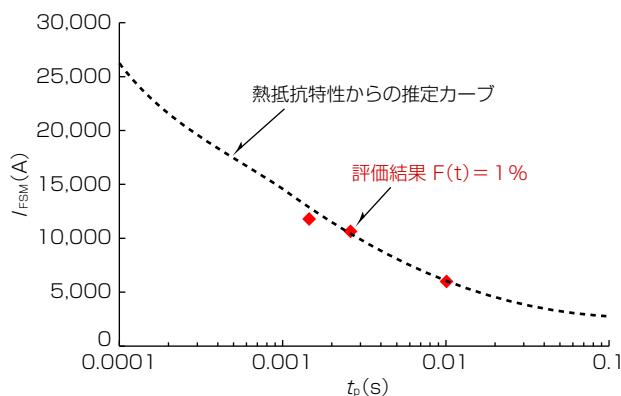


図8-SBD内蔵MOSFETモジュールのサージ電流耐量パルス幅依存性

#### 4. む す び

社会インフラを担う鉄道や電力システム用途では、高い製品信頼性が要求される。これらの電圧レベルの高い用途では、SiCが持つ信頼性課題の一つであるバイポーラ劣化のリスクが比較的大きくなり、製品信頼性を確保する技術が非常に重要である。今回開発したSBD内蔵MOSFETモジュールはボディーダイオード通流によるバイポーラ劣化のリスクを最小化し、高い製品信頼性を提供する。SBD内蔵MOSFETモジュールは一般的にサージ電流耐量が低いという欠点があることで広く知られていたが、本稿ではその課題に対する解決策を示した。従来のSi半導体製品と比較して大幅な高効率化を可能にしたSiCパワーモジュール製品の提供によって、脱炭素社会の実現に貢献していく。

#### 参 考 文 献

- (1) Hino, S., et al.: Demonstration of SiC-MOSFET Embedding Schottky Barrier Diode for Inactivation of Parasitic Body Diode, Materials Science Forum 2017, **897**, 477~482 (2017)
- (2) Kawahara, K., et al.: Impact of Embedding Schottky Barrier Diodes into 3.3 kV and 6.5 kV SiC MOSFETs, Materials Science Forum 2018, **924**, 663~666 (2018)
- (3) Iijima, A., et al.: Improving Surge Current Capability of SBD-Embedded SiC-MOSFETs in Parallel Connection by Applying Bipolar Mode Activation Cells, Proceedings of ISPSD 2023, 238~241 (2023)

# 短絡耐量制御を実現する SiCトレンチMOSFET構造

SiC Trench MOSFET Structure for Controlling Short Circuit Capability

福井 裕\*

Yutaka Fukui

菅原勝俊†

Katsutoshi Sugawara

足立亘平\*

Kohei Adachi

\*パワーデバイス製作所

†先端技術総合研究所(博士(工学))

## 要 旨

近年の環境意識の高まりを受けて、パワーエレクトロニクス機器の省エネルギー化が求められており、SiC(シリコンカーバイド)を材料としたパワーデバイスの開発、製品化が進められている。中でもより低損失化が可能なトレンチ型のSiC-MOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)への期待が高いが、トレンチ型SiC-MOSFETは導電性が高いため素子短絡時での短絡耐量を確保することが非常に困難であった。スイッチング素子としての幅広いアプリケーションに対応するためには、デバイス構造設計の中で短絡耐量を制御することが重要である。

今回、三菱電機で開発を進めているトレンチ型SiC-MOSFETのデバイス構造を改良し、低抵抗化と高短絡耐量化のトレードオフ制御が可能なトレンチ型SiC-MOSFETを実現した。

## 1. まえがき

環境意識の高まりを受けてパワーエレクトロニクス機器の省エネルギー化が進められている中、次世代のパワー半導体材料としてSiCが注目されてきた。SiCは従来用いられてきたSi(シリコン)に比べてバンドギャップが大きく、絶縁破壊電界が高いことなど、パワーデバイスとして大幅に優れた性質を持っている。当社ではSiCを用いて、SiC-MOSFETやSiC-SBD(Schottky Barrier Diode)の開発及び量産を進めており、これまでに耐圧600Vの家電向けから3.3kVの電鉄向けまで、幅広い耐圧クラスの製品を実用化してきた。

パワーエレクトロニクス機器の省エネルギー化のためには、機器に用いられるパワーデバイスの低損失化が重要であり、より低損失化が可能なトレンチ型のSiC-MOSFETの開発、製品化が進んでいる。トレンチ型MOSFETはゲート電極をトレンチ内に埋め込むことで、セルピッチ縮小によるセル高集積化を実現でき、素子の低抵抗化が可能である。一方で、トレンチ底部で電界が集中しやすいため、十分な素子信頼性を得るために電界を緩和する必要がある。

当社はこれまでに低抵抗化・高信頼性化・低スイッチング損失化が可能な独自構造のトレンチ型SiC-MOSFETを開発してきた<sup>(1)(2)(3)</sup>。当社で開発したトレンチ型SiC-MOSFETの構造模式図を図1に示す。当社のトレンチ型SiC-MOSFETの構造は①トレンチ底部にかかる電界を緩和するp型保護層(BPW:Bottom P-Well), ②BPWを接地するp型側壁ピラー(SP:Sidewall Pillar), ③電流経路狭窄(きょうさく)を防ぐn型JFET(Junction Field Effect Transistor)ドープ層(JD:JFET Doping)の三つの注入層が特徴である。トレンチへの傾斜イオン注入を活用したこの構造は、高集積化による低損失化が容易であり、かつ簡便なプロセスで製作できることが利点である。

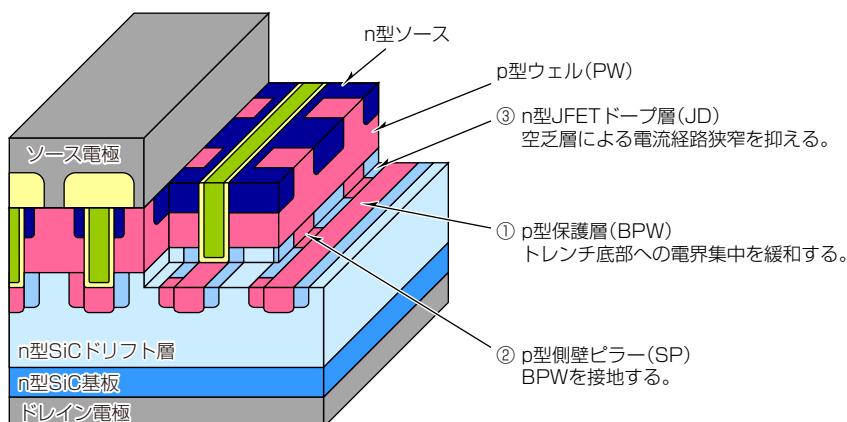


図1 - 当社で開発したトレンチ型SiC-MOSFETの構造模式図

しかしながら、トレンチ型SiC-MOSFETは低損失化が可能である一方、導電性が高いため素子短絡時での短絡耐量を確保することが非常に困難であった。スイッチング素子としての幅広いアプリケーションに対応するためには、短絡耐量を制御することが必要である。

そこで今回、デバイス構造設計を工夫して従来構造のトレンチ型SiC-MOSFETのデバイス構造を改良し、低抵抗化と高短絡耐量化のトレードオフ制御を可能にするトレンチ型SiC-MOSFETを開発した。

## 2. 短絡耐量制御トレンチ型SiC-MOSFET

### 2.1 デバイス構造コンセプトとプロセスフロー

今回開発したトレンチ型SiC-MOSFETの構造模式図を図2に示す。低抵抗化と高短絡耐量化のトレードオフを制御する手段として、トレンチ側壁に占めるSP領域の面積密度比( $p$ 型側壁ピラー比 :  $r_{sp}$ )を調整することを考案した。SP領域はトレンチ側壁に離間して形成されており、1章に述べたとおりBPWを接地しスイッチング安定化を実現する機能を持っている。今回、SP領域の機能として素子導通時(オン時)ではMOS(Metal Oxide Semiconductor)チャネル電流及びJFET領域の電流経路を制限できることに着目した。低抵抗化と高短絡耐量化のトレードオフ制御実現のため、従来構造のSP密度を $r_{sp} = 1$ とした場合に対して異なる $r_{sp}$ の素子を作り分けて、 $r_{sp}$ がMOSFETの電気特性や短絡耐量に与える影響を評価した。

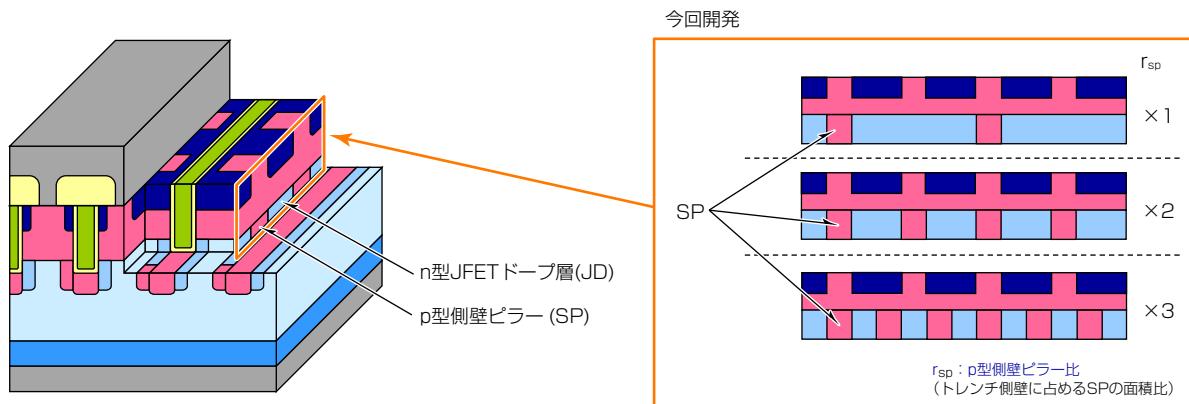


図2 - p型側壁ピラー比を制御したトレンチ型SiC-MOSFETの構造模式図

開発したトレンチ型SiC-MOSFETのプロセスフローについて、(a)SPのある領域と(b)SPのない領域に分けてその断面模式図を図3に示す。まずトレンチエッティング前にn型ドリフト層に対してAl(アルミニウム)イオン及びN(窒素)イオンを注入し $p$ 型ウェル(PW)及びn型ソースを形成する。その後 $\text{SiO}_2$ (二酸化ケイ素)膜を堆積しフォトリソグラフィーを行い、ドライエッティングによってSiCにトレンチを形成する。トレンチエッティング後に残存した $\text{SiO}_2$ 膜を活用し、トレンチ底部にBPWをセルフアラインAl注入によって形成する(図3①)。 $\text{SiO}_2$ 膜を除去したのち、両側のトレンチ側壁に対して傾斜Nイオン注入を行うことでJDを形成する(図3②)。続いてフォトリソグラフィーを行ってから片側のトレンチ側壁に対してだけ傾斜Alイオン注入を行うことでSPを形成する(図3③)。このときフォトリソグラフィーのマスクパターンによって、 $r_{sp}$ を調整できる。 $p$ 型コンタクト形成、注入後イオンの活性化アニールなどを経たあと、ゲート形成を行う(図3④)。その後、コンタクト形成、電極形成などが行われデバイスが完成する。

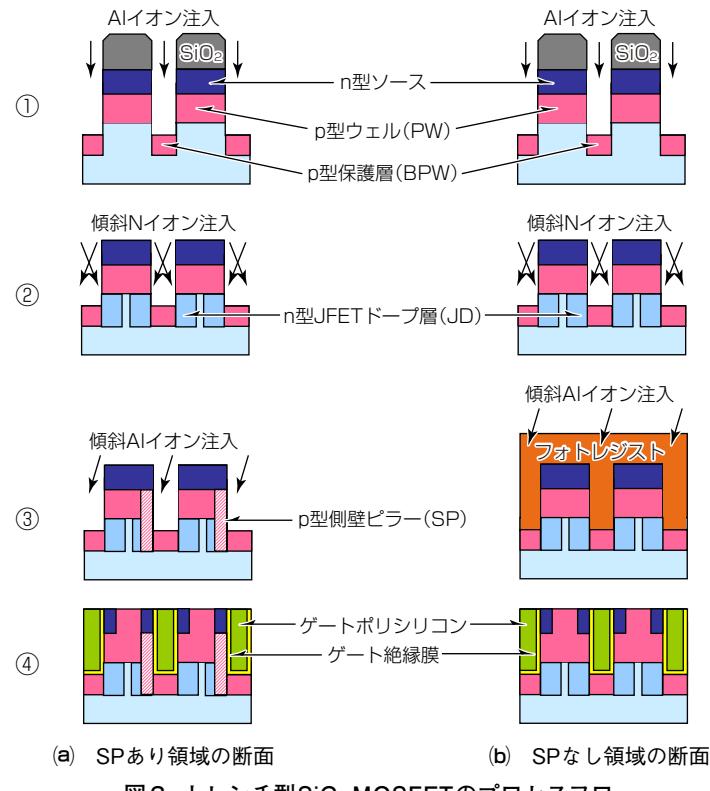
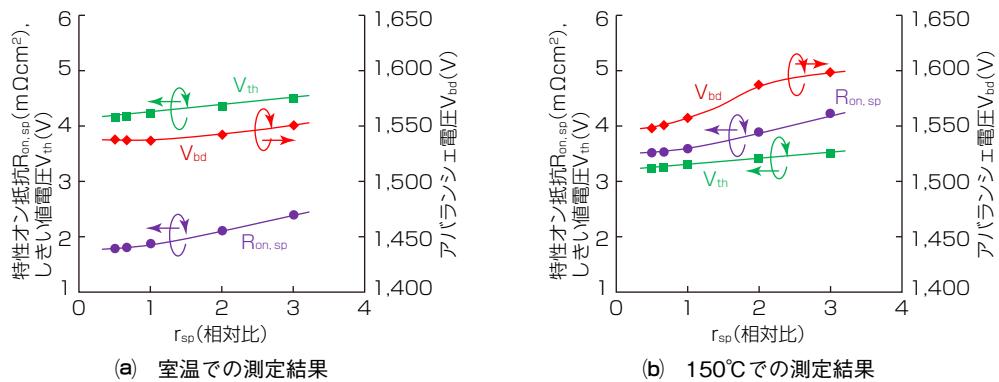


図3-トレンチ型SiC-MOSFETのプロセスフロー

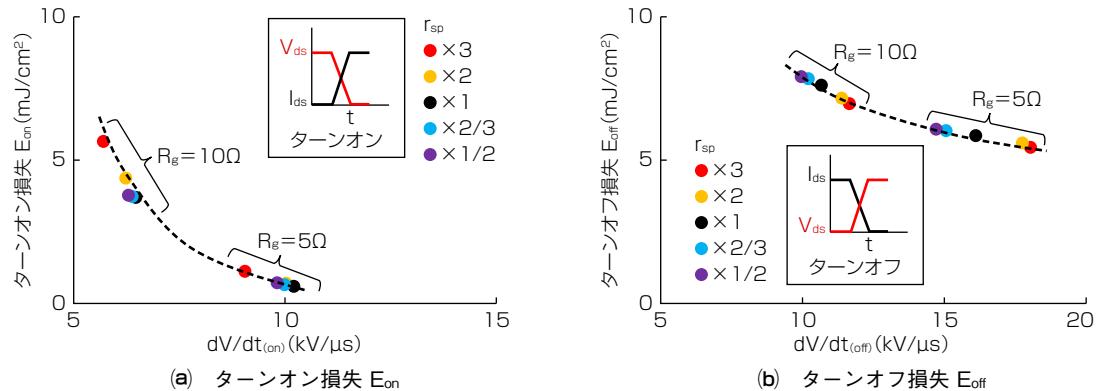
## 2.2 静特性のp型側壁ピラー比依存性

$r_{sp}$ の構造設計が静特性に与える影響を評価するため、試作したトレンチ型SiC-MOSFETの電気的特性を評価した。特性オン抵抗 $R_{on, sp}$ 、しきい値電圧 $V_{th}$ 、アバランシェ電圧 $V_{bd}$ の $r_{sp}$ 依存性について、図4(a)に室温での測定結果を、図4(b)に150°Cでの測定結果を示す。 $r_{sp}$ の増加すなわちSP領域をトレンチ側壁に密に形成することに伴い、MOSチャネル密度及びJFET領域の電流経路が減少するため、 $R_{on, sp}$ 及び $V_{th}$ はどちらの温度でも緩やかに増加する。それに加えて、高密度に形成されたSP領域によって電界緩和効果が得られるため、 $r_{sp}$ の増加に伴い $V_{bd}$ も増加する。結果として、 $V_{bd} \sim 1,550$ Vの素子耐圧を満たした上で、 $r_{sp} = 2$ の構造では室温の $R_{on, sp} = 2.2 \text{ m}\Omega \text{cm}^2$ 、 $r_{sp} = 3$ の構造では $R_{on, sp} = 2.4 \text{ m}\Omega \text{cm}^2$ のオン抵抗が得られた。

図4-特性オン抵抗 $R_{on, sp}$ 、しきい値電圧 $V_{th}$ 、アバランシェ電圧 $V_{bd}$ の $r_{sp}$ 依存性<sup>(注1)</sup>

### 2.3 動特性のp型側壁ピラー比依存性

次に動特性として、 $r_{sp}$ の構造設計がスイッチングスピード $dV/dt$ とスイッチング損失のトレードオフ関係に対して与える影響について評価を行った。スイッチング測定はダブルパルス試験で行い、 $dV/dt$ は外部ゲート抵抗( $R_g$ )を変えることで調整した。図5(a)にターンオン損失 $E_{on}$ 、図5(b)にターンオフ損失 $E_{off}$ の $dV/dt$ 依存性について、 $r_{sp}$ を変化させた場合の結果を示す。 $E_{on}$ と $E_{off}$ どちらでも、 $r_{sp}$ を変化させた場合の $dV/dt$ に対するスイッチング損失の関係は同一のトレードオフライン上を推移することが分かる。つまり、スイッチング損失は $r_{sp}$ とは無関係に外部ゲート抵抗( $R_g$ )によって制御できることを示唆している。

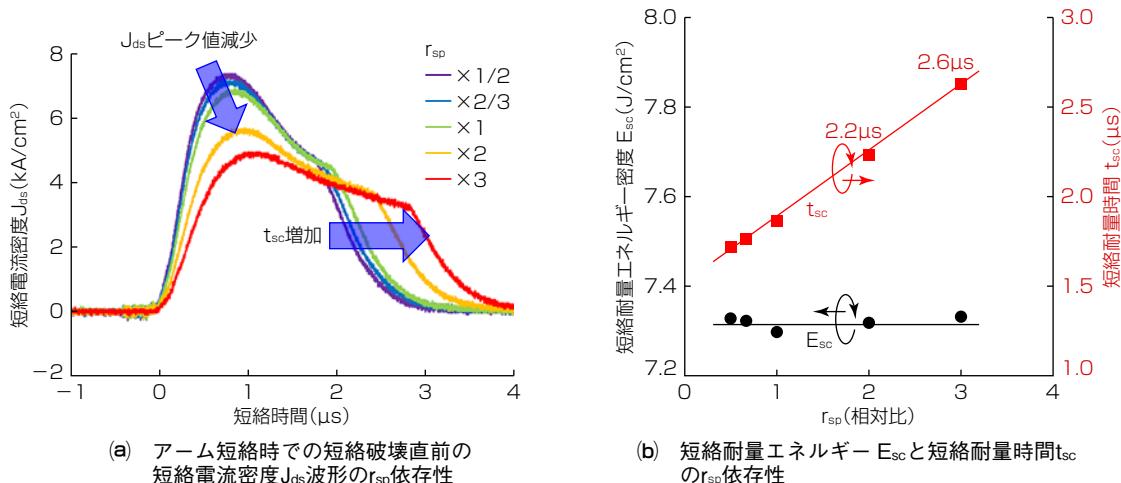


(注2)  $V_{DD}=600V$ 、ドレイン電流密度 $J_{ds}=260A/cm^2$ の値。

図5-dV/dt-スイッチング損失トレードオフの $r_{sp}$ 依存性<sup>(注2)</sup>

### 2.4 短絡耐量のp型側壁ピラー比依存性

短絡耐量に対する $r_{sp}$ の依存性の結果を図6に示す。図6(a)はアーム短絡時での素子破壊直前の短絡電流密度 $J_{ds}$ 波形の $r_{sp}$ 依存性である( $V_{DD}=650V$ 、 $V_{gs}=20V$ 、 $150^{\circ}C$ での値)。 $r_{sp}$ を増加させることによってMOSチャネル密度及びJFET領域の電流経路が減少するために $J_{ds}$ ピーカ値が大きく抑制された結果、短絡耐量時間 $t_{sc}$ が増加していることが分かる。 $r_{sp}=2$ の構造では $t_{sc}=2.2\mu s$ まで、 $r_{sp}=3$ の構造では $t_{sc}=2.6\mu s$ まで確保できていることが分かる。



(注3) どちらも $V_{DD}=650V$ 、 $V_{gs}=20V$ 、 $150^{\circ}C$ での値。

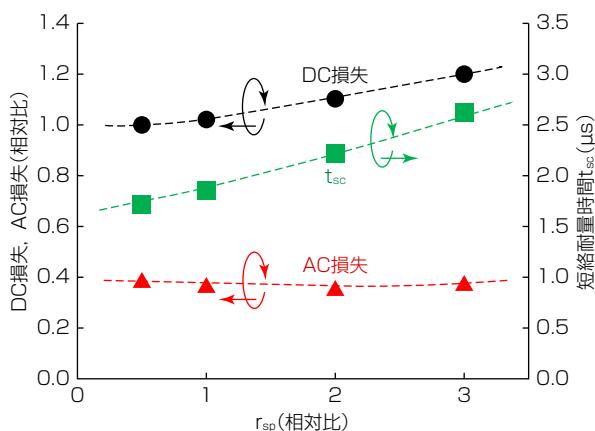
図6-アーム短絡時での短絡破壊直前の短絡電流密度 $J_{ds}$ 波形、及び短絡耐量エネルギー $E_{sc}$ と短絡耐量時間 $t_{sc}$ の $r_{sp}$ 依存性<sup>(注3)</sup>

図6(b)に短絡耐量エネルギー $E_{sc}$ と短絡耐量時間 $t_{sc}$ の $r_{sp}$ 依存性を示す。 $r_{sp}$ を増加させた構造設計によって $t_{sc}$ を増加させることができる一方で、 $E_{sc}$ は $r_{sp}$ に依存性を持たないことが分かる。これは短絡破壊が短絡電流による熱破壊モードであり、MOSFETの熱伝導設計が同じであるため、 $E_{sc}$ が一定に律速されていることを示している( $r_{sp}$ はMOSFETの熱伝導設計に影響を与えない)。結果として、デバイス構造パラメーターであるp型側壁ピラー比をコントロールすることによって、短絡耐量時間 $t_{sc}$ を制御できることが分かった。

## 2.5 DC損失/AC損失比と短絡耐量時間のトレードオフ制御

2.2節、2.3節、2.4節の結果を基に、DC損失及びAC損失と短絡耐量時間 $t_{sc}$ についてのp型側壁ピラー比の依存性を試算した。DC損失は $R_{on, sp}$ 値から、AC損失は $R_g = 5 \Omega$ でのスイッチング損失値を参照し、20kHzで駆動させた場合を仮定し算出した。

結果を図7に示す。 $r_{sp}$ の高い構造を採用することによって $t_{sc}$ を増加させることができ、その場合DC損失は緩やかに増加するもののAC損失はほぼ一定に保たれている。 $r_{sp}$ はDC損失と短絡耐量時間 $t_{sc}$ を設計する上で鍵となるパラメーターであり、当社のトレンチ型SiC-MOSFETでは $r_{sp}$ 設計を調整することで、SiC-MOSFETに求められる多様なアプリケーションに対応可能であることを見いだした。



## 3. むすび

トレンチ型SiC-MOSFETは低損失化が可能である一方、高導電性を持つため素子短絡時での短絡耐量を確保することが困難であった。多様なアプリケーションの要求に対応するためには、短絡耐量をデバイス構造設計を工夫することで制御する手段を得ることが必要である。

今回、当社独自構造のトレンチ型SiC-MOSFETのデバイス構造で、p型側壁ピラー比( $r_{sp}$ )を調整することによって短絡電流のコントロールを行い、低抵抗化と高短絡耐量時間化のトレードオフ制御を実現した。多様なアプリケーションの要求に対応できる当社のトレンチ型SiC-MOSFETについて、引き続き量産適用を進めていく。

## 参考文献

- (1) Fukui, Y., et al.: Effects of Grounding Bottom Oxide Protection Layer in Trench-Gate SiC-MOSFET by Tilted Al Implantation, Materials Science Forum 1004, 764~769 (2020)
- (2) Tanaka, R., et al.: Performance Improvement of Trench-Gate SiC MOSFETs by Localized High-Concentration N-Type Ion Implantation, Materials Science Forum 1004, 770~775 (2020)
- (3) Sugawara, K., et al.: A Novel Trench SiC-MOSFETs Fabricated by Multiple-Ion-Implantation into Tilted Trench Side Walls (MIT2-MOS), PCIM Europe 2021, 504~508 (2021)

## 社外技術表彰一覧表

2022年12月～2023年12月受賞分（受賞順に掲載）

### ● Datateam business media

#### DOMESTIC VENTILATION PRODUCT OF THE YEAR

（2022年9月受賞分）

「The Residential Lossnay MVHR Unit(住宅用縦型ロスナイセントラル)」  
Mitsubishi Electric Corporation

### ●（公社）発明協会

#### 近畿地方発明表彰 発明奨励賞（2022年11月受賞分）

「電力変換装置（特許第6505271号）」  
先進応用開発センター ..... 菅谷侑司  
三菱電機エンジニアリング㈱ ..... 石山裕人

### ●（一社）電子情報通信学会

#### 2022 ICETC Best Paper Award（2022年11月受賞分）

「An ESL-Cancelling circuit for a film capacitor using vertically stacked coupled square loops」  
情報技術総合研究所 ..... 米田 諭, 小林玲仁

#### APMC2022 Young Industrial Engineer Award

「A 3.4-4.1GHz Broadband GaN Doherty Power Amplifier Module for 5G Massive-MIMO Base- Stations」  
情報技術総合研究所 ..... 坂田修一

### ● 兵庫県産業労働部

#### 令和4年度兵庫県技能顕功賞（2022年11月受賞分）

「NCライス盤工」  
姫路製作所 ..... 松岡恭造

### ●（一社）室内環境学会

#### 2021年室内環境学会学術大会大会長技術賞

「在宅勤務の快適性評価：オフィス勤務における快適性との比較」  
先端技術総合研究所 ..... 粟原幸大, 弓削政郎  
関西学院大学 ..... 杉本匡史, 張帆, 長田典子  
本社 ..... 太田幸治

### ● 株日刊工業新聞社

#### 十大新製品賞 本賞

「ワイヤ・レーザ金属3Dプリンタ AZ600」  
三菱電機㈱ 代表執行役 執行役社長 ..... 漆間 啓

### ● HYPERLEDGER FOUNDATION

#### Certificate of Appreciation

「For their contribution to the Hyperledger Japanese Regional Chapter and their support of the Hyperledger Foundation and our global community」  
情報技術総合研究所 ..... 中島大輝

### ● 兵庫県産業労働部

#### 令和4年度兵庫県青年優秀技能者表彰

「ガス溶接工」  
電力システム製作所 ..... 加地健人

### ●（一社）電子情報通信学会 ハードウェアセキュリティ研究専門委員会

#### 2022年ハードウェアセキュリティ研究会若手優秀賞

「RISC-V Keystoneへの故障注入に基づく隔離実行バイパス攻撃」  
情報技術総合研究所 ..... 梨本翔永

### ●（一財）機械振興協会

#### 令和4年度機械振興賞 機械振興協会会长賞

「霜取りに冷媒の凝縮潜熱を活用した寒冷地向けノンストップ暖房技術」  
静岡製作所 ..... 川島 悅, 佐藤雅一, 渡辺和也  
先端技術総合研究所 ..... 竹中直史, 石村尚平

### ● 行動経済学会、環境省「日本版ナッジユニット（BEST）」

#### 行動経済学会ベストナッジ賞、ベストナッジ賞（環境大臣賞）

「歩きスマホを防止するナッジ：フィールド実験による検証」  
情報技術総合研究所 ..... 古木一朗, 橋口拓弥  
統合デザイン研究所 ..... 橋 温希

### ●（一社）電気学会

#### 第16回電気技術顕彰「でんきの礎」

「連結鉄心による高密度巻線モータ～ポキポキモータ～」  
三菱電機㈱

#### 2022年電気学会優秀論文発表賞A

「メタサーフェスを用いたRCS低減方法に関する設計と試作評価」  
情報技術総合研究所 ..... 末延 博

#### 電気学会産業応用部門 回転機合同研究会 優秀論文発表賞

「対話型多目的最適化による電動機最適設計諸元探索」  
情報技術総合研究所 ..... 大西 直

### ●（国研）新エネルギー・産業技術総合開発機構

#### NEDO省エネ技術開発賞 優良事業者賞

「電力機器用革新的機能性絶縁材料の技術開発」  
先端技術総合研究所 ..... 馬渕貴裕, 殷 晓紅, 安田拓実  
武藤浩隆, 梅本貴弘, 吉田成是

### ●（一社）日本機械工業連合会

#### 第42回（令和4年度）優秀省エネ脱炭素機器・システム表彰

日本機械工業連合会会長賞  
「鉄道車両用同期リラクタンスマータシステム（SynTRACS）」  
先端技術総合研究所 ..... 寺本晃大  
伊丹製作所 ..... 山下良範, 金子健太

### ● 東京都市大学

#### 学生論文奨励賞

「A Study on the Estimation of RIC of Proton Irradiated Polyimide」  
先端技術総合研究所 ..... 宮路仁崇  
東京都市大学 ..... 三宅弘晃, 田中康寛

### ●（公財）かがわ産業支援財団

#### 第30回芦原科学功劳賞

「スマート保安実現に向けたモータの劣化診断機能の開発」  
受電システム製作所 ..... 宮内俊彦, 安原裕登  
三菱電機エンジニアリング㈱ ..... 竹内紀夫

### ●（一財）機械振興協会

#### 第57回機械振興賞 機械振興協会 会長賞

「霜取りに潜熱を活用した寒冷地向けノンストップ暖房技術」  
先端技術総合研究所 ..... 竹中直史, 石村尚平  
静岡製作所 ..... 渡辺和也, 佐藤雅一, 川島 悅

### ●（一財）国際ユニヴァーサルデザイン協議会

#### IAUD国際デザイン賞2022 金賞

「安心見まもりサポート MelCare」  
統合デザイン研究所 ..... 萩原雅美, 平井正人, 石田建治  
吉澤仁志, 落合祐美子, 浜崎 出  
森 博史, 幸田美早, 松本麻衣  
武井堯子, 本村祐貴, 三浦美怜  
岡村衣里子

#### IAUD国際デザイン賞2022 銅賞

「6ドア冷蔵冷凍庫 MR-MZ・WZシリーズ」  
統合デザイン研究所 ..... 引間孝典, 四津谷 瞳, 南出由裕  
A ダドーネ, 大橋美紗子, 吉田 僕  
中居 創

#### 「エアコン向けリモコンのデザイン統一」

統合デザイン研究所 ..... 荒井秀文, 四津谷 瞳, 藤ヶ谷友輔  
八木澤喬樹, 小坂勇太, 石川美穂  
山崎友賀, 佐藤 大

### ●（一財）日本ITU協会

#### 日本ITU協会賞 功績賞

「ITU(国際電気通信連合)の活動に参画し、ワイヤレス給電、鉄道無線等の地上系無線技術の標準化活動への貢献により受賞。」  
本社 ..... 山崎高日子

## ●(一社)電子情報通信学会

宇宙・航行エレクトロニクス研究会(SANE研究会)

若手奨励賞

- 「Atomic Norm最小化に基づく等加速度直線運動目標検出方式」  
　　電子通信システム製作所 ..... 柿谷 樹  
「時空間フーリエ変換を用いた伝搬性電離層擾乱検出」  
　　情報技術総合研究所 ..... 赤間 慶  
「各種アクセラレータによるstripmap SAR向け分散並列Backprojectionの性能評価」  
　　情報技術総合研究所 ..... 後町将人

## ●(一社)電子情報通信学会

学術奨励賞

- 「グリッドフリーWDMシステム向け量子ドット多波長レーザの無温調動作実証」  
　　情報技術総合研究所 ..... 増山 主  
「複数の高調波を利用した位相差検出の高精度化についての原理検証」  
　　情報技術総合研究所 ..... 森田佳恵  
「スイッチング型GaN エンベロープ増幅器の出力電圧最適化によるエンベロープ・トラッキング増幅器の高効率化の検証」  
　　情報技術総合研究所 ..... 斎木研人  
「周波数選択性並列帰還回路を用いたC-Ku 帯GaN MMIC 低雜音増幅器」  
　　情報技術総合研究所 ..... 久樂 顯  
「双方向指向性を有する金属カバー付アンテナの2周波共用化」  
　　情報技術総合研究所 ..... 宮坂拓弥  
「周波数拡散シールドの試作評価結果」  
　　情報技術総合研究所 ..... 古谷航一

## ●(一社)電子情報通信学会 通信ソサイエティ

学術奨励賞

- 「総合大会B-5-127 チャープ拡散FSK方式における送信ダイバーシティ手法の比較」  
　　情報技術総合研究所 ..... 堀 勇太  
「総合大会B-5-125 2つのチャープ信号を用いたDS-SS初期捕捉のレイリーフェージング環境下の特性評価」  
　　情報技術総合研究所 ..... 福間 恵

## ●(一社)エレクトロニクス実装学会

第36回エレクトロニクス実装学会春季講演大会講演大会 優秀賞

- 「Zn/Agめっきによる焼結Agの接合強度向上メカニズムの検討」  
　　先端技術総合研究所 ..... 上山椋平, 山崎浩次

## ●三菱マーケティング研究会

三菱マーケティング研究会ビジネスプランコンテスト 優秀賞

- 「トイレ番長 ~食事制限ダイエット支援システム~」  
　　先端技術総合研究所 ..... 毛利圭佑  
三菱重工業(株) ..... 染田恭佑  
東京海上日動火災保険(株) ..... 小林杏南パトリシア  
(株)三菱総合研究所 ..... 作田純一, 渡邊絢音, 山越理央

## ●(公社)精密工学会

認定証 精密工学会アフィリエイト

- 「精密工学分野において顕著な業績が見込まれる若手研究者として認定」  
　　先端技術総合研究所 ..... 井原基博

## ●(一社)電気学会

電気学会優秀論文発表賞

- 「水素中アーケの電界および磁気駆動時膠着特性」  
　　先端技術総合研究所 ..... 堀田克輝, 堀之内克彦  
福山製作所 ..... 渡邊真也

## ●鉄道技術標準化調査検討会

令和4年度鉄道分野における標準化活動表彰

- 「標準化活動貢献者表彰」  
　　神戸製作所 ..... 葛山利幸  
川崎車両(株) ..... 秋山 悟  
東日本旅客鉄道(株) ..... 伊藤 大, 外崎昌志, 山崎猛志, 横山啓之  
(株)総合車両製作所 ..... 及川昌志  
大同信号(株) ..... 加納政貴  
東芝三菱電機産業システム(株) ..... 村上昇太郎

## ●兵庫県・(一社)兵庫県溶接協会

第55回兵庫県溶接技術競技会 優秀賞

- 「半自動溶接」  
　　系統変電システム製作所 ..... 藤野智也

## ●(一社)建築設備綜合協会

第21回環境・設備デザイン賞 設備器具・システムデザイン部門

最優秀賞

- 「ABW支援 空調利用位置検知システム「MELRemo-IPS」」  
　　(株)三井地所設計 ..... 平須賀信洋, 荒井洋平, 謙早俊樹, 永島啓陽  
本社 ..... 吉田昇平  
冷熱システム製作所 ..... 京屋貴則  
IoT・ライフソリューション新事業推進センター ..... 黒岩丈瑞  
丸山達也

## ●iF international Forum Design GmbH

iFDesign Award 2023

- 「New Slim - Type Jet Towel」  
　　統合デザイン研究所 ..... 石浜真也, 各務里奈, 本村祐貴

## ●文部科学省

令和5年度文部科学大臣表彰 創意工夫功労者賞

- 「部品容器の供給および回収作業から改善」  
　　静岡製作所 ..... 保崎敬太

## ●兵庫県

令和5年度兵庫県発明等表彰 兵庫県発明賞

- 「電力用半導体装置」  
　　姫路製作所 ..... 福 優, 石井隆一, 山田隆行  
コンポーネント製造技術センター ..... 別芝範之, 三井貴夫  
「ずれ量検出装置、ずれ量検出方法及びドライバモニタリングシステム」  
　　先進応用開発センター ..... 田中堅人, 松本 篤, 坂本浩隆  
先端技術総合研究所 ..... 渡邊信太郎  
「熱伝導性樹脂シートの製造方法およびパワーモジュールの製造方法」  
　　先端技術総合研究所 ..... 西村 隆, 三村研史  
平松星紀, 笹原敦子  
電子通信システム製作所 ..... 豊島利之  
菱電化成(株) ..... 伊藤浩美  
「電子キーシステムの携帯機」  
　　姫路製作所 ..... 赤松慎吾  
「電力変換装置用フィルタモジュール」  
　　先進応用開発センター ..... 瓜生勇太  
「物体認識統合装置および物体認識統合方法」  
　　三田製作所 ..... 森 正憲  
「半導体装置」  
　　高周波光デバイス製作所 ..... 野上洋一

## ●(一社)情報処理学会

CDSトランザクション論文賞

- 「IEEE 802.15.4g Systems in Sub-1GHz Frequency Bands」  
　　情報技術総合研究所 ..... 永井幸政

## ●(公財)油空圧機器技術振興財団

令和4年度論文懸賞 日本機械学会推薦

- 「大型構造物の油圧支持システムのモデル化」  
　　電子通信システム製作所 ..... 服部友哉, 川口 昇  
江崎 豊, 高木淳治  
大阪大学 ..... 佐藤訓志, 山田克彦

## ●(公社)日本冷凍空調学会

令和4年度日本冷凍空調学会賞 技術賞

- 「オーバル形渦巻を搭載した“ANB100Fスクロール圧縮機”」  
　　先端技術総合研究所 ..... 岩竹 渉  
静岡製作所 ..... 工藤大祐, 渡邊大輔, 舟越俊弘, 須藤有亮

## ●(一社)エレクトロニクス実装学会

技術賞

- 「データセンタを支える超高速光サブアセンブリ技術の開発」  
　　情報技術総合研究所 ..... 大畠伸夫, 白尾瑞基  
高周波光デバイス製作所 ..... 石村栄太郎, 畑 端佳, 森田佳道  
安井伸之, 大和屋 武  
先端技術総合研究所 ..... 加茂芳幸

## ●(一社)電気学会

業績賞

- 「電力エネルギーシステム技術の発展・普及と学会への貢献」  
　　先端技術総合研究所 ..... 森 一之

- (一社)日本鉄道技術協会 日本鉄道サイバネティクス協議会  
2022年度協議会論文賞・シンポジウム論文部門 優秀賞  
「同期リラクタンスマータシステムの開発 一世界初の営業車両への適用による省エネ効果の実証」  
先端技術総合研究所.....寺本晃大  
東京地下鉄(株).....友松白英, 高橋達郎, 斎藤拓也  
伊丹製作所.....金子健太  
本社.....山下良範
- (一社)日本鉄道技術協会  
第15回日本鉄道技術協会 坂田記念賞 優秀賞  
「同期リラクタンスマータシステムの開発 一世界初の営業車両への適用による省エネ効果の実証」  
先端技術総合研究所.....寺本晃大  
東京地下鉄(株).....友松白英, 高橋達郎, 斎藤拓也  
伊丹製作所.....金子健太  
本社.....山下良範
- 総務省・関東総合通信局  
令和5年度「電波の日・情報通信月間」関東情報通信協力会長表彰  
本社.....三瀬敏生
- IEEE The 35th International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs (ISPSD 2023)  
Charitat Young Researcher Award  
「Reduction of Junction Temperature with Local Lifetime Control and High Density Arranged Diode for 3rd Gen. 650V RC-IGBT」  
パワー・デバイス製作所.....阪口浩介, 江口佳佑, 曾根田真也  
先端技術総合研究所.....小西和也
- (一社)軽金属溶接協会  
第48回全国軽金属溶接技術競技会表彰  
「優勝・特別賞」  
電子通信システム製作所.....大崎勝己
- (一社)情報処理学会  
論文賞  
「IEEE 802.19.3 Standardization for Coexistence of IEEE 802.11ah」  
情報技術総合研究所.....永井幸政
- (一社)電子情報通信学会  
第79回 2022年度電子情報通信学会 論文賞  
「Optimal Control of Timed Petri Nets Under Temporal Logic Constraints with Generalized Mutual Exclusion」  
先端技術総合研究所.....藤田浩平  
大阪大学.....潮 俊光
- 2022年度論文賞  
「X-Band GaN Chipsets for Cost-Effective 20W T/R Modules」  
情報技術総合研究所.....神岡 純, 河村由文  
半谷政毅, 新庄真太郎  
鎌倉製作所.....幸丸竜太  
高周波光デバイス製作所.....加茂宣卓  
東京工業大学.....小寺哲夫
- 2022年度MWPTHz研究会 優秀若手論文賞  
「ビーム強度の高出力化に向けたコーヒーレントビーム結合方式の開発」  
電子通信システム製作所.....藤江彰裕  
情報技術総合研究所.....秋山智浩, 竹本裕太, 原口英介  
鎌倉製作所.....安藤俊行, 落水秀晃, 秋野陽介
- (一社)Industrial Value Chain Initiative  
IVIつながるものづくりアワード2023 最優秀賞  
「企業間連携による新たな価値の創出1」  
先端技術総合研究所.....岩津 賢  
(株)神戸製鋼所.....高橋英二  
(株)ケー・ティー・システム.....木下守克  
アビームコンサルティング(株).....梶本篤志  
(株)プロテリアル.....大山賢治  
日本電気(株).....岡田和久  
マツダ(株).....岡部陽子  
錦正工業(株).....永森久之  
株日立製作所.....福田真人  
㈱牧野フライス製作所.....松下左京  
(株)ケイ・エス・アイ研究所.....鈴木宏治

- (一社)兵庫県高圧ガス保安協会  
優良高圧ガス保安責任者会長表彰  
系統変電システム製作所.....久世裕子
- (一社)日本溶射学会  
奨励賞  
「コールドスプレー法による高分子成膜に及ぼす針状無機フィラー及びフェームドナノアルミナ添加の効果」  
先端技術総合研究所.....安藤圭理, 鴨崎晋也  
静岡製作所.....山本義則  
東北大学.....今井佑大, 斎藤宏輝, 市川裕士, 小川和洋
- Red Dot GmbH & Co. KG  
Red Dot Product Design 2023  
「MLZ-KY series Indoor unit」  
統合デザイン研究所.....石浜真也, 新井悟史
- (一社)電波産業会 (ARIB)  
第34回電波功績賞 (ARIB会長表彰)  
「Beyond 5G/6G向け増幅器技術の開発」  
情報技術総合研究所.....坂田修一
- (一社)日本電設工業協会  
JECA FAIR 2023 製品コンクール 奨励賞  
「分電盤・制御盤用遮断器「KCシリーズ」スプリングクランプ端子仕様」  
三菱電機(株)
- (一社)火力原子力発電技術協会 関東支部  
火力原子力発電所現場永年勤務者賞  
系統変電システム製作所.....福本恭己, 橋本貴之, 仙波真直  
丸谷晃司, 藤代倫正, 末永啓介  
藤村 悟
- (一社)技術同友会  
第9回女性技術者育成功労賞  
「女性技術者(含む研究者)育成における顕著な成果」  
本社.....松原公実
- 2023 IEEE International Symposium on Radio Frequency Integration Technology (RFIT 2023) Organizing Committee  
2023 IEEE International Symposium on Radio Frequency Integration Technology (RFIT 2023) Best Paper Award  
「A Ka-band Three-Stage GaN MMIC Doherty Power Amplifier with a Wideband Tee-line Doherty Network for 5G Applications」  
情報技術総合研究所.....中谷圭吾, 山口裕太郎  
新庄真太郎, 平井暁人  
高周波光デバイス製作所.....金谷 康
- IEEE Antennas and Propagation Society  
Certificate in recognition and appreciation  
「For exceptional performance from May 1, 2022 to April 30, 2023 as a Reviewer of the IEEE Transactions on Antennas and Propagation」  
情報技術総合研究所.....高橋 徹
- (一社)電気学会 産業応用部門  
産業応用特別賞技術開発賞  
「回転機の設計技術の発展ならびに産業応用部門への貢献」  
先端技術総合研究所.....米谷晴之
- 部門論文賞  
「磁束変調コンシケント極モータ」  
先端技術総合研究所.....満田宇宙, 伊藤一将  
金沢工業大学.....深見 正, 小山正人
- 産業応用部門 論文査読促進賞  
「産業応用部門の論文査読」  
先端技術総合研究所.....山口信一
- (特非)キッズデザイン協議会  
第17回キッズデザイン賞  
「商店街の魅力を再発見!」大船・街づくりプロジェクト」  
統合デザイン研究所.....永原香菜子, 伊藤大聰, 田中陽奈子  
吉田 健, 木皿倫子, 奥田 勇  
金高るり子, 高砂英之, 中島彩依

## ●iPWS Cup Committee

iPWS Cup 2022 匿名化部門第2位, 攻撃部門第1位

「病歴データのプライバシーを守るために匿名加工技術の検討」

情報技術総合研究所……………堀込 光, 藤田真浩

## ●Institute of Electrical and Electronics Engineers

SEDEMPE2023 Best Paper Award

「Motor Eccentricity Fault Detection: Physics-Based and Data-Driven Approaches」

先端技術総合研究所……………井上 啓, 金丸 誠

Mitsubishi Electric Research Laboratories……………Bingnan Wang

## ●国立科学博物館

2023(令和5)年度登録「重要科学技術史資料(未来技術遺産)」

「第一世代オーロラビジョン用CRT光源管試作品(世界初の屋外用カラー大型映像表示実用化を実証)」

三菱電機(株) 長崎製作所

「第一世代オーロラビジョン用CRT光源管(世界初の屋外用カラー大型映像表示を実現)」

三菱電機(株) 長崎製作所

「第二世代オーロラビジョン用発光素子類

(1) 第二世代オーロラビジョン用マトリクス発光素子

(2) 第二世代屋外用高輝度型オーロラビジョンの表示ユニット(カラー大型映像表示装置の世界的普及に貢献)」

三菱電機(株) 長崎製作所

## ●(一社)電気学会 電力・エネルギー部門

### 論文査読貢献賞

「電力・エネルギー部門の論文査読」

先端技術総合研究所……………竹松俊彦

## ●(公社)発明協会

中部地方発明表彰 発明奨励賞

「数値制御装置によるロボットコントロール」

産業メカトロニクス製作所……………嵯峨崎正一, 馬場健輔, 末田 崇

## ●(公社)日本冷凍空調学会

日本冷凍空調学会賞 優秀講演賞

「複数室内機を有する空調システムの配管分岐部における二相流の数値解析」

先端技術総合研究所……………西尾 淳

## ●(一財)日本科学技術連盟

ソフトウェア品質シンポジウム2023 SQiP Best Paper Future Award

「ワークフローモデルの構築によるAI推論フローの処理割当て手法の提案」

設計システム技術センター……………伊藤弘毅

## ●(一社)電気学会

基礎・材料・共通部門特別賞 論文奨励賞

「絶縁油／プレスボード複合絶縁系における部分放電発生時の電界測定」

先端技術総合研究所……………大竹泰智

東京大学……………梅本貴弘

愛媛大学……………近藤亮介, 藤井雅治, 全 現九, 井堀春生

## ●(一社)静電気学会

会長賞

「極短ギャップ誘電体バリア放電による高濃度オゾナイザーを通じた学術・産業への貢献」

先端技術総合研究所……………葛本昌樹

## ●(一社)電子情報通信学会

通信ソサイエティ論文賞(Best Paper Award)

「Sigma-Delta Beamformer DOA Estimation for Distributed Array Radar」

情報技術総合研究所……………伊藤聰宏

## ●(一社)日本航空宇宙学会, PHM Society

Asia Pacific Conference of the Prognostics and Health Management Society (PHMAP 2023) Data Challenge 3位

「Anomaly Detection in Spacecraft Propulsion System using Time Series Classification based on K-NN」

情報技術総合研究所……………加藤慶起, 田中 翼, 加藤 拓

## ●(一社)日本電機工業会

電機工業技術功績者表彰 優秀賞 IoT・AI・DX部門

「産業用モーターの設計を支援する人協調型 AI設計支援システムの開発」

情報技術総合研究所……………大西 直, 比山利貞

## ●(一財)省エネルギーセンター

2023年度(令和5年度)省エネ大賞 優秀プレゼンテーション賞

「『ZEB』とウェルネスを両立した中規模オフィスビルSUSTIE(サスティエ)」

三菱電機(株)

(株)三菱地所設計

(株)竹中工務店

(株)弘電社

三菱電機冷熱プラント(株)

三菱電機システムサービス(株)

## ●日本オペレーションズ・リサーチ学会

第43回事例研究賞

「対流圏ウインドプロファイラの開発と気象観測での実用化」

電子通信システム製作所……………松田知也, 京都大学: 橋口浩之

## ●(特非)キッズデザイン協議会

第17回キッズデザイン賞 BEYOND COVID-19特別賞

「子どもたちに安心・安全な空気を提供する「ヘルスエアー機能付き大風量循環ファン」」

三菱電機(株)

## ●(公社)日本金属学会

第3回日本金属学会新進論文賞

「Fatigue Life Prediction of Die-Attach Joint in Power Semiconductors」

先端技術総合研究所……………花田隆一郎, 横山吉典, 越智光樹

芝浦工业大学……………金井宏喜, 荻谷義治

パワーデバイス製作所……………杉本大成, 阿部慶樹, 曾田真之介

## ●(一社)電気学会

令和5年電力・エネルギー部門大会 YOC奨励賞

「需要家向け受変電設備の異常兆候検知」

系統変電システム製作所……………宮本靖也

## ●(株)スマートエナジー

第1回太陽光発電量予測AIコンペティション総合予測賞

情報技術総合研究所……………伊藤 凛, 吉村玄太, 遠藤隆夫

宮内雄大, 穂苅寛光

## ●(公財)日本デザイン振興会

グッドデザイン賞2023

「住設機器・家電を使った見守りサービス/離れてくらす家族をそっと見守る高齢者のみまもりサービスMeAMOR(ミアモール)」

統合デザイン研究所……………小川 孝, 吉澤仁志, 高木信晃

本村祐貴, 浜崎 出, 本江兼捷

南雲孝太郎, 崔 銀珍, 山名新二

「ホームフリーザー [MF-U22]」

統合デザイン研究所……………大橋美紗子, 引間孝典, 中居 創

「ビル用マルチエアコン室内ユニット「天井カセット形4方向吹出し<システム天井対応タイプ>」」

統合デザイン研究所……………石浜真也, 新井悟史

## ●(一社)日本電機工業会

### 第72回電機工業技術功績者表彰

#### 優良賞(委員会活動)

「制御盤内の電線接続方式～端子・締付具の課題と対応～」の発行  
神戸製作所……………片山浩一  
福山製作所……………小樋悠太  
不二電機工業(株)……………辻 善樹  
元フエニックス・コンタクト(株)……………飯島一憲  
富士電機機器制御(株)……………渡邊勝昭  
東芝インフラシステムズ(株)……………古賀義基  
宇賀神戸製作所(株)……………原田礼藏  
ハピネスデンキ(株)……………西田憲一郎  
(一社)日本配電制御システム工業会……………松下寿朗  
フエニックス・コンタクト(株)……………三浦拓也, 渡谷正道  
IDEC(株)……………飯田正和, 後藤清子  
キムラ電機(株)……………富田博幸  
(株)パトライ特……………赤沼昇一  
ヒロセ電機(株)……………淵本純二  
タイコエレクトロニクスジャパン(同)……………長部弘幸  
大同端子製造(株)……………濱崎仁志  
(株)ニチフ端子工業……………栗山龍司  
日本庄着端子製造(株)……………西 啓之, 高田輝雄  
富士端子工業(株)……………田中正孝  
日東工業(株)……………小久保健司  
(株)日立製作所……………相原政徳, 鬼澤駿弘  
オムロン(株)……………澤井大介  
パナソニック インダストリー(株)……………野辺 武

#### 奨励賞(正会員会社)

「分電盤・制御盤用遮断器「KCシリーズ」スプリングクランプ端子仕様の開発」  
福山製作所……………千種真一, 小樋悠太, 野久保大貴  
「高調波引込み現象防止機能を付加した高圧負荷開閉器「ハーモニックスセーバ」の開発」  
福山製作所……………長谷英生  
三菱電機社会インフラ機器(株)……………常峰孝司  
(株)指月電機製作所……………池永光太郎

## ●(公社)自動車技術会

### ITS標準化活動功労者

情報技術総合研究所……………松田哲史

## ●(公社)発明協会

### 令和5年度中国地方発明表彰 発明奨励賞

「電力量計スマートメーターに内蔵するコンパクトな開閉器(特許第4889587号)」  
福山製作所……………森永千尋, 小林哲也

### 令和5年度近畿地方発明表彰 発明奨励賞

「波長分割多重通信用の光モジュール」  
高周波光デバイス製作所……………内山麻美, 東 祐介  
森田佳道, 大和屋 武  
先端技術総合研究所……………秋山浩一

### 令和5年度九州地方発明表彰

#### 福岡県知事賞

「長期安定動作に優れたSiC-MOSFET」  
パワーデバイス製作所……………末川英介, 折附泰典, 樽井陽一郎

#### 発明奨励賞

「終端領域を縮小した高耐圧パワー半導体」  
パワーデバイス製作所……………原田辰雄, 本田成人  
西井昭人, 月東綾則

## ●(公社)空気調和・衛生工学会

### 令和5年度空気調和・衛生工学会大会(福井) 優秀講演奨励賞

「RPAツールを活用した空調計装システムの入出力試験自動化方式の評価」  
情報技術総合研究所……………井澤哲美

## ●(一社)電子情報通信学会

### LQE奨励賞

「シリコンフォトニクスを用いた小型波長ロッカ素子の基礎検証」  
情報技術総合研究所……………鈴木純一

## ●(一社)情報処理学会 コンピュータセキュリティ研究会

### CSS2023優秀論文賞

「プロンプト・チューニングは大規模言語モデルの安全性を高めるか?」  
情報技術総合研究所……………中井綱人, 大西健斗

## ●内閣府賞勲局

### 秋の黄綬褒章

「業務精励(板金工・卓越技能)」  
伊丹製作所……………緒方寛一

## ●兵庫県産業労働部

### 令和5年度兵庫県技能顕功賞

「電子機器用高密度モジュール組立工」  
電子通信システム製作所……………富田大樹

### 第3部門(その他の金属加工及び金属溶接・溶断, めっき関係)

「アーチ溶接工」  
系統変電システム製作所……………山内 誠  
「電気めっき工」  
系統変電システム製作所……………北濱智明

### 第5部門(電気機械器具組立・修理及び電気作業関係)

「開閉制御機器組立工」  
系統変電システム製作所……………石原田順一, 松本 隆, 馬場秀幸  
「品質管理」  
系統変電システム製作所……………北川義章, 西木 享  
「変圧器組立工」  
系統変電システム製作所……………馬場正範, 田中義昭  
「畠 恵介, 山下卓志

### 第12部門(窯業製品製造, 化学製品製造, ゴム・プラスチック製品製造, 土石製品製造関係)

「プラスチック成形工」  
系統変電システム製作所……………土井 竜

## ●(一社)電子情報通信学会 環境電磁工学研究会

### 第4回EMC設計対策コンテスト 優秀賞

「転がすと光る玩具に対するEMC設計・対策」  
情報技術総合研究所……………赤松真裕美, 古谷航一

## ●厚生労働省

### 令和5年度「卓越した技能者(現代の名工)」

「職種名: 治工具製造工」  
群馬製作所……………松崎 一浩

## ●(一社)兵庫県発明協会

### 令和5年度近畿地方発明表彰 発明奨励賞

「回転センサ誤差を自動補正するエレベーター」  
先端技術総合研究所……………大塚康司, 酒井雅也  
「ずれ量検出可能なDMS装置」  
先端技術総合研究所……………渡邊信太郎  
本社……………田中堅人, 松本 篤, 坂本浩隆

## (公社)発明協会

### 令和5年度近畿地方発明表彰

兵庫県発明協会会長賞  
「寒冷地向け空調機のノンストップ暖房技術」  
先端技術総合研究所……………竹中直史, 鳩村 健  
本社……………山下浩司  
冷熱システム製作所……………若本慎一

### 特許庁長官賞

「回転電機(特許第6351866号)」  
姫路製作所……………北村隆二  
先進応用開発センター……………井上正哉  
本社……………岡本省吾

### 和歌山県発明協会会長賞

「無線通信システム」  
冷熱システム製作所……………奥野知樹, 立井秀一

## 発明奨励賞

「インバータの高性能化を実現する新冷却構造(特許第6789335号)」  
設計システム技術センター 永島悠平, 田村正佳  
姫路製作所 栃山繁信  
「絶縁テーピング装置のティーチングの自動化(特許第5835740号)」  
コンポーネント製造技術センター 坂上篤史, 松井昭夫, 大藤啓生  
生産技術センター 三宅展明  
「散水消雪装置」  
神戸製作所 直川和宏, 石田和典  
先端技術総合研究所 森 一之, 橋本博幸  
「高生産性レーザ加工機用の低吸収光学部品」  
生産技術センター 福永圭佑, 増田暁雄  
「通信途絶のない列車無線システム」  
伊丹製作所 濱田真吾  
コミュニケーション・ネットワーク製作所 永田貴司  
「鉄道用同期モータを磁石レス化する制御方法」  
先端技術総合研究所 小島鉄也  
伊丹製作所 加藤 将  
「静電板」  
系統変電システム製作所 東 武志, 近藤克三  
「水に浮くスマートキーレスシステムの携帯機(特許第5800874号)」  
姫路製作所 赤松慎吾  
「2モータ昇圧ハイブリッド車向け電力変換装置(特許第6452871号)」  
姫路製作所 石橋誠司, 藏本祐司, 渡邊俊夫  
「ずれ量検出可能なDMS装置(特許第7134384号)」  
先進応用開発センター 田中堅人, 松本篤, 坂本浩隆  
先端技術総合研究所 渡邊信太郎  
「高速移動体通信の伝送路等化技術」  
コミュニケーション・ネットワーク製作所 川本剛嗣  
「ドローンへの高精度無線送電装置」  
電子通信システム製作所 本間幸洋, 澤 学  
名古屋製作所 佐藤真帆  
「ポストコロナ対応ステンレスタッチレスボタン」  
三菱電機ビルソリューションズ(株) 井上卓哉, 山崎 剛  
先端技術総合研究所 折田 泰, 大野 岳

## 実施功績賞

「回転電機(特許第6351866号)」  
三菱電機(株) 代表執行役 執行役社長 漆間 啓  
令和5年度関東地方発明表彰  
特許庁長官賞  
「安全・安心を提供する病院向け搬送ロボット」  
統合デザイン研究所 荒井美紀  
群馬県知事賞  
「ヒートポンプ給湯機「他機能動作時の給湯温度変動抑制仕様」」  
群馬製作所 黒柳洋真, 池田一樹, 須藤真行  
高橋宗平, 本庄康史

## 静岡県知事賞

「ノンストップ暖房技術の冷媒回路構成」  
静岡製作所 川島 悅, 佐藤雅一, 安達祐介  
Mitsubishi Electric Consumer Products (Thailand)  
Co., Ltd. 早丸精英

## 神奈川県発明協会会長賞

「障害時通信中断を軽減するパケット通信技術」  
情報技術総合研究所 藤井照子, 吉田聰太  
静岡県発明協会会長賞  
「プロペラファン及び室外機(特許第6615379号)」  
住環境研究開発センター 寺本拓矢  
静岡製作所 池田尚史

## 発明奨励賞

「空気調和機におけるファン静音化技術」  
静岡製作所 磯村一樹, 栗原 誠  
「ミクサ回路及びこれを用いた衝突防止センサ」  
本社 川上憲司  
鎌倉製作所 鈴木拓也  
情報技術総合研究所 水谷浩之

## 「暮らしの質を見守るアプリケーションソフト」

統合デザイン研究所 吉澤仁志, 平井正人, 山内貴司  
本社 松原 勉  
「低コストで曖昧検索が可能な入力支援装置」  
情報技術総合研究所 相川勇之, 鷺野浩之(退職)  
本社 山崎 航  
AVITA(株) 三上崇志  
「電気掃除機(特許第6299806号)」  
住環境研究開発センター 陸 茉莉花, 高野浩志郎, 朝日洋平  
三菱電機ホーム機器(株) 相馬公義

## 「高効率ヒートポンプ給湯システム(特許第5748002号)」

住環境研究開発センター 玉木章吾, 齊藤 信  
静岡製作所 上原伸哲  
「永久磁石埋込型モータの回転子及び圧縮機(特許第5677584号)」  
住環境研究開発センター 矢部浩二, 馬場和彥  
「中央処理装置」  
IoT・ライフソリューション新事業推進センター 那谷和輝  
石原正裕

## 令和5年度中部地方発明表彰 発明奨励賞

### 「エンコーダ及びサーボモータの組立方法(特許第6479297号)」

名古屋製作所 金森大輔, 佐土根俊和  
生産技術センター 二村政範, 大熊雅史

## 令和5年度四国地方発明表彰 発明奨励賞

### 「耐震性能を高めた高剛性なスイッチギヤ」

受電配システム製作所 小林弘嗣, 近藤和文  
三菱電機エンジニアリング(株) 細谷亮造

## ●(一社)石川県発明協会

## 令和5年度中部地方発明表彰 発明奨励賞

### 「ボストコロナ対応ステンレスタッチレスボタン」

三菱電機ビルソリューションズ(株) 井上卓哉, 山崎 剛  
先端技術総合研究所 折田 泰, 大野 岳

## ●(一社)神奈川県発明協会

## 令和5年度関東地方発明表彰 発明奨励賞

### 「宇宙用リチウムイオンバッテリーモジュール」

鎌倉製作所 丸谷健太郎

## ●IEEE

### IEEE Fellow

「for leadership in fiber-based lidar technology for environment  
sensing applications」  
情報技術総合研究所 亀山俊平

## ●(公財)電気科学技術奨励会

### 電気科学技術奨励賞

### 「大容量光通信を実現する高度変復調技術の開発と実用化」

情報技術総合研究所 吉田 剛, 小西良明, 鈴木巨生

## ●厚生労働省

### 職業能力開発関係 厚生労働大臣賞

### 「電気機器組立検定の功労者」

姫路製作所 内山昌敏

## ●(国研)宇宙航空研究開発機構(JAXA)

### 2023年度 宇宙航空分野における安全・ミッション保証功労賞

### (S&MA功労賞)

### 「JAXAの宇宙航空の研究開発に関わる安全, 信頼性, 品質向上」

鎌倉製作所 宇宙機器システム部 部品・信頼性技術課

## ●環境システム計測制御学会

## 令和5年度奨励賞

### 「窒素除去と省エネを両立する曝気量制御技術の開発」

先端技術総合研究所 植田怜央, 吉田 航, 林 佳史  
今村英二, 木本 熱

神戸製作所 霜田健太

## ●兵庫県産業労働部

### 令和5年度兵庫県青年優秀技能者表彰

### 第2部門(金属加工の職業)

### 「マシニングセンタオペレーター」

電子通信システム製作所 鎌田隼也

### 「フライス盤工」

姫路製作所 増成健太

**第3部門(金属溶接・溶断・めっき工, その他の金属加工等の職業)**  
 「ろう付工」  
 電子通信システム製作所 ..... 中野貴文  
 「金属加工検査工」  
 電子通信システム製作所 ..... 宮本 亮

**第5部門(電気機械器具組立・修理及び電気作業関係)**  
 「プリント基盤組立工」  
 伊丹製作所 ..... 村上直人  
 「電気機械部品組立工」  
 電子通信システム製作所 ..... 亀子裕平

**令和5年度兵庫県技能顕功賞**  
 「電気機械部品組立工」  
 姫路製作所 ..... 内山昌敏  
 電子通信システム製作所 ..... 畑中孝夫  
 「発電機・電動機組立工」  
 神戸製作所 ..... 中 昭次  
 伊丹製作所 ..... 川崎賢一  
 「発電機・巻線組立工」  
 電力システム製作所 ..... 今井輝人  
 「板金工」  
 伊丹製作所 ..... 橋本繁輝  
 「配電盤・制御盤組立工・調整工」  
 伊丹製作所 ..... 大山源和  
 「抵抗溶接工」  
 電子通信システム製作所 ..... 徳田 亮  
 「アーク溶接工」  
 電子通信システム製作所 ..... 繁田有信  
 「プリント基盤組立工」  
 電子通信システム製作所 ..... 丸岡範充  
 「研削盤工」  
 姫路製作所 ..... 福井謙次  
 「電気通信機械器具修理工」  
 電子通信システム製作所 ..... 森 健司  
 「半導体チップ製造工」  
 高周波光デバイス製作所 ..... 本田 力

**●株ベネッセコーポレーション**  
**Benesse Reskilling Award2023 クリエイティブ カルチャー賞**  
 三菱電機(株) 情報技術総合研究所

**●株日刊工業新聞社**  
**十大新製品賞 本賞**  
 「三菱電機 高効率同期リラクタンスマーターRF-SR形「MELUSUSMO」」  
 三菱電機(株) 代表執行役 執行役社長 ..... 漆間 啓

**●Institute of Electrical and Electronics Engineers**  
**IEEE RAAI 2023 BEST PRESENTER AWARD**  
 「Addressing the impact of Message-Passing Topology in GNN RL」  
 先端技術総合研究所 ..... 鈴木 啓

**●(一財)省エネルギーセンター**  
**2023年度省エネ大賞**  
 製品・ビジネスモデル部門 資源エネルギー庁長官賞  
 「住宅の環境に合わせて自動でコントロールするAIエアコン「霧ヶ峰 Z シリーズ」」  
 三菱電機(株)

製品・ビジネスモデル部門 省エネルギーセンター会長賞  
 「全熱交換形換気機器「業務用ロスナイ 外気処理ユニット」」  
 三菱電機(株)

「店舗・事務所用パッケージエアコン「スリムZRシリーズ/ズバ暖スリム DHシリーズ」」  
 三菱電機(株)

**省エネ事例部門 省エネルギーセンター会長賞**  
 「『ZEB』とウェルネスを両立した中規模オフィスビルSUSTIE(サスティエ)」  
 三菱電機(株)  
 (株)三菱地所設計  
 (株)竹中工務店  
 (株)弘電社  
 三菱電機冷熱プラント(株)  
 三菱電機システムサービス(株)

**●進化計算学会**  
**SCAT表彰 優秀賞**  
 「ITS、自動車のセキュリティ技術の標準化と実用化・人材育成・普及促進」  
 情報技術総合研究所 ..... 三澤 学

**進化計算コンペティション**  
 「トップ賞」  
 情報技術総合研究所 ..... 佐鳥政仁朗, 芳川昇之

**●(公社)兵庫工業会**  
**令和5年度職域における創意工夫者表彰 知事賞**  
 「専用治工具作製とノウハウ共有化による作業時間短縮の改善」  
 電子通信システム製作所 ..... 尾形優一

**令和5年度職域における創意工夫者表彰**  
 「ブッシュビン加工治具の考案」  
 電子通信システム製作所 ..... 井上雄太  
 「スポット溶接における作業時間の改善」  
 電子通信システム製作所 ..... 陰地芽生  
 「溶接歪取り作業時間の改善」  
 電子通信システム製作所 ..... 大崎勝己  
 「治具製作による検査効率化の改善」  
 電子通信システム製作所 ..... 谷池知亮  
 「計測器管理の改善」  
 電子通信システム製作所 ..... 阿部知子

**三菱電機株式会社**