

NEWS RELEASE

新チップ構造によりパワーモジュールへの SBD 内蔵 SiC-MOSFET の適用を実現
特定チップにサージ電流が集中するメカニズムを世界で初めて解明し新チップ構造で回避

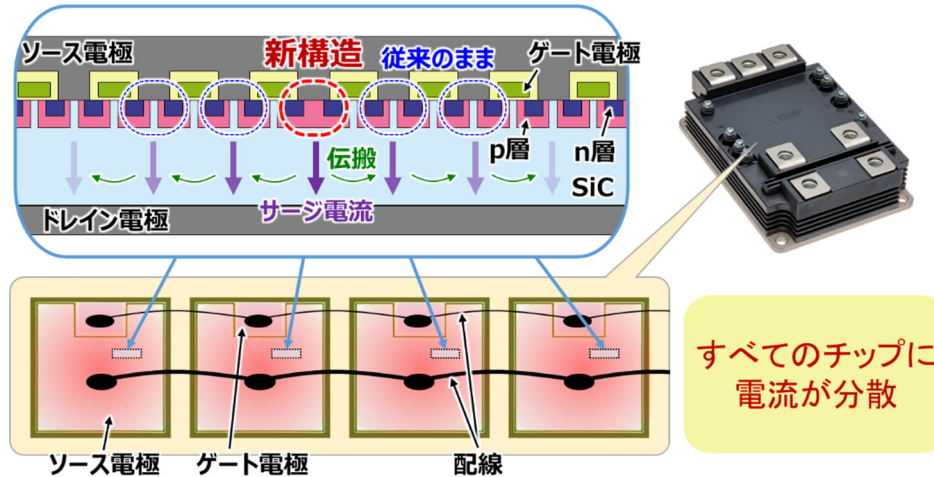


図1 開発した新チップ構造（上：チップの断面図、下：チップを上から見た並列接続図）

三菱電機株式会社は、サンプル提供を5月31日に開始した鉄道車両・直流送電などの大型産業機器向け 3.3kV フル SiC^{※1} パワーモジュール「FMF800DC-66BEW^{※2}」において、新構造の SBD^{※3} 内蔵 SiC-MOSFET^{※4} を適用しました。これにより、鉄道車両用推進制御装置などの小型化や省エネルギー化、直流送電の普及促進などを通じてカーボンニュートラルの実現に貢献します。

近年、電力損失を大幅に低減できる SiC パワー半導体への期待が高まっており、当社は SiC-MOSFET や SiC-SBD を搭載した SiC パワーモジュールを 2010 年に製品化して以来、エアコンや鉄道車両などさまざまなインバーターシステムに SiC パワー半導体を適用してきました。

SiC-MOSFET と SiC-SBD を一体化した SBD 内蔵 SiC-MOSFET は、両者を別チップにした従来技術と比べて、パワーモジュールに搭載するチップを高密度に実装できるため、パワーモジュールの小型化や大容量化が可能なおうえ、スイッチング損失の低減が図れることから、機器の小型化、省エネルギー化が求められる鉄道車両・直流送電などの大型産業機器への普及が期待できます。一方、SBD 内蔵 SiC-MOSFET を用いたパワーモジュールは、接続した回路でサージ電流^{※5} が発生すると、特定のチップのみにサージ電流が集中し、チップの熱破壊が生じてしまうことから、従来の Si パワーモジュールよりもサージ電流耐量^{※6} が低くなり、実用化が難しいという課題がありました。

当社は今回、パワーモジュール内の並列接続されたチップ構造において、サージ電流が特定のチップへ集中するメカニズムを世界で初めて^{※7} 解明し、すべてのチップが一斉に通電を開始してサージ電流が各チップ内全域に分散する新チップ構造を開発しました。これにより、サージ電流耐量を当社従来技術と比べて 5 倍以上に向上し、従来の Si パワーモジュールと同等以上のサージ電流耐量が得られたことで、パワーモジュールへの SBD 内蔵 SiC-MOSFET の適用を実現しました。

なお、本開発成果の詳細は、香港で5月28日から6月1日に開催された「ISPSD^{※8} 2023」で、5月31日14時（現地時間）に発表しています。

※1 Silicon Carbide：炭化ケイ素

※2 2023年5月8日広報発表：<https://www.MitsubishiElectric.co.jp/news/2023/pdf/0508.pdf>

※3 Schottky Barrier Diode：半導体と金属の接合部に生じるショットキー障壁を利用したダイオード

※4 Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor：金属酸化膜半導体製の電界効果トランジスタ

※5 回路からパワーモジュールに対し、定格電流を超える電流が瞬間的に流れる突発的な動作

※6 サージ電流が発生した場合にパワーモジュールが耐えられる限界電流

※7 2023年6月1日現在、当社調べ

※8 International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs：パワー半導体に関する国際会議

開発の特長

1. 世界初、特定チップへのサージ電流集中メカニズムを解明

- 各チップのわずかな寸法のばらつきによって、特定のチップだけが先にサージ電流の通電を開始し、サージ電流が集中してしまう SBD 内蔵 SiC-MOSFET 特有のメカニズムを世界で初めて*7 解明

2. 新チップ構造の開発で、並列接続されたチップを一斉に通電させることに成功

- 各チップのユニットセルの一部に内蔵 SBD を配置しないことで、寸法のばらつきの影響を受けないチップ構造を開発
- 新構造を起点に、並列接続されたすべてのチップへ一斉に通電させることに成功。さらにサージ電流がチップ内全域に分散するため、特定チップや特定箇所への電流集中も回避

3. サージ電流耐量を向上、パワーモジュールへの SBD 内蔵 SiC-MOSFET の適用を実現

- 新チップ構造により、並列接続した SBD 内蔵 SiC-MOSFET のサージ電流耐量を当社従来技術と比べて 5 倍以上に向上
- 新構造の配置をチップ面積全体のごく一部 (1%未満) とすることで、SBD 内蔵 SiC-MOSFET がもつサージ電流耐量以外の低オン抵抗*9 や低スイッチング損失などの電気特性を維持
- 鉄道車両用途などに実績のある Si パワーモジュールと同等以上のサージ電流耐量の達成により、パワーモジュールへの SBD 内蔵 SiC-MOSFET の適用を実現

今後の予定・将来展望

今後、本技術を適用した SiC パワーモジュールにより、鉄道車両用推進制御装置の小型化、省エネルギー化に貢献します。さらに、電力変換器の高効率化・小型化により、交流送電に対して送電ロスが小さい直流送電の普及促進に寄与し、カーボンニュートラルの実現に貢献します。

SBD 内蔵 MOSFET について

従来の SiC パワーモジュールでは、スイッチングを担う SiC-MOSFET と整流を担う SiC-SBD を別々のチップとして製造し、パワーモジュール内で並列接続していました。これに対し、当社は SiC-SBD を SiC-MOSFET のユニットセル内に周期的に形成することで両者を一体化させた SBD 内蔵 SiC-MOSFET (図 2) を考案し、開発を行ってきました。SiC-MOSFET と SiC-SBD を別チップにする場合と比べ、SBD 内蔵 SiC-MOSFET はパワーモジュールに高密度にチップを実装できるため、パワーモジュールの小型化や大容量化が可能となるうえ、スイッチング損失を低減できることから、機器の小型化、省エネルギー化が求められる鉄道車両・直流送電などの大型産業機器への普及が期待できます。

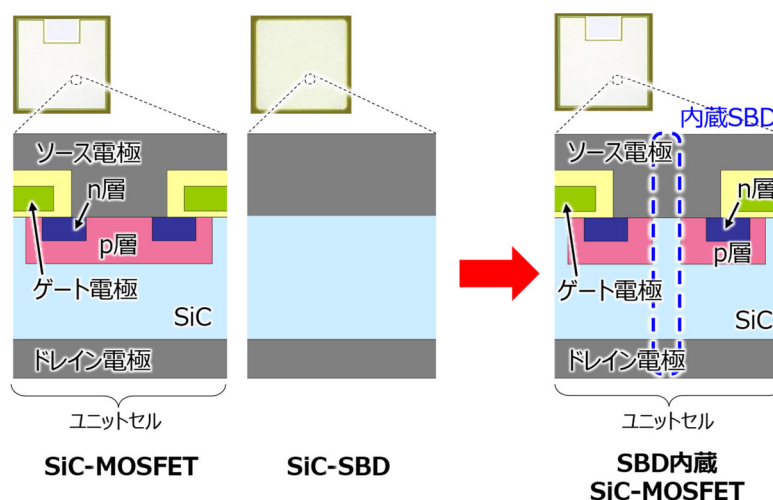


図 2 SBD 内蔵 MOSFET による SiC-MOSFET と SiC-SBD の一体化 (イメージ図)

*9 SiC-MOSFET を動作させた際のドレイン・ソース間の抵抗値。値が小さいほど、電力損失が少なくなる

特長の詳細

1. 世界初、特定チップへのサージ電流集中メカニズムを解明

従来、並列接続された複数の SBD 内蔵 MOSFET チップにサージ電流が流れると、特定のチップのみにサージ電流が集中してしまい、並列チップの数に応じたサージ電流耐量が得られないという課題がありました。物理分析とデバイスシミュレーションによる解析の結果、内蔵された SBD のわずかな寸法のばらつきが原因で、SBD 幅が小さい特定のチップのみが先にサージ電流の通電を開始してしまい、結果として特定のチップにサージ電流が集中するというメカニズムを世界で初めて*7 解明しました (図 3)。この寸法のばらつきは極めて軽微なものであり、製造上、避けることはできません。

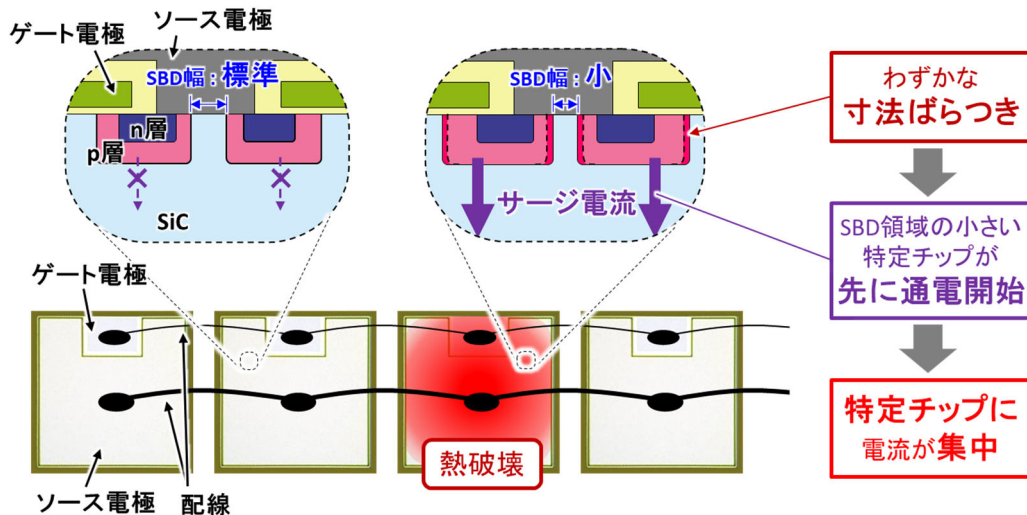


図 3 従来技術における特定チップへの電流集中メカニズム

2. 新チップ構造の開発で、並列接続されたチップを一斉に通電させることに成功

特定チップへのサージ電流の集中を防ぐため、当社はチップ面積全体の 1%未満のユニットセルに対して、内蔵 SBD を配置しない新チップ構造を開発しました。このユニットセルは、SBD を有する他のユニットセルに比べて早くサージ電流の通電が生じる構造で、SBD が存在しないため寸法のばらつきの影響を受けません。そのため、すべてのチップの SBD が存在しないユニットセルで一斉にサージ電流の通電を開始することができます。

また、サージ電流は周囲の SiC の抵抗を低減する働きがあるため、サージ電流の通電が生じた周囲のユニットセルでも、サージ電流の通電が連鎖的に引き起こされます。この現象により、SBD が存在しないユニットセルを起点としたサージ電流の通電がチップ全域に伝搬します。以上の結果により、すべてのチップのすべての領域にサージ電流を分散させることができ、特定のチップへのサージ電流の集中によるチップの熱破壊を防ぐことで、サージ電流耐量を増大することができます (図 4)。

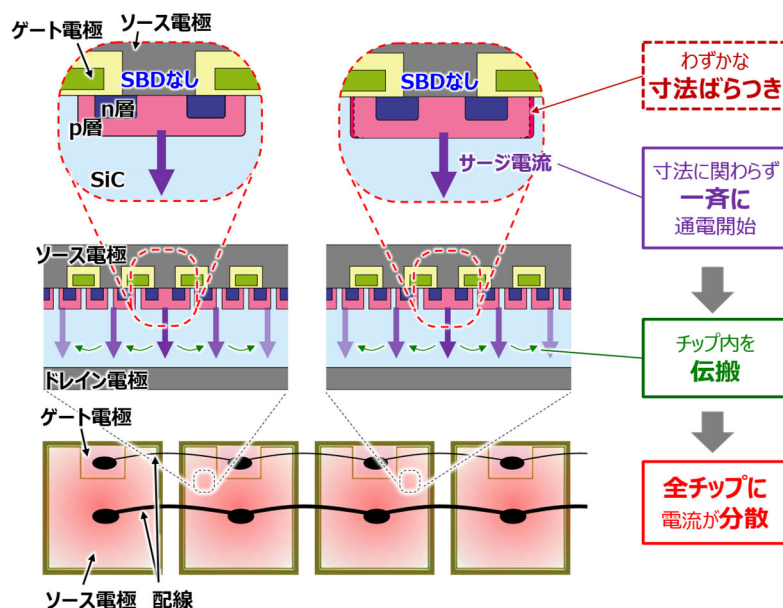


図 4 開発した新チップ構造による特定チップへの電流集中の回避

3. サージ電流耐量を向上、パワーモジュールへの SBD 内蔵 SiC-MOSFET の適用を実現

新チップ構造を用いることで、並列接続した SBD 内蔵 SiC-MOSFET のサージ電流耐量を当社従来技術と比べて 5 倍以上に向上することができ、長年実績のある Si パワーモジュールに対して同等以上のサージ電流耐量を達成しました。なお、サージ電流の通電が連鎖的に伝搬する効果のため、内蔵 SBD を配置しないユニットセルはチップ面積全体のごく一部（1% 未満）でも十分であり、内蔵 SBD の面積が減ることによる低オン抵抗や低スイッチング損失などのパワーモジュール特性への影響はありません。

これにより、電鉄・電力など大電力用途を想定したパワーモジュールに求められるチップの並列接続が可能となり、SBD 内蔵 SiC-MOSFET のパワーモジュール適用を実現しました。

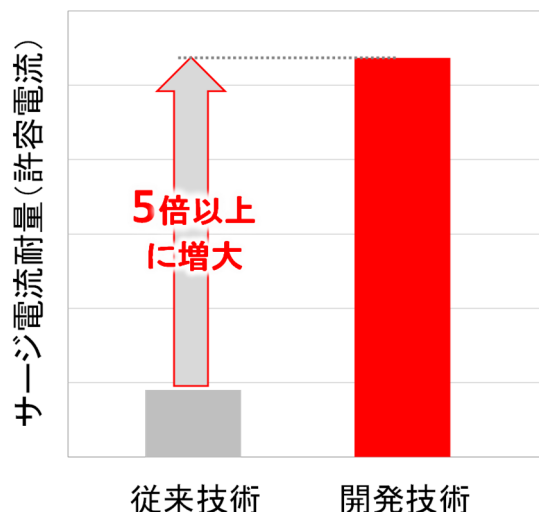


図 5 開発技術によるサージ電流耐量の向上効果

お問い合わせ先

<報道関係からのお問い合わせ先>

三菱電機株式会社 広報部
〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目 7 番 3 号
TEL 03-3218-2332 FAX 03-3218-2431

<お客様からのお問い合わせ先>

三菱電機株式会社 先端技術総合研究所
〒661-8661 兵庫県尼崎市塚口本町八丁目 1 番 1 号
FAX 06-6497-7289
http://www.MitsubishiElectric.co.jp/corporate/randd/inquiry/index_at.html