

富士 IGBT モジュール 第1章 構造と特徴

Application Manual

 **注意**

本資料の内容(製品の仕様、特性、データ、材料、構造など)は2025年1月現在のものです。
この内容は製品の仕様変更のため、または他の理由により事前の予告なく変更されることがあります。

このマニュアルに記載されている製品を使用される場合には、その製品の最新版の仕様書を入手して、データを確認して下さい。

富士電機は絶えず製品の品質と信頼性の向上に努めています。しかし、半導体製品はまれに故障、誤動作が発生する場合があります。富士電機製半導体製品の故障または誤動作が、結果として人身事故・火災などによる財産に対する損害や社会的な損害を起こさないように冗長設計・延焼防止設計・誤動作防止設計など安全確保のための手段を講じて下さい。

本資料の記載内容は工業所有権、その他権利の実施に対する保障または実施権の許諾を行なうものではありません。

本資料に記載された製品は、人命にかかわるような状況下で使用される機器あるいはシステムに用いられることを目的として設計・製造されたものではありません。本資料の製品を車両機器、船舶、航空宇宙、医療機器、原子力制御、海底中継機器あるいはシステムなど、特殊用途への使用に対して弊社は一切の責任を負いません。

本資料には製品を保証する項目が記載されていますが、製品が顧客装置に組み込まれた際の特性及び品質に対して保証するものではありません。製品を使用される際は、製品が使用されるアプリケーションにて評価いただいた上で、適用側の責任において適用可否を判断して下さい。

富士電機は、適用可否に対する責任は負いません。

第1章 構造と特長

1. 素子構造の変遷	1-2
2. IGBTモジュール構造	1-4
3. IGBTモジュールの回路構成	1-5
4. 過電流制限機能	1-6
5. RoHS指令について	1-6
6. 安全規格:UL認証について	1-6

モータ可変速駆動装置や電算機の無停電電源装置などに用いられるIGBT(JEDEC登録名称: Insulated Gate Bipolar Transistor)モジュールは近年の省エネや装置の小型・軽量化に対する要求の高まりとともに急速な発展を遂げています。また、このIGBTはパワーMOSFETの高速スイッチング性能とバイポーラトランジスタの高電圧・大電流処理能力を合わせ持った素子として、今後一層の発展が期待されています。

1. 素子構造の変遷

ゲートに正の電圧を印加するとn型チャンネルを形成する(nチャンネル型)IGBTは、パワーMOSFETのドレイン側のn⁺層をp⁺層で置換した構造となっており、nドリフト層の伝導度変調により大電流での低抵抗化が可能なバイポーラ素子です。

IGBTの構造は、表面のゲート構造、nドリフト層を形成するバルク構造、裏面構造に大別することができます。表面のゲート構造はウェーハ表面、すなわちチップ表面にゲートを形成するプレーナゲート構造と、ウェーハ中に溝を掘ってゲートを形成するトレンチゲート構造の2種類があります。一方、バルク構造はオフ時に空乏層がコレクタ側(p-collector層)に到達するパンチスルー(Punch Through)型、到達しないノンパンチスルー(Non Punch Through)型に大きく分けることができます。裏面構造図1-1にnチャンネル型IGBTの構造比較を示します。

富士電機はIGBTの製品化を1988年から始め、市場に供給してきました。当時のIGBTは、プレーナゲート構造パンチスルー型IGBTが主流であり、エピタキシャルウェーハを用いて、コレクタ層側から少数キャリアを高注入して伝導度変調効果を得ることで低オン電圧を実現していました。同時にターンオフ時は、nドリフト層の過剰キャリアを速やかに消滅する必要があるため、キャリアライフタイムコントロール技術を採用していました。これにより低オン電圧と高速スイッチングを両立させ、その結果、低いスイッチング損失を実現させていました。しかし、キャリアライフタイムコントロール技術による注入キャリア制御は、IGBTの製造プロセスにとって比較的容易に導入が可能であったため幅広く適用されていました。しかしながら、オン電圧のばらつきが大きく、また出力特性が負の温度特性を示す等の課題がありました。従って、IGBTモジュールの大容量化、それらを用いた電力変換装置の大型化に伴い、より並列接続が容易な特性への要求が高まりました。

これらの課題を打開するために、ノンパンチスルー型IGBTが開発されました。ノンパンチスルー型IGBTは、コレクタ(p-collector層)の不純物濃度により、少数キャリアの注入効率を制御抑制するとともに、nドリフト層の厚さと抵抗率で内部電界と輸送効率を制御しています。ノンパンチスルー型IGBTではエピタキシャルウェーハを用いず、FZ(Floating Zone)ウェーハを用います。このため、エピタキシャルウェーハと比較した場合のFZウェーハの優位性をIGBTチップに反映できるといった利点があります。例えば、FZウェーハは結晶欠陥がもともと少なく、内部ストレスも小さいため、1700V以上の高耐圧チップの製造が容易になること、FZウェーハのキャリアライフタイムは非常に長く、IGBTチップの過剰キャリア分布制御は、p-collector層からの少数キャリア注入のみを考慮すればよくなること、オン電圧をはじめとした諸特性ばらつきが、大幅に改善すること、などの利点を持っています。

一方、低オン電圧を達成するためには高輸送効率化する必要があり、特に1200V耐圧以下のIGBTウェーハではnドリフト層を薄くする特別な製造技術が必要でした。そこで富士電機ではウェーハの薄厚化技術を開発し特性改善に貢献してきました。

更なる特性改善のためには、より薄いチップ厚のIGBTが必要となりますが、チップ厚の大部分をnドリフト層の厚さが占めるため、厚さを薄くしすぎると所定の電圧の保持が不可能になります。この特性改善を阻む要因を打破した構造がFS(Field Stop)構造です。FS構造とはnドリフト層下部に濃度が高いFS層を設けた構造です。この構造を採用することで更なる薄チップ化と特性改善が可能となりました。

また富士電機はIGBTの特性改善に不可欠な技術として表面構造の微細化も併せて進めて来ました。IGBTはセルと呼ばれるIGBTの基本構造を多数配置した構造によって形成しています。IGBTセル数が多いほど低オン電圧化が実現できます。セル高密度化のためウェーハ表面に平面的にIGBTセルを作るプレーナ構造からウェーハ表面にトレンチ(溝)を形成し3次的にゲートを形成するトレンチ構造へと表面構造も移り変わってきました。このように、バルク構造、表面構造に様々な技術を適用することで特性改善を図ってきました。

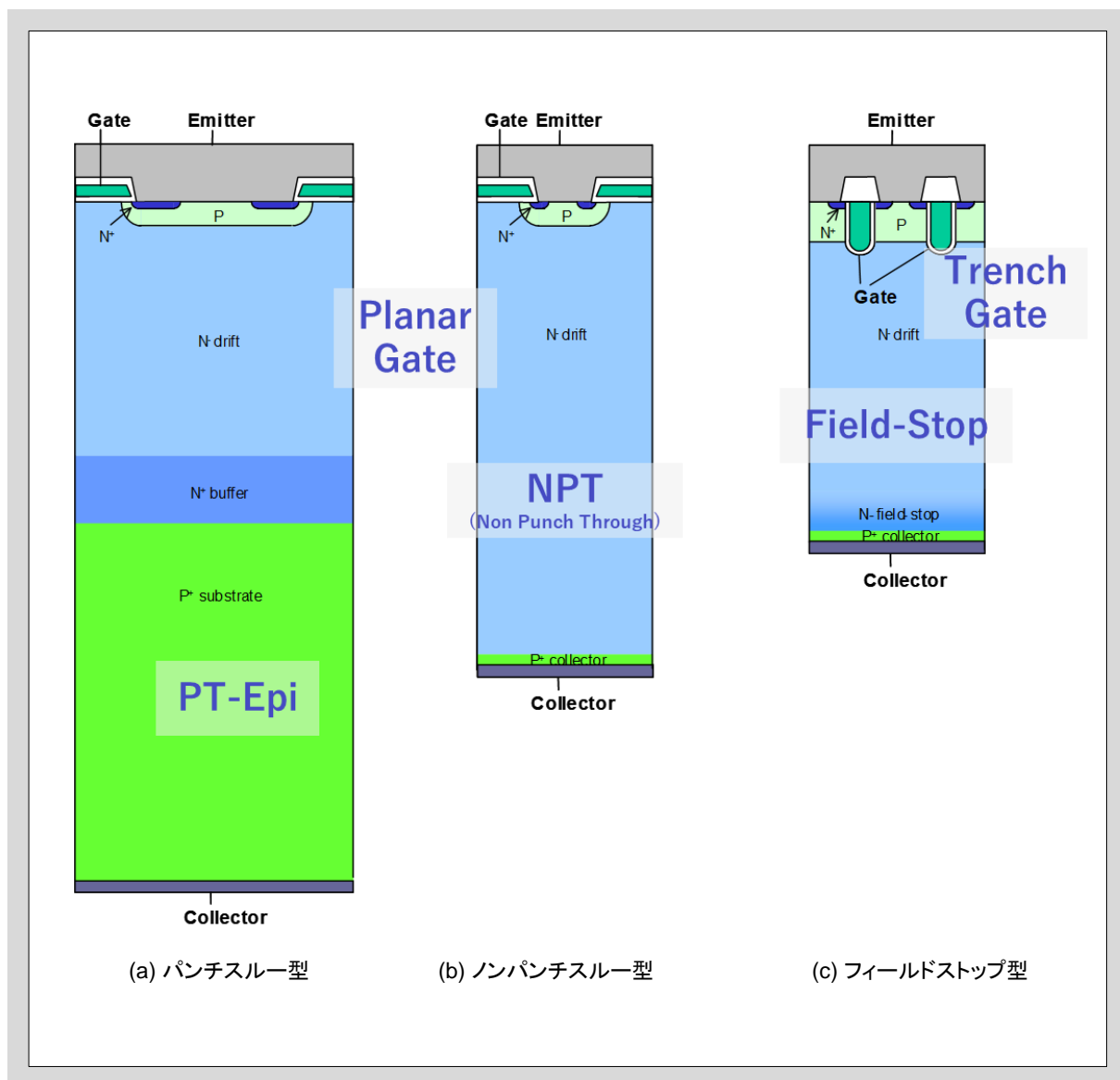


図1-1 IGBTの構造比較

2. IGBTモジュール構造

図1-2、図1-3に代表的なIGBTモジュールの構造を示します。図1-2に示す端子台一体構造IGBTモジュールは、ケースと外部電極端子を一体に成型した構造の採用により、部品点数の削減及び内部配線インダクタンスの低減を図り、またDCB(Direct Copper Bonding)基板の採用により低熱抵抗及び高抗折強度を有する高信頼性製品を実現しました。

図1-3に示すワイヤ端子接続構造IGBTモジュールは、外部端子とDCB基板をアルミワイヤで接合する構造となっています。これにより、パッケージ構造の簡易化・小型化・薄厚化・軽量化・組立工数の削減を実現しました。

さらに、IGBTやFWDチップを適切に配置することにより効果的な熱分散を可能にする工夫や、上下アームIGBT素子を均等に配置することでターンオン時の過渡電流バランスを均等化し、ターンオン損失の増加が起らない工夫なども行なっています。

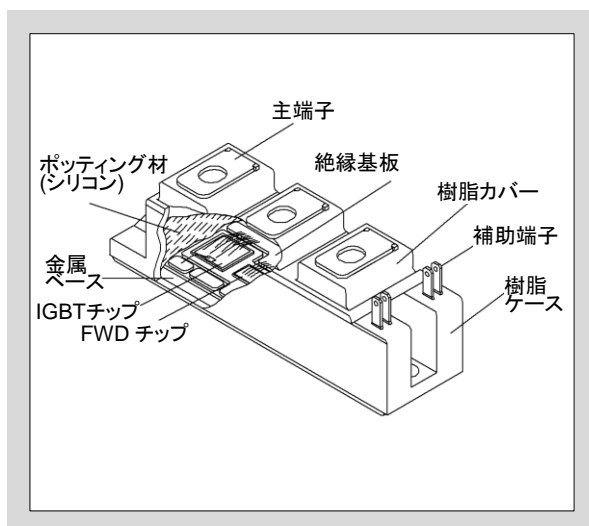


図1-2 端子台一体構造IGBTモジュール

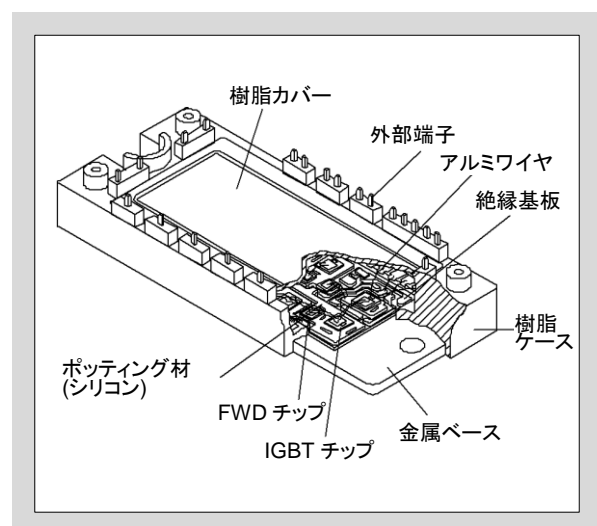


図1-3 ワイヤ端子接続構造IGBTモジュール

3. IGBTモジュールの回路構成

表1-1にIGBTモジュールの回路構成例を示します。

表1-1 IGBTモジュールの回路構成例


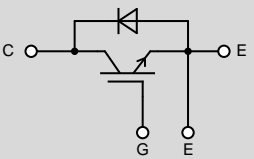

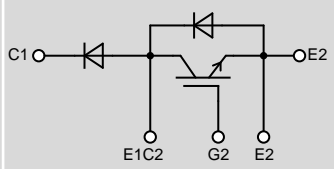
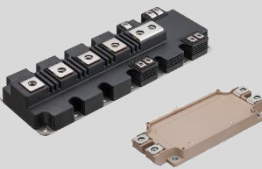
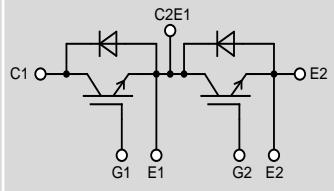
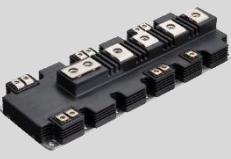
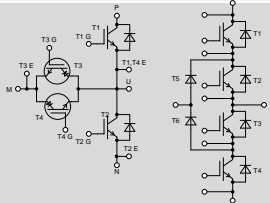
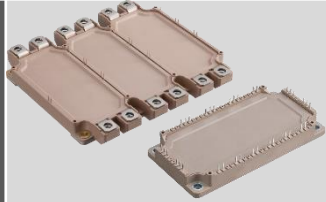
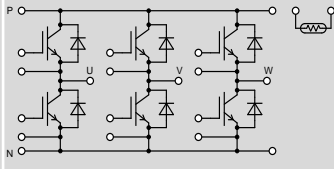
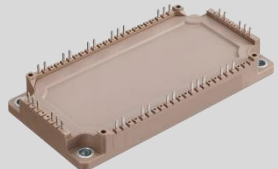
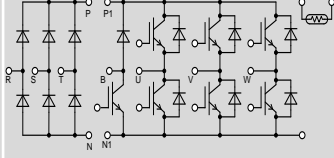
名称	IGBTモジュールの例		特徴
	外観	等価回路	
1-Pack			パッケージの中に逆並列接続したIGBTとFWDを内蔵した製品。電流定格の大きな領域の製品で、並列接続することで更に大容量の装置に適用することも多い。
chopper			パッケージの中に逆並列接続したIGBTとFWDにFWDを直列接続した製品。PWMインバータのブレーキ用途、2in1などと組み合わせて1タイプ3レベル回路を構成できる。
2-Pack			パッケージの中に逆並列接続したIGBTとFWDを2組内蔵した製品。3台一組でPWMインバータを構成するのが一般的。又電流定格の大きいIGBTモジュールを並列接続して使用することも多い。
4in1			パッケージの中にIGBTとFWDをT型またはI型に配置し構成した製品。太陽光インバータなどに使うのが一般的。又IGBTモジュールを並列接続して使用することも多い。
6-Pack			パッケージの中に逆並列接続したIGBTとFWDを6組内蔵した製品。温度検出用にNTCサーミスタを内蔵したタイプも系列化。本IGBTモジュール1台でPWMインバータを構成するのが一般的。
PIM			パッケージの中にコンバータ、インバータ、ブレーキの3機能を内蔵した製品。温度検出用にNTCサーミスタを内蔵したタイプも系列化。

表1-1に示すようにIGBTモジュールには基本的に1-Pack、2-Pack、6-Pack、PIMの4種類が存在し、それぞれのタイプに特徴があります。本表には回路構成も記載していますので、素子選定の際の参考として下さい。

4. 過電流制限機能

IGBTの実使用上、装置の短絡事故などによりIGBTに過電流が流れる場合があります。過電流が流れ続けると素子自身が急激に温度上昇し永久破壊に至る場合があります。通常、この過電流の流れ始めから破壊に至るまでの時間を「短絡耐量」として表現します。この短絡耐量は電源電圧が低く、過電流が小さい程、その短絡耐量は高く(長く)なります。すなわち短絡時のエネルギーが小さいほど短絡耐量は高くなります。

IGBTではゲート-エミッタ間に印加するゲート電圧にも依存しますが、短絡事故時などの過電流を定格電流の数倍にIGBT自身が制限するように設計しており、過電流検出後に余裕を持って保護がかけられる高い短絡耐量を実現しています。

5. RoHS指令について

RoHS(Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment)指令とはEU(欧州連合)が2006年7月1日に施行した有害物質規制のことであり、電気電子機器への特定有害物質の含有を禁止することを示します。

現在、規制対象となっているのは、Pb(鉛)、Cd(カドミウム)、Cr6+(6価クロム)、Hg(水銀)、PBB(ポリブロモビフェニル)、PBDE(ポリブロモジフェニルエーテル)、DEHP(フタル酸ビス(2-エチルヘキシル))、BBP(フタル酸ブチルベンジル)、DBP(フタル酸ジブチル)、DIBP(フタル酸ジイソブチル)の10物質です。

これら10物質を、しきい値(Cdは0.01%、他は0.1%)を超えて含有する製品はEU内では販売できませんが、技術的に代替が困難な用途については、適用除外が認められています。

IGBTモジュールのRoHS対応に対し、特に関連性が深いものが各チップ、DCBを接続するためのはんだに含まれる鉛(Pb)です。富士電機ではPbフリーはんだを用いてRoHS規制に対応した製品化を実施しています。

6. 安全規格:UL認証について

北米を代表としたULの安全性に関する規制に適合していることを要求する地域では、様々な機器を市場で使用する場合、その機器に使用する部品に対してULの認証が必要となります。

富士電機IGBTモジュールはUL1557に準拠し、認証を取得しています。認証機種についてはULのウェブサイトより確認いただけます。

<https://productiq.ulprospector.com/en/profile/1972723/qqqx2.e82988?term=E82988&page=1>

富士電機が現在UL認証を受けている製品型式の一覧が表示されます。