

富士 IGBT モジュール 第1章 構造と特長

Application Manual

注意

このマニュアルの内容(製品の仕様、特性、データ、材料、構造など)は2020年12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、データを確認してください。

本資料に記載してある応用例は、富士電機の半導体製品を使用した代表的な応用例を説明するものであり、本資料によって工業所有権、その他権利の実施に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。

 **注意**

(1) 輸送と保管

段ボール箱の適切な面を上にして運搬してください。そうしないと製品に予期しないストレスがかかり、端子の曲りや樹脂パッケージ内の歪みなど、影響を及ぼす可能性があります。さらに製品を投げたり落下させたりすると、製品に大きなダメージを与える可能性があります。また水に濡れると破壊や故障の原因になりますので、雨や凍結には十分な配慮をお願いします。輸送中の温度や湿度などの環境条件は、仕様書に記載してありますので厳守してください。

(2) 組み立て環境

パワーモジュールの素子は静電気放電に対して非常に弱いため、組み立て環境におけるESD対策を、仕様書に記載の範囲内で適切に実施してください。特に、導電性スポンジを制御端子から取り外す時が、最も製品に電氣的ダメージを与える可能性があります。

(3) 動作環境

製品を酸や有機物、腐食性ガス(硫化水素、硫酸ガスなど)にさらされる環境で使用した場合、製品性能や外観を十分確保することができません。

第1章 構造と特長

1. 素子構造の変遷	1-2
2. 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、インシュレーテッド・ゲート・バイポーラ・トランジスタ) モジュールは近年の省エネ・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。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のドレイン側に p^+ 層を追加した構造となっており、ベース層の伝導度変調により大電流での低抵抗化が可能な素子です。

IGBTの構造は表面のゲート構造、ベース層を形成するバルク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に接触するパンチスルー(Punch Through)型、接触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。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はプレーナゲート型パンチスルーIGBTが主流でした。当時のパンチスルー型IGBTはエピキシャルウェーハを用いたIGBTで、コレクタ側からキャリアを高注入す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ベース層(nドリフト層)に高注入されたキャリアを速やかに消去する必要があるため、ライフタイムコントロール技術を適用しています。これにより低オン電圧と低いターンオフスイッチング損失(E_{off})を実現させていました。しかしライフタイムコントロール技術を適用した場合、高注入のキャリアをライフタイムコントロール技術で抑制するため、特性改善に限界がありました。その上ライフタイムコントロール技術を適用した場合、オン電圧特性のバラツキが生じるため、近年要求の高まってきた並列使用による大容量化に対するデメリットがありました。

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^+ 層)の不純物濃度コントロールによりキャリアの注入効率を抑制するとともに、nベース層(nドリフト層)の厚さを薄くして輸送効率を高めています。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)ウェーハを用いることができるため、結晶欠陥の影響を受けにくい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nベース層の厚さ、すなわちチップ厚を薄くする技術が必要でした。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、より薄いチップ厚を持ったIGBTが必要となりますが、チップ厚の大部分をnベース層の厚さが占めるため、厚さを薄くすると所定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ベース層(nドリフト層)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シリコン表面にトレンチ(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。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。

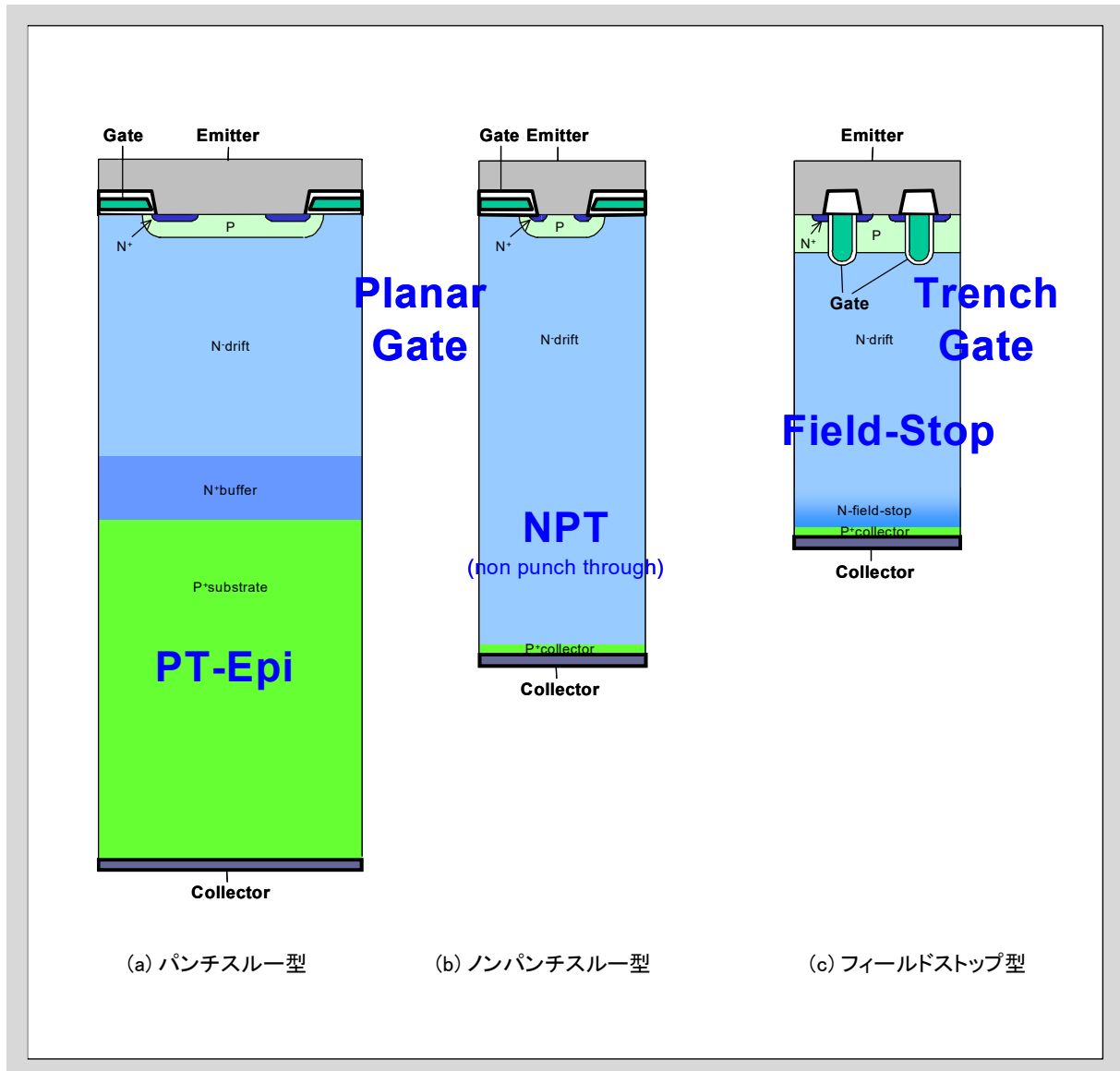


図1-1 IGBTの構造比較

2. モジュール構造

図1-2,1-3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および高抗折強度を有す 高信頼性製品を実現しました。

図1-3に示すワイヤー端子接続構造モジュールは、外部端子とDCB基板の接合にアルミワイヤーで接合する構造を取っています。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こらない工夫なども行っています。

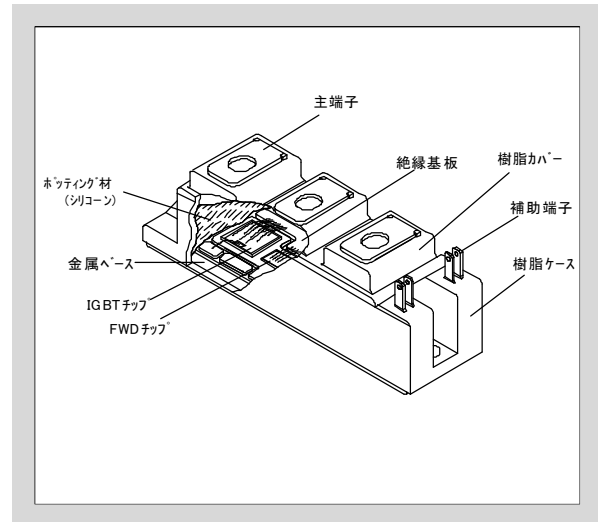


図1-2 端子台一体構造IGBTモジュール

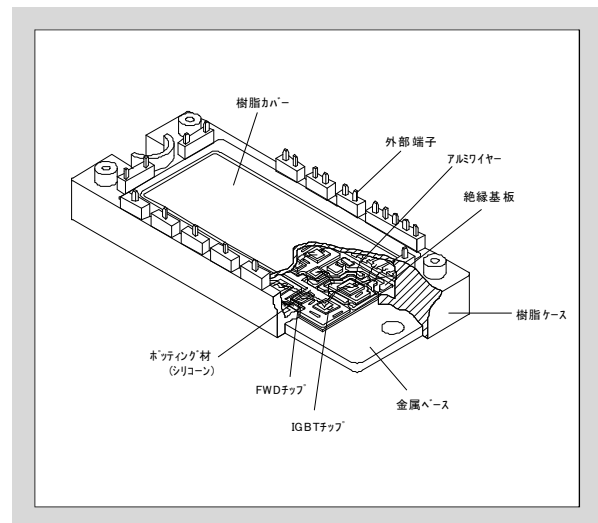


図1-3 ワイヤ端子接続構造IGBTモジュール

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


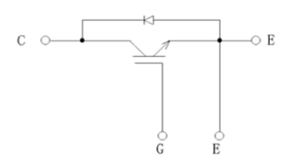

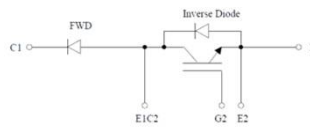

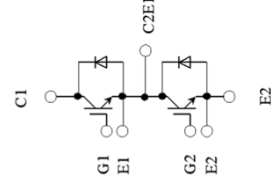

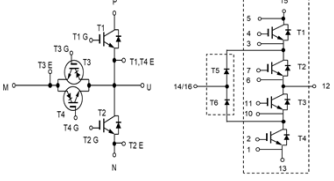
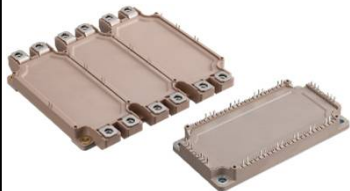
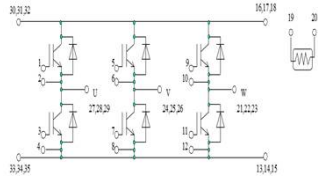

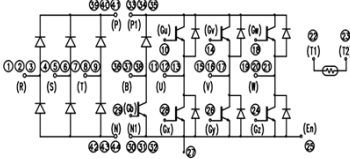
名称	IGBTモジュールの例		特徴
	外観	等価回路	
1in1			パッケージの中にIGBTとFWDを各1個内蔵した製品。電流定格の大きな領域の製品で、並列接続することで更に大容量の装置に適用することも多い。
chopper			パッケージの中にIGBTとFWDを各1個直列接続し内蔵した製品。PWMインバータのブレーキ用途、2in1等と組み合わせてタイプ3レベル回路を構成できる。
2in1			パッケージの中にIGBTとFWDを各2個内蔵した製品。3台一組でPWMインバータを構成するのが一般的。又電流定格の大きいモジュールを並列接続して使用することも多い。
4in1			パッケージの中にIGBTとFWDをT型またはI型に配置し構成した製品。太陽光インバータ等に使うのが一般的。又モジュールを並列接続して使用することも多い。
6in1			パッケージの中にIGBTとFWDを各6個内蔵した製品。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			PIMとは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に示したようにIGBTモジュールには基本的に1in1, 2in1, 6in1, PIM(7in1)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ください。

4. 過電流制限機能

IGBTの実使用上、装置の短絡事故等により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。そして短絡耐量は電源電圧が低い程、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、印加短絡事故時等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、過電流検出後に十分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。

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物質であり、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。

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を接続するための半田中に含まれる鉛(Pb)です。富士電機ではPbフリー半田を用いて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。

上記ウェブサイトに富士電機半導体モジュール製品のUL File Number “e82988”を入力して検索していただきますと、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。