ー　第 1 章　ー

構造と特徴

目次		ページ
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認定について	1-6

はじめに

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・大電流処理能力と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 型のチャネルが形成される（n チャネル型）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を用いて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。表面のゲート構造にはウェーハ表面、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の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、バルク構造に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）型とそれに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。

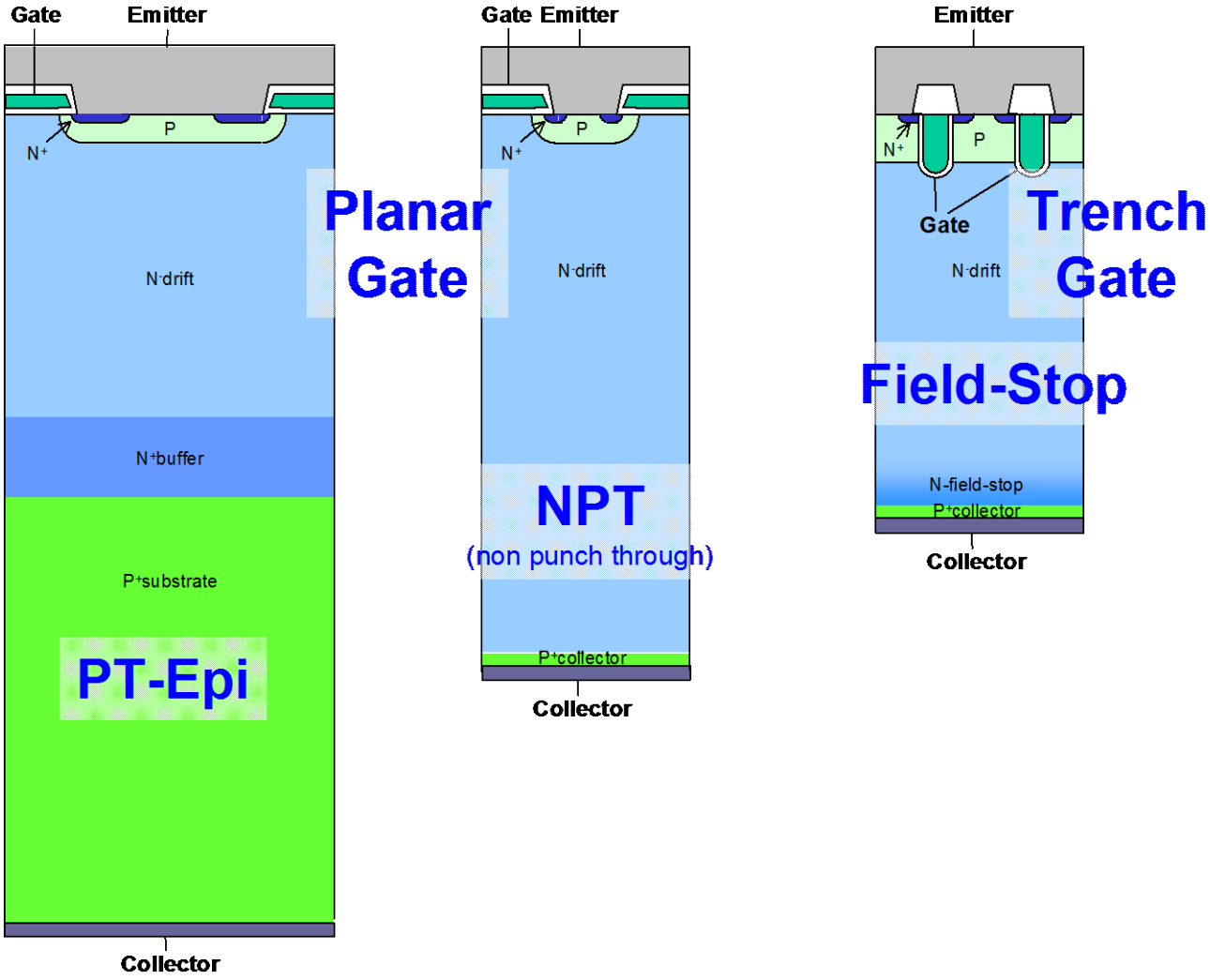
当時のパンチスルー型 IGBT はエピキャシタルウェーハを用いる IGBT で、コレクタ側からキャリアを高注入することで低オン電圧を実現していました。同時にターンオフ時には n ベース層（n ドリフト層）に高注入されたキャリアを速やかに消去する必要があるため、ライフタイムコントロール技術を適用しています。これにより低オン電圧と低いターンオフスイッチング損失(Eoff)を実現させていました。しかしながらライフタイムコントロール技術を適用した場合では高注入のキャリアをライフタイムコントロール技術で抑制しているため、特性改善に限界がありました。その上ライフタイムコントロール技術を適用した場合、オン電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等に対するデメリットが有りました。

これらの課題を打開する為に、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くしています。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（Float 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という利点を持っています。一方で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、その厚さを薄くすると所定の電圧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 素子はセルと呼ばれる IGBT の基本構造が多数配置される構造によって形成されています。IGBT セル数が多いほど低オン電圧化が実現できます。それゆえウェーハ表面に平面的に IGBT セルを作る構造（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 次元的にゲート構造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。



(a) パンチスルー型　　(b) ノンパンチスルー型　　(c) フィールドストップ型

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が一体に成型され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 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モジュールは、主端子をはんだ付けにて DCB 基板に接合するのではなく、ワイヤ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させることにより効果的な熱分散を可能にする工夫や、上下アームの 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。

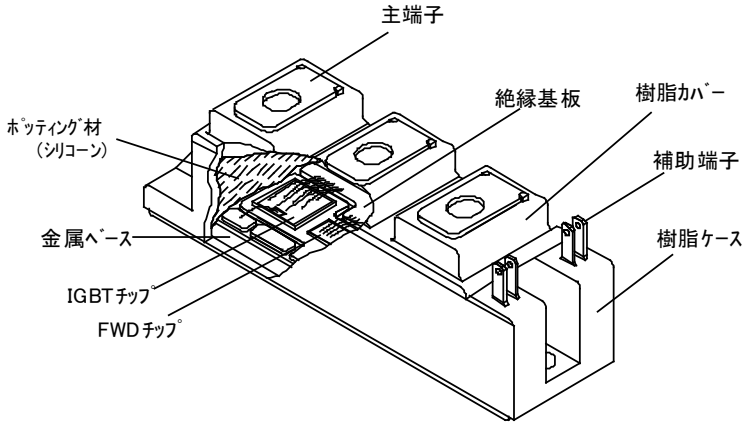


図 1-2　端子台一体構造 IGBT モジュール

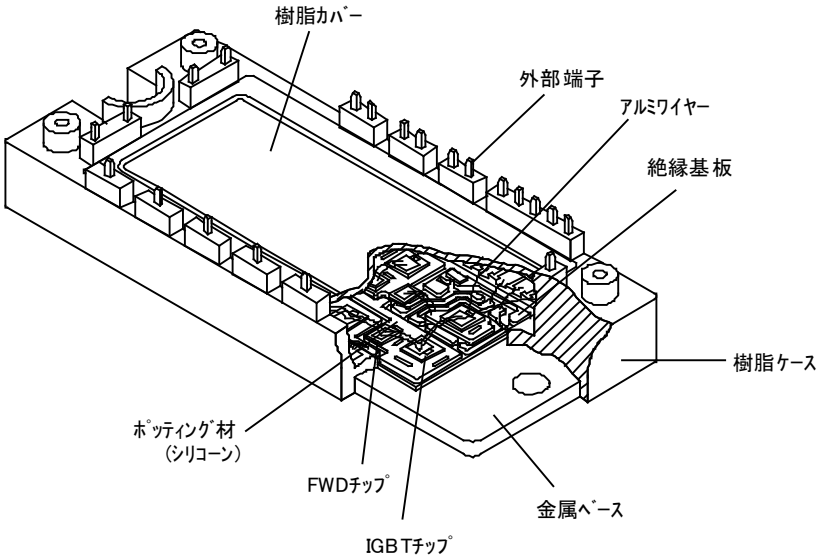


図 1-3　ワイヤ端子接続構造 IGBT モジュール

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

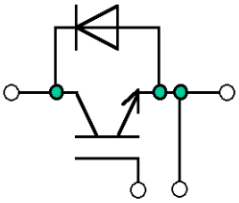
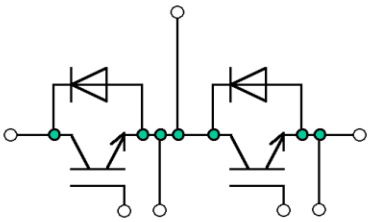
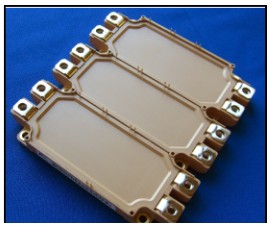
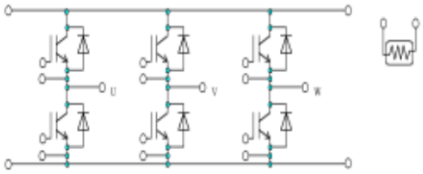
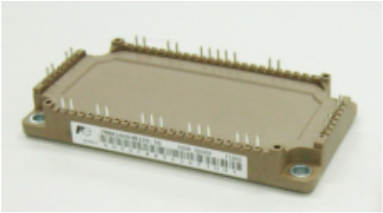
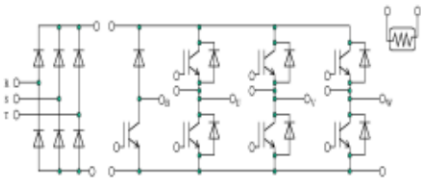
名称	IGBTモジュールの例		特徴
	外観	等価回路	
1in1			製品の中にIGBTとFWDが各1個内蔵された製品。電流定格の大きな領域の製品で、並列接続して更に大容量の領域に適用されることも多い。
2in1			製品の中にIGBTとFWDが各2個内蔵された製品。3台一組として使用してPWMインバータを構成するのが一般的。また電流定格の大きい領域の製品を並列使用することも多い。
6in1			製品の中にIGBTとFWDが各6個内蔵された製品。温度検出用のサーミスタタイプもある。本製品1台でPWMインバータを構成するのが一般的。また並列使用に適したEconoPACK+TMも系列化されている。
7in1			7in1とは製品の中にインバータ部とブレーキ部をあわせてIGBTとFWDが各7個内蔵された製品。PIMとは上記7in1に加えてコンバータ部を内蔵した製品。製品によっては温度検出用のサーミスタを搭載したタイプもある。

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 の実際の使用上、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、この過電流が流れ続けると素子自身に急激な温度上昇が起こり永久破壊になります。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ほど、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 ではゲートーエミッタ間に印加されてい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されており、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）の 6 物質であり、これら 6 種類の有害物質を含有した製品は EU 内では販売できないこととなりました。

IGBT モジュールの RoHS 対応に対して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 規制に対応して製品化を実施しています。

6　安全規格：ＵＬ認定について

北米を代表とした UL の安全性に関する規制を要求する地域では、様々な機器が市場で使用される場合にはその機器に使用される部品に対して UL の認証が必要となります。

富士電機の IGBT モジュールに関しての UL 認定は UL1557 としています。また認定機種については下記より確認いただけます。

http://database.ul.com/cgi-bin/XYV/template/LISEXT/1FRAME/index.htm

本ウェブサイトの　UL File Number　に　“e82988”　を入力して検索していただきますと、現在 UL 認定を受けています機種群の一覧が表示されます。

ご 注 意

1. このカタログの内容（製品の仕様、特性、データ、材料、構造など）は 2017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。このカタログ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。

2. 本カタログ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、本カタログ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。

3. 富士電機（株）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、半導体製品はある確率で故障する可能性があります。富士電機の半導体製品の故障が、結果として人身事故，火災等による財産に対する損害や、社会的な損害を起こさぬように冗長設計、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ください。

4. 本カタログに記載している製品は、普通の信頼度が要求される下記のような電子機器や電気機器に使用されることを意図して造られています。
・コンピュータ　・OA 機器　・通信機器（端末）　・計測機器　・工作機械
・オーディオビジュアル機器　・家庭用電気製品　・パーソナル機器　・産業用ロボット　など

5. 本カタログに記載の製品を、下記のような特に高い信頼度を持つ必要がある機器に使用をご予定のお客様は、事前に富士電機（株）へ必ず連絡の上、了解を得てください。このカタログの製品をこれらの機器に使用するには、そこに組み込まれた富士電機の半導体製品が故障しても、機器が誤動作しないように、バックアップ・システムなど、安全維持のための適切な手段を講じることが必要です。
・輸送機器（車載、舶用など）　・幹線用通信機器　・交通信号機器
・ガス漏れ検知及び遮断機　・防災／防犯装置　・安全確保のための各種装置　・医療機器

6. 極めて高い信頼性を要求される下記のような機器及び戦略物資に該当する機器には、本カタログに記載の製品を使用しないでください。
・宇宙機器　・航空機搭載用機器　・原子力制御機器　・海底中継機器

7. 本カタログの一部または全部の転載複製については、文書による当社の承諾が必要です。

8. このカタログの内容にご不明の点がありましたら、製品を使用する前に富士電機（株）または、その販売店へ質問してください。
本注意書きの指示に従わないために生じたいかなる損害も富士電機（株）とその販売店は責任を負うものではありません。