

ディスクリットIGBT

Application Manual

注意

1. この資料の内容(製品の仕様、特性、データ、材料、構造など)は2025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。この資料に記載されている製品を使用する場合には、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. 本資料に記載してある応用例は富士電機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。
3. 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、半導体製品は故障が発生したり、誤動作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、火災等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の安全確保をお客様の責任において行ってください。
4. 本資料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. 本仕様書に記載されている製品は、人命に関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事を目的として設計・製造されたものではありません。以下に示す機器あるいはシステムへの適用に関し、富士電機は一切の責任を負いません。
 - ・幹線用通信機器・交通信号機・医療機器
 - ・ガス警報器および遮断機・防災/防犯装置・安全確保のための各種装置
6. 極めて高い信頼度を要求される下記のような機器および戦略物資に該当する機器には、本仕様書に記載の製品を使用しないでください。
 - ・車両機器(自動車、鉄道、船舶など)・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. 本資料の一部または全部の転載複製については、文書による弊社の承諾が必要です。
8. 本資料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。

第1章 構造と特長

1. 素子構造の変遷	1-2
2. ディスクリートIGBTの構造	1-4
3. ディスクリートIGBTの回路構成	1-5
4. TO-247-4の特長	1-6
5. 製品型式の読み方	1-9
6. 製品の刻印について	1-10
7. RoHS指令について	1-11

無停電電源装置やPVインバータ、急速充電器などに用いられるIGBT(JEDEC登録名称:Insulated Gate Bipolar Transistor)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。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型チャネルを形成する(nチャネル型)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。図1-1にnチャネル型IGBTの構造比較を示します。

富士電機はディスクリートIGBTの製品化を1987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適用していました。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。この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、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。このため、IGBT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、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。

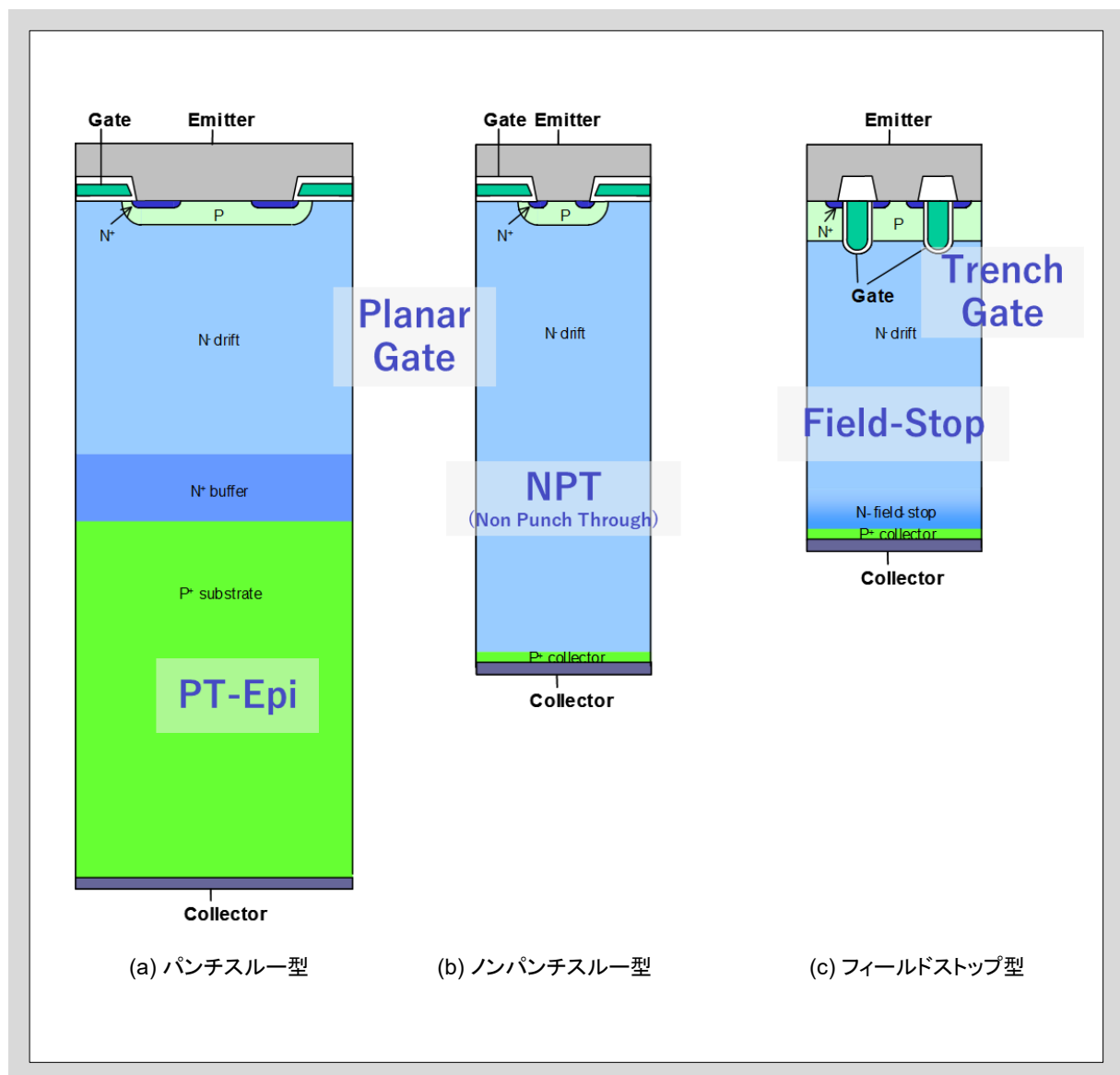


図1-1 IGBTの構造比較

2. ディスクリートIGBTの構造

図1-2にIGBTとFWDが内蔵されたTO-247の製品構造を示します。図1-2(a)に外観、図1-2(b)に内部構造を示します。端子先端の①、②、③はそれぞれゲート、コレクタ、エミッタを示しています。ディスクリートIGBTは一般的なIGBTモジュールと異なり、絶縁基板を使用していません。

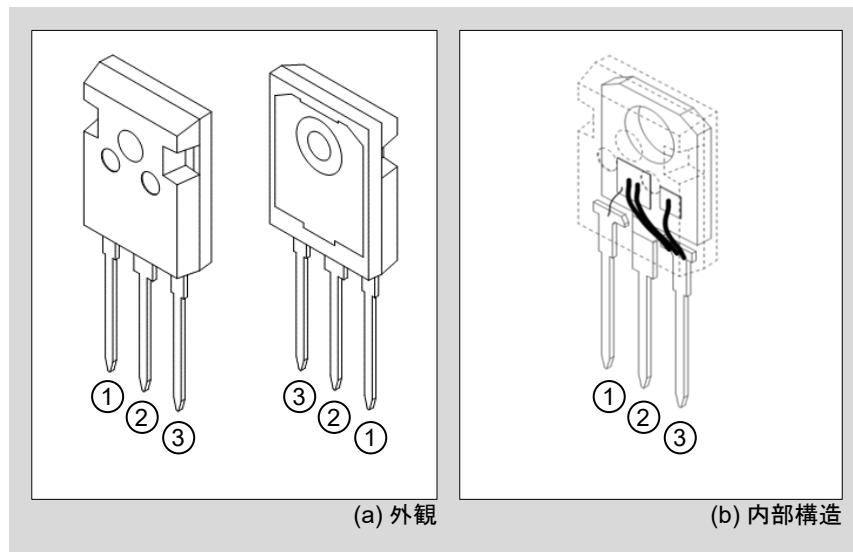

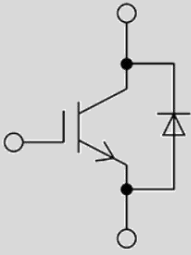
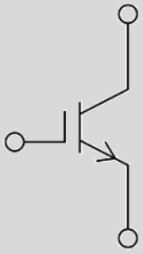
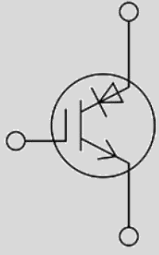

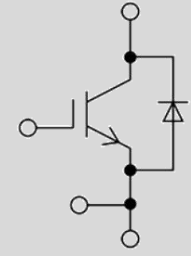


図1-2 ディスクリートIGBTの構造図

3. ディスクリートIGBTの回路構成

表1-1にディスクリートIGBTの回路構成を示します。

表1-1 ディスクリートIGBTの回路構成例

パッケージ名称	外観	等価回路	特長
TO-247			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。 PWMインバータの2レベル回路や3レベル回路、チョッパ回路など幅広いアプリケーションで使用される。
			パッケージの中にIGBTのみを内蔵した製品。 チョッパ回路のようにFWDが不要な場合に使用されることが多い。
			パッケージの中に逆耐圧を有するRB-IGBTを内蔵した製品。 双方向スイッチやPWMインバータの3レベル回路(TタイプNPC)の中間素子として使用される。
TO-247-4			TO-247にサブエミッタ端子を追加した製品。 TO-247と比較してスイッチング損失の低減やゲート電圧のリングングの抑制ができる。(詳細は4. TO-247-4の特長と第3章を参照)

4. TO-247-4の特長

富士電機では図1-3(a)に示すように3端子タイプのTO-247の他に、図1-3(b)に示す4端子タイプのTO-247-4をラインナップしています。

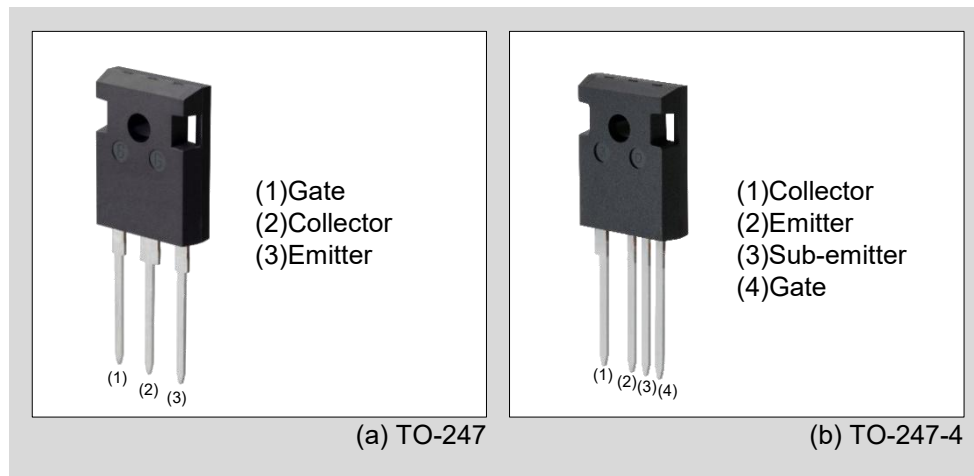


図1-3 パッケージ外観と端子配列

サブエミッタ端子を追加した4端子タイプのTO-247-4では、図1-4に示すようにエミッタ共通のインダクタンス L_E をゲート駆動回路から分離する接続(ケルビン接続)をすることができます。ケルビン接続をすることで、ゲート駆動回路に発生する電流ループによる誘導起電力 $-L_E \cdot dI_C/dt$ の影響を軽減しています。そのためTO-247と比較して、ゲートの応答性が向上しスイッチング損失(詳細は第2章を参照してください)を低減させることや、ゲート電圧のリングングを抑制することができます。

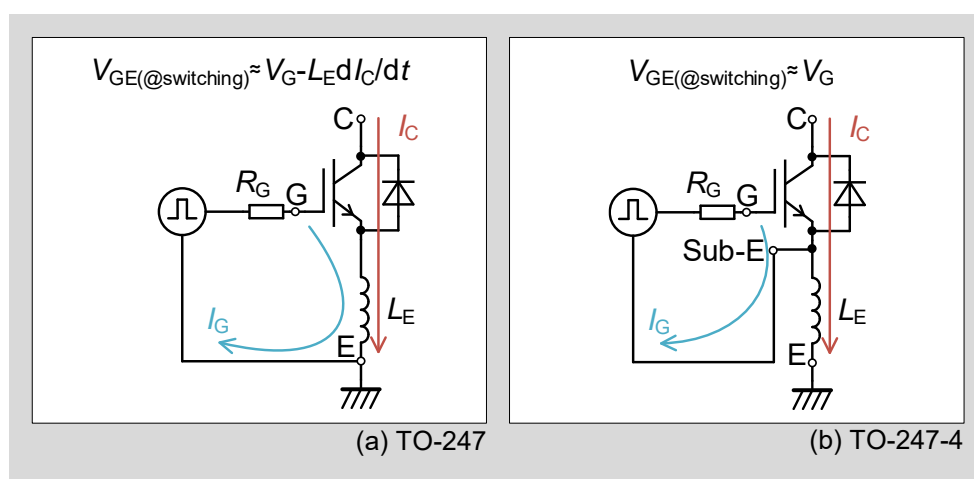


図1-4 内部回路の概略図

TO-247(FGW75XS120C)と、TO-247-4(FGZ75XS120C)のスイッチング損失の I_C 依存性比較を図1-5と図1-6に示します。これらの図から誘導起電力- $L_E \cdot dI_C/dt$ の影響が軽減されスイッチング損失が低減できていることが分かります。

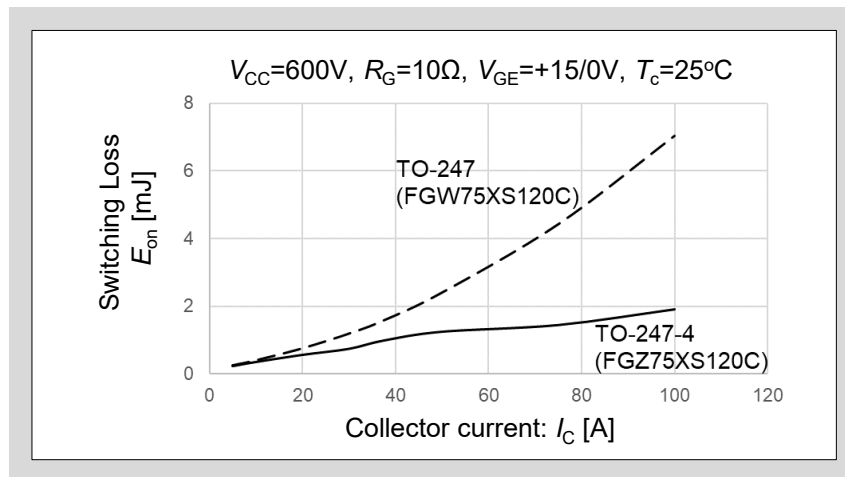


図1-5 TO-247とTO-247-4のターンオン損失の比較

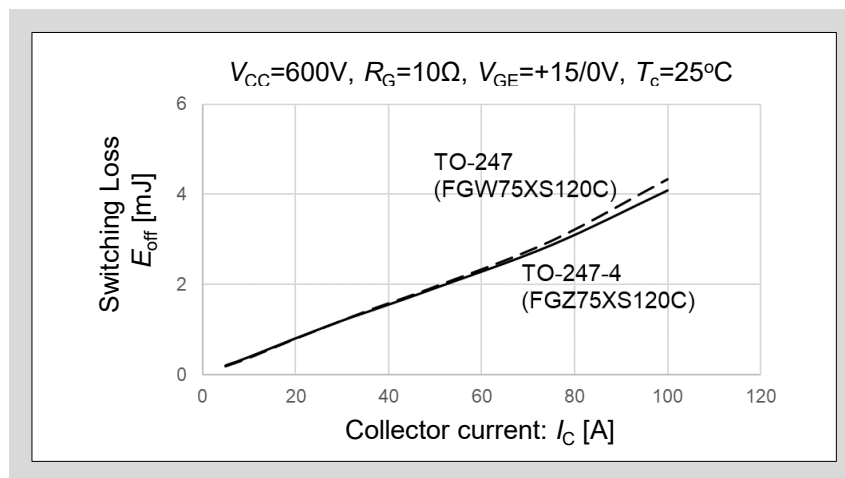


図1-6 TO-247とTO-247-4のターンオフ損失の比較

TO-247(FGW75XS120C)と、TO-247-4(FGZ75XS120C)の実際のターンオフ波形を図1-7に示します。この図から、ゲート波形より電流を遮断するとき V_{GE} のリングングが抑制できていることが確認できます。

しかし、TO-247-4は導起電力 $-L_E \cdot di_C/dt$ の影響を低減することで低損失化やリングングの抑制ができますが、スイッチングスピードが上昇します。このため、TO-247と比較して di_C/dt が大きくなり、ターンオフ時に発生するサージ電圧が高くなるため注意が必要です。詳細は第3章を参照してください。

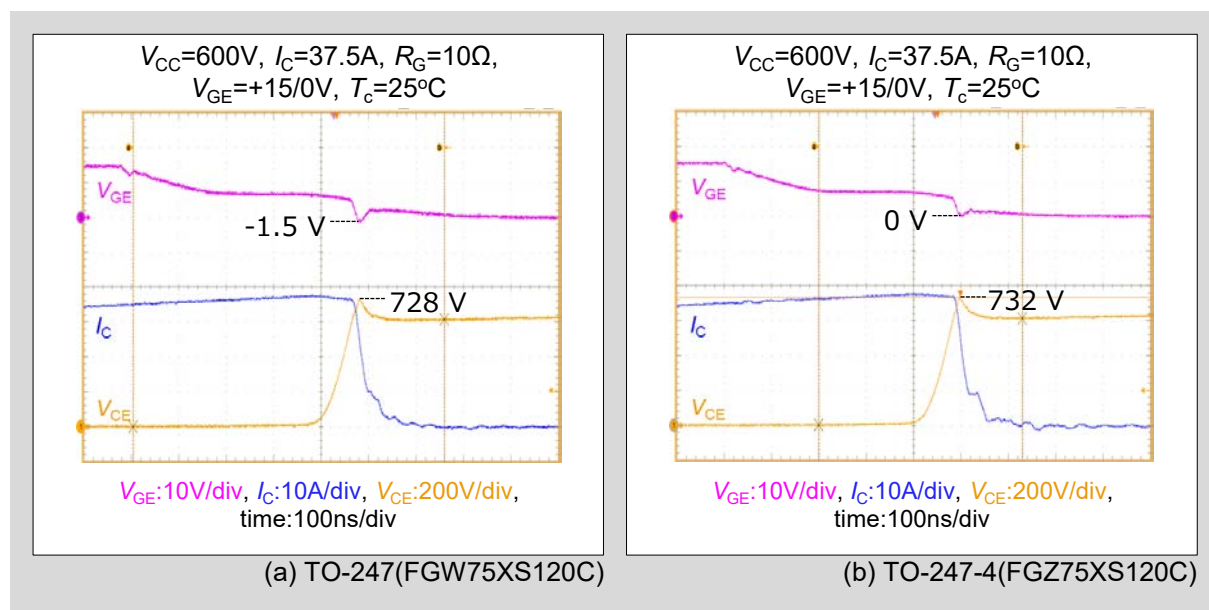


図1-7 ターンオフ波形比較

5. 製品型式の読み方

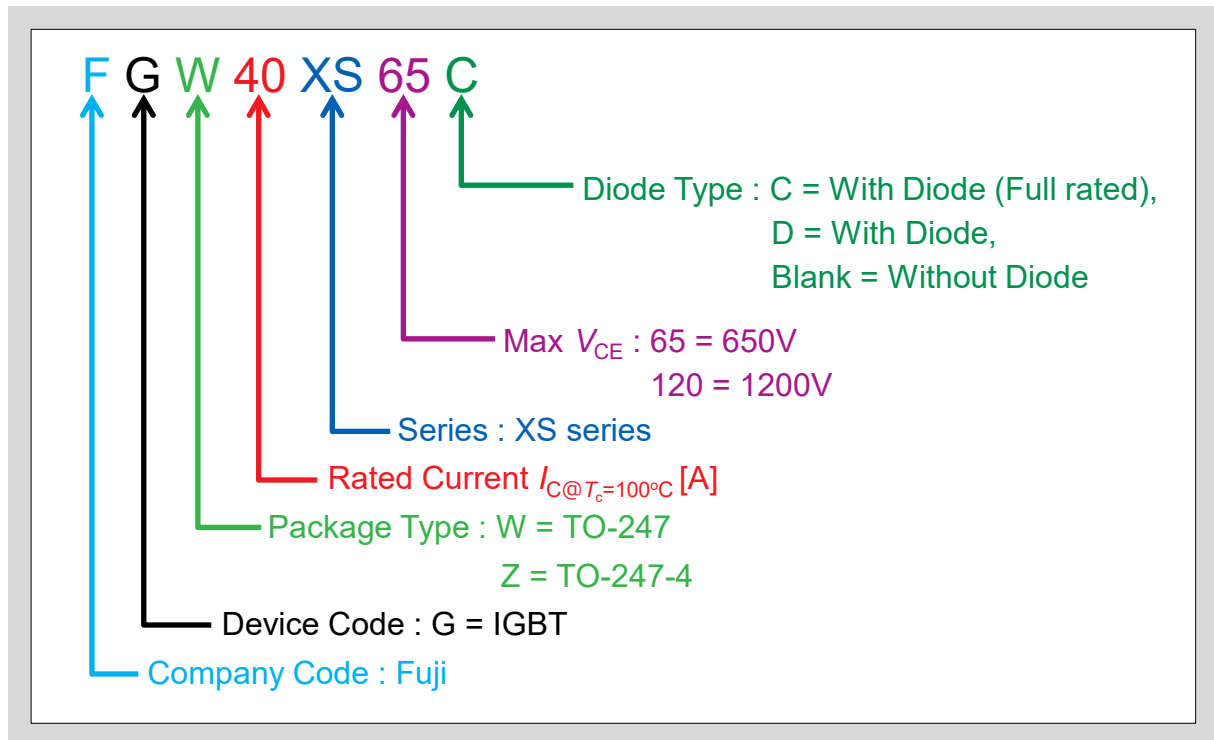


図1-8 ディスクリートIGBT XSシリーズの型式の読み方

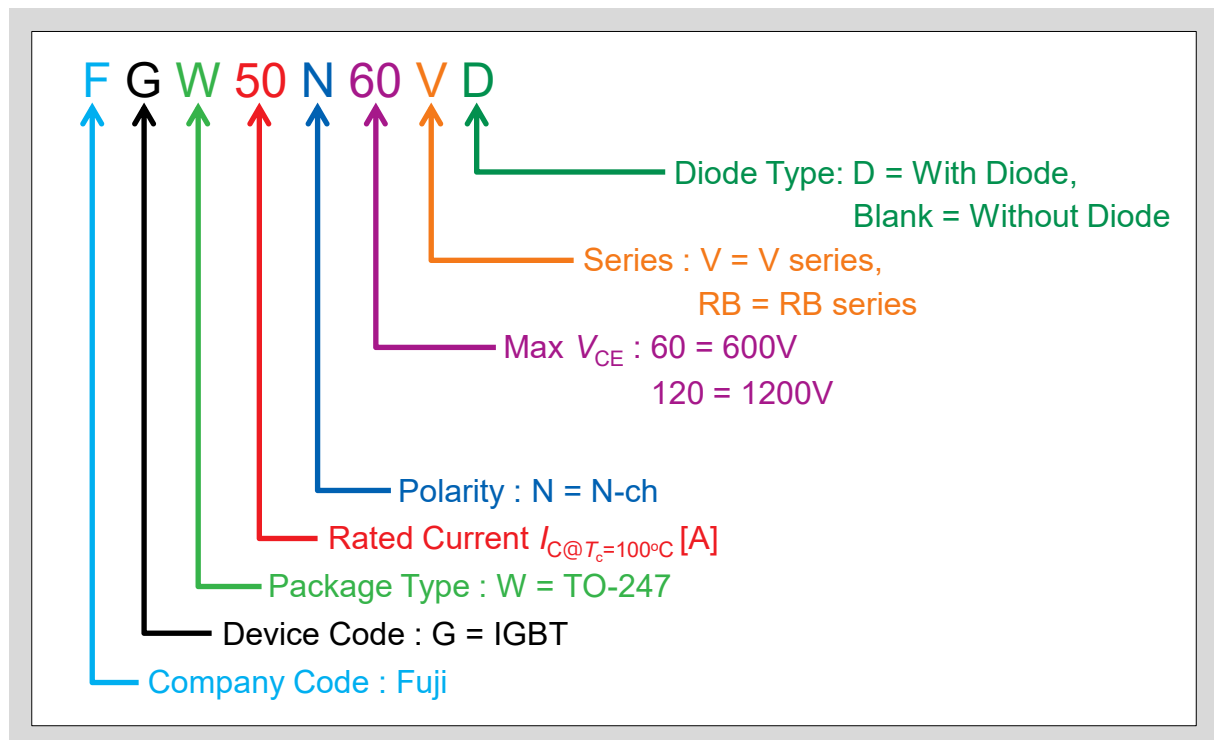


図1-9 ディスクリートIGBT Vシリーズの型式の読み方

6. 製品の刻印について

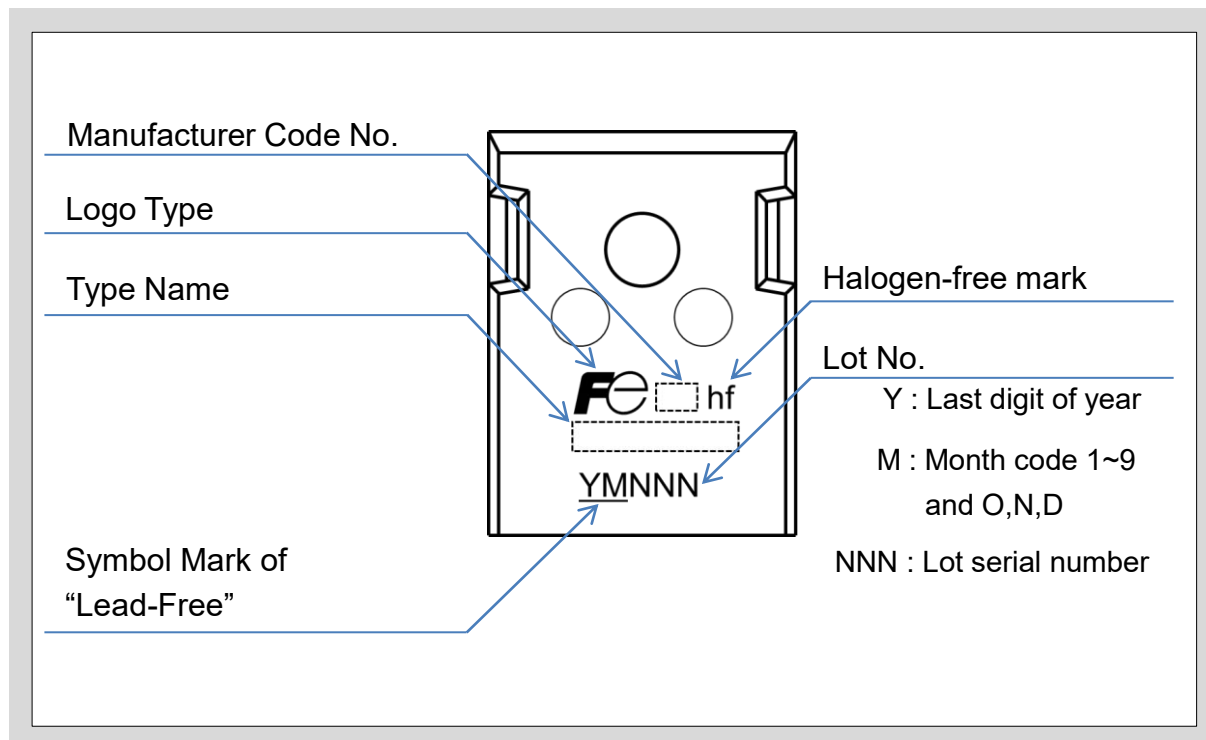


図1-10 刻印の内容

表1-2 Type Nameの刻印例

シリーズ	製品型式	Type Name
XS	FGW75XS120C	75XS120C
V	FGW40N120VD	40G120VD

7. 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。

(EU)2015/863で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。

弊社のディスクリートIGBT製品はRoHS指令適合品です。端子部のはんだめっきは、鉛フリーはんだ(Pb 0.1%未満)を使用しております。