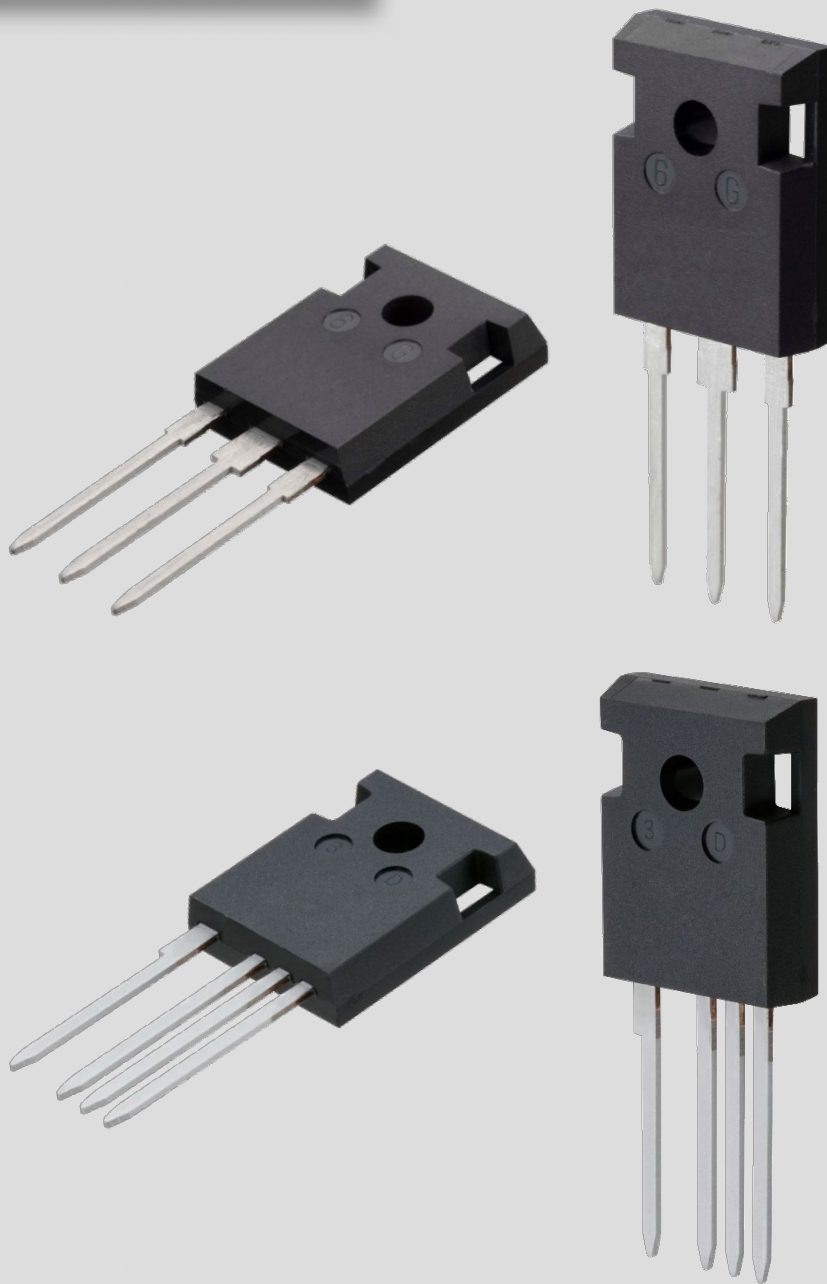




ディスクリートIGBT

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2024年9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3章 適用上の注意事項

1. ディスクリートIGBTの選定	3-2
2. 静電気破壊防止対策	3-3
3. 作業環境	3-4
4. ゲート保護	3-5
5. 保護回路の設計	3-5
6. 放熱設計	3-6
7. ゲート駆動回路の設計	3-6
8. 並列接続	3-6
9. TO-247-4の適用	3-7
10. 実装上の注意事項	3-8
11. はんだ付け	3-9
12. 洗浄	3-9
13. 端子の加工、取り付け	3-10
14. 保管	3-11
15. 運搬	3-11
16. 使用上の注意事項	3-12

本章ではディスクリートIGBTの取り扱い時、および装置への適用時の注意点を説明します。

1. ディスクリートIGBTの選定

ディスクリートIGBTを使用する場合、どのような電圧・電流定格の素子を選定すれば良いか考慮する必要があります。この節では様々な注意点を項目ごとに分け説明します。

1.1 電圧定格

ディスクリートIGBTの電圧定格は、適用する装置の入力電源である商用電源電圧や、装置のDCリンク電圧によって決まります。この関係を表3-1に示しますので、表を参考にして目的に応じた素子を選定してください。

表3-1 ディスクリートIGBTの電圧定格適用例

	ディスクリートIGBTの電圧定格	
	650V	1200V
商用電源電圧	～240VAC	～480VAC
DCリンク電圧	～520VDC	～960VDC

1.2 電流定格

ディスクリートIGBTのコレクタ電流 I_C が大きくなると、発生する導通損失やスイッチング損失が増大し、素子の発熱が大きくなります。IGBT、FWDのチップ接合温度 T_{vj} は最大保証温度以下で使用する必要があるため、最大保証温度を超えないような電流定格を選択してください。この設計を誤ると素子破壊、あるいは長期信頼性の低下を招くことがありますので注意してください。

このような観点から、ディスクリートIGBTの電流定格選定は非常に重要です。また、高周波スイッチング用途ではスイッチング損失の増大(スイッチング回数が多い程、合計のスイッチング損失が大きくなります)により発熱が大きくなるので注意が必要です。

電流定格の基本的な選定基準はIGBTに流れる電流の2～3倍以上を選定するのが一般的です。しかし電流定格の選定に関しては、装置の運転条件や放熱条件にも依存するため、その装置での発生損失と温度上昇を確認した上で、電流定格を選定してください。

1.3 最大定格

製品は仕様書に記載されている最大定格(電圧、電流、温度など)の範囲内で使用してください。最大定格を超えて使用すると、製品が破壊する場合があります。また、絶対最大定格の各項目値はそれぞれの項目に対する保証値であり、組み合わせにおける保証をするものではありません。

最大定格内の使用であっても、温度や使用環境により期待する製品寿命が得られない場合があります。製品の絶対最大定格を参照の上、使用されるシステム・装置などへの富士電機製品の適合性は適用側にて評価・検証の上、判断してください。

1.4 RBSOA

IGBTのターンオフ電圧・電流の動作軌跡がRBSOA仕様内にあることを確認してください。RBSOAの範囲を超えて使用するとディスクリートIGBTが破壊する可能性があります。

2. 静電破壊防止対策

IGBTは、小信号MOSFETや集積回路に比べはるかに大きな静電破壊耐量を持っていますが、これらの製品と同様静電気によって破壊する恐れがあります。

図3-1に示すように、導電体に帯電した静電気は導電性のテーブルマット・リストストラップ・フロアマットを適切に使用することで取り除くことができます。電荷を取り除くスピードは、帯電物体の容量経路の抵抗によって決定します。図3-2に導電体の帯電物体が容量 C を持ち経路抵抗が R の場合の等価回路を示します。また、帯電物体の電圧は時間 t の関数として次式のように与えられます。

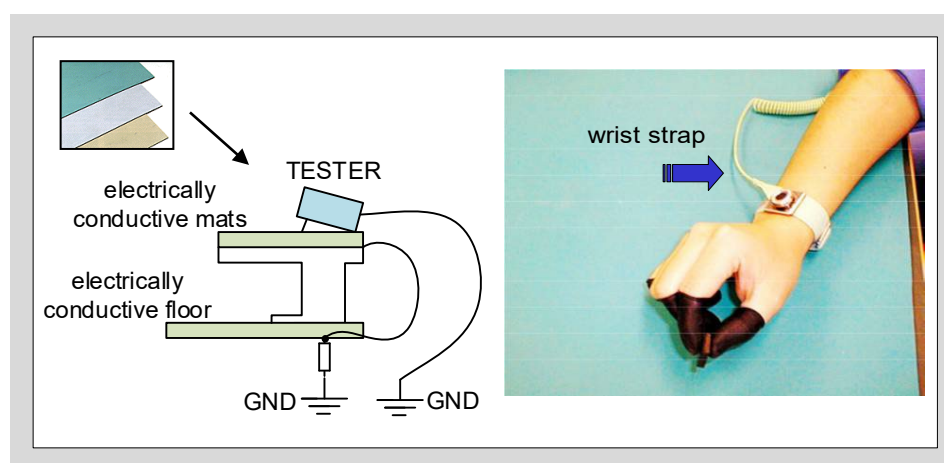


図3-1 静電気破壊防止対策例

$$V = V_0 \cdot \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)$$

V : 時間 t における帯電物体の電圧 [V]
 V_0 : 帯電物体の初期電圧 [V]
 t : 時間 [sec]
 C : 帯電物体の容量 [F]
 R : 経路の抵抗 [Ω]

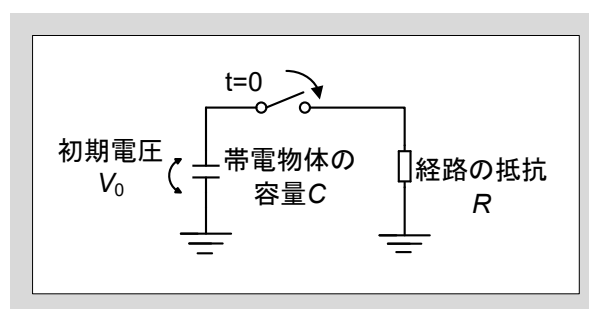


図3-2 静電気放電の等価回路

〈例〉

例として、1秒以内に作業者の静電気レベルを100V以下にするときの抵抗の計算方法を示します。

$V = 100\text{V}$ (安全電圧)、 $V_0 = 10\text{kV}$ (人体あるいは帯電物体の初期電圧)、

$t = 1\text{sec}$ (安全電圧100Vを達成するための最長許容時間)、

$C = 200\text{pF}$ (人体の容量100pF~400pFの平均値)、 $R =$ 大地までの最大許容抵抗 [Ω]

以上を代入して

$$100 = 10 \times 10^3 \cdot \exp\left(-\frac{1}{200 \times 10^{-12} \cdot R}\right)$$

したがって $R \cong 1.09 \times 10^9 \Omega = 1090\text{M}\Omega$ となります。テーブルマット・フロアーあるいはリストストラップから大地までの抵抗が1000M Ω 以下であれば安全電圧100Vまでの放電が1秒以内に行われます。

3. 作業環境

- 作業を行う人は人体アースを取ってください。人体アースはリストストラップや銅の指輪等を付け、感電防止のため1M Ω 程度の抵抗を取付けて、アースに接続してください。
- 作業環境は導通性のフロアマットやテーブルマット等を敷き、アースに接続してください。また、湿度は
- カーブトレーサーなどの測定器を使用する場合は測定器もアースに接続してください。
- はんだ付けを行う場合ははんだゴテやはんだバスからのリーク電圧がディスクリートIGBTへ印加しないよう、はんだバス等のアースに接続してください。
- 端子に直接触れないよう、パッケージ本体を持って取り扱ってください。

4. ゲート保護

絶対最大定格を超える電圧をIGBTのG-E間に印加した場合、IGBTのゲートが破壊する危険があります。このためG-E間には絶対最大定格を超える電圧を印加しないでください。

G-E間がオープン状態でC-E間に電圧を印加すると、IGBTが破壊する可能性があります。これはコレクタ電位の変化により、図3-3に示す電流 i がコレクタからゲートに流れ、ゲート電位が上昇することでIGBTがオンし I_C が流れる事によってIGBTが発熱する事が原因です。

ディスクリートIGBTを装置に組み込んだ後に、ゲート回路の故障、或いはゲート回路が正常に動作しない状態(ゲートがオープン状態)で主回路電圧を印加すると上記の理由によりIGBTは破壊することがあります(第7章5.2項参照)。その破壊防止のためにはG-E間に10k Ω 程度の抵抗 R_{GE} を接続することを推奨します。

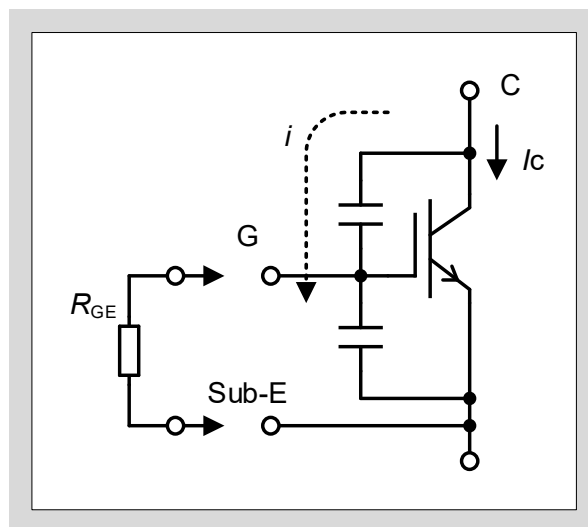


図3-3 G-E間オープン状態でのIGBTの振る舞い

5. 保護回路の設計

ディスクリートIGBTは過電流・過電圧といった異常状態により破壊する可能性があります。したがって、その異常状態から素子を保護するための保護回路設計は非常に重要です。

ディスクリートIGBTを保護する回路は素子特性を十分に理解した上で、素子特性にマッチングするように設計してください。マッチングが取れていないと保護回路が付いていても素子が破壊することがあります。

その一例として、過電流保護をかける時の遮断時間が長いこと、スナバ回路のコンデンサ容量が小さく過大なサージ電圧が発生することなどが挙げられます。これら過電流・過電圧保護方法は、第5章「保護回路設計方法」に詳しく説明していますので、そちらを参照してください。

6. 放熱設計

ディスクリートIGBTには、許容できる最大保証温度が定められており、この温度以下になるような放熱設計が必要です。放熱設計を行う際は、適用するアプリケーションの動作を十分に考慮した上で設計してください。

放熱設計を行うためには、まず素子の発生損失を算出し、その損失をもとに許容温度以下となるヒートシンクの選定を行います。放熱設計が十分でない場合、実機運転中に素子の T_{vj} が最大保証温度を超え破壊する可能性があります。注意点などを含め詳しい説明を第6章「放熱設計方法」に記載していますのでそちらを参照してください。

7. ゲート駆動回路の設計

素子の性能を十分に引き出すためにはゲート駆動回路の設計が重要です。また、保護回路の設計にも密接に関わってきます。

dv/dt が高いと対向アームIGBTの誤点弧や、ゲート過電圧を起こしたり、電源ラインにノイズが伝搬する可能性があります。誤点弧、ゲート過電圧、予期しない電源ノイズを起こさないための最適なドライブ条件($+V_{GE}$ 、 $-V_{GE}$ 、 R_G 、 C_{GE})を検討してください。

ディスクリートIGBTとゲート駆動回路間の配線長が長い場合、製品端子のゲート電圧が過渡的に変動し製品が過電圧破壊する場合があります。ゲート過電圧破壊を防止するために、適切なゲート配線設計とゲート電圧の確認を実施してください。

注意点などを含め詳しい説明を第7章「ゲート駆動回路設計方法」に記載していますのでそちらを参照してください。

8. 並列接続

大電流を制御する用途にディスクリートIGBTを適用する場合、素子を並列に接続して使用する場合があります。

並列接続して使用する場合、並列接続した素子に均等な電流が流れるよう設計することが重要です。もし電流バランスが崩れた場合、一つの素子に電流が集中し破壊する可能性があります。

並列接続時の電流バランスは、素子特性や配線方法などで変わってくるため、並列接続した各素子のC-E間飽和電圧 $V_{CE(sat)}$ を合わせる、主回路配線を均等にするといった管理・設計が必要になります。注意点などを含め、詳しい説明を第8章「ディスクリートIGBTの並列接続」に記載していますのでそちらを参照してください。

9. TO-247-4の適用

TO-247-4は誘導起電力- $L_E di_C/dt$ 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。すなわち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。図3-4に示すように、 $I_C=100\text{A}$ 条件において、TO-247では $R_G=20\Omega$ のとき、 $V_{CE(\text{peak})} \approx 810\text{V}$ となります。しかし、TO-247-4で同等の $V_{CE(\text{peak})}$ に抑えるには $R_G \approx 51\Omega$ を選定する必要があります。また、 R_G を大きくすると損失が大きくなるため、TO-247-4の特長である低損失を最大限に発揮できなくなります。

そのため、TO-247とTO-247-4の周辺回路はそれぞれの製品において適切な定数の部品選定を行い、サージ電圧が最大定格を超えないように適切なマージンを設けた回路設計をしてください。

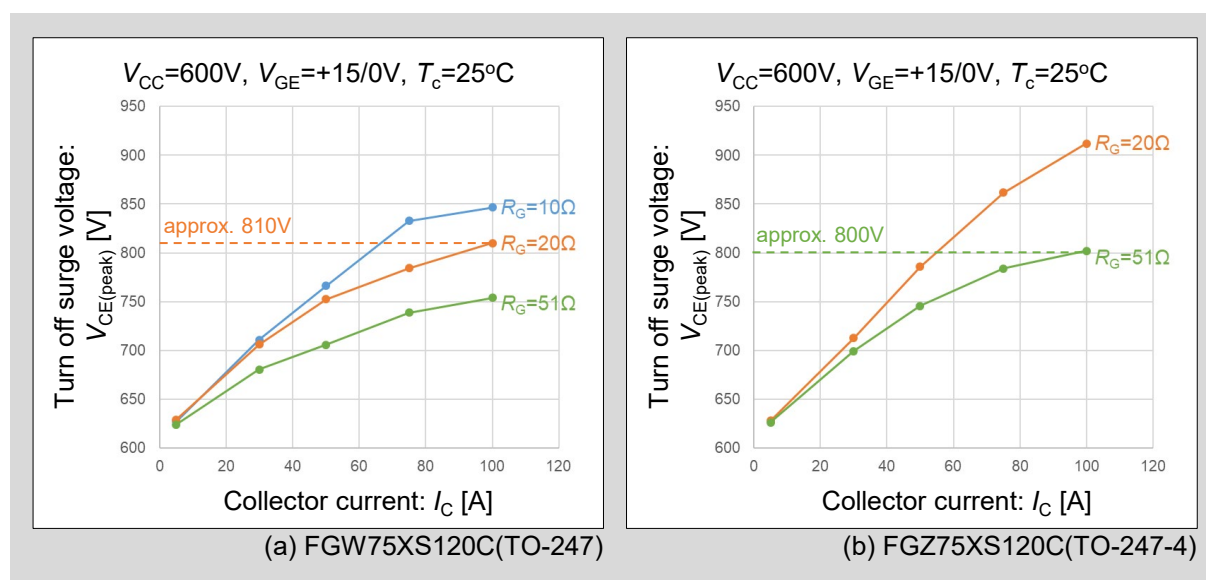


図3-4 ターンオフサージ電圧比較

図3-5に示すレイアウトのプリント基板設計することでTO-247とTO-247-4の製品間で互換性を持つことができます。この設計により、製品の置き換えが容易になることや、2種類のパッケージを1つのプリント基板で実装することができます。ただし、周辺の回路定数は製品ごとに適した設定をするようにしてください。

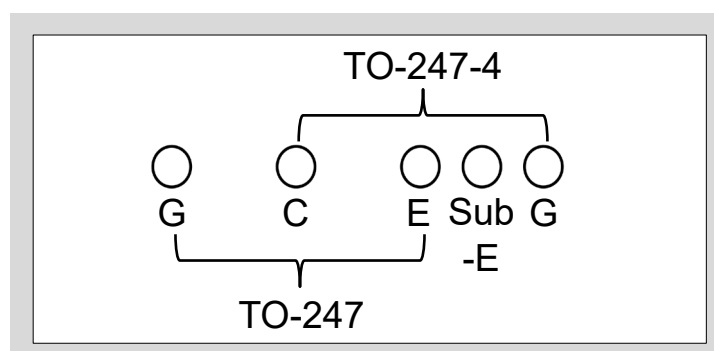


図3-5 プリント基板設計例

10. 実装上の注意事項

ディスクリートIGBTをヒートシンクに取り付ける際には、製品本体とヒートシンク間の熱伝導を良くし、放熱効果をあげるためサーマルグリスを均一に薄く塗布することを推奨します。サーマルグリス塗布量の不足、不適切な塗布方法により、サーマルグリスが十分に素子全体に広がらず、放熱悪化による熱破壊に繋がる事があります。

サーマルグリスの種類・塗布方法によっては、高温動作時や温度サイクルでサーマルグリスの劣化や枯渇が発生し、製品寿命が低下する可能性があります。サーマルグリスの選定と塗布方法には十分留意して使用してください。

取付け用ネジの締付トルクが小さすぎると熱抵抗が増大し、熱破壊する危険性があります。表3-2の範囲内の数値を推奨します。

表3-2 半導体素子の締付トルク

パッケージ外形	取付穴径	使用ネジ	締付トルク (N・cm)
TO-247 TO-247-4	φ3.2	M3	40-60

素子と絶縁シート、絶縁シートとヒートシンク間をサーマルグリスで満たすため、図3-6のように半導体素子チップ搭載部直下のケース部およびヒートシンクの表面へ点状に塗り、推奨締付トルクでヒートシンクにネジで締付けをしてください。また、ヒートシンク面は下記の条件を満たすように仕上げを行ってください。

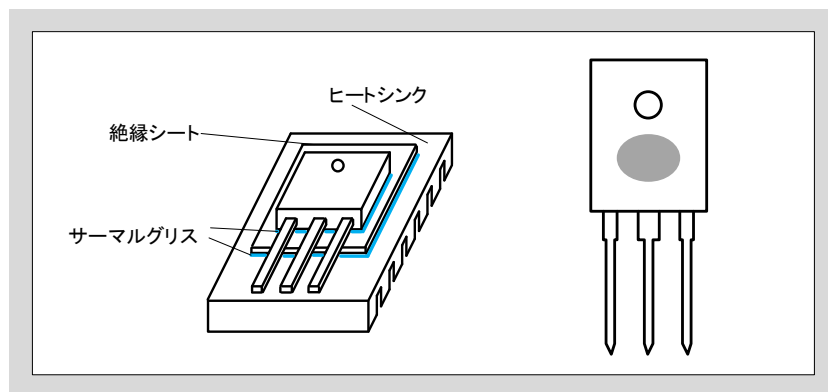


図3-6 サーマルグリス塗布

- ・ ディスクリートIGBTと接触する範囲内のヒートシンク面平坦度 $\leq \pm 30\mu\text{m}$
- ・ ディスクリートIGBTと接触する範囲内のヒートシンク表面粗さ $\pm 10\mu\text{m}$
- ・ ねじ穴のテーパ加工は行わないでください。

11. はんだ付け

はんだ付け実装時には、通常最大定格の保存温度を超える熱(温度)が端子部に加わります。下記に注意してはんだ付けを行ってください。

表3-3 推奨実装条件

パッケージ	実装方法				
	フローはんだ (全浸漬)	フローはんだ (端子浸漬)	赤外線リフロー	温風リフロー	はんだごて
TO-247 TO-247-4	実装不可	二回のみ 実装可	実装不可	実装不可	一回のみ 実装可

はんだ温度 / Soldering temp.	浸漬時間 / Immersion time
260±5°C	10±1 sec
350±10°C	3.5±0.5 sec

- 端子の浸漬深さは、デバイス本体から1.5mm離れた位置までにしてください。
- フローはんだ方式による製品の取付けなどでは、デバイス本体をはんだに浸さないようにしてください。
- フラックスを使用する場合には、塩素系のものを避け、ロジン系のフラックスの使用が望ましいです。

12. 洗浄

フラックスを使用してはんだ付けをし、フラックスを洗浄する場合は以下のことに注意してください。

12.1 溶剤

- 引火性・毒性および腐食性のない溶剤を使用してください。
- 特にトリクレン系は塩素を含んでいるため使用を避けてください。

12.2 洗浄方法

洗浄は浸漬を推奨します。超音波洗浄を行う場合、ディスクリートIGBTやプリント基板が振動源に直接触れないように注意してください。

13. 端子の加工、取り付け

13.1 端子へのストレス

ディスクリットIGBTの端子は、JEITA規格のED4701/400A試験方法401Aに準拠した信頼性試験を行っています。表3-4に試験内容を示します。試験方法の詳細は、JEITA規格をご確認ください。

下記の試験項目は、未実装のディスクリットIGBTのみに適用されます。実装済みのディスクリットIGBTは、保証の範囲外となりますのでご注意ください。

表3-4 試験内容

試験項目	試験方法と条件	参照項目	サンプル数
引張り試験	引張り力：2.2 ± 0.1 N 保持時間：30秒	JEITA ED4701/400A 試験方法401A 方法I	15
曲げ試験	曲げ角度：15度 曲げ回数：1回	JEITA ED4701/400A 試験方法401A 方法III	15
疲労試験	曲げ角度：15度 曲げ回数：3回	JEITA ED4701/400A 試験方法401A 方法V	15

13.2 端子成形上の注意点

部品配置の都合上やむなく端子を成形する場合は次の注意が必要です。

- 内部のチップおよび外部パッケージにストレスが加わらない専用の治具を使用してください。
- 端子を横方向に曲げる場合は、図3-7のようにパッケージから4.5mm以上離れた部分で30°を超えないように折り曲げてください。
- 端子をパッケージに対し直角に曲げる時は、パッケージから4.5mm以上離れた点で折り曲げてください。
- 端子を曲げる時の曲げRは、端子厚み以上の曲げRを付けてください。
- 同一の場所の成形は1回のみとし、再成形や元の形に戻しての使用はしないでください。

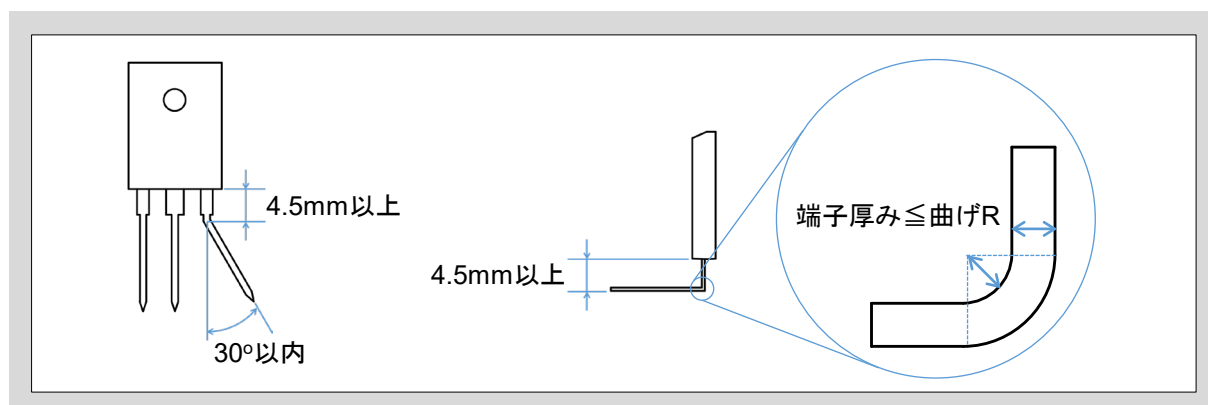


図3-7 端子成形上の注意点

13.3 プリント基板への挿入

プリント基板に差し込む時は、端子の根元部分に過大なストレスがかからない様に端子の間隔と差し込む穴の間隔を一致させてください。

14. 保管

- 素子の保管温度・湿度は常温・常湿中が好ましく極端な温度・湿度は避けてください。常温常湿の目安は、5～35℃で45～75%です。非常に乾燥する環境下では、加湿器により加湿する必要があります。その際、水道水を使うと含まれている塩素により製品の端子が錆びる可能性があるため、使用する水は純水や沸騰水を用いるようにしてください。
- 腐食性ガスを発生する場所や塵埃の多いところは避けてください。
- 急激な温度変化のある所ではデバイスに結露が起こるので、できるだけ温度変化の少ない場所に保管してください。
- 保管時における外装箱の積み重ねは5箱までとし、箱の荷崩れや変形を起こさないような処置をしてください。また、重いものを上に載せることも避けてください。
- 錆などによるはんだ付不良を避けるため各端子は未加工の状態で保管してください。
- 製品を入れる容器は静電気を帯びにくいもの、あるいは弊社出荷時の容器としてください。
- 保管棚等は全て金属にし、接地してください。
- 保管期限は上記の点を保管梱包状態を遵守した状態にて、納入後1年間です。

15. 運搬

- 落下などの衝撃を与えないでください。
- 多数の製品を箱等で運搬する時は、接触電極面等を傷つけないようにやわらかいスペーサを介して製品を並べてください。
- G-E間に静電気が加わらない様に導通性袋やアルミ箔等で静電気対策を行い運搬してください。



図3-8 導電性袋



図3-9 導電性フォーム

16. 使用上の注意事項

- 動作中あるいは通電中、製品の端子やパッケージなどに直接手を触れないでください。直接手を触れますと感電や火傷の恐れがあります。
- 万一、不慮の事故で素子が破壊した場合を考慮して、適切な容量のヒューズ、ブレーカなどを必ず付けて2次破壊(火災、爆発など)を防いでください。
- 製品は動作中高温になります。また、製品の封止樹脂には難燃材を使用しておりますが、製品が故障した際、発煙や発火することがあります。発火性のある環境(可燃性ガスが漏洩、蓄積する可能性のある環境など)や可燃物のある場所でご使用される場合は、必ずお客様の責任において延焼防止などの手段を講じてください。
- パッケージ温度、チャネル温度およびリード温度上昇について検討を行ってください。
- 酸、有機物、腐食性ガス(硫化水素、亜硫酸ガスなど)を含む環境下では、製品が酸化や腐食を生じ故障の原因となりますのでご使用は避けてください。
- 耐放射線設計を行っておりませんので、放射線を受けるような環境でのご使用は避けてください。
- 図3-10に示すように、定常状態の電圧が絶対最大定格電圧の80%以下で設計・ご使用ください。サージを含めた最悪時の電圧が絶対最大定格以内で設計・ご使用ください。

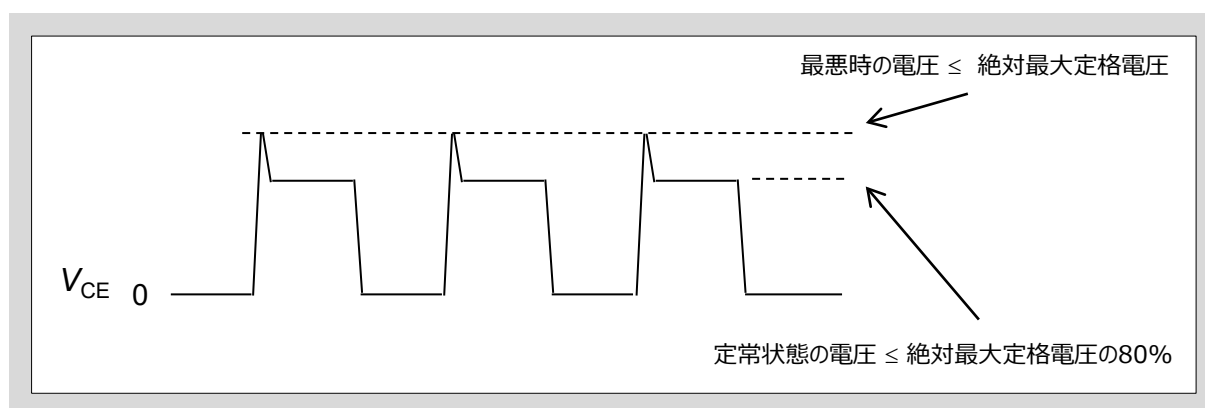


図3-10 スイッチング時の電圧波形