

IGBT とは

IGBT の一般的な概要と弊社製品について

目次

目次	2
1. 概要	3
2. IGBT について	3
2.1. IGBT とは	3
2.2. IGBT の特徴	4
2.3. IGBT の構造	5
2.4. 絶対最大定格	6
2.5. 電気的特性	7
2.6. 熱的特性	7
2.7. 静特性	8
2.7.1. I_C - V_{CE} 特性	8
2.7.2. I_C - V_{GE} 特性	9
2.7.3. $V_{GE(TH)}$ - T_J 特性	10
2.8. 容量特性 (C_{ies} , C_{oes} , C_{res})	11
2.9. 電荷特性 (Q_G , Q_{GE} , Q_{GC})	12
2.10. スイッチング特性 ($t_{d(ON)}$, t_r , $t_{d(OFF)}$, t_f)	13
2.11. 短絡特性	15
2.12. 高速整流ダイオード	15
2.13. IGBT が破壊する要因	16
2.13.1. 安全動作領域 (SOA) 破壊	16
2.13.2. 静電破壊	17
2.13.3. 寄生発振による破壊	17
2.14. 並列接続する際の注意点	18
注意書き	19

1. 概要

本資料では IGBT の一般的な概要について説明します。弊社が提供する IGBT 製品の詳細は、以下の URL を参照してください。

- IGBT
<https://www.semicon.sanken-ele.co.jp/ctrl/product/category/IGBT/>
- 車載用 IGBT
https://www.semicon.sanken-ele.co.jp/ctrl/product/category/A_IGBT/
- 製品選択ガイド
<https://www.semicon.sanken-ele.co.jp/common/pdf/selectionguide/sgj0007.pdf>

2. IGBT について

2.1. IGBT とは

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) は、入力部が MOS 構造、出力部がバイポーラ構造のトランジスタです (図 2-1 参照)。入力インピーダンスが高くスイッチング速度が速いという MOSFET の特徴と、飽和電圧が低いというバイポーラトランジスタの特徴を合わせ持ったトランジスタです。

IGBT の構造については 2.3 項を参照してください。

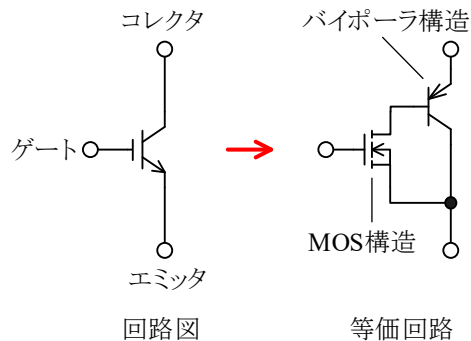


図 2-1 IGBT の等価回路

2.2. IGBT の特徴

パワーMOSFET およびバイポーラトランジスタと比較した場合の IGBT の特徴を以下に示します。

項目	パワーMOSFET	バイポーラトランジスタ	IGBT
構造 (矢印はドレイン電流/コレクタ電流の向き)	<p>ソース ゲート ソース</p> <p>ドレイン</p> <p>N チャンネル</p>	<p>エミッタ ベース エミッタ</p> <p>コレクタ</p> <p>NPN</p>	<p>エミッタ ゲート エミッタ</p> <p>コレクタ</p>
回路図	<p>ドレイン ドレイン</p> <p>ゲート ゲート</p> <p>ソース ソース</p> <p>Nチャンネル Pチャンネル</p>	<p>コレクタ エミッタ</p> <p>ベース ベース</p> <p>エミッタ コレクタ</p> <p>NPN PNP</p>	<p>コレクタ</p> <p>ゲート</p> <p>エミッタ</p>
制御方法	電圧制御	電流制御	電圧制御
駆動電力	小さい	大きい	小さい
スイッチング速度	高速	低速	中速
耐圧	30 V～800 V 程度	50 V～800 V 程度	400 V～1200 V 程度
大電流化	容易 (1 A～100 A 程度)	困難 (2 A～25 A 程度)	容易 (15 A～40 A 程度)
用途例	<ul style="list-style-type: none"> ● 低圧ステッピングモータ ● 低圧/高圧ブラシレス DC モータ ● スイッチング電源 	<ul style="list-style-type: none"> ● オーディオ ● 低圧/高圧ブラシレス DC モータ ● ソレノイド 	<ul style="list-style-type: none"> ● 高圧ブラシレス DC モータ ● インバータ

2.3. IGBT の構造

IGBT の構造および特徴を以下に示します。パンチスルー型に比べ、ノンパンチスルー型やフィールドストップ型の方が、スイッチング速度が速い、低損失、薄厚化／小型化できるという特徴があります。

構造	パンチスルー型 (PT 型)	ノンパンチスルー型 (NPT 型)	フィールドストップ型 (FS 型)
断面図			
スイッチング速度	低速	高速	高速
短絡耐量	低	高	中
製造難易度	容易	困難	困難

2.4. 絶対最大定格

絶対最大定格とは、一瞬でも超えてはならない許容値を示したものです。その値を超えるとその半導体は故障する可能性があり、半導体を使用する電子機器は、半導体にその値を超えるストレスが一瞬でも加わらないように設計する必要があります。

また、絶対最大定格は信頼性を保証するものではありません。絶対最大定格の範囲内で使用した場合でも、推奨条件を超えている場合は耐久性が低下し、長期間の使用に耐えない場合があります。

以下に、IGBT のデータシートに記載されている絶対最大定格の代表項目を示します。IGBT によって、記載されている絶対最大定格の項目は異なります。

項目	記号	内容
コレクター-エミッタ間電圧	V_{CE}	コレクター-エミッタ間に印加できる最大電圧
ゲート-エミッタ間電圧	V_{GE}	ゲート-エミッタ間に印加できる最大電圧
コレクタ電流 (DC)	I_C	コレクタ端子に連続で流せる最大電流
コレクタ電流 (パルス)	$I_{C(PULSE)}$	コレクタ端子に短時間で流せる最大電流
ダイオード順方向電流 (DC) *	I_F	高速整流ダイオードに連続で流せる最大電流
ダイオード順方向電流 (パルス) *	$I_{F(PULSE)}$	高速整流ダイオードに短時間で流せる最大電流
短絡耐量	t_{SC}	短絡に耐えられる最大時間
許容損失	P_D	許容できる最大電力損失
動作時接合部温度	T_J	製品内の半導体接合部 (ジャンクション) で許容できる最大温度
保存温度	T_{STG}	素子が動作していない状態で保存できる温度範囲

* 高速整流ダイオード (FRD : Fast Recovery Diode) を内蔵している製品のみ

2.5. 電気的特性

電気的特性とは、温度や電圧、電流などの条件を指定して、製品の性能を表現したものです。

以下に、データシートに記載されている電気的特性の代表項目を示します。IGBT によって、記載されている電気的特性の項目は異なります。

項目	記号	内容	補足説明
コレクターエミッタ間降伏電圧	$V_{(BR)CES}$	コレクターエミッタ間の降伏電圧	
コレクターエミッタ間漏れ電流	I_{CES}	ゲート電圧 0 V 時のコレクタ漏れ電流	
ゲートエミッタ間漏れ電流	I_{GES}	ゲート電圧を指定の条件にした際のゲート漏れ電流	
ゲートしきい電圧	$V_{GE(TH)}$	IGBT がオンし、コレクタ電流が流れ始める際のゲート電圧	
コレクターエミッタ間飽和電圧	$V_{CE(SAT)}$	ゲート電圧を指定の条件にし、コレクタ電流が指定の値になった際のコレクターエミッタ間電圧	
入力容量	C_{ies}	ゲートコレクタ間容量とゲートエミッタ間容量の和	2.8 項
出力容量	C_{oes}	ゲートコレクタ間容量とコレクターエミッタ間容量の和	
帰還容量	C_{res}	ゲートコレクタ間容量	
全ゲートチャージ電荷量	Q_G	ゲート電圧が 0 V から指定の電圧になるまでの総電荷量	2.9 項
ターンオン遅延時間	$t_{d(ON)}$	ターンオンするまでの遅延時間	2.10 項
ターンオン上昇時間	t_r	ターンオンするまでの上昇時間	
ターンオフ遅延時間	$t_{d(OFF)}$	ターンオフするまでの遅延時間	
ターンオフ下降時間	t_f	ターンオンするまでの下降時間	
ターンオンスイッチング損失	E_{ON}	ターンオン時のスイッチング損失	
ターンオフスイッチング損失	E_{OFF}	ターンオフ時のスイッチング損失	
エミッターコレクタ間ダイオード順方向電圧*	V_F	ダイオードに順方向電流が流れたときの電圧降下	
エミッターコレクタ間ダイオード逆方向回復時間*	t_{tr}	ダイオードにリカバリ電流が流れてから、リカバリ電流がピーク値の 90%回復するまでの時間	

* 高速整流ダイオード (FRD : Fast Recovery Diode) を内蔵している製品のみ

2.6. 熱的特性

以下に、データシートに記載されている熱的特性の代表項目を示します。IGBT によって、記載されている熱的特性の項目は異なります。

項目	記号	内容
IGBT 熱抵抗	$R_{\theta JC(IGBT)}$	半導体接合部 (ジャンクション) とケース間の熱抵抗
ダイオード熱抵抗*	$R_{\theta JC(Di)}$	半導体接合部 (ジャンクション) とケース間の熱抵抗

* 高速整流ダイオード (FRD : Fast Recovery Diode) を内蔵している製品のみ

2.7. 静特性

以下に IGBT の代表的な静特性を示します。

2.7.1. I_C - V_{CE} 特性

図 2-2 に、各ゲート電圧 V_{GE} におけるコレクタ電流 I_C とコレクターエミッタ間電圧 V_{CE} の特性例を示します。 I_C - V_{CE} 特性は出力特性とも呼ばれます。IGBT は構造上、コレクターエミッタ間に PN 接合が生成されます。この PN 接合の接合電位（本特性例では $V_{CE} = 1.5$ V 付近）を超えると、 I_C が流れ始めます。 V_{GE} が高いほど、指定の I_C を流した場合の V_{CE} が低くなります。導通損失 ($I_C \times V_{CE}$) を低くするためには、 $V_{CE(SAT)}$ の変化が小さくなる領域（一般的にはゲート電圧 = 15 V 前後）を設定して使用します。

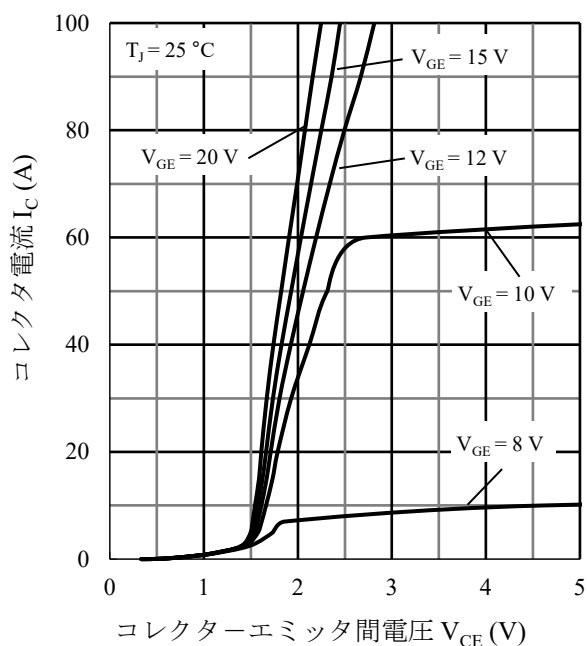


図 2-2 I_C - V_{CE} 代表特性例

2.7.2. I_C – V_{GE} 特性

図 2-3 に、コレクタ電流 I_C とゲート–エミッタ間電圧 V_{GE} の特性例を示します。

本特性例の場合、 $V_{GE} < 10$ V の領域では、ジャンクション温度 T_J が高いほど、指定の I_C を流した場合の V_{GE} が低くなります（負の温度係数）。一方 $V_{GE} \geq 10$ V の領域では、ジャンクション温度 T_J が高いほど、指定の I_C を流した場合の V_{GE} が高くなります（正の温度係数）。発熱による IGBT の破壊を防ぐため、正の温度係数の領域で使用することを推奨します。

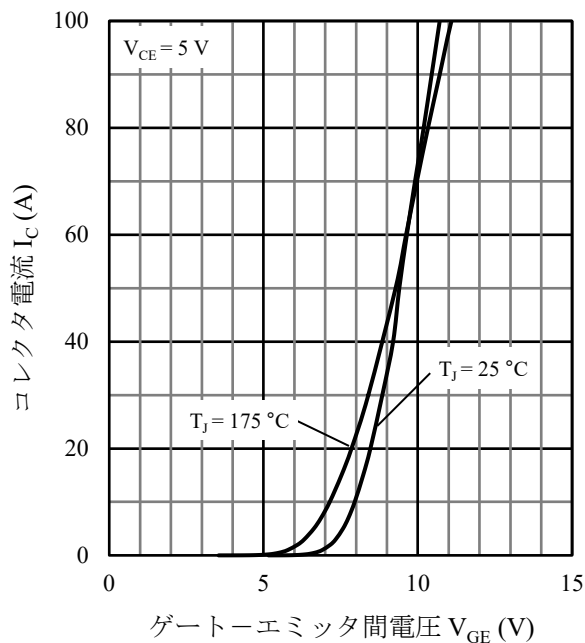


図 2-3 I_C – V_{GE} 代表特性例

2.7.3. $V_{GE(TH)}$ – T_J 特性

図 2-4 に、ゲートしきい電圧 $V_{GE(TH)}$ とジャンクション温度 T_J の特性例を示します。

T_J が高いほど $V_{GE(TH)}$ が低くなります（負の温度係数）。回路が動作して IGBT が高温になると、低いゲート電圧で IGBT がターンオンしてしまうため、回路を設計する際はノイズなどで IGBT が誤作動しないように、温度特性による $V_{GE(TH)}$ の変化を十分に考慮する必要があります。

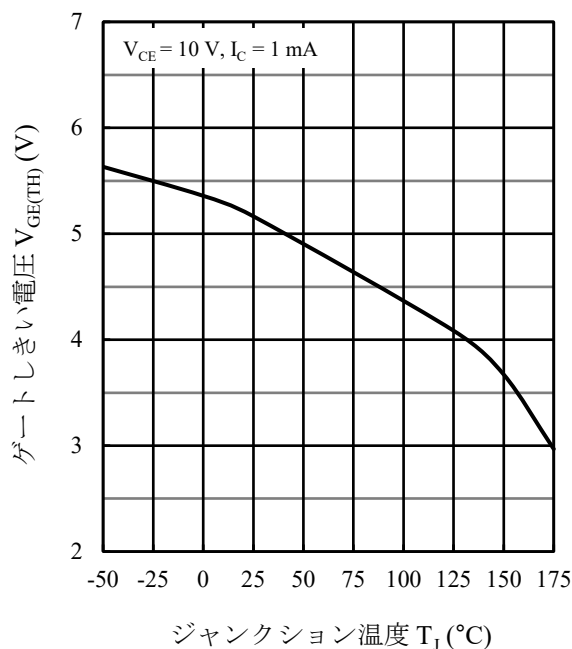


図 2-4 $V_{GE(TH)}$ – T_J 代表特性例

2.8. 容量特性 (C_{ies} 、 C_{oes} 、 C_{res})

図 2-5 に示すように、IGBT は構造上、寄生容量 (C_{GC} 、 C_{GE} 、 C_{CE}) が生成されます。これらの寄生容量はスイッチング特性に影響します。

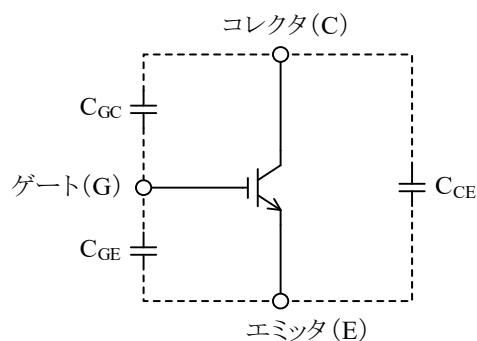


図 2-5 IGBT の寄生容量

● 入力容量 C_{ies}

入力容量 C_{ies} は遅延時間に影響します。 C_{ies} が大きいと、IGBT をターンオン/ターンオフする際に多くの電荷を充電/放電する必要があるため、ターンオン遅延時間 $t_{d(ON)}$ 、ターンオフ遅延時間 $t_{d(OFF)}$ が長くなります。また、 C_{ies} が大きいと電力損失も大きくなります。 C_{ies} が小さい IGBT が理想です。

C_{ies} は以下の式で計算できます。

$$C_{ies} = C_{GE} + C_{GC}$$

● 出力容量 C_{oes}

出力容量 C_{oes} はターンオフ特性に影響します。 C_{oes} が大きいと、IGBT がターンオフした際にコレクターエミッタ間電圧 V_{CE} の電圧変化率 dv/dt が小さくなり、ノイズの影響を小さくできますが、ターンオフ下降時間 t_f が長くなります。

C_{oes} は以下の式で計算できます。

$$C_{oes} = C_{CE} + C_{GC}$$

● 帰還容量 C_{res}

帰還容量 C_{res} は、ミラー容量とも呼ばれます。

C_{res} は高周波特性に影響します。 C_{res} が大きくなるほど、以下の特徴を示します。

- ターンオン時のコレクターエミッタ間電圧 V_{CE} の立ち下がり時間が長くなる
(ターンオン上昇時間 t_r が長くなる)
- ターンオフ時のコレクターエミッタ間電圧 V_{CE} の立ち上がり時間が長くなる
(ターンオフ下降時間 t_f が長くなる)
- 電力損失が大きくなる

帰還容量 C_{res} は以下の式で計算できます。

$$C_{res} = C_{GC}$$

2.9. 電荷特性 (Q_G 、 Q_{GE} 、 Q_{GC})

全ゲートチャージ電荷量 Q_G 、ゲート-エミッタ間電荷量 Q_{GE} 、ゲート-コレクタ間電荷量 Q_{GC} は、IGBT を駆動させるために必要な電荷量です (図 2-6 参照)。これらはスイッチング特性に影響します。値が小さいほど電力損失が小さくなり、高速スイッチングが可能です。

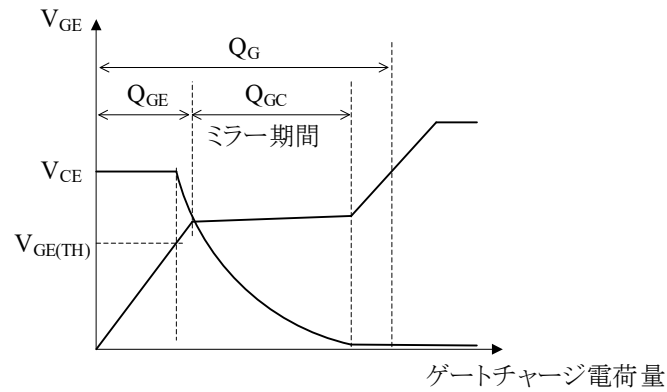


図 2-6 V_{GE} とゲートチャージ電荷量の関係

2.10. スイッチング特性 ($t_{d(ON)}$ 、 t_r 、 $t_{d(OFF)}$ 、 t_f)

図 2-7 にスイッチング時間の測定回路を示します。図 2-8 にスイッチング波形を示します。

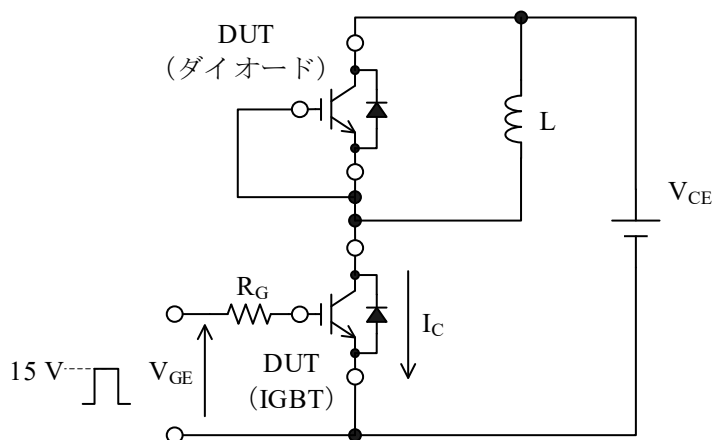


図 2-7 スイッチング時間測定回路

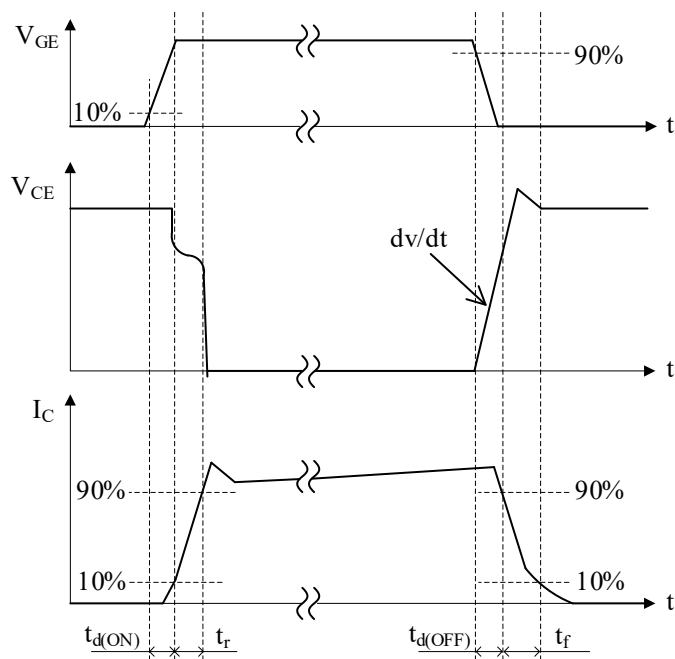


図 2-8 スイッチング波形

ANJ0020

- **ターンオン遅延時間 $t_{d(ON)}$**
V_{GE} 設定値の 10%から I_C 設定値の 10%までの時間
- **ターンオン上昇時間 t_r**
I_C 設定値の 10%から 90%までの時間
- **ターンオン時間 t_{ON}**
 $t_{d(ON)}$ と t_r を合計した時間
- **ターンオフ時間 $t_{d(OFF)}$**
V_{GE} 設定値の 90%から I_C 設定値の 90%までの時間
- **ターンオフ下降時間 t_f**
I_C 設定値の 90%から 10%までの時間
- **ターンオフ時間 t_{OFF}**
 $t_{d(OFF)}$ と t_f を合計した時間

2.11. 短絡特性

短絡電流 I_{SC} は、IGBT 短絡時に流れる電流です。ゲート-エミッタ間電圧 V_{GE} が大きくなるほど短絡電流 I_{SC} が大きくなり、短絡耐量 t_{SC} は低下します。また、ジャンクション温度 T_J が高くなるほど短絡耐量 t_{SC} は低下します。

2.12. 高速整流ダイオード

IGBT にはパワー-MOSFET のようにボディダイオードは存在しません。モータのような誘導負荷の制御に IGBT を使用する場合は、IGBT と高速整流ダイオード (FRD : Fast Recovery Diode) を 1 パッケージにした製品を使用すると、外付け部品を削減でき、回路の信頼性を向上できます。高速整流ダイオードの特徴については以下の URL を参照してください。

https://www.semicon.sanken-ele.co.jp/sk_content/an0014_jp.pdf

2.13. IGBT が破壊する要因

以下に、IGBT の代表的な破壊要因を示します。

- 安全動作領域（SOA）破壊
- 静電破壊
- 寄生発振による破壊

2.13.1. 安全動作領域（SOA）破壊

安全動作領域（SOA：Safe Operating Area）は、順バイアス安全動作領域と逆バイアス安全動作領域に分類されます。順バイアス安全動作領域、または逆バイアス安全動作領域の制限された領域を超えると、IGBT が異常に発熱し、IGBT が破壊する可能性があります。順バイアス安全動作領域については 2.13.1.1 項を、逆バイアス安全動作領域については 2.13.1.2 項を参照してください。

データシートには、理想条件（シングルパルス、 $T_C = 25^\circ\text{C}$ など）での安全動作領域グラフが記載されています。実際の動作条件に合わせてグラフをディレーティングし、安全動作領域内で IGBT を使用します。ディレーティングについては以下の URL を参照してください。

<https://www.semicon.sanken-ele.co.jp/support/reliability/4-5.html#sec2>

2.13.1.1. 順バイアス安全動作領域（FBSOA）

順バイアス安全動作領域（FBSOA：Forward Bias Safe Operating Area）は IGBT がターンオンしている状態で、IGBT が劣化や破壊することなく使用できる電流と電圧の範囲です。順バイアス安全動作領域は以下の制限によって領域が区分されます。

- (1) コレクターエミッタ間飽和電圧 $V_{CE(SAT)}$ で制限された領域
- (2) コレクタ電流の最大定格値で制限された領域
- (3) ジャンクション温度の最大定格値で制限された領域（熱領域）
- (4) コレクターエミッタ間電圧 V_{CE} の最大定格値で制限された領域

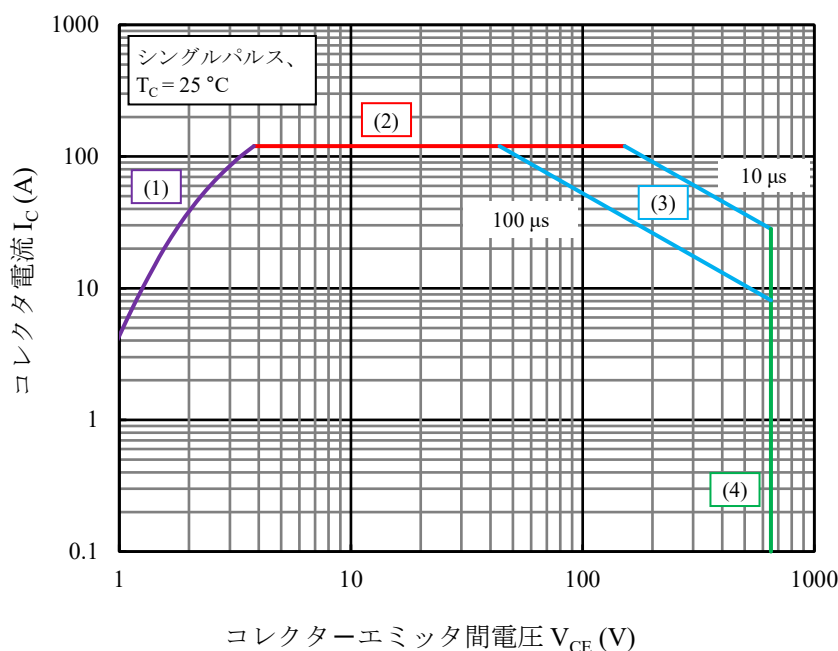


図 2-9 順バイアス安全動作領域例

2.13.1.2. 逆バイアス安全動作領域 (RBSOA)

逆バイアス安全動作領域 (RBSOA : Reverse Bias Safe Operating Area) は IGBT がターンオフしたとき、IGBT が劣化や破壊することなく使用できる電流と電圧の範囲です。逆バイアス安全動作領域は以下の制限によって領域が区分されます。

- (1) コレクターエミッタ間飽和電圧 $V_{CE(SAT)}$ で制限された領域
- (2) ピークコレクタ電流の最大定格値で制限された領域
- (3) 素子固有の特性で制限された領域
- (4) コレクターエミッタ間電圧 V_{CE} の最大定格値で制限された領域

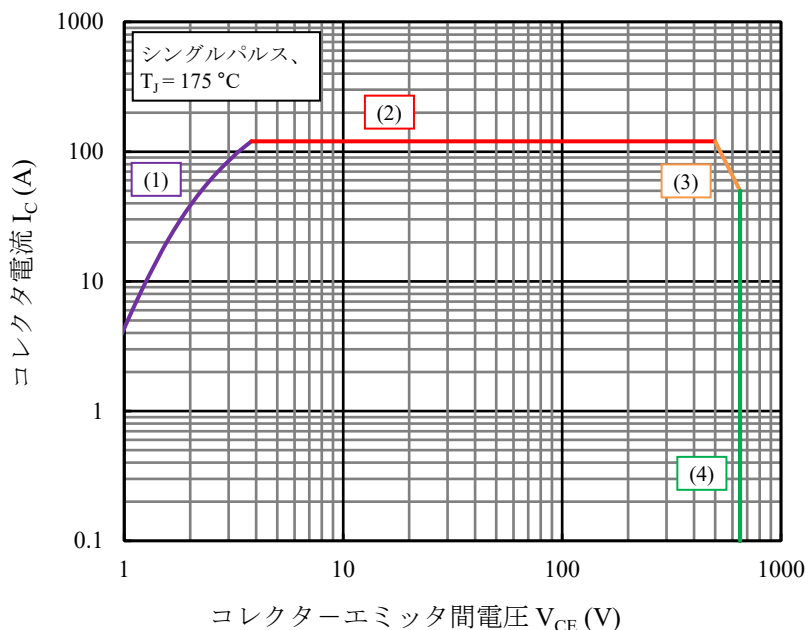


図 2-10 逆バイアス安全動作領域例

2.13.2. 静電破壊

ゲート端子は静電気に弱い構造です。人体や実装装置から発生する静電気やサージ電圧がゲートに印加され、ゲートの静電気耐量を超えると IGBT が破壊する可能性があります。

● 対策

- 導電性ストラップなどを使用し、人体アースをする
- 作業台では導電性のテーブルマットなどを使用する
- 装置を接地する など

静電気対策の詳細は、以下の URL を参照してください。

<https://www.semicon.sanken-ele.co.jp/support/reliability/4-9.html#sec1>

2.13.3. 寄生発振による破壊

詳細は 2.14 項を参照してください。

2.14. 並列接続する際の注意点

以下に、IGBT を並列に接続する際の注意点を示します。

- 定常時のコレクタ電流 I_C のばらつきを抑えるため、コレクター-エミッタ間飽和電圧 $V_{CE(SAT)}$ の値に近い IGBT 同士を使用します。
- PCB レイアウトのパターンには、寄生インダクタンスやインピータンスなどを含みます。ターンオン、ターンオフなどの過渡時に流れる電流のばらつきを抑えるため、パターンによるばらつきがでないように IGBT を配置します。
- 並列接続した IGBT をそれぞれ異なるドライバで駆動させると、ドライバごとの出力遅延時間の影響で IGBT の動作にばらつきが生じます。そのため、図 2-11 のように、並列接続した IGBT は 1 つのドライバで駆動させてください。
- ゲート抵抗を接続せずに IGBT を並列に接続すると、寄生発振しやすくなります。寄生発振によりゲート-エミッタ間電圧 V_{GE} が最大定格値を超えたり、IGBT が発熱したりして、IGBT が破壊する可能性があります。寄生発振を抑制するため、各 IGBT に必ずゲート抵抗を接続してください。

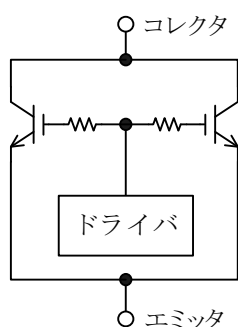


図 2-11 理想的な並列接続

注意書き

- 本書に記載している製品（以下、「本製品」という）のデータ、図、表、およびその他の情報（以下、「本情報」という）は、本書発行時点のものであります。本情報は、改良などで予告なく変更することがあります。本製
- 品を使用する際は、本情報が最新であることを弊社販売窓口を確認してください。
- 本製品は、一般電子機器（家電製品、事務機器、通信端末機器、計測機器など）の部品に使用されることを意図しております。本製品を使用する際は、納入仕様書に署名または記名押印のうえ、返却をお願いします。高い信頼性が要求される装置（輸送機器とその制御装置、交通信号制御装置、防災装置、防犯装置、各種安全装置など）に本製品を使用することを検討する際は、必ず事前にその使用の適否について弊社販売窓口へ相談いただき、納入仕様書に署名または記名押印のうえ、返却をお願いします。本製品は、極めて高い信頼性が要求される機器または装置（航空宇宙機器、原子力制御、その故障や誤動作が生命や人体に危害を及ぼす恐れのある医療機器（日本における法令でクラスⅢ以上）など）（以下「特定用途」という）に使用されることは意図されておられません。特定用途に本製品を使用したことでお客様または第三者に生じた損害などに関して、弊社は一切その責任を負いません。
- 本製品を使用するにあたり、本製品に他の製品や部材を組み合わせる際、あるいはこれらの製品に物理的、化学的、その他の何らかの加工や処理を施す際は、使用者の責任においてそのリスクを必ず検討したうえで行ってください。
- 弊社は、品質や信頼性の向上に努めていますが、半導体製品は、ある確率で欠陥や故障が発生することは避けられません。本製品が故障し、その結果として人身事故、火災事故、社会的な損害などが発生しないように、故障発生率やディレーティングなどを考慮したうえで、使用者の責任において、本製品が使用される装置やシステム上で、十分な安全設計および確認を含む予防措置を必ず行ってください。ディレーティングについては、納入仕様書および弊社ホームページを参照してください。
- 本製品は、耐放射線設計をしておりません。
- 本書に記載している回路定数、動作例、回路例、パターンレイアウト例、設計例、推奨例、本書に記載しているすべての情報、およびこれらに基づく評価結果などは、使用上の参考として示したものです。
- 本情報に起因する使用者または第三者のいかなる損害、および使用者または第三者の知的財産権を含む財産権とその他一切の権利の侵害問題について、弊社は一切その責任を負いません。
- 本情報を、文書による弊社の承諾なしに転記や複製をすることを禁じます。
- 本情報について、弊社の所有する知的財産権およびその他の権利の実施、使用または利用を許諾するものではありません。
- 使用者と弊社との間で別途文書による合意がない限り、弊社は、本製品の品質（商品性、および特定目的または特別環境に対する適合性を含む）ならびに本情報（正確性、有用性、および信頼性を含む）について、明示的か黙示的かを問わず、いかなる保証もしておりません。
- 本製品を使用する際は、特定の物質の含有や使用を規制する RoHS 指令など、適用される可能性がある環境関連法令を十分に調査したうえで、当該法令に適合するように使用してください。
- 本製品および本情報を、大量破壊兵器の開発を含む軍事用途やその他軍事利用の目的で使用しないでください。また、本製品および本情報を輸出または非居住者などに提供する際は、「米国輸出管理規則」や「外国為替及び外国貿易法」など、各国で適用される輸出管理法令などを遵守してください。
- 弊社物流網以外における本製品の落下などの輸送中のトラブルについて、弊社は一切その責任を負いません。
- 本書は、正確を期すために慎重に製作したのですが、本書に誤りがないことを保証するものではありません。万一、本情報の誤りや欠落に起因して、使用者に損害が生じた場合においても、弊社は一切その責任を負いません。
- 本製品を使用する際の一般的な使用上の注意は弊社ホームページを、特に注意する内容は納入仕様書を参照してください。
- 本書で使用されている個々の商標、商号に関する権利は、弊社を含むその他の原権利者に帰属します。

DSGN-CJZ-16003