

バイポーラートランジスタ 最大定格

概要

本資料はバイポーラートランジスタの最大定格について述べたものです。

目次

概要	1
目次	2
1. トランジスタの定格	4
1.1. 最大定格の意義	4
1.2. 電圧定格	5
1.3. 電流定格	10
1.4. 温度定格	10
1.5. 電力定格	10
1.6. 安全動作領域 (SOA)	11
1.7. SOA の測定方法	14
1.8. 順方向バイアス SOA	16
1.9. 逆方向バイアス SOA	19
製品取り扱い上のお願い	20

目次

図 1.1	コレクター最大電圧	5
図 1.2	コレクター電圧と電流増幅率	8
図 1.3	R_B と降伏電圧の関係	9
図 1.4	コレクター出力特性と S/B 曲線	12
図 1.5	パルス幅と $E_{S/B}$ 、 $P_{S/B}$ の関係	12
図 1.6	プレーナー型トランジスタ	12
図 1.7	エミッター順方向バイ	12
図 1.8	エミッター逆方向バイアス時のベース領域電圧降下	12
図 1.9	$I_{S/B}$ と f_T の関係	13
図 1.10	S/B トリガリングエネルギー $E_{S/B}$ の負荷インダクタンスおよびベース・エミッター間の条件による依存性	13
図 1.11	直流印加丘越え法	15
図 1.12	パルス印加丘越え法 (E-B 間にパルスが印加される場合)	15
図 1.13	順方向バイアス SOA 測定回路 ($T_{S/B}$ 法)	15
図 1.14	逆バイアス SOA 測定回路 (ラッチング方式)	15
図 1.15	温度熱抵抗法 (ΔV_{BE} 法)	16
図 1.16	製品 A における SOA $T_C=100$ °C におけるデレーティングされた SOA	17
図 1.17	製品 B における SOA と $T_C=80$ °C におけるデレーティングされた SOA	17
図 1.18	SOA の温度デレーティング例	18
図 1.19	逆方向バイアス SOA の一例	19
図 1.20	逆方向バイアス SOA の例	19

1. トランジスタの定格

1.1. 最大定格の意義

トランジスタに流し得る電流や、印加可能な電圧、電力損失などの最大許容値は、最大定格値として定められています。

トランジスタ回路を設計する上で、最大定格を良く認識することは、トランジスタを動作させる上からも、目標とする稼動時間内で十分高い信頼度で動作させる上からも非常に大切なことです。

トランジスタのような半導体製品の特徴の 1 つとして、電気的特性が温度に対して非常に敏感なことが、最大定格を規定する大きな要因となっています。トランジスタに一定電圧が印加された状態で周囲温度が高くなった場合には、デバイスの導電率が高くなり電流が増大し、その結果トランジスタで消費される電力が大きくなります。それが、さらに温度上昇の原因となって電流を増加せしめ、ついにはトランジスタを破壊してしまいます。

最大定格値は、トランジスタの寿命と信頼度のために決して超えてはならない最大値であり、これらの値は構成している材料や設計、製造条件によって制約され、それぞれのトランジスタによって値が異なります。また、最大定格として絶対最大定格の考え方を採用しています。

絶対最大定格とは、動作中に瞬時といえども定格値を超えてはならないとするものです。また、2 項目以上の規格値が定められているとき、2 つの規格を同時にトランジスタに印加することはできません。

最大定格を超えて使用した場合、特性は回復しない場合もあり、回路設計では電源電圧の変動、回路部品の特性のばらつき、回路調整時の最大定格オーバー、周囲温度の変化、入力信号の変動などに注意し、最大定格の 1 つでも超えてはなりません。

最大定格値として定められるべき主な項目は、トランジスタのエミッター、ベース、コレクターの端子電流、各端子間電圧、コレクター損失、接合温度、保存温度などです。これらの特性は相互に密接な関係があるため個々別々に考えることはできず、また、外部の回路条件によっても異なります。

1.2. 電圧定格

トランジスタはエミッター、ベースおよびコレクターのうち、いずれか 1 端子を共通端子として入出力回路を構成します。従って電圧定格もコレクター・ベース間電圧 V_{CB} 、コレクター・エミッター間電圧 V_{CE} および、エミッター・ベース間電圧 V_{EB} について規定されます。電圧定格を決定する電圧降伏は、トランジスタ固有の特性 ($V_{(BR)CBO}$ 、 $V_{(BR)CEO}$ など) とベース回路条件に依存する特性 ($V_{(BR)CER}$ 、 $V_{(BR)CEX}$ など) に分かれます。

(1) コレクター電圧定格

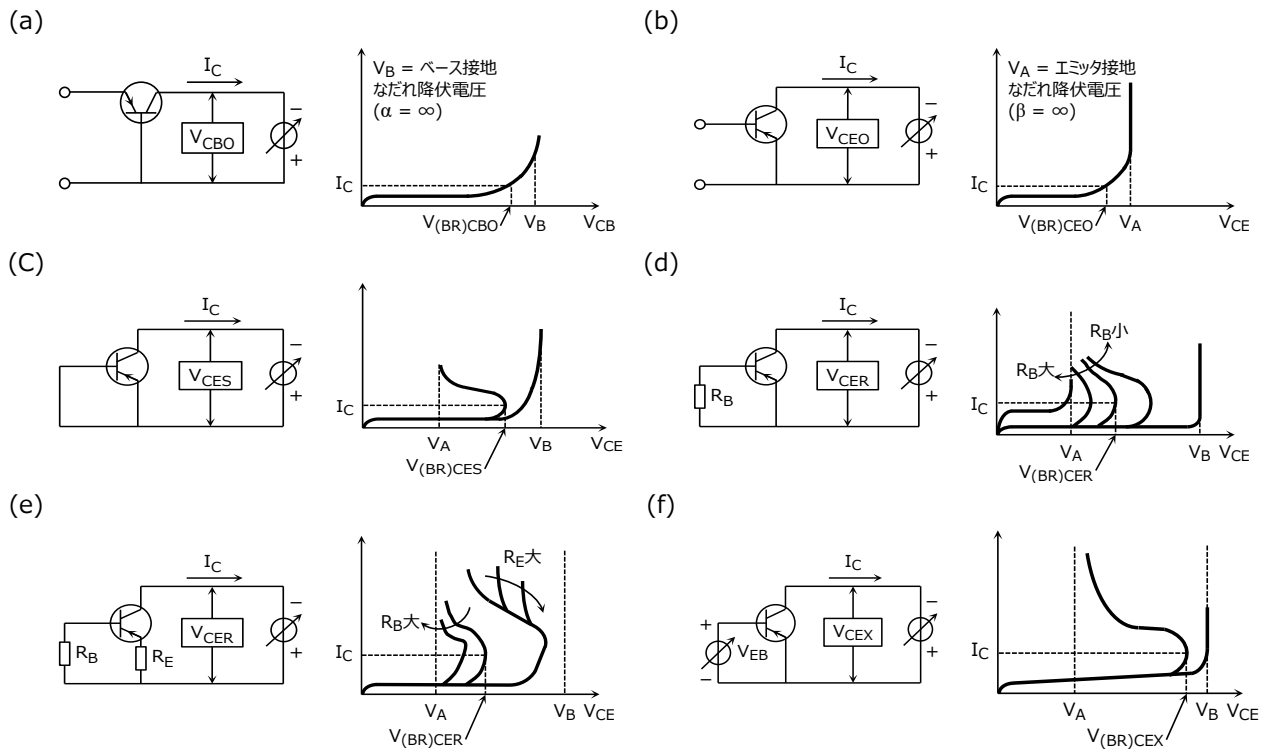


図 1.1 コレクター最大電圧

通常、ベース接地またはエミッター接地でトランジスタを動作させるため、コレクター電圧定格が重要となります。

図 1.1 は、種々のコレクター降伏電圧を示し、それぞれ次のような意味を持っています。

- $V_{(BR)CBO}$: エミッター開放でのコレクター・ベース間降伏電圧
- $V_{(BR)CEO}$: ベース開放でのコレクター・エミッター間降伏電圧
- $V_{(BR)CES}$: ベース・エミッター間短絡でのコレクター・エミッター間降伏電圧
- $V_{(BR)CER}$: ベース・エミッター間を抵抗で接続した場合のコレクター・エミッター間降伏電圧
- $V_{(BR)CEX}$: ベース・エミッター間を逆バイアスした場合のコレクター・エミッター間降伏電圧

コレクター降伏電圧の大小関係を示すと、

$$V_{(BR)CBO} > V_{(BR)CES} > V_{(BR)CEX} > V_{(BR)CER} > V_{(BR)CEO}$$

となり、 $V_{(BR)CBO}$ と $V_{(BR)CES}$ は近い値となります。

(a) エミッター開放ベース接地コレクター最大電圧 $V_{(BR)CBO}$

－ ベース接地なだれ降伏電圧 V_B －

$V_{(BR)CBO}$ はコレクター・ベース間ダイオードの特性と等価です。コレクター・ベース間に逆電圧を印加すると、コレクター・ベース間には微少なしゃ断電流 I_{CBO} が流れます。さらに電圧を印加していくと、接合部の空乏層の電界が強くなり、少数キャリアがこの加速電界で高エネルギーを得て、シリコン原子と衝突し正孔電子対をはじき出す過程が次々と繰り返され、多量の自由キャリアが発生し急激に大電流が流れる、“なだれ増倍降伏現象”が起こります。このなだれ降伏現象が、トランジスタに印加できる最大電圧を制限します。

なだれ増倍係数 M は実験的に (1-1) 式で求められます。

$$M = \frac{1}{1 - \left(\frac{V_{CB}}{V_B}\right)^n} \dots\dots\dots (1-1)$$

また、電流増幅率 α は

$$\alpha = \alpha_0 \cdot M \dots\dots\dots (1-2)$$

となります。

- V_B : 真のなだれ降伏電圧
- V_{CB} : コレクター・ベース間電圧
- α_0 : なだれ増倍現象の起こっていない電圧でのベース接地電流増幅率
- n : PNP トランジスタで 2~4、NPN トランジスタで 2~3 程度の値でトランジスタの種類により決定

V_B は接合の高抵抗側の不純物濃度によって決まり、不純物濃度が濃いほど小さくなります。耐圧の最大値は V_B によって決まりますが、データシートなどの中に絶対最大定格として規定されている最大電圧 $V_{(BR)CBO}$ の値は、ある規定電流値に達する電圧が記載されており V_B ではなく、 $V_{(BR)CBO} < V_B$ となります。

V_B の温度係数はキャリアの移動度により正となりますが、 I_{CBO} が温度上昇とともに増加するため低電流領域での $V_{(BR)CBO}$ は高温で小さくなる場合があります。

ベース接地でのコレクター電流 I_C は次のようになります。

$$I_C = \alpha \cdot I_E + M \cdot I_{CBO} \dots\dots\dots (1-3)$$

(b) ベース開放エミッター接地コレクター最大電圧 $V_{(BR)CEO}$

－ エミッター接地なだれ降伏電圧 V_A －

エミッター接地回路でのなだれ降伏は、エミッター接地電流増幅率 β が無限大になるコレクター電圧で起こります。 β は α_0 を用いて (1-4) 式で求められます。

$$\beta = \frac{\alpha_0 \cdot M}{1 - \alpha_0 \cdot M} \dots\dots\dots (1-4)$$

ここで、 $\alpha_0 \cdot M = 1$ ($M = 1 / \alpha_0$) となったときに $\beta \rightarrow \infty$ となり、なだれ増倍降伏が発生します。コレクター・エミッター間に高電圧が印加されると、コレクターからベースに到達したキャリアにより、ベース・エミッター間のダイオードが順方向にバイアスされてトランジスタ動作が始まります。コレクター電圧 V_{CB} が V_A になると、増倍係数 M によって生ずるキャリアと、エミッターからエミッター効率 γ で注入され、到達率 β_0 で空乏層に到達した $\gamma \cdot \beta_0 = \alpha_0$ なるキャリアの数が等しくなり、ベース電流が供給されなくてもコレクター電流が流れ続けることとなります。

$M = 1 / \alpha_0$ であることから (1-1) 式より、

$$\alpha_0 = 1 - \left(\frac{V_{CB}}{V_B} \right)^n \dots\dots\dots (1-5)$$

$\alpha_0 \cdot M = 1$ になるエミッター接地のなだれ降伏電圧 V_A に対して (1-5) 式を解くと、

$$V_A = V_B^n \sqrt{1 - \alpha_0} \approx V_{(BR)CEO} \dots\dots\dots (1-6)$$

となります。

V_A よりも低いコレクター電圧では、ベース電流 I_B は順方向に流れて β は正、 V_A より高いコレクター電圧ではベース電流は逆方向となり β は負となります。図 1.2 は β と電流増幅率 α をコレクター電圧の関数として表したものです。ベース電流が一定で、エミッター接地で動作しているトランジスタのコレクター電流 I_C は (1-7) 式で求められます。

$$I_C = \beta \cdot I_B + (\beta + 1) M \cdot I_{CBO} \dots\dots\dots (1-7)$$

β : エミッター接地電流増幅率

$V_{(BR)CEO}$ の温度依存性は V_B 、 α_0 、 I_{CBO} (I_{CEO}) の温度依存性で決まり、一概に正負の断定はできません。

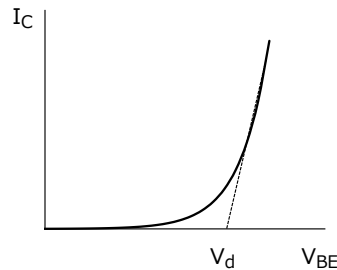
(c) ベース回路条件でのエミッター接地電圧定格 $V_{(BR)CER}$ 、 $V_{(BR)CES}$ 、 $V_{(BR)CEX}$

トランジスタが図 1.1 (d) のように、ベース・エミッター間に抵抗 R_B が接続されて動作しているとき、コレクター・エミッター間電流 $M \cdot I_{CBO}$ は内部ベース抵抗 r_b と外部抵抗 R_B を流れます。電圧降下 $M I_{CBO} \cdot (R_B + r_b)$ によってベース・エミッター間接合が順バイアスされたときにエミッター注入が起こり、コレクター・エミッター間電圧降伏が起こります。

このときの電圧 $V_{(BR)CER}$ は (1-8) 式で求められます。

$$V_{(BR)CER} = V_B^n \sqrt{1 - \frac{I_{CBO} \cdot (R_B + r_b)}{V_d}} \dots \dots \dots (1-8)$$

V_d : ベースエミッター間しきい値電圧



V_{CER} は R_B に対数的に反比例するため、 $R_B=0$ のときに降伏電圧が最も高くなり、ベース・エミッター間短絡降伏電圧として $V_{(BR)CES}$ で表します (図 1.1 (c))。

ベースが開放の場合 ($R=\infty$ のとき) は、トランジスタの動作は β に支配されます。このとき、しきい値電流 $M I_{CBO}$ はトランジスタのベースを流れ、 $(\beta+1) \cdot M \cdot I_{CBO}$ に等しいコレクター電流となります。降伏は $\beta \rightarrow \infty$ となるコレクター・エミッター間電圧で起こり、 V_A (エミッター接地なだれ電圧) と定義された電圧です。

その他の R_B に対する降伏電圧は、 V_A と V_B の間の値をとります。

エミッター注入が始まると電流増幅率 $\alpha (= \alpha_0 \cdot M)$ は 1 より大きくなり β は負になります。図 1.2 では V_{CE} が V_A より大きくなると、電圧が減少するにつれて β が負に増加することを表しています。降伏点ではエミッター注入が起こり、 I_C は急激に増加します。この増加した電流は内部抵抗が存在するためコレクター電圧を減少させ、 V_C の減少は β と I_C の増加をもたらします。

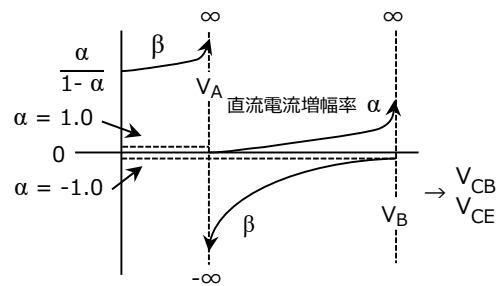


図 1.2 コレクター電圧と電流増幅率

この現象は連続的に起こり、負性抵抗特性を示して、

$\beta \rightarrow \infty$ のときに V_A に漸近してきます。 R_B と降伏電圧の特性を図 1.3 (a) に示します。図 1.3 (b) に $V_{(BR)CER}$ と R_B の関係と I_{CER} と R_B の関係を示しますが、全て同じ特性を表したものです。

図 1.1 (e) のようにエミッター側に R_E を挿入した場合は R_E による負帰還作用があり、なだれ電圧 V_A' は (1-9) 式で表されるように大きくなります。

図 1.1 (f) のようにベース・エミッター間を逆バイアスした場合の降伏電圧は $V_{(BR)CER}$ と同様にエミッター注入が起こる電圧で最大となり、その後は負性抵抗特性を示して V_A に漸近します。このときの最大電圧 V_{CEX} は (1-10) 式となり、 $V_{(BR)CES}$ より大きくなります。

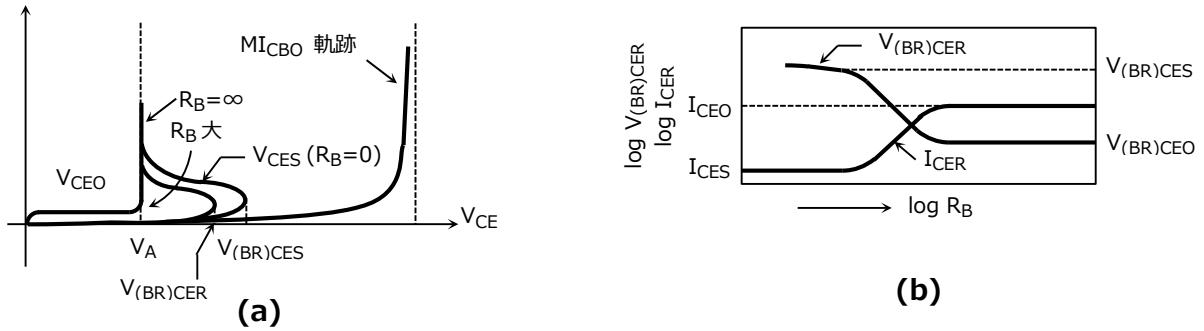


図 1.3 R_B と降伏電圧の関係

$$V_A' = V_B^n \sqrt{1 - \frac{\alpha_0 \cdot R_B}{R_B + R_E}} \dots\dots\dots (1-9)$$

$$V_{(BR)CEX} = V_B^n \sqrt{1 - \frac{I_{CBO} \cdot r_b}{V_d + V_{EB}}} \dots\dots\dots (1-10)$$

(2) エミッター電圧定格

コレクター開放エミッター降伏電圧 $V_{(BR)EBO}$ は、定性的には $V_{(BR)CBO}$ と同様ですが、通常のトランジスタではエミッターの不純物濃度が濃いために数ボルト程度となります。約 6 V 以下の電圧降伏の場合は、今まで述べてきたなだれ降伏とは異なり、トンネル効果によるツェナー降伏となります。

ベース・エミッター接合の逆バイアスが大きい場合、一般にトランジスタの特性劣化や破壊を招くことがあり、注意が必要です。

(3) 電圧定格の測定

トランジスタの最大電圧は、指定の条件で指定の端子に規定の電流を流したとき、指定の端子間に現れる電圧を測定します。通常は、正弦半波（例えばカーブトレーサー）のせん頭電流が規定の電流値になるように調整して測定するもので、これらの試験を直流で行うことはデバイスを熱的に破壊させる恐れがありますので実施しないでください。

1.3. 電流定格

トランジスタではエミッター接合の順方向に流し得る電流の最大値 I_{Emax} とコレクター接合の逆方向に流し得る電流の最大値 I_{Cmax} があります。一般的に、 $I_{Cmax}=I_{Emax}$ となっている場合が多く、主に次のような点を考慮して決められています。

- (1) コレクター・エミッター間電圧によるデバイスの電力損失によって接合温度上昇が定格値を超えない電流。
- (2) 直流電流増幅率 h_{FE} がピーク値の 1/ 2~1/ 3 に低下する電流。スイッチング用トランジスタの場合、中電力用では $h_{FE}\approx 10$ 、大電力用で $h_{FE}\approx 3$ に低下する電流。

- (3) 内部のワイヤが溶断する電流。

ベース電流の最大値 I_{Bmax} は一般的に $I_{Bmax} = \frac{1}{2} \sim \frac{1}{6} \times I_{Cmax}$ の値となります。

1.4. 温度定格

最大接合温度 T_{jmax} は、トランジスタを構成する材料と信頼度によって規定され、単に動作するというだけでなく、劣化、寿命など信頼性との兼ね合いで考えねばなりません。

トランジスタの寿命は接合温度が高くなるにつれて加速され、平均寿命 L_m (時間)、接合温度 T_j (K) との間には、A、B をトランジスタ固有の定数として、(1-11) 式の関係があります。

$$\log L_m \approx A + \frac{B}{T_j} \dots\dots\dots (1-11)$$

トランジスタでは不良率、信頼度に見合った許容接合温度の上限が決められています。保存温度 T_{stg} はトランジスタを動作させないで保存し得る温度範囲で、これも構成する材料の特性と信頼度から規定されます。

1.5. 電力定格

トランジスタ内部での電力損失は熱エネルギーに変換され、トランジスタ内部の温度を上昇させます。

ある動作点で動作しているトランジスタの電力損失は、コレクター損失 $= I_C \cdot V_{CB}$ とエミッター損失 $= I_E \cdot V_{BE}$ の和となりますが、通常、ベース・エミッター間接合は順方向バイアスされるため $V_{CB} > V_{BE}$ となります。また、 $I_C \approx I_E$ であるためコレクター損失は $P_C = I_C \cdot (V_{CB} + V_{BE}) \approx I_C \cdot V_{CE}$ で決まります。

トランジスタの最大コレクター損失 P_{Cmax} を制限するパラメーターは、最大接合温度 T_{jmax} と基準温度 T_O (周囲温度 T_a あるいはケース温度 T_C) であり、これらは熱抵抗 R_{th} によって次のように関係づけられます。

$$P_{Cmax} = \frac{T_{jmax} - T_O}{R_{th}} \dots\dots\dots (1-12)$$

熱抵抗は、単位電力損失に対する接合温度の上昇する割合、すなわち放熱しにくさを示す物理量です。大きな電力損失を扱うためには P_{Cmax} の大きなトランジスタを選ぶ必要があります。特に、パワートランジスタでは放熱設計が極めて重要になります。

通常、 P_{Cmax} の定格値は $T_a=25\text{ }^\circ\text{C}$ 、放熱器の使用が想定される外囲器の場合は $T_c=25\text{ }^\circ\text{C}$ のときの値が示されているので、それぞれ (1-12) 式を用いてトランジスタの接合-雰囲気間の熱抵抗 $R_{th(j-a)}$ 、または、接合-ケース間の熱抵抗 $R_{th(j-c)}$ を知ることができます。

1.6. 安全動作領域 (SOA)

トランジスタが破壊したり、劣化することなく使用できる領域が安全動作領域 (Safe Operating Area : SOA) です。

トランジスタの使用範囲は、最大電圧、最大電流、最大コレクター損失などの最大定格で制約されますが、トランジスタを大電力増幅器、あるいは誘導性負荷を持った回路で使用する場合、最大定格以下で使用しているにも関わらず、特性の劣化や、破壊が発生することがあります。これはトランジスタの2次降伏 (Secondary Breakdown: S/ B) 現象に起因するものです。

トランジスタ回路の設計では、SOA の概念を十分に理解した上で行わなければなりません。

(1) 2次降伏現象 (S/ B)

2次降伏 (S/ B) 現象を図 1.4 に示します。S/ B は、トランジスタが1次降伏した後、さらに電流を増加させ、ある電圧、電流 ($V_{S/b}$ 、 $I_{S/b}$) に達すると、コレクター・エミッター間の電圧が急激に低下し、数 μs 、あるいはそれ以下の速さで低インピーダンス領域へ遷移して、トランジスタを破壊に至らしめる現象です。この現象はベース・エミッター間のバイアスが順方向、逆方向いずれの場合にも、また、 V_{CE0} 、 V_{CBO} でも観測されます。

ベースバイアス条件が異なれば、S/ B 突入点 ($V_{S/b}$ 、 $I_{S/b}$) は変化し、図 1.4 の S/ B 曲線に示す軌跡上に並びます。S/ B はエネルギー依存性を持つため、S/ B 曲線は印加パルスのパルス幅によって変化します。この曲線がパルスに対する SOA を決定します。図 1.5 は印加電力のパルス幅と S/ B の関係を示しています。

パルス幅が狭くなると2次降伏電力耐量は大きくなりますが、2次降伏エネルギー (トリガリングエネルギー: S/ B に突入するまでにトランジスタに吸収されるエネルギー) は小さくなります。S/ B の発生原因は、電流の局部集中によって高温領域 (Hot Spot) が発生し、これがさらに局部的な熱暴走 (Local Thermal Runaway) を起こすためであると考えられています。電流集中の原因としては、ベース領域の電位低下、横方向の温度分布の不安定さなどがあげられます。

また、ベース幅の不均一、接合の欠陥などがトリガーとなって電流集中を起こすこともあります。

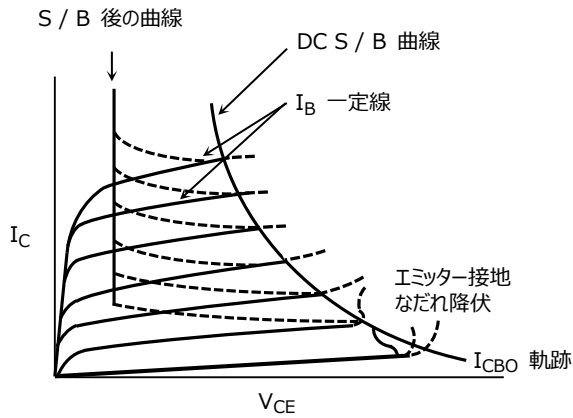


図 1.4 コレクター出力特性と S/ B 曲線

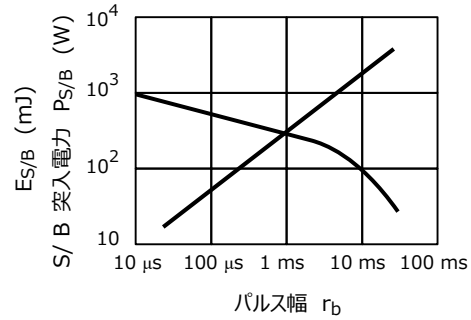


図 1.5 パルス幅と $E_{S/B}$ 、 $P_{S/B}$ の関係

(2) 順方向バイアス S/ B

ベース・エミッター間が順方向バイアス時は、局所的な電流集中による Hot Spot はエミッター周辺部に生じます。これはエミッター直下を横方向に流れるベース電流のため、ベース領域内に電位降下を生じ、エミッター中央部よりもエミッター端部の方が強くバイアスされるためです。このため図 1.6、図 1.7 に示すように、ベースへ的小数キャリア注入はエミッター周辺部が最も多く電流密度が高くなります。

このキャリアがコレクターの空乏層中を横切ると、損失となり局所的な発熱を招き、さらにこれが電流集中を招く現象により Hot Spot が発生し、S/ B に至ります。

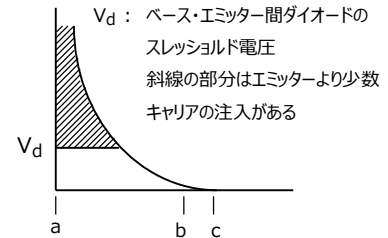
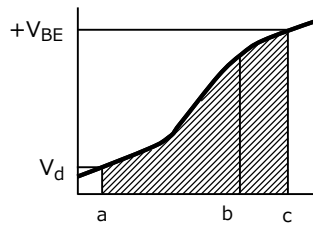
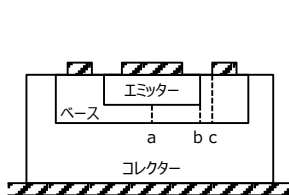


図 1.6 プレーナー型トランジスタ 図 1.7 エミッター順方向バイアス時のベース領域電圧降下 図 1.8 エミッター逆方向バイアス時のベース領域電圧降下

S/ B とトランジスタ特性の関係

順方向バイアス時の S/ B 突入点の電流 $I_{S/B}$ はトランジスタの特性と密接な関係があります。エミッターからベース領域へ注入されたキャリアはコレクター接合に達するとき、一般に円錐形の形状 (Cone-shaped Pattern) に散開 (Fan Out) していきます。このため、キャリアのベース領域走行時間 (Transit Time) が長いと、Fan Out 効果によりキャリアがコレクター空乏層に達したときに電流密度が低くなり、Hot Spot が発生しづらくなります。このキャリア走行時間は、ベース幅やベース領域内のドリフトフィールドによって決まり、 $I_{S/B}$ はトランジスタの周波数特性と強い相関があり f_T と $I_{S/B}$ の間には、パルス幅に関わらず負の相関があります。図 1.9 にその関係を示します。

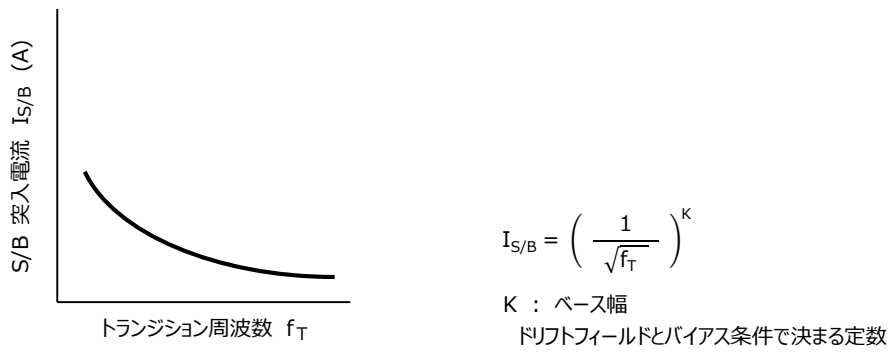


図 1.9 $I_{S/B}$ と f_T の関係

(3) 逆方向バイアス S/ B

ベース・エミッター間が逆バイアス時には、ベース領域内の電位降下は順バイアス時と逆方向になります。このため、エミッターより注入されるキャリアはエミッターの中央部に集中します (図 1.8)。このキャリアの集中はトランジスタの種類によって異なります。エミッターの形状がリング状の場合には、エミッター中央部の 1 点に、また、エミッターがくし形の形状の場合には、エミッター中央の線上に集中します。

逆バイアスが大きければ大きいほど、非常に小さい中央の領域に電流が集中します。従って、逆方向バイアス時のトリガーリングエネルギー (S/ B に突入するまでにトランジスタに吸収されるエネルギー) は、順方向バイアス時に比較して大幅に小さくなります。エミッターより注入されたキャリアは、前述の順バイアス時と同じく、Fan Out していくため、ベース幅やベース領域のドリフトフィールドの存在は S/ B と強く相関があります。

逆方向バイアス S/ B が起こるのは主にインダクタンス負荷の場合ですが、トリガーリングエネルギー $E_{S/B}$ は、図 1.10 に示されるようにインダクタンス L とベース・エミッター間の条件に依存します。

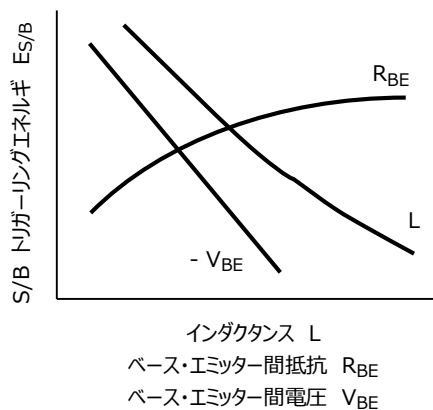


図 1.10 S/ B トリガーリングエネルギー $E_{S/B}$ の負荷インダクタンスおよびベース・エミッター間の条件による依存性

(4) S/ B 現象とトランジスタの破壊、劣化

S/ B 現象を起こした場合の電気的特性への影響はトランジスタの種類によって異なります。印加電圧が低い場合に S/ B が生じた瞬間に電源をしゃ断すれば、再び S/ B が起きても、電気的特性に変化をきたさないこともあれば、徐々に劣化していくこともあります。1 度でも S/ B が起きれば、破壊することもあり、注意が必要です。S/ B によって、トランジスタが劣化や破壊した場合、一般的な電気的特性は、 V_{EBO} 、 V_{CBO} 、 V_{CEO} の波形がソフトになるか、ショートになっている場合が多く、特に、コレクター・エミッター間のショートは S/ B の特徴的な劣化を示し、エミッターに溶融孔ができます。また、電気的特性に異常はなくても、S/ B 耐量が小さくなっている場合もあります。これは前述の S/ B トリガーリングエネルギー $E_{S/B}$ が小さくなっているもので、破壊しやすい状態に陥っていると言えます。

1.7. SOA の測定方法

SOA を求める方法はいろいろあり、回路構成、動作条件により、目的に応じた方法で測定します。

SOA を直接測定しようとする、トランジスタの劣化や破壊を招くため、S/ B に突入する直前の状態を測定して、SOA を確認することが必要です。

SOA 確認の代表的な方法として 3 つの方法があり、

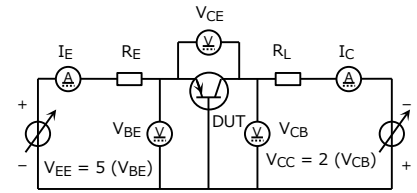
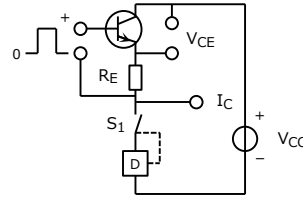
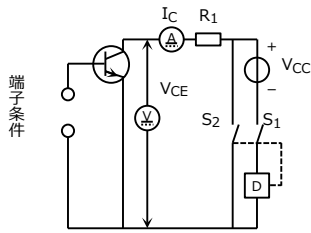
- (1) 丘越え法
- (2) ラッチング法
- (3) 過渡熱抵抗測定法

に大別されます。以下実用的に例を示します。

(1) 丘越え法

トランジスタのコレクター・ベース間またはコレクター・エミッター間に電圧条件、電流条件を与えておいて実際に 2 次降伏に突入する値を観測する方法です。この方法は性能の良い保護回路を入れないと、トランジスタを劣化させる恐れがあります。

この方法を改良したものが図 1.13 に示す $T_{S/B}$ 法と呼ばれる方法で、印加パルス時間が比較的長い場合や、直流に近い場合の順方向バイアス SOA を求める測定回路です。ベース・エミッター間を順方向にバイアスし、規定の温度（ケース温度、あるいは周囲温度）のもとで規定の V_{CE} 、 I_C を加えて動作させます。このときの I_C の変動が $\pm 10\%$ 以上あるいは、規定された終止値を超えるまでの動作時間を測定します。この測定を繰り返し、多くの I_C - V_{CE} 点で動作時間を求め、 I_C - V_{CE} 上のカーブに動作時間をパラメーターとしたグラフを描くと、SOA の軌跡が求まります。



D : 2次降伏検出兼保護回路
S1、S2 : Dからの信号により動作する
スイッチ

D : 検出兼保護回路
S1 : Dからの信号により動作する
スイッチ

図 1.11 直流印加丘越え法 **図 1.12 パルス印加丘越え法** **図 1.13 順方向バイアス SOA 測定回路(T_S/B 法)**
(E-B 間にパルスが印加される場合)

(2) ラッチング法

定電流源または、インダクタンス負荷の状態、トランジスタを飽和領域で動作させ、規定の条件にして動作波形が安全動作領域内にあるかどうかの測定を行います。この方法は2次降伏に入った場合の発振現象などの観測が可能です。

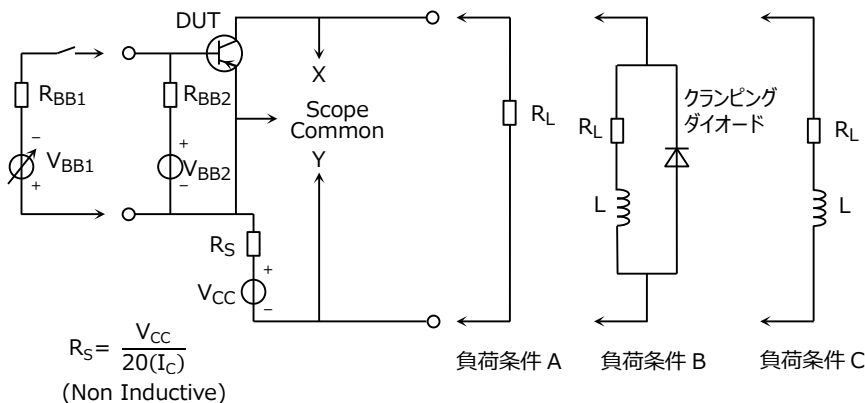


図 1.14 逆バイアス SOA 測定回路 (ラッチング方式)

(3) 過渡熱抵抗測定法 (ΔV_{BE} 、 ΔV_{CE} 法)

S/Bはトランジスタの接合の局所的な温度上昇と考えられ、接合温度を測定すればS/B突入状態を知ることができます。図 1.15 に例を示します。あらかじめ接合間の順方向電圧の温度係数を測定しておき、電力印加前後の順方向電圧差を測定することによって、接合の温度上昇分が分かり、過渡熱抵抗も求めることができます。

この方法は、SOAが前記の測定法と比較して見かけ上狭くなり、また逆方向SOAを測定できないことが欠点です。

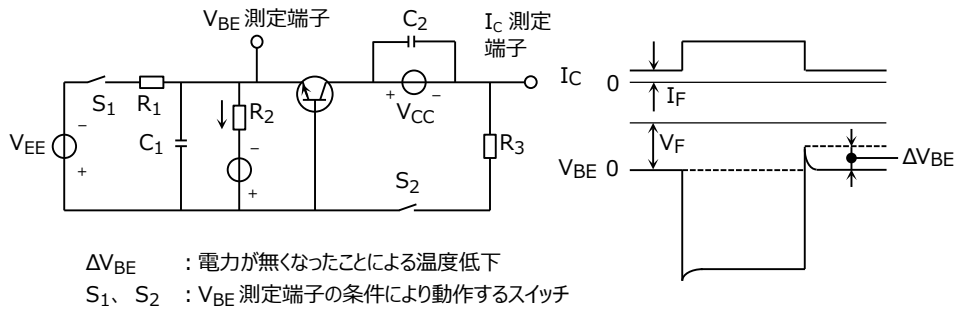


図 1.15 温度熱抵抗法 (ΔV_{BE} 法)

1.8. 順方向バイアス SOA

順方向バイアス SOA の実例を図 1.16、図 1.17 に示します。この領域内で使用すれば、トランジスタは安全に動作することを意味しています。

直流動作で表示された領域は直流動作が可能な範囲を表しています。パルス動作で示されている領域は直流動作に比べて許容電力損失が大きくなっていますが、規定された時間だけしか安全に動作しません。

図 1.16、図 1.17 に示す順方向バイアス SOA のように、低電圧部分は熱制限領域ですが、高電圧部分は S/B 制限領域となっています。熱制限領域は $P_C = \text{const}$ より $I = P \cdot V^{-1}$ となり、図 1.16 のように両対数グラフにプロットすれば -45° の勾配となります。

しかし、S/B 制限領域は $P_C = \text{const}$ の等電力線より外れ、 -1.5 から -4 の指数で $I_{S/B} = P \cdot V^{-N}$ の関係を持ち許容電力が小さくなっていることに注意することが必要です。

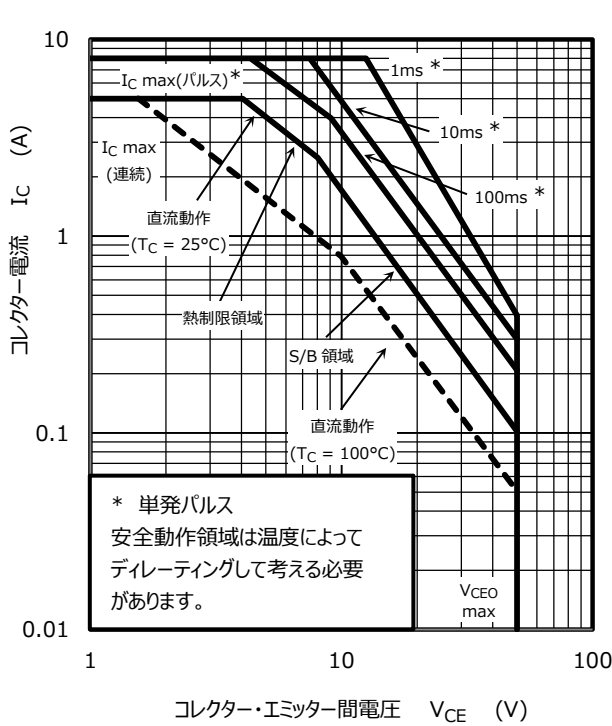


図 1.16 製品 A における SOA $T_C=100\text{ }^\circ\text{C}$ におけるデレーティングされた SOA

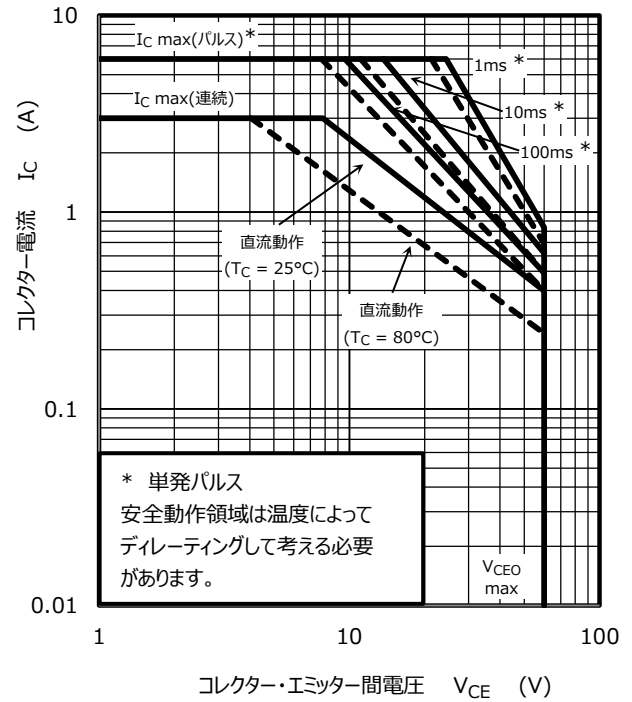


図 1.17 製品 B における SOA と $T_C=80\text{ }^\circ\text{C}$ におけるデレーティングされた SOA

SOA は温度が上昇すると狭くなるので、図 1.18 に示すデレーティングを考慮しなければなりません。温度が上昇したとき、SOA は S/ B 制限領域よりも熱制限領域の方が影響を受けます。図 1.18 には S/ B 制限領域と熱制限領域のケース温度によるデレーティング率例が示してあります。ここで、図 1.16 の $T_C=100\text{ }^\circ\text{C}$ におけるデレーティングした SOA を求めます。図 1.18 (a) のデレーティングカーブより熱制限領域と、S/ B 制限領域のデレーティング率は 40% と 49% となり、直流動作の SOA は図 1.16 中の破線のように狭くなります。図 1.17 の場合では、 V_{CE} が低く SOA が熱制限領域にある場合は、熱制限によるデレーティング率を適用します。

図 1.18 に示すように、S/ B 制限領域の温度デレーティングは、トランジスタの構造によって異なります。S/ B 制限領域の SOA が高 V_{CE} の領域にある場合は、図 1.18 の S/ B Limited のデレーティング率で、デレーティングを行います。

図 1.17 の製品 B についてトランジスタのケース温度が $T_C=80\text{ }^\circ\text{C}$ の場合に、熱制限領域でのデレーティング率を d_T とすると (1-13) 式は、

$$d_T = \frac{100}{T_j - 25} (T_j - T_C) (\%) \quad \dots\dots\dots (1-13)$$

で求められ、 $T_{jmax}=150\text{ }^\circ\text{C}$ を代入すると $d_T=56\text{ }%$ となります。

S/ B 制限領域については、製品 B を三重拡散型とすると、図 1.18 (b) より $150\text{ }^\circ\text{C}$ で 50% のデレーティングをしなければならないので、 $d_{S/B} = \frac{2}{5} (150 - T_C) + 50\text{ }%$ となり、 $T_C=80\text{ }^\circ\text{C}$ では $d_{S/B}=78\text{ }%$ となります。

これを図 1.17 に表示すると破線で示すような SOA となります。

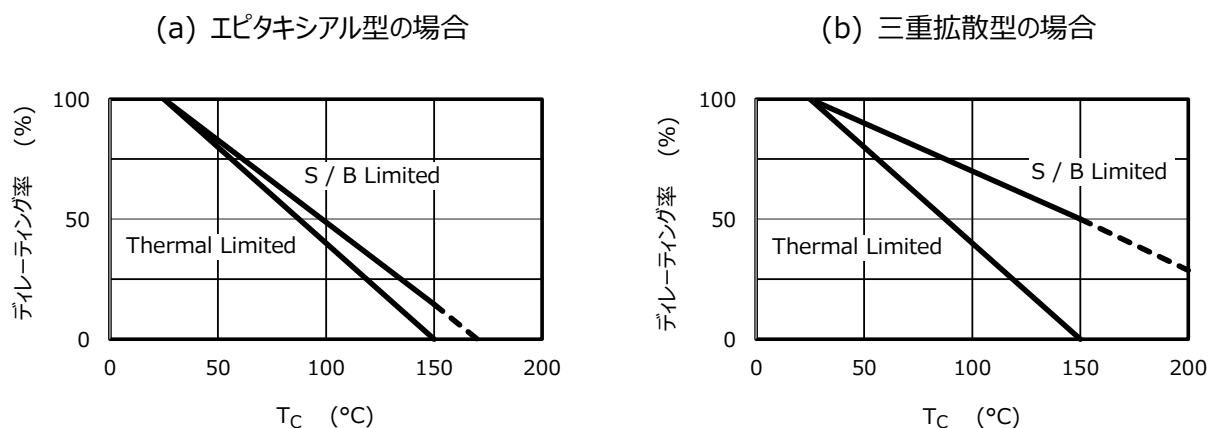


図 1.18 SOA の温度デレーティング例

1.9. 逆方向バイアス SOA

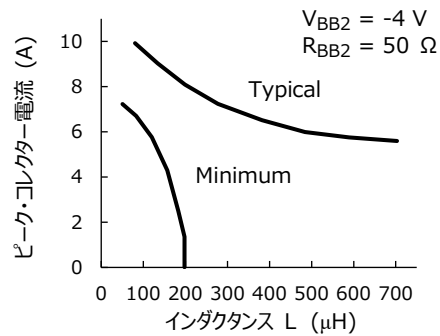
逆方向バイアス SOA を規定することは、順方向バイアスのように、簡単ではありません。しかしながら、誘導性負荷のスイッチング回路や DC-DC コンバータなどでは、ベース・エミッター間が逆バイアス状態で高電圧が印加されることもあるので、逆方向バイアス SOA も重要です。

最悪の負荷条件は誘導性負荷であるため、一般に図 1.14 の測定回路の負荷条件 C で SOA を求めます。図 1.19 (a) は規定の逆バイアス条件のもとでの I_C -L 特性を示します。

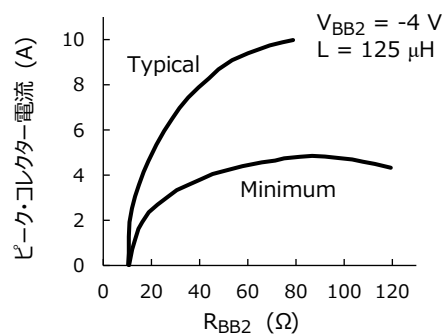
図 1.19 (b) と図 1.19 (c) は、 V_{BB2} と R_{BB2} を変化させたときの I_C の特性です。簡単な誘導性負荷の回路の場合は、図 1.19 を用いれば直接 SOA が求められますが、複雑な回路の場合には、実効的なインダクタンスを求めてから図 1.20 を利用しなければなりません。

しかしながら、図 1.19 に示されるような SOA を求めることは非常に困難であり、また、実回路より、実効的インダクタンスを求め、この図 1.20 を利用して SOA を知ることは難しいため、当社ではトランジスタの用途に応じて I_C 、 L 、 R_{BB2} 、 V_{BB2} などを規定し、負荷特性が図 1.20 の外にあることを確認して SOA を規定しています。

(a) インダクタンス L 依存性



(b) ベース抵抗 R_{BB2} 依存性



(c) ベース電圧 V_{BB2} 依存性

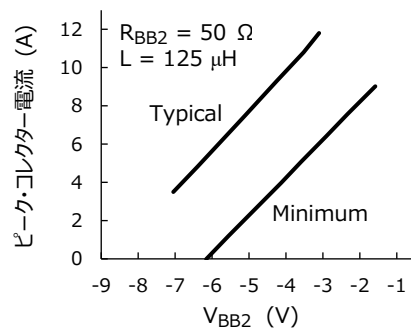


図 1.19 逆方向バイアス SOA の一例

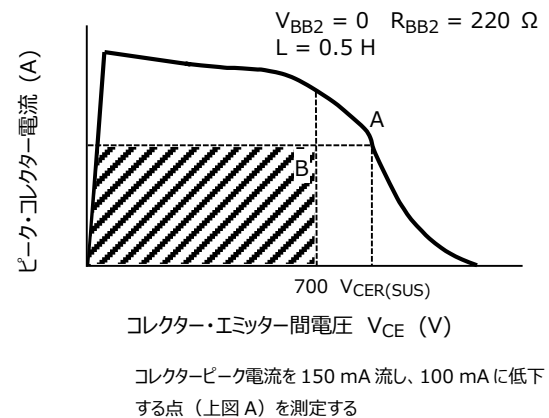


図 1.20 逆方向バイアス SOA の例

製品取り扱い上のお願

株式会社東芝およびその子会社ならびに関係会社を以下「当社」といいます。
本資料に掲載されているハードウェア、ソフトウェアおよびシステムを以下「本製品」といいます。

- 本製品に関する情報等、本資料の掲載内容は、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
- 文書による当社の事前の承諾なしに本資料の転載複製を禁じます。また、文書による当社の事前の承諾を得て本資料を転載複製する場合でも、記載内容に一切変更を加えたり、削除したりしないでください。
- 当社は品質、信頼性の向上に努めていますが、半導体・ストレージ製品は一般に誤作動または故障する場合があります。本製品をご使用頂く場合は、本製品の誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないように、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いします。なお、設計および使用に際しては、本製品に関する最新の情報（本資料、仕様書、データシート、アプリケーションノート、半導体信頼性ハンドブックなど）および本製品が使用される機器の取扱説明書、操作説明書などをご確認の上、これに従ってください。また、上記資料などに記載の製品データ、図、表などに示す技術的な内容、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例などの情報を使用する場合は、お客様の製品単独およびシステム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断してください。
- 本製品は、特別に高い品質・信頼性が要求され、またはその故障や誤作動が生命・身体に危害を及ぼす恐れ、膨大な財産損害を引き起こす恐れ、もしくは社会に深刻な影響を及ぼす恐れのある機器（以下“特定用途”という）に使用されることは意図されていませんし、保証もされていません。特定用途には原子力関連機器、航空・宇宙機器、医療機器（ヘルスケア除く）、車載・輸送機器、列車・船舶機器、交通信号機器、燃焼・爆発制御機器、各種安全関連機器、昇降機器、発電関連機器などが含まれますが、本資料に個別に記載する用途は除きます。特定用途に使用された場合には、当社は一切の責任を負いません。なお、詳細は当社営業窓口まで、または当社 Web サイトのお問い合わせフォームからお問い合わせください。
- 本製品を分解、解析、リバースエンジニアリング、改造、改変、翻案、複製等しないでください。
- 本製品を、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用することはできません。
- 本資料に掲載してある技術情報は、製品の代表的動作・応用を説明するためのもので、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利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。
- 別途、書面による契約またはお客様と当社が合意した仕様書がない限り、当社は、本製品および技術情報に関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をしておりません。
- 本製品、または本資料に掲載されている技術情報を、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事用途の目的で使用しないでください。また、輸出に際しては、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守し、それらの定めるところにより必要な手続を行ってください。
- 本製品の RoHS 適合性など、詳細につきましては製品個別に必ず当社営業窓口までお問い合わせください。本製品のご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用ある環境関連法令を十分調査の上、かかる法令に適合するようご使用ください。お客様がかかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は一切の責任を負いかねます。