ダイオードの基礎
（ツェナーダイオード）

概要

ダイオードは、あらゆる機器の整流、逆流防止および回路保護など、さまざまな用途に使用されます。 また、ダイオードの種類でも、Si (シリコン) の pn 接合ダイオードに加え、ショットキーバリアダイオード (SBD) 、TVS (ESD 保護ダイオード) 、ツェナーダイオードなどがあり、さらに最新の化合物半導体である SiC SBD もラインアップされています。

本資料では、ツェナーダイオードの概要と絶対最大定格、電気的特性について説明をしています。

目次

概要 1
目次 2
1. ダイオードの種類 5
1.1. ダイオードの用途や特性による分類 5
2. 各種ダイオードの概要 6
2.1. ツェナーダイオード 6
2.1.1. ツェナー降伏とアバランシェ（雪崩）降伏 6
2.1.2. ツェナーダイオードの順方向特性 7
2.1.3. ツェナーダイオードの逆方向特性 8
3. 最大定格 9
3.1. 最大定格の意義 9
3.2. ダイオード共通 9
3.2.1. 接合温度 T_j 9
3.2.2. 許容損失 P_D, P 10
3.2.3. 保存温度 T_{stg} 11
3.2.4. 絶縁耐圧 $V_{ISO(RMS)}$, V_{dis} 11
3.2.5. 締め付けトルク TOR 11
3.3. TVS ダイオード（ESD 保護用ダイオード）、ツェナーダイオード 共通 12
3.3.1. 静電気耐量（IEC61000-4-2）(接触放電) V_{ESD} 12
3.3.2. 静電気耐量（IEC61000-4-2）(気中放電) V_{ESD} 12
3.3.3. ピークパルス電力（tp = 8/ 20 μs) P_{PK} 12
3.3.4. ピークパルス電流（tp = 8/ 20 μs) I_{PP} 13
3.3.5. 電圧定格 14
3.3.6. 電流定格 15
4. 電気的特性 18
4.1. TVS ダイオード（ESD 保護用ダイオード）、ツェナーダイオード 共通 18
4.1.1. ピーク逆動作電圧 V_{RWM} (TVS ダイオード) 18
4.1.2. 逆方向降伏電圧 V_{BR} (TVS ダイオード) 18
4.1.3. クランプ電圧 V_C (TVS ダイオード) 18
4.1.4. ツェナー電圧 V_Z (ツェナーダイオード) 18

4.1.5. 順電圧 V_F (ツェナーダイオード) 18
4.1.6. 逆電流 I_R (TVS ダイオード, ツェーダイオード) 18
4.1.7. ダイナミック抵抗 R_{DYN} (TVS ダイオード, ツェナーダイオード) 18
4.1.8. 動作抵抗 Z_Z, r_d (ツェナーダイオード) 19
4.1.9. 温度係数 α_T (ツェナーダイオード) 20
4.1.10. 端子間容量 C_t (TVS ダイオード, ツェナーダイオード) 20
5. 応用例：線電気放電(ESD)、過電圧サージからの保護 21
5.1. はじめに 21
5.2. 電子機器を取り巻く過電圧パルスについて 21
5.3. 保護素子について 22
5.3.1. ESD 保護用ダイオードについて 22
5.3.2. 過電圧保護に適したツェナーダイオードについて 23
5.4. まとめ 24
製品取り扱い上のお願い 26

図目次

図 1.1　ダイオードの種類による分類 5
図 2.1　ツェナー降伏 6
図 2.2　アバランシェ降伏 7
図 2.3　ツェナー電圧による温度係数特性例 7
図 2.4　ツェナー電圧毎の I_Z-V_Z 特性例 8
図 3.1　IEC 61000-4-2 試験回路例 12
図 3.2　IEC 61000-4-2 試験波形例 12
図 3.3　IEC 61000-4-5 試験回路例 13
図 3.4　IEC 61000-4-5 試験波形例 13
図 3.5　電圧定格の定義 15
図 3.6　定常動作電流定格の定義 16
図 3.7　瞬時パルス電流定格の定義 17
図 4.1　電気的特性の定義 18
図 4.2　TLP 試験例 19
図 4.3　ツェナーダイオードの Z_Z (r_d) 19
図 4.4　温度係数 α_T の定義 20
図 5.1　過電圧パルスの分類 21
図 5.2　通常動作時と ESD、過電圧サージ印加時における保護素子の動作イメージ 22
図 5.3　東芝 ESD 保護用ダイオードラインナップ(シングル品) 23
図 5.4　サージ波形から方形波近似したパルス幅の導出例　　図 5.5　サージ電力耐量例 23
図 5.6　保護用の小型ツェナーダイオードラインナップ 23
図 5.7　ESD 保護用ダイオードと過電圧保護に適したツェナーダイオードの対応領域 24

表目次

表 3-1　スルーホール素子の最大締め付けトルク 12
表 5-1　ESD 保護用ダイオードとツェナーダイオードの特徴まとめ 24

1. ダイオードの種類

1.1. ダイオードの用途や特性による分類

ダイオードは種々の用途に応じて製品が開発されており、大きく 2 つに分類されます。 1 つは p 形半導体と n 形半導体を接合した pn 接合ダイオードで、もう 1 つは n 形半導体、または、p 形半導体と金属を接合した金属-半導体ダイオード（ショットキーバリアダイオード:SBD）です。 これらのダイオードは用途や特性によって図 1.1 のように大別することができます。

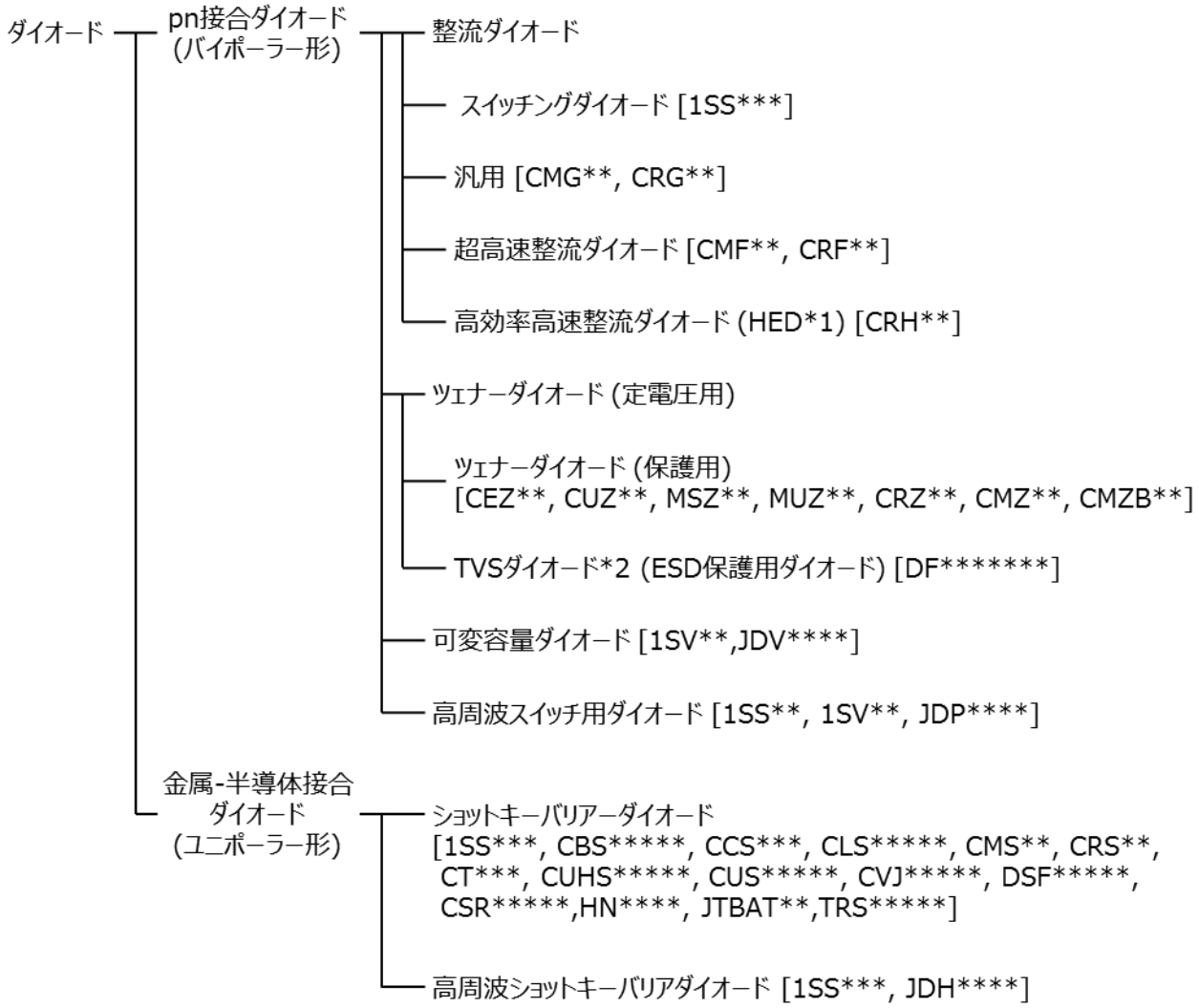


図 1.1　ダイオードの種類による分類

2. 各種ダイオードの概要

2.1. ツェナーダイオード

ツェナーダイオードと一般の整流やスイッチングダイオードと異なる点は、pn 接合の逆方向特性の安定した降伏領域を利用することです。 通常のダイオードは、特に指定されない限り逆方向の降伏領域で使用することはできず、これに使用した場合は、降伏現象が局部的に起こり電流集中による pn 接合が破壊することがあります。 ツェナーダイオードでは降伏領域で使用しても pn 接合面や接合内部で局部的な電流集中が起こらないような構造で設計されています。

ツェナーダイオードの降伏特性は pn 接合近傍の不純物濃度分布や pn 接合の形状および表面状態により決定されます。従って、これらの条件を選ぶことにより種々の降伏電圧を有するツェナーダイオードを作ることができます。

2.1.1. ツェナー降伏とアバランシェ（雪崩）降伏

ツェナーダイオードの逆方向降伏現象は次の 2 つの現象により説明されます。

2.1.1.1. ツェナー降伏

pn 接合に逆方向のバイアス電圧を印加して次第に電圧を増加させると、空乏層内の結晶格子を形成している価電子（最外殻の電子）が強電界のため、格子の結合をが引き裂かれて、自由電子が発生します。 発生した自由電子が高電界により、トンネル現象により価電子帯から伝導帯に移動し、電子と正孔は電極側に引き寄せられて急激に電流が流れるようになります。また、ツェナー降伏は、不純物が高濃度でドーピングされ、逆方向のバイアス電圧が印加されても空乏層が広がりづらい場合に発生します。 5～6 V 以下で降伏が発生する低電圧のツェナーダイオードはこの現象による降伏が支配的となります。

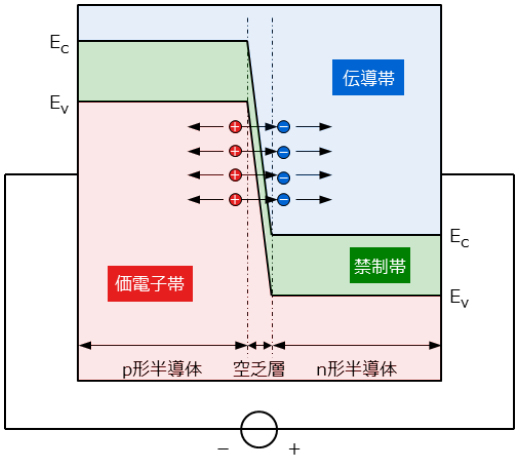


図 2.1　ツェナー降伏

2.1.1.2. アバランシェ降伏

アバランシェ降伏は、電子雪崩降伏、または、雪崩降伏とも呼ばれます。 アバランシェ降伏は、逆方向のバイアス電圧を次第に増加させると、熱的に発生した電子と正孔が空乏層内に発生する強電界によって加速され結晶内の原子と衝突して、価電子をたたき出し、電子と正孔の対を作るようになります。 さらに、この電子正孔対も強電界により加速され別の原子に衝突し価電子をたたき出しさらに電子正孔対を作ります。 この現象がなだれ的に増殖していき、電子と正孔が電極側に引き寄せられて急激に電流を流すようになります。 この現象をアバランシェ降伏と呼んでおり 5～6 V 以上のツェナーダイオードではこの現象による降伏が支配的となります。

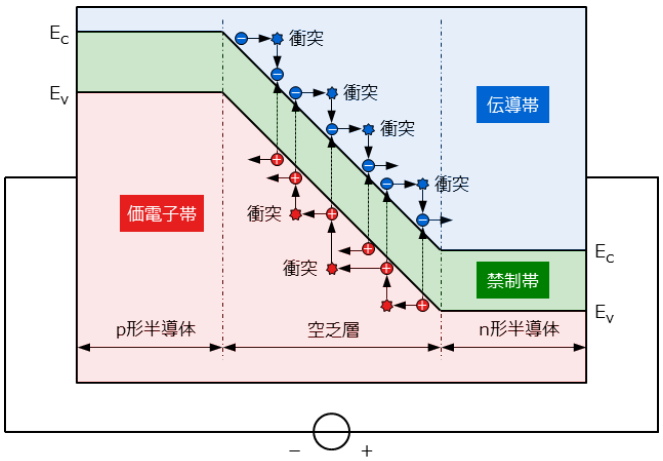


図 2.2　アバランシェ降伏

これらの 2 つの異なったメカニズムによる降伏特性の差は、降伏電圧の温度特性が異なる点に表れます。 ツェナー降伏では降伏電圧の温度特性は負の温度係数を持ち、アバランシェ降伏では正の温度係数となります。

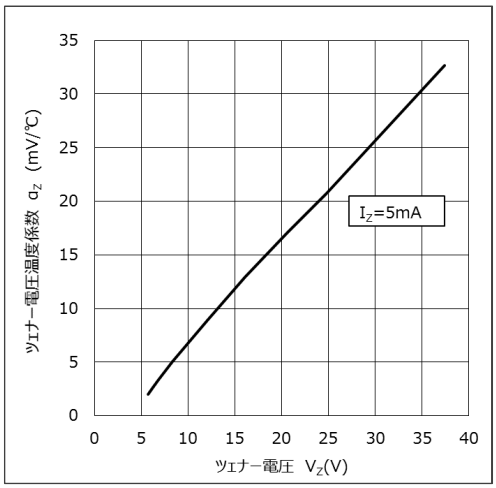


図 2.3　ツェナー電圧による温度係数特性例

2.1.2. ツェナーダイオードの順方向特性

ツェナーダイオードの小電流領域の順方向特性は、一般的な pn 接合ダイオードと同様に式 2-3 で表されます。

$$I_F = I_S \cdot \left(e^{\frac{q \cdot V_F}{K \cdot T}} - 1 \right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2\text{-}3)$$

I_F	:	順電流	(A)
I_S	:	飽和電流	(A)
q	:	電子の電荷 (1.602×10^{-19})	(C)

V_F	:	順電圧	(V)
K	:	ボルツマン定数（1.381×10^{-23}）	($J \cdot K^{-1}$)
T	:	接合温度（絶対温度）	(K)

2.1.3. ツェナーダイオードの逆方向特性

本領域の電圧をツェナー電圧（V_Z）と呼び V_Z の値は n 形半導体の不純物濃度および、pn 接合部の不純物濃度の勾配で決定されます。 I_Z–V_Z 特性を図 2.4 に示します。 ツェナー電圧 V_Z は、流す電流 I_Z により変化するためツェナー電圧ごとに最適な電流を設定する必要があります。

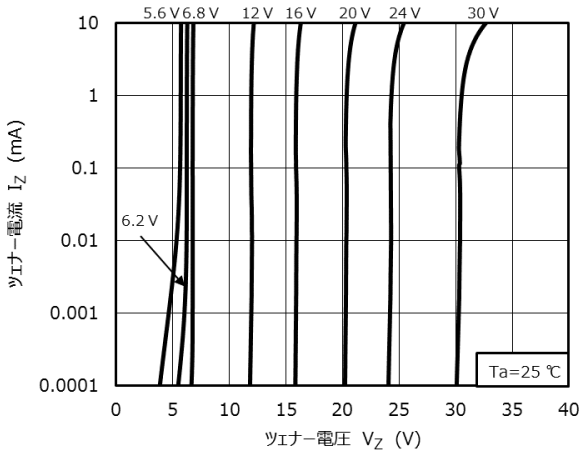


図 2.4　ツェナー電圧毎の I_Z-V_Z 特性例

3. 最大定格

3.1. 最大定格の意義

ダイオードに流し得る電流、印加可能な逆電圧、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。

半導体素子による回路を設計する上で最大定格を認識することは、素子を有効に動作させ、また、目標となる稼動時間に十分な信頼を確保する上からも、非常に大切なことです。

半導体製品の特徴の 1 つは、電気的特性が温度に非常に敏感なことです。 この特徴が最大定格を規定する大きな要因となっています。

例えば、素子に一定の逆電圧を印加した状態で、周囲温度が上昇して接合温度が規定の温度を超えた場合、逆電流が増大します。 この逆電流の増大は、素子が消費する逆電力損失を大きくします。 この電力損失によって、接合部の温度をさらに上昇させ、逆電流を増加させるといった悪循環が生じます。 この悪循環は、半導体素子を破壊させてしまう場合もあります。

絶対最大定格は、素子の寿命と信頼性を保証するために瞬時でも超えてはならない最大値です。 最大値は、素子を構成している材料・チップサイズ・外囲器形状・設計・製造条件によって規定されます。 データシートなどで最大定格と記載している場合、絶対最大定格と言う意味で用いています。

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 つの規格を同時にダイオードに印加することはできません。

なお、各最大定格は特に記載のない場合、室温（T_a=25℃）で規定しています。

3.2. ダイオード共通

以下で示す定格の表は東芝の例です。

3.2.1. 接合温度 T_j

接合温度 T_j は、素子を構成する材料と信頼度によって規定されていますが、接合温度 T_j は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なければなりません。 一般に素子の劣化は、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 を素子固有の定数として式 3-1 の関係が認められています。

項目	記号	定格	単位
接合温度	Tj	150	°C

$$\ln L_m \approx A + \frac{B}{T_j} \qquad \text{(3-1)}$$

L_m	:	平均寿命	(時間)
A	:	素子固有の定数	
B	:	素子固有の定数	
T_j	:	接合温度（絶対温度）	(K)

従って、目標の寿命を達成するための素子の接合温度が決定されます。 また、逆電流の温度依存性は式 3-2 で表されます。

$$\ln I_R \approx A \cdot \left(-\frac{q \cdot V}{2 \cdot K \cdot T_j}\right) \quad \cdots\cdots (3\text{-}2)$$

A	:	素子固有の定数	
q	:	電子の電荷（1.602×10^{-19}）	(C)
K	:	ボルツマン定数（1.381×10^{-23}）	($J\cdot K^{-1}$)
T_j	:	接合温度（絶対温度）	(K)
V	:	印加電圧	(V)

式 3-2 から分かるように高温時の逆電流は大きく、逆電流による電力損失も大きくなります。 一般的な Si（シリコン）ダイオードではこの電力損失により、接合温度が上昇 → 逆電流が増加 → 損失が増加 → 接合温度が上昇という循環を生じて熱暴走を引き起こす場合があります。

この熱暴走を抑制するためにも、接合温度や放熱条件などを十分に考慮する必要があります。

3.2.2. 許容損失 P_D, P

規定の放熱条件において、連続的に素子で消費させることのできる許容損失の最大値です。 許容損失は使用条件（素子が実装される基板の種類やサイズ、周囲温度および放熱条件など）によって変わります。 T_C=25 °C 時の許容損失は周囲温度 T_a=25 °C で素子に無限大放熱器を付けた場合に等しい条件の値です。

項目	記号	定格	単位
許容損失	P_D	1	W

面実装素子や放熱器に取り付けができないスルーホール素子（自立素子）が T_a=25 °C 時に定常状態で動作し、接合温度が安定しているときの許容損失は式 3-3 で求めることができます。

$$P_D = \frac{T_j - 25\ °C}{R_{th(j-a)}} \quad \cdots\cdots (3\text{-}3)$$

P_D	:	許容損失	(W)
T_j	:	接合温度	(°C)
$R_{th(j-a)}$	:	接合-雰囲気間熱抵抗	(°C/ W)

また、過渡状態の許容損失 P_{DP} はデータシートに記載された過渡熱インピーダンス特性により式 3-4 で求められます。

$$P_{DP} = \frac{T_j - 25\ °C}{r_{th(j-a)(t)}} \quad \cdots\cdots (3\text{-}4)$$

$r_{th(j-a)(t)}$: パルス幅 t 時の接合-雰囲気間熱インピーダンス (°C/ W)

なお、放熱器に取り付けることができるスルーホール素子の定常状態と過渡状態の許容損失は、それぞれ式 3-5、式 3-6 で算出することができます。

$$P_D = \frac{T_j - 25\ °C}{R_{th(j-c)}} \quad \cdots\cdots (3\text{-}5)$$

P_D	:	許容損失	
T_j	:	接合温度	(°C)
$R_{th(j-c)}$	:	接合-外囲器間熱抵抗	(°C/ W)

$$P_{DP} = \frac{T_j - 25}{r_{th(j-c)(t)}} \quad \cdots\cdots (3\text{-}6)$$

P_D	:	許容損失	(W)
T_j	:	接合温度	(°C)
$r_{th(j-c)(t)}$	:	パルス幅 t 時の接合-外囲器間熱インピーダンス	(°C/ W)

3.2.3. 保存温度 T_{stg}

保存温度 T_{stg} は、素子を動作させない状態で保存することのできる雰囲気温度範囲で、これはチップ以外に素子を構成する材料の特性と信頼度から規定されます。 また、保存の際には端子の酸化などに十分注意して、保存方法に配慮してください。

項目	記号	定格	単位
保存温度	T_{stg}	-55 ～ 150	°C

3.2.4. 絶縁耐圧 $V_{ISO(RMS)}$, V_{dis}

フルモールド外囲器[*1] 製品において、モールド表面部分と電極端子との 絶縁耐圧を示すものです。 交流電圧を規定時間印加して確認を行います。 絶縁耐圧は交流電圧の実効値で表されます。

*1 :外囲器全体がモールド樹脂で覆われた絶縁外囲器

項目	記号	定格	単位
絶縁耐圧	$V_{ISO(RMS)}$[注 1]	2000	V

注 1 :t=1 s

3.2.5. 締め付けトルク TOR

スルーホール素子（自立素子）をワッシャーを通したネジで放熱器に取り付ける際の最大トルク許容値を示します。 放熱器に素子をネジで取り付けるときは、締め付けトルクを管理する必要があります。 締め付けトルクが低すぎるとネジが緩み放熱性が悪化し、高すぎると素子を破損することになります。

項目	記号	定格	単位
締め付けトルク	TOR	0.6	N·m

各スルーホール素子の締め付けトルク定格を表 1.1 に示します。

表 3-1　スルーホール素子の最大締め付けトルク

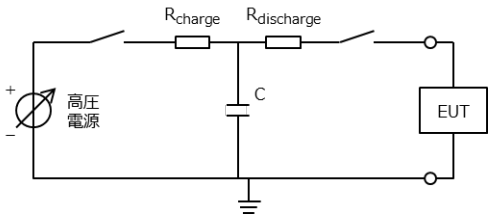
外囲器	最大締め付けトルク
TO-220-2L	0.6 N·m
TO-220F-2L	0.6 N·m
TO-247	0.8 N·m

3.3. TVS ダイオード（ESD 保護用ダイオード）、ツェナーダイオード 共通

3.3.1. 静電気耐量（IEC61000-4-2）（接触放電）V_{ESD}

素子に直接接触した状態で放電する直接放電による静電気耐量を表します。 試験方法と放電波形は、国際電気標準会議（International Electrotechnical Commission：IEC）の IEC61000-4-2 に定められた規格に従っています。

項目	記号	定格	単位
静電気耐量(IEC61000-4-2)(接触放電)	V_{ESD}	±15	kV



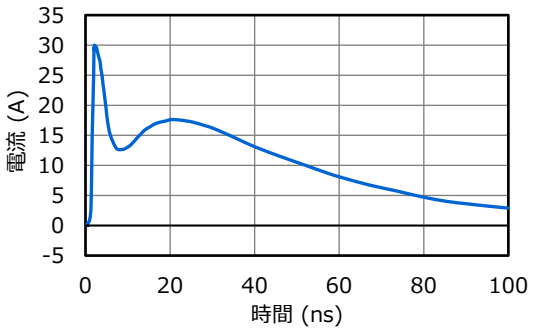


図 3.1　IEC 61000-4-2 試験回路例　　**図 3.2　IEC 61000-4-2 試験波形例**

3.3.2. 静電気耐量（IEC61000-4-2）（気中放電）V_{ESD}

被試験機器と放電端子の間に空気の層を持つ気中放電による静電気耐量を表します。 試験方法と試験波形は 1.4.1 項と同様です。

項目	記号	定格	単位
静電気耐量(IEC61000-4-2)(気中放電)	V_{ESD}	±15	kV

3.3.3. ピークパルス電力（tp = 8/ 20 μs）P_{PK}

TVS ダイオードが損傷を受けずに耐えうる最大のサージ電力を表します。 試験は図 1.7 に示すピーク電流値までの立ち上

がり時間が 8 μs で、ピーク電流の 1/ 2 になる時間が 20 μs の波形を印加して行います。

項目	記号	定格	単位
ピークパルス電力(t_p=8/ 20 μs)	P_{PK}	15	W

3.3.4. ピークパルス電流（tp = 8/ 20 μs) I_{PP}

TVS ダイオードが損傷を受けずに耐えうる最大のサージ電流を表します。 P_{PK} と同様に図 1 .7 の波形を印加して試験を行います。

項目	記号	定格	単位
ピークパルス電流(t_p=8/ 20 μs)	I_{PP}	0.5	A

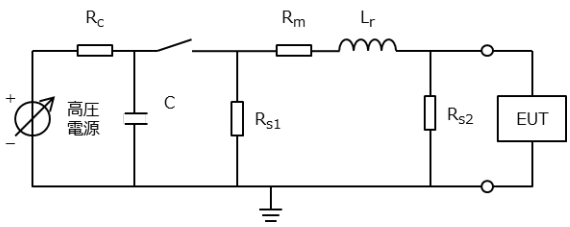


図 3.3 IEC 61000-4-5 試験回路例

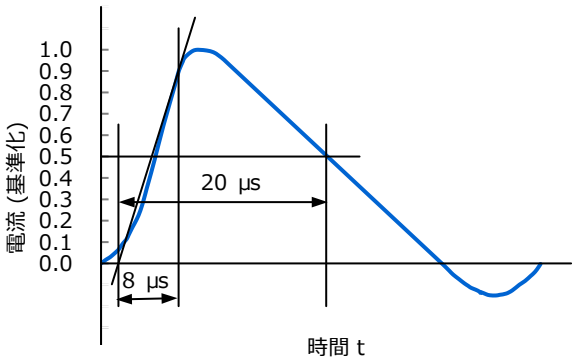


図 3.4 IEC 61000-4-5 試験波形例

3.3.5. 電圧定格

(1) ピーク繰り返し逆電圧 V_{RRM}

T_a=25 °C、または、規定された温度において、繰り返し印加できる逆電圧の最大許容瞬時値です。 商用周波数の正弦波半波電圧の最大値で表されます。

項目	記号	定格	単位
繰り返しピーク逆電圧	V_{RRM}	400	V

(2) ピーク逆電圧，せん頭逆電圧 V_{RM}

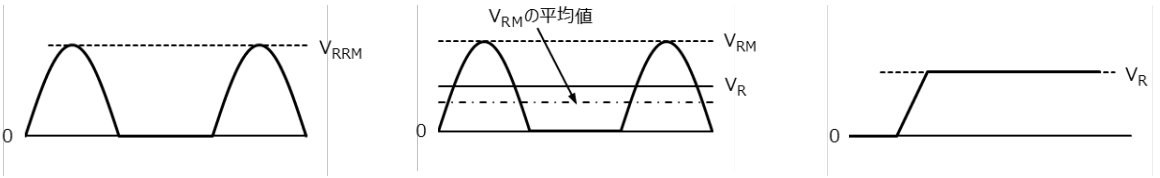
平均電圧が V_R を超えない範囲内において、逆方向に印加できる交流電圧の最大値です。

項目	記号	定格	単位
ピーク逆電圧	V_{RM}	85	V

(3)逆電圧，直流逆電圧 V_R

T_a=25 °C または、規定された温度において、逆方向に印加できる直流電圧の最大値です。

項目	記号	定格	単位
逆電圧	V_R	80	V



ピーク繰り返し逆電圧（V_{RRM}）　ピーク逆電圧（V_{RM}）　直流逆電圧（V_R）

図 3.5　電圧定格の定義

3.3.6. 電流定格

3.3.6.1. 定常動作電流定格

下記に示す定格は、定常動作をしている状態において繰り返し印加が可能ですが、接合温度定格 T_j により制限される電流定格です。

(1) 平均順電流 $I_{F\ (AV)}$

指定された温度で、商用周波数（50 Hz、または、60 Hz）の正弦半波（導通角 180 °）、または、指定された条件で順方向に流すことのできる最大平均電流値、または、指定された条件のもとでの順方向矩形波の平均電流値です。

項目	記号	定格	単位
平均順電流	$I_{F(AV)}$	1	A

(2) 平均整流電流 I_O

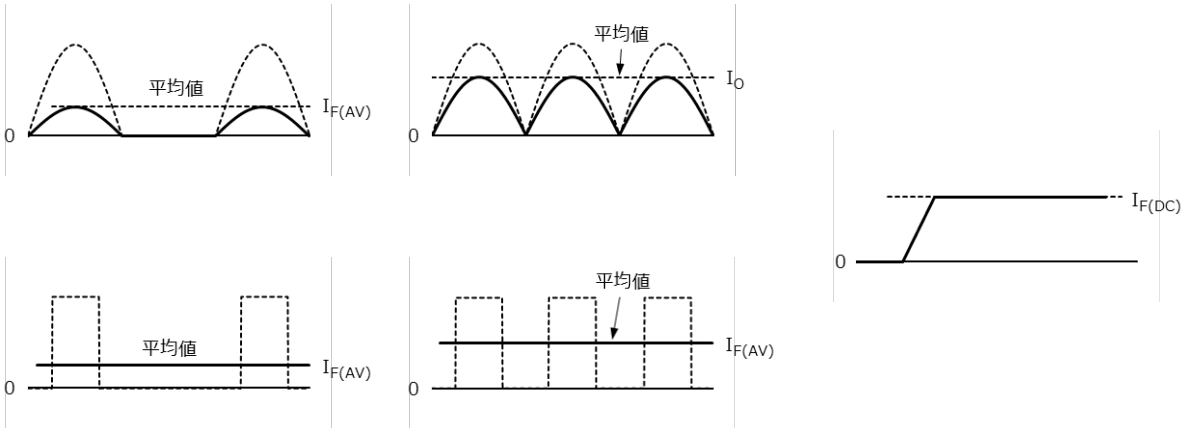
指定された温度で、商用周波数（50 Hz、または、60 Hz）の正弦全波（導通角 360 °）で順方向に流すことのできる最大平均電流値、または、指定された条件のもとでの順方向矩形波の平均電流値です。

項目	記号	定格	単位
平均整流電流	I_O	100	mA

(3) 直流順電流 $I_{F(DC)}$

指定された条件で、順方向に流すことのできる直流電流の最大値です。

項目	記号	定格	単位
直流順電流	$I_{F(DC)}$	12	A



平均順電流 $I_{F(AV)}$　　平均整流電流 I_O　　直流順電流 $I_{F(DC)}$

図 3.6　定常動作電流定格の定義

3.3.6.2. 瞬時パルス電流定格

瞬時のパルス電流定格は、指定された条件で 1 回のみ流すことのできる電流定格であり、繰り返し印加することはできません。 製品寿命中には、ほとんど印加されない電流を想定したものです。

(1) ピーク順電流, せん頭順電流 I_{FM}

指定された温度で、1.3.2.1(2)の平均整流電流 I_O を超えない範囲で流すことのできる交流電流の最大値です。

項目	記号	定格	単位
ピーク順電流	I_{FM}	300	mA

(2) パルス順電流 I_{FP}

指定された条件と指定されたパルス幅にて、順方向に流すことのできる矩形波電流の最大値です。

項目	記号	注記	定格	単位
パルス順電流	I_{FP}	(注 2)	120	A

注 2: t=50μs

(3) 非繰り返しピーク順電流 I_{FSM}

指定された温度で、50 Hz または 60 Hz の商用正弦半波 1 サイクル、10 ms のパルス幅を持つ矩形波、または、指定された条件の電流を順方向に流したときに素子が破壊しない最大電流値です。

項目	記号	注記	定格	単位
非繰り返しピーク順電流	I_{FSM}	(注 3)	97	A

注 3：f=50 Hz（正弦半波 t=10 ms）

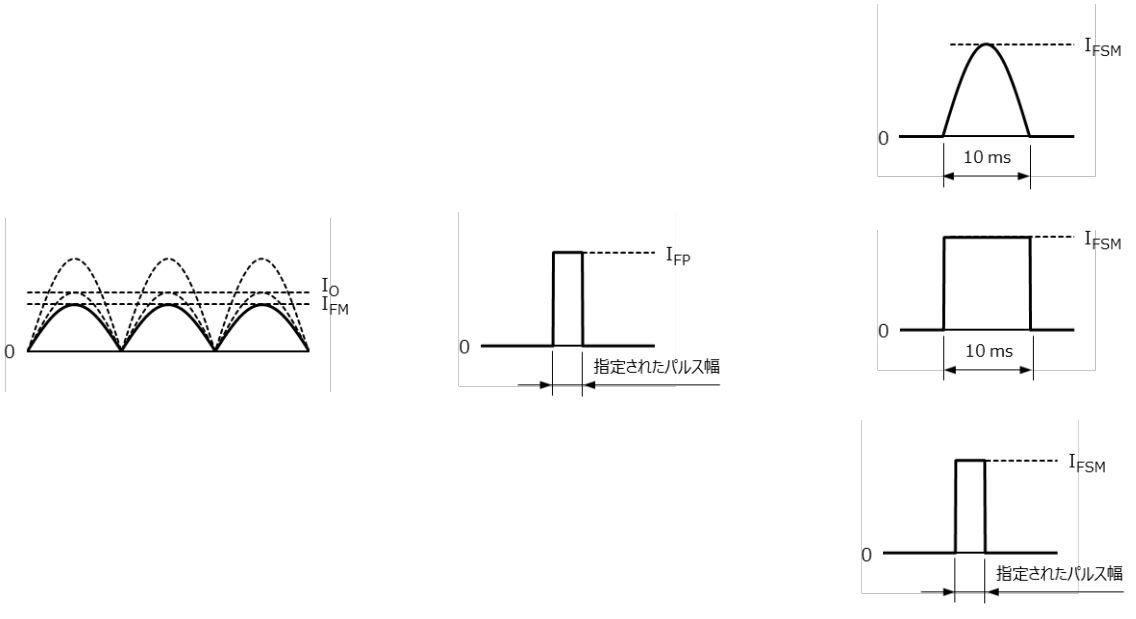
(4) 電流 2 乗時間積 I^2t

10 ms 以下のパルス幅の単発正弦半波で、順方向に流すことのできる非繰り返しの最大電流値です。 式 3-7 より算出することができます。

項目	記号	定格	単位
電流 2 乗時間積	I^2t	18	A

$$I^2t = \left[\frac{I_{FSM\ (50\ Hz)}}{\sqrt{2}} \right]^2 \times 0.01 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3\text{-}7)$$

I	:	通電期間中の電流実効値	(A)
t	:	通電パルス幅	(s)
I_{FSM}	:	非繰り返しピーク順電流	(A)



ピーク順電流，せん頭順電流 I_{FM}　　パルス順電流 I_{FP}　　非繰り返しピーク順電流 I_{FSM}

図 3.7　瞬時パルス電流定格の定義

4. 電気的特性

4.1. TVS ダイオード（ESD 保護用ダイオード）、ツェナーダイオード 共通

4.1.1. ピーク逆動作電圧 V_{RWM} (TVS ダイオード)

TVS ダイオードが非常に高いインピーダンス状態を保持できる逆電圧値です。 保護するラインの最大電圧に対する目安として使用されます。

4.1.2. 逆方向降伏電圧 V_{BR} (TVS ダイオード)

TVS ダイオードのカソードからアノード方向に、指定された逆電流を流したときの逆電圧値です。 この電圧で TVS ダイオードはオンと定義されます。

4.1.3. クランプ電圧 V_C (TVS ダイオード)

TVS ダイオードのカソード-アノード間に、指定されたピークパルス電流を流したときの最大逆電圧値です。 データシートでは、ピークパルス電流 8/ 20 μs での規格を記載しています。 以降に説明するダイナミック抵抗とともに、TVS ダイオードの保護性能を表す指標となります。

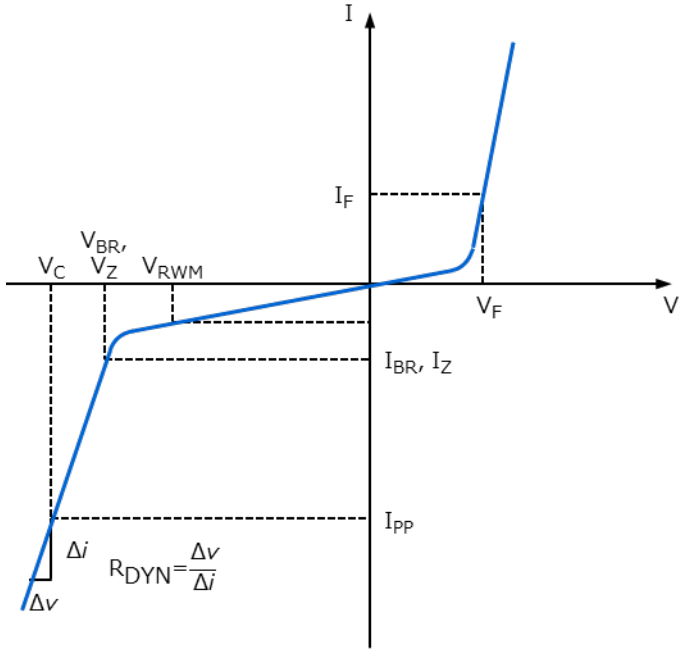


図 4.1　電気的特性の定義

4.1.4. ツェナー電圧 V_Z (ツェナーダイオード)

ツェナーダイオードのカソードからアノード方向に、指定された逆電流を流したときの逆電圧値です。

4.1.5. 順電圧 V_F (ツェナーダイオード)

ダイオードのアノードからカソード方向に、指定された順電流を流したときの順電圧値です。

4.1.6. 逆電流 I_R (TVS ダイオード, ツェーダイオード)

カソードとアノード間に指定の電圧を印加したときに、カソードからアノードの逆方向に流れる電流値です。

4.1.7. ダイナミック抵抗 R_{DYN} (TVS ダイオード, ツェナーダイオード)

TVS ダイオードがオン（ブレークダウン）しているときに大きな逆電流が流れている状態での動作抵抗です。 逆電流の微小変化に対する逆電圧の変化量で求められ、2 つの測定電流値の間で最小二乗法を用いて算出しています。 ダイナミック抵抗は、TLP 試験*3 により測定され、測定条件は各製品のデータシートに準じています。

*3：TLP (Transmission Line Pulse) 試験
矩形波状のパルスを被試験素子に印加して、電圧と電流を測定することにより被試験素子の保護能力を測定する試験です。

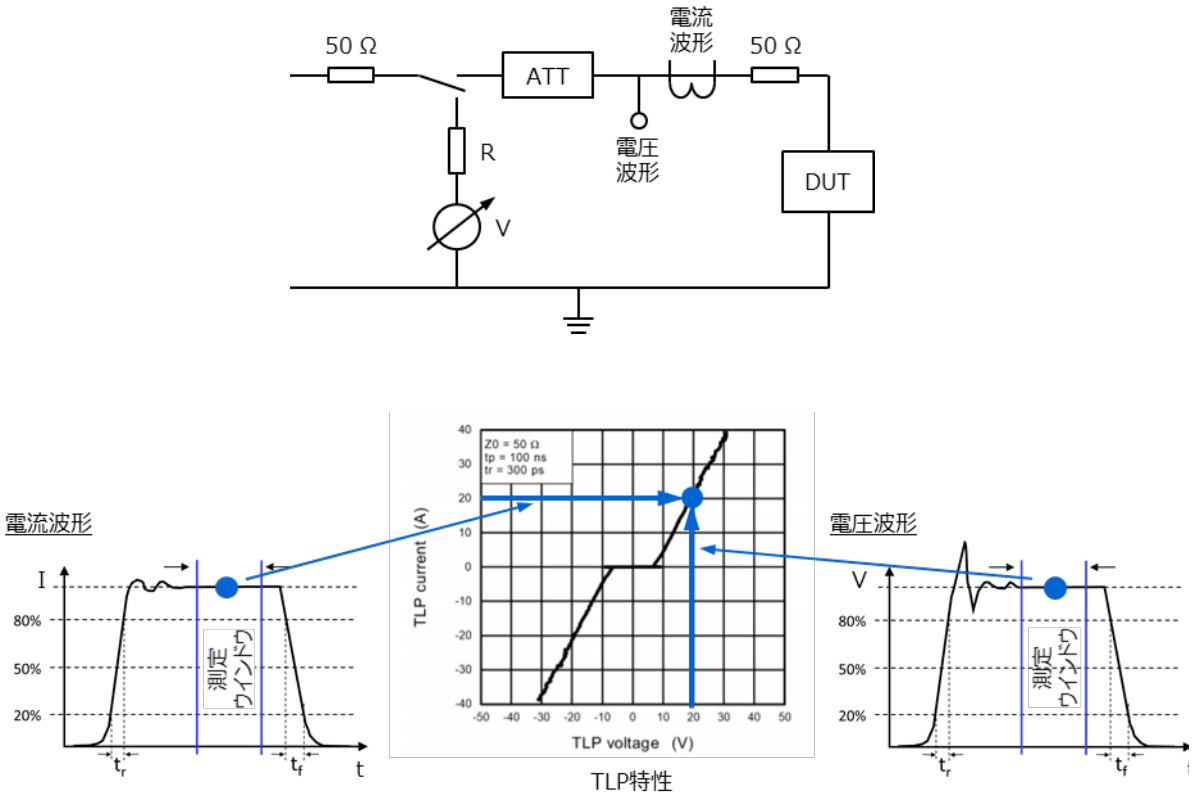


図 4.2　TLP 試験例

4.1.8. 動作抵抗 Z_Z, r_d (ツェナーダイオード)

ツェナーダイオードがブレークダウンしているときの動作抵抗です。 ダイナミック抵抗 R_{DYN} と同様に、逆電流の微小変化に対する逆電圧の変化量で求められます。 降伏時のツェナー電圧の急峻度（傾き）を表す指標になります。

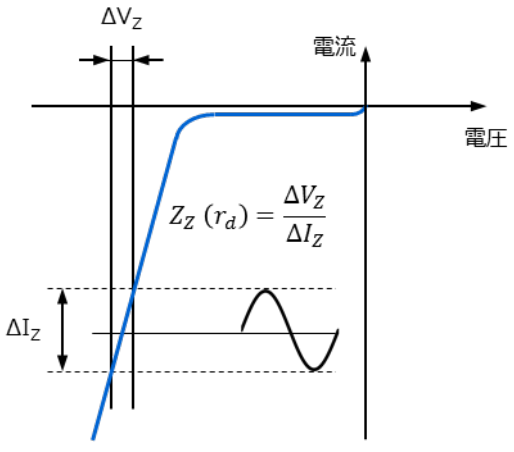


図 4.3　ツェナーダイオードの Z_Z (r_d)

4.1.9. 温度係数 α_T (ツェナーダイオード)

周囲温度に対するツェナー電圧の変化の割合です。 5～6 V のツェナー電圧を境に、降伏の現象が異なります。 一般的に V_Z < 5～6 V ではツェナー降伏が支配的となり負の温度係数を持ちます。 また、V_Z □5～6 V ではアバランシェ降伏により正の温度係数を持ち、V_Z が 5～6 V 付近で温度係数が 0 となるポイントが存在します。

ツェナー電圧の温度係数は、指定された温度 T_1 と T_2 におけるツェナー電圧 V_{Z1}、V_{Z2} から次式で求められます。

$$\alpha_T = \frac{V_{Z2} - V_{Z1}}{T_2 - T_1} = \frac{\Delta V_Z}{\Delta T} \quad (\text{mV/ °C}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2\text{-}2)$$

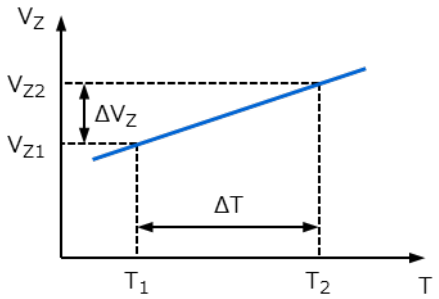


図 4.4　温度係数 α_T の定義

4.1.10. 端子間容量 C_t (TVS ダイオード, ツェナーダイオード)

TVS ダイオード、ツェナーダイオードダイオードのカソード-アノード間に、指定された信号を印加したときの端子間静電容量です。

5. 応用例：線電気放電(ESD)、過電圧サージからの保護

5.1. はじめに

電子機器に使用される半導体は新規プロセスの開発と微細化を進めることで性能改善と小型化を進めてきましたが、予期しない電圧変動に対する耐量は低くなってしまい、静電気放電 ESD（Electro Static Discharge)やサージなど過電圧パルスに対して不利な方向に進んでいます。このため、電子機器に使用される保護素子の重要性が高まっています。

過電圧パルスから対象を保護する ESD 保護用ダイオードとツェナーダイオードの 2 種類の製品をラインナップしていますが、本章ではこれら保護素子の用途や使い方について解説します。

5.2. 電子機器を取り巻く過電圧パルスについて

サージや ESD による過電圧パルスが電気機器の回路に印加されてしまった場合、半導体製品等の部品において絶縁破壊や機能停止、劣化などの要因となります。これら過電圧パルスは図 5.1 のように発生原因により分類され、それぞれパルス幅、電圧が異なっています。次に各々の過電圧パルスについて説明します。

〇静電気放電(ESD)

ESD は正、負逆の電荷が蓄積されている物体(誘電体)が接触や接近する事で発生する放電現象のことです。人体と電子機器が接触して発生する ESD は急激に放電現象が起こることから数千 V に達することもあり、ナノ秒オーダーの短パルスになります。

〇雷サージ

雷を元とする雷サージは直撃雷サージと誘導雷サージに分ける事ができます。直撃雷サージは直接、雷が印加された時のサージを指します。一方誘導雷サージは雷などで発生する電磁パルスの影響を受け、誘導されるサージを指します。直撃雷サージはエネルギーが高く、保護が困難な場合が多いのに対して、誘導雷サージはエネルギーが低く対策は可能です。誘導雷サージは誘導現象を起因としていることから、マイクロ秒オーダーからミリ秒オーダーまで長いパルスとなります。

〇開閉サージ

スイッチやリレーなどのオンオフ(開閉)時、急激な電流変化と回路や配線のインダクタンスにより、誘発される過渡的な過電圧のことを開閉サージといいます。回路内のインダクタンスと容量によって発生することからナノ秒オーダーの短パルスからミリ秒オーダーの長いパルスとなります。

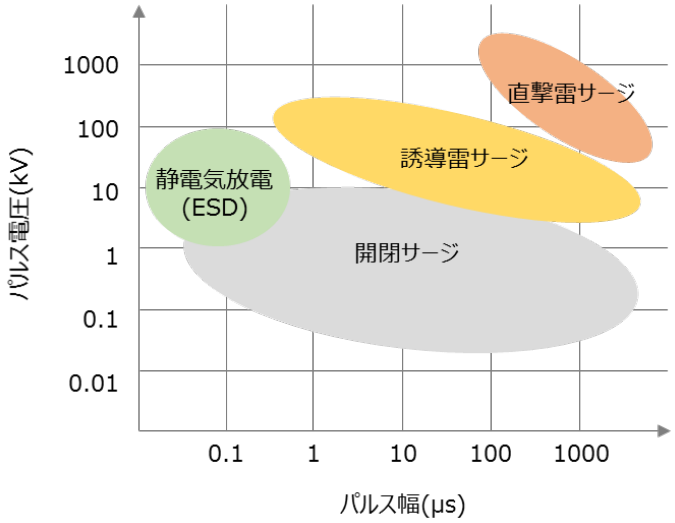


図 5.1　過電圧パルスの分類

5.3. 保護素子について

過電圧パルスに対するダイオードタイプの保護素子の接続方法と動作について説明します。

ダイオードタイプの保護素子は図 3.1 のようにカソードを通電ラインに、アノードを GND に接続します。この時保護素子の降伏電圧は通電ラインと GND 間の電位に対してマージンがあるものを選択します。そうすることで機器の通常動作時では保護素子は動作しませんが、降伏電圧を超えた過電圧パルスが印加された場合、保護素子を介して電流が GND へ流れる事で対象を保護します。

当社は保護素子として ESD 保護用ダイオードとツェナーダイオードをラインナップしており接続方法と動作は同一ですが、それぞれの特徴が違います。次にそれぞれの特徴について説明します。

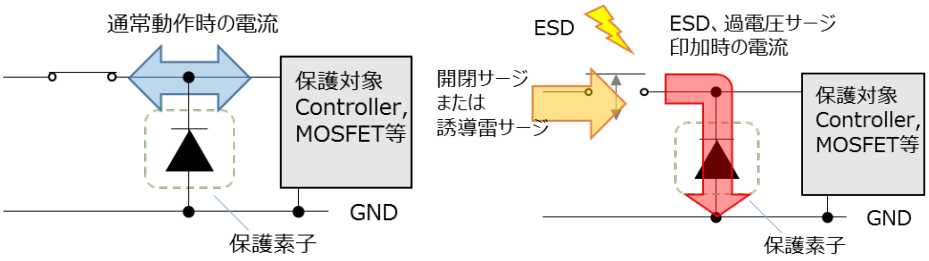


図 5.2　通常動作時と ESD、過電圧サージ印加時における保護素子の動作イメージ

5.3.1. ESD 保護用ダイオードについて

信号ラインでの保護素子に求められる性能として低い端子間容量 C_T であることが重要です。端子間容量が大きいと、信号品位が下がるためです。当社 ESD 保護用ダイオードは標準的な容量帯はもちろん低容量帯も製品化しており図 5.3 の様に多様な製品をラインナップしていることが特徴です。

電気機器への搭載数量が増加している USB や HDMI 等の外部コネクタにおいて物体との接触により発生する可能性が高いことから ESD など過渡的なパルスから対象を保護する事が重要となります。同時に通常動作時は信号周波数が高い場合(USB や HDMI 等)、信号品位を低下させないように部品選定する事が必要です。当社は静電気モデルの IEC61000-4-2 に対応したナノ秒オーダーのパルスから対象を保護する性能に訴求した製品を取り揃えています。さらに近年では誘導雷からの電子機器保護も重要となっておりマイクロ秒オーダーの過電圧モデルである IEC61000-4-5(8/20μs)に対応した製品もラインナップしています。(さらに長い過電圧パルスの保護については次章の過電圧保護に適したツェナーダイオードについて、を参照ください。)

ESD 保護用ダイオードの基礎についてのアプリケーションノートはこちら

Click Here

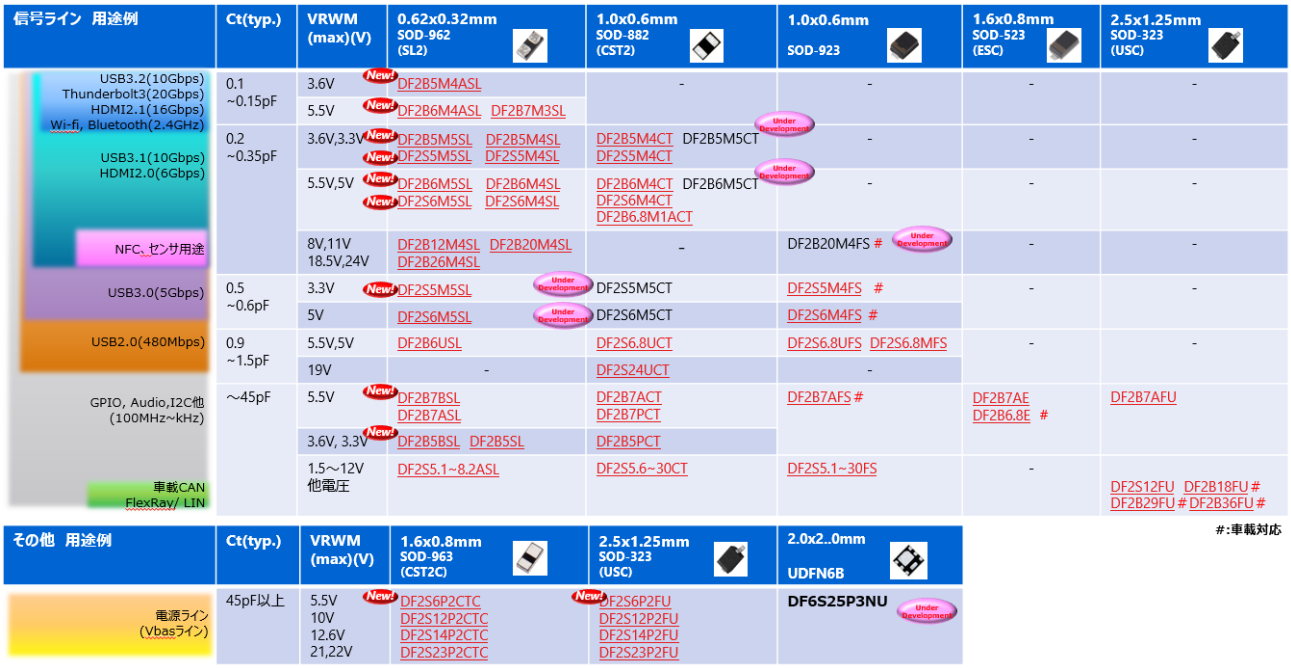


図 5.3　東芝 ESD 保護用ダイオードラインナップ(シングル品)

5.3.2. 過電圧保護に適したツェナーダイオードについて

当社ツェナーダイオードは過渡的な過電圧パルスはもちろん、ESD 保護用ダイオードでは保護が難しい DC に近い過電圧パルスからも対象を保護できることが特徴です。

回路設計において考慮すべき過電圧パルスとして ESD 以外にパルス幅の長い(マイクロ秒からミリ秒オーダー)誘導雷サージや開閉サージがあります。このようなパルス幅の長い過電圧パルスから対象を保護するためには想定されるサージエネルギーに応じた製品を選択する必要があります。図 5.4 の様な過電圧パルスの場合、図のグレー部分はツェナーダイオードへ通電されることになるため、電力を許容できるか確認する必要があります。式 5.3.1 を利用し方形波近似し、パルス幅を求めてください。製品ごとのサージ電力耐量は図 5.5 の様に設定されており、方形波近似後の t_W におけるツェナーサージ電力耐量が設計上問題ないかご確認ください。

$$t_W = \frac{1}{P_P}\int_0^{t_1} P_{Z(t)}dt \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{式 5.3.1}$$

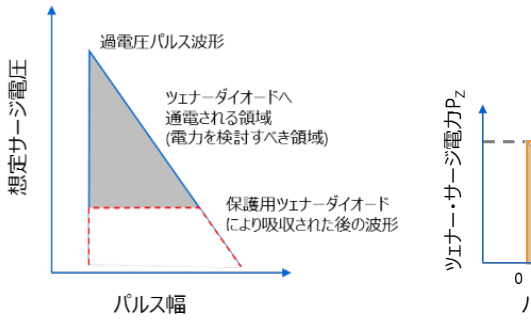


図 5.4　サージ波形から方形波近似したパルス幅の導出例

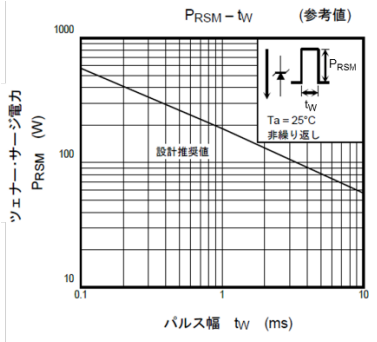


図 5.5　サージ電力耐量例

用途例	Ct(typ.)	ツェナー電圧 $V_{Z\,typ}$(V)	1.0x0.6mm SOD-523 (ESC)	2.5x1.25mm SOD-323 (USC)	2.0×2.1mm SOT-323 (USM)	2.9x2.5mm SOT-346 (S-mini)
低電圧保護	125	5.6	CEZ5V6	CUZ5V6	MUZ5V6	MSZ5V6
5V電源ライン	105	6.2	CEZ6V2	CUZ6V2	MUZ6V2	MSZ6V2
5V電源ライン	88	6.8	CEZ6V8	CUZ6V8	MUZ6V8	MSZ6V8
9V電源ライン	44	12	CEZ12V	CUZ12V	MUZ12V	MSZ12V
12V電源ライン	35	16	CEZ16V	CUZ16V	MUZ16V	MSZ16V
20V電源ライン	26	24	CEZ24V	CUZ24V	MUZ24V	MSZ24V

図 5.6　保護用の小型ツェナーダイオードラインナップ

その他中型ツェナーダイオードを含んだラインナップはこちら

Click Here

5.4. まとめ

本資料では過電圧パルスの種類と弊社ラインナップの保護素子として図 4.1、表 4.1 の様にそれぞれに対応した ESD 保護用ダイオードとツェナーダイオードをご紹介いたしました。ESD やサージなどの過電圧パルスから対象を保護するためには用途に応じた保護素子の選択が重要です。本資料で紹介させていただいた保護素子をご活用いただき過電圧パルスに対する不具合リスク低減を実現いただければ幸いです。今後とも当社保護素子のご愛顧の程、お願い申し上げます。

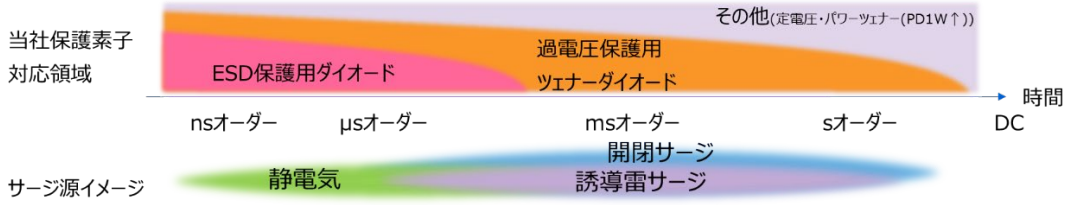


図 5.7　ESD 保護用ダイオードと過電圧保護に適したツェナーダイオードの対応領域

表 5-1　ESD 保護用ダイオードとツェナーダイオードの特徴まとめ

	ESD 保護用ダイオード	ツェナーダイオード
主な用途	マイクロ秒オーダー以下の過電圧パルスから対象保護が目的。※1	マイクロ秒以上の過電圧パルス保護 (ESD 保護用途も可能※1)
端子間容量※2	0.12pF～600pF	100pF～600pF(今後ラインナップ予定)
使用箇所例	USB、HDMI 等コネクタ用※3	電源ライン、電源制御ライン
備考	1pF 以下の低容量な製品を中心にラインナップ。	許容損失以内であれば DC に近い過電圧パルスからも保護可能。

※1 準拠規格：IEC61000-4-2、IEC61000-4-5(8/20μs 条件)

※2 5V ライン保護用

※3 一部誘導雷サージからを想定した 8/20μs のパルスからの保護用の電源ライン向け製品有り

ESD 保護用ダイオードのご紹介ページはこちら　Click Here

ツェナーダイオードのラインナップはこちら　Click Here

ESD保護用ダイオードの基礎についてのアプリケーションノートはこちら

→　Click Here

スイッチングダイオードのパラメトリックサーチはこちら → Click Here

整流ダイオードのパラメトリックサーチはこちら → Click Here

ショットキーバリアダイオードの製品ページはこちら → Click Here

ショットキーバリアダイオードのパラメトリックサーチはこちら → Click Here

SiC ショットキーバリアダイオードの製品ページはこちら → Click Here

SiC ショットキーバリアダイオードのパラメトリックサーチはこちら → Click Here

TVS ダイオード（ESD 保護用ダイオード）の製品ページはこちら → Click Here

TVS ダイオード（ESD 保護用ダイオード）のパラメトリックサーチはこちら → Click Here

ツェナーダイオードの製品ページはこちら → Click Here

ツェナーダイオードのパラメトリックサーチはこちら → Click Here

SiC ショットキーバリアダイオード（アプリケーションノート）はこちら → Click Here

絶対最大定格と電気的特性:SiC ショットキーバリアダイオード（アプリケーションノート）はこちら → Click Here

昇圧回路用ショットキーバリアダイオードの選定方法（アプリケーションノート）はこちら → Click Here

ESD 保護用ダイオード(TVS ダイオード)の基礎（アプリケーションノート）はこちら → Click Here

過電圧対策に有効なツェナーダイオードと ESD 保護用ダイオード（アプリケーションノート)はこちら → Click Here

ダイオードの FAQ はこちら → Click Here

リファレンスデザインはこちら → Click Here

製品取り扱い上のお願い

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エア、ソフトウエ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、お客様のハードウエア・ソフトウエア・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。