

**TOSHIBA**

e-ラーニング

# TVSダイオード (ESD保護用ダイオード) の基礎

東芝デバイス&ストレージ株式会社

# 1. TVSダイオード (ESD保護用ダイオード) とは

ESD保護用ダイオードはツェナーダイオードの一種です。

ダイオードは、逆電圧をかけてもほとんど電流 (カソードからアノード)は流れませんが、ある一定の電圧 (逆降伏電圧) を超えると急激に電流が流れます。また、電流に関わらずある一定の電圧が得られます。ツェナーダイオードはこの逆降伏電圧特性を利用して定電圧回路の構成やサージ電圧の吸収に利用されます。定電圧を得る目的で使用されるのが定電圧ダイオードであり、エネルギーを吸収し回路を保護する目的で使用されるのがESD保護用ダイオードです。

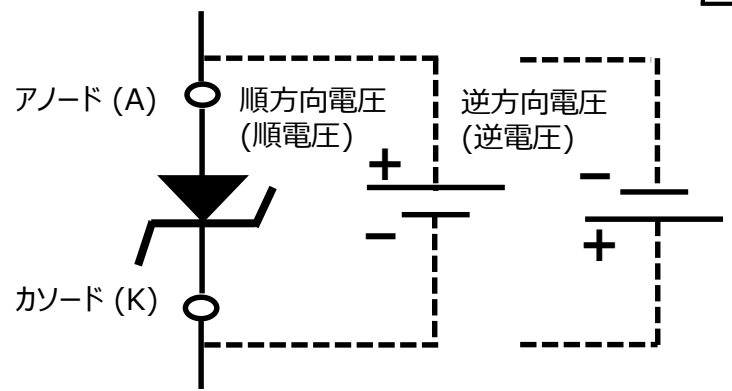
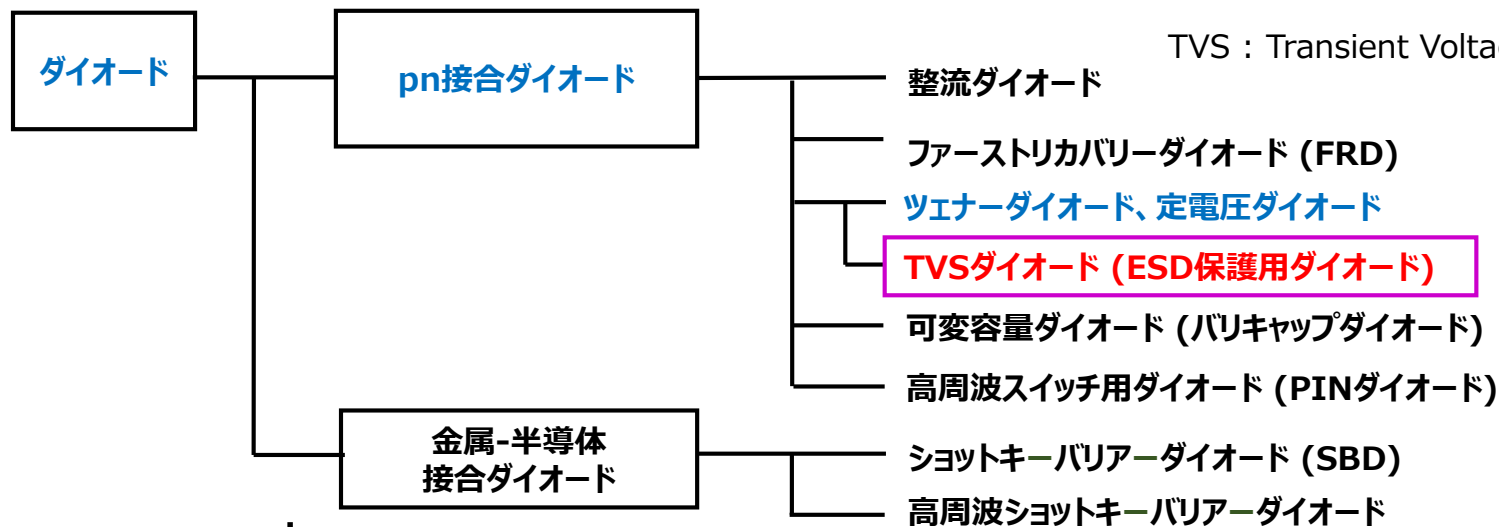


図1.1 ツェナーダイオード印加電圧

TVS : Transient Voltage Suppressor

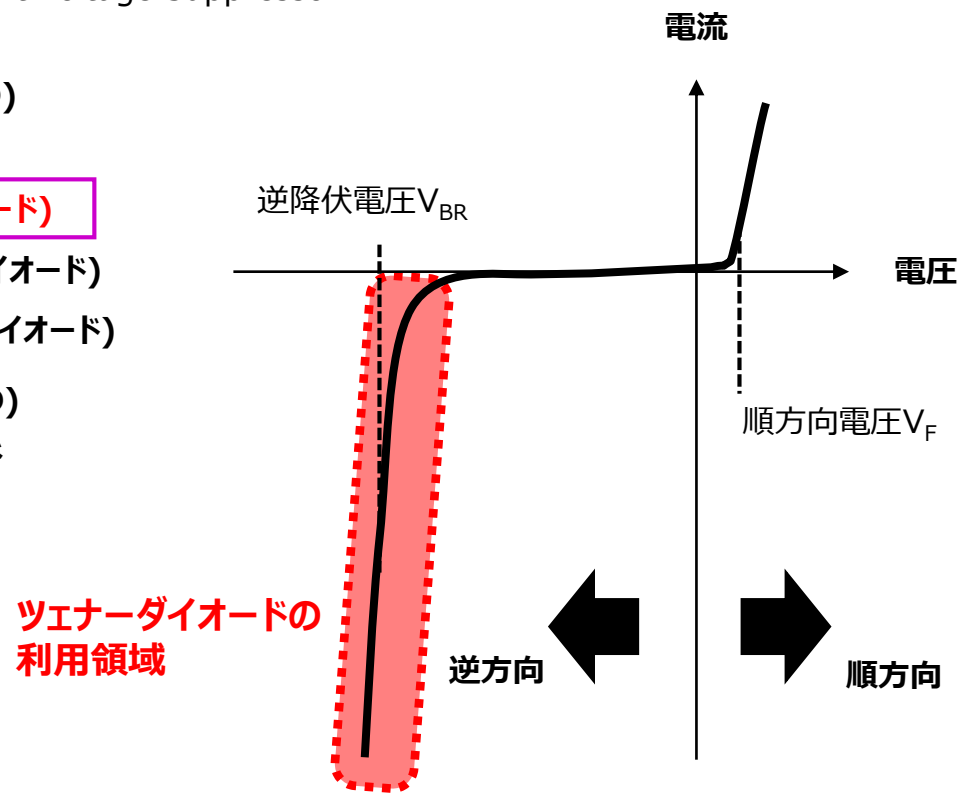


図1.2 ダイオード特性

# 1-1. 逆降伏電圧について

逆降伏電圧にはツェナー降伏によるものとアバランシェ降伏によるものがあります。

## ツェナー降伏

pn接合の逆電圧による電界により、空乏層でのp領域の価電子帯とn領域の伝導帯との距離が近くなり、p領域価電子帯の電子が量子力学的なトンネル効果によりn領域の伝導帯に通り抜けるようになります。トンネル効果による電流が増大していく現象をツェナー降伏といいます。

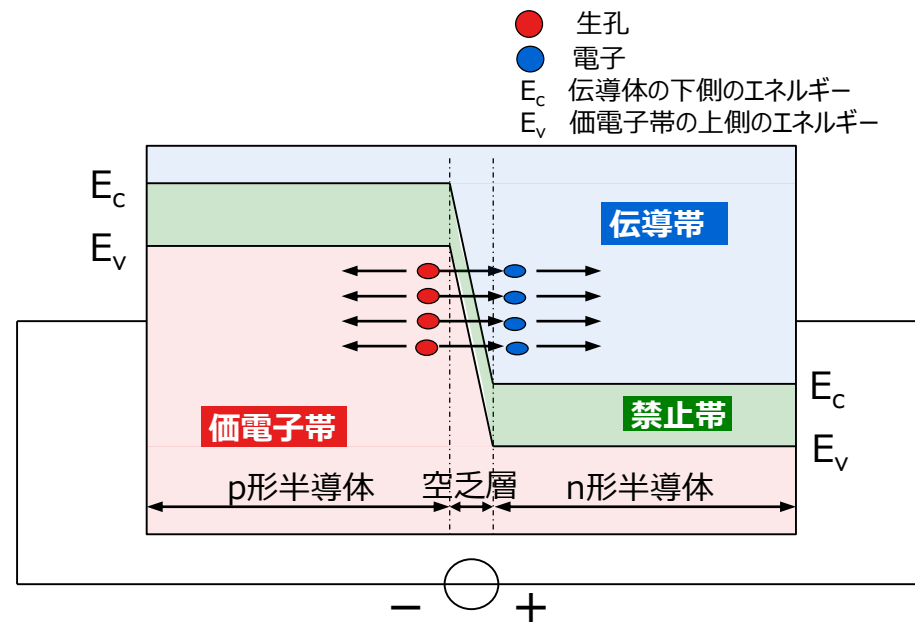


図1.3 ツェナー降伏

# 1-1. 逆降伏電圧について

逆降伏電圧にはツェナー降伏によるものとアバランシェ降伏によるものがあります。

## アバランシェ降伏

pn接合に逆電圧を印加すると僅かですが電子が流れます。この電子は空乏層中で電界により加速され大きな運動エネルギーを持ちます。この加速された電子が結晶格子を構成する原子に衝突すると、原子はイオン化し正孔となり電子は伝導帯へ励起して自由電子となります。生成された自由電子も同様に加速され“雪崩”的に電子・正孔対を生成急激に増大します。この現象をアバランシェ降伏 (なだれ降伏) と呼びます。

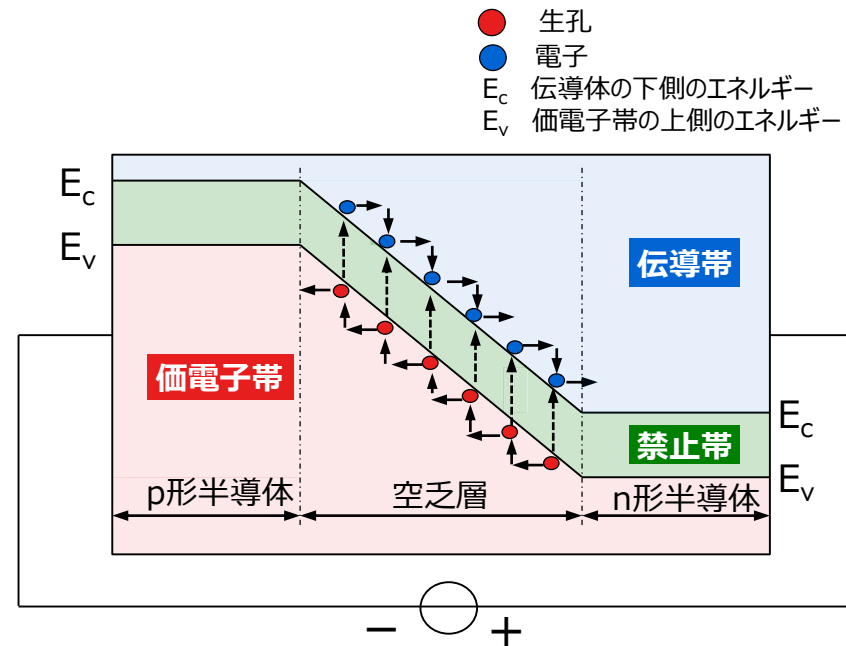


図1.4 アバランシェ降伏

# 1-1. 逆降伏電圧について

逆降伏電圧にはツェナー降伏によるものとアバランシェ降伏によるものがあります。

## アバランシェ降伏とツェナー降伏の比較

降伏電圧の高い製品は半導体の不純物濃度が低いため空乏層（禁制帯）が広く、低い製品は不純物濃度が高いため空乏層（禁制帯）が狭くなっています。空乏層が広いと通り抜ける距離が広がるためトンネル効果（ツェナー降伏）が起こりにくくなり、アバランシェ降伏が支配的になります。不純物濃度が高く空乏層が狭いとツェナー降伏が生じやすくなります。温度の上昇に対して半導体は禁制帯幅 $E_g$ が狭まり、ツェナー効果は発生しやすくなります。また温度上昇に対し半導体の結晶振動は激しくなりキャリアの移動度が低下します。このことによりアバランシェ降伏は起きにくくなります。ツェナー降伏電圧は負の温度特性、アバランシェ降伏電圧は正の温度特性を持ちます。一般的に、この2つの現象は降伏電圧6V前後に境界があり、低い場合はツェナー降伏、高い場合はアバランシェ降伏が支配的になります。従って同じ製品系列でも温度特性が異なることがあるので注意が必要です。

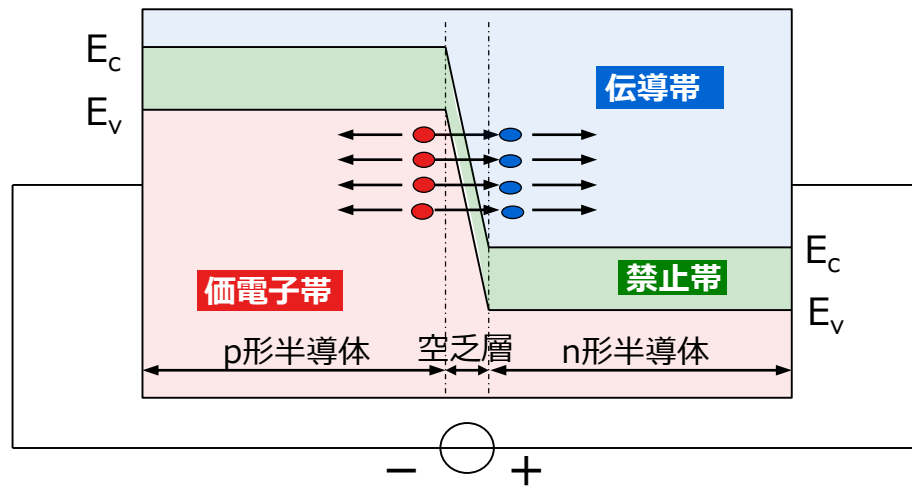


図1.3 ツェナー降伏

- 生孔
- 電子
- $E_c$  伝導帯の下側のエネルギー
- $E_v$  価電子帯の上側のエネルギー

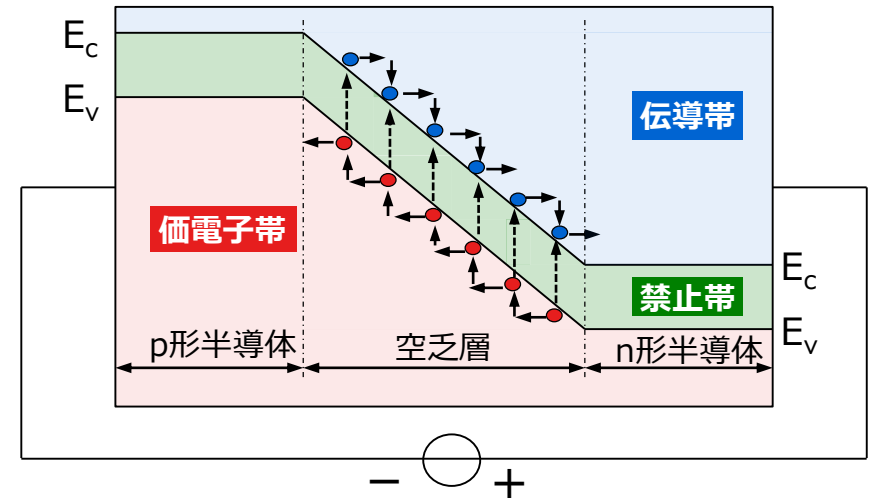


図1.4 アバランシェ降伏

## 1-2. 保護用ダイオードの使い分け (ESD保護用ダイオードと保護用ツェナーダイオード)

ESD保護用ダイオードはツェナーダイオードの一種で過電圧サージ保護、特に静電気放電 (ESD) に特化した製品です。主として短いパルス幅のESDや数マイクロ秒以下となる一部の誘導雷サージや開閉サージからの保護を行います。ツェナーダイオードのうちESDよりパルス幅が長く大きなサージに対する保護に特化したものを保護用ツェナーダイオードと呼んでいます。この保護用ツェナーダイオードはマイクロ秒以上の誘導雷サージや開閉サージなどの過電圧パルスからの保護に適しています。

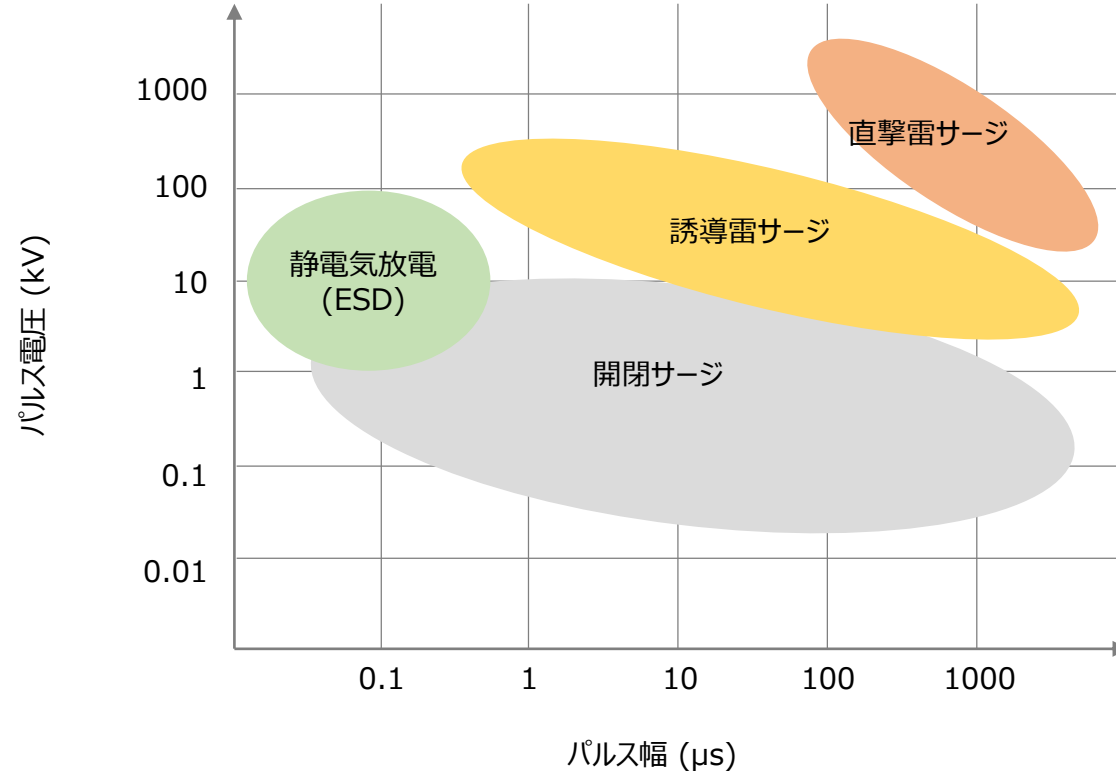


図1.5 過電圧パルスの分類

## 1-2. 保護用ダイオードの使い分け (ESD保護用ダイオードと保護用ツェナーダイオード)

ESD保護用ダイオードはツェナーダイオードの一種で過電圧サージ保護、特に静電気放電 (ESD) に特化した製品です。主として短いパルス幅のESDや数マイクロ秒以下となる一部の誘導雷サージや開閉サージからの保護を行います。ツェナーダイオードのうちESDよりパルス幅が長く大きなサージに対する保護に特化したものを保護用ツェナーダイオードと呼んでいます。この保護用ツェナーダイオードはマイクロ秒以上の誘導雷サージや開閉サージなどの過電圧パルスからの保護に適しています。

表1.1 サージ種類

サージ種類	内容説明
静電気放電 (ESD)	ESDは人体や物体の持つ浮遊容量に蓄積した電荷が接触や接近する事で放電する現象のことです。ESDは数千Vに達することもあります。ナノ秒オーダーの短パルスで以下の2つに比べるとエネルギーは低くサージ吸収面での対策は比較的容易です。湿度が低いときは発生頻度が高くなります。特に最近スマートフォンなどの移動体機器の普及に伴い、ESDが原因となる誤動作が問題となり対策が重要になってきています。
誘導雷サージ	誘電雷サージは雷などで発生する電磁パルスの影響を受け、電源ラインや通信ラインなどの長い配線のインダクタンスに誘導されるサージを指します。誘電雷サージも数千Vに達する高電圧のサージで、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る大きなエネルギーを持つサージです。ESDに比べ対策を行う箇所は限定されますが、対策に使用する部品も高エネルギーを流すことのできる比較的大きな素子となります。誘電雷サージ以外に、雷が直撃して発生するサージを直撃雷サージと呼びます。こちらはエネルギーが高く保護対策は困難です。
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、電圧はESDや雷サージに比べ高くはありませんが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。ただし、パルスが長いのでESDよりエネルギーが高いサージです。回路内のインダクタンスと容量の大きさによりデバイスを選択します。



## 1-2. 保護用ダイオードの使い分け (ESD保護用ダイオードと保護用ツェナーダイオード)

過電圧サージ保護、特に静電気放電 (ESD) に特化し、主に信号ラインで信号波形に影響を及ぼすことなくESD保護を可能にした製品がESD保護用ダイオードで、容量は0.12~100 pFになっています。保護用ツェナーは高いサージエネルギーに対応するためにジャンクション面積が広く端子間容量 $C_t$ が100 pF~600 pFとなっており誘導雷サージや開閉サージの保護が可能です。表1.2に過電圧パルスの種類に対する適応性イメージを示します。

表1.2 各サージに対する効果のイメージ

	特徴比較	目的	各サージ対応			
			ESD	開閉サージ	誘導雷サージ	直撃雷サージ
ESD保護用ダイオード	$C_t$ : 0.12~100 pF	マイクロ秒オーダー以下の過電圧パルスから対象保護	◎	△	△	×
保護用ツェナーダイオード	$C_t$ : 100~600 pF	マイクロ秒以上の過電圧パルス保護 (ESD保護用途も可能)	○	◎	○	×

注) 当社製品におけるイメージ



# 1-3. 保護用ダイオード (ESD保護用ダイオード、保護用ツェナー) と定電圧ダイオードの違い

保護ダイオードはツェナーダイオードの1種です。ツェナーダイオードは保護用ダイオード以外に定電圧ダイオードとしての使い方があり、保護用ダイオードはESDなど過渡的なパルス発生時に対象を保護する動作に特化しています。これに対し定電圧ダイオードは降伏状態で常に電流を流して使用します。

## 保護用ダイオード

電圧クランプ型のサージ保護素子として使用します。異常な電圧が入力されたとき動作する事を想定しています。

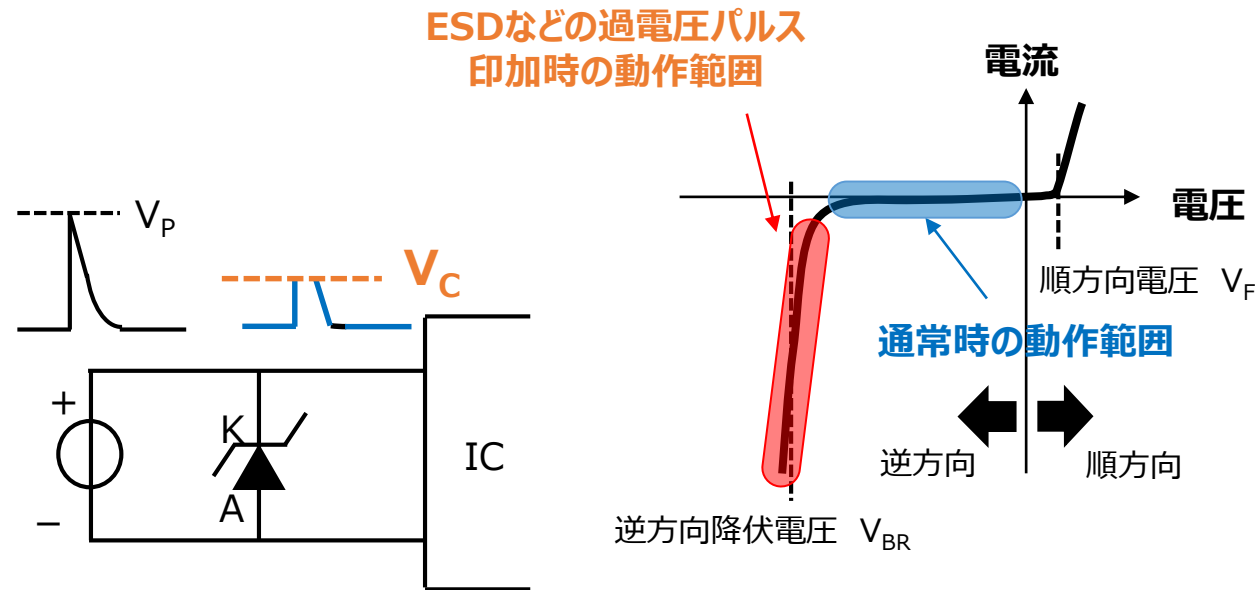


図1.6保護用ダイオードの動作  
(ツェナーダイオードの使用例)

## 1-3. 保護用ダイオード (ESD保護用ダイオード、保護用ツェナー) と定電圧ダイオードの違い

保護ダイオードはツェナーダイオードの1種です。ツェナーダイオードは保護用ダイオード以外に定電圧ダイオードとしての使い方があります。保護用ダイオードはESDなど過渡的なパルス発生時に対象を保護する動作に特化しています。これに対し定電圧ダイオードは降伏状態で常に電流を流して使用します。

### 定電圧ダイオード

K-A間に微小な電流 ( $I_Z$ )を流すことで発生する電圧を定電圧源 ( $V_Z$ )として使用します。印加できる電力は製品、基板による許容損失で制限されます。

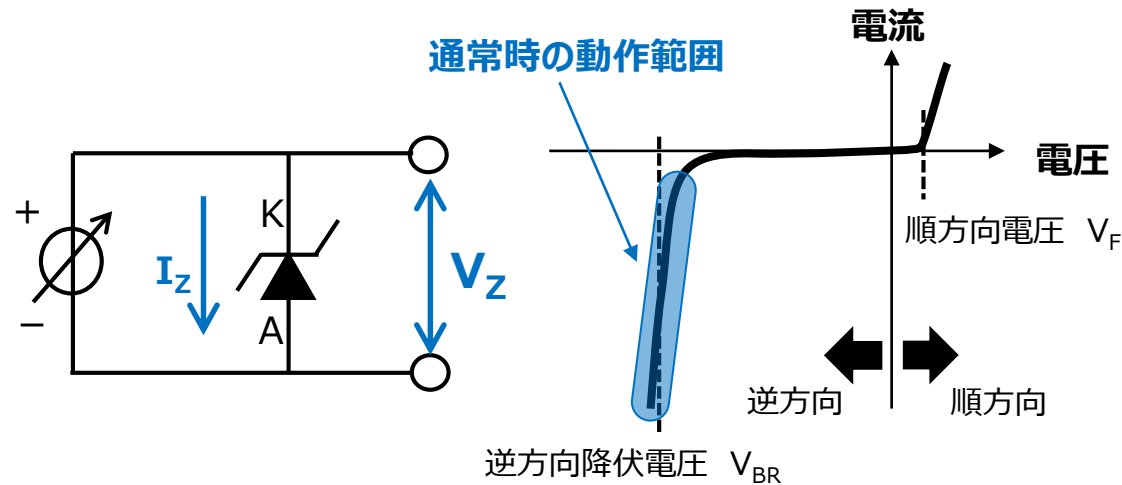
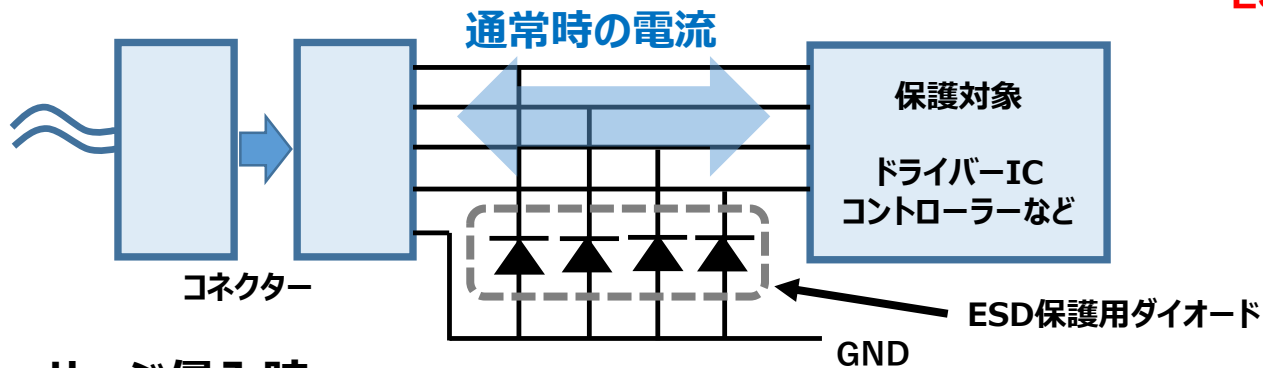


図1.7 定電圧ダイオードの動作

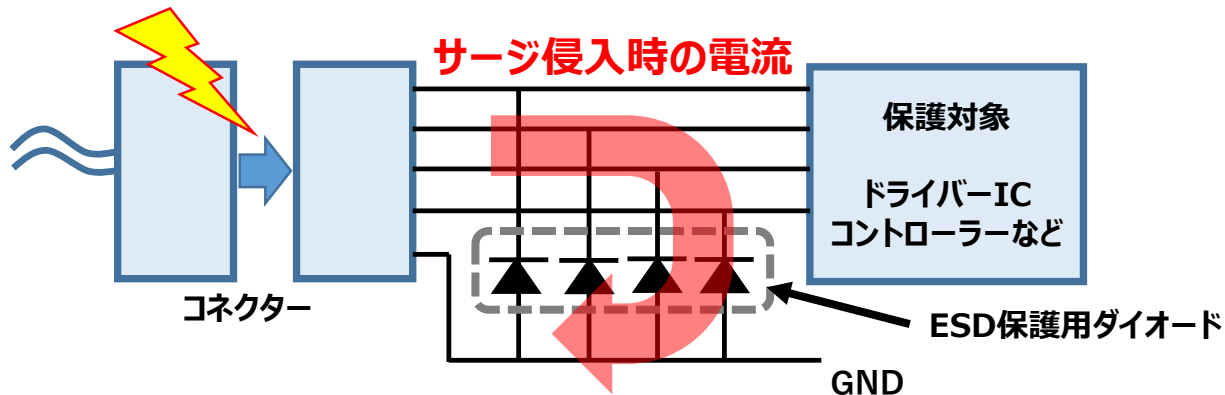
## 2. TVSダイオード (ESD保護用ダイオード) の基本動作

ESD保護用ダイオードはサージ電圧から対象素子を保護するために侵入経路の信号ラインとGND間に挿入します。通常時の動作 (サージ侵入なしの状態) ではESD保護用ダイオードの逆方向降伏電圧 $V_{BR}$ は信号ラインの電圧より高く設定するためESD保護用ダイオードにはごく微小な電流 $I_R$ が流れるのみで電流はほとんど流れません。信号ラインに逆方向降伏電圧 $V_{BR}$ 以上のサージ電圧が侵入するとESD保護用ダイオードには過大な電流が流れサージ電圧は逆方向降伏電圧 $V_{BR}$ 以下に抑えられます。

### 通常動作時 (サージが侵入していないとき)



### サージ侵入時



### ESDパルス侵入時の動作範囲

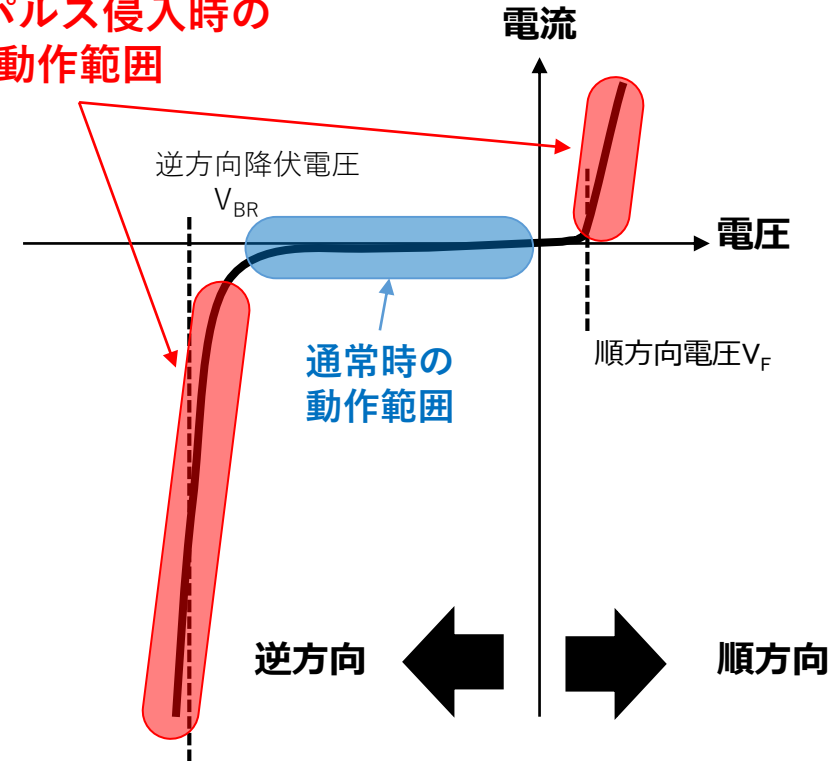


図2.1 ESD保護用ダイオードの使用例と基本動作

## 2-1. 等価回路イメージおよび効果

### 通常動作時

ESD保護用ダイオードは、通常、信号ライン-GND 間に配置されます。そのため、定常状態の動作ではダイオードはキャパシタンスとして見えます。このキャパシタンスが信号ラインのレジスタンスとLPF (Low Pass Filter) を形成するため、信号速度 (特に高速信号USB3.0 やUSB3.1 など) によっては、信号ロス (挿入損失: Insertion Loss (以下IL)) が生じ信号品質を劣化させることになります。

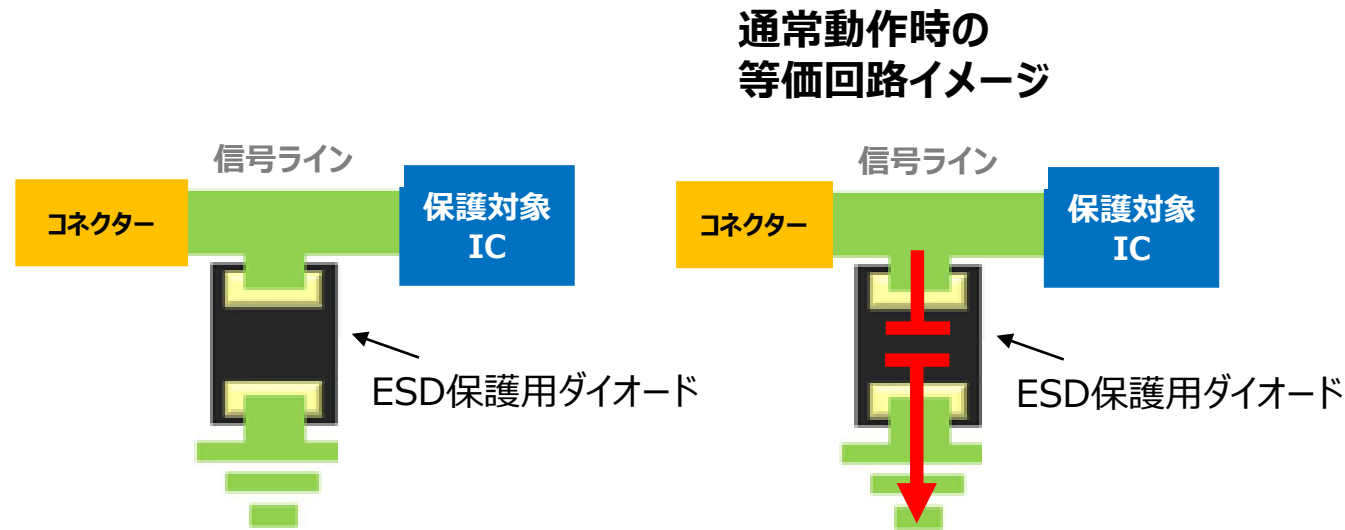


図2.2 ESD保護ダイオード の等価回路イメージ

## 2-1. 等価回路イメージおよび効果

### サージ侵入時

サージや外乱ノイズ侵入時は、ESD保護用ダイオードの有無により後段素子 (IC など) への影響度が大きく異なります。ESD保護用ダイオードがない場合は、侵入したサージ電流がダイレクトに後段素子にかかり誤動作や破壊に至ります。一方で、ESD保護用ダイオードがある場合は、サージ電流をESD保護用ダイオードがサージ電流をグランドに逃がします。この逃がしやすさを示す指標がESD保護用ダイオードの動的抵抗 (ダイナミック抵抗:  $R_{dyn}$ ) です。この動的抵抗が低ければ低いほど、サージ電流をよりグランドへ流すことができます。また、そのダイナミック抵抗間 (両端) に発生する電圧 (クランプ電圧) を抑えることができます。よって後段素子への残留電流 (吸収できなかったサージ電流) を抑えることができ、後段素子を保護する性能が向上します。

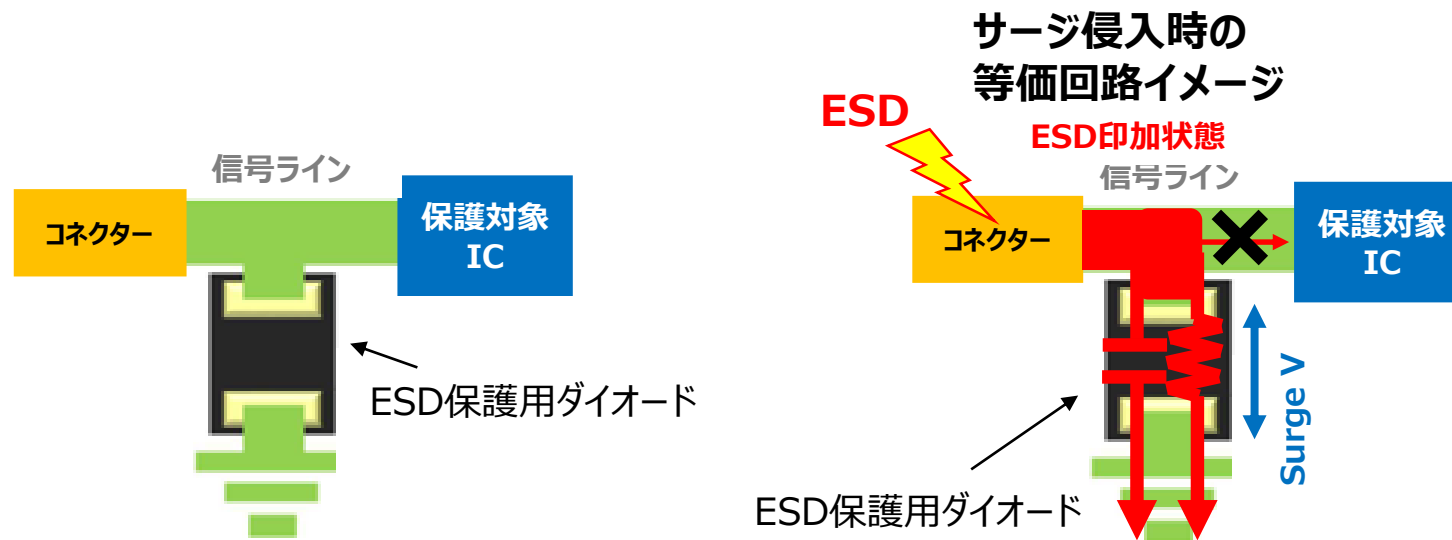


図2.2 ESD保護ダイオード の等価回路イメージ

# 3. TVSダイオード (ESD保護用ダイオード) の重要特性

## 3-1. 通常動作時 (ESD パルス非侵入時) の重要特性

ESD保護用ダイオードは逆方向に接続され、通常動作時は逆方向降伏電圧 $V_{BR}$  以下ですのでESD保護用ダイオードは動作しません。この電圧範囲ではダイオードのpnジャンクション部分に空乏層が生じ、コンデンサーとして動作しています。通常動作時の動作に対してESD保護用ダイオードを選択するときに気を付ける点は、以降で説明する以下の3点です。

**3-1-①** 保護する信号ラインの信号振幅 (最大電圧) に対して、適切な逆方向降伏電圧 $V_{BR}$  を持っているか？

**3-1-②** 保護する信号ラインの周波数に対して、適切な端子間容量 $C_T$  を持っているか？

**3-1-③** 信号の極性 (アナログ信号のようにGND をまたがる信号か？)

# 3-1. 通常動作時 (ESDパルス非侵入時) の重要特性①

## 3-1-① 保護する信号ラインの信号振幅 (最大電圧) に対して、適切な逆方向降伏電圧 $V_{BR}$ を持っているか？

信号ライン電圧がESD保護用ダイオードの逆方向降伏電圧 $V_{BR}$ に近づくに従って電流 (リーク電流) が増加しています。信号が $V_{BR}$  近傍まで届く場合、このリーク電流によって信号が歪むことが懸念されます。この逆電流値は、電圧に対して指数関数的に変化します。信号振幅の最大値が $V_{RWM}$ 以下になるようにESD保護用ダイオードを選択することが必要です。

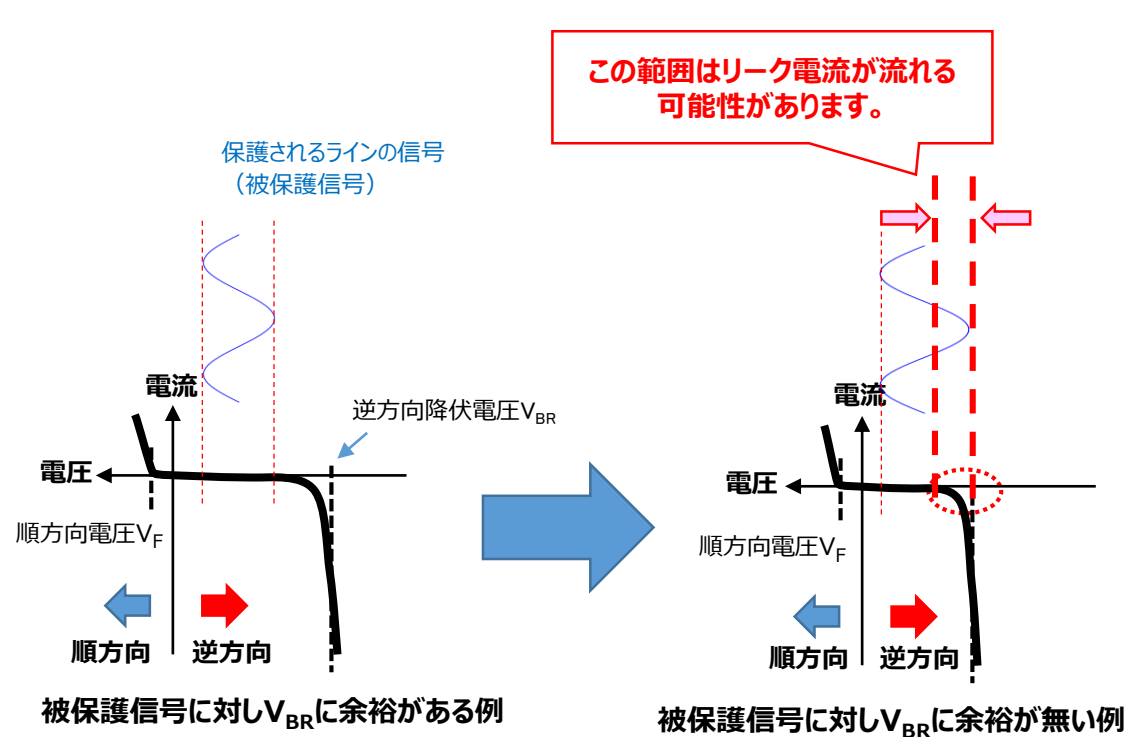


図3.1 逆降伏電圧と信号ライン電圧

Characteristics	Symbol	Note	Test Condition	Min	Typ.	Max	Unit
Working peak reverse voltage	$V_{RWM}$		—	—	—	5	V
Zener voltage (Reverse breakdown voltage)	$V_Z$ ( $V_{BR}$ )	$I_Z = 5 \text{ mA}$ ( $I_{BR} = 5 \text{ mA}$ )		6.4	6.8	7.2	V
Dynamic impedance	$Z_Z$	$I_Z = 5 \text{ mA}$ ( $I_{BR} = 5 \text{ mA}$ )		—	—	30	$\Omega$
Reverse current	$I_R$	$V_{RWM} = 5 \text{ V}$		—	—	0.5	$\mu\text{A}$

$V_{RWM}$

$V_{BR}$

$V_{RWM}$ 定義

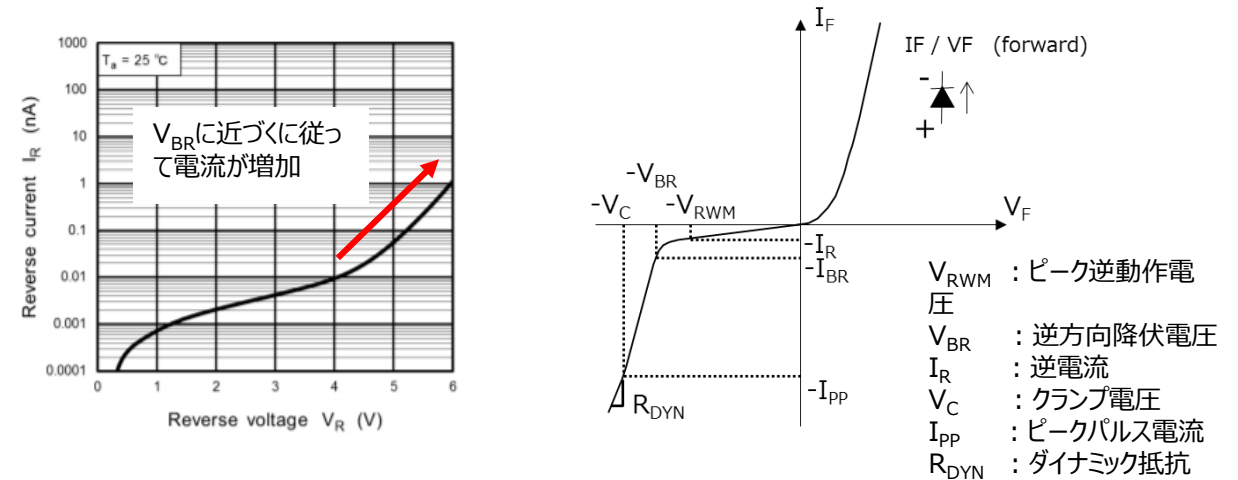


図3.2 ESD保護ダイオードのリーク電流



## 3-1. 通常動作時 (ESDパルス非侵入時) の重要特性②

### 3-1-② 保護する信号線の周波数に対して、適切な端子間容量 $C_t$ を持っているか？

ESD保護用ダイオードの等価回路を図3.3に示します。通常動作時は、ダイオード部分はオフしており図3.3に示すようにpnジャンクション境界面に空乏層が広がっています。この空乏層は電気的にはコンデンサーとして働きます。このため、信号線の周波数に対して適切な素子を選択しないと信号品質は低下します。

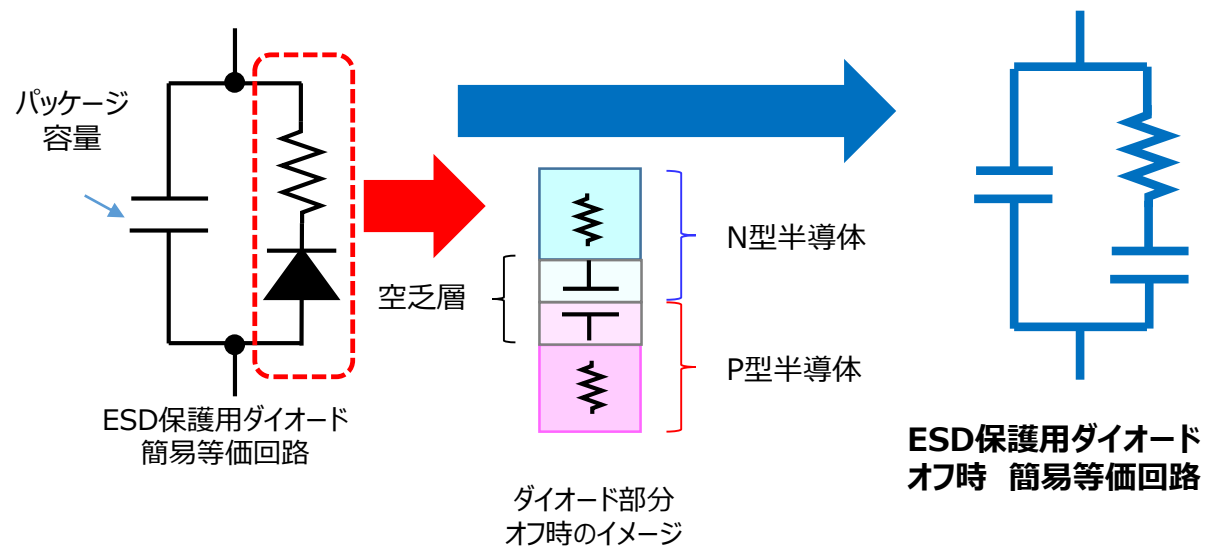


図3.3 ESD保護用ダイオードの端子間容量

## 3-1. 通常動作時 (ESDパルス非侵入時) の重要特性②

### 3-1-② 保護する信号線の周波数に対して、適切な端子間容量 $C_t$ を持っているか？

ESD保護用ダイオードの容量 (端子間容量 $C_t$ ) が5 pF/0.3 pF/0.1 pF のときの通過特性を図3.4のグラフに示しています。容量が大きい素子に関しては、損失が大きく (数値がマイナスに大きく変動) になっており、使用できる周波数範囲が狭くなります。例えば、Thunderbolt (10 Gbps/周波数換算:5 GHz) のポイントを見ると、容量の小さい素子 (0.1~0.3 pF) は、損失が小さく通過信号への影響が少ないですが、容量の大きい素子 (5 pF) は、損失が大きく、通過信号が大幅に減衰してしまっていることが分かります。

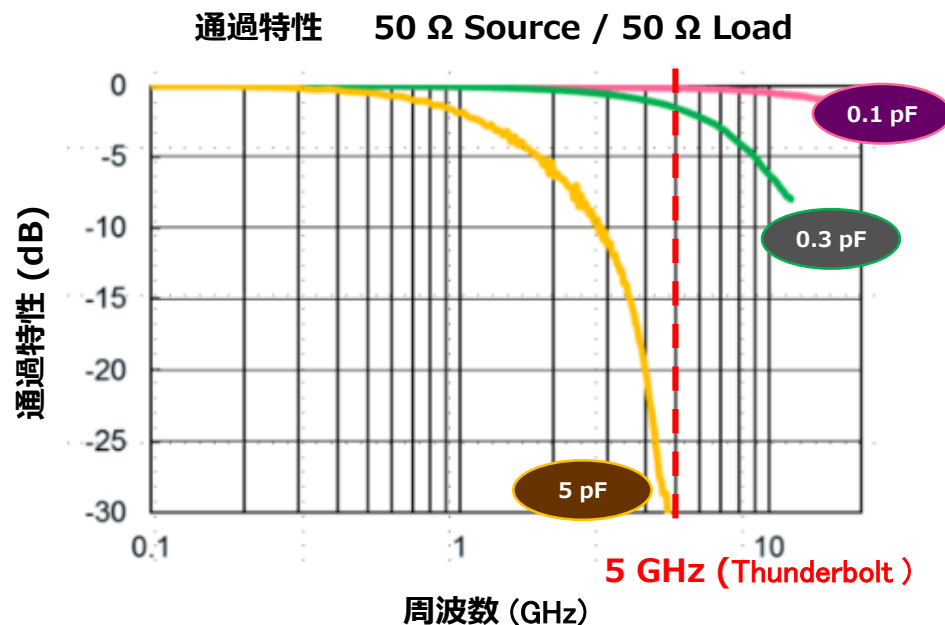


図3.4 ESD保護用ダイオードの端子間容量と挿入損失

## 3-1. 通常動作時 (ESDパルス非侵入時) の重要特性②

### 3-1-② 保護する信号ラインの周波数に対して、適切な端子間容量 $C_t$ を持っているか？

#### 端子間容量の低減

(端子間容量：ダイオードの静電容量とパッケージなどの寄生容量による容量であり、静電容量が大きい割合を示します。)

静電容量は逆バイアス時に形成される空乏層により生じます。静電容量に対し空乏層内は少数キャリアのない、いわば絶縁対のような働きをします。この空乏層は元々の不純物濃度を低くすることで広がります。従ってダイオードの静電容量を低減するにはpn (p：p型半導体, n：n型半導体) 接合の面積を小さくするか逆方向降伏電圧VBRを高くする必要があるが、どちらの方法も後段のICに対する保護性能が悪化します。ダイオードを直列に接続することで合成静電容量を小さくできること、ダイオードのESD耐量は順方向よりも逆方向の方が低いことを考慮して複数のダイオードを組み合わせること (EAP構造：ESD Diode Array Process) により、保護性能を維持しながら静電容量の低いESD保護用ダイオードを実現しています。

## 3-1. 通常動作時 (ESDパルス非侵入時) の重要特性②

### 3-1-② 保護する信号線の周波数に対して、適切な端子間容量 $C_t$ を持っているか？

図3.5にEAP構造を使用した低静電容量ESD保護用ダイオードの回路図を示します。回路はpn接合面積が小さく高VBRで低静電容量のダイオード1 (静電容量 $C_1$ ) 及びダイオード2 ( $C_2$ ) とpn接合面積が大きく適切なVBRで静電容量の大きいダイオード3 ( $C_3$ ) の三つのダイオードで構成されています。アノードに印加されるESDは、ダイオード1の順方向に流れ、カソードに印加されるESDはダイオード2の順方向を経由してダイオード1と比較してVBRの低いダイオード3の逆方向に流れます。一般に、ダイオードのESD耐量は順方向よりも逆方向の方が低くダイオード1やダイオード2はpn接合の面積が小さいため更に逆方向のESD耐量は低くなります。しかしEAP構造にすることでダイオード1やダイオード2の逆方向にはESDによる電流が流れません。したがって、回路全体として高いESD耐量を実現できます。図3.6(b)に、この回路の静電容量等価回路を示します。静電容量の小さいダイオード2と大きいダイオード3を直列に接続することで合成静電容量を小さくできます。また、この回路のVBRの値はダイオード3のVBRで決まるため、保護する信号線に合わせたVBRの値に調整することで、保護性能を高めることができます。

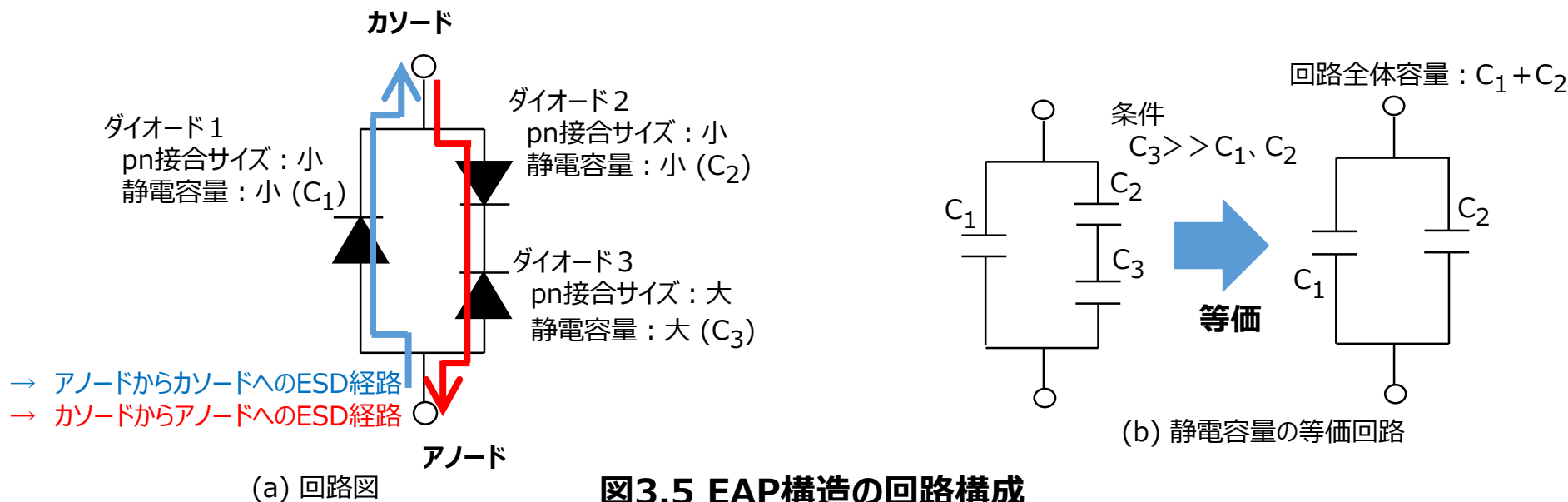


図3.5 EAP構造の回路構成

## 3-1. 通常動作時 (ESDパルス非侵入時) の重要特性②

### 3-1-② 保護する信号線の周波数に対して、適切な端子間容量 $C_t$ を持っているか？

#### 周波数に対する端子間容量の目安

グラフは周波数に対するESD保護用ダイオード選択の目安を示しています。

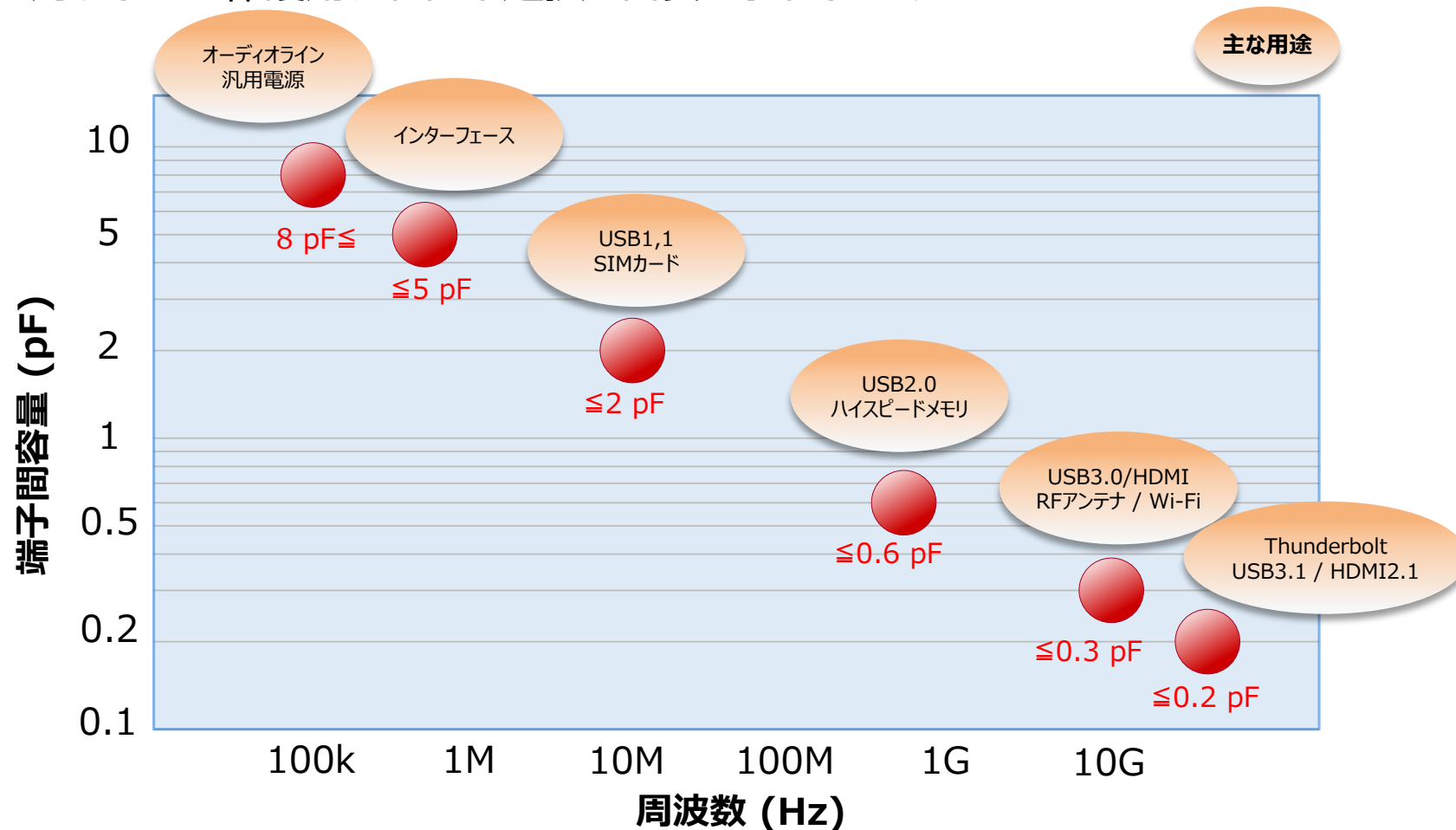


図3.6 周波数に対する端子間容量目安

## 3-1. 通常動作時 (ESDパルス非侵入時) の重要特性③

### 3-1-③ 信号の極性 (アナログ信号のようにGND をまたがる信号か?)

被保護ラインの信号を考慮して、片方向か双方向を選択する必要があります。変調されていないデジタル信号のようにL (0V) とH (5V) の片極 (プラス極性しかない) の信号の場合と、バイアスされていないアナログ信号のように、プラスとマイナスの両極を持つ信号でデバイスの選択が異なります。下図に示すように、両極性の信号であれば双方向のESD保護用ダイオードを選択する必要があります。(片極性の信号は、どちらのタイプでも使用可能です。)

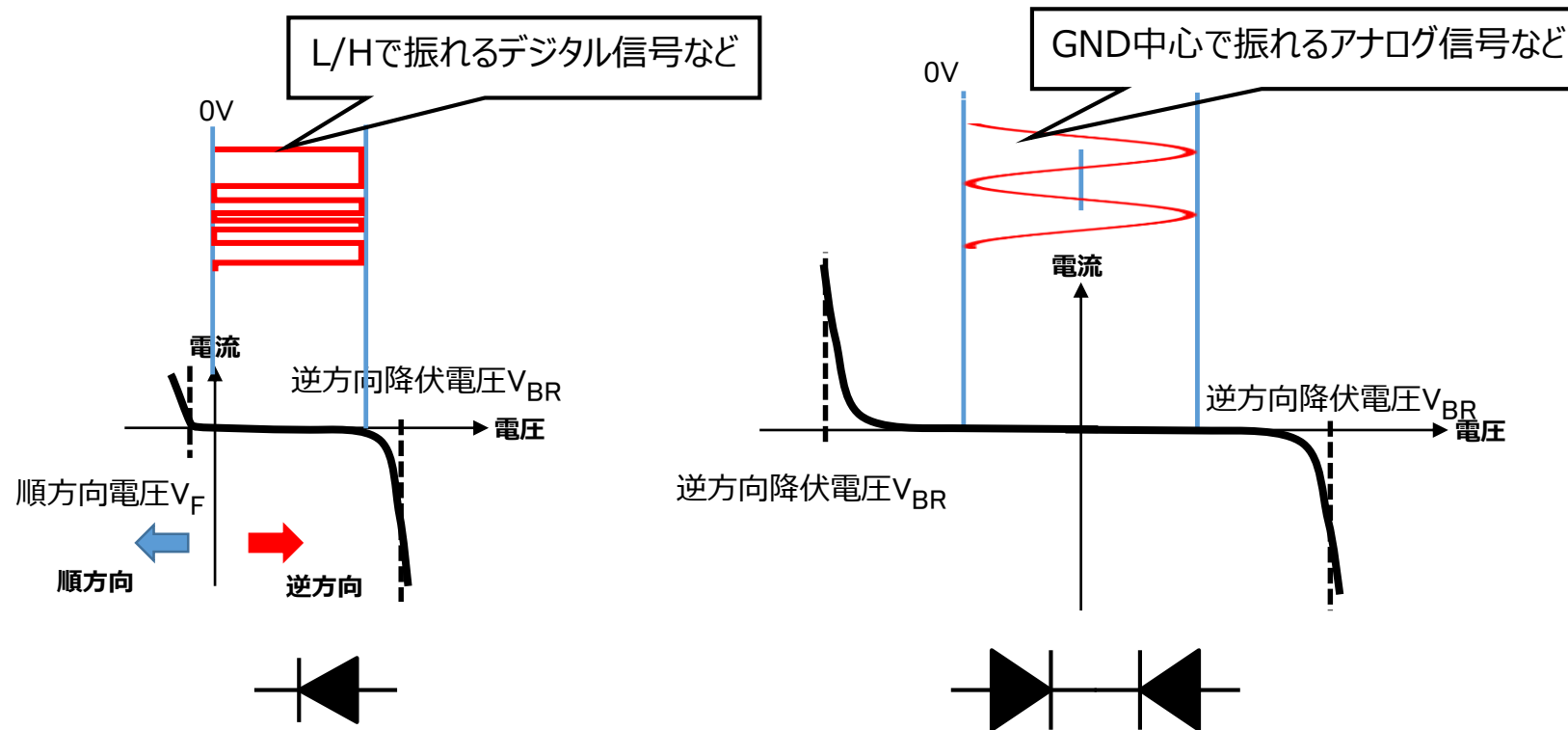


図3.7 片方向と双方向 信号形状による違い

# 3. TVSダイオード (ESD保護用ダイオード) の重要特性

## 3-2. ESD侵入時の重要特性

ESD侵入時にはESD保護用ダイオードはオンまたは逆方向降伏の状態になります。片方向タイプでは正の方向のESDパルスに対しては逆方向降伏でESDを吸収し、負の方向のESDパルスに対してはダイオードがオンすることで吸収します。ここで被保護素子がESDパルスで破壊されないために重要なことは、以降で説明する以下3点です。

**3-2-①** ダイナミック抵抗 ( $R_{DYN}$ ) が低いこと

**3-2-②** クランプ電圧 ( $V_C$ )、1st Peak Voltage が低いこと

**3-2-③** 侵入したESDパルスの極性に対するESD保護用ダイオードの動作



## 3-2. ESD侵入時の重要特性①

### 3-2-① ダイナミック抵抗 ( $R_{DYN}$ ) が低いこと

ESDパルスが侵入したとき、ESD保護用ダイオードと保護対象の両者に電流は流れます。保護対象に流れる電流をいかに少なくするか (ESD保護用ダイオードにいかほど多くの電流が流れるか?) が重要です。

最近のESD保護用ダイオードではダイナミック抵抗 ( $R_{DYN}$ ) がデータシート上に規定されています。 $R_{DYN}$ は逆方向オン時の傾きです。 $R_{DYN}$ の低い製品ほどESDパルス印加時に、同一電圧でより大きな電流が流れることとなります。

コネクター側から見るとESD保護用ダイオードと保護対象のインピーダンスは並列です。ESD保護用ダイオードのインピーダンス (ダイナミック抵抗) が低ければ、大部分の電流はESD保護用ダイオードに流れ保護対象に流れる電流は小さくなります。これにより保護対象がESDパルスで破壊される可能性が下がります。

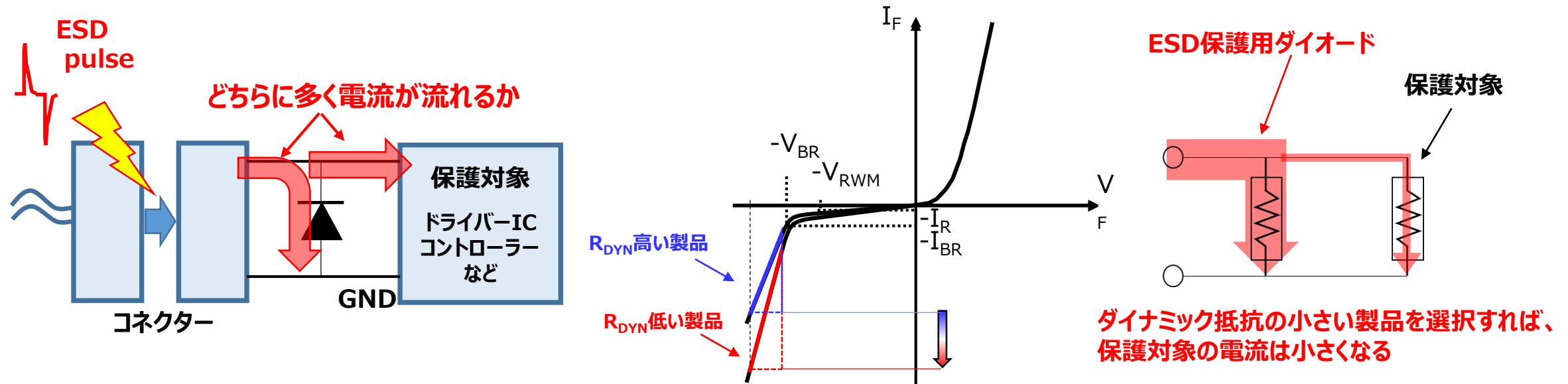


図3.8 ESD保護用ダイオードダイナミック抵抗と電流

## 3-2. ESD侵入時の重要特性①

### 3-2-① ダイナミック抵抗 ( $R_{DYN}$ ) が低いこと

図3.9にダイナミック抵抗 ( $R_{DYN}$ ) 算出のイメージを示します。TLP (Transmission Line Pulse) 測定はnsオーダーの短パルスを与え、その時の電流および電圧と時間の関係からI-V特性を把握する試験手法です。グラフではこの電圧をTLP V (V)、電流をTLP I (A) として示しています。

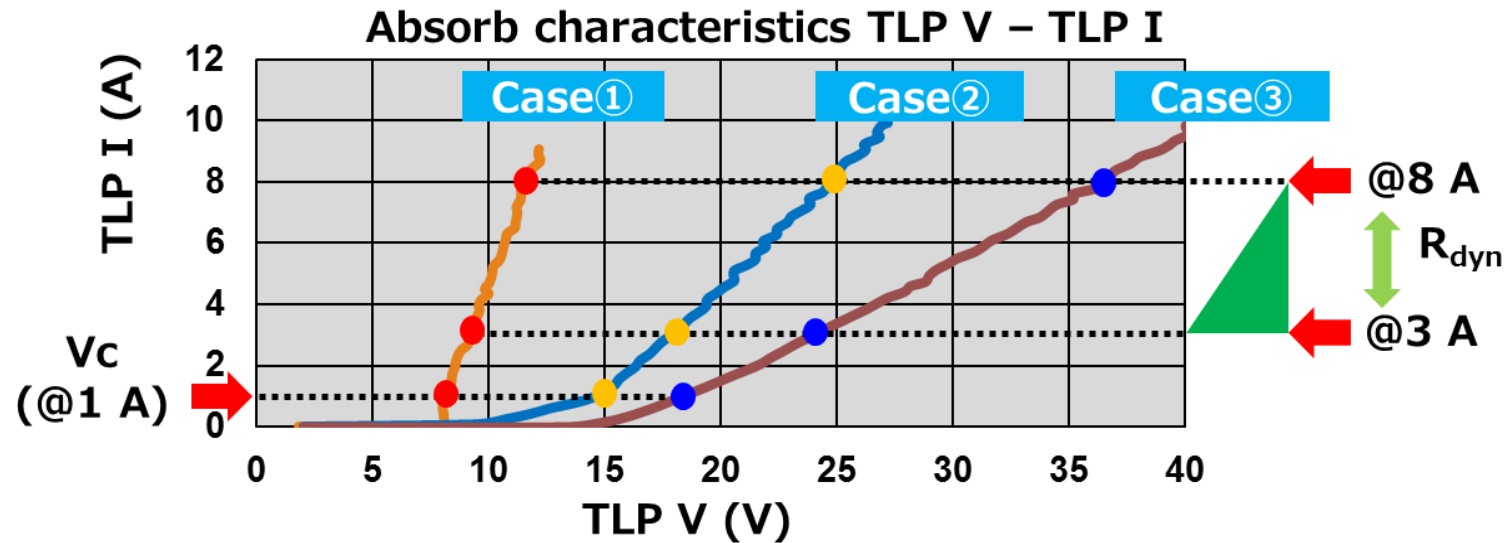


図3.9 ESD保護用ダイオードのダイナミック抵抗の役割

## 3-2. ESD侵入時の重要特性①

### 3-2-① ダイナミック抵抗 (RDYN) が低いこと

図3.9にESDパルス印加時の電流のイメージを示します。ESD保護用ダイオードのインピーダンス (ダイナミック抵抗) が低ければ、大部分の電流サージ電流はESD保護用ダイオードに流れ保護対象に流れる電流は小さくなります。よって保護対象をESDパルスによる破壊からより防ぐことができます。

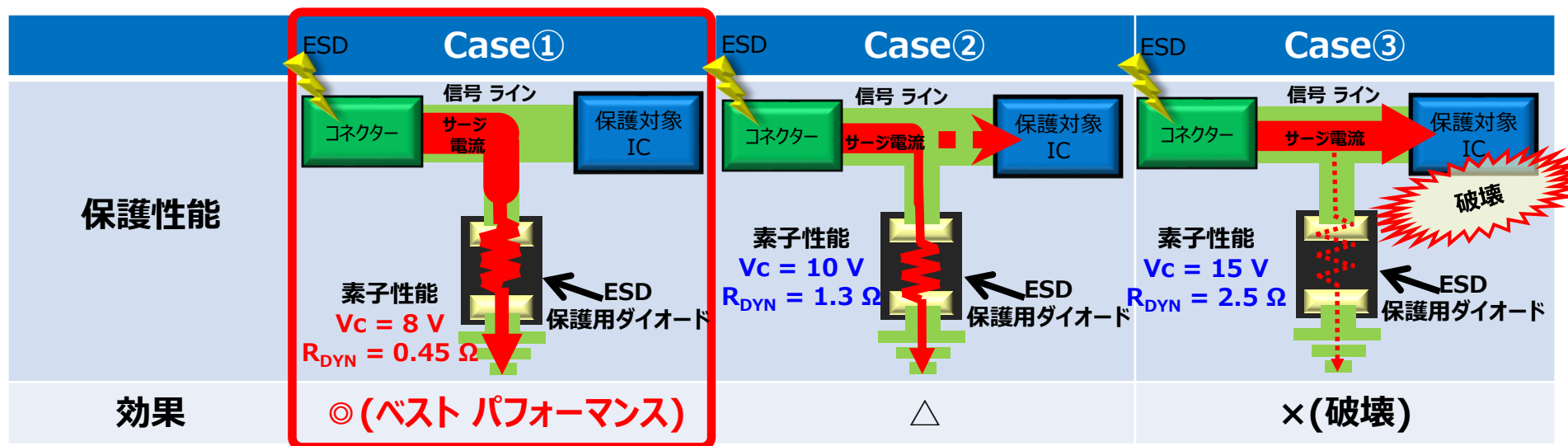


図3.9 ESD保護用ダイオードのダイナミック抵抗の役割

## 3-2. ESD侵入時の重要特性②

### 3-2-② クランプ電圧 ( $V_C$ )、1st Peak Voltage が低いこと

クランプ電圧 $V_C$ の高い製品と低い製品におけるIEC61000-4-2で規定するESD波形を入力したときの応答波形を示します。波形は後段の被保護素子の入力端で測定しています。クランプ電圧 $V_C$ の低い製品はクランプ電圧 $V_C$ の高い製品に比べ印加後の30ns や60ns のクランプ電圧が低くなっています。クランプ波形の総面積が小さいほど、後段素子へのダメージが抑制されます。そのため、 $V_C$  の低い製品はESDパルス侵入時に被保護素子をより良く保護することができると考えられます。また、ESD印加直後の時間領域に対し一部の保護素子では十分に応答することができないことがあります。このため、クランプ電圧より高いピーク電圧 (1st Peak Voltage) が後段の被保護素子にかかり、誤動作や破壊に至るケースがあります。ESD保護用ダイオードは他の保護素子に比べ高速応答が特徴です。さらに、チッププロセスや内部構造の最適化を図り、ファーストピーク電圧の改善も進めており、この時間領域に対しても有効な保護を実現しています。

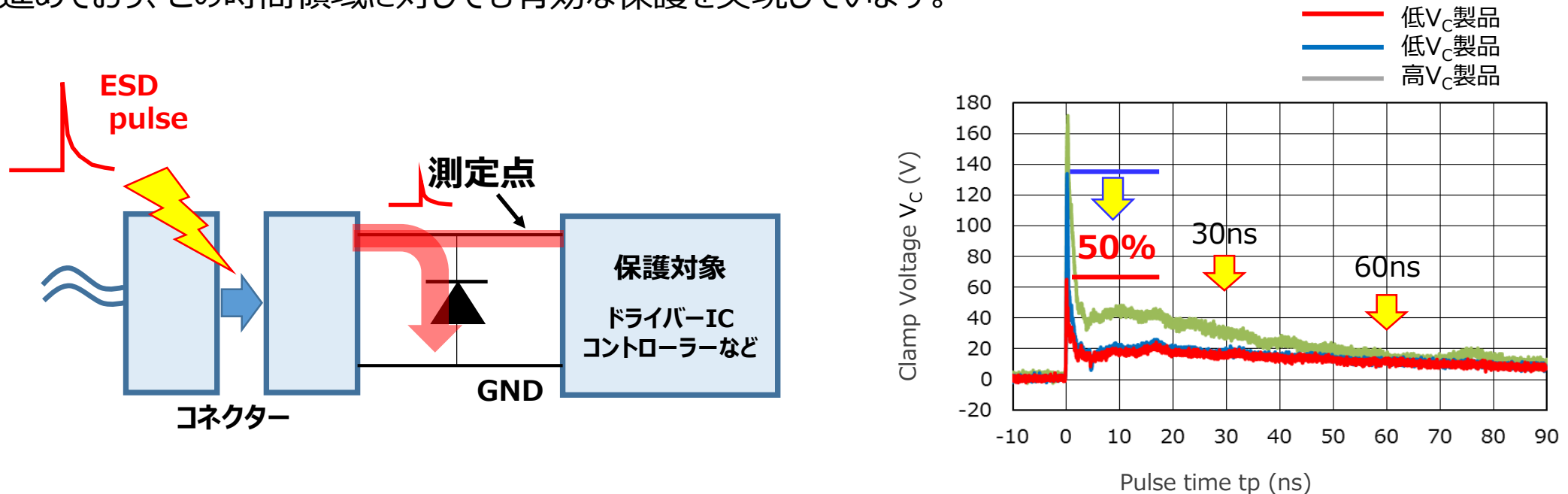


図3.10 クランプ電圧 ( $V_C$ )、1st Peak Voltageクランプ電圧比較

## 3-2. ESD侵入時の重要特性③

### 3-2-③ 侵入したESDパルスの極性に対するESD保護用ダイオードの動作

ESD保護用ダイオードの構成 (片方向/双方向) によらず、プラス・マイナス どちらの方向のESDパルスも吸収されます。

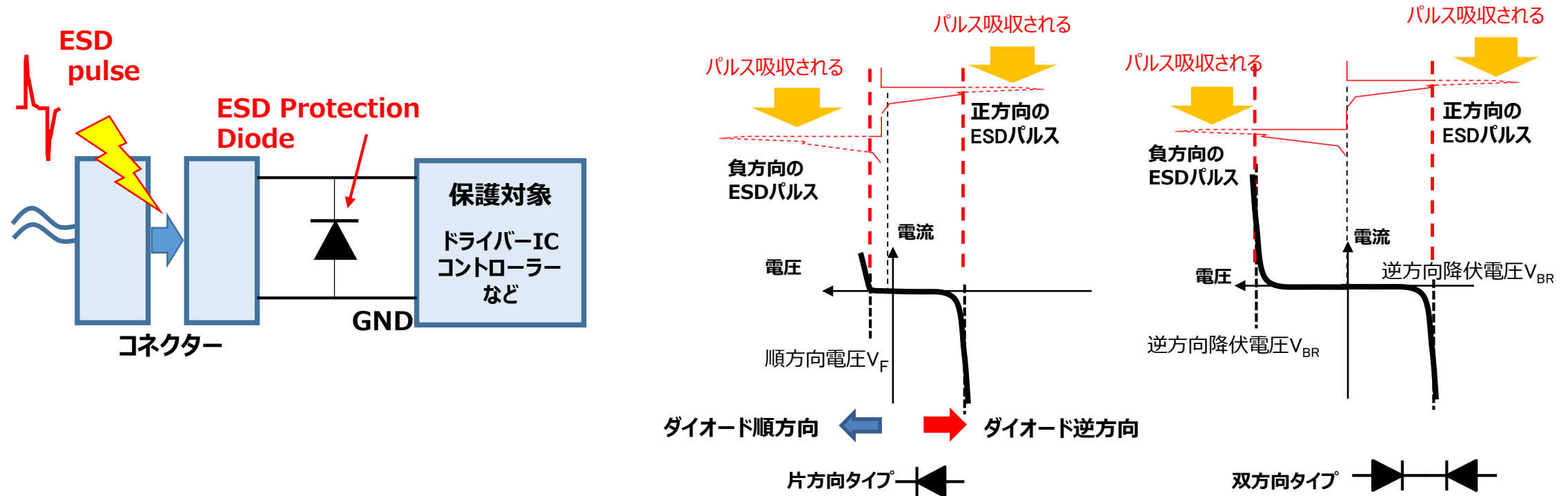


図3.11 ESD保護用ダイオードサージ吸収動作

## 4. TVSダイオード (ESD保護用ダイオード) の選択方法

ESD保護用ダイオードの重要特性と重なりますが、以下に注意して製品選択をする必要があります。

### 1. 保護する信号ラインの信号品質の保持

#### ① 信号ラインの電圧

保護する信号ラインの最大電圧に対して適切な逆方向降伏電圧 $V_{BR}$  (またはピーク逆動作電圧 $V_{RWM}$ ) を選択

#### ② 信号の極性

GNDをまたがるアナログ信号のような場合は双方向のESD保護用ダイオードを選択

#### ③ 信号の速度

信号の最大周波数に合わせて適切な端子間容量 $C_t$ を選択

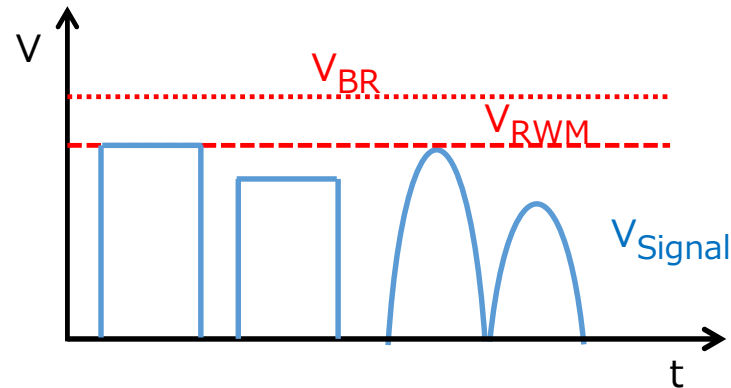


図4.1 信号ライン電圧と $V_{RWM}$ および $V_{BR}$

## 4. TVSダイオード (ESD保護用ダイオード) の選択方法

ESD保護用ダイオードの重要特性と重なりますが、以下に注意して製品選択をする必要があります。

### 2. より良い保護性能

#### ④ ダイナミック抵抗

できるだけ低いダイナミック抵抗 $R_{DYN}$ の製品を選択

#### ⑤ クランプ電圧

必要となる $V_{RWM}$  に対し、できるだけ低いクランプ電圧 $V_C$  の製品を選択、特に $V_C$  は保護対象製品の耐圧以下のものを選択

### 3. ESD保護用ダイオードの破壊耐量

#### ⑥ IEC61000-4-2

ご要求の静電気耐量、製品で保証する静電気耐量より大きな保証値を持つ製品を選択。  
ただし、一般的に静電気耐量と端子間容量は比例する傾向があります。

#### ⑦ IEC61000-4-5

ご要求のピークパルス電力/電流に対し、より大きな保証値を持つ製品を選択。

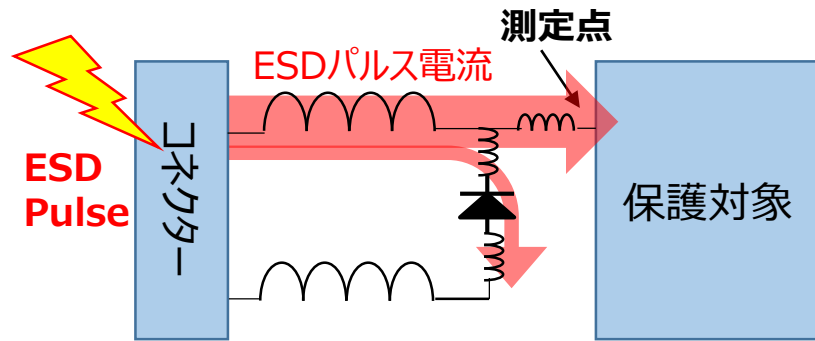


# 5. TVSダイオード (ESD保護用ダイオード)のレイアウト上の注意点

ESD対策はESD保護用ダイオードの配置の仕方によって保護性能が変わるので注意が必要です。

- ① 侵入口に近いところにESD保護用ダイオードを配置してください。
- ② 被保護素子のラインとESD保護用ダイオードのライン分岐後、GNDも含めESD保護用ダイオードに直列の配線インダクタンスはできるだけ小さくなるようにしてください。

ESD保護用ダイオードを保護対象の近傍に配置した場合



ESD保護用ダイオードをコネクタ近傍に配置した場合

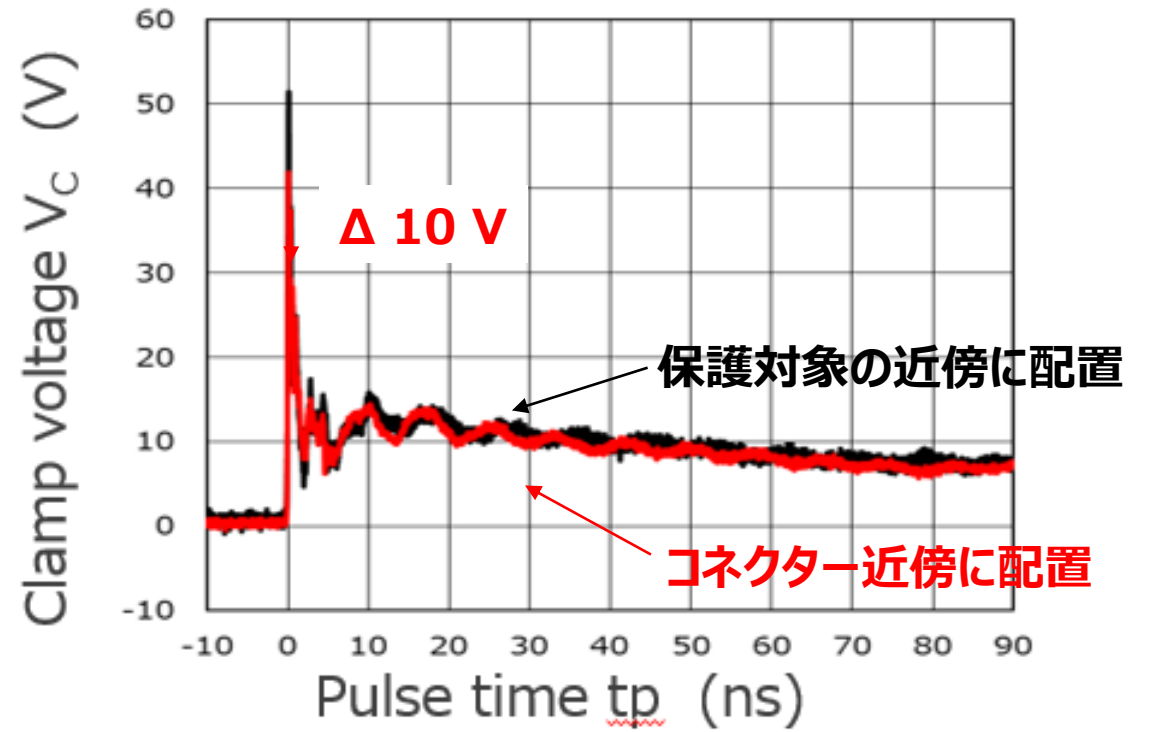
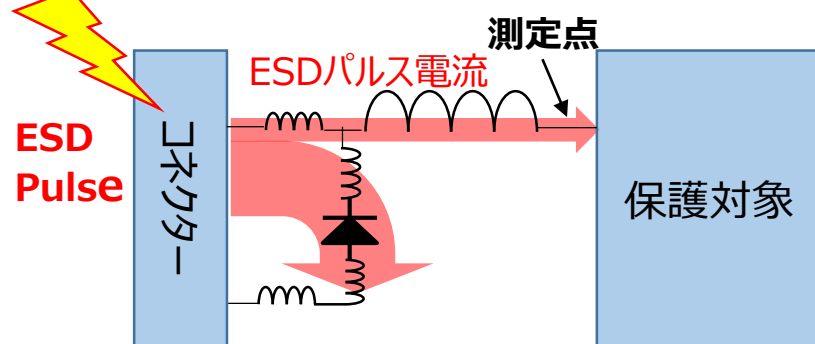


図5.1 ESD保護用ダイオードの配置によるクランプ電圧差

## 5. TVSダイオード (ESD保護用ダイオード)のレイアウト上の注意点

- ③ 外部と接続されている配線と並走する配線は注意が必要です。特にESD耐量の低い素子に接続されている配線は並走させないようしてください。

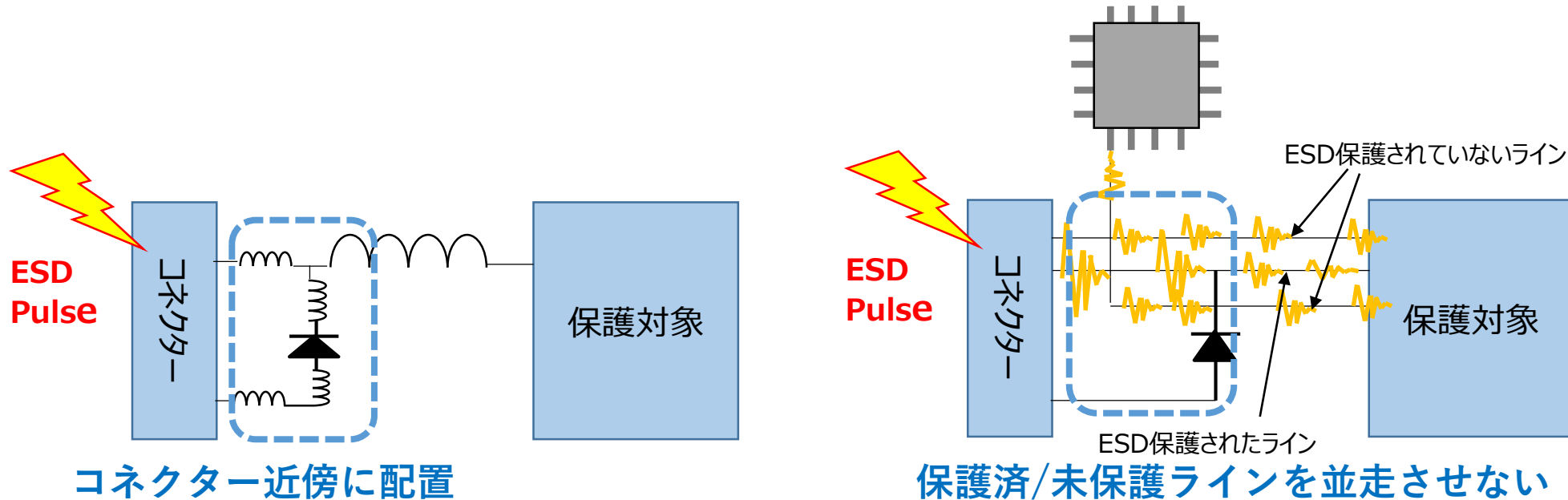


図5.2 ESD保護用ダイオードの配線

# 6. TVSダイオード (ESD保護用ダイオード) の絶対最大定格について

## 絶対最大定格

### 絶対最大定格の定義

ESD保護用ダイオードに印加可能な電流、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。回路を設計する上で最大定格をよく認識することは、ESD保護用ダイオードを有効に働かせる上からも、目標とする稼働時間に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。最大定格値は、ESD保護用ダイオードの寿命と信頼度を保証するために超えてはならない最大値で、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、瞬時といえども動作中に定格値を超えてはならないとするものです。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ます。回路設計においては供給電圧の変動、電気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、定格の1つでも超えることは避けなければなりません。定格値として定められるべき主な項目は、ESD保護用ダイオードの静電気耐量、ピークパルス電力、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ので、個々別々に考えることができず、また外部回路条件によっても異なります。また、一般的に絶対最大定格は、周囲温度  $T_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$  を基準に規定されますが、特定の温度で定格が規定される場合もあります。

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

直接接触により放電する直接放電による静電気耐量を表します。国際電気標準会議 (The International Electrotechnical Commission : IEC) が定めたIEC61000-4-2 に定められた試験方法と放電波形に従います。記載された値は試験波形の最大値 (100%) の値になります。

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

非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・試験波形はIEC61000-4-2 に準拠します。

## 6. TVSダイオード (ESD保護用ダイオード) の絶対最大定格について

### ピークパルス電力 ( $t_p = 8/20 \mu s$ ) $P_{PK}$

ESD保護用ダイオードが損傷を受けずに耐える最大のサージ電力を表します。テスト波形として図6.1に示すピークまでの立ち上がりが $8\mu s$ 、ピークに対し1/2になる時間が $20\mu s$ の波形を使用しています。

### ピークパルス電流 ( $t_p = 8/20 \mu s$ ) $I_{PP}$

ESD保護用ダイオードが損傷を受けずに耐える最大のサージ電流を表します。テスト波形として図6.1に示す波形を使用しています。  
(IEC61000-4-5準拠)

### 接合温度 $T_j$

ESD保護用ダイオードが特性劣化や破壊することがなく使用できる接合温度の最大値です。

### 保存温度 $T_{stg}$

ESD保護用ダイオードに電圧を印加しない状態で、保存または輸送できる周囲温度範囲です。

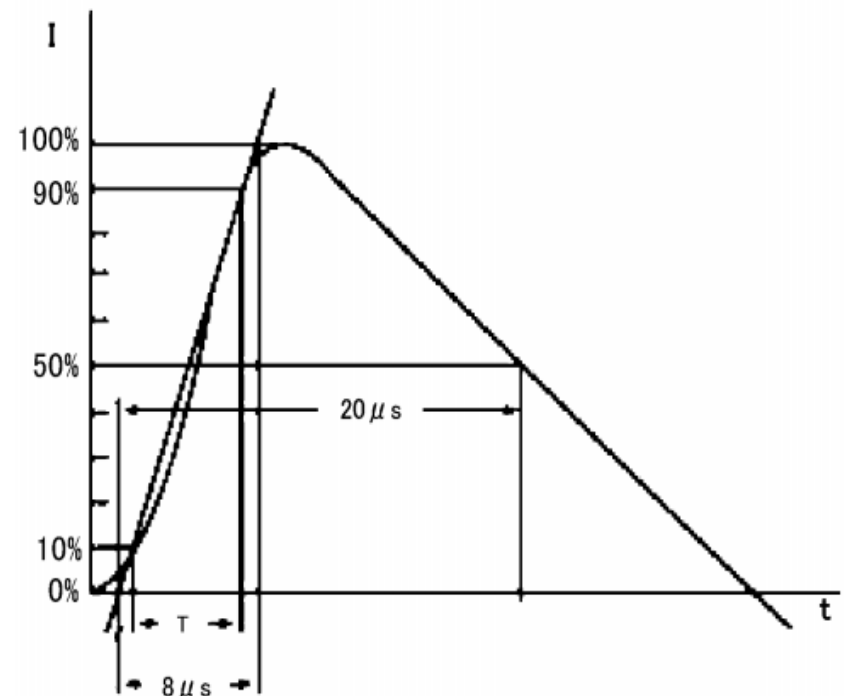


図6.1 ESD保護用ダイオードのパルス波形

# 補足 IEC61000-4-2 および IEC61000-4-5

IEC61000-4-2 および IEC61000-4-5は日常の環境下で機器が劣化や破壊しないことを確認することを目的に設定しています。

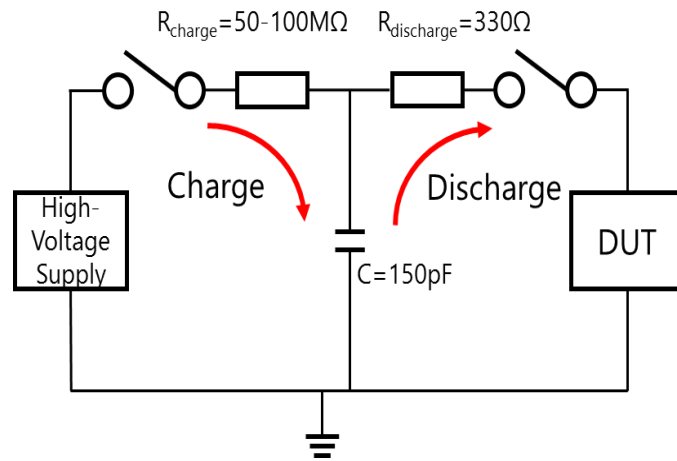
## ① IEC61000-4-2試験 (ESDイミュニティ試験:人体モデル)

この試験はHBMと同様に人体に蓄電した電荷が放電すること想定しています。放電方法には以下の二つがあります。

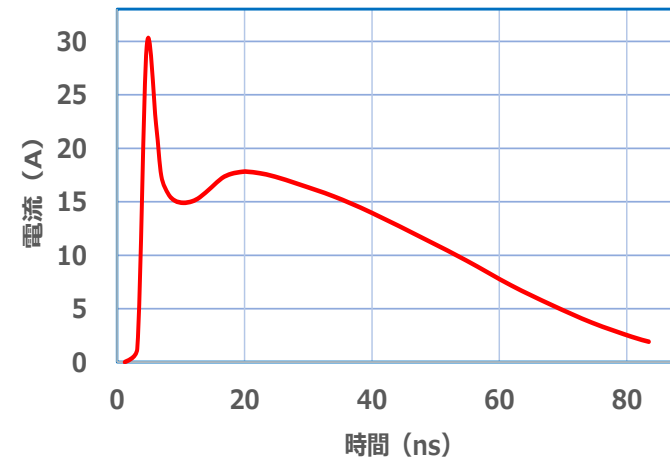
- ・機器やデバイスの表面に金属が露出しているときを想定し、直接接触により放電する直接放電
- ・機器やデバイスの表面が樹脂などに覆われているときを想定し、被試験機器と放電端子の間に空気の層を持つ気中放電

これらの方法は国際電気標準会議 (The International Electrotechnical Commission : IEC) が定めたIEC61000-4-2に述べられています。

当社のESD保護用ダイオードは直接放電と気中放電の両方で試験しています。



試験回路例



試験波形例

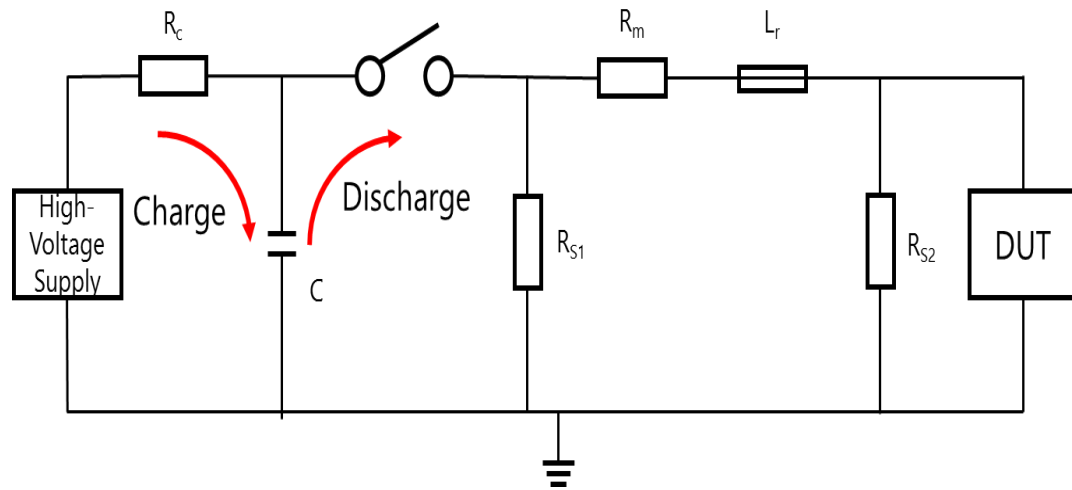
図6.2 IEC61000-4-2試験

# 補足 IEC61000-4-2 および IEC61000-4-5

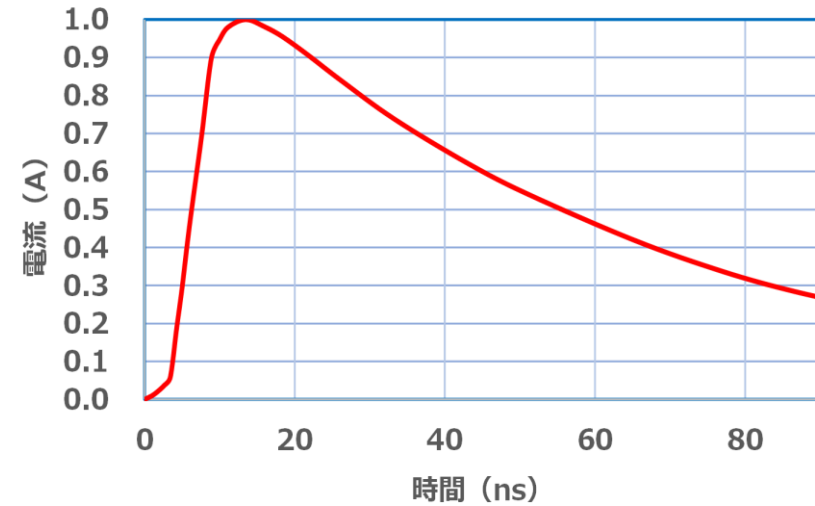
## ② IEC61000-4-5試験 (サージイミュニティ試験:雷試験)

この試験は、雷試験とも呼ばれ、落雷の直撃による過渡現象や、落雷の影響によってその周辺で誘起されるサージ電圧/電流などをモデル化した試験です。あるいは大型機械の電源の投入時など負荷の急変や短絡を含む電力システムのスイッチング過渡現象なども含まれます。印加するサージの電流レベルや周期を考慮すると、最も厳しいシステムレベルのイミュニティ試験です。

これらの方法はIEC61000-4-5に述べられています。



試験回路例



試験波形例

図6.3 IEC61000-4-5試験

# 7. TVSダイオード (ESD保護用ダイオード) の電気的特性について

## 電気的特性

### ピーク逆動作電圧 $V_{RWM}$

ピーク逆動作電圧以下の電圧範囲では、ESD保護用ダイオードが非常に高いインピーダンス素子 (この電圧を印加しても規定のリーク電流以下しか流れません) として働きます。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。

### 端子間容量 $C_t$

規定の逆電圧条件下で、規定の周波数の小信号を印加したときの端子間の等価容量です。端子間容量は内蔵デバイスのジャンクション容量とパッケージの持つ寄生容量の合計です。ジャンクション容量は逆電圧に対して負の電圧依存性があります。

### ダイナミック抵抗 $R_{DYN}$

ダイナミック抵抗はESD保護用ダイオードに逆電圧を印加し、図に示すようにブレイクダウン後の規定の大電流2点での傾き (抵抗値) を表します。後述のクランプ電圧とともに、保護性能の指標となります。

### 逆方向降伏電圧 $V_{BR}$

規定条件下で規定の電流 (デバイスにより電流値は異なりますが1mA が標準) を流す電圧となります。この項目は従来のツェナーダイオードからの流れをくむ項目です。この電圧でESD保護用ダイオードはオンと定義されます。



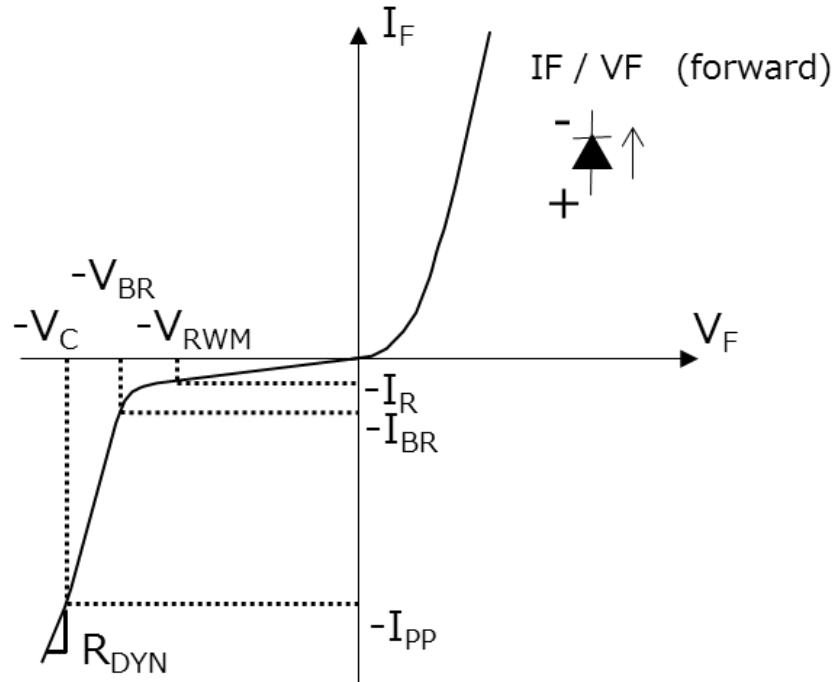
# 7. TVSダイオード (ESD保護用ダイオード) の電気的特性について

## 逆電流 $I_R$

指定された逆電圧での逆方向漏れ電流です。ESD保護用ダイオードでは指定電圧としてピーク逆動作電圧 ( $V_{RWM}$ ) を指定します。

## クランプ電圧 $V_C$

特定のピークパルス電流を流したときの最大電圧になります。通常、複数のピークパルス電流値で測定しています。最大定格で説明していますが、ピークパルス電流は8/20 $\mu$ s の波形 (図 6.1) に従います。ダイナミック抵抗とともにESD保護用ダイオードの保護性能を表す指標となります。



$V_{RWM}$  : ピーク逆動作電圧

常温でESD保護用ダイオードがブレイクダウンしない電圧

$V_{BR}$  : 逆方向降伏電圧

常温でESD保護用ダイオードがブレイクダウンする電圧

$I_R$  : 逆電流

$V_C$  : クランプ電圧

$I_{PP}$  : ピークパルス電流

$R_{DYN}$  : ダイナミック抵抗

図7.1 ESD保護用ダイオードの電圧・電流特性

**TOSHIBA**