

**TOSHIBA**

e-ラーニング

# ショットキーバリアダイオードの基礎

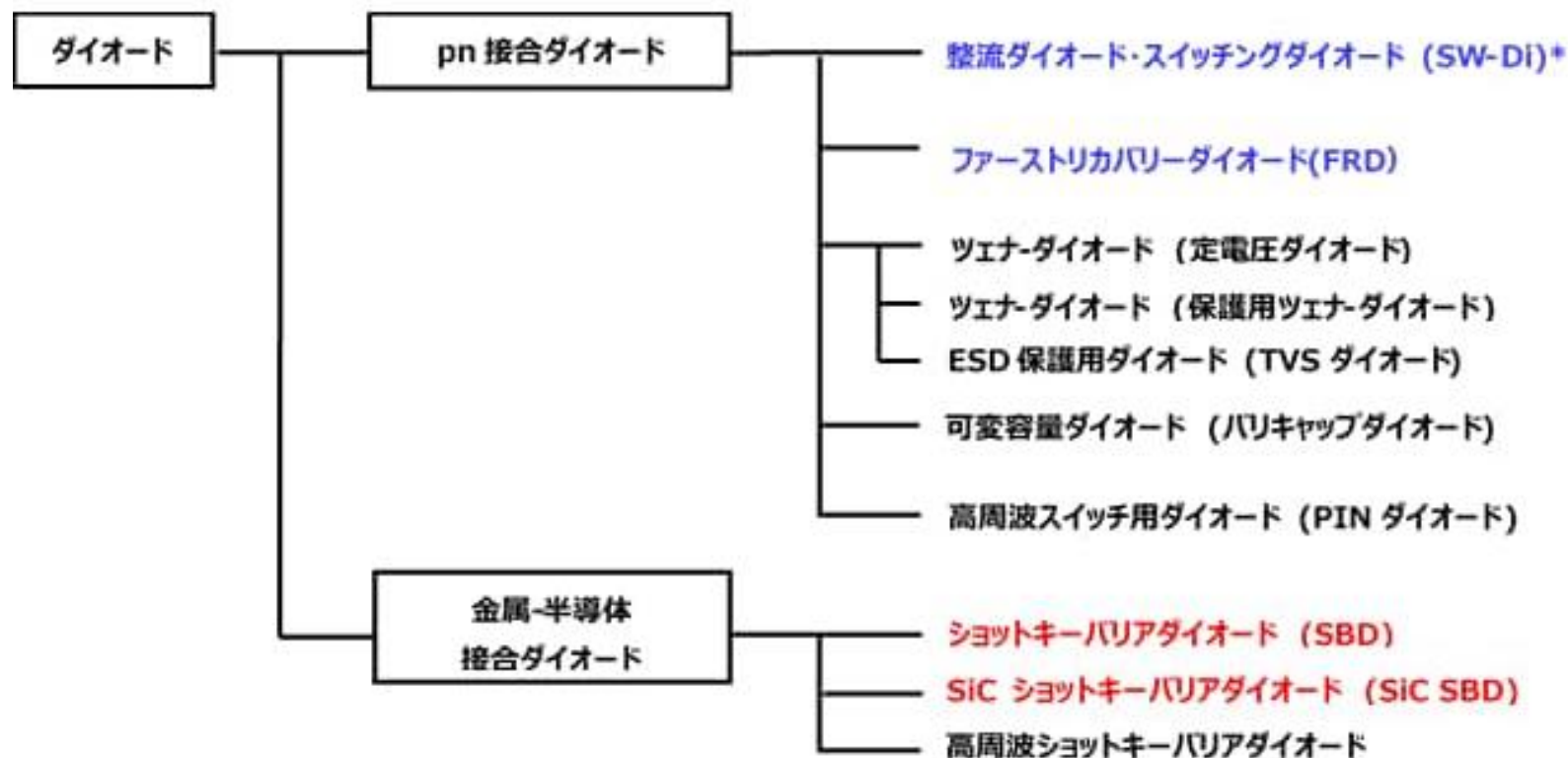
## 3章 ショットキーバリアダイオードの基礎

東芝デバイス&ストレージ株式会社

## 3.1. ダイオードの分類

ダイオードは大きく分けて、pn接合ダイオードと金属・半導体接合ダイオードに分けられます。図は当社のダイオードの分類になります。

ここでは最も一般的なpn接合ダイオードである整流ダイオード・スイッチングダイオード(SW-DI)\*、さらに整流ダイオードに重金属を拡散することで逆回復時間を短くしたファーストリカバリダイオード(FRD)とショットキーバリアダイオード(SBD)を比較して特徴を述べます。



\* : スイッチングダイオードは小信号レベル(～100 mA・～50 V)のスイッチングに適したpn接合ダイオードです。小型、面実装パッケージの製品が主流となっています。

## 3.2. ショットキーバリアダイオードとpn接合ダイオードの比較

整流ダイオード・スイッチングダイオード (SW-Di) 、ファーストリカバリダイオード (FRD) とショットキーバリアダイオード(SBD) の比較表を以下に示します。

SBDは順方向の立ち上がりの電圧が低く (順電圧が良い) 、オフ時に問題となる逆回復時間が短いという利点を持ちますが、逆方向の印加電圧 (耐圧) が低く、耐圧以下の逆方向の電圧印加時の漏れ電流 (リーク電流) が大きいという欠点があります。

電気的特性項目 シンボル	(改善方向)	SBD*	整流ダイオード・SW-Di	FRD
順電圧 $V_F$	(小)	★★★★★	★★★	★★
逆回復時間 $t_{rr}$	(小)	★★★★★	★	★★
耐圧 $V_R$	(大)	★	★★★★	★★★★
リーク電流 $I_R$	(小)	★	★★★★	★★

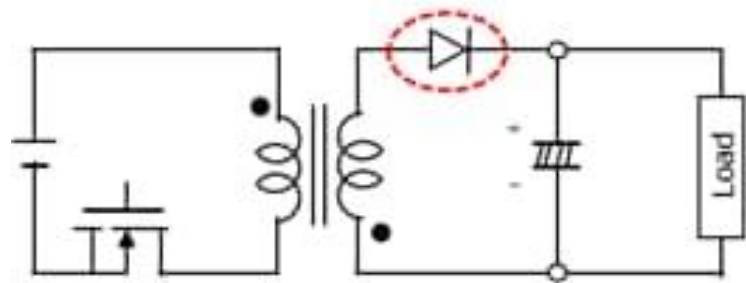
★：数が多いほど優れていることを示す

### 3.3. ショットキーバリアダイオードの用途

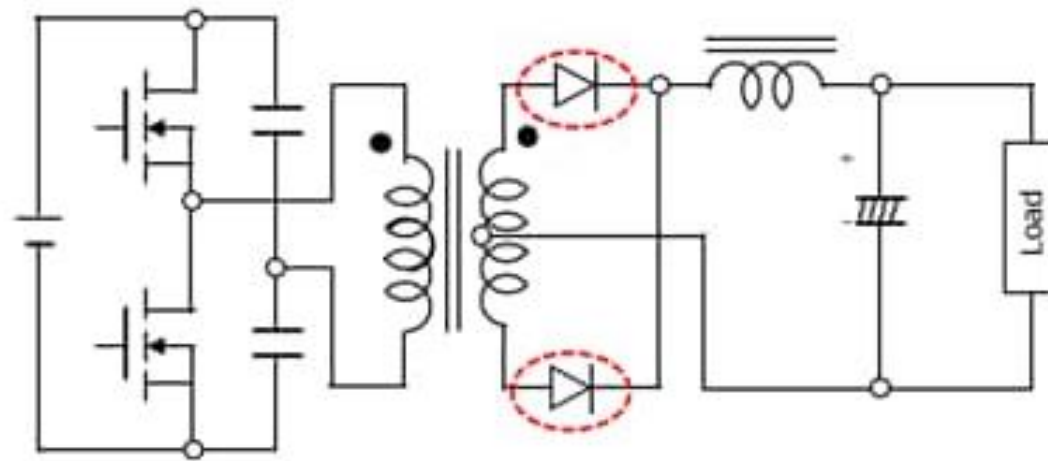
ショットキーバリアダイオードは利点（順電圧  $V_F$ が低い / 逆回復時間  $t_{rr}$ が短い）を必要とする用途に利用されます。

電源回路の2次側の整流：

フライバックコンバーター・フォワードコンバーター・プッシュプルコンバーター・ハーフブリッジコンバーター・フルブリッジコンバーターなど各種の降圧タイプの電源回路の2次側整流に使用されます。このダイオードはオン時に電力を伝送する働きを持っています。従って、オン時にはダイオードの順電圧分の電圧降下が発生しロスとなります。また、オンからオフへの移行時の逆回復時間ではスイッチングロスとして知られる大きなロスが発生します。2次側のダイオードに印加される電圧がショットキーバリアダイオードの耐圧より低い場合、低 $V_F$ ・低 $t_{rr}$ のショットキーバリアダイオードは最適なデバイスです。



フライバックコンバーター

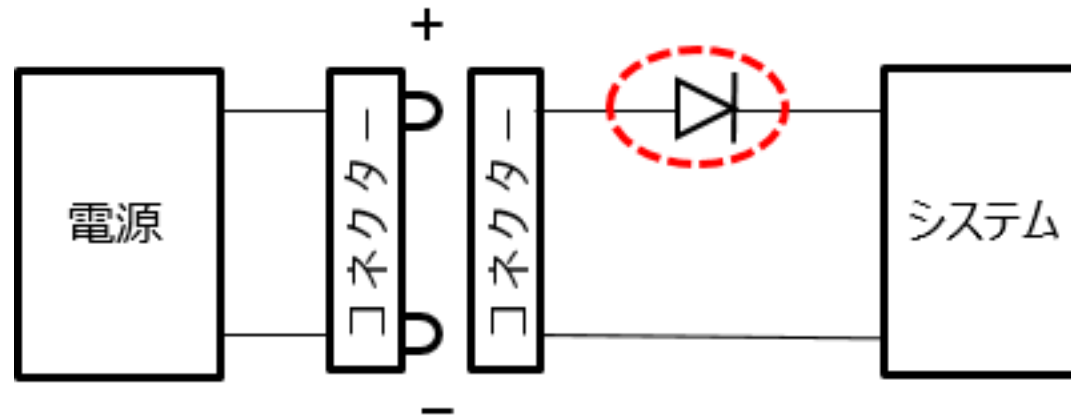


ハーフブリッジコンバーター

### 3.3. ショットキーバリアダイオードの用途

逆接保護：

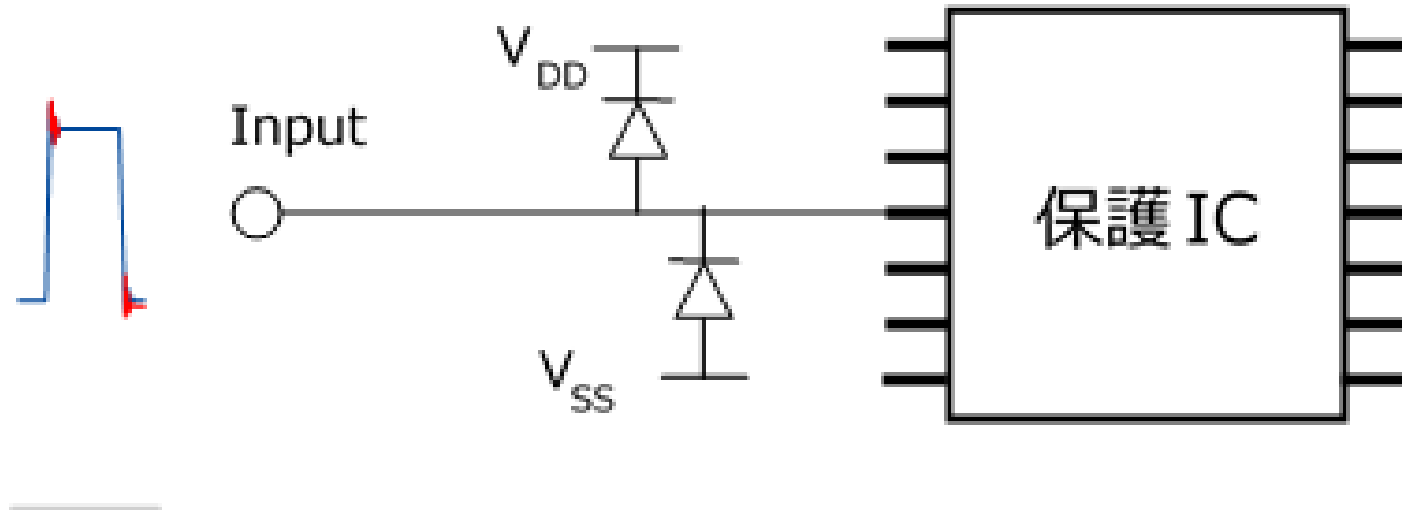
移動体機器などの充電回路・電池など、誤って極性を反対に接続する可能性がある場合に、電源ラインに直列にダイオードを接続します。正しい方向に接続した場合、ダイオードで発生する電圧降下分の電力はロスとなります。逆接続した場合の電圧がショットキーバリアダイオードの耐圧未満であれば、低 $V_F$ のショットキーバリアダイオードは最適なデバイスです。



### 3.3. ショットキーバリアダイオードの用途

IC保護：

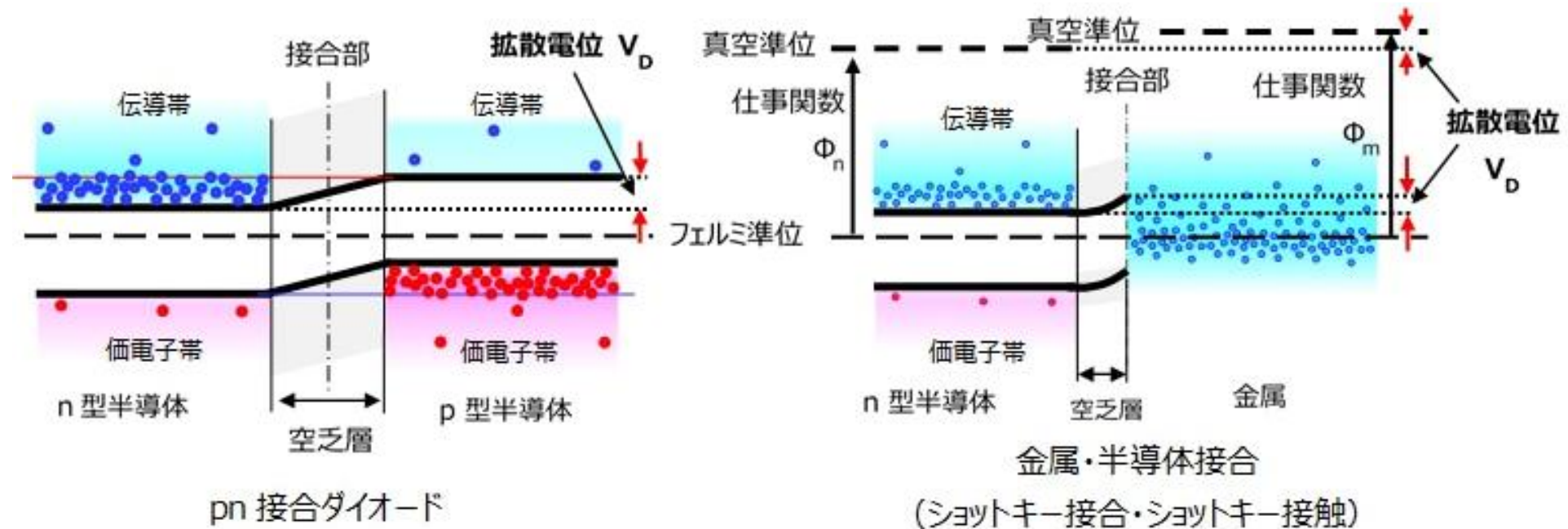
入力電圧の最大定格が $GND-0.3\text{ V} \sim V_{DD}+0.3$ となるICがあります。入力信号に含まれるリングングなどでこの定格を上回る可能性がある場合、低 $V_F$ であるショットキーバリアダイオードが使用されます。



これ以外にも1.5 V系などの低電圧でのダイオードロジックや電圧低下検出回路(電圧監視回路)など、最近の低電圧化・低消費電力化のトレンドに対して多様な用途があります。

### 3.4. 順電圧

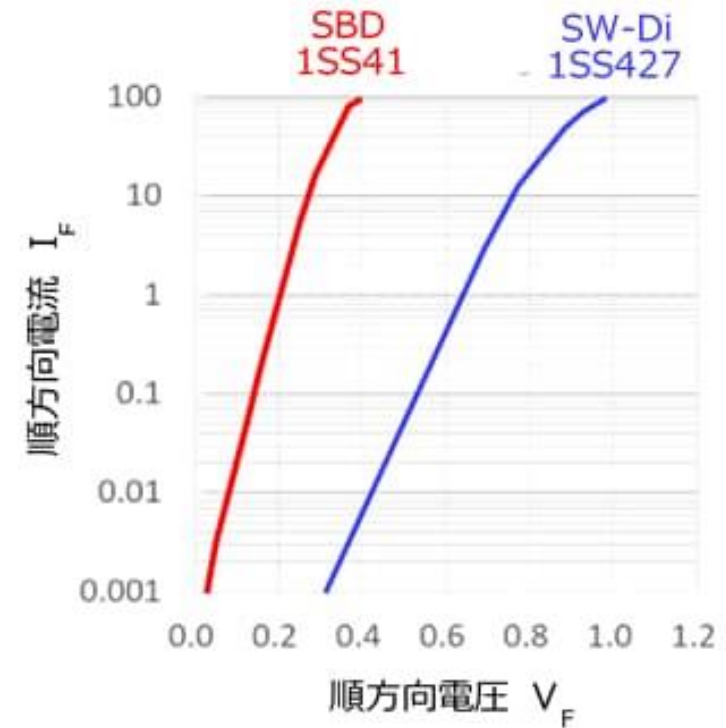
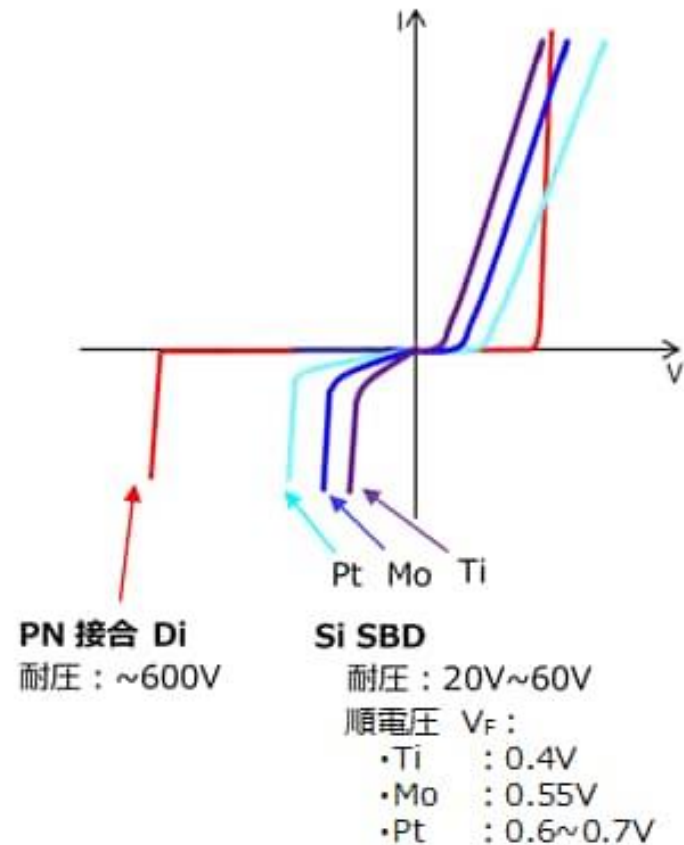
ダイオードがオンする順方向に電流を流した時に生じる電圧です。この電流・電圧特性を決める要因は拡散障壁（拡散電位）です。特に順方向電圧（小電流）は拡散電位の大きさに比例します。（高電流については項目（耐圧）で説明しますが、直列抵抗も影響します。）pn接合ではn型半導体の伝導帯最下部電位とp型半導体の伝導帯最下部電位との間の電位差が拡散電位となります。金属・半導体接合ではn型半導体（p型半導体）の仕事関数と金属の仕事関数の電位差が拡散電位です。図は無バイアスでの状態を示しています。pn接合の拡散電位は濃度で多少変わりますが大きくは変わりません。これに対し、金属・半導体接合では、n型半導体と接合する金属によってこの拡散電位は変わりますが、一般的にpn接合に対しては小さくなります。



### 3.4. 順電圧

図に金属の違いによる  $V_F$  vs  $I_F$  のイメージ図を示します。

また、実際の製品 SW-Di (1SS427 VR=80 V) とSBD (1SS416 VR=30 V) の比較データを図に示します。順方向電圧に対して、SBDの順電流が明らかに大きくなっています。

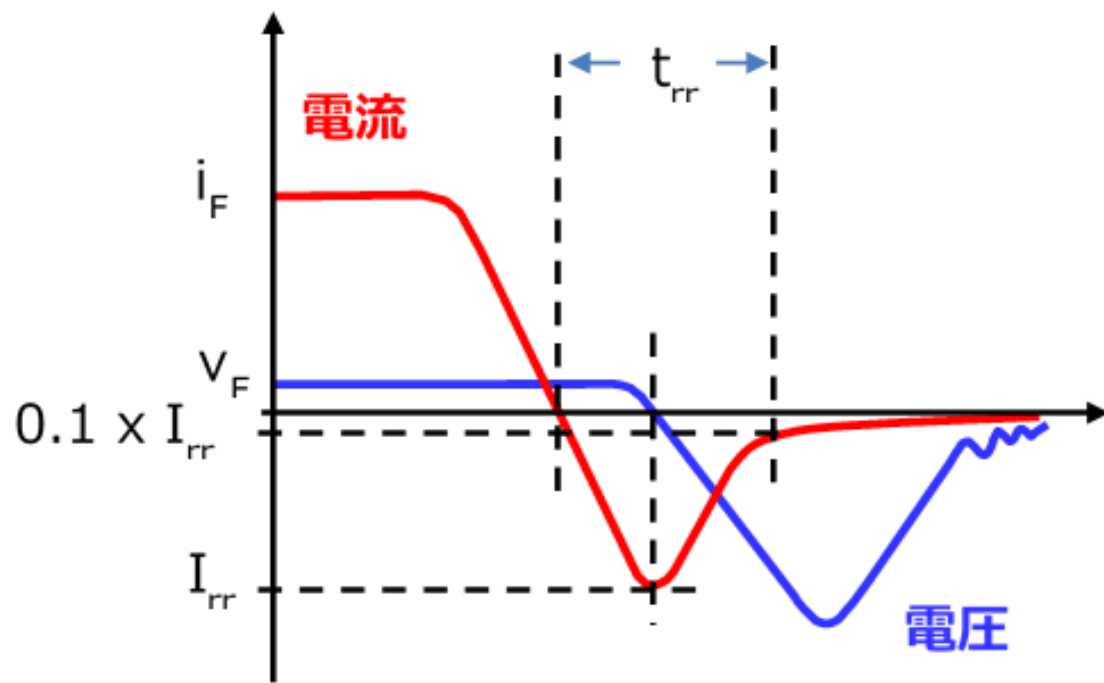




## 3.5. 逆回復時間

ダイオードなどの半導体デバイスでは、デバイスがオンの状態で電子やホールは、電流の運び手（キャリア）として働くほかに、ジャンクション境界面の空乏層や寄生容量では電荷として、伝導度変調などでは過剰キャリアとして蓄積されます。これらがオンからオフに移行する時に、コンデンサーが放電するように電子を放出します。この電子の流れが逆方向の電流として観測されます。

電流がゼロとクロスする点 ( $i_F=0$ ) から逆電流のピーク  $I_{rr}$  までの区間では  $V_F$  は正になっているので、空乏層や寄生容量の電荷が主に放出され負の電流が流れます。ピーク逆電流  $I_{rr}$  以降の区間は電導度変調による過剰キャリア（電子とホール）が再結合することにより消滅する区間になります。このため、再結合時間（ライフタイム）に依存します。

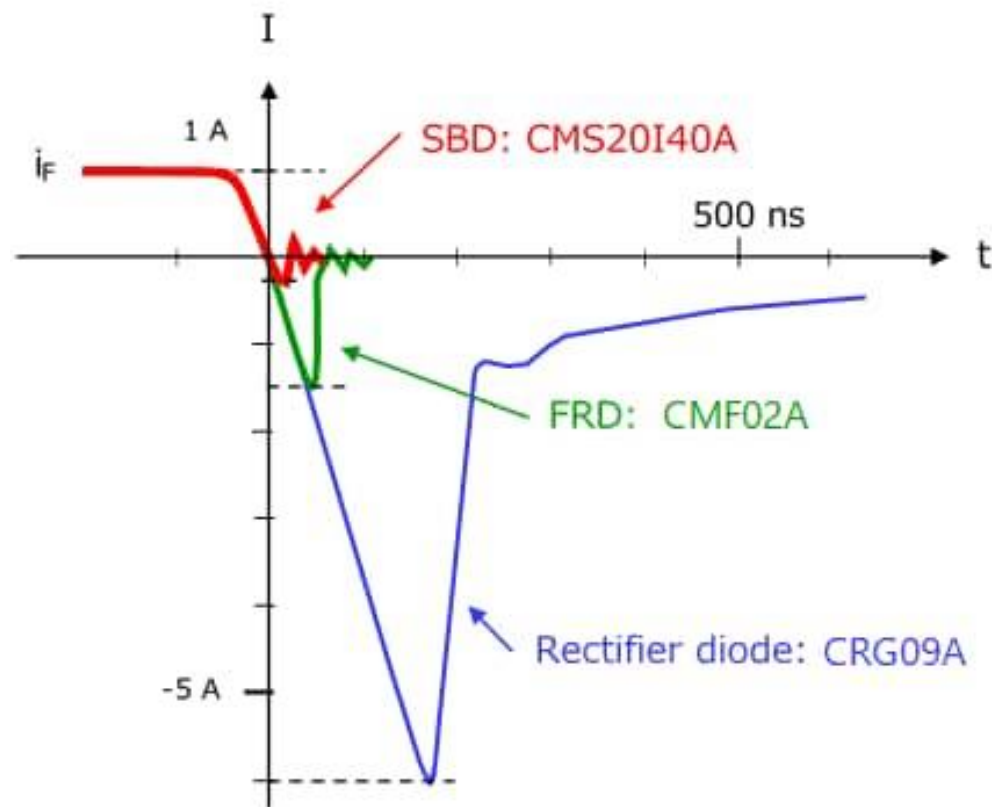


逆回復時間の定義としては、図に示すように素子の逆方向電流が消滅し、素子が回復するのに要する時間です。  $t_{rr}$  は、順電流  $i_F=0$  に減少した時点から、ピーク逆電流  $I_{rr}$  の 10% にまで回復するまでの時間で規定されます。

### 3.5. 逆回復時間

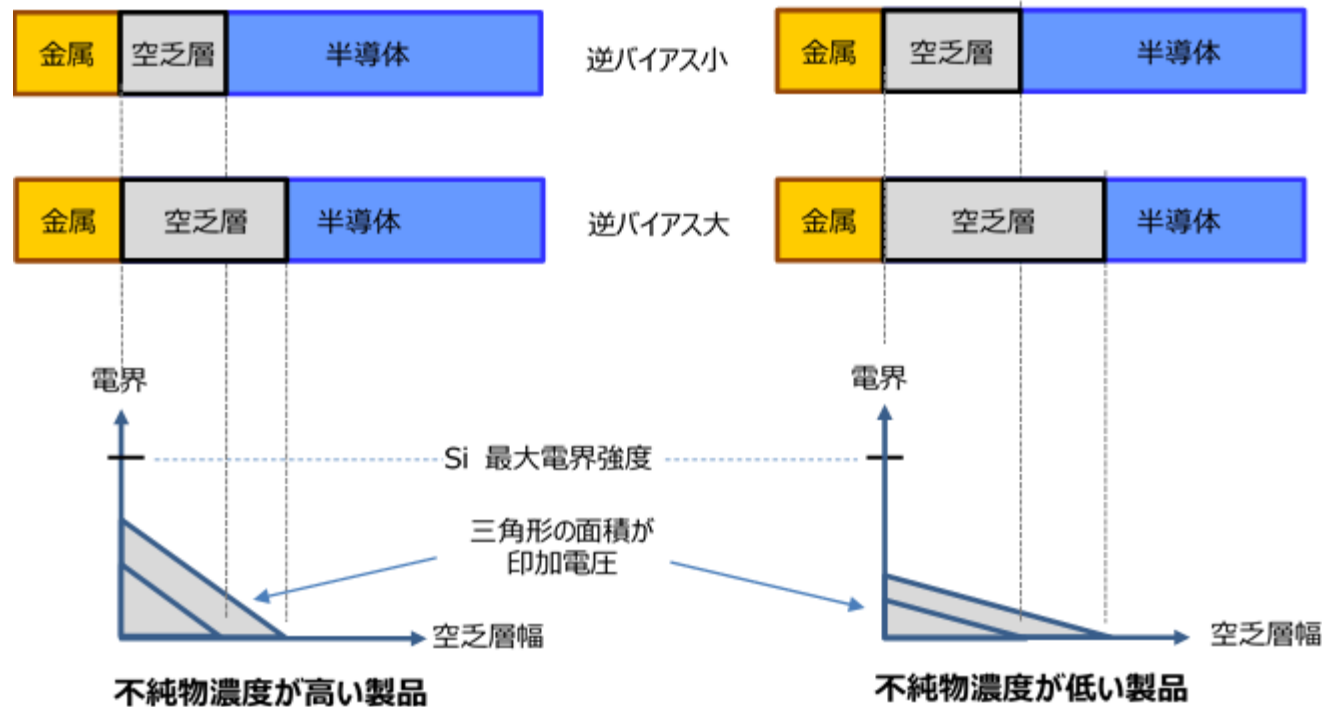
既に説明していますが、伝導度変調はpn接合ダイオードなどのバイポーラーデバイスで生じ、ユニポーラーデバイスであるSBDでは原理的に発生しません。このためSBDでは逆回復時間がほとんどありません。

図はpn接合ダイオードの代表として整流ダイオードCRG09A ( $V_R=400\text{ V}$   $I_F=1\text{ A}$ ) とファーストリカバリーダイオード (FRD) CMF02A ( $V_R=600\text{ V}$   $I_F=1\text{ A}$ )、ショットキーバリアダイオード (SBD) CMS20I40A ( $V_R=40\text{ V}$   $I_F=2\text{ A}$ ) の逆回復特性の比較です。耐圧が異なるので単純な比較はできませんが、整流ダイオードに対しFRDが小さく、更にSBDではほとんど無いことがわかります。



## 3.6. 耐圧

耐圧 $V_R$ はショットキーバリアダイオードに印加できる最大の逆電圧です。ショットキーバリアダイオードに逆バイアスを印加すると、この電圧は接合部から半導体側に伸びる空乏層に印加されます。この空乏層は製品の濃度により長さ（空乏層幅）が変わり、濃度の高い製品ほど短くなります。また、逆バイアスの電圧を増加させると空乏層は伸び、減少させると縮みます。印加する電圧と電界の関係は図のように示されます。三角形の面積が印加電圧になります。印加する電圧を増加すると電界強度は大きくなり、ある電圧（Si 最大電界強度）を超えると過大な電流が流れ素子が破壊します。この最大電界強度を超えない最大の電圧を耐圧として定義しています。このため、不純物濃度の低い製品ほど耐圧は高くなります。

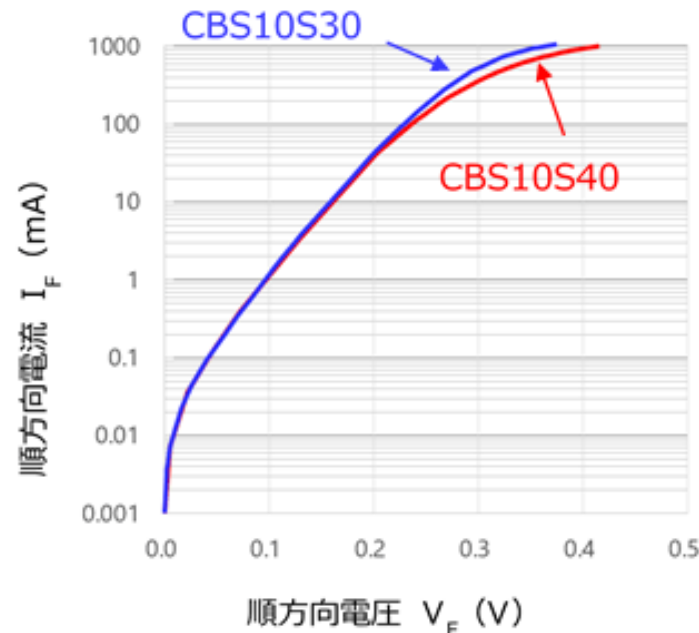


## 3.6. 耐圧

また、不純物濃度の高低はダイオードの直列抵抗の大小に直接影響します。濃度が高いほど直列抵抗が小さくなります。pn接合ダイオードでは既に説明した伝導度変調効果による過剰キャリアによりこの影響は小さくすることができます。しかしながら、ショットキーバリアダイオードはユニポーラーデバイスであり、伝導度変調効果を得ることができません。

同一の金属を用いた耐圧30 Vのショットキーバリアダイオード（CBS10S30）と耐圧40 Vの（CBS10S40）の $I_F$ - $V_F$ カーブを図に示します。低い電流では差は無く、電流定格（1 A）に近づく耐圧の高いCBS10S40が同じ順方向電圧で電流が小さくなっていることがわかります。

これは半導体に添加された不純物の濃度がCBS10S40の方が低く、これに基づく直列抵抗が高くなっているためです。この傾向は耐圧を高くするほど顕著になります。このため、Siのショットキーバリアダイオードでは、高耐圧化が困難です。

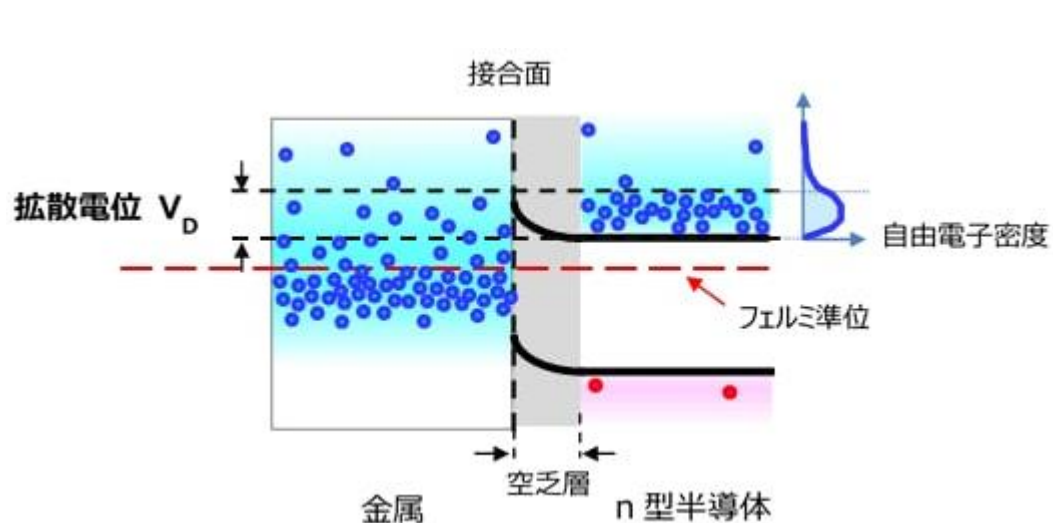


### 3.7. リーク電流

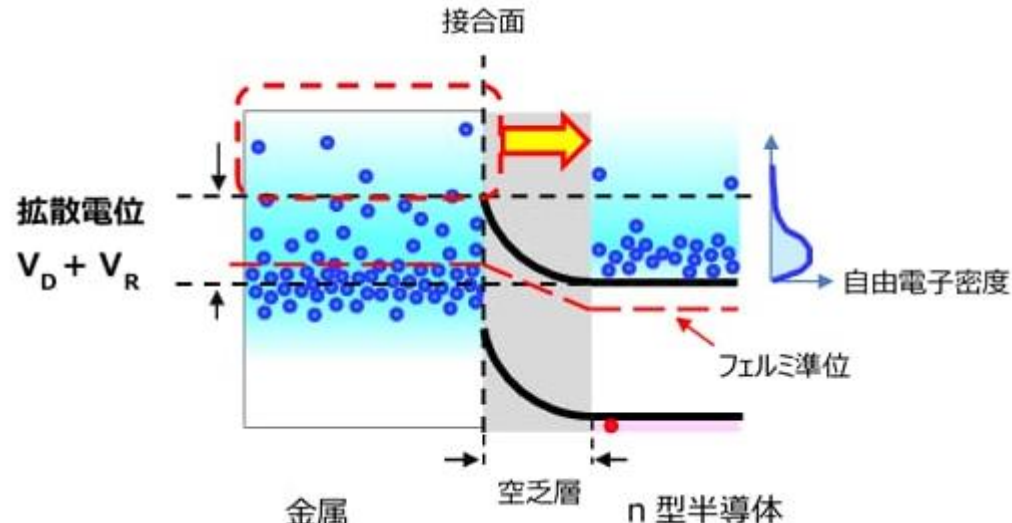
順方向の動作では、拡散電位を超えた範囲で半導体側の多数キャリア密度が金属側のキャリア密度を上回り、半導体側から電子が拡散し電流が流れます。

これに対し、逆バイアス時は拡散電位を超えた部分で金属側のキャリア濃度が半導体側のキャリア密度より上回ることから逆方向の電流が流れることとなります。この電流をリーク電流と言います。ただし、この拡散電位を超える部分ではキャリア密度が低いため、リーク電流は順方向電流に比べた違いに小さな電流となります。

pn接合ダイオードに比較し、ショットキーバリアダイオードは拡散電位が低いためリーク電流は比較的低い逆電圧で流れます。また、金属と半導体と言う異種の物質を接合するため、境界面の結晶構造が乱れやすくなっており、これもリークが発生する要因となります。



ショットキーバリアダイオード (無バイアス)



ショットキーバリアダイオード (逆バイアス)

**TOSHIBA**