

ショットキーバリアダイオードの基礎

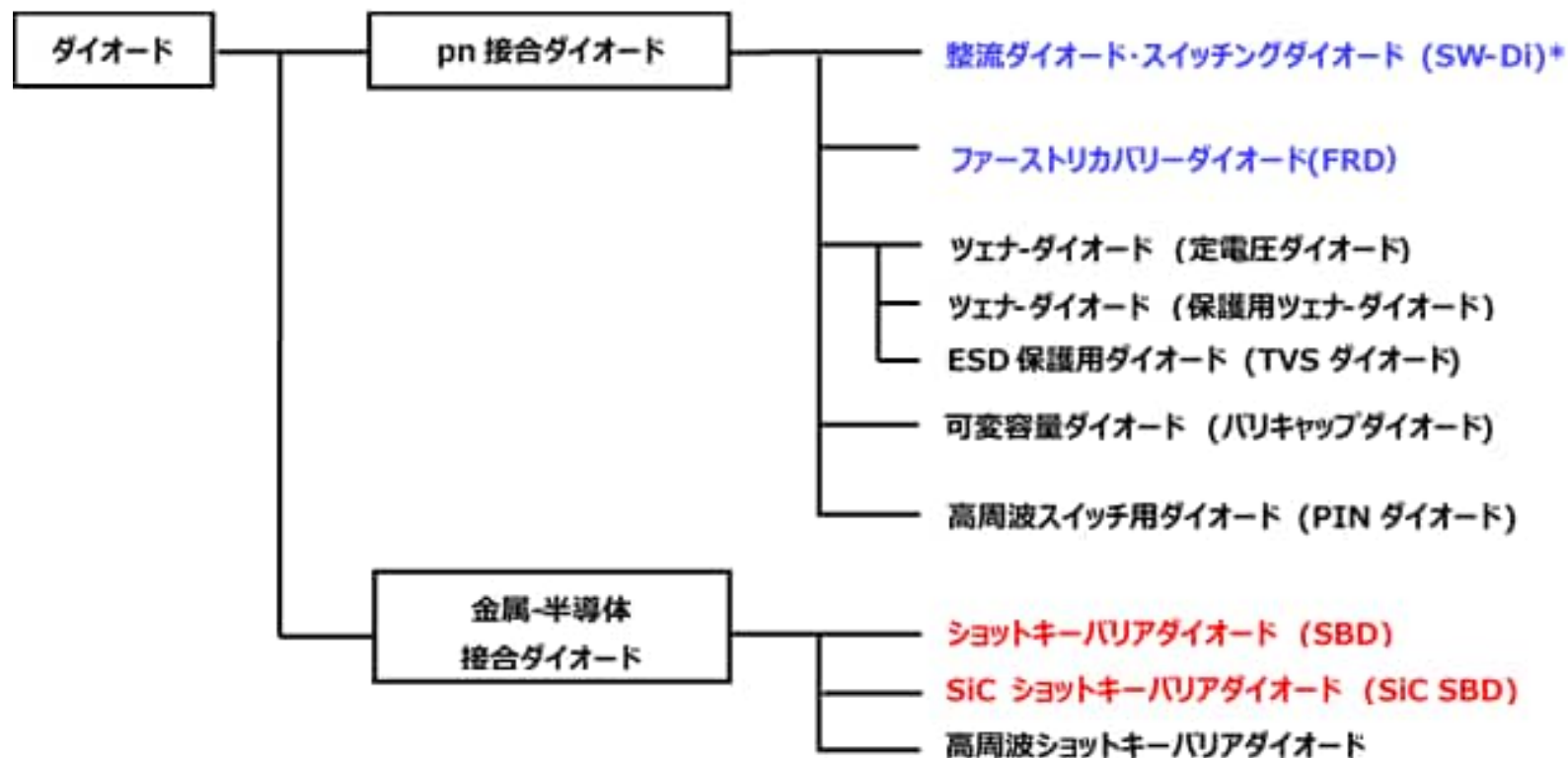
3章 ショットキーバリアダイオードの基礎

TOSHIBA

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witch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)	★	★★★★	★★

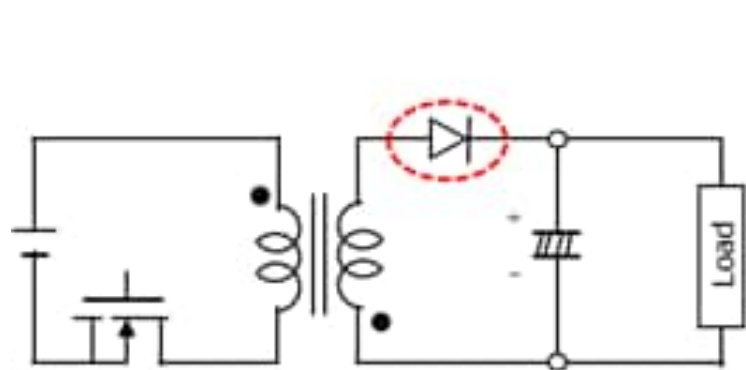
★：数が多いほど優れていることを示す

3.3. ショットキーバリアダイオードの用途

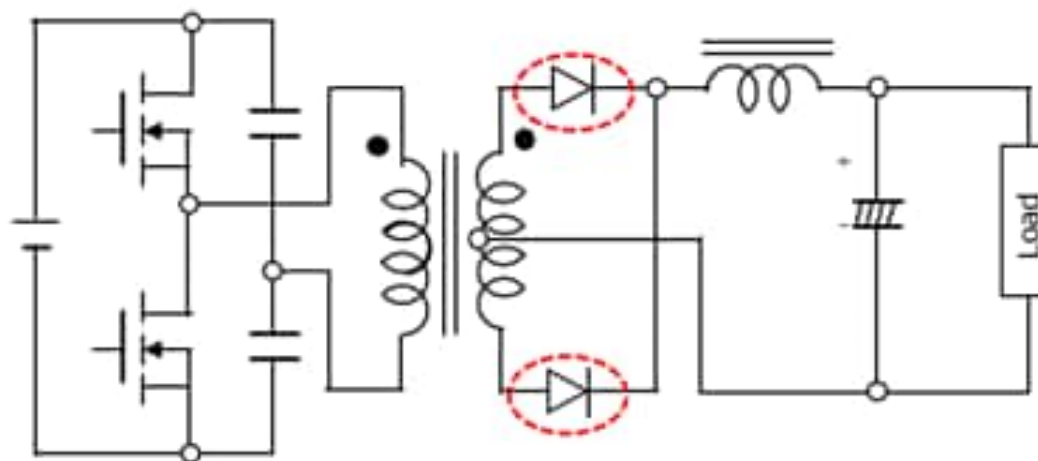
ショットキーバリアダイオードは利点（順電圧 V_F が低い / 逆回復時間 t_{rr} が短い）を必要とする用途に利用されます。

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

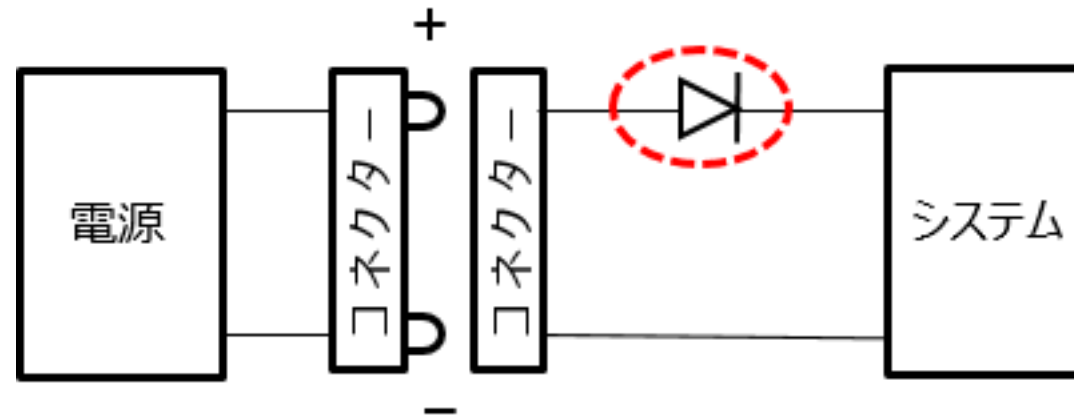


ハーフブリッジコンバーター

3.3. ショットキーバリアダイオードの用途

逆接保護：

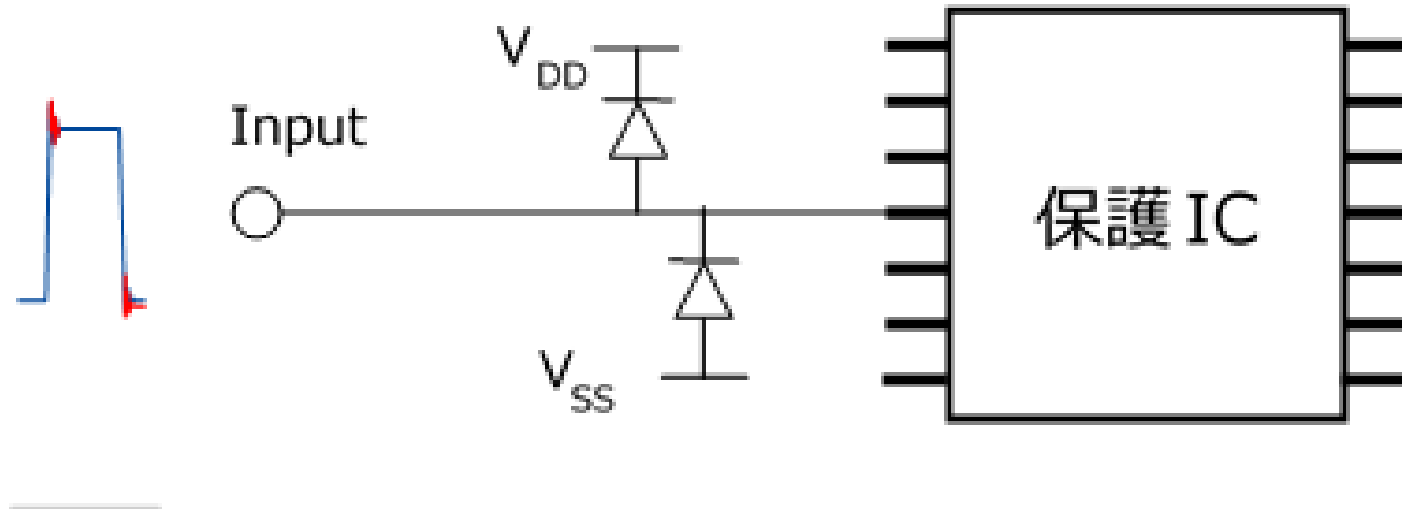
移動体機器などの充電回路・電池など、誤って極性を反対に接続する可能性がある場合に、電源ラインに直列にダイオードを接続します。正しい方向に接続した場合、ダイオードで発生する電圧降下分の電力はロスとなります。逆接続した場合の電圧がショットキーバリアダイオードの耐圧未満であれば、低 V_F のショットキーバリアダイオードは最適なデバイスです。



3.3. ショットキーバリアダイオードの用途

IC保護：

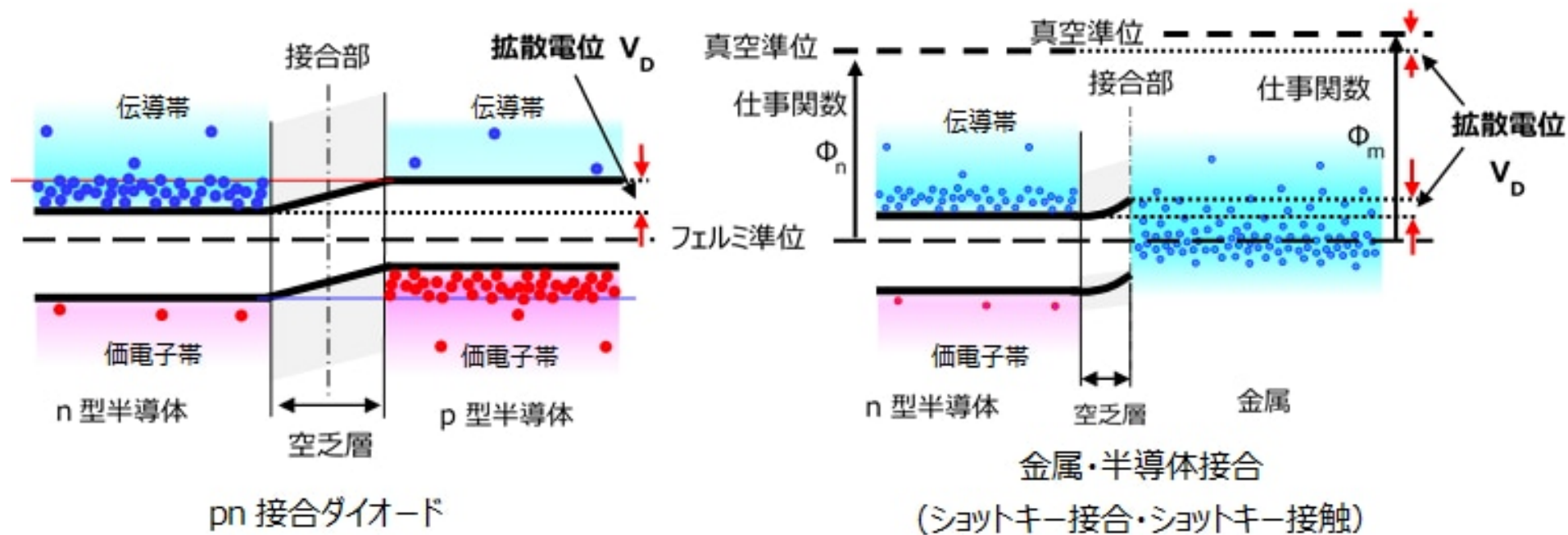
入力電圧の最大定格が $GND-0.3V \sim V_{DD}+0.3$ となるICがあります。入力信号に含まれるリングングなどでこの定格を上回る可能性がある場合、低 V_F であるショットキーバリアダイオードが使用されます。



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

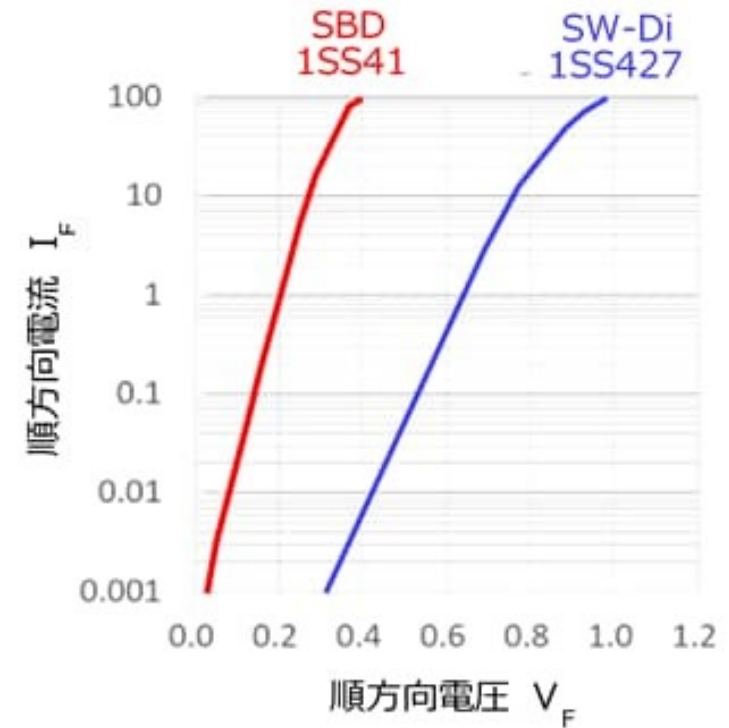
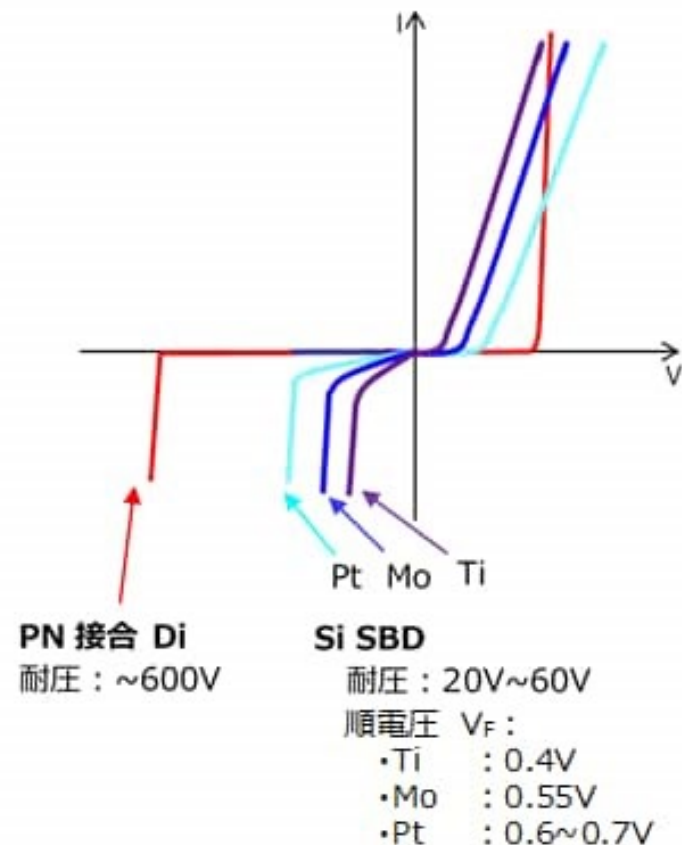
ダイオードがオンする順方向に電流を流した時に生じる電圧です。この電流・電圧特性を決める要因は拡散障壁（拡散電位）です。特に順方向電圧（小電流）は拡散電位の大きさに比例します。（高電流については項目（耐圧）で説明しますが、直列抵抗も影響します。）pn接合ではn型半導体の伝導帯最下部電位とp型半導体の伝導帯最下部電位との間の電位差が拡散電位となります。金属・半導体接合ではn型半導体（p型半導体）の仕事関数と金属の仕事関数の電位差が拡散電位です。図は無バイアスでの状態を示しています。pn接合の拡散電位は濃度で多少変わりますが大きくは変わりません。これに対し、金属・半導体接合では、n型半導体と接合する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

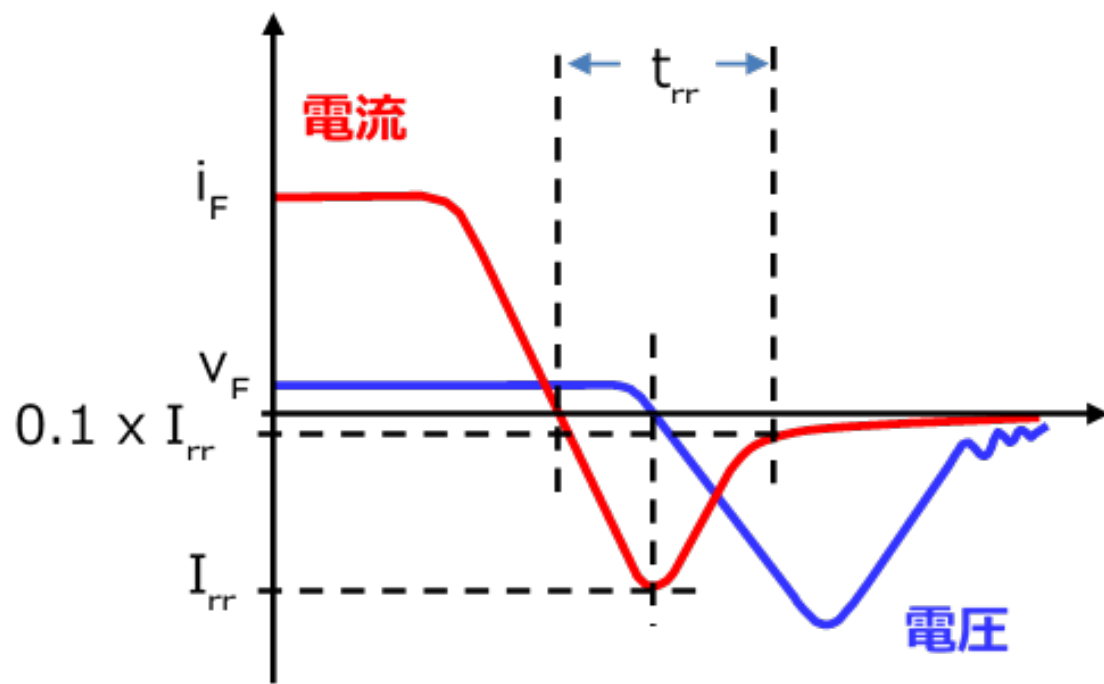
また、実際の製品 SW-Di (1SS427 VR=80 V) とSBD (1SS416 VR=30 V) の比較データを図に示します。順方向電圧に対して、SBDの順電流が明らかに大きくなっています。



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。

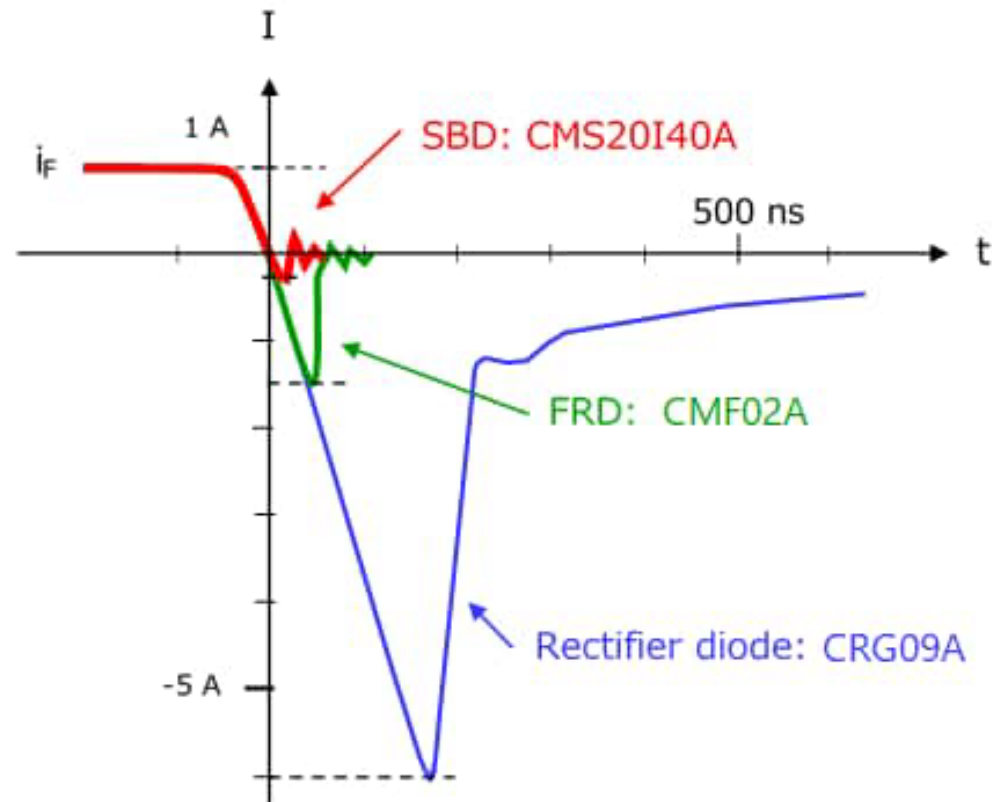


逆回復時間の定義としては、図に示すように素子の逆方向電流が消滅し、素子が回復するのに要する時間です。 t_{rr} は、順電流 $i_F=0$ に減少した時点から、ピーク逆電流 I_{rr} の 10% にまで回復するまでの時間で規定されます。

3.5. 逆回復時間

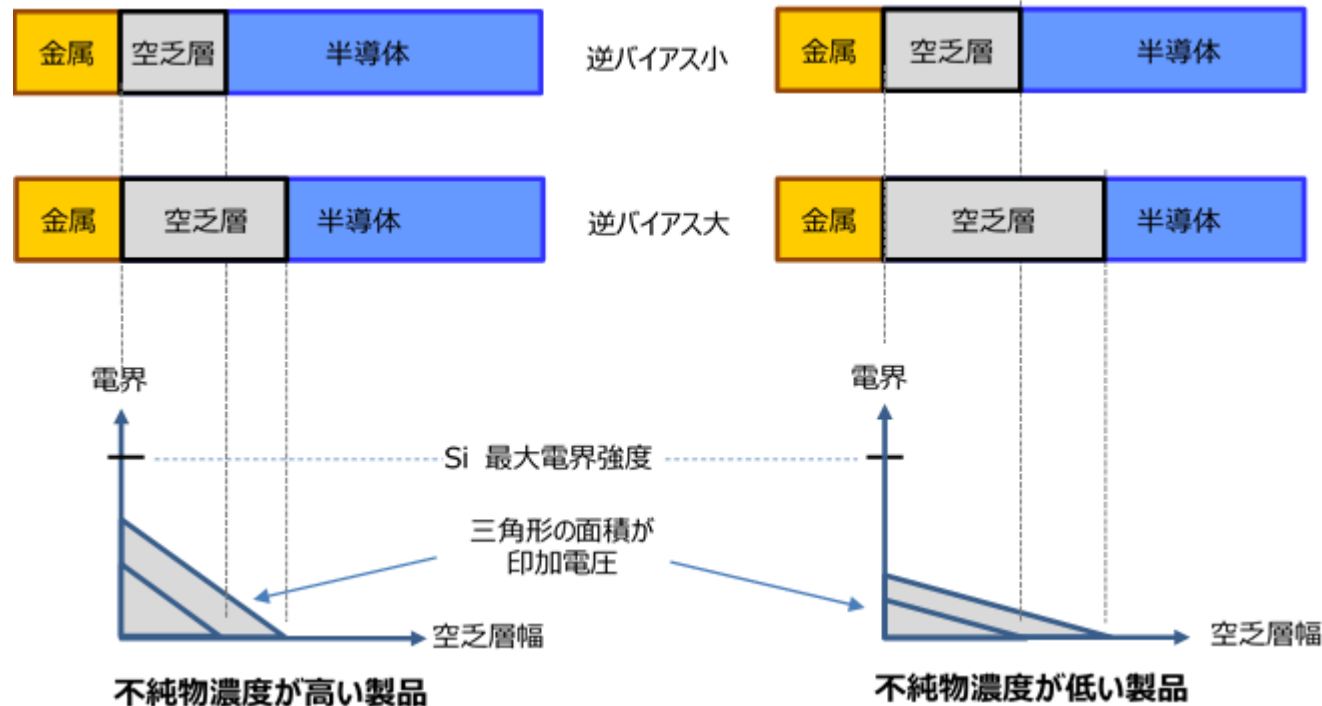
既に説明していますが、伝導度変調はpn接合ダイオードなどのバイポーラーデバイスで生じ、ユニポーラーデバイスであるSBDでは原理的に発生しません。このためSBDでは逆回復時間がほとんどありません。

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。

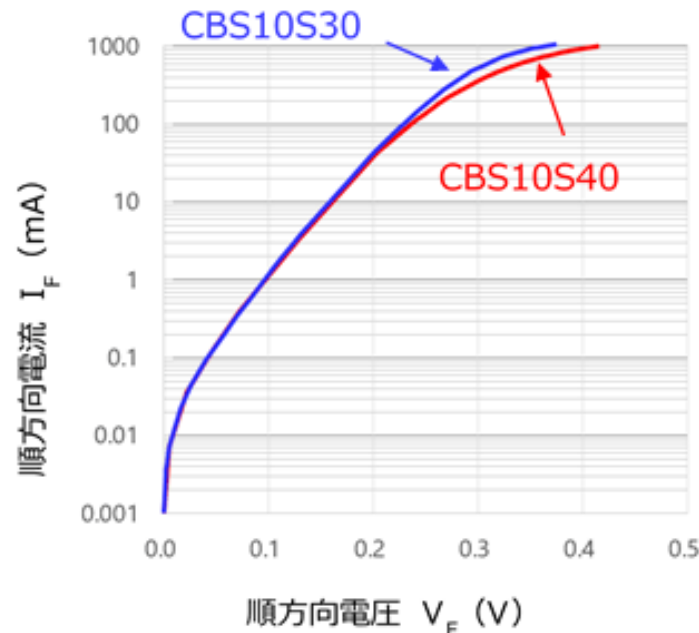


3.6. 耐圧

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。

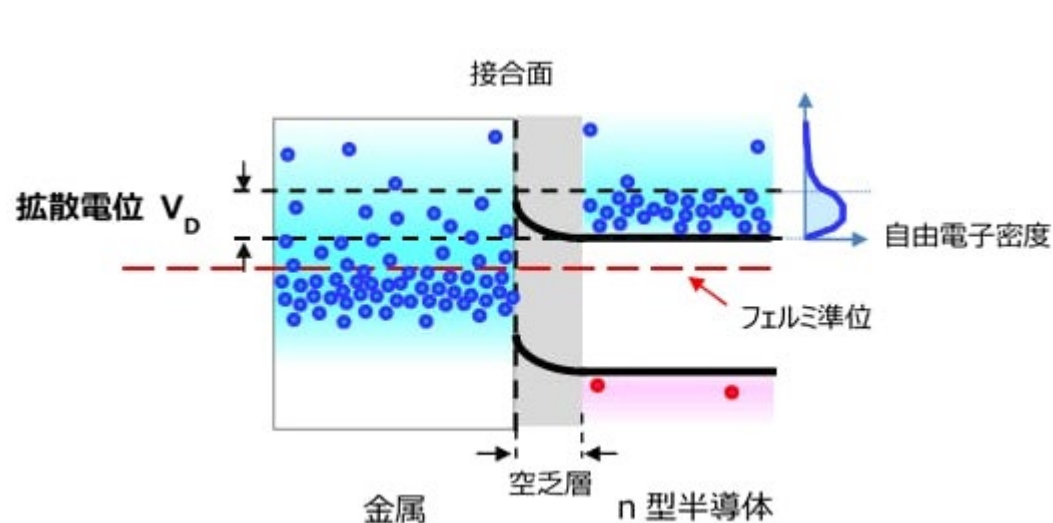


3.7. リーク電流

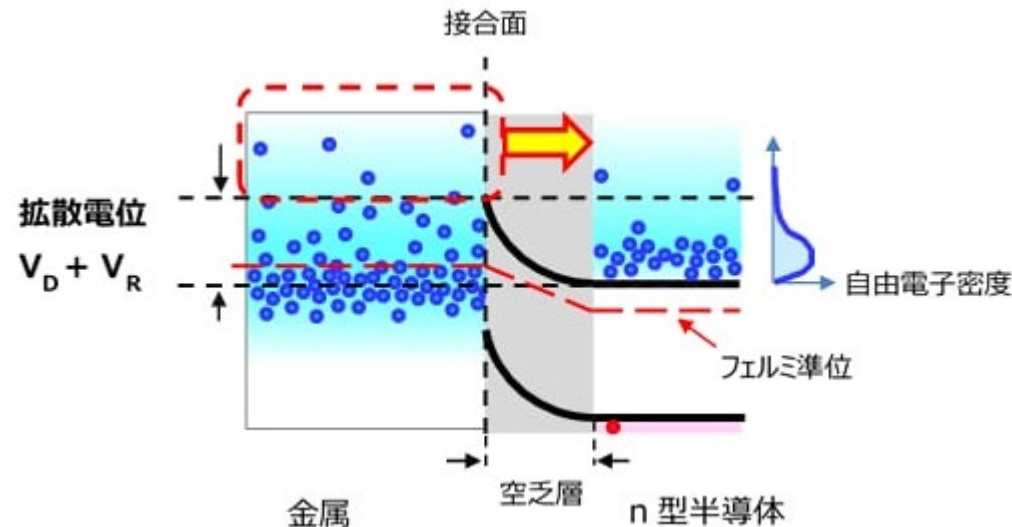
順方向の動作では、拡散電位を超えた範囲で半導体側の多数キャリア密度が金属側のキャリア密度を上回り、半導体側から電子が拡散し電流が流れます。

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け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)

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。

TOSHIBA