

ダイオードとは

ダイオードの一般的な概要と弊社ダイオード製品について

目次

目次	2
1. 概要	3
2. ダイオードについて	3
2.1. ダイオードとは	3
2.2. ダイオードの用途	4
2.3. ダイオードの構造	4
2.4. 一定の方向に電流が流れる理由	6
2.5. 電気的特性	7
2.5.1. 静特性	7
2.5.2. スイッチング特性	8
3. ダイオードの種類について	10
3.1. 一般整流ダイオード	10
3.2. 高速整流ダイオード	10
3.3. 高圧整流ダイオード	12
3.4. スナバ専用ダイオード	12
3.5. オルタネータ用ダイオード	12
3.6. TVS ダイオード	13
3.7. ショットキダイオード	14
4. ダイオードの定格や特性項目	16
4.1. 絶対最大定格	16
4.2. 電気的特性	17
4.3. 機械的特性	17
注意書き	18

1. 概要

本資料ではダイオードの一般的な概要と、弊社が提供するダイオード製品について説明します。弊社が提供するダイオード製品の詳細は、以下のリンクを参照してください。

- ダイオード
<https://www.semicon.sanken-ele.co.jp/ctrl/product/category/Diode/>
- 車載用ダイオード
<https://www.semicon.sanken-ele.co.jp/ctrl/product/category/ADiode/>
- 製品選択ガイド
<https://www.semicon.sanken-ele.co.jp/common/pdf/selectionguide/sgj0006.pdf>

2. ダイオードについて

2.1. ダイオードとは

ダイオードとは、電流を一定の方向に流す半導体素子です。電流を水の流りに例えるなら、ダイオードは“弁”のイメージです。

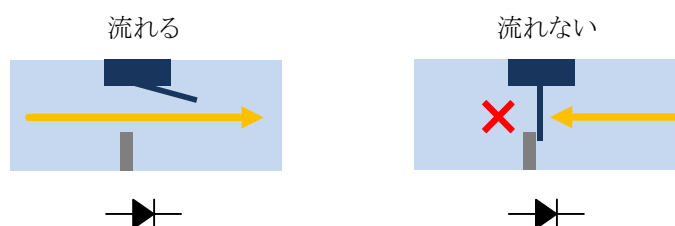


図 2-1 ダイオードのイメージ

図 2-2 に、実際のダイオード例を示します。ダイオードには、カソード側にマークが付いています。カソードについては、2.3 項を参照してください。



図 2-2 ダイオード例

2.2. ダイオードの用途

● 整流作用

ダイオードは一定の方向にしか電流を流しません。これを整流作用と呼びます。図 2-3 にダイオードの整流作用を利用した、全波整流回路を示します。全波整流回路は電源回路などに多く使用され、コンデンサと組み合わせて、交流を直流に変換します。

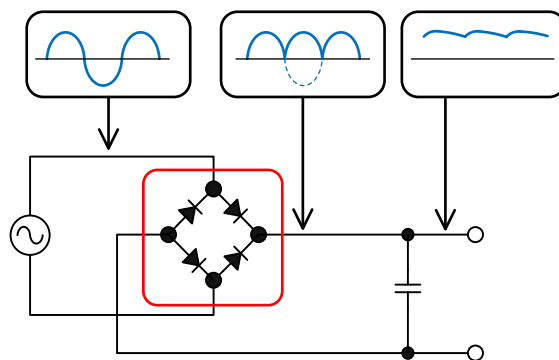


図 2-3 全波整流回路

● 逆流防止

逆流を防止して回路および回路部品を保護します。

● 過電圧保護

過電圧から回路および回路部品を保護します。

2.3. ダイオードの構造

ダイオードの接合構造は、PN 接合とショットキ接合に分類されます。

● PN 接合

電荷を運ぶキャリアが正孔の半導体を、P 型半導体と呼びます。電荷を運ぶキャリアが電子の半導体を N 型半導体と呼びます。P 型半導体と N 型半導体を接合した構造を PN 接合と呼びます。接合部分では再結合（正孔を電子が埋め、キャリアが消失すること）が起こり、電荷がない領域が生じます。これを空乏層と呼びます。

P 型半導体側の端子をアノード、N 型半導体側の端子をカソードと呼びます。

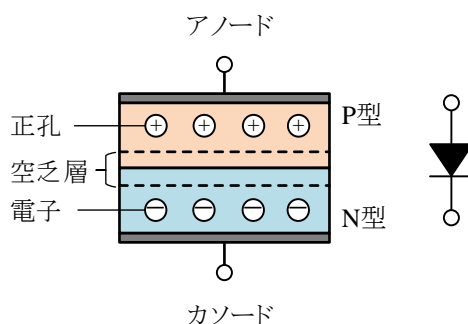


図 2-4 PN 接合

実際のダイオードの N 層は N+層と N-層で構成されます。ダイオードの耐圧は、N-層の厚さとキャリア濃度で決まります。N-層を厚くし、キャリア濃度を低くすると、耐圧は上がります。しかし、耐圧と抵抗にはトレードオフの関係があり、耐圧を上げると抵抗も大きくなってしまいます。

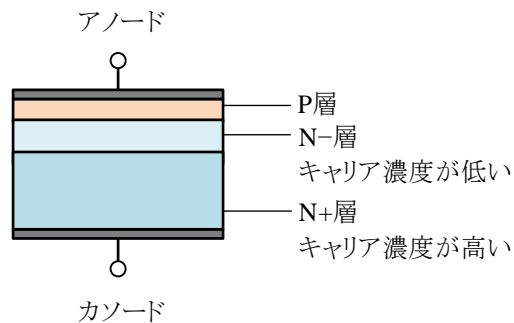


図 2-5 PN 接合 (P 層/N 層)

● ショットキ接合

金属と半導体（一般的に N 型半導体）を接合した構造をショットキ接合と呼びます。接合部分にはショットキ障壁が生じます。金属側の端子をアノード、N 型半導体側の端子をカソードと呼びます。P 型半導体を使用しないため、正孔をキャリアとして使用しません。

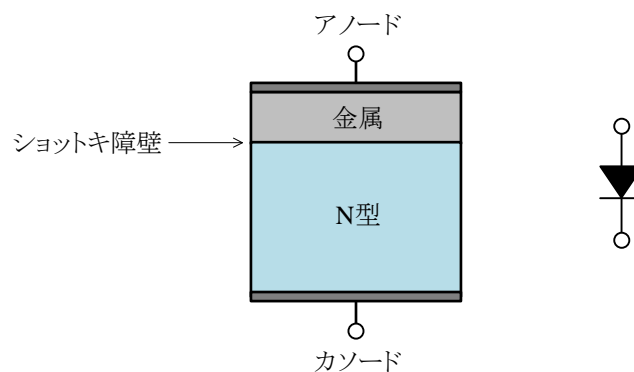


図 2-6 ショットキ接合

ダイオードは、順方向（アノードに正電圧、カソードに負電圧）に電圧を印加すると、電流が流れます。逆方向に電圧を印加しても、電流は流れません。

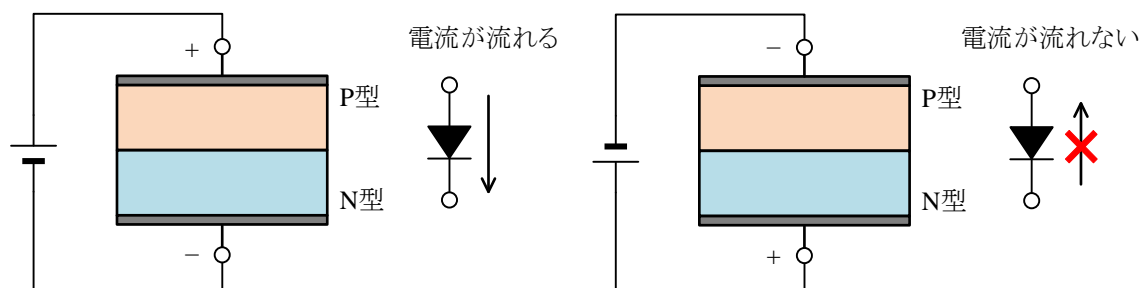


図 2-7 電圧を印加する方向

2.4. 一定の方向に電流が流れる理由

PN 接合のダイオードを例にして説明します。

	<p>電圧を印加していない状態 正孔と電子は平衡状態です。</p>
	<p>順方向に電圧を印加 順方向に電圧を印加すると空乏層が狭くなり、正孔と電子は再結合を繰り返します。また、正孔と電子は矢印の向きに移動し続けます。つまり、電流が流れている状態です。</p>
	<p>逆方向に電圧を印加 逆方向に電圧を印加すると空乏層が広がり、正孔と電子は移動しない状態になります。つまり、電流は流れません。</p>

2.5. 電気的特性

本項ではダイオードの電気的特性について説明します。

2.5.1. 静特性

図 2-8 に、ダイオードの静特性を示します。

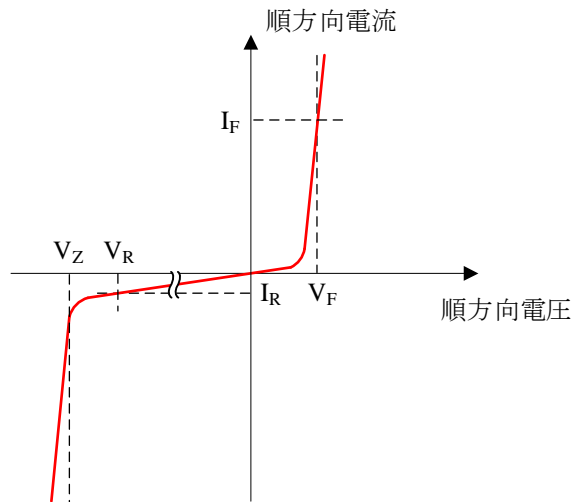


図 2-8 ダイオードの静特性

- 順方向降下電圧 V_F 、順方向電流 I_F
 順方向に電圧を印加したときに流れる電流を、順方向電流 I_F と呼びます。 I_F が流れたときの電圧を、順方向降下電圧 V_F と呼びます。
 ダイオードの $I_F - V_F$ 特性を比較した場合、同じ量の I_F を流すのに必要な V_F が低いダイオードほど電力損失が少なく、特性が良いとされます。
 V_F は負の温度特性を持っており、高温になるほど V_F は低くなります。
- 逆方向電圧 V_R 、逆方向漏れ電流 I_R
 逆方向に電圧を印加したときに流れる電流を、逆方向漏れ電流 I_R と呼びます。 I_R が流れたときの電圧を、逆方向電圧 V_R と呼びます。
 逆方向に電圧を印加すると、わずかに漏れ電流 I_R が流れます。 I_R が小さいダイオードほど電力損失が少なく、熱暴走を防ぐことができます。
 I_R は正の温度特性を持っており、高温になるほど I_R は高くなります。
- 逆方向降伏電圧 V_Z
 逆方向電圧 V_R を大きくすると、ある電圧で逆方向漏れ電流 I_R が急増します。この時の電圧を逆方向降伏電圧 V_Z と呼びます。逆方向降伏電圧はツェナー電圧またはブレイクダウン電圧とも呼ばれます。

2.5.2. スイッチング特性

図 2-9 に示すように、順方向電圧を印加している状態から、スイッチを切り換えて逆方向電圧を印加するとリカバリ電流が流れます。リカバリ電流が流れてからリカバリ電流が減少するまでの時間を、逆方向回復時間 t_{rr} (Reverse Recovery Time) と呼びます。 t_{rr} は順方向電流 I_F が大きいほど長くなります。リカバリ電流はノイズや電力損失の原因になるため、 t_{rr} が短いダイオードほど特性が良いとされます。

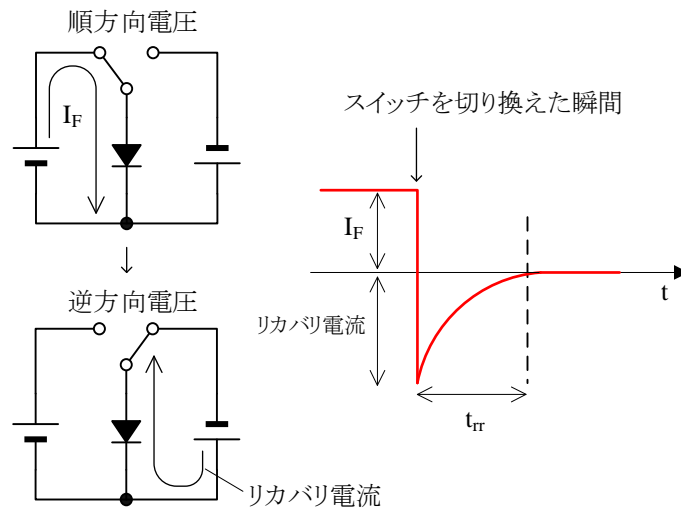


図 2-9 逆方向回復時間 t_{rr}

順方向電圧から逆方向電圧に変化したときに、リカバリ電流が流れる理由を以下に説明します。

	<p>A : 電圧を印加していない状態 正孔と電子は平衡状態です。</p>
	<p>B : 順方向電圧を印加している状態 電子は P 型半導体に、正孔は N 型半導体に移動します。つまり I_F が流れている状態です。</p>
	<p>C : 逆方向電圧を印加した瞬間 スイッチを切り換えた瞬間、ダイオードには逆方向電圧が印加され、電子と正孔の移動する向きが逆になります。このときに流れる電流がリカバリ電流です。</p>
	<p>D : 逆方向電圧を印加している状態 しばらくすると、空乏層が広がり、正孔と電子が移動しない状態になります。CからDの状態になるまでの時間が t_{rr} です。</p>

3. ダイオードの種類について

表 3-1 に、弊社が提供するダイオードの種類を示します。本項ではダイオードの種類ごとに、用途や特長を説明します。

表 3-1 ダイオードの種類

分類	種類	民生用製品一覧	車載用製品一覧
PN 接合	一般整流ダイオード	URL	URL
	高速整流ダイオード	URL	URL
	高圧整流ダイオード	URL	URL
	スナバ専用ダイオード	URL	—
	TVS ダイオード	URL	URL
	オルタネータ用ダイオード	—	URL
ショットキ接合	ショットキダイオード	URL	URL

3.1. 一般整流ダイオード

商用電源（50 Hz / 60 Hz）の整流や、逆接続保護回路に使用されます。耐圧が高いのが特長です。

3.2. 高速整流ダイオード

高速整流ダイオード（FRD：Fast Recovery Diode）はスイッチング電源等の高周波（数十 kHz～数百 kHz）の整流に使用されます。一般整流ダイオードに比べ、逆方向回復時間 t_{rr} が短いのが特徴です。一般整流ダイオードの t_{rr} が数 μs ～数十 μs であるのに対し、FRD の t_{rr} は数十 ns～数百 ns です。

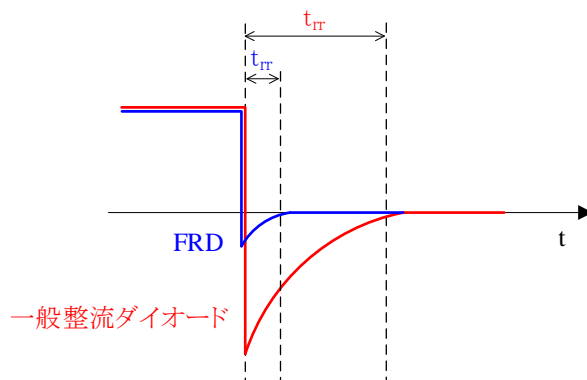


図 3-1 逆方向回復時間 t_{rr} の比較

FRD の逆方向回復時間 t_{rr} が短い理由は、接合部付近にキャリアトラップを設けているからです。図 3-2 に示すように、N 層まで侵入した正孔が P 層に移動しようとしたとき、N 層のキャリアトラップで正孔を捕まえ、正孔を素早く消滅させることで t_{rr} を短くします。

しかし、 t_{rr} と順方向降下電圧 V_F にはトレードオフの関係があり、 t_{rr} を短くするためにキャリアトラップを設けると、 V_F が高くなってしまいます。逆に V_F を低くしようとすると t_{rr} が長くなります。

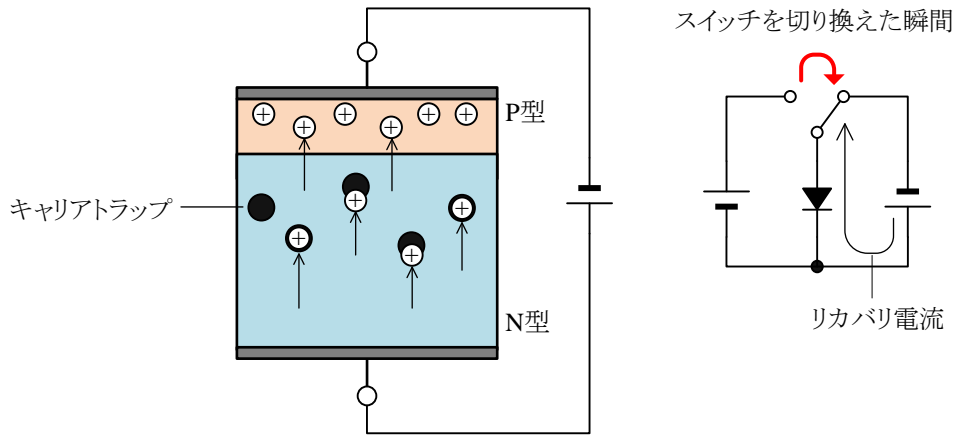


図 3-2 キャリアトラップ

また FRD のリカバリ電流は、電力損失の原因になるため、リカバリ電流のピーク値は小さい方が望ましいです。また、リカバリ電流が急激に収束してリングングが発生すると、ノイズの原因になります。すなわち、リカバリ電流が小さく、ゆるやかに回復する FRD ほど特性が良いとされます（図 3-3 参照）。

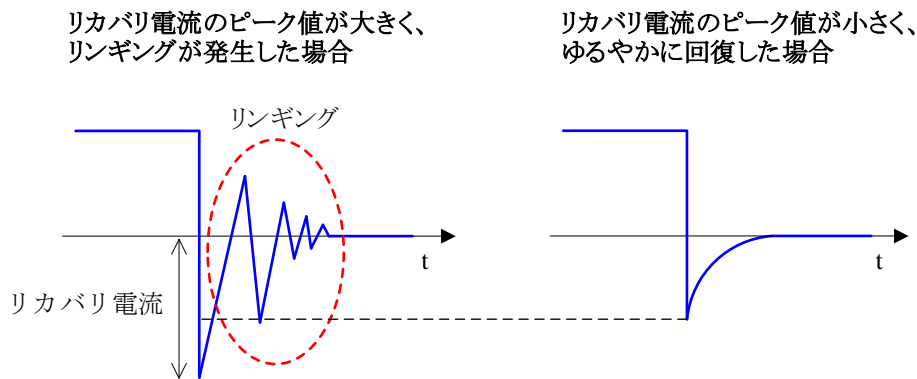


図 3-3 FRD の逆方向回復時間 t_{rr}

3.3. 高圧整流ダイオード

民生用の高圧整流ダイオードは、電子レンジのインバータ回路や高圧回路などに使用されます。車載用の高圧整流ダイオードは、燃料噴射機構の点火コイルなどに使用されます。

3.4. スナバ専用ダイオード

フライバック型スイッチング電源の一次側クランプスナバ回路専用の補助スイッチダイオードです。パワーMOSFETがオフしたときに発生するリングングを低減します。スイッチング電源の効率向上、ノイズ低減に貢献します。

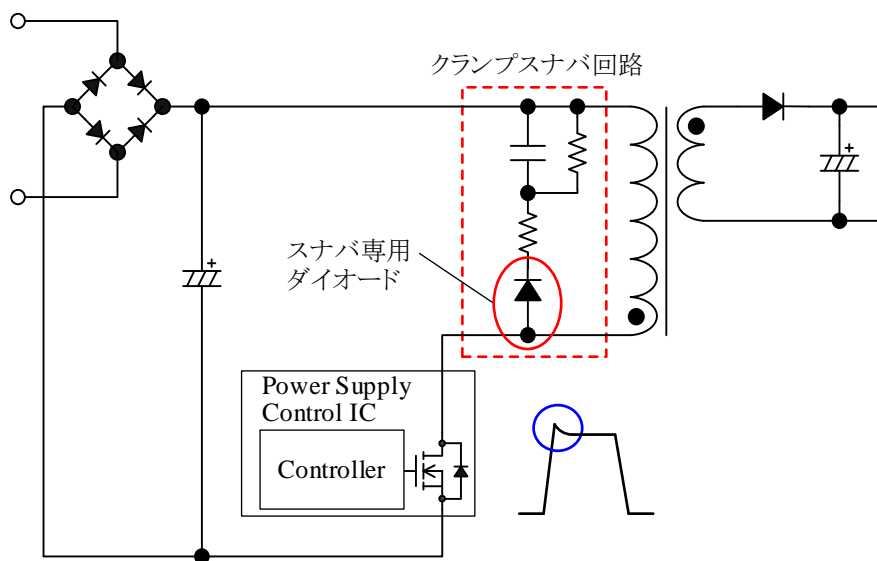


図 3-4 クランプスナバ回路

3.5. オルタネータ用ダイオード

オルタネータ用ダイオードは、車載エンジンルーム内の過酷な環境にも対応できる優れた特性を有しています。面実装タイプとプレスフィットタイプがあります。

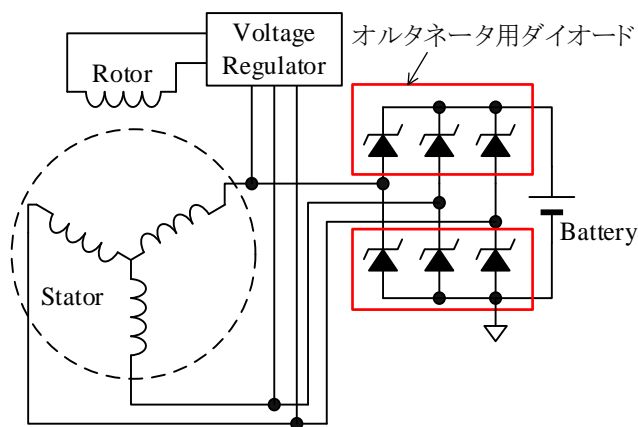


図 3-5 オルタネータ

3.6. TVS ダイオード

TVS (Transient Voltage Suppressor) ダイオードは、過電流、過電圧、サージ等から回路や素子を保護するために使用します。TVS ダイオードはブレークダウン時、流れる電流にかかわらず逆方向電圧がほぼ一定になります (図 3-6 参照)。TVS ダイオードはこの逆方向の特性を利用して、回路や素子を保護します。

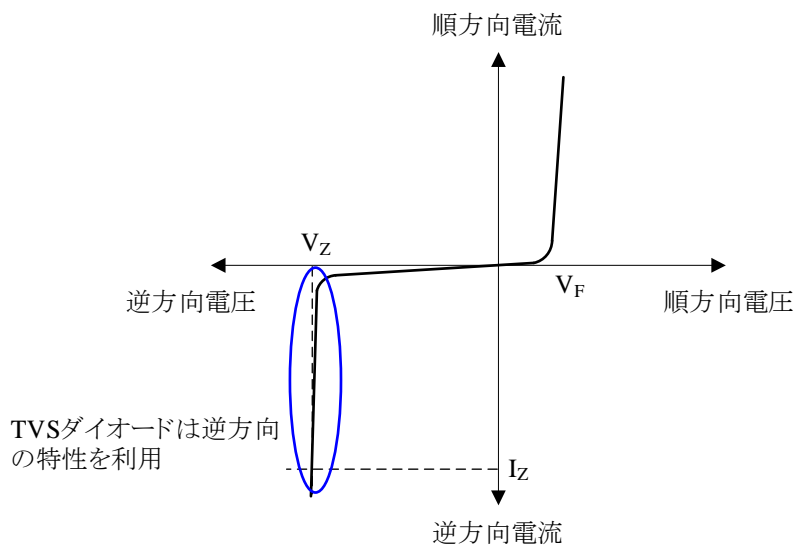


図 3-6 ダイオードの静特性

3.7. ショットキダイオード

ショットキダイオードは、ショットキ接合によって生じる障壁を利用したダイオードです。ショットキダイオードは PN 接合のダイオードと比べ順方向降下電圧 V_F が低く、逆方向回復時間 t_{rr} が短いため、高速スイッチングに適しています。また t_{rr} には温度依存性がなく、どの温度でも t_{rr} は同じになります。

しかし、ショットキダイオードは PN 接合のダイオードと比べ逆方向漏れ電流 I_R が大きく、電力損失 ($I_R \times V_R$) も大きくなります。また、高温になるほど電力損失が増大するため、熱暴走を起こさないように放熱設計をする必要があります。

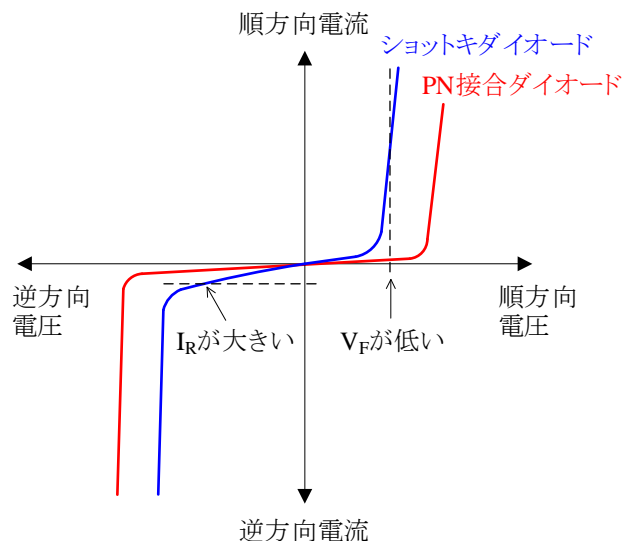


図 3-7 静特性の比較

ショットキダイオードの耐圧は PN 接合のダイオードに比べて低く、高耐圧にすることは難しいとされています（一般的に 150 V まで）。図 3-8 に示すように、N-層を厚くし、キャリア濃度を低くすれば耐圧は上がります。しかし、抵抗値が上がり V_F も高くなるため、損失が大きくなり実用の範囲外の性能になってしまいます。弊社では次世代パワー半導体 SiC を使用した、高耐圧で実用性のある SiC ショットキダイオードを開発しています。

次世代パワー半導体：<https://www.semicon.sanken-ele.co.jp/guide/GaNSiC.html>

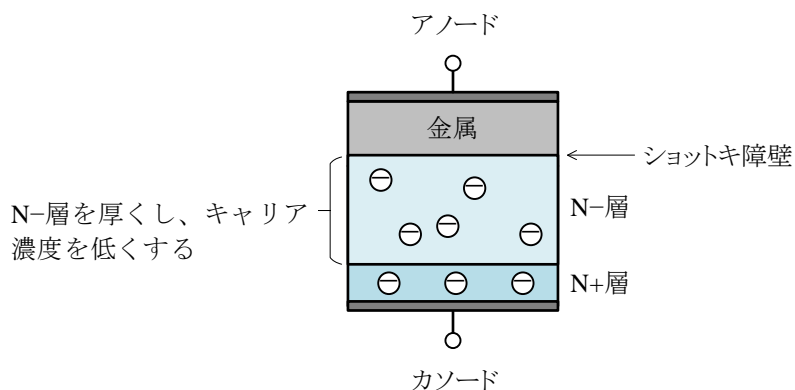


図 3-8 ショットキ接合

ショットキ障壁の高さは半導体に接続する金属の種類によって異なります。また、金属の種類により電気的特性が異なります。図 3-9 に示すように、金属の種類により、順方向降下電圧 V_F と逆方向漏れ電流 I_R はトレードオフの関係があります。狙いの特性に合わせて金属を選定します。

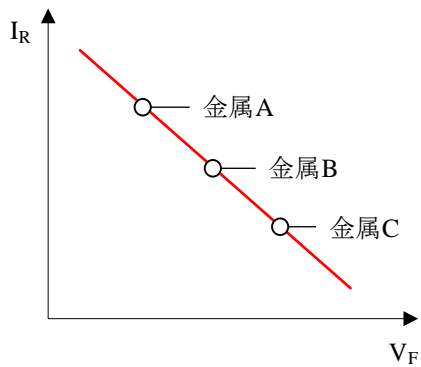


図 3-9 金属による特性の違い

4. ダイオードの定格や特性項目

データシートには、絶対最大定格と電気的特性が記載されています。本項では弊社のデータシートに記載している定格や特性項目について説明します。

4.1. 絶対最大定格

絶対最大定格とは、一瞬でも超えてはならない許容値を示したものです。その値を超えるとその半導体は故障する可能性があり、半導体を使用する電子機器は、半導体にその値を超えるストレスが一瞬でも加わらないように設計する必要があります。

また、絶対最大定格は信頼性を保証するものではありません。絶対最大定格の範囲内で使用した場合でも、推奨条件を超えている場合は耐久性が低下し、長期間の使用に耐えない場合があります。

以下に絶対最大定格で規定される項目の一覧を示します。ダイオードの種類によって記載されている絶対最大定格の項目は異なります。

項目	記号	単位	内容	波形イメージ
ピーク繰返し逆電圧	V_{RM}	V	繰返し印加できる最大逆電圧 (AC)	
ピーク非繰返し逆電圧	V_{RSM}	V	非繰返しで印加できる最大逆電圧	
ピークパルス逆電流	I_{RSM}	A	非繰返しで逆方向に流すことができる最大漏れ電流	
許容損失	P_D	W	製品が機能を維持できる最大消費電力	
直流逆方向阻止電圧	V_{DC}	V	繰返し印加できる最大逆電圧 (DC)	
ピークパルス逆電力	P_{RSM}	W	非繰返しで逆方向に許容できる最大消費電力	
平均順方向電流	$I_{F(AV)}$	A	順方向電流 I_F の平均値	
サージ順方向電流	I_{FSM}	A	非繰返しで順方向に流すことができる最大電流	
I^2t 限界値	I^2t	A^2s	$1\text{ ms} \leq t_p < 100\text{ ms}$ のパルス幅で流すことができる I_{FSM} の限界値	
接合部温度	T_J	$^{\circ}C$	製品内の半導体接合部 (ジャンクション) の温度	
保存温度	T_{STG}	$^{\circ}C$	素子が動作していない状態で保存できる温度	

4.2. 電気的特性

電気的特性とは、温度や電圧、電流などの条件を指定して、製品の性能を表現したものです。ダイオードの種類によって記載されている電気的特性の項目は異なります。

項目	記号	単位	内容
順方向降下電圧	V_F	V	順方向に電流を流したときに生じる電圧降下
順方向電流	I_F	A	順方向に電圧を印加したときに流れる電流
逆方向電圧	V_R	V	逆方向に電流を流したときに生じる電圧降下
逆方向漏れ電流	I_R	μA	逆方向に電圧を印加したときに流れる漏れ電流
高温逆方向漏れ電流	$H \cdot I_R$	mA	高温時に逆方向に電圧を印加したときに流れる漏れ電流
逆方向降伏電圧	V_Z	V	逆方向に電圧を印加し、急激に電流が流れたときの電圧
逆方向電流	I_Z	A	逆方向降伏電圧 V_Z を印加したときに流れる電流
熱抵抗	$R_{th(J-C)}$	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$	半導体接合部（ジャンクション）とケース間の熱抵抗
	$R_{th(J-L)}$	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$	半導体接合部（ジャンクション）とリード間の熱抵抗
逆方向降伏電圧温度係数	r_Z	$\text{mV}/^{\circ}\text{C}$	V_Z と温度の関係を表す係数
降伏領域等価抵抗	R_Z	Ω	V_Z と電流の関係を表す値
逆方向回復時間	t_{rr}	μs	リカバリ電流が流れてからリカバリ電流が減少するまでの時間
パルス幅	t_p	ms	製品に流れる電流と印加される電圧の時間
ケース温度	T_C	$^{\circ}\text{C}$	製品のケース部の温度
リード温度	T_L	$^{\circ}\text{C}$	製品のリード部の温度
周囲温度	T_A	$^{\circ}\text{C}$	製品の周囲温度

4.3. 機械的特性

製品の力学的特性です。ダイオードの種類によって記載されている機械的特性の項目は異なります。

項目	単位	内容
締付けトルク	N·m	締付けトルクの最大許容値
質量	g	製品の質量

注意書き

- 本書に記載している製品（以下、「本製品」という）のデータ、図、表、およびその他の情報（以下、「本情報」という）は、本書発行時点のものであります。本情報は、改良などで予告なく変更することがあります。本製品を使用する際は、本情報が最新であることを弊社販売窓口を確認してください。
- 本製品は、一般電子機器（家電製品、事務機器、通信端末機器、計測機器など）の部品に使用されることを意図しております。本製品を使用する際は、納入仕様書に署名または記名押印のうえ、返却をお願いします。高い信頼性が要求される装置（輸送機器とその制御装置、交通信号制御装置、防災装置、防犯装置、各種安全装置など）に本製品を使用することを検討する際は、必ず事前にその使用の適否について弊社販売窓口へ相談いただき、納入仕様書に署名または記名押印のうえ、返却をお願いします。本製品は、極めて高い信頼性が要求される機器または装置（航空宇宙機器、原子力制御、その故障や誤動作が生命や人体に危害を及ぼす恐れのある医療機器（日本における法令でクラスⅢ以上）など）（以下「特定用途」という）に使用されることは意図されておられません。特定用途に本製品を使用したことでお客様または第三者に生じた損害などに関して、弊社は一切その責任を負いません。
- 本製品を使用するにあたり、本製品に他の製品や部材を組み合わせる際、あるいはこれらの製品に物理的、化学的、その他の何らかの加工や処理を施す際は、使用者の責任においてそのリスクを必ず検討したうえで行ってください。
- 弊社は、品質や信頼性の向上に努めていますが、半導体製品は、ある確率で欠陥や故障が発生することは避けられません。本製品が故障し、その結果として人身事故、火災事故、社会的な損害などが発生しないように、故障発生率やディレーティングなどを考慮したうえで、使用者の責任において、本製品が使用される装置やシステム上で、十分な安全設計および確認を含む予防措置を必ず行ってください。ディレーティングについては、納入仕様書および弊社ホームページを参照してください。
- 本製品は、耐放射線設計をしておりません。
- 本書に記載している回路定数、動作例、回路例、パターンレイアウト例、設計例、推奨例、本書に記載しているすべての情報、およびこれらに基づく評価結果などは、使用上の参考として示したものです。
- 本情報に起因する使用者または第三者のいかなる損害、および使用者または第三者の知的財産権を含む財産権とその他一切の権利の侵害問題について、弊社は一切その責任を負いません。
- 本情報を、文書による弊社の承諾なしに転記や複製をすることを禁じます。
- 本情報について、弊社の所有する知的財産権およびその他の権利の実施、使用または利用を許諾するものではありません。
- 使用者と弊社との間で別途文書による合意がない限り、弊社は、本製品の品質（商品性、および特定目的または特別環境に対する適合性を含む）ならびに本情報（正確性、有用性、および信頼性を含む）について、明示的か黙示的かを問わず、いかなる保証もしておりません。
- 本製品を使用する際は、特定の物質の含有や使用を規制する RoHS 指令など、適用される可能性がある環境関連法令を十分に調査したうえで、当該法令に適合するように使用してください。
- 本製品および本情報を、大量破壊兵器の開発を含む軍事用途やその他軍事利用の目的で使用しないでください。また、本製品および本情報を輸出または非居住者などに提供する際は、「米国輸出管理規則」や「外国為替及び外国貿易法」など、各国で適用される輸出管理法令などを遵守してください。
- 弊社物流網以外における本製品の落下などの輸送中のトラブルについて、弊社は一切その責任を負いません。
- 本書は、正確を期すために慎重に製作したのですが、本書に誤りがないことを保証するものではありません。万一、本情報の誤りや欠落に起因して、使用者に損害が生じた場合においても、弊社は一切その責任を負いません。
- 本製品を使用する際の一般的な使用上の注意は弊社ホームページを、特に注意する内容は納入仕様書を参照してください。
- 本書で使用されている個々の商標、商号に関する権利は、弊社を含むその他の原権利者に帰属します。