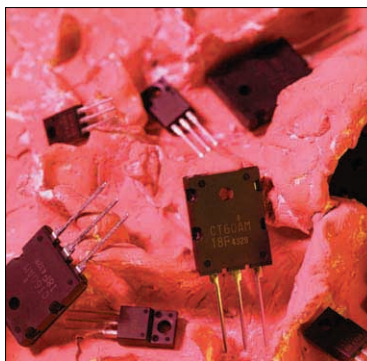




第1章 整流用から高速スイッチング用まで

パワー・ダイオードの 基本特性と選定

橋詰 伸一
Shinichi Hashizume

パワー回路では、パワー MOSFET や IGBT と同様に、パワー・ダイオードが大きな役割を担っています。ともすると、脇役と思われがちなパワー・ダイオードですが、パワー回路の性能を左右することもあるので、その特性を十分に理解し、使い方をマスターすることが求められます。

そこで本章では、パワー・ダイオードの基本特性と使用上のノウハウを解説します。

ダイオードの構造と基本的性質

● ダイオードの基礎知識

ダイオードの素材は現在のところ、シリコンが大多数です。構造としては、N型シリコン中にP層を形成した**PN接合型**とN型シリコン上に金属(バリア・メタル)を積み重ねた**ショットキー型**とがあり、PN接合型には**メサ型**と**プレーナ型**とがあります。

二つの外部端子は**P型シリコン**(ショットキーでは金属)側が**アノード**、**N型シリコン**側が**カソード**です。回路記号はアノードからカソード方向に電流を流すという性質に由来します。図1-1にダイオードの記号と性質を示します。

電流が流れる方向がダイオードの順方向とすると、逆方向、つまりアノードに対してカソードに正の電圧をかけても、**ある電圧まではほとんど電流が流れません**。この電圧の限度を**逆耐圧**といいます。

図1-2に示すように、耐圧200Vのダイオードであれば、200Vを越える逆電圧がかかれば「電流を流さない」という性質が失われることになります。ここで「ダイオードの性質が失われる」とは、「永久破壊

にいたる危険もある」ということです。**ダイオードにかかる逆電圧は、一瞬たりとも決められた逆耐圧を越えてはいけないというのが原則です**。

● ダイオードの逆特性とパワー半導体のOFF特性の類似性

MOSFETのドレイン-ソース間の耐圧も、PN接合によってもたらされます。**Nチャネル MOSFETの場合、ゲート・バイアスがかからない限り、ドレインがアノード、ソースがカソードのダイオードそのものです**。バイポーラ・トランジスタやIGBTでも電圧阻止(OFF)能力は同じくPN接合が担っています。

すなわち、**ダイオードの逆特性を理解することは、これらパワー半導体のOFF特性を理解することに通じます**。本章のテーマはダイオードですが、それを理解することはパワー半導体全般を理解することに役立ちます。

● 使用頻度が高まる高速ダイオード

単にダイオードといえは、主として50/60Hzの電源整流用に使われる一般整流ダイオードを指します。

しかし、現在では**FRD(Fast Recovery Diode)**や**SBD(Schottky Barrier Diode、単にショットキーと呼ばれることがある)**などの高速ダイオードが数多く使われています。

例えば、あるデスクトップ・パソコン用電源(ATX電源)で数えたところ、一般整流ダイオードはAC-DC変換用ブリッジ・ダイオード1個だけで、ほかはFRDが14個、SBDが2個でした。これは、AC-

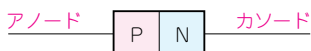


図1-1
ダイオードの記号と性質



200Vまで電流は流れない

200Vを越えると電流が流れる
(ダイオードの性質が失われる)

図1-2
逆耐圧を越えるとダイオードがダイオードでなくなる

DC 変換回路の動作周波数だけが 50/60Hz であり、それ以外の回路部は数十 kHz 以上で動いているからです。さらに、バッテリー動作機器などの低電圧電源回路では SBD がよく使われています。

トランジスタでいえば、一般整流ダイオードや FRD (PN 接合ダイオード) はバイポーラ・トランジスタに、SBD は MOSFET に対比できます。SBD の性質は PN 接合ダイオードとは少し違いがあり、使いこなすうえで注意が必要となります。この点に留意しながら、ダイオード、そしてパワー半導体について解説します。高速ダイオード固有の話は後述します。

SBD と FRD の特性の違い

ここでは 31DF2 (FRD : 3 A/200 V 品) と、31DQ04 (SBD : 3 A/40 V 品) の順/逆特性を測りました。写真 1-1 に 31DF2, 31DQ04 の外観を、図 1-3 に測定回路を示します。

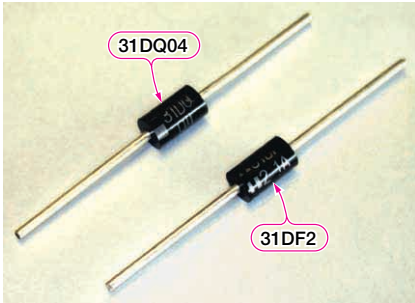


写真 1-1 31DF2 (FRD : 3A/200V), 31DQ04 (SBD : 3A/40V) の外観
形状はどちらも同じ

表 1-1 FRD (31DF2) の順/逆特性

I_F	1 mA	10 mA	0.1 A	3 A	10 A
V_F	0.466 V	0.535 V	0.630 V	0.842 V	0.985 V
R_F	466 Ω	53.5 Ω	6.3 Ω	0.28 Ω	98.5 m Ω

(a) 順特性 (25 $^{\circ}\text{C}$)

I_F	1 mA	10 mA	0.1 A	3 A	10 A
V_F	0.217 V	0.308 V	0.414 V	0.654 V	0.821 V
R_F	210 Ω	30 Ω	4.1 Ω	0.22 Ω	82.1 m Ω

(b) 順特性 (150 $^{\circ}\text{C}$)

V_R	1 V	10 V	50 V	100 V	200 V
I_R	1 nA	1 nA	1 nA	2 nA	3 nA
R_R	1000 M Ω	10000 M Ω	5000 M Ω	5000 M Ω	6700 M Ω

(c) 逆特性 (25 $^{\circ}\text{C}$)

V_R	1 V	10 V	50 V	100 V	200 V
I_R	5.4 μA	6.6 μA	8.2 μA	9.7 μA	14.4 μA
R_R	0.186 M Ω	1.51 M Ω	6.04 M Ω	10.2 M Ω	13.9 M Ω

(d) 逆特性 (150 $^{\circ}\text{C}$)

まず、31DF2 (FRD) で順電流 I_F を流したときの順電圧 V_F を 25 $^{\circ}\text{C}$ と 150 $^{\circ}\text{C}$ で測りました。同じ 31DF2 で逆電圧 V_R をかけたときの逆電流 I_R を 25 $^{\circ}\text{C}$ と 150 $^{\circ}\text{C}$ とで測りました。測定結果を表 1-1 に示します。

測定結果から次のことがいえます。

- (1) 実用電流域での順方向抵抗 R_F は小電流では数 Ω 、大きめの電流では 1 Ω 以下である。
- (2) 逆方向抵抗 R_R は温度が上がっても使用範囲の電圧なら数 M Ω と高抵抗である。
- (3) 順電流や逆電圧が極端に小さな条件では、上記 (1) と (2) はともに真とはいえない。
- (4) 25 $^{\circ}\text{C}$ から 150 $^{\circ}\text{C}$ へと温度が上がると 3 A での V_F は 0.78 倍、200 V の I_R は 4800 倍となった。

続いて 31DQ04 (SBD) について同様の測定を行いました。測定結果を表 1-2 に示します。

測定結果から 31DF2 (FRD) との比較で次のことがいえます。

- (1) 逆耐圧が FRD では 200 V、SBD では 40 V と差があるものの、SBD の順方向抵抗 R_F は FRD の約 1/2 と低い。
- (2) SBD の高温時の逆方向抵抗 R_R は 1 桁の k Ω で、PN 接合ダイオードのように極めて大きいとはいえない。
- (3) 25 $^{\circ}\text{C}$ から 125 $^{\circ}\text{C}$ へと温度が上がると 3 A にお

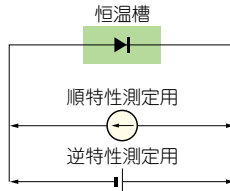


図 1-3
ダイオードの順/逆特性測定回路

表 1-2 SBD (31DQ04) の順/逆特性

I_F	1 mA	10 mA	0.1 A	3 A	10 A
V_F	0.182 V	0.242 V	0.305 V	0.448 V	0.659 V
R_F	182 Ω	24.2 Ω	3 Ω	0.149 Ω	66 m Ω

(a) 順特性 (25 $^{\circ}\text{C}$)

I_F	1 mA	10 mA	0.1 A	3 A	10 A
V_F	0.0175 V	0.0699 V	0.150 V	0.379 V	0.611 V
R_F	17.5 Ω	6.99 Ω	1.5 Ω	0.126 Ω	61 m Ω

(b) 順特性 (125 $^{\circ}\text{C}$)

V_R	1 V	5 V	10 V	20 V	40 V
I_R	1.3 μA	2 μA	2.8 μA	4.4 μA	12 μA
R_R	0.76 M Ω	2.5 M Ω	3.6 M Ω	4.5 M Ω	3.3 M Ω

(c) 逆特性 (25 $^{\circ}\text{C}$)

V_R	1 V	5 V	10 V	20 V	40 V
I_R	2 mA	2.7 mA	3.3 mA	4.6 mA	9.1 mA
R_R	0.5 k Ω	1.8 k Ω	2.9 k Ω	4.3 k Ω	4.3 k Ω

(d) 逆特性 (125 $^{\circ}\text{C}$)