

◆ 第5章

たった1個でLEDの輝度を安定化できる

定電流ダイオード (CRD) の 原理と使い方

漆谷 正義
Masayoshi Urushidani

LEDを安定して光らせるには、LEDに一定の電流を流す必要がある。定電流ダイオードを利用すれば、比較的簡単に定電流駆動回路を設計できる。ここでは、定電流ダイオードを使いこなすために知っておきたい動作原理や温度特性について解説する。
〈編集部〉

定電流ダイオード(以下、CRD: Current Regulative Diode)は、加える電圧や負荷抵抗が変化しても、常に一定の電流を流すことのできる素子です(写真5-1)。LEDのような電流駆動型の素子は、輝度を一定に保つために定電流回路と組み合わせる必要があります。一般に定電流回路は構成が複雑で、設計も簡単ではありません。これに対してCRDは、たった1個の素子で定電流特性を得ることができます。CRDを使えば、加える電圧の変化やLEDの順電圧変化などの影響を受けにくい回路を簡単に実現できます。

CRDの基礎知識

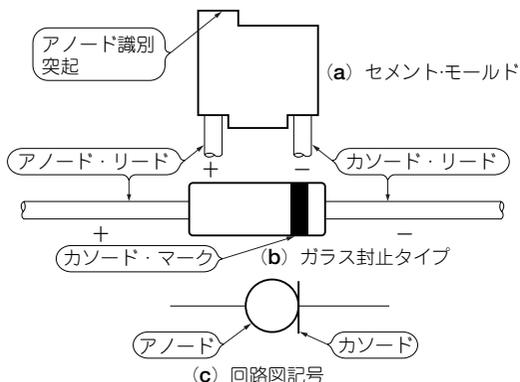
● 外形と回路図記号

市販されているCRDはほとんどが2端子で、極性があります。プラス電圧を加える方がアノード、反対のマイナス側がカソードです。石塚電子の製品は図5-1のように明確に識別できるようになっています。

写真5-2は、米国 Vishay Siliconix 社の J500 シリーズの外観です。ピンチオフ電流(後述)が0.24 mA

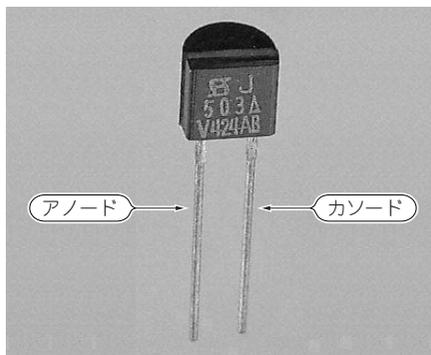


〈写真5-1〉
CRDの外観



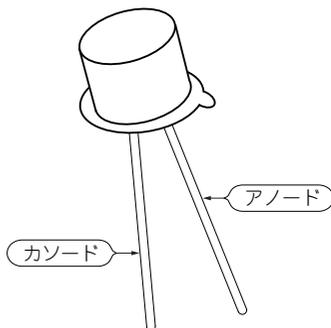
〈図5-1〉 CRDの外形と回路図記号

プラス電圧を加える側がアノード、マイナス側がカソード。

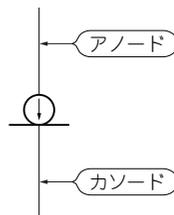


〈写真5-2〉 米国Vishay Siliconix社のJ500シリーズの外観

〈図5-2〉 Vishay Siliconix社のCRシリーズのパッケージ(TO-18)
CR160～CR470が相当する。



〈図5-3〉 CRDの回路図記号
定電流源を書き入れたもの。



～4.7 mAの製品があります。マークが入っていないので、外形から極性を判断する必要があります。

図5-2は、Vishay Siliconix社のCRシリーズのパッケージです。ピンチオフ電流は最大4.7mAです。TO-18は、ハーメチック・シールで封止した金属缶で、放熱の点ではやや有利です。突起に近い方がアノードです。

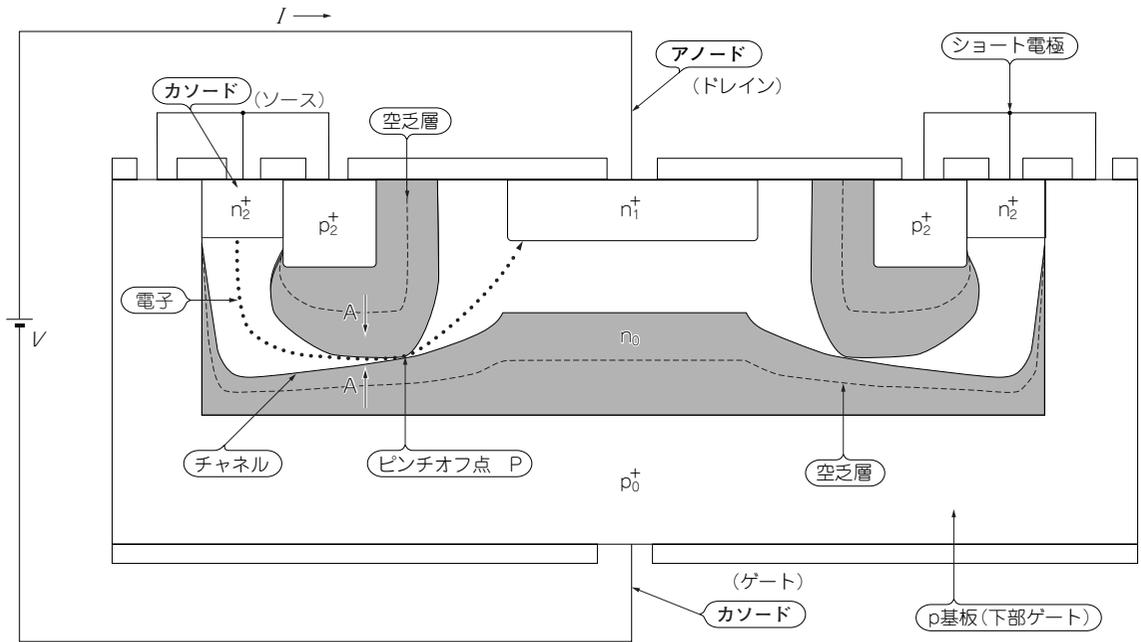
回路図記号は通常、図5-1(c)のような、ダイオード記号の三角を丸にしたものが使われていますが、定電流源を書き入れた図5-3のような記号を使用する場合があります。

● 構造と動作原理

図5-4にCRDの断面図を示します。下部のp型半導体の基板(ゲート)と上部左右のn型半導体のソースを、短絡電極により短絡したものをカソードとし、上部中央のn型半導体(ドレイン)をアノードとした構造となっています。

このように、CRDはダイオードというよりは、FETのソースとゲートを短絡したものだといった方が分かりやすいかも知れません。

図5-4のようにアノード(ドレイン： n_1^+)とカソード(ゲート： p_0^+ とソース： n_2^+)の間に電圧 V を加えると、逆バイアス状態となります。n型半導体のキャリア(電流を運ぶもの)は、負の電荷をもった電子であり、これがアノード側に引きつけられます。また、p型半導体のキャリアは、正の電荷を持ったホ



〈図5-4〉 CRDの断面図

CRDはダイオードというよりは、FETのソースとゲートを短絡したものとの方が分かりやすいかも知れない。

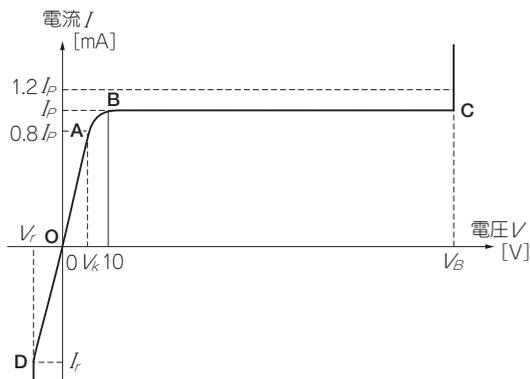
ールであり、これがカソード側に引きつけられます。このため、キャリアの存在しない空乏層が、図5-4のように形成されます。上下の空乏層で挟まれた電流(=電子)の通路をチャンネルと呼びます。チャンネルの幅は図5-4の矢印Aのように、電圧Vが高くなるほど狭くなります。これに伴ってCRDの抵抗値が増加していきます。そして、ある電圧 V_p においてチャンネルは遮断されます。これをピンチオフ電圧といい、図のようにアノードに近い部分に遮断箇所P(ピンチオフ点)が現れます。

空乏層はおのおの、正と負に帯電して電界を持っているので、空間電荷領域とも呼ばれます。図を見ると、空乏層がP点において電子の経路を完全に遮り、電流は流れないように思えます。しかし、実際にはアノード(n_1^+)との間の電界により、電子が引きつけられドリフト電流が流れます。この際、電圧Vは単に電子をアノード方向に引っ張る役目しか果たさず、流れる電子の量(つまり抵抗値)には寄与しません。従って、 V_p 以上の電圧では電流は飽和してしまうのです。これが、CRDが定電流特性を持つ理由です。

● 電圧-電流特性

図5-5は、CRDの電圧-電流(V-I)カーブです。図5-4のように結線して、CRDに正の電圧を加えていくと、図5-5のO-Aのように、ほぼ電圧Vに比例して電流が増えていきます。この領域は図5-4の空乏層の広がり小さく、 n_0 層のキャリアはカソード n_2^+ からアノード n_1^+ に障害無く到達できます。したがって、O-A部分の抵抗値は数百Ω程度と低くなります。

CRDへ加える電圧が V_K 以上になると、図5-4の空乏層が矢印Aのように広がり、図5-5のB点ではチャンネルを遮ってしまいます。このときの電流 I_p をピンチオフ電流と呼びます。CRDでは、すべての



〈図5-5〉
CRDの電圧-電流カーブ
B点の電流をピンチオフ電
流と呼ぶ。

素子が飽和に達する10 Vをピンチオフ電圧に選び、このときの電流値を I_p としています。飽和に達した後のB-C間は、抵抗 $R_{BC}(= \Delta V / \Delta I)$ が数百k Ω と、非常に大きくなります。

電圧 V がさらに大きくなると、図5-5のC点のように、電流が急激に増加するブレイクダウンという状態になります。これはツェナー・ダイオードなどで知られているアバランシェ降伏という現象です。高電界のためにキャリアが大量に発生し、大電流が流れるもので、放電管の放電と同じ原理です。ブレイクダウン電圧 V_B は、電流値が $1.2 \times I_p$ となる電圧で定義します。

CRDに逆電圧を加えた場合は、図5-5のO-Dのように大きな電流が流れます。これは、図5-4のp-n接合が順方向にバイアスされ、キャリアが流れ出すためで、一般のダイオードにおける順方向特性のカーブと同じものです。注意が必要なのは、定電流ダイオードはアノードにプラス電圧をかけて使用しますが、逆に接続した場合は通常のダイオードのように電流を阻止せず、ON(短絡)となってしまうことです。逆につなぐと、負荷であるLEDや、CRD自身を破壊することがあるので、十分気をつけてください。

CRDの種類と特徴

CRDは、

- 定電流動作領域が広い
- 動作抵抗が高い
- 電源変動や負荷変動、リップル電圧の影響を受けない
- 周波数特性が良い

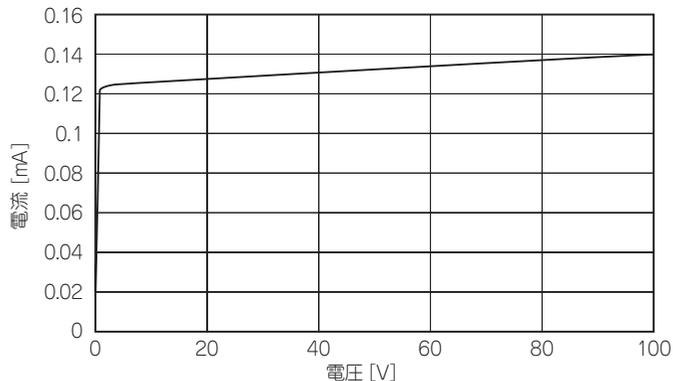
などといった特徴を持っています。その使用電圧領域は、1 V以下の低電圧から100 V以上の高電圧まで広がっています。表5-1にCRDの種類と特性を掲げます。型名はE-101なら $10 \times 10^1 = 100 \mu A$ のように、電流ランクで区別しています。

図5-6は $V-I$ 特性の実測値です。比較的ピンチオフ電流の少ないE-101は、 $\Delta I / \Delta V$ も小さいのですが、リニア・スケールで見ると若干の傾きを持っていることが分かります。これは後述の温度による傾きとは符号が反対で、電圧が上昇するほど電流も増える傾向があります。

V_R 近辺の肩特性は、図5-7のように電圧軸を対数目盛りとすると分かりやすくなります。図5-7か

〈表5-1〉 CRDの型名と特性

型名		ピンチオフ電流	肩特性	動作インピーダンス[MΩ]	温度係数[%/℃]	最高使用電圧[V]	定格電力[mW]
リード付き	MELF	I_p [mA]@10 V	V_K [V]				
E-101L	F-101L	0.01~0.06	0.4	8	+2.10~+0.10	100	300
E-101	F-101	0.05~0.21	0.5	6	+2.10~+0.10	100	300
E-301	F-301	0.20~0.42	0.8	4	+0.40~-0.20	100	300
E-501	F-501	0.40~0.63	1.1	2	+0.15~-0.25	100	300
E-701	F-701	0.60~0.92	1.4	1	0.00~-0.32	100	300
E-102	F-102	0.88~1.32	1.7	0.65	-0.10~-0.37	100	300
E-152	F-152	1.28~1.72	2.0	0.40	-0.13~-0.40	100	300
E-202	F-202	1.68~2.32	2.3	0.25	-0.15~-0.42	100	300
E-272	F-272	2.28~3.10	2.7	0.15	-0.18~-0.45	100	300
E-352	F-352	3.00~4.10	3.2	0.10	-0.20~-0.47	100	300
E-452	F-452	3.90~5.10	3.7	0.07	-0.22~-0.50	100	300
E-562	F-562	5.00~6.50	4.5	0.04	-0.25~-0.53	100	300
E-822	F-822	6.56~9.84	3.1	0.32	-0.25~-0.45	30/50	300
E-103	F-103	8.00~12.0	3.5	0.17	-0.25~-0.45	30/42	300
E-123	F-123	9.60~14.4	3.8	0.08	-0.25~-0.45	30/34	300
E-153	F-153	12.0~18.0	4.3	0.03	-0.25~-0.45	25/28	300
L-1822		18.0~22.0	3.9	0.09	-0.25~-0.45	30	500
L-2227		22.0~27.0	4.0	0.04	-0.25~-0.45	25	500
L-2733		27.0~33.0	4.2	0.02	-0.25~-0.45	25	500

〈図5-6〉 リニア・スケールで見た $V-I$ 特性(E-101)

比較的ピンチオフ電流の少ないE-101は、 $\Delta I/\Delta V$ も小さいが、リニア・スケールで見ると若干の傾きを持っていることが分かる。

ら、 $I_p = 0.125 \text{ mA}$ 、 $V_K = 0.35 \text{ V}$ と読み取れます。

● 自己発熱により電流値が減少する

図5-8はピンチオフ電流が2.7 mAの、E-272の $V-I$ カーブです。E-101とは逆に、ピンチオフ電流に達してからは、電圧の増大とともに電流値が減少しています。これはCRDが発熱するためです。表5-1を見ると、比較的ピンチオフ電流の大きな品種においては、温度係数が負になっていることから、この現象が出てくることが推察できます。