

SBD and FRED Application Note

Rev. 3.0



日本インター株式会社

<http://www.niec.co.jp/>

目次

はじめに ダイオードノイズそして電源の効率	2
参考 整流ノイズ	5
3シリーズのSBD	7
SBDのサーマルランナウェイ	8
1 高速ダイオードとは	10
2 FRDとSBD	10
3 応用回路と日本インターSBD・FRD	12
4 逆回復特性	15
4-1 逆回復特性の波形上の定義	15
4-2 逆回復特性測定回路	15
4-3 逆回復特性の温度依存性	16
4-4 逆回復特性の $-di/dt$ 依存性	17
4-5 逆回復特性の順電流依存性	17
4-6 逆回復波形	17
4-7 逆回復損失の求め方	17
5 順回復特性	18
6 定格と特性	18
7 許容電流	18
7-1 フィン熱抵抗	19
7-2 ケース温度基準点	19
7-3 温度測定	20
7-4 接合部 - リード間熱抵抗 $R_{th(j-l)}$	21
7-5 パッケージ表面温度	21
7-6 リード温度・フィン温度実測値を基にした接合温度の計算	21
7-7 過渡温度上昇の計算	21
8 逆電圧定格の考え方	24
9 出荷品の検査、信頼性	25
実装上の注意点	28

ダイオード—ノイズそして電源の効率



Line Frequency Rectifiers

Back in the 1960's when I designed my first three-phase 400 Hz transformer rectifier sets I used alloy junction 1N538 diodes for the low power outputs. The modules passed EMI tests with no problem. A couple of years later, I got a call that all my modules were failing EMI tests.

What I found was that the manufacturer had "improved" the diode by using faster diffused junctions.

(by Jerrold Fout / <http://www.smpstech.com/qa/qa0005.htm>)

1960年代に私が最初に設計した3相400Hz トランス入力整流装置の2次側には1N538という合金型ダイオードを使用した。このモジュールは何の問題もなくEMI試験に合格した。ところが2・3年後に全セットともEMI試験に通らないとの連絡を受けた。調べてみると、より速い拡散型に切り換えることでメーカがダイオードを進歩させたことがわかった。

インターネットで見つけたスイッチング電源技術に関するフォーラムの一節です。「ダイオードは意外にノイズを出す」「50/60Hz 単相半波整流回路のダイオードが一般用(trrが長い)とFRDとでは聴覚上の違いとして聞き分けられ

る」「スペアナを見ればどれがダイオードのノイズかすぐわかる」など耳にします。低周波整流であればダイオードにCR(またはCのみ)を並列接続すればノイズを抑えることができます。しかし高周波スイッチング回路ではスナバ損失が増加するので、そう簡単には処理できません。さて、合金型に較べて拡散型のノイズが大きかったのでしょうか? 写真1に逆回復特性を比較しました。こ

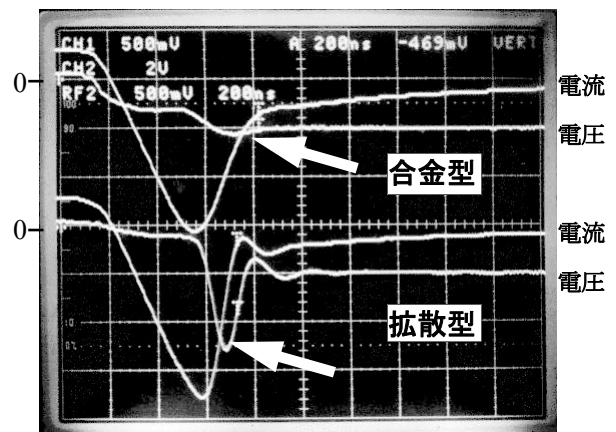


写真1 合金型と拡散型の逆回復特性

V: 5A/div., 2V/div. H: 200ns/div.

ここで注目していただきたいのは矢印で示した電圧です。これはダイオード自身が逆回復時に発生する電圧であり、ノイズ源となります。合金型はほとんどオーバシュートしていないのに、拡散型では格段に大きくオーバシュートしています。これが拡散型に切り替わってEMI試験が通らなかつた元凶と考えられます。現在のダイオードはほとんどが拡散型ないしは、これをさらに発展させたものです。一般ダイオードに較べて高速ダイオードはスパイク電圧を発生させるエネルギーが小さく、結果としてノイズも小さくなります。さらに逆回復時間が同程度でも回復がソフトであればノイズが小さくなります。次ページ写真2と3は逆回復時間が同程度で

ソフトリカバリとそうではないものとの比較例です。(I_{FM}=10A) FRDの逆回復時間t_{rr}は25℃で規定されており、比較したFRDはいずれも40~50nsです。写真2で当社FRDは逆回復がソフトで100℃でも電圧オーバーシュートはほとんどありません。これに対して他社品では盛大なリングングが起きています。ダイオードによってはこのようなことも起きます。

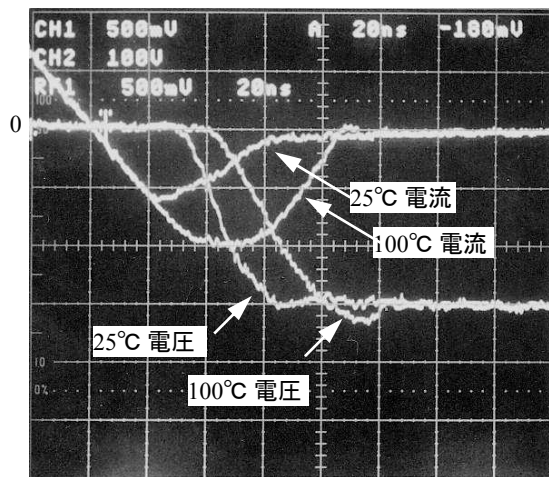


写真2 当社 600V FRD 逆回復特性

Ver. 5A, 100V/DIV. Hor. 20ns/DIV.
サンプル FSF10A60

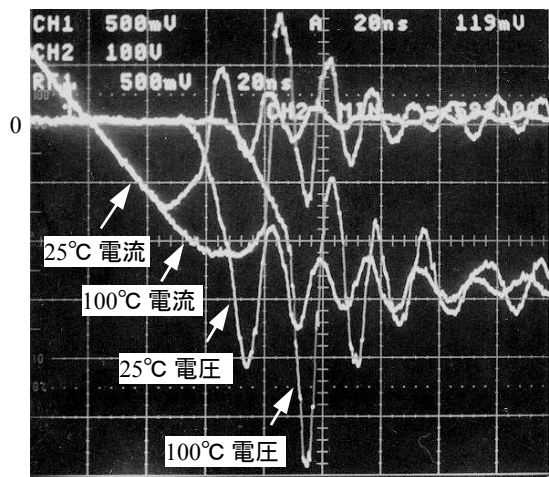


写真3 他社 600V FRD 逆回復特性

Ver. 5A, 100V/DIV. Hor. 20ns/DIV.

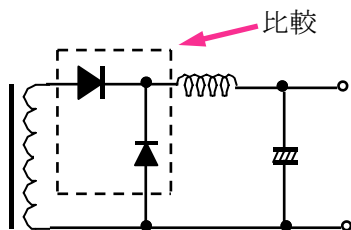


図1 実動作比較回路

次に150V SBDと200V FRDとを実回路動作でのノイズと効率とを比較します。組み込んだのは24V2.5A出力のフォワードコンバータです。SBDとFRDとはともに5Aツインチップ品でFCH10A15とFCF10A20です。主要電気的特性が表1、また24V 2A出力時(負荷抵抗12Ω)出力ノイズが写真4と5です。

	150V SBD	200V FRD
I _o	5A × 2	
V _F 5A 25℃	0.88V Max.	0.98V Max.
I _R V _{RRM} 25℃	1mA Max.	20μA Max.
t _{rr} 5A 50A/μs 25℃	—	35ns Max.

表1 主要電気的特性

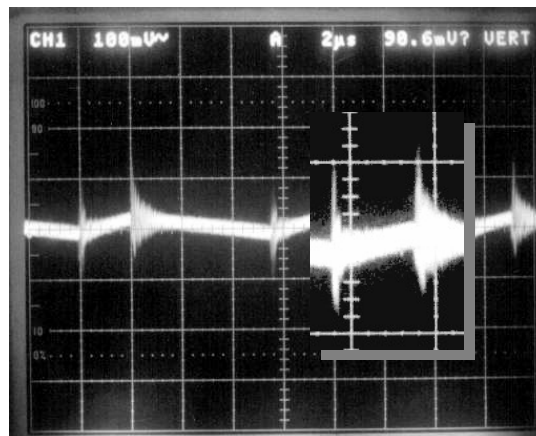


写真4 150V SBD出力ノイズ

Ver. 100mV/div., Hor. 2μs/div.

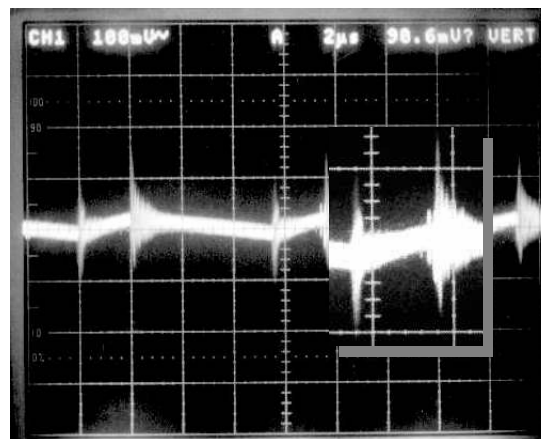


写真5 200V FRD出力ノイズ

Ver. 100mV/div., Hor. 2μs/div.

150V SBDのノイズピーク値は200V FRDに比べて約50mV小さい結果となりました。別回路でダイオードの逆回復特性を比較したのが写真6と7

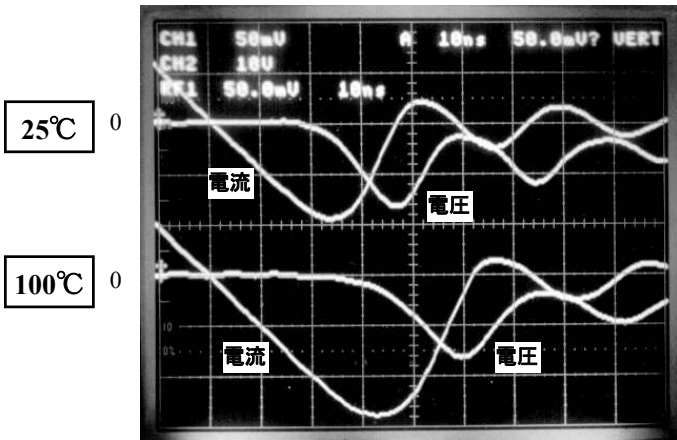


写真6 150V SBD逆回復特性
Ver. 0.5A、10V/div.、Hor. 10ns/div.

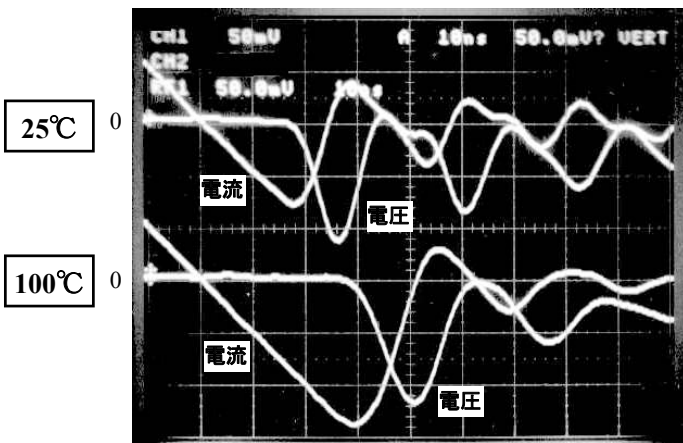


写真7 200V FRD逆回復特性
Ver. 0.5A、10V/div.、Hor. 10ns/div.

です。SBDはソフトリカバリであり、跳ね上がり電圧が小さいことが出力ノイズ小に反映しています。また跳ね上がりが小さいことでFRDでは150V以上のピーク電圧が発生していてもSBDでは150V以内に収まる可能性があります。200V FRD使用回路で150V以上の電圧がかかっていても150V SBDが使えることもあります。

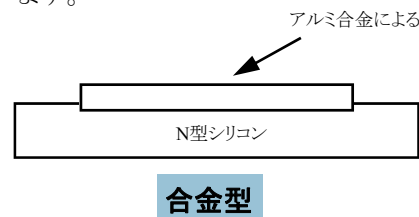
効率の比較結果が表2です。20~100%負荷の全域で150V SBDは200V FRDより効率で1%程度勝っています。単に出力ダイオードを置き換えるだけで効率が向上することになります。

回路設計でダイオードは脇役にしか過ぎません。しかしダイオードといえども回路の性能に少

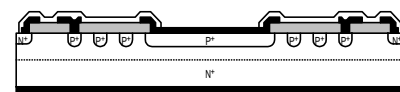
5A×2 150V SBD (FCH10A15)			
出力電流 (A)	出力電力 (W)	入力電力 (W)	効率 (%)
0.5	12	15.2	78.9
1	24	28.5	84.2
1.5	36	42.0	87.5
2	48	55.6	86.3
2.5	60	69.7	86.9
5A×2 200V FRD (FCF10A20)			
出力電流 (A)	出力電力 (W)	入力電力 (W)	効率 (%)
0.5	12	15.4	77.9
1	24	28.9	83.0
1.5	36	42.5	84.7
2	48	56.1	85.6
2.5	60	70.3	85.3

表2 効率測定結果

なからず影響します。特にノイズに関して顕著な効果を見ることがあります。進歩した技術・・・イオンインプラネーションや電子線照射などの技術を利用して最新ダイオードでは冒頭紹介した合金型のようなソフトリカバリ特性が実現されています。



合金型



Uシリーズ FRED

図2 ダイオードチップ断面の比較

参考 整流ノイズ

50

Hz/60Hz整流回路のノイズが意外に大きいことはよく知られている。整流ノイズは一般整流ダイオードのかわりに高速ダイオードを使えば小さくなります。輻射ノイズとして捉えた整流ノイズを紹介します。ここでの比較はあくまで相对比较です。

ブリッジ整流ダイオードをソケットで交換できるようにした12V出力リニア定電圧回路を使い、負荷が300Ωなので出力電流は40mA程度です。

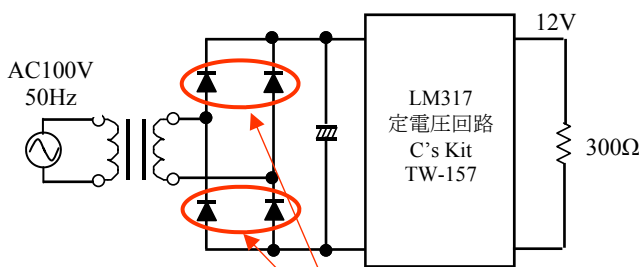
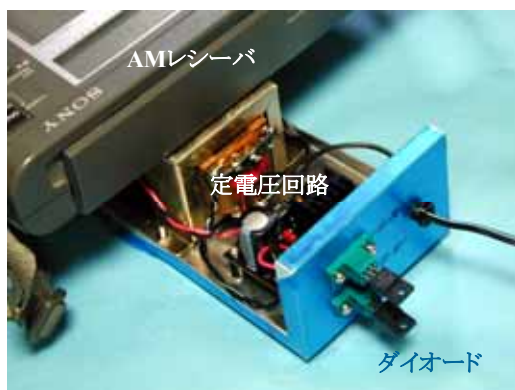


図3 比較回路

ソケットで交換可能

AMレシーバ SONY ICF-SW77の内蔵バーアンテナをトランスにできる限り近づけ、聞こえるノイズが最大になる位置に固定しました。



比較したダイオードは次の3種です。

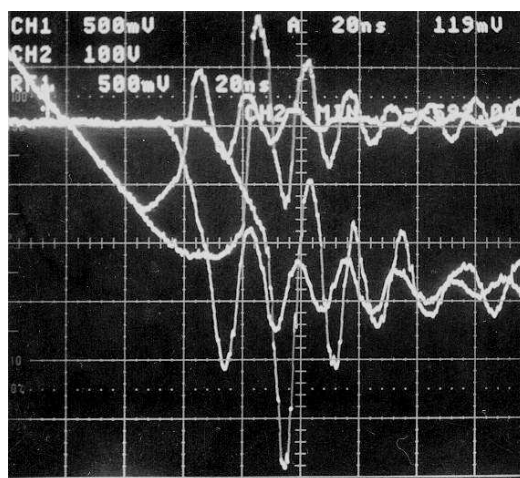
一般整流用	1A/600A
200V FRED	FCF/FRF10A20 (5A×2/200V)
200V SBD	FCH/FRH10A20 (5A×2/200V)

AMレシーバ出力はデジタル化し、フリーソフトウェア WaveSpectra V1.30 (<http://www.ne.jp/>)

(asahi/fa/efu/soft/ws/ws.html) でスペクトラム表示しました。次ページの図は300回平均化処理をしたものです。

ここでは磁気シールドされていない巻線がむき出しのトランスを使い、ノイズ(磁界の変化)を最大限放出させ、この微弱な磁界の変化を高感度AMレシーバで捉えました。このノイズは、ほんの少し離れただけでも検出できなくなります。40mAという小電流しか流さなかったためです。

実験したような条件ではノイズの大きな一般整流用ダイオードに1,000pF程度のセラミックコンデンサを並列に付け加えればノイズを消すことができます。この手法でダンピングが効かないとリングングが発生してMHz~100MHzの高周波分を増加させることになります。その意味ではじめからノイズ源エネルギーが格段に少ない高速ダイオードを使うのが大元を激減させるという意味で賢明な選択といえます。



温度変化を考えれば、このようなリングングは外付けCRでは十分にとりきれない
写真8 (25℃と100℃)

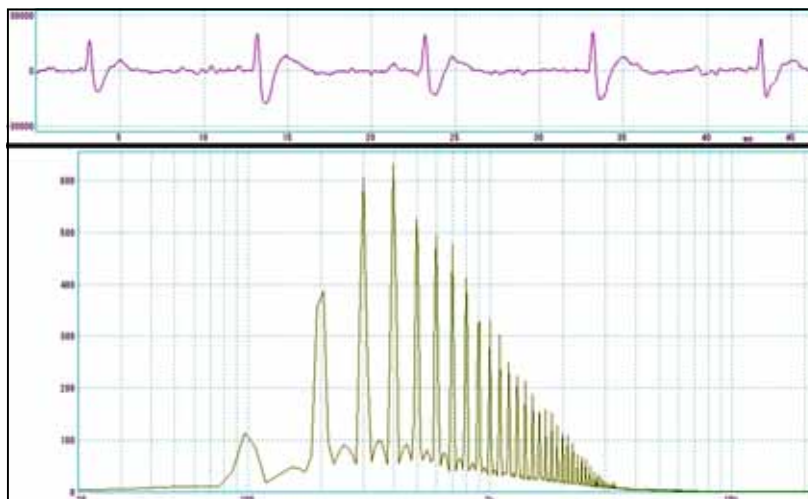


図4 AMラジオ捉えた整流ノイズ
一般整流用ダイオード

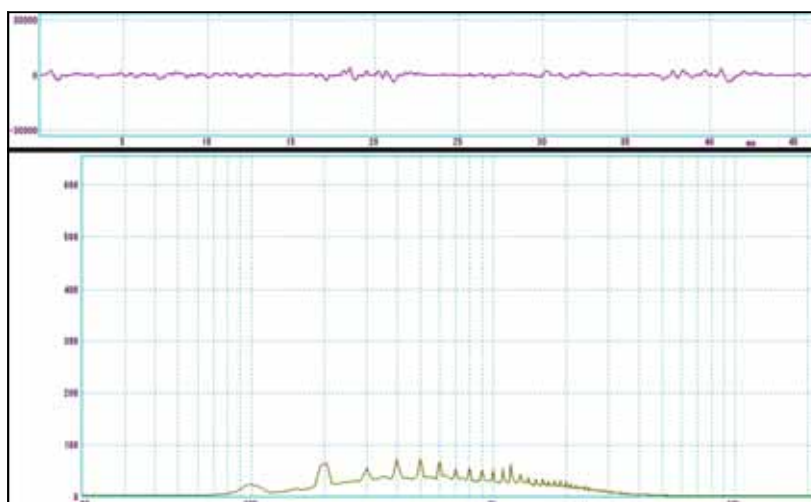


図5 AMラジオ捉えた整流ノイズ
200V FRD (FCF/FRF10A20)

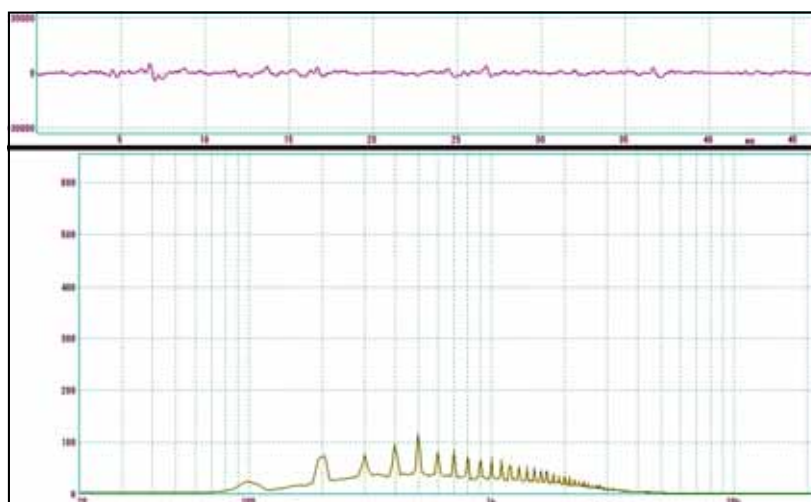


図6 AMラジオ捉えた整流ノイズ
200V SBD (FCH/FRH10A20)

3シリーズのSBD

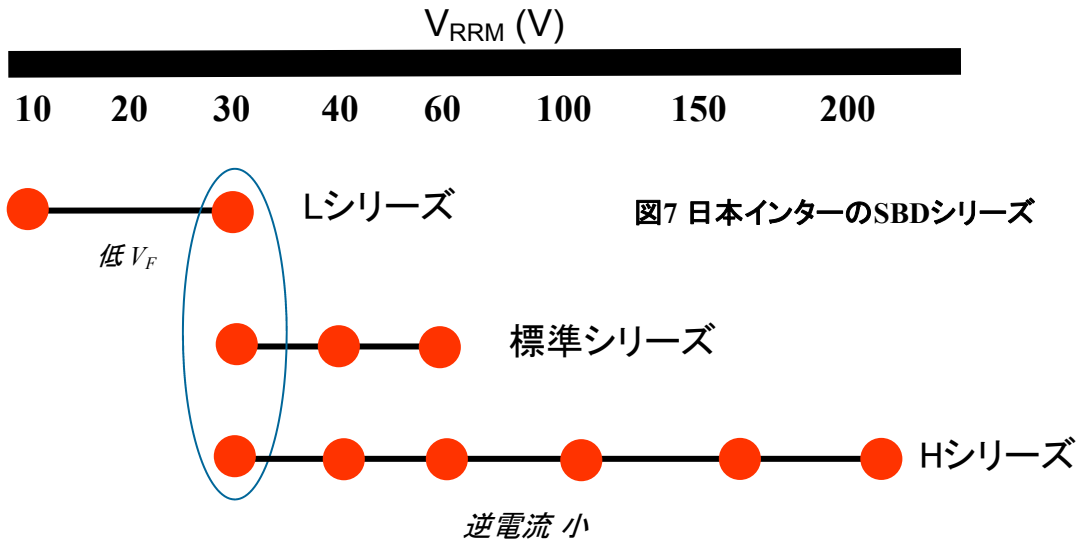
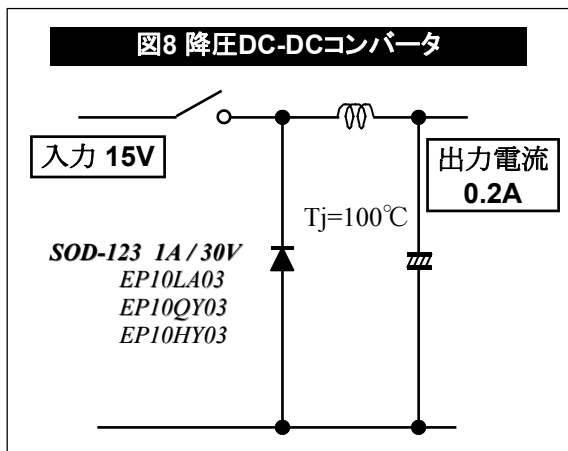


図7 日本インターのSBDシリーズ

日本インターでは3系列のSBDを製品化しています。標準シリーズ、ロー V_F のLシリーズ、そして、低逆電流のHシリーズです。例えば、EP10QY03、EP10LA03、そして、EP10HY03がこれら系列に対応し、いずれも、1Aで30VのSOD-123パッケージSBDです。これらから用途に合った選択をすれば、ダイオードでの損失を低減できる可能性があります。具体的には順電流が流れる比率が大き用途には順電圧 V_F の低いLシリーズが、逆に逆電圧のかかる比率が大きい用途には逆電流 I_R の小さなHシリーズが、それぞれ適しています。

それでは、次の例で全損失を見積もってみます。下図は代表的なDC-DCステップダウンコンバータです。



入力電圧15V、出力電流0.2A、動作温度100°Cを想定します。順電流 $I_F=0.2A$ 、逆電圧 $V_R=15V$ 、 $T_j=100^\circ C$ における3種のSBDの代表

的な順電力損失 P_F 、逆電流 I_R 、そして、逆電力損失 P_R は次の通りです。

表3

P/N	P_F (W) @0.2A	I_R (mA) @15V	P_R (W) @15V
EP10LA03	0.0315	9.93	0.148
EP10QY03	0.0490	0.554	0.00831
EP10HY03	0.0626	0.0881	0.00132

出力電圧が12Vと1.5Vとの2つの条件で全損失を見積もります。

図9 Input :15V Output :12V / 0.2A
Forward 0.21 Reverse 0.79

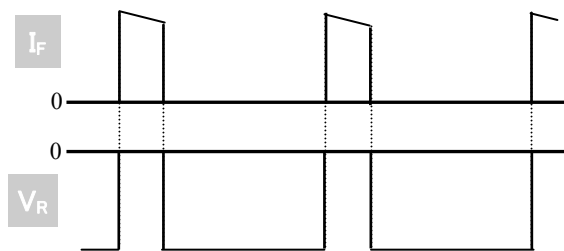
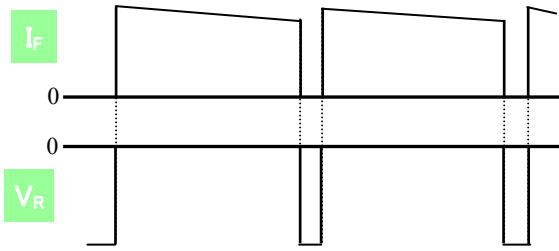


表4

P/N	全損失(W)
EP10LA03	0.124
EP10QY03	0.0168
EP10HY03	0.0141

図10 Input :15V Output :1.5V / 0.2A
Forward 0.904 Reverse 0.096



このように順電流の流れる比率が高ければ (ORing回路は前者の典型的な例です) 順電圧 V_F の低いLシリーズが、逆電圧がかかる比率が高ければ逆電流 I_R の小さなHシリーズが有利なことが分かります。

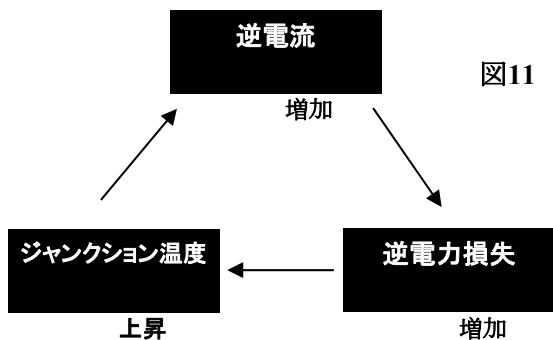
SBDでは、とにかく V_F の低さに目が向きがちです。これは、必ずしも正しいとはいえず、 I_R が低いことに、より価値があることも少なくありません。

表5

P/N	全損失(W)
EP10LA03	0.0427
EP10QY03	0.0450
EP10HY03	0.0567

SBDとサーマルランナウェイ

SBDの逆電流は大きく、逆電力損失も大きなものです。逆電流は温度が上がれば指数関数的に増加します。そして、ある温度を越えるとサーマルランナウェイが起こります。逆電力損失とジャンクション温度とが正帰還の関係となるためです。

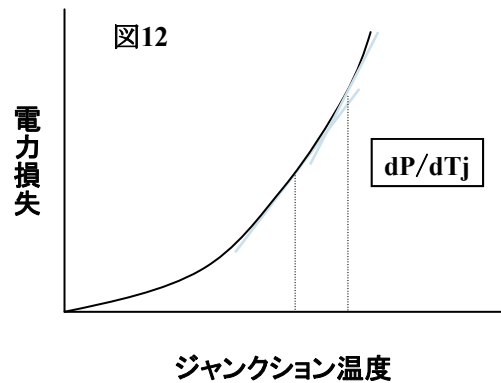


次の式は熱の発生と放散のバランスを表しており、この条件が成り立つとサーマルランナウェイが起きます。

$$dP / dT_j < 1 / R_{th}$$

P : 全損失

T_j : ジャンクション温度
 R_{th} : 熱抵抗



当社のSOD-123外形 1A/30V SBD3製品についてサーマルランナウェイが起きる平均的温度を計算してみます。ここでは逆電圧が100%デュティでかかるとしました。これは、多くの動作条件より厳しいものです。

次ページの計算結果の表から、周囲温度が高かったり、熱抵抗が高い場合にはサーマルランナウェイが重要検討事項であることが分かります。

P/N	サーマルランナウェイが起きる温度			
	100°C/W	200°C/W	270°C/W	300°C/W
EP10LA03	91.5	75.7	68.9	66.5
EP10QY03	138.5	127.2	122.4	120.7
EP10HY03	165.8	153.3	147.9	146.0

表6

50% duty
107.3°C

日本インターのSBDはサーマルランナウェイを起こしにくい優位点があります。順電圧 V_F と逆電流 I_R とは二律背反の関係にありますが、適正に設計されたSBDは両特性のバランスがとれたものとなり、あわせてサーマルランナウェイを起こす温度が高くなります。

SMA 外形で 2A/40V SBD である SB240、FM240、そして、当社 EC21QS04 の 3 種を比較します。下表に示すように、 V_F が一番低いものではなく、バランスがとれたものが、サーマルランナ

ウェイを起こしにくくなっています。

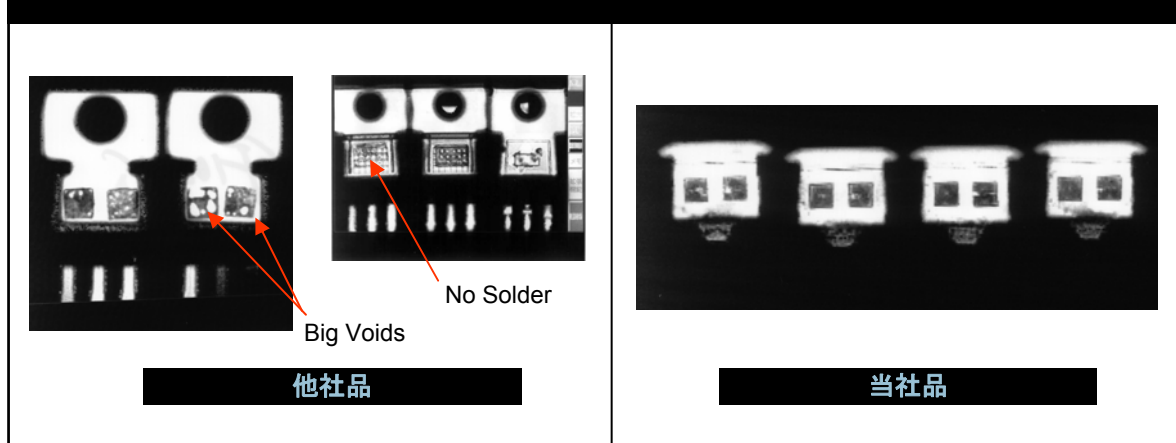
サーマルランナウェイを考える上で、もう一つ重要なのがデバイス自体の熱抵抗です。写真にあるようなダイアタッチが悪い製品では規定された熱抵抗を満足しない恐れがあります。当社製品は十分にコントロールされているので半田ボイドは最小であり、仕様値を確実に満足しています。

当社製品をお使いいただければ、機器の性能と信頼性を高めることにつながります。

表7

I_{RM}		サーマルランナウェイが起きる温度 $R_{th}=157\text{ }^\circ\text{C/W}$	
SB240			
	20V	40V	$123.6\text{ }^\circ\text{C}$
100°C	1.51mA	2.62mA	$V_F @2A$ 25°C 0.484V
125°C	6.13mA	10.68mA	125°C 0.438V
FM240			
	20V	40V	$114.1\text{ }^\circ\text{C}$
100°C	2.44mA	4.27mA	$V_F @2A$ 25°C 0.427V
125°C	10.21mA	19.17mA	125°C 0.353V
EC21QS04 (NIEC)			
	20V	40V	$137.1\text{ }^\circ\text{C}$
100°C	0.677mA	1.438mA	$V_F @2A$ 25°C 0.468V
125°C	2.862mA	5.875mA	125°C 0.425V

図13 ダイアタッチ (銅フレームとシリコンチップ間のハンダづけー白ぼく見えるのがボイド)



本資料は実用性を第一として、できる限り簡略化した平易な説明にしました。従って、厳密には諸条件との兼ね合いから、さらに検討を必要とする場合などもありますので、あらかじめご了承ください。

1. 高速ダイオードとは

FRD (Fast Recovery Diode)、SBD (Schottky Barrier Diode) は、50/60Hz 商用周波整流などに使用される一般整流ダイオードと区別するため高速ダイオードと呼ばれます。

写真9に一般整流ダイオードと高速ダイオードの動作電流波形例を示します。ダイオードは順方向に電流が流れていた直後に逆電圧が印加されると、本来のダイオードの性質を取り戻すまで、すなわち、逆方向が高抵抗状態になるまでには、ある時間が必要です。この間、ダイオードには外部回路条件とダイオード特性で決まる大きな電流が流れます。

この例では、3Aの順電流が流れていたところに逆電圧を印加されたことにより、電流は100nsあたり5Aの率で減少し ($-di/dt=50A/\mu s$)、一般整流ダイオードでは約400ns間、高速ダイオードでは約100ns間逆電流が流れています。この時間は逆回復時間、そして、この現象は逆回復現象と呼ばれます。逆回復時間は回路にとってデッドタイムになり、また、本条件では一般整流ダイオードでは14Aものピーク逆回復電流が流れていますから、高速・高周波回路では電力損失

としても無視できません。

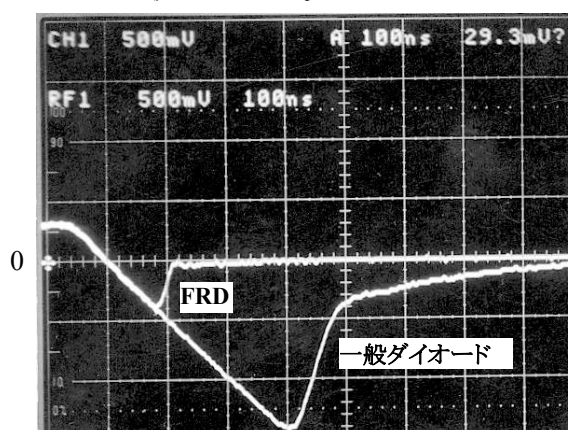


写真9 一般整流ダイオードと高速ダイオードの動作波形例

Ver. 5A/DIV. Hor. 100ns/DIV.
サンプル: 一般 30D4, 高速 30DL4

この例のように、逆回復時間が一般整流ダイオードと比較して大幅に短いダイオード、それが高速ダイオードです。

2 FRDとSBD

FRDとSBDはともに高速ダイオードですが、チップ構造と電気的特性には違いがあります。

まず、FRDとSBDの簡略化したチップ断面図を、各々図15と図16に示します。

FRDはN型シリコン中に熱拡散でP層を形成しており、PN接合ダイオードともよばれます。一

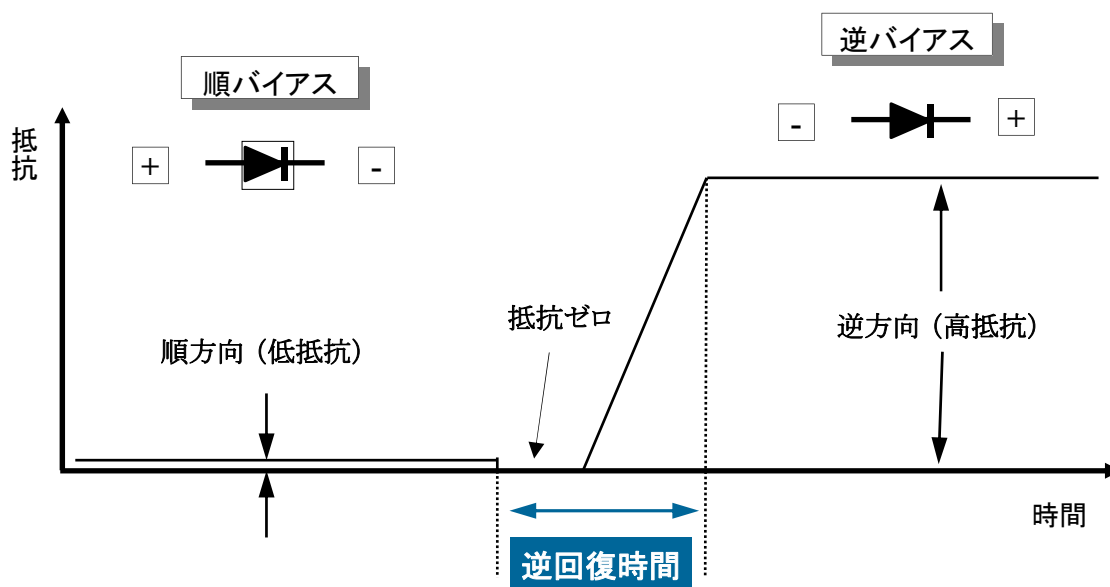


図14 逆回復を抵抗で表すと

方の SBDはシリコン基板にモリブデンなどの金属を接触させた構造となっており、シリコンと金属との電位障壁(バリア)の差によって整流作用を得ています。

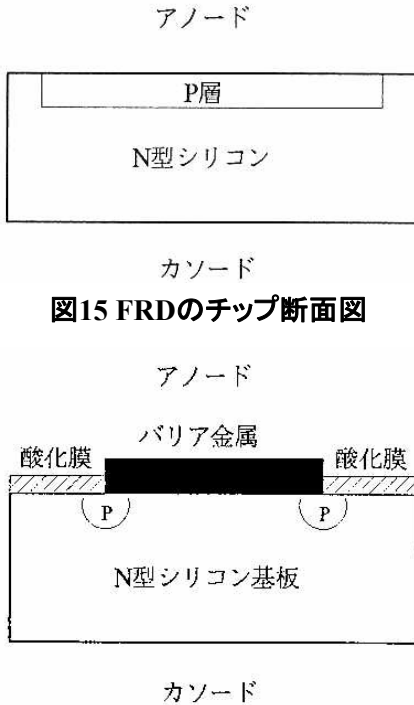
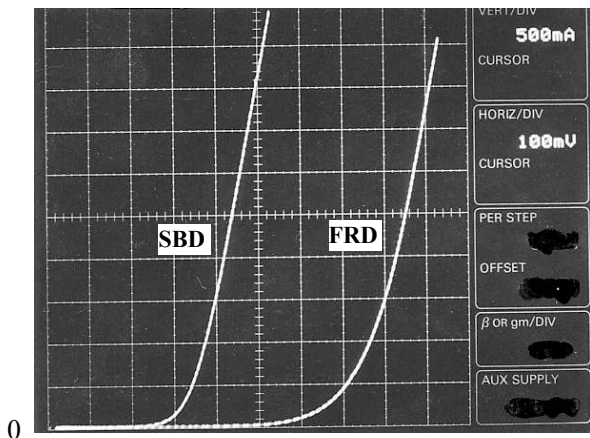


図16 SBDのチップ断面図

伝導作用を担う媒体(キャリア)の違いから、前者は少数キャリア素子、後者は多数キャリア素子に分類され、両者は異なった電気的特性を示します。

・ 写真10は 3AクラスのFRDとSBDの順電圧特性を比較したものです。3Aでの順電圧は FRDが0.87Vであるのに対してSBDは0.46Vと、SBDはFRDの半分近くになっています。これは、そのままダイオードの順電力損失の大小に結びつき



ます。

SBDは順電圧が低いかわりに、逆耐圧は高くても200V程度です。さらに、逆電圧印加時の漏れ電流、すなわち逆電流もFRDに比較して桁違いに大きくなっています。

写真11は 40V SBDと 200V FRDの逆特性を

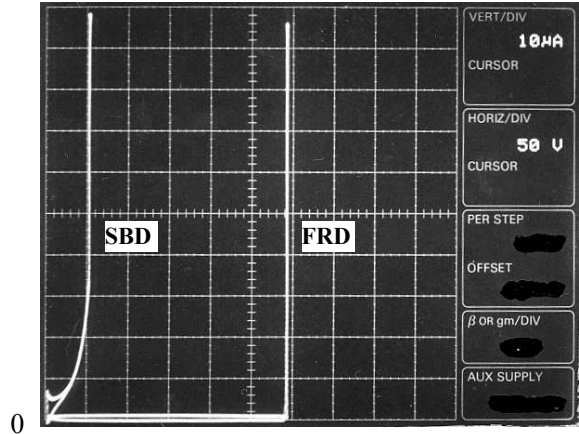


写真11 SBDとFRDの逆特性比較

Ver. 10μA/DIV. Hor. 50V/DIV.
サンプル:SBD 31DQ04, FRD 31DF2

比較したものです。

次にFRDとSBDの逆回復特性を比較します。写真12はFRDの中でも逆回復が比較的遅いものと、40V SBDとを同一回路で動作させた時の逆回復電流・電圧波形です。ここでは、trrが100nsのFRDでは28V、そして、trrが20ns以下のSBDでは16Vのピーク逆回復電圧が各々発生しています。これらの電圧はダイオード自体が発生するスイッチングノイズであり、trrの短いダイオードは逆電力損失だけではなくノイズ面でも

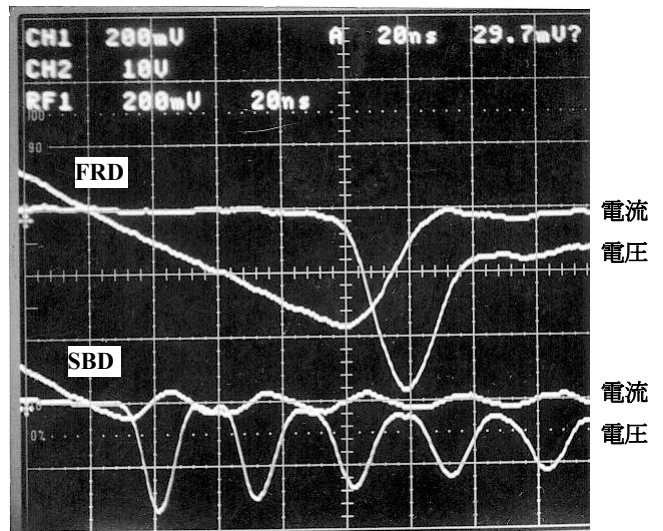


写真12 FRDとSBDの逆回復特性 その1

Ver. 2A, 10V/DIV. Hor. 20ns/DIV.
サンプル:FRD 30DL4, SBD 31DQ04

有利なことがわかります。

写真13ではFRDの中でも超高速に分類されるものと、SBDとの逆回復特性を比較しました。逆回復時間の短い順に、40V SBD、200V FRD、そして、600V FRDです。後述しますが、逆回復時間はFRDでは温度依存性があり、150℃になると25℃の2.5～3倍に増加するのに対して、40V SBDでは温度が上がってもほとんど変化しません。(SBDでも、耐圧の高いものでは、FRDに近い温度特性を持ちます—後述)

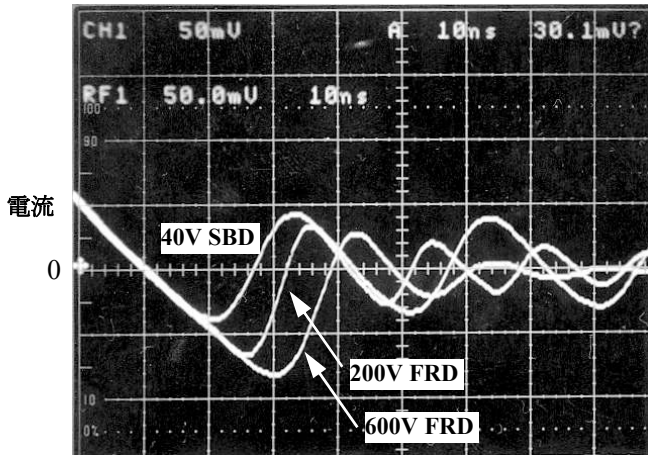


写真13 FRDとSBDの逆回復特性 その2

Ver. 0.5A/DIV. Hor. 10ns/DIV.
サンプル:FRD 30DF2/6 SBD 31DQ04

FRDとSBDの電気的特性を概観しました。FRDに対する **SBDの特性**上の違いをまとめると次の通りです。

- 1 順電圧が低い
- 2 逆回復時間が短く、温度が上がってもFRDのように増加しない
- 3、逆耐圧が低く、逆電流が大きい

SBDは出力20V程度以下の回路でその特長を生かし、FRDはSBDでは逆耐圧が不足する領域をカバーしています。また、FRDでも t_{rr} が100nsオーダのものはスイッチング電源では50kHz以下の低価格電源で使われます。この資料では t_{rr} が100ns以下のFRED (Fast Recovery Epitaxial Diode) を話題の中心とします。

3 応用回路と日本インターSBD・FRD

日本インターでは各種外形、電圧系列の製品を取り揃えるとともに回路に合った特性の製品を標準化しています。SBDでは標準的な系列を基準として、より順電圧 V_F の低いもの、そして、より逆電流 I_R の低いものを用意しています。順電圧と逆電流とはトレードオフの関係にあり、 V_F 低いものは I_R 大、 I_R 小ものは V_F 大の欠点があります。しかし、使用回路や条件にあてれば全電力損失が低減でき電源の効率を例えば1～2%向上させることができます。同様の効果がPFC用FRDでも期待できます。

代表的応用回路と当社適合製品例を紹介します。

図17と18は代表的な絶縁型DC・DCコンバータ回路です。適合する2次ダイオードの一般的な耐

図17 DC-DCコンバータ(フィードフォワード)

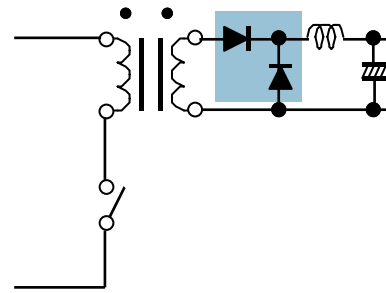
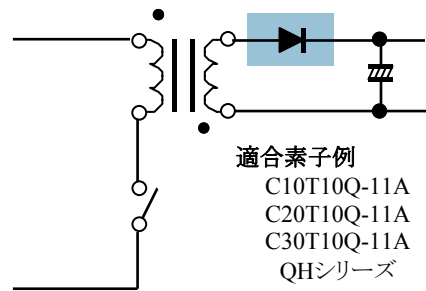


図18 DC-DCコンバータ (フライバック)

ノートPCのACアダプタ等



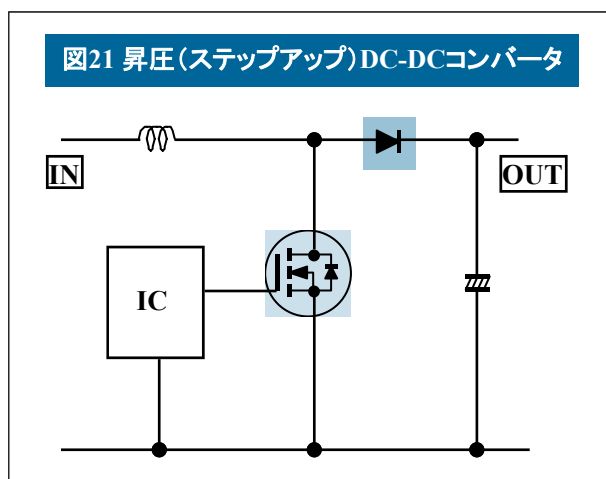
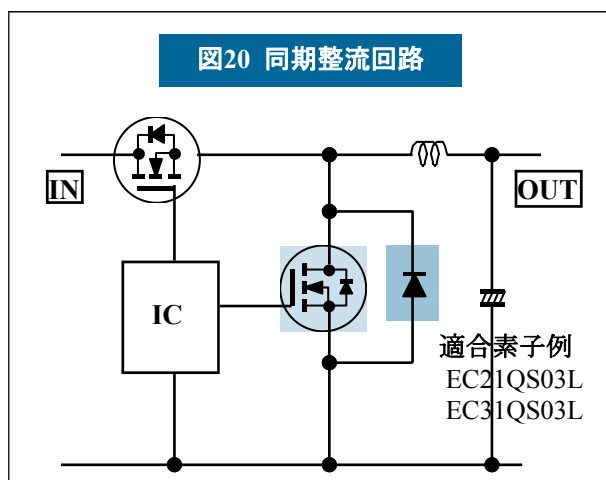
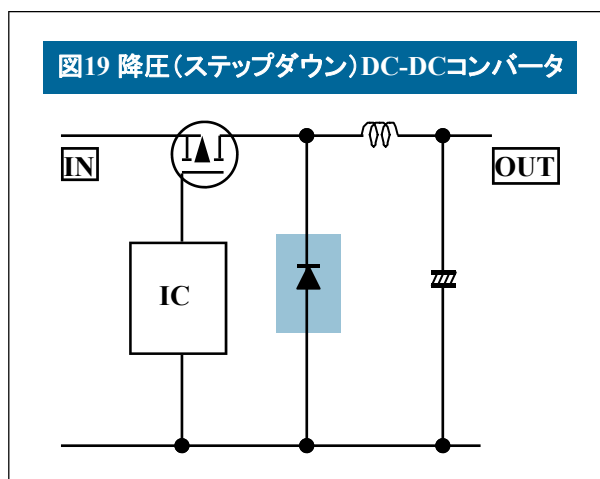
出力電圧 (DC V)	3V	5V	12V	18V	24V	48V
2次ダイオード	20・30V SBD	30・40V SBD	100V SBD	150V SBD 200V FRD	200V FRD	400V FRD

表8 一般的な適合2次側ダイオード

圧は表8の通りです。

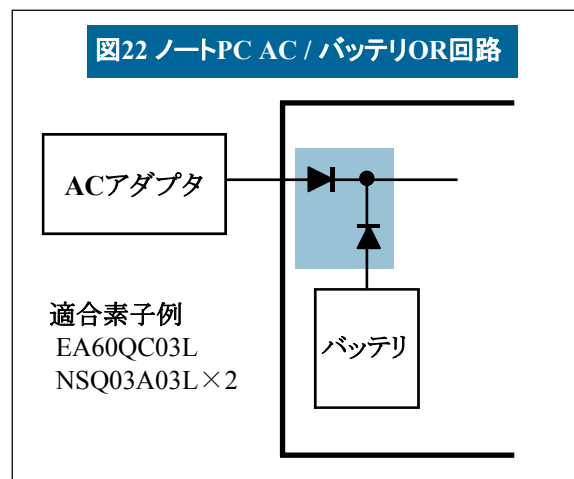
図18のフライバック回路はACアダプタによく使われています。ノートPC用ACアダプタは小型のために内部は高温になります。このため順電圧は高めでも逆電流の小さなHシリーズSBDの方が損失を抑えられます。

図19~21は近年よく見かける5Vや12V、そして、3.3V、あるいはそれ以下の電圧を出力するDC・

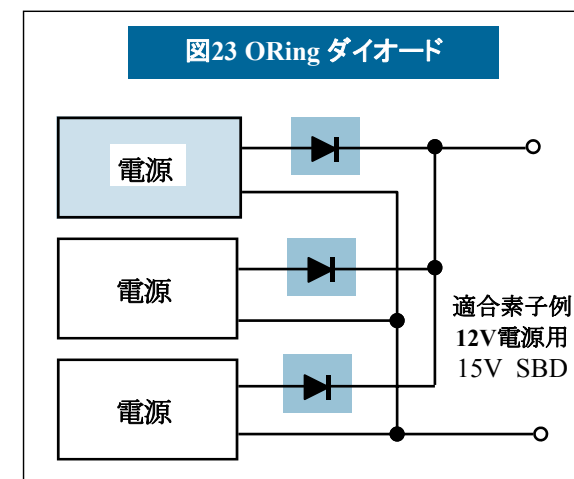


DCコンバータです。図19と20の降圧回路はバックコンバータ、図21の昇圧回路はブーストコンバータとよばれることがあります。バッテリー機器ではバッテリーが少しでも長持ちするようにDC-DCコンバータは特に高効率が求められます。この点でダイオード選択も重要です。出力ダイオード耐圧は降圧回路では入力電圧、昇圧回路では出力電圧を基準として選択します。現在のバッテリー機器やACアダプタを使用するノートパソコンでは30V LシリーズSBDが適しています。図9の同期整流回路ではEC21QS03LやEC31QS03Lが特に大きな市場実績を持っています。

図22はノートPCに内蔵されるACアダプタとバッテリーとのOR回路です。3A・30V SBD 2素子入りDpak外形品、または、1素子入り2個使いでお使いいただいています。



サーバなど電源の信頼性が重視される場合には複数電源が冗長使用されます。図23のOringダイオードは常時通電されるので順電圧が低いことが最優先されます。電源電圧の20%増しが一般的なダイオード耐圧です。12V電源用としては専用開発した15V耐圧のLシリーズが

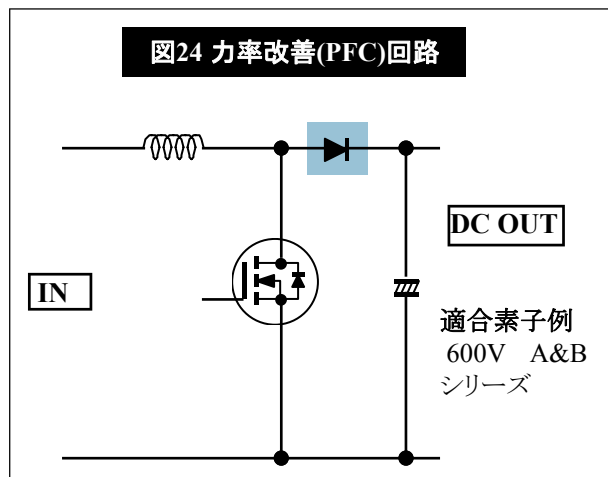


最適です。

高調波を抑制する力率改善(PFC)回路は社会的要求を背景として電源に取り入れられています。600V FRDには標準系列のほかにPFC用に特化したAおよびBシリーズを製品化しました。前者は比較的動作周波数が低め(50kHz以下)向けに、また、後者は高めの動作周波数向けに順電圧と逆回復時間のバランスを整えています。標準シリーズ600V品と較べて例えば200W出力電源で1~2W損失を減らすことができます。

適用するダイオードの電流容量は、(レギュレ

使い方とはいえません。しかし、コスト、あるいは、納期面でユーザに有利になることもあります。ただし、チップ間の逆回復特性差がEMI増大につながる可能性があります。



ターの出力電力)/(レギュレータの出力電圧)の1~2倍が目安となります。

これはあくまで目安であり、実装時温度などを十分ご確認ください。

例1、5V 50W出力フィードフォワード型

40V SBDで電流容量は $50(\text{W}) / 5(\text{V}) = 10\text{A}$ のカソードコモン ツインダイオードが目安となり、当社製品では10A定格(5Aチップ2個)のGCQ10A04 (TO-220外形)、FCQ10A04 (Fully molded TO-220外形)がこれに該当します。

例2、15V 30W出力フライバック型

100V SBDで電流容量2Aを基準にして、当社製品では5A定格のFSH05A10 (Fully molded TO-220外形)やタブレスTO220外形品ではC10T10Q-11Aが目安になります。

なお、フライバックコンバータの出力ダイオードはシングルですが、ツインチップダイオードのパラ使いで損失(温度上昇)を抑える、あるいは、フォワードコンバータでも同様の理由でツインチップ品の2個使いをすることがあります。パラ使用はダイオード間の電流分担が均一にはなり得ないので、ダイオードメーカー側からすると好ましい

4 逆回復特性

冒頭に逆回復(リバースリカバリー)特性について触れました。ここでは逆回復特性の実使用に役立つ詳細情報を提供します。

4-1 逆回復特性の波形上の定義

逆回復特性の波形上の定義は図25の通りです。逆回復時間の前半 t_a はジャンクションリカバリー時間、後半 t_b はバルクリカバリー時間とよばれることがあります、

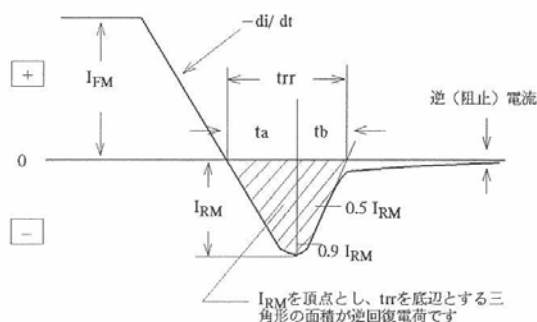
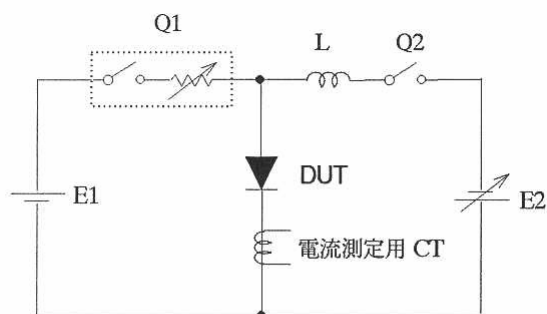


図25 逆回復時間の定義

4-2 逆回復特性測定回路

図26と図27は当社の超高速FRD用 t_{rr} 測定回路とタイミングチャートです。回路動作の簡単な説明を添えます。



$$-di/dt = E2 / L \text{ の関係が成り立ちます}$$

DUT : Device Under Test (被測定素子)

図26 逆回復時間(特性)測定基本回路

・回路動作

図26の基本回路でQ1、Q2にはMOSFETを使用しています。回路動作は次の通りです。

- 1、Q1にオンゲート信号を与えます。Q1がオンし、被測定ダイオード(DUT)に順電流が流れます。電流値 I_{FM} は E1とQ1のオン抵抗でコントロールされ、所定の値となります。

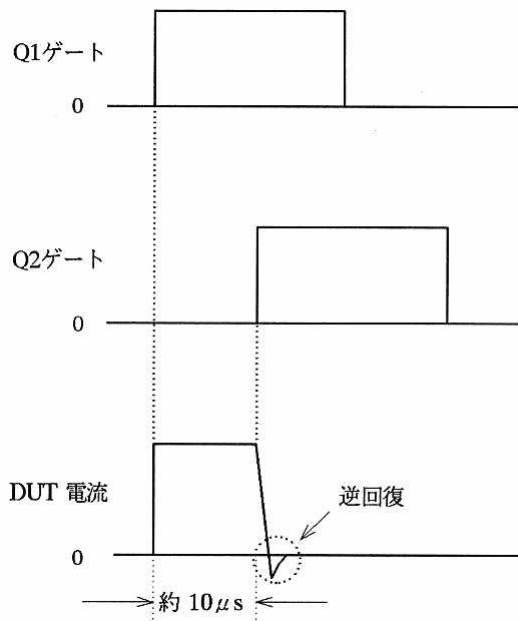


図27 測定回路タイミングチャート

- 2、約10 μ s後にQ2にオンゲート信号を与えます。E2はDUTの逆電圧として印加されようとして、ダイオードは逆回復現象を起こします。電流の減少率($-di/dt$)は、E2でコントロールされます。 $(-di/dt = E2/L)$ E2は DUTに印加されるピーク逆電圧が、その逆電圧定格をこえない範囲でコントロールされます。

なお、逆回復特性は、各社まちまちの条件で規定しています。しかし、国内メーカの製品であれば、規定している条件が異なっても、同等の規格値の製品であれば特性もほぼ同等と見て差し支えないようです。

4-3 逆回復特性の温度依存性

FRD(SBD)の逆回復特性は通常、25 $^{\circ}$ Cでの逆回復時間で規定されています。実動作時には温度上昇の影響を受けて特にFRDではかなり異なった特性となります。

5Aチップの200V FRDと40V SBDの同一条件での逆回復特性 温度依存例を各々、写真14と15に示します。

このように40V SBDでは逆回復特性がほとんど温度の影響を受けないのに対して、FRDでは温度上昇とともに逆回復時間、電荷が増加します。

また、写真16と17には5A 60V SBDと5A 100V SBDの同様の特性例を示します。SBDでも耐圧が高くなるほど、FRDと同じPNダイオードに近い性質を示す様になり150V SBDでは200V FRDと同等の温度依存性となります。

ユーザが逆回復損失を含むダイオード損失、あ

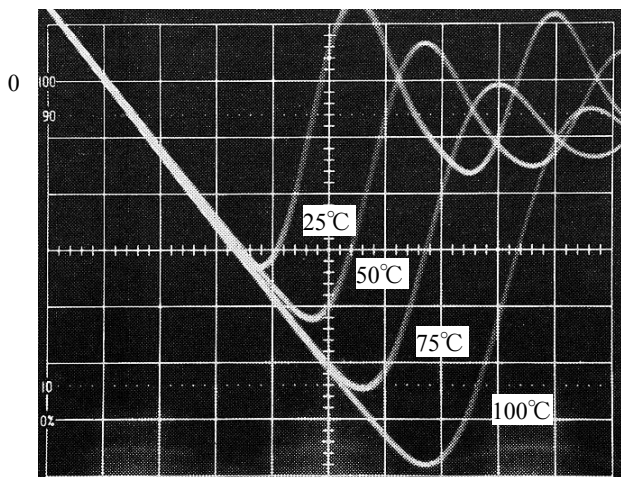


写真14 5A 200V FRD逆回復特性の温度依存性

($I_{FM}=5A$, $-di/dt=50A/\mu s$)
 Ver. 0.2A/DIV. Hor. 5ns/DIV.
 サンプル:FSF05A20

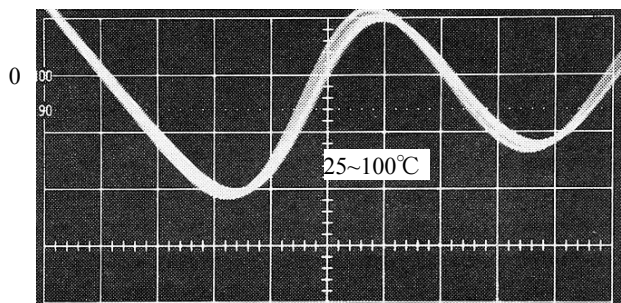


写真15 5A 40V SBD逆回復特性の温度依存性

($I_{FM}=5A$, $-di/dt=50A/\mu s$)
 Ver. 0.2A/DIV. Hor. 5ns/DIV.
 サンプル:FSQ05A04

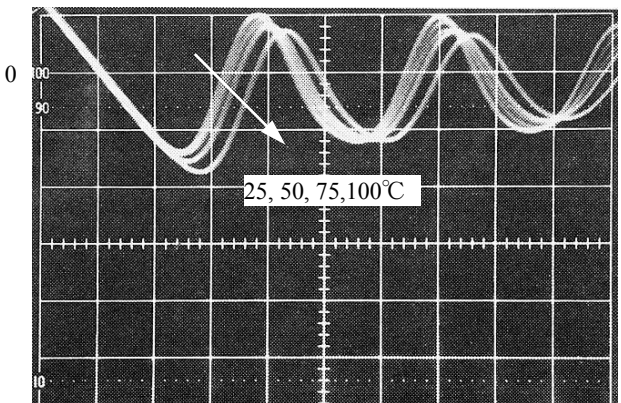


写真16 5A 60V SBD 逆回復特性の温度依存性

($I_{FM}=5A$, $-di/dt=50A/\mu s$)
 Ver. 0.2A/DIV. Hor. 5ns/DIV.
 サンプル:FSQ05A06

るいは、スイッチングノイズの評価をする場合には、このような温度依存性も考慮してください。

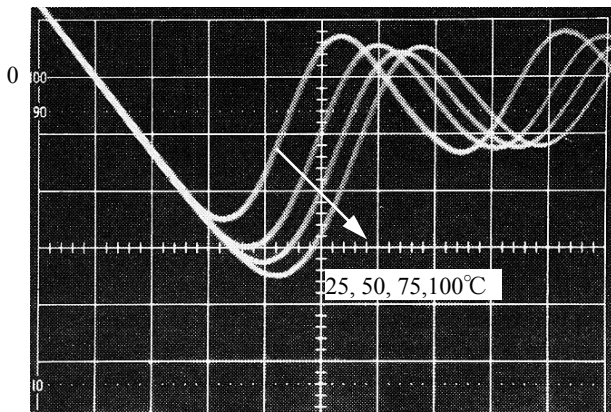


写真17 5A 100V SBD 逆回復特性の温度依存性

($I_{FM}=5A$, $-di/dt=50A/\mu s$)
 Ver. 0.2A/DIV. Hor. 5ns/DIV.
 サンプル:FSH05A10

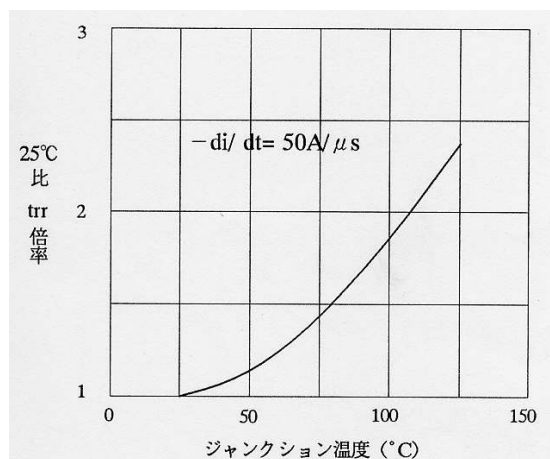


図28 600V FRD 逆回復時間の温度依存性

4-4 逆回復特性の $-di/dt$ 依存性

当社FRDでは逆回復時間を $-di/dt = 50A/\mu s$ で規定しています。写真18に5A 200V FRD逆回復特性の $-di/dt$ 依存性を示します。この依存性

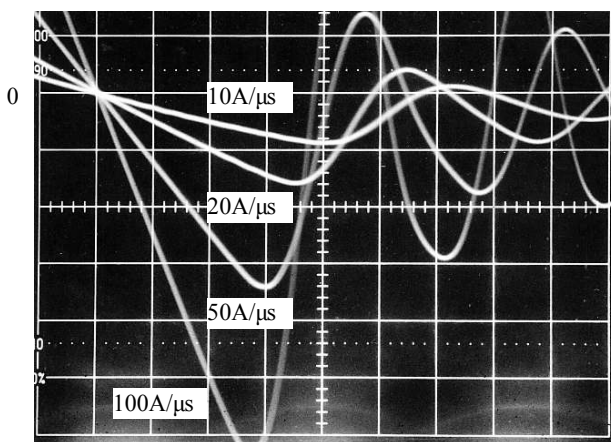


写真18 5A 200V FRD 逆回復特性の $-di/dt$ 依存性

($I_{FM}=5A$, $T_j=25^\circ C$)
 Ver. 0.2A/DIV. Hor. 5ns/DIV.
 サンプル:FSF05A20

は、FRD、SBDの耐圧のいかにかわらず概ね同様です。逆回復時間は $-di/dt$ の増加とともに減少しますが、ある限度以上には短くなりません。

4-5 逆回復特性の順電流依存性

写真19に 5A 200V FRDの逆回復特性 順電流依存性例を示します。実用的電流レベルでは FRD、SBDともに、この依存性は事実上無視しても差し支えありません。

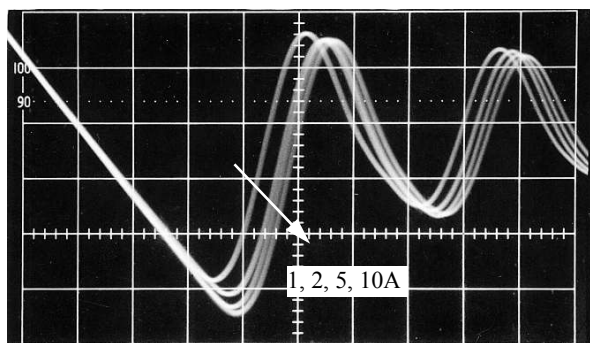


写真19 5A 200V FRD 逆回復特性の順電流依存性

($-di/dt=50A/\mu s$, $T_j=25^\circ C$)
Ver. 0.2A/DIV. Hor. 5ns/DIV.
サンプル: FSF05A20

順電流依存性を 600V FRDについてまとめたのが図29です。温度、順電流依存性は200V、400V などのFRDでも同様です。

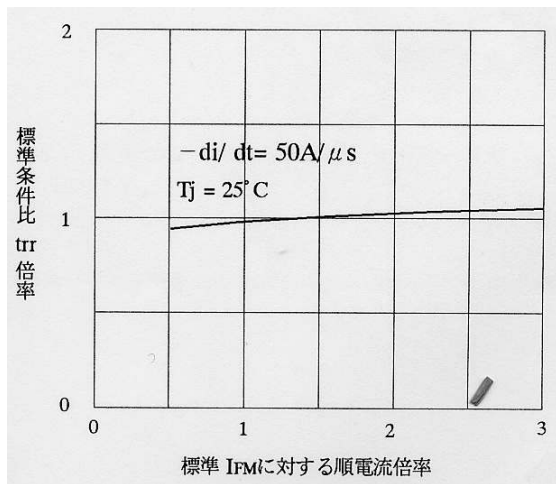


図29 600V FRD 逆回復時間の順電流依存性

4-6 逆回復損失の求め方

逆回復電力損失を知るには2つの方法があります。1つは実測で求める方法、他方は計算で求める方法です。逆回復時にはダイオード電流・電圧波形が複雑な時間的変化をするため、それぞれの方法には一長一短があります。実測による方法では電流ループに高速シャントを挿入する必要があります。実動作とは違いがでるものの、か

なり正確な結果が得られます。デジタルオシロスコープを使用すれば、その演算機能を生かし、電力損失の算出は容易です。

もう一つの方法は、回路定数などとダイオードの逆回復特性資料とから計算で求めるものです。計算式は

$$E = 1/6 \times t_a \times t_b \times V_{RM} \times di/dt$$

(単位はジュールまたは watt·sec/pulse)

であり、上式で1パルスあたりの損失を求めることができます。これを周波数倍すれば平均損失となります。

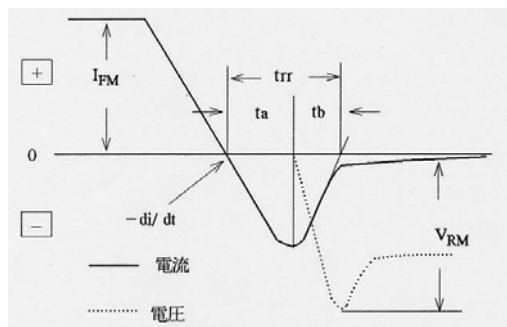


図30 逆回復損失の計算

両方法には一長一短がありますが、正確な逆回復損失の評価が必要な場合には実測を含めた評価をお願いします。

5 順回復特性

ダイオードの順電圧特性、すなわち、ダイオードに順電流をいくら流せば最大いくらの順電圧が発生するかは、カタログ・仕様書に記載してある通りです。一般には問題になりませんが、順電流の立ち上がりが速い場合、ダイオードには順回復と呼ばれる現象があり、定常的な電圧より高い順電圧が観測されます。回路上ではダイオードにインダクタンス分が直列に存在すると見なせます。

写真20に 40V SBDと 600V FRDの順回復現象例を示します。

順回復電圧は逆耐圧の高いダイオードほど高くなりますが、逆耐圧に比例するわけではありません。

写真21では 600V FRDについて順電流を一定とし、その立ち上がりを変えて順回復電圧を比較しています。この図から順回復現象は約 100ns間で終わり、順回復電圧ピーク値は、ほぼ順電流立ち上がりに比例していることが分かります。この現象は期間が短いので電力損失としては無視できますが、特定の応用、例えばスナバダイオードとし

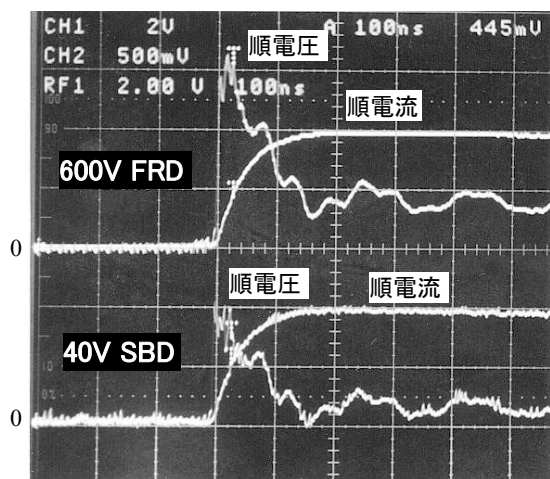


写真20 600V FRDと40V SBDの 順回復特性

Ver. 5A, 2V/DIV. Hor. 100ns/DIV.

サンプル:FRD FSF10A60、SBD FSQ10A04

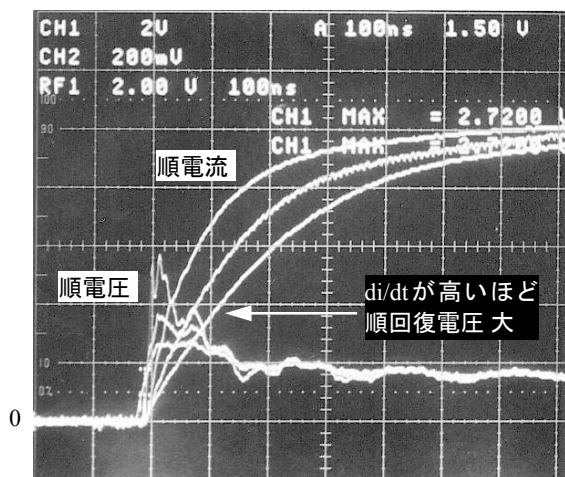


写真21 順回復特性のdi/dt依存性

Ver. 2A, 2V/DIV. Hor. 100ns/DIV.

サンプル:FRD FSF10A60

て使用する場合には重要な特性です。どの程度の順回復電圧が発生するかはダイオードの基本設計に関わり、特定品種での実用的な個体差はありません。また、同一設計のダイオードであればチップの大きい、すなわち定格電流の大きなダイオードほど順回復電圧は低くなります。ただし、チップ面積に反比例して小さくなるわけではありません。

スナバダイオードは実回路で動作させた上でご選択ください。

6 定格と特性

定格と特性に簡単に触れます。FRD、SBDをはじめとするダイオードの代表的定格には電流、逆電圧、温度、そして、機械的定格があります。各々、電流をどれだけ流せるか、逆電圧をどれだけ印加できるか、温度はどの範囲で使わねばならな

いか、そして、素子にかかる応力はいくらまでなら壊れないかを表しています。これらの定格をこえたストレスがダイオードに加わった場合、直ちに素子破壊に至る場合と、信頼性が損なわれる場合とがあります。いずれの結果となるかはケースバイケースですが、定格を順守するのを設計上の基本としてください。実用上では2つ以上の定格が絡むことがあります。この場合はNAND、すなわち、どれも超えてはならないとされています。

これに対して特性は、例えばいくら電流を流せばどれだけの電圧が発生するか、いくら逆電圧を印加すればどれだけの逆電流が流れるかを表したもので、素子破壊や信頼性とは直接関係しません。

7 許容電流

許容電流、すなわち、素子信頼性を確保した上で流せる電流はダイオード内部温度(接合温度)と密接に関係します。これは、大きな電流を流そうとするほどダイオード損失が大きくなり、これに伴って素子内部の温度も上昇するからです。接合温度は素子信頼性に対する主要ファクターであり、定格最高接合温度以内に納めなければなりません。このため、電流が連続あるいはパルス状であるにかかわらず、接合温度が最高でいくまで上昇するかを知らねばなりません。ここでは許容電流の計算、実測(検証)関連情報を紹介します。

なお、SBDは逆電力損失が大きく、これが許容電流に影響します。このためSBDではこの損失も熱設計に盛り込む必要があります。

7-1 フィン熱抵抗

ダイオードの損失が大きいほど、その温度上昇が大きくなります。温度上昇 ΔT は、損失 P に比例

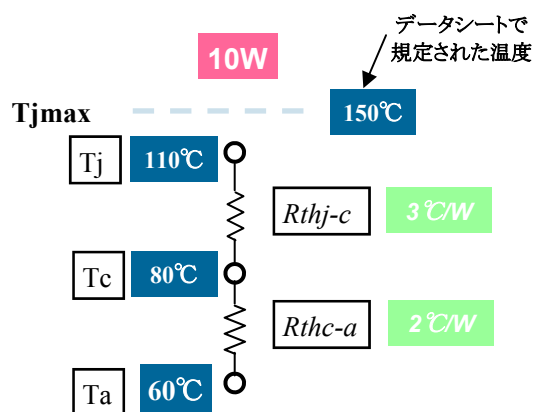


図31 熱抵抗と温度差との関係

し、その係数が熱抵抗です。どこを基準として、どこが、どれだけ上昇するかを異なった熱抵抗が規定されています。例えば、周囲温度を基準にしてフィン温度を知るための熱抵抗がフィン熱抵抗です。図のように、 $2^{\circ}\text{C}/\text{W}$ のフィンでは、これに取り付けた素子に 10W の損失が発生すれば 20°C だけフィン温度が上昇することになります。温度上昇計算の最終的目的地は、ジャンクション温度が規定以内に収まるか否かです。

フィン熱抵抗の大小はその放熱の良し悪しの度合いを表します。表面積の大きなフィンほど冷却効果が高く、その熱抵抗は小さくなります。

図32に自冷(ファンを使った強制空冷をしない)時の 1mm 厚 Al と Cu 平板の熱抵抗を示します。ただし、このフィン熱抵抗は種々の前提の基に求められたもので、あくまでも目安とと考えてください。隣接して発熱体がある、周囲(匡体内)温度が高いなどは前提を逸脱するもので、現実の熱抵抗値

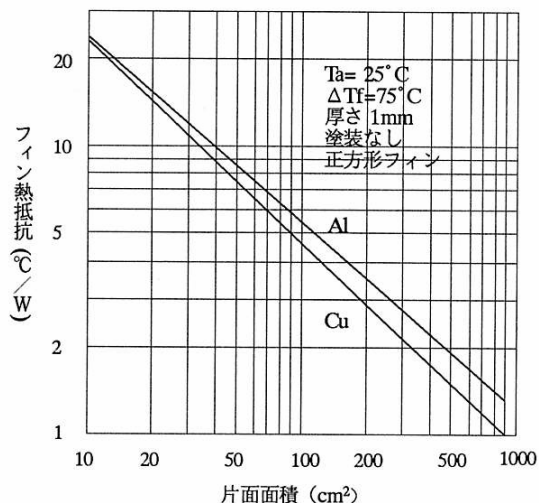


図32 自冷時板フィン熱抵抗

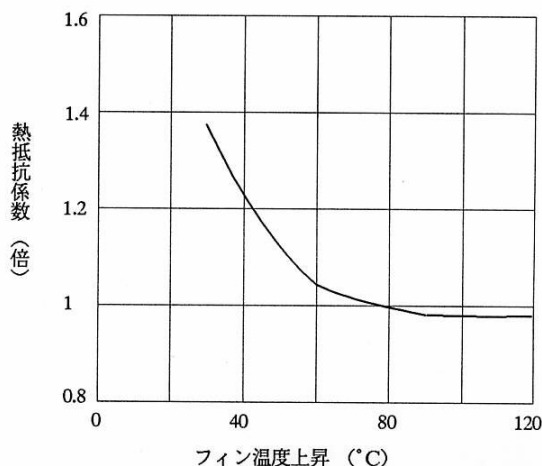


図33 フィン温度上昇と熱抵抗変化

はかなり違ったものになります。したがって温度実測による検証は不可欠です。

0 フィンと周囲温度との温度差で熱抵抗がどの程度影響を受けるかを示すのが図33です。同図から匡体内温度が高く、 30°C の温度差しか見込めないとすると、図26比フィン熱抵抗は 35% 大きくなります。以上は板フィンの説明ですが、市販ブロックフィンについても事情は同じで、規定された熱抵抗がそのまま熱設計に適用できるとは限りませんのでご注意ください。

なお、フィンを使用しないTO-220外形品(Fully molded品を含む)単体での熱抵抗 $R_{th(j-a)}$ は $80^{\circ}\text{C}/\text{W}$ を、また、TO-247(3P)外形品単体では $60^{\circ}\text{C}/\text{W}$ を見込んでください。これは TO-247(3P)外形品に 2W の損失を与えれば接合温度が 120°C 上昇することを意味します。

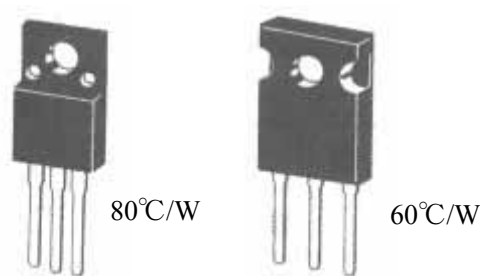


図34 フィンなしでは

7-2 ケース温度基準点

FRDやSBDの定格電流は対 周囲温度、あるいは、ケース温度で規定されています。周囲温度は文字通りダイオード動作時の周囲の温度ですが、ややもすると誤解されやすいのがケース温度です。

JEDECで規定されたケース温度測定点を図35に示します。ケース温度は樹脂モールド部にドリルで穴をあけ、チップ直近のフレーム温度を熱電対で測って得られます。実際には測定のしやすさからチップ裏側のフレーム温度を測る、あるいは

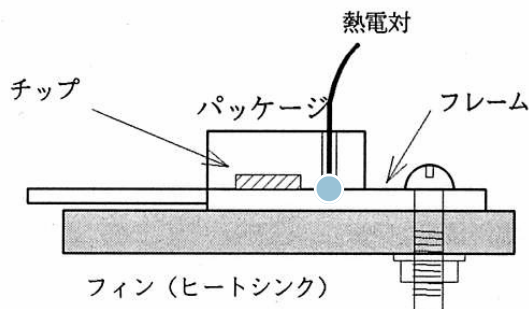


図35 ケース温度基準点(断面図)
(TO-220外形品の例)

はフレーム厚手方向から穴を開けてチップ下のフレーム温度を測るなどのバリエーションがあります。

ユーザからすれば、ほとんど測定不能なこのような場所がケース温度基準点とされた理由は、1つは外部条件の影響を受けにくいこと、そして、もう一つは接合・ケース間の熱抵抗として小さな数字がうたえるからです。

ケース温度はパッケージの表面温度ではないことをご理解ください。

7-3 温度測定

本来、信頼性や特性に直接関わるのは接合温度ですが、回路内動作時にこれを測定するのは困難です。ユーザが測定可能なのはリード温度、パッケージ表面温度およびフィン温度ですから、この測定値に接合温度との温度差を上乗せして接合温度を推定してください。接合温度との温度差の計算法は後述することにして、まず温度測定法に触れます。

温度測定時の注意点は次の通りです。

- 1、実使用状態で動作させ温度が十分平衡状態に達した後に測定する
- 2、本来の熱平衡条件をできるだけ乱さない
- 3、温度測定は、センサーの取り付け・接触状態を変えながら何度か測定し、安定した結果が得られるようになってから最も高い測定値を採用する

2については熱容量のできるだけ小さな温度センサーを使用し、その取り付けに工夫してください。熱容量の大きな温度センサー、例えば市販シース型熱電対は、センサーから熱が逃げるため正確な測定ができません。

リード温度測定は、熱電対をリード線の樹脂直近にはんだ付けします。熱電対はできるだけ細いもの(例 単独線径 0.25~0.32mm)とし、はんだの量は最少にしてください。

外形別リード温度測定点を図36に示します。

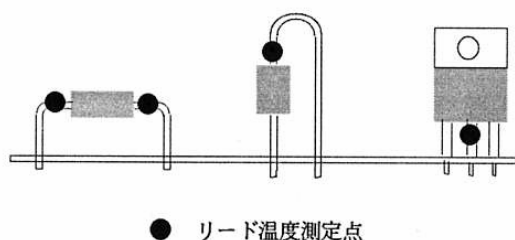


図36 リード温度測定点

TO-220、TO-247(3P)などの3端子ダイオードで中央端子の温度を測る理由は、この端子がチップを搭載したフレームの一部だからです。この様子は図37を参照ください。

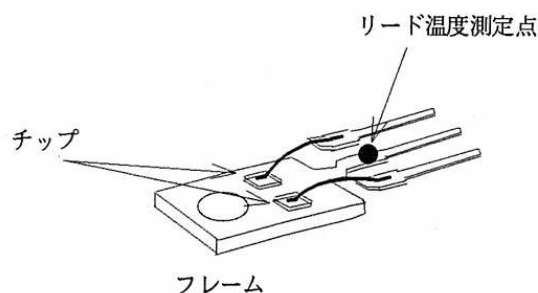


図37 3端子ダイオードの内部構造
ツインチップ品の例

TO-220、TO-247(3P)関係外形品のフィン温度測定点を図38に示します。フィンに穴開け加工をし、これに熱電対を挿入して温度を測定します。

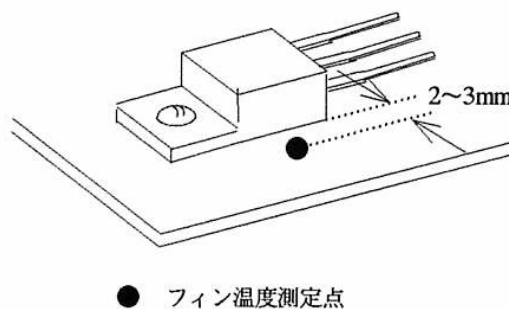


図38 フィン温度測定点

安定したフィン温度測定値を得るため、製品にはサーマルコンパウンドを必ず塗布してください。パッケージ温度測定用センサーとして考えられ

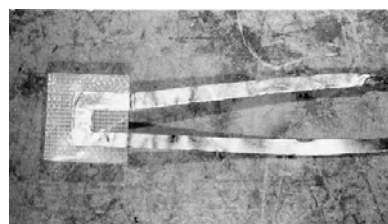


写真22 表面温度測定用熱電対センサ部

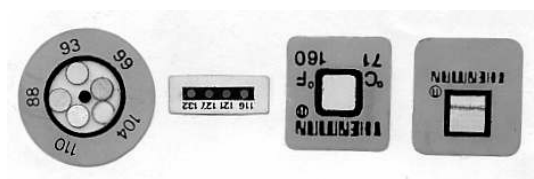


写真23 示温ラベルの例

THERMOGRAPHICS MEASUREMENT社製

るのは、箔状熱電対をプラスチックフィルムで封じ込めたもの、および指温ラベルです。それぞれの例を写真22と23に示します。熱容量の大きな表面温度計の使用は好ましくありません。

7-4 接合部 - リード間熱抵抗 $R_{th(j-l)}$

表9に代表的使用条件を想定した場合の接合部 - リード間熱抵抗(代表値)を示します。

外形	$R_{th(j-l)}$ (°C/W)
10JDA、10EDB外形	23
10DDA、20KDA外形	17
30PDA外形	8
SOD-123 (EP)外形	70
SMA (EC)外形	23
NS外形	13
TO-251/252	17
TO-220外形	25*
Fully Molded TO-220外形	30*
TO-247 (TO3P)	15*

*は参考値

表9 接合部 - リード間熱抵抗 $R_{th(j-l)}$

TO-220、TO-247(3P)外形品関係の値はリード自体の発熱が無視できる状態で求めました。しかし、これらのパッケージ品については実使用状態でのこの発熱の影響が大きく、表3中の値は参考値であり、実用的な意味合いはありません。

TO-220、TO-247(3P)外形品関係ではリード線発熱の影響を避けるために、フィン温度を測定し、これを基に接合温度を推定してください。

7-5 パッケージ表面温度

TO-220、Fully molded TO-220、TO-247(3P)外形品について、パッケージ表面温度の実測例を

外形	接合温度 (°C)	フィン温度 (°C)	パッケージ温度 (°C)
TO-220外形	101	90	75~80
Fully Molded TO-200外形	101		80~83
TO-247 (TO3P)	100		83~87

表10 パッケージ表面温度実測例(ご参考)

表10に示します。本来、接合 - パッケージ間熱抵抗という表現がユーザにとって好ましいものですが、動作条件、測定法に大きく左右される数字なので、参考例として実測結果を記すにとどめます。

7-6 リード温度・フィン温度実測値を基にした接合温度の計算

リード温度・フィン温度実測値と熱抵抗規格値とから接合温度が計算できます。2つの例で計算結果を図示します。個別計算の参考としてください。(図39・40)

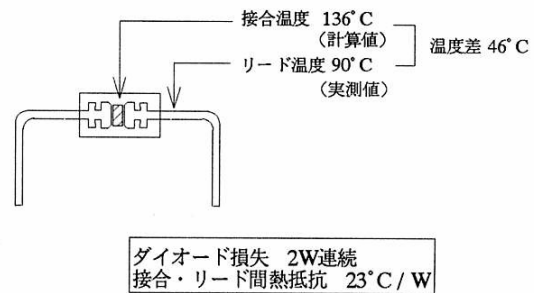


図39 接合温度計算例 その1
(アキシシャルリード品でリード温度から接合温度を計算)

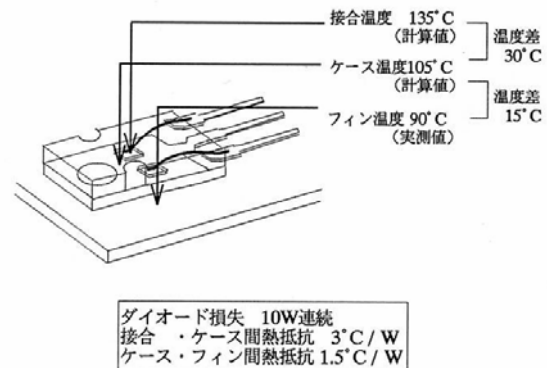


図40 接合温度計算例 その2

(Fully Molded TO-220外形品でフィン温度から接合温度を計算)

TO-220、TO-247(3P)外形品関係の $R_{th(c-f)}$ (接触熱抵抗)は Fully molded品では仕様規定値を用います。これはサーマルコンパウンド塗布時の値です。また非絶縁外形品で絶縁板を使用する場合は、当該製品の規格値を参照ください。一般的には $0.5\sim 1^\circ\text{C}/\text{W}$ 程度の値です。

・ 以上二つの例では定常熱抵抗を用い、一定電力が印加される場合の温度上昇、あるいは平均電力損失から平均温度上昇を計算しました。

7-7 過渡温度上昇の計算

ダイオードにパルス状電流が流れると、電流の

変化に応じて接合温度も変化します。このように接合温度にリップルがあれば、その瞬時最高温度を定格最高接合温度以下に抑えねばなりません。この場合には熱抵抗として過渡熱抵抗が用いられます。

過渡熱抵抗 r_{th} は(パルス)時間をパラメータとする熱抵抗で、接合温度上昇 ΔT_j は電力損失 P と r_{th} から次式で計算できます。(図41参照)

$$r_{th} = \Delta T_j / P \quad (1)$$

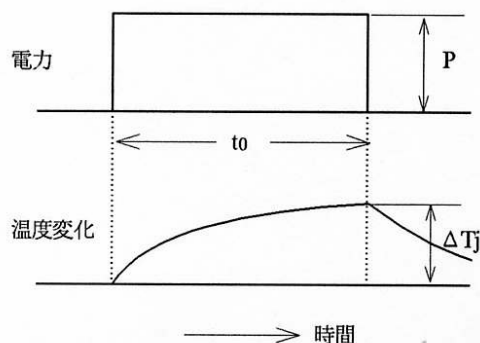


図41 過渡熱抵抗の定義

当社樹脂パッケージダイオード仕様書には過渡熱抵抗特性は含まれていません。次式と表11の個別定数から計算してください。このようにして得られる過渡熱抵抗有効範囲は時間上限 1秒程度までで、定常熱抵抗を上回らない範囲です。

$$r_{th} = a \times t^b \quad (2) \quad t \text{ は時間 (s) です}$$

使用チップ		a	b
FRD or SBD	電流(A)		
FRD	1	17	0.5
	3	10	0.5
	5	5	0.4
	8	4.5	0.4
	12	4.1	0.43
	30	1.5	0.4
SBD	1	17	0.5
	3	10	0.5
	5	5	0.5
	8	4	0.34
	15	3	0.34
	30	1.5	0.34
	60	1.05	0.34

表11 過渡熱抵抗計算のための定数

表11では使用チップ毎に定数を示しましたが、表12にはいくつかの製品の組み込みチップ数と、特定の時間で過渡熱抵抗計算結果を表9に示します。

品名	組み込みチップ	時間(s)	r_{th} (°C/W)
FCQ10A04	5A SBD 2チップ	0.001	0.158
FCF10A20	5A FRD 2チップ	0.01	0.792
KCF25A40	12A FRD 2チップ	0.1	1.52
KSQ60A04	60A SBD 1チップ	0.001	0.0979

表12 過渡熱抵抗計算例

製品毎の組み込みチップに関する情報が必要な場合はお問い合わせください。

・ 過渡熱抵抗を用いた過渡温度上昇計算は方形波電力パルスに対して有効です。しかし、現実の電流波形はほとんどの場合、これとはかけ離れています。この扱いに触れます。

過渡熱抵抗の有効時間範囲下限は通常 1ms、ないしは、せいぜい 10 μ s程度です。時間が短くなるほど精度は低くなります。従って μ sオーダーの電力変化、これに伴う温度変化を追いかけてもあまり意味はありません。

正弦波と三角波電流の扱いは次の通りです。ピーク電力を揃えた同一面積方形波電力に置き換えます。図42と43を参照ください。

次に二つの計算例を紹介します。(図44・45参照) 計算例2では連続パルス電流の最後の 2パルス以前は平均値として扱っています。これは慣

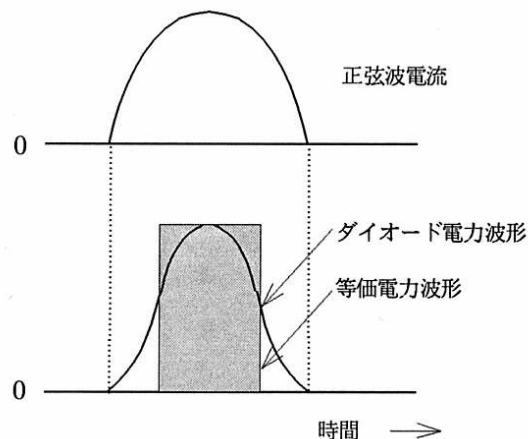


図42 正弦波電流の扱い

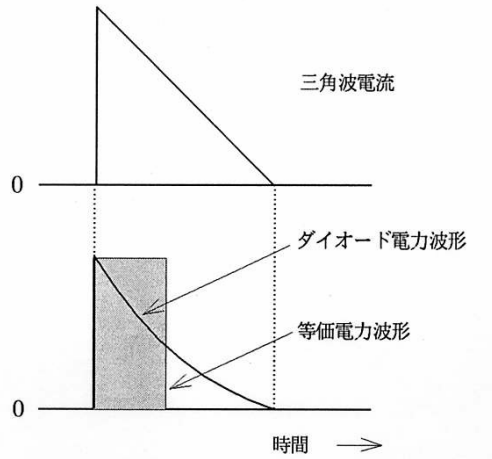
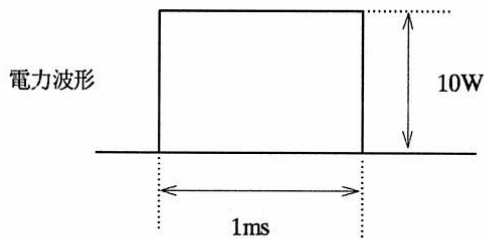


図43 三角波電流の扱い



FCQ10A04に 1ms間 10Wの電力が印加されると、この製品の 1msの過渡熱抵抗は表6に示すように0.158°C/Wですから

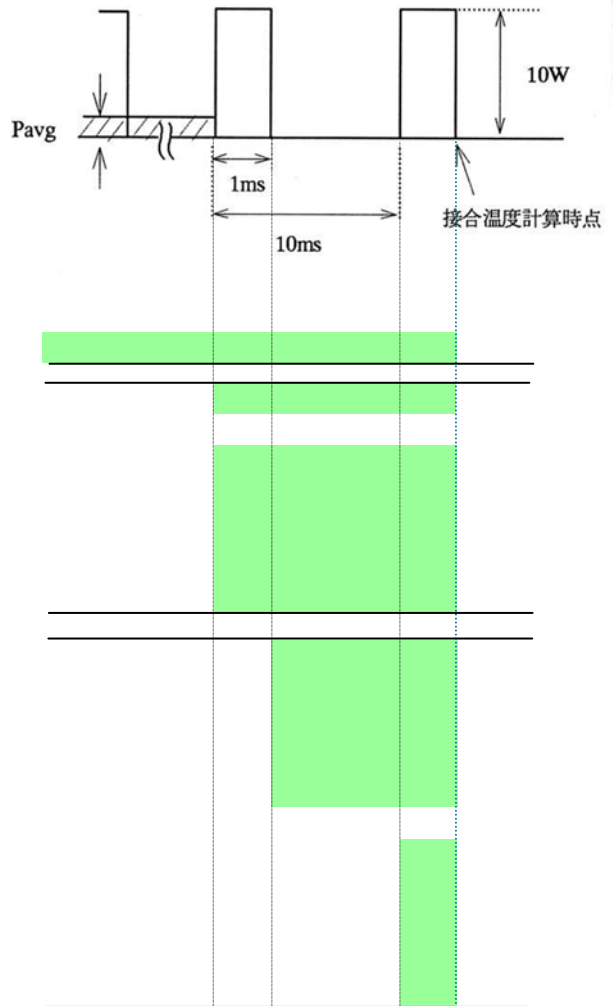
$$\Delta T_j = 10(W) \times 0.158(^{\circ}C/W) = 1.58(^{\circ}C)$$

となります。

図44 過渡温度計算例 1

例であり、パルス巾が短い応用では最後の1パルス以前を平均値として扱う、さらに温度リップルは無視しても実用的には問題のない場合が多いと思われま

す。温度測定、および計算には避けられない誤差があります。個々の応用に対する許容電流の最終的検証は組み込みセットの長期寿命試験、さらには、市場実績でなされるものと考えます。



FCQ10A04に 10ms周期 1ms巾 10Wの電力が印加されるとします。平均電力 Pavgは デューティ 1/10ですから 1Wです。平均電力の接合温度計算時点の寄与分 ΔT_{j1} は

$$\Delta T_{j1} = 1(W) \times [R_{th(j-f)} - r_{th}(11ms)]$$

最後の2パルスの寄与分 ΔT_{j2} は

$$\Delta T_{j2} = 10(W) \times [r_{th}(11ms) - r_{th}(10ms) + r_{th}(1ms)]$$

であり、11ms, 10ms, 1msの過渡熱抵抗は各々 0.524, 0.5, 0.158°C/W、そして、 $R_{th(j-f)} = 4.5^{\circ}C/W$ ですから

$$\Delta T_{j-f} = 3.97 + 1.82 = 5.79(^{\circ}C)$$

となります。

図45 過渡温度計算例 2

8 逆電圧定格の考え方

逆電圧定格に簡単に触れます。ダイオードの逆方向抵抗はある電圧までは高抵抗で、この電圧を超えると急激に低抵抗になります。すなわち、ダイオードはある逆電圧までは阻止能力があり、これを超えた逆電圧が印加されるとダイオードは電圧破壊を起こします。この境界電圧はブレイクダウン電圧と呼ばれ、これが定格逆電圧以上になるよう素子は設計されています。

逆電圧定格は時間に対する条件が規定されていないのが普通です。これは瞬時たりとも、言い換えるとどんな短時間であっても動作時にこれを超える電圧が印加されてはいけないことを意味します。(図46参照)

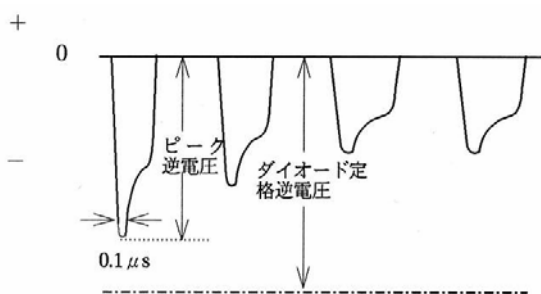


図46 逆電圧定格の考え方

ここでは電源オン時を想定したダイオード逆電圧を模式的に表しました。このように、例え0.1μsといえども逆電圧定格は守られねばなりません。

ダイオード逆電圧特性の温度依存性を図47に示します。温度上昇に伴い、ブレイクダウン電圧、逆電流とも増加します。この図から、コールドスタート時ほどダイオードにとっては電圧的に厳しいことが、また、高温時に逆電流の大きいSBDでは、逆電力損失を熱設計に盛り込まねばならないことが分かります。ブレイクダウン電圧の温度係数は + 0.1%/°C程度であり、電圧面での設計余裕が少ない場合の低温動作には注意を要します。

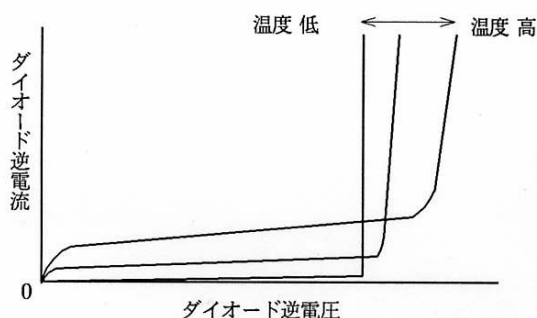


図47 ダイオード逆特性の温度依存性

ダイオードが過電圧破壊した場合、どの程度の電圧が印加されて破壊したかが誤解されることがあります。例えば「40V SBDに400V印加したら壊れた」とする場合、400Vは電圧源の電圧であり、ダイオードは400V印加される前に破壊してしまい、400V印加されることはありません。

説明のため簡略化した回路図を図48に示します。Rsは回路図に値が特定されていなくとも必ず存在する電源の内部抵抗であり、ダイオード特性とは無関係な回路要素です。また、R_Dはダイオードの逆方向等価内部抵抗であり、逆電流が大きくなるにつれて SBDであれば数100kΩから1Ω以下まで変化します。

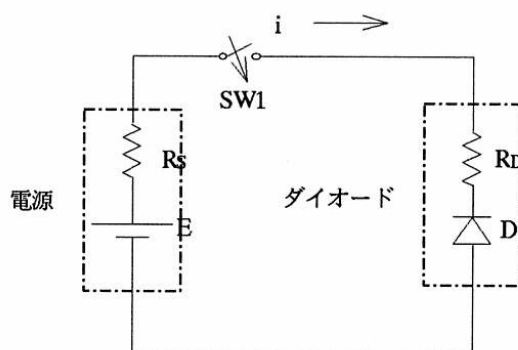


図48 ダイオードにかかる電圧

SW1が閉じられると(過電圧がかかると)流れる電流 i は $(E - V_R) / (R_s + R_D)$ です。V_Rはダイオード逆電圧であり、ダイオード特性からある回路パラメンスが成り立ちとうとします。(図49参照)

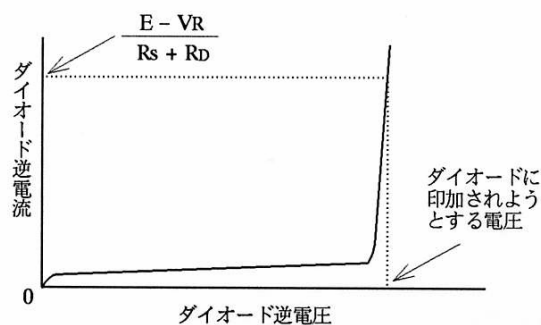


図49 ダイオードに印加されようとする電圧

先の例で Rs = 30Ωとすると、i = 10A程度でパラメンスが成り立ちます。図50を参照ください。結果としてダイオードが破壊するか否かはエネルギー量である電力・印加時間積の大小によります。(図51参照)同一設計ダイオードであれば、チップ面積の大きなダイオードほど破壊しにくい傾向があります。このエネルギーが管理されてい

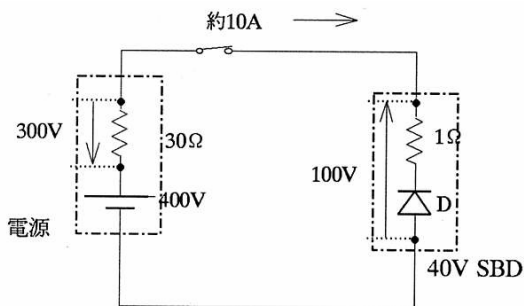


図50 ダイオードにかかる電圧例

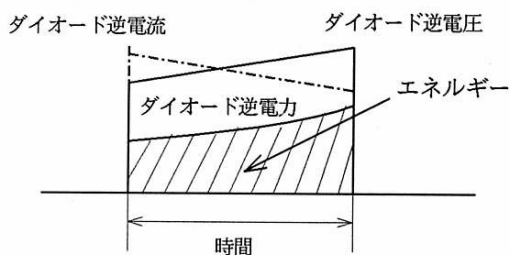


図51 過電圧印加時ダイオードエネルギー
るのはアバランシェダイオードのみで、FRD、SBD
では規定できません。

ダイオードの過電圧保護、スイッチングノイズ低

サージ電流	I_{FSM}
逆電圧(逆電流)	$V_R (I_R)$
順電圧	V_F
逆回復時間	t_{rr} (FRDのみ)

当社樹脂パッケージ品は FRDでは 0.8Aから 30A、SBDでは 0.5Aから60Aの製品がラインアップされています。さらに大電流のモジュールも製品化しています。

現在の出荷数量はアキシシャルリード品、SMD、TO-220系・TO-247(3P)などの樹脂パッケージ品が主流となっていますので、ここではこれら樹脂パッケージ品の信頼性試験にふれます。

信頼性試験は所定の設計品質が確保されているか否かを確認するために行われます。試験には温度、湿度、熱、機械的応力など、デバイス使用環境に関する試験と、電流、電力、電圧などのデバイス内チップに加わるストレスに関する試験、および両者を組み合わせた試験があります。これらの試験ではデバイスの最大定格を保証するための条件設定がなされています。

試験条件・方法・手順などは EIAJ ED-4701に準拠しています。この規格は国際的規格である IEC規格と整合性が保たれていますから、基本的に国際的に通用するものです。

樹脂パッケージ品は汎用的な用途から次第に高信頼性が要求される用途にその使用範囲が拡大してきました。これはコスト面はもとより、実用的信頼性面でも不安なくお使いいただけるからだと思います。ただし、そのためには、本資料の注意事項を十分ご理解いただき、実践していただくようお願いいたします。

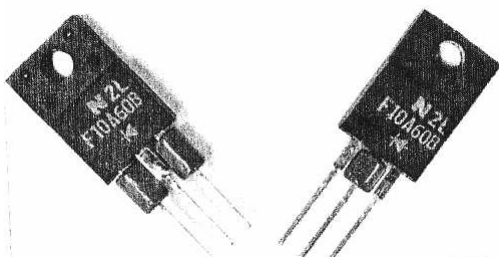


写真24 アモルファスビーズをつけたダイオード

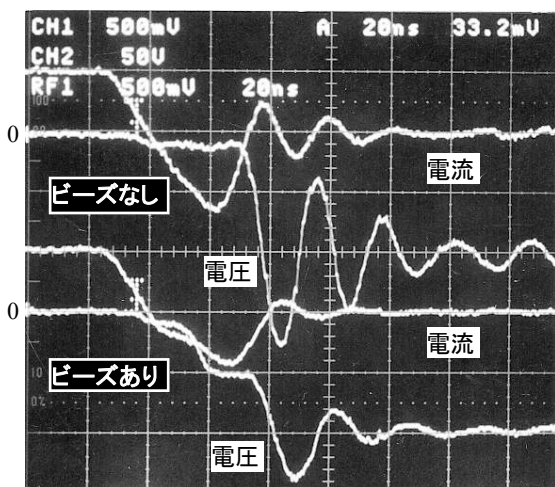


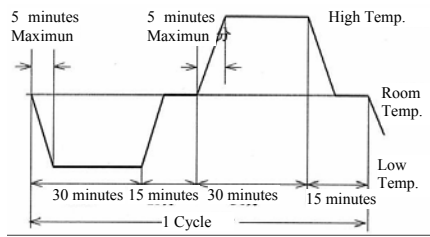
写真25 アモルファスビーズによる
スイッチングノイズ低減

Ver. 5A, 50V/DIV. Hor. 20ns/DIV.
サンプル: 他社600V FRD

Fully Molded TO-220外形SBDの信頼性試験実施例です。

FCQ10A04 (Fully Molded TO-220外形 10A 40V SBD) 信頼性試験結果

表10 ▼環境試験

試験項目	試験条件の概要	準拠規格 EIAJ ED-4701	試料数 (個)	故障数 (個)
半田耐熱	1)はんだ槽内温度 260±5℃ 2)浸漬時間 10±1秒 3)試験回数 1回	A-132 条件 A	22	0
温度サイクル	1)低温側 $-40^{+3}_{-5}^{\circ}\text{C}$ 2)高温側 $+150\pm 5^{\circ}\text{C}$ 3)回数 10回 	A-131	22	0
端子強度 (引っ張り)	1) 荷重 9.8N (1kgf) 2)保持時間 5±1秒 3)回数 1回	A-111	22	0
端子強度 (曲げ)	1) 荷重 4.9N (0.5kgf) 2)90度 往復1回	A-111	22	0

次ページにつづく

表11 ▼耐久試験

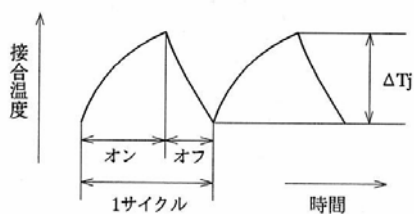
試験項目	試験条件の概要	準拠規格 EIAJ ED-4701	試料数 (個)	故障数 (個)
高温保存	1) 周囲温度 150±2℃ 2) 時間 1,000時間	B-111	22	0
低温保存	1) 周囲温度 -40±3℃ 2) 時間 1,000時間	B-112	22	0
耐湿性	1) 周囲温度 60±3℃ 2) 相対湿度 90 ⁺⁵ ₋₁₀ % 3) 時間 1,000時間	B-121 条件B	22	0
断続通電	1) I _F = 10A 2) ΔT _j ≥ 80℃ 3) 段通回数 5,000サイクル 	D-403	22	0
高温電圧印加	1) V _{RM} = 40V 2) T _a = 100℃ 3) 時間 1,000時間 4) その他 ブロックフィン使用	D-404	22	0

表12 ▼電气的特性測定項目および故障判定基準

判定項目	試験条件	上限
逆電流 I _R	V _R = 40V、T _a = 25℃	USL × 2.0
順電圧 V _F	I _F = 5A、T _j = 25℃	USL × 1.2

USL 最大規格値

試験終了後にこの基準を超えたものを故障と判定します。

ご使用上の注意

● 運送・運搬方法

- ・梱包箱の上下、および、積み重ね数の指定を守ってください。
- ・投げたり、落としたりして、強い振動や衝撃を加えないでください。

● 保管

保管条件が悪いと、ハンダ付け性の低下、電気的特性の劣化、そして、信頼性が低下する恐れがあります。

納入時のマガジン、リール、収納袋等に入れたままで、次の一般的条件で保管してください。

- ・常温、常湿中(一般には5～35℃, 45～70%RH)
- ・有害ガス(腐食性ガス)や塩害の発生しない場所
- ・温度変化が少ない場所(水分の結露防止)
- ・荷重がかからない状態
- ・直射日光が当たらない場所

開封後はなるべく1ヶ月以内でのご使用をお奨めします。また未開封のものでも当社出荷後6ヶ月以内の早い時期にご使用ください。

なお、上記期間を過ぎてご使用の際は、外観に傷、汚れ、錆などが無いことの確認と、ハンダ付け性や電気的性能の確認を必ず行ってください。

● 静電気(ESD)対策

半導体製品は静電気により破損や特性が劣化することがあります。特に、MOS構造を有する製品は充分ご注意ください。静電気に対する一般的注意事項はつぎの通りです。

- ・作業服、梱包材、容器、治工具等は帯電防止を施したものをご使用ください。
- ・作業環境は十分な湿度を保ち(40～60%RH)、静電気の発生を抑えてしてください。
- ・作業領域内の作業員、装置、作業機、棚や治具は0.5～1MΩの抵抗を介して接地してください。また作業台と床に導電マットを敷き接地することをお奨めします。

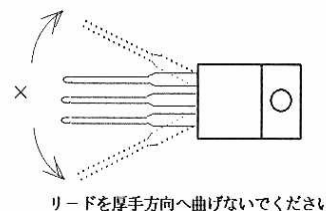
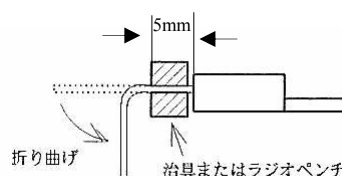
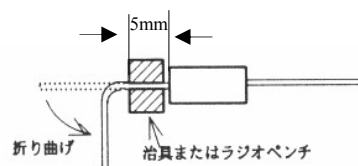
● リード線のフォーミング

半導体製品のリード線や端子のフォーミングは、リードの折れや特性の劣化を招くことがありますので以下のような条件で行ってください。

- ・モールド部から5mm以上離れたところで、モールド側のリード線をラジオペンチ等ではさみ、しっかりと固定してください。
- ・フォーミングの曲げ角度は90°以内に行ってください。

い。

- ・フォーミングの回数は1回までとさせていただきます。



リードを厚手方向へ曲げないでください

図1 リード線のフォーミング

なお、フォーミング後は電気的特性や外観に問題のないことをお確かめください。

フォーミング品をご希望の場合は弊社標準品をお奨めします。

● 放熱体への取り付け

放熱板への取り付けが不適切な場合、放熱効果が損なわれたり、特性の劣化や信頼性の低下を招いたりすることがあります。一般的要件は次の通りです。

- ・放熱体の取り付け面はバリや凹凸の少ない平坦な面にしてください。
- ・放熱体の表面や半導体製品の取り付け面はきれいにし、熱伝導性コンパウンドを薄く均一に塗布してください。この時、ネジに付着しないよう特にご注意下さい。
- ・締め付けトルクは規定値を遵守してください。

プラスチックモールド品の熱伝導性コンパウンドとしては、モールドレジンの親和性が少ないオイルをベースとした信越化学工業製 G746、または、同等品を使用を推奨します。

KSQ60とKSF30の末尾に「E」が付き、フィン取り付け面がカソード電極をかねている製品では、

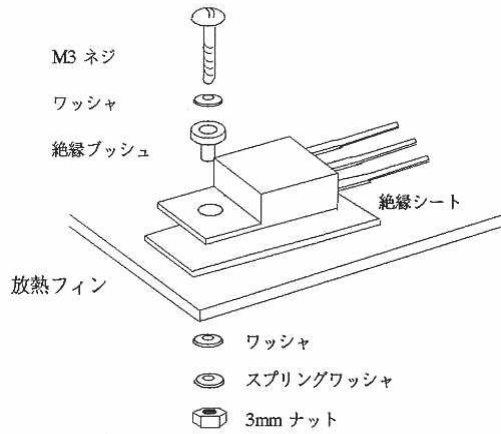


図2 TO-220外形品の取り付け

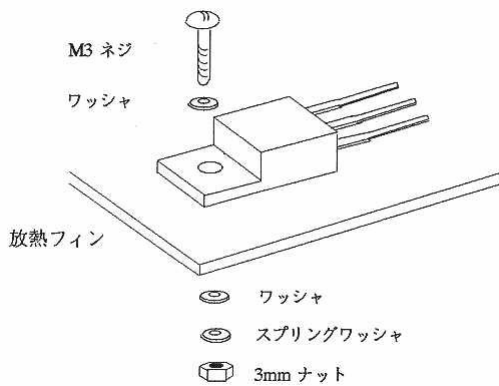


図3 Fully Molded TO-220外形品の取り付け

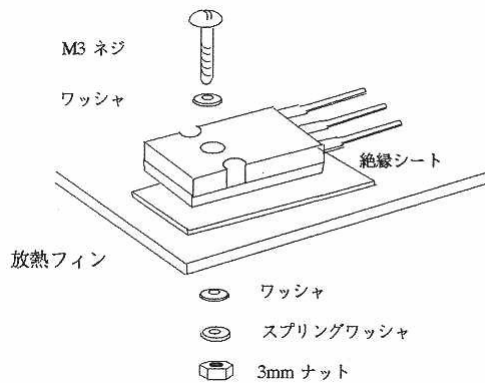


図4 TO-247 (3P)外形品の取り付け

ジョイントコンパウンド(熱伝導だけではなく 表1

外形	取り付け穴径 (φmm)	使用ねじ	推奨締め付け トルク (Nm/kgf-cm)
TO-220	3.6	M3	0.5 / 5.1
Fully molded TO-220	3.2		
TO-247 (3P)	3.5		

く、電気伝導にも配慮したコンパウンド)をご使用
いただくか、フィンに直接はんだ付けしてくださ
い。

下図のようなクリップによる取り付けは簡便で組
み立て工数が削減できます。クリップはダイオ`度
に過大な機械的ストレスがかからないように、ま
た、長期的に締め付け圧力が安定に維持される
ものをお選びの上でお使いください。クリップにど
のようなものがあるかは、例えば [http://
www.fujicon-tb.co.jp/](http://www.fujicon-tb.co.jp/) - フジコン(株)ホームページ
でご覧いただけます。(推奨ではありません)

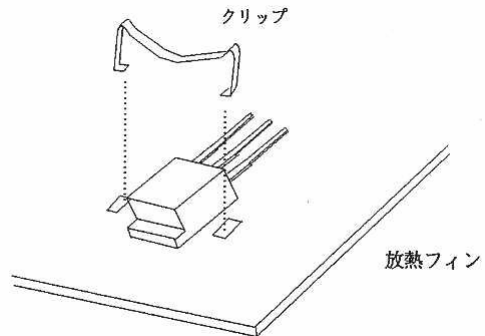


図5 クリップによる取り付け

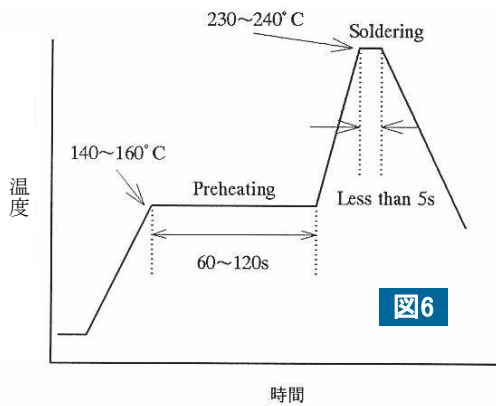
●自動搭載

自動搭載機等で実装する場合、過度の衝撃力
が加わると半導体製品が破損や劣化する原因
になります。過度の衝撃が加わらないよう確認し
てご使用ください。

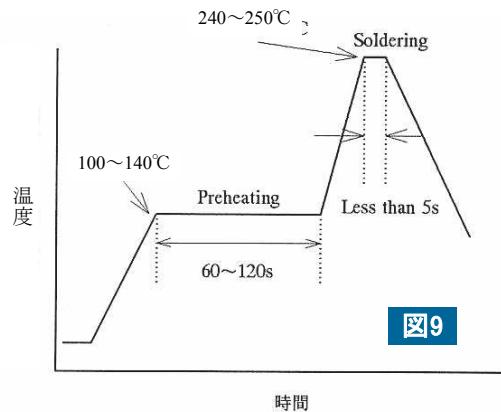
●ハンダ付け

プラスチックパッケージ製品のリード線や実装
には温度管理されたリフローハンダ付け、フロー
ハンダ付けによる方法をお奨めします。各方法の
一般的条件は次の通りです。なお、フラックスは
低塩素系をお使いください。

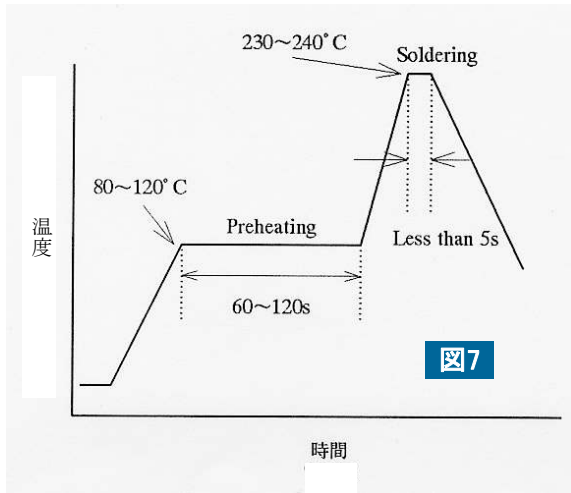
a) リフローハンダ付け法 (Sn-37Pb共晶ハンダ)



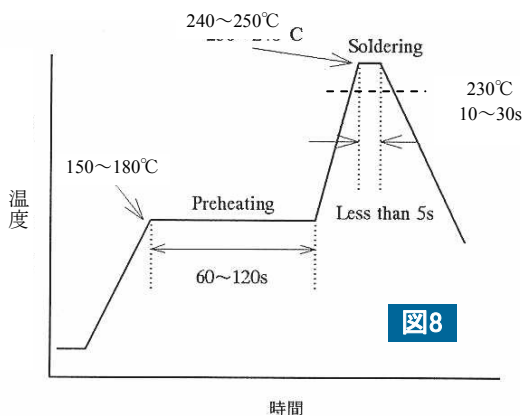
d) フローハンダ付け法 (鉛フリーハンダ)



b) フローハンダ付け法 (Sn-37Pb共晶ハンダ)



c) リフローハンダ付け法 (鉛フリーハンダ)



e) ハンダゴテによるハンダ付け

一般的な要件は次の通りです。

- ・プラスチックパッケージ品では、こて先温度 (接続部) は350 以下で、3秒以内で処置してください。
- ・アキシシャルリードタイプのリード根元でのハンダ付けは行わないで下さい。
- ・こて先を直接樹脂等へ触れさせないでください。
- ・ハンダ付け後は急冷せず、自然冷却としてください。

実験や修正以外での手ハンダはできるだけ避けてください。また、SMDはご相談ください。

●鉛フリーの対応

2004年12月末までに鉛フリー対応を完了いたします。

●ハンダ付け後の洗浄

ハンダ付け後にフラックス等の洗浄をする場合、洗浄液の特性や洗浄条件により素子の特性劣化、リード端子の腐食、捺印マーク消えなどを引き起こすことがありますので予め洗浄方法をご確認ください。

なお、洗浄液にはアルコール系をお奨めします。なるべく短時間で処理してください。

超音波洗浄方法をご使用になる場合、装置の大きさや基板等への取り付け方によっては共振現象によりリード切れを招くことがありますので、予めご確認ください。

一般的洗浄条件は次の通りです。

- ・共振しないこと。
- ・超音波出力 : 10W/liter以下

- ・時間 :60秒以下
- ・振動子に直接製品や基板を触れさせないでください。

●リモールド(再封止)

半導体製品をリモールドする場合、リモールドの温度や樹脂の収縮等のストレスで半導体製品の特性劣化や信頼性低下の原因になります。リモールドを行う場合は樹脂の選定や作業条件を十分ご検討ください。

●超音波振動による溶着・カシメ

基板実装加工で、超音波振動を利用した溶着・カシメ等を行う場合、同一基板上の製品が共振現象によりリード切れを起こすことがありますので、予めご確認ください。

●特性検査

受け入れ検査などで製品の特性検査を行う場合は、測定器からのサージ電圧の印加、誤接続には十分ご注意ください。また、定格以上の測定は避けてください。



Nihon Inter Electronics Corporation

HEAD QUARTER

1204 Soya, Hadano-shi, Kanagawa 257-8511, JAPAN

TEL:+81-463-82-1111 FAX:+81-463-81-2709

TOKYO SALES OFFICE

1-19-5 Nishi-Shinjuku, Meiho Bldg. #2 Shinjuku-ku,
Tokyo 160-0023

TEL:+81-3-3343-3411 FAX:+81-3-3342-5407

INTER ELECTRONICS SINGAPORE PTE. LTD

371 Beach Road #07-06 KeyPoint
Singapore 199597

TEL:+65-6295-6955 FAX:+65-6295-1559

Nihon Inter Electronics (Shanghai) Co., Ltd.

No.3 Building 8C, 889 Yishan Road, Shanghai,
China 200233

TEL:+86-21-6541 -7741

FAX:+86-21-6541 -7741

Hong Kong Inter Electronics Co.,Ltd.

Room A&B, 21/F., Fortune House, 61 Connaught Road
Central, Hong Kong

TEL:+852-3113-5141

FAX:+852-3113-5143

KAOSHIUNG REP., OFFICE

Nan Tze Export Processing Zone, Kaohsiung, 81120
Taiwan R.O.C.

TEL:+886-7-364-4593

FAX:+886-7-364-4593