

ダイオード技術資料

目次

はじめにお読みください.....	3	2-5-3. 接続部温度 T_j の推定方法.....	23
1. ご注意事項.....	4	2-6. サージ順電流特性.....	24
1-1. 半導体製品採用に当たってのご注意.....	4	2-6-1. サージ順電流 I_{FSM}	24
1-2. 安全上のご注意.....	4	2-6-2. 電流二乗時間積 I^2t	24
1-2-1. 危険度表示の説明.....	4	2-6-3. 高温時の突入電流について.....	25
1-2-2. 図記号による指示の定義.....	5	2-7. サージ逆電圧特性.....	25
1-2-3. 半導体製品全般でのご注意.....	5	2-7-1. ピーク非繰返し逆電圧 V_{RSM}	26
1-3. 製品保管・使用環境／取扱上のご注意.....	8	2-7-2. 繰返しせん頭サージ逆電圧 V_{RRSM}	26
1-3-1. 製品保管.....	8	2-7-3. 繰返しせん頭サージ逆電力 P_{RRSM}	26
1-3-2. 静電気対応.....	8	2-8. ダイオードの並列・直列接続.....	26
1-3-3. 過電圧・過電流破壊対応.....	10	2-8-1. ダイオードの並列接続.....	26
1-3-4. 製品に対する衝撃・応力・振動対応.....	10	2-8-2. ダイオードの直列接続.....	27
1-3-5. その他使用時の環境についての対応.....	11	2-9. 熱暴走について.....	27
2. ダイオード.....	12	3. 基板設計.....	28
2-1. ダイオードの種類.....	12	3-1. ソルダリングパッドの設計.....	28
2-2. 特性用語一覧.....	12	3-2. 挿入型パッケージの取り付け穴の設計.....	28
2-2-1. 製品構成.....	12	3-3. 放熱設計.....	28
2-2-2. 絶対最大定格.....	13	3-4. 部品の配置.....	28
2-2-3. 電氣的・熱的特性.....	14	4. 加工.....	29
2-2-4. 付 記.....	14	4-1. マガジン梱包品の製品取り出し時のご注意.....	29
2-3. 電氣的特性.....	15	4-2. 端子フォーミング・切断の際のご注意.....	29
2-3-1. 順方向特性 V_F	16	5. 実装.....	31
2-3-2. 順電力損失 P_F	17	5-1. 実装時のご注意.....	31
2-3-3. 逆方向特性 I_R	17	5-2. はんだ付け時のご注意.....	31
2-3-4. 逆電力損失 P_R	18	5-3. 推奨鉛フリーはんだ付け条件.....	32
2-3-5. スイッチング特性.....	18	5-4. フラックス洗浄.....	33
2-3-6. スイッチング損失 P_S	19	5-5. 二次モールド・プラスチック封入.....	33
2-4. デイレーティングカーブ.....	19	5-6. 放熱フィンの取り付けについて.....	34
2-5. 接合部温度の推定.....	20	5-7. 固定（ネジ止め）について.....	35
2-5-1. 熱抵抗.....	20	5-8. 実装後の保管について.....	37
2-5-2. 電力損失の求め方.....	21		

はじめにお読みください

1. ご採用に際しては、別途仕様書をご請求の上、ご確認をお願いいたします。
2. 本資料に記載されている当社製品の品質水準は、一般的な信頼度が要求される標準用途を意図しています。

その製品の故障や誤動作が直接生命や人体に影響を及ぼすような極めて高い品質、信頼度を要求される特別、特定用途の機器、装置にご使用の場合には必ず事前に当社へご連絡の上、確認を得て下さい。当社製品の品質水準は以下のように分類しております。

【標準用途】

コンピュータ、OA 等の事務機器、通信用端末機器、計測器、AV 機器、アミューズメント機器、家電、
工作機器、パーソナル機器、産業用機器等

【特別用途】

輸送機器（車載、船舶等）、基幹用通信機器、交通信号機器、防災/防犯機器、各種安全機器、医療機器等

【特定用途】

原子力制御システム、航空機器、航空宇宙機器、海底中継機器、生命維持のための装置、システム等

3. 当社は品質と信頼性の向上に絶えず努めていますが、必要に応じ、安全性を考慮した冗長設計、延焼防止設計、誤動作防止設計等の手段により結果として人身事故、火災事故、社会的な損害等が防止できるようご検討下さい。
4. 本資料に記載されている内容は、製品改良などのためお断りなしに変更することがありますのでご了承下さい。
製品のご購入に際しましては事前に当社または特約店へ最新の情報をご確認下さい。
5. 本資料の使用によって起因する損害または特許権その他権利の侵害に関しては、当社は一切その責任を負いません。
6. 本資料によって第三者または当社の特許権その他権利の実施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。
7. 本資料に記載されている製品が、外国為替及び外国貿易管理法に基づき規制されている場合、輸出には同法に基づく日本国政府の輸出許可が必要です。
8. 本資料の一部または全部を当社に無断で転載または複製することを堅くお断りいたします。

1. ご注意事項

1-1. 半導体製品採用に当たってのご注意

当社は品質・信頼性の向上に努めていますが、一般に半導体製品は誤作動したり、故障したりすることがあります。当社半導体製品をご使用いただく場合は、半導体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、購入者側の責任において、機器の安全設計を行うことをお願いします。なお、設計に際しては、最新の製品仕様をご確認の上、製品の保証範囲内でご使用いただくとともに、考慮されるべき注意事項や条件については、本記載内容にご注意いただくようお願いいたします。

1-2. 安全上のご注意

本項には、お使いになる方や他の人への危害と財産の損害を未然に防ぎ、デバイスを安全に正しくお使いいただくために、重要な内容を記載しています。

次の内容（表示・図記号）をよく理解してから本文をお読みになり、記載事項をお守り下さい。

1-2-1. 危険度表示の説明



取扱いを間違った場合、使用者が死亡または重傷（*1）を負うことがあり、かつその切迫の度合いが高い危害の程度を示します。



取扱いを間違った場合、使用者が死亡または重傷（*1）を負うことが想定される危害の程度を示します。



取扱いを間違った場合、使用者が傷害（*2）を負うことが想定されるか、または物的損害（*3）の発生が想定される危害・損害の程度を示します。

*1：重傷とは、失明、けが、やけど（高温・低温）、感電、骨折、中毒等で、後遺症の残るもの、及び治療に入院・長期の通院を要するものを指します。

*2：傷害とは、治療に入院や長期の通院を必要としない、けが、やけど、感電等を指します。

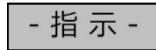
*3：物的損害とは、装置・機器等に関わる拡大損害を指します。

1-2-2. 図記号による指示の定義



禁止（してはいけないこと）を示します。

具体的な禁止内容は、図記号の中や近くに絵や文章で指示します。



指示する行為の強制（しなければならないこと）を示します。

具体的な強制内容は、図記号の中や近くに絵や文章で指示します。



注意（気をつける必要があること）を示します。

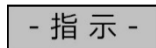
具体的な注意内容は、図記号の中や近くに絵や文章で指示します。

1-2-3. 半導体製品全般でのご注意



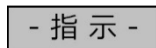
電源投入中及び遮断後で電荷が放電するまでは身体を触れないで下さい。

感電による死亡、重傷を負うことがあります。



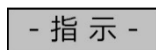
デバイスの評価・検査・試験時には、電極やプローブ等の接続前に電荷の放電を行って下さい。

電荷を放電せず接続操作を行うと、感電による死亡、重傷を負うことがあります。



デバイスの評価・検査・試験時には、電極やプローブ等の接続後に電源を投入して下さい。

電源投入中の接続操作は感電による死亡、重傷を負うことがあります。



終了時には電荷の放電を行って下さい。

電荷の放電を実施していないと、次回電源投入前の操作において、感電による死亡、重傷を負うことがあります。

警告

禁止

絶対最大定格（電流、電圧、安全動作領域、温度等）を超えて使用しないで下さい。

デバイスが破壊することで短絡電流が発生し、破裂・燃焼を起こして火災の原因となることや傷害を負うことがあります。

- 指示 -

短絡電流を検出できる装置を用い、短絡発生時は供給電源全線を遮断して下さい。

電源を遮断しないと、短絡による大電流が流れ続け、破裂・燃焼を起こし、火災の原因となることや傷害を負うことがあります。

- 指示 -

筐体は破裂・燃焼による飛散防止などを考慮した設計をして下さい。

飛散物による傷害を負うことがあります。

- 指示 -

評価・検査・試験時にはデバイスにカバーなどの安全保護具を使用して下さい。

デバイスは、破壊時のオーバーストレスあるいは電極と接地電位間のアーク放電により、破裂・燃焼を起こし、火災の原因になることや傷害を負うことがあります。

- 指示 -

製品の電極、端子以外の金属部は接地して使用する設計にして下さい。

デバイスの電極と金属ケース部が絶縁されている製品でも、静電容量によりケース部の電位が上がる場合があります。絶縁の劣化、破壊によってケース部が高電圧になり、接触すると感電による死亡、重傷を負うことがあります。

- 指示 -

ショットキーバリアダイオードは、順方向、逆方向損失を考慮した放熱設計、安全設計をして下さい。

一般の整流素子に比べ、逆電流が大きくなり、使用環境(高温、高電圧等)が厳しい場合には、逆方向損失の増加によりデバイスが破壊し、短絡電流などにより破裂・燃焼を起こし、火災の原因となることや傷害を負うことがあります。

- 指示 -

デバイスの主回路の動作時を除き、制御回路への通電時は、主回路を確実に非動作にする設計をして下さい。

デバイスが誤動作すると、重大な事故の発生や傷害を負うことがあります。

注意

禁止

絶対最大定格は瞬時たりとも超えてはいけません。複数の絶対最大定格のいずれに対しても、超えないよう設計して下さい。

絶対最大定格を超えると破壊、損傷及び劣化の原因となり、破裂・燃焼による傷害を負うことがあります。

禁止

デバイスの逆差し、差し間違い、または電源のプラスとマイナスの逆接続はしないで下さい。

電流や消費電力が絶対最大定格を超え、破壊、損傷及び劣化の原因になるだけでなく、破裂・燃焼により傷害を負うことがあります。なお、逆差し及び差し間違いのままで通電したデバイスは、以降使用しないで下さい。

禁止

デバイスに通電中または通電終了直後は、放熱フィンに触れないで下さい。

放熱フィンが高温になっていますので、やけどを負うことがあります。

禁止

デバイスのリード先端に触れないで下さい。

先端が尖っているタイプがあり、刺し傷を負うことがあります。

- 指示 -

測定設備やはんだごて等は漏電がないことを確認の上、アースをして下さい。

漏電した場合、デバイスが電氣的に破壊したり、感電したりすることがあります。

- 指示 -

リードカッティング時は、保護メガネを使用して下さい。

カッティング屑の飛散により目に傷害を負うことがあります。

- 指示 -

評価・検査・試験時には、デバイスの取扱いは、冷却後または保護手袋を使用して行って下さい。

デバイスは動作することにより高温になり、供給電源を切っても、余熱によりやけどを負うことがあります。

1-3. 製品保管・使用環境／取扱上のご注意

1-3-1. 製品保管

製品保管時は下記の点にご注意下さい。

- 1) 製品は、水に濡れる場所・直射日光が当たる場所・腐食性ガスが発生する場所・塵埃が多い場所・振動や衝撃等機械ストレスを受ける場所・塩害が発生する場所では保管せず、結露を避け、温度・湿度が一定環境の場所にて保管して下さい。(温度 5～30℃、湿度 45～75%の常温常湿を推奨)
- 2) 乾燥時期に加湿して、湿度を一定に保つ場合、水道水を使用すると、含有塩素により製品リードにさびが発生することがあります。一度沸騰させた水や純水等の塩素が入っていない水を使用するようにご注意ください。
- 3) 保管及び製品輸送時に急激な温度変化が発生すると、製品に結露を発生させ、製品に変色や腐食を発生させる原因となります。
- 4) 保管時には、製品に直接荷重がかからないように考慮下さい。
- 5) 製品の長期保管が想定される場合は、防湿梱包や密閉容器にシリカゲルを入れて、乾燥状態が維持される環境で保管して下さい。長期保管した製品を使用する場合は、使用前にはんだ付け性などの確認をお願いします。
- 6) ダンボール状態の製品を積み重ねて一時保管する場合は、規定された一定方向で積み重ねて下さい。規定以外の状態(上下逆さまや横にした状態)で積み重ねると、製品に想定外の荷重がかかり、破壊の原因となることがあります。積み重ね可能な段数については製品により異なります。

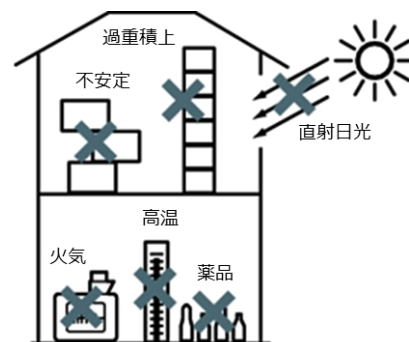


図 1-1 悪い保管場所の例

また、当社出荷時に防湿梱包された製品については、上記に加えて下記についてもご注意ください。

- 7) 防湿梱包された梱包袋が破れ、破損が起きないように保管をお願いします。
- 8) 防湿梱包された製品を開封後使用する場合、製品毎に規定された時間内で使用するようにして下さい。なお規定時間は製品により異なります。
- 9) 開封後の製品を全て使用せずに一時保管したい場合は、防湿梱包袋内に乾燥材を入れて、再圧着して封をして保管するか、低湿度が維持されたデシケータ装置などの環境で保管して下さい。なお乾燥材を使用する際は、乾燥材の吸湿量に一定限界がありますので、使用の際にはご注意ください。

1-3-2. 静電気対応

半導体製品を梱包材から取り出し、製品単体を取扱う場合は、以下に示す事項に注意して作業を実施して下さい。製品によっては“静電気注意”表示されているものがあります。これら表示のある製品の取扱いについては、特に注意が必要です。

- 1) 静電気の帯電を防ぐ目的で、作業エリアの湿度を 40～60%を目安に調整して下さい。
- 2) 作業エリア内に設置してある装置・作業台・椅子・治工具についてはアース接地を行って下さい。
- 3) 作業エリア内の床及び作業台表面は静電気対策用マットを敷いて下さい。なお静電気対策用マットは表面の汚れなどにより、抵抗値が変化しますので適時清掃を行って下さい。
- 4) 作業エリア内で帯電が懸念される箇所がある場合はアース接地を行い、アース接地できない場所は必要に応じて、イオナイザーを用いて帯電しないようにご注意ください。

- 5) 作業エリア内にモニターを設置する場合、モニターが帯電しないものを選び、モニター表面に帯電防止処理を行って下さい。

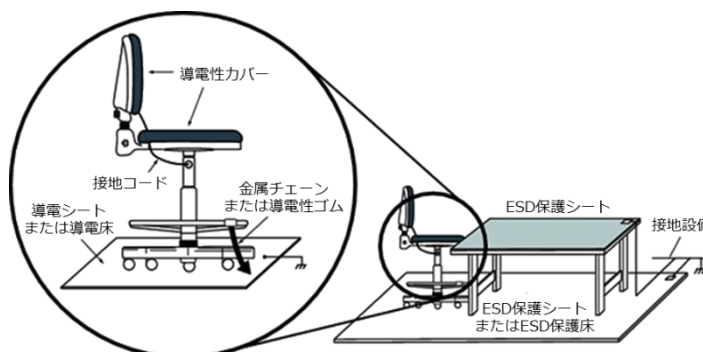


図 1-2 作業台・エリアの静電気対策例

- 6) 製品に触れるもの（マウンターの製品ピックアップ部/ピンセット/はんだごて等）は、アース接地や帯電しない材質・帯電防止処理されたものを使用して下さい。なお、はんだごては低電圧（12～24V）のものを使用して下さい。

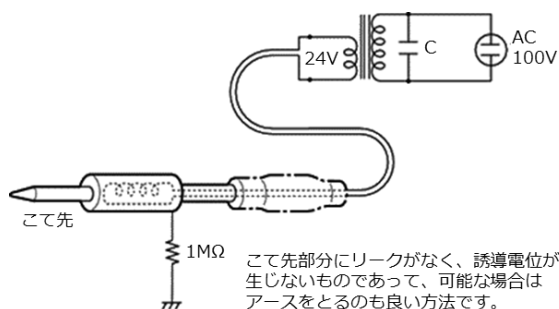


図 1-3 はんだごての接地

- 7) 製品が帯電された状態で金属に接触すると、急激な放電により製品が破壊されることがございます。製品が帯電してしまった場合は、急激な放電を起こさないようにご注意ください。
- 8) 作業者は帯電防止作業服や帯電防止靴を着用し、かつ作業時には人体の感電防止のためのリストストラップなどをつけて作業を実施して下さい。また、汚れ防止のため、作業者が手袋や指サックを用いる場合は、手袋や指サックに帯電防止処理されたものを使用して下さい。

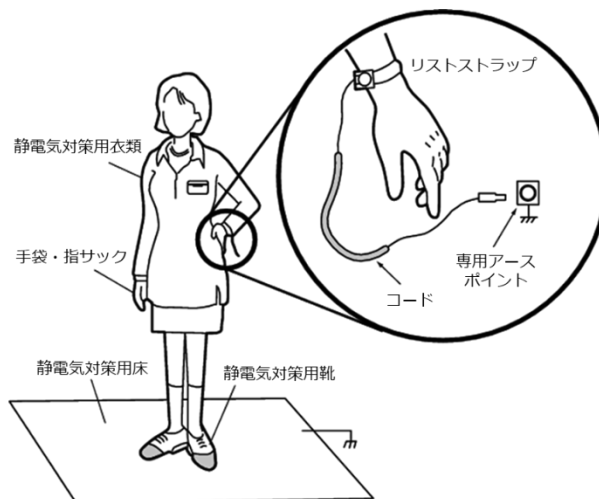


図 1-4 作業者の静電気対策例

- 9) 作業エリア内の帯電状況を定期的に測定し、帯電していないことを確認する作業の実施をお勧めします。
- 10) 製品保管する棚や運搬する際に台車を使用する場合は、棚や台車の帯電にもご注意ください。

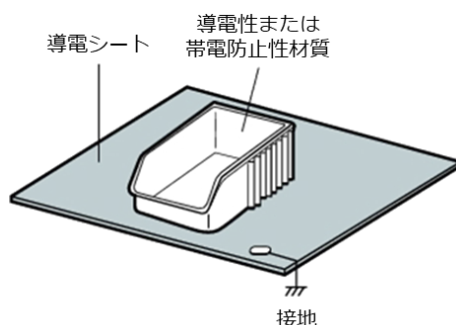


図 1-5 パーツボックスの静電気対策例

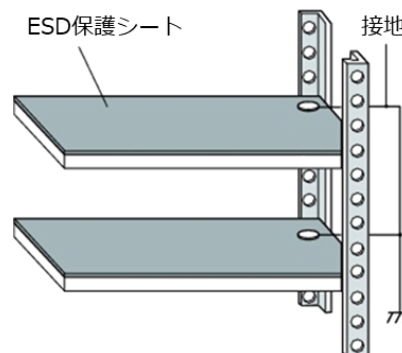


図 1-6 保管棚の静電気対策例

1-3-3. 過電圧・過電流破壊対応

静電気以外の要因によっても、製品耐量を超える電圧・電流が印加され、製品が破壊（過電圧・過電流破壊）されることがあります。過電圧・過電流破壊の原因は様々考えられ、原因の特定や対策が非常に難しい破壊です。

- 1) 製品付近に高電圧に帯電されたものがないか。
- 2) 周辺装置などから漏電が起きてないか。
- 3) 雷サージなどの外部サージの影響がないか。
- 4) 製品動作時や製品試験時に過電圧・過電流が印加されていないか。
- 5) 回路内で発生させているサージがないか。
- 6) 測定時にオシロスコープのプロブなどを接続することで負荷容量が大きくなり、ノイズ発生などの誤動作を起こしてないか。
- 7) 回路内のコンデンサに電荷が蓄積されており、その電荷が放電され、破壊原因となっていないか。

等をご確認いただき、このような破壊が疑われる製品について当社にお問い合わせいただく場合には、製品だけでなく、破壊時の周囲の状況や動作状態等をできる限り詳しくご呈示下さい。

1-3-4. 製品に対する衝撃・応力・振動対応

製品や梱包材は一定以上の衝撃・応力・振動により、破壊の危険性がありますので、取扱い及び製品輸送の際にはご注意ください。

- 1) 製品の基板実装時の製品ピックアップやマウント時に過剰の衝撃や応力を加え、製品を破壊することがありますので、適切な管理を行って下さい。
- 2) モールド樹脂中央部付近内部にチップが存在しております。衝撃・応力によっては、製品外観上問題がなかったとしても、内部チップが破壊されていることがございますので、取扱いの際にご注意下さい。

1-3-5. その他使用時の環境についての対応

使用時の環境について以下の点にご注意下さい。

- 1) 腐食性ガスが存在・発生した場合、製品特性に影響を及ぼし、製品不良を発生する原因となります。
- 2) 製品は、放射線・宇宙線を考慮した設計がなされていません。放射線・宇宙線の影響で製品が正常動作しないことが考えられます。
- 3) 強電界・強磁界の環境下の場合、製品特性に影響を及ぼし、製品が正常動作しないことが考えられます。
- 4) 外部光（紫外線・太陽線等）はその光量や強さによっては、製品が正常動作しないことが考えられます。
- 5) 塵・埃・油があると製品特性に影響を及ぼし、製品が正常動作しないことが考えられます。
- 6) 製品に使用されているモールド樹脂については、難燃性を考慮した設計を実施しておりますが、これは不燃を保証するものではありません。過電圧・過電流により、製品が破壊した場合や周辺に可燃性物質がある場合は引火の危険性があります。また製品燃焼が起きた場合は、毒性を持ったガスが発生する可能性もあります。製品規格仕様内で使用し、燃焼物・発熱物・発火物・引火物等の周辺で製品を設置および使用しないで下さい。

2. ダイオード

2-1. ダイオードの種類

一般整流ダイオード

一般整流ダイオードは、高耐圧のPN 接合型整流素子です。

チップ構造については、当社独自の化学的・物理的に安定したガラスパッシベーションを使用しており、耐湿性・耐熱性に優れた構造です。

ブリッジダイオード

ブリッジダイオードは、商用電源の整流用に適しています。高 I_{FSM} ・低ノイズ・低 V_F 製品を取り揃えております。

また、2 次側整流用途等として、ショットキーバリアダイオードやファストリカバリダイオード等の高速ダイオードを搭載したブリッジダイオードも取り揃えております。

ショットキーバリアダイオード (SBD)

ショットキーバリアダイオードは、金属と半導体の接合で生じる障壁を利用したダイオードです。

PN 接合と比較して順方向の立ち上がり電圧が低く、スイッチング速度が極めて速いため、高速低 V_F ダイオードとして最適の整流素子です。

ファストリカバリダイオード (FRD)

ファストリカバリダイオードは、逆回復特性を改善した高耐圧のPN 接合型高速整流素子です。

高速化のためのキャリアライフタイムをコントロールしています。

2-2. 特性用語一覧

2-2-1. 製品構成

表 2-1 製品構成

項 目	用 語 の 説 明
単体ダイオード	1 製品当たり 1 チップで構成されているダイオードの総称
ツインダイオード	1 製品当たり 2 チップ構成されているダイオードの総称 さらにセンタータップ、ダブル、アレイに分類される
センタータップ	2 チップが内部配線にて並列接続されており、カソードを 1 端子で共有している“カソードコモン”、アノードを 1 端子で共有している“アノードコモン”がある
ダブル	2 チップが内部配線にて直列接続されているもの
アレイ	2 チップがそれぞれ独立して配線されているもの 1 製品当たりカソードおよびアノード端子 2 組にて構成される
ブリッジダイオード	1 製品当たり複数チップで構成されており、内部配線にてブリッジ回路を形成しているダイオードの総称 SIP(Single In-line Package)、DIP(Dual In-line Package)、SQIP(Square In-line Package)、SMD(Surface Mounting Device : 面実装)等のパッケージ種がある

2-2-2. 絶対最大定格（瞬時であっても超えてはならない値）

表 2-2 絶対最大定格

項 目	記 号	用 語 の 説 明
保存温度 Storage temperature	Tstg	素子非動作中に超えてはならない保存周囲温度
接合部温度 Junction temperature	Tj	素子動作中に超えてはならない接合部温度
ピーク繰返し逆電圧 Repetitive peak reverse voltage	V _{RRM}	素子に印加可能な交流逆電圧の最大ピーク値
非繰返しピーク逆電圧 Non-repetitive peak reverse voltage	V _{RSM}	素子に印加可能な単発サージ逆電圧の最大値  注意 サージの規定条件にご注意下さい
繰返しせん頭サージ逆電圧 Repetitive peak surge reverse voltage	V _{RRSM}	素子に印加可能な連続サージ逆電圧の最大値  注意 サージの規定条件にご注意下さい
平均順電流 Average forward current	I _{F(AV)}	抵抗負荷で 50Hz の正弦波整流し、得られる最大出力電流平均値  注意 平均順電流は 50Hz でも 60Hz でも同じになります。 使用温度からディレーティングを行い、指定箇所が、その温度以下となる条件にて、ご使用下さい
サージ順電流 Surge forward current	I _{FSM}	50Hz(パルス幅 10ms)の正弦波 1 サイクルでの非繰返し最大許容電流ピーク値  注意 約 1.09 倍すると 60Hz(パルス幅 8.3ms)での値になります。 使用温度からディレーティングを行い、ご使用下さい
	I _{FSM1}	1ms のパルス幅の正弦波 1 サイクルでの非繰返し最大許容電流ピーク値  注意 使用温度からディレーティングを行い、ご使用下さい
電流二乗時間積 Current squared time	I ² t	パルス幅 1ms 以上 10ms 未満での非繰返し最大許容電流ピーク値を算出するための値  注意 使用温度からディレーティングを行い、ご使用下さい
絶縁耐圧 Dielectric strength	Vdis	AC 電圧の実効値を印加した時の端子-ケース、放熱フィン間の絶縁耐圧値
締付けトルク Mounting torque	TOR	製品を放熱フィンに実装する時のネジ止めの締付けトルクの最大値

2-2-3. 電氣的・熱的特性

表 2-3 電氣的・熱的特性

項 目	記 号	用 語 の 説 明
順方向電圧 Forward voltage	V_F	規定条件にて、順電流を流した時に生じる電圧降下の値
逆電流 Reverse current	I_R	規定条件にて、逆電圧を印加した時に流れる電流値
逆回復時間 Reverse recovery time	t_{rr}	規定条件にて、順方向に電圧を印加し、電流を流し、逆方向に変わった後、電流がなくなるまでの時間
接合容量（端子間容量） Total capacitance	C_t	規定条件での容量値
熱抵抗 Thermal resistance	$R_{th}(j-x)$	規定条件にて、定常状態での熱の伝導の度合いを表す数値または 1W 当たりに接合部と x 間で生じる温度差 $R_{th}(j-a)$: 接合部と周囲間の定常熱抵抗 $R_{th}(j-c)$: 接合部とケース間の定常熱抵抗 $R_{th}(j-l)$: 接合部とリード間の定常熱抵抗

2-2-4. 付 記

当社では 2017 年度より、JEITA ED-4511B に従って、従来使用していた特性記号を一部変更いたしました。

読み替えの際は、下表を参照して下さい。

新 表 記	旧 表 記	備 考
接合部温度 T_j Junction temperature	接合部温度 T_j Operating Junction Temperature	基本的に同義 ED-4511B では“推定接合部温度”としているが、当社では“接合部温度”と呼称する
ピーク繰返し逆電圧 V_{RRM} Repetitive peak reverse voltage	せん頭逆電圧 V_{RM} Maximum Reverse Voltage	交流電圧印加を対象とする 直流電圧印加を保証する場合は $V_R(DC)$ で表す
平均順電流 $I_F(AV)$ Average forward current	出力電流 I_o Average Rectified Forward Current	同義
接合容量 C_t Total capacitance	接合容量 C_j Junction Capacitance	基本的に同義
熱抵抗 $R_{th}(j-x)$ Thermal resistance	熱抵抗 θ_{jx} Thermal Resistance	同義 過渡熱抵抗は $Z_{th}(j-x)$ で表す

2-3. 電氣的特性

整流用ダイオードの理想的な特性は、順方向の電圧降下が無く($V_F=0V$)、逆方向に電圧を印加しても電流を完全に阻止する($I_R=0A$)ものです。

しかし、ダイオードの電流電圧特性は、現実には図 2-1 のように順方向に電流を流すと電圧降下 V_F が生じ、逆方向に電圧を印加すると逆電流 I_R が流れます。この V_F や I_R (及び後述の t_{rr}) によって電力損失が発生し、温度が上昇する原因となります。

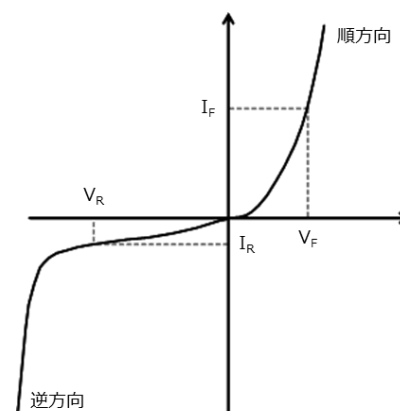


図 2-1 ダイオードの電流電圧特性

表 2-4 ショットキーバリアダイオード定格表 (例)

項 目	記 号	条 件	規格値	単位
保存温度 Storage temperature	Tstg		-55~150	℃
接合部温度 Junction temperature	Tj		-55~150	℃
ピーク繰返し逆電圧 Repetitive peak reverse voltage	V_{RRM}		60	V
繰返しせん頭サージ逆電圧 Repetitive peak surge reverse voltage	V_{RRSM}	パルス幅 0.5ms, duty 1/40 Pulse width 0.5ms, duty 1/40	65	V
平均順電流 Average forward current	$I_F(AV)$	50Hz 正弦波, 抵抗負荷, フィン付き 1 素子当たりの平均順電流 $I_F(AV)/2$, $T_c=118^\circ C$ 50Hz sine wave, Resistance Load, With heatsink, Per diode $I_F(AV)/2$, $T_c=118^\circ C$	20	A
サージ順電流 Surge forward current	I_{FSM}	50Hz 正弦波, 非繰返し 1 サイクル せん頭値, $T_j=25^\circ C$ 50Hz sine wave, Non-repetitive 1cycle peak value, $T_j=25^\circ C$	230	A
絶縁耐圧 Dielectric strength	Vdis	一括端子・ケース間, AC1 分間印加 Terminals to case, AC 1 minute	2.0	kV
締付けトルク Mounting torque	TOR	(推奨値 : 0.3N・m) (Recommended torque : 0.3N・m)	0.5	N・m
順方向電圧 Forward voltage	V_F	$I_F=10A$ パルス測定, 1 素子当りの規格値 Pulse measurement, Per diode	0.63 max.	V
逆電流 Reverse current	I_R	$V_R=V_{RRM}$ パルス測定, 1 素子当りの規格値 Pulse measurement, Per diode	8.0 max.	mA
接合容量 Total capacitance	Ct	f=1MHz, $V_R=10V$, 1 素子当りの規格値 Per diode	370 typ.	pF
熱抵抗 Thermal resistance	Rth(j-c)	接合部・ケース間 Junction to case	1.8 max.	℃/W

2-3-1. 順方向特性 V_F

順方向特性（例）を図 2-2 に示します。縦軸を順電流 I_F 、横軸を順電圧 V_F とした片対数グラフで表しています。ダイオードの順方向特性には以下のような特長があります。

- ・電流が微小でも電圧降下がある。
- ・シリコンによって作られているダイオードでは温度係数が負となる。
(温度が高いほど V_F が小さくなる)
- ・シリコンカーバイドショットキーバリアダイオード (SiC-SBD) では温度係数が正となる。(温度が高いほど V_F が大きくなる)

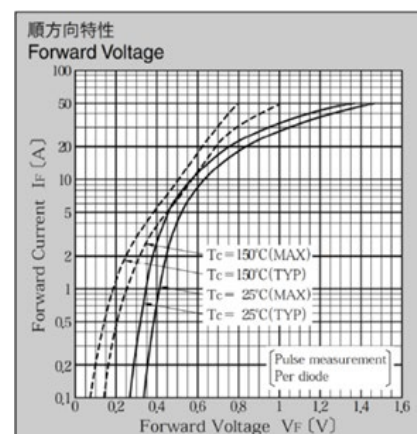


図 2-2 順方向特性

ご使用になる際には、順方向特性図から、印加する電流での電圧降下概算値をご確認頂き、設計上の参考としてご使用下さい。

(例、25°Cで 10A 流れた場合 : 0.64V max.)

また、ご使用の際は以下の点にもご留意下さい。

- ・ V_F を測定する場合は、ケルビン接続 (4 端子法) にて測定下さい。
- ・ダイオードには特性バラツキがあります。
- ・特性図にない、微小な電流領域の V_F および温度に関しては、担当営業までお問い合わせ下さい。

図 2-3 に示すように V_F - I_F カーブは、1 チップ当たりの順電流の平均値 $I_{F(AV)}$ とピーク値 I_p の 2 点を結んだ直線で近似されることがあります。

定格表の平均順電流 $I_{F(AV)}$ と、 $I_p (=3 \times I_{F(AV)})$ の 2 点での近似であっても微小電流や大電流以外の領域では、誤差はほとんどありません。

近似直線を式で表すと、図 2-3 の $I_F = 0$ の点の V_F を V_0 、直線の傾きの逆数 dV_F/dI_F を r_0 とすると

$$V_F = V_0 + r_0 \times I_F$$

で表されます。 V_0 および r_0 のパラメータが必要な場合は、担当営業までお問い合わせ下さい。

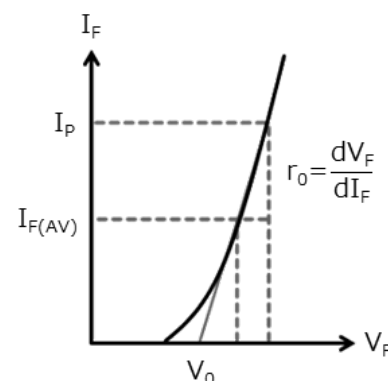


図 2-3 V_F - I_F カーブ

2-3-2. 順電力損失 P_F

順電力損失曲線の例を図 2-4 に示します。

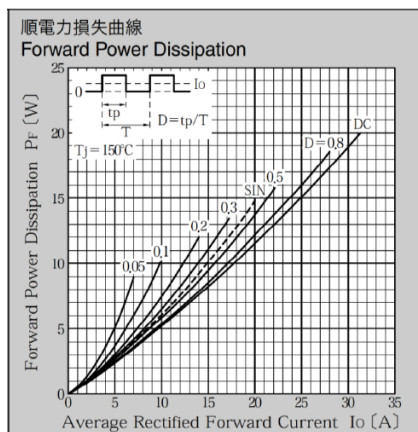


図 2-4 順電力損失曲線

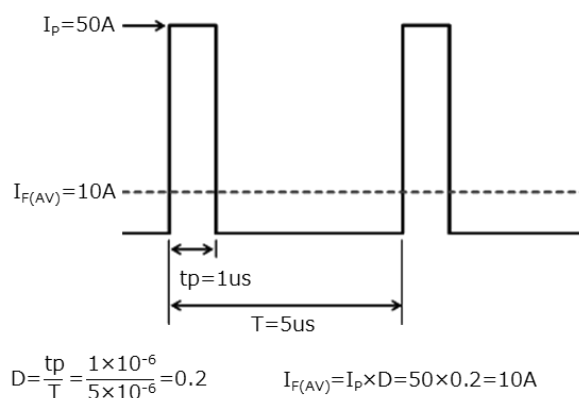


図 2-5 Duty

印加される電流波形が図 2-5 のような矩形波の場合は、Duty D は 0.2 となり、平均順電流 $I_{F(AV)}$ は 10A と計算されます。この場合の順電力損失 P_F は、図 2-4 の $D=0.2$ のライン上の $I_{F(AV)}=10A$ 点から順電力損失を読み取り、7.5W となります。 D はダイオードの順方向に電流が印加されている時の間隔を表しています。

2-3-3. 逆方向特性 I_R

SBD は PN 接合している一般ダイオードに比べ、逆電流 I_R が大きく損失が無視できません。一方で SBD 以外のダイオードについては I_R が小さく、損失もほとんど無視することができます。

逆方向特性の例を図 2-6 に示します。縦軸を逆電流 I_R 、横軸を逆電圧 V_R とした片対数グラフで表しています。

逆方向特性は温度係数が正(温度が高いほど I_R が大きくなる)という特長があります。グラフでは代表的な温度についての特性値を表しています。

記載されていない温度での特性や、参考図としての一般ダイオード及び FRD の I_R 特性については、担当営業までお問い合わせ下さい。

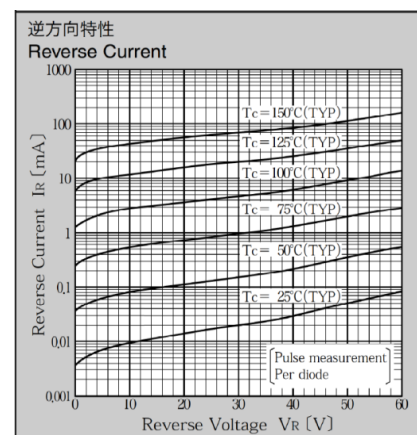


図 2-6 逆方向特性

⚠ 注意 周囲温度による影響

SBD の場合、周囲温度により逆電力損失が増加し、放熱量によっては熱暴走により素子が破壊する場合があります。

(詳細は、「2-9. 熱暴走について」を参照下さい)

素子の使用条件及び放熱条件には充分考慮のうえご使用下さい。

2-3-4. 逆電力損失 P_R

逆電力損失 P_R とは、逆電流 I_R が原因で発生する損失のことで、逆方向特性と同様に SBD のみ記載しています。

参考に逆電力損失曲線の例を図 2-7 に示します。縦軸を逆電力損失 P_R 、横軸を逆電圧 V_R のグラフで表しています。条件は図左上の波形で示されます。D はダイオードの逆方向に電圧が印加されていない時の間隔 (Duty) を表しています。

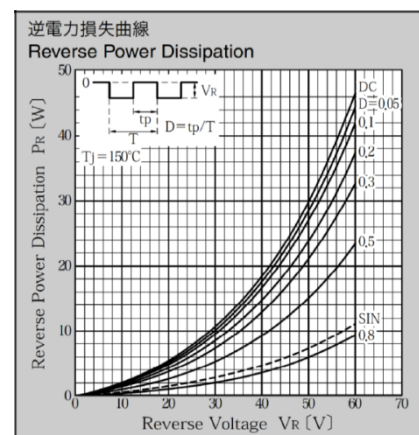


図 2-7 逆電力損失曲線

2-3-5. スイッチング特性

1) 逆回復時間 t_{rr}

PN 接合は、少数キャリアの蓄積効果のため動作周波数に限界があります。

逆回復時間 t_{rr} は動作周波数の限界を示す指標として用います。

t_{rr} の測定回路モデルと測定方法は、図 2-8 の通りです。

- 測定回路に E_1 、 E_2 、 R_1 、 R_2 を設定し、測定条件の順電流 I_F 及び逆電流 I_R を測定します。
- SW1 を ON し、 E_1 より順電流 I_F を流します。
- SW2 を ON し、 E_2 から逆電圧を印加することにより順電流 I_F が減少します。続いて逆電流 I_R が流れたのち、電流がほぼ流れない状態となります。このときの波形を図 2-9 に示します。
- 電流のゼロ点から逆回復電流ピーク値 I_{R1} を経て I_{R2} まで減少する期間を逆回復時間 t_{rr} と呼びます。

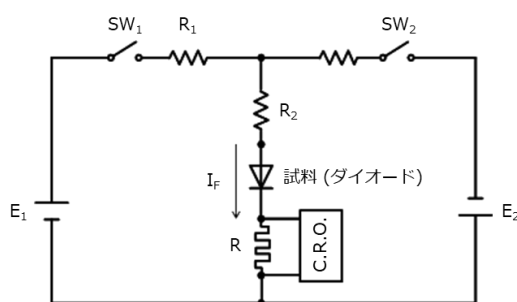


図 2-8 t_{rr} 測定回路

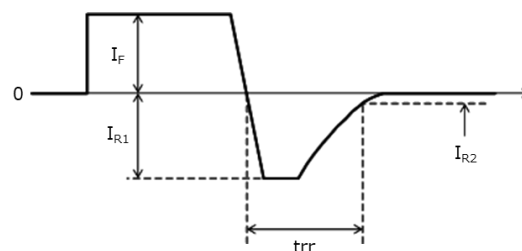


図 2-9 リカバリ電流波形

2) 接合容量 C_t

一般ダイオードおよび FRD は少数キャリア動作なので t_{rr} が存在します。

一方、SBD は多数キャリア動作なので理論上 t_{rr} は存在しませんが、接合部の容量により、 t_{rr} と同じような動作が確認されます。接合容量 C_t は、SBD の t_{rr} に代わる動作周波数の指標となります。

2-3-6. スイッチング損失 P_S

前述したようにダイオード順バイアス時の少数キャリア蓄積効果により、ターンオフ時、逆電圧を阻止できずに瞬間的に逆電流が流れてしまう期間が発生します。図 2-10 のダイオード逆回復時間 t_{rr} に生じる電力損失がスイッチング損失です。スイッチング損失 P_S は一般的に

$$P_S = \frac{1}{6} V_R \times I_{RP} \times t_{rr} \times f$$

で計算されます。

動作周波数が高い場合には、スイッチング損失が大きくなり、ダイオードトータル損失に対するスイッチング損失の割合が無視できなくなります。

よって実際の動作波形を確認の上、スイッチング損失 P_S を求めて下さい。

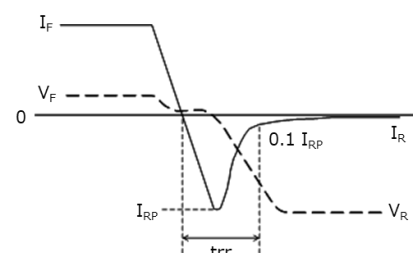


図 2-10 スイッチング波形

2-4. ディレーティングカーブ

ディレーティングカーブは、各種温度(ケース・リード・周囲)と平均順電流 $I_{F(AV)}$ から絶対最大定格である接合部温度 T_j を限度として規定されます。

一般ダイオードは電源一次側整流用として使用するため正弦波入力を、SBD および FRD は二次側で使用するため Duty を規定した特性図を作成しています。一般ダイオードを例に、実使用に関する判断方法を示します。

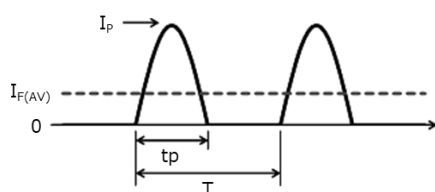


図 2-11 正弦波電流 波形例

まず、ダイオードに流れるピーク電流 I_p 実測値から平均順電流 $I_{F(AV)}$ を求めます。

例、 $I_p = 1A$, $tp = 10ms$, $T = 20ms$ の場合

$$I_{F(AV)} = \frac{2tp}{\pi T} \times I_p = \frac{2 \times 10 \times 10^{-3}}{3.14 \times 20 \times 10^{-3}} \times 1 = 0.32A$$

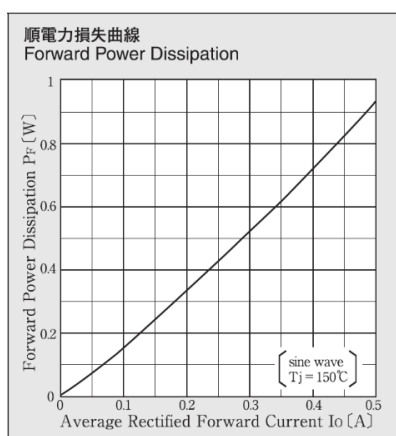


図 2-12 順電力損失曲線

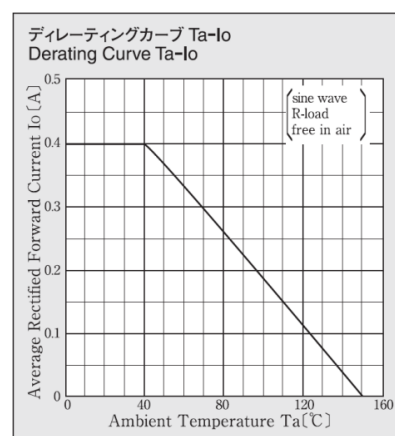


図 2-13 ディレーティングカーブ

上記より求めた $I_{F(AV)}$ 値より、順電力損失曲線(図 2-12)を用いて、順電力損失 P_F を求めます。

特性図より $I_{F(AV)} = 0.32A$ 時の順電力損失 P_F は約 $0.55W$ と読み取れます。ここで求めた順電力損失に熱抵抗を掛け、実測温度を足した値が T_j となります。製品仕様の絶対最大定格にある T_j 以下であれば使用可能です。

また、求めた $I_{F(AV)}$ 値($0.32A$)とディレーティングカーブ(図 2-13)より、周囲温度は約 $65^\circ C$ 以下と導出できますので、それ以下であれば T_{jmax} 以下と判断できます。

2-5. 接合部温度の推定

2-5-1. 熱抵抗

ダイオードの動作時に発生する電力損失は、全て熱に変換され、接合部温度 T_j を上昇させます。設計された放熱系(放熱フィンなど)で、定格表に指定される T_{jmax} 以下に接合部温度が抑えられているかを確認し、 T_{jmax} を超える場合は、定格温度以下とするために放熱フィンや周囲温度条件の見直しを行わなければなりません。

モールド樹脂などで密閉されたダイオードチップの接合部温度を直接測定することはできませんので、外部温度より接合部の温度を推定する必要があります。この推定に使われるのが熱抵抗 R_{th} で、ダイオードの消費電力(電力損失)に対する熱伝導の抵抗度合いを表します。この接合部から周囲(外気)への熱の伝導経路は、図 2-14 のような電気的等価回路で表されます。定格表や特性図に出てくる温度及び熱抵抗は、添字によりどの位置なのかを表します。

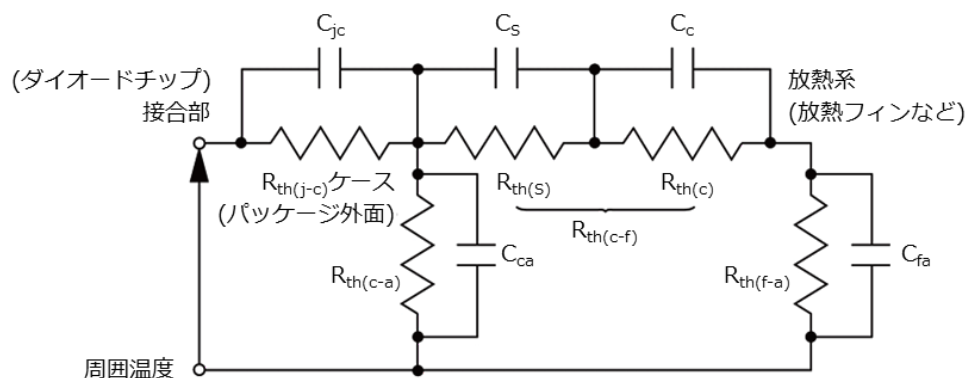


図 2-14 熱抵抗等価回路

それぞれの添字は、下記のような位置を表します。

$R_{th(j-c)}$: 接合部-ケース間の熱抵抗	C_{jc} : 接合部-ケース間の熱容量
$R_{th(c-f)}$: ケース-放熱フィン間の熱抵抗	C_{fa} : 放熱フィン-周囲間の熱容量
$R_{th(f-a)}$: 放熱フィン-周囲間の熱抵抗	C_{ca} : ケース-周囲間の熱容量
$R_{th(c-a)}$: ケース-周囲間の熱抵抗	C_s : 絶縁板の熱容量
$R_{th(s)}$: 絶縁板の熱抵抗	C_c : ケースの熱容量
$R_{th(c)}$: ケースの熱抵抗	

T_j はダイオードの接合部の温度のことであり、 $R_{th(j-c)}$ は接合部とケースの間の熱抵抗のことです。

実際にダイオードに印加される電圧・電流より、順方向損失・逆方向損失を求めます。両損失を足した値が、ダイオードトータル損失となります。トータル損失に熱抵抗 $R_{th(j-□)}$ を掛けた値が、ダイオードの接合部と対象箇所(位置)間の温度差となります。

2-5-2. 電力損失の求め方

一般ダイオードやFRDは、逆電流 I_R による損失が十分に小さいため、順電力損失のみを計算します。一方でSBDは、 I_R が大きい場合、順電力損失と逆電力損失の総和で計算します。

1) ブリッジダイオードに正弦波の電流が印加された場合の電力損失の求め方

ブリッジダイオードに交流正弦波の電流が印加された場合、全波整流されて図2-15のような電流で出力されます。その場合、以下のように電力損失を求めます。

図2-15において、ピーク電流 I_p 、平均順電流 $I_F(AV)$ とした場合

$I_p = 1.57A$ (測定値)

$$I_{F(AV)} = \frac{2tp}{\pi T} \times I_p \times 2 = \frac{2 \times 10 \times 10^{-3}}{3.14 \times 20 \times 10^{-3}} \times 1.57 \times 2 = 1.0A$$

この時の順電力損失 P_F を順電力損失曲線(図2-16)から読み取ると、 P_F は約 1.6W となります。

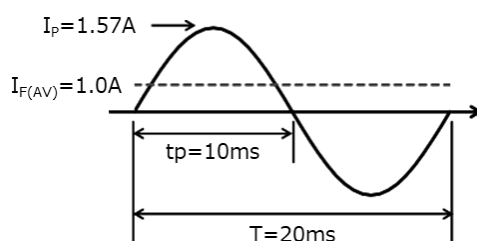


図 2-15 正弦波電流波形 (例)

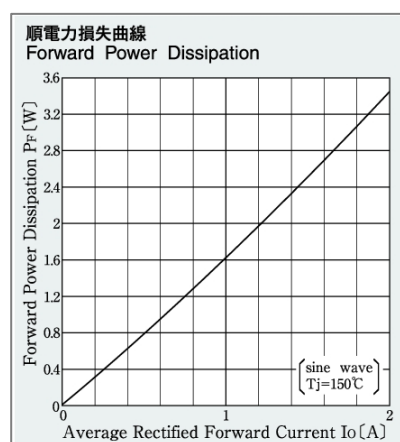


図 2-16 順電力損失曲線

2) 単体のFRDに三角波の電流が連続印加された場合の電力損失の求め方

FRDに図2-17のような三角波電流の波形が印加されたとします。ピーク電流 $I_p = 10A$ の三角波で $Duty(=1\mu/5\mu) = 0.2$ とすると、平均順電流 $I_{F(AV)}$ は tp 間の平均 $\times Duty$ で

$$I_{F(AV)} = 10 \div 2 \times 0.2 = 1.0A$$

となります。

この時の順電力損失 P_F を順電力損失曲線(図2-18)から読み取ると、 $Duty = 0.2$ 、 $I_F(AV) = 1A$ において P_F は約 1W となります。

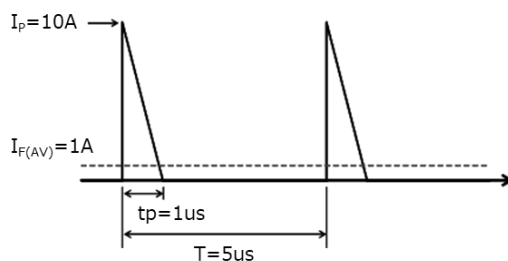


図 2-17 三角波電流波形 (例)

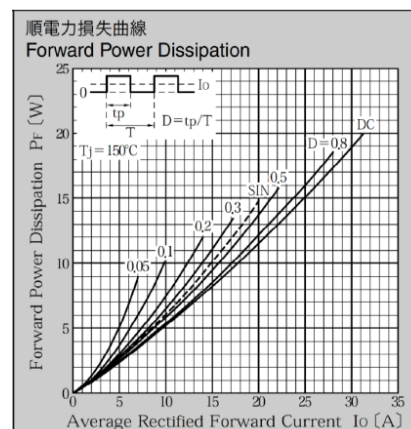


図 2-18 順電力損失曲線

3) センタータップ(2素子入り)のSBD に台形波の電流が印加された場合の電力損失の求め方

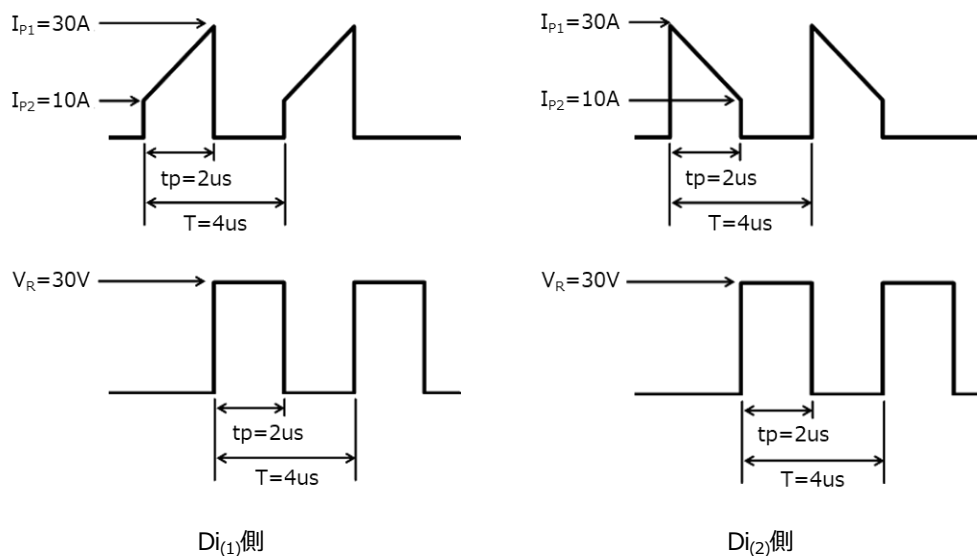


図 2-19 台形波電流・電圧波形 (例)

図 2-19 のような台形波電流の波形がセンタータップのSBD に印加されたとします。このとき、

$$\text{Duty}(=2\mu/4\mu)=0.5$$

となります。また、平均順電流 $I_F(\text{AV})$ は以下のように計算されます。

$$D_{i(1)}: I_F(\text{AV})(1)=(I_{p1}+I_{p2})\div 2\times D=(30+10)\div 2\times 0.5=10\text{A}$$

$$D_{i(2)}: (\text{同様に}) I_F(\text{AV})(2)=10\text{A}$$

この条件を元に、図 2-20 の順電力損失曲線から P_F を読み取ります。

$$P_F(1)=6\text{W}, P_F(2)=6\text{W}$$

また、図 2-21 の逆電力損失曲線から逆電力損失 P_R を読み取ります。

$D_{i(1)}$ および $D_{i(2)}$ とともに $V_R=30\text{V}$ が印加されているため、

$$P_R(1)=5\text{W}, P_R(2)=5\text{W}$$

となります。

以上より、順逆双方向の合計の電力損失 P は、

$$P=P_F(1)+P_F(2)+P_R(1)+P_R(2)=(6+6)+(5+5)=22\text{W}$$

となります。

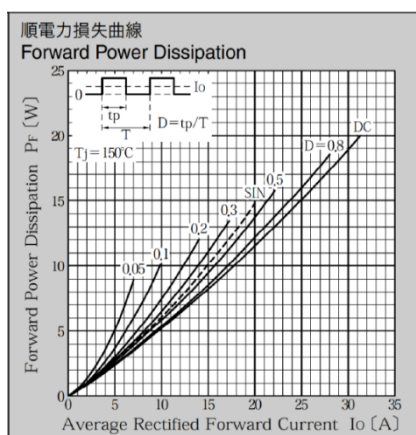


図 2-20 順電力損失曲線

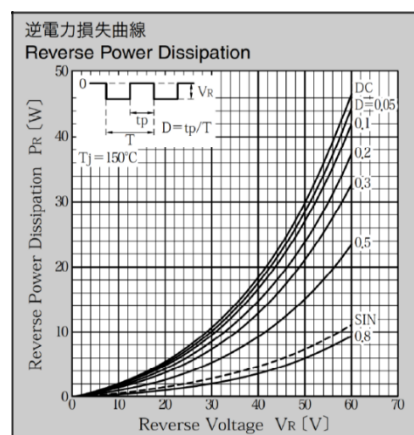


図 2-21 逆電力損失曲線

2-5-3. 接続部温度 T_j の推定方法

1) 放熱フィンなしプリント基板実装における T_j の推定方法(1)

定常動作時の接続部温度 T_j は、接続部—リード間の熱抵抗 $R_{th(j-l)}$ を用いて次式により求められます。

$$T_j = P \times R_{th(j-l)} + T(l-a) + T_a(ope)$$

ここでは、2-5-2 電力損失の求め方 1) の例を元に計算を行います。

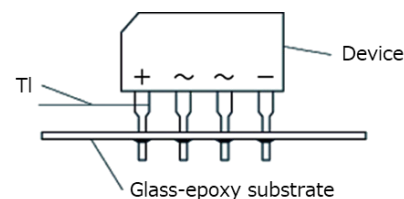


図 2-22 リード温度測定箇所 (例)

- 平均順電流 $I_{F(AV)}$ 時の電力損失 P を特性図の順電力損失曲線より求めます。（ここでは $P=0.8W$ とします）
- 接続部—リード間熱抵抗 $R_{th(j-l)}$ は定格表の電気的特性値を使用します。（ここでは $R_{th(j-l)}=10^{\circ}C/W$ とします）
- リード—周囲間温度上昇 $T(l-a)$ は実測により求めます。

$$T(l-a) = T_l - T_a$$

T_l : リード温度（図 2-22 を参照、パッケージ種による）

T_a : 周囲温度（発熱の影響を直接受けない位置）

（ここでは $T_a=25^{\circ}C$, $T_l=80^{\circ}C$ とします）

周囲温度 $T_a(ope)$ は設計により決まります。（ここでは $T_a(ope)=50^{\circ}C$ とします）

以上の条件で計算すると、

$$T_j = P \times R_{th(j-l)} + T(l-a) + T_a(ope) = 0.8 \times 10 + (80 - 25) + 50 = 113^{\circ}C$$

となります。

以上より、 T_j 推定値は $113^{\circ}C$ となります。

2) 放熱フィンなしプリント基板実装における T_j の推定方法(2)

定常動作時の接続部温度 T_j は、接続部—周囲間の熱抵抗 $R_{th(j-a)}$ を用いて、次式により求められます。

$$T_j = P \times R_{th(j-a)} + T_a(ope)$$

ここでは、2-5-2 電力損失の求め方 2) の例を元に計算を行います。

- 平均順電流 $I_{F(AV)}$ 時の電力損失 P を特性図の順電力損失曲線より求めます。（ここでは $P=0.85W$ とします）
- 接続部—周囲間の熱抵抗 $R_{th(j-a)}$ は定格表の電気的特性値を使用します。（ここでは $R_{th(j-a)}=110^{\circ}C/W$ とします）
- 周囲温度 $T_a(ope)$ は設計により決まります。（ここでは $T_a(ope)=45^{\circ}C$ とします）

以上の条件で計算すると、

$$T_j = P \times R_{th(j-a)} + T_a(ope) = 0.85 \times 110 + 45 = 138.5^{\circ}C$$

となります。

以上より、 T_j 推定値は $138.5^{\circ}C$ となります。

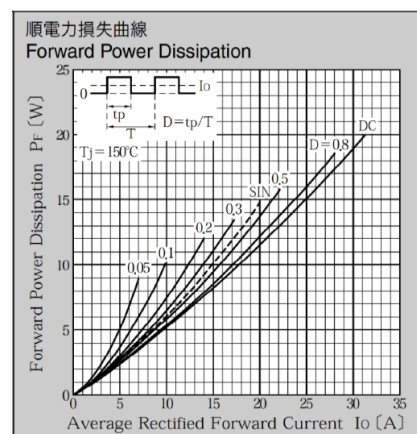


図 2-23 順電力損失曲線

3) 放熱フィン実装における T_j の推定方法

フィン使用時の接合部温度 T_j は、接合部-ケース間熱抵抗 $R_{th(j-c)}$ を用いて次式により求められます。

$$T_j = P \times R_{th(j-c)} + T(c-a) + T_a(ope)$$

ここでは、2-5-2 電力損失の求め方 3) の例を元に計算を行います。

a) 電力損失 P を特性図の電力損失曲線より求めます。(ここでは $P=14.5W$ とします)

b) 接合部-ケース間熱抵抗 $R_{th(j-c)}$ は定格表の電気的特性値を使用します。

(ここでは $R_{th(j-c)}=2^\circ C/W$ とします)

c) ケース温度-周囲間温度上昇 $T(c-a)$ を実測により求めます。

(例えば、 $T_c=80^\circ C$, $T_a=25^\circ C$ の場合: $T(c-a)=T_c-T_a=80-25=55^\circ C$)

d) 周囲温度 $T_a(ope)$ は設計により決まります。(ここでは $T_a(ope)=45^\circ C$ とします)

以上の条件で計算すると、

$$T_j = P \times R_{th(j-c)} + T(c-a) + T_a(ope) = 14.5 \times 2 + 55 + 45 = 129^\circ C$$

となります。

以上より、 T_j 推定値は $129^\circ C$ となります。

2-6. サージ順電流特性

一般的によく使用されるコンデンサインプット型電源回路では、電源の投入時に大きな突入電流が流れます。これは整流部の後段の平滑用コンデンサがチャージされていないため、入力側のスイッチを ON にすると、ダイオードを通して大きな充電電流が流れるためです。この突入電流がダイオードのサージ順電流耐量以下であることを確認し、耐量以上の電流が流れる時は、対策を行う必要があります。

2-6-1. サージ順電流 I_{FSM}

サージ順電流 I_{FSM} は、50Hz 正弦波 1 サイクルでの非繰返し最大許容順電流値であり、温度が指定条件に戻る前の再投入などの繰返し動作には適用できません。また、 I_{FSM} が 2 サイクル以上印加される場合は、耐量が減少しますので、サージ順電流耐量特性図をご確認下さい。なお、パルス幅 1ms の正弦波($\theta=180^\circ$)における非繰返し最大許容順電流値を I_{FSM1} と定義しています。

繰返し動作の場合は、繰返し回数に応じて、その 1 回目の電流ピーク値が定格を満たしていることが条件となります。

2-6-2. 電流二乗時間積 I^2t

定格表に記した I_{FSM} は 50Hz 正弦波入力時の規格です。しかし、実際の回路では、印加電圧・電源のインピーダンスなどにより、突入電流のピーク値及びパルス幅 t_p は個々に変わり、10ms より短いパルス幅であることがほとんどです。

$1ms \leq t_p < 10ms$ でのパルス幅での非繰返し許容順電流値を計算する場合には、電流二乗時間積 I^2t を使用し、

$$I^2t \geq \int_0^{t_p} I^2 dt$$

を満たす時には許容できると判断できます。

例 図 2-24 のような正弦波が $T_j=25^\circ\text{C}$ で印加された場合

印加される電流波形はピーク電流 $I_p=180\text{A}$ の正弦波ですが、電流二乗時間積 I^2t は矩形波で規定されます。

- 1) 正弦波から矩形波へ換算します。

$$180 \div \sqrt{2} = 127.3\text{A}$$

- 2) I^2t を計算します。

$$I^2t = 127.3 \times 127.3 \times 0.002 = 32.4\text{A}^2\text{s}$$

以上より、 I^2t が $32.4\text{A}^2\text{s}$ 以上のダイオードを選定すれば、 $T_j=25^\circ\text{C}$ の使用において問題はありせん。

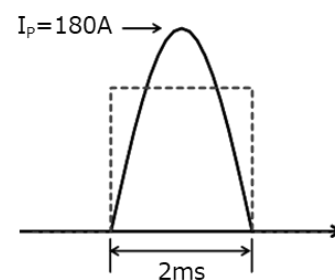


図 2-24 正弦波 (例)

2-6-3. 高温時の突入電流について

定格表では $T_j=25^\circ\text{C}$ 時の保証のみとなっていますが、高温時に突入電流が印加された場合は、図 2-25 のサージ順電流減少率特性図から電流二乗時間積 I^2t 定格値をディレーティングすることで使用可否判断ができます。

例 図 2-24 のような正弦波が $T_j=100^\circ\text{C}$ で印加された場合

- 2) にて $T_j=25^\circ\text{C}$ で算出された値を用いて、ディレーティングを読み取ります。

図 2-25 から $T_j=100^\circ\text{C}$ の時の減少率を読み取ると 70% となるため、定格値を $60\text{A}^2\text{s}$ とした場合は、

$$I^2t = 60 \times 70\% = 42\text{A}^2\text{s} \quad (T_j=100^\circ\text{C})$$

以上より、図 2-24 の電流波形は $I^2t < 42\text{A}^2\text{s}$ 以下であるため、使用について問題はありせん。

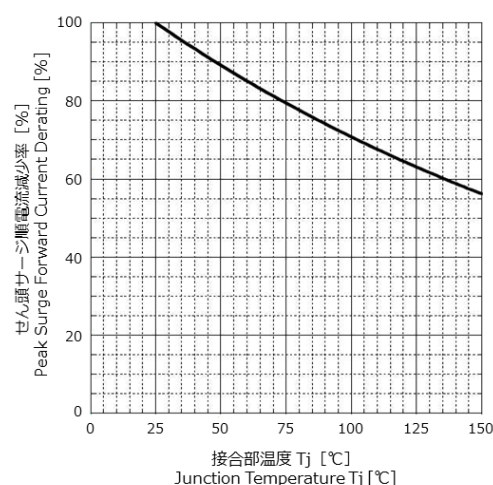


図 2-25 サージ順電流減少率

2-7. サージ逆電圧特性

ダイオードは逆電流 I_R が急増し、素子破壊の原因となるため、ピーク繰り返し逆電圧 V_{RRM} を超える逆電圧の印加は許容してありません。

しかし、 V_{RRM} を超えていても、下記項目を満足していれば使用可能です。

- ・繰り返しせん頭サージ逆電圧 V_{RRSM}
- ・繰り返しせん頭サージ逆電力 P_{RRSM}

これらは主に V_{RRM} を超えるスパイク状の電圧に対して適用します。

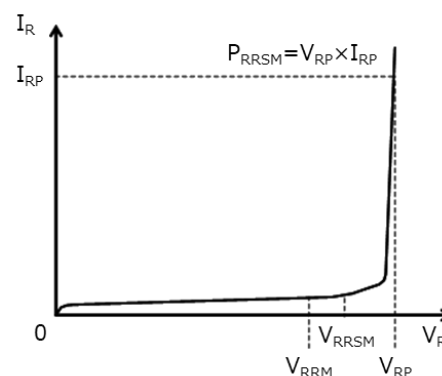


図 2-26 V_{RRSM} , P_{RRSM} の定義

2-7-1. ピーク非繰り返し逆電圧 V_{RSM}

ピーク非繰り返し逆電圧 V_{RSM} は、降伏電圧を超えない (I_R の急増しない) 領域で、パルス幅 Duty の条件付きで使用可能な最大電圧を規定しています。

2-7-2. 繰り返しせん頭サージ逆電圧 V_{RRSM}

繰り返しせん頭サージ逆電圧 V_{RRSM} は、降伏電圧を超えない (I_R の急増しない) 領域で、パルス幅 Duty の条件付きで使用可能な最大電圧を規定しています。

2-7-3. 繰り返しせん頭サージ逆電力 P_{RRSM}

V_{RRSM} を超える電圧の場合には、繰り返しせん頭サージ逆電力 P_{RRSM} が適用できるかどうかの検討を行います。

P_{RRSM} は逆方向にかかる最大電圧 V_{RP} とその時のピーク逆電流 I_{RP} の積により表されます。接合部温度 T_j とパルス幅 t_p をデレーティングし、規格を満足していれば使用可能となります。

2-8. ダイオードの並列・直列接続

2-8-1. ダイオードの並列接続

ダイオードを図 2-27 のように並列接続して使用する場合、同じ製品であっても順電圧 V_F にはバラツキがあり、それぞれのダイオードに流れる電流に不均衡が生じることを考慮しなければなりません。

図 2-28 に示すように、 V_F max 特性のものと min 特性のものが組み合わされて使用されたとき、 V_F min 特性のものが V_F max 特性のものより多くの電流を負担することになります。また、2 つのダイオードの温度環境が異なる場合にも電流分担の不均衡が生じます。よって、並列接続で使用する場合には、これらの問題を考慮してマージンを設定するなど、温度の違いが生じないような実装をする必要があります。

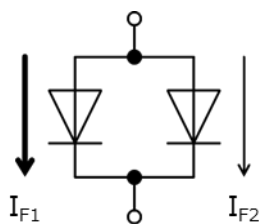


図 2-27 ダイオードの並列接続

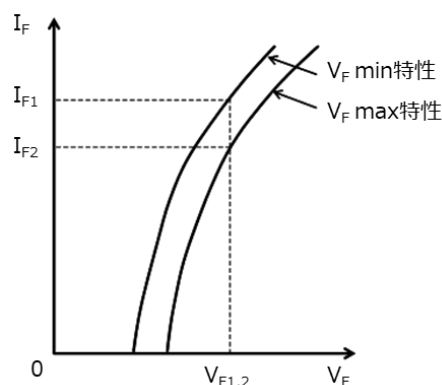


図 2-28 順方向特性のバラツキ

2-8-2. ダイオードの直列接続

ダイオードを図 2-29 のように直列接続して使用する場合、接合容量や逆電流のバラツキにより、各ダイオードに印加される逆電圧 V_R が異なることがあります。直流的にはバランス抵抗を各ダイオードに並列接続する事で均等分圧できますが、高周波動作でのダイオードターンオフ時には、 t_{tr} のバラツキによって、瞬間的に分圧のバランスがくずれることが予想されます。よって、高周波動作時のダイオード直列接続使用は、推奨しておりません。



図 2-29 ダイオードの直列接続

2-9. 熱暴走について

ダイオードの温度上昇は、順電力損失 P_F や逆電力損失 P_R 等、素子の自己発熱によるものと、周囲から伝搬してくる二次的なものがあります。一方、ダイオードには、温度上昇によって素子の逆電流 I_R が増加するという特性があります。素子の発熱量よりも放熱量が小さい場合には、さらなる温度上昇を招くため、

温度上昇 → 逆電流の増加 → 逆電力損失の増加 → 温度上昇

を繰り返し、素子の温度が上昇し続けた結果、素子が破壊されてしまいます。このような現象を、熱暴走といいます。

図 2-30 にダイオードの接合部温度と損失の関係を示します。ダイオードは接合部温度が上昇すると順電圧 V_F が低下する性質があるため、順電力損失 P_F は低下します。逆に逆電流 I_R は増加する性質があるため、逆電力損失 P_R は増加します。 P_F と P_R の和がダイオード全体の損失 P_{total} となります。ある温度を超えると P_R は急激に増加するため、 P_{total} としては P_F による低下分よりも、 P_R の増加の影響が大きくなります。

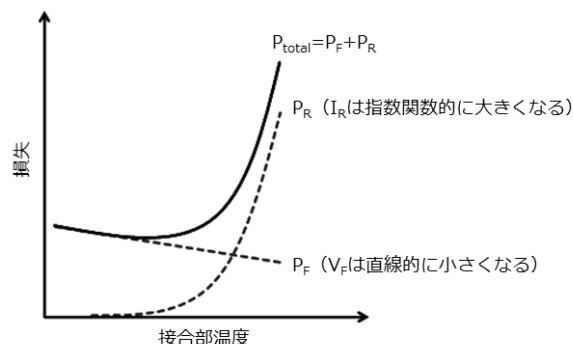
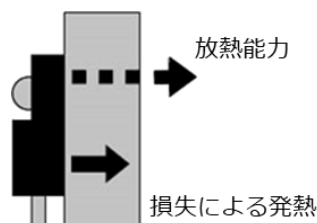


図 2-30 ダイオードの接合部温度と損失の関係

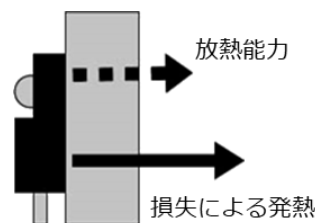
P_{total} の傾きが急になり、ある傾きを超えると熱暴走が起こります。どこまでの傾きが許容できるかは放熱量（熱抵抗）によって変わります。

I_R が大きい SBD は、一般ダイオードや FRD に比べ、熱暴走の危険が高くなりますので、素子の使用条件及び放熱条件を充分考慮のうえご使用下さい。



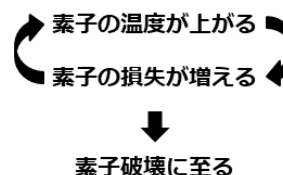
放熱能力 > 損失による発熱

放熱の能力に余裕があり、素子の損失による発熱が充分放熱されている。



放熱能力 < 損失による発熱

放熱の能力よりも素子の損失による発熱が大きく、放熱しきれない。



3. 基板設計

3-1. ソルダリングパッドの設計

製品によっては、参考ソルダリングパッドを提示しているものもありますが、基板実装後のはんだ付け結果まで保証したものではありません。

はんだ付けには、ソルダリングパッド以外にも、使用はんだ・はんだ供給量（印刷マスク厚やマスク開口径）・使用フラックス・製品周辺のソルダリングパッド・周辺の他部品・はんだ溶融温度プロファイル等が影響しますので、生産前には必ず実装試験による確認を実施して下さい。

3-2. 挿入型パッケージの取り付け穴の設計

挿入型パッケージの取り付け穴のピッチや距離は、製品のそれと同一にして下さい。

端子間ピッチや距離が異なる場合、製品実装時に過大なストレスを与える要因となりますので、設計時に考慮して下さい。

3-3. 放熱設計

パワーデバイスとは、導通により発生した熱を効率よく逃がすことが出来ない場合には、熱暴走を起こして破壊に至ることがあります。

効率よく放熱させるためには、放熱フィンや基板への放熱用パターンの設置などが必要な場合があります。

放熱フィンは、その大きさや熱伝導率等が実効許容損失を決定するため、使用環境を考慮して適切な放熱フィンを選定して下さい。

3-4. 部品の配置

半導体素子は、使用時の環境条件によって特性および信頼性が左右されます。

システム内における半導体素子の実装位置は、高信頼性を維持するために充分吟味する必要があります。実装時の注意事項を以下に示します。

- ① 半導体素子の近傍に大型抵抗器などの発熱源がある場合、半導体素子用の放熱フィンや直接半導体素子を加熱してしまい信頼性を低下させることがあります。このような場合は、通風などを考慮して熱を逃がすような配置をするなどの設計を行って下さい。
- ② 装置下段の隅は塵埃がたまりやすい場所のため、このような場所に設置された半導体素子は塵埃付着によって絶縁劣化を起こしたり、誤動作したりすることがあります。このような場合は、プリント基板および半導体素子を防水性のあるレジンでコーティングする方法が有効です。レジンでコーティングする方法は、基板配線からの導電性異物（はんだ屑など）による短絡が原因の誤動作防止・結露による金属マイグレーションの防止等、高温・結露・塵埃の蓄積がある厳しい環境下で信頼性を確保しなければならない場合に有効な手段となります。
- ③ 高電圧または高周波用途のシステムにおいて、配線の束線や引き回し方法によっては、サージ電圧が誘導されます。半導体素子が破壊する場合がありますので、サージ電圧が発生しないように束線や引き回しにご注意下さい。

4. 加工

4-1. マガジン梱包品の製品取り出し時のご注意

マガジンに収納された製品を取り出す際は、端子曲がりなどを予防するため、以下の点についてご注意ください。

- ① 製品を取り出す際には、マガジンの傾きを 30°程度にし、製品が勢いよく飛び出さないようにしながら導電性(静電)マットの上に出すようにして下さい。(図 4-1)

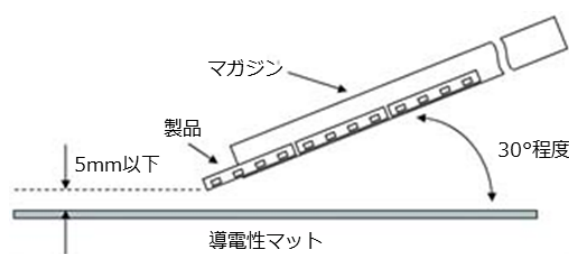


図 4-1 マガジンからの取り出し方法

- ② マガジン内の製品が端数となる場合は、マガジン内に適切な長さのスペーサなどを収納し、製品に衝撃が加わらないようにして下さい。

4-2. 端子フォーミング・切断の際のご注意

端子のフォーミングや切断を行う際には、下記の点についてご注意ください。

- ① フォーミングまたは切断を行う時は、端子の根元が支点となつて応力が製品本体に加わることがないようにするために、加工位置と本体の間に押さえ部を設けて下さい。(図 4-2 , 4-3)



図 4-2 工具によるフォーミング例

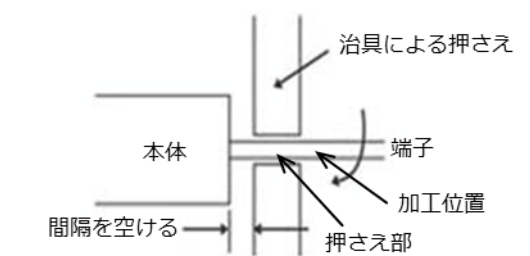


図 4-3 治具を使ったフォーミング例

- ② 本体に応力が加わるため、根元からのフォーミング・切断は実施しないようにして下さい。本体から一定の距離を設けたうえでフォーミングを実施して下さい。(図 4-4)

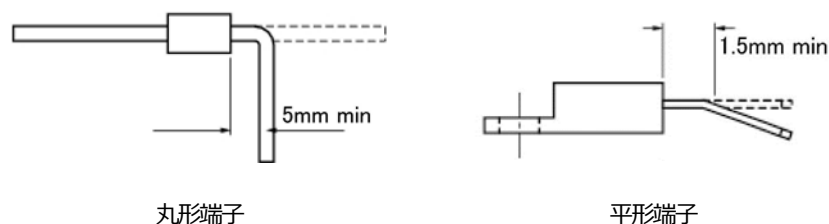


図 4-4 フォーミング例

- ③ 複数回のフォーミングは、金属疲労による折れを誘因するため、90°往復1回（ただし、平形端子は45°往復1回）を上限として下さい。
- ④ 端子押さえやフォーミングの際に、端子のメッキ剥かれやメッキ割れが起こることにより、はんだ濡れ不良が発生することがありますので、ご注意下さい。
- ⑤ 端子へのねじりが加わらないようにして下さい。
- ⑥ フォーミングとして不適当な例を示します。（図4-5）

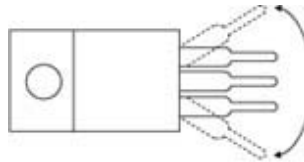


図 4-5 フォーミング不可例

- ⑦ リード径に対する引張荷重の参考値を下表に示します。（表4-1）

表 4-1, 端子径と引張荷重

端子径 d(mm)	引張荷重(N)
$0.5 < d \leq 0.8$	10
$0.8 < d \leq 1.25$	20
$1.25 < d$	40

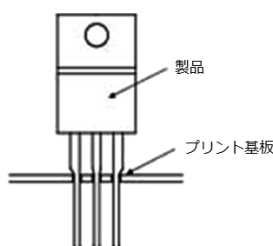
5. 実装

5-1. 実装時のご注意

機械的衝撃によりストレスが加わり、破壊することがあります。事前に使用条件の検討を充分に行ってください。

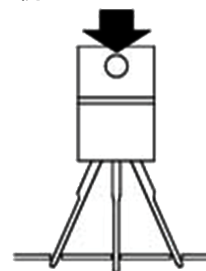
- ① 挿入型パッケージをプリント基板の取り付け穴に差し込む際には、端子の無理な引っ張りや押込みをしないようにして下さい。(図 5-1)

○製品挿入穴ピッチの**良い**例



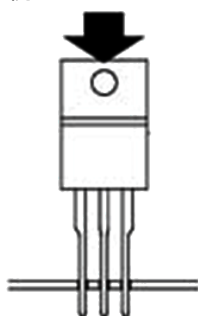
製品の端子ピッチとプリント基板取り付け穴ピッチが同じ

○製品挿入の**悪い**例



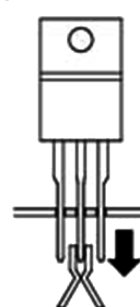
製品の端子ピッチとプリント基板取り付け穴ピッチがあっていない状態で、無理にプリント基板に実装する

○製品挿入の**良い**例



製品の端子ピッチとプリント基板取り付け穴ピッチが同じ状態で、製品を軽く押してプリント基板に実装する
(過剰応力をかけないようにする)

○製品挿入の**悪い**例



ペンチ等で端子を引っ張りながら、プリント基板に実装する
(過剰応力をかけないようにする)

図 5-1 プリント基板への挿入実装例

- ② テーピングされた面実装パッケージについては、実装時トップテープの剥がしスピードが速くなると、帯電量が増加するのでご注意下さい。

5-2. はんだ付け時のご注意

はんだ付けを行う際には、以下の点にも注意しながら作業を実施して下さい。

- ① フラックスはロジン系のものを使用し、強酸性のものは使用しないで下さい。
- ② 通常環境で長期保存された場合や湿度の高い環境で保存した場合、モールド樹脂は吸湿します。その後のはんだ付け時に加熱処理されることで、モールド樹脂にクラックが生じる場合があるため、以下の点にご注意下さい。
 - ・急激な温度変化がないようにするため、はんだ付けの際は予備加熱を実施し、ピーク温度をできるだけ低くする。
 - ・規定の保管条件(吸湿管理条件)を超えた場合には、事前にバーク(脱湿・乾燥)処理を行う。
- ③ フロー実装の際に、基板に半導体素子を仮止めする目的で接着剤を用いる場合、半導体素子と接着剤の相性によって、接着性が弱くなる場合があります。実装中に半導体素子が落下することが無いよう、事前に接着性について検討を行ってください。

5-3. 推奨鉛フリーはんだ付け条件

① はんだごてによるはんだ付け

はんだごてではんだ付けをする際には、ごて先の温度が調整できるタイプのものを使用し、また、端子部に直接はんだごてがあたらないようにして下さい。はんだ付け条件は、下表の通りです。(表 5-1)

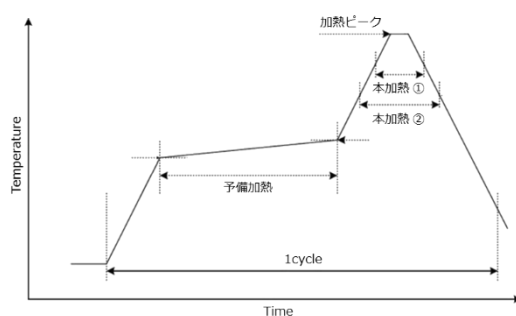
表 5-1 はんだ付け条件

対応可能パッケージ	ごて先温度	加熱時間	回数
M1F, G1F	350±10℃	3±1 秒	1 回
他のSMD 品, AX057, MCP	380±10℃	3±1 秒	1 回
挿入型製品(AX057 を除く)	380±10℃	5±1 秒	1 回

② 赤外線リフロー法

赤外線を利用してはんだ付けする方法です。リフロー法での温度プロファイル例を示します。(図表 5-1)

【対応可能パッケージ】面実装パッケージ (SMD) 全般



工程	温度	時間・回数
予備加熱	150℃～180℃	90±30 秒
本加熱	① 220℃	Max. 60 秒
	② 230℃	Max. 40 秒
加熱ピーク	250℃	Max. 10 秒
	Max. 255℃	—
回数	—	2 回

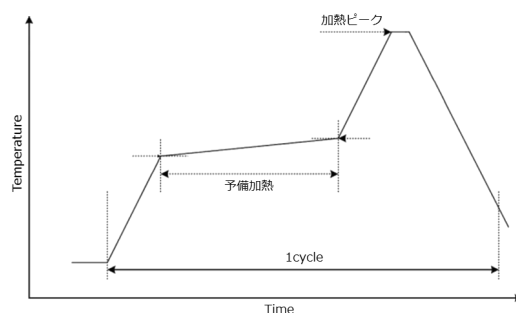
図表 5-1、リフロー温度プロファイル例

③ フロー法

基板に接着剤でデバイスを仮止めし、デバイス面を下にして溶融したはんだ中を通過させ、はんだ付けする方法です。

フロー法での温度プロファイル例を示します。(図表 5-2)

【対応可能パッケージ】挿入型パッケージ (SIP,DIP) 全般、面実装パッケージ (SMD)



工程	温度	時間・回数
予備加熱	80℃～140℃	30～60 秒
加熱ピーク	260℃±5℃	10±1 秒
回数	—	1 回

図表 5-2 フロー温度プロファイル例

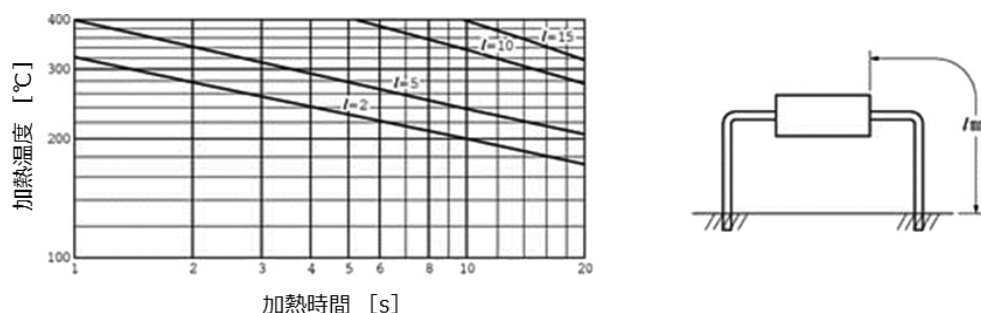
※ 面実装パッケージのフロー対応

MCP, STO-220, FD パッケージ等の面実装パッケージの一部は、フロー対応していない製品もございます。

詳細につきましては、弊社営業担当にお問い合わせ下さい。

④ はんだディップ

はんだディップをご使用になる場合は、グラフの温度を考慮の上使用して下さい。(図表 5-3)



図表 5-3 はんだディップ使用条件

5-4. フラックス洗浄

洗浄には超音波洗浄や浸漬洗浄等いくつかの種類があります。それぞれの特徴や短所を考慮しながら、製品に合った洗浄方法を実施して下さい。

フラックス洗浄の際の注意事項を以下に示します。

- ① フラックス除去の洗浄剤は、腐食性ガスや反応性物質が発生しないものを使用して下さい。
- ② 端子間リークやマイグレーション現象を発生させる場合があるため、残渣や残留物質・イオンが残らないように洗浄を行って下さい。
- ③ 共振現象で端子切れが発生する可能性があるため、超音波洗浄の際は超音波振動源と基板・半導体素子を直接接触させないなど、十分に条件の検討を行って下さい。

【参考】超音波洗浄

- ・超音波周波数：28kHz（半導体素子を共振させないこと）
 - ・超音波出力：最大 15W/リットル
 - ・時間：30 秒以内
- ④ 長時間の洗浄により、製品捺印が消える（インク捺印製品）・半導体素子へ洗浄剤が浸入する・端子部へのダメージを与える等が考えられます。洗浄条件の検討を事前に行って下さい。

5-5. 二次モールド・プラスチック封入

樹脂で二次封止する場合、使用する樹脂によって半導体素子へ大きなストレスを与えることがあります。

二次封止を実施する場合は、以下の点にご注意下さい。

- ① 硬化収縮率が小さく柔軟で、硬化時の温度が保存温度を超えない樹脂を選定して下さい。
- ② 常温硬化の樹脂であっても、硬化時に自己発熱するものがあります。このような樹脂を使用される場合も半導体素子の保存温度を超えないようにして下さい。
- ③ 樹脂によっては、水分の吸着によりリーク電流の増加が起きるものもあります。使用時には十分な品質確認を行って下さい。

5-6. 放熱フィンの取り付けについて

半導体素子単体のみで許容できる損失は極めて小さいため、通常は放熱フィンを使用し、半導体素子で発生する熱を効率よく周囲（外気）へ逃がす必要があります。その際の放熱フィンの大きさなどにより実効許容損失が決定しますので、適切な放熱フィンを選定して下さい。また放熱フィン取り付けの際には、下記の点にご注意下さい。

- ① 放熱フィンと半導体素子の接着面に反りや凹凸があると、放熱効率が低下して思わぬ温度上昇の原因となります。反りや凹凸のないようにして下さい。
- ② 金属屑やバリが付着していると、絶縁板の破損・機械的ストレスによる半導体素子の劣化や破壊が起こります。プレスや穴加工時にバリを発生させないように一面取り等の対応を行うようにして下さい。
- ③ 端子に先にはんだ付けした後放熱フィンをネジ止める場合、端子に過剰なストレスがかかり、断線や製品破壊の原因となる場合があります。放熱フィンに製品をネジ止めた後にはんだ付けを行うなどの対応をして下さい。
- ④ 1つの放熱フィンに2つ以上の半導体素子を取り付けると1つだけの場合に比べて放熱性能が損なわれることがあります。
- ⑤ シリコングリスについて

半導体素子本体と絶縁板間、絶縁板と放熱フィン間に空洞が生じることによる接触熱抵抗 $R_{th(c-f)}$ で、熱効率が良く周囲（外気）へ伝わらない場合があります。この $R_{th(c-f)}$ を減少させる目的でシリコングリスを塗布する場合は、絶縁板の両面に均一にいきわたるように塗布して下さい。

また、シリコングリスの選定については、下記の点にご留意下さい。

- ・均一に塗布することが困難なものがあります。均一に塗布できるものを選定して下さい。
- ・グリス内のオイル成分が製品のモールド樹脂に浸透し、膨張するものがありますので、そのような現象が発生しないものを選定して下さい。
- ・グリスの中には、長期間の使用によって半導体素子の特性に影響を及ぼし、劣化に至らしめるものがあります。品質確認の際にご注意下さい。

⑥ 締付けトルク

放熱フィンに製品を取り付ける場合、そのネジの締付けトルクも重要になります。

締付けトルクは、

- ・接触熱抵抗を大幅に変化させます。
- ・半導体素子の外形により異なります。
- ・ネジや半導体素子外形の機械的強度により制限されます。

以上の理由により、当社では各半導体素子の推奨締付けトルクを定めています。（表 5-2）

表 5-2 推奨締付けトルク

外形例	使用するネジの呼び(推奨)	推奨締付けトルク(N・m)
FTO-220AG, FTO-220G	M3	0.3
3S, 5S, MTO-3PT, MTO-3PV	M3	0.5
TSB, JC, JF, JH	M4	1.2

エアドライバーを使用する際には、製品本体に接触させないで下さい。

(ご参考)

ネジの締付けトルクには JIS 規格化されていないものの、一般的に用いられている値があり、一般に基準 T 系列または 0.5T 系列と呼ばれる標準的な締付けトルクがネジメーカーや工具メーカーより示されています。これらにはネジの締付け力によってネジ材・ナットやネジの座面等が塑性変形を起こさない範囲でネジの緩みがでないようにネジの呼び・材質に応じたトルク値が記載されております。製品の締付けトルクの決定の際には、参考にして下さい。

5-7. 固定（ネジ止め）について

① 実装に際して

下図の通り、サポートには廻り止めを設けるなど、取り付け時のバラツキを見込み絶縁距離を確保して下さい。
 また、一部のパッケージには、ネジ穴付近に露出部がありますので、ご注意下さい。

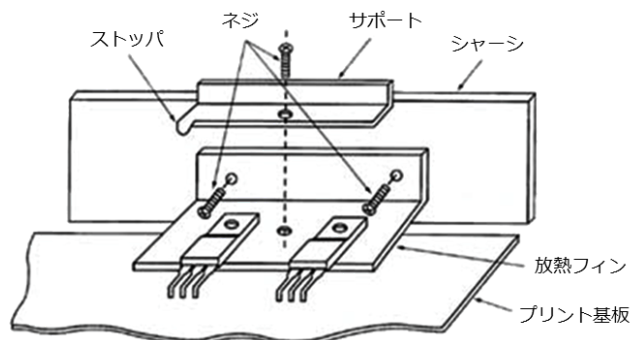


図 5-2 FTO-220 パッケージ実装例

放熱を効率良く行い、デバイスにストレスがかからないようにするため、次の点にご注意下さい。

A) ネジ

M3 の丸ネジ、なべネジ、バインドネジ、平ネジのいずれかをご使用下さい。さらネジ類は使用しないで下さい。

B) 平座金

小型丸 3mm の平座金をご使用下さい。特に、3.5mm 以上の平座金や表側がみがき丸の平座金は使用しないで下さい。FTO-220G パッケージの場合、平座金が 3mm 以上で使用すると、絶縁不良が起こる可能性があります。

C) 放熱フィン

放熱フィンには、凹凸・ねじれ・反り等のない平坦なものを使用し、半導体素子に無理な応力が加わったり、放熱効果を妨げたりしないようにして下さい。また、取り付け穴に加工バリのないことを確認して下さい。取り付け穴径はφ 3.2~4mm にして下さい。穴径および面取りが大きすぎると、ネジを締付ける際にパッケージに無理なストレスが加わるため注意して下さい。

D) 仮止め、本締め

一度の本締めによるネジ止めは行わないようにして下さい。製品の取り付け位置・放熱フィンに対する姿勢を仮止めにより確認した後で本締めによるねじ止めを行って下さい。またグリスをしっかりと伸ばした後、締付けを行って下さい。

② 締付けトルクと接触熱抵抗

半導体素子と放熱フィンとの間にシリコングリスを薄く均一に塗布し、接触熱抵抗の低減を図ってご使用いただくために「締付けトルクと接触熱抵抗 $R_{th(c-f)}$ 」の関係を下図に示します。

下図から、絶縁板を間に挟んで放熱フィンへ取り付ける非絶縁型パッケージ（TO-220, MTO-3P）よりも放熱フィンへ直に取り付けを行う絶縁型パッケージ（ITO-220, ITO-3P）のほうが接触熱抵抗を小さくすることができます。

絶縁型パッケージ（ITO-220 または ITO-3P）を放熱フィンに取り付ける場合、非絶縁型パッケージ（TO-220 または MTO-3P）と異なり、絶縁物を使用する必要がありません。

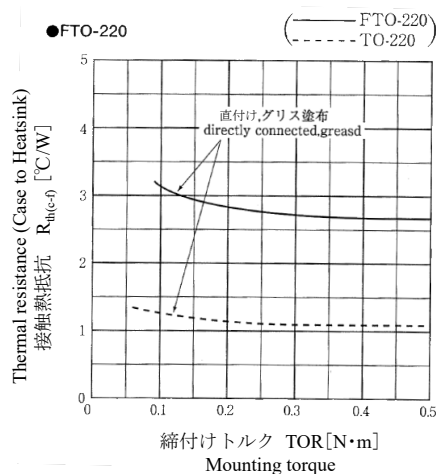


図5-3 締付けトルクと接触熱抵抗
(FTO-220 パッケージ)

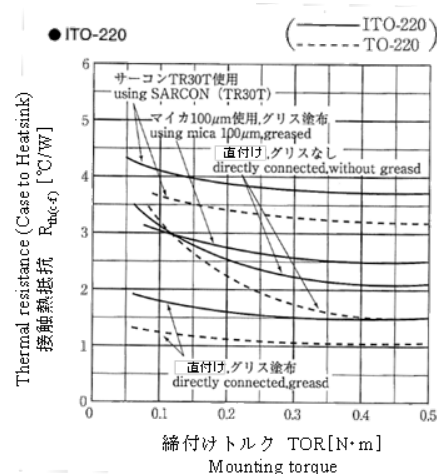


図5-4 締付けトルクと接触熱抵抗
(ITO-220 パッケージ)

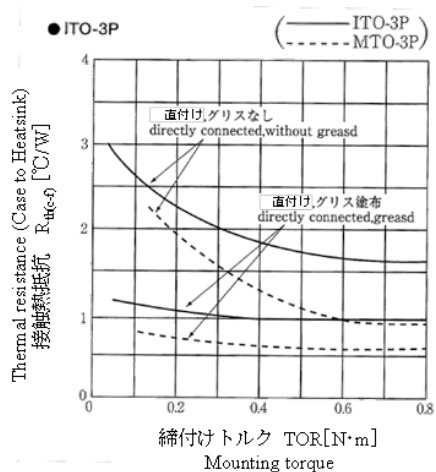


図5-5 締付けトルクと接触熱抵抗
(ITO-3P パッケージ)

③ 使用ネジ

さらネジ・丸さらネジ・リベットは製品に負荷応力を加える危険がありますので、使用しないで下さい。

使用するネジは、丸ネジ・なべネジ・トラスネジ・バインドネジ・平ネジをご使用下さい。

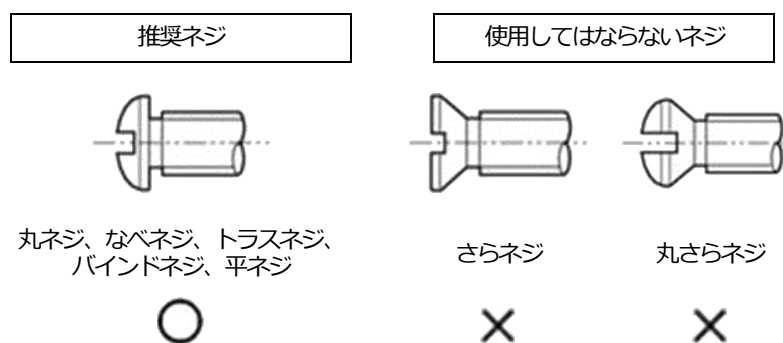


図5-6 使用ネジ例

④ ネジ穴

2ヶ所以上のネジ穴で止める製品の場合、取り付けネジ穴ピッチは製品のネジ穴ピッチと同じ寸法にして下さい。寸法が異なると製品固定時に製品に過大なストレスがかかり、製品が破壊することがあります。

2ヶ所以上のネジ穴で止める製品のネジ止めは、そのいずれのネジも仮止めを行い、製品の取り付け位置・放熱フィンに対する姿勢を確認したのち、ネジの本締めを行って下さい。

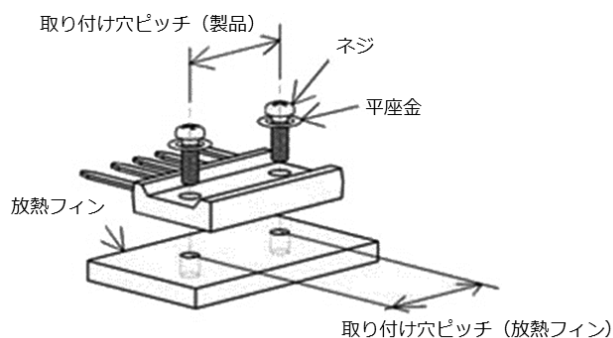


図 5-7 取り付け例

5-8. 実装後の保管について

基板実装が終了した製品についても、実装前と同様、保管の際には導電性・静電気対策された収納ケースに入れ、収納ケースを置く場所にはアース接地を行うなどの対策が必要となります。