

パワーデバイス

pn 接合の順方向電圧を用いた温度測定の注意点

半導体デバイスのジャンクション温度を見積もる目的で、pn 接合部の順方向電圧を測定することがありますが、間違った測定を行うと正しい結果が得られないことがあります。このアプリケーションノートでは、温度測定における注意点を説明します。尚、このアプリケーションノートの内容は半導体デバイスの種類によらず、一般的に使用できる内容です。

機器動作状態でセンシングダイオードを測定しジャンクション温度を見積もる方法

pn 接合の順方向電圧の温度特性が概ね $-2\text{mV}/^\circ\text{C}$ で変化することを利用して、デバイス内に存在する pn 接合の温度特性を予め測定する事でジャンクション温度を推定することができます。測定する pn 接合はデバイスのピンからアクセスすることが可能なダイオード素子を使用し、これをセンシングダイオードとします。

Figure 1 のように、発熱源であるパワー段が MOSFET で、センシングダイオードがその MOSFET のボディダイオードである場合は両者の距離が近いので精度が高い温度が得られます。

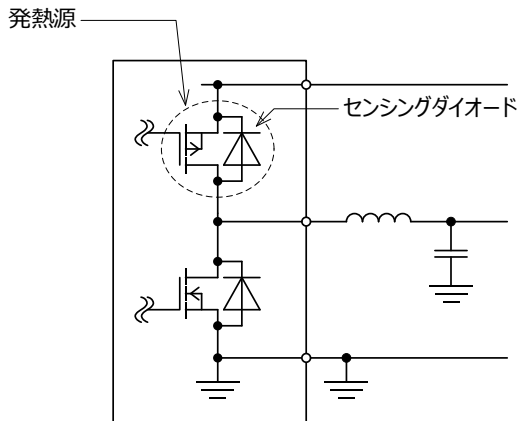


Figure 1. 発熱源とセンシングダイオードが近い場合は精度が高い温度が得られるが、機器動作回路でセンシングダイオード電圧の微小な変化を正確に測定するのは現実的ではない

しかし、Figure 1 の例のように、スイッチング回路などが動作した状態でセンシングダイオードの順方向電圧を測定しようとする、機器動作回路と順方向電圧測定回路を、リレーなどを用いて高速に切り換えて測定する必要があります。機器動作回路はノイズが多いため、順方向電圧の微小な変化を高速に安定して測定するのは現実的ではありません。

次に考えられる方法は、発熱源の動作に影響しないピンに付いている、ピン保護用ダイオード（主に静電破壊保護）を利用することです。Figure 2 に測定回路の一例を示します。この場合は発熱源を動作させた状態でセンシングダイオードの順方向電圧を同時に測定することができます。この例では発熱源とセンシングダイオードにそれぞれグラウンドピンがありますが、グラウンドピンが 1 ピンしかない場合は、発熱源の電流変化によりグラウンドピン電圧が変動するため、順方向電圧が正しく計測できているか確認する必要があります。

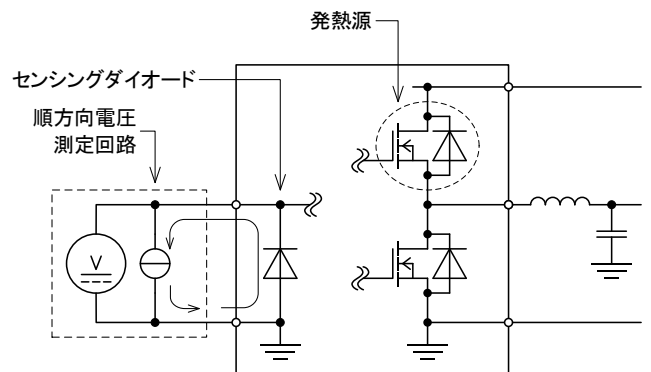


Figure 2. 発熱源の動作に影響しないピンを利用した順方向電圧測定の一例

半導体チップの大きさは数ミリ角と小さいため、発熱源とセンシングダイオードの温度はどの位置関係にあってもほとんど変わらない印象がありますが、実際には両者間の距離によって大きな温度差があります。

Figure 3 に一例を示します。この例では発熱源の中心とセンシングダイオードの位置は約 2mm 離れています。温度は約 20°C 低下しており正しい温度測定ができていないことが判ります。チップレイアウトを理解しているデバイスメーカーから指定されたピンで測定を行う必要があります。

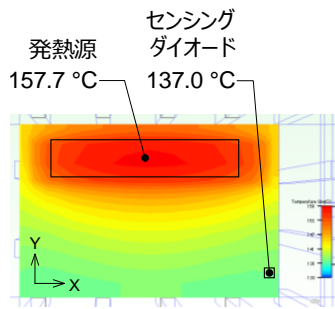


Figure 3. チップレイアウトと温度
発熱源と温度測定点間の距離が離れていると
正しい温度測定ができない

ψ_{JT} を用いたジャンクション温度見積もり

熱特性パラメータ ψ_{JT} を用いてジャンクション温度を見積もる方法があります。 ψ_{JT} はデバイスのジャンクションからパッケージ上面中心温度までの熱特性パラメータです。ジャンクション温度は式(1)で計算することができ、実際の動作基板または似た仕様の基板で測定した ψ_{JT} と、実際の動作基板で測定したパッケージ上面中心温度が判れば精度良くジャンクション温度を見積もることができます。

$$T_j = T_T + \psi_{JT} \times P \quad [^\circ\text{C}] \quad (1)$$

T_T : パッケージ上面中心温度 [$^\circ\text{C}$]

ψ_{JT} : ジャンクションからパッケージ上面中心までの
熱特性パラメータ [$^\circ\text{C}/\text{W}$]

P : デバイスの消費電力 [W]

ψ_{JT} の測定では Figure 4 に示すように主に発熱源のボディダイオードを利用し、このダイオードをセンシング用と ψ_{JT} 測定時の発熱源の両方に使用しています。測定は専用の測定機器を使用し、ボディダイオードへの発熱とセンシングを高速に切り換えることで実現しています。

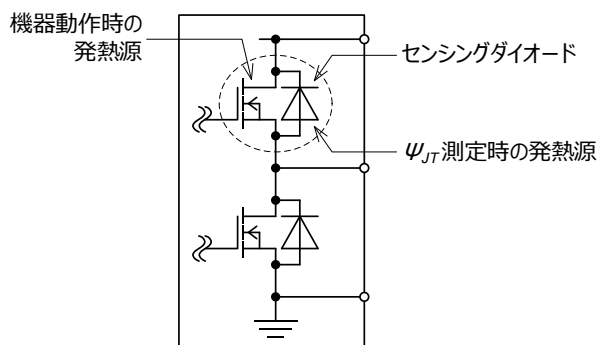


Figure 4. ψ_{JT} 測定時のセンシングダイオードと発熱源

前述の機器動作状態でセンシングダイオードを測定する方法は、適切な位置にセンシングダイオードが存在するデバイスが少ないことより、ロームでは ψ_{JT} を用いたジャンクション温度見積もりを推奨しています。

まとめ

pn 接合の順方向電圧を用いた温度測定について特徴と注意点を以下にまとめます。

特徴

- ・ジャンクション温度を直接測ることができる。

注意点

- ・発熱源と測定点の距離が離れると正しい温度ではなくなるため、チップレイアウトを理解しているデバイスメーカーから指定されたピンで測定を行う必要がある。

参考資料

- [1] JESD51-1:1995, *Integrated Circuits Thermal Measurement Method – Electrical Test Method (Single Semiconductor Device)*

付録 A

チップ内の pn 接合の順方向電圧を用いたジャンクション温度見積り方法

pn 接合の順方向電圧の温度特性が概ね $-2\text{mV}/^\circ\text{C}$ で変化することを利用して、デバイス内に存在する pn 接合の温度特性を予め測定する事でジャンクション温度を推定することができます。測定する pn 接合はデバイスのピンからアクセスすることが可能なダイオード素子を使用し、これをセンシングダイオードとします。

測定回路を Figure A-1 に示します。センシングダイオードに電流を印加し順方向電圧を測定します。発熱源のデバイスは恒温槽に入れ周囲温度を 25°C からデバイスの最大ジャンクション温度（例えば 150°C ）まで変化させ、各温度での順方向電圧を測定します。周囲温度を変化したとき、周囲環境からチップ（ジャンクション）へ熱が伝わるのに時間が掛かるため、順方向電圧が安定するまで時間を置きます。この測定は周囲温度とジャンクション温度が同じであるという仮定を前提にしています。

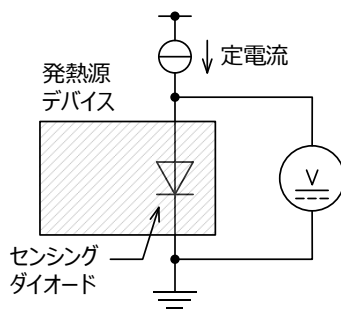


Figure A-1. 発熱源デバイス内にあるダイオード素子の順方向電圧測定回路

測定結果の一例を Figure A-2 に示します。素子の寸法や材料が違っても多少特性は変わりますが、温度特性は概ね $-2\text{mV}/^\circ\text{C}$ の一次関数グラフを示しています。この傾きを K ファクタと呼び、式(A-1)で表現できます。

$$K = \frac{T_{Hi} - T_{Lo}}{V_{Hi} - V_{Lo}} \times 1000 \quad [^\circ\text{C}/\text{mV}] \quad (\text{A} - 1)$$

ここで、 T_{Hi} : 高温 (T_{Lo} より 50°C 以上高いこと) $[^\circ\text{C}]$

T_{Lo} : 低温 (25 または 27) $[^\circ\text{C}]$

V_{Hi} : 高温時の電圧 $[\text{mV}]$

V_{Lo} : 低温時の電圧 $[\text{mV}]$

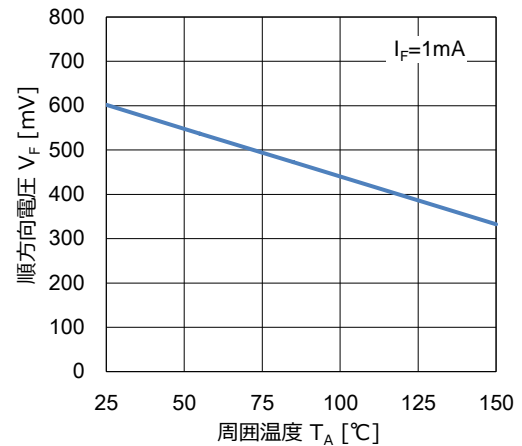


Figure A-2. デバイス内に存在するダイオード素子の順方向電圧温度特性の一例

K ファクタが得られたらデバイスを実動作しながらセンシングダイオードの順方向電圧を測定します。順方向電圧からジャンクション温度は式(A-2)で算出することができます。

$$T_J = |V_F - V_{Lo}| \times K + T_{Lo} \quad (\text{A} - 2)$$

ここで、 V_F : 順方向電圧 $[\text{mV}]$

V_{Lo} : K ファクタを測定したときの低温時の電圧 $[\text{mV}]$

K : K ファクタ $[^\circ\text{C}/\text{mV}]$

T_{Lo} : K ファクタを測定したときの低温 $[^\circ\text{C}]$

ご 注 意

- 1) 本資料の記載内容は改良などのため予告なく変更することがあります。
- 2) 本資料に記載されている内容は製品のご紹介資料です。ご使用に際しては、別途最新の仕様書を必ずご請求のうえ、ご確認ください。
- 3) ロームは常に品質・信頼性の向上に取り組んでおりますが、半導体製品は種々の要因で故障・誤作動する可能性があります。
万が一、本製品が故障・誤作動した場合であっても、その影響により人身事故、火災損害等が起こらないようご使用機器でのディレーティング、冗長設計、延焼防止、バックアップ、フェイルセーフ等の安全確保をお願いします。定格を超えたご使用や使用上の注意書が守られていない場合、いかなる責任もロームは負うものではありません。
- 4) 本資料に記載されております応用回路例やその定数などの情報につきましては、本製品の標準的な動作や使い方を説明するものです。
したがって、量産設計をされる場合には、外部諸条件を考慮していただきますようお願いいたします。
- 5) 本資料に記載されております技術情報は、製品の代表的動作および応用回路例などを示したものであり、ロームまたは他社の知的財産権その他のあらゆる権利について明示的にも黙示的にも、その実施または利用を許諾するものではありません。上記技術情報の使用に起因して紛争が発生した場合、ロームはその責任を負うものではありません。
- 6) 本資料に掲載されております製品は、耐放射線設計はなされていません。
- 7) 本製品を下記のような特に高い信頼性が要求される機器等に使用される際には、ロームへ必ずご連絡の上、承諾を得てください。
・輸送機器（車載、船舶、鉄道など）、幹線用通信機器、交通信号機器、防災・防犯装置、安全確保のための装置、医療機器、サーバー、太陽電池、送電システム
- 8) 本製品を極めて高い信頼性を要求される下記のような機器等には、使用しないでください。
・航空宇宙機器、原子力制御機器、海底中継機器
- 9) 本資料の記載に従わないために生じたいかなる事故、損害もロームはその責任を負うものではありません。
- 10) 本資料に記載されております情報は、正確を期すため慎重に作成したものです。万が一、当該情報の誤り・誤植に起因する損害がお客様に生じた場合においても、ロームはその責任を負うものではありません。
- 11) 本製品のご使用に際しては、RoHS 指令など適用される環境関連法令を遵守の上ご使用ください。
お客様がかかる法令を順守しないことにより生じた損害に関して、ロームは一切の責任を負いません。
本製品の RoHS 適合性などの詳細につきましては、セールス・オフィスまでお問合せください。
- 12) 本製品および本資料に記載の技術を輸出又は国外へ提供する際には、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」など適用される輸出関連法令を遵守し、それらの定めにしたがって必要な手続を行ってください。
- 13) 本資料の一部または全部をロームの許可なく、転載・複写することを堅くお断りします。



ローム製品のご検討ありがとうございます。
より詳しい資料やカタログなどご用意しておりますので、お問合せください。

ROHM Customer Support System

<http://www.rohm.co.jp/contact/>