

面実装抵抗器の アプリケーションにおける熱管理

1.はじめに

現代のプリント回路基板 PCB の電子部品の密度から、また、増加している印加電力からも、熱管理は最も大きな関心事です。この両方の要因によって、電子部品および全体の組立工程が、より高い温度になりつつあります。

しかし、あらゆる電気部品が、材料特性と信頼性面のために定められた動作温度限度の範囲内で使われなければなりません。表面実装型抵抗器のような電子デバイスが過熱することを妨げるために、このアプリケーション・ノートと実験結果は提供されます。

2.電気損失と伝熱 温度上昇に結びつく電気損失（ジュール効果）によって、熱は抵抗器で放散します。一旦温度の上昇がはじまってから、熱は流れ始めます。

（熱容量と装置の熱の伝導属性に依存する）特定の時間の後、定常条件に達します。一定の熱流量 P_H は、放散された電力 P_{el} （図 1）と一致します。ボディを通しての熱伝導の性質が電気伝導におけるオームの法則と類似しているため、等価式(5)のように書けます。

$$P_H = \frac{\theta_1 - \theta_2}{R_{th}} \quad (1)$$

よって

$$R_{th} = \frac{L}{\lambda A} \quad (2)$$

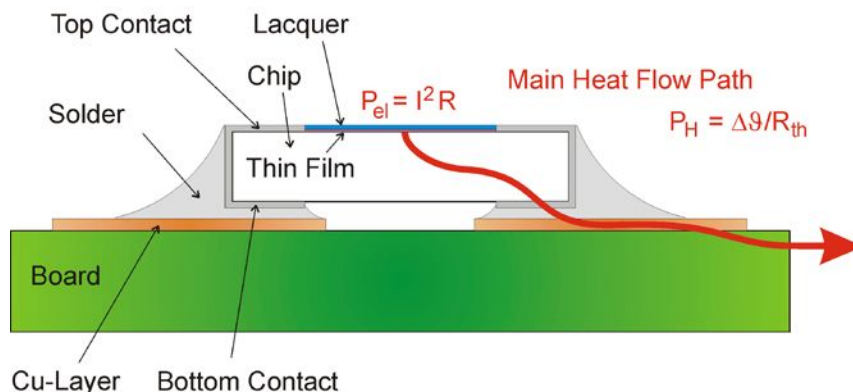


図 1 . PCB の上のチップ抵抗器の主な熱フローの通り道の略図

K/W（1ワット当たりの温度）の単位で、熱抵抗がどこに存在しているか、それはほとんどの原材料に関しては独立した温度で、なおかつ電子アプリケーションにおける付加状況にある温度です。

3.0 熱抵抗

3.1 熱抵抗の概略モデル

PCB の上の表面実装抵抗器のような電子デバイスの熱伝導は、熱抵抗の概略モデルで記述されることが出来ます。ここでは、薄膜からラッカー・コーティングを通しての伝導による、そして、自由空気対流による周りの空気（周囲温度）までの直接の熱伝達は無視されています。このように、熱はアルミナ基盤、金属チップ接触、はんだ接合部、そして最後に PCB からの熱は、自然な対流（図 2）によって、周囲の空気へ移されます。次のページのように、全体的な熱抵抗 R_{thFA} は簡略化によって、対応する温度がインターフェースにある一連の熱抵抗と言えます。

$$R_{thFA} = R_{thFC} + R_{thCS} + R_{thSB} + R_{thBA} \quad (3)$$

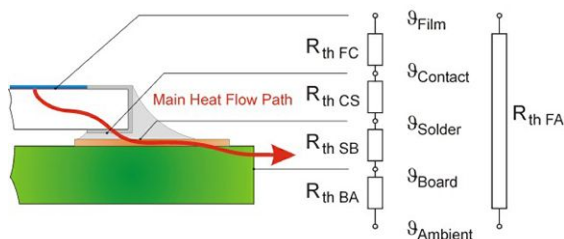
T 面実装抵抗器の アプリケーションにおける熱管理

上記(3)の各々の熱抵抗の等価回路は、図 2 に示されます。

- $R_{th\ FC}$ 抵抗層、サブストレートと一番下の接触を含んだ抵抗器構成要素の内部の熱抵抗
- $R_{th\ CS}$ はんだ接合部の熱抵抗
- $R_{th\ SB}$ ランド・パッド、回路経路と主成分材を含む PCB の熱抵抗
- $R_{th\ BA}$ PCB 面から環境（周囲の空気）へ電熱される熱抵抗
- $R_{th\ FA}$ 抵抗器の薄膜から環境（周囲の空気）への全体的な熱の抵抗

熱抵抗の等価回路でノードのために与えられる温度は、それぞれのインターフェースにあてはまります。

- Film Contact** ホットゾーンにおける最大薄膜皮膜温度
底の接触部とはんだ接合部間のインターフェースの温度（最小限のサイズのはんだ接合部にあてはまってそれ以外は特定の並列な熱抵抗が導入されるかもしれませんが）。
- Solder** はんだ接合部とランド・パッド（PCB の銅の外装材）の間のインターフェースの温度
- Board** PCB の表面の温度
- Ambient** 周囲の大気温度



熱抵抗の基礎

熱エネルギーは、3 種類の基本的なメカニズム（伝導、対流および放射）で移されるでしょう

$$P_H = P_H(\text{伝導}) + P_H(\text{対流}) + P_H(\text{放射}) \quad (4)$$

伝導

伝導のための熱流量は、一次元の勾配 dv/dx と比例しています。ここで、 $[W/mK]$ の単位で示される λ は熱伝導度で、そして A は熱流における断面積です。

$$P_H = \frac{dQ}{dt} = -\lambda A \frac{dv}{dx} \quad (5)$$

これは $[W]$ の単位です。長さ L による単純な立方体、および異なる温度 1 と 2 における 2 種類の並列インターフェース A に関しては、熱伝導の方程式は下記のとおりです。

$$P_H = \lambda A \frac{v_1 - v_2}{L} \quad (6)$$

対流

対流による熱流量は、方程式(5)と同様で記述できます。

$$P_H = \alpha A (v_1 - v_2) \quad (7)$$

ここで、 α は対流係数、 A は温度 v_1 の表面積、そして v_2 は周囲の流体（例えば空気）の温度です。係数 α は流体（熱容量と粘性）の具体的な特性と流体運動（流量、強制的/強制されてない対流と幾何学的形状）の状況を含みます。その上、それ自身の温度差 $v_1 - v_2$ に依存します。このように、方程式(6)は単純に見えますが、伝熱問題を解決するために、係数 α はたいてい近くされなければならないか、実験的に決定されなければならないか、

放射

熱の放射は、方程式(8)のシュテファン・ボルツマンの法則によって記述されますので、これにより、同一の放射率と表面積と仮定すると異なる温度 1 と 2 （方程式(9)）での 2 つの物体の間の放射をもたらします。

$$P_H = \epsilon \sigma A v^4 \quad (9)$$

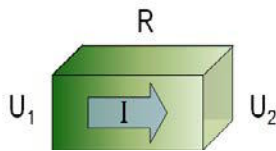
$$P_H = \epsilon \sigma A (v_1^4 - v_2^4) \quad (10)$$

ϵ は放射率、 σ は $5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ でステファン・ボルツマン定数、 v は表面 A の温度です。しかしながら、低温における貢献が小さい故に、方程式(5)に従う放射線による伝熱はこのアプリケーション・メモで考慮されません。通常、総熱量の 90%以上は熱伝導によって消費されます。しかし、赤外線熱結像方程式については、(9)は基本的な付加条件で

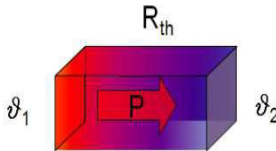
T 面実装抵抗器の アプリケーションにおける熱管理

電気抵抗と熱の抵抗の例え

電気抵抗器 R を通過している電流 I は、電位 U_1 と U_2 の差分と比例しています。



熱抵抗 R_{th} を通過している熱フロー定格 P は、 v_1 と v_2 の温度差に比例しています。



電気抵抗器と同様で、アセンブリにおける複数の対象の熱抵抗は直列または並列の熱抵抗器のネットワークによって説明されることができ、以下の方程式で2つの熱抵抗によって示されます。

$$R_{th (series)} = R_{th 1} + R_{th 2} \quad (10)$$

$$1/R_{th (parallel)} = 1/R_{th 1} + 1/R_{th 2} \quad (11)$$

3.2. 内部の熱抵抗

内部の熱抵抗 $R_{th FC}$ は、主にセラミック・サブストレートで測定される構成要素に特有の値です（熱伝導度と幾何学で決定されます）。

3.3 はんだ接合部の熱抵抗 従来のハンダ付けについては、熱の抵抗 $R_{th CS}$ ははんだの比較的高い熱伝導度と流れる通路（およそ 1K/W）の断面区域と長さの大きな比率のため、取るに足りません。これは特に小さなスタンドオフにあてはまります。より大きなはんだ接合部は、わずかに熱の伝導を強化している底の接触と、さらなる並列の熱抵抗器（ランド・パッドへの横の接触から）の間の1つの熱抵抗と考えられます。このように、我々はそのはんだ接合部を含む構成要素の全体的な熱の抵抗に近くなることができます。

$$R_{th FS} \approx R_{th FC} + R_{th CS} = R_{th FC} \quad (12)$$

不適当なハンダ付けの場合、熱の抵抗 $R_{th CS}$ がより高い全体的な熱抵抗につながる事に注意してください。特に、はんだまたは不十分なはんだ濡れのポイドは、重要な接触の熱抵抗または流れ通路の減少した断面区域を引き起こすかもしれないで、悪化する熱のパフォーマンスに至ります。

3.4 特定用途に起因した熱抵抗

全体的な熱抵抗 $R_{th FA}$ は、抵抗器の構成要素自体の、そして、環境に熱を放散させるその能力を含む PCB の熱の特徴を含んでいます。はんだから周囲への熱抵抗 ($R_{th SA}$) は基盤設計に強く依存します。そしてそれには、全ての熱抵抗 $R_{th FA}$ (特にとても低い部品に特有の $R_{th FC}$ の値のために) に対する相当な影響があります。ボードから周囲への熱抵抗 ($R_{th BA}$) は、気流のような環境状況を含みます。材料と (基盤のサイズなどの) 寸法の選択のが、回路デザイナーにとって非常に重要な選択となります。

4 熱抵抗の実験判定

4.1 赤外線熱結像 赤外線熱結像は、熱の実験のために広く使われています。図 3 の中で、室温の 200mW の負荷の 0603 チップ・レジスタの赤外線熱のイメージは示されます。ラッカー表面の中央における最大温は観察されることが出来ます。はんだ接合部の温度は、最大でも 10°C を下回ります。異なる周囲温度は、観察された温度のシフトにつながります。

4.2 全体的な熱抵抗の判定

安定した状態における消費電力の機能として、熱抵抗は、最大皮膜温度を見つけることによって決定されることが出来ます。個々の部品の全体的な熱抵抗 $R_{th FA}$ の決定のために、標準的なテスト基盤が使われました。中心位置における部品は測定されました。よって、方程式(1)は、書き直されることが出来ます。

$$R_{th} = \frac{\vartheta_{Film} - \vartheta_{Ambient}}{P_H} \quad (13)$$

単純な線形衰減は、0603 のチップ抵抗器で、 $R_{th FA} = 250$ K/W の熱抵抗値に直接なります。

T 面実装抵抗器の アプリケーションにおける熱管理

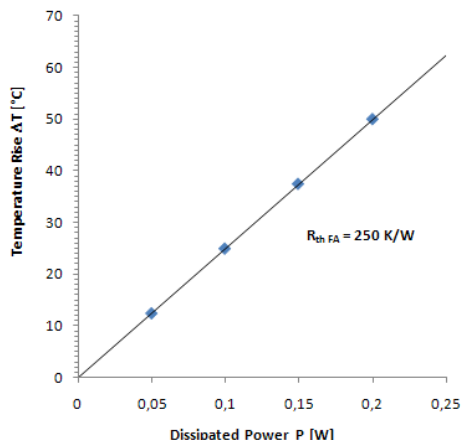


図 4. 消費電力の機能用に 標準的なテスト基盤に載っている MCT0603 というチップ抵抗器の温度上昇

4.3 集積レベル

PCB (図 5 の A) に取り付けられる一つの 1206 のチップ抵抗器は、全体的な熱抵抗 $R_{th FA}$ (= 157K/W、図 6) につながっています。さらに、基盤 (各々同じ負荷、図 5 の B と C) のさらなるレジスタは、強化された温度上昇につながっています 5 個の抵抗器で 204K/W、10 個の抵抗器で 265K/W)。

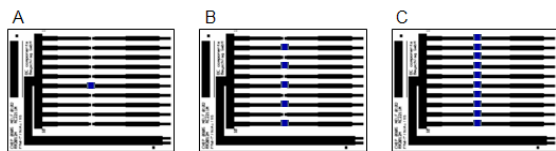


図 5. 標準的なテスト基盤上での (A)1 個, (B)5 個, (C)10 個 のチップ抵抗器の略図

すべてのデータは、標準的なテスト基盤に由来します。しかしながら、データは異なる部品の比較のために、そして、与えられたデザインによる熱消費能力の一般的な評価のために役に立つことができます、ただし異なるデザインによって、絶対値は異なります。また、データは数のシミュレーションを確かめるために、すぐに役立つことができます。

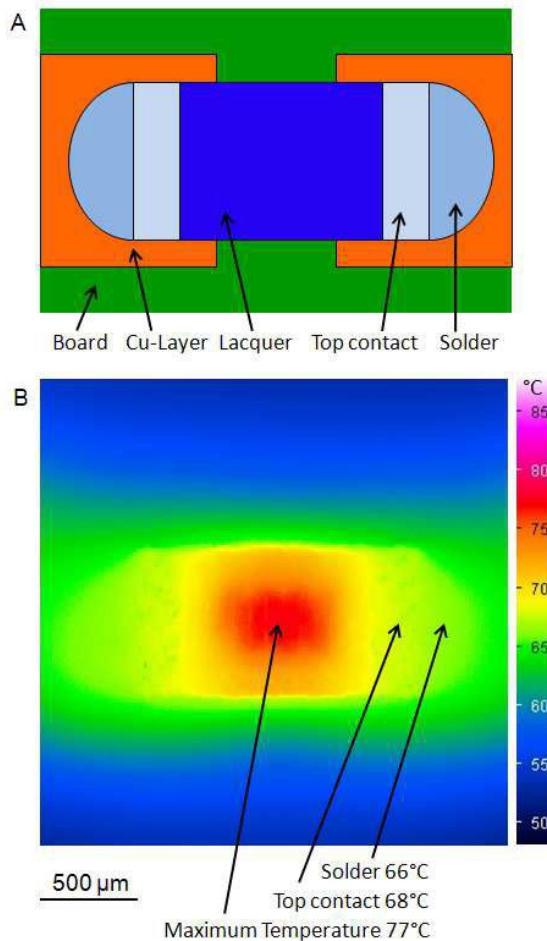


図 3 (A) 0603 のチップ抵抗器の実装概略図と(B) 周囲温度 23°C 標準テスト基盤の環境での 200mW における赤外線 サーマル・イメージ

4.4. 部品の内部の熱抵抗の判定 無限に広がった熱

伝導率と熱容量で基盤を理想的なボディと取り替えると、下記のようになります (現実の世界では、図 8 のような、銅のかたまりと考えることが好ましいです)。

$$R_{thFA} \approx R_{thFC} + R_{thCS} = R_{thFC}$$

T 面実装抵抗器のアプリケーションにおける熱管理

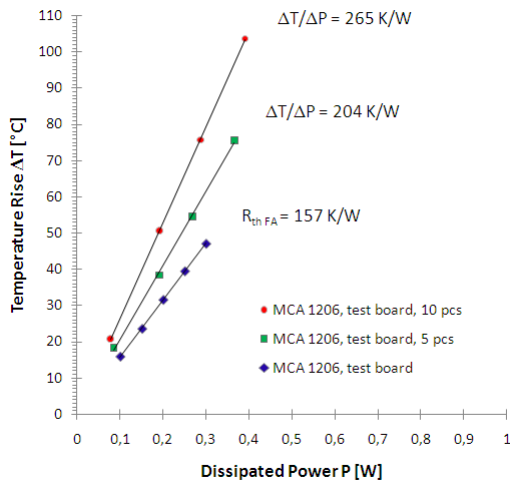


図 7. 電力消費の作用による 温度上昇と熱の抵抗 $R_{th FA}$ は、実験により決定された最大皮膜温度に由来

標準的な基盤は、2つの電気的に絶縁した銅ブロック (60×60×10mm) と取り替えられました。図9の中で、内部の熱抵抗 $R_{th FC}$ の値は、いくつかの受動部品 (例えば図8で示すチップ抵抗器、チップ抵抗器アレイ、および MELF 抵抗器) によって与えられます。その結果、熱抵抗は、接触の幅 (図9、表1) にともなって減少しています。熱抵抗とチップ・サイズの最高の比率は、広い端子の抵抗器 (長辺端子抵抗器) で提供されます。0406 サイズの長辺端子チップ抵抗器 (30K/W) の熱抵抗は、1206 のチップ抵抗器の熱抵抗 (32K/W) とほとんど同じです。

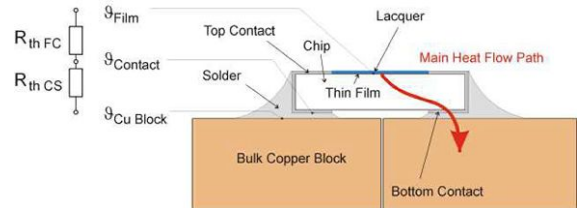


図 8. 主な熱フロー経路の略図と、対応したバルク銅ブロックにおけるチップ抵抗器の熱抵抗の概略等価回路

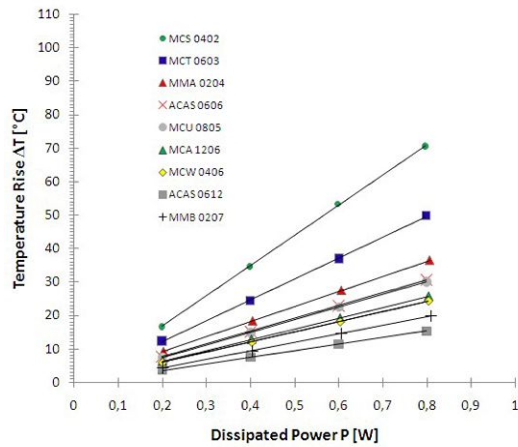


図 9. 電力消費の作用による 温度上昇と熱の抵抗 $R_{th FC}$ は、実験により決定された最大皮膜温度に由来

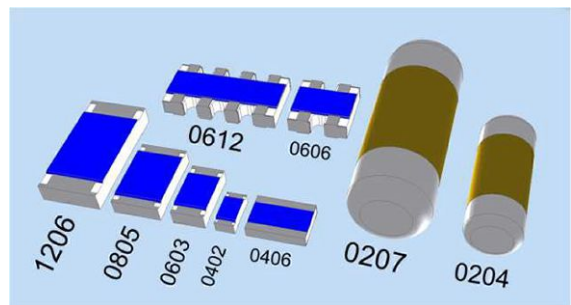


図 10. 異なるタイプとサイズの面実装抵抗器

T 面実装抵抗器の アプリケーションにおける熱管理

表 1 表面実装抵抗器のために実験に基づき決定した 内部の熱抵抗器

Resistor component size	$R_{th FC}$ [K/W]
0406	30
1206	32
0805	38
0603	63
0402	90
ACAS 0612	20
ACAS 0606	39
MELF 0207	26
MELF 0204	46

5. 結論 設計と全てのアセンブリの環境状況は、主に全体的な熱の抵抗 R_{thFA} を決定します。

示されるように、熱を消費している部品の集積レベルの低減化はまた、個々の部品の温度の低減化にもつながります。

確かに、これは進行中の小型化に両立しませんが、特定の部分的な基盤のエリアで考慮されるかもしれません。

基盤設計の変化の他に、熱拡散は長辺端子抵抗器（例えばチップ・サイズ 0406）のような熱拡散が最適化された部品の選択によって、部品レベル上でかなり強化されることができます。表面実装型抵抗器の使用で過熱するのを妨げることに、いくつかの基本的な重要な点は役立ちます。

- 熱放散は熱抵抗の概略モデルで記述されることができ、十分な空間と熱の画像の赤外線熱イメージによって分析されることができます。
- 部品に特有の内部の熱抵抗 $R_{th FC}$ は、実験的に決定されることができます
- 全体的な熱抵抗 $R_{th FA}$ は、基盤と抵抗器 部品自体の、および環境に熱を放散させる その能力の熱特性を含んでいます。それは 通常、後の外部の影響に影響されます。

- 熱管理の責任は（特に基盤設計とアプリケーションの環境条件に関して）回路設計者に割り当てられます。
- 抵抗層をカバーしている保護膜の中心が最大温度に達します。はんだ接続に注意を払う必要ありまして、一般的に、最大温度を 10°C くらい下回る温度が必要で、そして、それははんだ溶解（合金段階または基盤層との間の剥離）と関係しているかもしれません。これは、高い周囲温度で特に注意すべき点です。
- はんだと基盤の主成分だけでなく、温度に安定した抵抗器部品の選択は欠かせません。薄膜チップ抵抗器（最高 175°C の非常に高い動作温度）のような車搭載製品は、非常に多くのアプリケーションに適応可能です。
- 熱消費に対する、より改良された熱パフォーマンスは、下記の要素で構成されます。
 - 基盤設計（例、素材、ランドパターン、回路パターン）
 - 熱を消費する部品の集積レベルの緩和
 - 熱消費を最適化した部品（長辺端子抵抗器）