

トレンドを探る

プリント基板の新放熱技術について

(株)ワイティーエル / 近藤 良夫、瀬尾 和隆

1. はじめに

半導体は産業のコメといわれて久しいが、半導体が産業のコメだとしたらプリント基板はさしずめ良いコメが育つのに欠かせない田んぼといったところだろうか。そして、この田んぼも時代の変遷を受けて、狭スペースでも効率的に美味しいコメが取れるように層を増やし、極小で超ハイスペックのコメを狭ピッチで耕すなど、基板業界も技術力を高めてきた。

当社は電子・電気機器の設計を中心にコンシューマ向け、産業用機器向けの受託開発・受託製造を行い、多種多様の基板設計および機器製造の開発を手掛けてきた。その中には大電流や狭ピッチなどで放熱に課題を残している基板の対策をするなど技術的なアプローチや、その他に半導体などの電子部品、静電気対策製品の仕入れ・販売も行っている。

電子機器に於いて小型化・省電力化が進むなかで高速演算処理IC・高密度実装基板の放熱技術は重要な要素となっている。また、大電力制御基板や多数のLEDを実装した照明機器用基板の発熱は特に大きく高性能な放熱技術が必要になっている。

本稿では複数のLEDを搭載したLED実装基板の放熱を中心に新放熱技術について紹介させていただく。

2. LED電源駆動方式について

LEDチップは電流駆動により動作するが、その電源駆動方式にはDC(直流)駆動タイプのものとAC(交流)駆動タイプのものがあり、それぞれに一長一短がある(図1)。

現在の主流はDC駆動タイプで、①豊富な種類の中からLEDチップを選択可能だが、②商用電源で使用する場合には交流から直流に変換するための直流電源装置が必要となり、その実装スペースおよびLED発光部分の放熱以外に電源部の放熱が必要となる。③さらにLED照明機器の信頼性はLEDチップの寿命が非常に長いのに比べてアルミ電解コンデンサなどの部品を使った直流電源装置の寿命により大きく影響を受けることがある。

それに比べAC駆動タイプは、①ACダイレクト点灯方式に

より電流制限抵抗以外の電子部品は不要となり、直流電源装置とその実装スペースが不要なため照明機器として小型化が容易で構造単純化が図れる。②さらに照明機器の寿命は直流電源装置に影響されないためLEDチップ自体の寿命とほぼ同じとなる。そのため信頼性の高い照明機器を提供することが可能となる。③AC駆動タイプはLEDチップに外部抵抗を通して交流電圧が直接印加され、LEDチップ内の正極電圧で発光するチップと負極電圧で発光するチップが一体化された集積度の高いLEDチップとなっている。そのため、発光素子と整流素子の機能の高集積度の影響により、チップで発生する熱を効率良く放熱することが必要となり放熱技術がより重要な役割を担っている。

LEDチップはDC駆動タイプ、AC駆動タイプのいずれにしても、LED照明装置から出る光の中には赤外線の量が従来の白熱灯や蛍光灯と比べて非常に少ないためクールな照明となっているが、現在の発光効率でもLEDで消費される電力の約7割は熱となって放熱されるのが現状である。そのため、半導体であるLEDでは温度が上昇すると発光効率や寿命が低下するなどの不具合が生じるためLEDを高密度で実装するLED照明用基板では効率良い放熱技術が求められている。

3. 新放熱技術開発の狙い

当社の得意分野である装置開発プロセスと設計開発技術力を駆使し、市場拡大が見込まれる省資源・省電力向けのエレクトロニクス製品の開発に着手している。

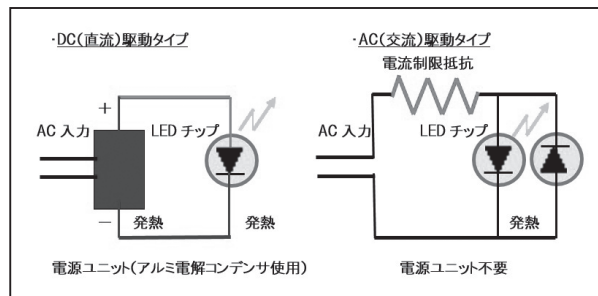


図1 電気回路接続イメージ

一般的な発熱を伴う部品の放熱のためには、トランジスタ (TR)、電界効果トランジスタ (FET)、ダイオード (DI) などのリード部品では個別に小さいアルミ製放熱フィンを取り付けたり、集中的に発熱の大きいCPU (中央演算処理IC)、GPU (グラフィック演算処理IC) などでは放熱フィンの他に個別に小型ファンを取り付けたりして局所的に放熱を行っている。

また、基板に多数の発熱部品を搭載するプリント配線基板では一般的なガラスエポキシ基板 (ガラエポ基板) に代わってメタル基板として主にアルミニウム基板 (アルミ基板) が使用されている。

特に発熱量の大きい高輝度LEDチップを多数搭載する照明用基板では速やかにチップ温度を下げるためにアルミ基板が使用されている。

しかしながら、アルミ基板はガラエポ基板に比べて価格が高く、10倍程度のコストが掛かるという欠点がある。

ここでは、コスト低減のためにアルミ基板の代わりに従来のガラエポ基板を使用して放熱を改善する放熱技術を提供する方式を以下に示している。

この当社独自の放熱技術により放熱抵抗の改善を図り、これによりアルミ基板使用時と同等以上の効果を引き出すことができた。

4. 製品差別化ポイントと優位性

○新放熱構造

プリント配線基板に搭載したLEDチップの背面放熱面に同寸法の丸穴を基板に空け、基板と同じ厚さの銅板チップを介して放熱器に直接接触させた効率良い当社独自の新放熱技術となり、現在、特許の申請を行っている。

高価なアルミ基板を使用しないで通常のガラエポ基板を使用できるため、プリント配線基板と放熱器との組み合わせでコスト低減に効果を発揮している。

さらに、熱伝導率の改善による放熱性向上でLED (部品) の

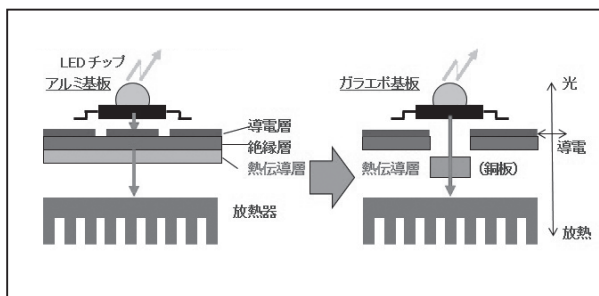


図2 放熱構造イメージ図(断面)

信頼性向上(長寿命化)が期待できる。

この方式はSMT (表面実装部品) の形状に大きく影響されるが、部品の背面放熱面と電極端子とが分かれている部品であればこの放熱構造を応用できる。放熱面の形状も丸型以外の矩形などでも効率的な実装構造で対応可能となる。

金属の熱伝導率λは熱の伝わり方を示す指標であり、単位時間あたりにある決まった面積を通過する熱エネルギーを温度の勾配で割ることでも求められる。

熱伝導率が高い金属ほど熱がよく伝わるともいえる。温度によって変わるため、どの温度での値なのかを確認する必要がある。

たとえば、銅：398、アルミ：236、ニッケル：90、鉄：84、ベークライト：0.3などとなる (上記熱伝導率λの単位は、[W/m・K]となる。at 25 (°C))。

以上のとおり、銅とアルミニウムの熱伝導率を比べてみると、銅板はアルミ板に比べて1.7倍近くの熱エネルギーを伝導することができる。したがって、LEDの放熱面に直接接触する部分にアルミ基板のアルミを使用せずに銅板チップを使用することで、その部分の熱を速やかに外部放熱器に熱伝導することができることになる(図2)。

5. 放熱温度実験データ

放熱構造モデルを単純化して新放熱構造モデルでの放熱状態を以下の通り実験を行った。今回は前出のAC駆動タイプのLEDチップ(4W) 1個を使用している(図3)。

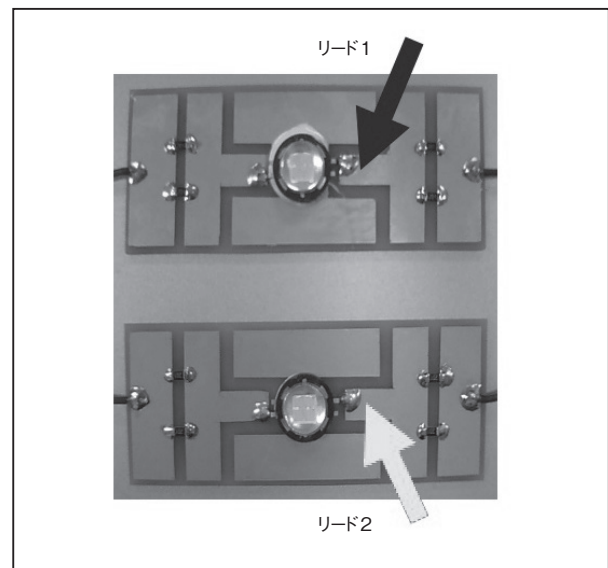


図3

①標準モデル

ベークライト基板（ベーク基板）にLEDチップ（4W）1個を直接実装し、その背面に放熱器を密着させた状態のモデルを構成した。

②新放熱構造モデル

ベークライト基板（ベーク基板）にLEDチップ（4W）1個を実装し、LEDチップ背面の放熱面と同じ寸法の丸穴を開け、その部分に同サイズの銅板チップを挟んで放熱器を密着させた状態のモデルを構成した。

<実験・放熱構造モデル>

①標準モデル

LEDチップ（4W）1個をベーク基板の銅箔に密着して取り付け（電極端子とは分離）、基板に端子のハンダ接続を行う。

基板の裏面には放熱器を取り付けている（シリコングリース使用）。

②新放熱構造モデル

LEDチップ（4W）1個をベーク基板に丸穴を開けた所に同サイズの銅板チップを挟んで、基板に端子のハンダ接続を行う。

基板の裏面には放熱器を取り付けている（シリコングリース使用）。

両モデル共に放熱器はフィン形状の小型放熱器を使用している。

○結果

LED上昇温度データは、表1のとおりである。

標準モデルのリード温度1と放熱器温度の差3.2℃が、新放熱構造モデルでは7.9℃の差になり、リード温度が7.9℃下がり、放熱器温度も3.2℃下がり好ましい状態を示している。

ここで、放熱状態が過渡状態から安定した時の定常状態での熱抵抗を計算してみることにする。

LEDの特性として、消費電力4W / 1個、LED内部温度 $T_j = 130^\circ\text{C}$ 、動作温度 $T_{op} = 85^\circ\text{C}$ 、外気温度 $T_a = 25^\circ\text{C}$ とする。

- 熱抵抗 $\theta [^\circ\text{C}/\text{W}] = \Delta T [^\circ\text{C}] / \text{熱流 } Q [\text{W}]$ で示される。

熱流 Q の単位[W]は1秒間に流れる熱量として[J/s]を表している。すなわち、定常状態では「消費電力 $P [\text{W}] = \text{熱流 } Q [\text{W}]$ となる(1W = 1J/s)。

放熱器を取り付けたLED実装基板の熱抵抗は以下の通りとなる。

ここで、ケース温度はLEDチップ背面放熱面の温度と同じ意味で使用している。

LEDチップの周囲の空気に対する熱抵抗 θ は
 $= [\text{チャンネル-外気間熱抵抗 } \theta_{ch-a}]$ であり、分解すると
 $= [\text{チャンネル-ケース間熱抵抗 } \theta_{ch-c}]$
 $+ [\text{ケース-放熱器間熱抵抗 } \theta_{c-h}]$
 $+ [\text{放熱器-外気間熱抵抗 } \theta_{h-a}]$

として和の計算式が成り立つ。

LEDチップの周囲の空気に対する熱抵抗 θ を実際に計算してみると、

$$[\theta_{ch-a}] = (130 - 25) / 4\text{W} = 26.25^\circ\text{C}/\text{W}$$

となる。

これを分解して考えると

①標準モデルでは

$$= \{(130 - 85) + (85 - 53.2) + (53.2 - 25)\} / 4\text{W}$$

②新放熱構造モデルでは

$$= \{(130 - 85) + (85 - 50) + (50 - 25)\} / 4\text{W}$$

いずれの場合も下線部分は実測値となっているが、その他は推定値となります。

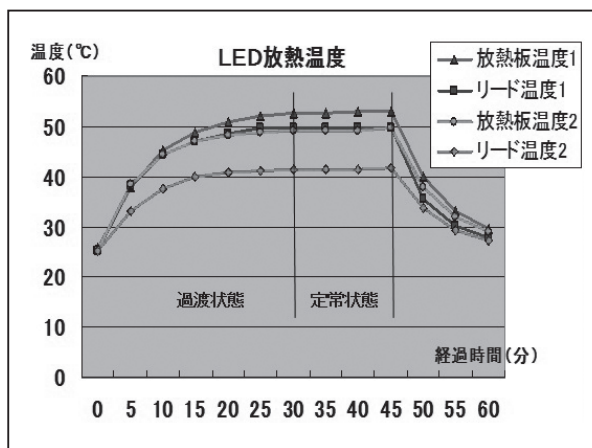


表1 LED上昇温度データ

今回使用した放熱器の性能は同じため、

$$[\text{チャンネル放熱器間熱抵抗}\theta_{ch-h}] = [\theta_{ch-a}] - [\theta_{h-a}]$$

となる。したがって、それぞれの $[\theta_{ch-h}]$ は

$$26.25\text{ }^{\circ}\text{C/W} - (53.2 - 25) / 4\text{W} = 19.2\text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

$$\rightarrow 26.25\text{ }^{\circ}\text{C/W} - (50 - 25) / 4\text{W} = 20.0\text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

に変化し、

$20.0\text{ }^{\circ}\text{C/W} - 19.2\text{ }^{\circ}\text{C/W} = 0.8\text{ }^{\circ}\text{C/W}$ 分だけ熱抵抗が改善されたことになる。

厳密には標準モデルではLEDチップ下のベーク基板銅箔による放熱が機能しているため、実際は数値以上の改善効果が発揮されている。

○照明器具への応用

このLEDチップを複数個使用して、新放熱技術を使用した場合の放熱器の性能を計算してみると以下のようになる。

たとえば、48Wの照明器具を作る場合、4WのLEDを12個実装することになる。放熱器以外の熱抵抗が分かっているため、48Wまで使用できる熱抵抗を考えます。

使用する環境の最高気温に余裕をもって外気温度考えて $T_a = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ とする。すると温度差は

$$T_{ch-a} = 130\text{ }^{\circ}\text{C} - 50\text{ }^{\circ}\text{C} = 80\text{ }^{\circ}\text{C} \text{となる。}$$

この温度差で、48Wの消費電力で定常状態になる熱抵抗 θ_{ch-a} は

$$\theta_{ch-a} = T_{ch-a} / P_{ch} = 80\text{ }^{\circ}\text{C} / 48\text{ }^{\circ}\text{C} \div 1.67\text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

となる。

θ_{ch-a} の値が $1.67\text{ }^{\circ}\text{C/W}$ より大きくなると、48W消費させたときの温度差 T_{ch-a} は $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ を超えてしまうので、

$$\theta_{ch-a} \leq 1.67\text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

の範囲で考える必要がある。

$[\text{チャンネル外気間熱抵抗}\theta_{ch-a}] = [\text{チャンネルケース間熱抵抗}\theta_{ch-c}] + [\text{ケース外気間熱抵抗}\theta_{c-a}]$ と合わせると、

$$\theta_{ch-c} + \theta_{c-a} \leq 1.67\text{ }^{\circ}\text{C/W} \text{となり、}$$

$$\theta_{ch-c} = (130 - 85) / 48\text{W} \div 0.94\text{ }^{\circ}\text{C/W} \text{なので}$$

$$\theta_{c-a} = 1.67 - 0.94 \leq 0.73\text{ }^{\circ}\text{C/W} \text{となる}$$

さらに、 $[\text{ケース外気間熱抵抗}\theta_{c-a}] = [\text{ケース放熱器間熱抵抗}\theta_{c-h}] + [\text{放熱器外気間熱抵抗}\theta_{h-a}]$ であることから

$$\theta_{c-h} + \theta_{h-a} \leq 0.73\text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

となる。

ここで、 $[\text{ケース放熱器間熱抵抗}\theta_{c-h}]$ を考えるにあたり、LED放熱面との熱接触面にはシリコングリースを塗布しており、銅板の熱伝導率 $\lambda (398\text{ }^{\circ}\text{C/W}\cdot\text{m}\cdot\text{K})$ が極端に高いため計算上はシリコングリース程度を考慮して

$$\theta_{c-h} = 0.20\text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

として計算すると、

$$\theta_{h-a} = 0.73 - 0.2 \leq 0.53\text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

となり、放熱器の熱抵抗は $0.53\text{ }^{\circ}\text{C/W}$ 以下のものが必要となる計算になる。

従って、LEDの性能を発揮するためにはLED照明器具には熱抵抗が $0.53\text{ }^{\circ}\text{C/W}$ 以下という高性能な放熱器が要求されていることとなります。

7. 高性能放熱器について

ここで、参考までに上記で必要な放熱器の具体例を示す。

たとえば、図4のようなアルミ製高性能放熱器を考えてみる。

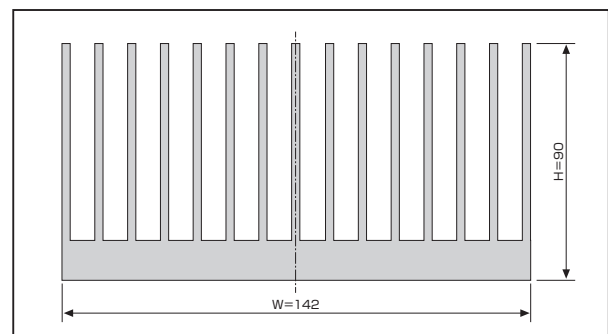


図4 放熱器 断面図

放熱器寸法としてアルミ材で幅 (W) = 142 × 高さ (H) = 90 として長さ (L) が可変とした場合の放熱器の放熱特性を表2は以下の通りとなる。フィン thickness は 2mm 程度としている。

以上のような高性能放熱器であれば、 $\theta_{h-a} \leq 0.53 [^{\circ}C/W]$ 程度を満たすことができることになる。

また、この放熱器の放熱特性図は以下の通りとなっている (表3)。

8. 今後の課題

最後となるが、今回の新放熱技術についての特徴は何といても部品レベルのコスト低減に大いに効果を発揮している。すぐにでも放熱の技術課題をクリアされたいかたには LED 放熱基板もあるので検証を深めていただければと思う。いよいよ、IoT や AI の時代がスタートしているが、そういった技術を支えるべく、ハードもいたるところでかつ安価で使い勝手よく使われるように放熱にフォーカスして製造まで一貫して取り組む必要性を感じている。

最後までお読みいただき、ありがとうございます。

当社では今後とも、実装に関わる技術の改善や装置組立工程の改善によりエコな商品開発に努めて行きたいと考えている。また、新規技術の創造はもとより、特許申請など社内への技術蓄積を図っていく所存である。

W=142、H=90

	熱抵抗 (K/W)	表面積 (cm ²)	備考
A (L=100)	0.57	2900	材質=Al
B (L=150)	0.45	4300	
C (L=200)	0.37	5700	

表2 高性能放熱器 特性表

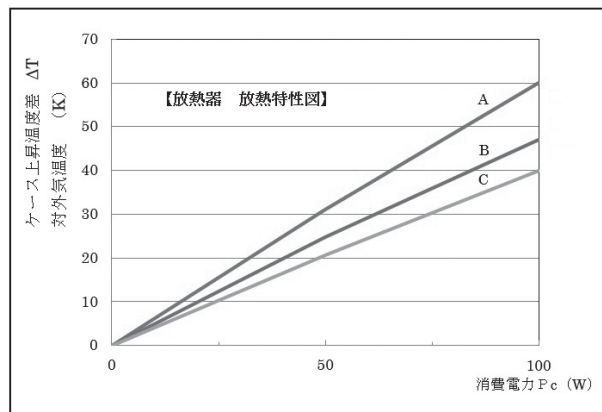


表3 放熱器 放熱特性図

多方面の皆様からのご支援・お問い合わせを心よりお待ちしております¹⁾。

< 参考URL >

1) <http://www.ytlab.co.jp/contact>