プリント基板の有効熱伝導率測定に関する基礎研究

Fundamental Study on Effective Thermal Conductivity Measurement of Printed Circuit Board

○ 橋本 克也 (熊本大) 正 富村 寿夫 (熊本大) 正 小糸 康志 (熊本大)

Katsuya Hashimoto, Toshio Tomimura and Yasushi Koito

Kumamoto University, 2-39-1 Kurokami, Chuo-ku, Kumamoto 860-8555

Effective thermal conductivities in thickness and in-plane directions of a printed circuit board (PCB) with highly anisotropic heat transfer nature are quite important to perform a rational thermal design of electronic equipment. Experimental study has been conducted by applying a simple evaluation method of the thermal conductivity. In this study, thermal conductivities of the glass epoxy board and the Bakelite board in in-plane direction have been evaluated by measuring the temperature distribution of the board surface by using an infrared thermometer.

Key Words: Printed circuit board (PCB), Thermal conductivity, Glass epoxy, Bakelite paper

1. 緒 言

熱伝導率が大きく異なる多層平板においては、1次元熱伝導モデルを適用する従来の方法では、必ずしも妥当な有効熱伝導率が評価できるとは限らず、明確な指針も示されていないようである。電子機器に多用されているプリント基板もこのような多層平板の一種であり、厚さ方向と面内方向で強い異方性を有する基板の有効熱伝導率評価法の確立は、合理的な熱設計を行う上で不可欠である。

著者らは、異方性を有するプリント基板用材料について、厚さ方向の熱伝導率測定を行うとともに、短冊状に切り出した材料を90°回転し接着した積層試料を用い、面内方向の熱伝導率を簡易的に評価するための一連の実験的研究⁽¹⁾を行っている。

ここでは、赤外線放射温度計により、プリント基板用材料の表面と裏面の温度分布を非接触測定し、基板の面内方向の熱伝導率を測定した結果について報告する。

2. 測 定

2. 1 測定装置

熱伝導率測定装置の概要を Fig.1 に示す。一定荷重の条件下で測定を容易に行うために、天秤型を採用した。装置は本体、加熱部、冷却部、参照ロッドに挟まれた測定部により構成されている。上部黄銅製参照ロッドには、フィルムヒーターが貼り付けられ、銅製円錐台ブロックとシリコーンエラストマーを介して接続されている。フィルムヒーターの上面には断熱用ポリカーボネイト製ブロックが設置されている。一方、同寸法の下部黄銅製参照ロッドの底面には冷却用の銅ブロックが設置されている。これら上下参照ロッド間に試料が挟まれており、接触面には熱抵抗を軽減するためのグリースが塗布されている。冷却ブロックには恒温槽から一定温度の冷水が流されている。なお、周囲空気の影響を抑えるために、測定部の周りを紙製の箱で覆った。参照ロッドと試料との接触面から 15, 22, 29, 36mm の各位置に、深さ 5mm の温度測定点があり、そこに銀ペーストを塗布したφ0.5mm の T 型シース熱電対を挿入した。なお、上下参照ロッドの熱伝導率は、同一ロッドから製作した、長さ 90mm の試験片による熱流束および温度の測定結果から、113 W/(m・K)であった。

2. 2 測定方法

予め試料の厚さ方向の熱伝導率を測定し、その熱伝導率を用いて面内方向の熱伝導率を評価した。以下に、まず厚

Fig.1 Schematic of measuring apparatus

Fig.2 Physical model and coordinates system

Fig.3 Measurement of surface temperature distribution of disk using infrared thermometer

さ方向の熱伝導率の測定原理を示す。ヒーターにより発生した熱は下方の測定部へ流れ、冷却部へと移動する。その際、測定部のロッド間に挟まれた試料による熱抵抗が発生し、その熱抵抗に応じた温度差が生じる。定常状態では、各ロッド内で温度が直線的に変化し、黄銅の熱伝導率が既知であることから、上下ロッド内を流れる熱流束を算出す

Fig.4 Thermal circuit

ることができる。また、試料の熱抵抗により生じる上部ロッドと下部ロッドとの間の温度差も熱電対を用いた温度測定により求めることができる。また、試料の厚さは既知であることから、試料に対してフーリエの法則を適用することにより、試料の有効熱伝導率を求めることができる。

次に、面内方向の有効熱伝導率を評価するため、Fig.2に示すように、参照ロッドよりも直径が大きい円板状の試料をロッド間に挟み、試料表面の温度分布を測定した。Fig.3に、測定時の熱画像を示す。定常状態における基板表面を赤外線放射温度計で撮影し、熱画像処理によって半径3方向 (line A, B, C) の温度を測定した。その温度分布の測定結果を、Excel による数値解析⁽²⁾より得られる温度分布の解析結果にカーブフィッティングすることで異方性を評価した。ここで、異方性 R は、厚さ方向の熱伝導率 λ_z と面内方向の熱伝導率 λ_{xy} の比 ($R=\lambda_{xy}/\lambda_z$) で定義した。

円板状試料表面の半径方向の温度分布を求めるための物理モデルを Fig.4 に示す。境界条件としては、ロッドと接する部分を上下面ともに一樣温度 (厚さ方向の熱伝導率測定時に外挿して求めた温度) とし、周囲空気と接した部分では、自然対流熱伝達と熱放射を与えた。一例として、内点 (1) における支配方程式は次式で与えられる。

$$T_p = \frac{\frac{\Delta z}{\Delta r} \frac{\lambda_{xy}}{\lambda_z} \left\{ \left(r - \frac{\Delta r}{2} \right) T_w + \left(r + \frac{\Delta r}{2} \right) T_E \right\} + r \frac{\Delta z}{\Delta r} (T_s + T_N)}{2r \left(\frac{\Delta z}{\Delta r} \frac{\lambda_{xy}}{\lambda_z} + \frac{\Delta r}{\Delta z} \right)} \quad (1)$$

2. 3 測定試料

ここでは、電子基板材料として広く用いられているガラスエポキシ樹脂、紙フェノールの2種類について測定を行った。また、等方性材料であるアクリル樹脂を用いた測定を行うことにより、円板周りの自然対流熱伝達率を決定した。各基板材料を直径 60mm の円板状に加工し、半径 15~30mm の表面と裏面に放射率 0.94 の黒体塗料を塗布した。

3. 結果および考察

Fig.5 に、等方性材料であるアクリル樹脂の厚さ方向の熱伝導率測定時のロッド内温度分布を示す。図から、上部ロッド内の温度分布の一次近似式は $T=-0.0354z+53.7$ 、同様に下部ロッド内では $T=-0.0308z+24.5$ となった。この結果から、温度勾配の比 (上部ロッド/下部ロッド) を算出すると 0.93 となり、ほぼ妥当な精度で測定が行われている。

Fig.6 に、アクリル製円板試料の表面温度測定結果を示す。図から、自然対流による熱伝達率を $\alpha=5 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ とした。本研究では、この熱伝達率を用いた数値解析を行い、各試料の温度測定結果から異方性 R を求め、面内方向の熱伝導率の評価を行った。

Fig.7, Fig.8 に、ガラスエポキシ樹脂の場合について、試料表面と裏面の半径方向温度分布の測定結果を示す。試料上面側では $R=5\sim7$ 、下面側では $R=1\sim3$ となった。

図示はしていないが同様に測定を行った紙フェノールでは、試料上面側では $R=5\sim7$ 、下面側では $R=3\sim5$ となった。

Fig.5 Axial temperature distribution in reference rods

Fig.6 Radial temperature distribution of acrylic disk

Fig.7 Example of radial temperature distribution of glass epoxy disk (upper surface)

Fig.8 Example of radial temperature distribution of glass epoxy disk (lower surface)

4. 結 言

電子基板材料として広く用いられているガラスエポキシ樹脂、紙フェノールの面内方向の有効熱伝導率を測定した。ガラスエポキシ樹脂は、上面側で $R=5\sim7$ 、下面側で $R=1\sim3$ 、紙フェノールでは、上面側で $R=5\sim7$ 、下面側で $R=3\sim5$ となり、異方性を有することを確認した。しかし、短冊状に切り出した材料を 90° 回転し積層した試料では 2 倍程度の異方性が得られており、この相違については今後の検討課題である。

参考文献

- (1) 富村 寿夫・他 5 名：第 32 回日本熱物性シンポジウム講演論文集，pp. 413-415 (2011)。
- (2) 岩井 裕・他 7 名：エクセルとマウスでできる熱流体のシミュレーション 第 2 版，丸善 (2010)。