

# サーモグラフィとホログラフィのプリント配線板の 熱ストレス解析への応用に関する実験的検討

祢津孝則 谷口正成 家名田敏昭 高木 相 (東北文化学園大学)

## Experimental Study on Application of Thermography and Holography to Thermal Stress Analysis of Printed Circuit Board

\*T. Netsu, M. Taniguchi T. Yanada, T. Takagi (Tohoku Bunka Gakuen University)

**Abstract** - By using Thermal Graphic Measuring System (TGMS : Thermography), the thermal pattern was analyzed of printed circuit board deformed due to thermal stress. In addition, the deformation pattern was measured by the Holographic Pattern Measuring System (HPMS) which is composed of the system comprised of both techniques of holographic interferometry and graphic image processor.

As the results, both thermal and deformation pattern were observed as a different pattern each other. The HPMS was well applied as a very effective tool to the measurement of the microscopic deformation pattern and to the 3-D graphic image analysis of PCB surface deformation due to thermal stress.

**Key Words:** Thermal stress analysis, Thermography, Holography, Printed circuit board

### 1. まえがき

周知のごとく、近年のマイクロエレクトロニクスの発展に伴って、各種電子デバイスや機構デバイスでは、軽薄短小化の傾向にある。さらに、これらデバイスはプリント配線板(以下、PCBと略称)に高密度実装化される傾向にある。<sup>[1][2]</sup> その傾向に伴って、PCBへの熱ストレスはその信頼性に多大な影響を与える場合がある。<sup>[3]-[5]</sup> したがって、機構デバイスやPCBの熱ストレスに対する対策や評価は重要な課題の一つとなっている。<sup>[6]-[9]</sup> 従来、PCBの熱ストレス評価には、シミュレーション、あるいは、赤外放射技術による熱パターン解析が行われている。<sup>[10][11]</sup>

筆者らはホログラフィと図形処理技術とを組み合わせた新しい計測システム(ホログラフィックパターン計測システム:HPMS)を独自に開発した。これによって、非接触で被測定物体の微小な変位の3-D可視化計測が可能となった。また、それを各種デバイスやPCBの熱変形計測に応用し、その有効性を得た。<sup>[12][13]</sup>

さらに、本研究では、PCBに実装したデバイスに電流を通電した場合、その実装デバイスの発熱に伴うPCBの熱ストレス解析に熱画像計測システム(サーモグラフィ)を応用して熱パターンを測定した。また、HPMSを応用し熱変位パターンを測定し、熱パターンと比較した。

### 2. 被測定プリント配線版と実験方法

本研究で使用した、被測定物PCBと実装部品の外観を図1に示す

図1に示すように、被測定PCBの表面に100ΩのP型抵抗3個を実装し直列接続し、コネクタに挿入した。実験では、実装抵抗に電流を通電した場合に発生するジュール熱を熱源とした。また、その中央にIC(SN7400)を1個実装した。

なお、今回使用した被測定PCBの材質は紙エポキシ基板(厚さ:1.6mm)、銅箔は電解銅箔(厚:35μm)、その寸法はホログラフィ干渉計測装置の光源の出力を考慮し、80×55mmとした。また、コネクタは市販のPCB用コネクタ(口幅45×3mm、18ピン)とした。

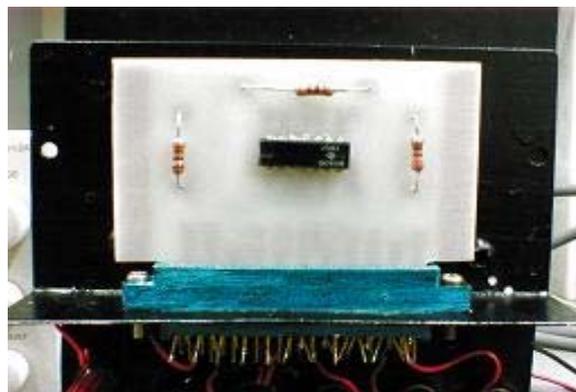


図1 被測定プリント配線板と実装部品

### 3. 熱パターン計測

#### 3-1. 熱画像計測システムの基本構成

熱画像計測システムの概略構成を図2に示す。図2に示すように、被測定物体から放射された赤外線は反射ミラーによって検出器に導かれ、検出器で検出された信号は増幅器で赤外線の強さに応じて電気信号に変換される。

電気信号は信号処理系に転送され、操作部からの位置検出データと共に演算され、画像や波形の電気信号として記憶される。その電気信号は表示系でカラー表示される。

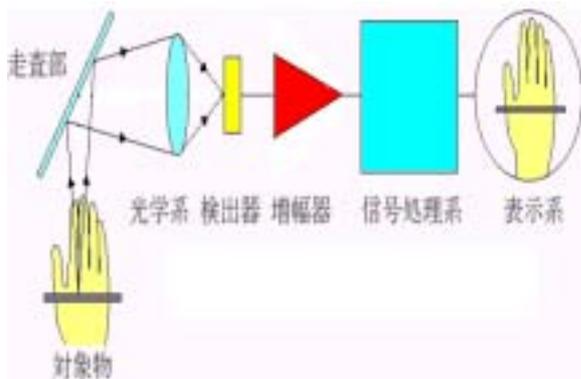


図2 熱画像計測システムの概略構成図

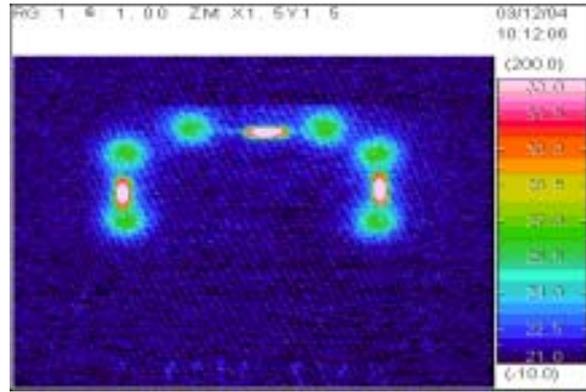
#### 3-2. 熱画像計測システムによる熱パターン計測

本研究では、PCBに実装した抵抗に電流を通电した場合のPCB表面の熱パターンを測定した。熱パターンの測定にはNEC三栄製の熱画像計測システム(サーモグラフィ: TH3104MR)を利用し、その赤外線カメラを被測定PCBの前方約200mmに設置した。

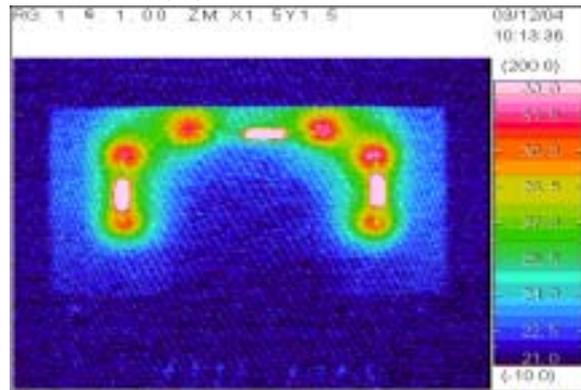
実装抵抗3個(直列接続)にDC400mAの電流を通电した場合のPCB表面の熱パターンを熱画像計測システムで測定した結果の一例を図3に示す。図3に示すように、通电時間の長さに応じてPCB表面の熱パターンは実装抵抗を中心に温度の上昇する傾向を観測した。

また、上部の実装抵抗 $R_2$ の横軸の温度分布を測定した結果の一例を図4に示す。図4に示すように、抵抗に電流の通电直後から、抵抗部分の温度が上昇する傾向を示し、とくに、240秒後では、50℃まで上昇する傾向を示した。さらに、抵抗の両端で温度上昇が観測されたこれは、PCBと抵抗のはんだ接続部分でジュール熱が発生したためと思われる。

また、実装抵抗 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ の表面温度の経時変化を計測した結果の一例を図5に示す。図5に示すように、いずれの抵抗においても、通电開始



(a) 通电開始 30 秒後



(b) 通电開始 240 秒後

図3 熱画像計測システムによるPCBの熱パターン観測結果例

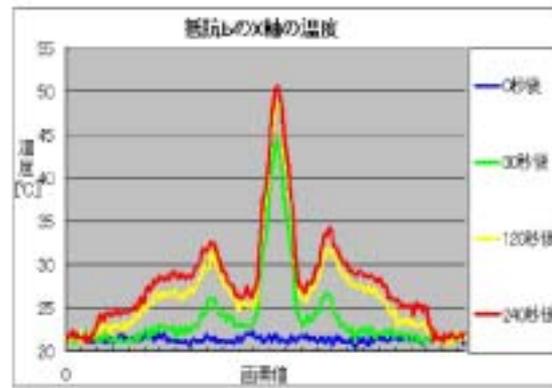


図4 実装抵抗 $R_2$ の横軸の温度分布測定結果例

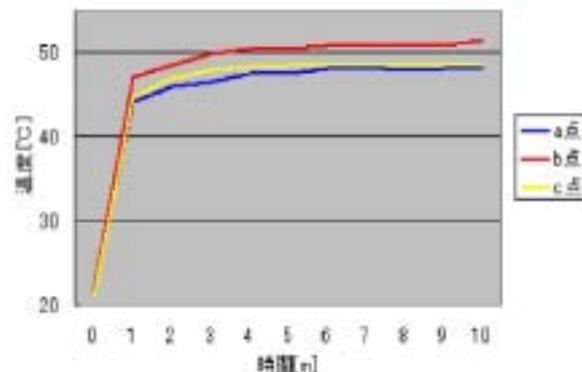


図5 熱画像計測システムによる実装抵抗の表面温度経時変化測定結果例

60 秒後まで急激に上昇し、その後、徐々に増加し、抵抗の表面温度はおおよそ 50 まで上昇する傾向を示した。

#### 4 . 変形パターン計測

ホログラフィックパターン計測システム (HPMS) はホログラフィ干渉計測装置と図形処理装置とを組み合わせたものである。以下、ホログラフィの原理とその計測装置、ならびに、図形処理装置の概要を述べる。

##### 4-1. ホログラフィ干渉計測装置

本研究で使用したホログラフィ干渉計測装置の概略構成を図 6 に示す。本装置では、被測定物体にレ - ザ光を照射し、その反射光を参照光とともにホログラム乾板に重ねて記録する。その乾板を現像処理後、参照光を照射してホログラムを再生する。

本装置では、光源として He - Ne ガスレ - ザ (発振波長 : 6328 ) を使用し、光源からのレ - ザ光をビ - ムスプリッタで照射光と参照光に分光 (分光比 5 : 1) 後、いずれも、対物レンズで光束を広げ、照射光を被測定物体に、参照光をホログラム乾板に照射した。

また、被測定物体からの反射光と参照光との強度比を最適な条件とするため偏光フィルタで調整した。本装置を変位計測に応用する場合、最も簡便な手法である 2 重露光法を利用した。2 重露光法は被測定物体の変形前と変形後の像を同一ホログラム乾板に重ねて記録する手法である。

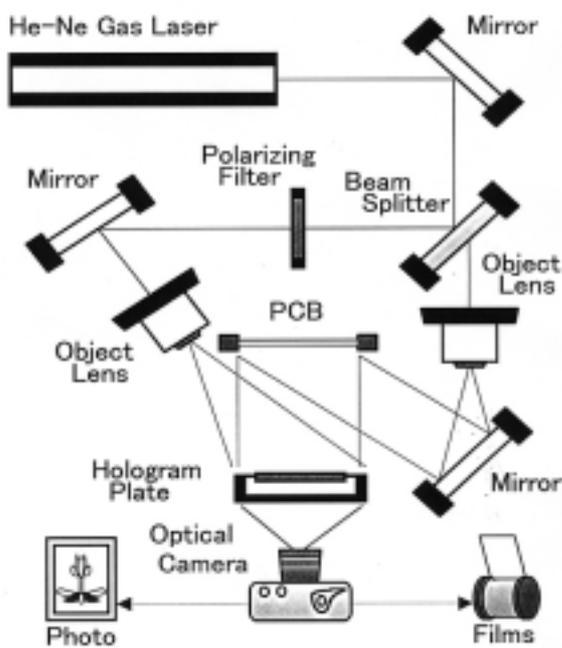
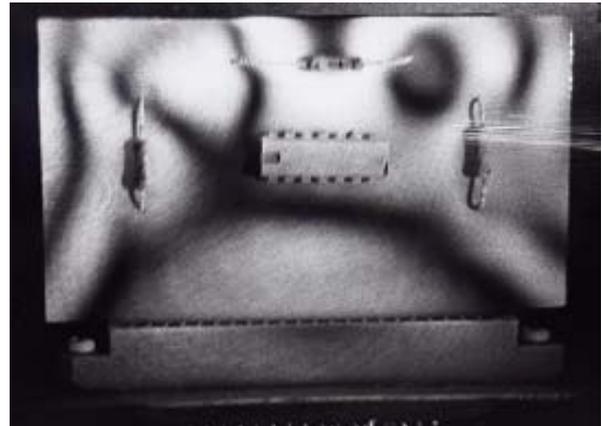


図 6 ホログラフィ干渉計測装置概略構成図

したがって、2 重露光法で記録、再生したホログラム像には被測定物体とともに  $\lambda/4$  (光源を He - Ne ガスレーザとすると、約  $0.16 \mu\text{m}$ ) の変位に応じて光の明暗の縞 (干渉縞) が物体像とともに観測される。<sup>[14]</sup>

##### 4-2. 変位パターンの測定

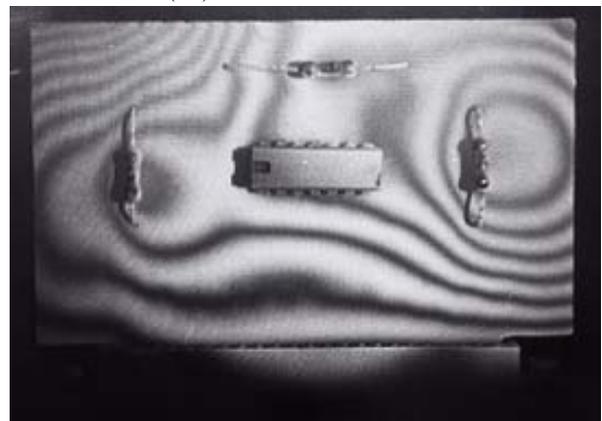
前項と同じ条件で実装抵抗に電流を通電した場合の PCB 表面をホログラフィ干渉計測法で記録、再生した結果の一例を図 7 示す。



(a) 通電開始 10 秒後



(b) 通電開始 60 秒後



(c) 通電開始 240 秒後

図 7 熱ストレスを受けた PCB のホログラム再生像

図7のホログラム再生像に示すように、通電時間の増加に伴って干渉縞(変位パターン)の増加する傾向が観測された。

また、変位パターンは被測定PCB表面全体に観測された。この要因は、実装抵抗の発熱に伴ってPCB全体が膨張、変形したためと思われる。

#### 4-2. 変位分布の定量化とその3-D図形表示

HPMSでは、ホログラフィ干渉計測法で得た干渉縞の情報から被測定物体の変位分布の定量化とその3-D可視化を目的としてパーソナルコンピュータを利用した簡便な図形処理装置を独自に開発した。

本装置では、ホログラム再生像を画像入力装置で入力し、CRTに表示する。CRT装置に表示されたホログラム再生像からマウスによって干渉縞のパターンを2次元で抽出する。抽出された干渉縞の情報をスプライン関数で補間し、予め指定した照射光と反射光の角度を考慮して変位量を算出した。

3-D図形表示には、無限遠点から俯瞰した平行投影法を利用した。これによると無限遠点からの視線を決定する方位角と俯角を任意に設定することによってあらゆる角度からの3-D図形表示が可能である。

図7(c)で示した変位パターンから変位分布を算出し、3-D図形表示した一例を図8に示す。図8の(a)は被測定PCBの下部を視点とした場合、(b)は前方斜めを視点とした場合を示す。また、この場合の最大変位量は約3 $\mu$ mであった

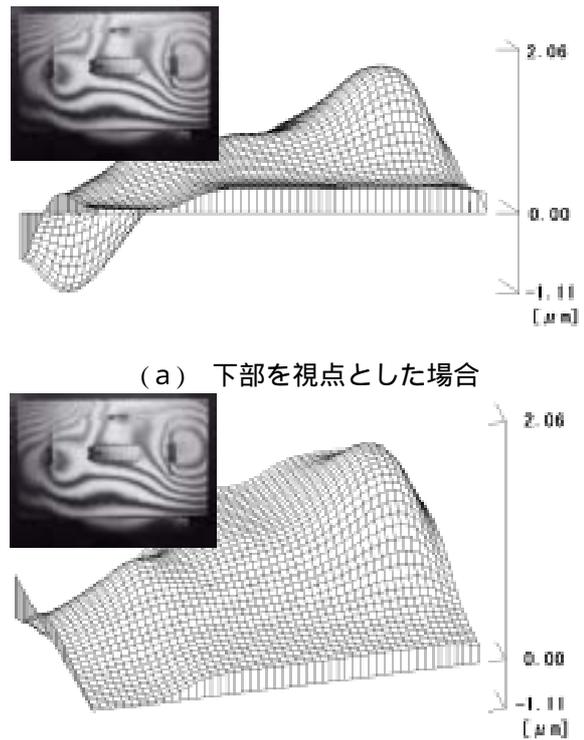
### 5. おわりに

今回、PCBに実装した抵抗に電流を通電し、その時抵抗で発生したジュール熱により熱ストレスを受けたPCBの熱変形解析を試みた。とくに、熱画像計測システム(サーモグラフィ)による熱パターンの計測、さらに、筆者らが開発した計測システム(HPMS)を応用して変位パターンを測定した。

その結果、熱パターンの計測のみでは、PCB全体の熱ストレスの影響の解析は困難であることを明らかにした。一方、図10に示したように、HPMSを応用することによって、PCB全体に干渉縞(変位パターン)が観測された。

また、図8で示したように、PCB全体が膨張、変形の様相の3-D可視化解析が可能である。さらに、方位角、俯角を連続的に変化することによって、それに応じて、PCB全体の熱ストレスの影響を解明することが可能となり、HPMSの熱

変形解析への有効性を実証した。



(a) 下部を視点とした場合  
(b) 前方斜めを視点とした場合  
図8 熱ストレスを受けたPCBの変位分布の3-D図形表示例

### 文献

- [1]H.Hayashi: "Criteria for Electronic Packaging Technology as Driver in Future", Proc. of ECWC, M2-4, (sep. 1999)
- [2]C.E.Bauer: "Packaging MEMS, the Great Challenge of the 21<sup>st</sup> Century", Proc. of IEMT/IMC Symp. pp.239- 243, (Apr. 2000)
- [3]D.S.De Lorenzo:"Thermal Design of High-Density Server", IEEE Trans. on CPMT, 25(4), pp.635-640, (Dec. 2002)
- [4]D.L.DeVoe: "Thermal Issues in MEMES and Microscal Systems", IEEE Trans. on VPMT, 25(4),pp.576-583, (Dec. 2002)
- [5]J.H.Parry, J.Rantala, and C.J.M.Lance: "Enhanced Electronic System Reliability -Challenges for Temperature Prediction", IEEE Trans. on CPMT, 25(4), pp. 533-538, (Dec. 2002)
- [6]D.M.Stubbs, S.H.Pulko and A.James:" An Investigation of the Sensitivity of Embedded Passive Component Temperatures to PCB Structure", IEEE Trans. on CPMT, 25(4), pp.701-707, (Dec. 2002)
- [7]G.Norberg, S.Dejanovic and H.Hesselbom: "Elastomer Chip Sockets for Reduced Thermal Mis-

- match Problems an Effortless Chip Replacement, Preliminary Investigations”, IEEE Trans. on CPMT, 26(1), pp.33-40, (Feb. 2003)
- [8]V.Szekely and M.Rencz: ”Increasing the Accuracy of Thermal Transient Measurements”, IEEE Trans. on CPMT, 25(4), pp.539-546, (Dec. 2002)
- [9]K-H.Kim,Y-W.Huang,K.L.Chuaand,T.B.Lim:”Effect of Underfill and Die Geometry on Thermal Shock and Moisture Resistance Test Performance for Flip Chip PBGA”, Proc. of IEMT/IMC Symp. pp.291-296, (Apr. 2000)
- [10]M.Rencz, V.Szekely, Zs.Kohari and B.Courtois: ”Thermal Evaluation and Modeling of MEMS Packages”, Proc. of IEMT/IMC Symp. pp.326-331, (Apr. 2000)
- [11]H.Ding,R.E.Powell,C.R.Hannaand,C.Ume : ”Warpage Measurement Comparison Using Shadow Moire and Projection Moire Methods”, IEEE Trans. on CPMT, 25(4), pp.714-721, (Dec. 2002)
- [12]M.Taniguchi and T.Takagi: ”Variation of Contact Resistance of Contacts Mounted on Printed Circuit Board Due to Thermal Deformation Observed by Holographic Technology”, Proc. of IEMT/IMC Symp pp.432-437, (Apr. 2000)
- [13]M.Taniguchi and T.Takagi: “Thermal Deformation Analysis of printed Circuit Connector Due to Current Flow by Using Holography”, Proc. of IEMT/IMC Symp. pp.336-341, (Apr. 1999)
- [14]C.M.Vest: "Holographic Interferometry", John Wiley & Sons,(1979)