九州大学学術情報リポジトリ Kyushu University Institutional Repository

# IC電子パッケージの高温時における熱変形評価

**森田, 康之** 九州大学大学院総合理工学研究科物質理工学専攻

新川, 和夫 九州大学応用力学研究所

**東藤, 貢** 九州大学応用力学研究所

https://doi.org/10.15017/16648

出版情報:九州大学大学院総合理工学報告.23(4), pp.333-338,2002-03.九州大学大学院総合理工学府 バージョン: 権利関係:

# IC 電子パッケージの高温時における熱変形評価

# 森田 康之\*1·新川 和夫\*2·東藤 貢\*2

#### (平成14年1月31日 受理)

# Evaluation of Thermal Deformation of IC Electronic Packages at High Temperature

# Yasuyuki MORITA, Kazuo ARAKAWA, Mitsugu TODO

<sup>†</sup>E·mail of corresponding author: *morita@riam.kyushu-u.ac.jp* 

Thermal deformations of two electronic packages, QFP (Quad Flat Package), MCM (Multi Chip Module), were measured by moiré interferometry. A thermal loading was conducted by cooling the packages from an elevated temperature  $100^{\circ}$  to room temperature  $25^{\circ}$ . Moiré fringes were obtained on the cross sections of the packages to clarify the effect of the CTE (Coefficient of Thermal Expansion) mismatch of the micro components, such as silicon, metal and resin. The experiments were also made using QFP mounted on the PCB (Printed Circuit Board) to examine the influence of the PCB. FEA (Finite Element Analysis) was also performed to simulate the thermal deformations of the packages.

Key words: Electronic Package, Moiré Interferometry, Thermal Deformation, QFP, MCM, Coefficient of Thermal Expansion, Finite Element Analysis

# 1. まえがき

近年,電子機器の小型軽量化の要求に伴い,電子パ ッケージを高密度で実装する技術が不可欠となってい る.そのため,電子パッケージの高集積・高速化が進 められている<sup>1)</sup>.しかし,電子パッケージはシリコン/ 金属/樹脂などの熱膨張係数(CTE: Coefficient of Thermal Expansion)の大きく異なる様々な材料によ り構成されている.したがって,「高集積化・高速化 →消費電力の増加→温度の上昇→熱応力の増加」とい う結果を引き起こす.この熱応力は,電子パッケージ の機能を損なう危険性をもっており,信頼性の観点か ら重要な問題となっている<sup>2), 3)</sup>.

電子パッケージの信頼性評価法<sup>4</sup>として,有限要素 法によるシミュレーション(FEA: Finite Element Analysis)<sup>5)</sup>, 熱衝撃試験(TST: Thermal Shock Test)<sup>6)</sup> が主に行われている.しかし, FEAは実際との整合性, TSTは定量的な熱変形量が不明という問題がある.し たがって,これらの評価法と相補的な関係となる,熱 変形を直接測定することが必要である.しかし,電子 パッケージ自身が非常に小さいことやその変形量がミ クロンオーダであることなどの理由により,熱変形の 直接測定は一般的にはほとんど行われていないのが現

\*1 物質理工学専攻

\*2 応用力学研究所

状である.

モアレ干渉法<sup>n</sup>と呼ばれる計測法がPostらにより開 発され,種々の材料および構造物の微視的な変位分布 の評価法としての応用が試みられている<sup>n)~9)</sup>.この手 法では、単位ミリメートル当たり数百~数千本からな る光回折格子を試験片表面に転写し、レーザ光の干渉 を利用して材料の変形によるモアレ干渉稿を生じさせ ている.そのため材料や構造物の微視的変形を二次元 的に観測できるばかりでなく、その分布を高精度で測 定することが可能となる.また、直交型の回折格子を 用いることにより、異なる方向の変位分布を表す二種 類のモアレ編を同時に計測できるなどの多くの利点を 有している.近年このような利点が注目され、電子パッ ッケージへの応用に関する試みがなされている<sup>10/~12)</sup>.

本報告では、電子パッケージとして、パッケージ内 に一つのシリコンチップが内蔵されているQFP(Quad Flat Package)、および複数個のチップが内蔵されてい るMCM(Multi Chip Module)の熱変形計測を行った. また、QFPに関しては、プリント基板(PCB: Printed Ciucuit Board)への実装前後の熱変形を比較し、その 影響を調べた. さらにFEAを行い、実験結果との比較 検討を行った.





Fig.1 Principle of moiré interferometry

# 2. 実験方法

# 2.1 モアレ干渉法 7)

モアレ干渉縞の発生原理をFig.1に示す.ここで、(a) は試験片が変形する前の状態を表す.その表面には空 間周波数 f<sub>a</sub>の光回折格子が転写されている.この回折 格子に平行光線A, Bを次式の角度 aを満足するよう に入射する.

$$sin \alpha = f_s \cdot \lambda$$
 (1)  
ここで、 $\lambda$ はレーザ光の波長である.このとき、一次  
反射回折光Ad, Bdは試験片表面に対して垂直に発生し、  
干渉稿は生じない.しかし(b)に示すように試験片が変  
形すると、回折格子の空間周波数 $f_s$ が変化する.それ  
に伴い、試験片に対して垂直であった回折光の角度が  
変化し、その結果、干渉縞が発生する.このときの変  
位量 $u$ は、

$$u = N / (2 \cdot f_s) \tag{2}$$

となる.ここで,N は縞次数を表す.

# 2.2 実験手順

試験片への回折格子の転写方法をFig.2に示す.使用 した回折格子は直交型,空間周波数f。は1200 lines/mmである.この回折格子は,低CTEガラス基板 (0.09 ppm/℃)で作製されている.転写にはエポキシ系 接着剤を用い,100℃一定の恒温槽内で行った(Fig.2



Fig.2 Cast of diffraction grating on specimen



BS : Beam splitter, M : Mirror, SF : Spatial filter, PM : Parabolic mirror, SP : Specimen, RS : Rotation stage

Fig.3 Optical arrangement for moiré interferometry



(a), (b)参照). 接着剤硬化後,室温25℃で回折格子を取り外した(Fig.2 (c)参照). したがって,試験片表面に転写されたアルミニウム薄膜の回折格子には100℃から25℃までの温度差ΔT=75℃に対応する熱変形が記



録されている. この変形をFig.3に示す光学系で計測した. 光源にはHe - Neレーザ(*l* = 633nm)を用い, 2ビーム法を採用した. 直交する変位分布は, 試験片の角度を90°回転することにより測定した.

#### 3. QFP の 熱 変 形 評 価

#### 3.1 計測結果

Fig.4にQFPの断面形状の模式図を示す.中央部にシ リコンチップがあり、デバイスとプリント基板はリー ドフレームとはんだにより接合されている.ここでは、 まず始めに上断面(x-y面)の熱変形を計測した.チップ と樹脂の変形を明らかにするため、破線A-A'(Fig.4参 照)まで切削・研磨し、回折格子を転写した.

計測結果をFig.5に示す. u, v 変位場はx, y方向の変 位を表す.干渉編は等変位線を示しており,その変位 量は417 nm/fringeに対応する.干渉編の形状から,熱 変形がほぼ上下・左右対称に生じたことをが示されて いる.また,CTEの小さいチップでは疎の干渉編,CTE の大きい樹脂では密な干渉編が発生した.これは,チ ップでは変形が小さく,樹脂では大きいことを意味し ている.さらにここで注目すべきことは,チップ端部 および角部周辺で干渉編が集中しており,ひずみが大 きいことである.この結果は,ワイヤー線の破断やチ ップと樹脂のはく離がこの領域で生じやすいことを示 唆している.



Fig.8 Thermal deformations of the chip ( $\Delta T = 75^{\circ}C$ )

Fig.6にQFP側断面(x-z面)の計測結果を示す.ここで は、三次元構造の影響を小さくするため、y方向厚さ 1.5mmの小片に切断し、回折格子を転写した. u,w 変 位場はx,z方向の変位を表す.Fig.5の結果と同様に、 熱変形がほぼ上下・左右対称に生じること、さらに、 チップ端周辺の樹脂で変形が集中し、ひずみが大きい ことをが示されている.

次に、プリント基板にQFPを実装したときの計測を 行った.その結果をFig.7に示す.u,w 変位場ともCTE の大きい基板の影響を受け、QFP単体のFig.6の場合と は異なった編形状が得られている.例えば u 変位場で は、QFP上面と下面で編次数に大きな差が発生してお



Fig.11 FEA results for QFP mounted on PCB (side view)

り, せん断変形が生じている. 一方, w 変位場では, 干 渉縞が上に凸に生じており, 大きな曲げ変位が作用し ている.

Fig.8にチップの熱変形量を模式的に示す.Fig.8(a) に示すようにチップが単体で存在する場合には,  $\Delta T=75 \$ により u 方向変位は1.4 $\mu$ mとなる.一方, Fig6(a)のパッケージ内部では、2.5 $\mu$ mの計測値が得ら れた.すなわちこの結果は、チップ周辺の樹脂の影響 を受け、u 変位が大きくなることを示している.さら に基板に実装されたFig.7(a)では、チップの u 変位は 4.2 $\mu$ mとなった.これは、チップの変形に高CTEの基 板が大きな影響を及ぼすことを意味している.

ー方, チップの ν 変位はFig.6(b)から明らかなよう に, 樹脂で封止された場合でもほとんど生じない. し かし, 基板に実装した場合には, 1.3µmの曲げが発生 した(Fig.8(b)参照). これは, デバイスと基板でCTEが 異なる場合, 曲げ変形が生じることを意味している. したがって, デバイスの曲げを軽減するためには, 基 板のCTEを小さくすることが重要である<sup>6</sup>.

# 3.2 FEA 結果

QFPの熱変形を調べるためにFEAを行った.ただし, 構成材料を線形弾性体と仮定し,表1に示す材料定数を 使用した.また, 簡単化のために平面応力状態を仮定 し,六節点三角要素で分割した.得られた解析結果を Fig.9~11に示す.ここでは,417nmの等変位線で図 を表示した.Fig.9,10に示すFEA結果は,Fig.5,6の

Table 1 Material properties in FEA			
	CTE	Young's modulus [GPa]	Poisson's
>		mountus (Gir aj	1400
Chip	2.56	130	0.280
Resin	15.0	14.0	0.300
Lead frame	16.5	123	0.340
Solder	14.0	18.0	0.100
PCB	17.0	12.0	0.165

Table 1 Material properties in FEA

計測結果とよく一致した.これは,QFP単体の場合, 室温から100℃の温度範囲では線形弾性近似が可能で あることを示唆している.

しかし、プリント基板に実装したFig.11では、定性 的には一致したが、定量的には大きく異なった.これ は、基板がガラス繊維強化エポキシ樹脂という複合材 料であるにも関わらず、その異方性を無視したことに 起因するものと思われる.

計測結果とFEA結果の比較のため、Fig.12にチップ の熱変形量を模式的に示す.QFPを基板に実装してい ない状態でのチップの変形量は、計測とFEAの結果に おいて非常によく一致した(Fig.12(a)参照).しかしな がら、Fig.12(b)に示すように基板に実装したQFPでの チップの変形量は、大きく異なった.u 変位について は、計測結果が4.2µmであったのに対し、FEA結果で は2.5µmであった.また、v 変位については、計測結 果では1.3µmの曲げが作用したのに対し、FEA結果で は2.1µmであった.すなわち、基板に実装した場合、



Fig.12 Comparison between experiment and FEA resluts

基板の非線形効果が大きく現れ,計測とFEAの結果に 大きな食い違いが生じた.

#### 4. MCM の 熱 変 形 評 価

パッケージ内にチップが複数個存在するMCMの熱 変形計測を行った.その結果をFig.13に示す.ここで は、Fig.5と同様に、チップ上面を含む面上に回折格子 を転写した.このMCMには大きさの異なる三個のチ ップが存在し、各チップでは疎の干渉編、樹脂では密 の干渉縞が発生した.また、チップ端近傍の樹脂で干 渉縞が密になっている.しかし、樹脂を含む全体の干 渉縞の分布は、単一チップのQFPの場合とは大きく異 なっている.これは、MCMのように複数個のチップ を内蔵させる場合、その大きさや配置により変位分布 の状態が大きく変化することを示している.

Fig.14にFEA結果を示す.変位分布がFig.13の計測 結果をよく表現した.これは、チップの下部に存在す るマウントアイランドやリードフレームの影響を大き く受けないこと、室温から100℃の温度範囲では線形 弾性近似が可能であることを示している.

#### 5. まとめ

モアレ干渉法を適用して、二種類の電子パッケージ



(a) u-displacement field





(b) v-displacement field

Fig.13 Moiré fringe patterns for MCM (top view)



(b) v-displacement field

(a) u-displacement field

Fig.14 FEA results for MCM (top view)



の熱変形を計測した.また有限要素法を用いて,数値 解析を行った.そして,以下の結果の結果を得た.

- QFPの場合:モアレ干渉縞は、チップを中心としてほぼ対称的に発生した.また、チップでは疎の干渉縞、樹脂では密な干渉縞が生じた.すなわちCTEが小さいチップでは比較的小さい変形が、一方、CTEの大きい樹脂においては大変形が発生した.変形はチップ端近傍の樹脂、特に角部で集中した.また、プリント基板に実装した場合、パッケージにせん断および曲げ変形が作用した.
- MCMの場合:各チップの変位分布は、上記のQFP の場合とほぼ同様な結果を生じた.しかし、樹脂 を含む全体の変位分布の状態には大きな差が発生 した.すなわち、複数個のチップが存在すること により、変位分布が大きな影響を受けることを示 した.
- FEAとの比較:パッケージ単体の場合には,線形 弾性体と仮定した解析結果は変位分布をよく表現 した.これは室温から100℃の温度範囲では線形 弾性近似が可能であることを示している.しかし, プリント基板に実装した場合には,実験結果と定 性的には一致したが定量的に異なった.これは, 基板材料がガラス繊維強化エポキシ樹脂で強い異 方性効果をもつことに起因すると思われる.

#### 謝辞

本研究を行うにあたり、本学応用力学研究所、高橋 清名誉教授より助言をいただいた.また、実験を行う にあたり当時本学大学院生であった山田真士氏、数値 解析では上野洋一氏の助力をいただいた.ここに記し て、謝意を表する.

#### 参考文献

- 春日壽夫, "エレクトロニクス実装における技術的課題." 日本機械学会誌, 103-978, (2000), 306-309.
- 2) *日経エレクトロニクス*, No.804, (2001), 207-217.
- 石塚勝, "携帯機器の熱・実装技術." 日本機械学会誌, 105-998, (2002), 31-34.
- 2) 鯉渕興二, "電子部品の熱疲労強度に関する計測,実験, シミュレーション技術." 日本機械学会論文集, 66-652, A (2000), 2100-2105.
- 5) 三宅清, 吉田司, "表面実装パッケージの成形時の反り粘 弾性解析." *日東技報*, 37-2, (1999), 27-28.
- 中村圭, 井上泰史, 長沢徳, 桶結卓司, 三宅清, 杉本正和, "低熱膨張多層基板の開発." 6th Symposium on Microjoining and Assembly Technology in Electronics, (2000), 23-28.
- Post, D., Han, B., and Ifju, P., High Sensitivity Moiré: Experimental Analysis for Mechanics and Materials, Springer-Verlag, New York, (1994).
- 8) 鈴木新一,森田康之,坂上賢一,"高速度ホログラフィ顕微鏡法とモアレ干渉法による分岐き裂の開口変位測定." 日本機械学会論文集, 67-655, A (2001), 432-439.
- 9)新川和夫,高橋清,"高分子材料のき裂先端周辺の変位場 解析." 日本機械学会論文集, 63-611, A (1997), 1385-1391.
- 10) Morita, Y., Arakawa, K., Todo, M., Ueno, Y., Takahashi, K., and Kaneto, M., "Thermal Deformation Analysis of Flip-Chip Packages by Moiré Interferometry and FEA." 九州大学応用力学研究所所 報, 121, (2001), 111-114.
- 11) 岸卓人,三木健輔, 鯉渕興二, "モアレ干渉法による熱サ イクル試験下における電子デバイス熱挙動計測." 日本 機械学会論文集, 66-652, A (2000), 2226-2231.
- 12) Han, B., "Recent Advancements of Moiré and Microscopic Moiré Interferometry for Thermal Deformation Analyses of Microelectronics Devices." *Experimental Mechanics*, 38-4, (1998), 278-288.