

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

*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°C to room temperature 25°C. 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¹⁾。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^{2), 3)}。

電子パッケージの信頼性評価法⁴⁾として、有限要素法によるシミュレーション(FEA: Finite Element Analysis)⁵⁾、熱衝撃試験(TST: Thermal Shock Test)⁶⁾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ー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

状である。

モアレ干渉法⁷⁾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^{7~9)}。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縞を生じさせている。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縞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、電子パッケージへの応用に関する試みがなされている^{10~12)}。

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 Circuit 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。

*1 物質理工学専攻

*2 応用力学研究所

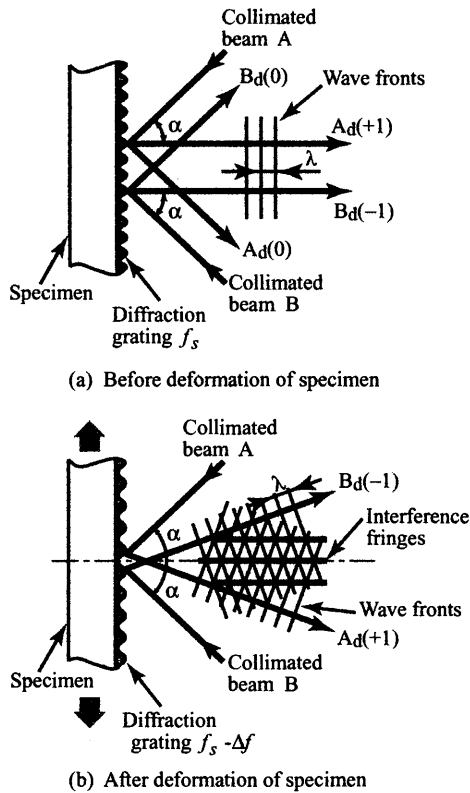


Fig.1 Principle of moiré interferometry

2. 実験方法

2.1 モアレ干渉法

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_s 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 α を満足するように入射する。

$$\sin \alpha = f_s \cdot \lambda \quad (1)$$

ここで、 λ はレーザ光の波長である。このとき、一次反射回折光 A_d, B_d は試験片表面に対して垂直に発生し、干渉縞は生じない。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、

$$u = N / (2 \cdot f_s) \quad (2)$$

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_s は1200 lines/mmである。この回折格子は、低CTEガラス基板(0.09 ppm/°C)で作製されている。転写にはエポキシ系接着剤を用い、100°C一定の恒温槽内で行った(Fig.2

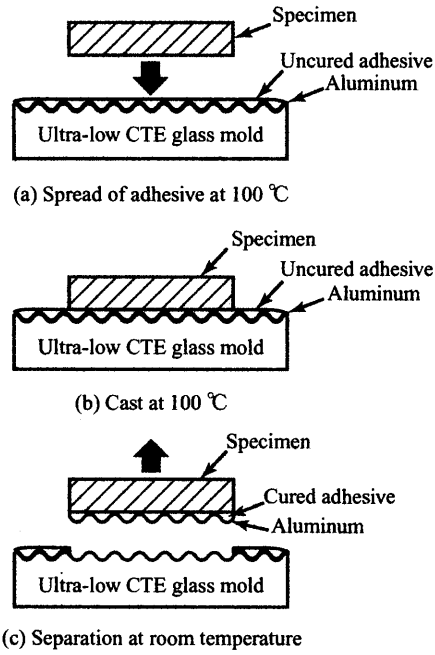


Fig.2 Cast of diffraction grating on specimen

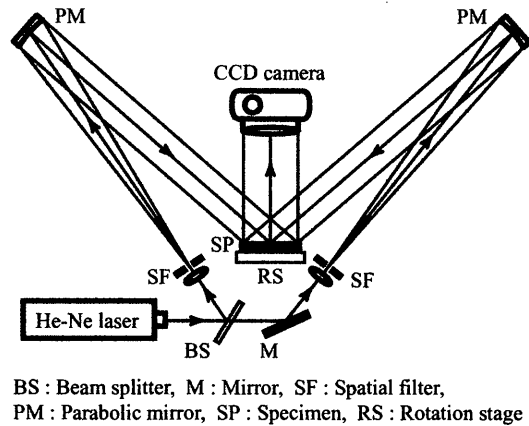


Fig.3 Optical arrangement for moiré interferometry

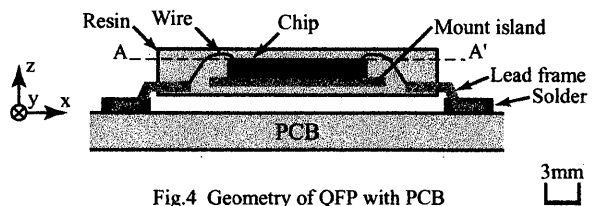


Fig.4 Geometry of QFP with PCB

(a), (b)参照)。接着剤硬化後、室温25°C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°Cから25°Cまでの温度差 $\Delta T=75^\circ\text{C}$ に対応する熱変形が記

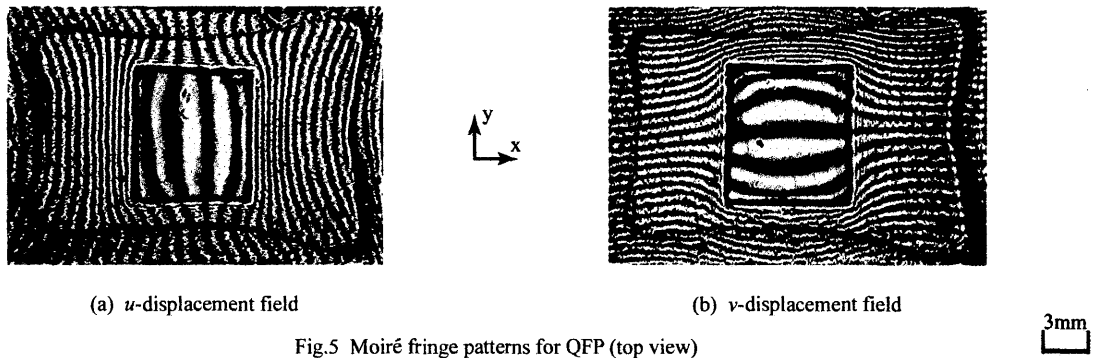


Fig.5 Moiré fringe patterns for QFP (top view)

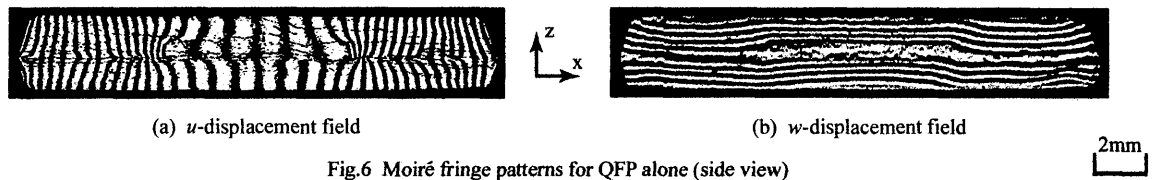


Fig.6 Moiré fringe patterns for QFP alone (side view)

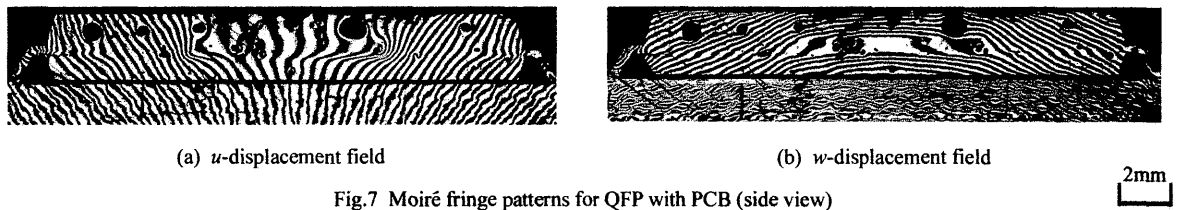


Fig.7 Moiré fringe patterns for QFP with PCB (side view)

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($\lambda = 633\text{nm}$)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。干渉縞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。干渉縞の形状から、熱変形がほぼ上下・左右対称に生じたことを示されている。また、CTEの小さいチップでは疎な干渉縞、CTEの大きい樹脂では密な干渉縞が発生した。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縞が集中しており、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。

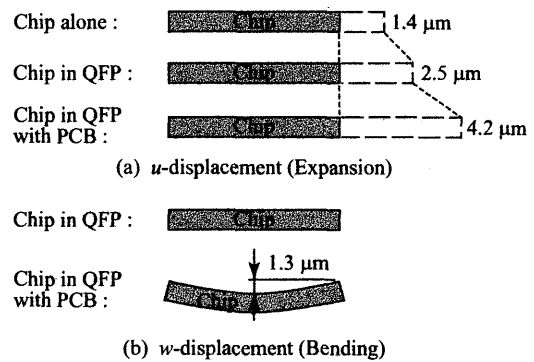


Fig.8 Thermal deformations of the chip ($\Delta T = 75^\circ\text{C}$)

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の薄片に切断し、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縞形状が得られている。例えば u 変位場では、QFP上面と下面で縞次数に大きな差が発生してお

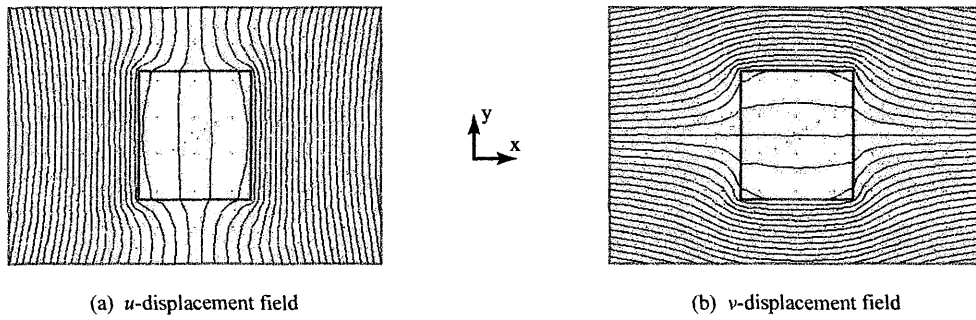


Fig.9 FEA results for QFP (top view)

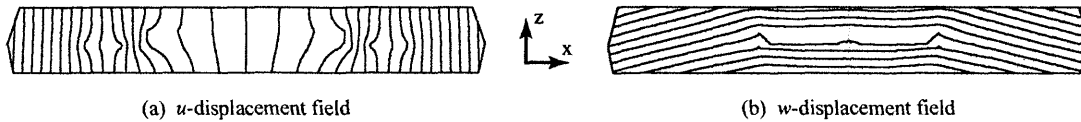


Fig.10 FEA results for QFP alone (side view)

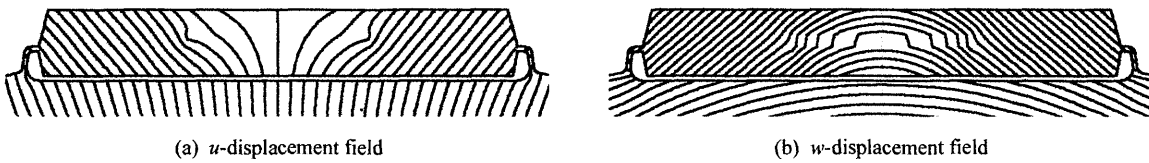


Fig.11 FEA results for QFP mounted on PCB (side view)

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、 $\Delta T=75^\circ\text{C}$ により u 方向変位は $1.4\mu\text{m}$ となる。一方、Fig.6(a)のパッケージ内部では、 $2.5\mu\text{m}$ 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 $4.2\mu\text{m}$ 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。

一方、チップの v 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、 $1.3\mu\text{m}$ 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⁶⁾。

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 [ppm/°C]	Young's modulus [GPa]	Poisson's ratio
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

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°C 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 $4.2\mu\text{m}$ であったのに対し、FEA結果では $2.5\mu\text{m}$ であった。また、 v 変位については、計測結果では $1.3\mu\text{m}$ の曲げが作用したのに対し、FEA結果では $2.1\mu\text{m}$ であった。すなわち、基板に実装した場合、

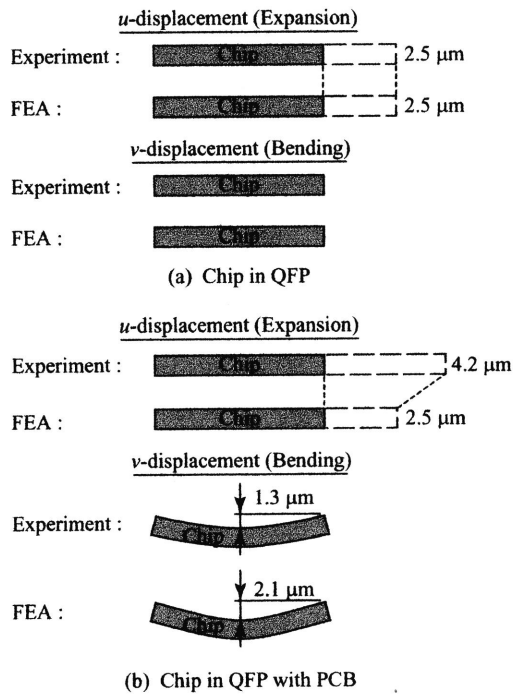


Fig.12 Comparison between experiment and FEA results

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縞、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°C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

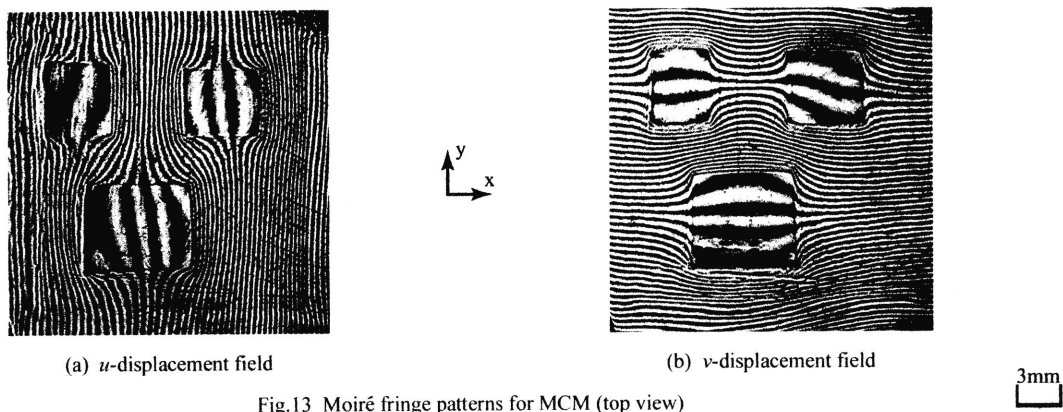


Fig.13 Moiré fringe patterns for MCM (top view)

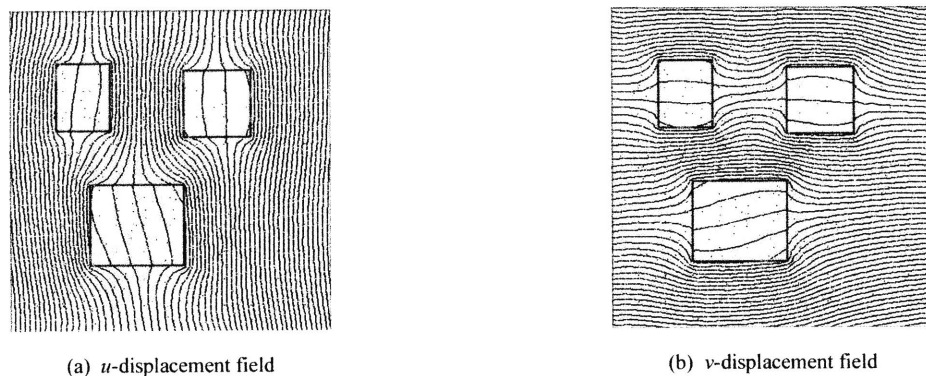


Fig.14 FEA results for MCM (top view)

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。

1. 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。
2. 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。
3. 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

- 1) 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.
- 3) 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.
- 4) 鯉淵興二, “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.
- 6) 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.
- 7) 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., Tbd, 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, 鯉淵興二, “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.