

# ヒートサイクル信頼性評価中での配線間に生ずる熱残留応力の有限要素解析による予測

申崎 義幸<sup>\*1</sup>/中村 省三<sup>\*2</sup>/多田 薫<sup>\*1</sup>/山田 敏郎<sup>\*1</sup>

## Prediction for Thermal Residual Stress between Electric Wires during Reliability Assessment by Heat Cycle Test with Finite Element Analysis

Kushizaki, Yoshiyuki<sup>\*1</sup>/Nakamura, Shyozo<sup>\*2</sup>/Tada, Kaoru<sup>\*1</sup>/Yamada, Toshiro<sup>\*1</sup>

In recent years, the study of Chip on Board (COB) structures with LSI chips mounted on the substrate has attracted much attention. One of the main technical problems is that the internal electrical wires may disconnect during the heat cycle process due to the differences in the thermal expansion coefficients between component materials. In order to prevent thermal expansion deformation the wires are encased in resin. Until now, the relationship between the physical properties of the resin and the thermal residual stress in the wires has been seldom reported.

In this work, the influence of resin physical properties on the thermal residual stress generated during the heat cycle process was theoretically analyzed via finite element analysis. The results show that the thermal residual stress generated in the wire during the heating process is larger than that during the cooling process. During heating the thermal residual stress was influenced by the storage modulus of the rubbery state ( $E_R$ ).

**Key words** : Residual stress/COB structure/Heat cycle/Storage modulus of rubbery state/  
Finite element analysis

### 1. 緒 言

近年、ノートパソコンや携帯電話などに代表される電子機器は多機能・高機能・高速化が目覚ましい勢いで進歩を遂げている。これに伴って、電子部品も小型・薄型と共に、強度信頼性の確保や反り変形の防止が重要な技術課題となっている<sup>1)~4)</sup>。

電子部品は、一般にLSIチップ、樹脂や接着剤および基板、Cu箔やはんだのような多種多様な材料から構成される異種材料複合体である。この複合体は製造時や使用環境時において熱的・機械的負荷が加わると、構成材料の物

性の違いから内部に大きな熱残留応力が生じ、これが原因で界面剥離や変形料亀裂さらには電子部品内部の微細配線が断線するなどの不良が生ずる。近年、脚光をあびているLSIチップを基板に樹脂を介して直接搭載するいわゆるChip On Board (COB構造体)では、ヒートサイクルにより信頼性評価中に内部の微細配線が断線する危険性がある。この問題について、実験的に検討するには電子部品の内部の微小な配線で生ずる問題で実験を行うことが困難であるだけでなく、材料物性の影響、構成材料の形状そして、力学的な力の釣り合いなどが密接かつ複雑に作用を及ぼしあっているため原因を追究するには、莫大な時間と費用が掛かる。また、有限要素解析<sup>5)~7)</sup>などによってこのような問題を検討している報告が存在するが、多くは有機材料の力学的特性が温度と時間によって変化するいわゆる粘弾性挙動の影響を考慮していない。また、中村らが<sup>8)~14)</sup>粘弾性挙動を考慮して、熱残留応力におよぼす材料物性の影響、厚さ寸法そして、熱負荷条件の影響について理論的に検討している。この解析は1次元問題の積層体として解析を行っているが、構成材料内部や接着界面に生ずる熱残留応力を求める場合は問題ない。しかし、微細配線の配置の影響などの構造的な問題を伴う場合に適応することが困難と

\*1 金沢大学大学院自然科学研究科  
金沢市角間町 (〒920-1192)  
Graduate School of Natural Science & Technology  
Kanazawa University  
Kakuma-machi, Kanazawa, Ishikawa 920-1192, Japan

\*2 広島工業大学工学部知能機械工学科  
広島市佐伯区三宅 2-1-1 (〒731-5193)  
Faculty of Engineering, Hiroshima Institute of Technology  
2-1-1, Miyake, Saeki-ku, Hiroshima-shi 731-5193, Japan

2005. 4. 22 受理

なる。

そこで、ヒートサイクル試験中に COB 構造体内部の微細配線間の配置ならびに加熱・冷却での樹脂物性が熱残留応力に及ぼす影響を有限要素解析によって求めた。さらに、この問題を解決するために微細配線を保護する樹脂の貯蔵弾性率に注目して、Au バンプに生ずる熱残留応力と樹脂物性の影響について検討した。

## 2. 有限要素解析

### 2.1 解析モデルおよび物性値

解析の対象とした COB 構造体の断面形状を図 1 に示す。COB 構造体は LSI チップと基板間に Au バンプを有し、この周りを熱応力緩衝用の樹脂で充填した構造である。実際の COB 構造体は樹脂内部に Au バンプが複数あるが、本報告においては内側に位置する Au バンプと外側に位置する Au バンプのどちらが応力的に危険かを検討するために図 1 に示すような簡易モデルに近似した。その詳細は、LSI チップ全体長さはそれぞれ 13 mm である。また、幅 0.02 mm の Au バンプを樹脂内部の中央部から 1 mm、5.5 mm の位置に厚さ 0.285 mm、樹脂厚さ 0.03 mm、基板厚さ 0.40 mm で、全体長さはそれぞれ 13 mm である。また、幅 0.02 mm の Au バンプを樹脂内部の中央部から 1 mm、5.5 mm の位置にそれぞれ配置した。解析に用いた各構成材料の熱的・機械的性質を表 1 に示す。ここで、樹脂や基板は有機材料で貯蔵弾性率や線膨張係数が温度に大きく依存する。

そこで、これらの機械的特性を動的粘弾性測定装置（株式会社ユービーエム）ならびに熱機械分析装置（株式会社島津製作所）によって測定し、それらの値を解析に用いた。なお、測定

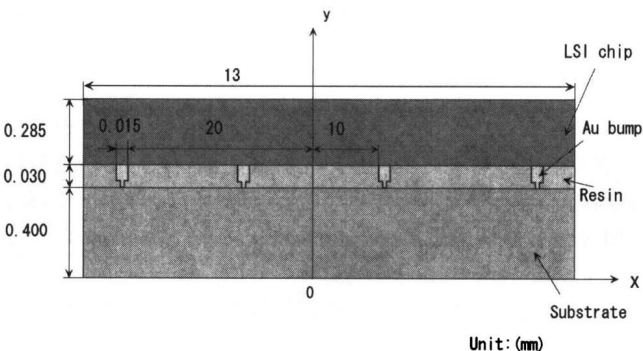


Fig. 1 Cross section of COB package

したエポキシ樹脂の貯蔵弾性率の温度依存性を図 2 に示す。この図からわかるようにエポキシ樹脂のガラス転移温度領域の貯蔵弾性率は、ガラス転移温度である 363 K を越えると、急激に低下して最終的には 0.15 GPa 程度に収束する。

### 2.2 解析方法

有限要素解析に当っては、構造の対称性を考慮して右側半分を対象とし、中央部下端を全面拘束、最下部を除いた左端は Y 軸方向のみ自由とした。有限要素分割モデルを図 3 に示す。ここで、中央部および端部に位置する Au バンプをそれぞれ内側、外側とする。使用した要素は 8 節点の四角形要素で、解析対象を 6864 個のメッシュに分割し、平面ひずみ状態として取り扱った。分割の際にはメッシュ粗さの影響を考慮して、Au バンプの接合部を  $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$  の正方形に微小分割した。また、温度条件は実際の温度サイクル試験を想定して、293 K から 398 K の加熱時と、398 K から 218 K の冷却時を採り上げた。

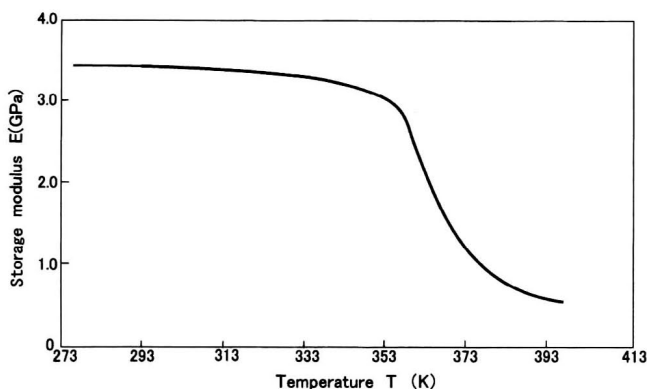


Fig. 2 Storage modulus for resin

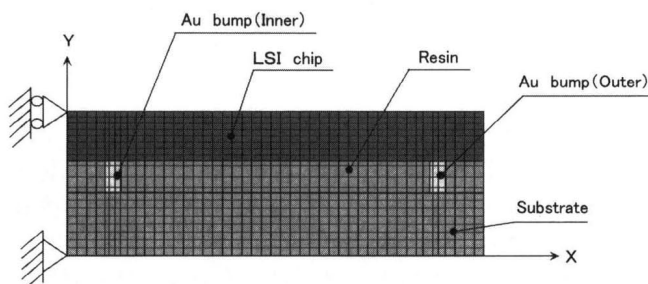


Fig. 3 Meshing of finite element analysis of COB package

Table 1 Thermal and mechanical characteristics of materials

Properties	Thermal conductivity	Specific heat	Density	Glass transition Temperature $T_g$	Thermal expansion coefficient		Young's Modulus	Poisson's ratio
	(W/mK)	(kJ/kgK)	(kg/m <sup>3</sup> )	(K)	(10 <sup>-6</sup> /K)			
					$T \leq T_g$	$T_g < T$		
LSI chip	147.7	0.799	2328	—	3.6		192.0	0.30
Au bump	297.0	0.130	19320	—	14.2		81.6	0.30
Resin	$18.6 \times 10^{-2}$	1.424	1220	362	88.0	217.0	$*3.4 \sim 1.5 \times 10^{-1}$	0.35
Substrate	$37.2 \times 10^{-2}$	1.256	1810	413	12.9	4.8	18.0	0.28

\* shown Fig. 2

### 3. 解析の妥当性

解析の妥当性を検討するために、反り変形挙動の解析値と実験値の比較を行った。具体的には、妥当性および普遍性を持たせたため COB 構造体の基板厚さ ( $h_s$ ) を 0.075 mm, 0.1 mm, 0.2 mm, 0.4 mm と変化させて、453 K~293 K の熱負荷を加えた際に生ずる反り変形量を解析および実験で求めた。なお、解析条件は前節と図 3 に示す拘束条件およびモデルである。実験では、反り変形挙動を求める際には、COB 構造体内部の Au バンプは微細かつ剛性が小さいため反り変形挙動に与える影響は小さいと考慮して取り除きレーザー変位計により測定した。

図 4 には、一例として COB 構造体の基板厚さ ( $h_s$ ) の 0.4 mm の場合の時間と反り変形挙動の関係を示している。ここで、反り変形量  $d$  は、曲率半径の変化を示している。同図からわかるように、時間の経過と共に反り変形量は増加することが分かる。100 秒程度までは反り変形量は小さいが、それ以上では、樹脂の弾性係数 (図 2 に示す) が大きくなり LSI チップと基板の熱膨張が樹脂を介して相手材に伝わった結果、反り変形量も大きくなる。ここで、反り変形量が定常状態の際の反り変形量を残留反り変形量と定義する。

次いで、基板厚さ ( $H_s$ ) を種々に変化させた際の解析値と実験値の結果を図 5 に示す。同図からわかるように基板厚さが大きくなると反り変形量も大きくなる。これは、基板が薄い場合は、LSI チップが構造体の剛性の大部分を占めているため反り変形量は小さいが、基板が厚くなると基板の剛性が増し、LSI チップの基板の線膨張係数差の影響が大きくなって反り変形量も増大する。実験と解析の両者とも同様な傾向がみられるだけでなく、比較的によく一致しているといえる。このことから、このような系については時間依存性の影響が小さく温度依存性を考慮すれば理論的な知見を得られると考えた。

### 4. 結果および考察

#### 4.1 ヒートサイクル中に生ずる熱残留応力および反り変形挙動

ヒートサイクルは通常、常温 (293 K) から 398 K の加熱の後、398 K から 218 K の冷却を行う。この加熱・冷却のヒートサイクルが加わると異種材料から構成される COB 構造体の内部に熱応力が生じ、この熱応力が Au バンプに作用して破断にいたると考えられる。そこで、解析を行う上で、この Au バンプの破断する現象を以下のように仮定した。

- ①信頼性評価試験中の Au バンプの断線は、長期にわたって繰り返し加重が加わり Au バンプ内に塑性ひずみが蓄積したためとも考えられるが、本報告では、樹脂物性が Au バンプに生ずる応力に及ぼす影響について着目したため、塑性については考慮しなかった。
- ②Au バンプには様々な応力およびひずみが生じそれらが互いに作用を及ぼしあって断線すると考えられる。しかし、材料設計を行う上では、大筋となる材料物性の指針を得ることが必要であるため、生ずる熱残留応力が小さ

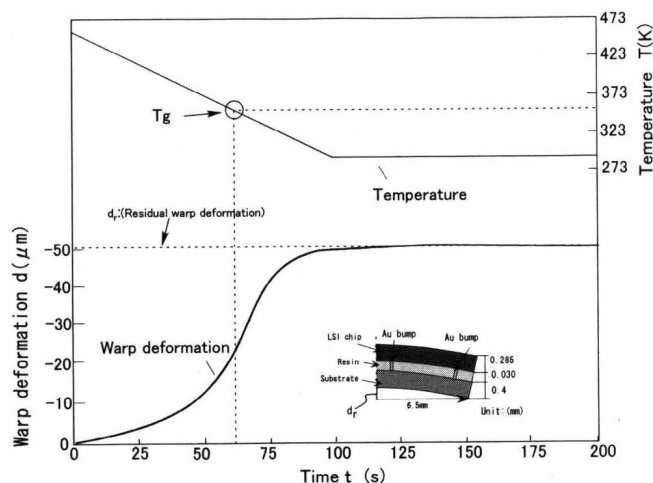


Fig. 4 Warp deformation behavior changes with time

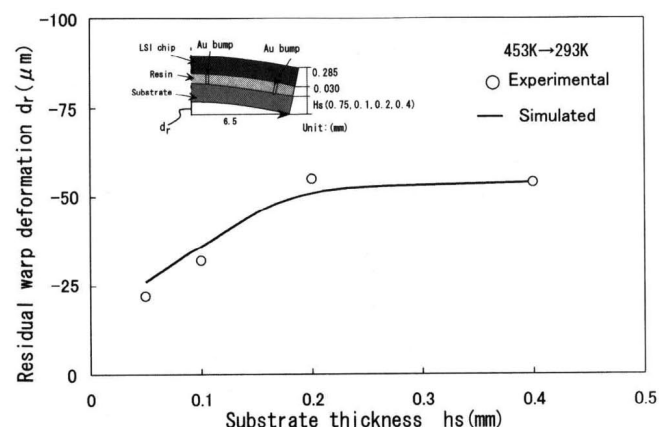


Fig. 5 Relationship between warp deformation and substrate thickness

- くなると Au バンプの断線の危険性は減少すると考えた。
- ③Au バンプが断線する理由を以下のように考えた。ヒートサイクル中に樹脂が厚さ方向に膨張および収縮して、それが Au バンプに作用して断線する。また、大部分の剛性を占める LSI チップと基板の線膨張係数の差が貯蔵弾性率の小さい樹脂に集中し、樹脂を大きく歪ませるそして、Au バンプにせん断応力が生じ断線する。以上このことから、Au バンプに生ずる最大主応力方向の熱応力およびせん断応力が原因であると考えた。

以上のことから、COB 構造体に生ずる厚さ方向の熱残留応力およびせん断応力を有限要素解析によって求めた。その結果をそれぞれ図 6, 図 7 に示す。

図 6 には、ヒートサイクル中に微細配線に生ずる熱応力を示している。破線は内側に位置する Au バンプ (以下内側) に生ずる最大主応力を示し、実線は外側に位置する Au バンプ (以下、外側) に生ずる最大主応力を示している。ここで、加熱時に注目すると、内側に生ずる熱応力は、樹脂が厚さ方向に熱膨張するため増加し、加熱初期段階で最大となるが、樹脂のガラス転移温度以上 (363 K) になると樹脂の貯蔵弾性率が著しく低下するため、厚さ方向の熱膨張の影響が低下して熱応力も減少することがわかる。一方、外側の場合も内側と同様に樹脂が厚さ方向に熱膨張するために熱応力は加熱が進むにつれて増加する。その後、

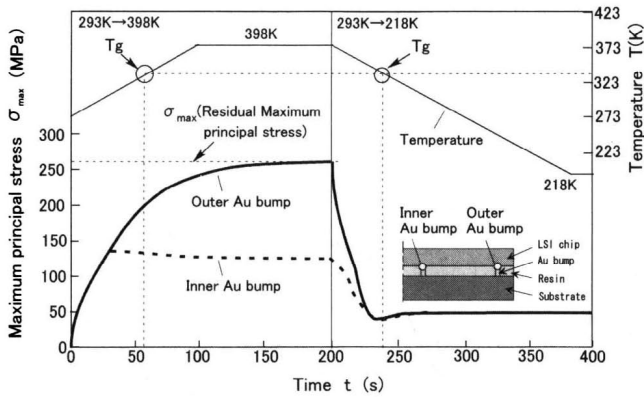


Fig. 6 Thermal stress changes during heat cycle

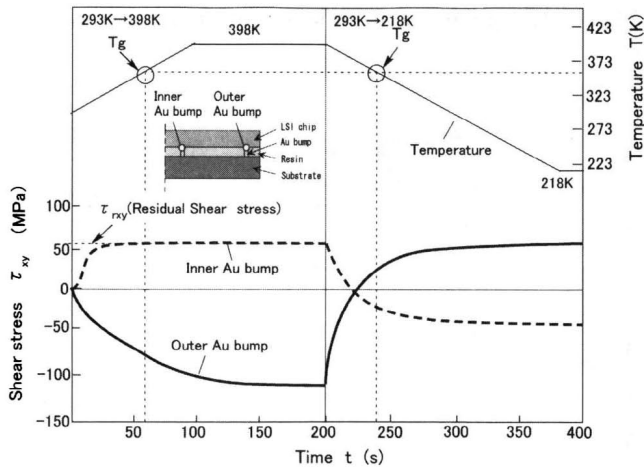


Fig. 7 Shear stress changes during heat cycle

樹脂のガラス転移温度を迎え樹脂の変形の影響が少なくなると樹脂の剛性が低下したためにLSIチップと基板によって樹脂が変化させられて、最大主応力もそのまま増加する。一方、冷却の場合は内側と外側とも減少する。特に、樹脂がガラス転移温度以上になると貯蔵弾性率が大きくなるために、再び大きくなって、その後一定値に収束する。

ここで、加熱および冷却過程で最大主応力が一定に収束している際の最大主応力を残留最大主応力と定義し、加熱と冷却を比較に生ずる残留最大主応力を比較する。すると、冷却時より加熱時に内側と外側ともに最大主応力が冷却時より大きいことがわかる。さらに、加熱時の内側と外側の残留最大主応力を比較すると、外側の方が大きい。外側の方が生ずる熱残留応力が大きくなる理由は、次のとおりである。樹脂は加熱が進みガラス転移温度以上の温度が加わると貯蔵弾性率が著しく低下し、変形が容易となる。その結果、LSIチップと基板によって樹脂は容易に変形させられ、特に、外側は顕著に変形するためである。このように、樹脂の貯蔵弾性率は、最大主応力に多大な影響を与えるだけでなく、Auバンプの配置によってその影響は異なることがわかる。

次いで、せん断応力について着目する。ここで、図7に示す、正負はせん断応力の生ずる方向を示す。同図より、せん断応力は、加熱が進むとともに単調増加する。特に外側は、温度上昇すると樹脂の貯蔵弾性率が低下して、剛性

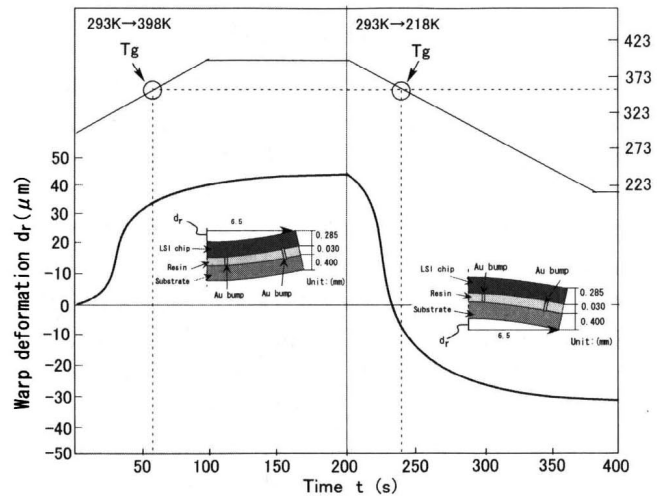


Fig. 8 Residual warp deformation changes during heat cycle

の大きいLSIチップと基板の両者の熱膨張が樹脂内部に集中した結果、100秒付近まで増加をつづける。冷却の場合は、内側と外側の両者とも冷却初期に減少するが、その後増加し内側と外側とも一定値に収束する。内側と外側に差が認められない理由は、冷却終了直前にLSIチップと基板の熱膨張差によって樹脂が変形させられるが、冷却直前に樹脂の貯蔵弾性率は大きいため、容易に変形しないためである。ここで、冷却および加熱過程でせん断応力が定常状態に収束している場合を残留せん断応力と定義する。そして、加熱時と冷却時に生ずる残留せん断応力を比較すると、内側では差が認められないが、外側では加熱時が冷却時に比べて2倍程度大きい。加熱時では、残留最大主応力の場合と同様に、構成材料の熱膨張の影響が大きくなる加熱終了直前で貯蔵弾性率が低下するために、このように内側と外側に差が生ずるものと考えられる。

以上の結果から、熱応力の面ではAuバンプに発生する最大主応力およびせん断応力は冷却時より加熱時の方が大きく、かつ内側より外側の方が大きいことを明らかにした。また、樹脂の貯蔵弾性率が残留最大主応力および残留せん断に及ぼす影響が大きいことが分かった。従って、COB構造体の高信頼実装を達成するためには、加熱時に外側に生ずる最大主応力およびせん断応力を低減する必要があること、樹脂の貯蔵弾性率、特にガラス転移温度以上の弾性係数を正しく設計する必要があると思われる。

COB構造体が反ることによって、Auバンプが変形させられることから、Auバンプの反り変形挙動を求めることも重要であると考えられる。そこで、温度サイクル中の反り変形挙動についても有限要素解析を行った。なお、解析ではCOB構造体の曲率半径の変化を反り変形量とした。その結果を図8に示す。まず、293~398K加熱の場合において反り変形量は加熱が進むにつれて増加し、LSIチップの下を凸にした方向に40 μm程度生ずる。一方、冷却の場合では、冷却初期で反り変形量が減少し、最終的には逆向きのLSIチップの上を凸にした方向に反る。その後は、冷却が進むとともに単調増加(負の向きに)して、30 μm程度となる。ここで、冷却時と加熱時の反り変形量を比較すると、加熱の方が冷却より大きいことがわかる。

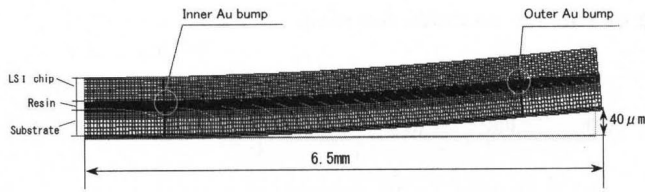


Fig. 9 Schematic diagram deformation

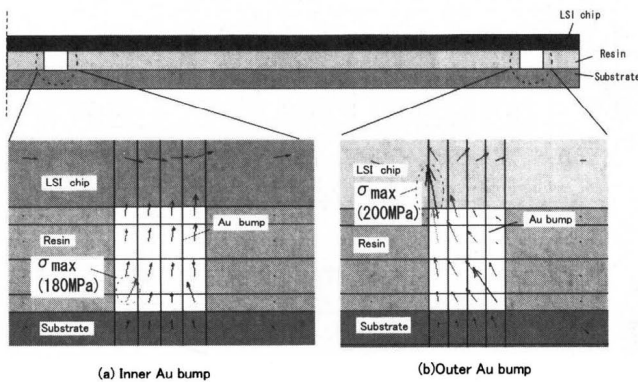


Fig. 10 Residual maximum principal stress distribution around Au bump

#### 4.2 微細配線内部に生ずる熱応力

前節の結果から、加熱の際に Au バンプが断線する危険性が高いと考え、293 K から 398 K の加熱時の場合に着目して有限要素解析を行った。

図 9 には、加熱時の COB 構造体の変形を示す。同図からわかるように、COB 構造体は LSI チップを下に凸にした形に 40  $\mu\text{m}$  程度の反り変形が生ずることがわかる。これは接着剤の剛性が非常に小さく、基板の線膨張係数 ( $15 \times 10^{-6}/\text{K}$ ) が LSI チップの線膨張係数 ( $3.4 \times 10^{-6}/\text{K}$ ) よりも大きいためである。

次いで、Au バンプ周りの主応力に着目する。図 10 に Au バンプ近傍の残留最大主応力分布を示す。図中に示す矢印の長さは残留最大主応力の大きさを示し、方向はその向きである。同図に示すように、Au バンプ近傍に大きな最大残留主応力が生じていることわかる。特に、Au バンプの四隅に大きな主応力が生じている。内側の場合、Au バンプの左下が最大となり、外側は左上が最大となる。また、残留最大主応力は、総じて厚さ方向に分布する結果が得られた。熱残留応力の低減化を検討する際は、この最大になった部分に注目して解析を行った。

#### 4.3 熱残留応力および反り変形挙動におよぼす貯蔵弾性率の影響

前節では、残留最大主応力が最大になる箇所を検討した。この応力が原因で Au バンプが断線する危険性があると考えられる。また記述のように、ガラス転移温度以上の樹脂の貯蔵弾性係率が残留最大主応力および残留せん断応力に与える影響が大きい。そこで、ゴム状領域での貯蔵弾性率  $E_R$  の影響を予測するために、以下に記す手法で予測すべき  $E_R$  の温度プロファイルを決めた。(図 11 参照)

- ①図 2 で示した実験より得られた貯蔵弾性率  $E_R$  を基準プロファイルとする。
- ②基準プロファイルとする貯蔵弾性率はどのケーススタ

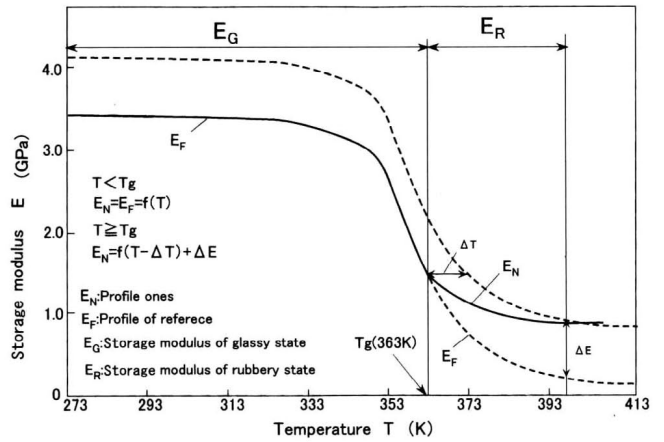


Fig. 11 Example of profile

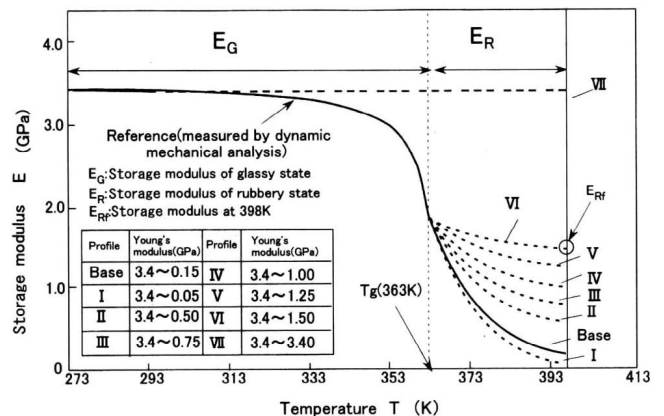


Fig. 12 Profile of storage modulus

ディでもガラス転移温度以下のガラス状領域では同じであり、ガラス転移温度以上のゴム状領域のみ変化するものとする。

- ③貯蔵弾性率のプロファイルのケーススタディはヒートサイクル試験の加熱の領域、293 K から 398 K までとする。
- ④ガラス転移温度点でのケーススタディのプロファイル  $E_N$  が基準プロファイルと同じ値をとるように基準プロファイルを縦軸に  $\Delta E$  移動させたのち横軸に  $\Delta T$  程平行移動させて、最終定的なヒートサイクル温度 (398 K) での貯蔵弾性率  $E_{Rf}$  を種々に変化させた。

上記手法によって、図 12 に示す弾性係数のプロファイルを求めた。  $E_R$  の影響を検討するため弾性係数が 3.4 GPa と一定の場合のプロファイルも採り上げた。また、詳細な値は表 2 に示す。

$E_R$  を種々に変化させた際の残留最大主応力および残留せん断応力の数値解析結果をそれぞれ図 13、図 14 に示す。

図 13 から、残留最大主応力は、外側の Au バンプの場合には  $E_{Rf}$  が 0.5 GPa の際に極小となる。一方、内側の Au バンプの場合には、  $E_{Rf}$  が増加するにつれて残留最大主応力も単調増加する。また、  $E_{Rf}$  が 0.5 GPa 未満の場合には、内側より外側の方が高く、  $E_{Rf}$  が 0.5 GPa 以上になると差は認められない。

内側の場合において、  $E_{Rf}$  の値が大きくなるにつれて樹脂の剛性が増し、樹脂自身の熱膨張によって残留最大主応力は高くなる。一方、外側の場合には、樹脂の  $E_{Rf}$  が極めて

Table 2 Temperature dependence of storage modulus for resin

Unit : GPa

Temperature (K)	218~313	333	353	358	363	368	373	383	393	398
Profile										
Base	3.4	3.3	3.0	2.65	1.95	1.25	0.78	0.30	0.15	0.15
I	3.4	3.3	3.0	2.65	1.95	1.25	0.75	0.13	0.06	0.05
II	3.4	3.3	3.0	2.65	1.95	1.38	1.15	0.75	0.54	0.50
III	3.4	3.3	3.0	2.65	1.95	1.50	1.25	0.94	0.80	0.75
IV	3.4	3.3	3.0	2.65	1.95	1.58	1.40	1.12	1.10	1.00
V	3.4	3.3	3.0	2.65	1.95	1.74	1.63	1.40	1.25	1.25
VI	3.4	3.3	3.0	2.65	1.95	1.77	1.72	1.60	1.50	1.50
VII	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4

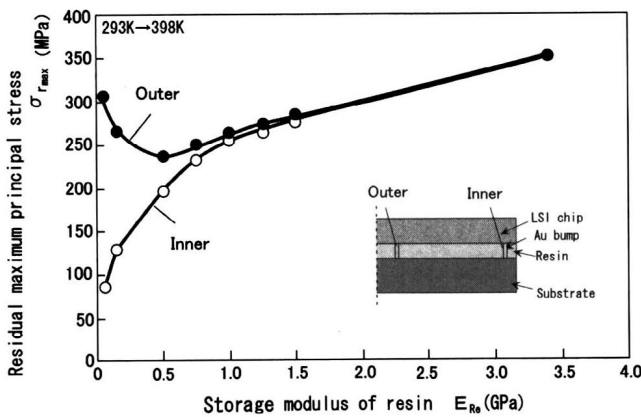


Fig. 13 Relationship between residual maximum principal stress and storage modulus of resin

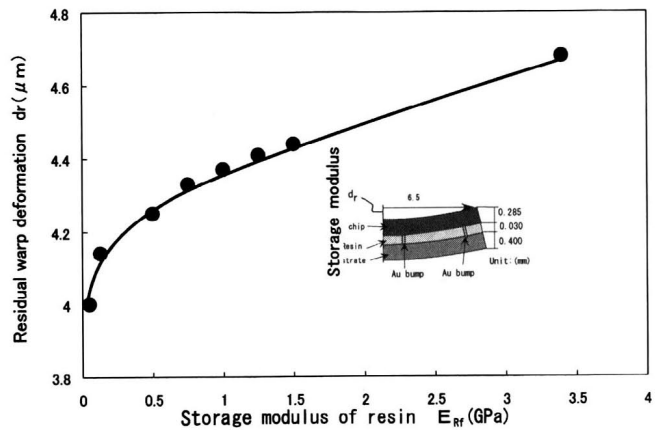


Fig. 15 Relationship between residual warp deformation and storage modulus of resin

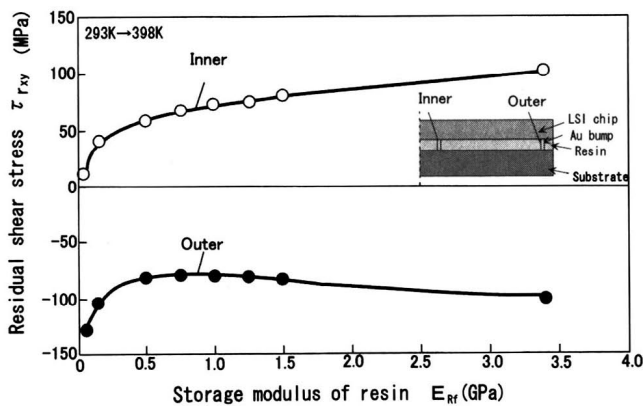


Fig. 14 Relationship between residual shear stress and storage modulus of resin

小さいと剛性が低く変形が容易であるため、残留最大主応力が高い値を示す。そして、 $E_{Rf}$ が0.5 GPaに近づくにつれて樹脂の剛性が徐々に増し、外側の残留最大主応力は低くなるが、次第に樹脂自身の熱膨張の影響が顕著に現れ、再び残留最大主応力は大きくなる。

図 14 には、内側と外側に生ずる残留せん断応力を示している。ここで、図中に示す、正負はせん断応力の生ずる方向を示す。同図より、残留せん断応力は、外側の Au バ

ンプでは  $E_{Rf}$  が 0.75 GPa の際に極大となる。一方、内側の Au バンプでは、 $E_{Rf}$  が大きくなるにつれて残留せん断応力も増加する。ここで、内側と外側の残留せん断応力を比較すると、外側の方が 3 倍程度大きい。

この残留せん断応力の場合も、樹脂の  $E_{Rf}$  が小さい場合は LSI チップと基板の線膨張係数の差により樹脂に大きな変位が加わり、外側の残留せん断応力が大きくなる。 $E_{Rf}$  が 0.5 GPa になると LSI チップと基板の変位を樹脂が抑制するため、外側の Au バンプに大きな変位が生じず、残留せん断応力も小さくなる。さらに、 $E_{Rf}$  が大きくなると今度は、樹脂自身の熱膨張の影響が大きくなり、内側と外側の両者ともに残留せん断応力は増加するものと考えられる。

以上の結果から、樹脂の  $E_{Rf}$  の値によって残留最大主応力および残留せん断応力が変化することが明らかとなった。また、内側と外側の Au バンプに生ずる残留最大主応力および残留せん断応力は、 $E_{Rf}$  の値を種々変化させても外側の方が大きくなる傾向がみられ、外側が断線する危険性が高いと思われる。COB 構造体の高強度・高信頼性実装を達成するには、外側の Au バンプに生ずる残留主応力および残留せん断応力を低減することが必要不可欠である。従って、外側の Au バンプに生ずる残留主応力および残留せん断応力を最小にするためには、樹脂の  $E_{Rf}$  を 0.5 GPa 程度にすることが望ましいと考えられる。

次いで、残留反り変形量の低減化について検討する。図 15 に樹脂の貯蔵弾性率の値  $E_{Rf}$  を種々変化させた場合に生ずる反り変形挙動を示す。図からわかるように、樹脂の貯蔵弾性率が増加するとともに、残留反り変形量も増加することがわかる。しかしながら、その値は 40~45  $\mu\text{m}$  程度であり、樹脂の貯蔵弾性率  $E_R$  を変化させても反り変形挙動に与える影響は少ないといえる。これは樹脂厚さが非常に小さく、その他の構成材料にくらべて剛性が低いためである。

上記の結果から、Au バンプに生ずる熱残留応力を低減させるには、樹脂の貯蔵弾性率、特に高温領域の値  $E_R$  を変化させることが有効であることがわかった。今後は、Au バンプの破壊モードを実験によって求め、より詳しい破壊力学的手法によって、解析を進める必要があると考えられる。

しかしながら、残留反り変形量については、樹脂の貯蔵弾性率の値  $E_R$  を変化させてもほとんど変化が認められなかった。このことから、残留反り変形量を低減するには、樹脂の線膨張係数やガラス転移温度などの物性や樹脂の厚さなどの影響についても引き続き解析を行う必要があるといえる。

## 5. 結 言

COB 構造体を対象に、内部に位置する Au バンプと外部に位置する Au バンプに生ずる熱残留応力を求め比較を行った。そして、熱残留応力や反り変形を低減するため、樹脂の高温領域の貯蔵弾性率  $E_R$  に着目して有限要素解析を行った。その結果、以下の結論を得た。

- (1) Au バンプに生ずる最大主応力およびせん断応力は冷却時より加熱時の方が、また内側より外側の方が大きい。
- (2) 残留最大主応力は、 $E_{Rf}$  が増加するにつれて内側の場合には単調増加するが、外側では  $E_{Rf}$  が 0.5 GPa の際に極小値をとる。
- (3) 残留せん断応力は、 $E_{Rf}$  が増加するにつれて内側の Au バンプの場合には単調増加するが、外側では  $E_{Rf}$  が 0.75 GPa の際に極大値をとる。
- (4) 外側の Au バンプに生ずる残留主応力および残留せん断応力を最小にするためには、樹脂の  $E_{Rf}$  を 0.5 GPa 程度にすることが望ましいと考えられる。
- (5) 残留反り変形量は、 $E_{Rf}$  の値が大きくなると増加する

が、その値は 40~45  $\mu\text{m}$  程度であり、 $E_{Rf}$  の影響は小さい。

## 参 考 文 献

- 1) Taketani, N., Hatano, K., Sugimoto, H., Yoshioka, O., Murakami, G.: "CSP with LOC Technology", ISHM, 1996, Proceeding, 594(1996)
- 2) 村上 元: エレクトロニクス実装学会誌, 1(1), 19 (1998)
- 3) 村上 元: "熱粘弾性解析によるエリアレイ型 LSI パッケージの材料および構造の最適化に関する研究", 学位論文(2000)
- 4) 山口盛司: CSP 実装の現状と将来: エレクトロニクス実装学会誌, 4(6), 457(2001)
- 5) 呉 強, 馬場伸治, 松嶋弘倫, 原田耕三, 林 英二, 木村通考: エレクトロニクス実装学会誌, (6), 332 (2003)
- 6) 岩津 聡, 本多位行: エレクトロニクス実装学会誌, 4(6), 515(2001)
- 7) 田中直敬, 河野賢哉, 三浦英生, 角 義之, 吉田育生: エレクトロニクス実装学会誌, 5(5), 56(2002)
- 8) 中村省三, 長谷部昭男, 芹沢弘二, 高坂 崇, 春田亮: 高分子論文集, 51(12)(1994)
- 9) 中村省三: 回路実装学会誌, 12, 173 (1997)
- 10) 村上 元, 中村省三, 御田 護, 宮野 靖: エレクトロニクス実装学会誌, 3(1), 34(2000)
- 11) Murakami, M., Mita, S., Nakamura, K. Ueno, K. Nakamura: *Chip Scale Review*, 2(5), 55(1998)
- 12) 中村省三, 村上 元, 井坂和博, 上野恵尉, 中村敬一: エレクトロニクス実装学会誌, 2(4), 291(1999)
- 13) 中村省三, 河野 務, 御田 衛, 上野恵尉: プラスチック成形加工学会講演論文集(1998)
- 14) 中村省三, 串崎義幸, 村上 元, 木戸光夫: エレクトロニクス実装学会誌, 5(4)(2002)
- 15) 中村省三, 後藤雅彦, 串崎義幸, 木戸光夫: エレクトロニクス実装学会誌, 5(7)(2002)
- 16) 中村省三, 串崎義幸, 後藤雅彦, 大橋和彦, 木戸光夫: エレクトロニクス実装学会誌, 6(1)(2003)