1713 ピエゾ抵抗チップとデジタル画像相関法を用いたパッケージ構成材料に起因するチップ表面の残留応力評価

Evaluation of Residual Stress in Semiconductor Chips Caused by the Combination of Materials in Packages Using Piezoresistive Test Chips and the Digital Image Correlation Method.

○正 松田 和敏 (ソニーセミコンダクタ九州) 正 池田 徹 (京都大学) 正 宮崎 則幸 (京都大学)

Kazutoshi MATSUDA, Sony Semiconductor Kyushu Corporation Oita Technology Center 3319-2 Owara, Kunisaki-machi Kunisaki-shi, Oita

Toru IKEDA, Kyoto University Yoshida-honmachi, Sakyo-ku, Kyoto

Noriyuki MIYAZAKI, Kyoto University Yoshida-honmachi, Sakyo-ku, Kyoto

Key Words: < Finite Element Method, Viscoelastic Analysis, Piezoresistive, Warpage >

1. 緒言

電子機器の実装部品に使われている BGA (Ball Grid Array), LGA (Land Grid Array) などの半導体パッケージにおいて、実装温度領域における反り量の低減は、製品歩留まりや、はんだの接続信頼性を保証する上で重要である。また近年、半導体パッケージ内の半導体チップに生じた残留応力が、チップに形成された半導体デバイスの電気的な動作特性を変動させ、製品不良を発生させる問題も発生している。そのため、パッケージの設計段階から、反りやパッケージ内の残留応力を正確に予測する必要がある。有限要素法 (以下、FEM と呼ぶ) などを用いたシミュレーション技術の導入が不可欠になりつつある。

半導体パッケージの反りの解析手法⁽¹⁾や、パッケージ内の半導体チップに生じる残留応力の解析手法⁽²⁾は確立されているが、両方を同時に精度良く解析できる汎用的なシミュレーション技術は確立していない。

そこで、本研究では、シミュレーション精度の検証用データとして、piezo抵抗チップ (以下、チップと呼ぶ) を用いた半導体パッケージを製作し、反りとパッケージ内残留応力を測定した。また、パッケージ構成材料の粘弾性物性と、チップとプリント配線板 (以下、基板と呼ぶ) 自体の初期の反り量を考慮することにより、精度良く、反りと応力値を解析する方法を提案する。更に、封止樹脂のガラス転移点近傍におけるチップ界面の封止樹脂の粘性挙動を、デジタル画像相関法を用いて観測し、封止樹脂がチップ表面に与える応力のメカニズムについても検討した。

2. 評価サンプルとその構成材料の物性値

2-1 評価サンプルの構造

本研究のために、半導体パッケージに用いられている 4 層ビルドアップ基板を用いて、図 1 に示す評価サンプルを樹脂封止前の構造と樹脂封止後の構造で、各 5 個作成した。チップは、(株) 日立超 LSI システムズ製の市販チップを用いた。チップ表面には、チップエッジに沿った方向が長方形になるように 4 つの piezo抵抗ゲージが形成されている。正方形の軸対称構造のため、本研究では、 $X1=Y2$, $X2=Y2$ と仮定し、評価用の応力値のデータは、 $X1$ と $X2$ を用いた。また、本チップは、測定値に 1/100~1/10 程度の誤差を原理的に含んでいる。

2-2 構成材料の物性値

パッケージ構成材料の物性値は、実際の材料について測定

した。貯蔵弾性率 (以下、ヤング率と呼ぶ) の測定には、動的熱機械測定装置 DMA (Dynamic Mechanical Analyzer) を用い、線膨張係数 (以下、CTE と呼ぶ) の測定には、熱機械測定装置 TMA (Thermo-Mechanical Analyzer) を用い、いずれも引張荷重下で測定を行った。

図 2(a) に構成材料の CTE を、図 2(b) に構成材料のヤング率を示す。チップの CTE は、 $3.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 、剛性定数は文献⁽²⁾の剛性行列を用いた。

Fig.1 Schematic of a test package..

Fig. 2 Material properties of components in a package.

3. 反りと応力の評価方法

パッケージの反りの測定には、モアレ干渉縞反り測定装置を用いて、常温～250℃までの反りを測定し評価に用いた。チップの応力値は常温で測定した。樹脂封止前後で測定した反りと応力値を、シミュレーション結果と比較することにより解析精度の検討を行った。図3に解析に用いた樹脂封止前の有限要素モデル（1/4 対称モデル）を示す。

Fig. 3 3D FEM model.

3-1 初期反りの測定

本研究のために用いたチップと基板には初期（入荷）状態で反りが発生している。反り量の温度依存性は小さく、チップは、回路面を上にして凸状に平均値で 26 (μm)、基板は、チップ実装面を上にして凹状に平均値で 18 (μm) 反っていた。この反り量をシミュレーションモデルに適用した。

チップと基板の要素を、それぞれ Z 方向に 3 層に分割し、1 層のみに熱収縮量を多く設定し、その増分の熱収縮量を調整することで、実験値と同じ初期の反り量を再現した。

3-2 粘弾性解析

本研究では、一般化 Maxwell モデル⁽³⁾を用いた粘弾性解析を行った。解析に用いた物性値は、一定範囲の周波数での温度分散の貯蔵弾性率を測定し、時間-温度換算則が成り立つものとして、データを平行移動することでマスターカーブを得た。また、この際のシフト量を次式の W. L. F. (Williams-Landel-Feery) 式を用いてフィッティングした。

$$\log a_T = -\frac{C_1(T-T_r)}{C_2+(T-T_r)} \quad (1)$$

$$T_r = T_g \quad (2)$$

ここで、 $\log a_T$ は移動因子、 T_r は基準温度、 T_g はガラス転移点、 C_1 、 C_2 は定数である。解析に用いたマスターカーブを図4に、表1には、W.L.F.式の係数と基準温度を示す。

Table 2 Coefficients of shift factor.

	Resin	Substrate	Adhesive
C1	25	29	29
C2	119	98	162
Ref. Temp	140	170	0

Fig. 4 Master curves of relaxation modulus for materials in a test package.

4. 解析結果および考察

4-1 樹脂封止前の反りと応力解析結果

図5に、反りと応力値の解析結果を示す。チップと基板の初期の反りと粘弾性物性を考慮することにより、実験値と反り、応力ともに精度良く一致した。

Fig.5 Comparison between experimental measurements and numerical results before molding.

4-2 樹脂封止後の反りと応力解析結果

図6に、樹脂封止後の反りと応力値の解析結果を示す。チップと基板の反りと樹脂封止材料の粘弾性を考慮することにより、反りは実験値と精度良く一致したが、応力値には大きな開きがあった。

Fig.6 Comparison between experimental measurements and numerical results after molding.

5. 誤差要因の検討

樹脂封止後の応力値の誤差要因を、以下の方法により考察した。

5-1 応力フリー温度の推定

サンプルをチップの動作保証温度の 80℃まで加熱しながら応力値を測定し、応力値の直線近似式と X 軸との交点をチップの応力フリー温度と仮定した。結果を図 7 に示す。X1 と Y1 の応力値から、応力フリー温度は、115℃～130℃と推定できる。この応力フリー温度は、封止樹脂のガラス転移点であり、このガラス転移点近傍に応力フリー温度があるとする文献⁽²⁾の見解とも一致する。しかし、ここで新たな疑問として、応力フリー温度域では、図 6 に示すようにパッケージの反りが発生している。そのため、チップ表面には、応力が発生していると考えられ、矛盾が生じる。その原因調査のため、追加の検証を行った。

Fig.7 Estimation of stress free temperature.

5-2 デジタル画像相関法を用いた封止樹脂の歪測定

デジタル画像相関法 (Digital Image Correlation Method : DICM) ⁽⁴⁾ (以下、DICM と呼ぶ) は、デジタル画像上の任意の画素に着目し、その画素を中心とする部分画像領域 (サブセット) が別の画像ではどの領域にあたるかを相関の評価により探索する手法である。変形前後の観察画像において、サブセット中心の位置を比較することで、変形による着目点の変位を得る。この手法を用いて、評価サンプルの断面を観測し、前述の 115～130℃近傍での封止樹脂の歪挙動を観測した。その結果を図 8 に示す。グラフの X 軸は、X 方向の歪量をプロットしている。

Fig.8 DICM Result

約 100℃を超えると、封止樹脂はチップ界面で大きく歪むことがわかる。この温度は封止樹脂のガラス転移点近傍であることから、ガラス転移点を越えた温度域では、チップ表面には、封止樹脂のすべり現象が発生し、ガラス転移点以上では、チップ表面に応力が発生しないことがわかった。この現象は FEM による粘弾性解析では考慮できない現象であり、新たな解析手法が必要であることもわかった。

6. 結言

本研究では、チップと基板の初期反りと、半導体パッケージの構成材料の粘弾性を考慮することにより、精度良く反りと応力値を求める方法を提案した。さらに、DICM の測定により、封止樹脂のチップ界面でのすべり現象を確認し、以下の知見を得ることができた。

- (1) 樹脂封止前のパッケージ構造では、チップと基板の初期反りと構成材料の粘弾性特性を考慮し、反りと応力値を精度良く求めることができた。
- (2) 樹脂封止後のパッケージ構造では、構成材料の粘弾性特性を考慮することにより、反りは精度良く求めることができたが、応力値の解析精度に課題が残った。
- (3) 封止樹脂のガラス転移点以上では、チップ界面ですべりの現象が発生し、チップへの応力が発生しないことが DICM の測定結果からわかった。

チップ界面に発生する封止樹脂のすべりの現象は、粘弾性解析では考慮できないため、現在、新たな手法を研究中である。結果は追って報告する。

文献

- (1) 三宅 清, “BGA パッケージの硬化収縮を考慮した反り熱粘弾性解析”, エレクトロニクス実装学会誌, Vol.7, No.1(2004), pp.54-61.
- (2) 小金丸 正明, 池田 徹, 宮崎 則幸, “ピエゾ抵抗テストチップと有限要素法を用いた樹脂封止に起因する半導体チップ表面の残留応力評価”, エレクトロニクス実装学会誌, Vol.9, No.3(2006), pp.186-194.
- (3) 横堀武夫, 成沢郁夫, “高分子材料強度学”, オーム社, 1982
- (4) 宍戸信之, 池田徹, 宮崎則幸, 中村健太郎, 宮崎政志, 猿渡達郎, “デジタル画像相関法を用いた電子実装部の熱ひずみ分布計測”, 「材料」, 日本材料学会, Vol.57, No.1(2008), pp.83-89.