

高温環境下での高精度基板反り計測を可能とする

温度可変基板反り検査装置

井上 征利
Masatoshi Inoue

石原 満宏
Mitsuhiro Ishihara

日名子 達也
Tatsuya Hinago

1. はじめに

近年スマートフォンやタブレット PC あるいはウルトラブックなどの可搬コンピュータの急速な普及に伴い半導体パッケージの小型化・薄型化が加速している。

この半導体パッケージの高機能化は、図1に示すように、パッケージ基板実装にボンディングワイヤを使用せず、パッケージ基板表面に bumps^{注1)}を形成して直接電氣的に接続できるフリップチップ実装にすることで実現される。フリップチップ実装ではパッケージ基板全面に電極である bumps を形成できるため、従来のワイヤボンディング実装と比べて、微細配線であっても LSI チップを小型化・薄型化することができる。

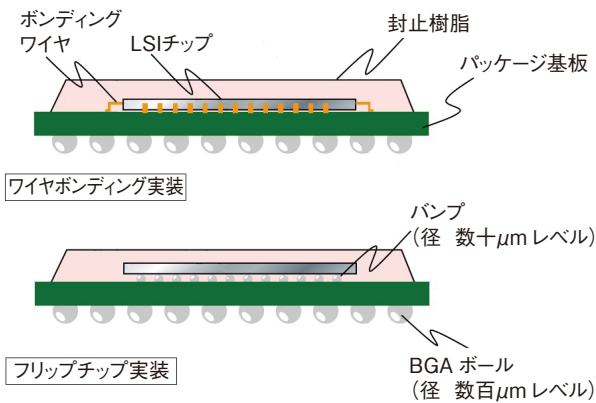


図1 パッケージ基板実装方法

一方、 bumps の接続はリフロー^{注2)}工程において bumps を融解させ接続するが、その際、図2のように bumps が載ったパッケージ基板に反りが発生すると、一部の bumps 部で実装不良になってしまう。この反り量は bumps が微小であるほど実装への影響が大きい。近年では bumps の微細化に加え、環境に配慮した鉛フリーはんだが使用されるようになったことで、はんだの融点が高く、従来より数十度リフロー温度を上げるため、パッケージ基板への熱ストレスが大きく、反りも起こりやすくなっている。

このような背景から、製品の品質や歩留まりを改善するためパッケージ基板加熱中の反り状態を詳細に計測できる装置のニーズが高まっており、東光高岳ではこの要求に応えるべく、業界トップシェアを持つ当社の三次元検査装置で培ってきた共焦点計測技術に、独自に開発し

たセンサ用断熱機構と加熱機構を組み合わせることで加熱中におけるパッケージ基板の反り計測を可能とする温度可変基板反り検査装置(図3を参照)を実用化した。

以下に、その概要を紹介する。

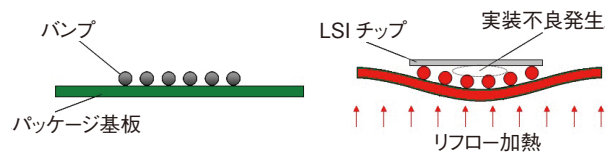


図2 パッケージ基板の反りによる実装不良



図3 温度可変基板反り検査装置の外観

2. 計測原理

共焦点光学系による三次元計測では、対物レンズの焦点位置と共役な位置にピンホールを配置し、計測対象物とピンホールとの位置関係を微動させることで、ピンホールを通過する反射光量が最大となる位置を求めることにより、計測対象物の高さを算出している。

本装置では図4に示すように、このピンホールを必要画素分二次元配列することでXY走査を必要としない共焦点撮像光学系(以下、非走査型共焦点という)とし、さらに、三次元センサ(以下、3Dセンサという)部にZ軸ステージを用いてZ走査を行う手法を用いて

いる。この光学系は全面素同時計測型であることから、Z軸ステージを連続移動させ、所定の高さ位置で高速シャッタ露光できることから、通常の走査型共焦点と比較して高速に計測することが特長である。

表1に今回開発した3Dセンサ部の主な仕様を示す。3Dセンサはお客さまの計測対象物によって、視野サイズおよびXY分解能の異なる2種類のセンサから選択できる。

表1 3Dセンサ部の主な仕様

センサ型式	NCS-5020EX-KN	NCS-5220EX-KN
測定原理	非走査型共焦点	
Z計測範囲	最大 3.0 mm	
Z分解能	0.1 μm	
Z走査速度	最大 1.0 mm/sec	
視野サイズ	6.0×6.0 mm	9.0×9.0 mm
XY分解能	6.2 μm	9.3 μm

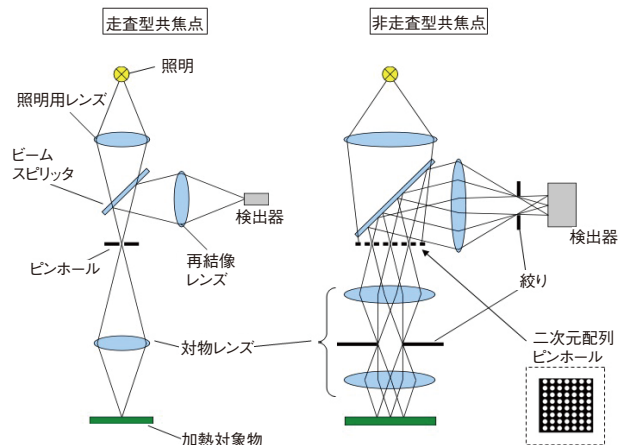


図4 共焦点光学系

3. 装置構成と仕様

3.1 装置の特長

本装置の特長は次のとおりである。

- (1) 独自に開発したセンサ用断熱機構により、加熱対象物から3Dセンサへの伝熱を遮断し、熱の影響を受けない高精度で安定した計測を実現している。
- (2) 加熱後の加熱対象物をクーラで冷却して、計測時間の短縮を図っている。
- (3) 16ステップまでの温度制御プロファイル（室温～最大260℃）が作成可能で、専用の金属性JEDEC^{注3}トレイ（以下、メタルトレイという）に載せられた加熱対象物を多様な温度下で計測できる。
- (4) ヒータによる両面同時加熱により、加熱対象物表裏面の温度差が少ない均一な加熱ができる。
- (5) 専用のアプリケーションにより、計測結果の解析や鳥瞰図表示が容易に行える。

3.2 装置構成

図5に本装置の構成ブロック図を、図6に装置本体加熱計測部の構成図を、表2に基本仕様を示す。

XYZ軸ステージ上のテーブル上に赤外線ヒータを6本配列した加熱ケースを設置し、加熱ケースの上部に多数の加熱対象物を載せたメタルトレイを配置する。3Dセンサとメタルトレイの間にはプレートヒータを設置し、メタルトレイ上の加熱対象物を上方からはプレートヒータによる対流熱伝達で、下方からは赤外線ヒータの熱放射で加熱する。このように両面加熱により加熱対象物表裏での温度差の発生を抑制している。

加熱対象物には熱電対を貼り付け、最大5箇所温度データを基に赤外線ヒータおよびプレートヒータの温度制御を行っている。

メタルトレイの外形はJEDEC規格で322.6 mm×135.9 mmと規定されているが、搭載する加熱対象物のサイズや個数、固定方法などはお客さまが任意に設計したメタルトレイを使用しての計測も可能である。

3Dセンサ部の下方でXYZ軸ステージが移動することで、加熱しながらメタルトレイ全面の領域で計測ができるようになっている。計測動作は加熱対象物が温度プロファイルに基づき目標温度に達し、任意に設定した時間経過後に行われる。

また、3Dセンサ周囲温度の上昇および結露の発生を防ぐために装置用エアコンを装備している。さらに、計測時間を速めるため加熱対象物を加熱した後に加熱対象物を高速で冷却する冷却用クーラおよび排熱用ブロアを装備している。断熱機構部には常時エアと冷却水が供給され、図7に示すように、高温な加熱対象物を計測中でも3Dセンサ部の温度を一定に保ち、3Dセンサ部の保護および安定した計測を実現している。

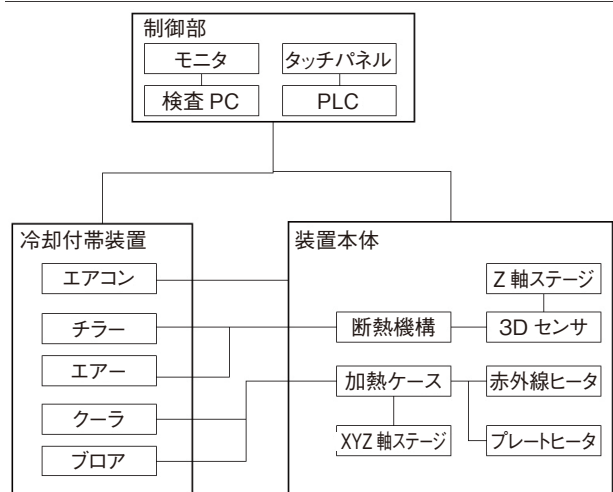


図5 装置構成ブロック図

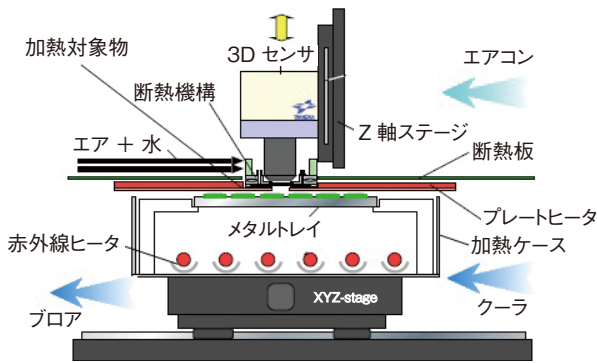


図 6 装置本体加熱計測部の構成

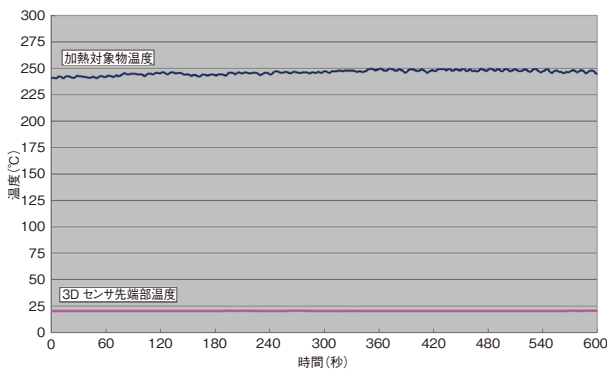


図 7 加熱計測中の 3D センサ部温度変化

表 2 基本仕様

項目	仕様
温度可変範囲	室温～260℃
加熱 / 冷却速度	最大 1.0℃/sec / -0.35℃/sec
平面計測精度	<2.0 μm
計測速度	<2.0 sec (※)
計測項目	基板反り, バンプ高さ・平坦度 etc
装置本体サイズ	1,200(W)×1,960(D)×1,800(H) mm
質量	2,500 kg

※ Z 計測範囲 1 mm 時の 1 視野あたりの計測時間

4. 測定結果

4.1 表裏温度差の例

図 8 に両面加熱と赤外線ヒータのみの片面加熱した場合の加熱対象物の表裏温度差を比較したグラフの一例を示す。厚みや材質、内部の配線パターンなど加熱対象物の条件によって伝熱特性は異なるが、樹脂材を使用した 1.5 mm 厚の積層基板で測定した結果、片面加熱で 25℃ の温度差があったものが、両面加熱により温度差が 5℃ まで低減した。これにより本装置の両面加熱が表裏面温度差を抑制するのに有用な加熱方法であることを確認できた。

4.2 計測結果

高温加熱時の反り計測精度を評価するために、低膨張材質である合成石英ガラスを用いて平面度計測を行っ

た。

面精度 $\lambda/4$ ($0.158 \mu\text{m}$) の $50 \times 50 \text{ mm}$ 合成石英 (熱膨張率 $5.5 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$) 平行平面ガラスを用い、その中心部 $25 \times 25 \text{ mm}$ 領域の反り計測し (9 視野繋ぎ合わせ) 平面度 (最小二乗平面からの偏差の最大最小値差) を評価したところ、常温 25°C で $0.63 \mu\text{m}$ 、加熱時 236°C で $1.01 \mu\text{m}$ の結果が得られた。これにより本装置の 3D センサは熱の影響をほとんど受けずに、サブマイクロメートルレベルの誤差で平面度計測ができ、パッケージ基板の計測には十分な性能を有していることが確認できた。

4.3 実サンプル計測例

図 9 に実際のバンプ付パッケージ基板の計測結果例を示す。バンプの高さも同時計測しているが、各温度帯のパッケージ基板反りのみを表示している。本装置は各温度での基板反り表示だけでなく、計測した結果の反りの差分の表示もできることから、加熱・冷却によってどのような反り変化が起きたかを詳細、かつ、容易に把握することができる。

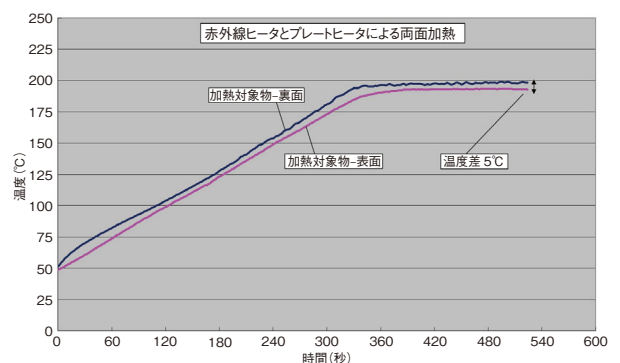
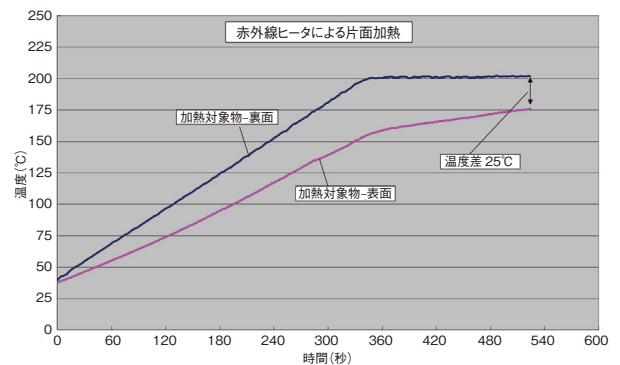


図 8 加熱方式による表裏温度差比較

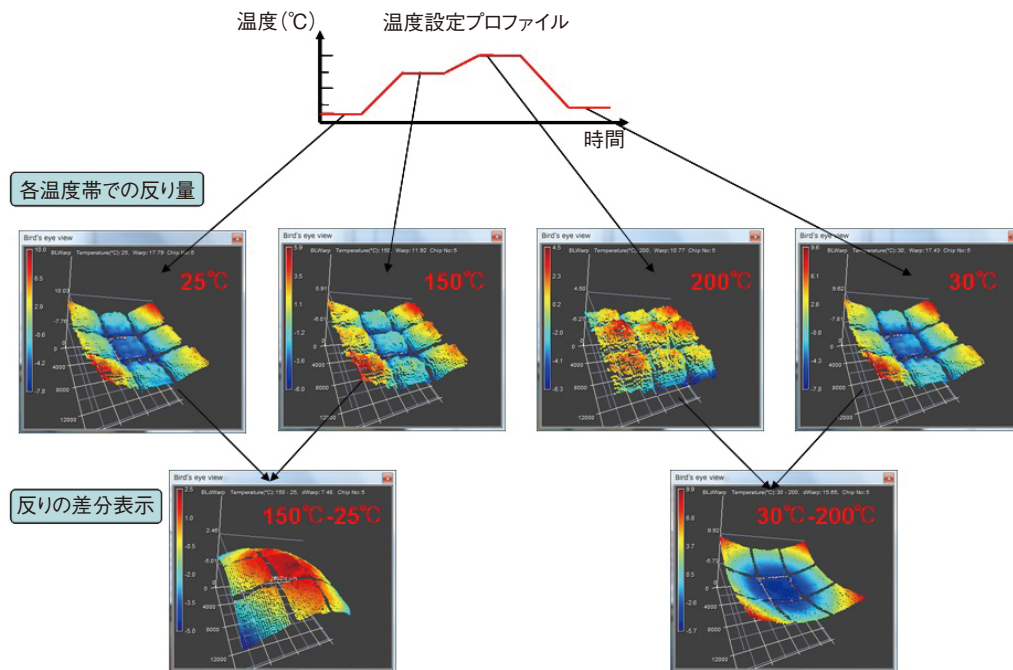


図9 パッケージ基板の計測例

5. おわりに

以上、開発した温度可変基板反り検査装置の概要を説明した。今後は、計測速度の向上と加熱性能の改良を進める。また、パッケージ基板に限らず幅広い分野での加熱計測を可能とするより汎用性の高い装置を開発していく所存である。

■参考文献

- (1) JEDEC: High Temperature Package Warpage Measurement Methodology, JESD22B112, 2005
- (2) 石原満宏:「昇温機能付半導体パッケージ基板反り計測装置の開発」, 2012年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, p.627-628

■語句説明

注1) バンプ: 基板上に形成された突起状の微小電極部。リフロー工程時に融解しはんだ付けされる。

注2) リフロー: 基板上にはんだペーストを印刷し、その上に部品を載せてから熱を加えてはんだを溶かして接合する方法。

注3) JEDEC: Joint Electron Device Engineering Councilの略称で、半導体技術の標準化を行う団体。JEDECトレイはその規格(外周サイズ)に準拠した電子部品を載せるトレイのことを指す。



井上 征利
光応用検査機器事業本部
技術開発部 開発グループ 所属
三次元検査装置の開発に従事



石原 満宏
光応用検査機器事業本部
技術開発部 所属
三次元検査装置の開発に従事
博士(工学), 精密工学会, OSA, SPIE 各会員



日名子 達也
光応用検査機器事業本部
技術開発部 開発グループ 所属
三次元検査装置の開発に従事