

高分解能三次元センサ SCS-7040R2

■ 水野 佑樹
Yuki Mizuno

■ 石原 満宏
Mitsuhiro Ishihara

1 はじめに

東光高岳ではバンパ検査装置を商品化している。バンパは、半導体パッケージ内部にあるICチップとパッケージ基板とを接続する微小電極であり、バンパ検査装置はバンパの高さや径を検査する装置である。バンパ検査装置の心臓部は三次元センサとよばれる光学計測器であり、東光高岳で開発した三次元センサは多くのユーザからの支持を得てバンパ検査用三次元センサとして20年にわたり数多くの納入実績を残してきた。

現在半導体業界においては、3D実装・2.5D/2.1D実装と呼ばれる集積化技術を用いた次世代パッケージの実用化が急速に進められている。次世代パッケージは複数の種類のICチップをまとめたマルチチップモジュールであり、TSV (Through Silicon Via) 技術により複数チップを積層した3D実装 (図1a)、TSV技術を用いたシリコンインターポーザ (中間配線基板) 上にチップを並べる2.5D実装 (図1b)、あるいはパッケージ基板内に高密度な配線層を設ける2.1D実装 (図1c) などの技術により実現される。3D実装は集積度が高く効率的なチップ間通信が可能であるが製造の難易度が高い。3D実装の難易度を下げて早期の実用化を目指したものが2.5D/2.1D実装である。

いずれの技術であれ東光高岳のバンパ検査装置が検査対象としてきた従来のパッケージ基板には存在しなかった高密度の配線が用いられ、その配線上に搭載されるバン

パは従来にない微小径・狭ピッチの配列となる。このような次世代パッケージの検査を可能とし、かつ今後の普及を見据えて量産化に対応できる高速性を有した三次元センサの早期の実現は、関連業界の強く望むところである。

SCS-7040R2はこのような背景のもとに開発された次世代パッケージ用三次元センサであり、XY各 $3\mu\text{m}$ の高い画素分解能と $13\times 13\text{mm}$ を超える広い計測視野を有することを特長とする。

量産時の高速検査に対応するために、東光高岳の三次元センサラインナップの中で量産検査対応の標準機となっている非走査型共焦点三次元センサNCS-7020R1の光学系をベースとし、近年東光高岳で開発した走査型共焦点技術SCS⁽¹⁾を適用することで高分解能化を図った。実験的に得られた必要分解能 $3\mu\text{m}$ を満足しかつ高速検査に必要な広視野を確保するために、2,500万画素の高画素数・高速カメラの採用と再結像光学系ユニットの新規開発を行った。

完成した三次元センサSCS-7040R2は、直径 $30\mu\text{m}$ ・ピッチ $55\mu\text{m}$ の微細バンパを搭載した次世代パッケージの高精度計測が可能であり、また量産に対応可能な計測速度を有することが確認できた。

以下では、初めに三次元センサの原理を紹介し、その後SCS-7040R2について詳説する。最後に実験の結果を報告する。

2 三次元センサ

(1) 共焦点法

三次元センサは光学式の表面形状計測器である。計測原理は共焦点法である。共焦点法は、バンパ検査に必要なサブミクロンオーダの精度と、振動などの外乱に頑健である特長を有しており、量産対応のバンパ検査用計測手法として適している。

共焦点法による高さ計測の原理を図2に示す。

照明用ピンホールから射出された光は対物レンズを通して物体上にスポットを形成する。物体表面がスポットの形成位置 (焦点位置) にある場合、反射した光は対物レンズで集光され、ビームスプリッタを介して照明ピンホールと光学的に同等の位置にある検出ピンホール上に焦点を結び、ほとんどの光がピンホールを通過する。通過した光は検出器に到達し強い検出器出力が得られる。一方、物体表面が焦点位置から外れている場合は、反射

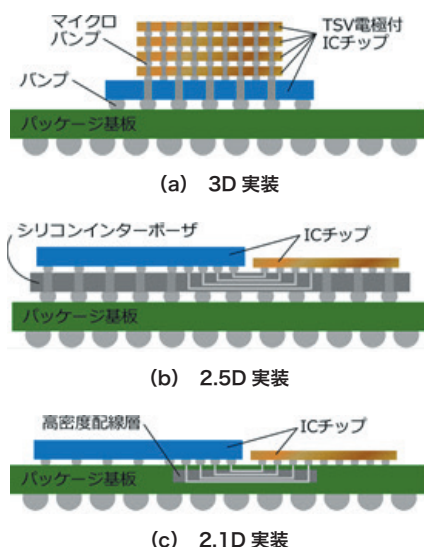


図1 次世代パッケージ技術

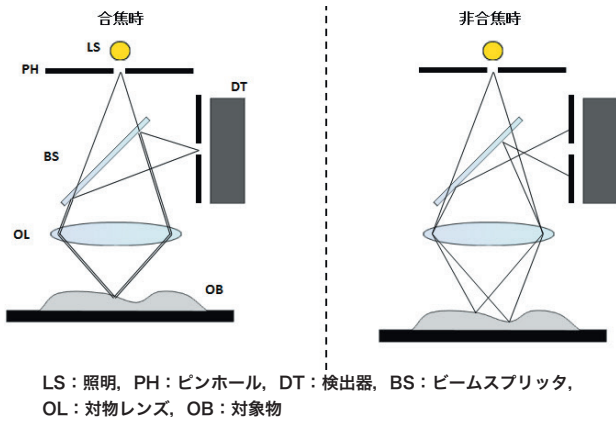


図2 共焦点法

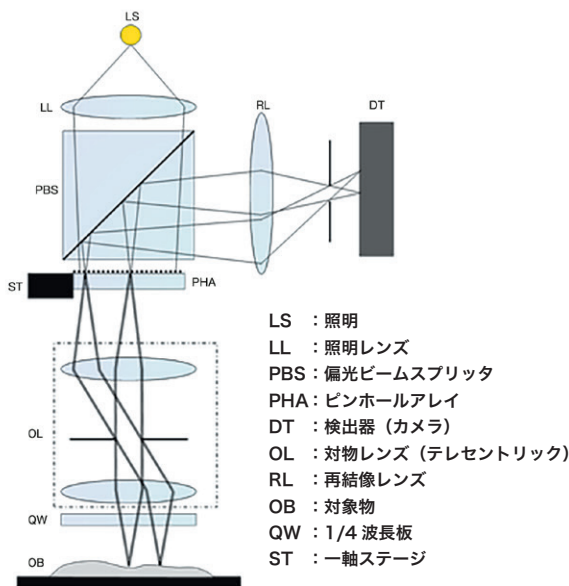


図3 走査型共焦点光学系

光は検出ピンホール上で広がり、ほとんどの光は検出器に到達できず弱い検出器出力となる。この現象を利用して、物体を光軸方向に移動（Z走査）させながら、検出器の出力が最大となる位置を探索すれば物体表面の位置が特定できる。これが共焦点法による高さ計測の原理である。

(2) 走査型共焦点技術 SCS

前記の共焦点法によれば、1回のZ走査により計測できるのは物体表面上の一点だけである。そのため、物体表面全体の情報を得るためには、水平（XY）方向に走査する必要がある。このため共焦点法は一般に時間を著しく消費する手法とみなされている。

東光高岳では、ピンホールを多数並列に配列したピンホールアレイとすることで多点を同時並列に計測する高速化手法—非走査共焦点技術 NCS を開発し⁽²⁾、長年バンプ計測に適用してきた。しかし、非走査共焦点技術 NCS は、ピンホールアレイ上のピンホールの数によって XY 分解能が制限されるため分解能を向上させる手法

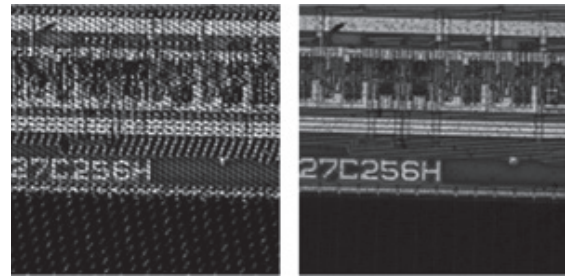


図4 非走査・走査型共焦点技術の解像力 (左：非走査型 右：走査型)

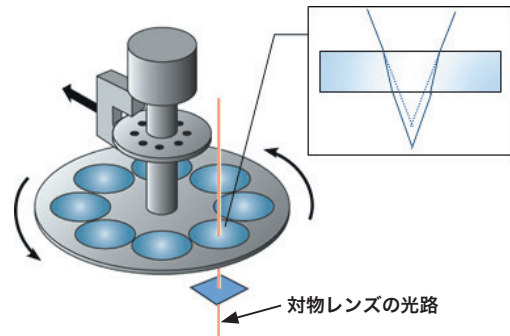


図5 光学的焦点移動機構

として新たに走査型共焦点技術 SCS を開発した⁽¹⁾。

走査型共焦点光学系の構造を図3に示す。走査型共焦点光学系と非走査型共焦点光学系の違いは、ピンホールアレイを走査する一軸ステージの有無のみである。

非走査型ではピンホールアレイの各ピンホールとカメラの画素はほぼ一対一に対応しており、ピンホールの密度より高い画素密度、つまり高分解能のカメラを用いることは意味がない。しかし、カメラの露光時間（シャッターの開いている時間）の間にピンホールアレイを一軸ステージにより移動させれば、元々対応していない画素上にもピンホールが移動しその画素も情報を得ることができる。つまりタイムシェアリングで画素露光が可能となることから、ピンホール密度に制限されない高分解能＝高画素数のカメラを用いることができる。すなわち高分解能の高い計測が可能となる。

実際に、ピンホールアレイの密度より画素密度の高いカメラを用いて撮像した例を図4に示す。非走査型においては、情報が得られない画素が黒くモアレ縞^{注1)}となって見えているが、走査型においてはすべての画素で情報が得られ自然な画像となっている。

(3) 光学的焦点移動機構

先に示したように共焦点法においてはZ走査が必要である。Z軸移動可能なステージに計測対象物を配してZ走査させるのが一般的であるが、東光高岳ではより簡易かつ高速にZ走査が可能な技術を提供している。この技術は、Z走査を機械的ではなく光学的に実現でき、光学的焦点移動機構と呼んでいる。図5にその構造を示す。

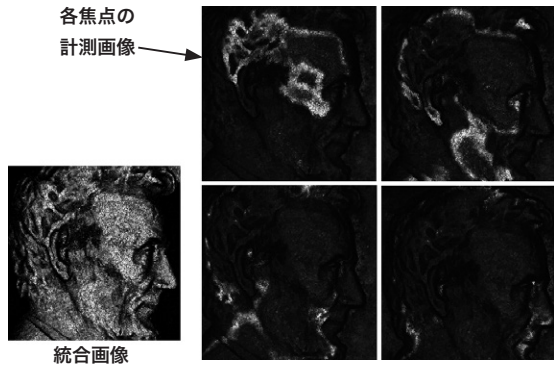


図6 光学的焦点移動機構による共焦点画像の例

円板上に、互いに厚さの異なる平行平面ガラスを配置し、対物レンズの光路中に挿入して円板を連続回転させる。対物レンズの光路中に平行平面ガラスが挿入されると、ガラスの厚みに比例して対物レンズの焦点位置が移動することから、円板の回転により焦点位置移動が発生する。焦点位置の移動は計測対象物のZ軸移動と光学的には同等と考えられるから、焦点位置移動によりZ走査が実現されることになる。円板を高速回転させることで簡易に高速なZ走査が実現できる。

図6に光学的焦点移動機構を用いて撮像した共焦点画像の例を示す。共焦点光学系においては光学系の焦点位置に物体表面があるときのみ強い検出器出力（白い部分）が得られ等高線となって画像に現れる。光学的焦点移動機構により焦点位置が変化しそれに伴い等高線が移動しているのがわかる。

3 SCS-7040R2

SCS-7040R2は、東光高岳の従来の三次元センサが有する、量産検査に対応可能な高速性を維持しながら、次世代パッケージが計測可能な高い分解能を実現することを目標として開発した。

図7に開発したSCS-7040R2の外観を、表1に主な仕様を示す。共通の対物レンズを使用する従来三次元センサNCS-7020R1の仕様も比較のために併記している。NCS-7020R1は、東光高岳の三次元センサラインナップの中でも量産検査対応の主力機種である。

(1) 高分解能の実現

開発前の実験により、次世代パッケージの微細バンプに対応するためには、XY画素分解能として3μm以下が必要であることが判明していた。この分解能は従来の非走査共焦点技術NCSでは原理的に実現不可能であった。走査型共焦点技術SCSの技術を用いることで初めて3μm分解能が達成できた。走査型共焦点技術SCSは対物レンズの光学分解能レベルまで画素分解能を向上させることが可能となることから将来的にはさらに高分



図7 SCS-7040R2 外観

表1 SCS-7040R2仕様

	NCS-7020R1	SCS-7040R2
XY画素分解能(μm)	7.8	3.0
視野サイズ(mm)	13.0×13.0, 15.0×11.0, 11.0×15.0 可変	
対応最小バンプ径(μm)	50	25
対応最小バンプピッチ(μm)	90	55
画像入力時間(s/視野)	0.25	0.38
計測速度(個/H) [計測エリア35×35mmの時]	550	470
光源	メタルハライドランプ	LED

解能とすることも可能である。

(2) 広視野の確保

視野サイズは検査速度に関して支配的に影響することからNCS-7020R1に劣ることのないように一辺最大15mmを確保した。3μm分解能で一辺あたり15mmの視野を確保するためには(15mm/0.003mm=)5,000画素以上のカメラが必要となる。従来、5,000×5,000画素を超えるカメラは数枚/秒レベルの撮像速度のものしか市場に存在せず、高速検査装置への適用は不可能であった。今回5,120×5,120画素を有しかつ90枚/秒を超える高速撮像が可能な高パフォーマンスカメラがSCS-7040R2開発直前に入手可能となったことはSCS-7040R2の実現に大きく寄与している。

(3) 構造

図8にSCS-7040R2光学系の構造を示す。3μm分解能、15mmの視野実現のために倍率1.5倍の再結像・照明レンズを新たに開発した。この新規再結像・照明レンズと対物レンズとの間に、走査型共焦点を実現するSCSスキヤナを配置している。SCSスキヤナが一方向に等速移動している間に光学的焦点移動機構が1回転し、計測に必要な画像を取得する。連続回転する光学的焦点移動機構1回転で1回の計測が完了するので原理的な速度は従来の非走査型共焦点三次元センサと差異はない。カメラの撮像速度によってのみ計測速度が左右されることになる。そのため、表1に示すようにSCS-7040R2は、NCS-7020R1に対し画素数比で6倍以上の高解像度と

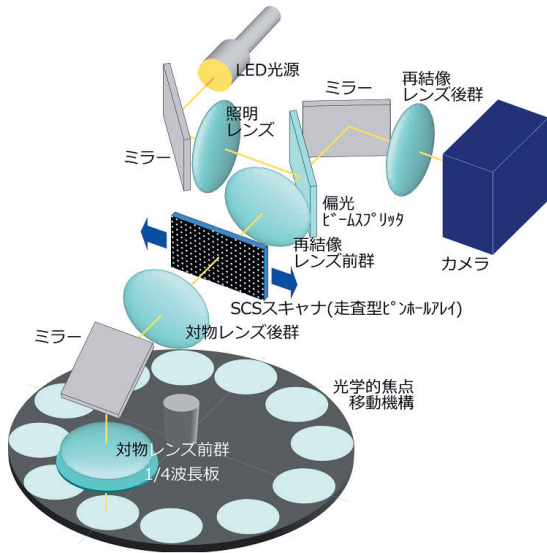


図8 SCS-7040R2 光学系の構造

なったにもかかわらず、遜色のない計測速度が達成できている。速度差異はカメラの撮像速度の違いである。

光源として、新たにLED光源を採用した。従来のメタルハライドランプに比べ寿命が長く、高速なON/OFF・光量切替が可能となった。

4 実験結果

(1) 分解能の確認

図9にNCS-7020R1, SCS-7040R2それぞれの三次元センサで撮像した集積回路の画像を示す。分解能の比較を容易にするために視野の一部を拡大して表示している。NCS-7020R1に比べSCS-7040R2は微細なパターンまで解像できていることがわかる。

(2) 次世代パッケージのバンプ計測

径30μm, ピッチ55μmの微細バンプが搭載された次世代パッケージ用基板の計測結果を図10に示す。約12,000個のバンプの高さ(基板とバンプ頂点の差)を30回計測し、その繰り返し精度を表示している。横軸は各バンプの番号、縦軸が各バンプの計測ばらつき(3σ値)である。計測ばらつきの平均は約0.2μmで

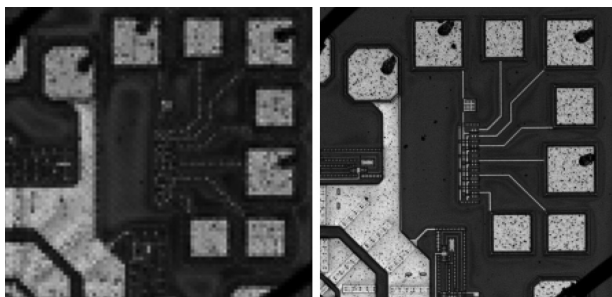


図9 非走査型と走査型の計測画像
(左:非走査型 右:走査型)

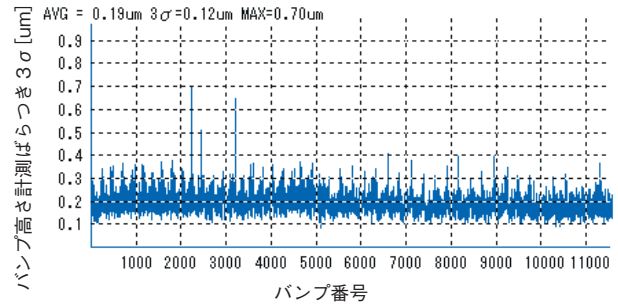


図10 バンプ高さ計測の繰り返し精度

あり、高い精度が得られている。

SCS-7040R2により次世代パッケージの微細バンプを高い精度で計測できることが確認できた。

5 終わりに

本稿では次世代パッケージのバンプ検査に対応できる三次元センサ SCS-7040R2 の開発について報告した。3μmの高分解能と量産検査に対応可能な計測速度を達成できた。

半導体実装の技術革新は頻度が高くかつ急速である。半導体検査装置には新しい技術への対応が常に求められる。今後もより高度な三次元センサを、時期を逸することなく開発していきたい。

参考文献

- (1) 日名子:「走査型共焦点方式三次元計測」, 東光高岳技法, Vol.2. 2015 pp. 20-23 (2015)
- (2) M. Ishihara: “A Confocal Surface Measurement System Having Improved Measurement Accuracy for Rough Surfaces and Measurement Speed”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.15 No.3, pp. 331-440 (2003)

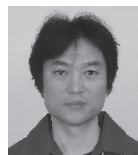
語句説明

注1) モアレ縞: 周期性のあるパターン間で発生する幾何学的な干渉縞



水野 佑樹

光応用検査機器事業本部
技術開発部 開発グループ 所属
三次元計測センサの開発に従事



石原 満宏

光応用検査機器事業本部
技術開発部 所属
三次元計測センサの開発に従事
博士(工学), 精密工学会会員