

高精度光応用計測技術の開発(第8報)

ニポウディスクによる表面形状計測

門藤至宏, 櫛野朝光^{*1}, 廣川勝久, 古本浩章, 竹保義博^{*2}

Noninvasive optical measurement for external, surface and internal structures VIII

Surface measurement using confocal microscope composed with Nipkow disk

MONDO Munehiro, KUSHINO Tomomitsu, HIROKAWA Katsuhisa,
FURUMOTO Hiroaki and TAKEYASU Yoshihiro

We demonstrate a three-dimensional surface measurement of the CSP(Chip Size Package) by using a confocal microscopy that contains a Nipkow disk. The disk has 15,400 pinholes, and it enables us to capture video-rate confocal images during rotation. A bird's-eye view of the chip is derived from a series of confocal sectioning images. In addition, we describe that an image processing software can measure solder bump displacements on the package surface plane. The software is independently performed from three-dimensional measurement of confocal microscopy. The software and confocal microscopy operate complementary to each other to achieve the surface measurement.

ニポウディスクを組み込んだ共焦点顕微鏡を使った CSP チップの非接触3次元表面形状計測を紹介する。15,400個のピンホールを持つニポウディスクを利用することにより、ビデオレートで共焦点画像が得られる。取り込んだ一連の共焦点セクション画像から、CSP チップの鳥瞰図が導出される。また、画像処理による平面内の位置ずれ計測を組み合わせることで3次元表面形状計測が可能である。

キーワード：光計測, 表面形状計測, 共焦点, ニポウディスク

1. 緒 言

製造業における加工技術の進歩により、製品出荷時の精密加工品の検査に対するニーズは、今後ますます高まることが予想される。精密加工品では、一般的に利用されている接触式の形状測定が困難な場合がある。例えば、本研究で対象としている CSP (Chip Size Package) チップでは、半田ボールのサイズや間隔が接触式のプローブの先端より小さいため計測できない。また、多数の計測箇所が必要となる精密計測においては、計測時間の短縮は重要な課題であるが、接触式では同時に複数箇所の計測は困難である。光計測は非接触式であり、並列して高速走査が可能であるため有効である。

著者らは、測定対象の大きさや必要となる分解能に応じた計測方法(光切断法, 共焦点計測法, 干渉計測法)を選択し検討を行っている^{1)~6)}。その中で共焦点計測法はセクション特性⁷⁾があるため、工業分野(半導体検査), 生物分野(顕微鏡観察)などで広く用いられて

おり、走査の高速化のため顕微鏡にニポウディスク⁸⁾を組み込んだものや、レーザービームをミラーや AO 変調素子(Acousto-Optic Modulator)で偏向させるもの⁹⁾などがある。ニポウディスクを用いた光学系は、ビームを偏向させる場合よりも、機構がシンプルで扱いやすいため、本研究においても採用している。その低い光利用効率を補うためにマイクロレンズアレイを組み合わせたもの¹⁰⁾もあり、生物観察等に利用されている。

これまでに、単焦点方式での共焦点光学系による3次元表面形状計測の有効性を示し、前報⁵⁾においてニポウディスクの設計・試作と、その結像特性の評価を行い良好な結果を得たことを報告した。本報告では、ピンホール数を前回より増加させ改良したニポウディスクを用いて共焦点光学系を構築し、CSP チップの表面形状計測に適用した結果について示す。

2. 実 験

2.1 光学系の概要

ニポウディスクは、Paul Nipkow により発明された多数のピンホールを持つ円盤である。ニポウディスクが回転すると、ピンホールを通過した複数の光が試料表面上

2004.05.31 受理 情報技術部

*1 ㈱サンエス

*2 応用加工技術部

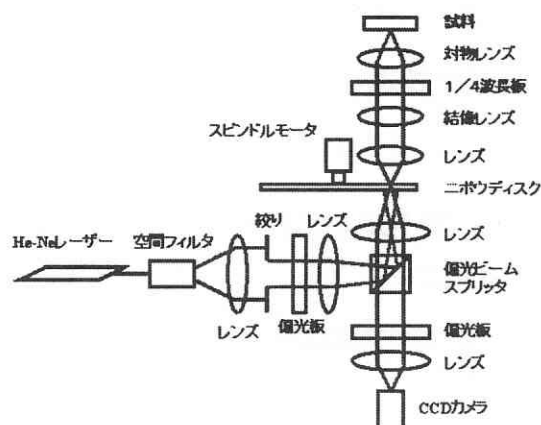
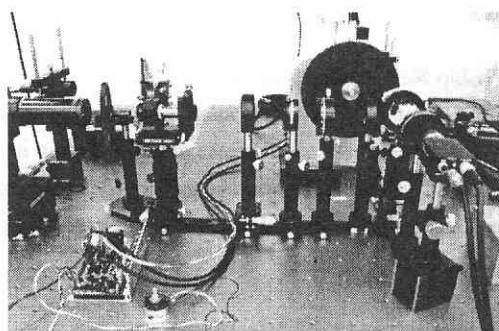
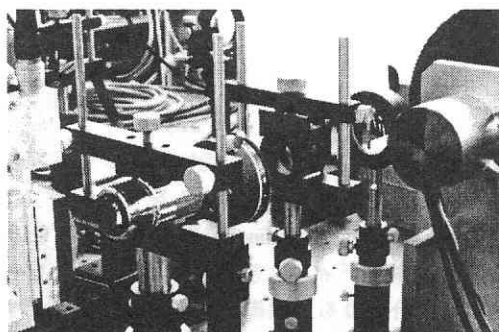


図1 実験光学系



(a) カメラ側



(b) 試料側

写真1 実験光学系

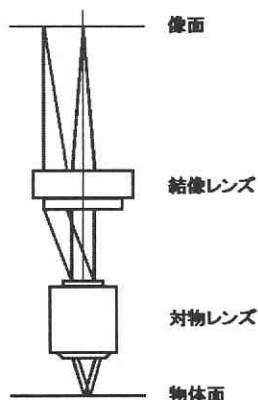


図2 マルチビーム走査

にそれぞれの円弧を描いて高速に走査する。

ニポウディスクにより、マルチビームでの表面走査が可能になり、ビデオレートでの高さ画像撮像が可能となる。そのため、1点走査である単焦点方式と比較して、大幅な計測時間短縮が可能である。このニポウディスクを用いて、CSPチップ表面形状計測用の光学系を構築した。実験に使用した光学系を図1および写真1に示す。光源は、He-Ne レーザー（波長 632.8nm, 直線偏光）を用いている。対物レンズは、M Plan Apo（株式会社ニッポコ製：倍率 10 倍, 開口数 0.28）を利用した。この対物レンズと結像レンズ（株式会社ニッポコ製：MT-1）の組み合わせにより、無限遠光学系を構成し、試料への入射光の波面を揃えており、マルチビーム走査が可能となる（図2）。ニポウディスクは、ステンレス製で、直径 160mm, 厚さ 90 μm , ピンホール数 15,400 個, ピンホール直径 40 μm で、表面が反射防止コーティングされており、ブラシレススピンドルモーター（株式会社千葉精密製：回転数 300~5,000rpm, 面安定性 5 μm ）で駆動する。試料はステッピングモーター駆動の3軸ステージ（中央精機株式会社製）上に置かれているが、今回は撮像と同期してZ軸方向（高さ方向）のみ駆動した。

2.2 偏光の利用

単焦点方式の場合との違いは、マルチビームに加えて偏光の利用もあげられる。ニポウディスク表面を照射した際に、ピンホール以外の表面で反射する光はノイズとなるため、除去する必要がある。ピンホールは面積比で数%であり、加えて信号光は試料との間を往復する間に減衰するため、ピンホールを2度通過した微弱光とディスク表面の強い反射光の区別に、光の偏光特性を利用した。十分な消光比、もしくは光源の偏光状態の分離を確保することでノイズ光と信号光を区別することが可能である。光源として、インコヒーレントであるメタルハライド光源も検討したが、偏光板の消光比が不十分で、ニポウディスク表面での反射光を十分に低減できないためレーザー光の偏光を利用することにした。ピンホール間隔が十分であるため、クロストークは発生していない。

光源からのレーザー光は、もともと直線偏光であるが、一度偏光板を通して偏光ビームスプリッターに入射させる。偏光ビームスプリッターによりS偏光が試料方向に反射され、ニポウディスクを照射し、ピンホールを透過する光とディスク表面で反射する光に分かれる。ディスク表面で反射する光はS偏光のままであり、ビームスプリッターで光源方向に反射され、CCDカメラへは入射しない。ピンホール透過光は、1/4波長板を透過して試料に照射し、その反射光は再度1/4波長板を透過してニポウディスクに戻り、その間にP偏光に変換される。そのため試料からの反射光のみ偏光ビームスプリッターを通過し、CCDカメラに入射し撮像される。

2.3 ニポウディスクの改良

ニポウディスクの設計方法は前報⁵⁾の内容と同様であ

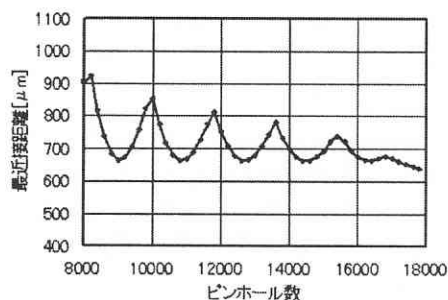
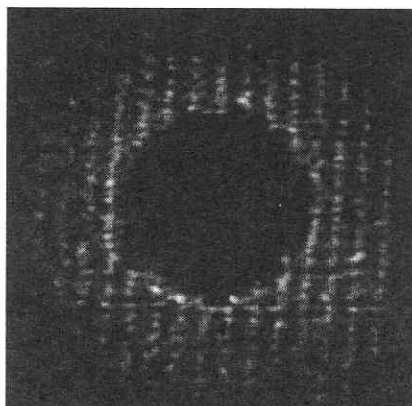
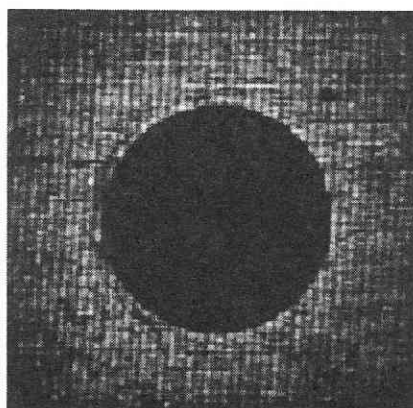


図3 ピンホール数と最近接距離



(a) ピンホール数 6,800 個の場合



(b) ピンホール数 15,400 個の場合

図4 高さ画像

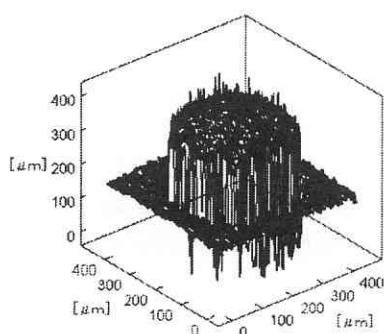


図5 表面形状の鳥瞰図

り、ピンホール間の最近接距離とピンホール数との関係を図3に示す。ディスク回転時のピンホール軌跡は、オーバーラップするように設計したが、回転時の画像に縞状の強度差が見られた(ピンホール数 6,800 個)。そのため、ピンホール数を2倍以上に増やして再試作した(ピンホール数 15,400 個)。条件としては、ピンホール数が多く、最近接距離の大きいものが好ましい。ピンホール数 6,800 個のディスクによる高さ画像を図4(a)に、15,400 個のものを図4(b)に示す。これらの図から画質の差は明らかである。中心の半田ボールが暗く見えているのは、パッケージ表面に焦点が合っているためである。

2.4 表面形状計測結果

高さ方向に6 μmピッチで試料を移動させながら撮像した一連の高さ画像から各X Y座標の濃淡値を抽出し、画像間の比較から高さ方向のピーク値を求め、表面形状の鳥瞰図としたものを図5に示す。

3. 画像処理

3.1 概要

共焦点光学系により、3次元の表面形状を再現することが可能であるが、主に高さ方向での計測に関心がおかれる。平面内での半田ボールの位置ずれ計測については、画像処理で対応が可能である。画像処理用の撮像系を写真2に示す。光源にはローアングル青色LED照明(シーシーエス㈱製、FPQ-96-BL)を用いた。この照明により、低角からの照射ができ、半田ボールのエッジ部分が明瞭に撮像される。画像処理において、画像処理装置(㈱ファースト製 902Limited Type-1)、FVL (Fast Vision Library) ライブラリ、画像入力ボード(㈱ファースト製 FHC331-LV)、高精細デジタル CCD カメラ(東京電子工業㈱)製 CS3910)、テレセントリックカメラレンズを用いた。開発言語は、マイクロソフト製 Visual C++を使用した。FVL の応用ライブラリの中に位置ずれ計測に関連する API が含まれており、それらを用いて開発した。開発したソフトウェアの動作中の画面を図6に示す。

3.2 アルゴリズム

画像処理アルゴリズムとしては、最初に予め求めておいたしきい値で2値化処理を行い、得られたブロップを基に半田ボールの粗位置を検出(図7(a))し、濃淡処理で半田ボールエッジを抽出(図7(b))する。そして、半田ボールの輪郭に外接する円を求めて(図7(c))、その中心を半田ボール座標とすることで、各半田ボールの座標が求まり、位置ずれを算出できる。

4. 考察

単焦点方式の場合、高さ画像を得るために3軸のメカニカルステージを駆動し、1点ずつ走査するため、1枚の高さ画像を得るため約1時間を要した。ニボウディスクを組み込んだ今回の光学系により、ビデオレートで高さ画像を得ることができ、約108,000倍の高速化を実現

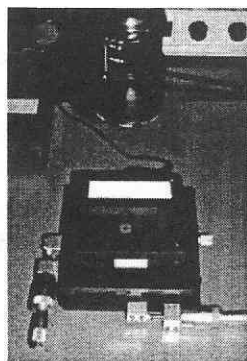


写真2 画像処理用撮像系

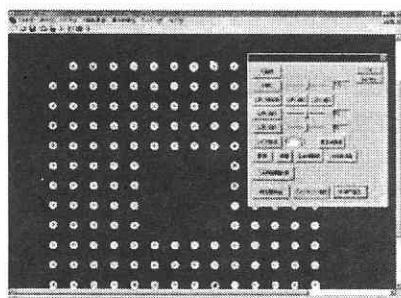
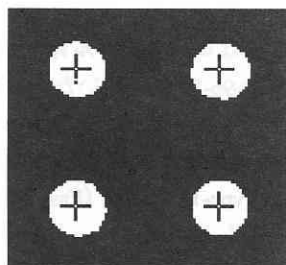
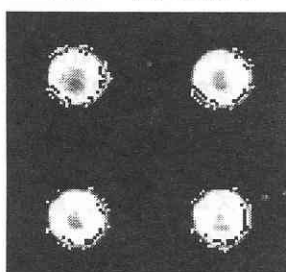


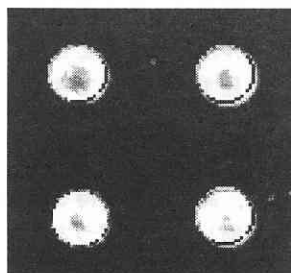
図6 ソフトウェア画面



(a) 粗位置検出



(b) エッジ抽出



(c) 外接円算出

図7 画像処理結果

したことになる。また、この多焦点方式では計測エリアを拡大してもカメラ視野内であれば、撮像速度に影響しない。

ここで、単焦点方式の場合にも問題となったが、半田ボールエッジからの反射光が微弱なため、ボールエッジにノイズが見られる。しかし、半田ボールの頂上付近は、安定した形状が得られるため、ボールエッジを明瞭に撮像できる画像処理系で平面内の位置ずれを計測し、画像処理系では計測不能な高さ計測を共焦点光学系で行うことで、表面形状計測システムを構築できる。

5. 結 言

試作したニポウディスクを用いて、共焦点光学系を構築した。ビデオレートで高さ画像が得られ、単焦点方式と比較した場合の6桁以上の高速化が可能となった。CSPを撮像した一連の高さ画像から鳥瞰図を作成し、表面形状を再現した。半田ボール頂上付近の形状は、安定して得られたが、単焦点方式と同様にボールエッジ付近でノイズが発生した。これを補うため、別の画像処理系を検討し、プログラムを作成した。半田ボールの中心座標から平面内の位置ずれ計測が可能である。共焦点光学系による高さ方向の計測と、画像処理による平面内での計測を組み合わせることで、3次元計測を可能とした。

謝 辞

本研究の画像処理ソフトウェア開発において、ご指導いただいた㈱ファースト 画像ソリューション事業本部 中野隆志氏、および石山絵里子氏に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 倉本ほか3名：広島県立東部工業技術センター研究報告,15,1-4(2002).
- 2) 竹保ほか3名：広島県立東部工業技術センター研究報告,15,5-8(2002).
- 3) 門藤ほか4名：広島県立東部工業技術センター研究報告,15,9-12(2002).
- 4) 廣川ほか3名：広島県立東部工業技術センター研究報告,15,13-16(2002).
- 5) 門藤ほか4名：広島県立東部工業技術センター研究報告,16,13-16(2003).
- 6) 廣川ほか3名：広島県立東部工業技術センター研究報告,16,17-20(2003).
- 7) 藤田哲也：新しい光学顕微鏡, 学際企画, p.31-37,1995.
- 8) Timothy R. Corle : Confocal Scanning Optical Microscopy and Related Imaging System, Academic Press, p.42-44, 1996.
- 9) 山岸聖明：光学系の仕組みと応用, オプトロニクス社, p.70-73,2003.
- 10) 河村信一郎ほか3名：横河技報, 45,2,111-114(2001).