

高精度光応用計測技術の開発(第3報)

共焦点光学系の精度向上

門藤至宏, 櫛野朝光^{*1}, 廣川勝久, 倉本丈久, 竹保義博^{*2}

Noninvasive optical measurement for external, surface and internal structures III

Resolution Improvement on Confocal Microscopy

MONDO Munehiro, KUSHINO Tomomitsu, HIROKAWA Katsuhisa, KURAMOTO Takehisa and TAKEYASU Yoshihiro

We present a resolution improvement method that weights each CCD pixel value during image processing of confocal microscope. In the case of single-pinhole confocal microscope, a pinhole-centered image is captured during three dimensional scanning. We average the pixel values within the area of the image and define the intensity at the coordinates of the focal point. As the sample reach at focal position, the bright area around the pinhole is widely enhanced. The microscope is thus sensitive for the focal position corresponding to the distance from the pinhole. To enhance the effect, we weight each pixel value in proportion to the distance from the pinhole. We experimentally show that confocal peak FWHM(full width of half maximum) of a mirror is sharpened compared with that of the non-weighted microscope. The median filter is also effective in reducing the noise of each image.

共焦点光学系による画像取込において、撮像した画素の重み付けによる高さ分解能の向上について提案する。単焦点方式の共焦点光学系では、ピンホールとその周辺の画像が3軸方向の走査中に取り込まれ、必要な画素を取り出して平均化することで、その座標での濃淡値としている。高さ方向において、サンプルが合焦点位置に近づくほど急激に明るくなり、明るい領域がピンホール位置周辺に広がる。つまり、ピンホール位置から離れるほど合焦点位置に対して敏感であると考えられる。この効果を増大させるために、各画素にピンホール位置からの距離に応じた重み付けを行った。実験では、鏡面反射からの共焦点ピークの半値幅が減少し、高さ分解能が向上した。また、得られた各画像に対しフィルタ処理することで、ノイズを低減した。

キーワード：C S P(Chip Size Package), 外観検査, 光計測, 共焦点

1. 緒言

非接触での3次元形状計測手法として、光計測法が一般的に利用されている。光を利用した3次元計測には、三角測量法・スリット光投影法(光切断法)・干渉法などがあるが、それぞれの計測方法には、計測範囲・分解能・計測時間の制約があり、計測対象に対して使い分けが必要がある。

我々は、計測対象に半導体部品であるC S Pチップを選択し計測を行っている。C S Pチップは、実装されると半田パンプの状態が外観検査できないため、チップ出荷時の形状計測が重要であり、非接触での高速・高精度3次元形状計測が必要とされている。また、半田パンプ

2002.05.31 受理 情報技術部

*1 (株)サンエス

*2 応用加工技術部

は金属光沢があるため、計測部分によっては検出器にほとんど光が到達しない場合があり、計測方法の選択には注意を要する。必要となる計測範囲や分解能を考慮した結果、共焦点光学系¹⁻²⁾が有利であると判断し採用している。共焦点光学系は、対物レンズの焦点位置に限定した情報が得られることから、一方向からの計測で3次元計測が可能である。この光学系は、光沢のある半田パンプ表面に対しても、わずかな散乱光を捕らえることでパンプエッジ以外の形状を再現できる。さらに共焦点光学系は、マルチピンホールを応用すれば、計測時間の大幅な短縮が可能であり、実用化に対して有利である。

前回の報告³⁾では、共焦点光学系を使用して撮像した高さの異なる複数画像からC S Pチップの3次元形状を鳥瞰図に再現した。今回は、同様の光学系に対して取込画素への重み付けや濃淡画像フィルタなどを利用し、前回よりも計測精度を向上⁴⁾させた結果について示す。

2 . 実 験

2 . 1 計測試料

計測の対象となる C S P チップ (裏面バンプ側) を写真 1 に示す。一辺 1 2 m m のチップ裏面に直径約 3 0 0 μ m の半田バンプがアレイ状に配置されている。出荷時の検査としては、これらのバンプの位置だけでなく、パッケージとの位置関係や反りなども必要となる。

2 . 2 光学系

前回の報告と同様の共焦点光学系を用いて計測を行った。使用した光学系の概要を図 1 に示す。今回は、試料側の対物レンズに表 1 に示す 2 種類の対物レンズを使用した。

2 . 3 撮像方法

この光学系では、ピンホールは 1 個だけなので、一度に空間上の 1 点の情報しか得られない。そのため、対物レンズもしくは試料を 3 次元方向に走査する必要があるが、我々は試料を 3 軸ステージ上に設置し駆動している。C C D カメラで捕らえられる画像は、ピンホールを通過する光のみである。その画像から、ピンホールを中心として必要画素を取り出し、それらの濃淡値を平均化してその空間座標の濃淡値とする。そのため、ある高さ平面を画像化するには、撮像と平面内のステージ駆動を繰り返し行い、撮像毎に取り出した画素から画像を構成する必要がある。ステージ駆動間隔は 3 軸共 10 μ m で、駆動距離は X Y 軸方向に 1 m m , Z 軸方向に 500 μ m 程度である。今回は、必要画素を取り出す際に単純平均するだけでなく、中心からの距離に応じた重みを付け、両者を比較した。

2 . 4 焦点近傍の光強度

対物レンズの焦点に試料 (半田バンプ、もしくはパッケージ表面) が当たれば、反射光が対物レンズ、ビームスプリッタ、アクロマティックレンズ 2 を通り、共焦点フィルタであるピンホール位置で再度集光される。焦点に試料が当たらなければ、ピンホールを通過できる光量が極端に少なくなるため、像はぼけることなく消えることになる。つまり、Z 軸を走査することで、特定の高さ (焦点深度の幅) に限定した領域からの平面画像が得られ、これをオプティカルセクションング²⁾ という。そのため、対物レンズの焦点位置が光プローブとなり、空間上の局所領域からの信号のみ捕らえられることから、表面形状が計測可能となる。

焦点深度を Z , 波長を λ , 開口数を N A (Numerical Aperture) とすると、次の関係がある。

$$Z = \frac{\lambda}{4} \frac{1}{1 - \sqrt{1 - NA^2}} \quad (1)$$

式 (1) より光軸方向 (チップの高さ方向) に対し、十分な分解能を得るためには、波長を短くするか、N A を大きくとればよいことがわかる。

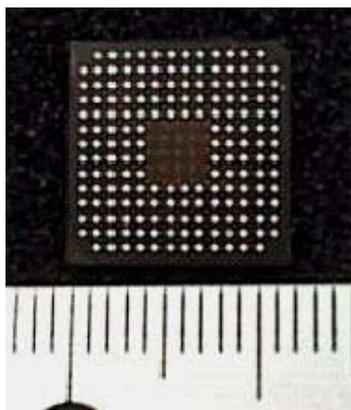


写真 1 検査対象 (C S P チップ)

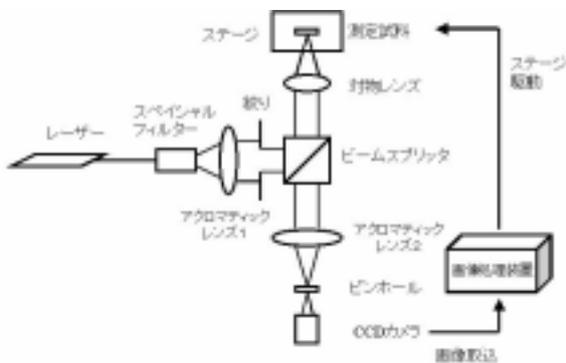


図 1 実験光学系

表 1 対物レンズの種類

	メーカー	開口数
対物レンズ A	ニコン (20 倍)	0.35
対物レンズ B	中央精機 (20 倍)	0.40

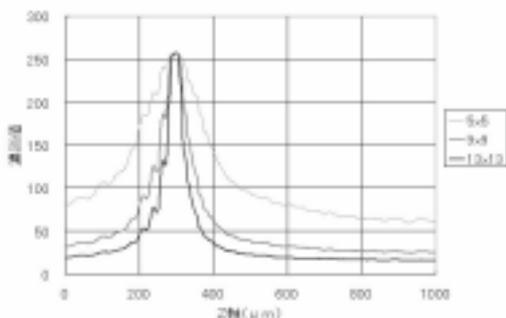


図 2 鏡面反射 (対物レンズ A)

1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1

4	4	4	4	4	4	4
4	3	3	3	3	3	4
4	3	2	2	2	3	4
4	3	2	1	2	3	4
4	3	2	2	2	3	4
4	3	3	3	3	3	4
4	4	4	4	4	4	4

(a) 重み付けなし (b) 重み付け

図 3 取込画像の重み付け

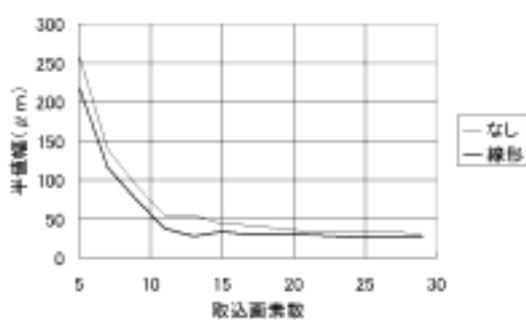


図 4 半値幅比較 (対物レンズ A)

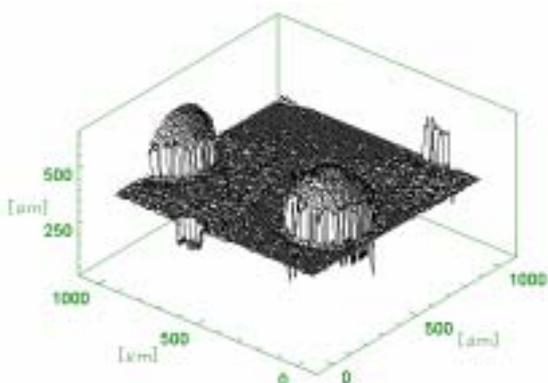


図 5 表面形状 (対物レンズ A)

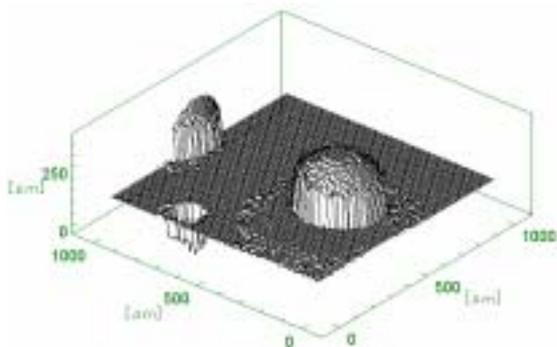


図 6 表面形状 (対物レンズ B)

3 . 結果および考察

3 . 1 鏡面反射

光学系の評価のため、対物レンズAを用いてCSPチップの代わりにミラーを置いて得られた高さ方向のプロファイルを図2に示す。ピンホールを通過し、CCDカメラに撮像された明点およびその近傍(5×5~13×13画素)の平均をプロットした。8ビットで処理しているため、濃淡は256階調である。取り込む画素数が多くなるほど半値幅が狭くなることから、共焦点効果が現れている様子がわかる。実際に、合焦点近傍においてピンホールを通過する光量が急激に増加した際に、明点が広がる様子が確認されることから、取り込む画素数が多いほどピークはシャープになり、半値幅が小さくなることが理解される。

3 . 2 重み付け

撮像時にCCDで取り込む画像において、合焦点付近ではピンホールのみならずその周囲においても急激に明るくなる。そこで、画像を取り込む際にピンホールを中心とした画素において、図3(b)に示すように中心からの距離により重み付けを行い、鏡面反射の高さ方向のプロファイルをとり、図3(a)の重み付けを行わない場合と比較した結果を図4に示す。5×5画素~29×29画素にわたり重み付けを行った場合のほうが、半値幅が小さい。つまり重み付けを行ったほうが、オプティカルセクションングの効果が大きくなる。このことは濃淡画像にも表れており、同じ対物レンズを使用した場合においても、分解能の向上が見込まれる。

3 . 3 鳥瞰図

この光学系を用いて、XYZ方向に駆動ピッチ10μmで走査しながらCSPチップを撮像した。得られた複数枚の高さの異なる画像を元に、各XY座標における濃淡値最大の点をそのXY座標の高さZと定義し、CSPチップの表面形状を鳥瞰図の形に再現した結果を図5~6に示す。視野は1mm×1mmである。図5は対物レンズAを用い、図6は対物レンズBを用いた結果である。半田バンプ、パッケージ表面およびパッケージの窪みまで形状が再現されていることがわかる。図5~6は共に取り込み画像の重み付けを行っていない場合の結果である。鳥瞰図においては、明確な重み付けの効果は現れなかった。このことは、濃淡値のピークを高さの定義としているために、セクションング効果は増加しても重み付けの有無によりピーク位置が変わらないことを意味する。図5において半田バンプの下に伸びているトゲは、バンプの円周上から光が反射・散乱されないために正確な高さが測定できないことによるものである。図5と図6を比較した場合、大きな違いはパッケージ表面の粗さである。図5の場合の粗さが目立つが、このことは開口数の小さい対物レンズを用いたことによる。

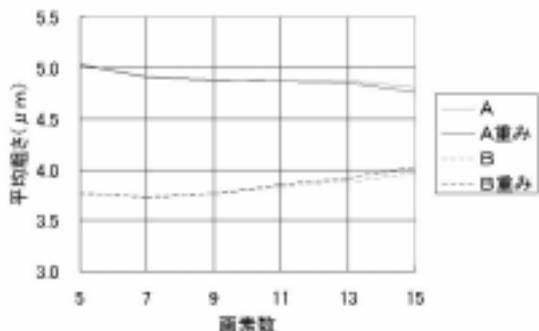


図7 パッケージ表面粗さ

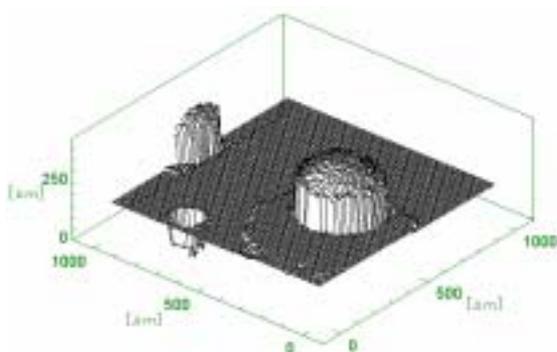


図8 フィルタ適用 (対物レンズB)

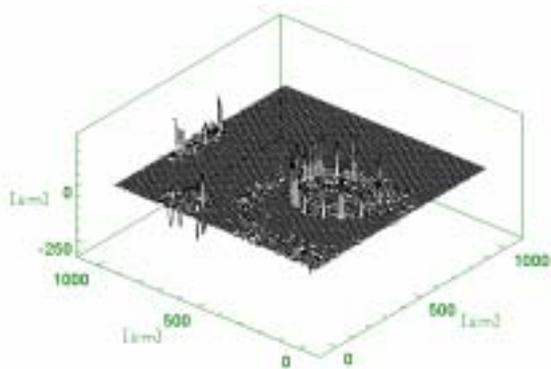


図9 差分 (対物レンズB)

3.4 パッケージ表面比較

視野中のパッケージ表面において粗さを,

$$\sigma = \frac{\sum_{k=0}^{n-1} |Z_{AVE} - Z_k|}{n} \quad (2)$$

とおく。ここで、 Z_{AVE} はパッケージ表面の平均高さ、 Z_k は各点の高さ、 n は対象とする画素数である。

式(2)により、図5と図6のパッケージ表面粗さを計算した結果を図7に示す。図5および図6は取込画素数 5×5 の場合に相当し、それぞれ $5.03 \mu\text{m}$ 、 $3.76 \mu\text{m}$

となっている。これらの表面粗さは、鳥瞰図にみられる傾向と一致している。また、表面粗さにおいても、重み付けの有無による違いはほとんど確認されず、ほぼ同型の鳥瞰図が得られることを示している。前回報告した際の、同様の計算結果は $7.2 \mu\text{m}$ で、光学系の調整や対物レンズの選択により、分解能の向上が確認された。

これらの粗さは、実際の形状ではないと考えられるため、できるだけ計測精度を上げる必要があり、精度向上は重要な課題である。

3.5 メディアンフィルタ

一連の高さ画像に対して 5×5 画素のメディアンフィルタを適用し、インパルスノイズを除去した後に鳥瞰図を作成した結果を図8に、元の鳥瞰図との差分を図9に示す。図6と比較して、パッケージ表面の粗さやバンプ周囲のノイズが低減されていることがわかる。

4. 結 言

共焦点光学系を構築し、CSPチップを撮像した。今回得られた結果をまとめると、

- 1) 取込画素に重み付けを行った結果、鏡面反射プロファイルにおいてセクショニング効果が向上した。
- 2) 2つの対物レンズの計測結果について、表面粗さを計算した結果、開口数の大きいレンズの方が粗さが小さく、鳥瞰図の傾向と一致した。
- 3) 高さ画像にフィルタを適用した結果、パッケージ表面粗さやバンプ周囲のノイズが低減された。

今回は、光学系の再設定や対物レンズの選択により分解能が向上し、鳥瞰図においてもノイズの少ない形状の再現ができた。今後は、複数の開口を利用した光学系⁵⁻⁶⁾の検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) Timothy R. Corle : Confocal Scanning Optical Microscopy and Related Imaging System, Academic Press, 1996, p.1-145.
- 2) 藤田哲也:新しい光学顕微鏡,学際企画,1995, p.11-16.
- 3) 門藤ほか3名:広島県立東部工業技術センター 研究報告,14,13-16(2001).
- 4) Kristna Uhlendorf, gunther Notni and richard Kowarschik, Appl. Opt. 38,5,869-873(1999).
- 5) Charles P. Lin and Robert H. Webb, Opt. Lett. 25,13,954-956(2000).
- 6) Pierre M.Lane, Andrew L. P. Dlugan, Rebecca Richards-Kortum and Calum E. MacAulay, Opt. Lett. 25,24,1780-1782(2000).