

情報機器の小型化に対応するため、半導体チップを基板に直接貼(は)り付けるタイプの実装方式が普及してきた。これに伴い、半導体チップ上のダスト、傷などの外観検査の必要性が高まっている。

今回、5  $\mu\text{m}$  以上の大きさの欠陥を約 14 min(6 インチウェーハ)で検出する外観検査装置を(株)トプコン及びアジアエレクトロニクス(株)と共同開発した。被検査画像を良品画像と比較して欠陥を検出する方式で、微少な位置ずれによって生ずるノイズを、局所的に位置合せをしながら除去する新しい画像処理アルゴリズムを開発した。このアルゴリズムの採用で、目視検査との判定一致率 99 % 以上を達成した。

Accompanying the downsizing of information devices, the use of mounting systems in which semiconductor chips are directly bonded to the substrate has spread. The necessity of inspecting for dust and cracks on semiconductor chips has consequently been increasing.

We have developed a visual inspection system in collaboration with Topcon Corp. and Asia Electronics Inc. This system detects defects at a sensitivity of 5 micrometers, with an inspection time of 14 minutes (for a 6-inch wafer). With a newly developed image-processing algorithm that rejects misalignment noise by repositioning in the local area, we attained a rate of judgment coincidence with human inspection of 99 % or more.

## 1 まえがき

情報機器の小型化に対応するため、半導体チップを基板に直接貼り付ける、いわゆるフリップチップタイプの実装方式が急速に増えてきている。これらの実装方式用の半導体は、パッケージングした形態ではなく、ウェーハの形態での流通となる。半導体チップを、フリップチップタイプで実装する際にダストの付着やバンプの傷などがあると、接触不良な

どが発生するおそれがある。このため、出荷時の半導体チップの外観検査がますます重要になってきた(図1)。

このような市場ニーズを踏まえ(株)トプコン及びアジアエレクトロニクス(株)と共同で半導体チップの外観検査装置を開発した。当社は、主に画像処理アルゴリズムの開発を担当し、“最適化 Min-Max 法”と呼ぶ新しい欠陥検出方法を考案した。ここでは、そのアルゴリズムを中心に、開発した検査装置について述べる。

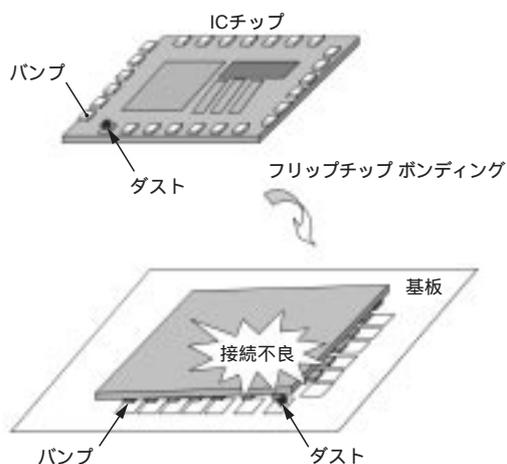


図1. 半導体チップ検査の目的 フリップチップタイプの実装方式では、ダストの付着やバンプの傷などで接続不良を起こすため外観検査が重要になった。

Target of semiconductor chip inspection

## 2 装置の概要

装置の外観を図2に示す。

装置の主な仕様は以下のとおりである。

- (1) 対応ウェーハ 4, 5, 6, 8 インチ, 及びフィルムキャリア付き 5, 6 インチ
- (2) 検査項目 異物, 欠け, 傷, 保護膜の欠陥, バンプ成長不足, バンプ位置ずれ, パッド傷, 針跡ずれ
- (3) 検出精度 5  $\mu\text{m}$  以上(  $\times 5$  対物レンズ使用時)
- (4) 視野サイズ 約 2.5 mm  $\times$  2.5 mm(  $\times 5$  対物レンズ使用時)
- (5) 検査速度 0.3 s/視野

装置の構成を図3に示す。XYZ ステージ上に被検査ウェーハをセットし、100万画素カメラで撮像した画像を処理して欠陥を検出する。画像処理装置には、今回開発した“最適化 Min-Max 法”をハードウェアで演算する回路を搭載

している。このアルゴリズムは、計算量が多いため、これまでで実用化が困難であったが、ハードウェア化することで実用速度での検査を可能とした。



図2. 装置の外観 5 $\mu$ m以上の欠陥を約14min(6インチウェーハ)で検出する。写真はカセット供給式のフルオートタイプ(株)トプコン提供。

External view of system

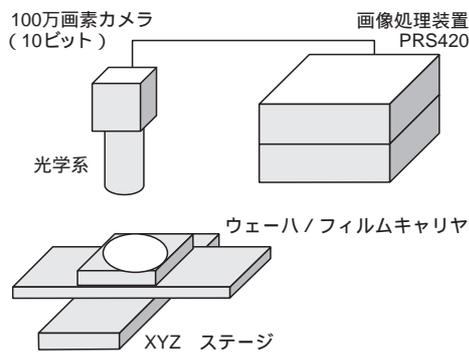


図3. 装置の構成 XYZ ステージ上にウェーハをセットし、100万画素カメラで撮像した画像を画像処理装置で処理して欠陥を検出する。System configuration

### 3 画像処理アルゴリズム

#### 3.1 概要

あらかじめ良品の画像から作成しておいた、基準画像と

の差分を演算することで欠陥を抽出する。

しかし、実画像を用いて単純な差分を演算した場合、画像の位置決め誤差などの様々なばらつきにより、良品であっても差分値がゼロにならずにノイズが残る。ノイズがある状態では、良品を不良と判定させないために判定しきい値を大きく設定しなくてはならず、結果として検出感度が低下して微小欠陥が検出できなくなる。

ノイズが生ずる原因の一つは、1画素以下の位置ずれによるものである。図4に示すように、検査画像が左に1/2画素ずれて入力された時にはエッジの部分の画素は中間の明るさになる。したがって、基準画像との単純な差分では欠陥がないにもかかわらずノイズが出力されてしまう。

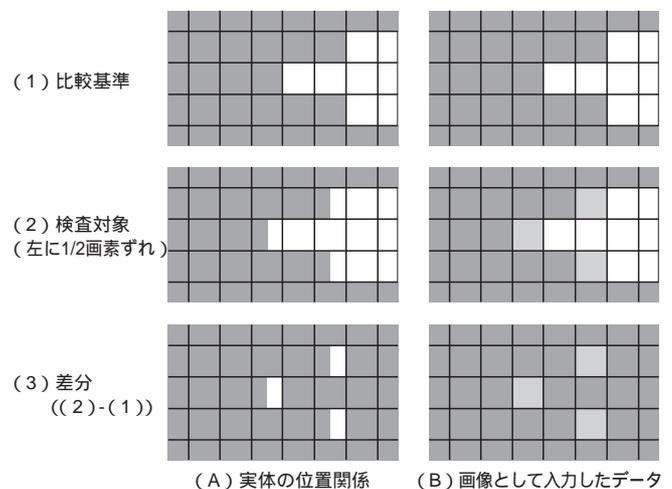


図4. 1画素以下の位置ずれによって発生するノイズ 1画素以下の位置ずれがあると、差分結果がゼロにならないためにノイズとなる。

Noise caused by misalignment

#### 3.2 “最適化 Min-Max 法”

画素の位置ずれによるノイズを抑止するために、従来の手法である Min-Max 法を改良したアルゴリズム“最適化 Min-Max 法”を考案した。

Min-Max 法では、ずれが生じた場合に、ある画素が取得する明るさは、その画素と近傍画素中の最小値から最大値までの範囲であることに着目し、差分結果がこの範囲を超えたときにはじめて欠陥があると考えられる。この方法は、位置ずれノイズに対して有効な方法であるが、エッジ近くの欠陥情報を多く削ってしまう傾向がある。

“最適化 Min-Max 法”は、局所的な位置合せをした後、残ったノイズを Min-Max 法の考え方で抑止する方法である。局所的な位置合せは、注目画素及びその近傍画素から成る局所領域を1画素以下の単位でずらして基準画像との差をすべての場合について求め、もっとも差が少ない場合を採用することで行う。例として、局所領域の大きさが3 $\times$ 3画

素で1/2画素ずらす場合を考える。図5に示すように9通りにずらした基準画像を用意し、それぞれについて差分を演算する。入力画像が左に1/2画素ずれているので、左中の場合に完全に一致し、もっとも差が少ない。したがって、この場合の演算結果ゼロを出力する。

この局所的な位置合せにより1/2画素ずらす場合で、単純な差分の半分以上にノイズを減らすことができる。しかし、局所的な位置合せだけでは図6に示したように、ずれがないか、又は、ちょうど1/2画素ずれた画像が入力されたとき以外は、局所位置合せ後にもノイズが残る。そこで、残ったノイズをMin-Max法の考え方で抑止する。

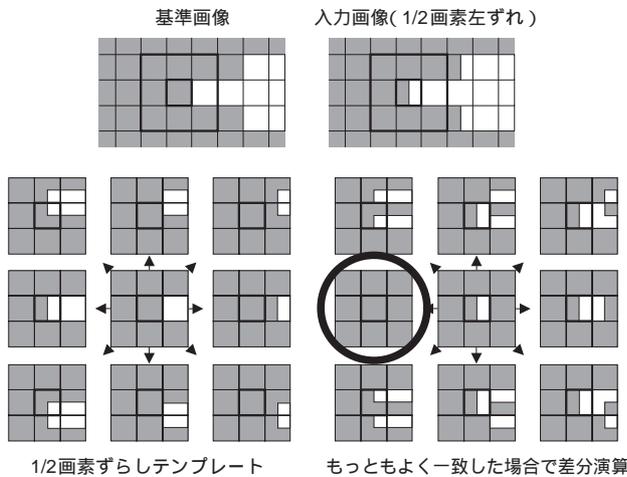


図5．局所位置合せ 局所領域をサブ画素単位にずらして、基準画像との差分をすべての場合について演算し、もっとも良い結果を採用する。

Repositioning in local area

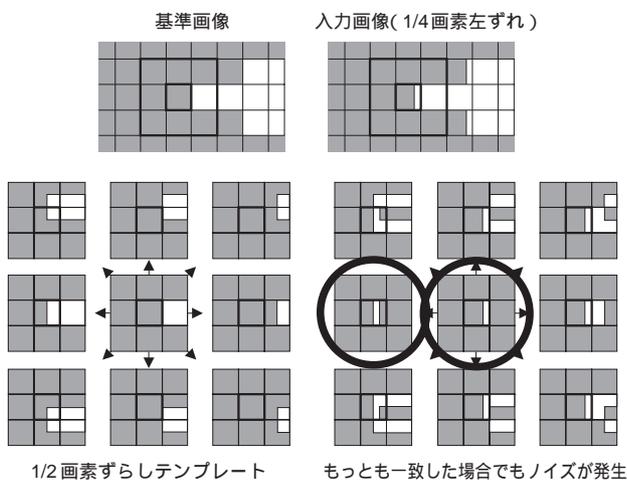


図6．局所位置合せ後のノイズ ずれがないか、又は、ちょうど1/2画素ずれた画像が入力されたとき以外は、局所位置合せ後にもノイズが残る。

Noise after repositioning

この例の場合、1/2画素単位で位置合せをしたのと同等であるので、最大1/4画素の位置ずれが発生する可能性がある。したがって、1/4画素ずれた場合に取得するノイズの大きさを基準画像から求め、差分結果がこれを超えた場合だけゼロ以外の値を出力することで、位置ずれによるノイズを完全に消すことができる。

“最適化Min-Max法”は、あらかじめ局所的に位置合せをするため、Min-Max法に比べて欠陥の信号を減らすことなく効果的に位置ずれノイズを抑えることができる。

また、多数の良品画像を使ってノイズなどに対して不感にする方法もあるが、この方法で位置ずれノイズを出ないようにするには、偏りのない大量の良品画像が必要である。しかし、“最適化Min-Max法”は位置ずれによるノイズを基準画像から解析的に求めておくのと同等なので、良品画像が少量であってもノイズが出にくいという利点がある。

### 3.3 “最適化Min-Max法”の効果

サンプル画像を用い、単純な差分、Min-Max法、局所位置合せだけ、“最適化Min-Max法”の四つのアルゴリズムについてノイズ除去の効果を比較した(図7)。また、欠陥及びノイズのピーク値のグラフを図8に示す。グラフの“ノイズ”は欠陥がない部分のピーク明度、A～Cは図7(4)に図示した欠陥箇所のピーク明度をプロットしたものである。

グラフによると、単純差分では、ノイズと欠陥信号との差が3しかないが、“最適化Min-Max法”では17に拡大できている。欠陥信号の平均から単純差分に比べて約6倍にS/Nが向上したことがわかる。

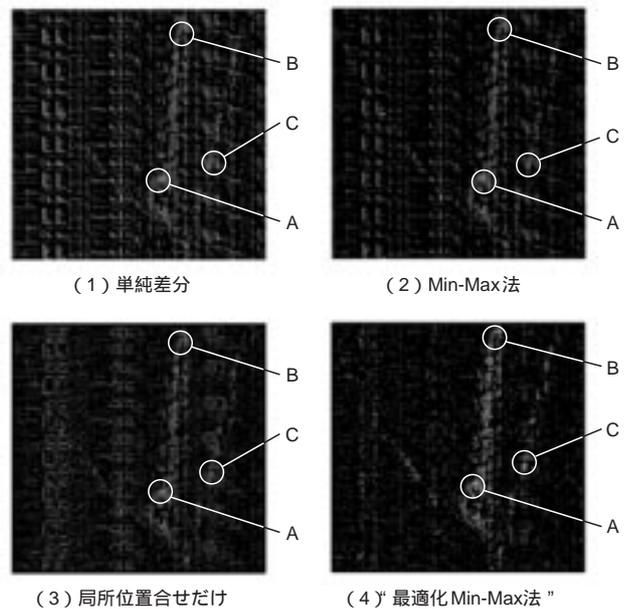


図7．差分結果画像の比較 単純な差分に比べて“最適化Min-Max法”は、ノイズを大幅に低減していることがわかる。

Comparison of noise images

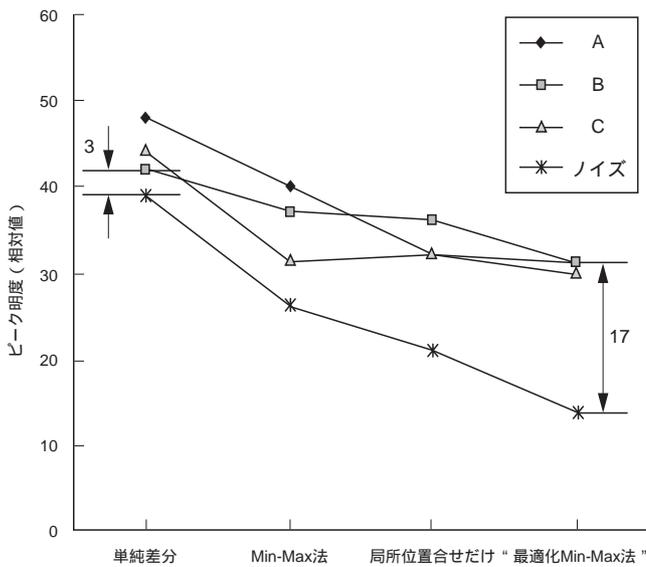


図8 . 差分アルゴリズムの比較 “最適化Min-Max法”は,単純差分に比べて約6倍にS/Nが向上していることがわかる。  
Comparison of difference algorithms

#### 4 欠陥検出性能

欠陥の抽出例を図9に示す。複雑なパターン中の欠陥をノイズがない状態で抽出できていることがわかる。

この装置で検出できた欠陥の例を図10に示す。このように微小な欠陥を検出できる。特に,目視で見逃しやすい複雑なパターン部分にある欠陥も検出できるので,目視以上の安定した検査ができる。

また,多数のサンプルについて検査員による目視判定との一致率を求めたところ,99%以上の良好な結果が得られた。

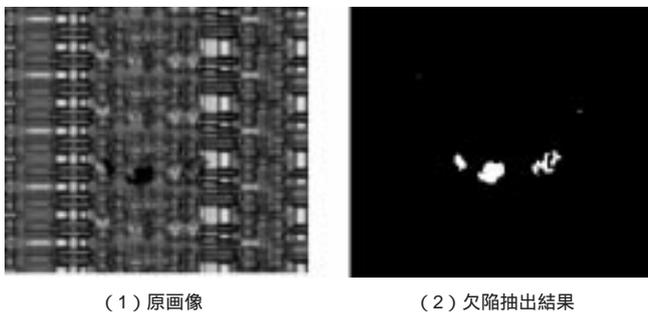


図9 . 欠陥抽出例 複雑なパターン中の欠陥をノイズがない状態で抽出できている。  
Example of defect extraction

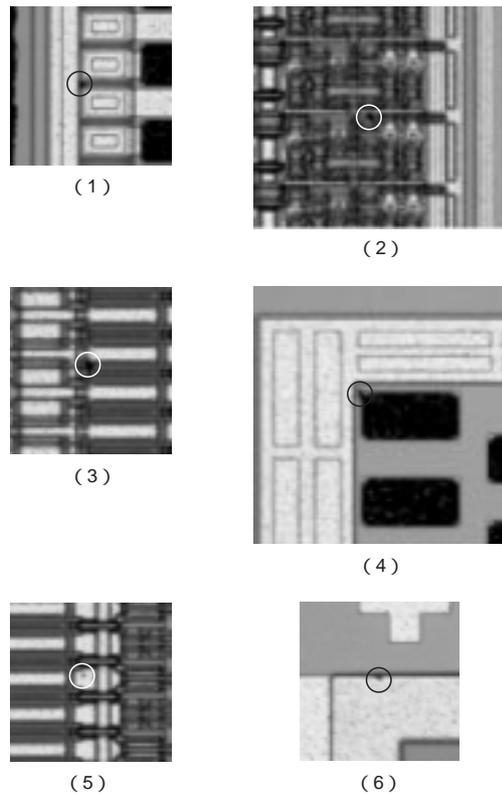


図10 . 検出した欠陥の例 パターンの複雑な部分において,目視で見逃しやすい欠陥 印 光検出可能である。  
Examples of detected defects

#### 5 あとがき

今回開発した“最適化Min-Max法”を中心としたアルゴリズムにより,差分ノイズを最大限に抑えることができた。その結果,検出精度が向上し,高い目視判定との一致率を達成できた。この装置の導入により,半導体チップの外観検査の人員削減や不良流出率の低減などに効果を上げている。

外観検査工程では,製品の微細化に伴って広い領域の中から微小な欠陥を見つけ出す傾向が強まり,目視検査員の負担は相当重いものになってきている。今後も高度な外観検査システム自動化の実用化を目指して,研究・開発を継続していく。



伊美 哲志 IMI Satoshi

生産技術センター 光応用システム技術センター研究主務。  
計測システム,画像処理システムの研究・開発に従事。計測自動制御学会会員。  
Quality Control System Technology Center