二次元輝度分布図を用いた電子部品の外観検査*

脇 迫 仁**

井 上 雅 博***

Package Inspection of Semiconductor Chip using 2D Brightness Distribution

Hitoshi WAKIZAKO and Masahiro INOUE

With the miniaturization of semiconductor packages, the surface inspection of the packages for defects such as voids, chip cracks and so on is becoming important. This paper describes a surface inspection of semiconductor packages using image processing technique. The presented inspection method uses 2D brightness distribution which is composed of brightness values of two images acquired under different lighting condition such as side lighting and coaxial lighting. On the 2D brightness distribution, the defect-free areas of part mark area and non-marked area are located in the different areas respectively, and the defect areas are distinguished from those defect-free areas. This technique does not need any reference images and is not affected by surface part marks. In this paper, a method using a color camera under different color lightings is also discussed in order to reduce the acquisition time of images.

Key words: semiconductor chip, surface inspection, image processing

1. 結 言

今日、携帯電話やパソコンなどの電気機器の小型化や薄型化により、内部の電子部品の小型化、高密度化が要求されている。それに伴い電子部品の製造工程中に発生する部品の破損はもちろんのこと、表面の微小なキズであっても内部の素子を容易に傷つけてしまい致命的な欠陥になってしまう。したがって電子部品表面のキズを判別する外観検査の重要性は高まっている。

一般の製品での外観検査では検査員による目視検査も行われているが、本研究で対象とする電子部品の半導体チップの場合、チップサイズが小さく単位時間にラインに流れるチップ数も多く目視検査では限界があるため、画像処理技術を使った外観検査が行われている。半導体チップの外観検査の検査項目は様々であり、リードや半田ボールの検査、パッケージ表面の部品マークの文字種や変形の検査、クラックや欠けなどのパッケージ表面のキズの検査などがあり検査項目によりその手法は異なる。本研究は表面のキズの検査に関する。

通常の製品表面の外観検査ではテンプレートマッチング方式²³⁾が用いられている。この手法は、キズのない良品の画像を基準として検査対象の画像との相関値を計算する。この値が予め設定した閾値との大小によって良品・不良品を判定する。この手法を半導体チップに適応した場合を図1に示す。(a)は基準として登録された良品画像である。文字“A6”は部品マークである。(b)は表面にキズがあるチップの画像である。(a)と(b)の相関値は(c)のキズ部によって良品の相関値と比べて小さくなる。よって(b)は不良品であると判定される。ここでチップ表面の部品マークはレーザマーカにより刻印されており、マーキング時のチップの位置・姿勢により文字の形状や位置にばらつきが生じる。このとき、例えば部品マークが歪んだ良品(d)では変形した領域(e)により、相関値が小さくなり不良品の誤判定が生じる。

Fig.1 Surface inspection using template matching

Fig.2 Surface of semiconductor chip

このようにパターンマッチングだけでは部品マークの変形等に影響を受けるため、一般に半導体チップの検査ではパターンマッチングは検査領域を特定するために用い、それをもとに対象に応じた固形の検査アルゴリズムを実行している。

本研究では図2に示すレーザマーカによる部品マークが刻印された半導体チップ表面の物理的な欠けやキズの検査を目的とし、本論文では、モールドとマーク部表面の反射特性を考慮した照明の工夫によりキズ領域を顕在化できる新しい手法を提案する。本手法では、部品マークの変形に影響されず表面のキズの有無を判定し、基準となる良品画像を必要としない⁴⁾。またチップの撮像時間短縮のため白黒画像2枚のかわりに1枚のカラー画像で検証する。

* 原稿受付 平成 21 年 2 月 20 日

** 正 会 員 九州工業大学大学院工学研究科(北九州市戸畑区仙水町 1-1)

*** 九州工業大学大学院工学研究科(北九州市戸畑区仙水町 1-1)

Fig.3 Side lighting

Fig.5 Combined lighting

Fig.4 Coaxial lighting

2. 原 理

検査対象の半導体チップに対し以下の2種類の照明を照射しカラー画像を1枚撮像する。その画像から二次元輝度分布図を作製する。その分布図を使用しキズの有無を判定する。2種類の照明とカラー画像撮像、二次元輝度分布図の作製、キズの判定について以下に説明する。

2.1 斜光照明

図3(a)に示す斜光照明は対象物に対し斜めから光を当てる方法である。チップ表面に斜光照明の光を照射しその散乱光を撮像したチップの濃淡画像は図3(b)のようになる。この画像よりマーク部は明るく表示されているので輝度値は大きく、チップ表面の部品マークがなされていないモールド部は暗く表示されているので輝度値は小さくなる。これはレーザーマーカで刻印された部品マーク部の方がモールド部より表面が粗いため、斜光照明から照射された光のカメラ軸に反射する強さが部品マーク部の方がモールド部より大きいのである。また、キズの部分は入射光が様々な方向に乱反射するため画像の明るさは様々であるため、輝度値も様々である。

2.2 同軸落射照明

図4(a)に示す同軸落射照明はハーフミラーでレンズの光軸に沿って光を照射する方法である。チップ表面に同軸落射照明の光を照射し、その直接光を撮像したチップの濃淡画像は図4(b)のようになる。マーク部では暗く表示されているので輝度値は小さく、モールド部は明るく表示されているので輝度値は大きく。これは斜光照明の逆の理由から説明できる。キズの部分は斜光照明の場合と同様に画像の明るさも様々であるので、輝度値も様々である。

2.3 カラー画像撮像

図3と図4に示す通り各々の照明光を照射した半導体チップ表面の撮像結果はモールド部とマーク部のそれぞれの輝度値が対照的な関係になっていることがわかる。この関係を利用し図5(a)に示す構造の斜光照明と同軸落射照明の複合照明によってRGBカラーモデル、256階調のカラー画像を1枚撮像する。例として斜光照明に赤色、同軸落射照明に緑色を用いて撮像したカラー画像が図5(b)である。

カラー画像を撮像する理由は以下に示す通りである。本手法では斜光照明と同軸落射照明による2枚の画像が必要である。よって撮像時間も2枚分かかる。実際の製造ラインにおいては高速化が要求されており、この撮像時間も無視できない。そこで本研究は撮像時間短縮のためカラー画像により評価する。また、カラー画像1枚での評価のため斜光照明と同軸落射照明はそれぞれ異なる色を用いている。

2.4 二次元輝度分布図

2.3節で説明したように図5(b)のようなカラー画像を撮像し、このカラー画像を基に各照明で用いた色に対応する成分の輝度値を軸にとり 256×256 の二次元輝度分布図⁵⁾を作製し、この分布図上でマーク部、モールド部のそれぞれの領域を区別する。

例えば、図5(b)のカラー画像は斜光照明に赤色、同軸落射照明に緑色を用いて撮像した結果である。そこで、横軸に赤色成分の輝度値、縦軸に緑色成分の輝度値をとり二次元輝度分布図を作製する。ここで図6のレーザーマーキングで刻印された部品マーク“Q”上の点Aに注目すると斜光照明で使用した赤成分の輝度値は比較的大きな値の $x1$ 、同軸落射照明で使用した緑成分の輝度値は比較的小きな値の $y1$ を有するためこれらを二次元輝度分布図で座標 $(x1, y1)$ と表すことができる。このようにしてチップ表面全体に同じ処理を施すと図7(a)、(b)の①マーク部、

Fig.6 2D brightness distribution

Fig.7 2D brightness distribution

②モールド部の分布である二次元輝度分布図（図 7(c)）を作製することができる。

このことによって、二次元輝度分布図上の①と②の領域以外の③の領域をキズ部であるとする。すなわち、検査対象のチップの二次元輝度分布図上にキズ部の領域を有する場合は「欠陥あり」と判定し、キズ部の領域がない場合は「欠陥なし」と判定する。

3. 実験方法

まず、半導体チップ表面に異なる照明色の組み合わせから成る斜光照明と同軸落射照明の複合照明を照射し撮像したカラー画像から二次元輝度分布図を作製する。次に、図 7(c)に示すような最適な分布図になる照明色の組み合わせを調べる。照明色は RGB カラー画像の色成分である赤色と緑色、青色で試みる。

次に、その色の組み合わせの複合照明で撮像したチップにおいて作製した二次元輝度分布図を 10×10 の輝度値ごとに区切り、マーク部とモールド部のそれぞれの領域を検討し、マークと部とモールド部の領域を合わせた領域以外をキズ領域と設定する。その領域がチップ表面のどこに位置しているか調べる。これらの処理を 20 個の半導体チップを対象に施した。

(a) Part mark "A6"

(b) Part mark "HQ"

Fig.8 Color image

4. 実験結果と考察

4.1 撮像結果

半導体チップ表面を撮像した結果を図 8 に示す。

4.2 二次元輝度分布図

図 8 に示す撮像結果から二次元輝度分布図を作製する際、マーク部とモールド部の各々の濃淡差を得やすく図 7 のような最適な分布になりやすい照明色の組み合わせを検討した。図 9(a)に図 8(a)の斜光照明に赤色、同軸落射照明に緑色の組み合わせで撮像したカラー画像による二次元輝度分布図、(b)に図 8(a)の斜光照明に青色、同軸落射照明に緑色の組み合わせの場合を示す。図 9(a)の分布図の方が(b)より濃淡差を得ており、図 7(c)に近い分布図になっていることがわかる。このように最適な照明色の組み合わせは斜光照明に赤色、同軸落射照明に緑色もしくは青色を用いて撮像した画像の場合であることがわかった。また、図 9 の各分布図の右側に示す色は、基の撮像結果のカラー画像が分布図上の各座標に対応する画素値を有している数を表している。つまり、二次元輝度分布図上の各座標の頻度を表すことになる。今回の検証では二次元輝度分布図上に 1 画素以上存在する

(a) Side lighting : red, Coaxial : green, A6

(a) Defect areas on 2D brightness distribution of A6-1

(b) Side lighting : blue, Coaxial : green, A6

Fig.9 2D brightness distribution

場合はプロットしている。

このような照明選択に至った理由として光の散乱率に着目する。すると、散乱率は赤色を基準にする場合、緑色は赤色の約2.5倍、青色は赤色の約4倍である。つまり短波長になるほど散乱率は大きくなる。このことを踏まえた上でチップの表面粗さについてマーク部とモールド部を比較すると、マーク部の方がモールド部より大である。したがって、斜斜照明に散乱率が小さい赤色を採用することでマーク部とモールド部のそれぞれの輝度値を区別しやすくなったと考察する。

4.3 キズの検出

キズ部であると設定した二次元輝度分布図上の領域からキズの位置している箇所を検証した。

まず4.2節の結果を基に、最適な色の組み合わせの複合照明を用いて撮像したカラー画像から作製した二次元輝度分布図を10単位ごとに区切り、分布図上のマーク部とモールド部の領域をそれぞれ設定する。この結果により、マーク部が図7の①の領域、モールド部が②の領域に位置していることがわかった。さらにマーク部とモールド部を二次元輝度分布図上で区別することが可能であるとわかった。

次に、二次元輝度分布図上のマーク部とモールド部として設定した領域以外の領域をキズ部として設定する。例を挙げると、図9(a)の二次元輝度分布図においてキズ部の領域を設定したものが図10(a)の赤色で囲った領域である。このキズ部に設定した

A6-1

A6-2

HQ-1

HQ-2

(b) Detected defect areas

Fig.10 Detection of defected areas

領域は図10(b)A6-1の赤色で示す箇所に相当する。他のチップにも図10(a)で設定したキズ領域で同様の処理を施すと、図10(b)のA6-2, HQ-1, HQ-2の赤色で示す結果を得た。ここでキズ部とマーク部、モールド部の各々を判別しやすいのは面積が大きいキズであることがわかった。さらにキズの中央部になるほど斜斜照明と同軸落射照明の各々の輝度値が小さくなり、分布図上でマーク部、モールド部と区別しやすことがわかった。

4.4 キズ部・マーク部の深さ測定と考察

半導体チップ上のキズとマークの部分の深さを測定した。図11(a)のチップに対しモールド部を基準にし、①キズ部、②マーク部を白線で示した各部分の深さを測定し、結果を図11(b)に示す。他のチップにも同様の処理を施すと各チップのモールド部を基準として、キズ部の深さは約10 μ mから約80 μ m、マーク部は約10 μ mから約20 μ mであることがわかった。

この結果と4.3節の結果から約10 μ mから約80 μ mの深さを有するキズの検出が可能であると考える。さらに、キズ部でありながら10 μ mより浅いキズの領域ではマーク部と二次元輝度分布図上で重なってしまい、判別しにくいことがわかった。

(a) Measured points on a semiconductor chip

① Defect

② Mark

(b) Measurement results

Fig.11 Depth of defect and mark areas

5. 結 言

本研究ではチップ形電子部品表面のキズの有無を判別するために斜光照明と同軸落射照明の複合照明を用いてチップのカラー画像を撮像し、その画像の輝度値から作製する二次元輝度分布図を利用することを提案し、以下の結論を得た。

- (1) 照明に使用する色は斜光照明に赤色、同軸落射照明に緑色もしくは青色を用いて、カラー画像を撮像する場合が最も理想的な二次元輝度分布図を作製することを確認した。
- (2) 二次元輝度分布図上でマーク部、モールド部を区別することが可能であり、キズ部においては面積が大きいキズは判別することが容易であり、キズの中央部の方が周辺部に比べ各々の照明色の輝度値が小さくなり、判別しやすいことを確認した。
- (3) チップ上のモールド部を基準とする場合、約 $10\mu\text{m}$ から約 $80\mu\text{m}$ の深さのキズは判別できることを確認した。

本手法はパッケージ表面の物理的な欠けやキズ検出を目的としているが、部品マーク部と同程度の浅いキズのように輝度値が正常部と同じ欠陥では検出が難しい。同様にパターン形状の変形も欠陥のひとつであるが、輝度値が正常部と同じ傾向を示すため本手法では検出ができない。外観検査では様々な検査項目に対応することが要求されるため、今後の課題として総合的な外観検査を目的に基準パターンを用いた手法との組合せを試みる予定である。

参 考 文 献

- 1) 中川泰夫：半導体検査における技術と展望，ViEW2005 ビジョン技術の実利用ワークショップ講演論文集，(2005)1.
- 2) 酒井幸市：画像処理とパターン認識入門，森北出版，2006.
- 3) E. R. Davies：Machine Vision Theory Algorithms Practicalities, Academic Press, 1996.
- 4) H.Wakizako and M.Inoue："Surface inspection of semiconductor chip using 2D gray level distribution", Proc. of the International Conference on Electrical Engineering (ICEE) 2008.
- 5) 北山洋幸：.NET Framework プログラミングテクニック for Visual Basic/C#[Vol.6], カットシステム，2007.