レーザ判別センサによる微小移動物体の検出*

佐藤 運海** 山崎 隆夫*** 三木 一隆*** 川久保 英樹***
手塚 佳夫*** 土屋 和博† 佐藤 元太郎††

Study on Detection of Small Moving Object by Laser Through-beam Sensor

Unkai SATO, Takao YAMAZAKI, Kazutaka MIKI, Hideki KAWAKUBO,
Yoshio TEZUKA, Kazuhiro TSUCHIYA and Mototaro SATO

At the solder ball mounting process on the CSP (chip size package), must have inspection of solder ball residue on the vacuum nozzle (inhaling tool). This study is how to detect solder ball residue during vacuum nozzle moving when using laser through-beam sensor. First, create a slit on the laser receiver that increasing sensitivity of laser through-beam sensor and confirmed the improvement. The slit is created to increase sensor output value that compares result of solder ball residue on the vacuum nozzle with or without solder ball. Next, we supposition production line and study the vacuum nozzle movement error. Therefore when vacuum nozzle movement error is occur then measure sensor output value. Then we attempt to use first differential value. With this result, we discover following. (1) The solder ball recognition on the CSP can be detect by laser through-beam sensor. (2) We confirmed effectiveness of the slit on the laser receiver unit. (3) If vacuum nozzle has movement error, we can use first differential value to avoid influence of vacuum nozzle movement error to recognize the CSP solder ball.

Key words: solder ball, CSP, inhaling process, detecting method, slit, first differential value

1. 緒 言

携帯電話やモバイル PC (personal computer) など、様々な電子機器の小型化、高機能化にともない、あらゆる産業界、特に半導体産業分野においてはより精密化、より微細化に対応できる技術が重要とされている。半導体業界では、LSI の高速化、多機能化にともない配線の微細化が進行し、配線ルールが 0.25 μm 以下のチップが大量に生産されている。一方、パッケージや基板においても LSI 高密度化を呼応し、PGA (pin grid array) や BGA (ball grid array) から CSP (chip size package) のようなより高密度化のパッケージに遷移しつつある。CSP とは半導体集積回路のパッケージサイズを半導体集積回路のチップサイズにできるだけ近づける工夫を施した高密度のパッケージであり、外部との接続端子は BGA と同様に半田ボールを使用しているのが主流である。CSP の製造工程において、半田ボールの形成・搭載プロセスは必要不可欠であり、その有力な方式としてマイクロボール整列配置方式が挙げられる²⁾。

マイクロボール整列配置方式は、半田ボール搭載法が主流であり、大きさ $\phi 0.1\text{mm}$ の半田ボールまで対応可能なことや、一度に大量のボールを搭載できることが特徴である。この方式では、まず半田ボールを整列板に整列し、次に真空方式の吸着治具により半田ボールを吸着して、パッケージ基板に搭載するとなっている。半田ボール不足などの搭載ミスを防ぐために、半田ボールをパッケージ基板に搭載するまえに、吸着治具上の半田ボール不足の検出と、搭載後、吸着治具に残留している半田ボールの検出を行う必要がある。前者は画像処理方式とフォトセンサ方式があり、後者は画像処理方式とレーザ判別センサ方

式がある。また、後者について半田ボールの大きさが $\phi 0.5\text{mm}$ 以上の場合は、レーザ判別センサ方式が、 $\phi 0.5\text{mm}$ 以下の場合は画像処理方式が多く使用されている。それは半田ボールが小さくなるにつれ、レーザ判別センサ方式では検出しにくくなるためである。レーザ判別センサ方式は画像処理方式と比べて、検出に殆ど時間が必要としないため生産性が優れている。また検出部分および半田ボール搭載装置のコストが画期的に低いため経済性がよい。しかし、CSP の半田ボールサイズは $\phi 0.3\text{mm}$ 以下のため、現状の技術ではレーザ判別センサ方式を用いて検出するのは困難であると考えられる。

そこで本研究では、CSP の半田ボールを微小移動物体として想定し、レーザ判別センサを用いて、CSP の半田ボールをパッケージ基板に搭載してから、吸着治具が半田ボールの整列板へ移動している途中で、吸着治具に残留している半田ボールの検出方法の検討を試みた。まず、半田ボールが残留しているときと、半田ボールが残留していないときのレーザセンサ出力値の差を大きくするために、センサの受光部に小幅スリットをつけて実験を行い、その効果を確認した。次に製造ラインを想定して、吸着治具の移動運動に様々な運動誤差を発生させた場合、残留半田ボールの検出の確実性について実験的に検討を行い、センサ出力値の一階微分値による検出方法を提案したので報告する。

2. レーザ判別センサの原理

レーザ判別センサの光学系の概略を図 1 に示す³⁾。図においてセンサの投光器から発せられたレーザは、投光レンズで平行に送りだされ、受光器のスリットを通り、受光素子へ集光される。この平行なレーザエリア内に対象物が存在すると、その影を光量の変化としてとらえ、電圧出力として取り出すものである。受光器のスリットの形状には矩形、円形があり、その大きさにも数種類がある。この大きさが検出範囲であり、最小検出

* 原稿受付 平成 15 年 1 月 6 日

** 正 会 員 信州大学教育学部 (長野市西長野 6 の口)

*** 正 会 員 長野県工科短期大学校 (上田市下之郷 813-8)

† セイコーエプソン(株) (諏訪市大和 3-3-5)

†† 正 会 員 長野県工科短期大学校 (上田市下之郷 813-8)

対象物の大きさも決定される。

Fig.1 Operating principle of laser sensor

Table 1 Specifications about sensor LX2-100

Light source	Semiconductor laser	
Wavelength	670nm	
Detecting distance	0 ~ 300mm	300 ~ 2000mm
Detecting area	$\phi 1.0\text{mm}$	$\phi 2.5\text{mm}$
Minimum detecting object	$\phi 8.0\mu\text{m}$	$\phi 8 \sim \phi 50\mu\text{m}$
Amplifier type	LX2-60	
Analog output voltage	0 ~ 5V	

3. 実験装置および実験方法

3.1 実験装置

図2 (a), (b) に実験装置の外観写真および概要を示した。半田ボール吸着治具を一軸テーブル上に固定し、それと直角にレーザ判別センサの投光部と受光部を配置した構造である。

一軸テーブルはパルスモータによるボールねじ駆動であり、一定速度で移動させることができる。

レーザ判別センサはLX2-100 (株式会社エンス) を使用した。表1にレーザ判別センサの仕様を示した。吸着治具はひとつの吸着エリアに250個の吸着孔があり、それが5行5列計25のエリアで構成されている。また、吸着治具は材質がステンレスであり、吸着表面を高光沢度に仕上げたものである。

(a) Photograph of experimental device

(b) Construction of experimental device

Fig.2 Experimental device

吸着治具と半田ボールおよびレーザ判別センサの位置関係は図3のように設置した。半田ボールが吸着治具からの露出高さは0.14mmである。また吸着治具の運動誤差が測定値に及ぼす影響の実験パラメータを考慮して、半田ボールとレーザビーム中心との距離を0.25mmにした。

Fig.3 The relation between sensor, solder ball and inhaling tool about position

3.2 実験方法

3.2.1 測定系

図2 (b) に示したように、吸着治具の任意のエリアに半田ボール (φ0.25mm) を置き、レーザ判別センサの投光器と受光器の間を移動させる。そのとき吸着治具に半田ボールがないところではセンサの出力値が5Vを示し、半田ボールがある所では、レーザの受光量が減少し、出力値は5V以下になる。この電圧変化により半田ボールの有無を判別する方法によった。なお、電圧変化の測定には波形記録計メモリハイコード8835-01 (日置電機株) を使用した。測定条件は、吸着治具移動速度0.5m/s、記録計のサンプルリング速度500μsとした。

3.2.2 受光器前面スリットの有無の比較

レーザ判別センサ径が1mmであり、半田ボールがある所でも光量の変化量が少なく電圧変化も小さい、さらに吸着治具の位置や運動誤差の影響を受けることが考えられる。そこで受光器前面に0.15mmのスリットを設け、半田ボールがあるときとないときの受光量比を大きくし、出力電圧の変化が大きくなることを予想し、スリット有無の有効性について検討した。

3.2.3 吸着治具の運動精度が測定に及ぼす影響実験

(1) 吸着治具のピッチング運動誤差が測定に及ぼす影響

吸着治具のピッチング運動誤差の影響を考慮して、吸着治具の移動方向に対して前の部分を0.1mmから0.5mmまで高くした場合、次に吸着治具の後ろの部分を0.1mmから0.5mmまで高くした場合のレーザ判別センサの出力値を測定した。

(2) 吸着治具のローリング運動誤差が測定に及ぼす影響

吸着治具の投光部器側を0.1mmから0.5mmまで高くした場合、次に受光器側を0.1mmから0.5mmまで高くした場合のレーザ判別センサの出力値を測定した。

4. 実験結果および考察

4.1 受光器前面スリットの有無の比較

図4 (a), (b) にスリットがある場合とない場合の実験結

果を示した。両図とも半田ボールが任意の位置に 8 個あるときの電圧変化である。8 ケ所の電圧変化が見られ半田ボールが認識されていることがわかる。スリット有無の違いは、スリットがある場合にはない場合と比較して電圧の値が 2 倍程度大きく出ている。

このことは、図 5 に示した半田ボールとセンサの受光面積の関係から明らかである。すなわち、同図 (a) のスリットなしの場合は、センサ受光面積とボールによる遮断面積の比が小さく、電圧変化は小さい。一方図 (b) に示すスリットありの場合の面積比は大きく、電圧変化量が大きくなると考えられる。

以上のことから、受光器前面にスリットをつける有効性が確認されたので、以後の実験結果は、スリットを付けた場合について述べる。

Fig.4 Comparison between non-slit and with slit

Fig.5 The relation between laser beam and out slit

4.2 吸着治具のピッチング運動誤差が測定に及ぼす影響

図 6 (a), (b) にピッチング運動誤差および形状誤差を想定して、吸着治具を移動方向に対しての前の部分を 0.1mm と 0.5 mm 高くした場合のセンサ出力値の変化を示した。また、図 7

(a), (b) は吸着治具の後ろの部分 0.1mm と 0.5mm 高くした場合のものである。両図とも半田ボールが任意の位置に 17 個あるときの電圧変化である。なお、吸着治具の前および後ろを 0.2mm, 0.3mm, 0.4mm 高くした場合は省略した。

図より吸着治具を高くしても、半田ボールによるセンサ出力値の変化は同程度を示している。しかし、吸着治具が高くなるにつれ、センサ出力値の全体のレベルが下がっている。このことから、ある一定の出力電圧値（閾値）を決め、それ以下の電圧値を検出したら半田ボールの有無を判断できない、いわゆる閾値判別方式は使用できない。

Fig.6 Output of sensor with pitching error (front up)

Fig.7 Output of sensor with pitching error (rear up)

そこで、センサ出力値を等間隔4点前進差分法⁴⁾によって一階微分処理を行い、半田ボール有無時のセンサ出力値の変化量だけを抽出する方法を試みた。その結果を図8(a),(b)に示す。図(a)は吸着時具の前部を0.5mm高くしたものであり、図(b)は後部を0.5mm高くしたものである。両者とも一階微分値は、半田ボールがないところでは、0付近で変化し、半田ボールがある所では一定値以上の値を示している。このことより、吸着時具のピッチング運動誤差の影響を受けずに半田ボール有無の検出ができることが明らかになった。

Fig.8 First differential of sensor output

4.3 吸着治具のローリング運動誤差が測定に及ぼす影響

吸着治具のローリング誤差および形状誤差がある場合を想定して、吸着治具の投光器側を0.1mmずつ0.5mmまで高くした場合および受光器側を0.1mmずつ0.5mmまで高くした場合について測定した。

吸着治具の投光器側を0.1mmと0.5mm高くした場合の結果を図9に示し、0.2mm、0.3mmおよび0.4mmの場合の結果は省略した。同図(a),(b)は半田ボールが任意の位置に17個あるときの電圧変化であり、同図(c)は0.5mm高くした場合のセンサ出力の一階微分値である。

図9(a),(b)より、吸着治具の投光器側を0.1mm高くした場合と比べて、0.5mmの場合の半田ボールがないところのセンサ出力値の変動は激しいが、しかし両者とも半田ボールがあるところとないところのセンサ出力値の差がほぼ一定であり、半田ボールの有無を検出できる。さらに図(c)より、センサ出力値の一階微分値からも半田ボールの有無を検出できることが明らかである。

吸着治具の投光器側を高くした場合、吸着治具、レーザ光および半田ボールの位置関係の模式図を図10に示す。図より吸着治具の投光器側を0.15mm以上高くした場合、吸着治具の投光器側のエッジは、受光器の近くにある半田ボールの頂点よりも高くなるのがわかる。この場合、半田ボールを検出できたの

Fig.9 Horizontal error (rolling moving error) by floodlight side of inhaling tool up

Fig.10 Positional relation with floodlight side up

はレーザ光の拡散によるもの、半田ボールがないところのセンサ出力値変動は、吸着治具の移動方向における運動誤差によるものと考えられる。

吸着治具の受光器側を0.1mmと0.5mm高くした場合の結果を図11に示し、0.2mm、0.3mmおよび0.4mmの場合の結果は省略した。図11(a),(b)は半田ボールが任意の位置に17個あるときの電圧変化であり、図11(c)は0.5mm高くした場合のセンサ出力の一階微分値である。

図11(a),(b)より、吸着治具の投光器側を高くした場合と同様に、吸着治具の受光器側を0.1mm高くした場合と比べて、0.5mmの場合のセンサ出力値変動幅が大きいが、半田ボール有無時のセンサ出力値の差がほぼ同程度である。また、同図(c)

より、センサ出力値の一階微分処理を行えば、半田ボールを検出できることがわかる。

吸着時具の受光器側を0.15mm以上高くした場合、吸着時具、レーザ光および半田ボールの位置関係の模式図を図12に示す。それらの位置関係を、半田ボールの有無および半田ボールがある場合の半田ボールの位置によって3種類に分けて考えることができる。図12(a)は半田ボールがない場合を示している。投光器から出た任意レーザビームAはB点で吸着治具に突き当たり、その反射光が受光器に入る。吸着治具の表面精度が十分高い場合、レーザ光の反射によるエネルギーの損失が小さくなり、つまりレーザビームAが直接受光器に入る場合とほぼ同様なセンサ出力値を得られる。図11(a)と(b)の半田ボールがないところのセンサ出力値がほぼ同レベルになっているのはこれによるものと考えられる。図12(b)および(c)は半田ボールがある場合を示し、図(b)は半田ボールによりレーザビームAが遮断され、図(c)はレーザビームAの反射光が遮断されている様子である。レーザの照射光および反射光はほぼ同様のエネルギーレベルを持っているため、結果としてセンサ出力値が同様のレベルになっていると推測できる。

吸着治具の受光器側を0.1mm高くした場合と比べ、0.5mm高くした場合の半田ボールがないところのセンサ出力値変動が大きくなっているのは、吸着治具の運動誤差によるものと考えられる。

Fig. 11 Horizontal error (rolling moving error) by Light-receiving side of inhaling tool up

Fig. 12 Positional relation with light-receiving side of inhaling tool up

5. 結 言

以上の研究をまとめると次のようである

- (1) レーザ判別センサによる CSP (chip size package) 半田ボール有無の検出を可能にした。
- (2) レーザ判別センサの受光器前面につけた小幅スリットが微細物体の有無検出に有効であることを実証し、更なる微細物体有無検出方法を開発するための示唆が得られた。
- (3) 吸着治具のローリング運動誤差、特に吸着治具の受光器側が高くなった場合を対応するために、吸着治具の吸着面を高形状精度、高光沢度に仕上げる必要がある。
- (4) 吸着治具のピッチング運動誤差、ローリング運動誤差、さらに吸着治具の移動時の高さ変動幅が一定(約 0.5mm)以下ならば、センサ出力値の一階微分値の利用により、それらの影響を受けずに微小物体有無を検出できる。

参 考 文 献

- 1) 若林信一, 堀内道夫, 栗原孝: 3次元実装技術と微細配線めっき技術の応用, マイクロファブリケーション研究会 第2回研究成果報告会, (2002) 39.
- 2) 荻元英二: CSP 技術のすべて, 工業調査会, (1999) 102.
- 3) Sensors vision and measurement 2002, ㈱キーエンス, (2002) 528.
- 4) 孫運海, 手塚佳夫, 三木一隆, 清水保雄, 佐藤元太郎: 外界センサ情報による微細制御に関する研究, 設計工学, 29, 9 (1994) 353.