TAB リードの欠陥自動検査システムの開発*

—位置決め精度の向上—

池 上 毅** 辻 裕 一*** 丸 山 一 男***

Development of Automatic Inspection System for TAB-type Lead Defects
—Improvement of Positioning Accuracy—

Takeshi Ikegami, Hirokazu Tsuji and Kazuo Maruyama

The automatic inspection system for TAB (Tape Automated Bonding)-type lead defects has been developed using image processing technique. In this system, the pattern matching method is used for inspection of defects. The positioning accuracy within the image of 1 pixel (about $5.2 \mu\text{m}$) is required for this method. Therefore the X-Y- θ stage with flexure hinges driven by piezoelectric actuator is designed for improving the positioning accuracy. The inspection method by using this developed system is shown below. The TAB lead is fixed by solenoids on the stage. The stage is controlled by a personal computer which is connected with the CCD camera. After detecting the position of the lead by image from CCD camera, the stage is moved to optimal position. Then the lead is inspected by the image processing computer. The obtained conclusions are as follows: (1) The positioning accuracy within 1 pixel is obtained. (2) The lead defects of about $10 \mu\text{m}$ (2 pixels) can be detected with the cycle time of 5 seconds.

Key words: TAB-type lead defects, image processing, positioning accuracy, X-Y- θ stage, piezoelectric actuator, flexure hinge

1. 緒 言

図1に示すTAB リードではインナリード部に曲がりや断線などの欠陥が生じやすく、その欠陥を検出し欠陥品を取り除くことがIC製品の生産性を向上させるため必要となる。そこで本研究ではTAB リードの欠陥を自動検査するシステムの開発を進めている¹⁾。欠陥検出はCCD カメラと画像処理用コンピュータを用いパターンマッチングにより行う。パターンマッチングには基準画像と検査対象画像をソフトウェアによりマッチングさせる方法と、検査対象を機械的に基準位置に移動させ基準画像とマッチングさせる方法があるが、ソフトウェアによるマッチングでは二値化やアフィン変換などの処理が必要となり、その際に失われるデータが多い、多くの処理時間を必要とするなどの問題が生じる。そこで、本研究では機械的な位置決めを行うことにし、リードの位置決め用に圧電素子と1枚板剛性ヒンジを用いたX-Y- θ ステージを試作した。これによりリードの位置決め精度は画像処理用コンピュータのフレームメモリの1画素、約 $5.2 \mu\text{m}$ 程度となり、 $10 \mu\text{m}$ 程度の大きさの欠陥検出が可能となったので、その原理、方法について報告する。

2. 検査システムの構成

図2に検査システムの構成を示す。トルクモータにより左右のテーブルに巻き付けられているTAB リードは一定の張力を掛けた状態でステッピングモータにより1フレーム分送られ、ソレノイドにより検査テーブル上に固定される。検査テーブルは圧電素子により駆動されるX-Y- θ ステージで構成され、リードの微小位置決めを行う。パーソナルコンピュータ (PC-9801) は位置決め用として

使用し、CCD カメラから取り込んだ画像をもとにリードの位置検出を行い、ステッピングモータ、ソレノイド、圧電素子の制御を行う。また、高速画像処理装置 (TOSPIX, 1画面 512×512 画素, 処理速度 $32 \mu\text{s}$) で CCD カメラから取り込んだ画像をもとに、パターンマッチングによる欠陥検出を行う。

3. X-Y- θ ステージ

3.1 X-Y- θ ステージの原理

本研究ではリードの位置決め装置として、圧電素子と1枚板剛性ヒンジを用いたX-Y- θ ステージを試作した。1枚板剛性ヒンジを用いることにより、モータなどのアクチュエータを利用する場合に比べ、機構を単純化でき、コンパクトでしかもバックラッシュや摩擦の影響のない高分解能位置決めが期待される。しかし、使用した圧電素子 (金属ケース封入型積層電圧アクチュエータ, NEC 製, ABS 340 C 801 MP 0) の最大変位は $34 \mu\text{m}$ であるため、必要とする変位を得るため変位拡大機構を考案した。

Fig. 1 Dimensions of TAB lead

* 原稿受付 平成6年2月21日

** 学生会員 東京工業大学大学院 (東京都目黒区大岡山2-12-1)

*** 正会員 東京工業大学精密工学研究所 (横浜市緑区長津田町4259)

Fig. 2 Schematic construction of the inspection system

Fig. 3 Schematic of hinge-lever

Fig. 4 Displacement magnifying mechanism

図3は1枚板剛性ヒンジの最も重要な構成要素であるヒンジレバースステムの概略図である。図においてAは固定端である。ヒンジ部を初期状態から角度 θ だけ回転させるのに必要なトルク T は次式で与えられる²⁾³⁾。

$$T = k_b \theta \quad (1)$$

$$k_b = \frac{2Ebt^{5/2}}{9\rho^{1/2}} \quad (2)$$

ここで、 E は材質のヤング率、 b は板の幅、 t はヒンジ部における一番薄い部分の厚さ、 ρ はヒンジ部の切欠き半径である。式(1)、(2)を用いることによりX-Y- θ ステージの変位と力の関係を導くことができる。図4は変位拡大機構の模式図である。PZTは圧電素子を表し、H1からH7はヒンジを、A1

Fig. 5 Design of X-Y- θ stage

からA3はアームを、 r_1 から r_4 はヒンジの中心から中心までの距離を表す。また、図中の斜線部は固定端である。ここで、ステージに変位 d が与えられ、H4、H5、H6、H7が θ_1 回転すると仮定する。このときA2がH3を押す力を F とすると式(1)より、

$$Fr_3 = 4k_b \theta_1 = \frac{4k_b d}{r_3 + r_4}$$

$$F = \frac{4k_b d}{r_3(r_3 + r_4)} \quad (3)$$

となる。またこのときのH1、H2、H3の回転角を θ_2 とすると、ステージに変位 d を与えるために必要な素子の力 P は、

$$Pr_1 - F(r_1 + r_2) = 3k_b \theta_2 = 3k_b \times \frac{r_3 d}{r_3 + r_4}$$

$$P = \frac{k_b}{r_1(r_3 + r_4)} \left\{ \frac{3r_3}{r_1 + r_2} + \frac{4(r_1 + r_2)}{r_3} \right\} d \quad (4)$$

で与えられる。図5に設計したX-Y- θ ステージを示す。このステージは3つのステージX、Y1、Y2から構成されている。Xステージはリードの送り方向に、Y1、Y2ステージはリードの送り方向に対し直角に移動することができる。ステージの各パラメータの値は、

$$r_1 = r_3 = r_4 = 10 \text{ mm}, \quad r_2 = 25 \text{ mm}$$

$$b = 20 \text{ mm}, \quad t = 0.3 \text{ mm}, \quad \rho = 3.35 \text{ mm}$$

である。式(4)を計算することにより、素子の力とステージ変位の関係を求めることができる。ただし、Xステージについては、ステージが4本のアームで支持されていることを考慮して式(3)の F を $2F$ として式(4)を計算し直す必要がある。その結果、変位と荷重の関係は以下になる。

$$\text{Xステージ: } P = 1131.4d$$

$$\text{Yステージ: } P = 582.5d$$

ただし、 P の単位はN、 d の単位はmmである。検査対象となるリードは中央の窓の部分にセットされ、ソレノイドによりY1、Y2ステージに固定される。3つのステージを独立して移動させリードのX、Y、 θ 方向の位置決めを行う。

3.2 X-Y- θ ステージの特性

図6にX-Y- θ ステージの荷重-変位特性を示す。グラフはX-Y- θ ステージの圧電素子を挿入する部分に荷重をかけ、そ

Fig. 6 Load-displacement characteristics of the stage

Fig. 7 Voltage-displacement characteristics of the stage

の時の入力側の変位と出力側の変位を電気マイクロメータで測定した結果である。X-Y- θ ステージは $100\ \mu\text{m}$ 程度のレンジを必要とするが、X ステージ、Y ステージともにその範囲内では非常によい線形性が得られている。なお、近似直線の傾きから荷重と変位の関係を求めると、

$$\text{X ステージ: } P=1246.9d$$

$$\text{Y ステージ: } P=686.5d$$

となり、先ほど求めた理論式に対し 10% から 20% 程度の誤差が生じる。これは、理論式においてヒンジを完全な回転軸と仮定したことによるものと考えられる。

次に、電圧-変位特性について説明する。印加電圧はオペアンプで 15 倍に増幅され圧電素子に加えられる。圧電素子にはヒステリシスがあり、電圧と変位が一对一で対応しない。本研究では、ヒステリシスループが折返し点が等しければ同じループを描くという特徴を利用し、印加電圧をまず 0 V にした後、基準電圧として 5 V を加え、その後、それぞれの電圧を加える。図 7 にその時の入力電圧とステージ変位の関係を示す。図 7 の直線は印加電圧 5 V 以上の場合と 5 V 以下の場合のステージ変位に対するそれぞれの近似直線である。図 8 は近似直線に

Fig. 8 Deviation from approximated line

Fig. 9 Input image of lead frame

に対する実際のステージ変位の偏差を示している。入力電圧 2 V から 8 V の範囲で、線形化誤差は $1.5\ \mu\text{m}$ 以内である。圧電素子を制御するさい電圧-変位特性を関数として導く必要があるが、今回は図 7 の直線を用いて圧電素子の制御を行う。

4. リードの位置決め

4.1 リードの位置検出

リードの位置決めはステッピングモータによる 1 フレーム送り、ステッピングモータによる微小送り、X-Y- θ ステージによる高精度位置決めの 3 段階で行う。ステッピングモータによる 1 フレーム送りはあらかじめ求めておいた 1 フレーム分のパルスを送ることににより行う。ステッピングモータによる微小送りおよび X-Y- θ ステージによる高精度位置決めはリードの位置を検出し、基準位置（基準画像を取り込んだときの位置）と比較し移動量をフィードバックすることにより行う。

リードの位置検出は CCD カメラから取り込まれた画像データを用い、サブピクセル処理（一次導関数重心法⁴⁾）でエッジ位置を検出することにより行う。図 9 に取り込んだリード画像の模式図を示す。図中の XM エッジはステッピングモータによる微小送りを行う際に検出される。X エッジは X ステージによる位置決めを行う際に検出される。Y1, Y2 エッジは Y ステージによる位置決めを行う際に検出される。Y 方向については 2 つのエッジを検出し 2 つのステージを制御することにより Y 方向と θ 方向の位置決めを同時に行うことができる。図 10 はサブピクセル処理による X エッジ位置検出の繰返し精度を示す。Y エッジについても同様の結果が得られた。2 値化処理だと 1 画素の分解能でしかエッジ位置を検出できないがサブピクセル処理を行うことにより 0.1 画素程度の分解能でエッジ位置の検出が可能となる。しかし、システムを稼働させると

Fig. 10 Detective accuracy of position with sub-pixel processing

Fig. 11 Detective accuracy of position when system is operating

リードに一定張力を与えるためのトルクモータの振動がリードの送り方向に伝わり、Xエッジの位置検出精度が悪化する。図11にシステム稼働時における位置検出の繰返し精度を示す。図10と比較するとXエッジの検出精度が標準偏差で約0.3画素とかなり悪化していることがわかる。

4.2 リードの位置決め精度

ステッピングモータのみによる位置決めとX-Y- θ ステージによる位置決めを20回ずつ行い、それぞれの位置決め精度を測定した。その結果を図12に示す。ステッピングモータのみの位置決めでは1画素以上の位置決め誤差があるため位置のずれが欠陥として検出される可能性がある。これに対しX-Y- θ ステージで位置決めを行うと、位置決め誤差は1画素以内となる。そのため位置のずれが欠陥として検出される可能性が減少すると考えられる。図13にモータのみによる位置決めを行ったときの出力画像を、図14にX-Y- θ ステージで位置決めを行ったときの出力画像を示す。出力画像へは基準画像に対し突出している部分を赤で、欠けている部分を緑で表示する。本論文では白黒写真を用いているため、欠陥部はいずれも白っぽく

Fig. 12 Positioning accuracy

Fig. 13 Output image after positioning only by motor

Fig. 14 Output image after positioning by X-Y- θ stage

表示される。モータのみによる位置決めでは、位置決め誤差が欠陥として検出されているが、X-Y- θ ステージを用いることによりその影響が改善されていることがわかる。

5. 欠陥検査の例

5.1 システムのフローチャート

図15に今回開発したTABリード自動欠陥検査システムのフローチャートを示す。まず位置決め用コンピュータPC-9801でモータの1パルスおよび圧電素子の1Vあたりの移動量の計算を行う。次に基準画像の各エッジを検出し、それを基準位置とする。これと並行して画像処理用コンピュータTOSPIXは基準画像を取り込む。以上が初期設定であり、連続して欠陥検査を行うときはこれ以降の操作を繰り返す。画像

Fig. 15 Flow chart of the inspection system

Fig. 16 Detected lead defects

処理用コンピュータは検査対象画像を取り込み、位置決め信号を位置決め用コンピュータに送る。位置決め用コンピュータは位置決め信号を受け取ると、ステッピングモータによる1フレーム送り、XMエッジの検出、ステッピングモータによる微小送り、ソレノイドによるリードの固定、X,Y1,Y2エッジの検出、圧電素子の駆動を行い位置決めが終了する。画像処理用コンピュータはこれと並行し、パターンマッチングによる欠陥検出を行い欠陥部分を画面に表示する。

5.2 欠陥検出

以上の方法でリードの位置決めを行い欠陥検出を行う。欠陥検出は基準画像と検査対象画像を1画素ごとに比較し、突出している部分および欠けている部分を欠陥として出力する。ただし、X-Y- θ ステージで位置決めを行っても1画素以内の位置決め誤差が残るため、機械的な位置決めだけで直接欠陥を評価することはできない。そこで、パターンマッチングを行う際、基準画像と検査対象画像の差のデータに対し細線化処理を行い、一塊の像の1画素分の輪郭を削除する。そうすることにより位置決め誤差が欠陥検出に及ぼす影響を完全に排除することができる。図14の画像に対し、さらに細線化処理を行ったときの出力画面を図16に示す。図14と比較すると図16では位置決め誤差の影響が完全に排除されていることがわかる。図17に曲がりのある別のリードに対する欠陥検出結果を示す。図中で白っぽく表示されている部分が欠陥である。この部分の

Fig. 17 Result of detecting defects

面積を評価することにより自動的に欠陥を検出することができる。検出できる最小の欠陥の大きさは、1画素分の輪郭を削除しているため2画素程度、約10 μ mの欠陥となる。また、1行程に要する時間は、リードの1フレーム送りに約3秒、リードの位置検出に約2秒、合計5秒である。欠陥検出は、次のリードの位置決めと並行して行われるが、本方式では、複雑な処理を必要としないため約1秒で終了する。これに対し、1画素以内の位置決めを行わずアフィン変換を用い、ソフトウェアによるパターンマッチングを行ったところ、その処理に約4秒、1行程に約7秒かかり、検出できる欠陥の大きさは3画素以上のものであった。本方式により、改善されていることがわかる。

さらに、本方式では検出できる欠陥の大きさが、1画素の大きさに依存するため、目的に応じてCCDカメラの分解能と顕微鏡の倍率を変化させることにより、同じ方法でさまざまな検査対象に対応できると考えられる。

6. 結 言

本研究で得られた主な結論は以下のとおりである。

- (1) TABリードの位置決め用に、圧電素子と1枚板剛性ヒンジを用いたX-Y- θ ステージを考案、試作し、リードの位置決め精度の向上を図った。
- (2) 画像処理用コンピュータの ± 1 画素、約 $\pm 5.2\mu$ m以内の精度でのリードの位置決めが可能となった。
- (3) 本システムにより最小10 μ m程度の欠陥検出が可能となった。
- (4) 1枚のリードの検査に要する時間は約5秒である。

今後は、X-Y- θ ステージの改良を進め、位置決め精度の更なる向上と位置決め的高速化をめざす。

文 献

- 1) H. Tsuji and K. Maruyama : Development of Inspection System for IC Lead Frame Defects, Proc. 1st Japanese-French Congress of Mechatronics, (1992) 481.
- 2) J. M. Paros and L. Weisbord : How to Design Flexure Hinges, Mach. Des., **37**, 24, (1965) 151.
- 3) F. E. Scire and E. C. Teague : Piezodriven 50- μ m Range Stage with Subnanometer Resolution, Rev. Sci. Instrum., **49**, 12, (1978) 1735.
- 4) J. P. Fillard : Subpixel Accuracy Location Estimation from Digital Signals, Opt. Eng., **31**, 11, (1992) 2471.