検査の概要および配線パターンの検査技術

原 靖彦*

Outlook of Inspection Used in PCB Manufacturing Process and Inspection Technologies of PCB Patterns

Yasuhiko HARA*

*株式会社日立製作所生産技術研究所（〒244 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292）

*Production Engineering Research Laboratory, Hitachi, Ltd. (292 Yoshidamachi, Totsuka-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 244)

—— 開講にあたって ——

現代の社会は、コンピュータなどの電子機器に大きく依存している。したがって電子機器は高い信頼性を有する必要がある。プリント回路板は電子機器の基本的な構成要素であり、その信頼性を確保するために、製造工程では多くの検査が行われている。図1は大型計算機用回路板製造工程において行われる検査を示す。同図に示すように、基材の検査（異物、凹凸など）、配線パターンの検査（フォトマスク、配線板、ハイブリッド回路）、部品のはんだ付け部の検査、実装部品搭載状態の検査、スルーホール検査、多層配線板の積層状態の検査（内部検査）、電気導通検査および電気機能検査などが行われる。これらの検査には、省人や信頼性向上の効果のほか、以降の工程に欠陥品が流れて製品歩留まりが低下することを防ぐ効果がある。この基礎講座ではこれらの検査について全6回を企画し、順次取り上げていく。第1回目は配線パターンの検査技術について取り上げる^{1)~3)}。以後、第2回「はんだ付け部の検査技術」、第3回「実装部品の検査技術」、第4回「セラミックス部品の検査技術」、第5回「内部検査技術」、第6回「電気検査技術」を予定している。

読者の参考にしていただければ幸いである。

1. はじめに

プリント回路板製造工程では、配線パターンを製造したあと、通常、電気導通試験が行われている。しかし電気導通試験は、パターンの断線や短絡欠陥は検出できるが、パターンの切れかかり、短絡しかかりなどの欠陥を検出することができない。また、パターンの形状によっては試験ができない場合がある。このために、従来は目視による外観検査が行われてきた。目視による検査は、検査員の疲労により必ずしも高い検査信頼性を得ることができない。このために検査の自動化が図られている。

2. 配線パターンの欠陥検査

配線パターン検査の自動化については、半導体工業においても研究開発が行われている^{4),5)}。プリント配線板製造におけるパターンの検査は、半導体ウエハやレチクルパターンに比べて次のような特有の困難がある。それはパターン変形に対する許容値が大きい反面、細い短絡欠陥の検出が必要であることである。これは欠陥検査画像処理が難しいことを意味する。また、パターンの表面が傷つきやすく、変色しやすい。これは誤検査（虚報）が生じやすく、かつ欠陥を見逃しやすいことを意味する。これらの困難に対処

図1. 大型計算機用回路板の製造工程と検査

するために種々のパターン照明法、検出法、欠陥検査法が開発されている。以下、これらについて説明する。

3. パターン検出法

3.1 照明法^{2),6)}

(1) 垂直落射照明

最もオーソドックスな照明法であり、図2(a)に示すように、上方から照明を行い、パターンが基材部より高い反射率をもつことを利用して、正反射光を検出する。

(2) 斜方照明

パターンの検出は、リニアイメージセンサが多く用いられるので、この場合、照明および検出系を図2(b)に示すように斜方に配置することができる。この配置は半透鏡を使わないので、光の損失を避けることができる。垂直落射照明と同じく正反射光を検出する。

以上の照明法において、照明光として偏光を用い、検出を偏光板を通して行くと検出画像のコントラストが向上することがある。

(3) 拡散照明

プリント配線板パターンの場合、パターンの表面に細かい傷や凹凸がつきやすく、これらをパターンの欠陥と検知してしまうことがある。これを避けるために上方および周囲から拡散照明すると有効である。具体的な光学系としては図2(c), (d), (e)に示すように種々の構成がある。

(4) 基材内拡散照明

本照明法はパターン表面の傷などに影響されることなくパターンを正確に検出することを試みたものである。図

2(f)に示すように検出器で検出するエリアの外側を強く照明する。すると基材内部で光が拡散するために基材部は「明」、パターン部は「暗」として検出される。本方式は、周辺のパターンの存在により検出特性が影響を受けることが考えられる。

(5) 蛍光検出法⁷⁾

プリント配線板基材は高分子材料であり、短波長の光を照射すると微弱な蛍光を発生する。金属であるパターン部は蛍光を発生しないので、本方式も基材部を「明」、パターン部を「暗」として検出することができる。この方法もパターンの表面状態に影響を受けずに検出が行える(図2(g)(h))。ポリイミド基材、エッチングレジスト、エポキシ基材などの検出が行えるが、一部のエポキシでは蛍光が出にくいものがある。

3.2 検出器

CCDリニアイメージセンサを用いてプリント配線板を設置したステージを一方方向に連続送りする方法が最も一般的である。検査を高速化するために、TDI (Time Delay Integration)⁸⁾という特殊なリニアイメージセンサが使われることがある。その他、TVカメラや、レーザ光点を走査し、パターン検出が行われることもある。検査は高速であることが望ましいが、検出した欠陥の確認および修正の手間も考慮して、確認作業を含めたトータルスループットで評価する必要がある。

4. 欠陥検査法

4.1 欠陥検査法

表1に各種の検査法を示す^{2),9)}。

(1) デザインルール法、特異形状検出法、特徴抽出法 (表1A)

パターン形状に一定の規則を想定し、規則から外れたパターン形状部を欠陥と判定する。具体的には、例えばパターン幅、パッド幅を規定し、さらにパターンには必ずパッドで終わるという規則を想定する。また、パターン幅以下の微細なパターン形状を欠陥と判定する(図3(a))。本方法では、アナログパターン、電源層パターンなどの場合、検査性能が低下する。また、図3(b)に示すような欠陥は検出できないか、正常部を誤検出(虚報)することが多い。次に述べる比較検査法と異なり、比較データの集録、位置合わせを行う必要がないので、簡便に検査が実行できることが特徴である。

具体的なデザインルール法としては、後ほど示す局所オペレータを用いて特異形状を求める方法と、配線パターンを細線化して骨格線を抽出し、その形状的特徴から特異形状を求める方法が代表的である。

(2) 比較検査法 (表1B~E)

デザインルール検査法の場合の問題点を解決するためには、比較検査法が用いられる。比較検査法には多くの方法

図2. 照明法

表1. 検査法の分類

欠 陥 判 定 方 式	内 容 (判定基準のとり方)	例	特 徴
A. デザインルール欠陥判定方式	基準パターンにはない特異な形状を欠陥と判定 (例: 微小部)		正常パターンに類似した欠陥を見逃す。 消失欠陥を見逃す。
B. A+分岐点等比較	基準パターンおよび検出パターンの分岐点等の有無を比較		A改良のための機能付加版。 分岐点等以外の欠陥を見逃す。
C. 接続情報比較	基準パターンの接続ネットリストとパターンの接続状態を比較		接続性で評価できない欠陥を見逃す。 欠陥の存在個所を特定できない。
D. クリアランスチェック	基準パターンの公差 (許容基準) 以上にはみ出したパターンを検出		孤立欠陥を見逃す。 パターン幅評価性が劣る。 位置合わせ重要。
E. 画像比較	基準パターンと検出パターンの差異を検出		位置合わせが重要。 形状変形をすべて欠陥と判定する。

注) 基準パターンとして、実物あるいは、CAD設計パターンが用いられる。

図3. デザインルール法

が存在するが、デザインルール検査法を主に用い、その欠点を低減するために比較を併用する方法 (表 1 B)、配線パターンが、あるパッドからあるパッドにつながっているか否かを調べる方法 (表 1 C)、配線の公差以上にはみ出した部分を欠陥と判定する方法 (表 1 D)、画素単位の画像比較により欠陥を検出しようとするもの (表 1 E)、などがある。

画像比較法は、図 4 に示すように 2 つのパターンを比較し、不一致部を欠陥と判定することを原理とするものであるが、パターンの許容内変形 (公差) や位置合わせ誤差を欠陥と判定しないための特別な工夫が必要であり、種々の研究開発が試みられている。また、画像比較のための基準データの集録方法として、①実物パターンからデータを取り込む方法、②実物パターンを 2 つ並べて互いに比較する方法、および③CADデータから情報を得る方法がある。

パターンの形状を最も厳密に検査し、虚報も少なくでき

図4. 画像比較法

る可能性をもつ方法としては、表 1 E の画像比較法が最も優れていると考えられる。しかしプリント配線板検査の目的を考えた場合、検査の厳密性を追求することが最重要ではなく、単に目視検査の代替との考え方もある。この考えに立つ場合、デザインルール法 (表 1 A) や補助的な比較検査法 (表 1 B) は画像比較法 (表 1 E) よりも検査装置は簡単で安価になるはずである。

なお、以上の検査法では、いわば欠陥の候補が検出できるだけであり、検出された欠陥の有害性 (致命性) については人が判断することになる。この有害性についての判定も機械に行わせることも試みられている (後述)。

4.2 欠陥判定画像処理装置

検出したパターンは、デジタル化されて、欠陥認識するための画像処理が行われる。多くの場合、画像を実時間で処理する専用画像処理回路が用いられる。価格の低減を考えると、将来は専用画像処理装置の汎用化、プロセッサの並列化+ソフト処理が適用可能になることが望ましい。

5. 検査法の実例

5.1 デザインルール法⁽⁹⁾

デザインルール法の例として放射状のオペレータを用いた例を紹介する。本方法はラジアルマッチング法とよばれ、オペレータとして図5に示す測長センサを用いている。このオペレータは検出画像を走査し、1画素ごとに判定を行っていく。このオペレータによって配線の中心をもとめ、配線の中心にあるとき各測長センサが配線上に占める長さを測ることによって、配線形状を判定する。例えば図6(a)は正常パターンの場合、同図(b)は凹欠陥の場合、同図(c)は断線欠陥の場合である。各々パターン上での側長センサの長さのバランスを見れば、欠陥が検出できることが了解できる。本方法はT分岐状の欠陥も検出するなど、デザインルール法としては柔軟性を持った方法である。

5.2 画像比較法⁽¹⁰⁾

ここでは、比較検査法の例として、最も高い検査信頼性を約束する設計パターンと検出パターンの画像比較検査装置を紹介する。

図7に装置の構成を示す。装置は検出したパターンと設

図5. デザインルール法に用いられるオペレータの例⁽¹⁰⁾
[ラジアルマッチング法]

計データから作られたパターンとを比較することにより、欠陥を検出する。これを実現するために、以下に示す技術が用いられる。画像処理の過程を図8に示すので、両図を参照していただきたい。

(1) パターンの検出

蛍光によりパターンを検出するために、超高圧水銀ランプ光から紫光を取り出して、配線板に照射する。配線板の基材部から出た蛍光（黄色）をリニアセンサ（4個）により検出する。

(2) 2値化

微細な欠陥（断線・短絡）はモジュレーションの小さな信号の極大（凸）あるいは極小（凹）として検出される。微小な欠陥を検出するために、検出信号の凹凸量を2次元的に評価し、これがある値を越えたとき、2値化信号を出す。これと一定域値の2値化信号とを合成して2値化信号とする。

(3) 設計パターンの発生

設計パターンの発生法には、パターン描画機用のNC制御データ（ベクトルデータ）から、比較検査用の設計パターン（画素データ）をリアルタイムで発生する回路BPGが

図6. ラジアルマッチング法による検査の例⁽¹⁰⁾

図7. 画像比較検査装置の構成

図8. 画像比較検査に用いられる画像処理過程

用いられる。本方式により、莫大な画素データ（～1GB/枚）を記憶することなく、比較基準画素パターンを高速で発生することができる。

(4) 設計パターン形状の補正

検査対象パターン（検出パターン）の形状は設計パターンの形状とは多少異なる。なぜならパターンをリソグラフィにより化学的に製作するときに、パターンの角は丸みを帯び、また、パターンの線幅には増減が生じるからである。したがって、設計パターンは、検出パターンに似せるための形状補正画像処理が施される。

(5) 位置合わせ法

比較検査における難しさは、伸縮ある配線パターン（検出パターン）と設計パターンとを正確に位置合わせすることである。

①プリント配線板の寸法変化を検査前に検知して、検知した伸縮に合わせて検出時の画素サイズを変化させる。これにより、伸縮あるプリント配線板でも、検出パターンと設計パターンとを対応する相似位置で比較検査することが可能になった（伸縮補正）。

また、②位置合わせ画像処理回路により、リアルタイムで2つの画像の画素単位の位置合わせが行われる（位置合わせ）。

(6) 欠陥検査法

設計パターンと公差を有するプリント配線板パターンとを比較する際、公差は欠陥とせず欠陥候補を検出しなければならない。このために「特徴抽出比較法」および「膨張・縮小設計パターンと検出パターンの比較法」が採用されている。

i) 微小な欠陥の検出(特徴抽出比較法)

図9(a)に検査アルゴリズムを示す。まずパターン幅より

も微小なパターンを同図右側に示すオペレータ H_{BX} により抽出して、互いに存在を比較する。片方にしか特徴が存在しないとき、欠陥があると判定する。本アルゴリズムにより、位置合わせ誤差よりも小さな欠陥（細い短絡欠陥など）が検出できる。また、正常な微小部は互いに対応位置にあるのでキャンセルされて、誤って欠陥として検出されることはない。

ii) 大きな欠陥の検出(膨張・縮小パターンとの比較法)

図9(b)に示すように設計パターンを公差分だけ膨張・

	検出パターン	設計パターン	検査判定出力	オペレータ
パターン				微小パターン抽出用オペレータ H_{BX}
処理画像			キャンセル 欠陥	

(a) 微小な欠陥の検出法: パターン特徴（微小パターン）の抽出と比較

	検出パターン	設計パターン	検査判定出力
パターンおよび処理画像			欠陥

(b) 大きな欠陥の検出法: 膨張・縮小した設計パターンと検出パターンとの比較

図9. 画像比較欠陥検査法の例

図10. 欠陥の致命性判定基準

縮小させて、これらと検出パターンとのマッチングをとる。外にはみ出した公差外の検出パターン部分を欠陥と判定する。この方式により、パターンの形状に依存せずに、欠陥の検出が可能である。

(7) 欠陥の致命性判定¹²⁾

前述の欠陥判定法では、例えば図10に示すようなパターンの変形はすべて欠陥と判定する。しかし電気回路としての有害性という観点からは、欠陥A1は付近にパターンがあるので短絡を生じる恐れがあり、致命度の高い欠陥である。欠陥B1はその恐れがなく、欠陥としなくても差し支えない。このように図10の上段は致命欠陥、下段は非致命欠陥を示している。

従来、これらの区別は目視により判定されていた。これが以下のように自動化された。図7の右図に示すように検出された欠陥候補画像（256×256画素程度）をバッファBUFに記憶する。致命性判定用画像処理装置（HIDIC-IP/200）に入力して、詳細な画像処理を施して欠陥の致命性を判定する。

欠陥の致命性の判定は、欠陥のタイプを3種に分類（パッド上欠陥、孤立欠陥およびライン上・付近欠陥）したうえで、欠陥の面積、大きさ、パターンの幅・ギャップ長等を測ることにより行う。

致命性判定用画像処理装置は、致命性の判定のためにソフト処理が必要であるので処理速度自体は低い。しかし致命性処理エリアの大きさは小さいので、これにより装置全体としての検査時間が遅くなることはない。

この検査装置は、幅7μmの短絡欠陥、パターン幅の異常、パターンの変形などの欠陥を高精度に検出する。検査時間は4.5min/600×800mmである。

6. 終わりに

プリント配線パターンの欠陥検査自動化に関する技術を紹介した。この分野はメーカ主導で進められている関係上、技術内容は必ずしも公開されていないが、文献によりその概要を知ることができる。

市販されている配線パターン検査機はかなり成熟が進んでいるが、パターンの高密度化や多様化に対応できている

とはいえない。また、装置価格の低減が強く要望されている。今後も多様な研究開発が試みられて行くと思われる。

(1995.6.6—受理)

文 献

- 1) 安藤護俊, ほか: “プリント配線板外観検査技術の動向”, サーキットテクノロジー, **3**, 5, 312(1988).
- 2) 原 靖彦: “プリント基板パターンの欠陥検査”, 計測と制御, **26**, 4, 327(1987).
- 3) 長谷川堅一: “光学式外観検査装置の現状と問題点”, 第10回プリント回路学会セミナー資料33(1991).
- 4) 松山幸雄, ほか: “局所摂動パターンマッチング法によるLSIウエーハパターンの精密外観検査”, 電子情報通信学会論文誌, J72-D-II, 12, 2041(1989).
- 5) Donald B. Novotny: “Automated Photomask Inspection”, Solid State Technology, **51**, May, 1978.
- 6) 原 靖彦: “画像処理の電子産業への応用”, 精密工学会第191回講習会資料, 49.
- 7) 原 靖彦: “蛍光を利用した画像検出とその応用”, 精密工学会誌, **56**, 8, 1381(1990).
- 8) DALSA社 (伊藤忠テクノサイエンス扱い) 等
- 9) 原 靖彦: “大型計算機用プリント回路板製造における外観検査の自動化”, プリント回路学会第5回学術講演大会講演論文集, 31(1990).
- 10) 安藤護俊: “ラジアルマッチングを用いたプリント板検査”, 精密工学会誌, **56**, 8, 1390(1990).
- 11) 原 靖彦, ほか: “設計パターンとの比較によるプリント基板パターン検査装置”, 精密工学会誌, **59**, 6, 993(1993).
- 12) 原 靖彦, ほか: “回路パターン欠陥の致命性判定法”, 精密工学会誌, **61**, 6, (1995).

原 靖彦 (はら やすひこ)
昭和20年生まれ。昭和45年、東京工業大学大学院理工学研究科（物理専攻）修了。現在、日立製作所生産技術研究所第三部において、画像処理および計測技術の研究開発に従事。工学博士。