

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-25759  
(P2015-25759A)

(43) 公開日 平成27年2月5日(2015.2.5)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>GO1N 21/956 (2006.01)</b>	GO1N 21/956	B 2G051
<b>HO5K 3/00 (2006.01)</b>	HO5K 3/00	Q
	HO5K 3/00	S

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2013-156155 (P2013-156155)	(71) 出願人	000113263 HOYA株式会社 東京都新宿区中落合2丁目7番5号
(22) 出願日	平成25年7月26日 (2013.7.26)	(74) 代理人	100091362 弁理士 阿仁屋 節雄
		(74) 代理人	100090136 弁理士 油井 透
		(74) 代理人	100105256 弁理士 清野 仁
		(74) 代理人	100145872 弁理士 福岡 昌浩
		(74) 代理人	100161034 弁理士 奥山 知洋
		(74) 代理人	100187632 弁理士 橋高 英郎

最終頁に続く

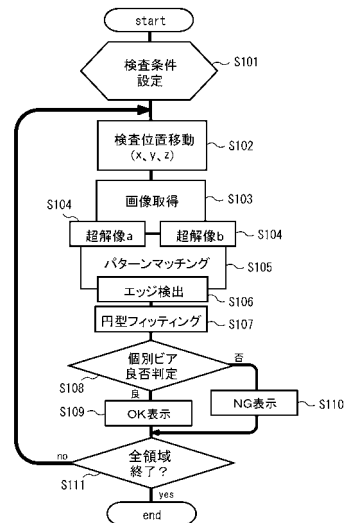
(54) 【発明の名称】 基板検査方法、基板製造方法および基板検査装置

(57) 【要約】

【課題】複数の孔が形成されてなる基板について、孔径の微細化や大基板化による総孔数の増加等が進む場合であっても、各孔の欠陥検査を迅速かつ高精度に行うことができ、しかもその欠陥検査を簡便、明確かつ迅速に行えるようにする。

【解決手段】板状材に複数の孔が形成されてなる基板に対して検査を行う基板検査方法であって、前記基板の一面側から当該基板に形成された前記複数の孔を撮像して各孔についての孔画像を得る画像取得工程(S103)と、前記複数の孔についての基準孔画像を特定する基準特定工程(S105)と、各孔画像の前記基準孔画像に対する類似度をパターンマッチング処理により求めて数値化する数値化工程(S105~S107)と、各孔画像についての数値化結果を指標として用いて前記複数の孔のそれぞれについての孔形状の良否を判定する形状検査工程(S108)と、を備える。

【選択図】図2



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

板状材の表裏面にわたって延びる複数の孔が当該板状材に形成されてなる基板に対して検査を行う基板検査方法であって、

前記基板の一面側から当該基板に形成された前記複数の孔を撮像して各孔についての孔画像を得る画像取得工程と、

前記画像取得工程での撮像結果から前記複数の孔についての基準孔画像を特定する基準特定工程と、

前記画像取得工程での撮像結果である各孔画像の前記基準孔画像に対する類似度を、所定の相互相関関数を用いたパターンマッチング処理により求めて数値化する数値化工程と

、  
前記数値化工程で得た各孔画像についての数値化結果を指標として用いて、前記複数の孔のそれぞれについての孔形状の良否を判定する形状検査工程と、

を備えることを特徴とする基板検査方法。

**【請求項 2】**

前記画像取得工程での撮像結果である各孔画像について、当該孔画像における孔輪郭を所定のフィッティング処理により求め、当該孔輪郭のサイズを用いて前記複数の孔のそれぞれについての孔サイズまたは孔形成位置の少なくとも一方の良否を判定するサイズ検査工程

を備えることを特徴とする請求項 1 記載の基板検査方法。

**【請求項 3】**

前記基板は、板厚 1 mm 以下の板状感光性ガラス材に前記孔が形成されてなるものであり、

前記孔は、直径 100  $\mu\text{m}$  以下の貫通孔または導電部材充填孔である

ことを特徴とする請求項 1 または 2 記載の基板検査方法。

**【請求項 4】**

前記画像取得工程にて所定倍率の対物レンズを有した顕微鏡を含む光学系を介して前記複数の孔を撮像する場合に、当該画像取得工程で得た前記孔画像に対して超解像画像処理を施して、前記所定倍率より高倍率の対物レンズを有した顕微鏡を含む光学系を介した撮像画像に相当する超解像画像を得て、当該超解像画像を前記画像取得工程での撮像結果とする超解像画像処理工程

を備えることを特徴とする請求項 1、2 または 3 記載の基板検査方法。

**【請求項 5】**

板状材の表裏面にわたって延びる複数の孔が当該板状材に形成されてなる基板を構成する基板形成工程と、

前記基板形成工程で構成された前記基板の一面側から当該基板に形成された前記複数の孔を撮像して各孔についての孔画像を得る画像取得工程と、

前記画像取得工程での撮像結果から前記複数の孔についての基準孔画像を特定する基準特定工程と、

前記画像取得工程での撮像結果である各孔画像の前記基準孔画像に対する類似度を、所定の相互相関関数を用いたパターンマッチング処理により求めて数値化する数値化工程と

、  
前記数値化工程で得た各孔画像についての数値化結果を指標として用いて、前記複数の孔のそれぞれについての孔形状の良否を判定する形状検査工程と、

を備えることを特徴とする基板製造方法。

**【請求項 6】**

板状材の表裏面にわたって延びる複数の孔が当該板状材に形成されてなる基板に対して検査を行う基板検査装置であって、

前記基板の一面側から当該基板に形成された前記複数の孔を撮像して各孔についての孔画像を得る画像取得部と、

10

20

30

40

50

前記画像取得部での撮像結果から前記複数の孔についての基準孔画像を特定する基準特定部と、

前記画像取得部での撮像結果である各孔画像の前記基準孔画像に対する類似度を、所定の相互相関関数を用いたパターンマッチング処理により求めて数値化する数値化部と、

前記数値化部で得た各孔画像についての数値化結果を指標として用いて、前記複数の孔のそれぞれについての孔形状の良否を判定する形状検査部と、

を備えることを特徴とする基板検査装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数の孔が形成されてなる基板に対する検査を行う基板検査方法、当該検査を経る基板製造方法、および、当該検査に用いられる基板検査装置に関する。

【背景技術】

【0002】

例えばプリント配線基板のように、ビアホールやスルーホール等の孔が複数形成されてなる基板については、その製造過程において、各孔の欠陥有無を検査することが一般的である。欠陥は、孔形状異常・孔部異物・孔部キズ・孔中心位置ズレのような異常を指す。このことは、複数の孔が形成されてなる基板についてであれば、プリント配線基板の他にも、インクジェットヘッドに用いられる液体吐出ノズルとして使用されるものも同様である。これらのように、複数の孔が形成されてなる基板に対する検査手法としては、例えば、撮像装置で撮像した孔画像を利用して各孔の大きさ等を特定し、それぞれの特定結果を設計データと比較して欠陥有無を検査する、というものが知られている（例えば、特許文献1, 2参照）。

【0003】

また、近年では、プリント配線基板を構成する基材として、感光性ガラスを用いることが提案されている（例えば、特許文献3参照）。感光性ガラスは、露光することにより感光部分のみにフッ化水素（HF）による選択的なエッチングを行えるように構成されたもので、ガラスの特性を生かしつつ微細加工が可能な材料である。感光性ガラスを用いれば、フォトリソグラフィ技術のような微細加工技術の利用が可能となることから、形成する各孔の小径化や高密度化等を容易に実現し得るようになる。このような感光性ガラスに複数の孔が形成されてなる基板は、プリント配線基板の他にも、半導体素子が搭載される積層構造基板であるインターポーザ、インテグレイティッドパッシブデバイス（IPD）、インクジェットヘッドに用いられる液体吐出ノズル、ガス電子増幅器（GEM）を構成する電子増幅用基板等として使用され得る。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2003-194522号公報

【特許文献2】特開2011-163802号公報

【特許文献3】特許第3756041号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、感光性ガラスに複数の孔が形成されてなる基板は、孔径の微細化が100μmレベル以下へと進み、またこれと同時に進む大基板化と合わせて総孔数も増加する傾向が高まっている。そのため、このような基板に対しては、従来の検査手法を用いて各孔の欠陥有無を検査すると、以下に述べるような難点が生じ得る。

【0006】

例えば、孔径の微細化が100μmレベル以下へ進んだ場合には、その孔形状を所望通りに形成することが困難になり、孔形状に変形（歪み等）が生じてしまう可能性が高くな

10

20

30

40

50

る。ところが、従来の検査手法では、各孔の大きさ（例えば径サイズ）等については検査可能であっても、孔形状の変形有無については客観的かつ定量的に判定することができない。一方、貫通孔を作成するための露光作業中の温度変化による熱膨張、描画ステージ異常等から、個々の孔中心位置座標がランダムにずれることも想定される。

対して、例えば、孔径の微細化が100 $\mu$ mレベル以下へ進んだ場合には、光学系の像倍率や解像限界等の影響により、必ずしも現実の孔形状通りの孔画像を撮像できるとは限らず、孔画像の撮像結果が曖昧なものとなってしまうおそれがある。そのため、曖昧な撮像結果を設計データと比較しても、高精度な欠陥検査が行えるとは限らない。また、より鮮明な画像を得る為に高倍率観察で撮像したとしても、数10万ヶ以上の孔全数を高倍率観察判定することは現実的ではない。一方、変形した孔形状から個々の孔座標を求めること

10

も容易ではない。つまり、検査対象となる基板について、孔径の微細化が100 $\mu$ mレベル以下へと進み、またこれと同時に進む大基板化と合わせて総孔数も増加することを考慮すると、従来の検査手法では、孔形状・孔中心位置座標に対して簡便、明確かつ迅速に高精度な欠陥検査が行えるとは限らない。

#### 【0007】

そこで、複数の孔が形成されてなる基板について、孔径の微細化や大基板化による総孔数の増加等が進む場合であっても、各孔の欠陥検査を迅速かつ高精度に行うことができ、しかもその欠陥検査を簡便、明確かつ迅速に行うことができる基板検査方法、基板製造方法および基板検査装置を提供することを目的とする。

20

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0008】

本発明は、上記目的を達成するために案出されたものである。

本発明の第1の態様は、板状材の表裏面にわたって延びる複数の孔が当該板状材に形成されてなる基板に対して検査を行う基板検査方法であって、前記基板の一面側から当該基板に形成された前記複数の孔を撮像して各孔についての孔画像を得る画像取得工程と、前記画像取得工程での撮像結果から前記複数の孔についての基準孔画像を特定する基準特定工程と、前記画像取得工程での撮像結果である各孔画像の前記基準孔画像に対する類似度を、所定の相互相関関数を用いたパターンマッチング処理により求めて数値化する数値化工程と、前記数値化工程で得た各孔画像についての数値化結果を指標として用いて、前記複数の孔のそれぞれについての孔形状の良否を判定する形状検査工程と、を備えることを特徴とする基板検査方法である。

30

本発明の第2の態様は、第1の態様に記載の基板検査方法において、前記画像取得工程での撮像結果である各孔画像について、当該孔画像における孔輪郭を所定のフィッティング処理により求め、当該孔輪郭のサイズを用いて前記複数の孔のそれぞれについての孔サイズまたは孔形成位置の少なくとも一方の良否を判定するサイズ検査工程を備えることを特徴とする。

本発明の第3の態様は、第1または第2の態様に記載の基板検査方法において、前記基板は、板厚1mm以下の板状感光性ガラス材に前記孔が形成されてなるものであり、前記孔は、直径100 $\mu$ m以下の貫通孔または導電部材充填孔であることを特徴とする。

40

本発明の第4の態様は、第1、第2または第3の態様に記載の基板検査方法において、前記画像取得工程にて所定倍率の対物レンズを有した顕微鏡を含む光学系を介して前記複数の孔を撮像する場合に、当該画像取得工程で得た前記孔画像に対して超解像画像処理を施して、前記所定倍率より高倍率の対物レンズを有した顕微鏡を含む光学系を介した撮像画像に相当する超解像画像を得て、当該超解像画像を前記画像取得工程での撮像結果とする超解像画像処理工程を備えることを特徴とする。

本発明の第5の態様は、板状材の表裏面にわたって延びる複数の孔が当該板状材に形成されてなる基板を構成する基板形成工程と、前記基板形成工程で構成された前記基板の一面側から当該基板に形成された前記複数の孔を撮像して各孔についての孔画像を得る画像取得工程と、前記画像取得工程での撮像結果から前記複数の孔についての基準孔画像を特

50

定する基準特定工程と、前記画像取得工程での撮像結果である各孔画像の前記基準孔画像に対する類似度を、所定の相互相関関数を用いたパターンマッチング処理により求めて数値化する数値化工程と、前記数値化工程で得た各孔画像についての数値化結果を指標として用いて、前記複数の孔のそれぞれについての孔形状の良否を判定する形状検査工程と、を備えることを特徴とする基板製造方法である。

本発明の第6の態様は、板状材の表裏面にわたって延びる複数の孔が当該板状材に形成されてなる基板に対して検査を行う基板検査装置であって、前記基板の一面側から当該基板に形成された前記複数の孔を撮像して各孔についての孔画像を得る画像取得部と、前記画像取得部での撮像結果から前記複数の孔についての基準孔画像を特定する基準特定部と、前記画像取得部での撮像結果である各孔画像の前記基準孔画像に対する類似度を、所定の相互相関関数を用いたパターンマッチング処理により求めて数値化する数値化部と、前記数値化部で得た各孔画像についての数値化結果を指標として用いて、前記複数の孔のそれぞれについての孔形状の良否を判定する形状検査部と、を備えることを特徴とする基板検査装置である。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、複数の孔が形成されてなる基板について、孔径の微細化や大基板化による総孔数の増加等が進む場合であっても、各孔の欠陥検査を迅速かつ高精度に行うことができ、しかもその欠陥検査を簡便、明確かつ迅速に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明に係る基板検査装置の機能構成の一例を示すブロック図である。

【図2】本発明に係る基板検査方法の処理手順の一例を示すフローチャートである。

【図3】超解像画像処理の一具体例を示す説明図である。

【図4】エッジ特定および円形フィッティングの一具体例を示す説明図である。

【図5】各孔画像の良否判定結果についての表示出力態様の一具体例を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、本発明の実施形態を、図面に基づいて説明する。

ここでは、以下のような項分けをして説明を行う。

1. 検査対象となる基板
2. 基板検査装置の構成例
3. 基板検査方法の手順
4. 基板製造方法の手順
5. 本実施形態の効果
6. 変形例等

【0012】

< 1. 検査対象となる基板 >

先ず、はじめに、本実施形態において検査の対象となる基板について説明する。

【0013】

(基本構成)

本実施形態において検査の対象となる基板は、基材となる板状材に二次元配列された複数の孔が設けられてなるものである。すなわち、基板を構成する板状材には、その表裏面にわたって延びる複数の孔が平面上で規則的に並ぶように形成されている。板状材に形成される孔は、貫通孔であってもよいし、その貫通孔に導電部材が充填されてなる導電部材充填孔であってもよい。また、検査の対象となる基板は、以下のように顕微鏡で貫通孔部を観察できればよく、したがって貫通孔が露出していれば、板状材の表裏面が金属等で覆われていてもよい。

【0014】

10

20

30

40

50

また、検査の対象となる基板において、基材となる板状材としては、例えば微粉噴射法等の機械加工では形成が困難な程度に微細な孔径および配列ピッチの孔を設けることを可能にすべく、露光することにより感光部分のみにフッ化水素（HF）による選択的なエッチングを行えるように構成された感光性ガラスを用いることが考えられる。

#### 【0015】

「感光性ガラス」とは、 $\text{SiO}_2 - \text{Li}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3$ 系ガラスに、感光性金属として少量のAu, Ag, Cu、さらに増感剤として $\text{CeO}_2$ を含んだガラスである。感光性ガラスは、紫外線を照射することによって、酸化還元反応が起こり、金属原子が生じる。さらに加熱すると金属原子が凝集しコロイドを形成し、このコロイドを結晶核にして $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ （メタケイ酸リチウム）の結晶が成長する。ここで析出する $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ （メタケイ酸リチウム）はHFに容易に溶解し、紫外線の照射されていないガラス部分と比べると約50倍程度の溶解速度の差がある。この溶解速度差を利用することで選択的エッチングが可能となり、機械加工を用いることなく微細な加工物を形成することができる。このような感光性ガラスとしては、例えばHOYA株式会社製の「PEG3（商品名）」が挙げられる。

10

#### 【0016】

なお、板状材を形成する感光性ガラスは、必ずしも「PEG3」である必要はなく、他の感光性ガラスによって形成することも考えられる。他の感光性ガラスとしては、その一例として、感光性ガラスを結晶化して得られる感光性結晶化ガラスが挙げられる。

20

#### 【0017】

「感光性結晶化ガラス」とは、感光性ガラスに加熱処理（当該感光性ガラスに微細加工を行った際とは異なる条件での加熱処理）を行って、ガラス中に均等に微細な結晶を析出させたものである。ここで析出する結晶は、 $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ （メタケイ酸リチウム）の結晶とは異なり、化学的耐久性に優れる。したがって、感光性結晶化ガラスは、完全に結晶化が進行した多結晶状態となっていることから、非晶質固体である感光性ガラスに比べて、機械的特性に優れるという利点を有する。このような感光性結晶化ガラスとしては、例えばHOYA株式会社製の「PEG3C（商品名）」が挙げられる。

30

#### 【0018】

このような感光性ガラスに複数の孔が形成されてなる基板は、プリント配線基板、インターポーザ、インテグレイティッドパッシブデバイス（IPD）、インクジェットヘッドの液体吐出ノズル、ガス電子増幅器（GEM）の電子増幅用基板等として使用され得る。

30

#### 【0019】

（基板の一具体例）

本実施形態において検査の対象となる基板としては、その一具体例として、以下のようなものが挙げられる。

例えば、PEG3からなる1mm厚、200mm角の感光性ガラスを、基材となる板状材として準備する。そして、その板状材に対して、レーザ露光、600nm波長による感光部の結晶化、フッ素系エッチャントにて溶解を行って、100μmホール径、200μmピッチの円形貫通孔を形成し、このようにして検査の対象となる基板を構成する。

貫通孔を設けた板状材については、さらに加熱処理を行って、PEG3Cからなる感光性結晶化ガラスとしてもよい。

40

#### 【0020】

（基板の他の具体例）

また、本実施形態において検査の対象となる基板としては、他の具体例として、以下のようなものも挙げられる。

例えば、PEG3からなる0.15mm厚、200mm角の感光性ガラスを、基材となる板状材として準備する。そして、その板状材に対して、レーザ露光、600nm波長による感光部の結晶化、フッ素系エッチャントにて溶解を行って、30μmホール径、200μmピッチの円形貫通孔を形成する。このようにして貫通孔を設けた板状材については、さらに加熱処理を行って、PEG3Cからなる感光性結晶化ガラスとしてもよい。そ

50

の後は、板状材に設けた貫通孔の内部に、電界メッキ法にてCuからなる導電部材を充填する。そして、基板表裏面を研磨し、表面部Cuを除去して所望板厚とすることで、板状材に導電部材充填孔が形成された基板を検査の対象となる基板として構成する。

#### 【0021】

以上のように、本実施形態においては、主に、板厚1mm以下の板状感光性ガラス材からなる基板で、直径100 $\mu$ m以下の貫通孔または導電部材充填孔が形成されたものが、検査の対象となり得る。ただし、ここで例に挙げた各基板は具体例に過ぎず、特に板状材や孔の形成寸法等について、本実施形態において検査の対象となる基板が、これに限定されないことは勿論である。

#### 【0022】

< 2 . 基板検査装置の構成例 >

次に、上述した基板に対する検査を行う際に用いられる基板検査装置について、その構成例を説明する。

#### 【0023】

図1は、本発明に係る基板検査装置の機能構成の一例を示すブロック図である。

図例のように、本実施形態において説明する基板検査装置は、大別すると、ステージ部10と、画像取得部20と、制御コンピュータ部30と、ユーザインタフェース部40と、を備えて構成されている。

#### 【0024】

(ステージ部)

ステージ部10は、検査の対象となる基板がセットされるものである。基板のセットは、例えば、ステージ部10が有するテーブル上に当該基板を載置することで行ったり、当該基板を真空吸着等によって固定することで行ったりすることが考えられるが、これらに限定されることはなく、他の公知技術を利用して行うものであっても構わない。

また、ステージ部10は、セットされた基板と詳細を後述する画像取得部20との相対位置を移動させるべく、例えばX、Y、Z、方向の各方向に基板を移動させ得るように構成されているものとする。そして、これらの各方向のうち、少なくともX方向およびY方向(すなわち基板平面に沿った各方向)については、例えばレーザ干渉計による高精度な座標管理がされ得るようになっている。

なお、相対位置移動については、画像取得部20の側を移動させても実現可能であるが、装置構成の簡素化や相対位置移動の高精度化等を考慮すると、ステージ部10に移動機構を設けることが望ましい。

#### 【0025】

(画像取得部)

画像取得部20は、ステージ部10にセットされた基板について、その基板の一面側から、その基板に形成された孔(貫通孔または導電部材充填孔)の画像を撮像して得るものである。このとき、撮像対象となる基板の一面側は、その基板がステージ部10にセットされた際の下面側であることが望ましい。下面側であれば、画像を撮像するときの被撮像面に塵埃等の異物の付着を抑制し得るからである。

#### 【0026】

このような孔画像の撮像を行うために、画像取得部20は、照明光学系21と、顕微鏡22と、撮影光学系23と、CCD(Charge Coupled Device)センサ24と、を有している。

#### 【0027】

照明光学系21は、検査の対象となる基板に対して孔画像の撮像に必要な光を照射するものである。照明光学系21は、反射光学系とすることが考えられるが、透過光学系または暗視野光学系であっても構わない。照明光学系21による照射光としては、例えば青色の発光ダイオードによる波長488nmのレーザ光を用いることが考えられるが、これに限定されることはなく、他の光であっても構わない。

#### 【0028】

10

20

30

40

50

顕微鏡 22 は、検査の対象となる基板の被撮像面について、その被撮像面上おける一部領域の拡大観察を実現可能にするものである。そのために、顕微鏡 22 は、所定倍率の対物レンズ 22 a を有している。なお、所定倍率の対物レンズ 22 a は、5 ~ 20 倍といった低倍率のものとする。具体的には、5 倍、10 倍、20 倍の各対物レンズ 22 a がレンズリボルバに装着されてなるものであってもよいし、これらのいずれか一つ（例えば 5 倍）の対物レンズ 22 a のみが装着されたものであってもよい。

【0029】

撮影光学系 23 は、顕微鏡 22 で拡大された光像を CCD センサ 24 へ導くとともに、CCD センサ 24 の撮像面への光像の合焦等を行うものである。

【0030】

CCD センサ 24 は、顕微鏡 22 および撮影光学系 23 を介して得られる光を受光することで、検査の対象となる基板における孔画像を撮像するものである。ただし、CCD センサ 24 は、顕微鏡 22 を介することから、検査の対象となる基板の被撮像面上における一部領域について、その領域に存在する孔画像を撮像するようになっている。なお、CCD センサ 24 は、相対静止状態での画像取得に適しているが、走査状態での画像取得に適した、ステージの駆動と同期の取れた TDI カメラでもよい。

【0031】

(制御コンピュータ部)

制御コンピュータ部 30 は、基板検査装置における動作を制御するものである。具体的には、制御コンピュータ部 30 は、CPU (Central Processing Unit)、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、HDD (Hard disk drive)、各種インタフェース等の組み合わせからなる。そして、制御コンピュータ部 30 は、CPU が ROM または HDD に格納された所定プログラムを実行することにより、各種の制御動作を行うようになっている。例えば、制御コンピュータ部 30 では、CPU が所定プログラムを実行することにより、画像処理部 30 a および検査部 30 b として機能するように構成されている。

【0032】

(画像処理部)

画像処理部 30 a は、CCD センサ 24 での撮像結果である孔画像に対して、所定の画像処理を行うものである。画像処理部 30 a が行う所定の画像処理としては、以下に述べるようなものがある。

すなわち、画像処理部 30 a は、所定の画像処理を行うために、超解像画像処理部 31、基準特定部 32、パターンマッチング部 (数値化部) 33、エッジ検出部 34 およびフィッティング部 35 として機能する。そして、所定の画像処理として、超解像画像処理部 31 が孔画像に対する超解像画像処理を行い、基準特定部 32 が基準孔画像を特定する処理を行い、パターンマッチング部 33 が超解像画像処理後の各孔画像と基準孔画像とのパターンマッチング処理を行い、エッジ検出部 34 が基準孔画像とマッチする各孔画像のエッジを特定する処理を行い、フィッティング部 35 が特定されたエッジから孔輪郭を特定するフィッティング処理を行う。なお、これらの各処理の詳細については後述する。

【0033】

(検査部)

検査部 30 b は、画像処理部 30 a での画像処理の結果を用いて、検査の対象となる基板に形成された孔の良否を検査するものである。検査部 30 b が行う検査としては、以下に述べるようなものがある。

すなわち、検査部 30 b は、基板に形成された孔の検査を行うために、形状検査部 36 およびサイズ検査部 37 として機能する。そして、検査の対象となる基板に対して、形状検査部 36 が各孔の孔形状の良否を判定し、サイズ検査部 37 が各孔の孔サイズの良否および孔中心位置座標 (位置精度) を判定する。なお、これらの良否判定のための処理の詳細については後述する。

【0034】

10

20

30

40

50



以上に説明した制御コンピュータ部30における各機能31~37を実現するための所定プログラムは、制御コンピュータ部30にインストールして用いられるが、そのインストールに先立ち、制御コンピュータ部30で読み取り可能な記憶媒体に格納されて提供されるものであってもよいし、あるいは制御コンピュータ部30と接続する通信回線を通じて当該制御コンピュータ部30へ提供されるものであってもよい。

【0035】

また、制御コンピュータ部30は、基板検査装置における動作を制御し得るものであれば、必ずしも当該基板検査装置に搭載されていなくてもよく、当該基板検査装置に通信回線を介して接続されたものであってもよい。

【0036】

(ユーザインタフェース部)

ユーザインタフェース部40は、基板検査装置のオペレータに対して、必要に応じて情報出力を行ったり、情報入力を行わせたりするものである。そのために、ユーザインタフェース部40は、液晶パネル等のディスプレイ装置や操作パネルを有して構成されている。

【0037】

<3. 基板検査方法の手順>

次に、以上のように構成された基板検査装置を用いて行う基板の検査処理、すなわち本発明に係る基板検査方法の処理手順の一例について説明する。

【0038】

(処理手順の概要)

ここで、まず、基板検査方法の処理手順の概要を説明する。

図2は、本発明に係る基板検査方法の処理手順の一例を示すフローチャートである。

【0039】

基板検査装置を用いて基板の検査を行う際に、制御コンピュータ部30は、まず、検査条件の設定を行わせる(ステップ101、以下ステップを「S」と略す。)。検査条件の設定は、基板検査装置のオペレータにユーザインタフェース部40の操作を通じて行われればよい。ここで設定される検査条件としては、以下のようなものがある。

すなわち、検査条件としては、例えばステージ部10での相対位置移動を行う機械系についてのものであれば、当該相対位置移動の際の速度、加速度、静待機時間等がある。また、例えば画像取得部20における光学系についてのものであれば、レンズリボルバを有する場合に選択する対物レンズ22aの光学倍率、照明光学系21による照明輝度、露光時間等がある。

また、例えば画像処理部30aが行う画像処理についてのものであれば、超解像画像処理部31が用いるカーネルやアルゴリズム、パターンマッチング部が用いる基準孔画像の特定基準、エッジ検出部34が用いるエッジ特定基準、フィッティング部35が用いるフィッティング基準等がある。これらの画像処理に関する検査条件については、詳細を後述する。

また、その他にも、情報処理系の検査条件として、検査後に保存しておくデータ内容等がある。

【0040】

検査条件を設定したら、その後、制御コンピュータ部30は、ステージ部10に移動指示を与えて、検査対象となる基板上の一部領域について画像取得部20が撮像を行うように、その基板と画像取得部20との相対位置を移動させる(S102)。この段階で、基板またはパターンに対して基準座標軸に対するローテーション合わせ、原点座標設定を行う。この作業は、当然に各撮像毎に行う必要はなく、例えば最初の撮像前に行えばよい。そして、ステージ部10の移動が完了したら、画像取得部20は、基板上の一部領域について撮像を行って、当該一部領域における孔画像を得る(S103)。

【0041】

孔画像を得ると、画像処理部30aでは、超解像画像処理部31が当該孔画像に対する

10

20

30

40

50

超解像画像処理を行い (S104)、基準特定部32が基準孔画像を特定した後に、パターンマッチング部33が超解像画像処理後の各孔画像と基準孔画像とのパターンマッチング処理を行い (S105)、エッジ検出部34が各孔画像のエッジを特定する処理を行い (S106)、フィッティング部35が特定されたエッジから孔輪郭を特定するフィッティング処理を行う (S107)。

#### 【0042】

その後は、検査部30bが画像処理部30aでの画像処理の結果を用いつつ基板に形成された各孔(ビア)の良否を検査する (S108)。そして、その結果が「良」であればその旨のOK表示がユーザインタフェース部40で行われ (S109)、「否」であればその旨のNG表示がユーザインタフェース部40で行われることになる (S110)。

10

#### 【0043】

基板検査装置は、このような一連の処理を、基板上の他の一部領域についても全て終了するまで、繰り返し行うのである (S102~S111)。

以下に、このような一連の処理における各ステップについて、具体例を挙げて詳しく説明する。

#### 【0044】

(S102:検査位置移動)

既に説明したように、画像取得部20は、顕微鏡22を介して基板上の一部領域を拡大観察する。そのため、基板上の被撮像面は、複数の部分領域に分割された上で、各部分領域のそれぞれについて、順に孔画像の撮像が行われることになる。つまり、ステージ部10を移動させる際には、基板上における複数の部分領域が順に撮像対象となるように、移動後におけるX座標値やY座標値等が指定されるのである。なお、各領域間の移動順等については、予め設定されたものであれば、特にその内容が限定されるものではない。

20

#### 【0045】

ところで、本実施形態において、顕微鏡22が有する対物レンズ22aは、5~20倍といった低倍率のものである。したがって、上述したように基板上の被撮像面を複数の部分領域に分割する場合であっても、その分割領域数は、40倍~100倍といった高倍率の対物レンズを使用する場合に比べて少なく済む。つまり、本実施形態においては、低倍率の対物レンズ22aを介在させることで、高倍率の場合に比べて一度に検査可能な視野領域が狭くなるのを抑制できるので、撮像対象となる部分領域数の増加抑制による検査時間の高速化が図れるようになる。

30

#### 【0046】

(S103:画像取得)

ステージ部10の移動が完了したら、画像取得部20では、その移動後に撮像対象となる基板上の一部領域に対して、照明光学系21が光を照射し、その照射によって当該一部領域から得られる光を顕微鏡22および撮影光学系23を介してCCDセンサ24で受光する。

このとき、基板とCCDセンサ24との間に介在する顕微鏡22は、5~20倍といった低倍率の対物レンズ22aを採用できるので、40倍~100倍といった高倍率の対物レンズを介在させる場合に比べると、小さなレンズ開口数(NA)で観察できる。例えば、5倍の対物レンズ22aであれば $NA = 0.15$ 程度でよく、このようにNAが小さい分、深い光学系の焦点深度で観察できる。つまり、本実施形態においては、低倍率の対物レンズ22aを介在させることで、焦点深度が浅くなるのを抑制し得るので、高倍率の場合に比べて撮像結果である孔画像のボケに対する許容量を大きくすることができる。したがって、撮影光学系23への高精度なオートフォーカス機構の付加等が不要となるので、光学系の大型化や高コスト化等を招いてしまうことがない。また、焦点深度が浅くなるのを抑制することで、貫通孔(スルーホール)や導電部材充填孔(ビアホール)等といった孔の種類の違いにも柔軟かつ適切に対応することが可能となる。つまり、基板に形成された孔がどのような種類のものであっても、高精度な欠陥検査を行うことが実現可能となる。

40

50

## 【 0 0 4 7 】

このようにして画像取得を行うと、CCDセンサ24からは、撮像対象となった基板の一部領域について、その一部領域内に存在する各孔についての撮像結果である各孔画像が、制御コンピュータ部30へ出力されることになる。制御コンピュータ部30では、出力される各孔画像を解析することで、各孔の形状やサイズ等を把握し得るようになる。

## 【 0 0 4 8 】

(S104：超解像)

ところで、顕微鏡22が有する対物レンズ22aが5～20倍といった低倍率のものであると、40倍～100倍といった高倍率の対物レンズを介在させる場合に比べて、基板の孔径の微細化等の進展への対応が必ずしも十分とは言えないおそれが生じてしまう。

このおそれを補うために、本実施形態においては、画像取得部20が5～20倍といった低倍率の対物レンズ22aを有する顕微鏡22を介して基板上の一部領域について撮像を行って当該一部領域における孔画像を得ると、画像処理部30aにおける超解像画像処理部31が当該孔画像に対する超解像画像処理を行う。

## 【 0 0 4 9 】

ここで、「超解像画像処理」とは、デジタル画像処理技術の一つであり、入力された画像を高解像度化して高精細画像を得るための処理のことをいう。このような超解像画像処理によれば、ボケやブレのある撮像画像を本来の高精細な画像に復元することが可能となる。

## 【 0 0 5 0 】

一般に、顕微鏡22を含む光学系は、点像分布関数(Point Spread Function、以下「PSF」と略す。)がその特性を表す重要な数学的モデルとして使われる。つまり、顕微鏡22を介して得られる撮像画像にはPSFに起因するボケやユガミ等が含まれ得るが、そのボケやユガミ等は、PSFを使うことでコンボリューション(畳み込み演算)と呼ばれる数学演算で算出することができる。このことは、ボケやユガミ等のある画像とPSFとから、コンボリューションとは逆の演算(デコンボリューション演算)を行うことで、本来の高精細な画像を復元したり、あるいはボケやユガミ等を取り除いたりできることを意味する。

## 【 0 0 5 1 】

超解像画像処理部31が行う超解像画像処理では、このようなPSFを用いたデコンボリューション演算を行うことで、画像取得部20で得た撮像画像よりも高精細な画像を得る。さらに具体的には、画像取得部20が5～20倍といった低倍率の対物レンズ22aを有する顕微鏡22を介して撮像した孔画像に対して、PSFを用いたデコンボリューション演算を行うことで、40倍～100倍といった高倍率の対物レンズを有した顕微鏡を含む光学系を介した撮像画像に相当する画像を得るのである。以下、超解像画像処理によって得られる画像を「超解像画像」という。

## 【 0 0 5 2 】

このようなデコンボリューション演算を適切に行うために、超解像画像処理部31は、複数種類の演算アルゴリズムに対応し得るとともに、複数種類のPSFカーネルサイズに対応し得るように構成されている。

## 【 0 0 5 3 】

演算アルゴリズムは、デコンボリューション演算の内容を特定するためのものである。例えば、演算アルゴリズムの一つとしては、「ウィナ(Wiener)フィルタ」が知られている。ウィナフィルタの空間周波数特性は、以下の(1)式で与えられる。

## 【 0 0 5 4 】

【数1】

$$WF(u, v) = \frac{H^*(u, v)}{|H(u, v)|^2 + S_n(u, v) / S_f(u, v)} \cdot \cdot \cdot \quad (1)$$

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 5 】

なお、(1)式において、 $H^*(u, v)$ は $H(u, v)$ の複素共役を表し、 $S_f(u, v)$ と $S_n(u, v)$ はそれぞれ原画像とノイズのパワースペクトルである。(1)式の分母の第二項は劣化画像のノイズ対信号比であり、一般に既知ではないので適当な定数を代入して復元を行えばよいが、その項が0の場合には単純な逆フィルタとなる。

## 【 0 0 5 6 】

ウイナフィルタの他にも、演算アルゴリズムとしては、例えば「DampedLS」、「Tikhonov」、「TSVD」、「TotalVariati (TotalVariation)」、「Hybrid」、「SteepestDes (SteepestDescent)」、「RichardsonL (RichardsonLucy)」等の種類がある。

## 【 0 0 5 7 】

また、PSFカーネルサイズは、適用するPSFのサイズを特定するためのものである。例えば、カーネルサイズは、以下の行列数でガウシアンカーネルを採用することが考えられる。すなわち、カーネルサイズ1：3画素×3画素のマトリックス、カーネルサイズ2：5画素×5画素のマトリックス、カーネルサイズ3：7画素×7画素のマトリックス、カーネルサイズ4：9画素×9画素のマトリックス、カーネルサイズ5：11画素×11画素のマトリックス、・・・といった具合である。

## 【 0 0 5 8 】

図3は、超解像画像処理の一具体例を示す説明図である。

ここでは、高倍率（例えば50倍）の対物レンズを介して撮像したときにベストフォーカスであれば図3(a)に示す孔画像が得られる基板上の孔について、低倍率（例えば5倍）で低NA（例えば $NA = 0.15$ ）の対物レンズ22aを介して撮像を行い、図3(b)に示す孔画像を得た場合に、その孔画像に対して行う超解像画像処理を例に挙げる。

図3(b)に示す孔画像に対して超解像画像処理を行うために、超解像画像処理部31は、図3(c)に示すように、8種類の演算アルゴリズムに対応し得るとともに、6種類のPSFカーネルサイズに対応し得るように構成されている。つまり、超解像画像処理部31は、演算アルゴリズム8種×カーネルサイズ6種＝計48種類のいずれか一つまたは複数を用いて、超解像画像処理を行うように構成されている。

演算アルゴリズムとカーネルサイズとの組み合わせについて、どの組み合わせを用いて超解像画像処理を行うかについては、検査条件の設定時（図2におけるS101参照）に指定されているものとする。検査条件設定時に指定される組み合わせの種類は、必ずしも一つである必要はなく、複数であってもよい。複数種類が指定された場合に、超解像画像処理部31は、各種類による超解像画像処理を、順次または並行的に行うことになる（図2における「超解像a」「超解像b」参照）。なお、ここでいう「複数」は、例えば計48種類の全てが指定される場合をも含む。

図3(b)に示す孔画像に対して超解像画像処理部31が超解像画像処理を行うと、例えば「RichardsonL (RichardsonLucy)」の演算アルゴリズムとカーネルサイズ5の組み合わせ(RL5)を用いた場合であれば、図3(d)に示す超解像画像が得られる。この図3(d)に示す超解像画像によれば、その元になった図3(b)に示す孔画像にあったボケやブレ等が高解像度化されて、図3(a)に示す孔画像に近づくような状態、すなわち本来の高精細な画像の状態へ復元されているので、これにより後の検査で必要となる検出精度が確保され得るようになる。

ここで検査対象となる孔個数が多数の場合、例えば適当な超解像処理を設定し、これを全体の孔に機械的に適用する事が考えられる。この適当な超解像処理の設定は、例えば孔に対してベストフォーカスからずれた状態での画像を対象に、ベストフォーカスで撮った有るべき姿に近くなる超解像処理手法を1種または数種に絞り込んでおいてもよい。また、有るべき姿として、予め高倍率で取得したより鮮明な孔画像でもよい。

## 【 0 0 5 9 】

このように、本実施形態においては、画像取得部20が孔画像を得る際の検査解像度を落とすことで高速検査を実現可能にする一方で、その撮像結果である孔画像に対して超解像画像処理部31が超解像画像処理を行うことで、その孔画像に対応する超解像画像を得

10

20

30

40

50

て、これによりその孔画像についての必要検出精度を確保するのである。

【 0 0 6 0 】

( S 1 0 5 : パターンマッチング )

超解像画像処理部 3 1 が超解像画像処理を行った後は、その超解像画像処理で得られた超解像画像についてパターンマッチング処理を行う。ここでいう「パターンマッチング処理」は、予め特定した基準孔画像に対する各孔画像の類似度を求める処理のことをいう。

【 0 0 6 1 】

このようなパターンマッチング処理を行うために、制御コンピュータ部 3 0 では、まず、基準特定部 3 2 が基準孔画像を特定する処理を行う。「基準孔画像」とは、各孔画像の類似度を求める際の基準となる孔画像のことをいう。

基準孔画像の特定は、一部領域中の孔位置に応じて行ってよいし（例えば、領域中で初めに走査される平面上で左上位置にある孔画像を基準孔画像とする。）、撮像結果をユーザインタフェース部 4 0 で表示出力した上で基板検査装置のオペレータが所望する孔画像を基準孔画像として選択させてもよいし、複数の孔画像から導き出される孔画像（例えば平均算出結果に相当する孔画像）を基準孔画像としてもよい。これらの方法で得られた孔画像に超解像画像処理を行ったものを基準孔画像としてもよい。

このように、基準孔画像は、画像取得部 2 0 で得られた孔画像を基に特定される。画像取得部 2 0 で得られた孔画像を基にすれば、特定される基準孔画像は、画像取得部 2 0 を構成する光学系等の特性が反映されたものとなるからである。つまり、例えば設計データを基準にする場合とは異なり、基準孔画像に光学系等の特性が反映されることになるので、実際に当該光学系等を経て得られる各孔画像について、基準孔画像との類似度を求める処理の高精度化が図れるようになる。ただし、光学系による画像の変質が小さく無視しても良いような場合、基準孔画像としては、別途でベストフォーカスで得た画像としても良く、或いは高倍率で取得した画像、更には設計イメージを用いても良い。

なお、一旦特定した基準孔画像については、複数の部分領域の間で共用することも考えられる。

【 0 0 6 2 】

基準孔画像を特定したら、その後、制御コンピュータ部 3 0 では、パターンマッチング部 3 3 が基準孔画像と各孔画像とのパターンマッチング処理を行う。すなわち、パターンマッチング部 3 3 は、基準孔画像に対する各孔画像の類似度を求めるのである。

パターンマッチング部 3 3 は、基準孔画像に対する各孔画像の類似度を、所定の相互相関関数を用いて求める。「相互相関関数」は、二つの画像（関数）の類似性を確認するために使われる関数である。パターンマッチング部 3 3 が用いる所定の相互相関関数としては、例えば以下の（ 2 ）式のような正規化相互相関関数が挙げられる。

【 0 0 6 3 】

【 数 2 】

$$R(i, j) = \frac{\sum_{x=0}^{L-1} \sum_{y=0}^{K-1} (w(x, y) - \bar{w})(f(x+i, y+j) - \bar{f}(i, j))}{\left[ \sum_{x=0}^{L-1} \sum_{y=0}^{K-1} (w(x, y) - \bar{w})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \left[ \sum_{x=0}^{L-1} \sum_{y=0}^{K-1} (f(x+i, y+j) - \bar{f}(i, j))^2 \right]^{\frac{1}{2}}}$$

・・・ (2)

【 0 0 6 4 】

なお、（ 2 ）式において、w は L × K 画素を持つ基準孔画像についての関数を表し、f は L × K 以上の画素を持つ検査対象の孔画像を表している。

【 0 0 6 5 】

このような正規化相互相関関数を用いることで、基準孔画像に対する各孔画像の類似度は、数値（以下、「スコア」ともいう。）によって表される。具体的には、類似度が高い

ほど、完全一致の場合を表す規定値（本件では1000倍した値を採用し、「1000」に近いほど類似していることを示す）に近いスコアが得られるといった具合である。つまり、正規化相互相関関数を用いたパターンマッチング処理により、基準孔画像に対する各孔画像の類似度が数値化されるのである。なお、複数の超解像を使用した場合（S104超解像a、超解像b）、より高いスコアの処理画像を検査用画像として採用する。

#### 【0066】

そして、このようにして得られるスコア（すなわち数値化結果）を指標として用いれば、各孔画像のそれぞれが基準孔画像にどの程度似ているかについて、客観的かつ定量的に判定し得るようになる。具体的には、完全一致のスコアが「1000」である場合に、数値化によって得られたスコアが例えば「900」以上であれば「優」、例えば「700」以上「900」未満であれば「良」、例えば「700」未満であれば「否（不可）」といったように、そのスコアを得た孔画像についてのグレード判定を行い得るようになる。

10

#### 【0067】

このように、本実施形態においては、正規化相互相関関数を用いたパターンマッチング処理で得た各孔画像についてのスコアを指標とすることで、そのスコアを得た孔画像における孔形状の良否（変形が生じているか否か等）を客観的かつ定量的に判定することが可能となる。

#### 【0068】

（S106：エッジ検出）

パターンマッチング部33がパターンマッチング処理を行った後は、続いて、エッジ検出部34が各孔画像のエッジを特定する処理を行う。孔画像の「エッジ」とは、孔を表す画像部分と基板を表す画像部分との境界であり、孔の側壁の平面位置に相当する画像部分のことをいう。

20

ただし、パターンマッチング処理以降に行う処理は、そのパターンマッチング処理で得られたスコアが所定値（例えば「700」）以上であるものだけを処理対象とすることが考えられる。スコアが所定値未満であれば、孔形状に変形等が生じており「否」と判定されるもので実用に適する孔では無いことより、処理対象から除外することで、検査結果の実用性、およびその後の処理負荷の軽減を図ることができる。

つまり、エッジ検出部34は、基準孔画像とマッチする各孔画像について、そのエッジを特定する処理を行うのである。

30

#### 【0069】

図4は、エッジ特定および円形フィッティングの一具体例を示す説明図である。

図4は、ある一つの孔画像の具体例を示している。図例のように、孔画像は、孔を表す画像部分51と、基板を表す画像部分52とによって構成されている。エッジ検出部34は、このような孔画像のそれぞれに対して、エッジを特定する処理を行う。なお、実際に処理対象となる孔画像は、超解像画像処理後のものである。

エッジの特定は、例えば、孔画像を構成する各画素の画素値（特に明度値）に着目し、隣接する画素間の画素値変化の大きさが所定閾値以上である箇所を検出することで行えばよい。また、その他にも、公知のエッジ検出技術を用いて、エッジの特定を行うことが考えられる。

40

このような処理を行うことで、エッジ検出部34は、画素値変化が所定閾値以上である複数箇所を孔画像におけるエッジ箇所53として検出する。検出するエッジ箇所53は、必ずしも孔の全周にわたって存在している必要はない。孔画像の撮像状態によっては、エッジ部分であっても画素値変化が鮮明に現れないこともあり得るからである。なお、検出するエッジ箇所53については、孔画像を得る際に低倍率の対物レンズ22aを介在させて光学系の焦点深度を深くすることで、その数が増加する場合がある。

#### 【0070】

（S107：円形フィッティング）

エッジ検出部34がエッジを特定する処理を行った後は、続いて、フィッティング部35が特定されたエッジから孔輪郭を特定するフィッティング処理を行う。「孔輪郭」は、

50

孔画像の平面的な孔形状の輪郭のことをいい、孔画像のエッジ箇所（未検出のものを含む）を全て繋げることで得られるものである。

【0071】

孔輪郭を特定するフィッティング処理は、以下のようにして行う。フィッティング部35は、先ず、フィッティング処理の対象となる孔画像について、エッジ検出部34が検出したエッジ箇所53の座標値を認識する。そして、認識した座標値の全てに沿うような円周を、例えば最小二乗法を用いて求める。なお、最小二乗法ではなく、他の公知のフィッティング手法を用いても構わない。

【0072】

このようにして求めた円周は、図4に示すように、フィッティング処理の対象となる孔画像についての孔輪郭54となる。この孔輪郭54は、パターンマッチング処理で得たスコアが所定値未満のものを処理対象から除外しており、またフィッティング処理の際に最小二乗法等を用いていることから、略円形状のものとなる。

10

【0073】

略円形状の孔輪郭54を求めたら、次いで、フィッティング部35は、その孔輪郭54の中心位置55を求める。中心位置55は、例えば公知の数学的手法を用いることで、求めることが可能である。これにより、処理対象となった孔画像については、その中心位置55の座標値が分かるようになる。

孔輪郭54の中心位置55を求めたら、さらに、フィッティング部35は、その孔輪郭54のサイズを求める。具体的には、孔輪郭54が略円形状のものなので、孔輪郭54のサイズとして、その孔輪郭54の最大直径を求める。最大直径についても、例えば公知の数学的手法を用いることで、求めることが可能である。これにより、処理対象となった孔画像については、その中心位置55の座標値に加えて、その最大直径の値がわかるようになる。

20

【0074】

このように、本実施形態では、パターンマッチング処理でのマッチングスコアが高い超解像画像を採用した上で、その超解像画像（孔画像）に対して、エッジ検出部34がエッジ箇所53を検出し、さらにフィッティング部35がフィッティング処理を行ってエッジ箇所53から略円形状の孔輪郭54を求める。

このような円形フィッティングを行えば、孔輪郭54の中心位置55を求めたり、その孔輪郭54の最大直径を求めたりすることを、非常に容易かつ精度良く行うことが可能となる。

30

【0075】

(S108：良否判定)

以上のような一連の処理工程を経ることで、画像取得部20で得た各孔画像については、パターンマッチング処理で得られたマッチングスコアと、フィッティング処理の結果から得られた中心位置座標値および最大直径の値とが判明する。検査部30bは、これらの判明結果を予め設定されている閾値と比較することで、各孔画像についての良否の判定を行う。具体的には、検査部30bにおける形状検査部36は、マッチングスコアを指標として用いて、例えば「900」以上であれば「優」、「700」以上「900」未満であれば「良」、「700」未満であれば「否」といったように、各孔画像の孔形状の良否（変形が生じているか否か等）を判定する。また、検査部30bにおけるサイズ検査部37は、中心位置座標値を指標として用いて、例えば設計値 $\pm 2.0 \mu\text{m}$ の範囲に属していれば「良」、当該範囲に属していなければ「否」といったように、各孔画像の形成位置の良否（位置ずれが生じているか否か等）を判定する。さらに、形状検査部36は、最大直径の値を指標として用いて、例えば設計値 $\pm 3.0 \mu\text{m}$ の範囲に属していれば「良」、当該範囲に属していなければ「否」といったように、各孔画像の形成サイズの良否（サイズずれが生じているか否か等）を判定する。なお、マッチングスコア、中心位置座標値または最大直径のいずれか一つに「否」があれば、その孔画像についての判定結果は「否」であるものとする。

40

50

## 【0076】

(S109, S110: 結果表示)

このようにして検査部30bで得られた判定結果については、その後、ユーザインタフェース部40から基板検査装置のオペレータに対して表示出力される。判定結果の表示出力の具体的態様は、基板検査装置のオペレータが認識し得るものであれば、特に限定されるものではないが、その一具体例として以下のようなものが考えられる。

## 【0077】

図5は、各孔画像の良否判定結果についての表示出力態様の一具体例を示す説明図である。

図例の表示出力態様では、各孔画像61の表示出力に加えて、当該孔画像61についてのマッチングスコア62および最大直径値63についても併せて表示出力している。なお、各孔画像61は、それぞれが配された位置に配列された状態で表示出力され、配された位置にずれ等が生じていればそれが表示出力結果に反映される。このとき、マッチングスコア62および最大直径値63に加えて、各孔画像61の中心位置座標値を併せて表示出力するようにしても構わない。

10

また、図例の表示出力態様では、各孔画像61並びにこれに付随するマッチングスコア62および最大直径値63を、検査部30bで得られた判定結果に応じて識別可能となるように表示出力する。具体的には、例えば「優」という判定結果であれば「緑色」で表示出力するようにグループ分け64し、例えば「良」という判定結果であれば「赤色」で表示出力するようにグループ分け65するといったように、それぞれを識別可能に表示出力することが考えられる。ただし、表示色やグループ分けの基準等は、検査部30bでの判定結果を識別可能にすれものであれば、適宜設定されたものであればよく、ここで挙げた例に限定されるものではない。

20

なお、マッチングスコアが所定値(例えば「700」)未満の孔画像61をパターンマッチング処理以降に行う処理の対象から除外した場合、その孔画像61については、マッチングスコア62および最大直径値63を表示することなく、かつ、「良」判定や「否」判定のものとは識別可能となるようにグループ分け66をして、その表示出力が行われる。

## 【0078】

以上のような表示出力態様での表示出力をユーザインタフェース部40が行えば、基板検査装置のオペレータは、各孔画像61についての検査部30bでの判定結果を、容易かつ確実に認識することができる。さらに具体的には、表示色等により識別可能となる表示出力態様を採用することで、基板検査装置のオペレータは、「優」、「良」、「否」等の判定結果を容易かつ確実に認識することができる。また、マッチングスコア62や最大直径値63等を併せて表示出力する表示出力態様を採用することで、基板検査装置のオペレータは、それぞれの孔形状や形成サイズ等についても、その適否を容易かつ客観的に認識することができる。さらには、このような個々の孔検査結果を修正し、例えば優比率、否個数等の規格に照らして基板自体の合格、或いはその合格孔密度で使用する領域を決めることもできる(S111)。

30

## 【0079】

<4. 基板製造方法の手順>

次に、以上のような基板検査方法を利用する基板の製造方法、すなわち本発明に係る基板製造方法の処理手順について説明する。

40

## 【0080】

基板の製造にあたっては、まず、基板形成工程を実行する。基板形成工程は、板状材の表裏面にわたって延びる複数の孔が当該板状材に形成されてなる基板を構成する工程である。具体的には、感光性ガラスまたは感光性結晶化ガラスを基材とし、「1. 検査対象となる基板」の項で説明したようにして、多数の微細な孔を有する基板を構成することが考えられる。このようにして構成される基板は、プリント配線基板、インターポーザ、インテグレイティッドパッシブデバイス(IPD)、インクジェットヘッドの液体吐出ノズル

50



、ガス電子増幅器（GEM）の電子増幅用基板等として使用され得るものである。

【0081】

その後は、多数の微細な孔を有する基板に対して、「2．基板検査装置の構成例」の項で説明した基板検査装置を用いつつ、「3．基板検査方法の手順」の項で説明した手順で、その基板に形成された孔の良否を検査する。具体的には、検査対象となる基板の一面側から当該基板に形成された孔の画像を撮像する画像取得工程（S103）と、このようにして得た孔画像に対して超解像画像処理を施して超解像画像を得る超解像画像処理工程（S104）と、基準孔画像を特定する基準特定工程（S105）と、基準孔画像に対する各孔画像の類似度を所定の相互相関関数を用いたパターンマッチング処理により求めて数値化する数値化工程（S105～S107）と、各工程での処理結果に基づき基板に形成された孔の良否を検査する検査工程（S108）とを経る。また、検査工程（S108）は、各孔画像についての数値化結果（S105）を指標として孔形状の良否を判定する形状検査工程と、孔画像における孔輪郭を所定のフィッティング処理により求め（S107）、当該孔輪郭のサイズを用いて孔サイズまたは孔形成位置の少なくとも一方の良否を判定するサイズ検査工程とを含む。

10

【0082】

このような一連の各工程を経た結果、検査工程（S108）で「否」と判定された基板を除く他の基板（すなわち「優」または「良」と判定された基板）が、良品として出荷対象とされることになる。

したがって、例えば、感光性ガラスのような透光性を有する板状材を基材とし100 μmレベル以下の孔を多数（数千～数百万カ所以上）持つ基板を製造する場合であっても、各孔の欠陥検査を迅速かつ高精度に行うことを可能にしつつ、その検査によって良品と判定された基板のみを出荷することが実現可能となる。

20

つまり、本実施形態の基板製造方法で製造されて出荷される基板は、感光性ガラスのような透光性を有する板状材を基材とし100 μmレベル以下の孔を多数（数千～数百万カ所以上）持つものであっても、その孔に欠陥等が生じていないものとなる。

【0083】

< 5．本実施形態の効果 >

本実施形態で説明した基板検査方法、基板製造方法および基板検査装置によれば、以下のような効果が得られる。

30

【0084】

本実施形態においては、検査対象となる基板に形成された複数の孔の撮像結果から当該複数の孔についての基準孔画像を特定した上で、当該複数の孔の撮像結果である各孔画像の基準孔画像に対する類似度を所定の相互相関関数を用いたパターンマッチング処理により求めて数値化し、その数値化結果を指標として用いて当該複数の孔のそれぞれについての孔形状の良否を判定する。つまり、本実施形態においては、基準孔画像に光学系等の特性を反映させることで、実際に当該光学系等を経て得られる各孔画像について、基準孔画像との類似度を求める処理の高精度化を図りつつ、各孔画像の基準孔画像に対する類似度についてパターンマッチング処理での数値化結果であるスコア（マッチングスコア）を指標とすることで、そのスコアを得た孔画像における孔形状の良否を客観的かつ定量的に判定する。

40

したがって、本実施形態によれば、例えば孔径の微細化が100 μmレベル以下へ進む場合であっても、各孔画像の基準孔画像に対する類似度が数値化されるので、その数値化結果であるスコア（マッチングスコア）を指標とすることで、各孔形状に変形（歪み等）が生じているか否かの良否判定を客観的かつ定量的に行えるようになり、これにより各孔画像に対する高精度な欠陥検査の実現が可能となる。

しかも、本実施形態によれば、例えば孔径の微細化が100 μmレベル以下へ進み、またこれと同時に進む大基板化と合わせて総孔数も増加する場合であっても、光学系等の特性を反映させた基準孔画像と各孔画像とをそのまま対比させることが可能となり、各孔画像別に修正処理等を行う必要がないので、簡便かつ明確に欠陥検査が行えるようになり、

50

またそのために多くの処理時間を要してしまうこともない。

以上のことから、本実施形態においては、複数の孔が形成されてなる基板について、孔径の微細化や大基板化による総孔数の増加等が進む場合であっても、各孔の欠陥検査を迅速かつ高精度に行うことができ、しかもその欠陥検査を簡便、明確かつ迅速に行うことができると言える。

#### 【0085】

また、本実施形態においては、検査対象となる基板から得た各孔画像について、当該孔画像における孔輪郭を所定のフィッティング処理により求め、当該孔輪郭のサイズを用いて基板上における複数の孔のそれぞれについての孔サイズまたは孔形成位置の少なくとも一方の良否を判定する。そして、孔輪郭を求める際には、所定のフィッティング処理として、単に円形の図形形状を当て嵌めるのではなく、例えば最小二乗法を用いたフィッティング処理を行う。

10

したがって、本実施形態によれば、フィッティング処理を経て孔輪郭を求めるので、孔輪郭を求めずに孔画像から直接的に孔サイズや孔形成位置等を特定する場合に比べて、当該孔サイズや孔形成位置等の特定を非常に容易かつ精度良く行うことが可能となる。しかも、フィッティング処理を行う際には、単に円形の図形形状を当て嵌めるのではなく、例えば最小二乗法を用いたフィッティング処理を行うので、このようにして求められた孔輪郭は、孔画像の撮像によって得られた現実の孔形状が反映されたものとなり、その孔サイズや孔形成位置等を精度良く求める上で非常に好適なものとなる。

#### 【0086】

また、本実施形態においては、パターンマッチング処理で得られたスコアが所定値（例えば「700」）以上であるものだけを、その後に行うフィッティング処理の処理対象とする。

20

したがって、本実施形態によれば、孔形状に変形等が生じておりスコアが所定値未満となるようなものを処理対象から除外することで、当該除外を行わない場合に比べて、パターンマッチング処理以降の処理負荷の軽減を図ることができる。

#### 【0087】

さらに、本実施形態においては、所定倍率（具体的には5～20倍といった低倍率）の対物レンズ22aを有する顕微鏡22を介して撮像した孔画像に対して、デコンボリューション演算による超解像画像処理を施すことで、その所定倍率より高倍率（具体的には40倍～100倍といった高倍率）の対物レンズを有した顕微鏡を含む光学系を介した撮像画像に相当する超解像画像を得て、その超解像画像を用いて基板に形成された孔の良否を検査する。つまり、本実施形態においては、孔画像を得る際の検査解像度を落とす一方で、その撮像結果である孔画像に対して超解像画像処理を行うことで、その孔画像に対応する超解像画像を得て、これによりその孔画像についての必要検出精度を確保する。

30

したがって、本実施形態によれば、例えば100 $\mu$ mレベル以下の孔を多数（数千～数百万カ所以上）持つ基板が検査対象となる場合であっても、孔にゲージピンを直接に挿入するためにピンの位置合わせ等を要する手法とは異なり、検査時間等について実用的に対応し得るようになる。また、本実施形態によれば、感光性ガラスのような透光性を有する基板が検査対象となる場合であっても、透過光観察の場合とは異なり、適切な検査が行えるようになる。

40

さらに、本実施形態によれば、（1）例えば5～20倍といった低倍率の対物レンズ22aを介在させて孔画像を得る際の検査解像度を落としているので、検査対象となる基板の大基板化が進んでも、撮像対象となる部分領域数の増加を抑制でき、これにより高速検査の実現が可能となる。また、本実施形態によれば、（2）例えば5～20倍といった低倍率の対物レンズ22aを介在させることで、レンズ開口数（NA）を低く抑えて光学系の焦点深度が浅くなるのを抑制することができるので、高倍率の場合に比べて撮像結果である孔画像のボケに対する許容量を大きくすることができる。そのため、撮影光学系23への高精度なオートフォーカス機構の付加等が不要となるので、光学系の大型化や高コスト化等を招いてしまうことがない。また、本実施形態によれば、（3）例えば5～20倍

50

といった低倍率の対物レンズ 2 2 a を介在させることで、光学系の焦点深度が浅くなるのを抑制できるので、貫通孔（スルーホール）や導電部材充填孔（ビアホール）等といった孔の種類の違いにも柔軟かつ適切に対応することが可能となる。つまり、基板に形成された孔がどのような種類のものであっても、高精度な欠陥検査を行うことが実現可能となる。

以上のことから、本実施形態においては、複数の孔が形成されてなる基板について、孔径の微細化や大基板化による総孔数の増加等が進む場合であっても、当該基板を構成する基材の種類に因らず、各孔の欠陥検査を迅速かつ高精度に行うことができ、しかもその欠陥検査を安価な構成で簡便に行うことができると言える。

【 0 0 8 8 】

< 6 . 変形例等 >

以上に本発明の実施形態を説明したが、上述した開示内容は、本発明の例示的な実施形態を示すものである。すなわち、本発明の技術的範囲は、上述の例示的な実施形態に限定されるものではない。

【 0 0 8 9 】

例えば、本実施形態では、検査対象となる基板における孔の形成態様や良否判定基準等につき具体的な数値を挙げているが、これらの数値は単なる例示に過ぎず、必要に応じて適宜設定することが可能である。

【 0 0 9 0 】

つまり、本発明の特徴は、超解像・パターンマッチング・フィッティング処理を活用し、より低倍率観察できるとともに、評価を数値化し客観的に行えることである。したがって、必要な検査精度に応じた高倍率画像でも、後者の数値化による客観的な検査判定を実現できる。また、L & S、ドット、ホール、その他形状が繰り返されるパターンにおいても、フィッティング図形をその他形状に対して適切に選定すればよい。また、インプリントのように繰り返しパターンのSEM画像・AFM画像にも、同様な手法を適用できる。

【 符号の説明 】

【 0 0 9 1 】

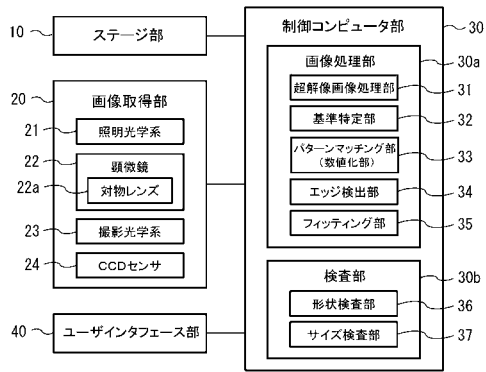
1 0 ... ステージ部、 2 0 ... 画像取得部、 2 1 ... 照明光学系、 2 2 ... 顕微鏡、 2 2 a ... 対物レンズ、 2 3 ... 撮影光学系、 2 4 ... CCD センサ、 3 0 ... 制御コンピュータ部、 3 0 a ... 画像処理部、 3 0 b ... 検査部、 3 1 ... 超解像画像処理部、 3 2 ... 基準特定部、 3 3 ... パターンマッチング部（数値化部）、 3 4 ... エッジ検出部、 3 5 ... フィッティング部、 3 6 ... 形状検査部、 3 7 ... サイズ検査部、 4 0 ... ユーザインタフェース部

10

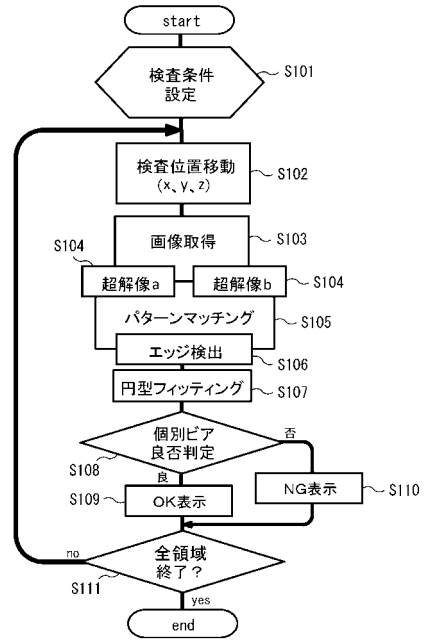
20

30

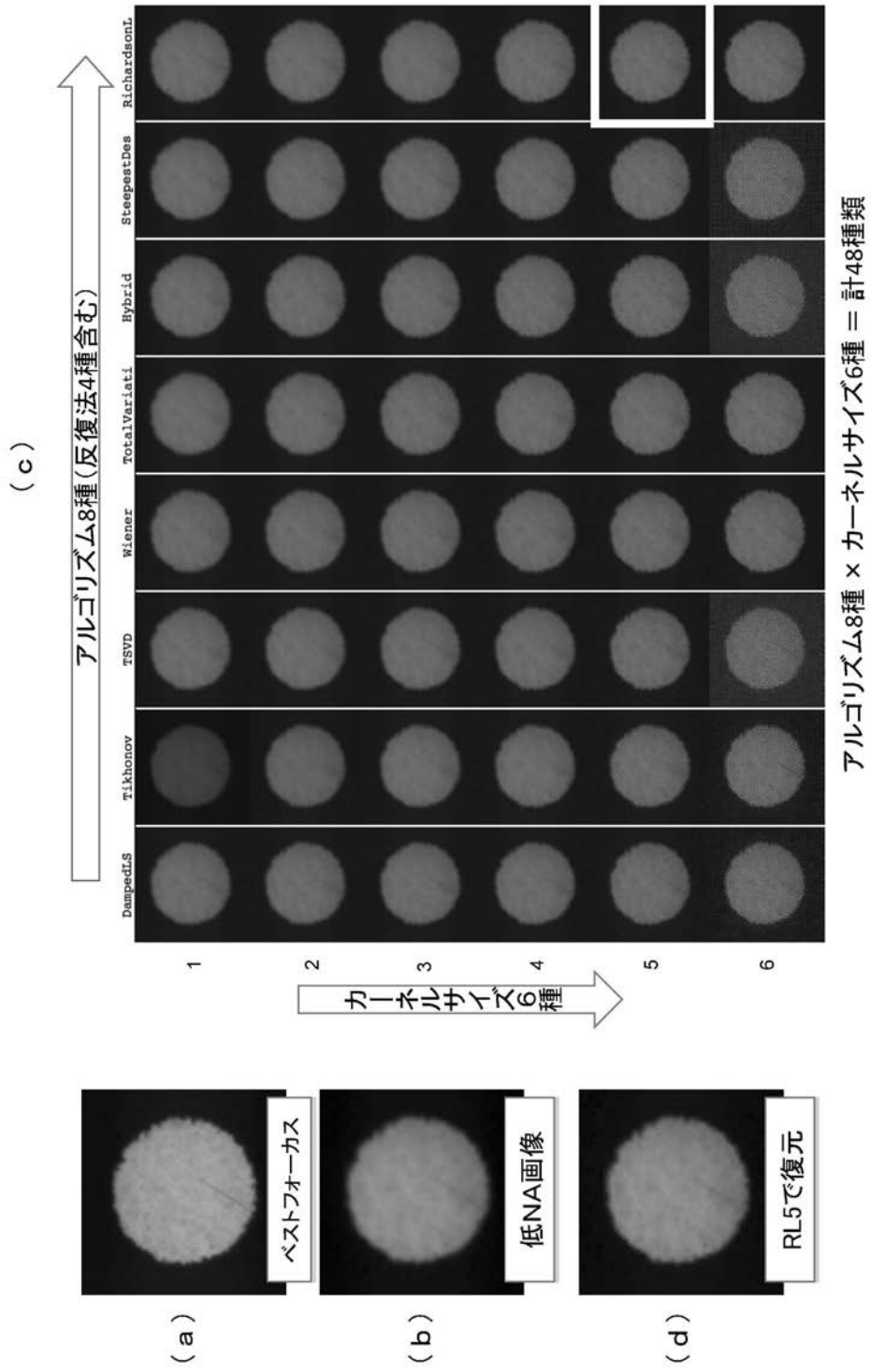
【 図 1 】



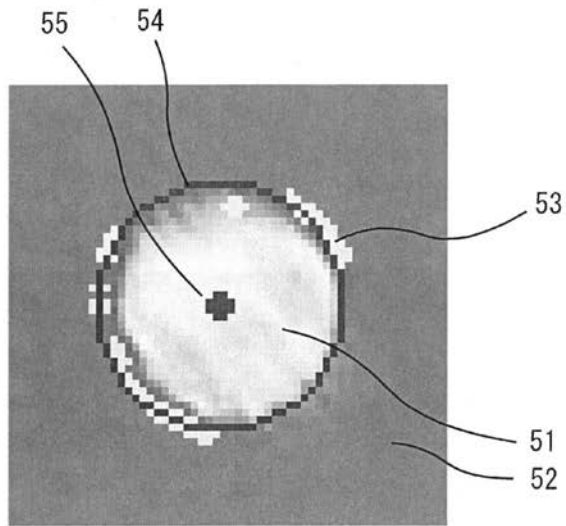
【 図 2 】



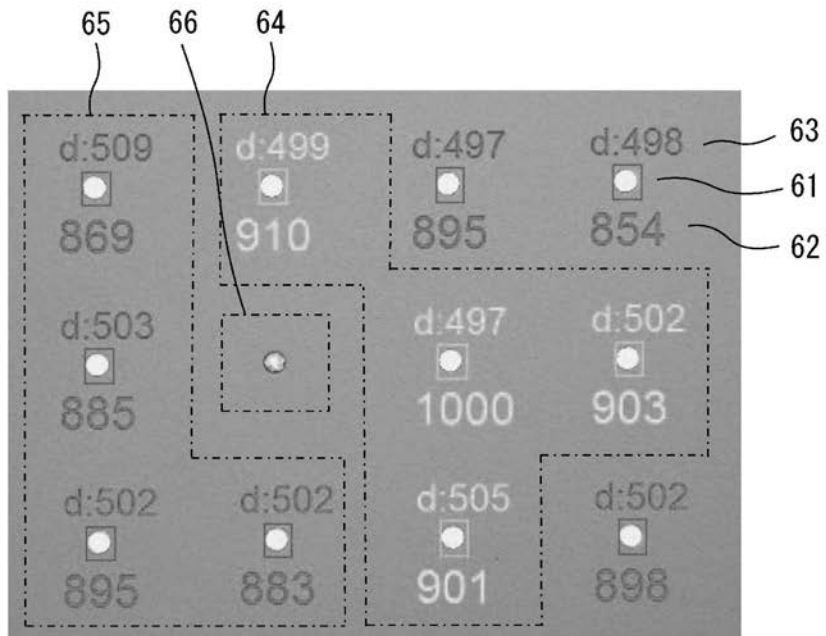
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



---

フロントページの続き

(74)代理人 100156834

弁理士 橋村 一誠

(72)発明者 田辺 勝

東京都新宿区中落合2丁目7番5号 HOYA株式会社内

Fターム(参考) 2G051 AA68 AB20 AC21 CA03 CA04 CB01 CB02 CC09 CD07 DA07  
DA08 EA30 EB01 EC01 EC05 EC06 ED04 ED11