

(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2007-258555  
(P2007-258555A)

(43) 公開日 平成19年10月4日(2007.10.4)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/66 (2006.01)	HO 1 L 21/66 N	2 G O 5 1
GO 1 N 21/956 (2006.01)	GO 1 N 21/956 A	4 M 1 0 6

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2006-83000 (P2006-83000)  
(22) 出願日 平成18年3月24日 (2006.3.24)

(71) 出願人 000184713  
SUMCO TECHXIV株式会社  
神奈川県平塚市四之宮3丁目25番1号  
(74) 代理人 100106002  
弁理士 正林 真之  
(74) 代理人 100116872  
弁理士 藤田 和子  
(72) 発明者 三次 伯知  
神奈川県平塚市四之宮三丁目25-1 コ  
マツ電子金属株式会社内  
Fターム(参考) 2G051 AA51 AB01 AB02 BA06 CA03  
CB02 EA11 EB01  
4M106 AA01 BA08 CB19 CB30 DH13  
DH31 DH38 DJ18 DJ19 DJ20  
DJ28

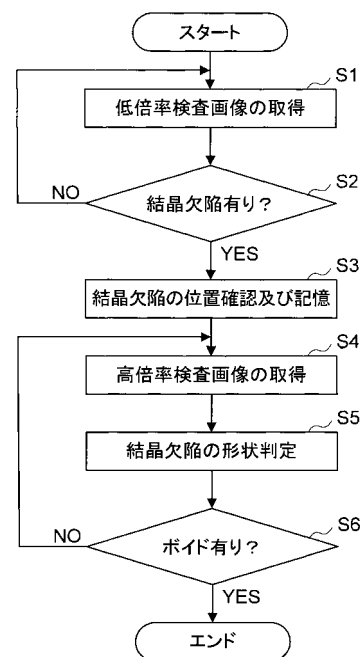
(54) 【発明の名称】 シリコンウェーハの結晶欠陥検査方法及び装置

(57) 【要約】

【課題】 微細なポイドとパーティクルを識別可能なシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法及び装置を提供する。

【解決手段】 シリコンウェーハに赤外線を照射し、透過赤外線を撮像して得られる画像から結晶欠陥を検査する。低倍率検査ステップS1は、低倍率の対物レンズ14aを用いて、シリコンウェーハの一定の視野領域を有する低倍率検査画像を取得する。位置確認ステップS3は、低倍率検査画像を画像処理して結晶欠陥の位置を確認及び記憶する。高倍率検査ステップS4では、高倍率の対物レンズ14bを用いて、記憶された結晶欠陥の位置を視野領域の中に位置させて対物距離を変えて、視野領域の高倍率検査画像を取得する。判定ステップS5は、高倍率検査画像に基づいて結晶欠陥の形状を求め、円形か円形以外の不定形状かで結晶欠陥がポイドかパーティクルかを判定する。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

シリコンウェーハに赤外線を照射し、このシリコンウェーハを透過した赤外線を撮像して得られる画像から当該シリコンウェーハの結晶欠陥を検査するシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法であって、

低倍率の対物レンズを用いて、前記シリコンウェーハにおける一定の視野領域を有する低倍率検査画像を取得する低倍率検査ステップと、

前記低倍率検査画像を画像処理して結晶欠陥の位置を確認及び記憶する位置確認ステップと、

高倍率の対物レンズを用いて、前記記憶された結晶欠陥の位置を一定の視野領域の中に位置させて対物距離を変えて、当該視野領域の高倍率検査画像を取得する高倍率検査ステップと、

前記高倍率検査画像に基づいて前記結晶欠陥の形状を求め、前記結晶欠陥の形状情報から、円形か円形以外の不定形状かで当該結晶欠陥がボイドかパーティクルかを判定する判定ステップと、を含むシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法。

10

**【請求項 2】**

前記高倍率検査ステップは、画像処理により前記視野領域のバックグラウンドの輝度ムラを補正する輝度補正ステップと、前記輝度補正で得られた画像を2値化処理する2値化処理ステップと、を含む請求項1記載のシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法。

**【請求項 3】**

前記判定ステップは、前記高倍率検査画像に基づいて、前記結晶欠陥の輪郭の長さとなる周囲長及びこの輪郭で囲まれた面積を求め、円形度で特徴抽出される数値が真円の場合、最大値となる面積周囲長比を算出する算出ステップと、この面積周囲長比が一定の閾値以下のときに当該結晶欠陥がパーティクルと判定する閾値判定ステップと、を含む請求項2記載のシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法。

20

**【請求項 4】**

前記高倍率の対物レンズは、焦点深度を前記シリコンウェーハの厚さ以上としている請求項1から3のいずれかに記載のシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法。

**【請求項 5】**

前記シリコンウェーハは、電気抵抗率を  $6 \text{ m} \cdot \text{cm}$  を下限値として前記結晶欠陥がボイドかパーティクルかを判定可能な請求項1から4のいずれかに記載のシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法。

30

**【請求項 6】**

前記シリコンウェーハは張り合わせウェーハを含み、前記結晶欠陥は当該張り合わせウェーハの張り合わせ欠陥を含む請求項1から3のいずれかに記載のシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法。

**【請求項 7】**

シリコンウェーハに赤外線を照射し、このシリコンウェーハを透過した赤外線を撮像して得られる画像から当該シリコンウェーハの結晶欠陥を検査するシリコンウェーハの結晶欠陥検査装置であって、

40

前記シリコンウェーハにおける一定の視野領域を有する低倍率検査画像を取得する低倍率の対物レンズと、

前記低倍率検査画像を画像処理して結晶欠陥の位置を確認及び記憶する位置確認手段と、

前記記憶された結晶欠陥の位置を一定の視野領域の中に位置させて、当該視野領域の高倍率検査画像を取得する高倍率の対物レンズと、

前記高倍率検査画像に基づいて前記結晶欠陥の形状を求め、前記結晶欠陥の形状情報から、円形か円形以外の不定形状かで当該結晶欠陥がボイドかパーティクルかを判定する判定手段と、を備えるシリコンウェーハの結晶欠陥検査装置。

**【発明の詳細な説明】**

50

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、シリコンウェーハの結晶欠陥検査方法及び装置に関する。特に、赤外線を用いてシリコンウェーハの結晶欠陥を検査する方法及び装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

シリコン融液から成長した単結晶となるインゴットは、温度が低下する過程で結晶欠陥となる球形のポイド (Void: 空隙) が発生することがある。そして、このインゴットをスライスしたシリコンウェーハには、バルク内に前記ポイドが存在したり、表面に前記ポイドが出現したりする。一方、このシリコンウェーハの表面には不定形状のパーティクル (Particle: 微粒子) が付着している場合もある。

10

## 【0003】

シリコンウェーハに発生したポイドを検査する方法としては、赤外線を利用する赤外干渉法 (いわゆるIR法)、超音波顕微鏡 (SAM) を利用する超音波探傷法、X線を利用するX線トポグラフ法などがある。そして、前記各検査方法によるポイドの検出限界値と、スループット (ウェーハ1枚当りの処理時間) の各現状を比較すると、表1のとおりとなる。

## 【0004】

## 【表1】

検査法	検出限界値	スループット
赤外干渉法	≧数mmφ	1min/枚
超音波探傷法	≧数百μmφ	6min/枚
X線トポグラフ法	≧数mmφ	10min/枚

20

## 【0005】

表1に示されるように、超音波探傷法は、赤外干渉法と比べてスループットで劣るが、微細なポイドまで検出可能なことからシリコンウェーハの結晶欠陥検査に広く用いられている。スループットに優れた赤外干渉法は、張り合わせウェーハの欠陥検査などに使用されている。

30

## 【0006】

例えば、張り合わせウェーハに関する欠陥検査装置としては、画像入力手段と、欠陥検出手段と、欠陥検査良否判定手段と、を備える張り合わせウェーハの欠陥検査装置が発明されている (例えば、特許文献1参照)。

## 【0007】

特許文献1によるウェーハの欠陥検査装置において、画像入力手段は、張り合わせウェーハに赤外線を照射し、このウェーハからの透過赤外線を検出して量子化画像として入力している。欠陥検出手段は、この画像入力手段によって得られたウェーハ画像入力から前記ウェーハの欠陥を検出している。欠陥検査良否判定手段は、この欠陥検出手段による検出結果と予め設定された検査条件とを比較し、正規のウェーハ欠陥を抽出している。

40

## 【0008】

又、張り合わせウェーハに関する製造方法及び欠陥検査装置としては、シリコンウェーハの張り合わせ作業の不具合を観察できる張り合わせウェーハの製造方法及び張り合わせ欠陥検査装置が発明されている (例えば、特許文献2参照)。

## 【0009】

特許文献2による張り合わせウェーハの製造方法は、鏡面研磨した2枚のウェーハ同士を張り合わせる際、赤外線を反射させてその重ね合わせ面を観察しながら行う。そして、張り合わせ作業での不具合を容易に検出することができ、不良品を再使用に供することができる。又、ウェーハの表面状態などに起因する張り合わせ不良も確認することができる

50

。又、正常な張り合わせとするための最適条件を得ることができる。特許文献2による張り合わせ欠陥の検査装置は、接着治具に対して赤外線照射し、張り合わせウエーハに反射した赤外線をカメラにより撮影、検出し、リアルタイムで画面表示できる、としている。

【特許文献1】特開昭63-139237号公報

【特許文献2】特開平7-161596号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

特許文献1及び2の発明は、赤外線の吸収に伴う透過率又は反射率の低下により、シリコンウエーハの結晶欠陥であるボイドを検出することもできる。しかし、シリコンウエーハの表面（オモテ面及びウラ面）に付着しているパーティクルも赤外線を吸収するので、パーティクルをボイドとして誤検出してしまうという問題がある。又、ボイドをパーティクルと区別するためには、検出されるボイドがミリオオーダー以上の直径のものである必要があり、このため、検査装置の検出限界値は、実質的に限定されてしまうという問題がある。更に、特許文献1及び2によるアナログ画像の取り込みでは、赤外線の画像のバックグラウンドノイズが大きく、数十ミクロンオーダーのボイドとパーティクルを区別できないという問題がある。

10

【0011】

ここで、バックグラウンドノイズを低減することにより、数十ミクロンオーダーのボイドとパーティクルを識別できれば、ボイドの誤検出率を低減できる。又、ボイドとパーティクルを的確に識別できれば、洗浄によりパーティクルを除去することによって、このシリコンウエーハを良品として次工程に送ることも可能になる。又、赤外線を利用して、スループットを向上し、かつ、前述の表1に示された現状の検出限界値より微細なボイドが検出できるようになれば、検査工程での生産性が上がり、シリコンウエーハの検査精度を向上させることができる。更に、張り合わせウエーハの張り合わせ欠陥検査において、現状の検出限界値より微細なボイドを検出することも可能となる。そして、これらのことが本発明の課題とあってよい。

20

【0012】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたものであり、赤外線を利用して、スループットを向上しつつ、現状の検出限界値より微細なボイドが検出でき、かつ、このボイドとパーティクルを識別可能なシリコンウエーハの結晶欠陥検査方法及び装置を提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明者は、シリコンウエーハを透過する赤外線で作られた画像をフィルタリング処理することにより、微細なボイドとパーティクルを識別可能なことを見出し、これに基づいて、以下のような新たなシリコンウエーハの結晶欠陥検査方法及び装置を発明するに至った。

【0014】

(1) シリコンウエーハに赤外線を照射し、このシリコンウエーハを透過した赤外線を撮像して得られる画像から当該シリコンウエーハの結晶欠陥を検査するシリコンウエーハの結晶欠陥検査方法であって、低倍率の対物レンズを用いて、前記シリコンウエーハにおける一定の視野領域を有する低倍率検査画像を取得する低倍率検査ステップと、前記低倍率検査画像を画像処理して結晶欠陥の位置を確認及び記憶する位置確認ステップと、高倍率の対物レンズを用いて、前記記憶された結晶欠陥の位置を一定の視野領域の中に位置させて対物距離を変えて、当該視野領域の高倍率検査画像を取得する高倍率検査ステップと、前記高倍率検査画像に基づいて前記結晶欠陥の形状を求め、前記結晶欠陥の形状情報から、円形か円形以外の不定形状かで当該結晶欠陥がボイドかパーティクルかを判定する判定ステップと、を含むシリコンウエーハの結晶欠陥検査方法。

40

50

## 【0015】

(1)の発明によるシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法は、シリコンウェーハに赤外線照射し、このシリコンウェーハを透過した赤外線を撮像して得られる画像から当該シリコンウェーハの結晶欠陥を検査する。最初に、低倍率検査ステップでは、低倍率の対物レンズを用いて、シリコンウェーハにおける一定の視野領域を有する低倍率検査画像を取得する。

## 【0016】

赤外線は、 $0.7\mu\text{m} \sim 1000\mu\text{m}$ の波長範囲にスペクトル領域にあり、 $1.0\mu\text{m} \sim 1000\mu\text{m}$ の波長範囲の赤外線がシリコンウェーハを透過できる。例えば、キセノンランプからXYステージ上のシリコンウェーハに赤外線が照射され、シリコンウェーハを透過した赤外線が赤外線カメラで撮像される。赤外線カメラとしては、赤外線デジタルCCDカメラが好適に用いられる。キセノンランプの照明は、導光板でシリコンウェーハに均一強度の光が照射されることが好ましい。例えば、前記CCDカメラは、 $1100\text{nm}$ までの波長の光が撮像可能であり、 $1000\text{nm} \sim 1100\text{nm}$ の波長範囲の透過赤外線が当該CCDカメラで撮像される。

10

## 【0017】

最初に、低倍率の対物レンズを用いて、CCDカメラによりシリコンウェーハにおける一定の視野領域の画像を取得される。視野領域は適宜に設定することが可能である。例えば、視野領域は $50\text{mm}$ （は正方形の一辺の長さを示す）程度であってよく、XYステージを移動させることによりシリコンウェーハの全測定領域が捕捉される。

20

## 【0018】

(1)の発明によるシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法は、次の位置確認ステップで、低倍率検査画像を画像処理して結晶欠陥の位置を確認し、その位置を記憶する。次に、高倍率検査ステップでは、高倍率の対物レンズを用いて、記憶された結晶欠陥の位置を一定の視野領域の中に位置させて対物距離を変えて、視野領域の高倍率検査画像を取得する。次に、判定ステップでは、高倍率検査画像に基づいて結晶欠陥の形状を求める。そして、結晶欠陥の形状情報から、円形か円形以外の不定形状かで結晶欠陥がボイドかパーティクルかを判定する。

## 【0019】

位置確認ステップでは、低倍率検査ステップで得られた低倍率検査画像を画像処理して、結晶欠陥を検出する。一般に、低倍率検査画像で得られた結晶欠陥の画像は小さく、その形状から結晶欠陥がボイドかパーティクルかを判定することは困難である。しかし、低倍率検査画像で得られた結晶欠陥の位置は、周辺（バックグラウンド）との明暗の差から特定することができる。位置確認ステップでは、画像処理で得られた結晶欠陥の位置を確認し、その位置を記憶する。例えば、検査されるシリコンウェーハの中心をXY座標の原点として、結晶欠陥の位置が座標としてメモリに記憶されてもよい。

30

## 【0020】

次の高倍率検査ステップでは、低倍率の対物レンズが高倍率の対物レンズに切り換えられる。低倍率の対物レンズと高倍率の対物レンズは焦点を変えることなく、機械的移動手段で切り換えられてもよい。高倍率検査ステップでは、メモリに記憶された結晶欠陥の位置にシリコンウェーハが移動される。なお、対物レンズの切り換えとシリコンウェーハの移動は同時に実行されてもよい。高倍率検査ステップでは、結晶欠陥の画像が拡大されるので形状の認識が可能となる。例えば、高倍率検査ステップでは、視野領域を $20\text{mm}$ 程度に拡大した結晶欠陥の高倍率検査画像を取得される。

40

## 【0021】

次の判定ステップでは、高倍率検査画像に基づいて結晶欠陥の形状が求められる。例えば、一般的な2値化処理のみでは、高倍率検査画像は、対物レンズ側に開口したボイドの輪郭は鮮明であり、赤外線の照射側に開口したボイドの輪郭は不鮮明であった。しかし、高倍率検査画像を後述するフィルタリング処理することにより、結晶欠陥の輪郭がいずれも鮮明となり得る。その輪郭の情報から、円形か円形以外の不定形状かで当該結晶欠陥が

50

ポイドかパーティクルかを判定する。円形に近い形状の結晶欠陥はポイドと判定され、円形と異なる不定形状の結晶欠陥はパーティクルと判定される。この判定を自動化するにあたり、高倍率検査画像で得られた結晶欠陥が円形か円形以外の不定形状かを後述する特徴抽出処理を用いて判定してもよい。

【0022】

(1)の発明によるシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法は、結晶欠陥の位置を低倍率検査画像で取得した後に、高倍率検査画像で結晶欠陥の形状を判定しているため、スループットに優れたシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法を提供できる。

【0023】

(2) 前記高倍率検査ステップは、画像処理により前記視野領域のバックグラウンドの輝度ムラを補正する輝度補正ステップと、前記輝度補正で得られた画像を2値化処理する2値化処理ステップと、を含む(1)記載のシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法。

10

【0024】

例えば、シリコンウェーハの表面は化学研磨されており、この表面状態が粗く、通常の透過赤外線画像には、バックグラウンドに画像斑が発生し、微細な結晶欠陥の形状判定が困難である。しかし、高倍率検査ステップで得られた高倍率検査画像をフィルタリング処理して輝度ムラを補正後、輝度補正で得られた画像を2値化処理することにより、微細な結晶欠陥の形状判定が可能となる。例えば、前述のバックグラウンドのフィルタリング処理は、既存の画像処理ソフトウェアで実施できる。

【0025】

(2)の発明によるシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法は、高倍率検査ステップで得られた高倍率検査画像をフィルタリング処理することにより、バックグラウンドの輝度ムラを補正しているため、現状の検出限界値より微細なポイドを検出できる。

20

【0026】

(3) 前記判定ステップは、前記高倍率検査画像に基づいて、前記結晶欠陥の輪郭の長さとなる周囲長及びこの輪郭で囲まれた面積を求め、円形度で特徴抽出される数値が真円の場合、最大値となる面積周囲長比を算出する算出ステップと、この面積周囲長比が一定の閾値以下のときに当該結晶欠陥がパーティクルと判定する閾値判定ステップと、を含む(2)記載のシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法。

【0027】

例えば、真円の半径を「 $r$ 」としたときに、この真円の周囲長 $P$ は、 $P = 2\pi r$ で算出される。又、この真円の面積 $S$ は、 $S = \pi r^2$ で算出される。ここで、 $P^2 = (2\pi r)^2 = 4\pi^2 r^2 = 4\pi \times \pi r^2$ となる。すなわち、 $P^2 = 4\pi S$ となり、 $(4\pi S) / P^2 = 1$ の関係が導き出される。算出ステップでは、円形度 $(4\pi \times \text{面積} / (\text{周囲長})^2) \times 100$ で特徴抽出される数値が真円の場合、最大値「100」となる面積周囲長比を算出し、閾値判定ステップでは、この面積周囲長比が一定の閾値以下のときに当該結晶欠陥がパーティクルと判定する。この面積周囲長比が一定の閾値以上になるときに当該結晶欠陥がポイドと判定してもよい。

30

【0028】

実施の結果では、前記閾値は「63」が相当とし、高倍率検査画像に基づく視野の拡大が20mm程度であって、後述するように焦点深度がシリコンウェーハの厚み以上であることが好ましく、視野領域を20mm程度以上に拡大した視野領域を得ることにより、画像解析による面積周囲長比が更に高精度に算出できると考えられる。

40

【0029】

(4) 前記高倍率の対物レンズは、焦点深度を前記シリコンウェーハの厚さ以上としている(1)から(3)のいずれかに記載のシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法。

【0030】

(4)の発明によるシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法は、高倍率の対物レンズの焦点深度をシリコンウェーハの厚さ以上としているため、ポイドの輪郭がぼやけることなく、対物レンズ側に開口したポイド、赤外線の照射側に開口したポイド、及びシリコンウェ

50

ー八内部のボイドの各輪郭を鮮明に捉えることができる。

【0031】

(5) 前記シリコンウェーハは、電気抵抗率を  $6\text{ m} \cdot \text{cm}$  を下限値として前記結晶欠陥がボイドかパーティクルかを判定可能な(1)から(4)のいずれかに記載のシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法。

【0032】

シリコンウェーハは、電気抵抗率の違いにより赤外線吸収度合いが異なるとされ、すなわち、シリコンウェーハに含まれるドーパント(不純添加物)の赤外線吸収度合いが異なるとされている。発明によるシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法では、検査されるシリコンウェーハは、電気抵抗率を  $6\text{ m} \cdot \text{cm}$  を下限値として結晶欠陥がボイドかパーティクルかを判定可能なことが実証された。電気抵抗率が  $6\text{ m} \cdot \text{cm}$  を超える高抵抗率のシリコンウェーハは、赤外線を透過し易いので結晶欠陥がボイドかパーティクルかを判定可能である。

10

【0033】

(6) 前記シリコンウェーハは張り合わせウェーハを含み、前記結晶欠陥は当該張り合わせウェーハの張り合わせ欠陥を含む(1)から(3)のいずれかに記載のシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法。

【0034】

ここで、ボイドとは、張り合わせウェーハの重ね合わせ面での非接合部となる気泡の意味を含み、シリコンウェーハにおける結晶欠陥となる空隙の意味をも含んでいる。これらの発生の経緯に関らず、ボイドはウェーハに残存する中空部であり、赤外線による画像では共に円形に捉えられる。そして、(1)から(3)のいずれかに記載のシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法を利用することにより、従来の方法より高感度に張り合わせウェーハのボイドを検出することができる。

20

【0035】

(7) シリコンウェーハに赤外線を照射し、このシリコンウェーハを透過した赤外線を撮像して得られる画像から当該シリコンウェーハの結晶欠陥を検査するシリコンウェーハの結晶欠陥検査装置であって、前記シリコンウェーハにおける一定の視野領域を有する低倍率検査画像を取得する低倍率の対物レンズと、前記低倍率検査画像を画像処理して結晶欠陥の位置を確認及び記憶する位置確認手段と、前記記憶された結晶欠陥の位置を一定の視野領域の中に位置させて、当該視野領域の高倍率検査画像を取得する高倍率の対物レンズと、前記高倍率検査画像に基づいて前記結晶欠陥の形状を求め、前記結晶欠陥の形状情報から、円形か円形以外の不定形状かで当該結晶欠陥がボイドかパーティクルかを判定する判定手段と、を備えるシリコンウェーハの結晶欠陥検査装置。

30

【0036】

(7)の発明によるシリコンウェーハの結晶欠陥検査装置において、位置確認手段は、シリコンウェーハを載置するXYステージを含み、XYステージを移動可能に指令制御する制御装置を含む。又、位置確認手段は、シリコンウェーハを透過した赤外線を低倍率の対物レンズを介して撮像するCCDカメラを含み、CCDカメラで撮像された画像信号を処理する画像処理装置を含むことができる。画像処理装置で特定されたシリコンウェーハの結晶欠陥の位置は、制御装置に設けられるメモリに座標として記憶される。

40

【0037】

(7)の発明によるシリコンウェーハの結晶欠陥検査装置において、判定手段は、CCDカメラで撮像された画像信号をデジタル信号に変換し、フィルタリング処理や2値化処理を実行する前処理部と、高倍率検査画像に基づいて結晶欠陥の形状が抽出される特徴抽出部と、前記抽出結果が設定された基準を基に判定される判断・出力部と、を含む。これら前処理部と、特徴抽出部及び判断・出力部は画像処理装置に設けることができる。又、判定手段は、これら一連の処理を実行する画像処理プログラムを含み、バックグラウンドのフィルタリング処理する画像処理ソフトウェアを含んでよい。

【発明の効果】

50

## 【0038】

本発明によるシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法は、結晶欠陥の位置を低倍率検査画像で取得した後に、高倍率検査画像で結晶欠陥の形状を判定しているため、スループットに優れたシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法を提供できる。又、本発明によるシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法は、高倍率検査ステップで得られた高倍率検査画像をフィルタリング処理しているため、現状の検出限界値より微細なボイドを検出できる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0039】

以下、図面を参照して本発明を実施するための最良の形態を説明する。

## 【0040】

図1は、本発明によるシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法における一実施形態の手順を示すメインフローチャートである。図2は、前記実施形態による高倍率検査ステップにおける手順を示すフローチャートである。図3は、前記実施形態による判定ステップの手順を示すフローチャートである。

10

## 【0041】

図4は、検査されるシリコンウェーハの断面図である。図5は、本発明によるシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法を実施するための装置の一例を示す構成図である。図6は、CCDカメラで取得される検査画像の一例を示した図である。図6(A)は低倍率検査画像で取得される結晶欠陥の画像を示し、図6(B)は高倍率検査画像で取得されるボイドの画像を示し、図6(C)は高倍率検査画像で取得されるパーティクルの画像を示している。図7は、高倍率検査画像で取得されるシリコンウェーハの透過赤外線における位置と輝度の関係を示すグラフである。図7の縦軸は輝度を示し、横軸は原点からの距離をピクセル(pixel)数で示している。

20

## 【0042】

図8は、複数の低抵抗率を有するシリコンウェーハの透過赤外線における位置と輝度の関係を示すグラフである。図8の縦軸は輝度を示し、横軸は原点からの距離をピクセル数で示している。図9は、複数の通常抵抗率を有するシリコンウェーハの透過赤外線における位置と輝度の関係を示すグラフである。図9の縦軸は輝度を示し、横軸は原点からの距離をピクセル数で示している。図10は、異なる抵抗率を有するシリコンウェーハの透過赤外線における位置と輝度の関係を示すグラフである。図10の縦軸は輝度を示し、横軸は原点からの距離をピクセル数で示している。

30

## 【0043】

最初に、本発明によるシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法を実施するための装置の構成を説明する。図4において、検査されるシリコンウェーハWは、例えば、直径が200mmの円板状に形成されている。シリコンウェーハWは、結晶成長に伴って形成される球形のボイドVが発生することがある。インゴットをスライスしたシリコンウェーハWには、シリコンウェーハW内にボイドVが存在したり、シリコンウェーハWのオモテ面W1にボイドVが開口するように出現したり、シリコンウェーハWのウラ面W2にボイドVが開口するように出現したりする。図4において、シリコンウェーハWのオモテ面W1とウラ面W2は、相対的な区別であり、説明の便宜上、符号を付して区別したにすぎない。

40

## 【0044】

一方、図4において、シリコンウェーハWのオモテ面W1又はウラ面W2には、不定形状のパーティクルPaが付着している場合もある。一般に、ボイドVが一つでも検出されたシリコンウェーハWは、結晶欠陥品として破棄されるが、パーティクルPaが付着したシリコンウェーハWは、洗浄で除去できるので、このシリコンウェーハWを良品として次工程に送ることも可能になる。したがって、ボイドVとパーティクルPaは明確に識別されてシリコンウェーハWが検査される必要がある。なお、以下の説明において、検査される結晶欠陥とは、ボイドVとパーティクルPaが識別される前段の異常部位を指し示している。

## 【0045】

50

図5において、シリコンウェーハWは、XYステージ11に載置される。XYステージ11は制御装置17の指令により、架台12上をXY方向にそれぞれ独立して移動することが可能である。XYステージ11を移動させることにより、シリコンウェーハWの全測定領域が捕捉される。光源13は、XYステージ11上のシリコンウェーハWに赤外線を照射する。光源13には、例えば、キセノンランプが用いられ、キセノンランプの照明は、導光板（図示せず）でシリコンウェーハWに均一強度の光が照射されることが好ましい。

**【0046】**

図5において、シリコンウェーハWを透過した赤外線は、低倍率の対物レンズ14a又は高倍率の対物レンズ14bを介して、赤外線カメラ15で撮像される。低倍率の対物レンズ14aと高倍率の対物レンズ14bは焦点を変えることなく、機械的移動手段で切り換えられる。対物レンズ14aと対物レンズ14bは制御装置17の指令により、切り換えられる。赤外線カメラ15としては、赤外線デジタルCCDカメラが好適に用いられる。実施の形態では、赤外線CCDカメラ15は、1100nmまでの波長の光が撮像可能であり、1000nm～1100nmの波長範囲の透過赤外線が赤外線CCDカメラ15で撮像される。

10

**【0047】**

図5において、CCDカメラ15で撮像された画像信号は、画像処理装置16に送出される。CCDカメラ15で撮像された画像信号は、前処理部16aでデジタル信号に変換され、例えば、フィルタリング処理や2値化処理が実行された後に、この画像データが特徴抽出部16bに送信される。特徴抽出部16bでは、後述するように高倍率検査画像に基づいて結晶欠陥の形状が抽出される。そして、判断・出力部16cでは、前記抽出結果が設定された基準を基に判定され、判定結果を制御装置17に出力する。

20

**【0048】**

図5において、画像処理装置16は、一連の処理を実行する画像処理プログラムを含んでよく、後述するバックグラウンドのフィルタリング処理する画像処理ソフトウェアを含んでよい。画像処理装置16は、画像処理プログラム及び画像処理ソフトウェアを格納するメモリなどを含めて構成することもできる。又、制御装置17は、結晶欠陥の位置が座標として記憶されるメモリ（図示せず）が設けられてもよい。モニタ装置18は、画像処理された結果や検査結果を表示することができる。

30

**【0049】**

次に、本発明によるシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法の手順を説明する。図1において、最初に、ステップS1では、低倍率の対物レンズ14aを用いて、赤外線CCDカメラ15によりシリコンウェーハWにおける一定の視野領域の画像が取得される。図6(A)は、低倍率の対物レンズ14aを用いて得られた低倍率検査画像を示している。低倍率検査画像の視野領域X×Yは任意に設定することが可能であるが、視野領域は50mm程度が好ましく、XYステージ11を移動させることにより、シリコンウェーハWの全測定領域が捕捉される。ここで、ステップS1を低倍率検査ステップS1と称することとする。

**【0050】**

次に、ステップS2では、低倍率検査画像を画像処理して低倍率検査画像の中における結晶欠陥の有無が確認される。ステップS2において、低倍率検査画像の中に結晶欠陥が検出されないときは、低倍率検査ステップS1の前段に戻る。すなわち、XYステージ11を移動させることにより、次の低倍率検査画像が取得される。シリコンウェーハWの全測定領域における低倍率検査画像の中に結晶欠陥が検出されないときは、検査を終了し、このシリコンウェーハWは良品として次の工程に移送される。なお、図1において、全ての低倍率検査画像の取得が終了した後の手順は、図示を省略している。ステップS2において、低倍率検査画像の中に結晶欠陥が検出されたときは、ステップS3に進む。

40

**【0051】**

次に、ステップS3では、低倍率検査画像を画像処理して結晶欠陥の位置を確認し、そ

50

の位置が記憶される。例えば、図6(A)に示されるように、低倍率検査画像で得られた結晶欠陥D1・D2の画像は小さく、その形状から結晶欠陥D1・D2がボイドかパーティクルかを判定することは困難である。しかし、低倍率検査画像で得られた結晶欠陥D1・D2の位置は、低倍率検査画像内における周辺との明暗の差から特定することができる。そして、その位置がXYステージ11の座標として、制御装置17内のメモリに記憶される。ここで、ステップS3を位置確認ステップS3と称することとする。次に、ステップS4に進む。

#### 【0052】

次のステップS4では、高倍率の対物レンズ14bを用いて、記憶された結晶欠陥の位置を一定の視野領域の中に位置させて対物距離を変えて、この視野領域の高倍率検査画像が取得される。ステップS4では、低倍率の対物レンズ14aが高倍率の対物レンズ14bに切り換えられる(図5参照)。ここで、低倍率の対物レンズ14aと高倍率の対物レンズ14bは焦点を変えることなく、制御装置17の指令により、機械的移動手段で切り換えられる。ステップS4では、制御装置17内のメモリに記憶された結晶欠陥の位置にシリコンウェーハWが移動される。なお、低倍率の対物レンズ14aと高倍率の対物レンズ14bの切り換えと、シリコンウェーハWの移動は同時に実行されてもよい。

10

#### 【0053】

ステップS4では、結晶欠陥の画像が拡大されるので形状の認識が可能となる。例えば、図6(B)及び図6(C)は、高倍率の対物レンズ14bを用いて得られた高倍率検査画像を示している。高倍率検査画像の視野領域 $x \times y$ は任意に設定することが可能であるが、視野領域は20mm程度が好ましく、XYステージ11を移動させることにより、低倍率検査画像における視野領域 $X \times Y$ が捕捉される。ここで、ステップS4を高倍率検査ステップS4と称することとする。次に、ステップS5に進む。

20

#### 【0054】

次のステップS5では、高倍率検査画像に基づいて結晶欠陥の形状が求められる。例えば、一般的な2値化処理のみでは、高倍率検査画像は、対物レンズ側に開口したボイドV(図4参照)の輪郭は鮮明であり、赤外線照射側に開口したボイドV(図4参照)の輪郭は不鮮明であった。しかし、高倍率検査画像を適宜なフィルタリング処理することにより、結晶欠陥の輪郭がいずれも鮮明となり得る。その輪郭の情報から、円形か円形以外の不定形状かで当該結晶欠陥がボイドかパーティクルかが判定される。図6(B)に示されるように、円形に近い形状の結晶欠陥D1はボイドと判定される。一方、図6(C)に示されるように、円形と異なる不定形状の結晶欠陥D2はパーティクルと判定される。ここで、ステップS5を判定ステップS5と称することとする。判定ステップS5を自動化するにあたり、高倍率検査画像で得られた結晶欠陥が、円形か円形以外の不定形状かを後述する算出式を用いて判定することができる。そして、次に、ステップS6に進む。

30

#### 【0055】

次のステップS6では、高倍率検査画像の中におけるボイドの有無が確認される。高倍率検査画像の中にボイドが検出されないときは、高倍率検査ステップS4の前段に戻る。すなわち、XYステージ11を移動させることにより、次の高倍率検査画像が取得される。シリコンウェーハWにおける全ての高倍率検査画像の中にボイドが検出されないときは、検査を終了し、このシリコンウェーハWは、例えば、洗浄されて良品として次の工程に移送される。なお、図1から図3において、全ての高倍率検査画像の取得が終了した後の手順は、図示を省略している。ステップS6において、高倍率検査画像の中にボイドが検出されたときは、一連の検査を終了し、このシリコンウェーハWは不良品として、例えば、廃棄される。

40

#### 【0056】

このように、本発明によるシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法は、結晶欠陥の位置を低倍率検査画像で取得した後に、高倍率検査画像で結晶欠陥の形状を判定しているため、スループットに優れたシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法を提供できる。

#### 【0057】

50

次に、高倍率検査ステップS4の詳細を説明する。図2において、位置確認ステップS3に続くステップS41では、高倍率の対物レンズ14bを用いて、高倍率検査画像が取得される。次に、ステップS42では、バックグラウンドの輝度ムラが前処理部16a(図5参照)で補正される。ここで、ステップS42を輝度補正ステップS42と称することとする。次に、ステップS43では、バックグラウンドの輝度ムラが補正された高倍率検査画像が前処理部16a(図5参照)で2値化処理される。ここで、ステップS43を2値化処理ステップS43と称することとする。2値化処理ステップS43に続く判定ステップS5では、2値化処理された高倍率検査画像から結晶欠陥の形状が判定される。

#### 【0058】

例えば、シリコンウェーハWの表面状態は粗く、通常の透過赤外線画像には、バックグラウンドに画像班が発生し、微細な結晶欠陥の形状判定が困難である。しかし、高倍率検査ステップS4で得られた高倍率検査画像をフィルタリング処理して輝度ムラを補正後、輝度補正で得られた画像を2値化処理することにより、微細な結晶欠陥の形状判定が可能となることが実証できた。例えば、既存の画像処理ソフトウェアを使用することができ、これを画像処理装置16(図5参照)に組み込むことにより、この画像処理ソフトウェアにより、バックグラウンドの輝度ムラの補正が可能となった。

#### 【0059】

図7は、バックグラウンドの輝度ムラを補正後の高倍率検査画像において、ボイドとパーティクルの各断面の輝度プロファイル(輪郭)を示した一例である。図7において、折れ線Svはボイドを有するシリコンウェーハの輝度プロファイルを示し、折れ線Spはパーティクルを有するシリコンウェーハの輝度プロファイルを示している。図7に示されるように、ボイドとパーティクルの各輝度プロファイルは周辺と比べ、輝度が著しく低下し、輪郭を検出することは可能である。しかし、折れ線Svと折れ線Spは略似ており、ボイドとパーティクルの各輝度プロファイルから形状を区別することは困難であり、後述するような計算式や閾値を利用して形状を区別することが好ましい。なお、折れ線Svは、ボイドの中央部で輝度が大きくなる現象が観察されるが、パーティクルの折れ線Spではこのような現象は観察されなかった。このような現象の違いからボイドとパーティクルを区別することも可能と考えられる。

#### 【0060】

このように、発明によるシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法は、高倍率検査ステップで得られた高倍率検査画像をフィルタリング処理することにより、バックグラウンドの輝度ムラを補正しているため、現状の検出限界値より微細なボイドを検出できる。

#### 【0061】

次に、判定ステップS5の詳細を説明する。図3において、高倍率検査ステップS4に続くステップS51では、高倍率検査画像に基づいて、結晶欠陥の輪郭の長さとなる周囲長及びこの輪郭で囲まれた面積を求め、 $(4 \times \text{面積} / (\text{周囲長})^2) \times 100$ の円形で算出される数値が真円の場合、最大値「100」となる面積周囲長比が算出される。ここで、ステップS51を算出ステップS51と称することとする。

#### 【0062】

次に、ステップS52では、この面積周囲長比が一定の閾値以下のときに結晶欠陥がパーティクルと判定する。この面積周囲長比が一定の閾値以上のときに結晶欠陥がボイドと判定してもよい。実施の結果では、この閾値は「63」が相当としたが、適宜に設定することも可能である。ここで、ステップS52を閾値判定ステップS52と称することとし、閾値判定ステップS52の結果がステップS6に送られる。このような、面積周囲長比を算出して、予め定めた閾値と比較することにより、ボイドの検査を自動化できる。

#### 【0063】

次に、赤外線を用いた半導体内部試験装置や画像処理ソフトウェアを用いて、本発明による方法で可能なボイドのサイズ、位置、シリコンウェーハの抵抗率の影響、及びパーティクルとの識別可能限界を調査した結果を説明する。

#### 【0064】

10

20

30

40

50

赤外線を用いた半導体内部試験装置としては、既存の半導体内部試験装置を使用した。この半導体内部試験装置を用いて、キセノンランプの照明を手動ステージ上のシリコンウェーハに照射し、シリコンウェーハを透過した赤外線をカメラで撮像し、シリコンウェーハのオモテ面に開口したボイド、シリコンウェーハのウラ面に開口したボイド、又はシリコンウェーハの内部に発生したボイドを観察した（図4参照）。前記カメラには、既存の赤外デジタルCCDカメラを用いた。前記CCDカメラは、1000nm～1100nmの波長範囲の透過赤外線が検出可能であり、S/N比が高いため感度が高いという特徴がある。S/N比が高い前記CCDカメラは、特許文献1及び2の発明がなされた当時の性能には存在しないものであり、この赤外デジタルCCDカメラによるS/N比の向上とデジタル信号化が、その後の画像処理の性能を十分に発揮させる要因となったと考えられる。

10

## 【0065】

画像処理ソフトウェアとしては、既存の画像処理ソフトウェアを用いることができる。この画像処理ソフトウェアは、以下の手順でシリコンウェーハの欠陥などの特徴量を抽出でき、平面物のシミ・ムラなどの欠陥検査にも活用可能なソフトウェアである。又、前述のバックグラウンドのフィルタリング処理は、前処理で実施しており、検査エリアを抽出後、シェーディング補正、コントラスト強調、繰り返しパターン除去などの処理で、輝度ムラを補正するものであり、このような処理を行うものであれば、いかなる既存品も使用することができる。今回は、その中の適当なものを選んで実施した。

## 【0066】

前記画像処理ソフトウェアによる画像処理の手順は以下のとおりである。

20

## 【0067】

(1) 前処理：検査エリア抽出、シェーディング補正、コントラスト強調、繰り返しパターン除去など

(2) 欠陥検査処理：フィルタ（平均、最大、最小など全20種）、特徴量抽出フィルタ、2値化、2値画像処理、特徴量計算（欠陥座標、面積、濃度、周囲長など）

(3) 結果データ処理：座標変換、OK/NG判定（個数、面積、距離）、データ出力（画面、ファイル）

## 【0068】

次に、調査されたシリコンウェーハ（サンプル）の特性を表2に示す。表2において、ボイド直径は開口直径であり、光学顕微鏡での測定値である。又、以下、サンプル1～4を低抵抗率のシリコンウェーハと称し、サンプル5～8を通常抵抗率のシリコンウェーハと称することがある。

30

## 【0069】

## 【表2】

サンプルNo	表面状態	ボイド直径 ( $\mu\text{m}$ )	抵抗率 (中央値)
1	鏡面	94	8.8 m $\Omega$ · cm
2	鏡面	94	7.6 m $\Omega$ · cm
3	化学研磨	89	14.6 m $\Omega$ · cm
4	化学研磨	253	8.8 m $\Omega$ · cm
5	鏡面	61	19.5 $\Omega$ · cm
6	鏡面	37	3.6 $\Omega$ · cm
7	鏡面	67	19.5 $\Omega$ · cm
8	鏡面	84	19.5 $\Omega$ · cm

40

## 【0070】

サンプル1のボイドの開口をオモテ側（CCDカメラ側）にして、サンプル1を検査装

50

置のステージに置き、52 mm の視野領域で透過赤外光を捉えた画像は、ボイドが透過赤外光を遮るため、周辺部分に比べて輝度が低く、暗い画像として観察された。しかし、オモテ側のパーティクルも同様に透過赤外光を遮り、暗い画像として観察された。ボイドとパーティクルの画像をそのまま拡大させて形状を見ても違いはないので、このままでは、ボイドとパーティクルを区別することはできない。

**【0071】**

そこで、52 mm の視野領域の低倍率検査画像を21 mm の視野領域の高倍率検査画像にして、透過赤外光を捉えた画像を観察してみると、ボイドとパーティクルの各画像は共に暗いが、ボイドの画像はほぼ円形の内部に明るい点が観察されたのに対し、パーティクルは、暗い不定形の画像として観察された。したがって、高倍率検査画像での形状の区別は可能と推測される。

10

**【0072】**

低抵抗率のシリコンウェーハ(サンプル1~4)のボイドの開口をオモテ側にして、21 mm の視野領域の高倍率検査画像を観察して見ると、ボイドとパーティクルの形状の区別は可能と思われるが、21 mm の視野領域以上の視野領域では、ボイドとパーティクルの形状の区別は困難であった。この結果は、鏡面のサンプル1・2と化学研磨面のサンプル3・4と同じであったので、透過赤外光によるボイドの検出は、シリコンウェーハ表面の状態に依らないと考えられる。又、低抵抗率のシリコンウェーハ(サンプル1~4)のボイドの開口をウラ側にして観察しても、前記と同様の結果が示された。

**【0073】**

次に、サンプル1のボイドの開口をウラ側(照射側)にして、サンプル1を検査装置のステージに置き、52 mm の視野領域で透過赤外光を捉えた画像は、サンプル1のウラ面におけるボイドとパーティクルの各画像は共に暗い画像として観察されたが、各画像の形状は区別できないと判断した。

20

**【0074】**

更に、サンプル1における52 mm の視野領域の低倍率検査画像を21 mm の視野領域の高倍率検査画像にして、透過赤外光を捉えた画像を観察してみると、オモテ面におけるボイドとパーティクルの各形状はその輪郭を鮮明に捉えることができたが、ウラ面におけるボイドとパーティクルの各形状は、その輪郭が不鮮明で捉えることができなかった。したがって、ボイドとパーティクルの形状の区別には、画像処理の工夫が必要と考えられる。

30

**【0075】**

通常抵抗率のシリコンウェーハ(サンプル5~8)のボイドの開口をオモテ側にして、透過赤外光を捉えた画像を観察してみると、ボイド直径が61  $\mu\text{m}$ のサンプル5は、52 mm の視野領域の低倍率検査画像でボイドの位置が確認でき、21 mm の視野領域の高倍率検査画像でボイドの形状が円形であることが確認できた。しかし、ボイド直径が37  $\mu\text{m}$ のサンプル6は、52 mm の視野領域でボイドの位置が確認できなかった。ボイド直径が67  $\mu\text{m}$ ・84  $\mu\text{m}$ の各サンプル7・8は、そのボイドの大きさの割には、形状が不明瞭であり、パーティクルとの区別は困難であると考えられる。

**【0076】**

更に、通常抵抗率のシリコンウェーハ(サンプル5~8)のボイドの開口をウラ側にして、透過赤外光を捉えた画像を観察してみると、ボイド直径が61  $\mu\text{m}$ のサンプル5は、52 mm の視野領域でボイドの位置が確認でき、21 mm の視野領域では、ボイドの輪郭は必ずしも鮮明ではなかったが、円形の形状は確認可能と思われた。しかし、ボイド直径が37  $\mu\text{m}$ のサンプル6は、52 mm の視野領域でボイドの位置が確認できなかった。

40

**【0077】**

以上の観察画像の内、21 mm の視野領域の高倍率検査画像で観察したボイドとパーティクルの画像から、その各断面の輝度プロファイルを取り出したグラフを図8から図10に示す。図8(A)は、低抵抗率のシリコンウェーハ(サンプル1~4)のボイドの開

50

口をオモテ側にして、各ボイドの輝度プロファイルが描かれている。図 8 ( B ) は、低抵抗率のシリコンウェーハ ( サンプル 1 ~ 4 ) のボイドの開口をウラ側にして、各ボイドの輝度プロファイルが描かれている。図 8 に示された折れ線 S m 1 ~ 4 はサンプル 1 ~ 4 に開口した各ボイドに対応している。

【 0 0 7 8 】

図 9 ( A ) は、通常抵抗率のシリコンウェーハ ( サンプル 5 ・ 6 ・ 8 ) のボイドの開口をオモテ側にして、各ボイドの輝度プロファイルが描かれている。図 9 ( B ) は、通常抵抗率のシリコンウェーハ ( サンプル 5 ・ 6 ・ 8 ) のボイドの開口をウラ側にして、各ボイドの輝度プロファイルが描かれている。図 9 に示された折れ線 S m 5 ・ 6 ・ 8 はサンプル 5 ・ 6 ・ 8 に開口した各ボイドに対応している。

10

【 0 0 7 9 】

画像の観察に用いられた半導体試験装置は、捉えた輝度の違いを白黒の濃淡に変換する際に、表示レンジの範囲を自動補正しているため、画像にはシリコンウェーハの抵抗率の違いによる輝度の違いは見られない。しかし、シリコンウェーハの抵抗率が低くなるとともに、透過赤外光の強度が弱くなり、ボイドとその周辺のコントラストが小さくなることから観察された ( 図 8 及び図 9 参照 )

【 0 0 8 0 】

図 1 0 ( A ) は、パーティクルをオモテ側にして、サンプル 1 ・ 5 の各パーティクルの輝度プロファイルが描かれている。図 1 0 ( B ) は、パーティクルをウラ側にして、サンプル 1 ・ 5 の各パーティクルの輝度プロファイルが描かれている。図 1 0 に示された折れ線 S m 1 ・ 5 はサンプル 1 ・ 5 に付着したパーティクルに対応している。図 8 から図 1 0 に示されるように、パーティクルの輝度プロファイルはボイドの輝度プロファイルと似ており、輝度プロファイルを利用して、ボイドとパーティクルを区別することは困難と考えられる。一部のサンプルは、ボイドの輝度プロファイルは中央部で輝度が大きくなる現象が見られたが、全てのサンプルにおいて、ボイドの輝度プロファイルにこの現象が発生するものではなかった。

20

【 0 0 8 1 】

以上の観察結果を踏まえ、ボイド検出の実現性を検討した結果、以下の検出手順が妥当とされた。

【 0 0 8 2 】

最初に、低倍率のレンズ ( 焦点固定 ) を用いて、結晶欠陥 ( ボイド又はパーティクル ) の位置 ( 座標 ) を確認する。次に、高倍率のレンズ ( 焦点固定 ) を用いて、結晶欠陥の拡大画像を捉え、その形状からボイドかパーティクルかを判定する。そして、ボイドが検出された時点で、そのシリコンウェーハは不良品とし、ボイドが検出されなかったシリコンウェーハは良品とする。

30

【 0 0 8 3 】

しかし、結晶欠陥の形状を区別する際の妨げとなる要因として、バックライトの平行性が不十分なため、オモテ面側に開口したボイドの輪郭は、鮮明な画像が得られるが、ウラ面側に開口したボイドの輪郭は、不鮮明な画像となることが挙げられる。更に、シリコンウェーハの抵抗率の違いによる赤外線透過率の違いや、部位によりバックライト強度の違いが画像のバックグラウンドの輝度ムラを発生させることも挙げられる。これらの対策としては、第 1 に 1 0 ピクセル以上の画素数を確保することが挙げられる。1 0 ピクセル以上の画素数を確保できれば、多少不鮮明な映像でも、画像処理により形状判定が可能であるため、2 1 m m 以上の視野領域の高倍率検査画像が得られる。次に、画像処理により輝度ムラの補正を行うことが挙げられる。そして、画像解析の検討が必要である。

40

【 0 0 8 4 】

例えば、サンプル 1 は、低抵抗率のシリコンウェーハであり、赤外光を透過し難いため、ボイドを検出した際の輝度のコントラストが小さい ( 図 8 参照 ) 。したがって、このサンプル 1 にボイドとよく似たパーティクルが付着していれば、画像解析でボイドを抽出することが難しい画像と考えられる。ここで、サンプル 1 にボイドとパーティクルが有る場

50

合について、前述の画像処理ソフトウェアを用いて、ボイドのみを抽出可能かを試行した。以下、その結果を説明する。

【0085】

サンプル1のオモテ面側に開口したボイドを撮像した画像に対して、バックグラウンドの輝度補正の有無とその後の2値化処理への影響を調べた。バックグラウンドの輝度を補正しなかった場合は、バックグラウンドの輝度ムラが原因で2値化処理しても、ボイドとパーティクルの各位置を特定できなかった。一方、バックグラウンドの輝度を補正した場合は、2値化処理後に、ボイドとパーティクルの各位置を特定できた。ただし、ボイドとパーティクルの各像は、コントラストを反転させて、明るい点として表示させた。

【0086】

サンプル1のボイドの開口をオモテ側にして、サンプル1を検査装置のステージに置き、52mmの視野領域で透過赤外光を捉えた画像を画像解析した結果、ボイドの面積周囲長比は「68.72」であったのに対し、パーティクルの面積周囲長比は「52.97」と「76.93」の2つが検出された。面積周囲長比は真円で100になり、低倍率検査画像の画像解析による面積周囲長比の測定では、ボイドのみを抽出することは困難である。

10

【0087】

サンプル1のボイドの開口をオモテ側にして、サンプル1を検査装置のステージに置き、21mmの視野領域で透過赤外光を捉えた画像を画像解析した結果、ボイドの面積周囲長比は「63.02」であったのに対し、パーティクルの面積周囲長比は「54.82」と「76.93」であった。この結果から、高倍率検査画像の画像解析による面積周囲長比の測定で、オモテ側に開口したボイドの抽出が可能と考えられる。

20

【0088】

更に、サンプル1のオモテ側に付着したパーティクルの面積周囲長比は、52mmの視野領域で「76.93」と算出され、21mmの視野領域で「54.82」と算出され、倍率を変えることによって面積周囲長比が異なっている。しかし、サンプル1のオモテ側に開口したボイドの面積周囲長比は、52mmの視野領域で「68.72」と算出され、21mmの視野領域で「63.02」と算出され、比較的変動の少ない安定した数値が算出された。そのため、倍率を変えても、オモテ側に開口したボイドの抽出が可能と考えられる。

30

【0089】

次に、サンプル1のボイドの開口をウラ側にして、サンプル1を検査装置のステージに置き、52mmの視野領域で透過赤外光を捉えた画像を画像解析した結果、ボイドの面積周囲長比は「64.11」であったのに対し、ウラ側に付着したパーティクルの面積周囲長比は「74.54」であった。面積周囲長比はボイドとパーティクルで実態と反転しており、低倍率検査画像の画像解析による面積周囲長比の測定では、ウラ側の開口したボイドのみを抽出することは困難である。

【0090】

サンプル1のボイドの開口をウラ側にして、サンプル1を検査装置のステージに置き、21mmの視野領域で透過赤外光を捉えた画像を画像解析した結果、ボイドの面積周囲長比は「63.81」であったのに対し、パーティクルの面積周囲長比は「60.87」であった。この結果から、高倍率検査画像の画像解析による面積周囲長比の測定で、ウラ側に開口したボイドの抽出が可能と考えられる。

40

【0091】

以上の画像解析結果から、ボイドの抽出は以下の画像処理手順が適切と考えられる。

【0092】

高倍率のレンズ（焦点固定）を用いて、結晶欠陥の拡大画像を捉え、この拡大画像のバックグラウンドの輝度ムラを補正する。次に、この補正された画像を2値化処理する。次に、2値化処理後の画像から結晶欠陥の周囲長（輪郭の長さ）と面積を求め、結晶欠陥の面積周囲長比を算出する。そして、この算出値が予め定めた閾値（例えば、63とする）

50

以上の場合にボイドと判定する。

【0093】

以上の透過赤外光による観察結果と、画像解析結果を踏まえて、次の仕様によるボイド自動検査装置が実現できる。なお、サンプル1～8の抵抗率の下限値は、 $6 \text{ m} \cdot \text{cm}$ であり、全てのサンプルで結晶欠陥がボイドかパーティクルかを判定可能なことが実証された。電気抵抗率が $6 \text{ m} \cdot \text{cm}$ を超える高抵抗率のシリコンウェーハは、赤外線透過し易いので結晶欠陥がボイドかパーティクルかを判定可能であった。

ボイドのサイズ：直径 $80 \mu\text{m}$ 以上

ボイドの位置：表面（オモテ面及びウラ面）及び内部

シリコンウェーハの規格：化学研磨状態で検出可、

抵抗率は通常抵抗率（数 $\cdot \text{cm}$ ）及び

低抵抗率（数 $\cdot \text{cm}$ ）を対象

スループット：1min/枚以下

【0094】

以上のとおり、赤外線を用いてシリコンウェーハの結晶欠陥を検査する方法について説明したが、本発明によるシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法を実施するための装置を応用すれば、シリコンウェーハに発生するボイドの分布を測定することも可能であり、ボイドの分布を解析することにより、前工程での歩留りを改善することもできる。

【図面の簡単な説明】

【0095】

【図1】本発明によるシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法における一実施形態の手順を示すメインフローチャートである。

【図2】前記実施形態による高倍率検査ステップにおける手順を示すフローチャートである。

【図3】前記実施形態による判定ステップの手順を示すフローチャートである。

【図4】検査されるシリコンウェーハの断面図である。

【図5】本発明によるシリコンウェーハの結晶欠陥検査方法を実施するための装置の一例を示す構成図である。

【図6】CCDカメラで取得される検査画像の一例を示した図である。

【図7】高倍率検査画像で取得されるシリコンウェーハの透過赤外線における位置と輝度の関係を示すグラフである。

【図8】複数の低抵抗率を有するシリコンウェーハの透過赤外線における位置と輝度の関係を示すグラフである。

【図9】複数の通常抵抗率を有するシリコンウェーハの透過赤外線における位置と輝度の関係を示すグラフである。

【図10】異なる抵抗率を有するシリコンウェーハの透過赤外線における位置と輝度の関係を示すグラフである。

【符号の説明】

【0096】

14a 低倍率の対物レンズ

14b 高倍率の対物レンズ

S1 低倍率検査ステップ

S3 位置確認ステップ

S4 高倍率検査ステップ

S5 判定ステップ

Pa パーティクル

V ボイド

W シリコンウェーハ

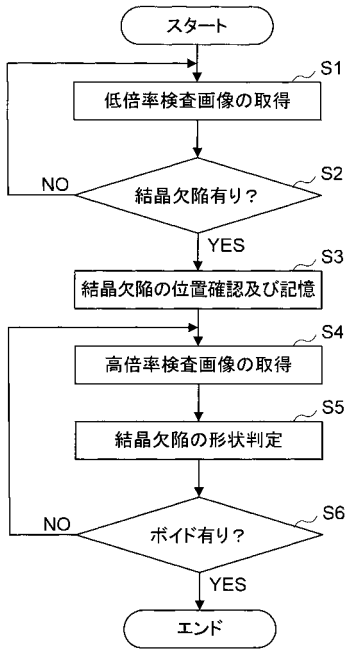
10

20

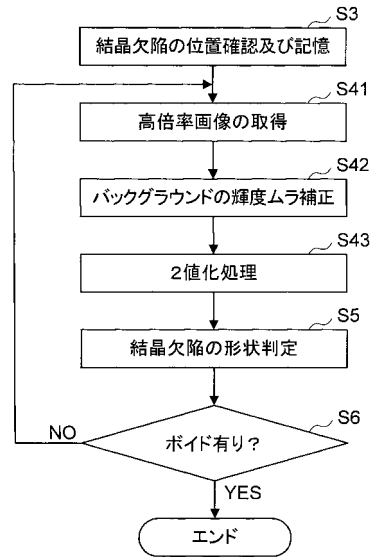
30

40

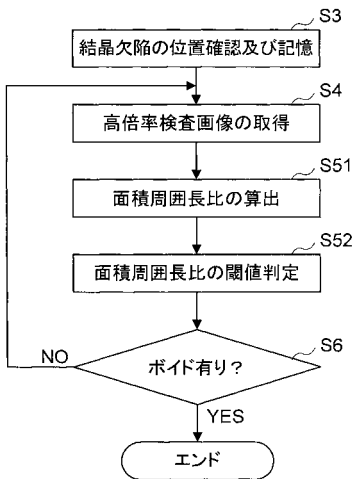
【 図 1 】



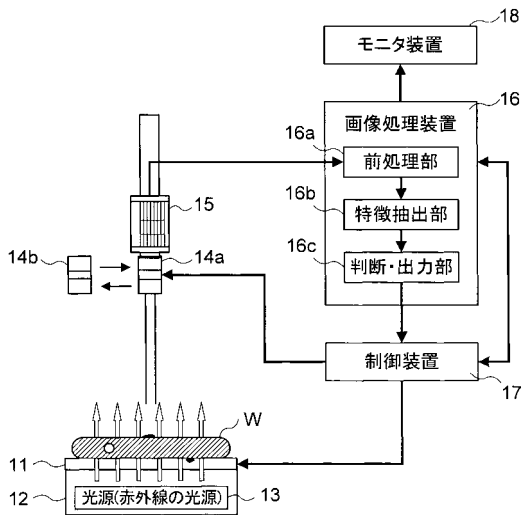
【 図 2 】



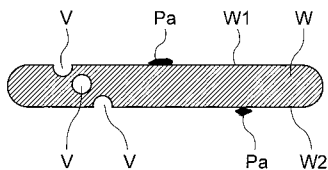
【 図 3 】



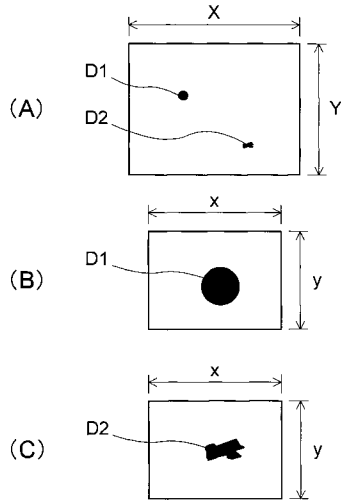
【 図 5 】



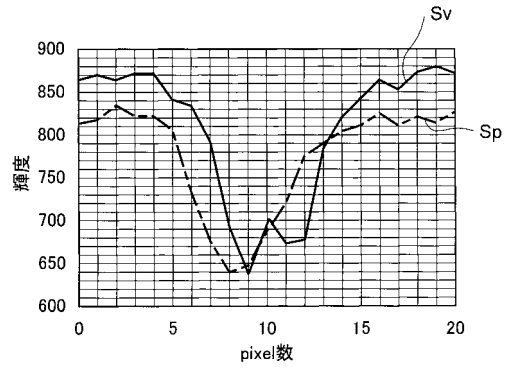
【 図 4 】



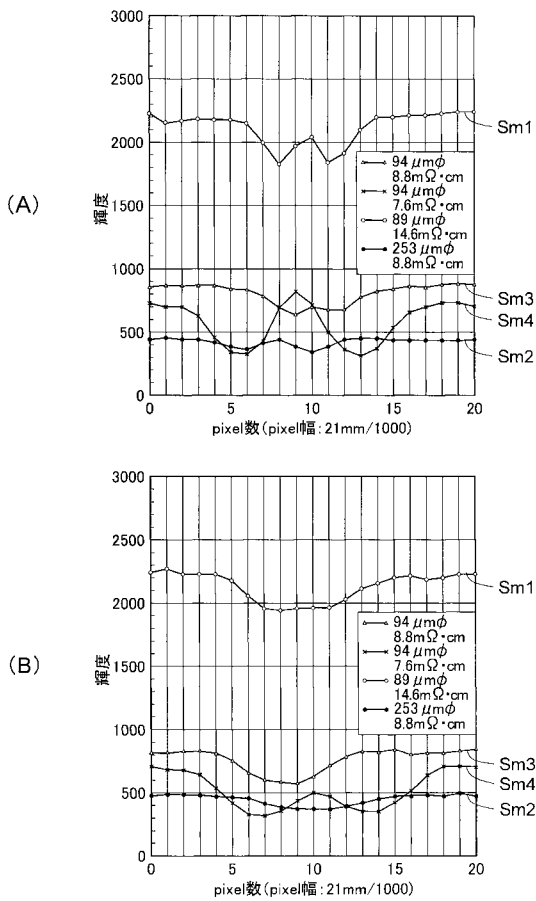
【 図 6 】



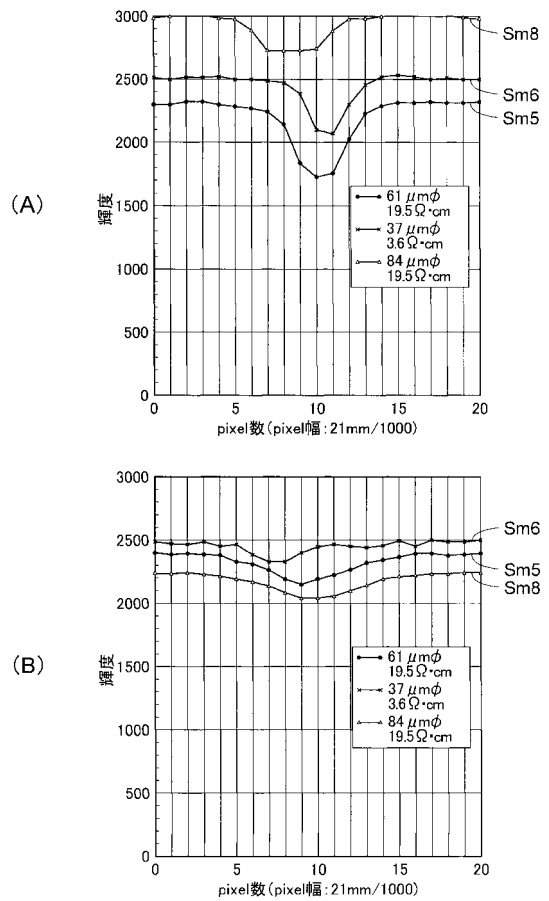
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 1 0 】

