

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号
特開2022-108564
(P2022-108564A)

(43)公開日 令和4年7月26日(2022.7.26)

(51)国際特許分類

F I

テーマコード (参考)

H 0 1 L 21/66 (2006.01) H 0 1 L 21/66 N 2 G 0 5 1

G 0 1 N 21/956 (2006.01) G 0 1 N 21/956 A 4 M 1 0 6

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全18頁)

(21)出願番号	特願2021-3631(P2021-3631)	(71)出願人	000004260
(22)出願日	令和3年1月13日(2021.1.13)		株式会社デンソー
			愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
		(74)代理人	110001128弁理士法人ゆうあい特許事務所
		(72)発明者	上原 準市
			愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
		(72)発明者	江口 浩次
			愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
		F ターム (参考)	2G051 AA51 AB02 BB03 CA04 CB01 EA16 EB01 4M106 AA01 BA04 BA20 CB19 DH12 DH31 DH38 DH39
			最終頁に続く

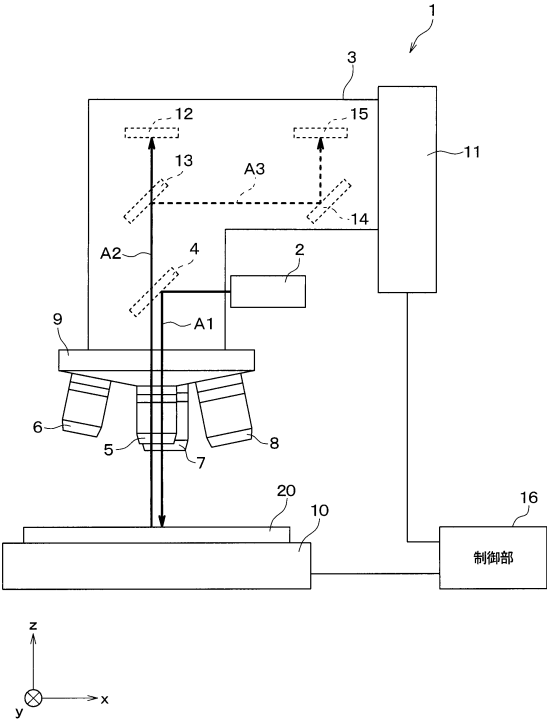
(54)【発明の名称】 半導体基板の検査装置および検査方法

(57)【要約】

【課題】基板の状態を良好に把握することができる半導体基板の検査装置および半導体基板の検査方法を提供する。

【解決手段】半導体基板の検査装置であって、光を発生させて検査対象である基板に照射する光源2と、基板に照射されて反射した光を捕捉するレンズ5、6と、レンズ5、6によって捕捉された光を検出する検出部12と、光源2が発生させた光の強度、および、検出部12によって検出された光の強度に基づいて、基板の光の反射率を算出し、該算出した反射率に基づいて基板の異常判定を行う判定部16と、を備える。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

半導体基板の検査装置であって、
光を発生させて検査対象である基板に照射する光源（２）と、
前記基板に照射されて反射した光を捕捉するレンズ（５、６）と、
前記レンズによって捕捉された光を検出する検出部（１２）と、
前記光源が発生させた光の強度、および、前記検出部によって検出された光の強度に基づいて、前記基板の光の反射率を算出し、該算出した反射率に基づいて前記基板の異常判定を行う判定部（１６）と、を備える半導体基板の検査装置。

【請求項 2】

前記基板と前記レンズとの距離を複数通りに調整する調整部（１０、１１）を備え、
前記検出部は、該複数通りに調整された距離それぞれについて、前記レンズによって捕捉された光を検出し、
前記判定部は、
該算出した反射率に基づいて前記基板の異常判定を行うとともに、
該複数通りに調整された距離それぞれについての前記検出部による検出結果に基づいて、
前記基板の異常判定を行う請求項 1 に記載の半導体基板の検査装置。

【請求項 3】

半導体基板の検査装置であって、
光を発生させて検査対象である基板に照射する光源（２）と、
前記基板に照射されて反射した光を捕捉するレンズ（５、６）と、
前記基板と前記レンズとの距離を複数通りに調整する調整部（１０、１１）と、
該複数通りに調整された距離それぞれについて、前記レンズによって捕捉された光を検出する検出部（１２）と、
該複数通りに調整された距離それぞれについての前記検出部による検出結果に基づいて、
前記基板の異常判定を行う判定部（１６）と、を備える半導体基板の検査装置。

【請求項 4】

前記レンズを２つ備え、
２つの前記レンズをそれぞれ第１レンズ（５）、第２レンズ（６）として、
前記第２レンズは、前記第１レンズよりも焦点深度が大きくされており、
前記判定部は、前記調整部によって前記第１レンズの焦点が前記基板の表面に合わせられたときの前記検出部による検出結果、および、前記調整部によって前記第２レンズの焦点が前記基板の内部または裏面に合わせられたときの前記検出部による検出結果に基づいて、
前記基板の異常判定を行う請求項 2 または 3 に記載の半導体基板の検査装置。

【請求項 5】

半導体基板の検査方法であって、
検査対象である基板に光を照射することと、
前記基板に照射されて反射した光をレンズ（５、６）によって捕捉することと、
前記レンズによって捕捉された光を検出することと、
前記基板に照射した光の強度、および、該検出された光の強度に基づいて、前記基板の光の反射率を算出し、該算出した反射率に基づいて前記基板の異常判定を行うことと、を備える半導体基板の検査方法。

【請求項 6】

前記基板と前記レンズとの距離を複数通りに調整することと、
該複数通りに調整された距離それぞれについて、前記レンズによって捕捉された光を検出することと、
該検出することにおける該複数通りに調整された距離それぞれについての検出結果に基づいて、前記基板の異常判定を行うことと、を備える請求項 5 に記載の半導体基板の検査方法。

【請求項 7】

半導体基板の検査方法であって、
検査対象である基板に光を照射することと、
前記基板に照射されて反射した光をレンズ（５、６）によって捕捉することと、
前記基板と前記レンズとの距離を複数通りに調整することと、
該複数通りに調整された距離それぞれについて、前記レンズによって捕捉された光を検出することと、
該検出することにおける該複数通りに調整された距離それぞれについての検出結果に基づいて、前記基板の異常判定を行うことと、を備える半導体基板の検査方法。

【請求項８】

第１レンズ（５）の焦点が前記基板の表面に合うように前記基板と前記第１レンズとの距離を調整することと、

該調整することの後、前記基板に照射されて反射した光を前記第１レンズによって捕捉することと、

前記第１レンズによって捕捉された光を検出することと、

前記第１レンズよりも焦点深度の大きい第２レンズ（６）の焦点が前記基板の内部または裏面に合うように前記基板と前記第２レンズとの距離を調整することと、

該調整することの後、前記基板に照射されて反射した光を前記第２レンズによって捕捉することと、

前記第２レンズによって捕捉された光を検出することと、

前記第１レンズによって捕捉された光の検出結果、および、前記第２レンズによって捕捉された光の検出結果に基づいて、前記基板の異常判定を行うことと、を備える請求項６または７に記載の半導体基板の検査方法。

【請求項９】

前記基板は、炭化珪素で構成されており、

前記照射することでは、前記基板に波長が５００ｎｍ以上８００ｎｍ以下の光を照射する請求項５ないし８のいずれか１つに記載の半導体基板の検査方法。

【請求項１０】

前記基板は、珪素で構成されており、

前記照射することでは、前記基板に波長が１１００ｎｍ以上１２００ｎｍ以下の光を照射する請求項５ないし８のいずれか１つに記載の半導体基板の検査方法。

【請求項１１】

前記基板は、炭素で構成されており、

前記照射することでは、前記基板に波長が３００ｎｍ以上６００ｎｍ以下の光を照射する請求項５ないし８のいずれか１つに記載の半導体基板の検査方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、半導体基板を検査する検査装置および検査方法に関するものである。

【背景技術】

【０００２】

半導体装置に用いられるＳｉＣ（炭化珪素）基板やＳｉ（珪素）基板は、可視光やフォトルミネッセンス法を用いて内部の結晶状態を観察することができる（例えば、特許文献１参照）。

【０００３】

このような観察方法では、基板の裏面や検査ステージの映り込みのおそれがある。これを抑制するために、基板からの反射光の捕捉には、焦点深度の小さい高ＮＡ（開口数）レンズが用いられる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００４】

10

20

30

40

50

【特許文献１】特開２０１９－１６０９９９号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００５】

S i C基板では、基板を形成するためのエピタキシャル成長が、例えば約１６００の高温で処理される。このようにすると、カーボンが凝集した結晶欠陥であるカーボンインクルージョンが多くなる。

【０００６】

このような基板を焦点深度の小さいレンズで観察する際に、例えば基板の表面のみに焦点を合わせると、カーボンインクルージョンと他の結晶欠陥との区別が付きにくい。そのため、結晶欠陥の抽出もれが生じやすくなり、この基板を用いて製造される半導体装置の信頼性が低下するおそれがある。また、S i C以外の基板であっても、半導体装置の信頼性の向上のために、結晶欠陥の抽出もれを抑制することが望ましい。

【０００７】

また、ウェハに半導体素子が形成された後には、ダイシングソー等でウェハがチップ単位に個片化されるが、このときチップの内部にクラック等のダメージが生じることがある。そして、個片化後の樹脂封止等によるストレスで、このダメージが進展して素子内部が損傷し、機能不全が生じる場合がある。

【０００８】

これについても、半導体装置の信頼性を向上させるためには、ダメージの抽出漏れを抑制することが望ましい。また、不良の原因となった工程を特定し、不具合を抑制して信頼性をさらに向上させるためには、結晶欠陥とダイシングによるダメージとを区別して検出することが望ましい。

【０００９】

このように、半導体装置の信頼性を向上させるためには、半導体素子が形成される基板の状態を良好に把握することが重要である。

【００１０】

本発明は上記点に鑑みて、基板の状態を良好に把握することができる半導体基板の検査装置および半導体基板の検査方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【００１１】

上記目的を達成するため、請求項１に記載の発明では、半導体基板の検査装置であって、光を発生させて検査対象である基板に照射する光源（２）と、基板に照射されて反射した光を捕捉するレンズ（５、６）と、レンズによって捕捉された光を検出する検出部（１２）と、光源が発生させた光の強度、および、検出部によって検出された光の強度に基づいて、基板の光の反射率を算出し、該算出した反射率に基づいて基板の異常判定を行う判定部（１６）と、を備える。

【００１２】

結晶欠陥、または、クラック等のダメージが含まれる基板では、正常な基板に比べて光の反射率が低下する。また、反射率の上がり方は、欠陥の種類によって変わる。したがって、このように反射率を算出することで、欠陥の種類を識別することが可能になり、基板の状態を良好に把握することができる。

【００１３】

また、請求項３に記載の発明では、半導体基板の検査装置であって、光を発生させて検査対象である基板に照射する光源（２）と、基板に照射されて反射した光を捕捉するレンズ（５、６）と、基板とレンズとの距離を複数通りに調整する調整部（１０、１１）と、該複数通りに調整された距離それぞれについて、レンズによって捕捉された光を検出する検出部（１２）と、該複数通りに調整された距離それぞれについての検出部による検出結果に基づいて、基板の異常判定を行う判定部（１６）と、を備える。

【００１４】

10

20

30

40

50

基板とレンズとの距離を複数通りに調整し、それぞれの距離で反射光を検出することにより、例えば、基板の表層部のみに存在する欠陥と、基板の厚さ方向の全体にわたって存在する欠陥とを識別することが可能になる。したがって、基板の状態を良好に把握することができる。

【 0 0 1 5 】

また、請求項 5 に記載の発明では、半導体基板の検査方法であって、検査対象である基板に光を照射することと、基板に照射されて反射した光をレンズ（ 5、 6 ）によって捕捉することと、レンズによって捕捉された光を検出することと、基板に照射した光の強度、および、該検出された光の強度に基づいて、基板の光の反射率を算出し、該算出した反射率に基づいて基板の異常判定を行うことと、を備える。

10

【 0 0 1 6 】

結晶欠陥、または、クラック等のダメージが含まれる基板では、正常な基板に比べて光の反射率が低下する。また、反射率の下がり方は、欠陥の種類によって変わる。したがって、このように反射率を算出することで、欠陥の種類を識別することが可能になり、基板の状態を良好に把握することができる。

【 0 0 1 7 】

また、請求項 7 に記載の発明では、半導体基板の検査方法であって、検査対象である基板に光を照射することと、基板に照射されて反射した光をレンズ（ 5、 6 ）によって捕捉することと、基板とレンズとの距離を複数通りに調整することと、該複数通りに調整された距離それぞれについて、レンズによって捕捉された光を検出することと、検出することにおける該複数通りに調整された距離それぞれについての検出結果に基づいて、基板の異常判定を行うことと、を備える。

20

【 0 0 1 8 】

基板とレンズとの距離を複数通りに調整し、それぞれの距離で反射光を検出することにより、例えば、基板の表層部のみに存在する欠陥と、基板の厚さ方向の全体にわたって存在する欠陥とを識別することが可能になる。したがって、基板の状態を良好に把握することができる。

【 0 0 1 9 】

なお、各構成要素等に付された括弧付きの参照符号は、その構成要素等と後述する実施形態に記載の具体的な構成要素等との対応関係の一例を示すものである。

30

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 0 】

【図 1】第 1 実施形態にかかる半導体基板の検査装置の構成を示す図である。

【図 2】半導体装置の製造工程のフローチャートである。

【図 3】ウェハの検査工程のフローチャートである。

【図 4】レンズとウェハとの位置関係を示す図である。

【図 5】反射光の検出結果の一例を示す図である。

【図 6】半導体チップの断面図である。

【図 7】半導体チップの検査工程のフローチャートである。

【図 8】半導体チップの上面図であって、検査光の走査経路を示す図である。

40

【図 9】反射率の算出結果を示すグラフである。

【図 10】半導体チップの断面図であって、半導体チップに照射された検査光の経路を示す図である。

【図 11】半導体チップの断面図であって、チップングが発生した半導体チップにおいて検査光が散乱する様子を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 1 】

以下、本発明の実施形態について図に基づいて説明する。なお、以下の各実施形態相互において、互いに同一もしくは均等である部分には、同一符号を付して説明を行う。

【 0 0 2 2 】

50

(第1実施形態)

第1実施形態について説明する。図1に示す本実施形態の検査装置1は、半導体装置の製造過程において、半導体素子が形成される前の半導体基板や、半導体素子が形成された半導体基板に含まれる結晶欠陥等の異常を検出するためのものである。

【0023】

図1に示すように、検査装置1は、光源2と、筐体3と、ハーフミラー4と、第1レンズ5と、第2レンズ6と、第3レンズ7と、第4レンズ8と、回転部9とを備えている。また、検査装置1は、ステージ10と、高さ調整部11と、第1検出部12と、可動ミラー13と、ミラー14と、第2検出部15と、制御部16とを備えている。

【0024】

光源2は、検査光を発生させて、この検査光を検査対象である基板に照射するものである。この検査対象の基板は、図1に示すウェハ20、または、後述する基板31である。本実施形態では、検査光は可視光とされ、光源2は例えばキセノンフラッシュランプで構成される。光源2には、制御部16から信号が入力されるようになっており、光源2が発生させる検査光の強度および波長は、制御部16からの入力信号によって設定される。光源2は、筐体3の外壁に配置されており、光源2が発生させた検査光は、筐体3の内部に入射する。

【0025】

筐体3の内部には、ハーフミラー4、第1検出部12、可動ミラー13、ミラー14、第2検出部15が配置されている。光源2が射出した検査光は、ハーフミラー4に入射する。

【0026】

ハーフミラー4は、入射した光の一部を反射し、残りを透過させるものである。ハーフミラー4は、光源2が射出した検査光を反射してウェハ20に照射するように配置されている。ハーフミラー4で反射した検査光は、矢印A1で示すように、筐体3の下部に配置された第1レンズ5、第2レンズ6、第3レンズ7、第4レンズ8のいずれかを通して射出され、ステージ10に載置されたウェハ20または基板31に照射される。ウェハ20または基板31で反射した検査光は、第1レンズ5～第4レンズ8のいずれかを通して筐体3に入射する。

【0027】

第1レンズ5、第2レンズ6、第3レンズ7、第4レンズ8は、ウェハ20または基板31に照射されて反射した検査光を捕捉するものである。第1レンズ5は、ウェハ20の表面の欠陥を検査する際に用いられるレンズである。第1レンズ5の倍率は、例えば5倍とされている。

【0028】

第2レンズ6は、ウェハ20の内部および裏面の欠陥を検査する際に用いられるレンズである。第2レンズ6は、開口数が第1レンズ5よりも小さく、焦点深度が第1レンズ5よりも大きくされている。第2レンズ6の倍率は、例えば5倍とされている。

【0029】

第3レンズ7、第4レンズ8は、第1レンズ5、第2レンズ6を用いた検査で欠陥が見つかった箇所を詳細に観察するためのレンズであり、第1レンズ5、第2レンズ6よりも倍率が高くされている。例えば、第3レンズ7の倍率は10倍または20倍とされ、第4レンズ8の倍率は50倍とされている。

【0030】

第1レンズ5～第4レンズ8は、筐体3の下部に配置された回転部9に取り付けられている。回転部9は、使用するレンズを設定するためのものである。回転部9は、制御部16に接続されており、制御部16からの入力信号によって駆動する。第1レンズ5～第4レンズ8は回転部9の底面に取り付けられており、回転部9が回転することによって、使用するレンズが第1レンズ5～第4レンズ8のいずれかに設定される。

【0031】

10

20

30

40

50

なお、図 1 では、使用するレンズとして第 1 レンズ 5 が選択された状態を示しており、矢印 A 1 で示すように第 1 レンズ 5 を通って筐体 3 から射出した検査光が、ウェハ 2 0 で反射し、矢印 A 2 で示すように第 1 レンズ 5 を通って筐体 3 に入射している。選択されたレンズによって捕捉された反射光は、矢印 A 2 で示すように、ハーフミラー 4 を透過して、第 1 検出部 1 2 または可動ミラー 1 3 に入射する。

【 0 0 3 2 】

第 1 レンズ 5 ~ 第 4 レンズ 8 とウェハ 2 0、基板 3 1 との位置関係は、ステージ 1 0 および高さ調整部 1 1 によって調整される。ステージ 1 0 は、検査対象の基板を保持するものである。ステージ 1 0 の上面の一部は、検査対象の基板が載置される平坦な載置面となっている。図 1 では、載置面にウェハ 2 0 が載置された様子を示している。後述する半導体チップ 3 0 を検査する際には、同様に半導体チップ 3 0 の基板 3 1 が載置面に載置される。

10

【 0 0 3 3 】

ステージ 1 0 の載置面に平行で互いに垂直な 2 方向を、それぞれ x 方向、y 方向とする。高さ方向、すなわち、x 方向、y 方向の両方に垂直な方向を z 方向とする。ステージ 1 0 の載置面は、ステッピングモータ等で構成された図示しないリニアアクチュエータによって、x、y 方向に動くようになっている。そして、このように載置面が動くことで、載置面に載置されたウェハ 2 0、基板 3 1 が x、y 方向に移動する。これにより、第 1 レンズ 5 ~ 第 4 レンズ 8 に対するウェハ 2 0、基板 3 1 の x、y 方向の位置が調整される。

【 0 0 3 4 】

また、ステージ 1 0 の載置面の角度は、図示しないステッピングモータ等によって変化するようにになっている。そして、載置面の角度が変化することで、載置面に載置されたウェハ 2 0、基板 3 1 の角度が調整される。ステージ 1 0 は、制御部 1 6 に接続されており、載置面の位置と角度は、制御部 1 6 からの入力信号によって設定される。

20

【 0 0 3 5 】

第 1 レンズ 5 ~ 第 4 レンズ 8 とウェハ 2 0、基板 3 1 との z 方向の位置関係は、高さ調整部 1 1 によって調整される。高さ調整部 1 1 は、第 1 レンズ 5 ~ 第 4 レンズ 8 とウェハ 2 0 との距離を複数通りに調整するように構成されている。例えば、高さ調整部 1 1 は、ステッピングモータ等で構成されたりリニアアクチュエータとされている。そして、筐体 3 は高さ調整部 1 1 に取り付けられており、高さ調整部 1 1 の駆動によって筐体 3 の高さが変わり、第 1 レンズ 5 ~ 第 4 レンズ 8 とウェハ 2 0、基板 3 1 との z 方向の距離が変化する。高さ調整部 1 1 は制御部 1 6 に接続されており、この距離は制御部 1 6 からの入力信号によって設定される。

30

【 0 0 3 6 】

第 1 検出部 1 2 は、第 1 レンズ 5、第 2 レンズ 6 によって捕捉された反射光を検出するものである。第 1 検出部 1 2 は、例えば高感度 C C D (Charge Coupled Device) 等の画像センサを備えたモノクロカメラで構成されている。第 1 検出部 1 2 は、制御部 1 6 に接続されており、第 1 検出部 1 2 による反射光の検出結果は、制御部 1 6 に送信される。

【 0 0 3 7 】

可動ミラー 1 3 は、図示しない駆動部によって移動可能とされている。第 1 レンズ 5、第 2 レンズ 6 を用いてウェハ 2 0、基板 3 1 を検査する際には、ハーフミラー 4 を透過した光が第 1 検出部 1 2 に入射するように、可動ミラー 1 3 は反射光の経路から外れた場所に配置される。そして、第 3 レンズ 7、第 4 レンズ 8 を用いてウェハ 2 0、基板 3 1 を詳細に観察する際には、可動ミラー 1 3 は、図 1 で示す場所に移動し、ハーフミラー 4 を透過した光を反射する。可動ミラー 1 3 で反射した光は、矢印 A 3 で示すように、ミラー 1 4 で反射して、第 2 検出部 1 5 に入射する。

40

【 0 0 3 8 】

第 2 検出部 1 5 は、第 3 レンズ 7、第 4 レンズ 8 によって捕捉された光を検出するものである。第 2 検出部 1 5 は、第 1 レンズ 5、第 2 レンズ 6 を用いた検査によって欠陥が見つかった箇所を詳細に観察する際に用いられる。第 2 検出部 1 5 は、例えば、C C D 等の画

50

像センサを備えたカラーカメラとされている。第 2 検出部 15 は、制御部 16 に接続されており、第 2 検出部 15 による反射光の検出結果は、制御部 16 に送信される。

【 0 0 3 9 】

制御部 16 は、光源 2、ステージ 10 等を操作するとともに、第 1 検出部 12 による検出結果等に基づいてウェハ 20 および基板 31 の異常判定を行うものであり、判定部に相当する。

【 0 0 4 0 】

具体的には、前述したように制御部 16 は高さ調整部 11 に接続されており、高さ調整部 11 は制御部 16 からの信号によって駆動し、第 1 レンズ 5、第 2 レンズ 6 とウェハ 20 との距離を複数通りに調整する。第 1 検出部 12 は、該複数通りに調整された距離それぞれについて、第 1 レンズ 5 または第 2 レンズ 6 によって捕捉された光を検出する。そして、制御部 16 は、該複数通りに調整された距離それぞれについての第 1 検出部 12 による検出結果に基づいて、ウェハ 20 の異常判定を行う。

10

【 0 0 4 1 】

また、制御部 16 は、半導体チップ 30 の検査工程では、光源 2 が発生させた光の強度、および、第 1 検出部 12 によって検出された光の強度に基づいて、基板 31 の光の反射率を算出し、該算出した反射率に基づいて基板 31 の異常判定を行う。

【 0 0 4 2 】

制御部 16 は、図示しない CPU、ROM、RAM、不揮発性リライタブルメモリ、等を有するマイクロコンピュータを備えている。不揮発性リライタブルメモリは、例えば、EEPROM、フラッシュROM、等である。EEPROMはElectronically Erasable and Programmable Read Only Memoryの略である。制御部 16 は、内蔵メモリに記憶されたプログラムに従って、光源 2 等を操作し、ウェハ 20 等の検査を実行する。

20

【 0 0 4 3 】

検査装置 1 による半導体基板の検査方法について説明する。まず、半導体装置の製造工程について説明する。半導体装置の製造工程では、図 2 に示すステップ S 101 ~ ステップ S 109 の処理が順に行われる。なお、ここでは、ウェハ 20 に MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) 等の半導体素子を形成する場合について説明する。

【 0 0 4 4 】

ステップ S 101 では、ウェハ 20 を所望の枚数でウェハロットへ編成し、ウェハ 20 の結晶欠陥を検査し、検出された欠陥の種類と位置情報を取得する。ステップ S 101 の詳細については後述する。

30

【 0 0 4 5 】

ステップ S 102 では、ウェハ 20 に拡散層を形成する。また、ウェハ 20 の耐圧を保持するために、ウェハ 20 よりも低濃度のエピタキシャル成長を行う。なお、トレンチ構造では、高濃度のエピタキシャル成長を行い、半導体素子の構造を形成していく。

【 0 0 4 6 】

ステップ S 103 では、ステップ S 101 と同様に、ウェハ 20 の結晶欠陥を検査し、検出された欠陥の種類と位置情報を取得する。なお、ステップ S 103 では、ステップ S 102 でエピタキシャル成長によってウェハ 20 に形成された層についても検査を行う。

40

【 0 0 4 7 】

ステップ S 104 では、ウェハ 20 に拡散層、ゲート、層間膜、配線、保護膜等を形成する。これにより、ウェハ 20 上に複数の半導体素子が形成される。

【 0 0 4 8 】

ステップ S 105 では、ウェハ 20 を個片化して複数の半導体チップ 30 を形成する。具体的には、ウェハ 20 に形成された複数の半導体素子の間には、スクライプ領域が形成されており、ステップ S 105 では、このスクライプ領域をダイシングソー等で削って、ウェハ 20 をチップ単位に分割する。これにより、後述する図 6 に示す半導体チップ 30 が複数形成される。

50

【 0 0 4 9 】

ステップ S 1 0 6 では、半導体チップ 3 0 の電気特性検査を行う。ステップ S 1 0 7 では、半導体チップ 3 0 の表面の外観検査を行う。ステップ S 1 0 8 では、個片化によって半導体チップ 3 0 に生じたダメージの検査を行い、ダメージが検出された半導体チップ 3 0 の情報を取得する。ステップ S 1 0 8 の詳細については後述する。

【 0 0 5 0 】

ステップ S 1 0 9 では、ステップ S 1 0 1、ステップ S 1 0 3、ステップ S 1 0 6 ~ ステップ S 1 0 8 の検査結果に基づいて、半導体チップ 3 0 を選別する。具体的には、いずれかの検査で異常があると判定された半導体チップ 3 0 を除外し、他の半導体チップ 3 0 を出荷する。出荷された半導体チップ 3 0 は、樹脂封止等を行う組付工程に提供される。このように、異常が検出された半導体チップ 3 0 を除外することで、不具合の発生を抑制する。

10

【 0 0 5 1 】

ステップ S 1 0 1、ステップ S 1 0 3 の詳細について説明する。ウェハ 2 0 の表面および裏面には、露光時のデフォーカスにより、パターン荒れが生じる場合がある。また、ステップ S 1 0 2 におけるエピタキシャル成長の際に、部材の劣化による昇華が起こることがある。また、ウェハ 2 0 の反りによりガスが回り込み、裏面荒れが生じる場合がある。また、ウェハ 2 0 が SiC で構成される場合には、実効的な C / Si 比の乱れにより、カーボンインクルージョンが発生することがある。また、マイクロパイプのような基板を貫通する空孔欠陥が生じる場合がある。

20

【 0 0 5 2 】

ステップ S 1 0 1、ステップ S 1 0 3 では、図 3 に示すステップ S 2 0 1 ~ ステップ S 2 0 8 によって、このようなウェハ 2 0 の表面、裏面のパターン荒れや、内部の欠陥の検査を行う。

【 0 0 5 3 】

ステップ S 2 0 1 ~ ステップ S 2 0 3 では、ウェハ 2 0 の最表面の結晶欠陥とパターン荒れの検査を行う。ステップ S 2 0 1 にて、制御部 1 6 は、回転部 9 を操作して、使用するレンズを第 1 レンズ 5 に設定する。また、制御部 1 6 は、図示しない駆動部を操作して、可動ミラー 1 3 をウェハ 2 0 からの反射光の経路から外れた位置に移動させる。

【 0 0 5 4 】

続くステップ S 2 0 2 にて、制御部 1 6 は、高さ調整部 1 1 を操作して、第 1 レンズ 5 の高さを調整する。ここでは、第 1 レンズ 5 の焦点を、図 4 の z 1 で示す位置、すなわち、ウェハ 2 0 の表面の高さに合わせるように、第 1 レンズ 5 のウェハ 2 0 表面からの高さ h を調整する。これにより、ウェハ 2 0 の表面で反射した検査光が第 1 レンズ 5 によって良好に捕捉されるようになる。

30

【 0 0 5 5 】

続くステップ S 2 0 3 にて、制御部 1 6 は、ウェハ 2 0 の最表面全体をスキャンする。具体的には、制御部 1 6 は、光源 2 を操作してウェハ 2 0 に検査光を照射する。そして、制御部 1 6 は、ステージ 1 0 を操作してウェハ 2 0 が置かれた載置面を x、y 方向に動かし、ウェハ 2 0 の検査対象となる領域を第 1 レンズ 5 の下に移動させる。ウェハ 2 0 で反射した検査光は、第 1 レンズ 5 によって捕捉され、第 1 検出部 1 2 で検出される。制御部 1 6 は、このようなウェハ 2 0 の移動と反射光の検出とを繰り返す。ウェハ 2 0 の x、y 方向の全体について反射光の検出が完了すると、x、y 方向の各位置についての第 1 検出部 1 2 による検出結果が、制御部 1 6 に送信される。その後、処理はステップ S 2 0 4 に移行する。

40

【 0 0 5 6 】

ステップ S 2 0 4 ~ ステップ S 2 0 7 では、ウェハ 2 0 の内部の欠陥と、裏面のパターン荒れの検査を行う。ステップ S 2 0 4 にて、制御部 1 6 は、回転部 9 を操作して、使用するレンズを第 2 レンズ 6 に設定する。続くステップ S 2 0 5 にて、制御部 1 6 は、高さ調整部 1 1 を操作して、第 2 レンズ 6 の高さを調整する。具体的には、制御部 1 6 は、第 2

50

レンズ 6 の高さを低くする。

【 0 0 5 7 】

続くステップ S 2 0 6 にて、制御部 1 6 は、ステップ S 2 0 3 と同様にスキャンを行う。すなわち、制御部 1 6 は、ステージ 1 0 を操作してウェハ 2 0 が置かれた載置面を x、y 方向に動かし、ウェハ 2 0 の検査対象となる領域を第 2 レンズ 6 の下に移動させる。ウェハ 2 0 で反射した検査光は、第 2 レンズ 6 によって捕捉され、第 1 検出部 1 2 で検出される。制御部 1 6 は、このようなウェハ 2 0 の移動と反射光の検出とを繰り返す。ウェハ 2 0 の x、y 方向の全体について反射光の検出が完了すると、x、y 方向の各位置についての第 1 検出部 1 2 による検出結果が、制御部 1 6 に送信される。その後、処理はステップ S 2 0 7 に移行する。ステップ S 2 0 7 にて、制御部 1 6 は、ウェハ 2 0 の裏面までスキャンが完了したか否かを判定する。 10

【 0 0 5 8 】

ウェハ 2 0 の裏面までスキャンが完了していないと判定されると、処理はステップ S 2 0 5 に移行し、第 2 レンズ 6 の高さがさらに低くなる。具体的には、1 回目のステップ S 2 0 5 では、第 2 レンズ 6 の焦点を図 4 の z 2 で示す位置に合わせるように、第 2 レンズ 6 の高さが調整される。同様に、2 回目のステップ S 2 0 5 では、第 2 レンズ 6 の焦点を z 3 で示す位置に合わせるように第 2 レンズ 6 の高さが調整され、3 回目のステップ S 2 0 5 では、第 2 レンズ 6 の焦点を z 4 で示す位置に合わせるように第 2 レンズ 6 の高さが調整される。そして、4 回目のステップ S 2 0 5 では、第 2 レンズ 6 の焦点を、z 5 で示す位置、すなわち、ウェハ 2 0 の裏面の高さに合わせるように、第 2 レンズ 6 の高さが調整される。そして、z 5 で示す位置に焦点を合わせた状態でステップ S 2 0 6 の処理が完了すると、ウェハ 2 0 の裏面までスキャンが完了したと判定される。 20

【 0 0 5 9 】

このように、ウェハ 2 0 の内部については、第 2 レンズ 6 の z 方向の位置が 3 通りに調整され、z 方向のそれぞれの位置において、ウェハ 2 0 の x、y 方向における全面スキャンが行われる。ウェハ 2 0 の裏面までスキャンが完了したと判定されると、処理はステップ S 2 0 8 に移行する。

【 0 0 6 0 】

ステップ S 2 0 8 にて、制御部 1 6 は、ステップ S 2 0 3 およびステップ S 2 0 6 で第 1 検出部 1 2 から送信された z 1 ~ z 5 それぞれについての検出結果に基づいて、ウェハ 2 0 の異常判定を行う。すなわち、制御部 1 6 は、第 1 レンズ 5 によって捕捉された光の検出結果、および、第 2 レンズ 6 によって捕捉された光の検出結果に基づいて、ウェハ 2 0 の異常判定を行う。具体的には、制御部 1 6 には、第 1 検出部 1 2 によって撮影されたウェハ 2 0 の画像が送信され、制御部 1 6 は、この画像を解析して、パターン荒れや結晶欠陥等の異常があるか否かを判定する。 30

【 0 0 6 1 】

例えば、制御部 1 6 には、図 5 に示すような画像が送信される。図の左右方向、上下方向はそれぞれ x、y 方向である。図 5 に示すように画像に黒色の部分が存在すると、その位置に欠陥等の異常が存在すると判定される。そして、z 1 ~ z 5 のいずれかの位置で欠陥等が検出された場合には、制御部 1 6 は、ウェハ 2 0 のうち、その欠陥が含まれる部分の x、y 方向の位置を記憶する。画像に黒色の部分が存在しなければ、その x、y 方向の位置には欠陥等の異常が存在しないと判定される。 40

【 0 0 6 2 】

さらに本実施形態では、制御部 1 6 は、表面と内部の検査結果を統合して、結晶欠陥の種類を識別する。例えば、ウェハ 2 0 のうち z 1 ~ z 4 のすべての位置において、図 5 に示すように欠陥が撮像されると、その x、y 方向の位置については、ウェハ 2 0 の表面から内部に至って形成されたカーボンインクルージョンが存在すると判定される。

【 0 0 6 3 】

ウェハ 2 0 のうち、異常があると判定された部分については、第 3 レンズ 7 または第 4 レンズ 8 を用いた詳細な観察が行われる。この観察では、制御部 1 6 は、図示しない駆動部 50

を操作して、可動ミラー 13 を図 1 に示す位置に移動させる。これにより、反射光が第 2 検出部 15 に入射するようになる。そして、第 2 検出部 15 によってウェハ 20 の詳細な画像が撮像され、制御部 16 に送信される。ステップ S 208 の後、処理は終了する。

【0064】

このように、ステップ S 101 とステップ S 103 では、制御部 16 は、ウェハ 20 の表面のパターン荒れ、内部の結晶欠陥、裏面のパターン荒れの検査を行い、異常がある場所を把握する。

【0065】

ステップ S 101 とステップ S 103 のうちステップ S 101 のみを行ってもよいが、ステップ S 103 のように、素子形成工程の途中で検査を行えば、不良が多発する工程を特定することができる。これにより、異物の低減や、露光時のデフォーカスによるパターンニング崩れの低減を図ることができる。そして、ウェハ 20 の品質を向上させることができる。また、ステップ S 101 とステップ S 103 のうち、ステップ S 103 のみを行ってもよい。

10

【0066】

なお、図 3 に示す検査工程では、制御部 16 から光源 2 へ入力される信号によって、光源 2 が発生させる検査光の波長が設定され、ウェハ 20 に吸収されない波長の光が検査光として用いられる。例えば、ウェハ 20 が SiC で構成されている場合には、ウェハ 20 に波長 500 nm 以上 800 nm 以下の光が照射される。また、ウェハ 20 が Si で構成されている場合には、ウェハ 20 に波長 1100 nm 以上 1200 nm 以下の光が照射される。また、ウェハ 20 が C (炭素) で構成されている場合には、波長 300 nm 以上 600 nm 以下の光がウェハ 20 に照射される。

20

【0067】

ステップ S 108 の詳細について説明する。ここでは、図 6 に示す半導体チップ 30 を検査する場合について説明する。図 6 に示すように、半導体チップ 30 は、基板 31 と、ポリイミド膜 32 と、電極 33 とを備えている。基板 31 は、ウェハ 20 を矩形状に分割することで形成されたものである。ポリイミド膜 32 は、図 2 のステップ S 104 で形成された保護膜であり、図示しない配線層等を覆うように、基板 31 の表面側に形成されている。電極 33 は、ステップ S 104 で形成されたものであり、基板 31 の裏面全体を覆っている。

30

【0068】

図 2 のステップ S 105 では、ダイシングラインにクラックやチッピング等のダメージが発生することがある。ステップ S 109 で、このようなダメージが発生した半導体チップを出荷し、樹脂封止等を行う組付工程に提供すると、樹脂封止での熱ストレス等によってダメージが進展して半導体素子が破壊され、機能不全が生じるおそれがある。この素子破壊を抑制するために、ステップ S 108 にてクラック等のダメージを検出し、ダメージが検出された半導体チップをステップ S 109 で除外する。

【0069】

ステップ S 108 では、制御部 16 は、図 7 に示すステップ S 301 ~ ステップ S 305 によって、基板 31 を検査する。まず、ステップ S 301 にて、制御部 16 は、図示しない搬送装置を操作して、図示しないチップトレイに収納された複数の半導体チップ 30 から 1 つをピックアップし、ステージ 10 に載置する。そして、制御部 16 は、ステージ 10 を操作して載置面の角度を調整し、半導体チップ 30 の平行合わせをする。また、制御部 16 は、回転部 9 を操作して、使用するレンズを第 1 レンズ 5 または第 2 レンズ 6 に設定する。また、制御部 16 は、図示しない駆動部を操作して、可動ミラー 13 を半導体チップ 30 からの反射光の経路から外れた位置に移動させる。

40

【0070】

続くステップ S 302 にて、制御部 16 は、光源 2 を操作して基板 31 に検査光を照射する。検査光は基板 31 で反射し、ステップ S 301 で設定されたレンズによって捕捉される。そして、制御部 16 は、このレンズによって捕捉された反射光の強度を第 1 検出部 1

50

2で検出しながら、ステージ10を操作して基板31をx、y方向に移動させ、図8に示すように検査光を走査する。図8において、矢印A4は、検査光の走査経路を示している。なお、ステップS302では、第1レンズ5または第2レンズ6が用いられる。

【0071】

検査光は、基板31の上面側から、半導体素子とチップ端部との間の領域に照射される。例えば、検査光は、半導体素子の上層膜であるポリイミド膜32と、基板31の端部であるダイシングラインとの間であって、基板31の端部から数十 μm 離れた位置に照射される。そして、制御部16は、基板31の角部を照射開始地点として、ポリイミド膜32の周囲を回るように基板31の外周部の4辺を検査光で走査し、1周して照射開始地点に戻ると走査を終了する。

10

【0072】

検査光の照射スポットSの直径は、例えば25 μm とされるが、場合により約10 μm まで小さくしてもよい。また、検査光の走査ステップ、すなわち、隣り合う2つの照射スポットSの中心間の距離は、例えば10 μm とされるが、場合により1 μm ~20 μm の間で変化させてもよい。

【0073】

続くステップS303にて、制御部16は、図示しない搬送装置を操作して、ステージ10の上の半導体チップ30を図示しないチップトレイに戻す。続くステップS304にて、制御部16は、図示しないチップトレイに収納されたすべての半導体チップ30について、ステップS302のスキャン処理が完了したか否かを判定する。

20

【0074】

すべての半導体チップ30についてスキャン処理が完了していないと判定されると、処理はステップS301に移行する。そして、図示しないチップトレイに収納された複数の半導体チップ30から、スキャン処理の完了していない1つの半導体チップ30がピックアップされて、ステージ10に載置される。すべての半導体チップ30についてスキャン処理が完了したと判定されると、処理はステップS305に移行する。

【0075】

ステップS305にて、制御部16は、各半導体チップ30の異常判定を行う。具体的には、制御部16は、各半導体チップ30について、ステップS302で光源2に発生させた光の強度と、第1検出部12によって検出された反射光の強度とに基づいて、基板31の光の反射率を算出する。そして、制御部16は、該算出した反射率に基づいて基板31の異常判定を行う。反射率は、例えば図9に示すようになる。図9の横軸は検査光を走査した距離であり、ここでは、1つの半導体チップ30の1辺を走査した分の反射率の算出結果を図示している。

30

【0076】

検査光の一部は基板31の表面で反射して基板31の上方に進み、残りの一部は基板31の内部を進んで電極33で反射し、基板31の内部を通過して基板31の表面から上方に射出される。図10の白矢印で示すように、基板31にダメージが発生していない正常部では、検査光があまり散乱せずにまっすぐ進むため、検出される反射光の強度が、高い値でほぼ一定となる。これにより、算出される反射率が、高い値でほぼ一定となる。

40

【0077】

一方、クラックやチッピング等のダメージがある異常部では、図11の白矢印で示すように、検査光が基板31の内部のダメージによって散乱するため、基板31の表面から上方へ射出される光の強度が低下する。これにより、算出される反射率が、正常部に比べて低下する。

【0078】

この反射率の低下から、ダメージを検出することができる。例えば図9の破線で囲まれた部分は、正常部に対応しており、反射率が高い値でほぼ一定となっている。一方、一点鎖線で囲まれた部分は、ダメージが発生した異常部に対応しており、正常部に対応する部分に比べて、反射率が大きく低下している。このように反射率の低下が検出されると、制御

50

部 16 は、該当する半導体チップ 30 に異常があると判定する。一方、半導体チップ 30 の全体で反射率が高い値でほぼ一定であれば、制御部 16 は該当する半導体チップ 30 に異常がないと判定する。

【0079】

反射率の低下は、例えば、算出された反射率と所定の閾値との比較によって検出される。この閾値は、半導体チップ 30 に対する樹脂封止以降の応力と素子破壊との相関から決定される。

【0080】

なお、反射率の上がり方は、欠陥の種類によって変化する。例えば図 9 では、チップングによる反射率の低下を示しているが、他のダメージがある場合には、反射率が図 9 に示すグラフとは異なる上がり方をする。また、基板に結晶欠陥がある場合にも反射率が低下するが、この場合には、反射率がチップング等のダメージがある場合とは異なる上がり方をする。具体的には、ダメージがある場合と結晶欠陥がある場合との両方で反射率が低下するが、ダメージがある場合には、反射率がより大きく低下し、ほぼ 0 になる。制御部 16 は、反射率の低下を検出すると、さらに、反射率の上がり方から、欠陥の種類を判定する。例えば、正常な基板の反射率の標準偏差を として、制御部 16 は、反射率の低下を検出すると、その反射率が 3 値から外れた場合に、チップング等のダメージが存在すると判定する。

10

【0081】

異常があると判定された半導体チップ 30 については、第 3 レンズ 7 または第 4 レンズ 8 を用いた詳細な観察が行われる。この観察では、可動ミラー 13 が図 1 に示す位置に移動して、反射光が第 2 検出部 15 に入射するようになる。そして、第 2 検出部 15 によって半導体チップ 30 の詳細な画像が撮像され、制御部 16 に送信される。すべての半導体チップ 30 について異常判定が完了すると、制御部 16 は処理を終了する。

20

【0082】

なお、図 7 に示す工程においても、図 3 に示す工程と同様に、基板 31 に吸収されない波長の光が検査光として用いられる。すなわち、基板 31 が SiC で構成されている場合には、基板 31 に波長 500 nm 以上 800 nm 以下の光が照射される。また、基板 31 が Si で構成されている場合には、基板 31 に波長 1100 nm 以上 1200 nm 以下の光が照射される。また、基板 31 が C で構成されている場合には、波長 300 nm 以上 600 nm 以下の光が基板 31 に照射される。

30

【0083】

以上説明したように、本実施形態では、半導体チップ 30 に検査光を照射し、検査光の反射率に基づいて異常判定を行っている。そして、クラック等のダメージが含まれる基板では、正常な基板に比べて光の反射率が低下する。また、反射率の上がり方は、欠陥の種類によって変わる。したがって、上記のように反射率を算出することで、欠陥の種類を識別することが可能になり、結晶状態を良好に把握することができる。

【0084】

また、上記実施形態によれば、以下のような効果を得ることができる。

【0085】

40

(1) 第 2 レンズ 6 とウェハ 20 との距離を複数通りに調整し、複数通りに調整された距離それぞれについての第 1 検出部 12 による検出結果に基づいて、ウェハ 20 の異常判定を行っている。複数の検出結果を統合することにより、例えば、ウェハ 20 の表層部のみに存在する欠陥と、ウェハ 20 の厚さ方向の全体にわたって存在する欠陥とを識別することが可能になり、結晶状態をさらに良好に把握することができる。

【0086】

(2) 第 1 レンズ 5 でウェハ 20 の表面からの反射光を捕捉し、第 1 レンズ 5 よりも焦点深度の大きい第 2 レンズ 6 でウェハ 20 の内部と裏面からの反射光を捕捉している。これにより、ウェハ 20 の表面の欠陥を検査する際に、ウェハ 20 の裏面やステージ 10 の映り込みを抑制するとともに、ウェハ 20 の内部および裏面の欠陥を検出することが可能に

50

なり、欠陥の種類の識別精度が向上する。

【0087】

(3) 検査対象の基板に吸収されない波長の光が検査光として用いられる。これにより、欠陥を良好に捕捉することが可能になり、異常判定の精度が向上する。

【0088】

(他の実施形態)

なお、本発明は上記した実施形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載した範囲内において適宜変更が可能である。また、上記実施形態において、実施形態を構成する要素は、特に必須であると明示した場合および原理的に明らかに必須であると考えられる場合等を除き、必ずしも必須のものではないことは言うまでもない。また、上記実施形態において、実施形態の構成要素の個数、数値、量、範囲等の数値が言及されている場合、特に必須であると明示した場合および原理的に明らかに特定の数に限定される場合等を除き、その特定の数に限定されるものではない。

10

【0089】

例えば、上記第1実施形態では、可視光を検査光として用いたが、不可視光を検査光として用いてもよい。例えば、赤外光を検査光として用いてもよい。また、図3に示す検査工程と図7に示す検査工程の両方を行うことで、基板の状態をより良好に把握することができるが、これらの検査工程のうち一方のみを行ってもよい。

【0090】

また、上記第1実施形態では、高さ調整部11によって第1レンズ5、第2レンズ6とウェハ20との距離を調整したが、ステージ10の載置面をz方向に動かすことによって、この距離を複数通りに調整してもよい。例えば、ステッピングモータ等で構成されたりニアクチュエータによって、載置面をz方向に動かすことができる。このようにステージ10によって上記の距離を複数通りに調整する場合には、ステージ10は調整部に相当する。

20

【0091】

また、上記第1実施形態では、第1レンズ5、第2レンズ6の高さを合わせて5通りに調整したが、この高さを2～4通りに調整してもよいし、6通り以上に調整してもよい。すなわち、第2レンズ6の高さを1～3通りに調整してもよいし、5通り以上に調整してもよい。

30

【0092】

また、上記第1実施形態では、ウェハ20の検査対象となる場所によって第1レンズ5と第2レンズ6とを使い分けているが、いずれか一方のレンズでウェハ20の表面から裏面までを検査してもよい。例えば、第1レンズ5を用いてウェハ20の表面から裏面までを検査すると、反射光を鮮明に捕捉することのできる範囲が狭くなるが、複数の位置における検査結果を統合することで、欠陥の種類をある程度の精度で識別することができる。

【0093】

また、ステップS101、S103の結果に基づいて、異常のある半導体チップ30を除外し、他の半導体チップ30についてのみステップS106～S109を行ってもよいし、すべての半導体チップ30についてステップS106～S109を行ってもよい。すべての半導体チップ30についてステップS106等を行う場合には、反射率の上がり方から、基板31の異常がウェハ20に存在した結晶欠陥であるかダイシングによるダメージであるかを識別することができる。

40

【0094】

本開示に記載の制御部及びその手法は、コンピュータプログラムにより具体化された一つ乃至は複数の機能を実行するようにプログラムされたプロセッサ及びメモリを構成することによって提供された専用コンピュータにより、実現されてもよい。あるいは、本開示に記載の制御部及びその手法は、一つ以上の専用ハードウェア論理回路によってプロセッサを構成することによって提供された専用コンピュータにより、実現されてもよい。もしくは、本開示に記載の制御部及びその手法は、一つ乃至は複数の機能を実行するようにプロ

50

グラムされたプロセッサ及びメモリと一つ以上のハードウェア論理回路によって構成されたプロセッサとの組み合わせにより構成された一つ以上の専用コンピュータにより、実現されてもよい。また、コンピュータプログラムは、コンピュータにより実行されるインストラクションとして、コンピュータ読み取り可能な非遷移有形記録媒体に記憶されていてもよい。

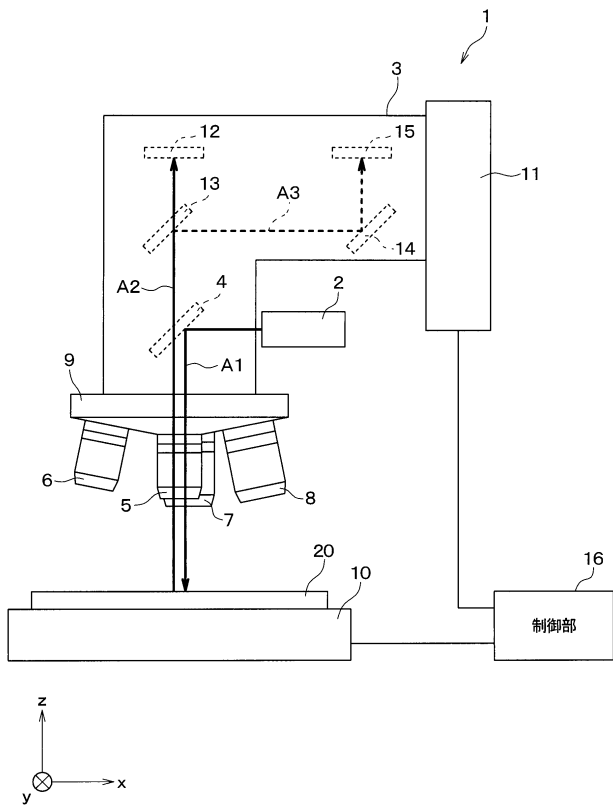
【符号の説明】

【 0 0 9 5 】

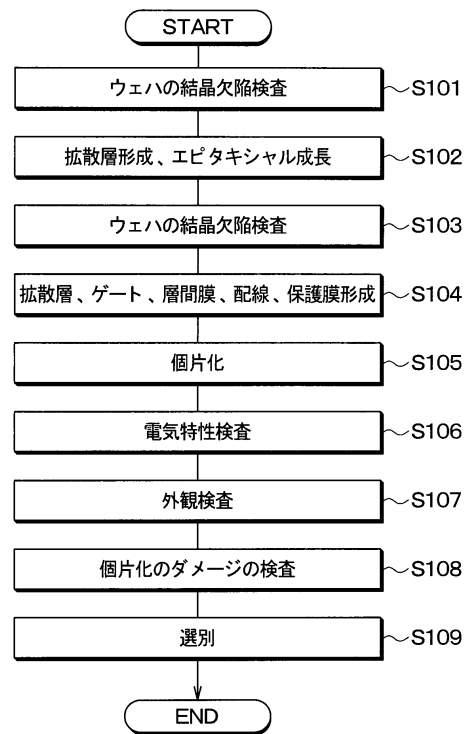
- 2 光源
- 5 第 1 レンズ
- 6 第 2 レンズ
- 1 0 ステージ
- 1 1 高さ調整部
- 1 2 第 1 検出部
- 1 6 制御部

【図面】

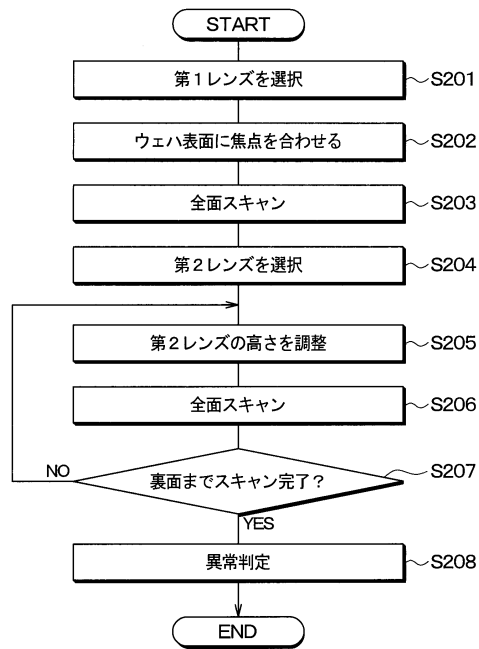
【図 1】



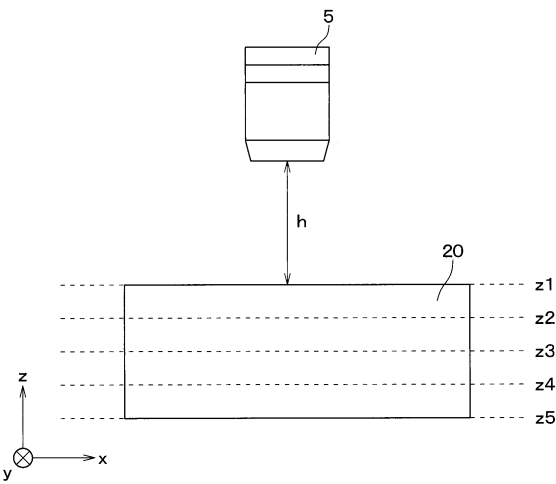
【図 2】



【 図 3 】



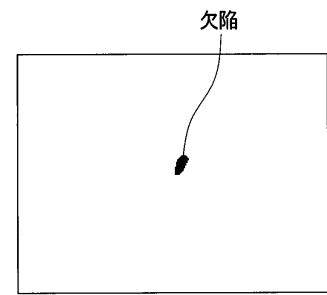
【 図 4 】



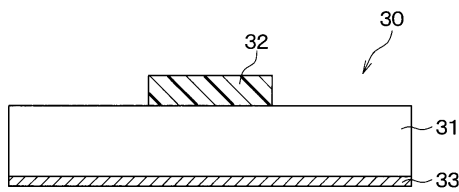
10

20

【 図 5 】



【 図 6 】

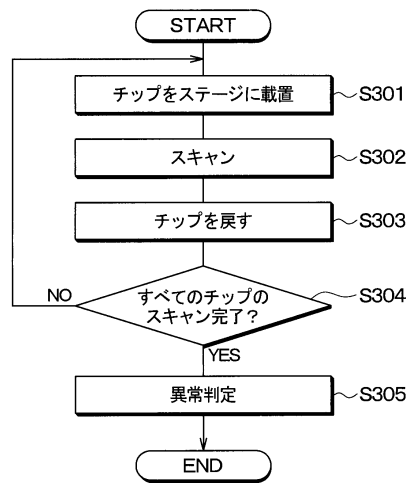


30

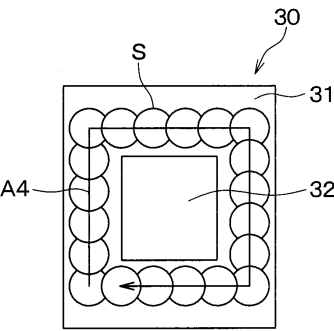
40

50

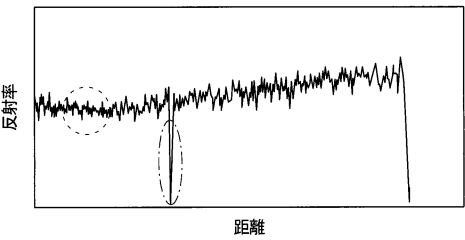
【 図 7 】



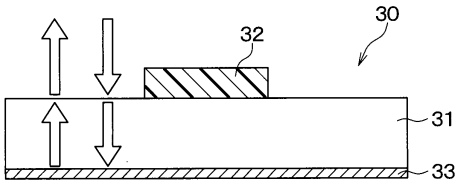
【 図 8 】



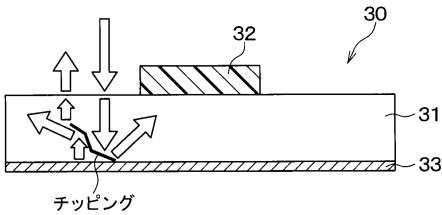
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 11 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

F ターム (参考) DJ04 DJ20 DJ21 DJ27 DJ38