

明 細 書

発明の名称：基板搬送ロボットシステム、および、基板検出方法

技術分野

[0001] この開示は、基板搬送ロボットシステム、および、基板検出方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、半導体ウェーハの変形を測定する測定デバイスが開示されている。特許第7169994号公報に開示されている測定デバイスは、半導体ウェーハにおいて反射された幾何学的な照明パターンが撮像された画像を分析することによって、半導体ウェーハの変形を測定する。特許第7169994号公報に記載の測定デバイスは、真空チャンバ内のターンテーブルに載置されて処理が行われている最中の半導体ウェーハを撮像する。真空チャンバにおける処理はターンテーブルを回転させながら行われるため、半導体ウェーハのサイズが大きい場合にも半導体ウェーハの全体分の反射像が撮像される。また、上記特許第7169994号公報には、真空チャンバの外部において、並進手段によって半導体ウェーハを直線的に移動させることによって、半導体ウェーハの全体分の反射像が撮像される例が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第7169994号公報

発明の概要

[0004] しかしながら、上記特許第7169994号公報のように、半導体ウェーハの変形などの基板の状態を検出するために、真空チャンバにおけるターンテーブルに載置された基板を撮像する場合には、ターンテーブルは回転方向の移動のみを行うため、撮像される基板の位置を調整することが困難である。また、真空チャンバの外部に配置された並進手段によって基板を直線的に移動させることによって基板の全体分の反射像を撮像する場合にも、基板が

直線的に移動されるのみであるため、撮像される基板の位置を調整することは困難である。撮像される基板の位置を調整することが困難である場合には、基板の状態をより精度よく検出することが困難である。このため、基板を撮像することによって基板の状態を検出する場合に、基板の位置を調整することによって、基板の状態をより精度よく検出することが望まれている。

[0005] この開示は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、この開示の1つの目的は、基板の状態をより精度よく検出することが可能な基板搬送ロボットシステム、および、基板検出方法を提供することである。

[0006] この開示の第1の局面による基板搬送ロボットシステムは、基板を搬送するロボットと、ロボットに保持されている基板の主表面に対して、所定の形状を有する検出光を照射する照射部と、基板を撮像することによって、基板の主表面において反射された検出光を撮像する撮像部と、撮像部により撮像された検出光の撮像画像に基づいて、基板の状態を検出する制御部と、を備える。

[0007] この開示の第1の局面による基板搬送ロボットシステムは、上記のように、ロボットに保持されている基板の主表面に対して、所定の形状を有する検出光を照射する。そして、撮像部により撮像された検出光の撮像画像に基づいて、基板の状態が検出される。これにより、基板を搬送するロボットによって撮像される基板が保持されているため、ロボットの動作によって基板の位置を容易に調整できる。そのため、ロボットの動作によって、基板の状態を検出するために適切な位置に基板を容易に配置できるので、基板の状態をより精度よく検出できる。

[0008] この開示の第2の局面による基板検出方法は、基板を搬送するロボットに保持されている基板を撮像することによって、基板の主表面において反射された所定の形状を有する検出光を撮像し、撮像された検出光の撮像画像に基づいて、基板の状態を検出する。

[0009] この開示の第2の局面による基板検出方法は、上記のように、ロボットに保持されている基板を撮像し、撮像された検出光の撮像画像に基づいて、基

板の状態を検出する。これにより、基板を搬送するロボットによって撮像される基板が保持されているため、ロボットの動作によって基板の位置を容易に調整できる。そのため、ロボットの動作によって、基板の状態を検出するために適切な位置に基板を容易に配置できるので、基板の状態をより精度よく検出することが可能な基板検出方法を提供できる。

[0010] 本開示によれば、基板の状態をより精度よく検出できる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]本開示の第1実施形態による基板搬送ロボットシステムが配置されている基板処理システムを示す天面図である。

[図2]基板の構成を説明するための斜視図である。

[図3]本開示の第1実施形態による基板搬送ロボットシステムの構成を示すブロック図である。

[図4]基板搬送ロボットシステムの構成を模式的に示した斜視図である。

[図5]撮像部により撮像された検出光の撮像画像の一例を示した図である。

[図6]複数の移動方向に沿った基板の移動による撮像画像の一例を示した図である。

[図7]学習済みモデルの学習を説明するための図である。

[図8]第1実施形態による基板検出方法を説明するためのフロー図である。

[図9]本開示の第2実施形態による基板搬送ロボットシステムの構成を模式的に示した斜視図である。

[図10]本開示の第3実施形態による基板搬送ロボットシステムの構成を模式的に示した斜視図である。

発明を実施するための形態

[0012] [第1実施形態]

以下、本開示を具体化した本開示の第1実施形態を図面に基づいて説明する。

[0013] 図1から図7までを参照して、第1実施形態による基板搬送ロボットシステム100について説明する。

[0014] (基板処理システム)

図1に示すように、基板搬送ロボットシステム100は、基板処理システム400に配置されている。基板処理システム400は、基板101に対して処理を行う処理装置401を備える。処理装置401は、ロボット402、ロードロック部403、複数の処理モジュール部404、および、搬送室405を備えている。ロボット402は、基板101を搬送する水平多関節ロボットである。ロードロック部403は、基板101の取入れ、および、取出しを行うための部屋である。すなわち、ロードロック部403は、処理装置401に基板101を受け渡すために基板101が載置される。基板処理システム400の処理装置401は、2つのロードロック部403を含む。ロードロック部403は、基板搬送ロボットシステム100に接続されている。処理モジュール部404では、基板101に対して、レジストの塗布や、エッチングなどの処理が行われる。搬送室405には、ロボット402が配置される。搬送室405において、ロボット402は、ロードロック部403と処理モジュール部404との間において基板101を搬送する。

[0015] 基板搬送ロボットシステム100は、基板101に対して処理が行われる基板処理システム400において、FOUP110 (Front Opening Unify Pod) と処理装置401との間における基板101の搬送を行う。基板搬送ロボットシステム100は、EFEM (Equipment Front End Module) である。FOUP110は、複数の基板101が収納される容器である。FOUP110では、複数の基板101が上下方向に並んで配置される。FOUP110は、基板収納容器の一例である。

[0016] 図2に示すように、基板101は、たとえば、円盤形状を有するシリコンウエハである。基板101は、鏡面の主表面101aを有する。また、基板101は、基板101の向きを示すノッチ101bを有する。ノッチ101bは、基板101における結晶方位の向きを示すために基板101外周縁部に配置されたV字形状の溝である。

[0017] (基板搬送ロボットシステム)

図3に示すように、基板搬送ロボットシステム100は、搬送室10、ロボット20、アライナ30、撮像部40、照射部50、および、制御部60を備えている。ロボット20は、水平多関節のロボットアーム21と、基板保持ハンド22とを含む。なお、アライナ30は、調整装置の一例である。

[0018] 図4に示すように、搬送室10は、直方体形状を有する筐体である。搬送室10は、Y1方向側の前面11、Y2方向側の背面12を有する。また、搬送室10は、Z1方向側である鉛直方向の上方側の天面13を有する。搬送室10内において、基板101の搬送が行われる。搬送室10は、ロボット20、アライナ30、撮像部40、照射部50、および、制御部60を内部に収容している。搬送室10のY1方向側の前面11には、FOUP110が取り付けられるロードポート部11aが水平方向に沿って並んで3つ配置されている。ロードポート部11aは、開閉機構を有する。ロードポート部11aは、取り付けられたFOUP110の扉部を開閉する。また、搬送室10のY2方向側の背面12には、2つのロードロック部403が接続されている。ロードロック部403と背面12との間にも、開閉機構が配置されている。なお、図4では、3つのロードポート部11aのうちのX1方向側の1つのロードポート部11aにFOUP110が取り付けられている状態を示している。

[0019] ロボット20は、FOUP110とロードロック部403との間における基板101の搬送が行われる搬送室10に配置されている。ロボット20は、搬送室10において基板101の搬送動作を行う。具体的には、ロボット20において、ロボットアーム21の先端に基板101を保持するエンドエフェクタである基板保持ハンド22が配置されている。ロボット20は、ロードポート部11aに取り付けられたFOUP110と、ロードロック部403との間における基板101の搬送動作を行う。ロボット20は、基板保持ハンド22において水平面に沿って基板101を保持した状態で、基板101を搬送する。基板保持ハンド22は、基板101を固定せずに保持する

パッシブタイプのハンドである。

[0020] アライナ30は、ロボット20によって搬送された基板101の位置合わせを行う。アライナ30は、基板101の向きを所定の方向に調整する。アライナ30は、搬送室10内において、左右方向であるX方向の一方側であるX2方向側に寄せて配置されている。アライナ30は、基板101が載置される基板載置部30aを有する。アライナ30は、基板載置部30aに載置された基板101を水平面に沿って回転させることによって、基板101の外周縁部のうちから基板101のノッチ101bを検出する。そして、アライナ30は、外周縁部のうちから検出されたノッチ101bの位置に基づいて、基板101を水平面に沿って回転させて基板101の主表面101aの周方向に沿う回転位置の位置合わせを行うことによって、基板101の向きを所定の方向に調整する。また、アライナ30は、基板101の中心位置を検出する。

[0021] 基板搬送ロボットシステム100では、FOUP110からロボット20により保持された処理前の基板101が、アライナ30に搬送される。そして、アライナ30により位置合わせされた基板101が、再度ロボット20によりロードロック部403に搬送される。また、処理装置401において処理が行われた後の基板101は、ロボット20により、ロードロック部403からFOUP110に搬送される。ロボット20による基板101の搬送動作は、FOUP110およびロードロック部403の各々に対して、基板101を取り出す搬出動作と、基板101を載置する搬入動作との両方を含む。

[0022] 撮像部40は、たとえば、2次元のカメラである。撮像部40は、たとえば、CCD (Charge Coupled Device) およびCMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) などの撮像素子を有する。撮像部40は、ロボット20に保持された状態の基板101に対向する位置に配置されている。撮像部40は、ロボット20に保持された状態の基板101を撮像する。第1実施形態

では、撮像部40は、搬送室10内において、ロボット20の上方に配置されている。撮像部40は、たとえば、搬送室10内において、搬送室10の天面13に配置されている。撮像部40は、FOUP110から取り出された基板101を撮像する位置に配置されている。撮像部40は、FOUP110が取り付けられる3つのロードポート部11aに対応するように、3つ配置されている。

[0023] 照射部50は、相対的に位置および角度の少なくとも一方が変更される基板101の主表面101aに対して検出光L1を照射する。第1実施形態では、照射部50は、ロボット20に保持されて所定の移動方向に沿って相対移動している基板101の主表面101aに対して、所定の形状を有する検出光L1を照射する。照射部50は、照射部50に対する基板101の相対的な位置の変更における移動方向に交差する方向に沿うライン状の検出光L1を照射する。照射部50は、たとえば、検出光L1として赤色のライン状の光を照射するLED (Light-Emitting Diode) を含む。なお、ここで言う「ライン状」の光とは、検出光L1が基板101の主表面101aなどの平面に照射された場合に、照射された平面において検出光L1がライン状に延びる形状となることを意味している。また、照射部50は、撮像部40による撮像が行われるタイミングにおいて、基板101に検出光L1を照射する。照射部50は、搬送室10内においてロボット20の上方に配置されている。照射部50は、たとえば、搬送室10内において、搬送室10の天面13に配置されている。照射部50は、撮像部40と同様に、FOUP110が取り付けられる3つのロードポート部11aに対応するように、3つ配置されている。

[0024] 図1に示すように、制御部60は、機械学習部61を含む。制御部60は、基板搬送ロボットシステム100の各部の動作を制御する。第1実施形態では、制御部60は、ロボット20の動作を制御するロボット制御部を兼ねる。すなわち、制御部60は、ロボットコントローラである。また、制御部60は、アライナ30の動作を制御する。また、制御部60は、撮像部40

および照射部50の動作を制御する。制御部60は、たとえば、CPU（Central Processing Unit）などの演算装置を含む。また、制御部60は、RAM（Random Access Memory）およびROM（Read Only Memory）などのメモリや、ハードディスクなどの記憶装置も含む。制御部60は、記憶装置に記憶されたプログラムおよびパラメータなどに基づいて、演算装置による制御処理を実行する。

[0025] （撮像画像の生成）

図5に示すように、撮像部40の撮像により撮像画像71が取得される。撮像部40により撮像された撮像画像71は、制御部60に送信される。撮像部40は、基板101を撮像することによって、基板101の主表面101aにおいて反射された検出光L1を撮像する。ロボット20は、撮像部40による検出光L1の撮像が行われる場合に、照射部50に対する基板101の位置を相対的に変更させる。具体的には、ロボット20は、撮像部40による検出光L1の撮像が行われる場合に、基板101を所定の移動方向に沿って移動させることによって、基板101を照射部50に対して相対移動させる。照射部50は、ロボット20の動作により相対移動している基板101の主表面101aに対して検出光L1を照射する。そして、撮像部40は、照射部50に対する基板101の相対的な位置の変更であるロボット20による基板101の相対移動に伴って、基板101の主表面101aにおいて反射された検出光L1を複数回に渡って撮像する。制御部60は、撮像部40による複数回の撮像により、反射された複数の検出光L1を撮像することによって、撮像画像71を生成する。詳細には、制御部60は、撮像部40による複数回の撮像により取得された複数の撮像画像70に基づいて、基板101の全体に渡って反射された検出光L1が合成されるように一の撮像画像71を生成する。

[0026] たとえば、ロボット20の動作によって、処理装置401による処理が行われる前の基板101が、FOUP110から取り出された後、図5の点線

の矢印に示すように、Y2方向に沿って移動する。照射部50は、FOUP110から取り出されたタイミングにおいてロボット20により移動している基板101の主表面101aに対して、移動方向であるY2方向に直交するX方向に沿って延びるライン状の検出光L1を複数回に渡って連続的に照射する。撮像部40は、ロボット20によるY2方向への基板101の移動に伴って、複数回に渡って連続的に基板101の主表面101aにおいて反射された検出光L1を撮像する。制御部60は、一の移動方向であるY2方向の移動において撮像部40により連続的に撮像された撮像画像70を合成することによって、一の撮像画像71を生成する。たとえば、制御部60は、一の撮像画像71を生成するために、一定の速度によってロボット20により基板101を移動させるとともに、一定の時間間隔ごとに撮像部40により連続的に複数回に渡って撮像された撮像画像70を合成する。撮像画像70の合成は、基板101の移動に対応するように、互いにY方向にずらされた状態で複数の撮像画像70を重ね合わせるように実行される。すなわち、一の撮像画像71は、基板101の移動方向に沿って、基板101の主表面101aの全体に渡って複数の検出光L1が反射された画像となるように生成される。搬送室10の内部は、照射部50以外の光源が配置されていないため比較的暗い状態となっている。したがって、複数の撮像画像70の各々は、基板101の主表面101aにおいて反射された検出光L1のみが抽出されたような状態の画像となるように撮像される。言い換えれば、撮像画像71は、基板101の形状に対応するように反射された検出光L1が抽出されて撮像された画像となる。

[0027] また、図6に示すように、制御部60は、一の撮像画像71を生成する場合とは異なる移動方向に沿って基板101を移動させながら撮像部40により基板101を撮像することによって、撮像画像72を生成する。すなわち、第1実施形態では、ロボット20は、撮像部40による検出光L1の撮像が行われる場合に、互いに異なる複数の移動方向に沿って基板101を移動させる。そして、制御部60は、ロボット20の複数の移動方向に沿った基

板 1 0 1 の移動の各々において、撮像部 4 0 により検出光 L 1 が撮像された撮像画像 7 1 および撮像画像 7 2 を生成する。たとえば、制御部 6 0 は、撮像画像 7 1 を生成するための基板 1 0 1 の第 1 の移動方向である Y 2 方向と、撮像画像 7 2 を生成するための Y 2 方向とは異なる方向である第 2 の移動方向との 2 つの移動方向に沿って基板 1 0 1 を移動させることによって、2 つの撮像画像 7 1 および撮像画像 7 2 を生成する。なお、撮像画像 7 2 は、撮像画像 7 1 と同様に、連続的に撮像された複数の撮像画像 7 0 を合成することによって生成される。

[0028] (基板の状態の検出の制御処理)

図 7 に示すように、第 1 実施形態では、制御部 6 0 は、機械学習により生成された学習済みモデル 6 2 を用いることによって、搬送室 1 0 内において撮像部 4 0 により撮像された検出光 L 1 の撮像画像 7 1 および撮像画像 7 2 に基づいて、基板 1 0 1 の状態を検出する。制御部 6 0 は、撮像画像 7 1 および撮像画像 7 2 に基づいて、基板 1 0 1 の位置、および、基板 1 0 1 の向きを含む基板 1 0 1 の状態を検出する。また、制御部 6 0 により検出される基板 1 0 1 の状態は、基板 1 0 1 の反り、変形、欠け、割れ、および、傷などの基板 1 0 1 の異常を含む。学習済みモデル 6 2 は、撮像画像 7 1 および撮像画像 7 2 における検出光 L 1 の反射像に基づいて基板 1 0 1 の状態を識別した識別結果 7 5 を出力するように機械学習により生成されている。学習済みモデル 6 2 は、制御部 6 0 の機械学習部 6 1 により予め生成されるとともに、制御部 6 0 の記憶装置に記憶されている。

[0029] 〈学習済みモデルの生成〉

制御部 6 0 は、機械学習部 6 1 において、入力された学習用データである教師画像 8 0 に基づいて、機械学習により、学習済みモデル 6 2 を生成する。学習済みモデル 6 2 は、教師画像 8 0 を入力として出力教師データ 8 5 を出力としたデータセットを用いた機械学習によって生成される。たとえば、学習済みモデル 6 2 は、撮像画像 7 1 および撮像画像 7 2 の各々を入力として、基板 1 0 1 の位置を表す座標、および、ノッチ 1 0 1 b の位置により示

される基板101の向きを識別結果75として出力するように学習されている。また、基板101に反りなどの異常が生じている場合には、撮像画像71および撮像画像72の各々における検出光L1の形状が、正常である場合とは異なる形状となる。第1実施形態では、学習済みモデル62は、撮像画像71および撮像画像72における検出光L1の反射像により、基板101の異常が識別されるように機械学習により生成される。学習済みモデル62は、撮像画像71および撮像画像72の各々を入力として、基板101に異常が含まれるか否かの確からしさを表す尤度を含む識別結果75を出力するように学習されている。

[0030] 教師画像80は、位置および向き、または、異常の有無などの基板101の状態が異なる複数種類の基板101の各々の主表面101aにおいて反射された検出光L1を撮像した撮像画像71および72を含む。すなわち、異常が生じておらず正常であると判明している基板101と、異常が生じていると判明している基板101とを含む複数種類の基板101を、複数種類の位置、および、向きに配置した状態で撮像された撮像画像71および72が複数種類の教師画像80として取得される。また、複数種類の教師画像80の各々における基板101の状態を示す出力教師データ85が取得されるとともに、複数種類の教師画像80の各々と、対応する出力教師データ85とが、関連付けられた状態で制御部60の記憶装置に記憶される。出力教師データ85は、基板101の位置を表す情報、基板101の向きを表す情報、および、基板101に異常が生じているか否かを示す情報を、基板101の状態を示す情報として含んでいる。

[0031] そして、機械学習部61は、複数の教師画像80を入力用の教師データとし、かつ、複数の教師画像80と関連付けられた複数の出力教師データ85を出力用の教師データとして、学習済みモデル62を生成する機械学習を行う。機械学習部61は、深層学習を用いた機械学習によって学習済みモデル62を生成する。機械学習部61は、たとえば、全層畳み込みネットワーク(Fully Convolution Network: FCN)をベー

スとした機械学習によって学習済みモデル62を生成する。

[0032] 制御部60は、上記のように機械学習により生成された学習済みモデル62を用いることによって、撮像画像71および撮像画像72の各々から、識別結果75を取得する。制御部60は、たとえば、撮像画像71に基づいて取得された識別結果75と、撮像画像72に基づいて取得された識別結果75との平均を算出することによって、基板101の状態を検出する。

[0033] 〈位置ずれの補正〉

第1実施形態では、制御部60は、検出された基板101の状態に基づいて、基板保持ハンド22に対する基板101の位置のずれを検出する。たとえば、撮像画像71および72の各々における検出光L1の撮像は、ロボット20の制御量に基づいて、基板保持ハンド22が所定の位置となるタイミングにおいて行われる。したがって、撮像画像71および72の各々に基づいて基板101の状態として基板101の位置を示す情報を検出することによって、ロボット20の基板保持ハンド22の位置に対して、基板101が保持されている位置の位置ずれの大きさおよび方向が検出される。制御部60は、撮像画像71に基づいて検出された位置ずれの大きさおよび方向と撮像画像72に基づいて検出された位置ずれの大きさおよび方向との平均を、検出された位置ずれの大きさおよび方向として取得するとともに、取得された位置ずれの大きさおよび方向に基づいて、基板101の位置ずれを補正するように、ロボット20の搬送動作を補正する。

[0034] 一例として、F O U P 1 1 0から取り出された基板101を撮像することによって、撮像画像71および72を取得するとともに、撮像画像71および72に基づいて、基板保持ハンド22に対して基板101がX方向に+2cm、Y方向に-1cmだけ位置がずれていることが検出された場合には、制御部60は、アライナ30の基板載置部30aの位置として設定されている教示位置から、X方向に-2cm、Y方向に+1cmだけずらした位置に基板101が載置されるように、基板101の搬送動作を補正する。具体的には、制御部60は、ロボットアーム21および基板保持ハンド22を駆動

させる駆動源となるサーボモータ等の駆動部に出力される駆動信号を補正することによって、ロボット２０の搬送動作を補正する。

[0035] 〈アライナの補助〉

また、第１実施形態では、制御部６０は、撮像画像７１および撮像画像７２に基づいて検出された基板１０１の状態を用いて、アライナ３０の動作を制御する。具体的には、制御部６０は、検出された基板１０１の状態に基づいて、基板保持ハンド２２に保持されている基板１０１の向きを検出する。制御部６０は、撮像画像７１および７２の各々に基づいて検出された基板１０１の状態として取得された学習済みモデル６２からの識別結果７５によって、基板１０１におけるノッチ１０１ｂを検出する。たとえば、制御部６０は、撮像画像７１に基づいて検出されたノッチ１０１ｂの位置と、撮像画像７２に基づいて検出されたノッチ１０１ｂの位置との平均の位置を、検出されたノッチ１０１ｂの位置として取得する。そして、制御部６０は、アライナ３０により基板１０１の向きを調整する動作を行う。制御部６０は、撮像画像７１および７２を用いて検出された基板１０１のノッチ１０１ｂの位置に基づいて、基板１０１の外周縁部の全周ではなく、基板１０１の外周縁部のうちの検出されたノッチ１０１ｂの位置を含む一部を検出対象の範囲とするように、基板１０１を水平面に沿って回転させる。すなわち、制御部６０は、撮像画像７１および７２に基づいて、基板１０１の状態を検出することによって基板１０１の向きを大まかに検出した後に、アライナ３０によって、基板１０１の向きを詳細に検出する。言い換えれば、制御部６０は、アライナ３０の動作を補助するように、撮像画像７１および７２に基づいて、基板１０１の状態を予め検出する。

[0036] 〈基板の異常の検出〉

また、第１実施形態では、制御部６０は、ロボット２０の搬送動作において、ＦＯＵＰ１１０から基板１０１が取り出されたタイミングにおいて撮像された検出光Ｌ１の撮像画像７１および７２に基づいて、ＦＯＵＰ１１０から取り出された基板１０１の異常を検出する。制御部６０は、学習済みモデ

ル62による推論結果として出力された識別結果75に含まれる基板101に異常が含まれるか否かの確からしさを示す尤度が、所定の閾値よりも大きい場合に、基板101において異常が検出されたと判定する。たとえば、識別結果75に含まれる尤度が0から1までの値である場合に、0.8を所定の閾値として、基板101の異常の検出が判定される。たとえば、制御部60は、撮像画像71に基づいて取得された識別結果75に含まれる尤度と、撮像画像72に基づいて取得された識別結果75に含まれる尤度との平均値に基づいて、基板101における異常の検出を判定する。

[0037] 制御部60は、基板101の異常が検出された場合には、基板101の異常が検出されたことを示す異常検出情報を外部に出力する。たとえば、制御部60は、基板処理システム400の全体の制御を行う上位の制御装置に対して、異常検出情報を出力する。一例として、制御部60は、基板101の異常が検出された場合に、上位の制御装置からの信号に基づいて、異常が検出された基板101を、ロボット20によりFOUP110に再度収納させる。制御部60は、上位の制御装置から基板101をFOUP110に再度収納することを指示する信号が取得されない場合には、基板101の搬送動作を停止して、処理を待機する。なお、異常検出情報が取得されたことを示す情報を表示装置に表示することによって、基板101の異常が検出されたことが報知されるようにしてもよい。たとえば、FOUP110に収納されている複数の基板101の各々を、順次、処理装置401に搬送することによって、処理装置401において基板101に対する処理を行う場合に、制御部60は、ロボット20の搬送動作を制御することによって、基板101を1つずつ、アライナ30を経由しながら、ロードロック部403に搬送する。制御部60は、複数の基板101の各々の搬送において、撮像画像71および72を取得するとともに、予め生成されて記憶されている学習済みモデル62を用いて、取得された撮像画像71および72に基づいて基板101の異常の検出を行う。複数の基板101のうちの一の基板101において異常が検出された場合には、制御部60は、異常検出情報を出力するとともに

に、上位の制御装置からの信号に基づいて、異常が検出された基板１０１をＦＯＵＰ１１０の元の位置に戻すように、基板１０１を再度収納する。そして、制御部６０は、異常が検出された基板１０１の次の基板１０１を、同様に、異常の検出を行いながら、ロードロック部４０３に搬送する。

[0038] (基板検出方法)

次に、図８を参照して、第１実施形態の基板搬送ロボットシステム１００による基板検出方法の制御処理について説明する。第１実施形態の基板検出方法の制御処理は、基板搬送ロボットシステム１００の制御部６０により実行される。

[0039] まず、ステップＳ１において、学習済みモデル６２が生成される。具体的には、教師画像８０と出力教師データ８５とが取得される。そして、教師画像８０および出力教師データ８５をデータセットとして、撮像画像７１および７２に基づいて基板１０１の状態が検出されるように、機械学習により学習済みモデル６２が生成される。生成された学習済みモデル６２は、制御部６０の記憶装置に記憶される。

[0040] 次に、ステップＳ２において、基板１０１の搬送動作が開始される。具体的には、ＦＯＵＰ１１０に配置されている基板１０１がロボット２０の基板保持ハンド２２に保持されるように、ロボット２０の動作が制御される。

[0041] 次に、ステップＳ３において、ＦＯＵＰ１１０から基板１０１が取り出される。基板保持ハンド２２に基板１０１が保持された状態で、ＦＯＵＰ１１０から処理が行われる前の一の基板１０１が搬送室１０内に搬送される。

[0042] 次に、ステップＳ４において、撮像部４０によりロボット２０に保持されて所定の移動方向に沿って相対移動している基板１０１が撮像されることによって、基板１０１の主表面１０１ａにおいて反射された検出光Ｌ１が撮像された撮像画像７１および７２が取得される。具体的には、照射部５０により基板１０１の主表面１０１ａに対して検出光Ｌ１が照射されるとともに、撮像部４０により主表面１０１ａにおいて反射された検出光Ｌ１が撮像されることによって、検出光Ｌ１の撮像画像７１および７２の各々が取得される。

。

[0043] 次に、ステップS5において、機械学習により生成された学習済みモデル62を用いることによって、撮像された検出光L1の撮像画像71および72の各々に基づいて基板101の状態が検出される。たとえば、基板101の基板保持ハンド22に対する位置、基板101の向き、および、基板101において異常が生じているか否かを含む基板101の状態が検出される。

[0044] そして、ステップS6において、検出された基板101の状態に基づいて基板101において異常が検出されたか否かが判断される。基板101に異常が検出されたと判断された場合は、ステップS7に進む。基板101に異常が検出されたと判断されない場合には、ステップS8に進む。

[0045] ステップS7では、基板101の異常が検出されたとして、基板101の異常が検出されたことを示す異常検出情報が出力される。たとえば、異常が検出された基板101を再度FOUP110に収納することを指示する信号が取得された場合には、処理装置401による処理を行わずにFOUP110に再度収納するようにロボット20の動作が制御される。そして、基板検出方法の制御処理が終了される。

[0046] ステップS8では、基板保持ハンド22における基板101の位置ずれが補正される。具体的には、基板101に異常が検出されなかったとして、基板101の搬送動作が継続され、ステップS5において基板101の状態として検出された基板101の位置に基づいて、基板保持ハンド22に対する基板101の位置のずれが検出される。そして、検出された基板101の位置のずれに基づいて、ロボット20によるアライナ30に対する基板101の搬送動作が補正される。

[0047] そして、ステップS9において、アライナ30による基板101の向きが所定の方向に調整される。具体的には、ステップS5において検出された基板101の状態に基づいて、基板101の外周縁部におけるノッチ101bの位置が検出される。そして、検出されたノッチ101bの位置に基づいて、アライナ30における基板101の向きの検出における検出範囲が設定さ

れる。そして、設定された検出範囲のうちから、アライナ30により撮像画像71および72を用いずにノッチ101bが検出されるとともに、基板101が所定の方向に向くように基板101の回転位置が調整される。

[0048] そして、ステップS10において、ロボット20により、アライナ30から基板101が、処理装置401による処理が行われるためにロードロック部403に搬送される。そして、基板検出方法の制御処理が終了される。

[0049] なお、複数の基板101に対して連続的に基板検出方法の制御処理が実行される場合には、ステップS1による学習済みモデル62の生成が一度のみ行われるとともに、ステップS2からステップS10までの制御処理が、1枚の基板101ごとに繰り返し実行される。また、ステップS6～S8における制御処理は、いずれの制御を先に行うようにしてもよい。

[0050] [第1実施形態の効果]

基板搬送ロボットシステム100は、上記のように、ロボット20に保持されている基板101の主表面101aに対して、所定の形状を有する検出光L1を照射する。そして、撮像部40により撮像された検出光L1の撮像画像71および72に基づいて、基板101の状態が検出される。これにより、基板101を搬送するロボット20によって撮像される基板101が保持されているため、ロボット20の動作によって基板101の位置を容易に調整できる。そのため、ロボット20の動作によって、基板101の状態を検出するために適切な位置に基板101を容易に配置できるので、基板101の状態をより精度よく検出できる。

[0051] また、第1実施形態では、ロボット20によって基板101の搬送動作が行われている最中に基板101の状態を検出するためにロボット20により保持された状態の基板101が撮像されるため、基板101を撮像するためにロボット20とは別個に配置された撮影専用の載置部に基板101を載置する場合、または、ロボット20とは別個に配置された並進手段などの移動機構により基板101を移動する場合とは異なり、基板101の状態をより精度よく検出するために装置構成が複雑化することを抑制できる。また、基

板 1 0 1 の搬送動作が行われている最中に基板 1 0 1 の状態を検出するための基板 1 0 1 の撮像が行われるため、基板 1 0 1 の搬送とは別個に基板 1 0 1 の状態の検出を行う場合に比べて作業負担を軽減できる。

[0052] また、第 1 実施形態では、照射部 5 0 は、相対的に位置および角度の少なくとも一方が変更される基板 1 0 1 の主表面 1 0 1 a に対して検出光 L 1 を照射する。撮像部 4 0 は、照射部 5 0 に対する基板 1 0 1 の相対的な位置および角度の少なくとも一方の変更に伴って、基板 1 0 1 の主表面 1 0 1 a において反射された検出光 L 1 を複数回に渡って撮像する。制御部 6 0 は、撮像部 4 0 による複数回の撮像により、反射された複数の検出光 L 1 を撮像することによって生成された一の撮像画像 7 1 および一の撮像画像 7 2 の各々に基づいて、基板 1 0 1 の状態を検出する。これにより、基板 1 0 1 の主表面 1 0 1 a の一部のみに検出光 L 1 が照射される場合にも、基板 1 0 1 の相対的な位置および角度の少なくとも一方の変更に伴って複数回の撮像を行うことによって、基板 1 0 1 の主表面 1 0 1 a の全体に渡って反射された検出光 L 1 の反射像を撮像できる。そのため、基板 1 0 1 の主表面 1 0 1 a の一部のみに検出光 L 1 が照射される場合にも、基板 1 0 1 の全体の状態を精度よく検出できる。

[0053] また、第 1 実施形態では、ロボット 2 0 は、撮像部 4 0 による検出光 L 1 の撮像が行われる場合に、照射部 5 0 に対する基板 1 0 1 の位置および角度の少なくとも一方を相対的に変更させる。これにより、ロボット 2 0 によって基板 1 0 1 の位置および角度の少なくとも一方を相対的に変更することにより、撮像部 4 0 に対する基板 1 0 1 の位置および角度の少なくとも一方を精度よく調整しながら撮像部 4 0 により基板 1 0 1 を撮像できる。その結果、基板 1 0 1 の状態をより一層精度よく検出できる。

[0054] また、第 1 実施形態では、照射部 5 0 は、照射部 5 0 に対する基板 1 0 1 の相対的な位置の変更における移動方向に交差する方向に沿うライン状の検出光 L 1 を照射する。これにより、基板 1 0 1 の主表面 1 0 1 a においてライン状の検出光 L 1 を反射させることができるため、基板 1 0 1 の一端から

他端までの連続した領域における基板 101 の状態をライン状の検出光 L1 の反射像に基づいて取得できる。そのため、基板 101 の主表面 101a において反射した検出光 L1 を撮像した撮像画像 71 および 72 に基づいて、基板 101 の状態をより一層精度よく検出できる。

[0055] また、第 1 実施形態では、ロボット 20 は、撮像部 40 による検出光 L1 の撮像が行われる場合に、互いに異なる複数の移動方向に沿って基板 101 を移動させる。制御部 60 は、ロボット 20 の複数の移動方向に沿った基板 101 の移動の各々における撮像画像 71 および 72 に基づいて、基板 101 の状態を検出する。これにより、互いに異なる複数の移動方向の各々に沿った基板 101 の移動ごとに撮像画像 71 および 72 を取得することによって、撮像の際における基板 101 の移動方向が互いに異なる複数の撮像画像 71 および 72 を取得できる。そのため、基板 101 の移動方向が互いに異なる複数種類の撮像画像 71 および 72 の各々に基づいて基板 101 の状態を検出できるので、基板 101 の状態をより一層精度よく検出できる。

[0056] また、第 1 実施形態では、制御部 60 は、撮像画像 71 および 72 に基づいて、基板 101 の形状、位置、向き、および、基板 101 に生じている異常の少なくとも 1 つを含む基板 101 の状態を検出する。これにより、撮像画像 71 および 72 に基づいて、基板 101 の形状、位置、向き、および、基板 101 に生じている異常の少なくとも 1 つを含む基板 101 の状態をより精度よく検出できる。

[0057] また、第 1 実施形態では、制御部 60 は、撮像画像 71 および撮像画像 72 の各々に基づいて基板 101 の状態を検出することによって、基板 101 の向きを示すノッチ 101b またはオリエンテーションフラットを検出する。これにより、撮像画像 71 および 72 の各々に基づいてノッチ 101b またはオリエンテーションフラットを検出できるので、撮像画像 71 および 72 の各々に基づいて基板 101 の向きを容易に検出できる。

[0058] また、第 1 実施形態では、制御部 60 は、機械学習により生成された学習済みモデル 62 を用いて、撮像部 40 による撮像画像 71 および 72 に基づ

いて基板１０１の状態を検出する。ここで、機械学習では、複数種類の基板１０１の状態を学習することによって、学習した基板１０１の状態とは異なる形態の基板１０１の状態をも検出するように学習済みモデル６２を学習できる。たとえば、機械学習による学習済みモデル６２を用いて基板１０１の反りの異常を検出する場合には、複数の位置および複数の方向の反りを異常として学習した学習済みモデル６２を用いることによって、学習された反りとは異なる位置、または、方向の反りをも精度よく検出できる。そのため、機械学習により生成された学習済みモデル６２を用いて撮像画像７１および７２の各々に基づいて基板１０１の状態を検出することによって、複数種類の基板１０１の状態をより精度よく検出できる。

[0059] また、第１実施形態では、ロボット２０は、基板１０１が収納される基板収納容器としてのＦＯＵＰ１１０に対する基板１０１の搬送が行われる搬送室１０に配置されている。照射部５０は、搬送室１０内において、ロボット２０の上方に配置され、基板１０１の主表面１０１ａに対して検出光Ｌ１を照射する。撮像部４０は、搬送室１０内において、ロボット２０の上方に配置され、基板１０１の主表面１０１ａにおいて反射された検出光Ｌ１を撮像する。制御部６０は、搬送室１０内において撮像された撮像画像７１および７２に基づいて、基板１０１の状態を検出する。これにより、ロボット２０によってＦＯＵＰ１１０に対する基板１０１の搬送動作を行いながら、撮像画像７１および７２に基づいて基板１０１の状態を検出できる。そのため、ＦＯＵＰ１１０に対する基板１０１の搬送と、基板１０１の状態の検出とを別個に行う場合に比べて、基板１０１の状態を検出するために作業時間が増大することを抑制できる。

[0060] また、第１実施形態では、基板搬送ロボットシステム１００は、基板１０１の向きを所定の方向に調整する調整装置としてのアライナ３０を備えている。制御部６０は、撮像画像７１および７２に基づいて検出された基板１０１の状態を用いて、アライナ３０の動作を制御する。これにより、撮像画像７１および７２に基づいて基板１０１の状態を予め検出することができるの

で、基板１０１のおおよその向きを予め検出した状態でアライナ３０による基板１０１の向きの調整を行うことができる。そのため、アライナ３０による基板１０１の向きの調整に要する時間を短縮できる。

[0061] また、第１実施形態では、ロボット２０は、基板１０１を保持する基板保持ハンド２２を含む。制御部６０は、ロボット２０の搬送動作を制御するロボット制御部を兼ねている。制御部６０は、検出された基板１０１の状態に基づいて、基板保持ハンド２２に対する基板１０１の位置および向きの少なくとも一方のずれを検出するとともに、ロボット２０の搬送動作において、検出された基板１０１の位置および向きの少なくとも一方のずれを補正する。これにより、撮像画像７１および７２の各々に基づいて基板１０１の状態を検出することによって、ロボット２０の搬送動作を補正できるので、ロボット２０による搬送動作をより精度よく実行できる。

[0062] [第２実施形態]

次に、図９を参照して、第２実施形態による基板搬送ロボットシステム２００の構成について説明する。第２実施形態では、基板搬送ロボットシステム２００は、１つの検出光Ｌ１を照射する照射部５０を備えた第１実施形態の基板搬送ロボットシステム１００とは異なり、２つの検出光Ｌ１１および検出光Ｌ１２を照射する照射部２５０を備えている。なお、上記第１実施形態と同様の構成については、同じ符号を付して説明を省略する。

[0063] 図９に示すように、第２実施形態による基板搬送ロボットシステム２００は、照射部２５０と、制御部２６０とを備えている。照射部２５０は、基板１０１の主表面１０１ａに対して、互いに異なるライン状の検出光Ｌ１１および検出光Ｌ１２を照射する。照射部２５０は、たとえば、互いに平行な方向に沿って延びるとともに、色および太さなどの形状が共通の２つの検出光Ｌ１１および検出光Ｌ１２を、基板１０１の主表面１０１ａに対して照射する。なお、検出光Ｌ１１および検出光Ｌ１２は、それぞれ、「第１検出光」および「第２検出光」の一例である。

[0064] 撮像部４０は、第１実施形態における検出光Ｌ１の撮像と同様に、ロボッ

ト 20 による基板 101 の移動に伴って、基板 101 の主表面 101 a において反射された検出光 L 11 および検出光 L 12 を複数回に渡って撮像する。制御部 260 は、撮像部 40 による複数回の撮像により、反射された複数の検出光 L 11 と、反射された複数の検出光 L 12 とを撮像することによって、第 1 実施形態の撮像画像 71 および撮像画像 72 と同様に、一の撮像画像を取得する。すなわち、第 2 実施形態における撮像画像には、検出光 L 11 と検出光 L 12 との両方が含まれる。そして、制御部 260 は、第 1 実施形態の撮像画像 71 および撮像画像 72 と同様に、取得された撮像画像に基づいて、基板 101 の状態を検出する。

[0065] たとえば、第 2 実施形態では、制御部 260 は、撮像部 40 による撮像が行われる場合におけるロボット 20 の動作速度を、第 1 実施形態におけるロボット 20 の動作速度の 2 倍の速度とする。制御部 260 は、一の撮像画像において、検出光 L 11 と検出光 L 12 との両方を撮像する。すなわち、制御部 260 は、ロボット 20 の動作速度を 2 倍にした場合にも、検出光 L 11 および検出光 L 12 との両方を一の基板 101 の主表面 101 a に対して照射するとともに、一の撮像部 40 により反射された検出光 L 11 および検出光 L 12 の両方を撮像することによって、一の撮像画像に含まれる検出光 L 11 および検出光 L 12 の合計の数を、第 1 実施形態の検出光 L 1 と同等の数にする。第 2 実施形態のその他の構成は、第 1 実施形態と同様である。

[0066] 〔第 2 実施形態の効果〕

第 2 実施形態による基板搬送ロボットシステム 200 では、上記のように、照射部 250 は、互いに異なるライン状の第 1 検出光としての検出光 L 11 と第 2 検出光としての検出光 L 12 とを含む検出光を照射する。制御部 260 は、撮像部 40 による複数回の撮像により生成された検出光 L 11 および検出光 L 12 を含む一の撮像画像に基づいて、基板 101 の状態を検出する。これにより、1 回の撮像によって、基板 101 の主表面 101 a において反射された検出光 L 11 および検出光 L 12 の 2 つのライン状の検出光を撮像できるので、1 つのライン状の検出光を反射させる場合に比べて、基板

101の主表面101aの全体に渡って反射されたライン状の検出光L11およびL12を撮像するための撮像回数を少なくすることができる。そのため、基板101の状態を検出するために要する時間を短縮できる。なお、第2実施形態によるその他の効果は、第1実施形態と同様である。

[0067] 〔第3実施形態〕

次に、図10を参照して、第3実施形態による基板搬送ロボットシステム300の構成について説明する。第3実施形態による基板搬送ロボットシステム300では、ロボット320が、保持した基板101を、水平面に対する角度を変更するように移動させる。なお、上記第1実施形態と同様の構成については、同じ符号を付して説明を省略する。

[0068] 図10に示すように、第3実施形態による基板搬送ロボットシステム300は、ロボット320と、照射部350と、制御部360とを備えている。ロボット320は、ロボットアーム321と、基板保持ハンド322とを含む。照射部350は、YZ平面に沿うライン状の検出光L21を基板101に対して照射する。すなわち、照射部350は、基板101の主表面101aにおいてY方向に沿って延びるライン状の検出光L21を照射する。第3実施形態では、照射部350は、相対的に角度が変更される基板101の主表面101aに対して検出光L21を照射する。ロボット320は、撮像部40による検出光L21の撮像が行われる場合に、照射部350に対する基板101の角度を相対的に変更させる。ロボット320は、基板保持ハンド322の基端から先端に向かう方向を回転軸線として、基板保持ハンド322を θ 方向に沿って回転させる回転駆動機構を有する。たとえば、水平多関節のロボットアーム321の先端において、エンドエフェクタである基板保持ハンド322を回転させるサーボモータなどの回転駆動機構が配置されている。照射部350は、照射部350に対する基板101の相対的な角度の変更における回転動作の回転軸線方向に沿うライン状の検出光L21を照射する。「回転軸線方向に沿う」とは、回転軸線に平行な方向と、回転軸線に平行な方向から傾いた方向とを含む。言い換えれば、照射部350は、基板

保持ハンド322の回転軸線と直交しない方向に延びるライン状の検出光L21を照射する。具体的には、検出光L21は、基板101の主表面101aにおいて基板保持ハンド322の回転移動における回転軸線と平行な方向に延びる。第3実施形態では、第1実施形態と同様に、基板101の主表面101aにおいて反射された検出光L21の撮像画像に基づいて、基板101の状態が検出される。ロボット320は、撮像部40による検出光L21の撮像が行われる場合に、基板保持ハンド322に保持している基板101の水平面に対する角度を変更するように、基板101を所定の移動方向に沿って移動させる。すなわち、第3実施形態では、 θ 方向が所定の移動方向の一例である。

[0069] 制御部360は、基板101の状態を検出するために、ロボット320により、基板101を撮像部40に撮像される所定の位置まで搬送する。そして、制御部360は、基板101のXY平面内における位置を変更せず、 θ 方向に沿って基板101を水平面に対する角度を変更するように傾けることによって、基板101を回転移動させる。一例として、制御部360は、基板101の主表面101aが水平面に沿う状態を基準として、 -5 度から $+5$ 度までの範囲において、基板101を θ 方向に沿って回転移動させる。撮像部40は、照射部350に対する基板101の相対的な角度の変更である θ 方向に沿う基板101の移動に伴って、基板101の主表面101aにおいて反射された検出光L21を複数回に渡って撮像する。制御部360は、第1実施形態と同様に、撮像部40による複数回の撮像により、反射された複数の検出光L21を撮像することによって生成された一の撮像画像に基づいて、基板101の状態を検出する。検出光L21の撮像画像に基づく基板101の状態の検出は、第1実施形態における撮像画像71および72に基づく基板101の状態の検出と同様である。第3実施形態のその他の構成は、第1実施形態と同様である。たとえば、制御部360は、基板保持ハンド322の向きを変更して回転軸線の向きを変更させることによって、複数の撮像画像を生成する。そして、回転軸線の向きが異なる複数の撮像画像に

基づいて、基板１０１の状態を検出する。

[0070] 〔第３実施形態の効果〕

第３実施形態では、上記のように、照射部３５０は、照射部３５０に対する基板１０１の相対的な角度の変更における回転動作の回転軸線方向に沿うライン状の検出光Ｌ２１を照射する。これにより、基板１０１の主表面１０１ａにおいてライン状の検出光Ｌ２１を反射させることができるため、基板１０１の一端から他端までの連続した領域における基板１０１の状態をライン状の検出光Ｌ２１の反射像に基づいて取得できる。そのため、基板１０１の主表面１０１ａにおいて反射した検出光Ｌ２１を撮像した撮像画像に基づいて、基板１０１の状態をより一層精度よく検出できる。

[0071] また、第３実施形態では、上記のように、ロボット３２０は、撮像部４０による検出光Ｌ２１の撮像が行われる場合に、基板１０１の水平面に対する角度を変更する。これにより、ロボット３２０により、基板１０１の水平面に対する角度を変更できるので、基板１０１に照射される検出光Ｌ２１の照射角度を三次元的に変更できる。そのため、より多様な照射方向からの検出光Ｌ２１を基板１０１の主表面１０１ａに反射させるとともに、反射された検出光Ｌ２１を撮像した撮像画像に基づいて基板１０１の状態を検出できるので、基板１０１の状態をより一層精度よく検出できる。なお、第３実施形態によるその他の効果は、第１実施形態と同様である。

[0072] 〔変形例〕

なお、今回開示された実施形態は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本開示の範囲は、上記した実施形態の説明ではなく請求の範囲によって示され、さらに請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更（変形例）が含まれる。

[0073] たとえば、上記第１、第２、および、第３実施形態では、撮像部４０による複数回の撮像により、反射された複数のライン状の検出光Ｌ１、Ｌ１１およびＬ１２、Ｌ２１を撮像することによって生成された一の撮像画像に基づいて、基板１０１の状態が検出される例を示したが、本開示はこれに限られ

ない。本開示では、1回の撮像によって、撮像された検出光の撮像画像に基づいて基板の状態が検出されてもよい。たとえば、検出光が、ライン状ではなく、格子状の複数の点光源である場合には、1回の撮像によって、基板の主表面の全体に渡って反射された検出光を撮像することによって、基板の状態が検出される。なお、基板の主表面に照射される検出光の形状は、ライン状および格子状に限られず、同心円状などの所定の幾何学的な形状を有していてもよい。また、照射部を、画像を投影するプロジェクタ装置などにより、所定の色、および、形状を有する検出光を照射するようにしてもよい。また、撮像部による複数回の撮像により、1つの動画像としての撮像画像を取得するとともに、動画像としての撮像画像に基づいて、基板の状態を検出するようにしてもよい。

[0074] また、上記第2実施形態では、照射部250により互いに平行であって互いに同一の形状を有するライン状の第1検出光としての検出光L11と第2検出光としての検出光L12とを含む一の撮像画像に基づいて、基板101の状態が検出される例を示したが、本開示はこれに限られない。本開示では、互いに異なる2つの検出光である第1検出光および第2検出光を照射する場合に、第1検出光と第2検出光とを、互いに異なる形状としてもよいし、互いに異なる色の光としてもよい。また、第1検出光と第2検出光とが共にライン状である場合には、第1検出光と第2検出光とが互いに交差するように照射されていてもよい。また、3つ以上の互いに異なるライン状の検出光を照射するようにしてもよい。また、複数の検出光を照射する場合に、照射部を別個に複数配置するようにしてもよい。

[0075] また、上記第1、第2、および、第3実施形態では、学習済みモデル62を用いることによって、検出光L1、L11およびL12、L21の撮像画像に基づいて、基板101の状態として、基板101の位置、基板101の向き、および、基板101の異常が検出される例を示したが、本開示はこれに限られない。本開示では、撮像画像に基づいて検出される基板の状態は、基板の形状、位置、向き、および、基板の異常の少なくとも1つであっても

よい。すなわち、基板の形状が基板の状態として検出されてもよい。たとえば、撮像画像に基づいて基板の輪郭線の形状を検出するとともに、検出された基板の形状に基づいて、基板の中心位置の座標と、ノッチまたはオリエンテーションフラットとを検出することによって、基板の位置および向きを検出するようにしてもよい。また、基板の状態として検出される基板の異常は、基板の反り、変形、欠け、割れ、および、傷のうちのいずれかのうちの1つ、または、いずれかのうちの複数であってもよい。たとえば、基板の反りのみを異常として検出するようにしてもよい。また、学習済みモデルを用いずに基板の状態を検出するようにしてもよい。たとえば、ライン状の検出光を基板の移動に伴って複数回に渡って撮像した撮像画像に基づいて、学習済みモデル以外の所定のアルゴリズムを用いることにより撮像画像の内から線状の構造を検出することによって、基板の状態を検出するようにしてもよい。その場合には、たとえば、撮像画像に含まれるライン状の検出光の幅方向における中心の位置を抽出することによって、ライン状の検出光を検出するようにしてもよい。

[0076] また、上記第1、第2、および、第3実施形態では、ロボット20、320による基板101の移動に伴って、基板収納容器としてのFOUP110から取り出されたタイミングにおいて撮像された撮像画像71および72に基づいて、基板101の状態として基板101の異常を検出するとともに、異常が検出された基板101をFOUP110に再度収納する例を示したが、本開示はこれに限られない。本開示では、ロボットにより移動されておらず、停止している状態の基板を撮像した撮像画像に基づいて基板の状態を検出してよい。たとえば、照射部の照射方向、または、位置の少なくとも一方を変更するように照射部を動作させることによって、ロボットに保持された基板を、照射部に対して相対移動させるようにしてもよい。所定の検出位置を予め設定するとともに、ロボットにより所定の検出位置まで移動された基板を撮像した撮像画像に基づいて、基板の異常を検出するようにしてもよい。また、撮像部により撮像画像を撮像する場合において、照射部に対して

基板の相対的な位置および角度の少なくとも一方を変更しないようにしてもよい。たとえば、ロボットに保持された状態で、静止した状態の基板に対して静止した状態の照射部から照射されて反射した検出光を撮像部によって撮像するようにしてもよい。また、撮像部を移動させるようにしてもよい。また、処理装置による処理が終わった後の基板を基板収納容器に収納するタイミングにおいて撮像された撮像画像に基づいて基板の状態を検出するようにしてもよい。また、異常が検出された基板を再度基板収納容器に戻すように収納しなくともよい。たとえば、基板を取り出した基板収納容器とは異なる容器、または、載置位置に、異常が検出された基板を載置するようにしてもよい。また、基板の異常が検出された場合に、再度撮像部による撮像を行うことによって、再度学習済みモデルを用いた基板の状態の検出の処理を行うようにしてもよい。再度の撮像を行う場合に、1度目の撮像と基板の位置、向き、または、移動方向を変更させてもよい。また、処理装置などに検出された基板の状態を示す信号を出力するようにしてもよい。また、搬送室の前面側に表示装置などの報知を行う報知部を配置することによって、検出された基板の状態を示す情報を、文字情報の表示、および、音声情報の出力などによって報知するようにしてもよい。

[0077] また、上記第1、および、第2実施形態では、所定の移動方向に沿う基板101の移動において撮像画像71が取得され、撮像画像71が取得された所定の移動方向とは異なる別個の移動方向に沿った基板101の移動において撮像画像72が取得される例を示したが、本開示はこれに限られない。本開示では、1つの移動方向に沿った基板の移動において撮像された1つの撮像画像に基づいて、基板の状態が検出されるようにしてもよいし、3つ以上の互いに異なる移動方向の各々において、撮像画像が取得されるようにしてもよい。また、複数の撮像画像が取得される場合にも、互いに共通の移動方向において基板を移動させながら、複数の撮像画像が取得されてもよい。また、基板と照射部との相対的な角度を互いに異ならせた状態で撮像するようにしてもよい。

[0078] また、上記第3実施形態では、基板101のXY平面内における位置を変更せず、 θ 方向に沿って基板101を水平面に対する角度を変更する回転移動に伴って、検出光L21を複数回に渡って撮像した撮像画像に基づいて、基板101の状態が検出される例を示したが、本開示はこれに限られない。本開示では、水平面に対する角度が互いに異なる状態で、水平面に沿って基板を移動させることによって、基板の角度が異なる複数の撮像画像を取得するようにしてもよい。その場合に、水平面に沿う基板の移動方向を互いに異ならせるようにしてもよい。すなわち、照射部に対する基板の相対的な位置および角度の両方を変更するようにしてもよい。その場合に、ロボットによって、照射部に対する基板の相対的な位置および角度の両方を変更するようにしてもよい。照射部により照射される検出光は、照射部に対する基板の相対的な位置の変更における移動方向に交差する方向に沿うライン状の検出光、および、照射部に対する基板の相対的な角度の変更における回転動作の回転軸線方向に沿うライン状の検出光であってもよい。

[0079] また、上記第1、第2、および、第3実施形態では、基板101の状態を検出することによって、基板101の向きを示すノッチ101bを検出する例を示したが、本開示はこれに限られない。本開示では、基板の状態を検出することによって、基板に配置されたオリエンテーションフラットを検出するようにしてもよい。

[0080] また、上記第1、第2、および、第3実施形態では、検出された基板101の状態に基づいて検出された基板101の位置および向きの少なくとも一方のずれを補正するようにロボット20、320の搬送動作を補正するとともに、検出された基板101の状態に基づいて、調整装置としてのアライナ30の動作を制御する例を示したが、本開示はこれに限られない。本開示では、検出された基板の状態に基づいて、基板の位置および向きの少なくとも一方のずれを補正するようにロボットの搬送動作を補正するようにしてもよい。すなわち、検出された基板の状態に基づいて、基板の向きのずれを補正するようにロボットの搬送動作を補正するようにしてもよい。たとえば、検

出された基板の状態に基づいて、基板保持ハンドに保持されている基板の向きが予め設定されている所定の向きとは異なる場合に、所定の向きに基板が搬送されるようにロボットの動作を補正するようにしてもよい。また、検出された基板の状態に基づいて、調整装置としてのアライナの動作を制御する場合に、調整装置において、基板の向きを検出せずに、基板の回転方向における位置の調整動作のみを行うようにしてもよい。また、検出された基板の状態に基づいて、調整装置としてのアライナの動作を制御する場合に、検出光の撮像画像に基づいて基板の状態として基板の向きを示すノッチまたはオリエンテーションフラットを検出するとともに、検出されたノッチまたはオリエンテーションフラットの位置に応じて、アライナにおける基板の回転方向を設定するようにしてもよい。その場合には、アライナにおいて、載置された基板をノッチまたはオリエンテーションフラットに近い方向に回転させることができるので、アライナにおいて基板の向きを検出する動作に要する時間を短縮できる。

[0081] また、上記第1、第2、および、第3実施形態では、水平多関節のロボットアーム21、321を有するロボット20、320を備える例を示したが、本開示はこれに限られない。本開示では、水平多関節ではなく垂直多関節のロボットアームを有するようにしてもよい。また、ロボットを、スライド機構などの直線移動機構を有するようにしてもよい。また、基板保持ハンドを、バキュームまたはチャックにより基板を固定して保持するアクティブタイプのハンドとしてもよい。また、基板を固定した状態で基板を水平面に対して傾けるように回転移動させることによって、基板の両側の主表面の各々において反射された検出光を撮像するようにしてもよい。

[0082] また、上記第1、第2、および、第3実施形態では、本開示の基板搬送ロボットシステム100は、処理装置401に基板101を搬送するEFEMである例を示したが、本開示はこれに限られない。本開示では、基板搬送ロボットシステムは、EFEM以外であってもよい。たとえば、基板搬送ロボットシステムは、基板収納容器から基板収納容器に対して基板を搬送するス

トッカーまたはソーターであってもよい。また、基板搬送ロボットシステムは、基板収納容器ではなく、ベルトコンベアなどによって搬送されてきた基板を、基板収納容器または基板載置部に搬送するようにしてもよい。また、本開示による基板の状態の検出を、処理装置側において基板を搬送するシステムに適用してもよい。すなわち、ロードロック部と処理モジュール部との間における基板の搬送を行う場合において、本開示による基板検出方法によって、基板の状態を検出するようにしてもよい。

[0083] また、上記第1、第2、および、第3実施形態では、基板搬送ロボットシステム100の制御部60、260、360が、学習済みモデル62の生成と、撮像画像71および72に基づく基板101の異常の検出と、ロボット20、320の動作の制御とを実行する例を示したが、本開示はこれに限られない。本開示では、学習済みモデルの生成と、ロボットの動作の制御との少なくとも一方を、撮像画像に基づく基板の異常の検出を行う制御部とは異なる制御装置によって実行するようにしてもよい。たとえば、学習済みモデルの生成を、ロボットとは別個に配置された制御装置によって実行するようにしてもよい。すなわち、EFEMなどの基板搬送ロボットシステムとは別個に配置された制御装置によって、機械学習が行われることにより学習済みモデルが生成されてもよい。また、撮像画像に基づく基板の状態の検出を実行する制御部は、ロボットの動作を制御するロボット制御部と別個に配置されていてもよい。

[0084] また、上記第1、第2、および、第3実施形態では、撮像部40、および、照射部50、250、350が、搬送室10の内部に配置されている例を示したが、本開示はこれに限られない。本開示では、標識部材、撮像部、および、照射部のうちのいずれかが、基板の搬送が行われる搬送室の外部に配置されていてもよい。たとえば、基板に対して処理を行う処理装置の搬送室において、基板の異常を検出する場合には、処理装置の搬送室の天井部分をガラスなどの透明部材とするとともに、搬送室の外部の上方に標識部材、撮像部、および、照射部を配置してもよい。

- [0085] また、上記第1、第2、および、第3実施形態では、照射部50、250、350を、撮像部40による撮像が行われるタイミングにおいて、検出光L1、L11およびL12、L21を照射する例を示したが、本開示はこれに限られない。本開示では、照射部による照明光の照射を常時行われているようにしてもよい。また、撮像された撮像画像に基づいて、制御部による制御処理により照明光の照射を制御するようにしてもよい。たとえば、撮像画像の輝度値などに基づいて、照明光の光量、波長などを変更する制御が行われるようにしてもよい。また、基板の異常が検出された場合に、照明光を制御して照明光の光量、波長などを変更した状態で、再度撮像画像の撮像を行うことによって再度学習済みモデルを用いた基板の異常の検出を行うようにしてもよい。また、搬送室内において照射部とは別個に照明光を照射する照明部を配置してもよい。
- [0086] また、上記第1、第2、および、第3実施形態では、検出光L1、L11およびL12、L21として赤色の光を照射するLEDを含む照射部50、250、350が配置されている例を示したが、本開示はこれに限られない。本開示では、照射部を、LED以外の光源装置を含むようにしてもよい。また、照射部による照明光は、赤色以外の所定の色の波長を有するようにしてもよい。また、照明光は、赤外光などの可視光以外の波長の光であってもよい。また、照射部の個数は、1つであってもよいし、3つ以上であってもよい。
- [0087] また、上記第1、第2、および、第3実施形態では、基板搬送ロボットシステム100、200、300の搬送室10に基板収納容器としてのFOUP110が3つ取り付けられており、撮像部40および照射部50、250、350の各々がFOUP110に対応するように3つずつ配置されている例を示したが、本開示はこれに限られない。本開示では、搬送室に取り付けられる基板収納容器は、2つ以下であってもよいし、4つ以上であってもよい。また、複数の基板収納容器に対して、1つの撮像部と1つの照射部を配置するようにしてもよい。その場合には、共通の撮像部によって、複数の基

板収納容器に対して搬送される基板の撮像が行われる。また、撮像部の個数と照射部の個数が互いに異なる値であってもよい。

[0088] また、上記第1、第2、および、第3実施形態では、全層畳み込みネットワークによる深層学習の機械学習によって、学習済みモデル62が生成される例を示したが、本開示はこれに限られない。本開示では、学習済みモデルを生成するための機械学習は、深層学習ではなくてもよい。また、学習済みモデルを生成するための機械学習は、全層畳み込みネットワーク以外の畳み込みニューラルネットワークによる機械学習であってもよい。また、学習済みモデルを生成するための機械学習は、畳み込みニューラルネットワーク以外の機械学習であってもよい。

[0089] また、上記第1、第2、および、第3実施形態では、状態が検出される基板101が円盤形状を有するシリコンウエハである例を示したが、本開示はこれに限られない。本開示では、基板101は、シリコン以外の部材であってもよい。また、円盤形状ではなく、電子部品が実装された四角形の基板の状態を検出するようにしてもよい。その場合には、四角形の辺を検出することによって基板の向きおよび位置を含む基板の状態を検出するようにしてもよい。

[0090] また、上記第1、第2、および、第3実施形態では、撮像部40により撮像された検出光L1、L11およびL12、L21の撮像画像を入力として、識別結果75を出力する学習済みモデル62を用いることによって、基板101の異常が検出される例を示したが、本開示はこれに限られない。本開示では、基板の異常を検出するための学習済みモデルに入力される撮像画像に対して、学習済みモデルに入力する前に、ノイズ除去、エッジ強調、コントラスト変更などの画像処理を予め行うようにしてもよい。

[0091] 本明細書で開示する要素の機能は、開示された機能を実行するよう構成またはプログラムされた汎用プロセッサ、専用プロセッサ、集積回路、ASIC (Application Specific Integrated Circuits)、従来の回路、および／または、それらの組み合わせ、

を含む回路または処理回路を使用して実行できる。プロセッサは、トランジスタやその他の回路を含むため、処理回路または回路と見なされる。本開示において、回路、ユニット、または手段は、列挙された機能を実行するハードウェアであるか、または、列挙された機能を実行するようにプログラムされたハードウェアである。ハードウェアは、本明細書に開示されているハードウェアであってもよいし、あるいは、列挙された機能を実行するようにプログラムまたは構成されているその他の既知のハードウェアであってもよい。ハードウェアが回路の一種と考えられるプロセッサである場合、回路、手段、またはユニットはハードウェアとソフトウェアの組み合わせであり、ソフトウェアはハードウェアおよび／またはプロセッサの構成に使用される。

[0092] 〔態様〕

上記した例示的な実施形態は、以下の態様の具体例であることが当業者により理解される。

[0093] （態様１）

基板を搬送するロボットと、
前記ロボットに保持されている前記基板の主表面に対して、所定の形状を有する検出光を照射する照射部と、
前記基板を撮像することによって、前記基板の前記主表面において反射された前記検出光を撮像する撮像部と、
前記撮像部により撮像された前記検出光の撮像画像に基づいて、前記基板の状態を検出する制御部と、を備える、基板搬送ロボットシステム。

[0094] （態様２）

前記照射部は、相対的に位置および角度の少なくとも一方が変更される前記基板の前記主表面に対して前記検出光を照射し、
前記撮像部は、前記照射部に対する前記基板の相対的な位置および角度の少なくとも一方の変更に伴って、前記基板の前記主表面において反射された前記検出光を複数回に渡って撮像し、
前記制御部は、前記撮像部による複数回の撮像により、反射された複数の

前記検出光を撮像することによって生成された一の前記撮像画像に基づいて、前記基板の状態を検出する、態様 1 に記載の基板搬送ロボットシステム。

[0095] (態様 3)

前記ロボットは、前記撮像部による前記検出光の撮像が行われる場合に、前記照射部に対する前記基板の位置および角度の少なくとも一方を相対的に変更させる、態様 2 に記載の基板搬送ロボットシステム。

[0096] (態様 4)

前記照射部は、前記照射部に対する前記基板の相対的な位置の変更における移動方向に交差する方向に沿うライン状の前記検出光、および、前記照射部に対する前記基板の相対的な角度の変更における回転動作の回転軸線方向に沿うライン状の前記検出光の少なくとも一方を照射する、態様 2 または態様 3 に記載の基板搬送ロボットシステム。

[0097] (態様 5)

前記ロボットは、前記撮像部による前記検出光の撮像が行われる場合に、互いに異なる複数の移動方向に沿って前記基板を移動させ、

前記制御部は、前記ロボットの前記複数の移動方向に沿った前記基板の移動の各々における前記撮像画像に基づいて、前記基板の状態を検出する、態様 3 に記載の基板搬送ロボットシステム。

[0098] (態様 6)

前記ロボットは、前記撮像部による前記検出光の撮像が行われる場合に、前記基板の水平面に対する角度を変更する、態様 3 に記載の基板搬送ロボットシステム。

[0099] (態様 7)

前記制御部は、前記撮像画像に基づいて、前記基板の形状、位置、向き、および、前記基板に生じている異常の少なくとも 1 つを含む前記基板の状態を検出する、態様 1 から態様 6 までのいずれか 1 項に記載の基板搬送ロボットシステム。

[0100] (態様 8)

前記制御部は、前記撮像画像に基づいて前記基板の状態を検出することによって、前記基板の向きを示すノッチまたはオリエンテーションフラットを検出する、態様 7 に記載の基板搬送ロボットシステム。

[0101] (態様 9)

前記制御部は、機械学習により生成された学習済みモデルを用いて、前記撮像部による前記撮像画像に基づいて前記基板の状態を検出する、態様 1 から態様 8 までのいずれか 1 項に記載の基板搬送ロボットシステム。

[0102] (態様 10)

前記照射部は、互いに異なるライン状の第 1 検出光と第 2 検出光とを含む前記検出光を照射し、

前記制御部は、前記撮像部による複数回の撮像により生成された前記第 1 検出光および前記第 2 検出光を含む前記一の撮像画像に基づいて、前記基板の状態を検出する、態様 2 から態様 6 までのいずれか 1 項に記載の基板搬送ロボットシステム。

[0103] (態様 11)

前記ロボットは、前記基板が収納される基板収納容器に対する前記基板の搬送が行われる搬送室に配置され、

前記照射部は、前記搬送室内において、前記ロボットの上方に配置され、前記基板の前記主表面に対して前記検出光を照射し、

前記撮像部は、前記搬送室内において、前記ロボットの上方に配置され、前記基板の前記主表面において反射された前記検出光を撮像し、

前記制御部は、前記搬送室内において撮像された前記撮像画像に基づいて、前記基板の状態を検出する、態様 1 から態様 10 までのいずれか 1 項に記載の基板搬送ロボットシステム。

[0104] (態様 12)

前記基板の向きを所定の方角に調整する調整装置をさらに備え、

前記制御部は、前記撮像画像に基づいて検出された前記基板の状態を用いて、前記調整装置の動作を制御する、態様 1 から態様 11 までのいずれか 1

項に記載の基板搬送ロボットシステム。

[0105] (態様 1 3)

前記ロボットは、前記基板を保持する基板保持ハンドを含み、
前記制御部は、

前記ロボットの搬送動作を制御するロボット制御部を兼ね、

検出された前記基板の状態に基づいて、前記基板保持ハンドに対する前記基板の位置および向き of の少なくとも一方のずれを検出するとともに、

前記ロボットの搬送動作において、検出された前記基板の位置および向きの少なくとも一方のずれを補正する、態様 1 から態様 1 2 までのいずれか 1 項に記載の基板搬送ロボットシステム。

[0106] (態様 1 4)

基板を搬送するロボットに保持されている前記基板を撮像することによって、前記基板の主表面において反射された所定の形状を有する検出光を撮像し、

撮像された前記検出光の撮像画像に基づいて、前記基板の状態を検出する、基板検出方法。

請求の範囲

- [請求項1] 基板を搬送するロボットと、
 前記ロボットに保持されている前記基板の主表面に対して、所定の形状を有する検出光を照射する照射部と、
 前記基板を撮像することによって、前記基板の前記主表面において反射された前記検出光を撮像する撮像部と、
 前記撮像部により撮像された前記検出光の撮像画像に基づいて、前記基板の状態を検出する制御部と、を備える、基板搬送ロボットシステム。
- [請求項2] 前記照射部は、相対的に位置および角度の少なくとも一方が変更される前記基板の前記主表面に対して前記検出光を照射し、
 前記撮像部は、前記照射部に対する前記基板の相対的な位置および角度の少なくとも一方の変更に伴って、前記基板の前記主表面において反射された前記検出光を複数回に渡って撮像し、
 前記制御部は、前記撮像部による複数回の撮像により、反射された複数の前記検出光を撮像することによって生成された一の前記撮像画像に基づいて、前記基板の状態を検出する、請求項1に記載の基板搬送ロボットシステム。
- [請求項3] 前記ロボットは、前記撮像部による前記検出光の撮像が行われる場合に、前記照射部に対する前記基板の位置および角度の少なくとも一方を相対的に変更させる、請求項2に記載の基板搬送ロボットシステム。
- [請求項4] 前記照射部は、前記照射部に対する前記基板の相対的な位置の変更における移動方向に交差する方向に沿うライン状の前記検出光、および、前記照射部に対する前記基板の相対的な角度の変更における回転動作の回転軸線方向に沿うライン状の前記検出光の少なくとも一方を照射する、請求項2に記載の基板搬送ロボットシステム。
- [請求項5] 前記ロボットは、前記撮像部による前記検出光の撮像が行われる場

合に、互いに異なる複数の移動方向に沿って前記基板を移動させ、

前記制御部は、前記ロボットの前記複数の移動方向に沿った前記基板の移動の各々における前記撮像画像に基づいて、前記基板の状態を検出する、請求項3に記載の基板搬送ロボットシステム。

[請求項6] 前記ロボットは、前記撮像部による前記検出光の撮像が行われる場合に、前記基板の水平面に対する角度を変更する、請求項3に記載の基板搬送ロボットシステム。

[請求項7] 前記制御部は、前記撮像画像に基づいて、前記基板の形状、位置、向き、および、前記基板に生じている異常の少なくとも1つを含む前記基板の状態を検出する、請求項1に記載の基板搬送ロボットシステム。

[請求項8] 前記制御部は、前記撮像画像に基づいて前記基板の状態を検出することによって、前記基板の向きを示すノッチまたはオリエンテーションフラットを検出する、請求項7に記載の基板搬送ロボットシステム。

[請求項9] 前記制御部は、機械学習により生成された学習済みモデルを用いて、前記撮像部による前記撮像画像に基づいて前記基板の状態を検出する、請求項1に記載の基板搬送ロボットシステム。

[請求項10] 前記照射部は、互いに異なるライン状の第1検出光と第2検出光とを含む前記検出光を照射し、

前記制御部は、前記撮像部による複数回の撮像により生成された前記第1検出光および前記第2検出光を含む前記一の撮像画像に基づいて、前記基板の状態を検出する、請求項2に記載の基板搬送ロボットシステム。

[請求項11] 前記ロボットは、前記基板が収納される基板収納容器に対する前記基板の搬送が行われる搬送室に配置され、

前記照射部は、前記搬送室内において、前記ロボットの上方に配置され、前記基板の前記主表面に対して前記検出光を照射し、

前記撮像部は、前記搬送室内において、前記ロボットの上方に配置され、前記基板の前記主表面において反射された前記検出光を撮像し

、

前記制御部は、前記搬送室内において撮像された前記撮像画像に基づいて、前記基板の状態を検出する、請求項 1 に記載の基板搬送ロボットシステム。

[請求項12] 前記基板の向きを所定の方向に調整する調整装置をさらに備え、
前記制御部は、前記撮像画像に基づいて検出された前記基板の状態を用いて、前記調整装置の動作を制御する、請求項 1 に記載の基板搬送ロボットシステム。

[請求項13] 前記ロボットは、前記基板を保持する基板保持ハンドを含み、
前記制御部は、
前記ロボットの搬送動作を制御するロボット制御部を兼ね、
検出された前記基板の状態に基づいて、前記基板保持ハンドに対する前記基板の位置および向きの少なくとも一方のずれを検出するとともに、

前記ロボットの搬送動作において、検出された前記基板の位置および向きの少なくとも一方のずれを補正する、請求項 1 に記載の基板搬送ロボットシステム。

[請求項14] 基板を搬送するロボットに保持されている前記基板を撮像することによって、前記基板の主表面において反射された所定の形状を有する検出光を撮像し、

撮像された前記検出光の撮像画像に基づいて、前記基板の状態を検出する、基板検出方法。