

(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2020-17618

(P2020-17618A)

(43) 公開日 令和2年1月30日(2020.1.30)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
H O 1 L 21/304 (2006.01) H O 1 L 21/304 6 4 8 G 5 F 1 5 7
H O 1 L 21/304 6 4 8 A
H O 1 L 21/304 6 5 1

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2018-139315 (P2018-139315)	(71) 出願人	000219967
(22) 出願日	平成30年7月25日 (2018. 7. 25)		東京エレクトロン株式会社
			東京都港区赤坂五丁目3番1号
		(74) 代理人	110002147
			特許業務法人酒井国際特許事務所
		(72) 発明者	福井 祥吾
			熊本県合志市福原1-1 東京エレクトロ
			ン九州株式会社内
		(72) 発明者	枇杷 聡
			熊本県合志市福原1-1 東京エレクトロ
			ン九州株式会社内
		Fターム(参考)	5F157 AA09 AB02 AB14 AB33 AB45
			AB47 AB64 AB90 AC04 AC56
			BB11 CB14 CB26 CB27 CD46
			CE52 CF42 CF44 DA21 DB37

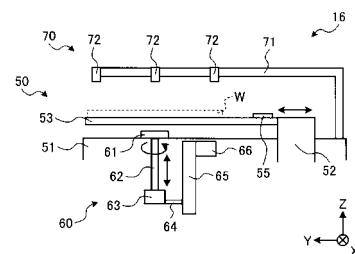
(54) 【発明の名称】 基板処理装置および基板処理方法

(57) 【要約】

【課題】ウェハ表面に形成される液膜を乾燥処理の際に所定の膜厚で均一にすることができる技術を提供する。

【解決手段】本開示の一態様による基板処理装置は、液処理部と、乾燥処理部と、搬送部と、制御部とを備える。液処理部は、基板の上面に液膜を形成する。乾燥処理部は、前記液膜が形成された前記基板を乾燥させる。搬送部は、前記液処理部で処理された前記基板を前記乾燥処理部に搬送する。制御部は、前記搬送部を制御して、前記乾燥処理部に搬入される際の前記液膜が均一になるように調整する。

【選択図】 図6



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

基板の上面に液膜を形成する液処理部と、
前記液膜が形成された前記基板を乾燥させる乾燥処理部と、
前記液処理部で処理された前記基板を前記乾燥処理部に搬送する搬送部と、
前記搬送部を制御して、前記乾燥処理部に搬入される際の前記液膜が所定の膜厚で均一になるように調整する制御部と、
を備える基板処理装置。

【請求項 2】

前記搬送部は、前記基板を回転させる回転機構を有し、
前記制御部は、前記回転機構により生じる遠心力を用いて前記液膜の膜厚が均一になるように調整する、請求項 1 に記載の基板処理装置。

10

【請求項 3】

前記制御部は、前記基板の搬送の際に生じる慣性力を用いて前記液膜の膜厚が均一になるように調整する、請求項 1 または 2 に記載の基板処理装置。

【請求項 4】

前記搬送部は、前記液膜にガスを吐出するガス吐出部を有し、
前記制御部は、前記ガス吐出部で前記液膜を乾燥させて前記液膜の膜厚が均一になるように調整する、請求項 1 ～ 3 のいずれか一つに記載の基板処理装置。

【請求項 5】

前記搬送部は、前記液膜の膜厚分布を検知する膜厚検知部を有し、
前記制御部は、前記膜厚検知部で検知した前記液膜の膜厚分布に基づいて前記液膜の膜厚が均一になるように調整する、請求項 1 ～ 4 のいずれか一つに記載の基板処理装置。

20

【請求項 6】

前記搬送部は、前記基板の重量を検知する重量検知部を有し、
前記制御部は、前記重量検知部で検知した前記液膜の重量に基づいて前記液膜が所定の膜厚になるように調整する、請求項 1 ～ 5 のいずれか一つに記載の基板処理装置。

【請求項 7】

基板の上面に液膜を形成する処理と、
前記液膜が形成された前記基板を搬送する処理と、
搬送された前記基板を乾燥する処理と、
を含み、
前記搬送する処理は、前記乾燥する処理の際の前記液膜が所定の膜厚で均一になるように調整する

30

基板処理方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

開示の実施形態は、基板処理装置および基板処理方法に関する。

【背景技術】

40

【0002】

従来、基板である半導体ウェハ（以下、ウェハと呼称する。）などの表面に乾燥防止用の液膜を形成し、かかる液膜が形成されたウェハを超臨界状態の処理流体に接触させて乾燥処理を行う基板処理装置が知られている（たとえば、特許文献 1 参照）。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0003】**

【特許文献 1】特開 2013 - 251550 号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】**

50

【 0 0 0 4 】

本開示は、ウェハ表面に形成される液膜を乾燥処理の際に所定の膜厚で均一にすることができる技術を提供する。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 5 】

本開示の一態様による基板処理装置は、液処理部と、乾燥処理部と、搬送部と、制御部とを備える。液処理部は、基板の上面に液膜を形成する。乾燥処理部は、前記液膜が形成された前記基板を乾燥させる。搬送部は、前記液処理部で処理された前記基板を前記乾燥処理部に搬送する。制御部は、前記搬送部を制御して、前記乾燥処理部に搬入される際の前記液膜が所定の膜厚で均一になるように調整する。

10

【発明の効果】

【 0 0 0 6 】

本開示によれば、ウェハ表面に形成される液膜を乾燥処理の際に所定の膜厚で均一にすることができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 7 】

【図 1】図 1 は、実施形態に係る基板処理システムを上方から見た模式的な断面図である。

【図 2】図 2 は、実施形態に係る基板処理システムを側方から見た模式的な断面図である。

20

【図 3】図 3 は、実施形態に係る液処理ユニットの構成例を示す図である。

【図 4】図 4 は、実施形態に係る乾燥ユニットの構成例を示す模式斜視図である。

【図 5】図 5 は、実施形態に係る搬送装置の構成例を示す上面図である。

【図 6】図 6 は、図 5 における A - A 線断面図である。

【図 7】図 7 は、実施形態に係る液膜調整処理の一工程を示す模式図である。

【図 8】図 8 は、実施形態に係る液膜調整処理の一工程を示す模式図である。

【図 9】図 9 は、実施形態に係る液膜調整処理の一工程を示す模式図である。

【図 10】図 10 は、実施形態に係る液膜調整処理の一工程を示す模式図である。

【図 11】図 11 は、実施形態の変形例 1 に係る液膜調整処理の一工程を示す模式図である。

30

【図 12】図 12 は、実施形態の変形例 1 に係る液膜調整処理の一工程を示す模式図である。

【図 13】図 13 は、実施形態の変形例 2 に係る搬送装置の構成例を示す断面図である。

【図 14】図 14 は、実施形態の変形例 2 に係る液膜調整処理の一工程を示す模式図である。

【図 15】図 15 は、実施形態の変形例 2 に係る液膜調整処理の一工程を示す模式図である。

【図 16】図 16 は、実施形態の変形例 2 に係る液膜調整処理の一工程を示す模式図である。

【図 17】図 17 は、実施形態に係る液膜調整処理の処理手順を示すフローチャートである。

40

【発明を実施するための形態】

【 0 0 0 8 】

以下、添付図面を参照して、本願の開示する基板処理装置および基板処理方法の実施形態を詳細に説明する。なお、以下に示す実施形態により本開示が限定されるものではない。また、図面は模式的なものであり、各要素の寸法の関係、各要素の比率などは、現実と異なる場合があることに留意する必要がある。さらに、図面の相互間においても、互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれている場合がある。

【 0 0 0 9 】

従来、基板である半導体ウェハ（以下、ウェハと呼称する。）などの表面に乾燥防止用

50

の液膜を形成し、かかる液膜が形成されたウェハを超臨界状態の処理流体に接触させて乾燥処理を行う基板処理装置が知られている。

【0010】

しかしながら、ウェハ表面に形成された液膜の膜厚が不均一である場合、乾燥処理したウェハの歩留まりが低下してしまう恐れがあった。なぜなら、液膜が薄い場合、ウェハ上に形成されているパターンが乾燥処理で倒れるなどの不具合（以下、パターン倒れとも呼称する。）が発生する恐れがあり、一方で液膜が厚い場合、乾燥処理でウェハ上にパーティクルが発生する恐れがあるからである。

【0011】

そこで、ウェハ表面に形成される液膜を乾燥処理の際に所定の膜厚で均一にすることが期待されている。 10

【0012】

< 基板処理システムの構成 >

まず、実施形態に係る基板処理システム1（基板処理装置の一例）の構成について図1および図2を参照して説明する。図1は、実施形態に係る基板処理システム1を上方から見た模式的な断面図であり、図2は、実施形態に係る基板処理システム1を側方から見た模式的な断面図である。なお、以下では、位置関係を明確にするために、互いに直交するX軸、Y軸およびZ軸を規定し、Z軸正方向を鉛直上向き方向とする。

【0013】

図1に示すように、基板処理システム1は、搬入出ステーション2と、処理ステーション3とを備える。搬入出ステーション2と処理ステーション3とは隣接して設けられる。 20

【0014】

搬入出ステーション2は、キャリア載置部11と、搬送部12とを備える。キャリア載置部11には、複数枚の半導体ウェハW（以下、「ウェハW」と記載する）を水平状態で収容する複数のキャリアCが載置される。

【0015】

搬送部12は、キャリア載置部11に隣接して設けられる。搬送部12の内部には、搬送装置13と受渡部14とが配置される。

【0016】

搬送装置13は、ウェハWを保持するウェハ保持機構を備える。また、搬送装置13は、水平方向および鉛直方向への移動ならびに鉛直軸を中心とする旋回が可能であり、ウェハ保持機構を用いてキャリアCと受渡部14との間でウェハWの搬送を行う。 30

【0017】

処理ステーション3は、搬送部12に隣接して設けられる。処理ステーション3は、搬送ブロック4と、複数の処理ブロック5とを備える。

【0018】

搬送ブロック4は、搬送エリア15と、搬送装置16とを備える。搬送エリア15は、たとえば、搬入出ステーション2および処理ステーション3の並び方向（X軸方向）に沿って延在する直方体状の領域である。搬送エリア15には、搬送装置16が配置される。

【0019】

搬送装置16は、搬送部の一例であり、ウェハWを保持するウェハ保持機構を備える。また、搬送装置16は、水平方向および鉛直方向への移動ならびに鉛直軸を中心とする旋回が可能であり、ウェハ保持機構を用いて受渡部14と複数の処理ブロック5との間でウェハWの搬送を行う。搬送装置16の構成については後述する。 40

【0020】

複数の処理ブロック5は、搬送エリア15の両側において搬送エリア15に隣接して配置される。具体的には、複数の処理ブロック5は、搬入出ステーション2および処理ステーション3の並び方向（X軸方向）に直交する方向（Y軸方向）における搬送エリア15の一方側（Y軸正方向側）および他方側（Y軸負方向側）に配置される。

【0021】

また、図 2 に示すように、複数の処理ブロック 5 は、鉛直方向に沿って多段に配置される。実施形態において、複数の処理ブロック 5 の段数は 3 段であるが、複数の処理ブロック 5 の段数は 3 段に限定されない。

【0022】

このように、実施形態に係る基板処理システム 1 において、複数の処理ブロック 5 は、搬送ブロック 4 の両側において多段に配置される。そして、各段に配置された処理ブロック 5 と受渡部 14 との間のウェハ W の搬送は、搬送ブロック 4 に配置された 1 台の搬送装置 16 によって行われる。

【0023】

各処理ブロック 5 は、液処理ユニット 17 と、乾燥ユニット 18 とを備える。液処理ユニット 17 は液処理部の一例であり、乾燥ユニット 18 は乾燥処理部の一例である。

【0024】

液処理ユニット 17 は、ウェハ W のパターン形成面である上面を洗浄する洗浄処理を行う。また、液処理ユニット 17 は、洗浄処理後のウェハ W の上面に液膜 L (図 7 参照) を形成する液膜形成処理を行う。液処理ユニット 17 の構成については後述する。

【0025】

乾燥ユニット 18 は、液膜形成処理後のウェハ W に対して超臨界乾燥処理を行う。具体的には、乾燥ユニット 18 は、液膜形成処理後のウェハ W を超臨界状態の処理流体 (以下、「超臨界流体」とも呼称する。) と接触させることによって同ウェハ W を乾燥させる。乾燥ユニット 18 の構成については後述する。

【0026】

なお、図 1 および図 2 には図示していないが、基板処理システム 1 は、乾燥ユニット 18 に対して処理流体を供給する供給ユニットを有する。具体的には、かかる供給ユニットは、流量計、流量調整器、背圧弁、ヒータなどを含む供給機器群と、供給機器群を収容する筐体とを備える。実施形態において、供給ユニットは、処理流体として CO_2 を乾燥ユニット 18 に供給する。

【0027】

液処理ユニット 17 および乾燥ユニット 18 は、搬送エリア 15 に沿って (すなわち、X 軸方向に沿って) 並べられる。液処理ユニット 17 および乾燥ユニット 18 のうち、液処理ユニット 17 は、搬入出ステーション 2 に近い位置に配置され、乾燥ユニット 18 は、搬入出ステーション 2 から遠い位置に配置される。

【0028】

このように、各処理ブロック 5 は、液処理ユニット 17 および乾燥ユニット 18 をそれぞれ 1 つずつ備える。すなわち、基板処理システム 1 には、液処理ユニット 17 および乾燥ユニット 18 が同じ数だけ設けられる。

【0029】

また、乾燥ユニット 18 は、超臨界乾燥処理が行われる処理エリア 181 と、搬送ブロック 4 と処理エリア 181 との間でのウェハ W の受け渡しが行われる受渡エリア 182 とを備える。これら処理エリア 181 および受渡エリア 182 は、搬送エリア 15 に沿って並べられる。

【0030】

具体的には、処理エリア 181 および受渡エリア 182 のうち、受渡エリア 182 は、処理エリア 181 よりも液処理ユニット 17 に近い側に配置される。すなわち、各処理ブロック 5 には、液処理ユニット 17、受渡エリア 182 および処理エリア 181 が、搬送エリア 15 に沿ってこの順番で配置される。

【0031】

図 1 に示すように、基板処理システム 1 は、制御装置 6 を備える。制御装置 6 は、たとえばコンピュータであり、制御部 7 と記憶部 8 とを備える。

【0032】

制御部 7 は、CPU (Central Processing Unit)、ROM (Read Only Memory)

10

20

30

40

50

、R A M (Random Access Memory)、入出力ポートなどを有するマイクロコンピュータや各種の回路を含む。かかるマイクロコンピュータのC P Uは、R O Mに記憶されているプログラムを読み出して実行することにより、搬送装置13、16、液処理ユニット17および乾燥ユニット18等の制御を実現する。

【0033】

なお、かかるプログラムは、コンピュータによって読み取り可能な記憶媒体に記憶されていたものであって、その記憶媒体から制御装置6の記憶部8にインストールされたものであってもよい。コンピュータによって読み取り可能な記憶媒体としては、たとえばハードディスク(H D)、フレキシブルディスク(F D)、コンパクトディスク(C D)、マグネットオプティカルディスク(M O)、メモリカードなどがある。

10

【0034】

記憶部8は、たとえば、R A M、フラッシュメモリ(Flash Memory)などの半導体メモリ素子、または、ハードディスク、光ディスクなどの記憶装置によって実現される。

【0035】

上記のように構成された基板処理システム1では、まず、搬入出ステーション2の搬送装置13が、キャリア載置部11に載置されたキャリアCからウェハWを取り出し、取り出したウェハWを受渡部14に載置する。受渡部14に載置されたウェハWは、処理ステーション3の搬送装置16によって受渡部14から取り出されて、液処理ユニット17へ搬入される。

20

【0036】

液処理ユニット17へ搬入されたウェハWは、液処理ユニット17によって洗浄処理および液膜形成処理が施された後、搬送装置16によって液処理ユニット17から搬出される。液処理ユニット17から搬出されたウェハWは、搬送装置16によって乾燥ユニット18へ搬入され、乾燥ユニット18によって乾燥処理が施される。

【0037】

乾燥ユニット18によって乾燥処理されたウェハWは、搬送装置16によって乾燥ユニット18から搬出され、受渡部14に載置される。そして、受渡部14に載置された処理済のウェハWは、搬送装置13によってキャリア載置部11のキャリアCへ戻される。

【0038】

< 液処理ユニットの構成 >

30

次に、液処理ユニット17の構成について、図3を参照しながら説明する。図3は、液処理ユニット17の構成例を示す図である。液処理ユニット17は、たとえば、スピンの洗浄によりウェハWを1枚ずつ洗浄する枚葉式の洗浄装置として構成される。

【0039】

図3に示すように、液処理ユニット17は、処理空間を形成するアウターチャンバー23内に配置されたウェハ保持機構25にてウェハWをほぼ水平に保持し、このウェハ保持機構25を鉛直軸周りに回転させることによりウェハWを回転させる。

【0040】

そして、液処理ユニット17は、回転するウェハWの上方にノズルアーム26を進入させ、かかるノズルアーム26の先端部に設けられる薬液ノズル26aから薬液やリンス液を予め定められた順に供給することにより、ウェハW上面の洗浄処理を行う。

40

【0041】

また、液処理ユニット17には、ウェハ保持機構25の内部にも薬液供給路25aが形成されている。そして、かかる薬液供給路25aから供給された薬液やリンス液によって、ウェハWの下面も洗浄される。

【0042】

洗浄処理は、たとえば、最初にアルカリ性の薬液であるS C 1液(アンモニアと過酸化水素水の混合液)によるパーティクルや有機性の汚染物質の除去が行われる。次に、リンス液である脱イオン水(Delonized Water: 以下、「D I W」と記載する)によるリンス洗浄が行われる。

50

【 0 0 4 3 】

次に、酸性薬液である希フッ酸水溶液（Diluted HydroFluoric acid：以下、「D H F」と記載する）による自然酸化膜の除去が行われ、次に、D I Wによるリンス洗浄が行われる。

【 0 0 4 4 】

上述の各種薬液は、アウターチャンバー 2 3 や、アウターチャンバー 2 3 内に配置されるインナーカップ 2 4 に受け止められて、アウターチャンバー 2 3 の底部に設けられる排液口 2 3 a や、インナーカップ 2 4 の底部に設けられる排液口 2 4 a から排出される。さらに、アウターチャンバー 2 3 内の雰囲気は、アウターチャンバー 2 3 の底部に設けられる排気口 2 3 b から排気される。

10

【 0 0 4 5 】

液膜形成処理は、洗浄処理におけるリンス処理の後に行われる。具体的には、液処理ユニット 1 7 は、ウェハ保持機構 2 5 を回転させながら、ウェハ W の上面および下面に液体状態の I P A（Isopropyl Alcohol）（以下、「I P A 液体」とも呼称する）を供給する。これにより、ウェハ W の両面に残存する D I W が I P A に置換される。その後、液処理ユニット 1 7 は、ウェハ保持機構 2 5 の回転を緩やかに停止する。

【 0 0 4 6 】

液膜形成処理を終えたウェハ W は、その上面に I P A 液体の液膜 L が形成された状態のまま、ウェハ保持機構 2 5 に設けられた不図示の受け渡し機構により搬送装置 1 6 に受け渡され、液処理ユニット 1 7 から搬出される。

20

【 0 0 4 7 】

ウェハ W 上に形成された液膜 L は、液処理ユニット 1 7 から乾燥ユニット 1 8 へのウェハ W の搬送中や、乾燥ユニット 1 8 への搬入動作中に、ウェハ W 上面の液体が蒸発（気化）することによってパターン倒れが発生することを防止する。

【 0 0 4 8 】

< 乾燥ユニットの構成 >

つづいて、乾燥ユニット 1 8 の構成について、図 4 を参照しながら説明する。図 4 は、乾燥ユニット 1 8 の構成例を示す模式斜視図である。

【 0 0 4 9 】

乾燥ユニット 1 8 は、本体 3 1 と、保持板 3 2 と、蓋部材 3 3 とを有する。筐体状の本体 3 1 には、ウェハ W を搬入出するための開口部 3 4 が形成される。保持板 3 2 は、処理対象のウェハ W を水平方向に保持する。蓋部材 3 3 は、かかる保持板 3 2 を支持するとともに、ウェハ W を本体 3 1 内に搬入したときに、開口部 3 4 を密閉する。

30

【 0 0 5 0 】

本体 3 1 は、たとえば直径 3 0 0 m m のウェハ W を収容可能な処理空間が内部に形成された容器であり、その壁部には、供給ポート 3 5、3 6 と排出ポート 3 7 とが設けられる。供給ポート 3 5、3 6 および排出ポート 3 7 は、それぞれ、乾燥ユニット 1 8 に超臨界流体を流通させるための供給流路および排出流路に接続されている。

【 0 0 5 1 】

供給ポート 3 5 は、筐体状の本体 3 1 において、開口部 3 4 とは反対側の側面に接続されている。また、供給ポート 3 6 は、本体 3 1 の底面に接続されている。さらに、排出ポート 3 7 は、開口部 3 4 の下方側に接続されている。なお、図 4 には 2 つの供給ポート 3 5、3 6 と 1 つの排出ポート 3 7 が図示されているが、供給ポート 3 5、3 6 や排出ポート 3 7 の数は特に限定されない。

40

【 0 0 5 2 】

また、本体 3 1 の内部には、流体供給ヘッダー 3 8、3 9 と、流体排出ヘッダー 4 0 とが設けられる。そして、流体供給ヘッダー 3 8、3 9 には複数の供給口がかかる流体供給ヘッダー 3 8、3 9 の長手方向に並んで形成され、流体排出ヘッダー 4 0 には複数の排出口がかかる流体排出ヘッダー 4 0 の長手方向に並んで形成される。

【 0 0 5 3 】

50

流体供給ヘッダー 38 は、供給ポート 35 に接続され、筐体状の本体 31 内部において、開口部 34 とは反対側の側面に隣接して設けられる。また、流体供給ヘッダー 38 に並んで形成される複数の供給口は、開口部 34 側を向いている。

【0054】

流体供給ヘッダー 39 は、供給ポート 36 に接続され、筐体状の本体 31 内部における底面の中央部に設けられる。また、流体供給ヘッダー 39 に並んで形成される複数の供給口は、上方を向いている。

【0055】

流体排出ヘッダー 40 は、排出ポート 37 に接続され、筐体状の本体 31 内部において、開口部 34 側の側面に隣接するとともに、開口部 34 より下方に設けられる。また、流体排出ヘッダー 40 に並んで形成される複数の排出口は、上方を向いている。

10

【0056】

流体供給ヘッダー 38、39 は、超臨界流体を本体 31 内に供給する。また、流体排出ヘッダー 40 は、本体 31 内の超臨界流体を本体 31 の外部に導いて排出する。なお、流体排出ヘッダー 40 を介して本体 31 の外部に排出される超臨界流体には、ウェハ W の表面から超臨界状態の超臨界流体に溶け込んだ IPA 液体が含まれる。

【0057】

かかる乾燥ユニット 18 内において、ウェハ W 上に形成されているパターンの間の IPA 液体は、高圧状態（たとえば、16 MPa）である超臨界流体と接触することで、徐々に超臨界流体に溶解し、パターンの間は徐々に超臨界流体と置き換わる。そして、最終的には、超臨界流体のみによってパターンの間が満たされる。

20

【0058】

そして、パターンの間から IPA 液体が除去された後に、本体 31 内部の圧力を高圧状態から大気圧まで減圧することによって、CO₂ は超臨界状態から気体状態に変化し、パターンの間は気体のみによって占められる。このようにしてパターンの間の IPA 液体は除去され、ウェハ W の乾燥処理が完了する。

【0059】

ここで、超臨界流体は、液体（たとえば IPA 液体）と比べて粘度が小さく、また液体を溶解する能力も高いことに加え、超臨界流体と平衡状態にある液体や気体との間で界面が存在しない。これにより、超臨界流体を用いた乾燥処理では、表面張力の影響を受けることなく液体を乾燥させることができる。したがって、実施形態によれば、乾燥処理の際にパターンが倒れることを抑制することができる。

30

【0060】

なお、実施形態では、乾燥防止用の液体として IPA 液体を用い、処理流体として超臨界状態の CO₂ を用いた例について示しているが、IPA 以外の液体を乾燥防止用の液体として用いてもよいし、超臨界状態の CO₂ 以外の流体を処理流体として用いてもよい。

【0061】

< 搬送装置の構成 >

つづいて、搬送装置 16 の構成について、図 5 および図 6 を参照しながら説明する。図 5 は、搬送装置 16 の構成例を示す上面図であり、図 6 は、図 5 における A - A 線断面図である。なお、図 5 および図 6 は、フォーク 53 が所定の位置に収容された状態を示している。

40

【0062】

搬送装置 16 は、基板保持部 50 と、回転機構 60 と、膜厚検知部 70 とを有する。基板保持部 50 は、ウェハ W を保持する。基板保持部 50 は、基台 51 と、進退機構 52 と、フォーク 53 と、保持爪 54 と、重量検知部 55 とを有する。

【0063】

基台 51 は、基板保持部 50 におけるその他の部位と、回転機構 60 と、膜厚検知部 70 とを支持する。基台 51 は、図示しない移動機構により水平方向および鉛直方向への移動が可能であるとともに、図示しない旋回機構により鉛直軸を中心とする旋回が可能であ

50

る。

【 0 0 6 4 】

進退機構 5 2 は、所定の水平方向（図では Y 軸方向）に沿って進退することができる。進退機構 5 2 は、たとえば基台 5 1 内部の図示しないモータにタイミングベルトなどの伝達機構を介して接続されており、かかるモータを動作させることで所定の水平方向に進退することができる。なお、かかる伝達機構はタイミングベルトに限られず、ボールネジ機構やタイミングベルトを用いた機構など、周知の構成を用いることができる。

【 0 0 6 5 】

フォーク 5 3 は、略円弧状に形成され、搬送するウェハ W の周囲を囲むように設けられている。また、フォーク 5 3 は、進退機構 5 2 に支持され、かかる進退機構 5 2 と一体で所定の水平方向に進退することができる。

【 0 0 6 6 】

また、フォーク 5 3 には、複数の保持爪 5 4 が形成されている。かかる複数の保持爪 5 4 は、フォーク 5 3 の内縁からそれぞれ内側に突出するとともに、フォーク 5 3 の内縁に沿って互いに間隔をあけて設けられている。

【 0 0 6 7 】

そして、かかる複数の保持爪 5 4 がウェハ W の周縁部を保持することにより、フォーク 5 3 はウェハ W を保持することができる。なお、実施形態では、フォーク 5 3 に保持爪 5 4 が 4 つ設けられる例について示しているが、保持爪 5 4 の数は 4 つに限られず、3 つ以上の任意の数設けられればよい。

【 0 0 6 8 】

重量検知部 5 5 は、たとえば、フォーク 5 3 の根元部分に設けられ、フォーク 5 3 に載置された物体（たとえば、ウェハ W）の重量を検知することができる。重量検知部 5 5 は、たとえば歪みセンサである。なお、重量検知部 5 5 は歪みセンサに限られず、フォーク 5 3 に載置された物体の重量を検知することができるセンサであればどのようなセンサであってもよい。

【 0 0 6 9 】

図 6 に示すように、回転機構 6 0 は、所定の位置に收容されたウェハ W の下方に設けられ、搬送装置 1 6 で搬送中のウェハ W を鉛直軸周りに回転させることができる。回転機構 6 0 は、チャック部 6 1 と、回転軸 6 2 と、チャック回転モータ 6 3 と、ブラケット 6 4 と、昇降機構 6 5 と、昇降モータ 6 6 とを有する。

【 0 0 7 0 】

チャック部 6 1 は、所定の位置に收容されたウェハ W の中心部下方に配置され、上面に図示しない吸引口が設けられる。そして、チャック部 6 1 は、かかる上面でウェハ W を吸着保持することができる。チャック部 6 1 は、下面側に設けられた回転軸 6 2 に接続されるチャック回転モータ 6 3 によって、鉛直軸周りに所望の回転数で回転させることができる。

【 0 0 7 1 】

また、チャック部 6 1 および回転軸 6 2 は、ブラケット 6 4 を介して昇降機構 6 5 に接続されており、かかる昇降機構 6 5 を動作させることで鉛直方向へ移動することができる。この昇降機構 6 5 における鉛直方向への駆動力は、昇降モータ 6 6 で発生させることができる。

【 0 0 7 2 】

膜厚検知部 7 0 は、所定の位置に收容されたウェハ W 上における液膜 L の膜厚分布を検知する。膜厚検知部 7 0 は、アーム 7 1 と、複数の膜厚センサ 7 2 とを有する。アーム 7 1 は、基台 5 1 に支持されるとともに、複数の膜厚センサ 7 2 を保持する。

【 0 0 7 3 】

複数の膜厚センサ 7 2 は、所定の位置に收容されたウェハ W の上方にそれぞれ配置される。膜厚センサ 7 2 は、たとえば、レーザセンサであり、ウェハ W 上の液膜 L の膜厚を検知することができる。なお、膜厚センサ 7 2 はレーザセンサに限られず、ウェハ W 上の液

10

20

30

40

50

膜 L の膜厚を検知することができるセンサであればどのようなセンサであってもよい。

【 0 0 7 4 】

複数の膜厚センサ 7 2 は、たとえば、ウェハ W の中央部上方や周縁部上方に配置される。これにより、膜厚検知部 7 0 は、ウェハ W 上に形成される液膜 L の膜厚分布を検知することができる。

【 0 0 7 5 】

なお、実施形態では、図 5 に示すように、複数の膜厚センサ 7 2 をウェハ W の中央部上方に 1 つ配置し、周縁部上方に等間隔に 4 つ配置した例について示している。しかしながら、複数の膜厚センサ 7 2 の配置はかかる例に限られず、ウェハ W 上に形成される液膜 L の膜厚分布を検知することができればどのような配置であってもよい。

10

【 0 0 7 6 】

< 液膜調整処理の詳細 >

つづいて、実施形態に係るウェハ W 上の液膜調整処理の詳細について、図 7 ~ 図 1 0 を参照しながら説明する。図 7 ~ 図 1 0 は、実施形態に係る液膜調整処理の一工程を示す模式図である。

【 0 0 7 7 】

かかる液膜調整処理の前段階として、基板処理システム 1 では、まず、搬送装置 1 3 がキャリア C からウェハ W を取り出して受渡部 1 4 へ載置する。

【 0 0 7 8 】

次に、基板処理システム 1 では、搬送装置 1 6 がウェハ W を受渡部 1 4 から取り出して液処理ユニット 1 7 に搬送する。なお、かかる液処理ユニット 1 7 への搬送の際、搬送装置 1 6 は、重量検知部 5 5 を用いて液処理前のウェハ W の重量を検知する。

20

【 0 0 7 9 】

次に、基板処理システム 1 では、液処理ユニット 1 7 において洗浄処理が行われる。液処理ユニット 1 7 は、たとえば、ウェハ W のパターン形成面である上面に各種の処理液を供給することにより、ウェハ W の上面からパーティクルや自然酸化膜等を除去する。

【 0 0 8 0 】

次に、基板処理システム 1 では、液処理ユニット 1 7 において液膜形成処理が行われる。液処理ユニット 1 7 は、たとえば、洗浄処理後のウェハ W の上面に I P A 液体を供給することにより、ウェハ W の上面に I P A 液体による液膜 L を形成する。

30

【 0 0 8 1 】

次に、図 7 に示すように、搬送装置 1 6 は、フォーク 5 3 を用いて、液膜 L が形成されたウェハ W を液処理ユニット 1 7 から取り出し、所定の位置に収容する（ステップ S 1 ）。

【 0 0 8 2 】

次に、搬送装置 1 6 は、重量検知部 5 5 を用いて、上面に液膜 L が形成されたウェハ W の重量を検知する。そして、液膜 L が形成されたウェハ W の重量と、液処理前のウェハ W の重量との差分により、ウェハ W に形成された液膜 L の重量を検知する（ステップ S 2 ）。

【 0 0 8 3 】

次に、搬送装置 1 6 は、膜厚検知部 7 0 を用いて、ウェハ W 上に形成される液膜 L の膜厚分布を検知する（ステップ S 3 ）。そして、制御部 7 は、検知された液膜 L の重量および膜厚分布に基づいて、乾燥ユニット 1 8 に搬入される際の液膜 L が所定の膜厚で均一になるように調整する。

40

【 0 0 8 4 】

実施形態では、液膜 L の重量および膜厚分布に基づいて、乾燥ユニット 1 8 に搬入される際の液膜 L が所定の膜厚で均一になるよう調整可能な複数のレシピが記憶部 8 にあらかじめ記憶されている。そして、制御部 7 は、検知された液膜 L の重量および膜厚分布に適合するレシピを記憶部 8 から読み出し、読み出したレシピに基づいて搬送装置 1 6 の各部を制御する。

50

【 0 0 8 5 】

以降では、図 7 に示すように、ウェハ W 中央部の液膜 L がウェハ W 周縁部の液膜 L より膜厚が大きいと検知された場合について説明する。この場合、搬送装置 1 6 は、ウェハ W を乾燥ユニット 1 8 に向けて搬送しながら、図 8 に示すように、回転機構 6 0 を用いてウェハ W をフォーク 5 3 からリフトさせる（ステップ S 4）。

【 0 0 8 6 】

たとえば、回転機構 6 0 は、昇降モータ 6 6 を動作させてチャック部 6 1 および回転軸 6 2 を上昇させるとともに、チャック部 6 1 の上面でウェハ W を吸着保持することにより、ウェハ W をフォーク 5 3 からリフトさせることができる。

【 0 0 8 7 】

次に、図 9 に示すように、搬送装置 1 6 は、回転機構 6 0 を用いてウェハ W を回転させる（ステップ S 5）。たとえば、回転機構 6 0 は、チャック回転モータ 6 3 を用いてチャック部 6 1 を回転させることにより、ウェハ W を回転させることができる。

【 0 0 8 8 】

これにより、液膜 L に遠心力 F 1 を作用させることができることから、中央部が盛り上がった液膜 L の膜厚分布を均一にすることができる。このように、実施形態では、回転機構 6 0 により発生する遠心力 F 1 を用いて、ウェハ W 上の液膜 L の膜厚分布を均一にすることができる。

【 0 0 8 9 】

また、実施形態では、乾燥ユニット 1 8 への搬送速度を制御することによりウェハ W の搬送時間を制御する。これにより、揮発性である IPA 液体の乾燥量を制御することができることから、液膜 L 全体が所定の膜厚になるように調整することができる。

【 0 0 9 0 】

そして、図 1 0 に示すように、搬送装置 1 6 は、回転機構 6 0 を動作させてウェハ W を下降させ、フォーク 5 3 に載置する（ステップ S 6）。最後に、搬送装置 1 6 は、液膜 L が所定の膜厚で均一になるように調整されたウェハ W を乾燥ユニット 1 8 に搬出し（ステップ S 7）、処理を完了する。

【 0 0 9 1 】

ここまで説明したように、実施形態では、液膜 L が所定の膜厚で均一になるように調整されたウェハ W を乾燥ユニット 1 8 で乾燥処理することができる。したがって、実施形態によれば、ウェハ W の全面において、パターン倒れやパーティクル発生などの不具合が生じることを抑制することができる。

【 0 0 9 2 】

また、実施形態では、回転機構 6 0 を用いてウェハ W に遠心力 F 1 を作用させるとよい。これにより、形成された際に周縁部の膜厚より中央部の膜厚のほうが大きい液膜 L を、乾燥処理の際に均一にすることができる。

【 0 0 9 3 】

また、実施形態では、膜厚検知部 7 0 によりウェハ W 上の液膜 L の膜厚分布を検知するとよい。これにより、高い精度で液膜 L の膜厚が均一になるように調整することができる。

【 0 0 9 4 】

なお、実施形態では、複数の膜厚センサ 7 2 を用いて液膜 L の膜厚分布を検知する例について示したが、液膜 L の膜厚分布を検知する手法はかかる例に限られない。たとえば、カメラを用いて液膜 L の状態を撮像し、かかる撮像データにフィルタ処理などを施すことにより、液膜 L の膜厚分布を評価してもよい。

【 0 0 9 5 】

また、実施形態では、重量検知部 5 5 によりウェハ W 上の液膜 L の重量を検知するとよい。これにより、高い精度で液膜 L が所定の膜厚になるように調整することができる。

【 0 0 9 6 】

また、実施形態では、回転機構 6 0 を用いて液膜 L に遠心力 F 1 を作用させた例につい

10

20

30

40

50

て示したが、液膜 L に遠心力 F 1 を作用させる機構は回転機構 60 に限られない。たとえば、搬送装置 16 に備えられている旋回機構の旋回軸とウェハ W の中心とを一致させて、かかる旋回機構を動作させることにより、液膜 L に遠心力 F 1 を作用させてもよい。

【0097】

実施形態に係る基板処理装置（基板処理システム 1）は、液処理部（液処理ユニット 17）と、乾燥処理部（乾燥ユニット 18）と、搬送部（搬送装置 16）と、制御部 7 とを備える。液処理部（液処理ユニット 17）は、基板（ウェハ W）の上面に液膜 L を形成する。乾燥処理部（乾燥ユニット 18）は、液膜 L が形成された基板（ウェハ W）を乾燥させる。搬送部（搬送装置 16）は、液処理部（液処理ユニット 17）で処理された基板（ウェハ W）を乾燥処理部（乾燥ユニット 18）に搬送する。制御部 7 は、搬送部（搬送装置 16）を制御して、乾燥処理部（乾燥ユニット 18）に搬入される際の液膜 L が均一になるように調整する。これにより、ウェハ W 表面に形成される液膜 L を、乾燥処理の際に所定の膜厚で均一にすることができる。

【0098】

また、実施形態に係る基板処理装置（基板処理システム 1）において、搬送部（搬送装置 16）は、基板（ウェハ W）を回転させる回転機構 60 を有する。そして、制御部 7 は、回転機構 60 により発生する遠心力 F 1 を用いて液膜 L の膜厚が均一になるように調整する。これにより、形成された際に周縁部の膜厚より中央部の膜厚のほうが大きい液膜 L を、乾燥処理の際に均一にすることができる。

【0099】

また、実施形態に係る基板処理装置において、搬送部（搬送装置 16）は、液膜 L の膜厚分布を検知する膜厚検知部 70 を有する。そして、制御部 7 は、膜厚検知部 70 で検知した液膜 L の膜厚分布に基づいて液膜 L の膜厚が均一になるように調整する。これにより、液膜 L の膜厚を高い精度で均一になるように調整することができる。

【0100】

また、実施形態に係る基板処理装置において、搬送部（搬送装置 16）は、基板（ウェハ W）の重量を検知する重量検知部 55 を有する。そして、制御部 7 は、重量検知部 55 で検知した液膜 L の重量に基づいて液膜 L が所定の膜厚になるように調整する。

【0101】

<変形例>

つづいては、実施形態の各種変形例について、図 11～図 15 を参照しながら説明する。なお、以下の各種変形例において実施形態と同一の部位には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。図 11 および図 12 は、実施形態の変形例 1 に係る液膜調整処理の一工程を示す模式図である。

【0102】

実施形態では、ウェハ W 上の液膜 L を均一にする手法として遠心力 F 1 を用いた例について示したが、液膜 L を均一にする手法は遠心力 F 1 を用いた例に限られない。たとえば、図 11 に示すように、ウェハ W を乾燥ユニット 18 に搬送する際、搬送装置 16 は、ウェハ W に搬送方向（図では X 軸正方向）とは逆向き（図では X 軸負方向）の慣性力 F 2 を作用させることができる。

【0103】

そして、搬送装置 16 は、かかる慣性力 F 2 を作用させることにより、ウェハ W 上で慣性力 F 2 と同じ向きに液膜 L を揺らすことができる。

【0104】

さらに、図 12 に示すように、搬送装置 16 は、上記搬送方向（図では X 軸正方向）への動きを止めた際、ウェハ W に搬送方向と同じ向きの慣性力 F 3 を作用させることができる。そして、搬送装置 16 は、かかる慣性力 F 3 を作用させることにより、ウェハ W 上で慣性力 F 3 と同じ向きに液膜 L を揺らすことができる。

【0105】

このように、変形例 1 では、搬送装置 16 で搬送する際に生じる慣性力 F 2、F 3 を液

10

20

30

40

50

膜 L に作用させることにより、液膜 L をウェハ W 上でさまざまな向きに揺らすことができることから、ウェハ W 上における液膜 L の膜厚を均一にすることができる。

【0106】

なお、上述の変形例 1 では、搬送エリア 15 に沿った方向にウェハ W を搬送する際に慣性力 F2、F3 を作用させた例について示した。しかしながら、フォーク 53 を用いて液処理ユニット 17 から搬送装置 16 に収容する際や、フォーク 53 を用いて搬送装置 16 から乾燥ユニット 18 に搬出する際などに生じる慣性力を利用して液膜 L の膜厚を均一にしてもよい。

【0107】

また、変形例 1 では、実施形態と同様に、乾燥ユニット 18 への搬送速度を制御することによりウェハ W の搬送時間を制御する。これにより、揮発性である IPA 液体の乾燥量を制御することができることから、液膜 L 全体が所定の膜厚になるように調整することができる。

【0108】

図 13 は、実施形態の変形例 2 に係る搬送装置 16 の構成例を示す断面図である。かかる変形例 2 の搬送装置 16 は、回転機構 60 ではなくガス吐出部 80 が設けられる点で実施形態とは異なる。

【0109】

ガス吐出部 80 は、所定の位置に収容されたウェハ W の液膜 L に乾燥用のガスを吐出する。ガス吐出部 80 は、たとえば複数設けられ、アーム 71 に取り付けられる。複数のガス吐出部 80 は、所定の位置に収容されたウェハ W の上方にそれぞれ配置される。

【0110】

複数のガス吐出部 80 は、たとえば、ウェハ W の中央部上方や周縁部上方に配置される。これにより、複数のガス吐出部 80 は、ウェハ W 上に形成される液膜 L の異なる位置にそれぞれガスを吐出することができる。

【0111】

図 14 ~ 図 16 は、実施形態の変形例 2 に係る液膜調整処理の一工程を示す模式図である。図 14 に示すように、搬送装置 16 は、フォーク 53 を用いて液膜 L が形成されたウェハ W を液処理ユニット 17 から取り出し、所定の位置に収容する（ステップ S11）。次に、搬送装置 16 は、重量検知部 55 を用いて、ウェハ W に形成された液膜 L の重量を検知する（ステップ S12）。

【0112】

次に、搬送装置 16 は、膜厚検知部 70 を用いて、ウェハ W 上に形成される液膜 L の膜厚分布を検知する（ステップ S13）。そして、制御部 7 は、検知された液膜 L の重量および膜厚分布に基づいて、乾燥ユニット 18 に搬入される際の液膜 L が所定の膜厚で均一になるように調整する。なお、ここまでの処理は実施形態と同様である。

【0113】

次に、図 15 に示すように、搬送装置 16 は、検知された液膜 L の重量および膜厚分布に基づいて、ガス吐出部 80 から乾燥用のガスを液膜 L に吐出する（ステップ S14）。

【0114】

かかるステップ S14 では、図 15 に示すように、液膜 L の膜厚が大きい部位（図ではウェハ W の中央部）に対して、より多くのガスをガス吐出部 80 から吐出するとよい。これにより、膜厚が大きい部位における液膜 L の乾燥を促進することができることから、ウェハ W 上における液膜 L の膜厚を均一にすることができる。

【0115】

最後に、図 16 に示すように、搬送装置 16 は、液膜 L が所定の膜厚で均一になるように調整されたウェハ W を乾燥ユニット 18 に搬出し（ステップ S15）、処理を完了する。

【0116】

なお、かかる変形例 2 では、実施形態と同様に、ウェハ W の搬送時間を制御することに

10

20

30

40

50

より、液膜 L 全体を所定の膜厚に調整してもよいし、複数のガス吐出部 80 から吐出されるガスの量をそれぞれ調整することにより、液膜 L 全体を所定の膜厚に調整してもよい。

【0117】

また、かかる変形例 2 では、複数のガス吐出部 80 とウェハ W とを相対的に動かして、ガスを当てる位置を変えてもよい。さらに、ガスを当てる位置を変える手段として、例えば、ウェハ W を回転させる機構（回転機構 60）を用いてもよい。

【0118】

変形例 1 に係る基板処理装置（基板処理システム 1）において、制御部 7 は、基板（ウェハ W）の搬送の際に生じる慣性力 F2、F3 を用いて液膜 L の膜厚が均一になるように調整する。これにより、液膜 L をウェハ W 上でさまざまな向きに揺らすことができることから、ウェハ W 上の液膜 L の膜厚を均一にすることができる。

10

【0119】

変形例 2 に係る基板処理装置（基板処理システム 1）において、搬送部（搬送装置 16）は、液膜 L にガスを吐出するガス吐出部 80 を有する。そして、制御部 7 は、ガス吐出部 80 で液膜 L を乾燥させて液膜 L の膜厚が均一になるように調整する。これにより、膜厚が大きい部位での液膜 L の乾燥を促進することができることから、ウェハ W 上の液膜 L の膜厚を均一にすることができる。

【0120】

< 基板処理の詳細 >

つづいて、図 17 を参照しながら、実施形態に係る基板処理システム 1 が実行する液膜調整処理の詳細について説明する。図 17 は、実施形態に係る液膜調整処理の処理手順を示すフローチャートである。

20

【0121】

最初に、制御部 7 は、液処理ユニット 17 を動作させて、ウェハ W の上面に IPA 液体の液膜 L を形成する（ステップ S101）。次に、制御部 7 は、搬送装置 16 のフォーク 53 を制御して、液膜 L が形成されたウェハ W を液処理ユニット 17 から搬出する（ステップ S102）。

【0122】

次に、制御部 7 は、搬送装置 16 の重量検知部 55 を制御して、ウェハ W 上に形成された液膜 L の重量を検知する（ステップ S103）。また、ステップ S103 の処理と平行して、制御部 7 は、膜厚検知部 70 を制御して、ウェハ W 上に形成された液膜 L の膜厚分布を検知する（ステップ S104）。

30

【0123】

次に、制御部 7 は、検知された液膜 L の重量および膜厚分布に基づいて、乾燥ユニット 18 に搬入される際の液膜 L が所定の膜厚で均一になるように調整する（ステップ S105）。そして、制御部 7 は、搬送装置 16 のフォーク 53 を制御して、液膜 L が所定の膜厚で均一になるように調整されたウェハ W を乾燥ユニット 18 に搬入する（ステップ S106）。

【0124】

最後に、制御部 7 は、乾燥ユニット 18 を制御して、液膜 L が形成されたウェハ W に対して超臨界乾燥処理を行うことにより、ウェハ W を乾燥して（ステップ S107）、処理を完了する。

40

【0125】

実施形態に係る基板処理方法は、基板（ウェハ W）の上面に液膜 L を形成する処理（ステップ S101）と、液膜 L が形成された基板（ウェハ W）を搬送する処理と、搬送された基板（ウェハ W）を乾燥する処理（ステップ S107）と、を含む。そして、搬送する処理は、乾燥する処理（ステップ S107）の際の液膜 L が所定の膜厚で均一になるように調整する（ステップ S105）。これにより、ウェハ W 表面に形成される液膜 L を、乾燥処理の際に所定の膜厚で均一にすることができる。

【0126】

50

以上、本開示の実施形態について説明したが、本開示は上記の実施形態に限定されるものではなく、その趣旨を逸脱しない限りにおいて種々の変更が可能である。たとえば、上記の実施形態では、あらかじめ記憶部 8 に記憶されたレシピに基づいて、制御部 7 が搬送装置 16 を制御する例について示したが、液膜 L の重量や膜厚分布を常時検知して、かかる検知されたデータに基づいて搬送装置 16 を制御してもよい。

【0127】

今回開示された実施形態は全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。実に、上記した実施形態は多様な形態で具現され得る。また、上記の実施形態は、添付の特許請求の範囲及びその趣旨を逸脱することなく、様々な形態で省略、置換、変更されてもよい。

10

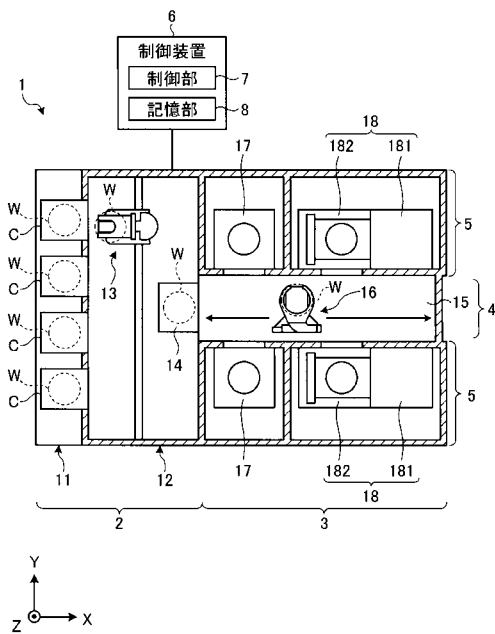
【符号の説明】

【0128】

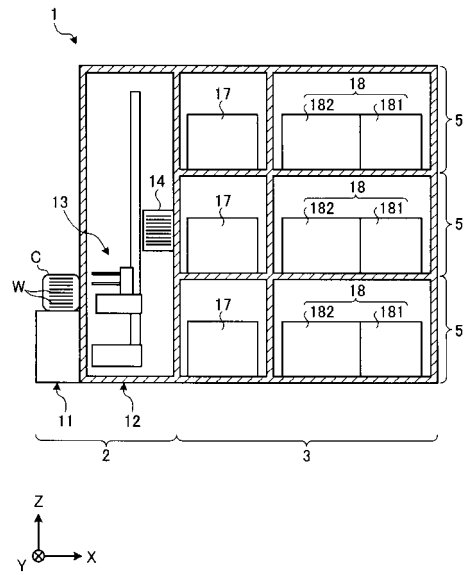
W	ウェハ
1	基板処理システム（基板処理装置の一例）
7	制御部
16	搬送装置（搬送部の一例）
17	液処理ユニット（液処理部の一例）
18	乾燥ユニット（乾燥処理部の一例）
50	基板保持部
55	重量検知部
60	回転機構
70	膜厚検知部
80	ガス吐出部
L	液膜
F1	遠心力
F2、F3	慣性力

20

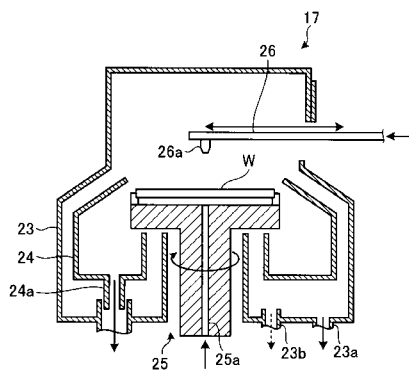
【 図 1 】



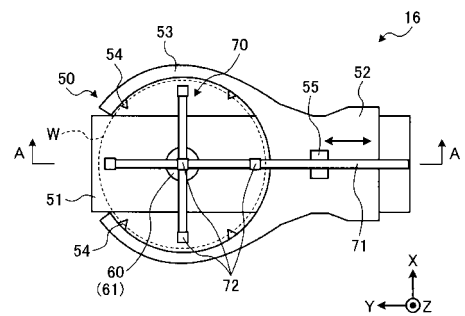
【 図 2 】



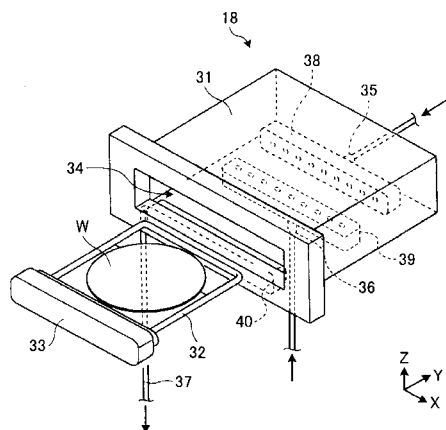
【 図 3 】



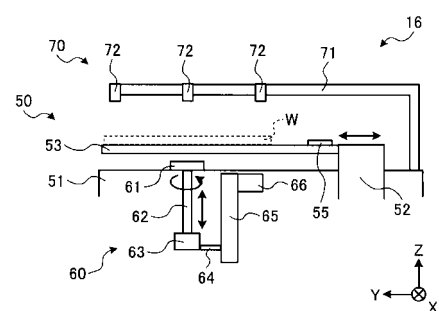
【 図 5 】



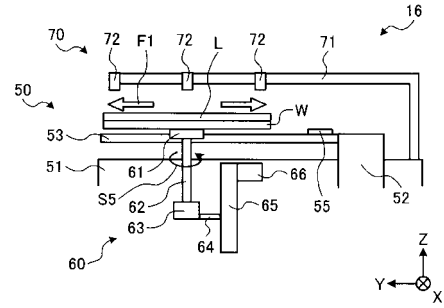
【 図 4 】



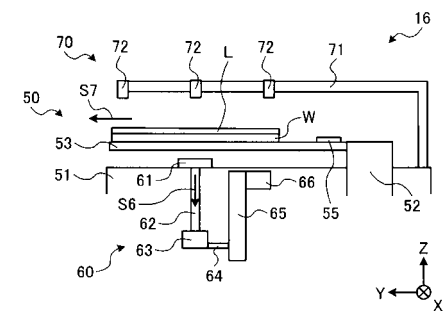
【 図 6 】



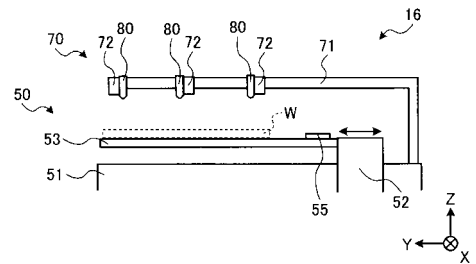
【 図 9 】



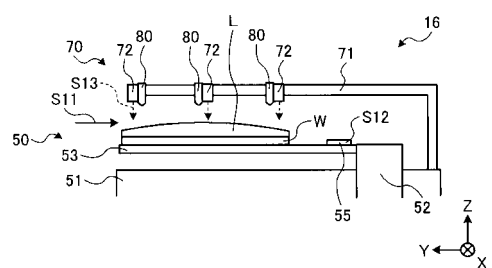
【 図 1 0 】



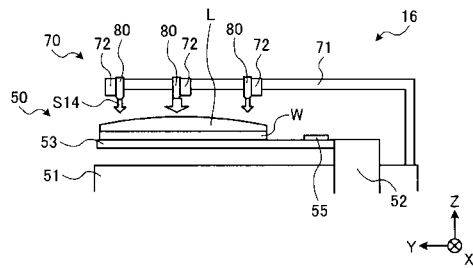
【 図 1 3 】



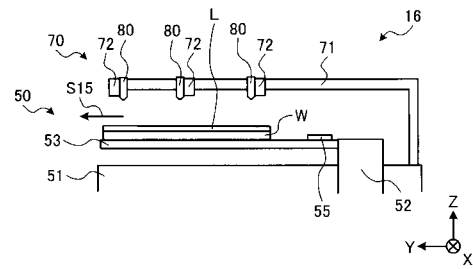
【 図 1 4 】



【図 15】



【図 16】



【図 17】

