

基板洗浄装置および基板処理装置

発明の背景

発明の技術分野

- 5 本発明は、気体と液体からなる二流体噴流をウェーハなどの基板に供給して基板を洗浄する基板洗浄装置に関し、特に研磨された基板の表面に二流体噴流を供給して該基板を洗浄する基板洗浄装置に関するものである。本発明の基板洗浄装置は、直径300mmのウェーハのみならず、直径450mmのウェーハの洗浄にも適用でき、さらにはフラットパネル製造工程やCMOSやCCDなどのイメージセンサー製造工程、MRAMの磁性膜製造工程などにも適用することが可能である。
- 10

関連技術の記載

- 近年の半導体デバイスの微細化に伴い、基板上に物性の異なる様々な材料膜を形成して、当該材料膜を加工することが行われている。特に、絶縁膜に形成した配線溝を金属で埋めるダマシン配線形成工程では、金属膜形成後に基板研磨装置によって余分な金属を研磨し、除去する。研磨後の基板表面には、金属膜、バリア膜、絶縁膜などの様々な膜が存在する。基板表面上に露出したこれらの膜には、研磨にて使用されたスラリや研磨屑など残渣物が存在している。このような残渣物を除去するために、研磨された基板は基板洗浄装置に搬送され、基板表面が洗浄される。
- 15
- 20

基板表面が十分に洗浄されないと、残渣物に起因して電流リークが発生したり、密着性不良が発生するなど、信頼性の点で問題が発生する。そのため、半導体デバイスの製造において、基板の洗浄は、製品の歩留まりを向上させるために重要な工程となっている。

- 25 基板を洗浄するための装置として、気体と液体との混合流体からなる二流体噴流を基板の表面に供給して該基板を洗浄する二流体洗浄装置が知られている。この二流体洗浄装置は、図42に示すように、二流体ノズル500を基板Wの表面と平行に移動させながら二流体ノズル500から二流体噴流を基板Wの表面に供

給し、二流体噴流と基板Wとの衝突で発生した衝撃波で基板表面上に存在する砥粒や研磨屑などのパーティクルを除去する。

しかしながら、図43に示すように、二流体噴流は広がりながら基板に到達するために、衝撃波の基板表面に対する入射角 θ が小さい。このため、図44に示すように、基板表面上の微小な凹部内に存在するパーティクルに衝撃波が当たらず、これらパーティクルを除去することができなかった。

図45は、図42に示す二流体洗浄装置の構造を示す模式図である。図45に示すように、二流体ノズル500には、その内部にある気体室560に気体を供給する気体供給ライン555と、二流体ノズル500内の混合室561に液体を供給する液体供給ライン557とが接続されている。二流体ノズル500はその上部に気体導入ポート564を有しており、この気体導入ポート564を介して気体供給ライン555は二流体ノズル500に接続されている。

液体供給ライン557は、二流体ノズル500内の気体室560を通過して下方に延びており、液体供給ライン557の液体出口557aは二流体ノズル500の内部に位置している。気体室560は、液体供給ライン557の液体出口557aの上方に位置しており、混合室561は液体供給ライン557の液体出口557aの下方に位置している。純水などの液体は、液体供給ライン557を通じて二流体ノズル500内の混合室561に供給される。

気体供給ライン555には気体供給弁571とフィルタ572が設けられている。気体供給ライン555を流れる気体（例えば、窒素ガスなどの不活性ガス）は、気体供給弁571とフィルタ572をこの順に通過し、気体導入ポート564を通じて二流体ノズル500の気体室560内に流入する。気体供給弁571としては、流量制御弁（例えば、マスフローコントローラ）、エアオペレーションバルブ、開閉弁（ON-OFFバルブ）などが使用される。

液体と気体は混合室561内で混合されて高圧の二流体を形成する。気体が気体室560に供給される間、図46に示すように、気体供給弁571は短い周期（例えば、0.1～1.0秒）で開閉される。したがって、気体は気体室560に間欠的に供給され、結果として二流体の流量が周期的に変化する。このように

脈動する二流体の噴流が基板の表面に供給され、基板の表面から砥粒や研磨屑を除去する。

5 気体供給弁 5 7 1 が周期的に開閉されると、混合室 5 6 1 で形成される二流体の流量も気体の流量に従って脈動すると予想される。しかしながら、気体供給弁 5 5 7 1 が短い周期で開閉すると、気体室 5 6 0 内に存在する残圧に起因して、図 4 7 に示すように、二流体の流量の振幅が想定よりも小さくなる。その結果、二流体噴流の洗浄効果が低下してしまう。

10 図 4 8 は二流体の液滴を示す模式図である。図 4 8 に示すように、二流体噴流を構成する液滴は、通常、数十 μm のサイズであるのに対して、基板 W 上の微小なパーティクルは 1 0 0 nm 以下のサイズである。このため、図 4 9 に示すように、液滴は、基板表面上に形成された凹部（例えば、パターン段差やスクラッチ）には進入できず、これら凹部内に存在する微小なパーティクルを除去することができなかった。

15 二流体洗浄装置は、ブラシやスポンジなどの洗浄具を基板 W に接触させないので、基板 W の逆汚染が起こらないという利点がある。しかしながら、二流体噴流のみを用いた洗浄では、基板 W の表面に付着しているパーティクルを十分に除去することが難しい。特に、二流体噴流は、基板表面上に形成された凹部（例えば、パターン段差やスクラッチ）内に存在する微小なパーティクルを除去することができなかった。

20

発明の要旨

本発明は、基板表面上に形成された微小な凹部内に存在するパーティクルを除去することができる基板洗浄装置を提供することを第 1 の目的とする。

25 本発明は、二流体噴流を大きく脈動させながら、二流体の噴流を基板に供給することができる基板洗浄装置を提供することを第 2 の目的とする。

本発明は、二流体の液滴をより小さくして基板の洗浄効果を向上させることができる基板洗浄装置を提供することを第 3 の目的とする。

本発明は、二流体噴流を用いて基板の表面を高効率で洗浄することができる基

板洗浄装置を提供することを第４の目的とする。

本発明は、そのような基板洗浄装置を備えた基板処理装置を提供することを第５の目的とする。

5 上述した目的を達成するために、本発明の一態様は、基板を保持する基板保持部と、前記基板の表面に二流体噴流を供給する二流体ノズルとを備え、前記二流体ノズルは、第１の二流体噴流を噴射する第１の噴射ノズルと、前記第１の二流体噴流よりも高速の第２の二流体噴流を噴射する第２の噴射ノズルとを備え、前記第２の噴射ノズルは、前記第１の噴射ノズルを囲むように配置されていることを特徴とする基板洗浄装置である。

10 本発明の好ましい態様は、前記第２の二流体噴流の速度は、音速以上であることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記二流体ノズルを前記基板の半径方向に移動させるノズル移動機構をさらに備えたことを特徴とする。

15 本発明の好ましい態様は、前記二流体ノズルと前記基板の表面との距離を変える距離調整機構をさらに備えたことを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記第１の噴射ノズルの内部に配置され、前記第１の二流体噴流よりも高速の第３の二流体噴流を噴射する第３の噴射ノズルをさらに備えたことを特徴とする。

20 本発明の好ましい態様は、前記第３の二流体噴流の速度は、音速以上であることを特徴とする。

本発明の他の態様は、基板を保持する基板保持部と、前記基板の表面に二流体噴流を供給する二流体ノズルとを備え、前記二流体ノズルは、第１の流体噴流を噴射する第１の噴射ノズルと、前記第１の流体噴流よりも高速の第２の流体噴流を噴射する第２の噴射ノズルとを備え、前記第２の噴射ノズルは、前記第１の噴射ノズルを囲むように配置されており、前記第１の流体噴流および前記第２の流体噴流のうち的一方は二流体噴流であり、他方は気体噴流であることを特徴とする基板洗浄装置である。

25

本発明の他の態様は、基板を研磨する研磨ユニットと、前記研磨ユニットで研

磨された基板を洗浄する上記基板洗浄装置とを備えたことを特徴とする基板処理装置である。

上述した本発明によれば、高速の第2の二流体噴流は、第1の二流体噴流を囲みながら基板の表面に向かって進行する。第1の二流体噴流と第2の二流体噴流との間には速度差があるため、第2の二流体噴流は第1の二流体噴流との接触により集束する。このように第2の二流体噴流が集束するので、基板の表面に対する衝撃波の入射角が大きくなり（90度に近づき）、結果として、基板表面に形成されている微小な凹部内に存在するパーティクルに衝撃波が当たり、これらパーティクルを除去することができる。

10 本発明の一態様は、基板を保持する基板保持部と、前記基板の表面に二流体噴流を供給する二流体ノズルと、前記二流体ノズル内の気体室に気体を供給する気体供給ラインと、前記気体供給ラインの気体流路を開閉する気体供給弁と、前記二流体ノズル内の混合室に液体を供給する液体供給ラインと、前記気体室内の前記気体を吸引する気体吸引ラインと、前記気体吸引ラインの気体流路を開閉する
15 気体吸引弁と、前記気体供給弁および前記気体吸引弁に同じ周期で開閉動作を繰り返させるバルブ制御部とを備え、前記バルブ制御部は、前記気体供給弁が閉じた状態にあるとき、前記気体吸引弁は開いた状態にあるように前記気体供給弁および前記気体吸引弁の動作を制御することを特徴とする基板洗浄装置である。

本発明の好ましい態様は、前記バルブ制御部は、前記気体供給弁を閉じると同時に前記気体吸引弁を開くことを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記バルブ制御部は、前記気体供給弁を閉じる前に前記気体吸引弁を開くことを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記気体吸引ラインは、前記混合室の上方に位置する気体排出ポートを介して前記二流体ノズルに接続されていることを特徴とする。

25 本発明の好ましい態様は、前記周期は、0.1～1.0秒であることを特徴とする。

本発明の他の態様は、基板を研磨する研磨ユニットと、前記研磨ユニットで研磨された基板を洗浄する上記基板洗浄装置とを備えたことを特徴とする基板処理

装置である。

5 上述した本発明によれば、二流体ノズルの気体室への気体の供給と気体の吸引が交互に繰り返される。すなわち、気体室内の残圧が除去された状態で、気体が気体室に供給される。したがって、二流体の流量を大きく変動させることができ、結果として、基板を効率よく洗浄することが可能となる。

10 本発明の一態様は、基板を保持する基板保持部と、前記基板の表面に二流体噴流を供給する二流体ノズルと、前記二流体ノズル内の混合室に気体を供給する気体供給ラインと、前記二流体ノズル内に液体を供給する液体供給ラインと、前記二流体ノズル内に供給された液体から液滴を形成し、該液滴を前記混合室に供給する液滴形成装置とを備えたことを特徴とする基板洗浄装置である。

15 本発明の好ましい態様は、前記液滴形成装置は、前記液体供給ラインに接続され、前記混合室に連通する液体移送管と、前記液体供給ラインの液体流路を開閉する液体供給弁と、前記液体移送管を流れる前記液体を吸引する液体吸引ラインと、前記液体吸引ラインの液体流路を開閉する液体吸引弁と、前記液体供給弁と前記液体吸引弁を交互に開閉させるバルブ制御部とを備えることを特徴とする。

20 本発明の好ましい態様は、前記液滴形成装置は、前記液体供給ラインに連通する液体室と、前記液体室内の前記液体を押し出して前記液滴を形成するピエゾ素子とを備えることを特徴とする。

25 本発明の好ましい態様は、前記二流体ノズルは、前記気体供給ラインからの気体を前記混合室に導く気体室を有しており、前記液滴形成装置の液滴吐出口は、前記気体室に囲まれていることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記液滴形成装置は、前記液滴吐出口から外側に突出するフランジを有することを特徴とする。

30 本発明の好ましい態様は、前記液体を振動させる超音波振動子を備えることを特徴とする。

35 本発明の他の態様は、基板を研磨する研磨ユニットと、前記研磨ユニットで研磨された基板を洗浄する上記基板洗浄装置とを備えたことを特徴とする基板処理装置である。

上述した本発明によれば、液滴は混合室内で気流によって破碎されて微小な液滴が形成される。この微小な液滴は、基板の表面に形成されている凹部に容易に入り込み、凹部内に存在するパーティクルを除去する。したがって、基板の洗浄効果を向上させることができる。

- 5 本発明の一態様は、基板を保持して回転させる基板保持部と、前記基板の表面に二流体噴流を供給する二流体ノズルと、前記基板に接触して該基板を振動させる少なくとも1つの振動子とを備えたことを特徴とする基板洗浄装置である。

本発明の好ましい態様は、前記振動子は、前記基板とともに回転しながら前記基板を振動させることを特徴とする。

- 10 本発明の好ましい態様は、前記振動子は、圧電素子と、該圧電素子に取り付けられ、前記基板に接触する接触部材とを備えることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記振動子は、前記基板をその表面と垂直な方向に振動させることを特徴とする。

- 15 本発明の好ましい態様は、前記振動子は、前記基板をその表面と平行な方向に振動させることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記少なくとも1つの振動子は、前記基板をその表面と垂直な方向に振動させる少なくとも1つの第1の振動子と、前記基板をその表面と平行な方向に振動させる少なくとも1つの第2の振動子から構成されることを特徴とする。

- 20 本発明の好ましい態様は、前記少なくとも1つの振動子は、複数の振動子であり、前記複数の振動子のうちの少なくとも2つは、互いに異なる周波数および／または振幅で前記基板を振動させることを特徴とする。

本発明の好ましい態様は、前記基板の下面に洗浄液を供給する洗浄液ノズルと、前記洗浄液を振動させる超音波振動子とをさらに備えたことを特徴とする。

- 25 本発明の他の態様は、基板を研磨する研磨ユニットと、前記研磨ユニットで研磨された基板を洗浄する上記基板洗浄装置とを備えたことを特徴とする基板処理装置である。

上述した本発明によれば、振動を基板に加えることによりパーティクルが基板

から離れやすくなる。この状態で、二流体噴流が基板に供給され、パーティクルを基板から除去する。このように、基板の振動と二流体噴流の衝撃との組み合わせにより、基板の洗浄効率を向上させることができる。

5 図面の簡単な説明

図1は、本発明の実施形態に係る基板洗浄装置を備えた基板処理装置の全体構成を示す平面図である。

図2は、第2洗浄ユニットに使用されている本発明の実施形態に係る基板洗浄装置を示す斜視図である。

10 図3は、二流体ノズルの一例を示す縦断面図である。

図4は、図3のA-A線断面図である。

図5は、第1の噴射ノズルおよび第2の噴射ノズルから噴射された第1の二流体噴流と第2の二流体噴流を示す模式図である。

15 図6は、第2の二流体噴流がウェーハの表面に衝突したときの衝撃波を示す模式図である。

図7は、二流体ノズルの他の実施形態を示す模式図である。

図8は、第1の噴射ノズル、第2の噴射ノズル、および第3の噴射ノズルをその軸方向から見た模式図である。

20 図9は、第2洗浄ユニットに使用されている基板洗浄装置のさらに他の実施形態を示す斜視図である。

図10は、基板洗浄装置の構造を示す模式図である。

図11は、気体供給弁および気体吸引弁の開閉状態を示すグラフである。

図12は、図11に示すタイミングで気体供給弁および気体吸引弁が周期的に開閉しているときの二流体の流量を示すグラフである。

25 図13は、他の実施形態における気体供給弁および気体吸引弁の開閉状態を示すグラフである。

図14は、第2洗浄ユニットに使用されている基板洗浄装置のさらに他の実施形態を示す斜視図である。

図 1 5 は、基板洗浄装置の構造の一実施形態を示す模式図である。

図 1 6 は、液体供給弁および液体吸引弁の開閉状態を示すグラフである。

図 1 7 は、図 1 6 に示すタイミングで液体供給弁および液体吸引弁が周期的に開閉しているときの液体の流量を示すグラフである。

- 5 図 1 8 は、液体吸引弁を閉じた状態で、液体供給弁を周期的に開閉させたときの液体の流量を示すグラフである。

図 1 9 は、ウェーハの表面に衝突する二流体噴流を示す模式図である。

図 2 0 は、基板洗浄装置の構造の他の実施形態を示す模式図である。

図 2 1 は、ピエゾインジェクターの縦断面図である。

- 10 図 2 2 は、ピエゾインジェクターの底面図である。

図 2 3 は、図 2 1 に示す液体室およびピエゾ素子を示す拡大図である。

図 2 4 は、図 2 3 に示すピエゾ素子に電圧を印加したときの状態を示す図である。

図 2 5 は、液体移送管の下端に形成されたフランジを示す図である。

- 15 図 2 6 は、ピエゾインジェクターの下端に形成されたフランジを示す図である。

図 2 7 は、液体移送管に設けられた超音波振動子を示す図である。

図 2 8 は、ピエゾインジェクター内の分散流路に設けられた超音波振動子を示す図である。

- 20 図 2 9 は、第 2 洗浄ユニットに使用されている基板洗浄装置のさらに他の実施形態を示す斜視図である。

図 3 0 は、基板洗浄装置のチャックを示す断面図である。

図 3 1 は、振動子の拡大図である。

図 3 2 は、基板保持部の平面図である。

図 3 3 は、振動子がウェーハに振動を与えている状態を示す模式図である。

- 25 図 3 4 は、振動子がウェーハに振動を与えつつ二流体噴流をウェーハの表面に供給している状態を示す模式図である。

図 3 5 は、さらに他の実施形態を示す図である。

図 3 6 は、さらに他の実施形態を示す図である。

- 図37は、さらに他の実施形態を示す図である。
- 図38は、洗浄液ノズルの平面図である。
- 図39は、洗浄液ノズルの斜視図である。
- 図40は、洗浄液ノズルの拡大断面図である。
- 5 図41は、洗浄液ノズルの他の例の平面図である。
- 図42は、従来の二流体洗浄装置を示す模式図である。
- 図43は、従来の噴射ノズルから噴射された二流体噴流を示す模式図である。
- 図44は、二流体噴流が基板の表面に衝突したときの衝撃波を示す模式図である。
- 10 図45は、図42に示す二流体洗浄装置の構造を示す模式図である。
- 図46は、気体供給弁の開閉状態を示すグラフである。
- 図47は、図46に示すタイミングで気体供給弁が周期的に開閉しているときの二流体の流量を示すグラフである。
- 図48は、二流体の液滴を示す模式図である。
- 15 図49は、基板表面に衝突した液滴を示す模式図である。

実施形態の説明

- 以下、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。図1は、本発明の実施形態に係る基板洗浄装置を備えた基板処理装置の全体構成を示す平面図である。
- 20 図1に示すように、基板処理装置は、略矩形状のハウジング10と、多数のウェーハ等の基板を収容する基板カセットが載置されるロードポート12を備えている。ロードポート12は、ハウジング10に隣接して配置されている。ロードポート12には、オープンカセット、SMIF (Standard Manufacturing Interface) ポッド、またはFOUP (Front Opening Unified Pod) を搭載す
- 25 ることができる。SMIF、FOUPは、内部に基板カセットを収納し、隔壁で覆うことにより、外部空間とは独立した環境を保つことができる密閉容器である。
- ハウジング10の内部には、複数（この実施形態では4つ）の研磨ユニット14a～14dと、研磨後の基板を洗浄する第1洗浄ユニット16及び第2洗浄ユ

ニット18と、洗浄後の基板を乾燥させる乾燥ユニット20が収容されている。
研磨ユニット14a～14dは、基板処理装置の長手方向に沿って配列され、洗浄ユニット16、18及び乾燥ユニット20も基板処理装置の長手方向に沿って配列されている。

- 5 ロードポート12、研磨ユニット14a、及び乾燥ユニット20に囲まれた領域には、第1基板搬送ロボット22が配置され、また研磨ユニット14a～14dと平行に、基板搬送ユニット24が配置されている。第1基板搬送ロボット22は、研磨前の基板をロードポート12から受け取って基板搬送ユニット24に渡すとともに、乾燥後の基板を乾燥ユニット20から受け取ってロードポート1
10 2に戻す。基板搬送ユニット24は、第1基板搬送ロボット22から受け取った基板を搬送して、各研磨ユニット14a～14dとの間で基板の受け渡しを行う。各研磨ユニットは、研磨面に研磨液（スラリー）を供給しながら、ウェーハなどの基板を研磨面に摺接させることで、基板の表面を研磨する。

- 第1洗浄ユニット16と第2洗浄ユニット18の間に位置して、これらの洗浄
15 ユニット16、18および基板搬送ユニット24の間で基板を搬送する第2基板搬送ロボット26が配置され、第2洗浄ユニット18と乾燥ユニット20との間に位置して、これらの各ユニット18、20の間で基板を搬送する第3基板搬送ロボット28が配置されている。更に、ハウジング10の内部に位置して、基板処理装置の各ユニットの動きを制御する動作制御部30が配置されている。

- 20 第1洗浄ユニット16として、薬液の存在下で、基板の表裏両面にロールスポンジを擦り付けて基板を洗浄する基板洗浄装置が使用されている。第2洗浄ユニット18として、本発明の実施形態に係る二流体タイプの基板洗浄装置が使用されている。また、乾燥ユニット20として、基板を保持し、移動するノズルからIPA蒸気を噴出して基板を乾燥させ、更に高速で回転させることによって基板
25 を乾燥させるスピン乾燥装置が使用されている。

基板は、研磨ユニット14a～14dの少なくとも1つにより研磨される。研磨された基板は、第1洗浄ユニット16と第2洗浄ユニット18により洗浄され、さらに洗浄された基板は乾燥ユニット20により乾燥される。

図2は、第2洗浄ユニット18に使用されている本発明の実施形態に係る基板洗浄装置を示す斜視図である。図2に示すように、この基板洗浄装置は、基板の一例であるウェーハWを水平に保持して回転させる基板保持部41と、ウェーハWの上面に二流体噴流を供給する二流体ノズル42と、この二流体ノズル42を保持するノズルアーム44とを備えている。二流体ノズル42には、第1の気体供給源55と、第2の気体供給源56と、液体供給源57が接続されている。

基板保持部41は、ウェーハWの周縁部を保持する複数の（図2では4つの）チャック45と、チャック45に連結されたモータ48とを備えている。チャック45はウェーハWを水平に保持し、この状態でウェーハWはその中心軸線まわりにモータ48によって回転される。

二流体ノズル42はウェーハWの上方に配置されている。ノズルアーム44の一端に二流体ノズル42が取り付けられ、ノズルアーム44の他端には回転軸50が連結されている。二流体ノズル42は、ノズルアーム44および回転軸50を介してノズル移動機構51に連結されている。より具体的には、回転軸50には、ノズルアーム44を回転させるノズル移動機構51が連結されている。ノズル移動機構51は、回転軸50を所定の角度だけ回転させることにより、ノズルアーム44をウェーハWと平行な平面内で回転させるようになっている。ノズルアーム44の回転により、これに支持された二流体ノズル42がウェーハWの半径方向に移動する。

ノズル移動機構51は、回転軸50を上下動させるノズル昇降機構52に接続されており、これにより二流体ノズル42は、ウェーハWに対して相対的に上下動することができるようになっている。このノズル昇降機構52は、二流体ノズル42とウェーハWの表面との距離を変える距離調整機構として機能する。

ウェーハWは次のようにして洗浄される。まず、基板保持部41は、ウェーハWをその中心軸線まわりに回転させる。この状態で、二流体ノズル42は、ウェーハWの上面に二流体噴流を供給し、さらにウェーハWの半径方向に移動する。ウェーハWの上面は、二流体噴流によって洗浄される。

図3は、二流体ノズル42の一例を示す縦断面図であり、図4は図3のA-A

線断面図である。図3に示すように、二流体ノズル42は、第1の噴射ノズル61と、その第1の噴射ノズル61を囲むように配置された第2の噴射ノズル62と、第1の噴射ノズル61および第2の噴射ノズル62に連通する液体室66が内部に形成された液体容器65とを備えている。液体容器65は第2の噴射ノズル62の上端に接続されており、第1の噴射ノズル61の下端は第2の噴射ノズル62の下端と同じ高さに位置している。図4に示すように、第1の噴射ノズル61と第2の噴射ノズル62は、同軸状に配置されている。

図3に示すように、液体容器65は、液体室66に連通する液体導入ポート74を有しており、この液体導入ポート74は液体供給源57に接続されている。液体（例えば純水）は、この液体導入ポート74を通じて液体室66に供給されるようになっている。第1の噴射ノズル61は、液体容器65を貫通して延びている。第1の噴射ノズル61には、液体室66に連通する複数の第1の接続路71が形成されている。液体容器65の下端には、第2の噴射ノズル62と液体室66とを連通する第2の接続路72が形成されている。この第2の接続路72は第1の噴射ノズル61を囲むように形成されている。

第1の噴射ノズル61の上端には、第1の気体供給源55に接続された第1の気体導入ポート75が形成されている。第2の噴射ノズル62の上端には、第2の気体供給源56に接続された第2の気体導入ポート76が形成されている。第1の気体供給源55は、第1の気体を第1の気体導入ポート75を通じて第1の噴射ノズル61に供給し、第2の気体供給源56は、第1の気体よりも高圧の第2の気体を第2の気体導入ポート76を通じて第2の噴射ノズル62に供給する。

液体、第1の気体、および第2の気体は、同時に二流体ノズル42に供給される。液体は液体室66を満たし、第1の接続路71を通過して第1の噴射ノズル61に流入しつつ、第2の接続路72を通過して第2の噴射ノズル62に流入する。第1の噴射ノズル61内では、第1の気体と液体が混合され、第1の二流体噴流を形成する。第2の噴射ノズル62内では、第2の気体と液体が混合され、第2の二流体噴流を形成する。第1の気体と第2の気体の種類は同じであってもよく、または異なってもよい。

第2の噴射ノズル62に導入される第2の気体は、第1の噴射ノズル61に導入される第1の気体の圧力よりも高い圧力を有している。したがって、第2の二流体噴流は、第1の二流体噴流よりも高速で進行する。具体的には、第2の二流体噴流の速度は音速以上であることが好ましい。これは、第2の二流体噴流がウェーハWの表面に衝突したときに、強い衝撃波が生じるためである。なお、音速は、0℃および1気圧の条件下で、331.45 m/sである。

図5は、第1の噴射ノズル61および第2の噴射ノズル62から噴射された第1の二流体噴流と第2の二流体噴流を示す模式図である。第1の二流体噴流と第2の二流体噴流との間には速度差があるため、図5に示すように、第2の二流体噴流は第1の二流体噴流との接触により集束する。このように第2の二流体噴流が集束するので、図6に示すように、ウェーハWの表面に対する衝撃波の入射角が大きくなり（90度に近づき）、結果として、ウェーハWの表面に形成されている微小な凹部内に存在するパーティクルに衝撃波が当たり、これらパーティクルを除去することができる。特に、パターン配線の段差や表面スクラッチなどの凹部内に存在する100 nm以下のサイズの微小パーティクルを除去することができる。

図3に示す二流体ノズルの構成は一例であり、他の構成を採用してもよい。例えば、第1の気体供給源および第1の液体供給源から第1の気体および第1の液体を第1の噴射ノズル61に供給し、第2の気体供給源および第2の液体供給源から第2の気体および第2の液体を第2の噴射ノズル62に供給してもよい。この場合は、第1の気体および第1の液体の種類は、第2の気体および第2の液体とは別にすることができる。例えば、第1の液体および第2の液体のうち的一方に機能水（例えば、水素水、アンモニア水、またはイソプロピルアルコールを含んだ液体）を用い、他方に純水を用いてもよい。

第1の噴射ノズル61から噴射される第1の流体噴流および第2の噴射ノズル62から噴射される第2の流体噴流のうち、一方は二流体噴流であって他方は気体噴流であってもよい。例えば、第2の噴射ノズル62は高速の二流体噴流を噴射しつつ、第1の噴射ノズル61は、低速の気体噴流を噴射するように構成され

てもよい。別の例では、第1の噴射ノズル61は低速の二流体噴流を噴射しつつ、第2の噴射ノズル62は、高速の気体噴流を噴射するように構成されてもよい。

図7は、二流体ノズルの他の実施形態を示す模式図である。特に説明しない構成は、図3に示す構成と同様である。この実施形態では、第1の噴射ノズル61
5 の内部に第3の噴射ノズル79が配置されている。第1の噴射ノズル61、第2の噴射ノズル62、および第3の噴射ノズル79は、図8に示すように、同軸状に配置されている。第3の噴射ノズル79からは、第1の二流体噴流よりも高速な第3の二流体噴流が噴射される。すなわち、第2の二流体噴流および第3の二流体噴流の速度は、第1の二流体噴流よりも高い。第2の二流体噴流および第3
10 の二流体噴流の速度は、音速以上であることが好ましい。高速の第2の二流体噴流は、低速の第1の二流体噴流との接触により集束し、高速の第3の二流体噴流は、低速の第1の二流体噴流との接触により広がる。

第1の噴射ノズル61から噴射される第1の流体噴流と、第2および第3の噴射ノズル62、79から噴射される第2および第3の流体噴流のうち、一方は二
15 流体噴流であって他方は気体噴流であってもよい。例えば、第2および第3の噴射ノズル62、79は高速の二流体噴流を噴射しつつ、第1の噴射ノズル61は、低速の気体噴流を噴射するように構成されてもよい。別の例では、第1の噴射ノズル61は低速の二流体噴流を噴射しつつ、第2および第3の噴射ノズル62、79は、高速の気体噴流を噴射するように構成されてもよい。

図9は、第2洗浄ユニット18に使用されている基板洗浄装置のさらに他の実施形態を示す斜視図である。特に説明しない基板処理装置の構成および動作は、図2に示す実施形態と同じであるので、その重複する説明を省略する。図9に示すように、この基板洗浄装置は、基板の一例であるウェーハWを水平に保持して回転させる基板保持部41と、ウェーハWの上面に二流体噴流を供給する二流体
25 ノズル42と、この二流体ノズル42を保持するノズルアーム44とを備えている。二流体ノズル42には、気体供給ライン80と、気体吸引ライン81と、液体供給ライン82が接続されている。

図10は、基板洗浄装置の構造を示す模式図である。図10に示すように、二

流体ノズル４２には、その内部に形成されている気体室９０に気体を供給する気体供給ライン８０と、二流体ノズル４２内に形成されている混合室９１に液体を供給する液体供給ライン８２と、気体室９０内の気体を吸引する気体吸引ライン８１が接続されている。

５ 二流体ノズル４２はその上部に気体導入ポート９４を有しており、この気体導入ポート９４を介して気体供給ライン８０が二流体ノズル４２に接続されている。二流体ノズル４２はその上部に気体排出ポート９５をさらに有しており、この気体排出ポート９５を介して気体吸引ライン８１が二流体ノズル４２に接続されている。気体導入ポート９４は、気体排出ポート９５よりも上方に位置している。

１０ 液体供給ライン８２は、二流体ノズル４２の気体室９０を通して下方に延びており、液体供給ライン８２の液体出口８２ａは二流体ノズル４２の内部に位置している。気体室９０は、液体供給ライン８２の液体出口８２ａの上方に位置しており、混合室９１は液体供給ライン８２の液体出口８２ａの下方に位置している。気体室９０と混合室９１は互いに連通している。

１５ 純水などの液体は、液体供給ライン８２を通じて二流体ノズル４２内の混合室９１に供給される。液体は、ポンプによって昇圧された状態で液体供給ライン８２内を移送されてもよいし、気体吸引ライン８１によって二流体ノズル４２内に形成される負圧に引かれて液体供給ライン８２内を移送されてもよい。

気体吸引ライン８１が二流体ノズル４２内の液体を吸引しないように、気体排出ポート９５は二流体ノズル４２内の混合室９１の上方に（すなわち、液体供給ライン８２の液体出口８２ａよりも上方に）配置されている。

気体供給ライン８０には気体供給弁１０１とフィルタ１０２が設けられている。気体供給ライン８０を流れる気体（例えば、窒素ガスなどの不活性ガス）は、気体供給弁１０１とフィルタ１０２をこの順に通過し、気体導入ポート９４を通じて二流体ノズル４２の気体室９０内に流入する。液体供給ライン８２からの液体と気体供給ライン８０からの気体は、混合室９１内で混合されて高圧の二流体噴流を形成する。

気体供給弁１０１は、気体供給ライン８０の気体流路を所定の周期で繰り返し

- 開閉するように動作する。したがって、気体は気体室 90 に間欠的に供給され、結果として二流体噴流の流量が周期的に変化する。このように脈動する二流体の噴流が基板の表面に供給され、基板の表面から砥粒や研磨屑を除去する。
- 5 気体吸引ライネ 81 には、真空ボンプなどの真空源 97 が接続される。この気体吸引ライネ 81 には、気体吸引弁 103 が設けられている。気体吸引弁 103 は、気体吸引ライネ 81 の気体流路を、気体供給弁 101 と同じ周期で繰り返し開閉するように動作する。したがって、気体吸引ライネ 81 は、気体室 90 内の気体を間欠的に吸引する。気体供給弁 101 および気体吸引弁 103 としては、流量制御弁 (例えば、マスフローコントローラ)、エアオペレーショバルブ、開閉弁 (ON-OFF バルブ) などが使用される。
- 10 液体が混合室 91 に供給される間、気体室 90 への気体の供給と、気体室 90 からの気体の吸引が交互に繰り返されるように、気体供給弁 101 および気体吸引弁 103 の開閉動作は所定の周期 (例えば、0.1 ~ 1.0 秒) で繰り返される。気体供給弁 101 および気体吸引弁 103 はバルブ制御部 105 に接続されており、気体供給弁 101 および気体吸引弁 103 の開閉動作はバルブ制御部 105 によって制御される。
- 15 図 11 は、気体供給弁 101 および気体吸引弁 103 の開閉状態を示すグラフである。図 11 において、縦軸は気体供給弁 101 および気体吸引弁 103 が開状態にあるか、または閉状態にあるかを示し、横軸は時間を表している。図 11 から分かるように、気体供給弁 101 および気体吸引弁 103 は同じ周期で開閉動作を繰り返すが、気体吸引弁 103 の開閉状態は気体供給弁 101 の開閉状態と反対である。すなわち、気体供給弁 101 が開くと同時に気体吸引弁 103 が閉じ、気体供給弁 101 が閉じると同時に気体吸引弁 103 が開くようになって
- 20 いる。
- 25 このように気体供給弁 101 および気体吸引弁 103 を同じ周期で交互に開閉することにより、気体室 90 への気体の供給と気体室 90 からの気体の吸引が交互に行われる。気体供給弁 101 および気体吸引弁 103 の開閉動作は、バルブ制御部 105 によって制御されている。図 11 に示すように、バルブ制御部 10

5は、気体供給弁101および気体吸引弁103に同じ周期で開閉動作を繰り返させるように構成されている。

気体供給弁101が閉じた状態のとき、気体吸引弁103は開いた状態にある。気体室90内の気体は気体吸引ライン81を通じて吸引され、気体室90内の残
5 圧が除去される。図12は、図11に示すタイミングで気体供給弁101および気体吸引弁103が周期的に開閉しているときの二流体噴流の流量を示すグラフである。気体室90に気体が供給される前に気体室90内の残圧が除去されるので、図12に示すように、二流体の噴流は大きく脈動し、結果として基板の表面を高効率で洗浄することができる。

- 10 図13は、他の実施形態における気体供給弁101および気体吸引弁103の開閉状態を示すグラフである。特に説明しない構成および動作は、上述した実施形態と同様であるのでその重複する説明を省略する。この実施形態は、気体供給弁101が開くと同時に気体吸引弁103が閉じる点で上述した実施形態と同じであるが、気体供給弁101が閉じる前に気体吸引弁103が開く点で異なっている。
15 気体吸引弁103の開閉周期は、気体供給弁101の開閉周期と同じである。

- 図13に示す実施形態によれば、気体供給弁101が閉じたときに遅延なく残圧が除去される。この場合も、気体供給弁101が閉じた状態のとき、気体吸引弁103は開いた状態にある。気体室90への気体の供給と、気体室90からの
20 気体の吸引は交互に繰り返され、二流体の流量は、図12に示すグラフとほぼ同じように大きく脈動する。したがって、二流体の噴流によって基板の表面を高効率で洗浄することができる。

- 気体供給弁101が閉じた状態にある間、気体吸引弁103は常に開いた状態になくてもよい。例えば、気体供給弁101が開く直前に（すなわち気体供給弁
25 101が閉じた状態にあるときに）、気体吸引弁103が閉じてよい。

図14は、第2洗浄ユニット18に使用されている基板洗浄装置のさらに他の実施形態を示す斜視図である。特に説明しない基板処理装置の構成および動作は、図2に示す実施形態と同じであるので、その重複する説明を省略する。図14に

示すように、この基板洗浄装置は、基板の一例であるウェーハWを水平に保持して回転させる基板保持部41と、ウェーハWの上面に二流体噴流を供給する二流体ノズル42と、この二流体ノズル42を保持するノズルアーム44とを備えている。二流体ノズル42には、気体供給ライン111と、液体供給ライン112と、液体吸引ライン113が接続されている。

図15は、基板洗浄装置の構造の一実施形態を示す模式図である。図15に示すように、二流体ノズル42には、その内部に形成されている気体室120を通じて混合室121に気体を供給する気体供給ライン111と、混合室121に連通する液体移送管137に液体（例えば、純水）を供給する液体供給ライン112と、液体移送管137を流れる液体を吸引する液体吸引ライン113が接続されている。

気体室120、混合室121、および液体移送管137は、二流体ノズル42内に配置されている。液体移送管137は外筒138に囲まれており、液体移送管137と外筒138との間に気体室120が形成される。混合室121は外筒138の内部に形成されており、液体移送管137および気体室120の下方に位置している。気体室120は混合室121に連通しており、気体供給ライン111からの気体は、気体室120を通じて混合室121に導かれる。

気体供給ライン111にはフィルタ132が設けられている。気体供給ライン111を流れる気体（例えば、窒素ガスなどの不活性ガス）は、フィルタ132を通過し、二流体ノズル42の気体室120内に流入する。

液体供給ライン112には、その液体流路を開閉する液体供給弁141が設けられており、液体吸引ライン113には、その液体流路を開閉する液体吸引弁142が設けられている。液体供給弁141および液体吸引弁142としては、流量制御弁（例えば、マスフローコントローラ）、エアオペレーションバルブ、開閉弁（ON-OFFバルブ）などが使用される。

液体吸引ライン113の一端は、液体移送管137の側面に接続されている。すなわち、液体移送管137は、その側面に液体吸引ポート139を有しており、液体吸引ライン113はこの液体吸引ポート139に接続されている。液体吸引

ライン 1 1 3 の他端は、吸液ポンプ 1 4 8 に接続されている。液体供給ライン 1 1 2 は液体移送管 1 3 7 の上端開口部に接続されている。液体供給弁 1 4 1 および液体吸引弁 1 4 2 はバルブ制御部 1 3 5 に接続されており、液体供給弁 1 4 1 および液体吸引弁 1 4 2 の開閉動作はバルブ制御部 1 3 5 によって制御される。

- 5 より具体的には、液体移送管 1 3 7 への液体の供給と、液体移送管 1 3 7 からの液体の吸引が交互に繰り返されるように、液体供給弁 1 4 1 および液体吸引弁 1 4 2 の開閉動作は所定の周期で繰り返される。

図 1 6 は、液体供給弁 1 4 1 および液体吸引弁 1 4 2 の開閉状態を示すグラフである。図 1 6 において、縦軸は液体供給弁 1 4 1 および液体吸引弁 1 4 2 が開状態にあるか、または閉状態にあるかを示し、横軸は時間を表している。図 1 6 から分かるように、液体供給弁 1 4 1 および液体吸引弁 1 4 2 は同じ周期で開閉動作を繰り返すが、液体吸引弁 1 4 2 の開閉状態は液体供給弁 1 4 1 の開閉状態と反対である。すなわち、液体供給弁 1 4 1 が開くと同時に液体吸引弁 1 4 2 が閉じ、液体供給弁 1 4 1 が閉じると同時に液体吸引弁 1 4 2 が開くようになって
15 いる。

このように液体供給弁 1 4 1 および液体吸引弁 1 4 2 が同じ周期で交互に開閉されることにより、液体移送管 1 3 7 への液体の供給と、液体移送管 1 3 7 からの液体の吸引が交互に行われる。液体供給弁 1 4 1 および液体吸引弁 1 4 2 の開閉動作は、バルブ制御部 1 3 5 によって制御される。図 1 6 に示すように、バルブ制御部 1 3 5 は、液体供給弁 1 4 1 および液体吸引弁 1 4 2 を同じ周期で交互に開閉させる。
20

図 1 7 は、図 1 6 に示すタイミングで液体供給弁 1 4 1 および液体吸引弁 1 4 2 が周期的に開閉しているときの液体の流量を示すグラフである。液体の供給と吸引が交互に行われるので、図 1 7 に示すように、液体移送管 1 3 7 を流れる液体の流量が大きく変動する。結果として、液体は、液滴となって液体移送管 1 3 7 の下端の液滴吐出口 1 4 0 から吐出される。液滴は、液体移送管 1 3 7 の下方に形成された混合室 1 2 1 に供給される。
25

図 1 8 は、液体吸引弁 1 4 2 を閉じた状態で、液体供給弁 1 4 1 を周期的に開

閉させたときの液体の流量を示すグラフである。図18に示すように、液体供給弁141のみを開閉させたとき、液体移送管137を流れる液体の流量は大きく変動しない。図17のグラフと図18のグラフとの対比から分かるように、液体の供給と吸引を交互に繰り返すことにより、液体移送管137を流れる液体を液
5 滴に変換することができる。

気体室120は液体移送管137を囲むように形成されており、液体移送管137の液滴吐出口140は気体室120に囲まれている。この気体室120には、混合室121に向かって進行する気流が形成される。液滴吐出口140から吐出された液滴は、混合室121内で気流によって破碎され、より微小な液滴となる。
10 このような微小な液滴と気体とが混合室121内で混合されて、二流体噴流を形成する。

図19は、ウェーハWの表面に衝突する二流体噴流を示す模式図である。図19に示すように、二流体噴流を構成する微小な液滴は、ウェーハWの表面に形成されている微小な凹部（例えば、パターン段差やスクラッチ）に進入し、これら
15 凹部内に存在する100nm以下の微小なパーティクルを除去することができる。

本実施形態では、液滴形成装置150は、液体供給ライン112に接続され、混合室121に連通する液体移送管137と、液体供給ライン112の液体流路を開閉する液体供給弁141と、液体移送管137を流れる液体を吸引する液体吸引ライン113と、液体吸引ライン113の液体流路を開閉する液体吸引弁1
20 42と、液体供給弁141と液体吸引弁142を交互に開閉させるバルブ制御部135とから構成される。

図20は、基板洗浄装置の構造の他の実施形態を示す模式図である。特に説明しない本実施形態の構成は、図15に示す実施形態の構成と同じであるので、その重複する説明を省略する。

図20に示すように、本実施形態の液滴形成装置150は、ピエゾインジェクター（ピエゾ式噴射装置）155を備えている。ピエゾインジェクター155は、二流体ノズル42内に配置されている。気体室120はピエゾインジェクター155の周囲に形成され、混合室121はピエゾインジェクター155の下方に位
25

置している。このピエゾインジェクター155は、液体供給ライン112に接続されており、この液体供給ライン112を通じて液体が供給される。液体は、ピエゾインジェクター155によって液滴に変換され、これら液滴は混合室121に供給される。本実施形態では、上述した液体吸引ライン113、液体吸引弁142、およびバルブ制御部135は設けられていない。液体供給弁141は設けられなくてもよい。

図21は、ピエゾインジェクター155の縦断面図であり、図22は、ピエゾインジェクター155の底面図である。ピエゾインジェクター155は、複数の液体室157と、これら液体室157に隣接する複数のピエゾ素子158と、複数の液体室157に接続された分散流路159とを有している。複数の液体室157は、分散流路159を通じて液体供給ライン112に連通している。さらに、複数の液体室157は、複数の液滴吐出口140にそれぞれ連通している。これら液滴吐出口140は、ピエゾインジェクター155の下面に形成されている。液滴吐出口140は、気体室120に囲まれている。各ピエゾ素子158には図示しない電源が接続されており、ピエゾ素子158に電圧が周期的に印加されるようになっている。

図23は、図21に示す液体室157およびピエゾ素子158を示す拡大図であり、図24は、図23に示すピエゾ素子158に電圧を印加したときの状態を示す図である。ピエゾ素子158は、液体室157内の液体に接している。ピエゾ素子158に電圧が印加されると、図24に示すように、ピエゾ素子158が変形する。その結果、液体室157を満たす液体は変形したピエゾ素子158に押し出され、液滴となって液滴吐出口140から吐出される。

電圧はピエゾ素子158に周期的に印加され、ピエゾ素子158は液滴を連続的に混合室121内に噴出する。液滴は、混合室121内で気流によって破碎され、さらに微小な液滴となる。このような微小な液滴と気体とが混合室121内で混合されて、二流体噴流を形成する。図19に示すように、二流体噴流を構成する微小な液滴は、ウェーハの表面に形成されている微小な凹部（例えば、パターン段差やスクラッチ）に進入し、これら凹部内に存在する100nm以下の微

小なパーティクルを除去することができる。

上述した実施形態では、液滴が混合室121に供給され、気流との衝突によりさらに微小な液滴となる。液滴と気流との衝突を促進させるために、混合室121に気体の乱流を起こさせることが好ましい。具体的には、図25および図26
5 に示すように、液滴形成装置150は、液滴吐出口140から外側に突出するフランジ165を有してもよい。図25に示す例では、フランジ165は液体移送管137の下端に形成されており、図26に示す例では、フランジ165はピエゾインジェクター155の下端に形成されている。

フランジ165は、気体室120内に位置している。気流がフランジ165を
10 乗り越えるとき、気流が乱れて内側に向かう渦流を形成する。このような渦流は、液滴吐出口140から吐出された液滴に衝突し、液滴をさらに微小な液滴にする。より強い気体の渦流を発生させるために、気体の流速は音速以上であることが好ましい。

二流体噴流の洗浄効果をさらに向上させるために、図27および図28に示す
15 ように、液滴を形成する前の液体を振動させる超音波振動子107を設けてもよい。図27に示す例では、超音波振動子107は液体移送管137の一部を囲むように設けられ、図28に示す例では、超音波振動子107はピエゾインジェクター155内の分散流路159の一部を囲むように設けられている。超音波振動子107を液体供給ライン112に設けてもよい。超音波振動子107の振動周波数は、数十Hz～数MHzであることが好ましい。さらに、振動周波数の異なる複数の超音波振動子107を液体移送管137または分散流路159に沿って
20 設けてもよい。このように異なる周波数で液体を振動させることによって、異なるサイズのパーティクルをウェーハWから除去することができる。超音波振動子107は、液滴吐出口140から吐出される液滴を振動させることができ、これ
25 によってウェーハ上のパーティクルをより効果的に除去することができる。

図29は、第2洗浄ユニット18に使用されている基板洗浄装置のさらに他の実施形態を示す斜視図である。特に説明しない基板処理装置の構成および動作は、図2に示す実施形態と同じであるので、その重複する説明を省略する。図29に

示すように、この基板洗浄装置は、基板の一例であるウェーハWを保持して回転させる基板保持部41と、ウェーハWの上面に二流体噴流を供給する二流体ノズル42と、この二流体ノズル42を保持するノズルアーム44とを備えている。

5 二流体ノズル42には、気体供給ライン175と、液体供給ライン177とが接続されている。気体および液体は、気体供給ライン175および液体供給ライン177を通じて二流体ノズル42に供給され、二流体ノズル42内で混合されて二流体を形成する。この二流体は二流体ノズル42からウェーハWの表面に噴射される。

基板保持部41は、ウェーハWの周縁部を保持する複数の（図29では6つの）
10 チャック45と、チャック45に連結されたモータ48とを備えている。チャック45はウェーハWを保持し、この状態でウェーハWはその中心軸線まわりにモータ48によって回転される。

図30は、チャック45の拡大断面図である。図30に示すように、チャック45には、ウェーハWの周縁部に接触しつつ、ウェーハWを振動させる振動子1
15 81が設けられている。振動子181は、ウェーハWの表面と平行な接触面182を有しており、この接触面182は、チャック45に支持されたウェーハWの周縁部の下面に接触する。すべてのチャック45には振動子181が設けられており、これら複数の振動子181は、ウェーハWの周縁部に沿って等間隔に配列されている。モータ48によりチャック45が回転されると、振動子181もチャ
20 ャック45とともに回転される。したがって、振動子181はウェーハWとともに回転しながら、ウェーハWを振動させる。

図31は、振動子181の拡大図である。図31に示すように、振動子181は、圧電素子（ピエゾ素子）186と、圧電素子186に取り付けられた接触部材187とを備えている。振動子181は、その接触部材187がウェーハWの
25 周縁部の下面に接触するようにチャック45に配置される。したがって、接触部材187の表面は、ウェーハWの周縁部の下面に接触する接触面182を構成する。

接触部材187は、ウェーハWに供給される液体から圧電素子186を保護す

るため、および圧電素子186からウェーハWを保護するためのものである。例えば、接触部材187は、テフロン（登録商標）、PEEK樹脂（ポリエーテルエーテルケトン）、石英などからなるシート部材である。この接触部材187は省略してもよい。この場合は、ウェーハWの下面に接触する振動子181の上記

5 接触面182は、圧電素子186自体の表面から構成される。

図30から分かるように、振動子181はウェーハWの下面に接触しているので、ウェーハWの表面と垂直な方向にウェーハWを振動させる。振動子181の振動周波数および振幅は、圧電素子186に印加される電圧に依存して変わりうる。それぞれのチャック45に設けられている振動子181の振動周波数および
10 /または振幅は、同じであってもよく、または異なってもよい。

すべての振動子181のうちの少なくとも2つは、互いに異なる周波数および
/または振幅で振動してもよい。例えば、図32に示す3つの振動子181-1,
181-3, 181-5からなる第1のグループは、数十〜数百kHzの振動周
波数で振動し、第1のグループの振動子の間にある3つの振動子181-2, 1
15 81-4, 181-6からなる第2のグループは、1MHzの振動周波数で振動
してもよい。第1のグループの振動子181-1, 181-3, 181-5の振
幅は、第2のグループの振動子181-2, 181-4, 181-6の振幅と同
じであってもよく、または異なってもよい。

ウェーハWは次のようにして洗浄される。基板保持部41は、ウェーハWをそ
20 の中心軸線まわりに回転させ、さらに振動子181によりウェーハWを所定の周
波数および所定の振幅で振動させる。この状態で、二流体ノズル42は、ウェー
ハWの上面に二流体噴流を供給し、さらにウェーハWの半径方向に移動する。ウ
ェーハWの上面は、振動子181による振動と二流体噴流の衝撃との複合作用に
よって洗浄される。

25 図33は、振動子181がウェーハWに振動を与えている状態を示す模式図で
あり、図34は、振動子181がウェーハWに振動を与えつつ二流体噴流をウェ
ーハWの表面に供給している状態を示す模式図である。図33に示すように、振
動をウェーハWに加えることによりパーティクルがウェーハWから離れやすくな

る。この状態で、ウエーハWには二流体噴流が供給され、パーライクルをウエーハWから除去する。このように、ウエーハWの振動と二流体噴流の衝撃との組み合わせにより、ウエーハWの洗浄効率を向上させることができる。

振動子181は、チャック45を介して間接的にウエーハWを振動させるのであるが、その接触面182がウエーハWに接触した状態でウエーハWを直接振動させる。したがって、チャック45自体はほとんど振動せず、チャック45は安定してウエーハWを保持することができる。つまり、本実施形態の振動子181は、チャック45を振動させずにウエーハWのみを振動させることができる。

図35は、さらに他の実施形態を示す図である。この実施形態では、振動子181はウエーハWの外周面（すなわち最も外側の端面）に接触し、ウエーハWをその表面と平行な方向に振動させるように配置されている。この振動子181は、ウエーハWの外周面に接触する接触面182を有している。振動子181の構成は、図31に示す振動子181の構成と同じであるので、その重複する説明を省略する。本実施形態によれば、二流体噴流によるウエーハWの洗浄中、ウエーハWは振動子181によってウエーハWの表面と平行な方向に振動する。

図36は、さらに他の実施形態を示す図である。この実施形態では、1つのチャック45に2つの振動子181A、181Bが設けられている。第1の振動子181Aは、図30に示す振動子181と同じ構成を有し、同じ位置に配置されている。すなわち、第1の振動子181Aは、ウエーハWの周縁部の下面に接触している。ウエーハWをその表面と垂直な方向に振動させる。第2の振動子181Bは、図35に示す振動子181と同じ構成を有し、同じ位置に配置されている。すなわち、第2の振動子181Bは、ウエーハWの外周面（すなわち最も外側の端面）に接触し、ウエーハWをその表面と平行な方向に振動させる。

本実施形態によれば、第1の振動子181AがウエーハWをその表面と垂直な方向に振動させるとともに、第2の振動子181BがウエーハWをその表面と平行な方向に振動させる。したがって、パーライクルは、よりウエーハWから離れやすくなる。この状態で、ウエーハWには二流体噴流が供給され、パーライクルをウエーハWから除去する。このように、ウエーハWの二方向の振動と二流体噴

流の衝撃との組み合わせにより、ウェーハWの洗浄効率をさらに向上させることができる。第1の振動子181Aの振動周波数および／または振幅は、第2の振動子181Bの振動周波数および／または振幅と同じであってもよく、または異なってもよい。

5 図37は、さらに他の実施形態を示す図である。図37には図示していないが、図37に示すチャック45には、図30に示す振動子181および／または図35に示す振動子181が設けられている。特に説明しない本実施形態の構成および動作は、図29に示す実施形態の構成および動作と同じであるので、その重複する説明を省略する。

10 この実施形態では、ウェーハWの下面に洗浄液を供給する洗浄液ノズル190が、基板保持部41に保持されたウェーハWの下方に配置されている。この洗浄液ノズル190は、支持軸195の上端に固定されており、支持軸195の下端には洗浄液供給ライン200が接続されている。チャック45とモータ48とを連結する回転軸201は中空軸から構成されており、支持軸195は回転軸201
15 1の内部を延びている。回転軸201およびチャック45はモータ48によって回転されるが、支持軸195および洗浄液ノズル190は回転しない。

基板保持部41に保持されたウェーハWの周囲には、円筒状の液受けカップ203が配置されている。この液受けカップ203は、回転するウェーハWに供給された液体を受け、下方に流下させるために設けられている。この液受けカップ
20 203は、図29に示す上述した実施形態の基板洗浄装置にも設けてもよい。

支持軸195の内部には流路196が形成されており、洗浄液供給ライン200は支持軸195の流路196に洗浄液を供給する。洗浄液供給ライン200には洗浄液供給源206と気体混合装置207が設けられている。気体混合装置207は、洗浄液供給源206から供給された洗浄液に窒素や水素などの気体を混
25 合させる装置である。溶存気体を含む洗浄液は、洗浄液供給ライン200および流路196を通して洗浄液ノズル190に供給される。洗浄液としては、純水を用いることができる。

図38は洗浄液ノズル190の平面図であり、図39は洗浄液ノズル190の

斜視図であり、図40は洗浄液ノズル190の拡大断面図である。洗浄液ノズル190はウェーハWの直径方向に延びている。図40に示すように、洗浄液ノズル190は、複数の噴射口211と、これら噴射口211にそれぞれ連通する複数の流路212とを備えている。洗浄液ノズル190の内部には複数の超音波振動子215が埋設されており、それぞれの流路212を流れる洗浄液に接触して振動を与えるように配置されている。振動エネルギーが付与された洗浄液は、複数の流路212を通してそれぞれの噴射口211からウェーハWの下面に供給される。噴射口211からウェーハWの下面までの距離は、10mm以下であることが好ましく、さらに好ましくは5mm以下である。

- 10 各超音波振動子215は、各噴射口211の下方に配置されており、ウェーハWに供給される直前の洗浄液を振動させる。このように超音波振動子215が洗浄液を振動させると、洗浄液に溶存している気体が気泡となって出現し、洗浄液の洗浄効果を向上させることができる。

ウェーハWの洗浄は次のようにして行われる。基板保持部41は、ウェーハWをその中心軸線まわりに回転させ、振動子181によりウェーハWを所定の周波数および所定の振幅で振動させる。さらに、洗浄液を超音波振動子215により振動させながら、洗浄液をウェーハWの下面に供給する。この状態で、二流体ノズル42は、ウェーハWの上面に二流体噴流を供給し、さらにウェーハWの半径方向に移動する。ウェーハWの上面は、振動子181による振動と二流体噴流の衝撃との複合作用によって洗浄され、ウェーハWの下面は振動エネルギーを付与された洗浄液によって洗浄される。

ウェーハWの下面側に配置された洗浄液ノズル190の噴射口211は、ウェーハWの上面側に配置された二流体ノズル42の移動軌跡に沿って配列されてもよい。例えば、図41に示すように、洗浄液ノズル190は、円弧状の二流体ノズル42の移動軌跡に沿って円弧状に延びてもよい。

図38乃至図41に示す実施形態では、二流体ノズル42を用いているが、二流体ノズル42に代えてペンスポンジを用いることも可能である。

上述した実施形態は、本発明が属する技術分野における通常の知識を有する者

が本発明を実施できることを目的として記載されたものである。上記実施形態の種々の変形例は、当業者であれば当然になしうることであり、本発明の技術的思想は他の実施形態にも適用しうる。したがって、本発明は、記載された実施形態に限定されることはなく、特許請求の範囲によって定義される技術的思想に従っ

5 た最も広い範囲に解釈されるものである。

特許請求の範囲

1. 基板を保持する基板保持部と、
前記基板の表面に二流体噴流を供給する二流体ノズルとを備え、
- 5 前記二流体ノズルは、第1の二流体噴流を噴射する第1の噴射ノズルと、前記第1の二流体噴流よりも高速の第2の二流体噴流を噴射する第2の噴射ノズルとを備え、
前記第2の噴射ノズルは、前記第1の噴射ノズルを囲むように配置されていることを特徴とする基板洗浄装置。
- 10 2. 前記第2の二流体噴流の速度は、音速以上であることを特徴とする請求項1に記載の基板洗浄装置。
3. 前記二流体ノズルを前記基板の半径方向に移動させるノズル移動機構をさらに備えたことを特徴とする請求項1に記載の基板洗浄装置。
- 15 4. 前記二流体ノズルと前記基板の表面との距離を変える距離調整機構をさらに備えたことを特徴とする請求項1に記載の基板洗浄装置。
- 20 5. 前記第1の噴射ノズルの内部に配置され、前記第1の二流体噴流よりも高速の第3の二流体噴流を噴射する第3の噴射ノズルをさらに備えたことを特徴とする請求項1に記載の基板洗浄装置。
6. 前記第3の二流体噴流の速度は、音速以上であることを特徴とする請求項
- 25 5に記載の基板洗浄装置。
7. 基板を保持する基板保持部と、
前記基板の表面に二流体噴流を供給する二流体ノズルとを備え、

前記二流体ノズルは、第1の流体噴流を噴射する第1の噴射ノズルと、前記第1の流体噴流よりも高速の第2の流体噴流を噴射する第2の噴射ノズルとを備え、前記第2の噴射ノズルは、前記第1の噴射ノズルを囲むように配置されており、前記第1の流体噴流および前記第2の流体噴流のうちの一方は二流体噴流であり、他方は気体噴流であることを特徴とする基板洗浄装置。

8. 基板を研磨する研磨ユニットと、
前記研磨ユニットで研磨された基板を洗浄する基板洗浄装置とを備え。
前記基板洗浄装置は、
10 基板を保持する基板保持部と、
前記基板の表面に二流体噴流を供給する二流体ノズルとを備え、
前記二流体ノズルは、第1の二流体噴流を噴射する第1の噴射ノズルと、前記第1の二流体噴流よりも高速の第2の二流体噴流を噴射する第2の噴射ノズルとを備え、
15 前記第2の噴射ノズルは、前記第1の噴射ノズルを囲むように配置されていることを特徴とする基板処理装置。

9. 基板を研磨する研磨ユニットと、
前記研磨ユニットで研磨された基板を洗浄する基板洗浄装置とを備え、
20 前記基板洗浄装置は、
基板を保持する基板保持部と、
前記基板の表面に二流体噴流を供給する二流体ノズルとを備え、
前記二流体ノズルは、第1の流体噴流を噴射する第1の噴射ノズルと、前記第1の流体噴流よりも高速の第2の流体噴流を噴射する第2の噴射ノズルとを備え、
25 前記第2の噴射ノズルは、前記第1の噴射ノズルを囲むように配置されており、
前記第1の流体噴流および前記第2の流体噴流のうちの一方は二流体噴流であり、他方は気体噴流であることを特徴とする基板処理装置。

10. 基板を保持する基板保持部と、
前記基板の表面に二流体噴流を供給する二流体ノズルと、
前記二流体ノズル内の気体室に気体を供給する気体供給ラインと、
前記気体供給ラインの気体流路を開閉する気体供給弁と、
5 前記二流体ノズル内の混合室に液体を供給する液体供給ラインと、
前記気体室内の前記気体を吸引する気体吸引ラインと、
前記気体吸引ラインの気体流路を開閉する気体吸引弁と、
前記気体供給弁および前記気体吸引弁に同じ周期で開閉動作を繰り返させるバルブ制御部とを備え、
10 前記バルブ制御部は、前記気体供給弁が閉じた状態にあるとき、前記気体吸引弁は開いた状態にあるように前記気体供給弁および前記気体吸引弁の動作を制御することを特徴とする基板洗浄装置。
11. 前記バルブ制御部は、前記気体供給弁を閉じると同時に前記気体吸引弁
15 を開くことを特徴とする請求項10に記載の基板洗浄装置。
12. 前記バルブ制御部は、前記気体供給弁を閉じる前に前記気体吸引弁を開くことを特徴とする請求項10に記載の基板洗浄装置。
- 20 13. 前記気体吸引ラインは、前記混合室の上方に位置する気体排出ポートを介して前記二流体ノズルに接続されていることを特徴とする請求項10に記載の基板洗浄装置。
14. 前記周期は、0.1～1.0秒であることを特徴とする請求項10に記載
25 載の基板洗浄装置。
15. 基板を研磨する研磨ユニットと、
前記研磨ユニットで研磨された基板を洗浄する基板洗浄装置とを備え、

前記基板洗浄装置は、

基板を保持する基板保持部と、

前記基板の表面に二流体噴流を供給する二流体ノズルと、

前記二流体ノズル内の気体室に気体を供給する気体供給ラインと、

5 前記気体供給ラインの気体流路を開閉する気体供給弁と、

前記二流体ノズル内の混合室に液体を供給する液体供給ラインと、

前記気体室内の前記気体を吸引する気体吸引ラインと、

前記気体吸引ラインの気体流路を開閉する気体吸引弁と、

前記気体供給弁および前記気体吸引弁に同じ周期で開閉動作を繰り返させる

10 バルブ制御部とを備え、

前記バルブ制御部は、前記気体供給弁が閉じた状態にあるとき、前記気体吸引弁は開いた状態にあるように前記気体供給弁および前記気体吸引弁の動作を制御することを特徴とする基板処理装置。

15 16. 基板を保持する基板保持部と、

前記基板の表面に二流体噴流を供給する二流体ノズルと、

前記二流体ノズル内の混合室に気体を供給する気体供給ラインと、

前記二流体ノズルに液体を供給する液体供給ラインと、

前記二流体ノズルに供給された液体から液滴を形成し、該液滴を前記混合室に

20 供給する液滴形成装置とを備えたことを特徴とする基板洗浄装置。

17. 前記液滴形成装置は、

前記液体供給ラインに接続され、前記混合室に連通する液体移送管と、

前記液体供給ラインの液体流路を開閉する液体供給弁と、

25 前記液体移送管を流れる前記液体を吸引する液体吸引ラインと、

前記液体吸引ラインの液体流路を開閉する液体吸引弁と、

前記液体供給弁と前記液体吸引弁を交互に開閉させるバルブ制御部とを備えることを特徴とする請求項16に記載の基板洗浄装置。

18. 前記液滴形成装置は、
前記液体供給ラインに連通する液体室と、
前記液体室内の前記液体を押し出して前記液滴を形成するピエゾ素子とを備
5 えることを特徴とする請求項16に記載の基板洗浄装置。

19. 前記二流体ノズルは、前記気体供給ラインからの気体を前記混合室に導
く気体室を有しており、
前記液滴形成装置の液滴吐出口は、前記気体室に囲まれていることを特徴とす
10 る請求項16に記載の基板洗浄装置。

20. 前記液滴形成装置は、前記液滴吐出口から外側に突出するフランジを有
することを特徴とする請求項19に記載の基板洗浄装置。

15 21. 前記液体を振動させる超音波振動子を備えることを特徴とする請求項1
6に記載の基板洗浄装置。

22. 基板を研磨する研磨ユニットと、
前記研磨ユニットで研磨された基板を洗浄する基板洗浄装置とを備え、
20 前記基板洗浄装置は、

基板を保持する基板保持部と、
前記基板の表面に二流体噴流を供給する二流体ノズルと、
前記二流体ノズル内の混合室に気体を供給する気体供給ラインと、
前記二流体ノズルに液体を供給する液体供給ラインと、
25 前記二流体ノズルに供給された液体から液滴を形成し、該液滴を前記混合室
に供給する液滴形成装置とを備えたことを特徴とする基板処理装置。

23. 基板を保持して回転させる基板保持部と、

前記基板の表面に二流体噴流を供給する二流体ノズルと、

前記基板に接触して該基板を振動させる少なくとも1つの振動子とを備えたことを特徴とする基板洗浄装置。

- 5 24. 前記振動子は、前記基板とともに回転しながら前記基板を振動させることを特徴とする請求項23に記載の基板洗浄装置。

25. 前記振動子は、圧電素子と、該圧電素子に取り付けられ、前記基板に接触する接触部材とを備えることを特徴とする請求項23に記載の基板洗浄装置。

10

26. 前記振動子は、前記基板をその表面と垂直な方向に振動させることを特徴とする請求項23に記載の基板洗浄装置。

27. 前記振動子は、前記基板をその表面と平行な方向に振動させることを特徴とする請求項23に記載の基板洗浄装置。
- 15

28. 前記少なくとも1つの振動子は、前記基板をその表面と垂直な方向に振動させる少なくとも1つの第1の振動子と、前記基板をその表面と平行な方向に振動させる少なくとも1つの第2の振動子から構成されることを特徴とする請求項23に記載の基板洗浄装置。
- 20

29. 前記少なくとも1つの振動子は、複数の振動子であり、
前記複数の振動子のうちの少なくとも2つは、互いに異なる周波数および／または振幅で前記基板を振動させることを特徴とする請求項23に記載の基板洗浄装置。
- 25

30. 前記基板の下面に洗浄液を供給する洗浄液ノズルと、
前記洗浄液を振動させる超音波振動子とをさらに備えたことを特徴とする請求

項 2 3 に記載の基板洗浄装置。

3 1. 基板を研磨する研磨ユニットと、

前記研磨ユニットで研磨された基板を洗浄する基板洗浄装置とを備え、

5 前記基板洗浄装置は、

基板を保持して回転させる基板保持部と、

前記基板の表面に二流体噴流を供給する二流体ノズルと、

前記基板に接触して該基板を振動させる少なくとも 1 つの振動子とを備えた
たことを特徴とする基板処理装置。

10