

明 細 書

発明の名称： 洗浄装置および洗浄方法

技術分野

[0001] 本開示は、洗浄装置および洗浄方法に関する。

背景技術

[0002] 半導体デバイスの製造工程においては、半導体ウェハ等の基板の表面に成膜、エッチング、研磨などの各種処理が施される。これら各種処理の前後には、基板の表面を清浄に保つ必要があるため、基板の洗浄処理が行われる。たとえば、基板上に形成された金属等の膜を研磨する研磨工程の後には、研磨屑や研磨剤に含まれる砥粒などの微小パーティクル（ディフェクト）を除去するための洗浄が行われる。この洗浄工程では、基板上に洗浄液を供給することで、洗浄効果を促進させる（たとえば特開２０１５－２０１６２７号公報参照）。

発明の概要

[0003] しかしながら、洗浄液を供給するノズルの種類や洗浄液の流量、基板上での洗浄液の吐出位置、基板の回転速度によっては、基板全面において効果的に洗浄液が供給されないため、半導体製造効率の低下や研磨後の基板上に残存する微小パーティクル（ディフェクト）の除去効果の低下につながり得る。

微細化の進展に伴い、基板に付着する微小パーティクル汚染の除去品質に向けられる要求はますます高まっている。枚葉式で基板を洗浄する際になされる一連の洗浄プロセスにおいて、例えば比較的粒径が大きいパーティクル汚染を除去するスクラブ洗浄を行った直後に、比較的粒径が小さいパーティクル汚染を除去する非接触洗浄を行うといった一連の洗浄工程からなるプロセスを実施することがあるが、その際、異なる種類の洗浄プロセス（異なる種類の洗浄工程）を連続的に実施することになるため、トータルでみたときに洗浄時間を要していた。しかし、スループットを向上させるために単純に

処理時間を短縮させると、かえってパーティクル汚染の除去率を低下させる懸念もあった。

また、例えば、セリアなどの微細な研磨スラリーを使用して研磨工程を実施した後の基板には、比較的除去しにくい微細な研磨屑などの異物が残留しており、また、処理対象の基板自体の表面も必ずしも一様な性状のものが使用されるとは限らなくなってきたため、基板研磨後の洗浄技術にも、従来よりも高度な洗浄技術の適用が求められてきている。

しかも、洗浄工程全体の処理工程が複雑化する中で、所定の洗浄品質を達成するためにトータルで要する洗浄処理の時間は長くなることが懸念されるが、これは、スループットの観点からは好ましくない。

[0004] 基板上での洗浄液の置換効率を向上できる洗浄装置および洗浄方法を提供することが望まれる。また、基板洗浄プロセスを実施する際に、スループットを高めつつも従来よりも改善されたパーティクル汚染除去性能を達成しうる洗浄工程を実現しうる洗浄装置および洗浄方法を提供することが望まれる。また、基板表面全体において微小パーティクル等の除去能力を改善した洗浄装置および洗浄方法を提供することが望まれる。

[0005] 本開示の一態様に係る洗浄装置は、

基板を保持して前記基板の中心軸を回転軸として前記基板を回転させる基板回転機構と、

前記基板回転機構に保持された前記基板の上面に向けて第1の洗浄液を吐出する第1の単管ノズルと、

前記第1の単管ノズルとは別に前記基板回転機構に保持された前記基板の上面に向けて第2の洗浄液を吐出する第2の単管ノズルと、
を備え、

前記第2の単管ノズルは前記第1の洗浄液の着水位置より前記基板の中心から離れた位置において前記基板の回転方向の順方向に向けて前記第2の洗浄液を吐出して、前記第1の洗浄液の着水後の前記基板の上面における液流と前記第2の洗浄液の着水後の前記基板の上面における液流とが合わさる部

分が生じるように、前記第 1 の単管ノズルおよび前記第 2 の単管ノズルとは互いに配置されている。

- [0006] 本発明の一態様に係る洗浄方法は、
- 基板の中心軸を回転軸として前記基板を回転させるステップと、
- 前記基板の上面に向けて第 1 の単管ノズルから第 1 の洗浄液を吐出するステップと、
- 前記基板の上面に向けて前記第 1 の単管ノズルとは別に第 2 の単管ノズルから第 2 の洗浄液を吐出するステップと、
- を含み、
- 前記第 2 の洗浄液を吐出するステップでは、前記第 2 の単管ノズルは、前記第 1 の洗浄液の着水後の前記基板の上面における液流と前記第 2 の洗浄液の着水後の前記基板の上面における液流とが合わさる部分が生じるように、前記第 1 の洗浄液の着水位置より前記基板の中心から離れた位置において前記基板の回転方向の順方向に向けて前記第 2 の洗浄液を吐出する。

図面の簡単な説明

- [0007] [図1]図 1 は、一実施の形態に係る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]図 2 は、一実施の形態に係る洗浄装置における基板と第 1 の単管ノズルおよび第 2 の単管ノズルとの位置関係を示す平面図である。
- [図3]図 3 は、一実施の形態に係る洗浄装置における基板と第 1 の単管ノズルとの位置関係を示す側面図である。
- [図4]図 4 は、一実施の形態に係る洗浄装置における基板と第 2 の単管ノズルとの位置関係を示す側面図である。
- [図5]図 5 は、実施例および比較例の検証結果（輝度値分布）を示す図である。
- [図6]図 6 は、実施例および比較例の検証結果（置換効率）を示すグラフである。
- [図7]図 7 は、実施例および比較例の検証結果（輝度値分布）を示す図である。

。

[図8]図 8 は、実施例および比較例の検証結果（置換効率）を示すグラフである。

[図9]図 9 は、実施例および比較例の検証結果（輝度値分布）を示す図である。

[図10]図 10 は、実施例および比較例の検証結果（置換効率）を示すグラフである。

[図11]図 11 は、一実施の形態の一変形に係る洗浄装置における基板と第 1 の単管ノズルおよび第 2 の単管ノズルとの位置関係を示す平面図である。

[図12]図 12 は、第 2 の単管ノズルから吐出される第 2 の洗浄液の着水位置の一例を説明するための図である。

[図13]図 13 は、一実施の形態に係る洗浄装置における基板回転機構の構成を示す側面図である。

[図14]図 14 は、一実施の形態に係る洗浄装置における流量調整機構の構成を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0008] 実施形態の第 1 の態様に係る洗浄装置は、

基板を保持して前記基板の中心軸を回転軸として前記基板を回転させる基板回転機構と、

前記基板回転機構に保持された前記基板の上面に向けて第 1 の洗浄液を吐出する第 1 の単管ノズルと、

前記第 1 の単管ノズルとは別に前記基板回転機構に保持された前記基板の上面に向けて第 2 の洗浄液を吐出する第 2 の単管ノズルと、

を備え、

前記第 2 の単管ノズルは前記第 1 の洗浄液の着水位置より前記基板の中心から離れた位置において前記基板の回転方向の順方向に向けて前記第 2 の洗浄液を吐出して、前記第 1 の洗浄液の着水後の前記基板の上面における液流と前記第 2 の洗浄液の着水後の前記基板の上面における液流とが合わさる部

分が生じるように、前記第１の単管ノズルおよび前記第２の単管ノズルとは互いに配置されている。

[0009] 本件発明者らの実際の検証によれば、このような態様によって、他の種類のノズルを使用する場合に比べて、基板の回転速度に関わらず、基板上での洗浄液の置換効率を向上できる。これにより、従来のノズルを用いたリンス洗浄に比べて、基板上面への液供給効率と基板表面のパーティクル除去率とともに向上でき、基板洗浄工程における洗浄性向上とスループット向上の両方を達成できる。

[0010] 実施形態の第２の態様に係る洗浄装置は、第１の態様に係る洗浄装置であって、

前記第１の単管ノズルから吐出される前記第１の洗浄液の流量は、前記第２の単管ノズルから吐出される前記第２の洗浄液の流量より大きい。

[0011] 本件発明者らの実際の検証によれば、このような態様によって、基板上での洗浄液の置換効率をさらに向上できる。

[0012] 実施形態の第３の態様に係る洗浄装置は、第２の態様に係る洗浄装置であって、

前記第１の単管ノズルの直径は、前記第２の単管ノズルの直径より大きい。

[0013] 実施形態の第４の態様に係る洗浄装置は、第１～３のいずれかの態様に係る洗浄装置であって、

前記第１の単管ノズルによる前記第１の洗浄液の吐出と前記第２の単管ノズルによる前記第２の洗浄液の吐出とを同時に行う。

[0014] 実施形態の第５の態様に係る洗浄装置は、第１～４のいずれかの態様に係る洗浄装置であって、

前記第１の洗浄液および前記第２の洗浄液は、水または薬液である。

[0015] 実施形態の第６の態様に係る洗浄装置は、第１～５のいずれかの態様に係る洗浄装置であって、

前記第１の単管ノズルは、前記第１の洗浄液が前記基板の中心より手前に

着水して、着水後の前記第 1 の洗浄液の前記基板の上面における液流が前記基板の中心を通過するように前記第 1 の洗浄液を吐出する。

- [0016] 実施形態の第 7 の態様に係る洗浄装置は、第 1 ～ 6 のいずれかの態様に係る洗浄装置であって、

前記基板の中心から前記第 2 の洗浄液の着水位置までの距離は、前記基板の半径の 4 分の 1 より長い。

- [0017] 実施形態の第 8 の態様に係る洗浄装置は、第 7 の態様に係る洗浄装置であって、

前記基板の中心から前記第 2 の洗浄液の着水位置までの距離は、前記基板の半径の 3 分の 1 より長い。

- [0018] 実施形態の第 9 の態様に係る洗浄装置は、第 1 ～ 8 のいずれかの態様に係る洗浄装置であって、

前記第 1 の単管ノズルから吐出されて前記基板の上面に着水するまでの液流と前記基板の上面との間の角度は、 $15^{\circ} \sim 75^{\circ}$ である。

- [0019] 実施形態の第 10 の態様に係る洗浄装置は、第 1 ～ 9 のいずれかの態様に係る洗浄装置であって、

前記第 2 の単管ノズルから吐出されて前記基板の上面に着水するまでの液流と前記基板の上面との間の角度は、 $15^{\circ} \sim 75^{\circ}$ である。

- [0020] 実施形態の第 11 の態様に係る洗浄装置は、第 1 ～ 10 のいずれかの態様に係る洗浄装置であって、

前記第 2 の単管ノズルの数は 2 以上である。

- [0021] 実施形態の第 12 の態様に係る洗浄方法は、

基板の中心軸を回転軸として前記基板を回転させるステップと、

前記基板の上面に向けて第 1 の単管ノズルから第 1 の洗浄液を吐出するステップと、

前記基板の上面に向けて前記第 1 の単管ノズルとは別に第 2 の単管ノズルから第 2 の洗浄液を吐出するステップと、
を含み、

前記第2の洗浄液を吐出するステップでは、前記第2の単管ノズルは、前記第1の洗浄液の着水後の前記基板の上面における液流と前記第2の洗浄液の着水後の前記基板の上面における液流とが合わさる部分が生じるように、前記第1の洗浄液の着水位置より前記基板の中心から離れた位置において前記基板の回転方向の順方向に向けて前記第2の洗浄液を吐出する。

[0022] 以下に、添付の図面を参照して、実施の形態の具体例を詳細に説明する。
なお、以下の説明および以下の説明で用いる図面では、同一に構成され得る部分について、同一の符号を用いるとともに、重複する説明を省略する。また、特に説明がない限り、「上」とは基板を起点として洗浄ノズル等の洗浄具が存在する方向を意味し、「下」とはその反対方向を意味する。なお、基板の両面に対して洗浄ノズル等の洗浄具が存在する場合は、特定の洗浄ノズル等が存在する方向を「上」とし、「下」とはその反対方向を意味する。また、洗浄ノズルやこれを構成する構成物に関し、「上面」や「表面」とは特定の洗浄ノズルが基板に液を供給する側の面を意味する。

[0023] 図1は、一実施の形態に係る洗浄装置を備えた基板処理装置（研磨装置ともいう）1の全体構成を示す平面図である。

[0024] 図1に示すように、基板処理装置1は、略矩形状のハウジング10と、複数のウェハW（図2等参照）をストックする基板カセット（図示せず）が載置されるロードポート12と、を有している。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）を搭載することができる。SMIFポッドおよびFOUPは、内部に基板カセットを収容し、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。ウェハWとしては、たとえば半導体ウェハなどを挙げることができる。

[0025] ハウジング10の内部には、複数（図1に示す態様では4つ）の研磨ユニット14a～14dと、研磨後のウェハWを洗浄する第1洗浄ユニット16

および第2洗浄ユニット18と、洗浄後のウェハWを乾燥させる乾燥ユニット20とが収容されている。研磨ユニット14a～14dは、ハウジング10の長手方向に沿って配列されており、洗浄ユニット16、18および乾燥ユニット20も、ハウジング10の長手方向に沿って配列されている。

[0026] ロードポート12と、ロードポート12側に位置する研磨ユニット14aと、乾燥ユニット20とにより囲まれた領域には、第1搬送ロボット22が配置されている。また、研磨ユニット14a～14dが配列された領域と、洗浄ユニット16、18および乾燥ユニット20が配列された領域との間には、ハウジング10の長手方向と平行に、搬送ユニット24が配置されている。第1搬送ロボット22は、研磨前のウェハWをロードポート12から受け取って搬送ユニット24に受け渡したり、乾燥ユニット20から取り出された乾燥後のウェハWを搬送ユニット24から受け取ったりする。

[0027] 第1洗浄ユニット16と第2洗浄ユニット18との間には、第1洗浄ユニット16と第2洗浄ユニット18との間でウェハWの受け渡しを行う第2搬送ロボット26が配置されている。また、第2洗浄ユニット18と乾燥ユニット20との間には、第2洗浄ユニット18と乾燥ユニット20との間でウェハWの受け渡しを行う第3搬送ロボット28が配置されている。

[0028] さらに、基板処理装置1には、各機器14a～14d、16、18、22、24、26、28の動きを制御する制御装置30が設けられている。制御装置30としては、たとえば、プログラマブル・ロジック・コントローラ（PLC）が用いられる。図1に示す態様では、制御装置30がハウジング10の内部に配置されているが、これに限られることはなく、制御装置30がハウジング10の外部に配置されていてもよい。

[0029] 図1に示す例では、第1洗浄ユニット16として、洗浄液の存在下で、水平方向に延びるロール洗浄部材をウェハWの表面に接触させ、ロール洗浄部材を自転させながらウェハWの表面をスクラブ洗浄するロール洗浄装置が使用されており、第2洗浄ユニット18として、洗浄液の存在下で、鉛直方向に延びる円柱状のペンシル洗浄部材をウェハWの表面に接触させ、ペンシル

洗浄部材を自転させながらウェハWの表面と平行な一方向に向けて移動させて、ウェハWの表面をスクラブ洗浄するペンシル洗浄装置が使用されている。また、乾燥ユニット20として、回転するウェハWに向けて、ウェハWの表面と平行な一方向に移動する噴射ノズルからイソプロピルアルコール（IPA）蒸気を噴出してウェハWを乾燥させ、さらにウェハWを高速で回転させて遠心力によってウェハWを乾燥させるスピン乾燥装置が使用されている。

[0030] なお、この例では、第1洗浄ユニット16としてロール洗浄装置が使用されているが、第1洗浄ユニット16として第2洗浄ユニット18と同様のペンシル洗浄装置が使用されてもよいし、洗浄液の存在下で、鉛直方向に延びる回転軸線を有するバフ洗浄研磨部材をウェハWの表面に接触させ、バフ洗浄研磨部材を自転させながらウェハWの表面と平行な一方向に向けて移動させて、ウェハWの表面をスクラブ洗浄研磨するバフ研磨洗浄装置が使用されてもよいし、二流体ジェットによりウェハWの表面を洗浄する二流体ジェット洗浄装置が使用されてもよい。また、この例では、第2洗浄ユニット18としてペンシル洗浄装置が使用されているが、第2洗浄ユニット18として第1洗浄ユニット16と同様のロール洗浄装置が使用されてもよいし、バフ研磨洗浄装置が使用されてもよいし、二流体ジェット洗浄装置が使用されてもよい。

[0031] 洗浄液には、純水（DIW）などのリンス液と、アンモニア過酸化水素（SC1）、塩酸過酸化水素（SC2）、硫酸過酸化水素（SPM）、硫酸加水、フッ酸などの薬液とが含まれる。本実施の形態で特に断りのない限り、洗浄液は、リンス液または薬液のいずれかを意味している。

[0032] 一実施の形態に係る洗浄装置40（図2参照）は、第1洗浄ユニット16にも第2洗浄ユニット18にも適用でき、ロール洗浄装置にも、ペンシル洗浄装置にも、バフ研磨洗浄装置にも、二流体ジェット洗浄装置にも適用できる。

[0033] 以下、一実施の形態に係る洗浄装置40の具体的な適用例として、第1洗

浄ユニット 16 および第 2 洗浄ユニット 18 における濯ぎ洗浄に適用した態様を説明する。濯ぎ洗浄の際には、第 1 洗浄ユニット 16 におけるロール洗浄部材および第 2 洗浄ユニット 18 におけるペンシル洗浄部材は、基板の上方から退避される。これは、ロール洗浄部材やペンシル洗浄部材などの部材に付着したパーティクルや薬液が、濯ぎ洗浄時に基板上に落下して基板を汚染しないようにするためである。

[0034] 図 2 は、一実施の形態に係る洗浄装置 40 における基板 W と第 1 の単管ノズル 41 および第 2 の単管ノズル 42 との位置関係を示す平面図である。なお、本明細書において「噴霧ノズル」とは、多数の供給口を有し、洗浄液が空間的に広がるように吐出されるノズルをいい、「単管ノズル」とは、噴霧ノズルとは異なり、単一の供給口を有し、洗浄液が比較的直線的に供給口から射出されるノズルをいう。

[0035] 図 2 に示すように、洗浄装置 40 は、基板回転機構 70（図 13 参照）と、基板回転機構 70 に保持された基板 W の上面に向けて第 1 の洗浄液を吐出する第 1 の単管ノズル 41 と、第 1 の単管ノズル 41 とは別に基板回転機構 70 に保持された基板 W の上面に向けて第 2 の洗浄液を吐出する第 2 の単管ノズル 42 と、を備えている。

[0036] 図 13 は、基板回転機構 70 の構成を示す側面図である。図 13 に示すように、基板回転機構 70 は、基板 W を水平に保持する基板保持機構 71 と、基板保持機構 71 を介して基板 W をその中心軸周りに回転させるモータ（回転機構）72 とを有している。なお、軸中心を含む直線に対して左右対称となるように配置され真空源に連通した複数の真空チャック孔を有する図示しない基板プレートとを、基板保持機構 70 として採用してもよい。

[0037] 基板 W は、表面を上にして、基板保持機構 71 に保持される。基板保持機構 71 が基板 W を保持して回転すると、基板 W はその中心軸（中心 O を通って基板 W の表面に垂直な軸）を回転軸として回転する。図 2 に示す例では、基板 W は、上方から見て時計回りに回転されるが、基板 W の回転方向はこれに限定されるものではなく、上方から見て反時計回りに回転されてもよい。

[0038] 図2に示すように、第1の単管ノズル41および第2の単管ノズル42は、基板Wの上方であって基板Wの上部空間の外側から基板Wの表面（上面）に向けて洗浄液を吐出する。すなわち、第1の単管ノズル41および第2の単管ノズル42は、基板Wの上面に対して斜め上から洗浄液を供給する。第1の単管ノズル41による第1の洗浄液の吐出と、第2の単管ノズル42による第2の洗浄液の吐出とは同時に行われてもよい。

[0039] 一実施形態においては、第1の単管ノズル41から吐出される第1の洗浄液の流量は、第2の単管ノズル42から吐出される第2の洗浄液の流量より大きくすることができる。そのため、図14に示すように、第1の洗浄液の薬液供給源51と第1の単管ノズル41とを結ぶ配管上に、開度調整が可能な第1の弁51aと第1の流量計51bが設置されるとともに、第2の洗浄液の薬液供給源52と第2の単管ノズル42とを結ぶ配管上に、開度調整が可能な第2の弁52aと第2の流量計52bが設置される。そのうえで、制御部30が、第1の流量計51bおよび第2の流量計51bからの流量信号を受信し、予め設定された流量範囲となるように、開度調整信号を第1の弁51aおよび第2の弁52aに対してそれぞれ洗浄処理のオペレーション中に送信することにより、第1の弁51aおよび第2の弁52aの開度をフィードバック制御する。この結果、第1の単管ノズル41から吐出される第1の洗浄液の流量は、第2の単管ノズル42から吐出される第2の洗浄液の流量より大きくすることができる。

[0040] 第1の単管ノズル41の位置、吐出方向、口径、および流速は、第1の単管ノズル41から吐出された第1の洗浄液が以下の条件を満たすように設計される。まず、図1に示すように、第1の単管ノズル41から吐出された第1の洗浄液の基板Wの上面への着水位置Aは、基板Wの中心Oではなく、基板Wの中心Oから距離Raだけ離れた位置とされる。平面視にて第1の単管ノズル41と着水位置Aとを結ぶ線上に基板Wの中心Oがあるように第1の単管ノズル41の向きが決定される。すなわち、平面視にて第1の単管ノズル41は、基板Wの中心Oに向けて第1の洗浄液を吐出するが、その着水位

置Aは、基板Wの中心Oから距離R aだけ手前の位置とする。

[0041] 図3は、基板Wと第1の単管ノズル41との位置関係を示す側面図である。図3は、第1の単管ノズル41から吐出されて基板Wの上面に着水するまでの第1の洗浄液の液流が含まれる鉛直面を示している。図3に示すように、第1の単管ノズル41から吐出されて基板Wの上面に着水するまでの第1の洗浄液の液流と基板Wの上面との間の角度（入射角） α は、 $15^{\circ} \sim 75^{\circ}$ に設定され、望ましくは $30 \sim 60^{\circ}$ に設定される。このように、第1の単管ノズル41は、基板Wの上面に対して斜め上から第1の洗浄液を供給するので、第1の洗浄液の液流は、基板Wの平面方向に沿った方向の流れ、具体的には基板Wの中心Oに向く方向の流れをもって基板Wの上面に着水することになる。そうすると、第1の洗浄液は、この液流の基板Wの中心Oに向く方向の流れの慣性によって、着水した後も基板Wの中心Oに向く方向に流れる。

[0042] 上述のように基板Wは回転しているので、基板Wの表面に着水した第1の洗浄液は、この回転による遠心力を受けて基板Wの外側に向かって流れることになるが、図2および図3に示すように、本実施の形態では、基板Wの中心Oの付近に着水するので、このような中心Oに近い位置では大きな遠心力が働かず、また、着水前にすでに中心Oに向かう流れがあるので、この慣性によって、第1の洗浄液は平面視で第1の単管ノズル41の供給方向と一致する方向に直線状に進む液束を形成して基板Wの表面を流れる。この結果、基板Wの上面に着水した第1の洗浄液は基板Wの中心Oを通過することになる。第1の洗浄液は、基板Wの中心Oを通過すると、第1の単管ノズル41の供給方向の慣性力が徐々に弱まり、外周に向かうに従って遠心力が大きくなるので、外周に向けて徐々に幅が広がるように、基板Wの回転方向にカーブを描いて外周部に向かって流れる液流となり、最終的には基板Wの外周部から排出される。

[0043] 上記のような第1の洗浄液の基板Wの表面上での挙動につき、着水位置が基板Wの中心Oから離れているほど液流の基板Wの表面に平行な成分が大き

い方が望ましく、このために入射角 α を小さくすることが望ましい。また、基板Wの回転速度が速すぎると、液流における慣性力が遠心力に負けて液流が基板Wの中心Oを通過しなくなるので、基板Wを過度に高速回転することは望ましくなく、回転速度は1500rpm以下とするのが望ましく、1000rpm以下とするのがより望ましい。

[0044] また、第1の単管ノズル41の口径が1～5mmであるときに、流量は500～2000ml/minであることが望ましい。第1の単管ノズル41の口径が5～10mmであるときに、流量は2000ml/min以上とすることが望ましい。また、着水位置Aの基板Wの中心Oからの距離R_aは大きすぎると、上述のように着水後の液流が慣性力によって基板Wの中心を通過するようにするためにその流速を大きくしなければならないため、半径Rの3分の1以下とするのが望ましい。

[0045] 以上のように、第1の単管ノズル41から第1の洗浄液を基板Wの上面に供給するが、基板Wの上方から基板Wの中心Oに大きい入射角（たとえば90°）で吐出するのではなく、斜め上方向から比較的低い入射角で、平面視で中心O方向に向けて、中心Oの手前に着水するように吐出し、着水した第1の洗浄液は、基板Wの中心Oを通過するように流れるので、遠心力が小さい基板Wの中心Oにおいても速やかな液置換がされ、基板Wの中心部に第1の洗浄液が淀むことが防止される。また、基板Wの表面が銅などの柔らかい材料の層である場合にも、入射角が大きい場合と比較して表面が受けるダメージを低減できる。

[0046] 第2の単管ノズル42の位置、吐出方向、口径、および流速は、第2の単管ノズル41から吐出された第2の洗浄液が以下の条件を満たすように設計される。まず、図1に示すように、第2の単管ノズル42から吐出された第2の洗浄液の基板Wの上面への着水位置Bは、第1の洗浄液の着水位置Aより基板Wの中心Oから離れた位置とされる。すなわち、第2の洗浄液の着水位置Bの基板Wの中心Oからの距離R_bは、第1の洗浄液の着水位置Aの基板Wの中心Oからの距離R_aより長く設定される。基板Wの中心Oから第2

の洗浄液の着水位置Bまでの距離R_bは、基板の半径Rの4分の1より長いのが望ましく、基板の半径Rの3分の1より長いのがより望ましい。

[0047] 図12に示すように、第1の単管ノズル41の供給方向と、基板Wの中心Oを通してそれに直交する方向とで基板Wの平面図上に座標系を作ったときに、第2の単管ノズル42から吐出される第2の洗浄液の着水位置は、第1ノズルの供給方向の基板Wの中心Oからの延長線に対して、基板回転方向の上流側90°の領域（図12においてハッチングが付された領域）内であってもよい。

[0048] さらに、図1に示すように、第2の単管ノズル42は、第1の洗浄液の着水後の基板Wの上面における液流と第2の洗浄液の着水後の基板Wの上面における液流とが合わさる部分（符号Cを付した一点鎖線で囲まれた部分）が形成されるように、第1の洗浄液の着水位置Aより基板Wの中心Oから離れた位置において基板Wの回転方向の順方向に向けて第2の洗浄液を吐出する。すなわち、前記第2の単管ノズルは第1の洗浄液の着水位置より基板Wの中心Oから離れた位置において基板Wの回転方向の順方向に向けて第2の洗浄液を吐出して、第1の洗浄液の着水後の基板Wの上面における液流と第2の洗浄液の着水後の基板Wの上面における液流とが合わさる部分が生じるように、第1の単管ノズル41および第2の単管ノズル42とは互いに配置されている。これにより、第2の単管ノズル42から吐出された第2の洗浄液は、基板Wの上面に着水してから、第1の洗浄液の液流と一部混ざり合いながら、基板Wの表面を外周に向かって広がって流れる。ここで、従来のように中心のみに液を供給する場合、基板全面に液を行き渡らせるべく洗浄時間を短縮化するために基板回転速度を高めると基板上で厚みを有する液層が形成されずに洗浄効果が十分得られない恐れがあったのに対して、本実施例では、第2の単管ノズルは第1の洗浄液の着水位置より基板の中心から離れた位置において基板の回転方向の順方向に向けて第2の洗浄液を吐出して、さらに、第1の洗浄液の着水後の基板の上面における液流と第2の洗浄液の着水後の前記基板の上面における液流とが合わさる部分を生じさせているので

、第1ノズルから供給される液流れに対して、第2ノズルからの基板の回転方向に沿った液流れがぶつかって基板の水平面内における液の流れ（液膜領域の水平方向への移動）や、厚みを有する液層中の液の上下方向の流れが期待でき、これらによって洗浄効果を高めつつも、基板全面に洗浄液を行き渡らせることが期待できる。

[0049] なお、第2の単管ノズル42から吐出される第2の洗浄液については、着水後に基板Wの表面を直線状に流動する必要はない。よって、第2の単管ノズル43から吐出される第2の洗浄液については、回転する基板上において、着液直後に働く遠心力によって外周に向けて流れるように、その口径、流速などの条件が設定されればよい。ただし、入射角が大きいと基板Wの表面がダメージを受ける点については、第1の単管ノズル41の場合と同じであるから、第2の単管ノズル42についても、その入射角は小さくすることが望ましい。

[0050] 図4は、基板Wと第2の単管ノズル42との位置関係を示す側面図である。図4は、第2の単管ノズル42から吐出されて基板Wの上面に着水するまでの第2の洗浄液の液流が含まれる鉛直面を示している。図4に示すように、第2の単管ノズル42から吐出されて基板Wの上面に着水するまでの第2の洗浄液の液流と基板Wの上面との間の角度（入射角） α は、 $15^{\circ} \sim 75^{\circ}$ に設定され、望ましくは $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ に設定される。

[0051] 本件発明者らによる実際の検証によれば、本実施の形態のように、第2の単管ノズル42が、第1の洗浄液の着水後の基板Wの上面における液流と第2の洗浄液の着水後の基板Wの上面における液流とが合わさる部分が生じるように、第1の洗浄液の着水位置Aより基板Wの中心Oから離れた位置において基板Wの回転方向の順方向に向けて第2の洗浄液を吐出することで、他の種類のノズルを使用する場合に比べて、基板Wの回転速度に関わらず、基板Wの上面における洗浄液の置換効率が向上することが明らかになっている。洗浄液の置換効率が向上することで、基板上面に迅速に洗浄液を供給できたり、基板上にある液体や微小パーティクルを効果的に押し流したりする効

果が得られ、洗浄工程に要する時間を短縮することが可能となる。

[0052] 第1の単管ノズル41から吐出される第1の洗浄液の流量は、第2の単管ノズル42から吐出される第2の洗浄液の流量より大きいことが望ましい。第1の単管ノズル41から吐出される第1の洗浄液の流量を、第2の単管ノズル42から吐出される第2の洗浄液の流量より大きくするために、第1の単管ノズル41の直径を、第2の単管ノズル42の直径より大きくしてもよいし、流量制御器を用いて第1の単管ノズル41および第2の単管ノズル42に供給される洗浄液の流量をそれぞれ調整してもよい。

[0053] 本件発明者らによる実施の検証によれば、本実施の形態のように、第1の単管ノズル41から吐出される第1の洗浄液の流量を、第2の単管ノズル42から吐出される第2の洗浄液の流量より大きくすることで、基板Wの上面における洗浄液の置換効率がさらに向上することが明らかとなっている。

[0054] 次に、本実施の形態に係る具体的な実施例について説明する。

[0055] (実施例1)

本実施の形態に係る実施例1として、まず、基板の中心軸を回転軸として基板を回転させながら、基板の上面を蛍光塗料で満たしたのち、基板の上面に光を照射し、その反射光（すなわち基板の上面の輝度値分布）のハイスピードカメラによる撮影を開始した。次いで、基板の上面の中心の手前に着水するように第1の単管ノズル（Φ1.0mm）から純水（DIW）を吐出するとともに、基板の上面の中心から基板の半径の2分の1だけ離れた位置に着水するように基板の回転方向の順方向に向けて第1の単管ノズルとは別に第2の単管ノズル（Φ1.0mm）からも純水（DIW）を吐出し、基板の上面の蛍光塗料を純水（DIW）により洗い流して除去した。ここで、第1の単管ノズルおよび第2の単管ノズルから吐出される純水（DIW）の合計流量は1000ml/minであり、第1の単管ノズルと第2の単管ノズルの流量比は1:1であった。そして、基板の上面の輝度値分布の時間変化に基づいて、基板上の蛍光塗料の純水（DIW）による置換効率を算出した。具体的には、基板の上面の輝度値分布から輝度値が2.5未満の領域の面積S

1 を計算し、基板の面積 S_0 に対する、輝度値が 2.5 未満の領域の面積 S_1 の割合を、置換効率として算出した（置換効率 = $S_1 / S_0 \times 100$ ）。

[0056]（比較例 1）

比較例 1 として、まず、実施例 1 と同様に、基板の中心軸を回転軸として基板を回転させながら、基板の上面を蛍光塗料で満たしたのち、基板の上面に光を照射し、その反射光（すなわち基板の上面の輝度値分布）のハイスピードカメラによる撮影を開始した。次いで、基板の上面に 2 つのコーンノズル（円形状の吐出口から円錐状に液体を噴霧するノズル）から純水（DIW）を吐出し、基板の上面の蛍光塗料を純水（DIW）により洗い流して除去した。ここで、2 つのコーンノズルから吐出される純水（DIW）の合計流量は 1000 ml/min であった。そして、実施例 1 と同様に、基板の上面の輝度値分布の時間変化に基づいて、基板上の蛍光塗料の純水（DIW）による置換効率を算出した。すなわち、比較例 1 は、2 つのコーンノズルから純水（DIW）を吐出する点が、実施例 1 と異なっている。

[0057]（比較例 2）

比較例 2 として、まず、実施例 1 と同様に、基板の中心軸を回転軸として基板を回転させながら、基板の上面を蛍光塗料で満たしたのち、基板の上面に光を照射し、その反射光（すなわち基板の上面の輝度値分布）のハイスピードカメラによる撮影を開始した。次いで、基板の上面の中心の手前に着水するように 1 つの単管ノズル（ $\Phi 3.0 \text{ mm}$ ）から純水（DIW）を吐出し、基板の上面の蛍光塗料を純水（DIW）により洗い流して除去した。ここで、1 つの単管ノズルから吐出される純水（DIW）の流量は 1000 ml/min であった。そして、実施例 1 と同様に、基板の上面の輝度値分布の時間変化に基づいて、基板上の蛍光塗料の純水（DIW）による置換効率を算出した。すなわち、比較例 2 は、1 つの単管ノズルから純水（DIW）を吐出する点が、実施例 1 と異なっている。

[0058]（比較例 3）

比較例 3 として、まず、実施例 1 と同様に、基板の中心軸を回転軸として

基板を回転させながら、基板の上面を蛍光塗料で満たしたのち、基板の上面に光を照射し、その反射光（すなわち基板の上面の輝度値分布）のハイスピードカメラによる撮影を開始した。次いで、基板の上面の中心の手前に着水するように1つの単管ノズル（Φ1.0mm）から純水（DIW）を吐出するとともに、基板の上面の中心から外周に亘って着水するように基板の回転方向の順方向に向けて1つのフラットノズル（スリット状の吐出口から扇状に液体を噴霧するノズル）からも純水（DIW）を吐出し、基板の上面の蛍光塗料を純水（DIW）により洗い流して除去した。ここで、1つの単管ノズルおよび1つのフラットノズルから吐出される純水（DIW）の合計流量は1000ml/minであった。そして、実施例1と同様に、基板の上面の輝度値分布の時間変化に基づいて、基板上の蛍光塗料の純水（DIW）による置換効率を算出した。すなわち、比較例2は、1つの単管ノズルと1つのフラットノズルから純水（DIW）を吐出する点が、実施例1と異なっている。

[0059] 図5は、実施例1および比較例1～3の低回転速度での検証結果として、基板を150rpmで回転させた場合の、純水（DIW）の吐出を開始してから0.5秒後および1.0秒後の輝度値分布を示している。また、図6は、実施例1および比較例1～3の低回転速度での検証結果として、基板を150rpmで回転させた場合の、純水（DIW）の吐出を開始してから0.5秒後および1.0秒後の置換効率を示している。

[0060] 図7は、実施例1および比較例1～3の高回転速度での検証結果として、基板を400rpmで回転させた場合の、純水（DIW）の吐出を開始してから0.5秒後および1.0秒後の輝度値分布を示している。また、図8は、実施例1および比較例1～3の高回転速度での検証結果として、基板を400rpmで回転させた場合の、純水（DIW）の吐出を開始してから0.5秒後および1.0秒後の置換効率を示している。

[0061] 図5～図7に示すように、実施例1では、基板の回転速度が150rpmの場合と400rpmの場合のいずれにおいても、高い置換効率を得られた

。したがって、第2の単管ノズルが、第1の洗浄液の着水後の基板の上面における液流と第2の洗浄液の着水後の基板の上面における液流とが合わさる部分が生じるように、第1の洗浄液の着水位置より基板の中心から離れた位置において基板の回転方向の順方向に向けて第2の洗浄液を吐出することで、他の種類のノズルを使用する場合に比べて、基板の回転速度に関わらず、基板Wの上面における洗浄液の置換効率が向上することが分かった。なお、本実施形態における「第1の液流と第2の液流とが合わさる部分が生じる」と、第1の液体の液膜の厚みを維持しながら液膜全体として液流の移動の流れを維持しながら基板表面上を流れる第1の液膜が形成された状態で、第2の液体の液膜の厚みを維持しながら液膜全体として液流の移動の方向を維持しつつ基板表面上を流れる第2の液膜が形成された状態となり、しかもこれらの液膜がすくなくとも一部で重複した状態が形成されている状態であると考えられる。

[0062] (実施例2)

本実施の形態に係る実施例2として、まず、実施例1と同様に、基板の中心軸を回転軸として基板を回転させながら、基板の上面を蛍光塗料で満たしたのち、基板の上面に光を照射し、その反射光（すなわち基板の上面の輝度値分布）のハイスピードカメラによる撮影を開始した。次いで、基板の上面の中心の手前に着水するように第1の単管ノズル（Φ1.9mm）から純水（DIW）を吐出するとともに、基板の上面の中心から基板の半径の2分の1だけ離れた位置に着水するように基板の回転方向の順方向に向けて第1の単管ノズルとは別に第2の単管ノズル（Φ1.0mm）からも純水（DIW）を吐出し、基板の上面の蛍光塗料を純水（DIW）により洗い流して除去した。ここで、第1の単管ノズルおよび第2の単管ノズルから吐出される純水（DIW）の合計流量は1000ml/minであり、第1の単管ノズルと第2の単管ノズルの流量比は約8：2であった。そして、実施例1と同様に、基板の上面の輝度値分布の時間変化に基づいて、基板上の蛍光塗料の純水（DIW）による置換効率を算出した。すなわち、実施例2は、第1の単

管ノズルの流量が第2の単管ノズルの流量より大きい点が、実施例1と異なっている。

[0063] (比較例4)

比較例4として、まず、実施例1と同様に、基板の中心軸を回転軸として基板を回転させながら、基板の上面を蛍光塗料で満たしたのち、基板の上面に光を照射し、その反射光（すなわち基板の上面の輝度値分布）のハイスピードカメラによる撮影を開始した。次いで、基板の上面の中心の手前に着水するように第1の単管ノズル（Φ1.0mm）および第2の単管ノズル（Φ1.0mm）から純水（DIW）を吐出し、基板の上面の蛍光塗料を純水（DIW）により洗い流して除去した。ここで、第1の単管ノズルおよび第2の単管ノズルから吐出される純水（DIW）の合計流量は1000ml/minであり、第1の単管ノズルと第2の単管ノズルの流量比は1:1であった。そして、実施例1と同様に、基板の上面の輝度値分布の時間変化に基づいて、基板上の蛍光塗料の純水（DIW）による置換効率を算出した。すなわち、比較例4は、第2の単管ノズルも第1の単管ノズルと同様に基板の中心に向けて純水（DIW）を吐出する点が、実施例1と異なっている。

[0064] (比較例5)

比較例5として、まず、実施例1と同様に、基板の中心軸を回転軸として基板を回転させながら、基板の上面を蛍光塗料で満たしたのち、基板の上面に光を照射し、その反射光（すなわち基板の上面の輝度値分布）のハイスピードカメラによる撮影を開始した。次いで、基板の上面の中心の手前に着水するように第1の単管ノズル（Φ1.0mm）から純水（DIW）を吐出するとともに、基板の上面の中心から基板の半径の2分の1だけ離れた位置に着水するように基板の回転方向の逆方向に向けて第1の単管ノズルとは別に第2の単管ノズル（Φ1.0mm）からも純水（DIW）を吐出し、基板の上面の蛍光塗料を純水（DIW）により洗い流して除去した。ここで、第1の単管ノズルおよび第2の単管ノズルから吐出される純水（DIW）の合計流量は1000ml/minであり、第1の単管ノズルと第2の単管ノズル

の流量比は1 : 1であった。そして、実施例1と同様に、基板の上面の輝度値分布の時間変化に基づいて、基板上の蛍光塗料の純水（D I W）による置換効率を算出した。すなわち、比較例5は、第2の単管ノズルが基板の回転方向の逆方向に向けて純水（D I W）を吐出する点が、実施例1と異なっている。

[0065] 図9は、実施例1～2および比較例4～5の検証結果として、基板を150 r p mで回転させた場合の、純水（D I W）の吐出を開始してから0.5秒後および1.0秒後の輝度値分布を示している。また、図10は、実施例1～2および比較例4の検証結果として、基板を150 r p mで回転させた場合の、純水（D I W）の吐出を開始してから0.5秒後および1.0秒後の置換効率を示している。

[0066] 図9および図10に示すように、実施例2では、実施例1よりも、高い置換効率を得られた。したがって、第1の単管ノズルから吐出される第1の洗浄液の流量を、第2の単管ノズルから吐出される第2の洗浄液の流量より大きくすることで、基板Wの上面における洗浄液の置換効率がさらに向上することが分かった。

[0067] なお、図2に示す実施の形態では、第2の単管ノズル42の数が1つであったが、これに限定されるものではなく、図11に示すように、第2の単管ノズル42a、42bの数が2つ以上であってもよい。この場合、洗浄液の置換効率をさらに高めるために、基板の中心Oに近い位置に向けて吐出される洗浄液ほど流量が大きいことが望ましい。すなわち、第1の単管ノズル41から吐出される第1の洗浄液の流量は、中心側の第2の単管ノズル42aから吐出される第2の洗浄液の流量より大きく、かつ外周側の第2の単管ノズル42bから吐出される第2の洗浄液の流量より大きいことが望ましい。また、中心側の第2の単管ノズル42aから吐出される第2の洗浄液の流量は、外周側の第2の単管ノズル42bから吐出される第2の洗浄液の流量より大きいことが望ましい。

[0068] 上記では、基板上の蛍光塗料を基板上に残存している液（パーティクル等

を含む汚染された液、あるいは薬液成分を含む液）と見立て、種々のノズル形態で純水を供給することにより純水への置換効率を実験により確かめた。

しかし、上記実施形態のノズルを用いて、基板上に薬液等を供給した場合でも、従来よりも短時間で基板表面全体に効率的に洗浄液を行き渡らせることができると言える。これにより、基板表面全体において残存する微小パーティクルの除去効果（または除去能力と言い換えられる）を、改善ないし向上させることができる。

[0069] 以上、実施の形態および変形例を例示により説明したが、本技術の範囲はこれらに限定されるものではなく、請求項に記載された範囲内において目的に応じて変更・変形することが可能である。また、各実施の形態および変形例は、処理内容を矛盾させない範囲で適宜組み合わせることが可能である。