

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2019年12月5日(05.12.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/230404 A1

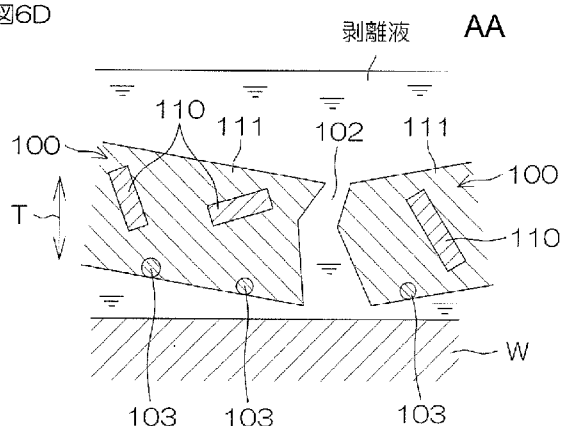
- (51) 国際特許分類:
H01L 21/304 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/019330
- (22) 国際出願日: 2019年5月15日(15.05.2019)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2018-105631 2018年5月31日(31.05.2018) JP
- (71) 出願人: 株式会社 S C R E E N ホールディングス(SCREEN HOLDINGS CO., LTD.) [JP/JP];
〒6028585 京都府京都市上京区堀川通寺之内上る四丁目天神北町1番地の1 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 吉田 幸史 (YOSHIDA, Yukifumi);
〒6028585 京都府京都市上京区堀川通寺之内

上る四丁目天神北町1番地の1 株式会社 S C R E E N セミコンダクターソリューションズ内 Kyoto (JP). 奥谷 学(OKUTANI, Manabu);
〒6028585 京都府京都市上京区堀川通寺之内上る四丁目天神北町1番地の1 株式会社 S C R E E N セミコンダクターソリューションズ内 Kyoto (JP). 安田 周一(YASUDA, Shuichi);
〒6028585 京都府京都市上京区堀川通寺之内上る四丁目天神北町1番地の1 株式会社 S C R E E N セミコンダクターソリューションズ内 Kyoto (JP). 金松 泰範(KANEMATSU, Yasunori);
〒6028585 京都府京都市上京区堀川通寺之内上る四丁目天神北町1番地の1 株式会社 S C R E E N セミコンダクターソリューションズ内 Kyoto (JP). 上田 大(UEDA, Dai);
〒6028585 京都府京都市上京区堀川通寺之内上る四丁目天神北町1番地の1 株式会社 S C R

(54) Title: SUBSTRATE TREATMENT METHOD AND SUBSTRATE TREATMENT DEVICE

(54) 発明の名称: 基板処理方法および基板処理装置

図6D



AA Stripping solution

(57) Abstract: A substrate treatment method, including: a treatment solution feeding step for feeding a treatment solution onto the surface of a substrate; an object-for-removal expansion step for solidifying or curing the treatment solution fed onto the surface of the substrate in a state of being in contact with an object for removal present on the surface of the substrate, and thereby expanding the apparent size of the object for removal; and a removal step for feeding a stripping solution to the surface of the substrate, stripping the object for removal, the apparent size of which has been expanded, from the surface of the substrate, and removing the object for removal from the surface of the substrate while maintaining the state in which the apparent size of the object for removal has been expanded.

E E N セミコンダクターソリューションズ内
Kyoto (JP). 張 松 (ZHANG, Song); 〒6028585
京都府京都市上京区堀川通寺之内上る四丁目天
神北町 1 番地の 1 株式会社 S C R E E N セミコ
ンダクターソリューションズ内 Kyoto (JP).

(74) 代理人: 特 許 業 務 法 人 あ い 特 許
事 務 所 (AI ASSOCIATION OF PATENT AND
TRADEMARK ATTORNEYS); 〒5410054 大阪
府大阪府中央区南本町二丁目 6 番 1 2 号 サン
マリオン N B F タワー 2 1 階 Osaka (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS,
MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,
TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ,
DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS,
SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 基板処理方法は、処理液を基板の表面に供給する処理液供給工程と、前記基板の表面に供給され
た前記処理液を、前記基板の表面に存在する除去対象物に接触させた状態で固化または硬化させることによ
って、前記除去対象物の見かけのサイズを拡大する除去対象物拡大工程と、前記基板の表面に剥離液を供給
して、見かけのサイズが拡大された前記除去対象物を前記基板の表面から剥離し、前記除去対象物の見かけ
のサイズが拡大された状態を維持しながら前記除去対象物を基板の表面から除去する除去工程とを含む。

明 細 書

発明の名称： 基板処理方法および基板処理装置

技術分野

[0001] この発明は、基板を処理する基板処理方法および基板処理装置に関する。
処理対象になる基板には、たとえば、半導体ウエハ、液晶表示装置用基板、有機 E L (Electroluminescence) 表示装置等の F P D (Flat Panel Display) 用基板、光ディスク用基板、磁気ディスク用基板、光磁気ディスク用基板、フォトリソ用基板、セラミック基板、太陽電池用基板等の基板が含まれる。

背景技術

[0002] 半導体装置の製造工程では、基板に付着した各種汚染物、前工程で使った処理液やレジスト等の残渣、あるいは各種パーティクル等（以下「除去対象物」と総称する場合がある。）を除去するために、洗浄工程が実施される。

[0003] 洗浄工程では、脱イオン水（D I W : Deionized Water）等の洗浄液を基板に供給することにより、除去対象物を洗浄液の物理的作用によって除去する手法が一般的である。下記特許文献 1 には、D I W を基板の表面に供給することによって、基板上から除去対象物を除去する方法が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献 1：特開 2 0 0 4 - 2 6 0 0 9 9 号公報

特許文献 2：米国特許出願公開第 2 0 1 4 / 0 4 1 6 8 5 号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 洗浄液によって除去対象物を基板上から除去する場合において、基板の表面に沿う方向における洗浄液の流速が大きいほど、除去対象物が洗浄液から受けるエネルギーが大きいので、除去対象物を基板の表面から剥がしやすい

。

[0006] 基板の表面を流れる洗浄液の流速は、その洗浄液の粘性の影響を受ける。
詳しくは、基板の表面を流れる洗浄液は、その洗浄液の粘性に起因して基板に引っ張られる。そのため、基板の表面に沿う方向における洗浄液の流速は、基板の表面から十分に離れた位置よりも基板の表面近傍において小さくなる。

[0007] 除去対象物は非常に微小であるため、特許文献 1 に記載の方法で基板の表面から除去対象物を除去する場合には、除去対象物は、基板の表面近傍において洗浄液を受ける。そのため、除去対象物は洗浄液から十分なエネルギーを受けることができないおそれがある。

[0008] そこで、特許文献 2 では、基板の上面に、溶質および揮発性を有する溶媒を含む処理液を供給し、当該処理液を固化または硬化させた処理膜を形成した後に、当該処理膜を溶解して除去する手法が提案されている。

[0009] この手法では、処理液が固化または硬化して処理膜が形成される際に、除去対象物が基板から引き離される。そして、引き離された除去対象物が処理膜中に保持される。次いで、基板の表面に溶解処理液が供給される。これにより、処理膜が基板上で溶解される。そして、基板の表面に沿う溶解処理液の流れを受けて除去対象物が基板の上面から除去される。

[0010] ところが、特許文献 2 の方法では、溶解処理液によって処理膜が溶解されることによって、除去対象物が溶解処理液中を浮遊し、基板に再付着する。このような再付着した除去対象物は、基板の表面を流れる溶解処理液から十分なエネルギーを受けることができない。したがって、除去対象物を基板の表面から効率良く除去できないおそれがある。

[0011] そこで、この発明の 1 つの目的は、基板の表面に存在する除去対象物を効率良く除去することができる基板処理方法および基板処理装置を提供することである。

課題を解決するための手段

[0012] この発明の一実施形態は、処理液を基板の表面に供給する処理液供給工程

と、前記基板の表面に供給された前記処理液を、前記基板の表面に存在する除去対象物に接触させた状態で固化または硬化させることによって、前記除去対象物の見かけのサイズを拡大する除去対象物拡大工程と、前記基板の表面に剥離液を供給して、見かけのサイズが拡大された前記除去対象物を前記基板の表面から剥離し、前記除去対象物の見かけのサイズが拡大された状態を維持しながら前記除去対象物を基板の表面から除去する除去工程とを含む、基板処理方法を提供する。

[0013] この方法によれば、除去対象物に接触させた状態で処理液を固化または硬化させることによって、除去対象物の見かけのサイズが拡大される。除去対象物の見かけのサイズとは、除去対象物が他の固体と一体化されたときの除去対象物および当該他の固体の全体のサイズである。見かけのサイズが拡大された除去対象物は、元の大きさの除去対象物よりも、基板の表面から離れた位置に達する。そのため、基板の表面を流れる剥離液から除去対象物が受けるエネルギーを増大させることができる。したがって、除去対象物が基板から剥離しやすくなる。

[0014] そして、除去対象物は、見かけのサイズが拡大された状態で基板から剥離されて剥離液とともに基板の表面から除去される。そのため、除去対象物が基板の表面から剥離された後においても、基板の表面を流れる剥離液から除去対象物が受けるエネルギーが増大された状態を維持することができる。したがって、剥離液とともに除去対象物を基板外へ速やかに排除することができる。

[0015] その結果、基板の表面に存在する除去対象物を効率良く除去することができる。

[0016] この発明の一実施形態では、前記除去対象物拡大工程が、前記除去対象物の見かけのサイズが前記剥離液の流れにおける境界層厚さよりも前記基板の厚さ方向において大きくなるように、前記除去対象物の見かけのサイズを拡大する工程を含む。

[0017] 基板の厚さ方向において境界層厚さよりも基板の表面に近い位置では、剥

離液の粘性に起因して剥離液の流速が低減される。基板の厚さ方向において境界層厚さよりも基板の表面から離れた位置では、流速への剥離液の粘性の影響を十分に抑制できる。そこで、除去対象物の見かけのサイズが、剥離液の流れにおける境界層厚さよりも大きければ、基板の表面を流れる剥離液から除去対象物が受けるエネルギーを十分に大きくすることができる。したがって、除去対象物を、基板から剥離しやすくすることができ、かつ、剥離液とともに基板外へ速やかに排除することができる。

[0018] この発明の一実施形態では、前記除去対象物拡大工程が、前記基板の表面に供給された前記処理液を固化または硬化させて前記除去対象物を保持する処理膜を前記基板の表面に形成する処理膜形成工程を含み、前記除去工程が、前記処理膜とともに前記除去対象物を前記基板の表面から剥離する工程を含む。

[0019] この方法によれば、処理液を固化または硬化することによって、処理膜を基板の表面に形成することができる。除去対象物は、処理膜によって保持されるので、除去対象物の見かけのサイズを処理膜の大きさに拡大することができる。そして、処理膜とともに除去対象物を剥離することによって、見かけのサイズが処理膜の大きさに拡大された状態を維持しながら基板の表面から除去対象物を除去できる。したがって、剥離液の流れから除去対象物が受けるエネルギーを十分に大きくすることができる。

[0020] この発明の一実施形態では、前記除去工程が、前記剥離液によって前記処理膜を部分的に溶解して前記処理膜に貫通孔を形成する貫通孔形成工程を含む。そのため、剥離液が基板の表面付近に到達しやすくなる。そのため、処理膜と基板との界面に剥離液を作用させて処理膜を基板から効率良く剥離することができる。その一方で、処理膜において貫通孔が形成された部分以外の部分が剥離液に溶解されずに固体状態で維持されるため、除去対象物の見かけのサイズが拡大された状態を維持できる。したがって、除去対象物を基板の表面から効率良く剥離しつつ、剥離液の流れから除去対象物が受けるエネルギーを十分に大きくすることができる。

- [0021] この発明の一実施形態では、前記除去工程が、前記貫通孔を介して前記処理膜と前記基板の表面との間に前記剥離液を進入させる剥離液進入工程をさらに含む。そのため、処理膜と基板との界面に剥離液を作用させて処理膜を基板の表面から一層効率良く剥離することができる。
- [0022] この発明の一実施形態では、前記処理液が、第1成分と前記第1成分よりも前記剥離液に対する溶解性が低い第2成分とを有する溶質と、前記溶質を溶解する溶媒とを有する。そして、前記処理膜形成工程が、前記第1成分によって形成される第1固体と前記第2成分によって形成される第2固体とを有する前記処理膜を形成する工程を含む。
- [0023] この方法によれば、第1成分は剥離液に対する溶解性が第2成分よりも高い。そのため、第1成分によって形成される第1固体は、第2成分によって形成される第2固体よりも剥離液に溶解しやすい。そのため、基板の表面に剥離液を供給することで、剥離液は、主に第1固体を溶解して基板の表面付近に到達する。したがって、剥離液を処理膜と基板との界面に剥離液を作用させることができる。その一方で、第2固体は、その大部分が剥離液に溶解されずに固体状態で維持される。そのため、除去対象物が第2固体に保持された状態、すなわち、除去対象物の見かけのサイズが拡大された状態を維持できる。
- [0024] その結果、除去対象物を基板の表面から効率良く剥離しつつ、基板の表面を流れる剥離液から除去対象物が受けるエネルギーを十分に大きくすることができる。
- [0025] この発明の一実施形態では、前記処理液中の前記第1成分の含有量よりも前記処理液中の前記第2成分の含有量の方が多い。
- [0026] この方法によれば、処理液中の第1成分の含有量よりも処理液中の第2成分の含有量の方が少ない構成と比較して、処理膜において剥離液によって溶解される部分を少なくすることができる。そのため、処理膜の部分的な溶解に伴って処理膜から離脱する除去対象物を少なくできる。したがって、大部分の除去対象物は、処理膜とともに基板の表面から除去できるので、基板へ

の再付着を抑制しながら、除去対象物を効率的に基板外に排除できる。

[0027] この発明の一実施形態では、前記処理液中の前記第 1 成分の含有量よりも前記処理液中の前記第 2 成分の含有量の方が少ない。

[0028] この方法によれば、処理液中の第 1 成分の含有量よりも処理液中の第 2 成分の含有量の方が多い構成と比較して、処理膜において剥離液によって溶解される部分を多くすることができる。そのため、処理膜を比較的細かい膜片に分裂させることができる。処理膜が比較的細かい膜片に分裂されるので、膜片は、剥離液の流れから力を受けて浮きやすく剥離液の流れに乗って基板外に排出されやすい。したがって、処理膜とともに除去対象物を基板から効率良く除去することができる。

[0029] この発明の一実施形態では、前記第 1 成分および前記第 2 成分が、合成樹脂である。

[0030] この発明の一実施形態は、処理液を基板の表面に供給する処理液供給ユニットと、前記処理液を固化または硬化させる固体形成ユニットと、前記基板の表面に剥離液を供給する剥離液供給ユニットと、前記処理液供給ユニット、前記固体形成ユニットおよび前記剥離液供給ユニットを制御するコントローラとを含む基板処理装置を提供する。

[0031] そして、前記コントローラが、前記処理液供給ユニットから前記基板の表面に前記処理液を供給する処理液供給工程と、前記基板の表面に供給された前記処理液を前記固体形成ユニットに固化または硬化させることによって、前記基板の表面に存在する除去対象物の見かけのサイズを拡大する除去対象物拡大工程と、前記基板の表面に前記剥離液供給ユニットから前記剥離液を供給することによって、見かけのサイズが拡大された前記除去対象物を前記基板の表面から剥離し、前記除去対象物の見かけのサイズが拡大された状態を維持しながら前記除去対象物を基板の表面から除去する除去工程とを実行するようにプログラムされている。

[0032] この構成によれば、除去対象物に接触させた状態で処理液を固化または硬化させることによって、除去対象物の見かけのサイズが拡大される。見かけ

のサイズが拡大された除去対象物は、元の大きさの除去対象物よりも、基板の表面から離れた位置に達する。そのため、基板の表面を流れる剥離液から除去対象物が受けるエネルギーを大きくすることができる。したがって、除去対象物が基板から剥離しやすくなる。

[0033] そして、除去対象物は、見かけのサイズが拡大された状態で基板から剥離されて剥離液とともに基板の表面から除去される。そのため、除去対象物が基板の表面から剥離された後においても、基板の表面を流れる剥離液から除去対象物が受けるエネルギーが増大された状態を維持することができる。したがって、剥離液とともに除去対象物を基板外へ速やかに排除することができる。

[0034] その結果、基板の表面に存在する除去対象物を効率良く除去することができる。

[0035] この発明の一実施形態では、前記コントローラが、前記除去対象物拡大工程において、前記基板の厚さ方向において、前記基板の表面に沿う前記剥離液の流れにおける境界層厚さよりも大きくなるように、前記除去対象物の見かけのサイズを拡大するようにプログラムされている。

[0036] 基板の厚さ方向において境界層厚さよりも基板の表面に近い位置では、剥離液の粘性に起因して剥離液の流速が低減される。基板の厚さ方向において境界層厚さよりも基板の表面から離れた位置では、流速への剥離液の粘性の影響を十分に抑制できる。そこで、除去対象物の見かけのサイズが、剥離液の流れにおける境界層厚さよりも大きければ、基板の表面を流れる剥離液から除去対象物が受けるエネルギーを十分に大きくすることができる。したがって、除去対象物を、基板から剥離しやすことができ、かつ、剥離液とともに基板外へ速やかに排除することができる。

[0037] この発明の一実施形態は、前記コントローラが、前記除去対象物拡大工程において、前記基板の表面に供給された前記処理液を固化または硬化させて前記除去対象物を保持する処理膜を前記基板の表面に形成する処理膜形成工程を実行し、かつ、前記除去工程において、前記処理膜とともに前記除去対

象物を前記基板の表面から剥離するようにプログラムされている。

[0038] この構成によれば、処理液を固化または硬化することによって、処理膜を基板の表面に形成することができる。除去対象物は、処理膜によって保持されるので、除去対象物の見かけのサイズを処理膜の大きさに拡大することができる。そして、処理膜とともに除去対象物を剥離することによって、見かけのサイズが処理膜の大きさに拡大された状態を維持しながら基板の表面から除去対象物を除去できる。したがって、基板の表面を流れる剥離液から除去対象物が受けるエネルギーを十分に大きくすることができる。

[0039] この発明の一実施形態では、前記コントローラが、前記除去工程において、前記剥離液に前記処理膜を部分的に溶解させて前記処理膜に貫通孔を形成する貫通孔形成工程を実行するようにプログラムされている。そのため、剥離液が基板の表面付近に到達しやすくなる。そのため、処理膜と基板Wとの界面に剥離液を作用させて処理膜を基板から効率良く剥離することができる。その一方で、処理膜において貫通孔が形成された部分以外の部分が剥離液に溶解されずに固体状態で維持されるため、剥離液中においても除去対象物の見かけのサイズが拡大された状態を維持できる。したがって、除去対象物を基板の表面から効率良く剥離しつつ、剥離液の流れから除去対象物が受けるエネルギーを十分に大きくすることができる。

[0040] この発明の一実施形態では、前記コントローラが、前記除去工程において、前記貫通孔を介して前記処理膜と前記基板の表面との間に前記剥離液を進入させるようにプログラムされている。そのため、処理膜と基板との界面に剥離液を作用させて処理膜を基板の表面から一層効率良く剥離することができる。

[0041] この発明の一実施形態では、前記処理液が、第1成分と前記第1成分よりも前記剥離液に対する溶解性が低い第2成分とを有する溶質と、前記溶質を溶解する溶媒とを有する。そして、前記コントローラが、前記処理膜形成工程において、前記第1成分によって形成される第1固体と前記第2成分によって形成される第2固体とを含む前記処理膜を形成するようにプログラムさ

れている。

[0042] この構成によれば、第1成分は剥離液に対する溶解性が第2成分よりも高い。そのため、第1成分によって形成される第1固体は、第2成分によって形成される第2固体よりも剥離液に溶解しやすい。そのため、基板の表面に剥離液を供給することで、剥離液は、主に第1固体を溶解して基板の表面付近に到達する。したがって、剥離液を処理膜と基板との界面に剥離液を作用させて、除去対象物を保持した状態の処理膜を基板の表面から効率良く剥離することができる。その一方で、第2固体は、その大部分が剥離液に溶解されずに固体状態で維持されるため、除去対象物の見かけのサイズが拡大された状態を維持できる。

[0043] その結果、除去対象物を基板の表面から効率良く剥離しつつ、基板の表面を流れる剥離液から除去対象物が受けるエネルギーを十分に大きくすることができる。

[0044] この発明の一実施形態では、前記処理液中の前記第1成分の含有量よりも前記処理液中の前記第2成分の含有量の方が多い。

[0045] この構成によれば、処理液中の第1成分の含有量よりも処理液中の第2成分の含有量の方が少ない構成と比較して、処理膜において剥離液によって溶解される部分を少なくすることができる。そのため、処理膜の部分的な溶解に伴って処理膜から離脱する除去対象物を少なくできる。したがって、大部分の除去対象物は、処理膜とともに基板の表面から除去できるので、基板への再付着を抑制しながら、除去対象物を効率的に基板外に排除できる。

[0046] この発明の一実施形態では、前記処理液中の前記第1成分の含有量よりも前記処理液中の前記第2成分の含有量の方が少ない。

[0047] この構成によれば、処理液中の第1成分の含有量よりも処理液中の第2成分の含有量の方が多い構成と比較して、処理膜において剥離液によって溶解される部分を多くすることができる。そのため、処理膜を比較的細かい膜片に分裂させることができる。処理膜が比較的細かい膜片に分裂されるので、膜片は、剥離液の流れから力を受けて浮きやすく剥離液の流れに乗って基板

外に排出されやすい。したがって、処理膜とともに除去対象物を基板から効率良く除去することができる。

[0048] この発明の一実施形態では、前記第 1 成分および前記第 2 成分が、合成樹脂である。

[0049] 本発明における上述の、またはさらに他の目的、特徴および効果は、添付図面を参照して次に述べる実施形態の説明により明らかにされる。

図面の簡単な説明

[0050] [図1]図 1 は、この発明の一実施形態にかかる基板処理装置のレイアウトを示す模式的な平面図である。

[図2]図 2 は、前記基板処理装置に備えられる処理ユニットの概略構成を示す模式的な部分断面図である。

[図3]図 3 は、前記基板処理装置の主要部の電氣的構成を示すブロック図である。

[図4]図 4 は、前記基板処理装置による基板処理の一例を説明するための流れ図である。

[図5A]図 5 A は、前記基板処理の処理液供給工程（ステップ S 5）の様子を説明するための模式図である。

[図5B]図 5 B は、前記基板処理の薄膜化工程（ステップ S 6）の様子を説明するための模式図である。

[図5C]図 5 C は、前記基板処理の加熱工程（ステップ S 7）の様子を説明するための模式図である。

[図5D]図 5 D は、前記基板処理の緩衝工程（ステップ S 8）の様子を説明するための模式図である。

[図5E]図 5 E は、前記基板処理の除去工程（ステップ S 9）の様子を説明するための模式図である。

[図5F]図 5 F は、前記基板処理の第 2 リンス工程（ステップ S 10）の様子を説明するための模式図である。

[図5G]図 5 G は、前記基板処理の第 2 有機溶剤供給工程（ステップ S 11）

の様子を説明するための模式図である。

[図5H]図5 Hは、前記基板処理のスピンドライ工程（ステップS 1 2）の様子を説明するための模式図である。

[図6A]図6 Aは、前記薄膜化工程（ステップS 6）後の基板表面付近の様子を説明するための模式的な断面図である。

[図6B]図6 Bは、前記加熱工程（ステップS 7）後の基板表面付近の様子を説明するための模式的な断面図である。

[図6C]図6 Cは、前記除去工程（ステップS 9）実行中の基板表面付近の様子を説明するための模式的な断面図である。

[図6D]図6 Dは、前記除去工程（ステップS 9）実行中の基板表面付近の様子を説明するための模式的な断面図である。

[図7]図7 は、基板の表面に沿う剥離液の流れにおける境界層厚さと除去対象物の大きさとを比較するための模式図である。

[図8]図8 は、基板の表面に沿って流れる剥離液の流速と境界層厚さとの関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0051] 図1 は、この発明の一実施形態にかかる基板処理装置1のレイアウトを示す模式的な平面図である。

[0052] 基板処理装置1は、シリコンウエハなどの基板Wを一枚ずつ処理する枚葉式の装置である。この実施形態では、基板Wは、円板状の基板である。

[0053] 基板処理装置1は、基板Wを流体で処理する複数の処理ユニット2と、処理ユニット2で処理される複数枚の基板Wを収容するキャリアCが載置されるロードポートLPと、ロードポートLPと処理ユニット2との間で基板Wを搬送する搬送ロボットIRおよびCRと、基板処理装置1を制御するコントローラ3とを含む。

[0054] 搬送ロボットIRは、キャリアCと搬送ロボットCRとの間で基板Wを搬送する。搬送ロボットCRは、搬送ロボットIRと処理ユニット2との間で基板Wを搬送する。複数の処理ユニット2は、たとえば、同様の構成を有し

ている。詳しくは後述するが、処理ユニット 2 内で基板 W に供給される処理流体には、薬液、リンス液、処理液、剥離液、緩衝液、熱媒、不活性ガス等が含まれる。

[0055] 各処理ユニット 2 は、チャンバ 4 と、チャンバ 4 内に配置された処理カップ 7 とを備えており、処理カップ 7 内で基板 W に対する処理を実行する。チャンバ 4 には、チャンバ 4 内に基板 W を搬入したり、チャンバ 4 内から基板 W を搬出したりするための出入口（図示せず）が形成されている。チャンバ 4 には、この出入口を開閉するシャッタユニット（図示せず）が備えられている。

[0056] 図 2 は、処理ユニット 2 の構成例を説明するための模式図である。処理ユニット 2 は、スピンチャック 5 と、対向部材 6 と、第 1 移動ノズル 8 と、第 2 移動ノズル 9 と、第 3 移動ノズル 10 と、中央ノズル 11 と、下面ノズル 12 とをさらに含む。

[0057] スピンチャック 5 は、基板 W を水平に保持しながら基板 W の中央部を通る鉛直な回転軸線 A1（鉛直軸線）まわりに回転させる。スピンチャック 5 は、複数のチャックピン 20 と、スピンベース 21 と、回転軸 22 と、スピンモータ 23 とを含む。

[0058] スピンベース 21 は、水平方向に沿う円板形状を有している。スピンベース 21 の上面には、基板 W の周縁を把持する複数のチャックピン 20 が、スピンベース 21 の周方向に間隔を空けて配置されている。スピンベース 21 および複数のチャックピン 20 は、基板 W を水平に保持する基板保持ユニットを構成している。基板保持ユニットは、基板ホルダともいう。

[0059] 回転軸 22 は、回転軸線 A1 に沿って鉛直方向に延びている。回転軸 22 の上端部は、スピンベース 21 の下面中央に結合されている。スピンモータ 23 は、回転軸 22 に回転力を与える。スピンモータ 23 によって回転軸 22 が回転されることにより、スピンベース 21 が回転される。これにより、基板 W が回転軸線 A1 のまわりに回転される。スピンモータ 23 は、回転軸線 A1 まわりに基板 W を回転させる基板回転ユニットの一例である。

- [0060] 対向部材 6 は、スピンチャック 5 に保持された基板 W に上方から対向する。対向部材 6 は、基板 W とほぼ同じ径またはそれ以上の径を有する円板状に形成されている。対向部材 6 は、基板 W の上面（上側の表面）に対向する対向面 6 a を有する。対向面 6 a は、スピンチャック 5 よりも上方でほぼ水平面に沿って配置されている。
- [0061] 対向部材 6 において対向面 6 a とは反対側には、中空軸 6 0 が固定されている。対向部材 6 において平面視で回転軸線 A 1 と重なる部分には、対向部材 6 を上下に貫通し、中空軸 6 0 の内部空間 6 0 a と連通する連通孔 6 b が形成されている。
- [0062] 対向部材 6 は、対向面 6 a と基板 W の上面との間の空間内の雰囲気当該空間の外部の雰囲気から遮断する。そのため、対向部材 6 は、遮断板とも呼ばれる。
- [0063] 処理ユニット 2 は、対向部材 6 の昇降を駆動する対向部材昇降ユニット 6 1 をさらに含む。対向部材昇降ユニット 6 1 は、下位置から上位置までの任意の位置（高さ）に対向部材 6 を位置させることができる。下位置とは、対向部材 6 の可動範囲において、対向面 6 a が基板 W に最も近接する位置である。上位置とは、対向部材 6 の可動範囲において対向面 6 a が基板 W から最も離間する位置である。
- [0064] 対向部材昇降ユニット 6 1 は、たとえば、中空軸 6 0 を支持する支持部材（図示せず）に結合されたボールねじ機構（図示せず）と、当該ボールねじ機構に駆動力を与える電動モータ（図示せず）とを含む。
- [0065] 処理カップ 7 は、スピンチャック 5 に保持された基板 W から外方に飛散する液体を受け止める複数のガード 7 1 と、複数のガード 7 1 によって下方に案内された液体を受け止める複数のカップ 7 2 と、複数のガード 7 1 と複数のカップ 7 2 とを取り囲む円筒状の外壁部材 7 3 とを含む。
- [0066] この実施形態では、2つのガード 7 1（第 1 ガード 7 1 A および第 2 ガード 7 1 B）と、2つのカップ 7 2（第 1 カップ 7 2 A および第 2 カップ 7 2 B）とが設けられている例を示している。

- [0067] 第1カップ72Aおよび第2カップ72Bのそれぞれは、上向きに開放された環状溝の形態を有している。
- [0068] 第1ガード71Aは、スピンスペース21を取り囲むように配置されている。第2ガード71Bは、第1ガード71Aよりも基板Wの回転径方向外方でスピンスペース21を取り囲むように配置されている。
- [0069] 第1ガード71Aおよび第2ガード71Bは、それぞれ、ほぼ円筒形状を有しており、第1ガード71Aの上端部および第2ガード71Bの上端部は、それぞれ、スピンスペース21に向かうように内方に傾斜している。
- [0070] 第1カップ72Aは、第1ガード71Aによって下方に案内された液体を受け止める。第2カップ72Bは、第1ガード71Aと一体に形成されており、第2ガード71Bによって下方に案内された液体を受け止める。
- [0071] 処理ユニット2は、第1ガード71Aおよび第2ガード71Bを別々に昇降させるガード昇降ユニット74を含む。ガード昇降ユニット74は、下位置と上位置との間で第1ガード71Aを昇降させる。ガード昇降ユニット74は、下位置と上位置との間で第2ガード71Bを昇降させる。
- [0072] 第1ガード71Aおよび第2ガード71Bがともに上位置に位置するとき、基板Wから飛散する液体は、第1ガード71Aによって受けられる。第1ガード71Aが下位置に位置し、第2ガード71Bが上位置に位置するとき、基板Wから飛散する液体は、第2ガード71Bによって受けられる。
- [0073] ガード昇降ユニット74は、たとえば、第1ガード71Aに結合された第1ボールねじ機構（図示せず）と、第1ボールねじに駆動力を与える第1モータ（図示せず）と、第2ガード71Bに結合された第2ボールねじ機構（図示せず）と、第2ボールねじ機構に駆動力を与える第2モータ（図示せず）とを含む。
- [0074] 第1移動ノズル8は、スピynchック5に保持された基板Wの上面に向けて薬液を供給（吐出）する薬液供給ユニットの一例である。
- [0075] 第1移動ノズル8は、第1ノズル移動ユニット36によって、水平方向および鉛直方向に移動される。第1移動ノズル8は、中心位置と、ホーム位置

(退避位置)との間で移動することができる。第1移動ノズル8は、中心位置に位置するとき、基板Wの上面の回転中心に対向する。基板Wの上面の回転中心とは、基板Wの上面における回転軸線A1との交差位置である。

[0076] 第1移動ノズル8は、ホーム位置に位置するとき、基板Wの上面には対向せず、平面視において、処理カップ7の外方に位置する。第1移動ノズル8は、鉛直方向への移動によって、基板Wの上面に接近したり、基板Wの上面から上方に退避したりできる。

[0077] 第1ノズル移動ユニット36は、たとえば、鉛直方向に沿う回転軸(図示せず)と、回転軸に結合されて水平に延びるアーム(図示せず)と、回転軸を昇降させたり回転させたりする回転軸駆動ユニット(図示せず)とを含む。

[0078] 回転軸駆動ユニットは、回転軸を鉛直な回転軸線まわりに回転させることによってアームを揺動させる。さらに、回転軸駆動ユニットは、回転軸を鉛直方向に沿って昇降することにより、アームを上下動させる。第1移動ノズル8はアームに固定される。アームの揺動および昇降に応じて、第1移動ノズル8が水平方向および鉛直方向に移動する。

[0079] 第1移動ノズル8は、薬液を案内する薬液配管40に接続されている。薬液配管40に介装された薬液バルブ50が開かれると、薬液が、第1移動ノズル8から下方に連続的に吐出される。

[0080] 第1移動ノズル8から吐出される薬液は、たとえば、硫酸、酢酸、硝酸、塩酸、フッ酸、アンモニア水、過酸化水素水、有機酸(たとえば、クエン酸、蔞酸等)、有機アルカリ(たとえば、TMAH:テトラメチルアンモニウムハイドロオキシド等)、界面活性剤、腐食防止剤のうちの少なくとも1つを含む液である。これらを混合した薬液の例としては、SPM液(sulfuric acid/hydrogen peroxide mixture:硫酸過酸化水素水混合液)、SC1液(ammonia-hydrogen peroxide mixture:アンモニア過酸化水素水混合液)等が挙げられる。

[0081] 第2移動ノズル9は、スピンチャック5に保持された基板Wの上面に向け

て処理液を供給（吐出）する処理液供給ユニットの一例である。

[0082] 第2移動ノズル9は、第2ノズル移動ユニット37によって、水平方向および鉛直方向に移動される。第2移動ノズル9は、中心位置と、ホーム位置（退避位置）との間で移動することができる。第2移動ノズル9は、中心位置に位置するとき、基板Wの上面の回転中心に対向する。

[0083] 第2移動ノズル9は、ホーム位置に位置するとき、基板Wの上面には対向せず、平面視において、処理カップ7の外方に位置する。第2移動ノズル9は、鉛直方向への移動によって、基板Wの上面に接近したり、基板Wの上面から上方に退避したりできる。

[0084] 第2ノズル移動ユニット37は、第1ノズル移動ユニット36と同様の構成を有している。すなわち、第2ノズル移動ユニット37は、たとえば、鉛直方向に沿う回転軸（図示せず）と、回転軸および第2移動ノズル9に結合されて水平に延びるアーム（図示せず）と、回転軸を昇降させたり回転させたりする回転軸駆動ユニット（図示せず）を含む。

[0085] 第2移動ノズル9は、処理液を案内する処理液配管41に接続されている。処理液配管41に介装された処理液バルブ51が開かれると、処理液が、第2移動ノズル9から下方に連続的に吐出される。

[0086] 第2移動ノズル9から吐出される処理液は、溶質および溶媒を含んでいる。この処理液は、溶媒の少なくとも一部が揮発することによって固化または硬化される。この処理液は、基板W上で固化または硬化することによって、基板W上に存在するパーティクル等の除去対象物を保持する処理膜を形成する。

[0087] ここで、「固化」とは、たとえば、溶媒の揮発（蒸発）に伴い、分子間や原子間に作用する力等によって溶質が固まることを指す。「硬化」とは、たとえば、重合や架橋等の化学的な変化によって、溶質が固まることを指す。したがって、「固化または硬化」とは、様々な要因によって溶質が「固まる」ことを表している。

[0088] 第2移動ノズル9から吐出される処理液中の溶質には、第1成分および第

2成分が含まれている。処理液に含まれる第1成分の量（含有量）は、処理液に含まれる第2成分の量（含有量）よりも少ない。

[0089] 第1成分および第2成分は、たとえば、互いに性質が異なる合成樹脂である。第2移動ノズル9から吐出される処理液に含まれる溶媒は、第1成分および第2成分を溶解させる液体であればよい。

[0090] 溶質として用いられる合成樹脂の例としては、アクリル樹脂、フェノール樹脂、エポキシ樹脂、メラミン樹脂、尿素樹脂、不飽和ポリエステル樹脂、アルキド樹脂、ポリウレタン、ポリイミド、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリ塩化ビニル、ポリスチレン、ポリ酢酸ビニル、ポリテトラフルオロエチレン、アクリロニトリルブタジエンスチレン樹脂、アクリロニトリルスチレン樹脂、ポリアミド、ポリアセタール、ポリカーボネート、ポリビニルアルコール、変性ポリフェニレンエーテル、ポリブチレンテレフタレート、ポリエチレンテレフタレート、ポリフェニレンスルフィド、ポリスルホン、ポリエーテルエーテルケトン、ポリアミドイミド等が挙げられる。

[0091] 合成樹脂を溶解させる溶媒としては、たとえば、IPA、PGEE（プロピレングリコールモノエチルエーテル）、PGMEA（プロピレングリコール1-モノメチルエーテル2-アセタート）、EL（乳酸エチル）等が挙げられる。

[0092] 第3移動ノズル10は、スピンチャック5に保持された基板Wの上面に向けて剥離液を供給（吐出）する剥離液供給ユニットの一例であり、この実施形態では、スピンチャック5に保持された基板Wの上面に向けて緩衝液を供給（吐出）する緩衝液供給ユニットの一例でもある。

[0093] 第3移動ノズル10は、第3ノズル移動ユニット38によって、水平方向および鉛直方向に移動される。第3移動ノズル10は、中心位置と、ホーム位置（退避位置）との間で移動することができる。

[0094] 第3移動ノズル10は、中心位置に位置するとき、基板Wの上面の回転中心に対向する。第3移動ノズル10は、ホーム位置に位置するとき、基板Wの上面には対向せず、平面視において、処理カップ7の外方に位置する。第

3移動ノズル10は、鉛直方向への移動によって、基板Wの上面に接近したり、基板Wの上面から上方に退避したりできる。

[0095] 第3ノズル移動ユニット38は、第1ノズル移動ユニット36と同様の構成を有している。すなわち、第3ノズル移動ユニット38は、たとえば、鉛直方向に沿う回動軸（図示せず）と、回動軸および第3移動ノズル10に結合されて水平に延びるアーム（図示せず）と、回動軸を昇降させたり回動させたりする回動軸駆動ユニット（図示せず）を含む。

[0096] 第3移動ノズル10は、第3移動ノズル10に剥離液を案内する上側剥離液配管42に接続されている。上側剥離液配管42に介装された上側剥離液バルブ52が開かれると、剥離液が、第3移動ノズル10の吐出口から下方に連続的に吐出される。

[0097] 第3移動ノズル10は、第3移動ノズル10に緩衝液を案内する上側緩衝液配管43にも接続されている。上側緩衝液配管43に介装された上側緩衝液バルブ53が開かれると、緩衝液が、第3移動ノズル10の吐出口から下方に連続的に吐出される。

[0098] 剥離液は、基板W上の処理膜を基板Wの上面から剥離するための液体である。剥離液としては、処理液の溶質に含まれる第2成分よりも処理液の溶質に含まれる第1成分を溶解させやすい液体が用いられる。言い換えると、剥離液としては、剥離液に対する第1成分の溶解性（溶解度）が、剥離液に対する第2成分の溶解性（溶解度）よりも高い液体が用いられる。剥離液は、処理液に含有される溶媒と相溶性を有する（混和可能である）液体であることが好ましい。

[0099] 剥離液は、たとえば、水系の剥離液である。水系の剥離液の例としては、DIW、炭酸水、電解イオン水、水素水、オゾン水、および希釈濃度（例えば、10ppm～100ppm程度）の塩酸水、アルカリ水溶液等が挙げられる。アルカリ水溶液の例としては、SC1液、アンモニア水溶液、TMAH等の4級水酸化アンモニウムの水溶液、コリン水溶液等が挙げられる。

[0100] 緩衝液は、処理膜に対する剥離液の剥離作用が緩衝するための液体である

。剥離液に先立って処理膜に緩衝液を供給することによって、処理膜の一部に高濃度の剥離液が作用することを回避できる。これにより、処理膜に対して剥離液の供給に先立って緩衝液を供給しておくことで、処理膜の全体に対して満遍なく剥離液を作用させることができる。

[0101] 緩衝液の例としては、D I W、炭酸水、電解イオン水、希釈濃度（たとえば、1 p p m～1 0 0 p p m程度）の塩酸水、希釈濃度（たとえば、1 p p m～1 0 0 p p m程度）のアンモニア水、還元水（水素水）等が挙げられる。すなわち、緩衝液としては、リンス液と同様の液体を用いることができる。

[0102] 中央ノズル11は、対向部材6の中空軸60の内部空間60aに収容されている。中央ノズル11の先端に設けられた吐出口11aは、基板Wの上面の中央領域に上方から対向する。基板Wの上面の中央領域とは、基板Wの上面において基板Wの回転中心を含む領域のことである。

[0103] 中央ノズル11は、流体を下方に吐出する複数のチューブ（第1チューブ31、第2チューブ32および第3チューブ33）と、複数のチューブを取り囲む筒状のケーシング30とを含む。複数のチューブおよびケーシング30は、回転軸線A1に沿って上下方向に延びている。中央ノズル11の吐出口11aは、第1チューブ31の吐出口でもあり、第2チューブ32の吐出口でもあり、第3チューブ33の吐出口でもある。

[0104] 第1チューブ31は、リンス液を基板Wの上面に供給するリンス液供給ユニットの一例である。第2チューブ32は、気体を基板Wの上面と対向部材6の対向面6aとの間に供給する気体供給ユニットとしての一例である。第3チューブ33は、I P A等の有機溶剤を基板Wの上面に供給する有機溶剤供給ユニットの一例である。

[0105] 第1チューブ31は、リンス液を第1チューブ31に案内する上側リンス液配管44に接続されている。上側リンス液配管44に介装された上側リンス液バルブ54が開かれると、リンス液が、第1チューブ31（中央ノズル11）から基板Wの上面の中央領域に向けて連続的に吐出される。

- [0106] リンス液の例としては、DIW、炭酸水、電解イオン水、希釈濃度（たとえば、1 ppm～100 ppm程度）の塩酸水、希釈濃度（たとえば、1 ppm～100 ppm程度）のアンモニア水、還元水（水素水）等が挙げられる。リンス液は、緩衝液と同様の液体であるため、第1チューブ31は、緩衝液供給ユニットの一例でもある。
- [0107] 第2チューブ32は、気体を第2チューブ32に案内する気体配管45に接続されている。気体配管45に介装された気体バルブ55が開かれると、気体が、第2チューブ32（中央ノズル11）から下方に連続的に吐出される。
- [0108] 第2チューブ32から吐出される気体は、たとえば、窒素ガス（ N_2 ）等の不活性ガスである。第2チューブ32から吐出される気体は、空気であってもよい。不活性ガスとは、窒素ガスに限られず、基板Wの上面や、基板Wの上面に形成されたパターンに対して不活性なガスのことである。不活性ガスの例としては、窒素ガスの他に、アルゴン等の希ガス類が挙げられる。
- [0109] 第3チューブ33は、有機溶剤を第3チューブ33に案内する有機溶剤配管46に接続されている。有機溶剤配管46に介装された有機溶剤バルブ56が開かれると、有機溶剤が、第3チューブ33（中央ノズル11）から基板Wの上面の中央領域に向けて連続的に吐出される。
- [0110] 第3チューブ33から吐出される有機溶剤は、剥離液によって処理膜を除去した後の基板Wの上面に残る残渣を除去する残渣除去液である。第3チューブ33から吐出される有機溶剤は、処理液およびリンス液との相溶性を有することが好ましい。
- [0111] 第3チューブ33から吐出される有機溶剤の例としては、IPA、HFE（ハイドロフルオロエーテル）、メタノール、エタノール、アセトンおよびTrans-1,2-ジクロロエチレンのうちの少なくとも1つを含む液等が挙げられる。
- [0112] また、第3チューブ33から吐出される有機溶剤は、単体成分のみからなる必要はなく、他の成分と混合した液体であってもよい。たとえば、IPA

とDIWとの混合液であってもよいし、IPAとHFEとの混合液であってもよい。

[0113] 下面ノズル12は、スピンベース21の上面中央部で開口する貫通孔21aに挿入されている。下面ノズル12の吐出口12aは、スピンベース21の上面から露出されている。下面ノズル12の吐出口12aは、基板Wの下面の中央領域に下方から対向する。基板Wの下面の中央領域とは、基板Wの下面において基板Wの回転中心を含む領域のことである。

[0114] 下面ノズル12には、リンス液、剥離液、および熱媒を下面ノズル12に共通に案内する共通配管80の一端が接続されている。共通配管80の他端には、共通配管80にリンス液を案内する下側リンス液配管81と、共通配管80に剥離液を案内する下側剥離液配管82と、共通配管80に熱媒を案内する熱媒配管83とが接続されている。

[0115] 下側リンス液配管81に介装された下側リンス液バルブ86が開かれると、リンス液が、下面ノズル12から基板Wの下面の中央領域に向けて連続的に吐出される。下側剥離液配管82に介装された下側剥離液バルブ87が開かれると、剥離液が、下面ノズル12から基板Wの下面の中央領域に向けて連続的に吐出される。熱媒配管83に介装された熱媒バルブ88が開かれると、熱媒が、下面ノズル12から基板Wの下面の中央領域に向けて連続的に吐出される。

[0116] 下面ノズル12は、基板Wの下面にリンス液を供給する下側リンス液供給ユニットの一例である。リンス液として用いられる液体は、緩衝液としても用いることができるので、下面ノズル12は、下側緩衝液供給ユニットの一例でもある。

[0117] また、下面ノズル12は、基板Wの下面に剥離液を供給する下側剥離液供給ユニットの一例である。また、下面ノズル12は、基板Wを加熱するための熱媒を基板Wに供給する熱媒供給ユニットの一例である。下面ノズル12は、基板Wを加熱する基板加熱ユニットでもある。

[0118] 下面ノズル12から吐出される熱媒は、たとえば、室温よりも高く、処理

液に含まれる溶媒の沸点よりも低い温度（たとえば、60℃～80℃）の高温DIWである。下面ノズル12から吐出される熱媒は、高温DIWには限られず、室温よりも高く、処理液に含有される溶媒の沸点よりも低い温度（たとえば、60℃～80℃）の高温不活性ガスや高温空気等の高温気体であってもよい。

[0119] 図3は、基板処理装置1の主要部の電氣的構成を示すブロック図である。コントローラ3は、マイクロコンピュータを備え、所定の制御プログラムに従って基板処理装置1に備えられた制御対象を制御する。

[0120] 具体的には、コントローラ3は、プロセッサ(CPU)3Aと、制御プログラムが格納されたメモリ3Bとを含む。コントローラ3は、プロセッサ3Aが制御プログラムを実行することによって、基板処理のための様々な制御を実行するように構成されている。

[0121] とくに、コントローラ3は、搬送ロボット1R、CR、スピンモータ23、第1ノズル移動ユニット36、第2ノズル移動ユニット37、第3ノズル移動ユニット38、対向部材昇降ユニット61、ガード昇降ユニット74、薬液バルブ50、処理液バルブ51、上側剥離液バルブ52、上側緩衝液バルブ53、上側リンス液バルブ54、気体バルブ55、有機溶剤バルブ56、下側リンス液バルブ86、下側剥離液バルブ87、および熱媒バルブ88を制御するようにプログラムされている。

[0122] 図4は、基板処理装置1による基板処理の一例を説明するための流れ図である。図4には、主として、コントローラ3がプログラムを実行することによって実現される処理が示されている。図5A～図5Hは、前記基板処理の各工程の様子を説明するための模式図である。

[0123] 基板処理装置1による基板処理では、たとえば、図4に示すように、基板搬入工程(ステップS1)、薬液供給工程(ステップS2)、第1リンス工程(ステップS3)、第1有機溶剤供給工程(ステップS4)、処理液供給工程(ステップS5)、薄膜化工程(ステップS6)、加熱工程(ステップS7)、緩衝工程(ステップS8)、除去工程(ステップS9)、第2リン

ス工程（ステップS 1 0）、第2有機溶剤供給工程（ステップS 1 1）、スピンドライ工程（ステップS 1 2）および基板搬出工程（ステップS 1 3）がこの順番で実行される。

[0124] まず、未処理の基板Wは、搬送ロボットI R，C R（図1参照）によってキャリヤCから処理ユニット2に搬入され、スピンチャック5に渡される（ステップS 1）。これにより、基板Wは、スピンチャック5によって水平に保持される（基板保持工程）。スピンチャック5による基板Wの保持は、スピンドライ工程（ステップS 1 2）が終了するまで継続される。基板Wの搬入時には、対向部材6は、上位置に退避している。

[0125] 次に、搬送ロボットC Rが処理ユニット2外に退避した後、薬液供給工程（ステップS 2）が開始される。具体的には、スピンモータ2 3が、スピンベース2 1を回転させる。これにより、水平に保持された基板Wが回転される（基板回転工程）。そして、ガード昇降ユニット7 4が第1ガード7 1 Aおよび第2ガード7 1 Bを上位置に移動させる。

[0126] そして、第1ノズル移動ユニット3 6が第1移動ノズル8を処理位置に移動させる。第1移動ノズル8の処理位置は、たとえば中央位置である。そして、薬液バルブ5 0が開かれる。これにより、回転状態の基板Wの上面の中央領域に向けて、第1移動ノズル8から薬液が供給（吐出）される。薬液供給工程において、基板Wは、所定の薬液回転数、たとえば、8 0 0 r p mで回転される。

[0127] 基板Wの上面に供給された薬液は、遠心力を受けて放射状に広がり、基板Wの上面の全体に行き渡る。これにより、基板Wの上面が薬液によって処理される。第1移動ノズル8からの薬液の吐出は、所定時間、たとえば、3 0秒間継続される。

[0128] 次に、第1リンス工程（ステップS 3）が開始される。第1リンス工程では、基板W上の薬液がリンス液によって洗い流される。

[0129] 具体的には、薬液バルブ5 0が閉じられる。これにより、基板Wに対する薬液の供給が停止される。そして、第1ノズル移動ユニット3 6が第1移動

ノズル 8 をホーム位置に移動させる。そして、対向部材昇降ユニット 6 1 が対向部材 6 を上位置と下位置との間の処理位置に移動させる。対向部材 6 が処理位置に位置するとき、基板 W の上面と対向面 6 a との間の距離は、たとえば、30 mm である。第 1 リンス工程において、第 1 ガード 7 1 A および第 2 ガード 7 1 B の位置は、上位置に維持されている。

[0130] そして、上側リンス液バルブ 5 4 が開かれる。これにより、回転状態の基板 W の上面の中央領域に向けて、中央ノズル 1 1 からリンス液が供給（吐出）される。また、下側リンス液バルブ 8 6 が開かれる。これにより、回転状態の基板 W の下面の中央領域に向けて、下面ノズル 1 2 からリンス液が供給（吐出）される。第 1 リンス工程において、基板 W は、所定の第 1 リンス回転速度、たとえば、800 rpm で回転される。

[0131] 中央ノズル 1 1 から基板 W の上面に供給されリンス液は、遠心力を受けて放射状に広がり、基板 W の上面の全体に行き渡る。これにより、基板 W の上面の薬液が基板 W 外に洗い流される。

[0132] 下面ノズル 1 2 から基板 W の下面に供給されたリンス液は、遠心力を受けて放射状に広がり、基板 W の下面の全体に行き渡る。薬液供給工程によって基板 W から飛散した薬液が下面に付着した場合であっても、下面ノズル 1 2 から供給されたリンス液によって、下面に付着した薬液が洗い流される。中央ノズル 1 1 および下面ノズル 1 2 からのリンス液の吐出は、所定時間、たとえば、30 秒間継続される。

[0133] 次に、第 1 有機溶剤供給工程（ステップ S 4）が開始される。第 1 有機溶剤供給工程では、基板 W 上のリンス液が有機溶剤によって置換される。

[0134] 具体的には、上側リンス液バルブ 5 4 および下側リンス液バルブ 8 6 が閉じられる。これにより、基板 W の上面および下面に対するリンス液の供給が停止される。そして、ガード昇降ユニット 7 4 が、第 2 ガード 7 1 B を上位置に維持した状態で、第 1 ガード 7 1 A を下位置に移動させる。対向部材 6 は、処理位置に維持される。

[0135] 第 1 有機溶剤供給工程において、基板 W は、所定の第 1 有機溶剤回転速度

、たとえば、300rpm～1500rpmで回転される。基板Wは、第1有機溶剤供給工程において一定の回転速度で回転する必要はない。たとえば、スピนมータ23は、有機溶剤の供給開始時に基板Wを300rpmで回転させ、基板Wに有機溶剤を供給しながら基板Wの回転速度が1500rpmになるまで基板Wの回転を加速させてもよい。

[0136] そして、有機溶剤バルブ56が開かれる。これにより、回転状態の基板Wの上面の中央領域に向けて、中央ノズル11から有機溶剤が供給（吐出）される。

[0137] 中央ノズル11から基板Wの上面に供給された有機溶剤は、遠心力を受けて放射状に広がり、基板Wの上面の全体に行き渡る。これにより、基板W上のリンス液が有機溶剤によって置換される。中央ノズル11からの有機溶剤の吐出は、所定時間、たとえば、10秒間継続される。

[0138] 次に、処理液供給工程（ステップS5）が開始される。具体的には、有機溶剤バルブ56が閉じられる。これにより、基板Wに対する有機溶剤の供給が停止される。そして、対向部材昇降ユニット61が、対向部材6を上位置に移動させる。そして、ガード昇降ユニット74が、第1ガード71Aを上位置に移動させる。処理液供給工程において、基板Wは、所定の処理液回転速度、たとえば、10rpm～1500rpmで回転される。

[0139] そして、図5Aに示すように、第2ノズル移動ユニット37が、第2移動ノズル9を処理位置に移動させる。第2移動ノズル9の処理位置は、たとえば、中央位置である。そして、処理液バルブ51が開かれる。これにより、回転状態の基板Wの上面の中央領域に向けて、第2移動ノズル9から処理液が供給（吐出）される（処理液供給工程、処理液吐出工程）。これにより、基板W上の有機溶剤が処理液によって置換されて、基板W上に処理液の液膜（処理液膜101）が形成される（処理液膜形成工程）。第2移動ノズル9からの処理液の供給は、所定時間、たとえば、2秒～4秒の間継続される。

[0140] 次に、処理膜形成工程（ステップS6およびステップS7）が実行される。処理膜形成工程では、基板W上の処理液が固化または硬化されて基板Wの

上面に処理膜 100（図 5 C 参照）が形成される。

[0141] 処理膜形成工程では、薄膜化工程（スピノフ工程）（ステップ S 6）が実行される。薄膜化工程では、まず、処理液バルブ 51 が閉じられる。これにより、基板 W に対する処理液の供給が停止される。そして、第 2 ノズル移動ユニット 37 によって第 2 移動ノズル 9 がホーム位置に移動される。

[0142] 図 5 B に示すように、薄膜化工程では、基板 W 上の処理液膜 101 の厚さが適切な厚さになるように、基板 W の上面への処理液の供給が停止された状態で遠心力によって基板 W の上面から処理液の一部が排除される。薄膜化工程では、対向部材 6、第 1 ガード 71 A および第 2 ガード 71 B が上位置に維持される。

[0143] 薄膜化工程では、スピノータ 23 が、基板 W の回転速度を所定の薄膜化速度に変更する。薄膜化速度は、たとえば、300 rpm ~ 1500 rpm である。基板 W の回転速度は、300 rpm ~ 1500 rpm の範囲内で一定に保たれてもよいし、薄膜化工程の途中で 300 rpm ~ 1500 rpm の範囲内で適宜変更されてもよい。薄膜化工程は、所定時間、たとえば、30 秒間実行される。

[0144] 図 5 C を参照して、処理膜形成工程では、薄膜化工程後に、基板 W を加熱する加熱工程（ステップ S 7）が実行される。加熱工程では、基板 W 上の処理液の溶媒の一部を揮発（蒸発）させるために、基板 W 上の処理液膜 101（図 5 B 参照）を加熱する。

[0145] 具体的には、対向部材昇降ユニット 61 が、対向部材 6 を、上位置と下位置との間の近接位置に移動させる。近接位置は、下位置であってもよい。近接位置は、基板 W の上面から対向面 6 a までの距離がたとえば 1 mm の位置である。加熱工程では、第 1 ガード 71 A および第 2 ガード 71 B が上位置に維持される。

[0146] そして、気体バルブ 55 が開かれる。これにより、基板 W の上面（処理液膜 101 の上面）と、対向部材 6 の対向面 6 a との間の空間に気体が供給される（気体供給工程）。

- [0147] そして、熱媒バルブ 88 が開かれる。これにより、回転状態の基板 W の下面の中央領域に向けて、下面ノズル 12 から熱媒が供給（吐出）される（熱媒供給工程、熱媒吐出工程）。下面ノズル 12 から基板 W の下面に供給された熱媒は、遠心力を受けて放射状に広がり、基板 W の下面の全体に行き渡る。基板 W に対する熱媒の供給は、所定時間、たとえば、60 秒間継続される。加熱工程において、基板 W は、所定の加熱回転速度、たとえば、1000 rpm で回転される。
- [0148] 基板 W の下面に熱媒が供給されることによって、基板 W を介して、基板 W 上の処理液膜 101 が加熱される。これにより、処理液膜 101 中の溶媒の蒸発が促進される（溶媒蒸発工程、溶媒蒸発促進工程）。そのため、処理膜 100 の形成に必要な時間を短縮することができる。下面ノズル 12 は、処理液中の溶媒の蒸発させる蒸発ユニット（蒸発促進ユニット）として機能する。
- [0149] 薄膜化工程および加熱工程が実行されることによって、処理液が固化または硬化されて、基板 W 上に処理膜 100 が形成される。このように、基板回転ユニット（スピンモータ 23）および下面ノズル 12 は、処理液を固化または硬化させて固体（処理膜 100）を形成する固体形成ユニットに含まれる。
- [0150] 加熱工程では、基板 W 上の処理液の温度が溶媒の沸点未満となるように、基板 W が加熱されることが好ましい。処理液を、溶媒の沸点未満の温度に加熱することにより、処理膜 100 中に溶媒を適度に残留させることができる。これにより、処理膜 100 内に溶媒が残留していない場合と比較して、その後の除去工程（ステップ S9）において、処理膜 100 中に残留した溶媒と、剥離液との相互作用によって、剥離液を処理膜 100 になじませやすい。したがって、剥離液で処理膜 100 を剥離しやすくなる。
- [0151] 遠心力によって基板 W 外に飛散した熱媒は、第 1 ガード 71A によって受けられる。第 1 ガード 71A によって受けられた熱媒は、第 1 ガード 71A から跳ね返る場合がある。しかしながら、対向部材 6 は、基板 W の上面に近

接しているため、第1ガード71Aから跳ね返った熱媒から基板Wの上面を保護することができる。したがって、処理膜100の上面への熱媒の付着を抑制することができるので、第1ガード71Aからの熱媒の跳ね返りに起因するパーティクルの発生を抑制できる。

[0152] さらに、中央ノズル11からの気体の供給によって、対向部材6の対向面6aと基板Wの上面との間の空間には、基板Wの上面の中央領域から基板Wの上面の周縁に向けて移動する気流Fが形成される。基板Wの上面の中央領域から基板Wの上面の周縁に向けて移動する気流Fを形成することによって、第1ガード71Aから跳ね返った熱媒を第1ガード71Aに向けて押し戻すことができる。したがって、処理膜100の上面への熱媒の付着を一層抑制することができる。

[0153] 次に、緩衝工程（ステップS8）が実行される。具体的には、熱媒バルブ88が閉じられる。これにより、基板Wの下面に対する熱媒の供給が停止される。そして、気体バルブ55が閉じられる。これにより、対向部材6の対向面6aと基板Wの上面との間の空間への気体の供給が停止される。

[0154] そして、対向部材昇降ユニット61が対向部材6を上位置に移動させる。そして、図5Dに示すように、第3ノズル移動ユニット38が、第3移動ノズル10を処理位置に移動させる。第3移動ノズル10の処理位置は、たとえば、中央位置である。緩衝工程において、基板Wは、所定の緩衝回転速度、たとえば、800rpmで回転される。

[0155] そして、上側緩衝液バルブ53が開かれる。これにより、回転状態の基板Wの上面の中央領域に向けて、第3移動ノズル10から緩衝液が供給（吐出）される（緩衝液供給工程、緩衝液吐出工程）。基板Wの上面に供給された緩衝液は、遠心力により、基板Wの上面の全体に広がる。基板Wの上面への緩衝液の供給は、所定時間、たとえば、60秒間継続される。

[0156] 次の除去工程（ステップS9）で基板Wに供給される剥離液は、その濃度が高い場合に、とりわけ、剥離液の供給開始時に、基板Wの上面に局所的に作用することがある。そこで、剥離液に先立って緩衝液を基板Wの上面に供

給することによって、処理膜１００に対する剥離液の作用が緩衝される。これにより、基板Wの上面に剥離液が局所的に作用することを回避できるため、基板Wの上面の全体に万遍なく剥離液を作用させることができる。

[0157] 次に、図５Ｅを参照して、除去工程（ステップＳ９）が実行される。除去工程において、基板Wは、所定の除去回転速度、たとえば、８００ｒｐｍで回転される。

[0158] そして、上側緩衝液バルブ５３が閉じられる。これにより、基板Wの上面に対する緩衝液の供給が停止される。そして、上側剥離液バルブ５２が開かれる。これにより、回転状態の基板Wの上面の中央領域に向けて、第３移動ノズル１０から剥離液が供給（吐出）される（上側剥離液供給工程、上側剥離液吐出工程）。基板Wの上面に供給された剥離液は、遠心力により、基板Wの上面の全体に広がる。基板Wの上面への剥離液の供給は、所定時間、たとえば、６０秒間継続される。

[0159] 基板Wの上面に剥離液が供給されることによって、基板Wの上面から処理膜１００が剥離される。処理膜１００は、基板Wの上面から剥離される際に分裂して膜片となる。そして、分裂した処理膜１００の膜片は、基板Wの回転に伴う遠心力を受け、剥離液とともに基板W外へ排除される。これにより、基板Wの上面から処理膜１００とともに除去対象物が除去される。

[0160] ここで、図５Ａに示す処理液供給工程（ステップＳ５）で基板Wの上面に供給された処理液は、基板Wの周縁を伝って基板Wの下面に回り込むことがある。また、基板Wから飛散した処理液が、第１ガード７１Ａから跳ね返って基板Wの下面に付着することがある。このような場合であっても、図５Ｃに示すように、加熱工程（ステップＳ７）において基板Wの下面に熱媒が供給されるので、その熱媒の流れによって、基板Wの下面から処理液を排除することができる。

[0161] さらに、処理液供給工程（ステップＳ５）に起因して基板Wの下面に付着した処理液が固化または硬化して固体を形成することがある。このような場合であっても、図５Ｅに示すように、除去工程（ステップＳ９）において基

板Wの上面に剥離液が供給されている間、下側剥離液バルブ87を開いて下面ノズル12から基板Wの下面に剥離液を供給（吐出）することによって、その固体を基板Wの下面から剥離することができる（下側剥離液供給工程、下側剥離液吐出工程）。

[0162] さらに、図5Dに示すように緩衝工程（ステップS8）において基板Wの上面に緩衝液が供給されている間、下側リンス液バルブ86を開いて下面ノズル12から基板Wの下面に緩衝液としてのリンス液を供給（吐出）すれば、基板Wの下面に供給される剥離液の作用を緩衝することができる（下側緩衝液供給工程、下側緩衝液吐出工程）。

[0163] 次に、第2リンス工程（ステップS10）が実行される。具体的には、上側剥離液バルブ52および下側剥離液バルブ87が閉じられる。これにより、基板Wの上面および下面に対する剥離液の供給が停止される。そして、第3ノズル移動ユニット38が、第3移動ノズル10をホーム位置に移動させる。

[0164] そして、図5Fに示すように、対向部材昇降ユニット61が、対向部材6を処理位置に移動させる。第2リンス工程において、基板Wは、所定の第2リンス回転速度、たとえば、800rpmで回転される。第1ガード71Aおよび第2ガード71Bは、上位置に維持される。

[0165] そして、上側リンス液バルブ54が開かれる。これにより、回転状態の基板Wの上面の中央領域に向けて、中央ノズル11からリンス液が供給（吐出）される（第2上側リンス液供給工程、第2上側リンス液吐出工程）。基板Wの上面に供給されたリンス液は、遠心力を受けて放射状に広がり、基板Wの上面の全体に行き渡る。これにより、基板Wの上面に付着していた剥離液がリンス液で洗い流される。

[0166] そして、下側リンス液バルブ86が開かれる。これにより、回転状態の基板Wの下面の中央領域に向けて、下面ノズル12からリンス液が供給（吐出）される（第2下側リンス液供給工程、第2下側リンス液吐出工程）。これにより、基板Wの下面に付着していた剥離液がリンス液で洗い流される。基

板Wの上面および下面へのリンス液の供給は、所定時間、たとえば、35秒間継続される。

[0167] 次に、第2有機溶剤供給工程（ステップS11）が実行される。具体的には、ガード昇降ユニット74が第1ガード71Aを下位置に移動させる。そして、対向部材6は、処理位置に維持される。第2有機溶剤供給工程において、基板Wは、所定の第2有機溶剤回転速度、たとえば、300rpmで回転される。

[0168] そして、上側リンス液バルブ54および下側リンス液バルブ86が閉じられる。これにより、基板Wの上面および下面に対するリンス液の供給が停止される。そして、図5Gに示すように、有機溶剤バルブ56が開かれる。これにより、回転状態の基板Wの上面の中央領域に向けて、中央ノズル11から有機溶剤が供給（吐出）される（第2有機溶剤供給工程、第2有機溶剤吐出工程、残渣除去液供給工程）。基板Wの上面への有機溶剤の供給は、所定時間、たとえば、30秒間継続される。

[0169] 基板Wの上面に供給された有機溶剤は、遠心力を受けて放射状に広がり、基板Wの上面の全体に行き渡る。これにより、基板Wの上面のリンス液が有機溶剤で置換される。基板Wの上面に供給された有機溶剤は、基板Wの上面に残る処理膜100の残渣を溶解したのち、基板Wの上面の周縁から排出される（残渣除去工程）。

[0170] 次に、スピンドライ工程（ステップS12）が実行される。具体的には、図5Hを参照して、有機溶剤バルブ56が閉じられる。これにより、基板Wの上面への有機溶剤の供給が停止される。そして、対向部材昇降ユニット61が、対向部材6を処理位置よりも下方の乾燥位置に移動させる。対向部材6が乾燥位置に位置するとき、対向部材6の対向面6aと基板Wの上面との間の距離は、たとえば、1.5mmである。

[0171] そして、スピンモータ23が基板Wの回転を加速し、基板Wを高速回転させる。スピンドライ工程において基板Wは、乾燥速度、たとえば、1500rpmで回転される。スピンドライ工程は、所定時間、たとえば、30秒間

実行される。それによって、大きな遠心力が基板W上の有機溶剤に作用し、基板W上の有機溶剤が基板Wの周囲に振り切られる。

[0172] そして、スピนมータ23が基板Wの回転を停止させる。ガード昇降ユニット74が第1ガード71Aおよび第2ガード71Bを下位置に移動させる。気体バルブ55が閉じられる。対向部材昇降ユニット61が対向部材6を上位置に移動させる。

[0173] 搬送ロボットCRが、処理ユニット2に進入して、スピンチャック5のチャックピン20から処理済みの基板Wをすくい取って、処理ユニット2外へと搬出する（ステップS13）。その基板Wは、搬送ロボットCRから搬送ロボットIRへと渡され、搬送ロボットIRによって、キャリアCに収納される。

[0174] 次に、図6A～図6Dを参照して、処理膜100が基板Wから剥離される時の様子について説明する。図6Aは、薄膜化工程（ステップS6）後の基板Wの上面付近の様子を示している。図6Bは、加熱工程（ステップS7）後の基板Wの上面付近の様子を示している。図6Cおよび図6Dは、除去工程（ステップS9）実行中の基板Wの上面付近の様子を示している。

[0175] 処理液供給工程（ステップS5）において基板Wの上面に処理液膜101が形成されることによって、基板Wの上面に存在する除去対象物103に処理液が接触する。そのため、図6Aに示すように、薄膜化工程（ステップS6）によって処理液膜101が薄膜化された後も、処理液は除去対象物103に接触した状態で維持される。

[0176] 加熱工程（ステップS7）では、処理液を除去対象物103に接触させた状態で、基板W上の処理液膜101が加熱されて固化または硬化される。これにより、図6Bに示すように、除去対象物103を保持した処理膜100が形成される。詳しくは、溶媒の少なくとも一部が蒸発することによって、処理液の溶質に含まれる第1成分が第1固体110を形成し、処理液の溶質に含まれる第2成分が第2固体111を形成する。

[0177] 除去対象物103を保持する処理膜100が形成されることによって、除

去対象物 103 の見かけのサイズが、厚さ方向 T における処理膜 100 の厚さ D に拡大される（除去対象物拡大工程）。除去対象物 103 の見かけのサイズとは、除去対象物 103 が他の固体（処理膜 100）と一体化されたときの除去対象物 103 および処理膜 100 の全体の厚さ方向 T におけるサイズである。

[0178] そして、図 6 C を参照して、除去工程において、処理膜 100 が部分的に溶解される。基板 W の上面に剥離液が供給されると、第 2 成分よりも剥離液に対する溶解性が高い第 1 成分によって形成されている第 1 固体 110 が主に溶解される。これにより、処理膜 100 において第 1 固体 110 が偏在している部分に貫通孔 102 が形成される（貫通孔形成工程）。

[0179] 貫通孔 102 は、特に、基板 W の厚さ方向 T（処理膜 100 の厚さ方向でもある）に第 1 固体 110 が延びている部分に形成されやすい。貫通孔 102 は、平面視で、たとえば、直径数 nm の大きさである。

[0180] 第 2 固体 111 も剥離液に溶解される。しかし、剥離液に対する第 2 成分の溶解性は第 1 成分の溶解性よりも低いため、第 2 固体 111 は、剥離液によってその表面付近が僅かに溶解されるだけである。そのため、貫通孔 102 を介して基板 W の上面付近まで到達した剥離液は、第 2 固体 111 において基板 W の上面付近の部分を僅かに溶解させる。これにより、図 6 C の拡大図に示すように、剥離液が、基板 W の上面付近の第 2 固体 111 を徐々に溶解させながら、処理膜 100 と基板 W の上面との間の隙間 G1 に進入していく（剥離液進入工程）。

[0181] そして、たとえば、貫通孔 102 の周縁を起点として処理膜 100 が分裂して膜片となり、図 6 D に示すように、処理膜 100 の膜片が除去対象物 103 を保持した状態で基板 W から剥離される（処理膜分裂工程、剥離工程）。

[0182] そして、処理膜 100 が剥離液に流されて基板 W 外に排除されることによって、処理膜 100 とともに除去対象物 103 が基板 W の上面から除去される。すなわち、除去対象物 103 の見かけのサイズが拡大された状態を維持

しながら、除去対象物 103 が基板 W の上面から除去される（除去工程）。

[0183] 次に、基板 W の上面を流れる剥離液から除去対象物 103 が受けるエネルギーについて説明する。基板 W の上面を流れる剥離液の流速は、その剥離液の粘性の影響を受ける。そのため、基板 W の上面に沿う方向における剥離液の流速は、基板 W の上面から十分に離れた位置よりも基板 W の上面近傍において小さくなる。

[0184] 剥離液の流れにおいて、剥離液の粘性の影響を強く受ける層のことを境界層 BL という。基板 W の厚さ方向 T（剥離液の流れる方向に対する直交方向）における境界層 BL の大きさを、境界層厚さ δ という。

[0185] 図 7 は、基板 W の上面に沿う剥離液の流れにおける境界層厚さ δ と除去対象物 103 の大きさを比較するための模式図である。図 8 は、基板 W の上面に沿って流れる剥離液の流速と境界層厚さ δ との関係を示すグラフである。図 8 では、横軸が剥離液の流速 V を示しており、縦軸が境界層厚さ δ を示している。

[0186] 境界層 BL の外側における剥離液の流速を V とすると、流速 V における境界層厚さ δ は、下記式（1）で表される。 α は、係数である。 ν は、剥離液の動粘度を示している。 x は、基板 W の上面の任意の位置を原点としたときの、当該原点と剥離液が流れる方向に沿って当該原点から離間した位置との間の距離である。

[0187] [数1]

【数 1】

$$\delta = \alpha \sqrt{\frac{\nu x}{V}} \cdots (1)$$

- [0188] 図7に実線で示すように、基板Wの厚さ方向Tにおける除去対象物103のサイズ d_1 （除去対象物103が球体の場合は直径）が境界層厚さ δ 以下である場合、基板Wの上面に付着した除去対象物103は、流速Vよりも小さい流速の剥離液流からエネルギーを受ける。
- [0189] 一方、図7に二点鎖線で示すように、基板Wの厚さ方向Tにおける除去対象物103のサイズ d_2 が境界層厚さ δ よりも大きい場合、基板Wの上面に付着した除去対象物103は、流速Vよりも小さい流速の剥離液流に加えて、流速Vの剥離液流からもエネルギーを受ける。すなわち、基板Wの厚さ方向Tにおける除去対象物103のサイズ d_2 が境界層厚さ δ よりも大きい場合、基板Wの上面に付着した除去対象物103は、基板Wの上面から剥離するために十分なエネルギーを剥離液から受けられる可能性が高い。
- [0190] しかし、図8に示すように、基板Wの上面に存在する一般的な除去対象物103のサイズ d_1 は、 50 nm よりも小さい。また、基板Wの上面に沿って流れる剥離液の流速Vが 0 m/s よりも大きく 100 m/s よりも小さい場合（ $0\text{ m/s} < V < 100\text{ m/s}$ ）、境界層厚さ δ は、 50 nm よりも大きい。基板Wの上面を流れる剥離液の流速Vは、一般的に、 0 m/s よりも大きく 100 m/s よりも小さい。
- [0191] したがって、基板Wの上面に存在する一般的な除去対象物103のサイズ d_1 は、剥離液の流速Vにかかわらず、境界層厚さ δ よりも遥かに小さい。これでは、基板Wの上面に存在する除去対象物103は、基板Wの上面に沿って流れる剥離液から十分なエネルギーを受けることができないおそれがある。
- [0192] そこで、本実施形態によれば、除去対象物103に接触させた状態で処理液を固化または硬化させて処理膜100を形成することによって、除去対象物103の見かけのサイズが拡大される。処理膜100が形成されることによって、基板Wの厚さ方向Tにおける除去対象物103の見かけのサイズは、処理膜100の厚さDとなるため、元の大きさの除去対象物103よりも

大きい。そのため、見かけのサイズが拡大された除去対象物 103 は、元の大きさの除去対象物 103 よりも基板 W の上面から離れた位置に達する。

[0193] そのため、基板 W の上面に沿って流れる剥離液から除去対象物 103 が受けるエネルギーを大きくすることができる。したがって、処理膜 100 に保持された除去対象物 103 が基板 W から剥離しやすくなる。

[0194] そして、除去対象物 103 は、見かけのサイズが拡大された状態で基板 W から剥離されて剥離液とともに基板 W の上面から除去される。そのため、除去対象物 103 が基板 W の上面から剥離された後においても、基板 W の上面を流れる剥離液から除去対象物 103 が受けるエネルギーが増大された状態を維持することができる。

[0195] その結果、基板 W の上面に存在する除去対象物 103 を効率良く除去することができる。

[0196] また、基板 W の上面から剥離した処理膜 100 は、除去対象物 103 とともに基板 W の上面から浮き上がるので、剥離液内で基板 W の上面から一層離間する。そのため、基板 W の上面から剥離した処理膜 100 は、一層流速が大きい剥離液からエネルギーを受ける可能性が高い。したがって、基板 W の上面から剥離した処理膜 100 は、剥離液によって基板 W 外に流されやすい。

[0197] また、前述したように、基板 W の厚さ方向 T において、基板 W の上面から境界層厚さ δ よりも離れた位置においては、剥離液の粘性に起因する基板 W の上面に沿って流れる剥離液の流速の低減が実質的に生じない。図 6 B に示すように、加熱工程（ステップ S 7）後の除去対象物 103 の見かけのサイズ（処理膜 100 の厚さ D）が境界厚さ δ よりも大きければ（ $D > \delta$ ）、除去対象物 103 が基板 W の上面を流れる剥離液から受けるエネルギーを十分に大きくすることができる。したがって、除去対象物 103 を、基板 W から剥離しやすくすることができ、かつ、剥離液とともに基板 W 外へ速やかに排除することができる。

[0198] また、この実施形態によれば、剥離液によって処理膜 100 を部分的に溶

解することによって、処理膜100に貫通孔102が形成される。そのため、剥離液が基板Wの上面付近に到達しやすくなる。そのため、処理膜100と基板Wとの界面に剥離液を作用させて処理膜100を基板Wから効率良く剥離することができる。その一方で、処理膜100において貫通孔102が形成された部分以外の部分（第2固体111）は、剥離液に溶解されずに固体状態で維持されるため、剥離液中においても除去対象物103の見かけのサイズが拡大された状態を維持できる。したがって、除去対象物103を基板Wの上面から効率良く剥離しつつ、剥離液の流れから除去対象物103が受けるエネルギーを十分に大きくすることができる。

[0199] また、この実施形態によれば、貫通孔102を介して処理膜100と基板Wの上面との間に剥離液が進入する。そのため、処理膜100と基板Wとの界面に剥離液を作用させて処理膜100を基板Wの上面から一層効率良く剥離することができる。

[0200] また、この実施形態によれば、第1成分は剥離液に対する溶解性が第2成分よりも高い。そのため、第1成分によって形成される第1固体110は、第2成分によって形成される第2固体111よりも剥離液に溶解しやすい。そのため、基板Wの上面に剥離液を供給することで、剥離液は、主に第1固体110を溶解して基板Wの上面付近に到達する。したがって、剥離液を処理膜100と基板Wとの界面に剥離液を作用させることができる。その一方で、第2固体111は、その大部分が剥離液に溶解されずに固体状態で維持される。そのため、除去対象物103が第2固体111に保持された状態、すなわち、除去対象物103の見かけのサイズが拡大された状態を維持できる。

[0201] その結果、除去対象物103を基板Wの上面から効率良く剥離しつつ、基板Wの上面を流れる剥離液から除去対象物103が受けるエネルギーを十分に大きくすることができる。

[0202] また、この実施形態では、処理液中の第1成分の含有量よりも処理液中の第2成分の含有量の方が多い。そのため、処理液中の第1成分の含有量より

も処理液中の第2成分の含有量の方が少ない構成と比較して、処理膜100において剥離液によって溶解される部分を少なくすることができる。したがって、処理膜100の部分的な溶解に伴って処理膜100から離脱する除去対象物103を少なくできる。その結果、大部分の除去対象物103は、処理膜100とともに基板Wの上面から除去できるので、基板Wへの再付着を抑制しながら、除去対象物103を効率的に基板W外に排除できる。

[0203] さらに、処理液中の第1成分の含有量よりも処理液中の第2成分の含有量の方が少ない構成と比較して、処理膜100において剥離液によって溶解される部分を少ないため、処理膜100を比較的大きい膜片に分裂させることができる。処理膜100が比較的大きい膜片に分裂されるので、膜片は、剥離液の流れから力を受ける表面積を増やすことができる。したがって、剥離液の流れに乗って基板W外に排出されやすい。したがって、除去対象物103を処理膜100とともに基板Wから効率良く除去することができる。

[0204] この発明は、以上に説明した実施形態に限定されるものではなく、さらに他の形態で実施することができる。

[0205] たとえば、基板処理装置1では、薬液供給工程（ステップS2）、第1リンス工程（ステップS3）および第1有機溶剤供給工程（ステップS4）が省略された基板処理が行われてもよい。

[0206] また、上述の実施形態における基板処理では、処理膜形成工程（ステップS6およびステップS7）において、熱媒による基板Wの加熱によって処理液の溶媒が蒸発した。しかしながら、基板Wは、熱媒の供給に限られず、たとえば、スピンベース21や対向部材6に内蔵されたヒータ等（図示せず）によって加熱されてもよい。この場合、当該ヒータが、基板加熱ユニットおよび蒸発ユニット（蒸発促進ユニット）として機能する。

[0207] また、処理膜100の形成には、必ずしも基板Wの加熱を行う必要はない。すなわち、薄膜化工程（ステップS6）において、溶媒が十分に揮発（蒸発）した場合には、その後の加熱工程（ステップS7）は、実行しなくてもよい。とくに、処理膜100の内部に溶媒を残留させてもよい場合には、基

板Wを加熱させなくても所望の度合まで溶媒を蒸発させやすい。

[0208] また、上述した基板処理において、緩衝工程（ステップS8）を省略することも可能である。

[0209] また、上述した各実施形態では、処理液における第2成分の含有量は、処理液における第1成分の含有量よりも多い。しかしながら、処理液における第2成分の含有量は、処理液における第1成分の含有量よりも少なくてもよい。

[0210] この場合、処理液中の第1成分の含有量よりも処理液中の第2成分の含有量の方が多い構成と比較して、処理膜100において剥離液によって溶解される部分を多くすることができる。そのため、処理膜100を比較的細かい膜片に分裂させることができる。処理膜100が比較的細かい膜片に分裂されるので、膜片は、剥離液の流れから力を受けて浮きやすく剥離液の流れに乗って基板W外に排出されやすい。したがって、処理膜100を基板Wから効率良く除去することができる。

[0211] また、上述した実施形態では、処理液に含まれる溶質の各成分（第1成分および第2成分）は、合成樹脂である。しかしながら、溶質の各成分は、必ずしも合成樹脂である必要はなく、処理液に含まれる溶媒によって溶解され、剥離液による溶解性が第2成分よりも第1成分の方が高くなるものであればよい。そうであるならば、溶質の各成分は、たとえば、金属や塩であってもよい。

[0212] また、上述した実施形態では、処理液に含まれる溶質には、第1成分および第2成分が含まれる。しかしながら、溶質は、単一の成分を含むように構成されていてもよいし、剥離液に対する溶解性が互いに異なる3つ以上の成分を含んでいてもよい。

[0213] 本発明の実施形態について詳細に説明してきたが、これらは本発明の技術的内容を明らかにするために用いられた具体例に過ぎず、本発明はこれらの具体例に限定して解釈されるべきではなく、本発明の範囲は添付の請求の範囲によってのみ限定される。

[0214] この出願は、2018年5月31日に日本国特許庁に提出された特願2018-105631号に対応しており、この出願の全開示はここに引用により組み込まれるものとする。

符号の説明

[0215] 1 : 基板処理装置
3 : コントローラ
9 : 第2移動ノズル（処理液供給ユニット）
10 : 第3移動ノズル（剥離液供給ユニット）
12 : 下面ノズル（固体形成ユニット）
23 : スピンモータ（固体形成ユニット）
100 : 処理膜
103 : 除去対象物
110 : 第1固体
111 : 第2固体
T : 厚さ方向
 δ : 境界層厚さ

請求の範囲

- [請求項1] 処理液を基板の表面に供給する処理液供給工程と、
前記基板の表面に供給された前記処理液を、前記基板の表面に存在する除去対象物に接触させた状態で固化または硬化させることによって、前記除去対象物の見かけのサイズを拡大する除去対象物拡大工程と、
前記基板の表面に剥離液を供給して、見かけのサイズが拡大された前記除去対象物を前記基板の表面から剥離し、前記除去対象物の見かけのサイズが拡大された状態を維持しながら前記除去対象物を基板の表面から除去する除去工程とを含む、基板処理方法。
- [請求項2] 前記除去対象物拡大工程が、前記基板の厚さ方向において、前記基板の表面に沿う前記剥離液の流れにおける境界層厚さよりも大きくなるように、前記除去対象物の見かけのサイズを拡大する工程を含む、請求項1に記載の基板処理方法。
- [請求項3] 前記除去対象物拡大工程が、前記基板の表面に供給された前記処理液を固化または硬化させて前記除去対象物を保持する処理膜を前記基板の表面に形成する処理膜形成工程を含み、
前記除去工程が、前記処理膜とともに前記除去対象物を前記基板の表面から剥離する工程を含む、請求項1または2に記載の基板処理方法。
- [請求項4] 前記除去工程が、前記剥離液によって前記処理膜を部分的に溶解して前記処理膜に貫通孔を形成する貫通孔形成工程を含む、請求項3に記載の基板処理方法。
- [請求項5] 前記除去工程が、前記貫通孔を介して前記処理膜と前記基板の表面との間に前記剥離液を進入させる剥離液進入工程をさらに含む、請求項4に記載の基板処理方法。
- [請求項6] 前記処理液が、第1成分と前記第1成分よりも前記剥離液に対する溶解性が低い第2成分とを有する溶質と、前記溶質を溶解する溶媒と

を有し、

前記処理膜形成工程が、前記第1成分によって形成される第1固体と前記第2成分によって形成される第2固体とを有する前記処理膜を形成する工程を含む、請求項3～5のいずれか一項に記載の基板処理方法。

[請求項7] 前記処理液中の前記第1成分の含有量よりも前記処理液中の前記第2成分の含有量の方が多い、請求項6に記載の基板処理方法。

[請求項8] 前記処理液中の前記第1成分の含有量よりも前記処理液中の前記第2成分の含有量の方が少ない、請求項6に記載の基板処理方法。

[請求項9] 前記第1成分および前記第2成分が、合成樹脂である、請求項6～8のいずれか一項に記載の基板処理方法。

[請求項10] 処理液を基板の表面に供給する処理液供給ユニットと、
前記処理液を固化または硬化させる固体形成ユニットと、
前記基板の表面に剥離液を供給する剥離液供給ユニットと、
前記処理液供給ユニット、前記固体形成ユニットおよび前記剥離液供給ユニットを制御するコントローラとを含み、

前記コントローラが、前記処理液供給ユニットから前記基板の表面に前記処理液を供給する処理液供給工程と、前記基板の表面に供給された前記処理液を前記固体形成ユニットに固化または硬化させることによって、前記基板の表面に存在する除去対象物の見かけのサイズを拡大する除去対象物拡大工程と、前記基板の表面に剥離液を供給して、見かけの

サイズが拡大された前記除去対象物を前記基板の表面から剥離し、前記除去対象物の見かけのサイズが拡大された状態を維持しながら前記除去対象物を基板の表面から除去する除去工程とを実行するようにプログラムされている、基板処理装置。

[請求項11] 前記コントローラが、前記除去対象物拡大工程において、前記基板の厚さ方向において、前記基板の表面に沿う前記剥離液の流れにおけ

る境界層厚さよりも大きくなるように、前記除去対象物の見かけのサイズを拡大するようにプログラムされている、請求項 10 に記載の基板処理装置。

[請求項12] 前記コントローラが、前記除去対象物拡大工程において、前記基板の表面に供給された前記処理液を固化または硬化させて前記除去対象物を保持する処理膜を前記基板の表面に形成する処理膜形成工程を実行し、かつ、前記除去工程において、前記処理膜とともに前記除去対象物を前記基板の表面から剥離するようにプログラムされている、請求項 10 または 11 に記載の基板処理装置。

[請求項13] 前記コントローラが、前記除去工程において、前記剥離液に前記処理膜を部分的に溶解させて前記処理膜に貫通孔を形成する貫通孔形成工程を実行するようにプログラムされている、請求項 12 に記載の基板処理装置。

[請求項14] 前記コントローラが、前記除去工程において、前記貫通孔を介して前記処理膜と前記基板の表面との間に前記剥離液を進入させるようにプログラムされている、請求項 13 に記載の基板処理装置。

[請求項15] 前記処理液が、第 1 成分と前記第 1 成分よりも前記剥離液に対する溶解性が低い第 2 成分とを有する溶質と、前記溶質を溶解する溶媒とを有し、

前記コントローラが、前記処理膜形成工程において、前記第 1 成分によって形成される第 1 固体と前記第 2 成分によって形成される第 2 固体とを含む前記処理膜を形成するようにプログラムされている、請求項 12 ～ 14 のいずれか一項に記載の基板処理装置。

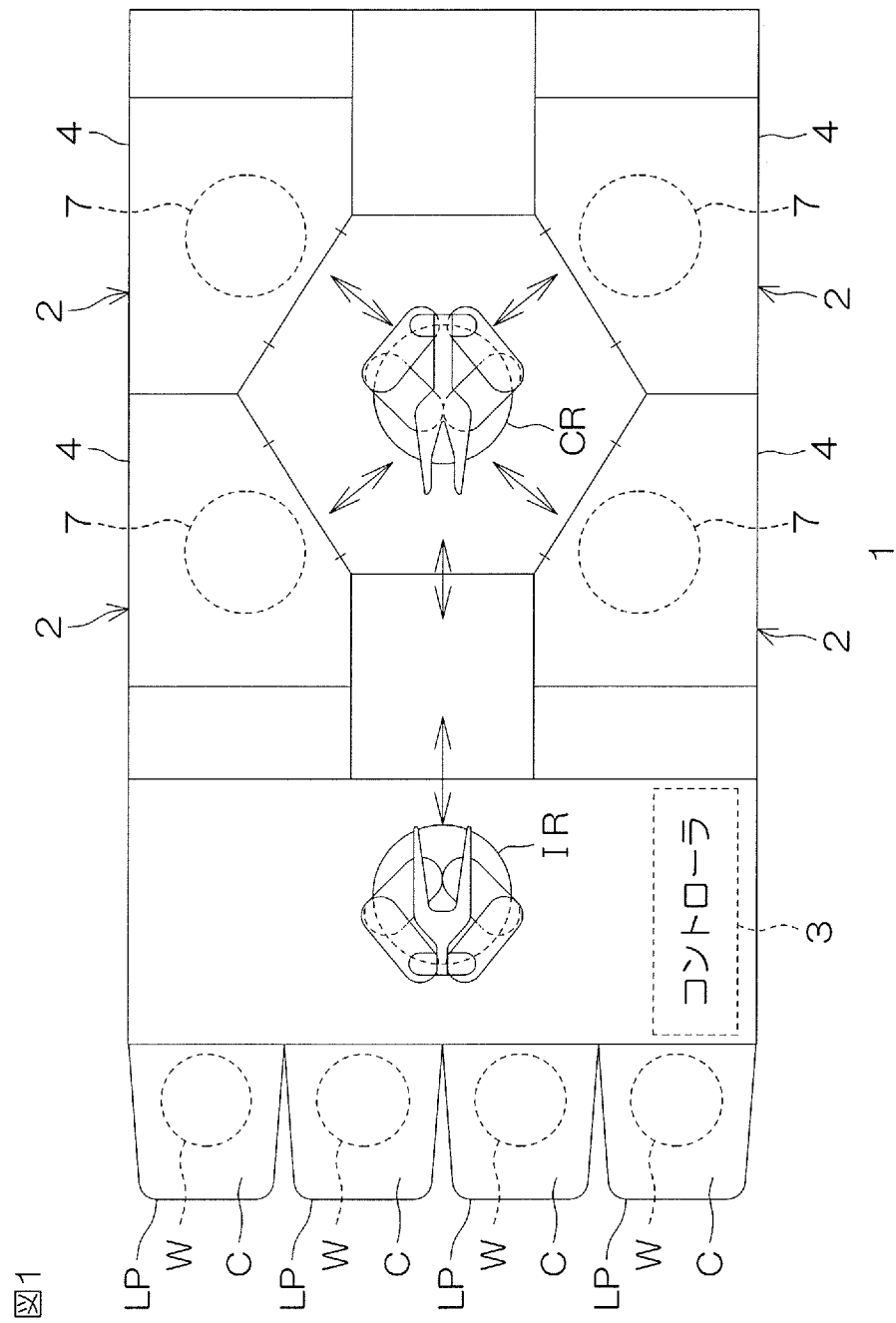
[請求項16] 前記処理液中の前記第 1 成分の含有量よりも前記処理液中の前記第 2 成分の含有量の方が多い、請求項 15 に記載の基板処理装置。

[請求項17] 前記処理液中の前記第 1 成分の含有量よりも前記処理液中の前記第 2 成分の含有量の方が少ない、請求項 15 に記載の基板処理装置。

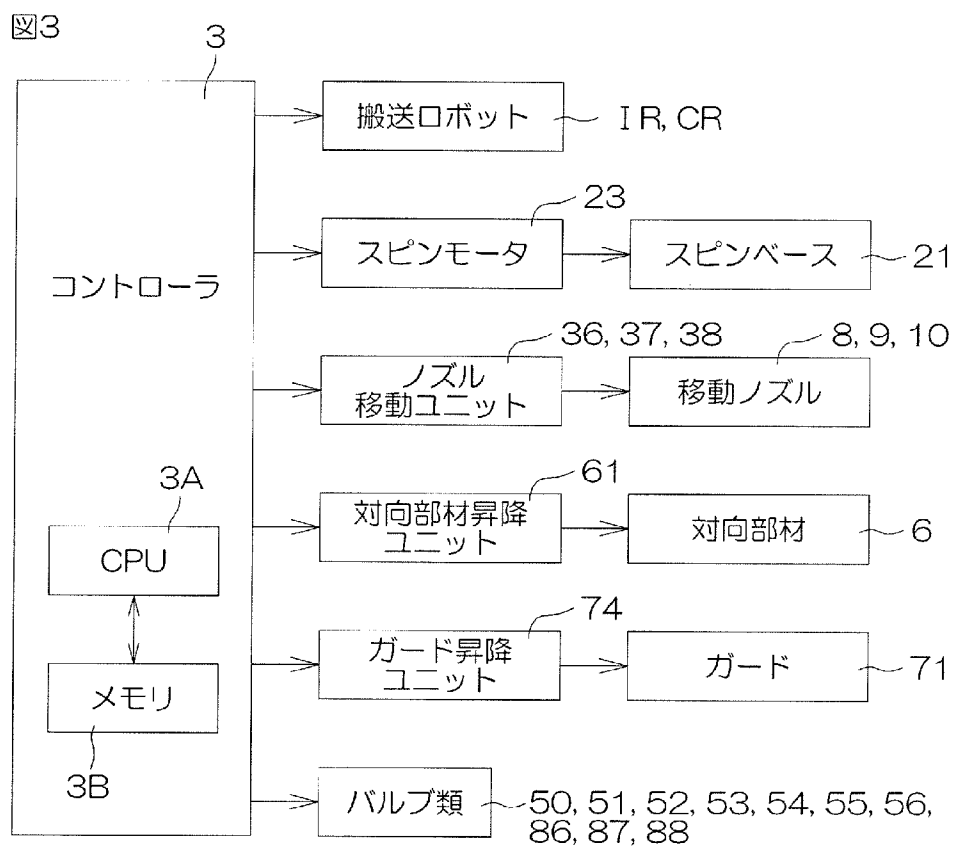
[請求項18] 前記第 1 成分および前記第 2 成分が、合成樹脂である、請求項 15

～ 17 のいずれか一項に記載の基板処理装置。

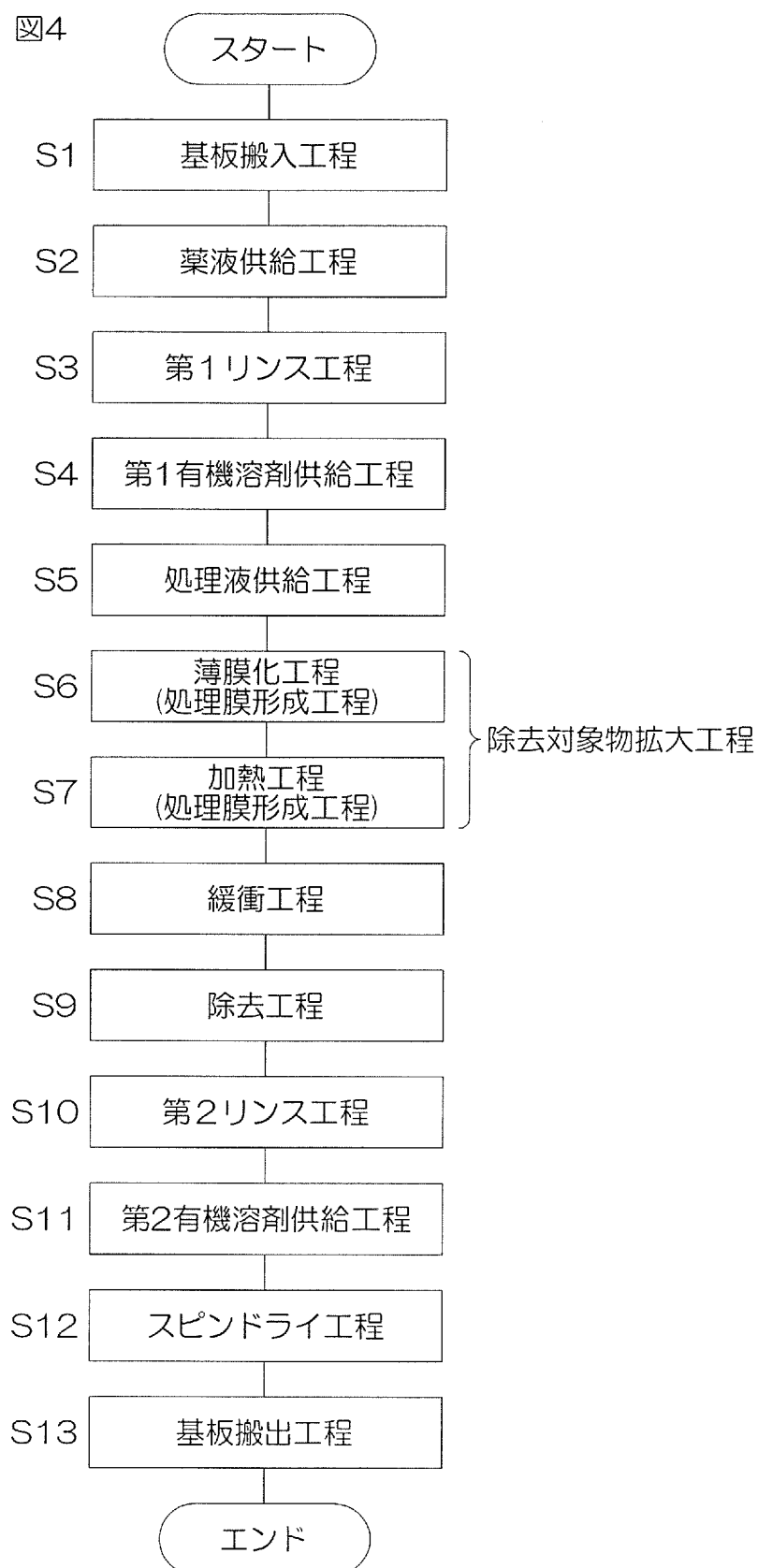
[図1]



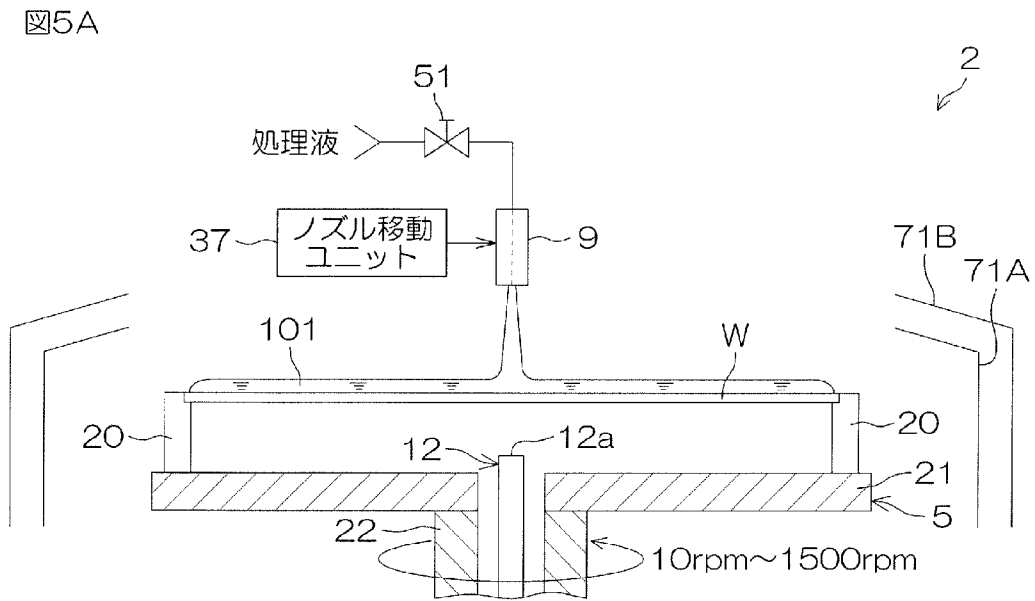
[図3]



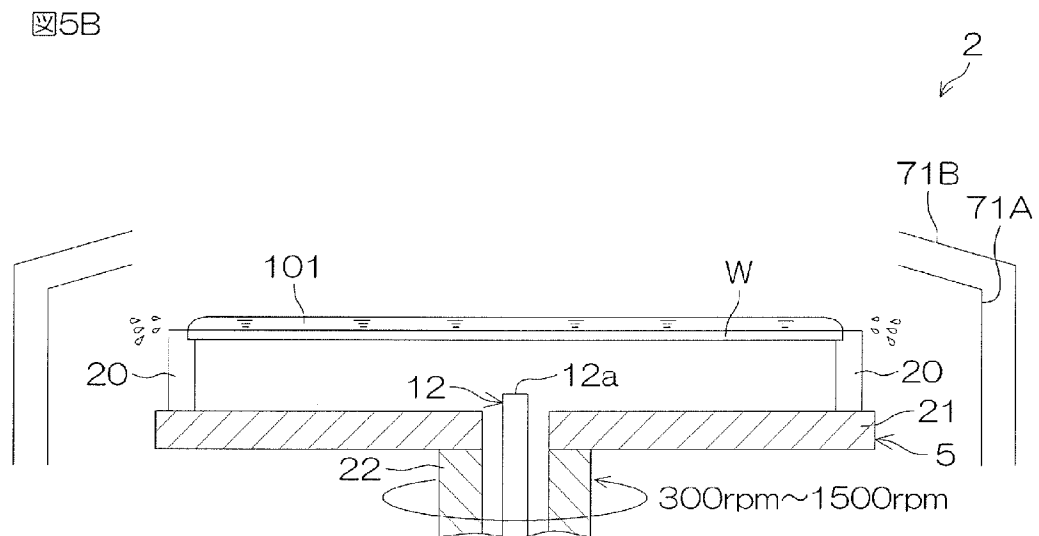
[図4]



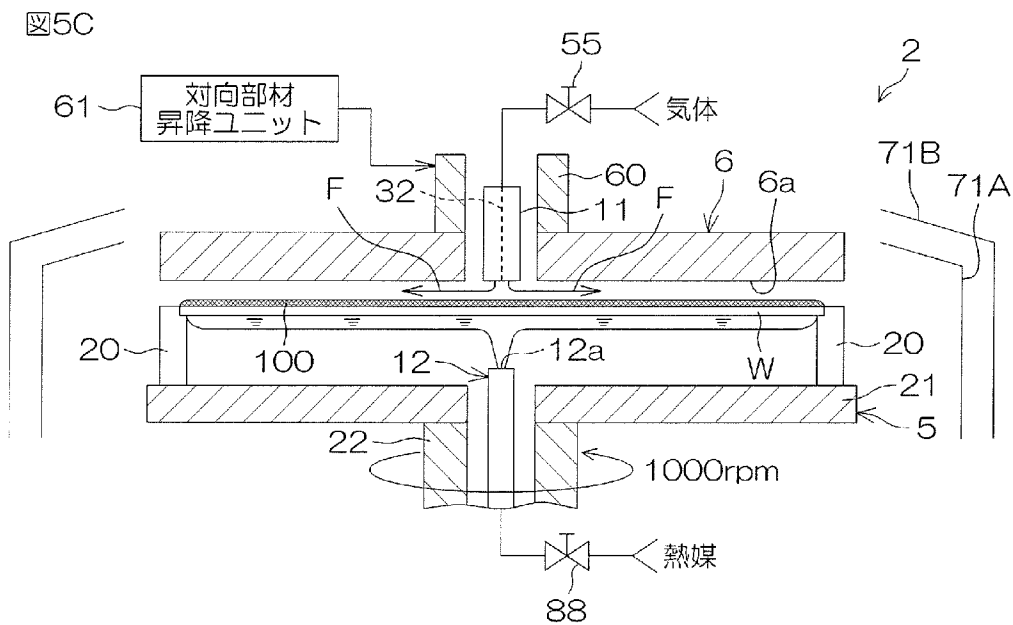
[図5A]



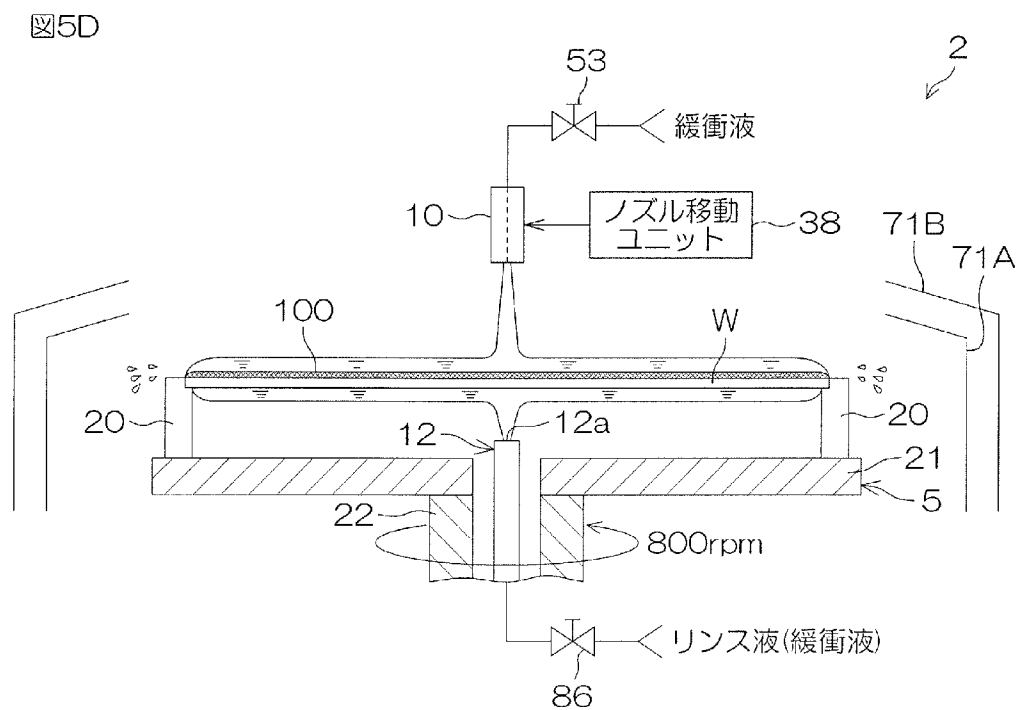
[図5B]



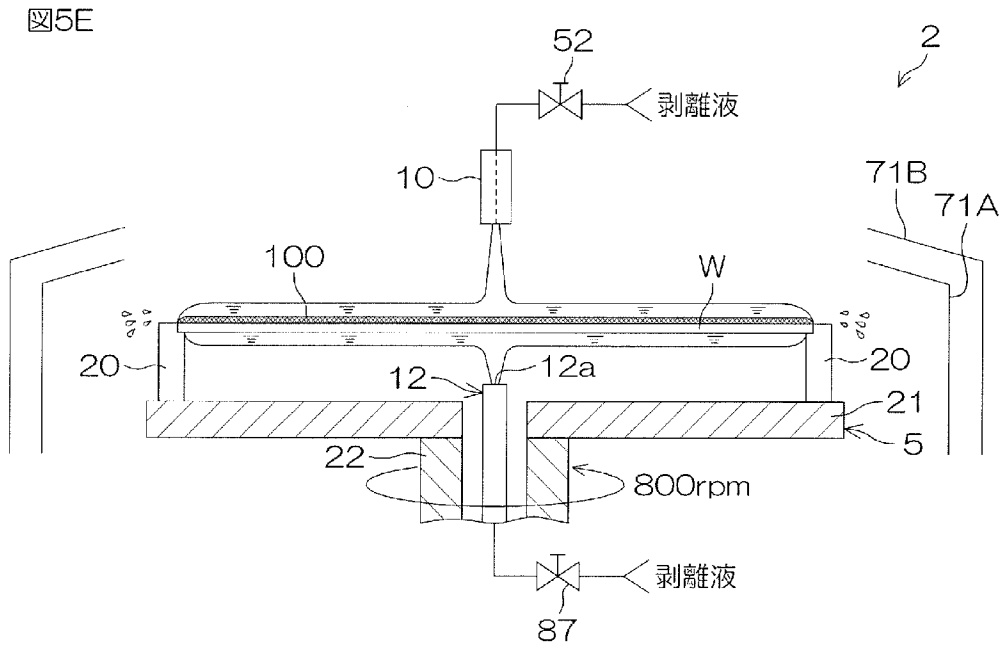
[図5C]



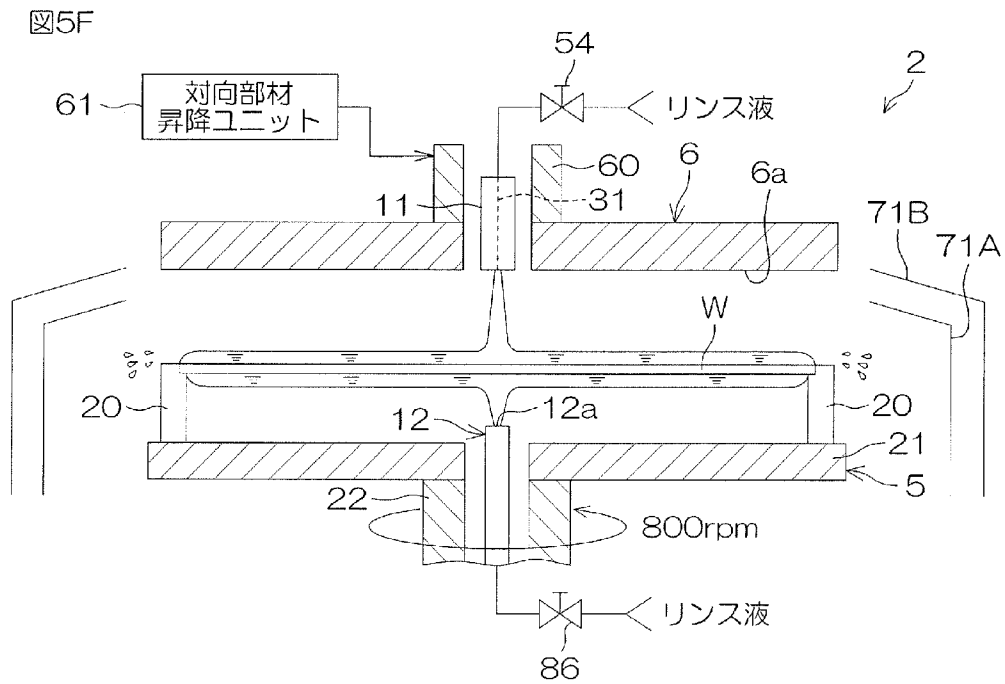
[図5D]



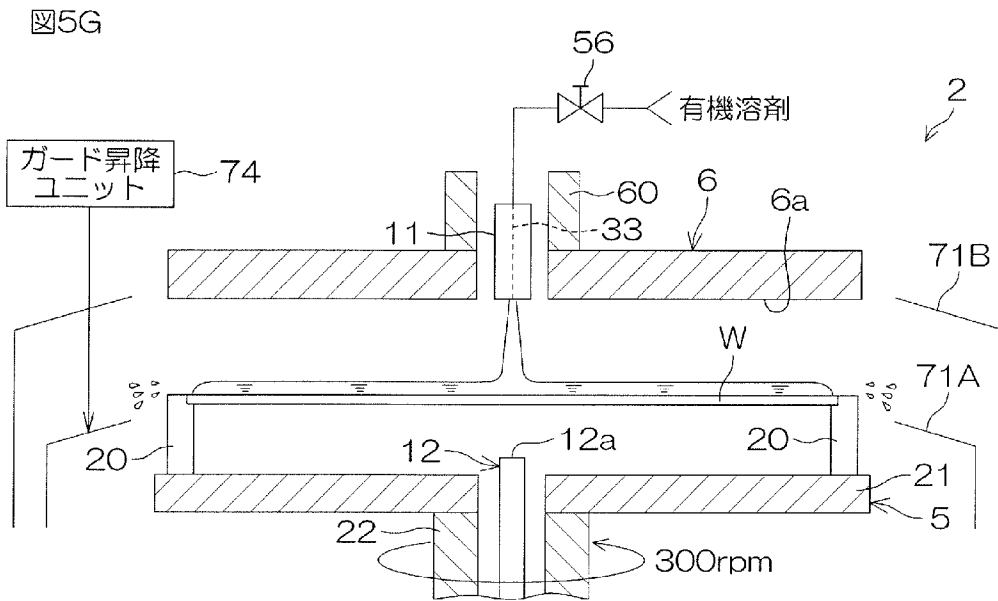
[図5E]



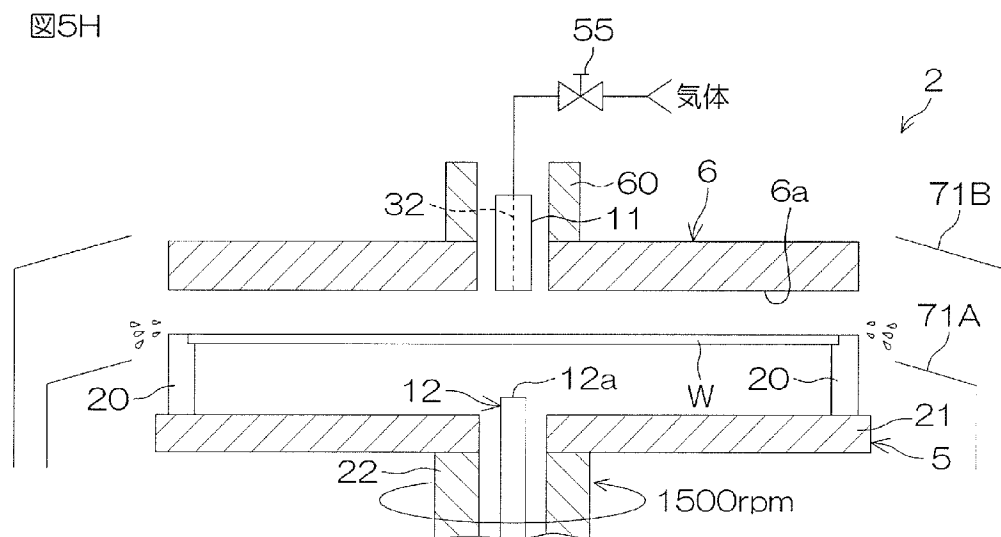
[図5F]



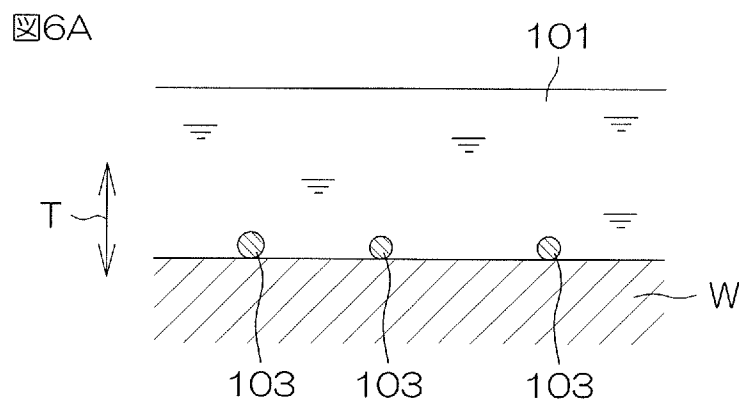
[図5G]



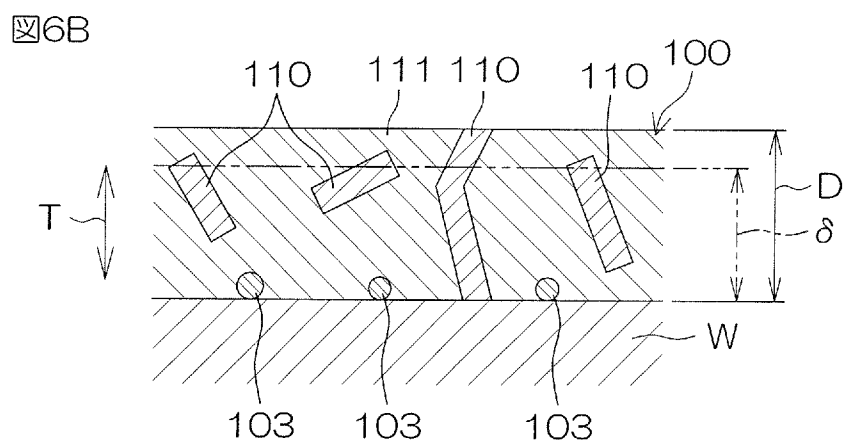
[図5H]



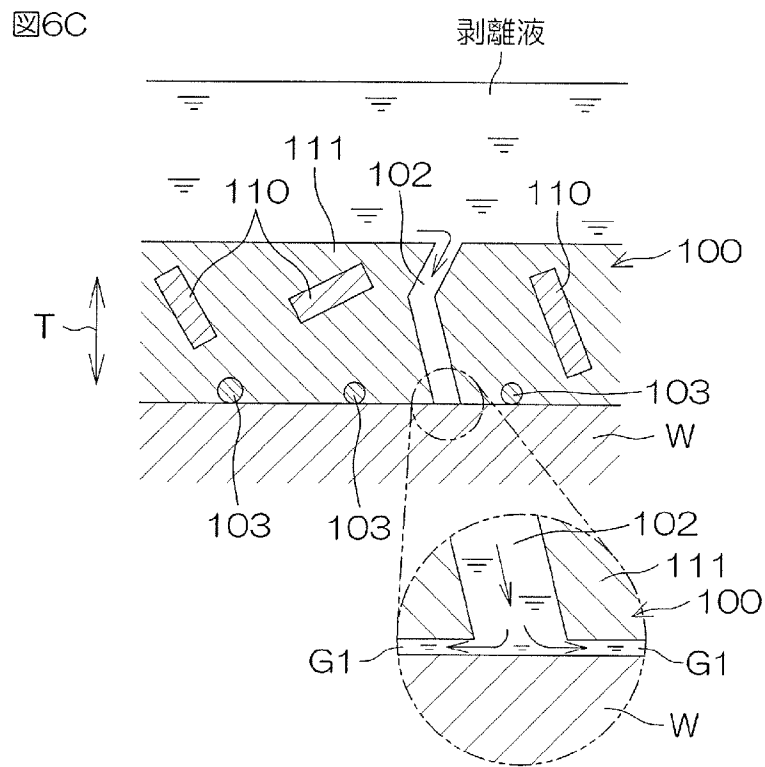
[図6A]



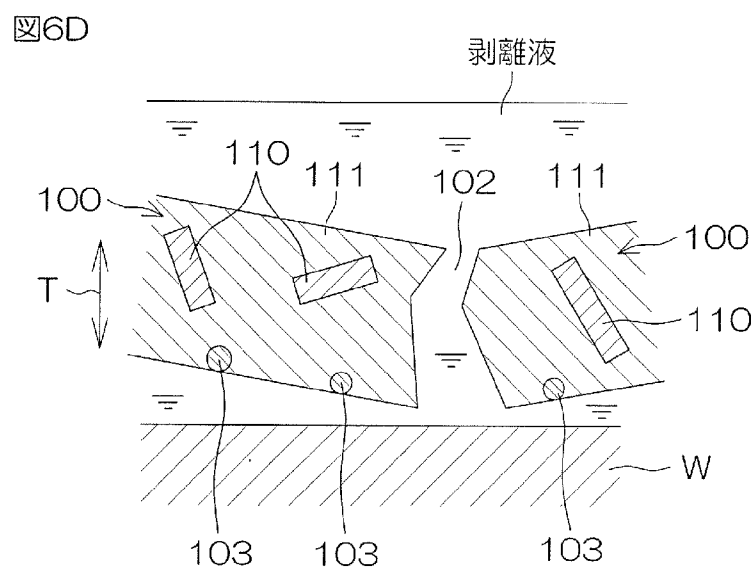
[図6B]



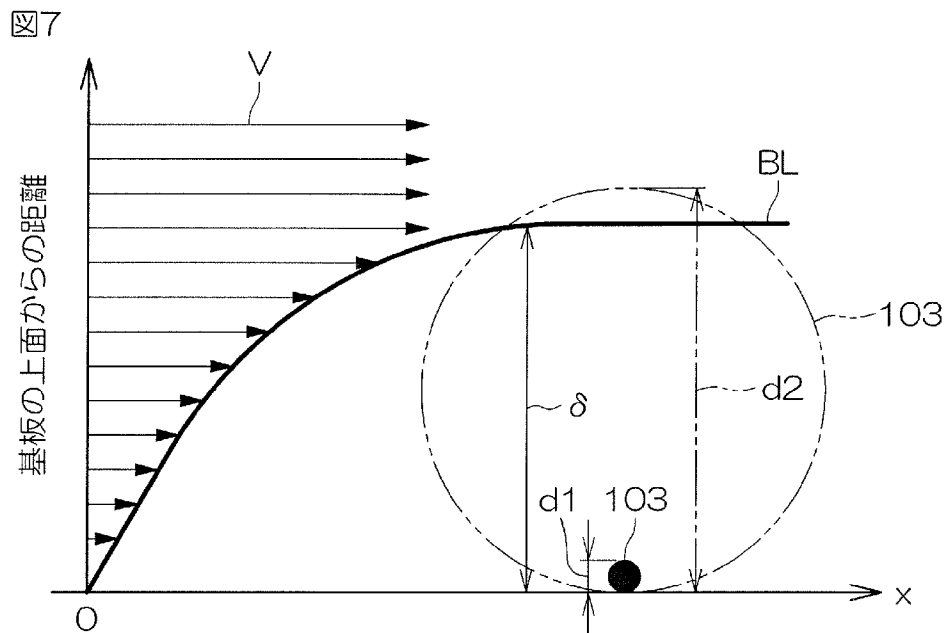
[図6C]



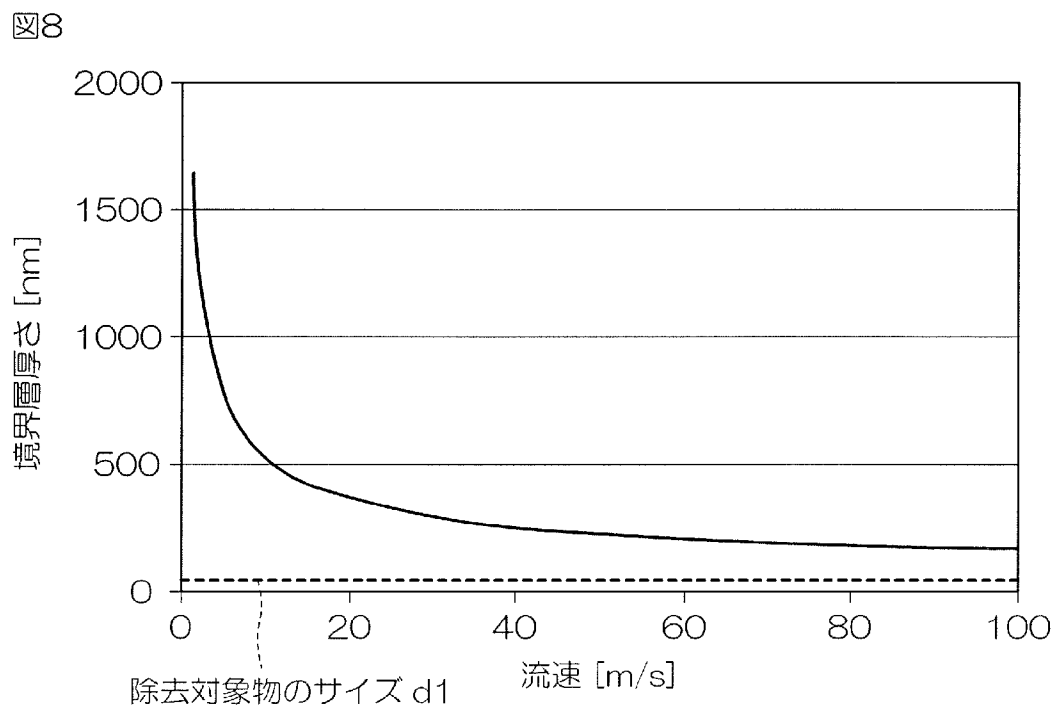
[図6D]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/019330

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H01L21/304 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. H01L21/304, B08B3/00, B08B7/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2015-095583 A (TOKYO ELECTRON LTD.) 18 May 2015, paragraphs [0012]-[0019], [0037]-[0049], [0056]-[0064], [0089]-[0095], fig. 1A-1C, 3-4 & US 2015/0128995 A1, paragraphs [0028]-[0035], [0053]-[0065], [0072]-[0080], [0106]-[0112], fig. 1A-1C, 3-4 & CN 104624561 A & KR 10-2015-0055591 A	1-5, 10-14

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
19 July 2019 (19.07.2019)

Date of mailing of the international search report
30 July 2019 (30.07.2019)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/019330

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2016-036012 A (TOKYO ELECTRON LTD.) 17 March 2016, paragraphs [0010]-[0015], [0031], [0045]-[0054], [0107]-[0120], [0193]-[0196], fig. 1A-C, 4-5 & US 2016/0035561 A1, paragraphs [0010]-[0015], [0061], [0077]-[0094], [0150]-[0163], [0236]-[0238], fig. 1A-C, 4-5 & CN 105321855 A & KR 10-2016-0016667 A	1-3, 6-12, 15-18
X	JP 11-101970 A (ADVANCED DISPLAY KK) 13 April 1999, paragraphs [0011]-[0015], fig. 1 (Family: none)	1-3, 10-12

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01L21/304(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01L21/304 B08B3/00 B08B7/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2015-095583 A（東京エレクトロン株式会社）2015.05.18, 段落[0012]-[0019], [0037]-[0049], [0056]-[0064], [0089]-[0095], 図 1A-1C, 3-4 & US 2015/0128995 A1 段落[0028]-[0035], [0053]-[0065], [0072]-[0080], [0106]-[0112], 図 1A-1C, 3-4 & CN 104624561 A & KR 10-2015-0055591 A	1-5, 10-14

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

19.07.2019

国際調査報告の発送日

30.07.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

平野 崇

5 F

3657

電話番号 03-3581-1101 内線 3516

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2016-036012 A (東京エレクトロン株式会社) 2016. 03. 17, 段落[0010]-[0015], [0031], [0045]-[0054], [0107]-[0120], [0193]-[0196], 図 1A-C, 4-5 & US 2016/0035561 A1 段落[0010]-[0015], [0061], [0077]-[0094], [0150]-[0163], [0236]-[0238], 図 1A-C, 4-5 & CN 105321855 A & KR 10-2016-0016667 A	1-3, 6-12, 15-18
X	JP 11-101970 A (株式会社アドバンスト・ディスプレイ) 1999. 04. 13, 段落[0011]-[0015], 図 1 (ファミリーなし)	1-3, 10-12