

(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
2017年5月18日(18.05.2017)



(10) 国際公開番号

WO 2017/082373 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/3065 (2006.01) H01L 27/105 (2006.01)
C23F 4/00 (2006.01) H01L 43/08 (2006.01)
H01L 21/683 (2006.01) H01L 43/12 (2006.01)
H01L 21/8246 (2006.01) H05H 1/46 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/083455
- (22) 国際出願日: 2016年11月11日(11.11.2016)
- (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 2015-222892 2015年11月13日(13.11.2015) JP
特願 2016-121815 2016年6月20日(20.06.2016) JP
- (71) 出願人: 東京エレクトロン株式会社 (TOKYO ELECTRON LIMITED) [JP/JP]; 〒1076325 東京都港区赤坂五丁目3番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 梅澤 義弘 (UMEZAWA Yoshihiro); 〒9813629 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番

東京エレクトロン宮城株式会社内 Miyagi (JP). 佐藤 淳 (SATO Jun); 〒9813629 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内 Miyagi (JP). 前田 清司 (MAEDA Kiyoshi); 〒9813629 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内 Miyagi (JP). 大森 充敬 (OHATA Mitsunori); 〒9813629 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内 Miyagi (JP). 松本 和也 (MATSUMOTO Kazuya); 〒9813629 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内 Miyagi (JP).

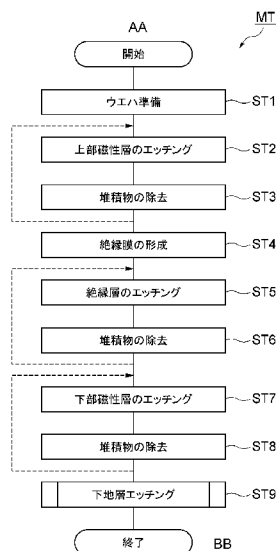
(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外 (HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号丸の内 MY PLAZA (明治安田生命ビル) 9階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

(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,

[続葉有]

(54) Title: METHOD OF ETCHING OBJECT TO BE PROCESSED

(54) 発明の名称: 被処理体をエッチングする方法



ST1 Prepare wafer
ST2 Etch upper magnetic layer
ST3, ST6, ST8 Remove deposits
ST4 Form insulating film
ST5 Etch insulating layer
ST7 Etch lower magnetic layer
ST9 Etch underlayer
AA Start
BB End

(57) Abstract: An etching rate during plasma etching is made uniform. A plasma processing device 10 is provided with a holding structure 18 that holds a wafer W, and a processing container 12 that houses the holding structure 18. A method MT is provided with a step of etching the wafer W using plasma generated in the processing container 12, the step including a process of inclining and rotating the holding structure 18 holding the wafer W during execution of the etching, and the process successively creating a plurality of inclined rotation states RT(ϕ , t) with respect to the holding structure 18 holding the wafer W, wherein, in the inclined rotation states, the wafer W is rotated about a central axis over a predetermined process time t while maintaining a state in which the central axis of the wafer W is inclined with respect to a reference axis of the processing container 12 which is in the same plane as the central axis, and wherein, in the plurality of inclined rotation states, a combination of a value ϕ of an inclination angle AN of the central axis with respect to the reference axis and the process time t differs for each of the plurality of inclined rotation states.

(57) 要約: プラズマエッチング時にエッチングレートの均一化を図る。プラズマ処理装置10は、ウエハWを保持する保持構造体18と保持構造体18を収容する処理容器12とを備える。方法MTは、処理容器12内で発生させたプラズマによってウエハWをエッチングする工程であって該エッチングの実行中にウエハWを保持した保持構造体18を傾斜且つ回転させる処理を行う該工程を備え、この処理は、ウエハWを保持した保持構造体18に対し複数通りの傾斜回転状態RT(ϕ , t)を順次実現し、この傾斜回転状態は、ウエハWの中心軸線を該中心軸線と同一面内にある処理容器12の基準軸線に対し傾斜させた状態を保持しつつ、中心軸線を中心に所定の処理時間tにわたってウエハWを回転させ、複数通りの傾斜回転状態において、基準軸線に対する中心軸線の傾斜角ANの値 ϕ と処理時間tとの組み合わせは複数通りの傾斜回転状態ごとに相違している。

WO 2017/082373 A1



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, KE, KG, 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

ロシア (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:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：被処理体をエッチングする方法

技術分野

[0001] 本発明の実施形態は、被処理体をエッチングする方法に関するものである。

背景技術

[0002] 磁気抵抗効果素子を用いたメモリ素子の一種として、MTJ (Magnetic Tunnel Junction) 構造を有するMRAM (Magnetic Random Access Memory) 素子が注目されている。MRAM素子は、強磁性体等の金属を含有する難エッチング材料から構成された多層膜を含んでいる。このようなMRAM素子の製造では、多層膜がTa (タンタル)、TiNといった金属材料から構成されたマスクを用いてエッチングされる。

[0003] このようなエッチングでは、特許文献1に記載されているように、従来から、ハロゲンガスが用いられている。特許文献1に開示されている製造方法は、コバルト、鉄およびニッケルの少なくとも一つを含む磁性材料を用いた磁気抵抗効果素子を形成する工程を含む半導体装置の製造方法であって、磁気抵抗効果素子を形成する工程は、半導体基板上に、磁性材料を含む複数の層を具備する積層体を形成する工程と、真空雰囲気中で、塩素を含むガスを用いたプラズマエッチングにより、積層体を加工する工程と、積層体を加工した後、積層体を真空雰囲気中に保持したまま、積層体に対してアミノ基を含むガスを用いガス処理を施す工程とを含む。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2012-204408号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、例えば特許文献1に開示されているようなプラズマエッチン

グでは、プラズマ処理装置の構成（処理容器の形状等）に応じて処理容器内におけるプラズマの密度分布に偏りが生じ、この偏りによって、処理容器内のウエハ表面に対するエッチングレートも不均一なものとなる。エッチングレートが不均一であると、エッチング後のウエハの品質が低下し、製造効率の点からも好ましくない。したがって、プラズマエッチング時において、エッチングレートの均一化の向上を図る必要性がある。

課題を解決するための手段

[0006] 一態様においては、プラズマ処理装置を用いて被処理体をエッチングする方法が提供される。プラズマ処理装置は、被処理体を保持する該保持構造体と保持構造体を収容する処理容器とを備える。この方法は、処理容器内で発生させたプラズマによって被処理体をエッチングする工程（以下、「工程 a」という）であって、該エッチングの実行中に、該被処理体を保持した保持構造体を傾斜且つ回転させる処理（以下、「処理 b」という）を行う該工程を備える。処理 b は、被処理体を保持した保持構造体に対し複数通りの傾斜回転状態を順次実現し、傾斜回転状態は、被処理体の中心軸線を該中心軸線と同一面内にある処理容器の基準軸線に対し傾斜させた状態を保持しつつ、中心軸線を中心に所定の処理時間にわたって被処理体を回転させている状態であり、複数通りの傾斜回転状態において、基準軸線に対する中心軸線の傾斜角の値と処理時間との組み合わせは、互いに異なっている。この方法では、エッチングの実行中に、被処理体の傾斜角および処理時間が異なる複数の傾斜回転状態を組み合わせて実現できるので、組み合わせを調整することによって、被処理体に対するエッチングレートの均一化が十分に向上できる。

[0007] 一実施形態において、処理容器では、中心軸線が基準軸線に対し傾斜していない状態において、被処理体の表面に対するエッチングレートが該基準軸線を中心とした軸対称の分布で実現され、且つ、該エッチングレートの該分布が該表面において該基準軸線の位置で最も高くなっている。したがって、中心軸線が傾斜していない状態でエッチングレートの分布が基準軸線を中心とした軸対称の分布となっているので、中心軸線を好適に傾斜させることによ

って、エッチングレートの分布の中心を被処理体の表面上で移動させ軸対称を解消させて、エッチングレートの分布を、当該分布の等高線の間隔を含めて、精度良く調整できる。そして、軸対称が解消されたエッチングレートの分布がこのように実現されることによって、中心軸線を中心とした被処理体の回転でエッチングレートの分布の高低差が十分に解消され、エッチングレートの均一化が向上される。

[0008] 一実施形態において、被処理体の表面に対するエッチングレートの複数通りの予測分布を、工程 a の実施の前に予め取得し、予測分布は、傾斜角の値と処理容器内で行われるエッチングの条件との組み合わせによって異なり、複数通りの傾斜回転状態それぞれによって得られるエッチングレートは、複数通りの予測分布の何れかに対応しており、複数通りの傾斜回転状態それぞれの処理時間は、予測分布に付与される重み付けによって表され、工程 a の前に複数通りの予測分布のなかから工程 a で行われるエッチングの条件と同一の条件の複数の該予測分布と該複数の予測分布それぞれの重み付けとを特定し（特定とは「見い出す」という意味であり、以下同様。）、特定した該複数の予測分布それぞれの傾斜角の値と該重み付けとを用いて複数通りの傾斜回転状態を特定し、工程 a において、その特定した該複数通りの傾斜回転状態を実現する。したがって、予め取得したエッチングレートの予測分布を用いて、工程 a で実現される複数の傾斜回転状態が特定されるので、実際に実現されるエッチングレートの分布の均一化が効果的に実現可能となる。

[0009] 一実施形態において、予測分布は、処理容器内の点の座標 (x, y, z) の関数でありパラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \zeta, \xi$ を含む $\zeta / \{ (x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z - \gamma)^2 \}^{\xi/2}$ を中心軸線を中心にして積分して得られる数値に対応しており、 x, y, z は、処理容器内の点を、該処理容器に設定された X Y Z 直交座標系の X 軸、Y 軸、Z 軸のそれぞれの座標で表したものであり、 α, β, γ は、プラズマ処理装置のプラズマ源の側にある所定の基準点を、X 軸、Y 軸、Z 軸のそれぞれの座標で表したものであり、 ζ は、基準点から点 (x, y, z) までの長さが単位長さである場合の処理容器内の点 $(x,$

y, z)におけるエッチングレートであり、パラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \zeta, \xi$ は、工程aにおけるエッチングの条件と同一の条件で行われるエッチングによるエッチングレートの実測値によって特定される。このように、エッチングレートの予測分布が、処理容器内の点ごとに座標値を用いて精密に表されるので、当該予測分布を用いれば、傾斜回転状態ごとの傾斜角および処理時間の特定が精度良く行える。

[0010] 一実施形態において、パラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \zeta, \xi$ の各値は、傾斜角の値に応じた値ごとに定められる。このように、パラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \zeta, \xi$ の各値が傾斜角の値に応じた値ごとに定められるので、予測分布を特定すれば、当該予測分布に対応するエッチングレートを実現する傾斜角の特定が容易となる。

[0011] 一実施形態において、処理容器では、中心軸線と基準軸線との交差点の位置を該基準軸線に沿って移動させることができ、予測分布は、傾斜角の値と処理容器内で行われるエッチングの条件と共に、更に、交差点の位置との組み合わせによって異なり、パラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \zeta, \xi$ の各値は、傾斜角の値および交差点の位置に応じた値ごとに定められる。この方法では、傾斜角の値に加えて、さらに、中心軸線と基準軸線との交差点の位置に応じた予測分布を用いることができるので、工程aで用いる好適な傾斜角および処理時間をより詳細に特定できる。

[0012] 一実施形態において、処理容器では、保持構造体に含まれ被処理体を保持する静電チャックの上面と中心軸線との交差点の位置を該上面の向きを維持しつつ該中心軸線に沿って移動させることができ、予測分布は、傾斜角の値と処理容器内で行われるエッチングの条件と共に、更に、交差点の位置との組み合わせによって異なり、パラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \zeta, \xi$ の各値は、傾斜角の値および交差点の位置に応じた値ごとに定められる。この方法では、傾斜角の値に加えて、さらに、静電チャックの上面と中心軸線との交差点の位置に応じた予測分布を用いることができるので、工程aで用いる好適な傾斜角および処理時間をより詳細に特定できる。

発明の効果

[0013] 以上説明したように、プラズマエッチング時において、エッチングレートの均一化が向上される。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]図1は、一実施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す図である。

[図2]図2は、一実施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す図である。

[図3]図3は、パルス変調されたバイアス電圧を示す図である。

[図4]図4は、被処理体の一例を示す断面図である。

[図5]図5は、一実施形態のプラズマ源を示す図である。

[図6]図6は、一実施形態のプラズマ源を示す図である。

[図7]図7は、一実施形態に係る保持構造体を示す断面図である。

[図8]図8は、一実施形態に係る保持構造体を示す断面図である。

[図9]図9は、一実施形態に係る多層膜をエッチングする方法を示す流れ図である。

[図10]図10の(a)部および(b)部は、方法MTの各工程中または各工程後の被処理体の状態を示す断面図である。

[図11]図11の(a)部および(b)部は、方法MTの各工程中または各工程後の被処理体の状態を示す断面図である。

[図12]図12の(a)部および(b)部は、方法MTの各工程中または各工程後の被処理体の状態を示す断面図である。

[図13]図13の(a)部および(b)部は、方法MTの各工程中または各工程後の被処理体の状態を示す断面図である。

[図14]図14の(a)部および(b)部は、方法MTの各工程中または各工程後の被処理体の状態を示す断面図である。

[図15]図15は、工程ST9の一実施形態を示す流れ図である。

[図16]図16は、工程ST9の別の実施形態を示す流れ図である。

[図17]図17は、一実施形態に係るウエハ表面を極座標で示す図である。

[図18]図18は、一実施形態に係るエッチングレート関数の内容の一例を示

す図である。

[図19]図19は、一実施形態に係るウエハの表面上のエッチングレートの分布の一例を示す図であり、(a)部にはウエハの傾斜角の値がゼロ[度]の場合が示されており、(b)部にはウエハWの傾斜角の値が20[度]の場合が示されており、(c)部にはウエハの傾斜角の値が45[度]の場合が示されており、(d)部にはウエハWの傾斜角の値が60[度]の場合が示されている。

[図20]図20は、図19に示すエッチングレートの分布をウエハの表面の動径方向に沿って示す図である。

[図21]図21の(a)部、(b)部、(c)部、および(d)部は、一実施形態の変形例に係るエッチングレート関数の内容の一例を示す図である。

[図22]図22の(a)部、および(b)部は、一実施形態の他の変形例に係るエッチングレート関数の内容の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0015] 以下、図面を参照して種々の実施形態について詳細に説明す。なお、各図面において同一または相当の部分に対しては同一の符号を附することとする。

[0016] 図1および図2は、一実施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す図であり、鉛直方向に延びる軸線PX(処理容器12の基準軸線)を含む一平面において処理容器を破断して、当該プラズマ処理装置を示している。なお、図1においては、後述する保持構造体が傾斜していない状態のプラズマ処理装置が示されており、図2においては、保持構造体が傾斜している状態のプラズマ処理装置が示されている。

[0017] 図1および図2に示すプラズマ処理装置10は、処理容器12、ガス供給系14、プラズマ源16、保持構造体18、排気系20、バイアス電力供給部22、および制御部Cntを備えている。処理容器12は、略円筒形状を有している。処理容器12の中心軸線は、軸線PXと一致する。この処理容器12は、被処理体(以下、「ウエハW」ということがある)に対してプラズマ処理を行うための空間Sを提供している。

[0018] 軸線P Xは、プラズマ源1 6や誘電体板1 9 4等が設けられた処理容器1 2の天井側から、保持構造体1 8や自動圧力制御器2 0 a等が設けられた処理容器1 2の底部側に向かう方向に延びている。なお、図1および図2には、処理容器1 2の内部の位置を特定するためのX Y Z直交座標系が示されている（特定とは見い出すという意味であり、以下同様。）。X Y Z直交座標系は、互いに垂直なX軸、Y軸、Z軸と、これら三つの軸が交わる原点O Rとを備える。図1は、プラズマ処理装置1 0の内部をY方向に向かって見た図であり、図2は、プラズマ処理装置1 0の内部をX方向と逆向きに向かって見た図である、ということが出来る。軸線P Xは、Z軸に一致し、Y Z面にあり、X Y面に直交する。

[0019] 一実施形態では、処理容器1 2は、その高さ方向の中間部分1 2 a、即ち保持構造体1 8を収容する部分において略一定の幅を有している。また、処理容器1 2は、当該中間部分の下端から底部に向かうにつれて徐々に幅が狭くなるテーパ状をなしている。また、処理容器1 2の底部は、排気口1 2 eを提供しており、当該排気口1 2 eは軸線P Xに対して軸対称に形成されている。

[0020] ガス供給系1 4は、処理容器1 2内にガスを供給するよう構成されている。ガス供給系1 4は、第1のガス供給部1 4 a、および第2のガス供給部1 4 bを有している。第1のガス供給部1 4 aは、第1の処理ガスを処理容器1 2内に供給するよう構成されている。第2のガス供給部1 4 bは、第2の処理ガスを処理容器1 2内に供給するよう構成されている。なお、ガス供給系1 4の詳細については、後述する。

[0021] プラズマ源1 6は、処理容器1 2内に供給されたガスを励起させるよう構成されている。一実施形態では、プラズマ源1 6は、処理容器1 2の天部に設けられている。プラズマ源1 6の中心軸線は、軸線P Xと一致する。なお、プラズマ源1 6の一例に関する詳細については後述する。

[0022] 保持構造体1 8は、処理容器1 2内においてウエハWを保持するように構成されている。この保持構造体1 8は、軸線P Xに直交する第1軸線A X 1中

心に回転可能であるよう構成されている。第1軸線AX1は、傾斜軸部50の中心軸線に一致する。また、保持構造体18は、第1軸線AX1に直交する第2軸線AX2中心にウエハWを回転させるよう構成されている。保持構造体18は、第1軸線AX1中心の回転により、軸線PXに対して傾斜することが可能である。保持構造体18を傾斜させるために、プラズマ処理装置10は、駆動装置24を有している。駆動装置24は、処理容器12の外部に設けられており、第1軸線AX1中心の保持構造体18の回転のための駆動力を発生する。

[0023] 第1軸線AX1は、水平基準面FA1、XY面、およびX軸に平行に延びており、Y軸およびZ軸に直交し、鉛直基準面FA2に直交する。水平基準面FA1は、軸線PXに直交し、原点ORを含み、Z軸に直交し、XY面に重なる。水平基準面FA1は、保持構造体18の保持部30上に載置されたウエハWの表面FSを含む。鉛直基準面FA2は、YZ面に一致し、水平基準面FA1、XY面、X軸、第1軸線AX1に直交し、軸線PX、第2軸線AX2、原点ORを含む。第1軸線AX1は、軸線PX、第2軸線AX2、鉛直基準面FA2に直交し、傾斜軸部50の中心軸線に一致する。ウエハWの表面FSは、鉛直基準面FA2、第2軸線AX2に直交し、X軸、第1軸線AX1に平行に延びる。第2軸線AX2は、ウエハWの表面FSに垂直である。第2軸線AX2は、ウエハWの中心軸線に一致する。第2軸線AX2は、ウエハWの表面FSの中心CEを通る。軸線PXと第1軸線AX1とは、一点の交差点XOで交差する。第2軸線AX2が軸線PXに対して傾斜している場合、軸線PXと、第1軸線AX1と、第2軸線AX2とは、交差点XOで交差する。交差点XOは、第1軸線AX1にあり、鉛直基準面FA2、YZ面、およびZX面にある。交差点XOから水平基準面FA1までの距離は、距離Lである。

[0024] 保持構造体18が傾斜していない状態では、図1に示すように、第2軸線AX2は軸線PXに一致する。この状態の場合、ウエハWの表面FSは、軸線PXに直交し、水平基準面FA1、XY面に重なり、原点ORを含む。表面

F S の中心 C E は、原点 O R に一致し、軸線 P X、第 2 軸線 A X 2 それぞれにある。第 2 軸線 A X 2（ウエハ W の中心軸線）は、軸線 P X に重なり、原点 O R を含む。なお、原点 O R は、一実施形態においては、説明の便宜上、上記のようにウエハ W の表面 F S の中心 C E に一致するとしているが、これに限られるものではない。

[0025] 一方、保持構造体 1 8 が傾斜している状態では、第 2 軸線 A X 2 は軸線 P X に対して傾斜する。第 2 軸線 A X 2 の傾斜角 A N は、第 2 軸線 A X 2 と軸線 P X との成す角度である。傾斜角 A N は、Y Z 面内の角である。第 2 軸線 A X 2 と軸線 P X とは、Y Z 面にある。第 2 軸線 A X 2 の傾斜角 A N の値 ϕ は、図 2 に示すように、ウエハ W の表面 F S が -Y 方向に向くように保持構造体 1 8 が第 1 軸線 A X 1 中心に回転し傾斜した場合に正の値をとるように定める。第 2 軸線 A X 2 が軸線 P X に一致する場合（保持構造体 1 8 が傾斜していない場合）、第 2 軸線 A X 2 の傾斜角 A N の値 ϕ はゼロである。保持構造体 1 8 の詳細については後述する。

[0026] 排気系 2 0 は、処理容器 1 2 内の空間を減圧するよう構成されている。一実施形態では、排気系 2 0 は、自動圧力制御器 2 0 a、ターボ分子ポンプ 2 0 b、および、ドライポンプ 2 0 c を有している。ターボ分子ポンプ 2 0 b は、自動圧力制御器 2 0 a の下流に設けられている。ドライポンプ 2 0 c は、バルブ 2 0 d を介して処理容器 1 2 内の空間に直結されている。また、ドライポンプ 2 0 c は、バルブ 2 0 e を介してターボ分子ポンプ 2 0 b の下流に設けられている。

[0027] 自動圧力制御器 2 0 a およびターボ分子ポンプ 2 0 b を含む排気系は、処理容器 1 2 の底部に取り付けられている。また、自動圧力制御器 2 0 a およびターボ分子ポンプ 2 0 b を含む排気系は、保持構造体 1 8 の直下に設けられている。したがって、このプラズマ処理装置 1 0 では、保持構造体 1 8 の周囲から排気系 2 0 までの均一な排気の流れを形成することができる。これにより、効率の良い排気が達成され得る。また、処理容器 1 2 内で生成されるプラズマを均一に拡散させることが可能である。

- [0028] 一実施形態において、処理容器 12 内には、整流部材 26 が設けられていてもよい。整流部材 26 は、下端において閉じられた略筒形状を有している。この整流部材 26 は、保持構造体 18 を側方および下方から囲むように、処理容器 12 の内壁面に沿って延在している。一例において、整流部材 26 は、上部 26 a および下部 26 b を有している。上部 26 a は、一定の幅を円筒形状を有しており、処理容器 12 の中間部分 12 a の内壁面に沿って延在している。また、下部 26 b は、上部 26 a の下方において当該上部 26 a に連続している。下部 26 b は、処理容器 12 の内壁面に沿って徐々に幅が狭くなるテーパ形状を有しており、その下端において平板状をなしている。この下部 26 b には、多数の開口（貫通孔）が形成されている。この整流部材 26 によれば、当該整流部材 26 の内側、即ちウエハ W が収容される空間と、当該整流部材 26 の外側、即ち排気側の空間との間に圧力差を形成することができ、ウエハ W が収容される空間におけるガスの滞留時間を調整することが可能となる。また、均等な排気が実現され得る。
- [0029] バイアス電力供給部 22 は、ウエハ W にイオンを引き込むためのバイアス電圧および高周波バイアス電力を選択的に保持構造体 18 に印加するよう構成されている。一実施形態では、バイアス電力供給部 22 は、第 1 電源 22 a および第 2 電源 22 b を有している。第 1 電源 22 a は、保持構造体 18 に印加するバイアス電圧として、パルス変調された直流電圧（以下、「変調直流電圧」という）を発生する。図 3 は、パルス変調された直流電圧を示す図である。図 3 に示すように、変調直流電圧は、電圧値が高レベルをとる期間 T_H と低レベルをとる期間 T_L が交互に繰り返す電圧である。変調直流電圧は、例えば、0 ～ 1200 [V] の範囲内の電圧値に設定され得る。変調直流電圧の高レベルの電圧値は、当該電圧値の範囲内において設定される電圧値であり、変調直流電圧の高レベルの電圧値は、当該高レベルの電圧値よりも低い電圧値である。図 3 に示すように、期間 T_H と当該期間 T_H に連続する期間 T_L との合計が 1 周期 T_C を構成する。また、変調直流電圧のパルス変調の周波数は、 $1 / T_C$ である。パルス変調の周波数は、任意に設定され得るが、

イオンの加速を可能とするシースを形成することが可能な周波数であり、例えば、400 [kHz] である。また、オン・デューティ比、即ち、1周期 T_c において期間 T_H が占める比率は、10～90%の範囲内の比率である。

[0030] 第2電源22bは、ウエハWにイオンを引き込むための高周波バイアス電力を保持構造体18に供給するよう構成されている。この高周波バイアス電力の周波数は、イオンをウエハWに引き込むのに適した任意の周波数であり、例えば、400 [kHz] である。プラズマ処理装置10では、第1電源22aからの変調直流電圧と第2電源22bからの高周波バイアス電力を選択的に保持構造体18に供給することができる。変調直流電圧と高周波バイアス電力の選択的な供給は、制御部Cntによって制御され得る。

[0031] 制御部Cntは、例えば、プロセッサ、記憶部、入力装置、表示装置等を備えるコンピュータである。制御部Cntは、入力されたレシピに基づくプログラムに従って動作し、制御信号を送出する。プラズマ処理装置10の各部は、制御部Cntからの制御信号により制御される。

[0032] 以下、ガス供給系14、プラズマ源16、保持構造体18のそれぞれについて詳細に説明する。

[0033] [ガス供給系]

ガス供給系14は、上述したように第1のガス供給部14a、および第2のガス供給部14bを有している。第1のガス供給部14aは、一以上のガス吐出孔14eを介して処理容器12内の第1の処理ガスを供給する。また、第2のガス供給部14bは、一以上のガス吐出孔14fを介して処理容器12内の第2の処理ガスを供給する。ガス吐出孔14eは、ガス吐出孔14fよりも、プラズマ源16に近い位置に設けられている。したがって、第1の処理ガスは第2の処理ガスよりもプラズマ源16に近い位置に供給される。なお、図1および図2においては、ガス吐出孔14eおよびガス吐出孔14fそれぞれの個数は、「1」であるが、複数のガス吐出孔14e、および複数のガス吐出孔14fが設けられていてもよい。複数のガス吐出孔14eは、軸線PXに対して周方向に均等に配列されていてもよい。また、複数のガ

ス吐出孔 14 f も、軸線 P X に対して周方向に均等に配列されていてもよい。

[0034] 一実施形態では、ガス吐出孔 14 e によってガスが吐出される領域とガス吐出孔 14 f によってガスが吐出される領域との間に、仕切板、所謂イオントラップが設けられていてもよい。これにより、第 1 の処理ガスのプラズマからウエハ W に向かうイオンの量を調整することが可能となる。

[0035] 第 1 のガス供給部 14 a は、一以上のガスソース、一以上の流量制御器、一以上のバルブを有し得る。したがって、第 1 のガス供給部 14 a の一以上のガスソースからの第 1 の処理ガスの流量は調整可能となっている。また、第 2 のガス供給部 14 b は、一以上のガスソース、一以上の流量制御器、一以上のバルブを有し得る。したがって、第 2 のガス供給部 14 b の一以上のガスソースからの第 2 の処理ガスの流量は調整可能となっている。第 1 のガス供給部 14 a からの第 1 の処理ガスの流量および当該第 1 の処理ガスの供給のタイミング、並びに、第 2 のガス供給部 14 b からの第 2 の処理ガスの流量および当該第 2 の処理ガスの供給のタイミングは、制御部 C n t によって個別に調整される。

[0036] 以下、第 1 の処理ガスおよび第 2 の処理ガスについて、三つの例を説明する。これら三つの例に係る第 1 の処理ガスおよび第 2 の処理ガスの利用態様を説明するために、まず、被処理体の例について、図 4 を参照しつつ説明する。図 4 は、被処理体の一例を示す断面図である。図 4 に示すウエハ W は、当該ウエハ W から M T J 構造を有する M R A M 素子を作成することができる被処理体であり、M R A M 素子を構成する多層膜を含んでいる。具体的に、ウエハ W は、下地層 L 1、下部磁性層 L 2、絶縁層 L 3、上部磁性層 L 4、およびマスク M S K を有している。

[0037] 下地層 L 1 は、下部電極層 L 1 1、反強磁性層 L 1 2、強磁性層 L 1 3、および、非磁性層 L 1 4 を含んでいる。下部電極層 L 1 1 は、例えば、T a から構成され得る。反強磁性層 L 1 2 は、下部電極層 L 1 1 上に設けられており、例えば、P t M n から構成され得る。即ち、下地層 L 1 は、P t M n 層

を含み得る。強磁性層L 1 3は、反強磁性層L 1 2上に設けられており、例えば、C o F eから構成され得る。また、非磁性層L 1 4は、強磁性層L 1 3上に設けられており、例えば、R uから構成され得る。

[0038] 下部磁性層L 2、絶縁層L 3、および上部磁性層L 4は、MTJ構造を形成する多層膜である。下部磁性層L 2は、非磁性層L 1 4上に設けられており、例えば、C o F e Bから構成され得る。なお、強磁性層L 1 3、非磁性層L 1 4、および下部磁性層L 2は、磁化固定層を構成する。絶縁層L 3は、下部磁性層L 2と上部磁性層L 4との間に設けられており、例えば、酸化マグネシウム(M g O)から構成され得る。また、上部磁性層L 4は、絶縁層L 3上に設けられており、例えば、C o F e Bから構成され得る。

[0039] マスクM S Kは、上部磁性層L 4上に設けられている。マスクM S Kは、第1層L 2 1および第2層L 2 2を含み得る。第1層L 2 1は、上部磁性層L 4上に設けられており、例えば、T aから構成され得る。第2層L 2 2は、第1層L 2 1上に設けられており、例えば、T i Nから構成され得る。このウエハWは、マスクM S Kに覆われていない領域において上部磁性層L 4から反強磁性層L 1 2までの多層膜がエッチングされる。以下、かかるウエハWを例にとって、第1の処理ガスおよび第2の処理ガスの三つの例について説明する。

[0040] 第1例において、第1の処理ガスは、希ガスであり得る。希ガスは、H eガス、N eガス、A rガス、K rガス、またはX eガスである。また、第1の処理ガスは、H eガス、N eガス、A rガス、K rガス、およびX eガスのうちから選択されるガスであり得る。例えば、プラズマ処理装置10を用いて図4に示したウエハWの多層膜をエッチングする際には、各層のエッチングに適した希ガスが選択される。

[0041] また、第1例において、第2の処理ガスは、水素含有ガスであり得る。水素含有ガスとしては、C H₄ガス、またはN H₃ガスが例示される。このような第2の処理ガスに由来する水素の活性種は、多層膜中に含まれる物質、即ち金属を還元作用によってエッチングし易い状態に改質する。また、C H₄ガス

に含まれる炭素、または NH_3 ガスに含まれる窒素は、マスクMSKを構成する材料と結合して金属化合物を形成する。これにより、マスクMSKが強固になって、多層膜のエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ （「min」は時間の分を意味する、以下同様）に対して当該マスクMSKのエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ が小さくなる。その結果、ウエハWにおけるマスクMSK以外の多層膜を構成する層のエッチングの選択性を向上させることが可能となる。

[0042] かかる第1例においては、第1の処理ガスおよび第2の処理ガスは、プラズマ源16によって励起され得る。この第1例では、制御部Cntによる制御により、プラズマ生成時の第1の処理ガスおよび第2の処理ガスの供給量が個別に制御される。

[0043] 第2例では、第1の処理ガスは、プラズマ源16によって発生させたプラズマによって解離しラジカルを生成する分解性のガスであり得る。第1の処理ガスに由来するラジカルは、還元反応、酸化反応、塩化反応またはフッ化反応を起こすラジカルであってもよい。第1の処理ガスは、水素元素、酸素元素、塩素元素またはフッ素元素を含有するガスであってもよい。具体的には、第1の処理ガスは、Ar、 N_2 、 O_2 、 H_2 、He、 BCl_3 、 Cl_2 、 CF_4 、 NF_3 、 CH_4 、または SF_6 等であってもよい。還元反応のラジカルを生成する第1の処理ガスとしては、 H_2 等が例示される。酸化反応のラジカルを生成する第1の処理ガスとしては、 O_2 等が例示される。塩化反応のラジカルを生成する第1の処理ガスとしては、 BCl_3 、 Cl_2 等が例示される。フッ化反応のラジカルを生成する第1の処理ガスとしては、 CF_4 、 NF_3 、 SF_6 等が例示される。

[0044] また、第2例では、第2の処理ガスは、プラズマに晒すことなくエッチング対象の物質と反応するガスであり得る。この第2処理ガスとしては、例えば、エッチング対象の物質との反応が保持構造体18の温度に依存するガスを含んでもよい。具体的に、このような第2の処理ガスには、HF、 Cl_2 、HCl、 H_2O 、 PF_3 、 F_2 、 ClF_3 、 COF_2 、シクロペンタジエンまたはA

m i d i n a t o等が用いられる。また、第2処理ガスは、電子供与性ガスを含み得る。電子供与性ガスとは、一般的には、電気陰性度またはイオン化ポテンシャルが大きく異なる原子で構成されるガス、或いは、孤立電子対を持つ原子を含むガスをいう。電子供与性ガスは、他の化合物に電子を与えやすい性質を有する。例えば、電子供与性ガスは、金属化合物等と配位子として結合し蒸発する性質を有する。電子供与性ガスとしては、 SF_6 、 PH_3 、 PF_3 、 PCl_3 、 PBr_3 、 PI_3 、 CF_4 、 AsH_3 、 SbH_3 、 SO_3 、 SO_2 、 H_2S 、 SeH_2 、 TeH_2 、 Cl_3F 、 H_2O 、 H_2O_2 等、または、カルボニル基を含有するガスが例示される。

[0045] この第2例の第1の処理ガスおよび第2の処理ガスは、図4に示したウエハWの多層膜のエッチングによって発生する堆積物の除去に利用することができる。具体的には、当該堆積物を第1の処理ガスに由来するラジカルによって改質し、次いで、改質された堆積物と第2の処理ガスとの反応を生じさせる。これにより、堆積物を容易に排気することが可能となる。かかる第2例では、第1の処理ガスおよび第2の処理ガスは、交互に供給され得る。第1の処理ガスの供給時にはプラズマ源16によってプラズマが生成され、第2のガスの供給時にはプラズマ源16によるプラズマの生成が停止される。このような第1の処理ガスおよび第2の処理ガスの供給は制御部C n tによって制御される。即ち、第2例においては、プラズマ生成時およびプラズマ消滅時のプラズマ状態に応じた第1の処理ガスの供給量および第2の処理ガスの供給量は、制御部C n tによる第1のガス供給部14aおよび第2のガス供給部14bの制御によって実現され得る。

[0046] [プラズマ源]

図5は、一実施形態のプラズマ源を示す図であり、図1のY方向から見たプラズマ源を示す図である。また、図6は、一実施形態のプラズマ源を示す図であり、鉛直方向から見たプラズマ源を示している。図1および図5に示すように、処理容器12の天部には開口が設けられており、当該開口は、誘電体板194によって閉じられている。誘電体板194は、板状体であり、石

英ガラス、またはセラミックから構成されている。プラズマ源 16 は、この誘電体板 194 上に設けられている。

[0047] より具体的には、図 5 および図 6 に示すように、プラズマ源 16 は、高周波アンテナ 140、およびシールド部材 160 を有している。高周波アンテナ 140 は、シールド部材 160 によって覆われている。一実施形態では、高周波アンテナ 140 は、内側アンテナ素子 142 A、および外側アンテナ素子 142 B を含んでいる。内側アンテナ素子 142 A は、外側アンテナ素子 142 B よりも軸線 P X の近くに設けられている。換言すると、外側アンテナ素子 142 B は、内側アンテナ素子 142 A を囲むように、当該内側アンテナ素子 142 A の外側に設けられている。内側アンテナ素子 142 A および外側アンテナ素子 142 B の各々は、例えば銅、アルミニウム、ステンレス等の導体から構成されており、軸線 P X を中心に螺旋状に延在している。

[0048] 内側アンテナ素子 142 A および外側アンテナ素子 142 B は共に、複数の挟持体 144 に挟持されて一体となっている。複数の挟持体 144 は、例えば、棒状の部材であり、軸線 P X に対して放射状に配置されている。

[0049] シールド部材 160 は、内側シールド壁 162 A および外側シールド壁 162 B を有している。内側シールド壁 162 A は、鉛直方向に延在する筒形状を有しており、内側アンテナ素子 142 A と外側アンテナ素子 142 B の間に設けられている。この内側シールド壁 162 A は、内側アンテナ素子 142 A を囲んでいる。また、外側シールド壁 162 B は、鉛直方向に延在する筒形状を有しており、外側アンテナ素子 142 B を囲むように設けられている。

[0050] 内側アンテナ素子 142 A 上には、内側シールド板 164 A が設けられている。内側シールド板 164 A は、円盤形状を有しており、内側シールド壁 162 A の開口を塞ぐように設けられている。また、外側アンテナ素子 142 B 上には、外側シールド板 164 B が設けられている。外側シールド板 164 B は、環状板であり、内側シールド壁 162 A と外側シールド壁 162 B との間の開口を塞ぐように設けられている。

[0051] 内側アンテナ素子 1 4 2 A、外側アンテナ素子 1 4 2 B にはそれぞれ、高周波電源 1 5 0 A、高周波電源 1 5 0 B が接続されている。高周波電源 1 5 0 A および高周波電源 1 5 0 B は、プラズマ生成用の高周波電源である。高周波電源 1 5 0 A および高周波電源 1 5 0 B は、内側アンテナ素子 1 4 2 A および外側アンテナ素子 1 4 2 B のそれぞれに、同じ周波数または異なる周波数の高周波電力を供給する。例えば、内側アンテナ素子 1 4 2 A に高周波電源 1 5 0 A から所定の周波数（例えば 4 0 [M H z]）の高周波電力を所定のパワーで供給すると、処理容器 1 2 内に形成された誘導磁界によって、処理容器 1 2 内に導入された処理ガスが励起され、ウエハ W 上の中央部にドーナツ型のプラズマが生成される。また、外側アンテナ素子 1 4 2 B に高周波電源 1 5 0 B から所定の周波数（例えば 6 0 [M H z]）の高周波を所定のパワーで供給すると、処理容器 1 2 内に形成された誘導磁界によって、処理容器 1 2 内に導入された処理ガスが励起され、ウエハ W 上の周縁部に別のドーナツ型のプラズマが生成される。これらのプラズマによって、処理ガスからラジカルが生成される。

[0052] なお、高周波電源 1 5 0 A および高周波電源 1 5 0 B から出力される高周波電力の周波数は、上述した周波数に限られるものではない。例えば、高周波電源 1 5 0 A および高周波電源 1 5 0 B から出力される高周波電力の周波数は、1 3. 5 6 [M H z]、2 7 [M H z]、4 0 [M H z]、6 0 [M H z] といった様々な周波数であってもよい。但し、高周波電源 1 5 0 A および高周波電源 1 5 0 B から出力される高周波に応じて内側アンテナ素子 1 4 2 A および外側アンテナ素子 1 4 2 B の電氣的長さを調整する必要がある。

[0053] このプラズマ源 1 6 は、1 [m T o r r] (0. 1 3 3 3 [P a]) の圧力の環境下においても処理ガスのプラズマを着火することが可能である。低圧環境下では、プラズマ中のイオンの平均自由行程が大きくなる。したがって、希ガス原子のイオンのスパッタリングによるエッチングが可能となる。また、低圧環境下では、エッチングされた物質がウエハ W に再付着することを抑制しつつ、当該物質を排気することが可能である。

[0054] [保持構造体]

図7および図8は、一実施形態に係る保持構造体を示す断面図である。図7には、Y方向（図1参照）から見た保持構造体の断面図が示されており、図8には、X方向（図1参照）から見た保持構造体の断面図が示されている。図7および図8に示すように、保持構造体18は、保持部30、容器部40、および傾斜軸部50を有している。

[0055] 保持部30は、ウエハWを保持し、第2軸線AX2を中心に回転することによって、ウエハWを回転させる機構である。なお、上述したように、第2軸線AX2は、保持構造体18が傾斜していない状態では、軸線PXと一致する。この保持部30は、静電チャック32、下部電極34、回転軸部36、および絶縁部材35を有している。

[0056] 静電チャック32は、その上面32aにおいてウエハWを保持するように構成されている。静電チャック32は、第2軸線AX2をその中心軸線とする略円盤形状を有しており、絶縁膜の内層として設けられた電極膜を有している。静電チャック32は、電極膜に電圧が印加されることにより、静電力を発生する。この静電力により、静電チャック32は、その上面32aに載置されたウエハWを吸着する。この静電チャック32とウエハWとの間には、Heガスといった伝熱ガスが供給されるようになっている。また、静電チャック32内には、ウエハWを加熱するためのヒータが内蔵されていてもよい。かかる静電チャック32は、下部電極34上に設けられている。

[0057] 下部電極34は、第2軸線AX2をその中心軸線とする略円盤形状を有している。一実施形態では、下部電極34は、第1部分34aおよび第2部分34bを有している。第1部分34aは、第2軸線AX2に沿って延在する下部電極34の中央側の部分であり、第2部分34bは、第1部分34aよりも第2軸線AX2から離れて、即ち、第1部分34aよりも外側で延在する部分である。第1部分34aの上面および第2部分34bの上面は連続しており、第1部分34aの上面および第2部分34bの上面によって下部電極34の略平坦な上面が構成されている。この下部電極34の上面には、静電

チャック 3 2 が接している。また、第 1 部分 3 4 a は、第 2 部分 3 4 b よりも下方に突出して、円柱状をなしている。即ち、第 1 部分 3 4 a の下面は、第 2 部分 3 4 b の下面よりも下方において延在している。この下部電極 3 4 は、アルミニウムといった導体から構成されている。下部電極 3 4 は、上述したバイアス電力供給部 2 2 と電氣的に接続される。即ち、下部電極 3 4 には、第 1 電源 2 2 a からの変調直流電圧、および第 2 電源 2 2 b からの高周波バイアス電力が選択的に供給可能となっている。また、下部電極 3 4 には、冷媒流路 3 4 f が設けられている。この冷媒流路 3 4 f に冷媒が供給されることにより、ウエハ W の温度が制御されるようになっている。この下部電極 3 4 は、絶縁部材 3 5 上に設けられている。

[0058] 絶縁部材 3 5 は、石英、アルミナといった絶縁体から構成されており、中央において開口した略円盤形状を有している。一実施形態では、絶縁部材 3 5 は、第 1 部分 3 5 a および第 2 部分 3 5 b を有している。第 1 部分 3 5 a は、絶縁部材 3 5 の中央側の部分であり、第 2 部分 3 5 b は、第 1 部分 3 5 a よりも第 2 軸線 A X 2 から離れて、即ち、第 1 部分 3 5 a よりも外側で延在する部分である。第 1 部分 3 5 a の上面は、第 2 部分 3 5 b の上面よりも下方で延在しており、また、第 1 部分 3 5 a の下面も第 2 部分 3 5 b の下面よりも下方で延在している。絶縁部材 3 5 の第 2 部分 3 5 b の上面は、下部電極 3 4 の第 2 部分 3 4 b の下面に接している。一方、絶縁部材 3 5 の第 1 部分 3 5 a の上面は、下部電極 3 4 の下面から離間している。

[0059] 回転軸部 3 6 は、略円柱形状を有しており、下部電極 3 4 の下面に結合されている。具体的には、下部電極 3 4 の第 1 部分 3 4 a の下面に結合されている。回転軸部 3 6 の中心軸線は、第 2 軸線 A X 2 と一致している。この回転軸部 3 6 に対して回転力が与えられることにより、保持部 3 0 が回転するようになっている。

[0060] このような種々の要素によって構成される保持部 3 0 は、容器部 4 0 と共に保持構造体 1 8 の内部空間として中空の空間を形成している。容器部 4 0 は、上側容器部 4 2、および外側容器部 4 4 を含んでいる。上側容器部 4 2 は

、略円盤形状を有している。上側容器部 4 2 の中央には、回転軸部 3 6 が通る貫通孔が形成されている。この上側容器部 4 2 は、絶縁部材 3 5 の第 2 部分 3 5 b の下方において、当該第 2 部分 3 5 b に対して僅かな間隙を提供するように設けられている。また、上側容器部 4 2 の下面周縁には、外側容器部 4 4 の上端が結合している。外側容器部 4 4 は、下端において閉塞された略円筒形状を有している。

[0061] 容器部 4 0 と回転軸部 3 6 との間には、磁性流体シール部 5 2 が設けられている。磁性流体シール部 5 2 は、内輪部 5 2 a および外輪部 5 2 b を有している。内輪部 5 2 a は、回転軸部 3 6 と同軸に延在する略円筒形状を有しており、回転軸部 3 6 に対して固定されている。また、内輪部 5 2 a の上端部は、絶縁部材 3 5 の第 1 部分 3 5 a の下面に結合している。この内輪部 5 2 a は、回転軸部 3 6 と共に第 2 軸線 A X 2 中心に回転するようになっている。外輪部 5 2 b は、略円筒形状を有しており、内輪部 5 2 a の外側において当該内輪部 5 2 a と同軸に設けられている。外輪部 5 2 b の上端部は、上側容器部 4 2 の中央側部分の下面に結合している。これら内輪部 5 2 a と外輪部 5 2 b との間には、磁性流体 5 2 c が介在している。また、磁性流体 5 2 c の下方において、内輪部 5 2 a と外輪部 5 2 b との間には、軸受 5 3 が設けられている。この磁性流体シール部 5 2 は、保持構造体 1 8 の内部空間を気密に封止する封止構造を提供している。この磁性流体シール部 5 2 により、保持構造体 1 8 の内部空間は、プラズマ処理装置 1 0 の空間 S から分離される。なお、プラズマ処理装置 1 0 では、保持構造体 1 8 の内部空間は大気圧に維持される。

[0062] 一実施形態では、磁性流体シール部 5 2 と回転軸部 3 6 との間に、第 1 部材 3 7 および第 2 部材 3 8 が設けられている。第 1 部材 3 7 は、回転軸部 3 6 の外周面的一部分、即ち、後述する第 3 筒状部 3 6 d の上側部分の外周面および下部電極 3 4 の第 1 部分 3 4 a の外周面に沿って延在する略円筒形状を有している。また、第 1 部材 3 7 の上端は、下部電極 3 4 の第 2 部分 3 4 b の下面に沿って延在する環状板形状を有している。この第 1 部材 3 7 は、第

3筒状部36dの上側部分の外周面、並びに、下部電極34の第1部分34aの外周面および第2部分34bの下面に接している。

[0063] 第2部材38は、回転軸部36の外周面、即ち、第3筒状部36dの外周面、および第1部材37の外周面に沿って延在する略円筒形状を有している。第2部材38の上端は、絶縁部材35の第1部分35aの上面に沿って延在する環状板形状を有している。第2部材38は、第3筒状部36dの外周面、第1部材37の外周面、絶縁部材35の第1部分35aの上面、および、磁性流体シール部52の内輪部52aの内周面に接している。この第2部材38と絶縁部材35の第1部分35aの上面との間には、Oリングといった封止部材39aが介在している。また、第2部材38と磁性流体シール部52の内輪部52aの内周面との間には、Oリングといった封止部材39bおよび封止部材39cが介在している。かかる構造により、回転軸部36と磁性流体シール部52の内輪部52aとの間が封止される。これにより、回転軸部36と磁性流体シール部52との間に間隙が存在していても、保持構造体18の内部空間が、プラズマ処理装置10の空間Sから分離される。

[0064] 外側容器部44には、第1軸線AX1に沿って開口が形成されている。外側容器部44に形成された開口には、接続部12bを介して傾斜軸部50の内側端部が嵌め込まれている。接続部12bは、蛇腹状の形状を有しており、伸縮可能である。接続部12bは処理容器12内の気密性を維持できる。傾斜軸部50は、略円筒形状を有しており、その中心軸線は第1軸線AX1と一致している。傾斜軸部50は、図1に示すように、処理容器12の外側まで延在している。傾斜軸部50の両方の外側端部には、上述した駆動装置24が結合されている。駆動装置24は、傾斜軸部50の両方の外側端部を軸支している。駆動装置24によって傾斜軸部50が回転されることにより、保持構造体18が第1軸線AX1中心に回転し、その結果、保持構造体18が軸線PXに対して傾斜するようになっている。例えば、保持構造体18は、軸線PXに対する第2軸線AX2の傾斜角ANの値 ϕ 〔度〕が少なくとも0～60〔度〕以内の範囲の角度をなすように傾斜され得るが、ウエハWが

プラズマに暴露される環境に配置される態様であれば第2軸線AX2の傾斜角ANの値 ϕ [度] が0~60 [度] の範囲に限られずに0~360 [度] の範囲で傾斜可能である（すなわち保持構造体18が第1軸線AX1中心に一回転することが可能である）。

[0065] 傾斜軸部50は、蛇腹状の形状で伸縮可能な接続部12bと駆動装置24とによって、傾斜軸部50（第1軸線AX1）の向きを変えずに、軸線PXに沿って、処理容器12の天井側と底部側との間で平行移動が可能である。軸線PXに沿った傾斜軸部50の当該平行移動によっても、傾斜軸部50の中心軸線である第1軸線AX1は、軸線PXに垂直であり、軸線PXと交差し、ZX面に含まれる。傾斜軸部50の当該平行移動によって、軸線PXと第1軸線AX1と第2軸線AX2との交差点X0は、軸線PXを移動する。すなわち、処理容器12では、第2軸線AX2と軸線PXとの交差点X0の位置を軸線PXに沿って移動させることができる。傾斜軸部50（第1軸線AX1）の当該平行移動によって、交差点X0と水平基準面FA1との間の距離Lは、増減する。

[0066] 一実施形態では、第1軸線AX1は、第2軸線AX2方向における保持構造体18の中心位置を含んでいる。この実施形態では、傾斜軸部50は、保持構造体18の当該中心を通る第1軸線AX1上で延在している。

[0067] 別の実施形態では、第1軸線AX1は、第2軸線AX2方向における保持構造体18の中心と保持部30の上面との間の位置を含んでいる。即ち、この実施形態では、傾斜軸部50は、保持構造体18の中心よりも保持部30側に偏った位置で延在している。この実施形態によれば、保持構造体18の傾斜時に、プラズマ源16からウエハWの各位置までの距離差を低減することができる。したがって、エッチングの面内均一性が更に向上される。

[0068] 更に別の実施形態では、第1軸線AX1は、保持構造体18の重心を含んでいる。この実施形態では、傾斜軸部50は、当該重心を含む第1軸線AX1上で延在している。この実施形態によれば、駆動装置24に要求されるトルクが小さくなり、当該駆動装置24の制御が容易となる。

[0069] 図 7 および図 8 に戻り、傾斜軸部 50 の内孔には、種々の電気系統用の配線、伝熱ガス用の配管、および、冷媒用の配管が通されている。これらの配線および配管は、回転軸部 36 に連結されている。

[0070] 回転軸部 36 は、柱状部 36 a、第 1 筒状部 36 b、第 2 筒状部 36 c、および第 3 筒状部 36 d を有している。柱状部 36 a は、略円柱形状を有しており、第 2 軸線 A X 2 上で延在している。柱状部 36 a は、静電チャック 32 の電極膜に電圧を印加するための配線である。柱状部 36 a は、スリップリングといったロータリーコネクタ 54 を介して配線 60 に接続されている。配線 60 は、保持構造体 18 の内部空間から傾斜軸部 50 の内孔を通して、処理容器 12 の外部まで延びている。この配線 60 は、処理容器 12 の外部においてスイッチを介して電源 62（図 1 参照）に接続されている。

[0071] 第 1 筒状部 36 b は、柱状部 36 a の外側において当該柱状部 36 a と同軸に設けられている。第 1 筒状部 36 b は、下部電極 34 に変調直流電圧および高周波バイアス電力を供給するための配線である。第 1 筒状部 36 b は、ロータリーコネクタ 54 を介して配線 64 に接続されている。配線 64 は、保持構造体 18 の内部空間から傾斜軸部 50 の内孔を通して、処理容器 12 の外部まで延びている。この配線 64 は、処理容器 12 の外部においてバイアス電力供給部 22 の第 1 電源 22 a および第 2 電源 22 b に接続されている。なお、第 2 電源 22 b と配線 64 との間には、インピーダンスマッチング用の整合器が設けられ得る。

[0072] 第 2 筒状部 36 c は、第 1 筒状部 36 b の外側において当該第 1 筒状部 36 b と同軸に設けられている。一実施形態では、上述のロータリーコネクタ 54 内には軸受 55 が設けられており。当該軸受 55 は第 2 筒状部 36 c の外周面に沿って延在している。この軸受 55 は、第 2 筒状部 36 c を介して回転軸部 36 を支持している。上述した軸受 53 は回転軸部 36 の上側部分を支持しているのに対して、軸受 55 は回転軸部 36 の下側部分を支持している。このように二つの軸受 53 および軸受 55 によって、回転軸部 36 がその上側部分および下側部分の双方において支持されるので、回転軸部 36 を

第2軸線A×2中心に安定して回転させることが可能である。

[0073] 第2筒状部36cには、伝熱ガス供給用のガスラインが形成されている。このガスラインは、スィベルジョイントといった回転継手を介して配管66に接続されている。配管66は、保持構造体18の内部空間から傾斜軸部50の内孔を通して、処理容器12の外部まで延びている。この配管66は、処理容器12の外部において伝熱ガスのソース68（図1参照）に接続されている。

[0074] 第3筒状部36dは、第2筒状部36cの外側において当該第2筒状部36cと同軸に設けられている。この第3筒状部36dには、冷媒流路34fに冷媒を供給する得ための冷媒供給ライン、および冷媒流路34fに供給された冷媒を回収する冷媒回収ラインが形成されている。冷媒供給ラインは、スィベルジョイントといった回転継手70を介して配管72に接続されている。また、冷媒回収ラインは回転継手70を介して配管74に接続されている。配管72および配管74は、保持構造体18の内部空間から傾斜軸部50の内孔を通して、処理容器12の外部まで延びている。そして、配管72および配管74は、処理容器12の外部においてチラーユニット76（図1参照）に接続されている。

[0075] また、図8に示すように、保持構造体18の内部空間には、回転モータ78が設けられている。回転モータ78は、回転軸部36を回転させるための駆動力を発生する。一実施形態では、回転モータ78は、回転軸部36の側方に設けられている。この回転モータ78は、回転軸部36に取り付けられたプーリ80に伝導ベルト82を介して連結されている。これにより、回転モータ78の回転駆動力が回転軸部36に伝達され、保持部30が第2軸線A×2中心に回転する。保持部30の回転数は、例えば、50[rpm]以下の範囲内にある。例えば、保持部30は、プロセス中に10[rmp]の回転数で回転される。なお、回転モータ78に電力を供給するための配線は、傾斜軸部50の内孔を通して処理容器12の外部まで引き出され、処理容器12の外部に設けられたモータ用電源に接続される。以下の説明において、

特に言及しない限り、保持部 30 の回転数 [rpm] は同一の値（例えば 10 [rpm]）であるとする。

[0076] このように、保持構造体 18 は、大気圧に維持可能な内部空間に多様な機構を設けることが可能である。また、保持構造体 18 は、その内部空間に収めた機構と処理容器 12 の外部に設けた電源、ガスソース、チラーユニット等の装置とを接続するための配線または配管を処理容器 12 の外部まで引き出すことが可能であるように構成されている。なお、上述した配線および配管に加えて、処理容器 12 の外部に設けられたヒータ電源と静電チャック 32 に設けられたヒータとを接続する配線が、保持構造体 18 の内部空間から処理容器 12 の外部まで傾斜軸部 50 の内孔を介して引き出されていてもよい。

[0077] また、図 4 に示した多層膜の各層のエッチング中には、エッチングによって削られた物質（即ち、金属）が排気されずに、エッチングによって形成された形状の表面、特に側面に付着する。プラズマ処理装置 10 によれば、このように側面に形成された堆積物を除去する際に、保持構造体 18 を傾斜させ、且つ、ウエハ W を保持した保持部 30 を第 2 軸線 A X 2 中心に回転させることができる。これにより、エッチングによって形成された形状の側面の全領域に向けてイオンを入射させることができ、ウエハ W に対するイオンの入射の面内均一性を向上させることが可能である。その結果、エッチングによって形成された形状の側面の全領域において、当該側面に付着した堆積物を除去することが可能となり、当該形状の垂直性を高めることが可能である。また、堆積物の除去をウエハ W の面内で均一に行うことが可能であり、エッチングによって形成される形状の面内均一性が向上される。

[0078] 以下、図 4 に示したウエハ W の多層膜をエッチングする方法の一実施形態について説明する。図 9 は、一実施形態に係る多層膜をエッチングする方法を示す流れ図である。図 9 に示す方法 M T は、図 1 等にしたプラズマ処理装置 10 を用いて実施することが可能である。方法 M T は、プラズマ処理装置 10 を用いて被処理体であるウエハ W の多層膜をエッチングする方法である。

。より具体的には、方法MTは、図4に示したウエハWの多層膜中の各層を、そのエッチングに適したエネルギーをもつイオンを利用してエッチングするものである。

[0079] 図9に示す方法MTは、図14および図15を参照して説明した上記の特性を少なくとも部分的に利用する。以下、図9と共に、図10～図14を参照しつつ、方法MTについて詳細に説明する。図10～図14は、方法MTの各工程中または各工程後の被処理体の状態を示す断面図である。なお、以下の説明においては、プラズマ処理装置10が方法MTの実施に用いられるものとする。しかしながら、保持構造体を傾斜させ且つウエハWを保持する保持部を回転させることができ、バイアス電力供給部から変調直流電圧を保持構造体に印加させることができるプラズマ処理装置であれば、任意のプラズマ処理装置を方法MTの実施に用いることが可能である。

[0080] 方法MTでは、まず、工程ST1において、図4に示したウエハWが準備され、プラズマ処理装置10の処理容器12内に收容される。そして、保持部30の静電チャック32によってウエハWが保持される。

[0081] 続く工程ST2では、上部磁性層L4がエッチングされる。工程ST2では、処理容器12内に、希ガスおよび水素含有ガスが供給される。一実施形態において、希ガスは、アルゴンの原子番号よりも大きい原子番号を有する希ガスであり、例えば、Krガスである。また、水素含有ガスは、例えば、CH₄ガスまたはNH₃ガスである。

[0082] また、工程ST2では、排気系20により、処理容器12内の空間Sの圧力が所定の圧力に減圧される。例えば、処理容器12内の空間Sの圧力は、0.4 [mTorr] (0.5 [Pa]) ~ 20 [mTorr] (2.666 [Pa]) の範囲内の圧力に設定される。また、工程ST2では、プラズマ源16によって希ガスおよび水素含有ガスが励起される。このため、プラズマ源16の高周波電源150Aおよび高周波電源150Bは内側アンテナ素子142Aおよび外側アンテナ素子142Bに、例えば、27.12 [MHz] または40.68 [MHz] の周波数、且つ、10~3000 [W] の

範囲内の電力値の高周波電力を供給する。また、工程 S T 2 では、変調直流電圧が保持構造体 1 8（下部電極 3 4）に印加される。この直流電圧の電圧値は、マスク M S K および絶縁層 L 3 のエッチングを抑制するために、比較的低い電圧値に設定される。例えば、この直流電圧の電圧値は、3 0 0 [V] 以下の電圧値、例えば 2 0 0 [V] に設定される。また、この直流電圧の変調周波数は、例えば、4 0 0 [k H z] に設定される。さらに、この直流電圧のパルス変調のオン・デューティ比は、1 0 ～ 9 0 % の範囲の比に設定される。

[0083] 工程 S T 2 では、上述した条件で生成されたイオンが、変調直流電圧によって発生するシースにより加速されて上部磁性層 L 4 に入射する。このイオンのエネルギーは、C o および F e から構成される上部磁性層 L 4 をエッチングするものの、T a および T i N から構成されるマスク M S K、並びに、M g O から構成される絶縁層 L 3 を実質的にはエッチングしない。したがって、工程 S T 2 では、上部磁性層 L 4 を、マスク M S K および絶縁層 L 3 に対して選択的にエッチングすることができる。また、工程 S T 2 では、水素含有ガスに由来する水素の活性種が上部磁性層 L 4 の表面を改質する。これにより、上部磁性層 L 4 のエッチングが促進される。さらに、工程 S T 2 では、水素含有ガス中の窒素または炭素とマスク M S K との反応により金属化合物が形成される。これにより、マスク M S K が強固となり、マスク M S K のエッチングが抑制される。

[0084] このような工程 S T 2 の実行により、図 1 0 の（a）に示すように上部磁性層 L 4 はエッチングされるが、上部磁性層 L 4 の構成物質、例えば、C o および F e が排気されずにウエハ W の表面に付着し得る。当該構成物質は、例えば、マスク M S K の側面、上部磁性層 L 4 の側面、および、絶縁層 L 3 の上面に付着する。その結果、図 1 0 の（a）に示すように堆積物 D P 1 が形成される。

[0085] なお、工程 S T 2 では、上部磁性層 L 4 に対し上記条件によってエッチングを行う期間内において、後述する保持構造体 1 8 の回転処理も共に実施する

。下記の工程 S T 5、工程 S T 7、工程 S T 9 2 においても、工程 S T 2 の場合と同様に、それぞれの工程のエッチングを行う期間内において、後述する保持構造体 1 8 の回転処理も共に実施する。保持構造体 1 8 の回転処理については、後に詳述する。

[0086] 続く工程 S T 3 では、堆積物 D P 1 が除去される。工程 S T 3 における条件は、工程 S T 2 の条件と同様であってもよい。即ち、工程 S T 3 では、処理容器 1 2 内にアルゴンの原子番号よりも大きい原子番号を有する希ガス、例えば K r ガスと、水素含有ガスが供給される。また、プラズマ源 1 6 によって希ガスおよび水素ガスが励起される。また、工程 S T 3 では、保持構造体 1 8（下部電極 3 4）に変調直流電圧が印加される。したがって、図 1 0 の（b）部に示すように上部磁性層 L 4 の側面の全領域およびマスク M S K の側面の全領域において、堆積物 D P 1 が除去される。また、工程 S T 3 では、水素含有ガスに由来する水素の活性種が堆積物 D P 1 を改質する。これにより、堆積物 D P 1 の除去が促進される。

[0087] なお、工程 S T 2 および工程 S T 3 は、交互に複数回実行されてもよい。これにより、堆積物 D P 1 が多量に形成される前に、当該堆積物 D P 1 を除去しつつ上部磁性層 L 4 をエッチングすることが可能となる。

[0088] 続く工程 S T 4 では、絶縁膜 I L が形成される。この絶縁膜 I L は、下部磁性層 L 2 と上部磁性層 L 4 との導通を防止するために形成される。具体的に、工程 S T 4 では、成膜装置にウエハ W が搬送され、当該成膜装置内において図 1 1 の（a）に示すようにウエハ W の表面上に絶縁膜 I L が形成される。この絶縁膜 I L は、例えば、窒化シリコンまたは酸化シリコンから構成され得る。次いで、マスク M S K の上面に沿った領域、および、絶縁層 L 3 の上面に沿った領域において絶縁膜 I L がエッチングされる。このエッチングには任意のプラズマ処理装置を利用することができる。例えば、当該エッチングには、プラズマ処理装置 1 0 を用いることができる。また、このエッチングには、ハイドロフルオロカーボンガスまたはフルオロカーボンガスを含む処理ガスを用いることができる。このエッチングの結果、図 1 1 の（b）

に示すように、マスクMSKの側面および上部磁性層L4の側面に沿って絶縁膜ILが残される。

[0089] 続く工程ST5では、絶縁層L3がエッチングされる。工程ST5では、処理容器12内に、希ガスおよび水素含有ガスが供給される。希ガスは、アルゴンの原子番号よりも大きい原子番号を有する希ガスであり、例えば、Krガスである。また、水素含有ガスは、例えば、CH₄ガスまたはNH₃ガスである。また、工程ST5では、排気系20により、処理容器12内の空間Sの圧力が所定の圧力に減圧される。例えば、処理容器12内の空間Sの圧力は、0.4 [mTorr] (0.5 [Pa]) ~ 20 [mTorr] (2.666 [Pa]) の範囲内の圧力に設定される。また、工程ST5では、プラズマ源16によって希ガスおよび水素含有ガスが励起される。このため、プラズマ源16の高周波電源150Aおよび高周波電源150Bは内側アンテナ素子142Aおよび外側アンテナ素子142Bに、例えば、27.12 [MHz] または40.68 [MHz] の周波数、且つ、10~3000 [W] の範囲内の電力値の高周波電力を供給する。

[0090] 上述したように、絶縁層L3のエッチングでは、比較的高いイオンエネルギーのイオンをウエハWに入射させる必要がある。このため、工程ST5では、工程ST2において保持構造体18（下部電極34）に印加される変調直流電圧よりも高い電圧値の変調直流電圧、または、高周波バイアス電力が、保持構造体（下部電極34）に供給される。変調直流電圧が用いられる場合には、当該変調直流電圧のパルス変調のオン・デューティ比および変調周波数は工程ST2における直流電圧のパルス変調のオン・デューティ比および変調周波数と同様であってもよいが、当該直流電圧の電圧値は300 [V] よりも大きい電圧値に設定される。一方、高周波バイアス電力が用いられる場合には、当該高周波バイアス電力は、100~1500 [W] に設定され、その周波数は400 [kHz] に設定され得る。

[0091] 工程ST5では、上述した条件で生成されたイオンが絶縁層L3に入射する。このイオンは、絶縁層L3をエッチングし得るエネルギーを有し得る。ま

た、工程 S T 5 で用いられる水素含有ガスに由来する水素の活性種により絶縁層 L 3 の構成物質が還元される。例えば、M g O が還元される。これにより、図 1 4 を参照して説明したように、絶縁層 L 3 は、高いスパッタイルド S Y が得られるように改質される。その結果、絶縁層 L 3 のエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ が高められる。かかる工程 S T 5 により、図 1 2 の (a) に示すように、絶縁層 L 3 がエッチングされる。この工程 S T 5 では、絶縁層 L 3 の構成物質が排気されずにウエハ W の表面に付着し得る。例えば、当該構成物質は、マスク M S K の側面、上部磁性層 L 4 の側面、絶縁層 L 3 の側面、および下部磁性層 L 2 の表面に付着する。その結果、堆積物 D P 2 が形成される。

[0092] 続く工程 S T 6 では、堆積物 D P 2 が除去される。工程 S T 6 における条件は、工程 S T 5 の条件と同様である。かかる工程 S T 6 によれば、イオンを効率良く堆積物 D P 2 に入射させることができるので、図 1 2 の (b) に示すように、堆積物 D P 2 を除去することが可能となる。また、水素含有ガスを用いることにより、堆積物 D P 2 を改質して、当該堆積物 D P 2 の除去を促進することが可能となる。

[0093] なお、工程 S T 5 と工程 S T 6 とは、交互に複数回数実行されてもよい。これにより、堆積物 D P 2 が多量に形成される前に、当該堆積物 D P 2 を除去しつつ絶縁層 L 3 をエッチングすることが可能となる。

[0094] 続く工程 S T 7 では、図 1 3 の (a) に示すように、下部磁性層 L 2 がエッチングされ、続く工程 S T 8 では、工程 S T 6 のエッチングによって発生する堆積物 D P 3 が、図 1 3 の (b) に示すように、除去される。下部磁性層 L 2 は上部磁性層 L 4 と同様の物質から構成されているので、一実施形態では、工程 S T 7 の条件は工程 S T 2 と同様の条件であってもよい。また、工程 S T 8 の条件は工程 S T 3 と同様の条件であってもよい。また、工程 S T 7 と工程 S T 8 とは交互に複数回実行されてもよい。即ち、工程 S T 7 および工程 S T 8 の双方において、希ガス（例えば、K r ガス）および水素含有ガスのプラズマが生成され、保持構造体 1 8 の下部電極 3 4 に変調直流電圧

が印加される。変調直流電圧の電圧値は、300 [V] 以下、例えば、200 [V] である。

[0095] 或いは、別の実施形態では、工程ST7の条件は工程ST5と同様であってもよく、工程ST8の条件は工程ST6と同様であってもよい。即ち、工程ST7および工程ST8の双方において、希ガス（例えば、Krガス）および水素含有ガスのプラズマが生成され、保持構造体18の下部電極34に比較的高い電圧値、例えば、300 [V] よりも大きい変調直流電圧、または、高周波バイアス電力が供給される。また、工程ST8では、保持構造体18が傾斜状態に設定され、保持部30が回転される。なお、工程ST7の全期間中の一部において、保持構造体18が傾斜状態に設定され、保持部30が回転されてもよい。この実施形態では、絶縁層L3と下部磁性層L2とを同様の条件で一括してエッチングすることが可能となる。

[0096] 続く工程ST9では、下地層L1がエッチングされる。一実施形態では、下地層L1の非磁性層L14から反強磁性層L12が下部電極層L11の表面（上面）までエッチングされる。

[0097] 図15は、工程ST9の一実施形態を示す流れ図である。図15に示すように、一実施形態の工程ST9では、まず、工程ST91において処理容器12内でプラズマが生成される。工程ST91においてプラズマを生成するための条件は、工程ST5の条件と同様である。即ち、この実施形態では、工程ST5の条件を用いて、絶縁層L3、下部磁性層L2、および、非磁性層L14から反強磁性層L12を一括してエッチングし得る。また、工程ST9では、工程ST91において設定されたプラズマ生成の条件を維持しつつ、工程ST92および工程ST93が実行される。

[0098] 図15に示す実施形態によれば、工程ST92において、図14の（a）部に示すように、非磁性層L14から反強磁性層L12までの下地層L1の各層がエッチングされ、このエッチングによって発生した堆積物DP4が、工程ST93において除去される。これにより、ウエハWにエッチングによって形成される形状の側面に付着した堆積物が、当該形状の側面の全領域から

除去され、且つ、ウエハWの面内においても除去される。

[0099] 図16は、工程ST9の別の実施形態を示す図である。図16に示す工程ST9は、工程ST95および工程ST96を含んでいる。工程ST95では、アルゴンの原子番号よりも大きい原子番号を有する第1の希ガスを含む処理ガスのプラズマが生成される。第1の希ガスは、例えば、Krガスである。工程ST96では、アルゴンの原子番号よりも小さい原子番号を有する第2の希ガスを含む処理ガスのプラズマが生成される。第2の希ガスは、例えば、Neガスである。また、この実施形態では、工程ST95および工程ST96の双方において、高周波バイアス電力が保持構造体18（下部電極34）に供給され得る。

[0100] [保持構造体の回転処理]

次に、方法MTにおいて実施される保持構造体18の回転処理について説明する。当該回転処理によって、ウエハWの表面FSに対し十分に均一なエッチングが可能となる。保持構造体18の回転処理は、方法MTにおいてエッチング処理が行われる工程（エッチング工程）であって、少なくとも図9に示す工程ST2，ST5，ST7と図16に示す工程ST92とにおいて実施される。工程ST2，ST5，ST7，ST92の各エッチング工程は、処理容器12内で発生させるプラズマによってウエハWをエッチングする工程であって、該エッチングの実行中に、ウエハWを保持した保持構造体18を傾斜且つ回転させる処理を行う工程である。

[0101] 各エッチング工程で実施される回転処理は、ウエハWの表面FSに対して十分に均一なエッチングを実現するために、一又は複数の傾斜回転状態RT（ ϕ ， t ）から成ることができる。すなわち、それぞれの回転処理は、ウエハWを保持した保持構造体18に対し複数通りの傾斜回転状態RT（ ϕ ， t ）を順次実現する。

[0102] ϕ は傾斜角ANの値[度]であり、 t は処理時間[min]である。傾斜回転状態RT（ ϕ ， t ）は、ウエハWの中心軸線である第2軸線AX2を第2軸線AX2と同一面内（YZ面内）にある処理容器12の軸線PXに対し傾

斜させた状態を保持しつつ、第2軸線AX2中心に所定の処理時間 t にわたってウエハWを回転させている状態である。具体的には、傾斜回転状態 $RT(\phi, t)$ は、第1軸線AX1中心に保持構造体18を第2軸線AX2の傾斜角 AN （値 ϕ 〔度〕）だけ傾斜させ、さらにこの保持構造体18の傾斜（第2軸線AX2の傾斜角 AN の値 ϕ 〔度〕）を維持した状態で、保持構造体18の保持部30を第2軸線AX2中心で t 〔min〕だけ回転させている状態である。このように、傾斜回転状態 $RT(\phi, t)$ は、 ϕ 〔度〕および t 〔min〕によって特定される。また、一の回転処理が複数の傾斜回転状態 $RT(\phi_i, t_i)$ から成る場合（ i は各傾斜回転状態を識別するための識別子であり、 $1 \sim N$ （ N は自然数）の範囲内の自然数である。以下同様。）これら複数の傾斜回転状態 $RT(\phi_i, t_i)$ は所定の順序で連続して順次実現される。すなわち、一の回転処理において、複数の傾斜回転状態 $RT(\phi_1, t_1)$ 、 $\dots$ 、傾斜回転状態 $RT(\phi_N, t_N)$ が連続して順次実現される。複数通りの傾斜回転状態 $RT(\phi, t)$ において、傾斜角 AN の値 ϕ と処理時間 t との組み合わせは、互いに異なっている。

[0103] 傾斜回転状態 $RT(\phi_i, t_i)$ の内容を特定する方法について説明する。まず、当該方法の説明に必要な事項として、回転処理が実施される処理容器12の構成について説明を追加する。処理容器12では、第2軸線AX2が軸線PXに対し傾斜していない状態において、ウエハWの表面FSに対するエッチングレート〔 $\mu\text{m}/\text{min}$ 〕が軸線PXを中心とした軸対称の分布で実現され、且つ、エッチングレート〔 $\mu\text{m}/\text{min}$ 〕の分布が表面FSにおいて軸線PXの位置で最も高くなり得る。図19は、一実施形態に係るウエハWの表面FS上のエッチングレート〔 $\mu\text{m}/\text{min}$ 〕の分布の一例を示す図である。図19に示す表面FSの中心CEにはウエハWの中心軸線である第2軸線AX2が通っており、方向UAは、表面FS上から見て第2軸線AX2が軸線PXに対し傾いている向きであり、表面FSの中心CEを通り、YZ面にあり、表面FSの径方向（動径方向）に一致する。図19に示す複数の曲線PLは、エッチングレート〔 $\mu\text{m}/\text{min}$ 〕の等高線を示している。

図19に示すエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ は、方向DLに向けて増加している。図19の(a)部には、保持構造体18が傾斜していない状態（すなわち、第2軸線AX2が軸線PXと重なっている状態であり、第2軸線AX2の傾斜角ANの値 $\phi = 0$ [度] の場合）におけるウエハWの表面FSに対するエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ の等高線が示されている。この場合、処理容器12の軸線PXは、ウエハWの中心軸線である第2軸線AX2に重なり、ウエハWの表面FSに垂直となる。図19の(b)部には、保持構造体18が傾斜し第2軸線AX2の傾斜角ANの値 $\phi = 20$ [度] となっている場合におけるウエハWの表面FSに対するエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ の等高線が示されている。この場合、軸線PXは、方向UAに沿って、方向UAと逆の方向（保持構造体18の傾斜方向とは逆の方向）に移動される。図19の(c)部には、保持構造体18が傾斜し第2軸線AX2の傾斜角ANの値 $\phi = 45$ [度] となっている場合におけるウエハWの表面FSに対するエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ の等高線が示されている。この場合、軸線PXは、図19の(b)部に示す状態と比較して、方向UAに沿って、方向UAと逆の方向（保持構造体18の傾斜方向とは逆の方向）に、さらに移動される。図19の(d)部には、保持構造体18が傾斜し第2軸線AX2の傾斜角ANの値 $\phi = 60$ [度] となっている場合におけるウエハWの表面FSに対するエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ の等高線が示されている。この場合、軸線PXは、図19の(c)部に示す状態と比較して、方向UAに沿って、方向UAと逆の方向（保持構造体18の傾斜方向とは逆の方向）に、さらに移動される。なお、軸線PXに対する第2軸線AX2の傾斜角ANの値 ϕ は、 $0 \sim 360$ [度] の範囲内であれば、 60 [度] に限られない。

[0104] また、図19に示すエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ の等高線を鉛直基準面FA2（YZ面）に沿って見たものが図20に示されている。図20は、図19に示すエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ の分布をウエハWの表面FSの径方向（方向UA）に沿って示す図である。図20の横軸は、表面FS

の径方向（方向UA）を表し、図20の縦軸は、エッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ を表す。図20に示す曲線PM1は図19の（a）部に示すエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ に対応し、図20に示す曲線PM2は図19の（b）部に示すエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ に対応し、図20に示す曲線PM3は図19の（c）部に示すエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ に対応し、図20に示す曲線PM4は図19の（d）部に示すエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ に対応する。

[0105] 図19の（a）部に示すように、保持構造体18が傾斜していない場合におけるウエハWの表面FSに対するエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ は、ウエハWの中心軸線である第2軸線AX2（この場合、軸線PXでもある）に対してほぼ軸対称に分布していることがわかる。具体的には、表面FSに対するエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ は、ウエハWの中心軸線である第2軸線AX2（軸線PX）の位置で最も高く、ウエハWの縁に向かってほぼ軸対称に低くなるように分布していることがわかる。そして、ウエハWが傾斜していない図19の（a）部に示す状態から、ウエハWを、図19の（b）部～（d）部に示すように傾斜させていくと、エッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ の最大値付近の等高線は、ウエハWの中心軸線である第2軸線AX2の位置から当該傾斜の方向とは逆の方向（Y方向）に表面FS上に変位し、エッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ （さらに、その等高線の間隔）の軸対称性が無くなる。

[0106] 上記した処理容器12の構成から、発明者は、処理容器12内のエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ の分布が軸線PXを中心にほぼ軸対称となっていること、および、処理容器12の天井側（プラズマ源16の側）から離れるに従ってエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ が低下すること、を確認した。そして、発明者は、鋭意研究の結果、処理容器12（或いは他の任意の処理容器）内におけるウエハW（或いは他の任意のウエハ）に対するエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ の好適な予測分布が、第2軸線AX2の傾斜角ANの値 ϕ 〔度〕ごとに、且つ、エッチング条件CONごとに、下記のエッチング

レート関数 $PER1(x, y, z; \phi; CON)$ によって得られることを見出した。

$$PER1(x, y, z; \phi; CON) = (\xi / \{(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z - \gamma)^2\}^{\xi/2} \text{の数値}) \dots (\text{式1})。$$

このように、ウエハWの表面FSに対するエッチングレート $[\mu m/min]$ の予測分布は、処理容器12内の点の座標 (x, y, z) の関数でありパラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \xi$ を含む $\xi / \{(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z - \gamma)^2\}^{\xi/2}$ の数値に対応している。 $PER1(x, y, z; \phi; CON)$ は、ウエハWの表面FSに対するエッチングレート $[\mu m/min]$ の複数通りの予測分布の一例であり、下記のエッチングレート関数 $PER2(\phi, r, \theta; CON)$ も同様である。複数通りの $PER1(x, y, z; \phi; CON)$ 等の予測分布は、方法MTの実施前に予め取得される。各工程の回転処理において実現される複数の傾斜回転状態 $RT(\phi_i, t_i)$ のそれぞれによって得られるエッチングレート $[\mu m/min]$ は、予め取得された複数通りの予測分布 ($PER1(x, y, z; \phi; CON)$ 等) の何れかに対応している。

[0107] $PER1(x, y, z; \phi; CON)$ の x, y, z のそれぞれは、X軸の座標値 ($[mm]$ の単位の値)、Y軸の座標値 ($[mm]$ の単位の値)、Z軸の座標値 ($[mm]$ の単位の値) であり、 $PER1(x, y, z; \phi; CON)$ の α, β, γ のそれぞれは、X軸の座標値 ($[mm]$ の単位の値)、Y軸の座標値 ($[mm]$ の単位の値)、Z軸の座標値 ($[mm]$ の単位の値) である。 $PER1(x, y, z; \phi; CON)$ の ξ は、 $[\mu m/min]$ の次元の値であってエッチングレート $[\mu m/min]$ の値である。点 (α, β, γ) はプラズマ処理装置10のプラズマ源の側にある所定の基準点であるとみなされるので、この ξ は、当該基準点から点 (x, y, z) までの長さが単位長さである場合の処理容器12内の点 (x, y, z) におけるエッチングレート $[\mu m/min]$ とみなされる。 ξ は単位 (次元) を持たない値である。エッチング条件 CON は、エッチングに用いるガス種、エッチン

グ対象となるウエハW表面の膜の材料等、エッチングプロセスを実現する様々なパラメータによって特定され得るものである。エッチング条件CONは、工程ST2, ST5, ST7, ST92のそれぞれで異なるものであり得る。PER1(x, y, z; ϕ ; CON)等の予測分布は、傾斜角ANの値 ϕ [度]と処理容器12内で行われるエッチング条件CONとの組み合わせによって異なる。

[0108] 式1の $\xi / \{ (x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z - \gamma)^2 \}^{\xi/2}$ は、xや ξ 等が単位や次元を持つことによって所定の次元を持っているが、PER1(x, y, z; ϕ ; CON)は、 $\xi / \{ (x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z - \gamma)^2 \}^{\xi/2}$ の数値(次元を除いた数値)のみを値とする。

[0109] なお、PER1(x, y, z; ϕ ; CON)を、第2軸線AX2が傾斜角ANの値 ϕ [度]だけ傾斜した保持構造体18上のウエハWの表面FS(ϕ , r, θ)におけるエッチングレート関数PER2(ϕ , r, θ ; CON)に変換し、以後、このPER2(ϕ , r, θ ; CON)を用いるのが好適である。この変換は、PER1(x, y, z; ϕ ; CON)に対し、座標(x, y, z)から座標(ϕ , r, θ)への座標変換によってなされる。r, θ の組みは、図17に示すように、表面FSの中心CEを原点とした表面FSの極座標であり、表面FS上の点を表す。図17は、一実施形態に係るウエハWの表面FSを極座標で示す図である。rは表面FSの中心CEからの動径[mm]であり、 θ は鉛直基準面FA2からの偏角[度]である。表面FSの中心CEは、第2軸線AX2にあり、鉛直基準面FA2にある。また、PER2(ϕ , r, θ ; CON)には、PER1(x, y, z; ϕ ; CON)と同じパラメータ α , β , γ , ξ , ξ が含まれる。

[0110] 図19を参照すれば、保持構造体18が傾斜することによって、表面FSに対するエッチングレート[$\mu\text{m}/\text{min}$]の分布がウエハWの中心軸線(第2軸線AX2)を中心とした軸対称ではなくなり不均一なものとなるが、当該不均一性は、表面FSの偏角 θ 方向の回転による積分効果でエッチングレート[$\mu\text{m}/\text{min}$]の均一化が図られることによって、良好に解消され得

る。そこで、第2軸線AX2中心のウエハWの回転を想定し、 $PER2(\phi, r, \theta; CON)$ を θ で積分（積分範囲は $0 \sim 360$ [度]。）し、関数 $FA(\phi, r; CON)$ を得る。 $FA(\phi, r; CON)$ は、 $PER2(\phi, r, \theta; CON)$ を θ で積分（積分範囲は $0 \sim 360$ [度]。）した結果である。

[0111] $FA(\phi, r; CON)$ の一例を、図18に示す。図18は、一実施形態に係るエッチングレート関数の一例を示す図である。図18の横軸は、動径 r [mm]を表し、図18の縦軸は、第2軸線AX2の傾斜角ANの値 ϕ [度]を表している。図18に示す複数の曲線は、エッチングレート [$\mu m/min$]の等高線である。例えば、曲線CA1は、エッチングレートが 41 [$\mu m/min$]の等高線であり、曲線CA2は、エッチングレートが 40 [$\mu m/min$]の等高線である。図18に示す $FA(\phi, r; CON)$ では、 ϕ が 45 [度]程度の場合に、エッチングレート [$\mu m/min$]が r 方向に略均一となっている。

[0112] そして、工程ST2等のエッチング工程の各工程で実行される回転処理が複数の傾斜回転状態 $RT(\phi_i, t_i)$ から成る場合を想定し、複数の ϕ_i に対し $m(\phi_i) \times FA(\phi_i, r; CON)$ の和 $KA(r; CON)$ を算出し、 r 方向における $KA(r; CON)$ の変動ができるだけ小さい（或いは、所定の基準以下となる）一又は複数の ϕ_i と $m(\phi_i)$ とを特定する。 $m(\phi_i)$ は、傾斜回転状態 $RT(\phi_i, t_i)$ の処理時間 t_i [min]の値（すなわち、第2軸線AX2を ϕ_i だけ傾斜させた状態で第2軸線AX2中心の回転動作を行う時間）に対応したものであり、 $m(\phi_1) : m(\phi_2) : \dots : m(\phi_N) = t_1 : t_2 : \dots : t_N$ の比例関係を満たす。このように、複数の傾斜回転状態 $RT(\phi_i, t_i)$ それぞれの処理時間 t_i [min]は、予測分布（ $PER2(\phi, r, \theta; CON)$ 等）に付与される重み付け（ $m(\phi_i)$ ）によって表される。

[0113] 以上のようにして、エッチング工程の各工程の回転処理で用いられる ϕ_i および $m(\phi_i)$ が特定される。方法MTの実行前に予め取得された複数通りの予

測分布 ($FA(\phi_i, r; CON)$ 等) のなかからエッチング工程の各工程で行われるエッチングのエッチング条件 CON と同一のエッチング条件 CON の複数の予測分布 ($FA(\phi_i, r; CON)$ 等) と複数の予測分布それぞれの重み付けとを特定し、特定した複数の予測分布 ($FA(\phi_i, r; CON)$ 等) それぞれの傾斜角 AN の値 ϕ_i [度] と重み付け ($m(\phi_i)$) とを用いて工程 $ST2$ 等の各工程の回転処理で実現される複数の傾斜回転状態 $RT(\phi_i, t_i)$ を特定し、エッチング工程の各工程において、その特定した複数の傾斜回転状態 $RT(\phi_i, t_i)$ を実現する。

[0114] ここで、二つの傾斜回転状態 $RT(\phi_i, t_i)$ の合成について、エッチングレート [$\mu m/min$] を実際に測定した測定 $MK1 \sim$ 測定 $MK3$ の各結果を参照して検討する。測定 $MK1 \sim$ 測定 $MK3$ の何れにおいても、同一のエッチング条件 CON が用いられ、当該エッチング条件 CON には、 Ar プラズマを用いたエッチングである、という要素が含まれていた。そして、測定 $MK1$ では、傾斜回転状態 $RT(\phi = 30$ [度], $t = 1$ [min]) のみ が実現された。測定 $MK2$ では、傾斜回転状態 $RT(\phi = 70$ [度], $t = 1$ [min]) のみ が実現された。測定 $MK3$ では、傾斜回転状態 $RT(\phi_1 = 30$ [度], $t_1 = 0.5$ [min]) が実現された後に傾斜回転状態 $RT(\phi_2 = 70$ [度], $t_1 = 0.5$ [min]) が実現された。

[0115] 測定 $MK1 \sim$ 測定 $MK3$ のそれぞれにおいて、エッチングレートの平均値 [$\mu m/min$]、標準偏差 [$\mu m/min$]、変動値 [$\mu m/min$]、および、変動値/平均値 $\times 100$ [%] を算出した。平均値 [$\mu m/min$]、標準偏差 [$\mu m/min$]、変動値 [$\mu m/min$]、および、変動値/平均値 $\times 100$ [%] は、それぞれ、表面 FS の各点におけるエッチングレート [$\mu m/min$] の測定値によって得られる統計値である。なお、変動値 [$\mu m/min$] は、エッチングレート [$\mu m/min$] の測定値の最大値から当該測定値の最小値を差し引いた値である。

[0116] <測定 $MK1$ の統計値> 平均値 $= 26.4$ [$\mu m/min$]、標準偏差 $= 0.96$ [$\mu m/min$]、変動値 $= 3.82$ [$\mu m/min$]、変動値/

平均値 $\times 100 = 14.5$ [%]。

<測定MK2の統計値> 平均値 $= 20.7$ [$\mu\text{m}/\text{min}$]、標準偏差 $= 0.36$ [$\mu\text{m}/\text{min}$]、変動値 $= 1.60$ [$\mu\text{m}/\text{min}$]、変動値／平均値 $\times 100 = 7.76$ [%]。

<測定MK3の統計値> 平均値 $= 24.5$ [$\mu\text{m}/\text{min}$]、標準偏差 $= 0.44$ [$\mu\text{m}/\text{min}$]、変動値 $= 1.82$ [$\mu\text{m}/\text{min}$]、変動値／平均値 $\times 100 = 7.45$ [%]。

さらに、測定MK1の上記の各統計値の $1/2$ と、測定MK2の上記の各統計値の $1/2$ とを足し合わせたものを以下に示す。

<(測定MK1の統計値の $1/2$) + (測定MK2の統計値の $1/2$)>
平均値 $= 23.6$ [$\mu\text{m}/\text{min}$]、標準偏差 $= 0.31$ [$\mu\text{m}/\text{min}$]、変動値 $= 1.23$ [$\mu\text{m}/\text{min}$]、変動値／平均値 $\times 100 = 5.21$ [%]。

[0117] 上記の四つの場合の各統計値のうち、特に、「測定MK2の統計値」と、「(測定MK1の統計値の $1/2$) + (測定MK2の統計値の $1/2$)」とを比較すると、両者は概ね同様である（両者間の差異は例えば角度分解等に起因して生じるものであり得る。）。すなわち、二つの傾斜回転状態を実際に連続して実現した場合に得られるエッチングレート [$\mu\text{m}/\text{min}$] と、それぞれの傾斜回転状態を独立に実現して得られる二つのエッチングレート [$\mu\text{m}/\text{min}$] を算術によって足し合わせて得られるものとは、ほぼ同様と考えられる。従って、上記した複数の $m(\phi_i) \times FA(\phi_i, r; CON)$ の和 $K(r; CON)$ が、複数の傾斜回転状態 $RT(\phi_i, t_i)$ を実際に連続して実現して得られるエッチングレート [$\mu\text{m}/\text{min}$] の実測値に、好適に対応付けられ得ることがわかる。

[0118] なお、 ϕ_i および $m(\phi_i)$ の具体的な特定方法としては、例えば以下の方法が一例として考えられるが、これに限定されるものではない。すなわち、 $FA(\phi, r; CON)$ の r に対する変動 Δr が所定の基準以下となる一又は複数の ϕ_i を予め特定する。変動 Δr としては、例えば、 r 方向（動径方向）

における $FA(\phi, r; CON)$ の最大値から最小値を差し引いた値等とすることができる。さらに、このように特定した一又は複数の ϕ_i について $m(\phi_1) \times FA(\phi_1, r; CON) + \dots + m(\phi_N) \times FA(\phi_N, r; CON) = KA(r; COM)$ を算出し、この算出した $KA(r; CON)$ において r 方向の変動が最も小さくなるような m を特定する。このような方法を用いて ϕ_i および $m(\phi_i)$ の特定が可能であるが、これに限定されるものではない。

[0119] 以上のようにして、傾斜回転状態 $RT(\phi_i, t_i)$ の内容が特定される。さらに、上記の式1で用いられるパラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \zeta, \xi$ の特定方法について説明する。パラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \zeta, \xi$ は、エッチング工程の各工程におけるエッチング条件 CON と同一のエッチング条件 CON で行われたエッチングによるエッチングレート $[\mu m/min]$ の実測値によって、特定される。パラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \zeta, \xi$ の組み合わせは、エッチング条件 CON ごとに、且つ、第2軸線 $AX2$ の傾斜角 AN の値 ϕ [度] ごとに、異なる。パラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \zeta, \xi$ の各値は、当該パラメータを特定する上記実測値を得た場合に用いられた傾斜角 AN の値 ϕ [度] ごとに定められる。換言すれば、 $PER1(x, y, z; \phi; CON) = (\xi / \{(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z - \gamma)^2\}^{\xi/2})$ の数値) において、エッチング条件 CON と第2軸線 $AX2$ の傾斜角 AN の値 ϕ [度] とは、 $\alpha, \beta, \gamma, \zeta, \xi$ のそれぞれの値に反映される。

[0120] まず、方法 MT の実施前に予め、プラズマ処理装置10を用いた所定のエッチング条件（例えば、工程 $ST2$ のエッチング条件等）のもとで、第2軸線 $AX2$ の傾斜角 AN の値 ϕ [度] が少なくとも3通り（0, 30, 60 [度] 等）の状態のそれぞれにおいて、ウエハ W に対する処理容器12内におけるエッチングレート $[\mu m/min]$ を測定し、この測定結果に基づいてプラズマ処理装置10の処理容器12内におけるエッチングレート $[\mu m/min]$ の複数（ M 個）の実測値 $ER(x_k, y_k, z_k; \phi) [\mu m/min]$ （ k は1～ M の範囲内の自然数であり、エッチングレート $[\mu m/min]$ ）

の実測値のそれぞれを識別する符号である。Mは実測値の個数である。)を、当該実測に用いる第2軸線AX2の傾斜角ANの値 ϕ [度] (例えば0, 30, 60 [度] 等) ごとに、取得しておく。なお、値 ϕ [度] は、0～360 [度] の範囲内において、上記した3通りよりも多くてもよい。 x_k , y_k , z_k は、上記のようにしてエッチングレート [$\mu\text{m}/\text{min}$] の実測が行われる処理容器12内の点の座標であり、 x_k , y_k , z_k のそれぞれは、X軸の座標値 ([mm] の単位の値)、Y軸の座標値 ([mm] の単位の値)、Z軸の座標値 ([mm] の単位の値) である。エッチングレート [$\mu\text{m}/\text{min}$] の実測値 $ER(x_k, y_k, z_k; \phi)$ [$\mu\text{m}/\text{min}$] の個数Mは、当該実測に用いる第2軸線AX2の傾斜角ANの値 ϕ [度] ごとの値であって、パラメータ α , β , γ , ζ , ξ を十分に精度良く特定できるように必要となる個数である。

[0121] そして、当該実測に用いる第2軸線AX2の傾斜角ANの値 ϕ [度] ごとに、各k ($k=1\sim M$) につき、 $ER(x_k, y_k, z_k; \phi)$ [$\mu\text{m}/\text{min}$] の数値を上記の式1に代入し、パラメータ α , β , γ , ζ , ξ に関するM個の方程式、 $(ER(x_k, y_k, z_k; \phi) \text{ の数値}) = (\xi / \{ (x_k - \alpha)^2 + (y_k - \beta)^2 + (z_k - \gamma)^2 \}^{\xi/2})$ の数値)を得る。当該実測に用いる第2軸線AX2の傾斜角ANの値 ϕ [度] ごとに、これらM個の方程式からパラメータ α , β , γ , ζ , ξ が特定される。なお、上記したパラメータ α , β , γ , ζ , ξ の特定は、 $PER1(x, y, z; CON)$ ではなく、 $PER2(\phi, r, \theta; CON)$ を直接に用いて行われることができる。

[0122] 上記のようにして特定された $PER1(x, y, z; CON)$ に対応する $PER2(\phi, r, \theta; CON)$ の値と、実際に測定(測定ME1～測定ME6)されたエッチングレート [$\mu\text{m}/\text{min}$] とを比較した。具体的には、測定ME1～測定ME6のそれぞれで測定されたエッチングレート [$\mu\text{m}/\text{min}$] と、測定ME1～測定ME6のそれぞれにおいて用いられたエッチング条件CONおよび第2軸線AX2の傾斜角ANの値 ϕ [度] のもとで上記のようにしてそれぞれ特定された $PER2(\phi, r, \theta; CON)$ のそれ

ぞれの値（当該値が次元 $[\mu\text{m}/\text{min}]$ を有するものとみなす）との平均誤差 $[\mu\text{m}/\text{min}]$ を算出した。同一のエッチング条件 CON と同一の第 2 軸線 AX2 の傾斜角 AN の値 ϕ [度] とを用いて得られるエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ の実測値と PER2 ($\phi, r, \theta; \text{CON}$) の値とを、平均誤差 $[\mu\text{m}/\text{min}]$ の算出対象（比較対象）とした。測定 ME1 ～ 測定 ME6 のそれぞれにおいて用いられたエッチング条件 CON と第 2 軸線 AX2 の傾斜角 AN の値 ϕ [度] とは、測定 ME1 ～ 測定 ME6 のそれぞれで得られたエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ の比較対象となるそれぞれの PER2 ($\phi, r, \theta; \text{CON}$) のパラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \zeta, \xi$ に反映されている。以下、測定 ME1 ～ 測定 ME6 のそれぞれにおいて得られたエッチングレートの平均誤差 $[\mu\text{m}/\text{min}]$ を、以下に示す。なお、平均誤差 $[\mu\text{m}/\text{min}]$ とは、表面 FS 上で実際にエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ の測定を行った全ての測定点 P_j (j は測定点を識別する符号) において、エッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ の実測値と PER2 ($\phi, r, \theta; \text{CON}$) の値との差 Δ_j の絶対値を全て足し合わせた値を、測定点 P_j の個数で割った値である。

[0123] <測定 ME1>

エッチング条件 CON には、Ar プラズマを用いたエッチングであってエッチング対象が O_x ブランケットウエハである、という要素が含まれていた。第 2 軸線 AX2 の傾斜角 AN の値 $\phi = 0$ [度] であった。パラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \zeta, \xi$ については、 $\alpha = 0$ [mm]、 $\beta = 0$ [mm]、 $\gamma = 400.8$ [mm]、 $\zeta = 8.98 \times 10^9$ $[\mu\text{m}/\text{min}]$ 、 $\xi = 3.21$ であった。そして、エッチングレートの平均誤差 $[\mu\text{m}/\text{min}]$ は、 0.279 $[\mu\text{m}/\text{min}]$ であった。

[0124] <測定 ME2>

エッチング条件 CON には、Ar プラズマを用いたエッチングであってエッチング対象が O_x ブランケットウエハである、という要素が含まれていた。第 2 軸線 AX2 の傾斜角 AN の値 $\phi = 30$ [度] であった。パラメータ $\alpha,$

β , γ , ζ , ξ については、 $\alpha = 0$ [mm]、 $\beta = -106.8$ [mm]、 $\gamma = 416.1$ [mm]、 $\zeta = 8.98 \times 10^9$ [$\mu\text{m}/\text{min}$]、 $\xi = 3.21$ であった。そして、エッチングレートの平均誤差 [$\mu\text{m}/\text{min}$] は、 0.480 [$\mu\text{m}/\text{min}$] であった。

[0125] <測定ME3>

エッチング条件CONには、Arプラズマを用いたエッチングであってエッチング対象がOxブランケットウエハである、という要素が含まれていた。第2軸線AX2の傾斜角ANの値 $\phi = 60$ [度] であった。パラメータ α , β , γ , ζ , ξ については、 $\alpha = 0$ [mm]、 $\beta = -197.2$ [mm]、 $\gamma = 405.5$ [mm]、 $\zeta = 8.98 \times 10^9$ [$\mu\text{m}/\text{min}$]、 $\xi = 3.21$ であった。そして、エッチングレートの平均誤差 [$\mu\text{m}/\text{min}$] は、 0.725 [$\mu\text{m}/\text{min}$] であった。

[0126] <測定ME4>

エッチング条件CONには、O₂プラズマを用いたエッチングであってエッチング対象がKrFブランケットウエハである、という要素が含まれていた。第2軸線AX2の傾斜角ANの値 $\phi = 0$ [度] であった。パラメータ α , β , γ , ζ , ξ については、 $\alpha = 0$ [mm]、 $\beta = 0$ [mm]、 $\gamma = 379.4$ [mm]、 $\zeta = 2.46 \times 10^8$ [$\mu\text{m}/\text{min}$]、 $\xi = 2.31$ であった。そして、エッチングレートの平均誤差 [$\mu\text{m}/\text{min}$] は、 2.48 [$\mu\text{m}/\text{min}$] であった。

[0127] <測定ME5>

エッチング条件CONには、O₂プラズマを用いたエッチングであってエッチング対象がKrFブランケットウエハである、という要素が含まれていた。第2軸線AX2の傾斜角ANの値 $\phi = 30$ [度] であった。パラメータ α , β , γ , ζ , ξ については、 $\alpha = 0$ [mm]、 $\beta = -71.0$ [mm]、 $\gamma = 383.5$ [mm]、 $\zeta = 2.46 \times 10^8$ [$\mu\text{m}/\text{min}$]、 $\xi = 2.31$ であった。そして、エッチングレートの平均誤差 [$\mu\text{m}/\text{min}$] は、 1.70 [$\mu\text{m}/\text{min}$] であった。

[0128] <測定ME6>

エッチング条件CONには、 O_2 プラズマを用いたエッチングであってエッチング対象がKrFブランケットウエハである、という要素が含まれていた。第2軸線AX2の傾斜角ANの値 $\phi = 60$ [度]であった。パラメータ α , β , γ , ζ , ξ については、 $\alpha = 0$ [mm]、 $\beta = -133.0$ [mm]、 $\gamma = 390.6$ [mm]、 $\zeta = 2.46 \times 10^8$ [$\mu\text{m}/\text{min}$]、 $\xi = 2.31$ であった。そして、エッチングレートの平均誤差 [$\mu\text{m}/\text{min}$] は、 3.61 [$\mu\text{m}/\text{min}$] であった。

[0129] 以上のことから、方法MTでは、エッチングの実行中に、ウエハWの傾斜角ANの値 ϕ [度] および処理時間 t [min] が異なる複数の傾斜回転状態RT (ϕ_i , t_i) を組み合わせて実現できるので、組み合わせを調整することによって、ウエハWに対するエッチングレートの均一化が十分に向上できる。

[0130] また、処理容器12においては、ウエハWの中心軸線である第2軸線AX2が傾斜していない状態でエッチングレートの分布が処理容器12の軸線PXを中心とした軸対称の分布となっているので、第2軸線AX2を軸線PXに対して好適に傾斜させることによって、エッチングレートの分布の中心をウエハWの表面FS上で移動させ軸対称を解消させて、エッチングレートの分布を、当該分布の等高線の間隔を含めて、精度良く調整できる。そして、軸対称が解消されたエッチングレートの分布がこのように実現されることによって、第2軸線AX2を中心としたウエハWの回転でエッチングレートの分布の高低差が十分に解消され、エッチングレートの均一化が向上される。

[0131] また、予め取得したエッチングレートの予測分布を用いて、工程ST2等のエッチング工程で実現される複数の傾斜回転状態RT (ϕ_i , t_i) が特定されるので、実際に実現されるエッチングレートの分布の均一化が効果的に実現可能となる。

[0132] また、エッチングレートの予測分布が、処理容器12内の点ごとに座標値を用いて精密に表されるので、当該予測分布を用いれば、傾斜回転状態RT (

ϕ_i, t_i) などの傾斜角 AN の値 ϕ_i [度] および処理時間 t_i の特定が精度良く行える。

[0133] また、エッチングレートの予測分布に含まれるパラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \zeta, \xi$ の各値が傾斜角 AN の値 ϕ [度] に応じた値ごとに定められるので、予測分布を特定すれば、当該予測分布に対応するエッチングレートを実現する傾斜角 AN の値 ϕ [度] の特定が容易となる。

[0134] また、傾斜角 AN の値 ϕ [度] に加えて、さらに、ウエハ W の中心軸線である第2軸線 $AX2$ と処理容器 12 の軸線 PX との交差点 XO の位置に応じた予測分布を用いることができるので、工程 $ST2$ 等のエッチング工程で用いる好適な傾斜角 AN の値 ϕ_i [度] および処理時間 t_i をより詳細に特定できる。

[0135] 以上、好適な実施の形態において本発明の原理を図示し説明してきたが、本発明は、そのような原理から逸脱することなく配置および詳細において変更され得ることは、当業者によって認識される。本発明は、本実施の形態に開示された特定の構成に限定されるものではない。したがって、特許請求の範囲およびその精神の範囲から来る全ての修正および変更に権利を請求する。

[0136] (変形例1) 例えば、傾斜軸部 50 (第1軸線 $AX1$) を軸線 PX に沿って移動させる場合 (換言すれば、第2軸線 $AX2$ (ウエハ W の中心軸線) と軸線 PX 線 (処理容器 12 の基準軸線) との交差点 XO の位置を軸線 PX 線に沿って移動させる場合) を考慮すると、 $PER1(x, y, z; \phi; CON)$ 等のエッチングレート [$\mu m/min$] の予測分布は、傾斜角 AN の値 ϕ [度] と処理容器 12 内で行われるエッチングのエッチング条件 CON と共に、更に、第1軸線 $AX1$ と軸線 PX との交差点 XO の軸線 PX 上の位置 (具体的には、例えば交差点 XO と水平基準面 $FA1$ との間の距離 L) との組み合わせによって異なる。この場合、パラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \zeta, \xi$ の各値は、当該パラメータを特定するために用いられる実測値を得た場合の状態、具体的には、傾斜角 AN の値 ϕ [度] と交差点 XO の軸線 PX 上の位置に応じた値 (例えば上記の距離 L) ごとに定められる。

[0137] 変形例 1 の構成によって奏される効果を説明する。変形例 1 の場合における $FA(\phi, r; CON)$ の一例を、図 21 の (a) 部、(b) 部、(c) 部、および (d) 部に示す。図 21 の (a) 部～(d) 部は、一実施形態の変形例 1 に係るエッチングレート関数 ($FA(\phi, r; CON)$) の一例を示す図である。図 21 の (a) 部～(d) 部のそれぞれの横軸は、動径 r [mm] (r はウエハ W の表面 FS の中心 CE からの動径) を表し、図 21 の (a) 部～(d) 部のそれぞれの縦軸は、第 2 軸線 AX2 の傾斜角 AN の値 ϕ [度] を表している。図 21 の (a) 部～(d) 部のそれぞれに示す複数の曲線は、エッチングレート [$\mu\text{m}/\text{min}$] の等高線 ($FA(\phi, r; CON)$) に対応しており、以下同様。) である。

[0138] 図 21 の (a) 部は、第 2 軸線 AX2 が軸線 PX に一致する状態 (傾斜角 AN の値 $\phi = 0$ [度] の状態であり、以下同様。) において、静電チャック 32 の上面 32a から誘電体板 194 の表面までの距離が所定の基準位置 (図 18 に示す結果が得られる場合の当該距離 (静電チャック 32 の上面 32a から誘電体板 194 の表面までの距離) であり、以下同様。) から -50 [mm] となっている場合に変形例 1 の構成によって得られるエッチングレート [$\mu\text{m}/\text{min}$] の等高線である。図 21 の (b) 部は、第 2 軸線 AX2 が軸線 PX に一致する状態において、静電チャック 32 の上面 32a から誘電体板 194 の表面までの距離が基準位置から -20 [mm] となっている場合に変形例 1 の構成によって得られるエッチングレート [$\mu\text{m}/\text{min}$] の等高線である。図 21 の (c) 部は、第 2 軸線 AX2 が軸線 PX に一致する状態において、静電チャック 32 の上面 32a から誘電体板 194 の表面までの距離が基準位置から $+20$ [mm] となっている場合に変形例 1 の構成によって得られるエッチングレート [$\mu\text{m}/\text{min}$] の等高線である。図 21 の (d) 部は、第 2 軸線 AX2 が軸線 PX に一致する状態において、静電チャック 32 の上面 32a から誘電体板 194 の表面までの距離が基準位置から $+50$ [mm] となっている場合に変形例 1 の構成によって得られるエッチングレート [$\mu\text{m}/\text{min}$] の等高線である。

[0139] 図21の(a)部～(d)部に示すように、変形例1の構成のもとで、第1軸線AX1(傾斜軸部50の中心軸線)が軸線PX(処理容器12の基準軸線)に沿って移動する(上下する)場合、エッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ の等高線は、図18に示す等高線と形は概ね同じであるが、等高線の値が変化する。すなわち、第2軸線AX2が軸線PXに一致する状態において静電チャック32の上面32aから誘電体板194の表面までの距離が短い(静電チャック32が誘電体板194に近い)ほど、エッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ は増加する。このように、変形例1の構成を用いれば、エッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ の等高線の形を変更させることなくエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ を増加させることができる。

[0140] (変形例2) 保持構造体18は、静電チャック32、下部電極34、および回転軸部36が第2軸線AX2に沿って移動可能となる構成を有し得る。この構成において静電チャック32の上面32a(ウエハWを保持する面)を第2軸線AX2(ウエハWの中心軸線)に沿って移動させる場合(換言すれば、静電チャック32の上面32aと第2軸線AX2との交差点XPの位置を上面32aの向きを維持しつつ第2軸線AX2に沿って移動させる場合)を考慮すると、PER1($x, y, z; \phi; \text{CON}$)等のエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ の予測分布は、傾斜角ANの値 ϕ [度]と処理容器12内で行われるエッチングのエッチング条件CONと共に、更に、静電チャック32の上面32aと第2軸線AX2との交差点XPの第2軸線AX2上の位置との組み合わせによって異なる。この場合、パラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \zeta, \xi$ の各値は、当該パラメータを特定するために用いられる実測値を得た場合の状態、具体的には、傾斜角ANの値 ϕ [度]と、静電チャック32の上面32aと第2軸線AX2との交差点XPの第2軸線AX2上の位置に応じた値ごとに定められる。なお、変形例1の構成と変形例2の構成とが同時に用いられる構成も可能である。

[0141] 変形例2の構成によって奏される効果を説明する。変形例2の場合におけるFA($\phi, r; \text{CON}$)の一例を、図22の(a)部、および(b)部に示

す。図22の(a)部および(b)部は、一実施形態の変形例2に係るエッチングレート関数($FA(\phi, r; CON)$)の一例を示す図である。図22の(a)部および(b)部のそれぞれの横軸は、動径 r [mm] (r はウエハWの表面FSの中心CEからの動径)を表し、図22の(a)部および(b)部のそれぞれの縦軸は、第2軸線AX2の傾斜角ANの値 ϕ [度]を表している。図22の(a)部および(b)部のそれぞれに示す複数の曲線は、エッチングレート [$\mu m/min$] の等高線である。

[0142] 図22の(a)部は、第2軸線AX2が軸線PXに一致する状態において、静電チャック32の上面32aから誘電体板194の表面までの距離が基準位置から+20 [mm] となっている場合に変形例2の構成によって得られるエッチングレート [$\mu m/min$] の等高線である。図22の(b)部は、第2軸線AX2が軸線PXに一致する状態において、静電チャック32の上面32aから誘電体板194の表面までの距離が基準位置から+50 [mm] となっている場合に変形例2の構成によって得られるエッチングレート [$\mu m/min$] の等高線である。

[0143] 図22の(a)部および(b)部に示すように、変形例2の構成のもとで、静電チャック32の上面32aと第2軸線AX2との交差点XPの位置を上面32aの向きを維持しつつ第2軸線AX2に沿って移動させる(上下させる)場合には、エッチングレート [$\mu m/min$] の等高線は、図18に示すものと形および値が共に異なる。このようなエッチングレート [$\mu m/min$] の等高線が得られる原因は、変形例2の構成のもとで第1軸線AX1(傾斜軸部50の中心軸線)から静電チャック32までの距離(ウエハWまでの距離)を増加させて、傾斜角ANの値 ϕ [度]を増加させれば、静電チャック32が処理容器12の内壁面により近づくこととなり、静電チャック32上のウエハWが内壁面側におけるプラズマ密度の影響を受けることによるためである、と考えられる。

[0144] また、図22の(a)部に示すエッチングレート [$\mu m/min$] において動径 r [mm] が70 [mm] 程度の場合、または、図22の(b)部に示

すエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ において動径 $r [\text{mm}]$ が $120 [\text{mm}]$ 程度の場合には、傾斜角 AN の値 ϕ [度] を変化させてもエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ の変化は比較的に少ない。このような動径 $r [\text{mm}]$ の値（具体的には、上記したように、図 22 の（a）部に示す場合には $70 [\text{mm}]$ 程度であり、図 22 の（b）部に示す場合には $120 [\text{mm}]$ 程度）におけるエッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ は、複数の傾斜回転状態 RT (ϕ_i, t_i) を順次行う場合において、エッチングレート $[\mu\text{m}/\text{min}]$ の基準値として用いられ得る。

符号の説明

[0145] 10…プラズマ処理装置、12…処理容器、12a…中間部分、12b…接続部、12e…排気口、14…ガス供給系、140…高周波アンテナ、142A…内側アンテナ素子、142B…外側アンテナ素子、144…挟持体、14a…第1のガス供給部、14b…第2のガス供給部、14e, 14f…ガス吐出孔、150A, 150B…高周波電源、16…プラズマ源、160…シールド部材、162A…内側シールド壁、162B…外側シールド壁、164A…内側シールド板、164B…外側シールド板、18…保持構造体、194…誘電体板、20…排気系、20a…自動圧力制御器、20b…ターボ分子ポンプ、20c…ドライポンプ、20d, 20e…バルブ、22…バイアス電力供給部、22a…第1電源、22b…第2電源、24…駆動装置、26…整流部材、26a…上部、26b…下部、30…保持部、32…静電チャック、32a…上面、34…下部電極、34a, 35a…第1部分、34b, 35b…第2部分、34f…冷媒流路、35…絶縁部材、36…回転軸部、36a…柱状部、36b…第1筒状部、36c…第2筒状部、36d…第3筒状部、37…第1部材、38…第2部材、39a, 39b, 39c…封止部材、40…容器部、42…上側容器部、44…外側容器部、50…傾斜軸部、52…磁性流体シール部、52a…内輪部、52b…外輪部、52c…磁性流体、53, 55…軸受、54…ロータリーコネクタ、60, 64…配線、62…電源、66, 72, 74…配管、68…伝熱ガスのソ

ース、70…回転継手、76…チラーユニット、78…回転モータ、80…プーリ、82…伝導ベルト、AN…傾斜角、AX1…第1軸線、AX2…第2軸線、CA1, CA2, PL, PM1, PM2, PM3, PM4…曲線、CE…中心、Cnt…制御部、DL, UA…方向、DP1, DP2, DP3, DP4…堆積物、FA1…水平基準面、FA2…鉛直基準面、FS…表面、IL…絶縁膜、L1…下地層、L11…下部電極層、L12…反強磁性層、L13…強磁性層、L14…非磁性層、L2…下部磁性層、L21…第1層、L22…第2層、L3…絶縁層、L4…上部磁性層、MSK…マスク、MT…方法、OR…原点、PX…軸線、S…空間、TC…1周期、TH, TL…期間、W…ウエハ、XO…交差点、XP…交差点。

請求の範囲

【請求項1】 プラズマ処理装置を用いて被処理体をエッチングする方法であって

前記プラズマ処理装置は、前記被処理体を保持する保持構造体と該保持構造体を収容する処理容器とを備え、

該方法は、前記処理容器内で発生させたプラズマによって前記被処理体をエッチングする工程であって、該エッチングの実行中に、該被処理体を保持した前記保持構造体を傾斜且つ回転させる処理を行う該工程を備え、

前記処理は、前記被処理体を保持した前記保持構造体に対し複数通りの傾斜回転状態を順次実現し、

前記傾斜回転状態は、前記被処理体の中心軸線を該中心軸線と同一面内にある前記処理容器の基準軸線に対し傾斜させた状態を保持しつつ、前記中心軸線を中心に所定の処理時間にわたって前記被処理体を回転させている状態であり、

前記複数通りの傾斜回転状態において、前記基準軸線に対する前記中心軸線の傾斜角の値と前記処理時間との組み合わせは、互いに異なっている、

方法。

[請求項2] 前記処理容器では、前記中心軸線が前記基準軸線に対し傾斜していない状態において、前記被処理体の表面に対するエッチングレートが該基準軸線を中心とした軸対称の分布で実現され、且つ、該エッチングレートの該分布が該表面において該基準軸線の位置で最も高くなっている、

請求項 1 に記載の方法。

【請求項3】 前記被処理体の表面に対するエッチングレートの数通りの予測分布を、前記工程の実施の前に予め取得し、

前記予測分布は、前記傾斜角の前記値と前記処理容器内で行われる

エッチングの条件との組み合わせによって異なり、

前記複数通りの傾斜回転状態それぞれによって得られるエッチングレートは、前記複数通りの予測分布の何れかに対応しており、

前記複数通りの傾斜回転状態それぞれの前記処理時間は、前記予測分布に付与される重み付けによって表され、

前記工程の前に前記複数通りの予測分布のなかから該工程で行われるエッチングの条件と同一の条件の複数の該予測分布と該複数の予測分布それぞれの重み付けとを特定し、特定した該複数の予測分布それぞれの前記傾斜角の前記値と該重み付けとを用いて前記複数通りの傾斜回転状態を特定し、該工程において、その特定した該複数通りの傾斜回転状態を実現する、

請求項 1 または請求項 2 に記載の方法。

[請求項 4]

前記予測分布は、前記処理容器内の点の座標 (x, y, z) の関数でありパラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \zeta, \xi$ を含む $\xi / \{ (x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z - \gamma)^2 \}^{\xi/2}$ を前記中心軸線を中心にして積分して得られる数値に対応しており、

x, y, z は、前記処理容器内の点を、該処理容器に設定された XYZ 直交座標系の X 軸、Y 軸、Z 軸のそれぞれの座標で表したものであり、

α, β, γ は、前記プラズマ処理装置のプラズマ源の側にある所定の基準点を、前記 X 軸、前記 Y 軸、前記 Z 軸のそれぞれの座標で表したものであり、

ζ は、前記基準点から点 (x, y, z) までの長さが単位長さである場合の前記処理容器内の点 (x, y, z) におけるエッチングレートであり、

前記パラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \zeta, \xi$ は、前記工程における前記エッチングの条件と同一の条件で行われるエッチングによるエッチングレートの実測値によって特定される、

請求項 3 に記載の方法。

[請求項5] 前記パラメータ α , β , γ , ζ , ξ の各値は、前記傾斜角の前記値に応じた値ごとに定められる、

請求項 4 に記載の方法。

[請求項6] 前記処理容器では、前記中心軸線と前記基準軸線との交差点の位置を該基準軸線に沿って移動させることができ、

前記予測分布は、前記傾斜角の前記値と前記処理容器内で行われるエッチングの条件と共に、更に、前記交差点の前記位置との組み合わせによって異なり、

前記パラメータ α , β , γ , ζ , ξ の各値は、前記傾斜角の前記値および前記交差点の前記位置に応じた値ごとに定められる、

請求項 5 に記載の方法。

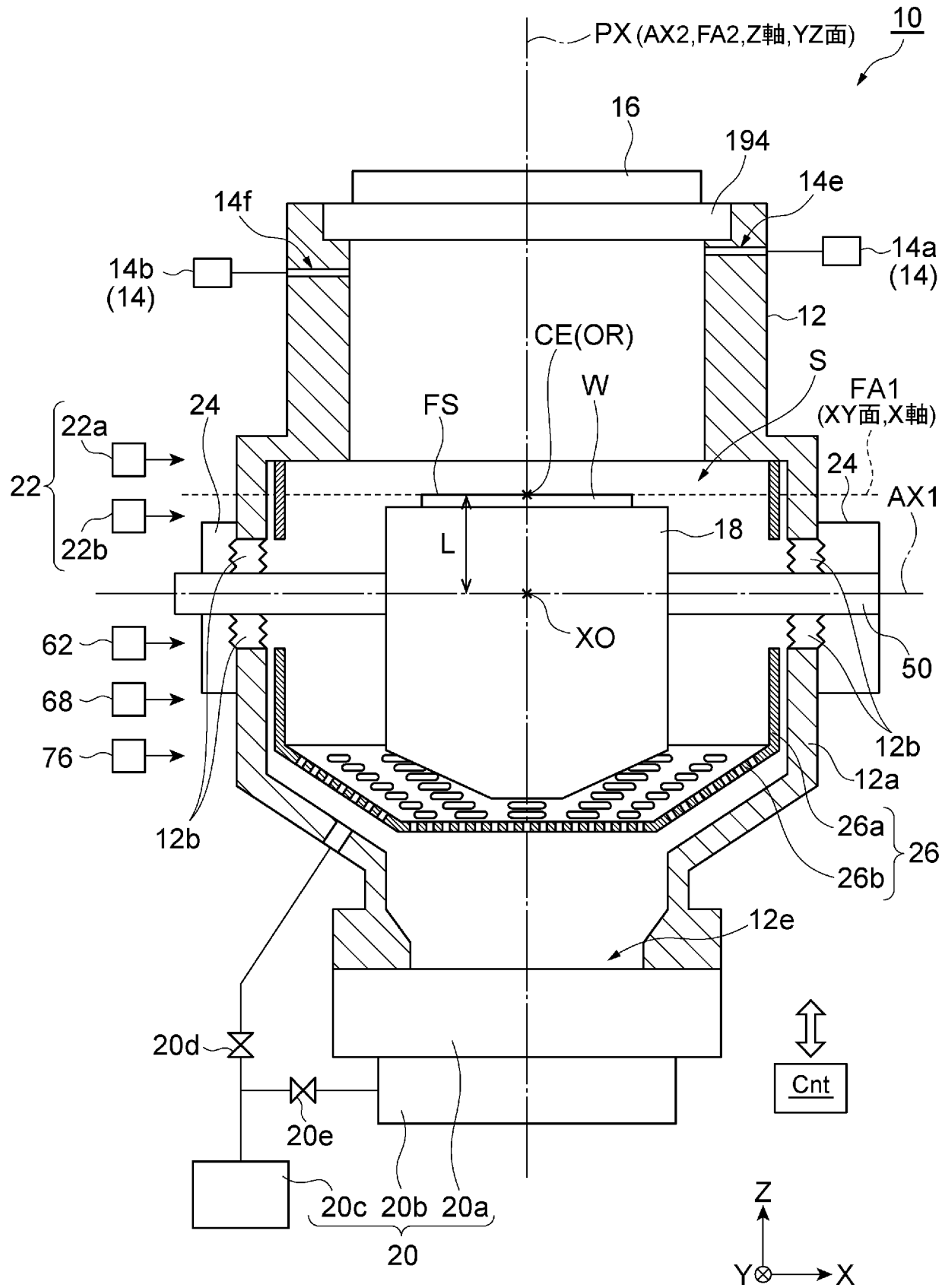
[請求項7] 前記処理容器では、前記保持構造体に含まれ前記被処理体を保持する静電チャックの上面と前記中心軸線との交差点の位置を該上面の向きを維持しつつ該中心軸線に沿って移動させることができ、

前記予測分布は、前記傾斜角の前記値と前記処理容器内で行われるエッチングの条件と共に、更に、前記交差点の前記位置との組み合わせによって異なり、

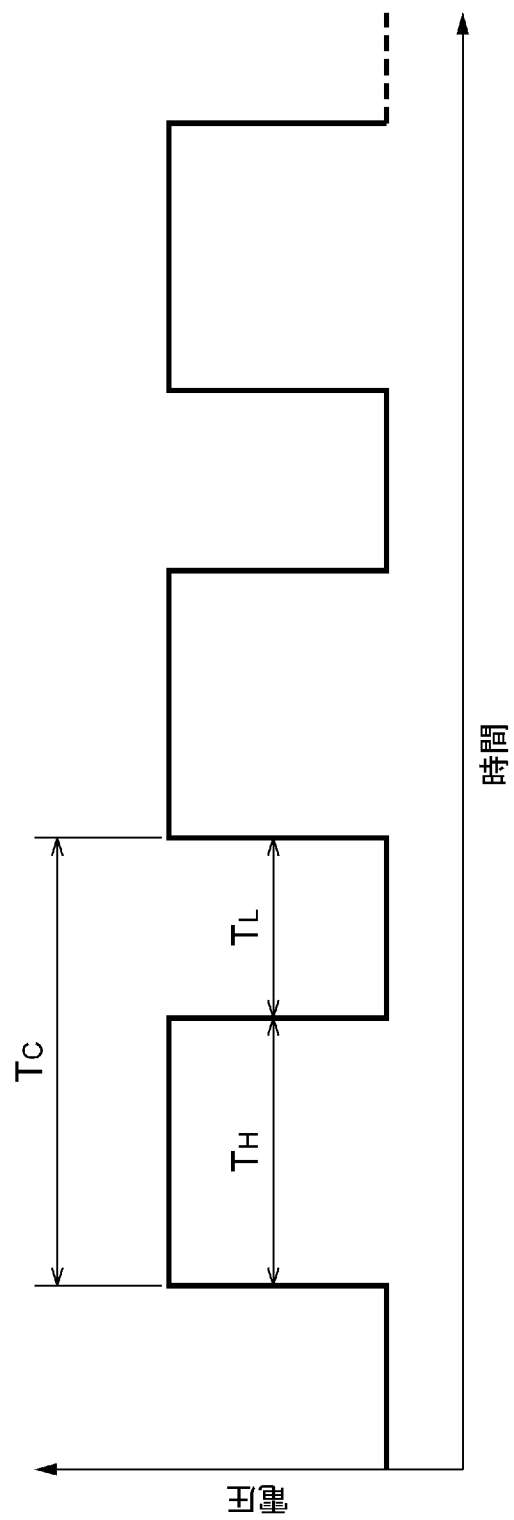
前記パラメータ α , β , γ , ζ , ξ の各値は、前記傾斜角の前記値および前記交差点の前記位置に応じた値ごとに定められる、

請求項 5 に記載の方法。

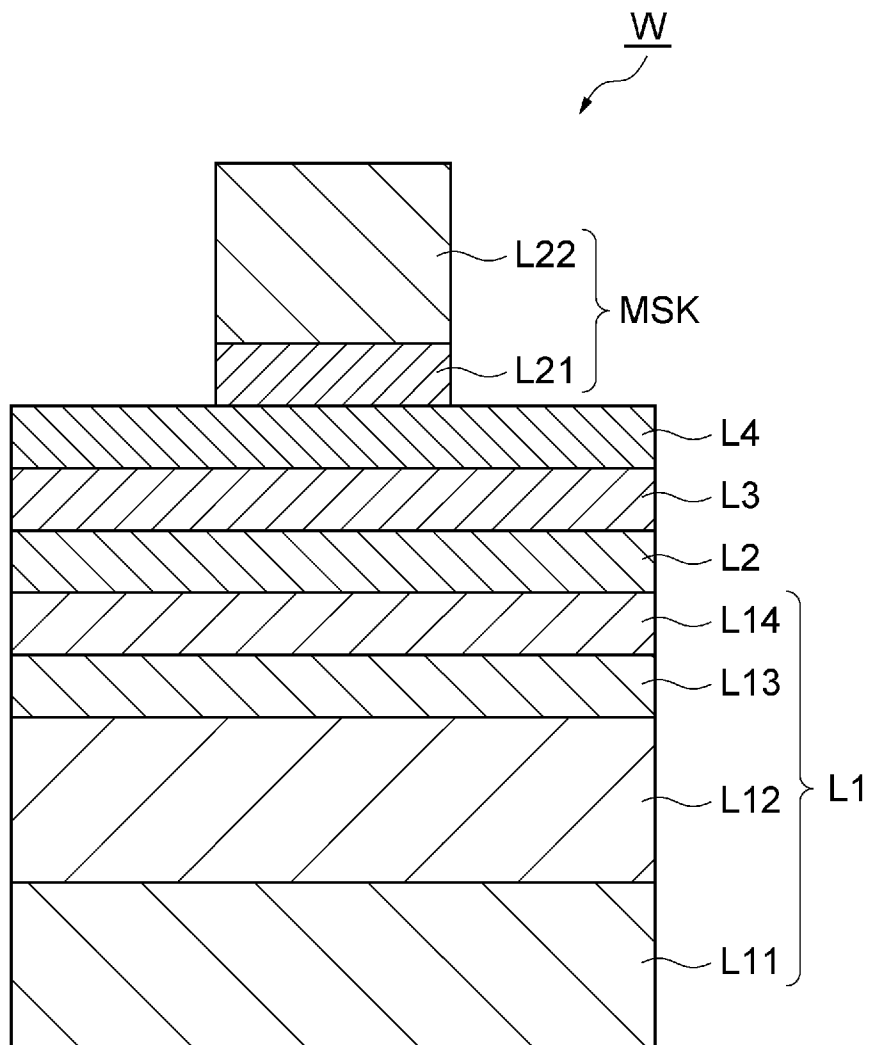
[図1]



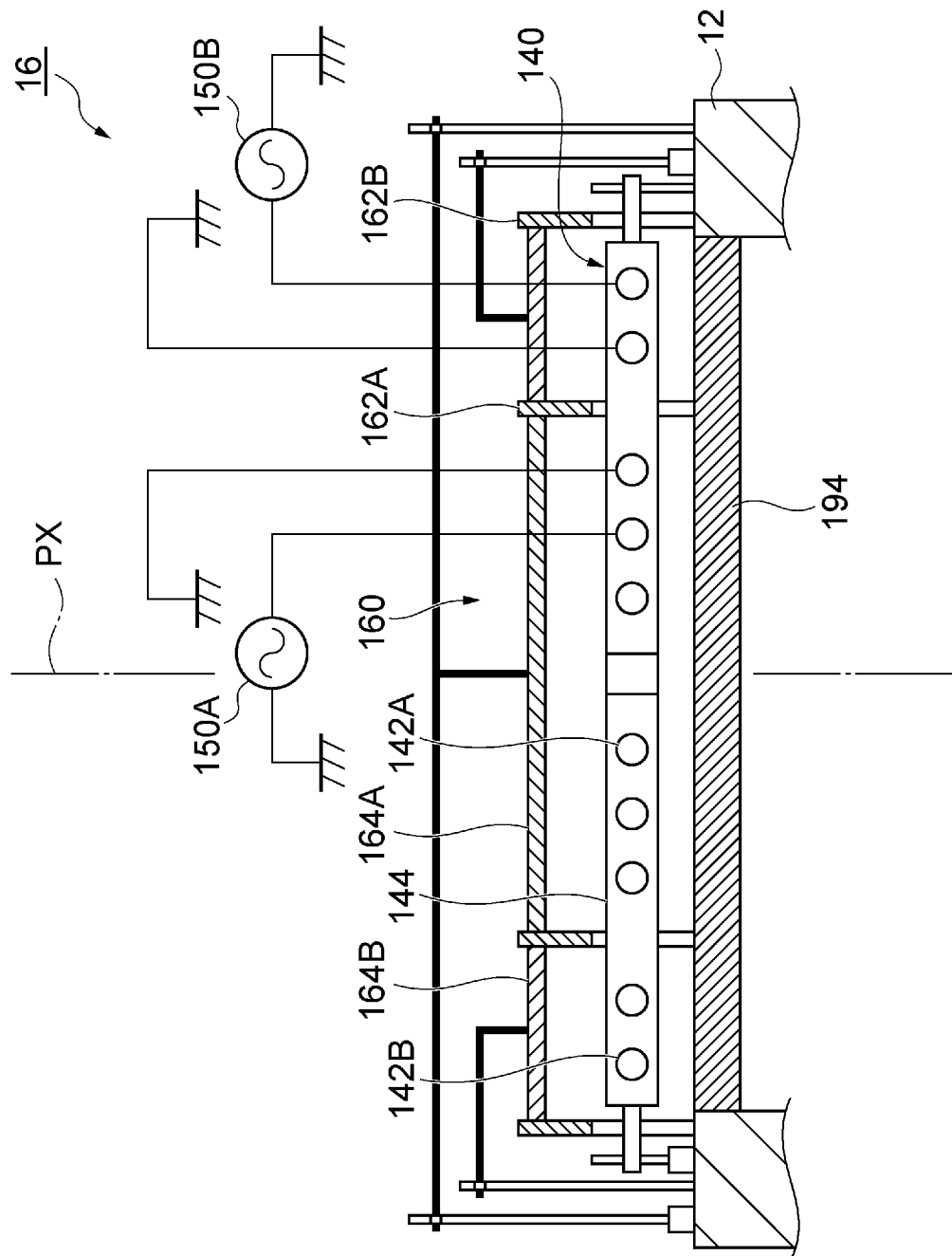
[図3]



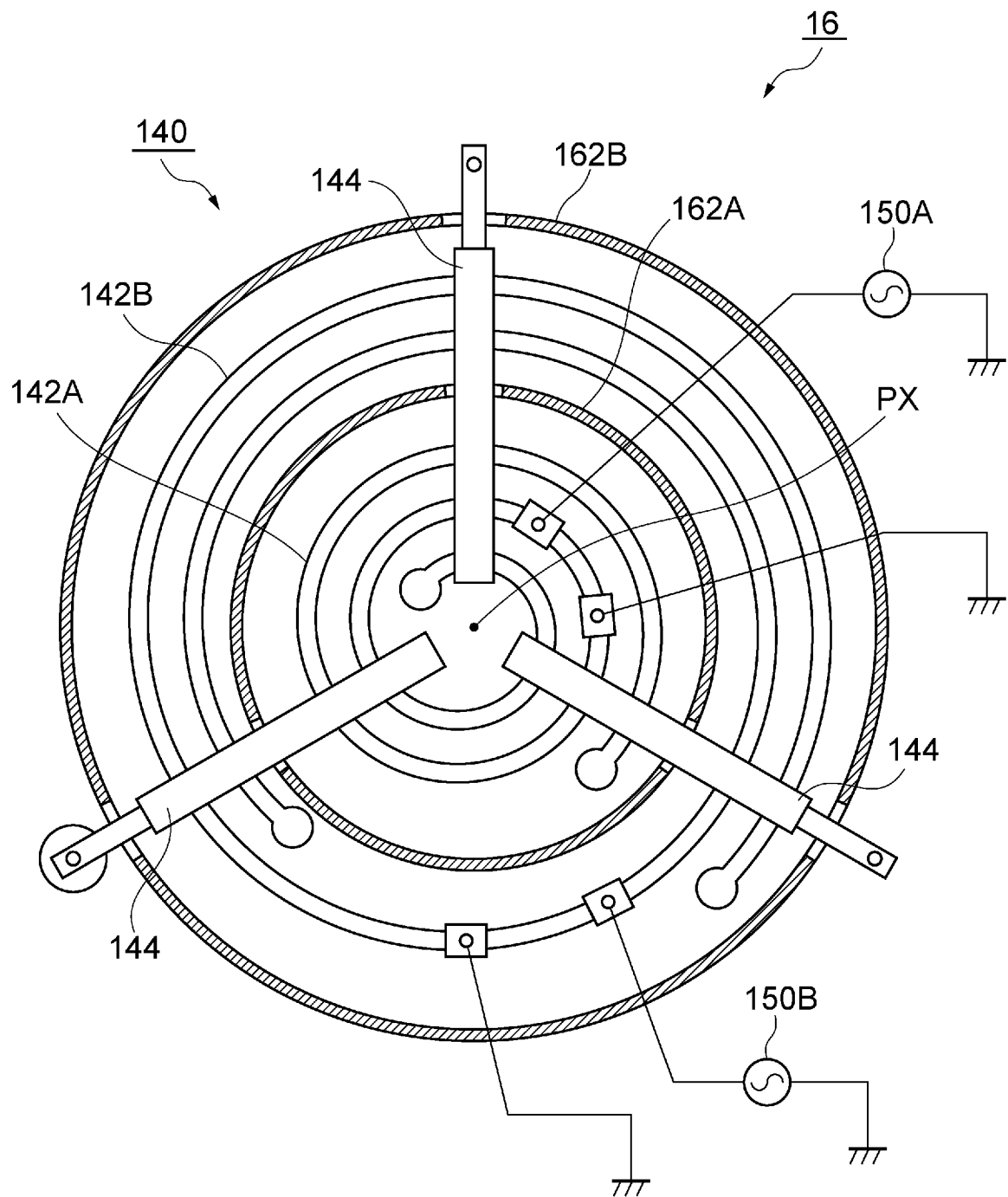
[図4]



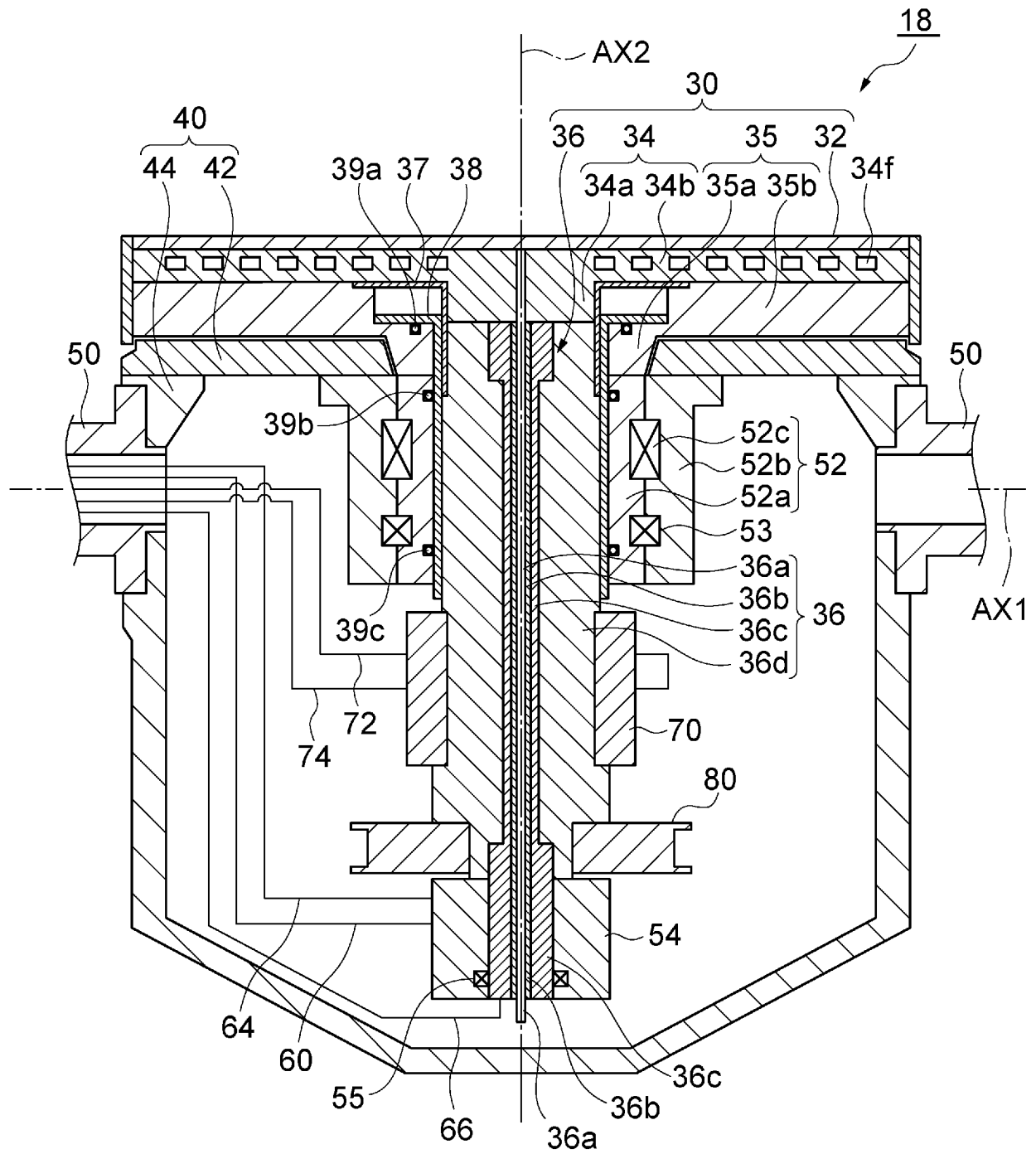
[図5]



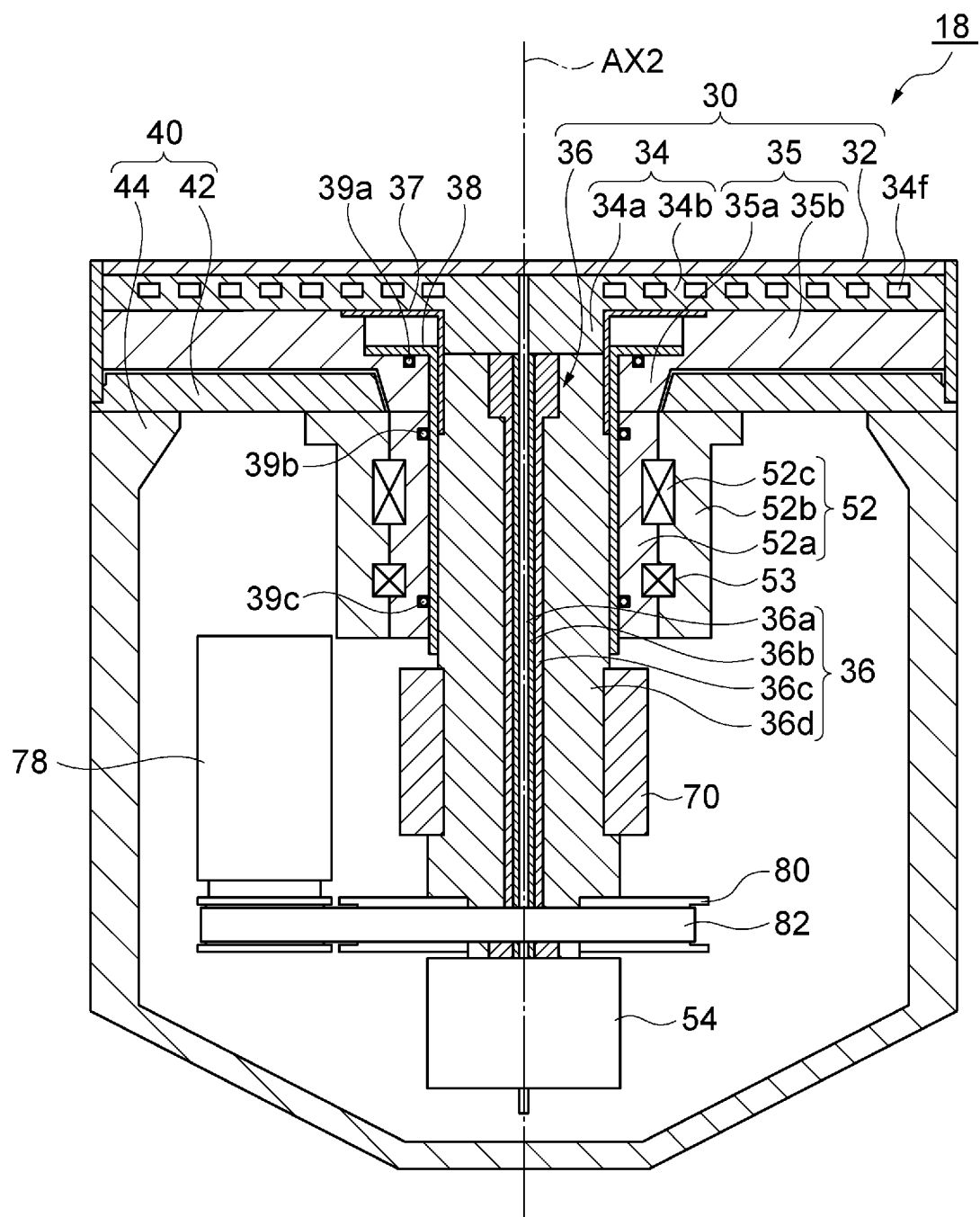
[図6]



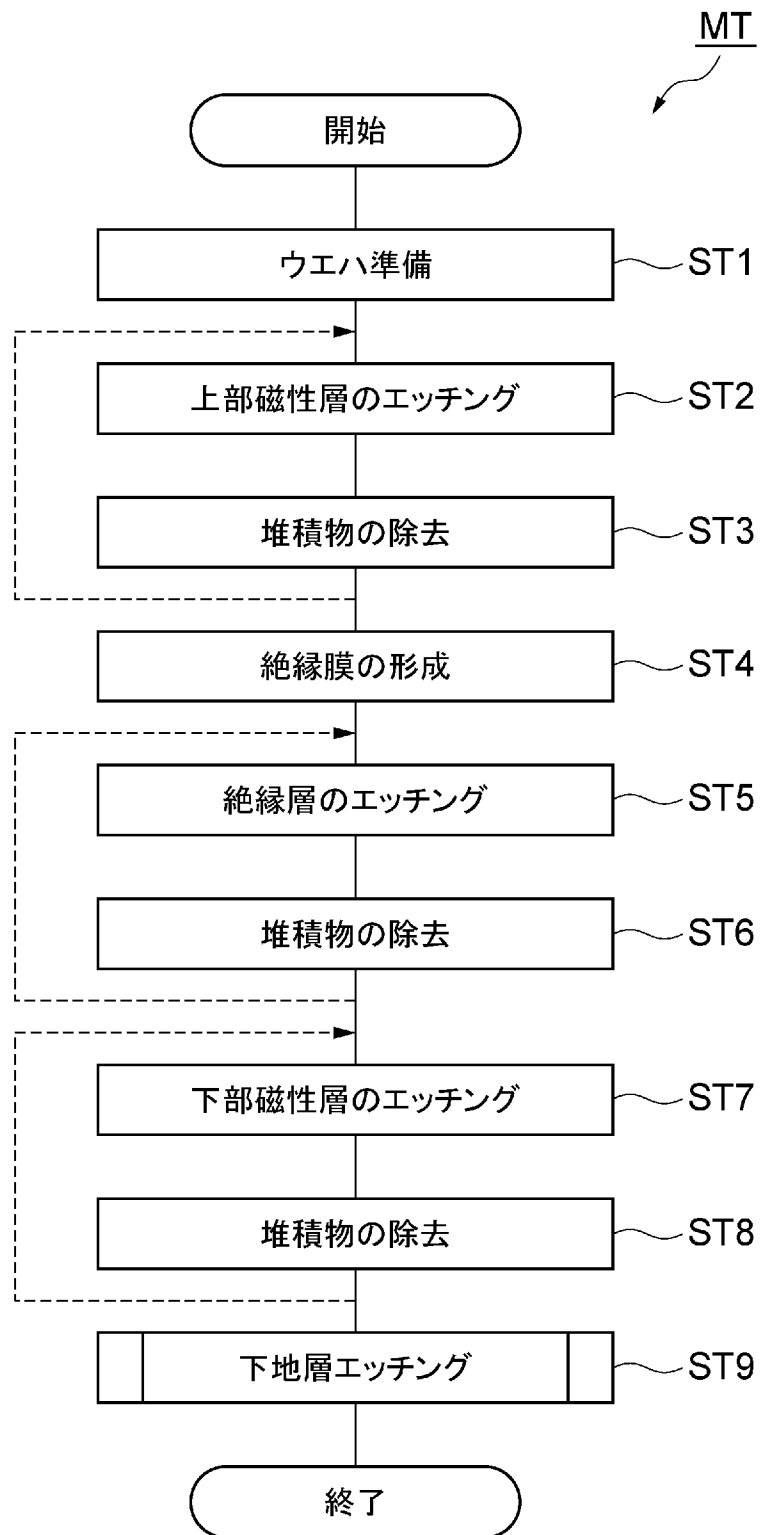
[図7]



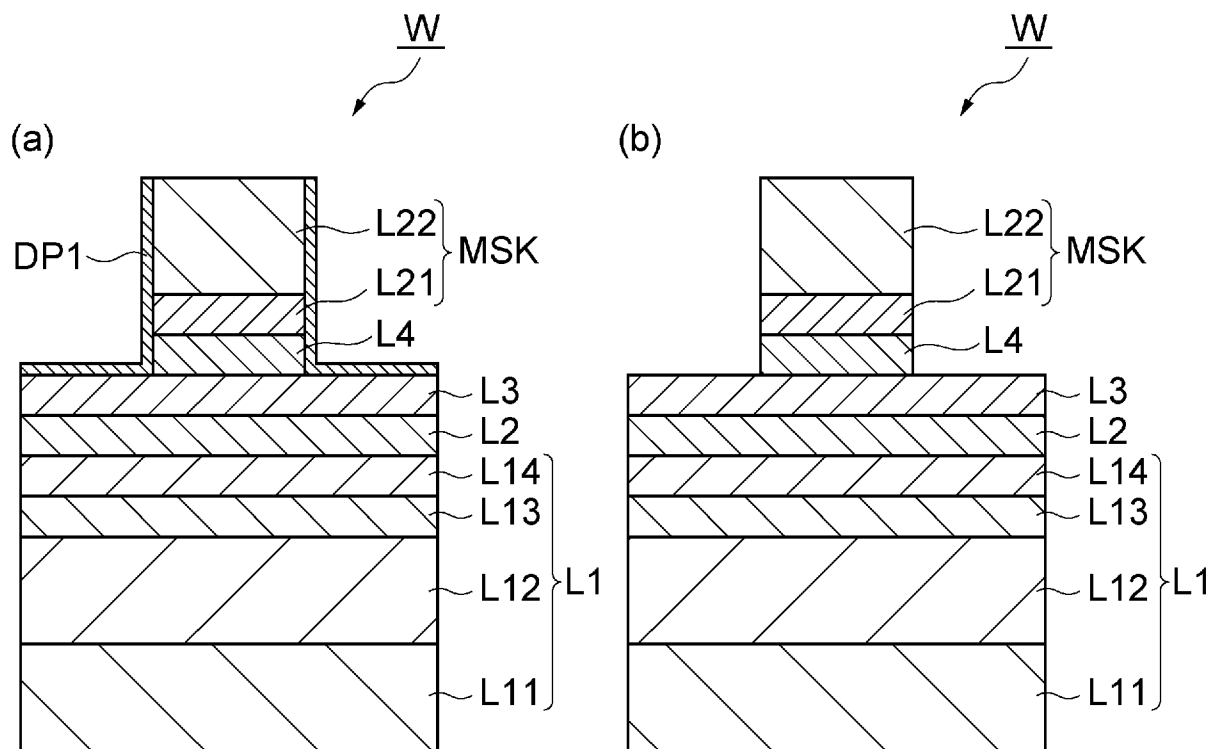
[図8]



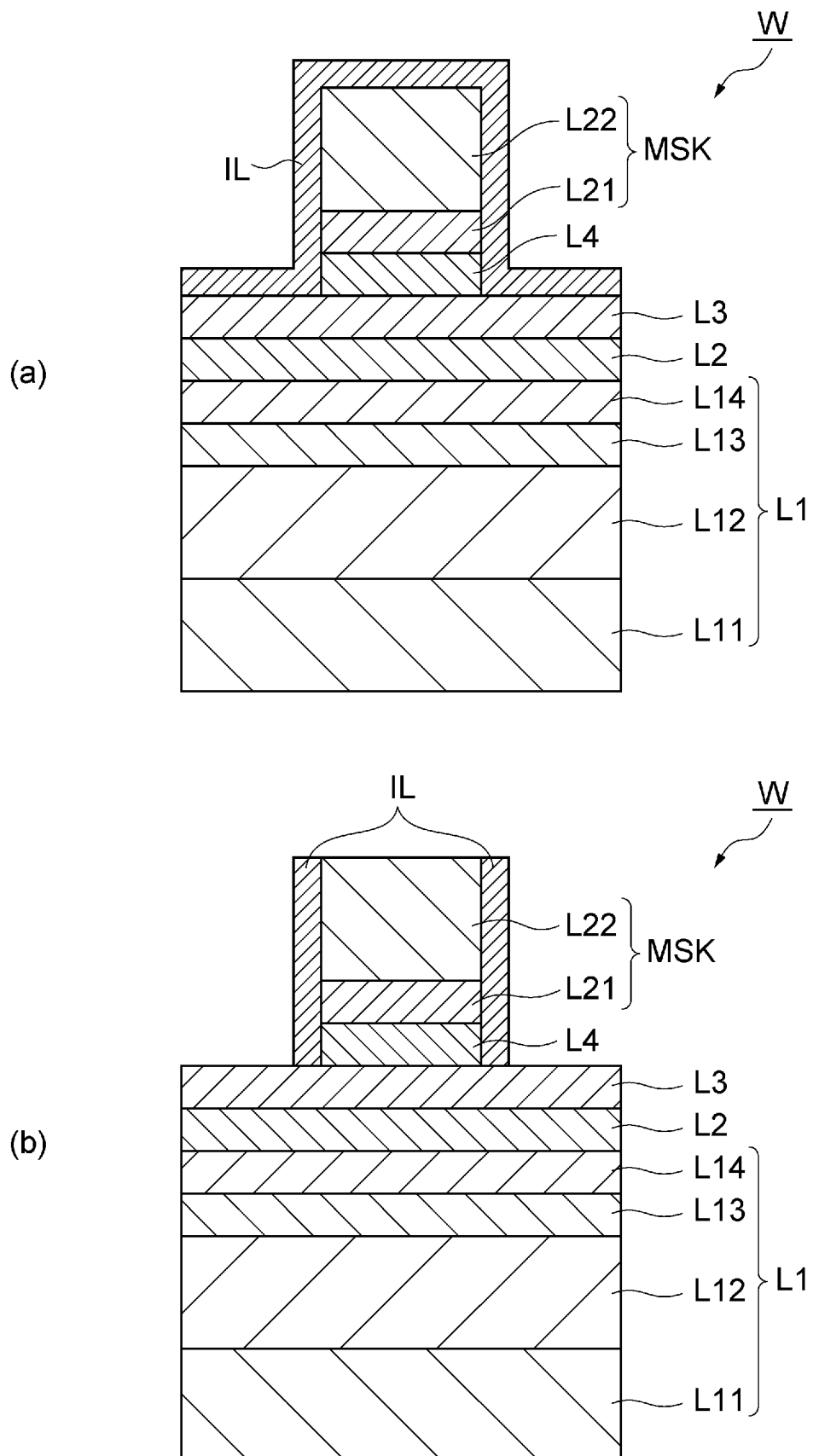
[図9]



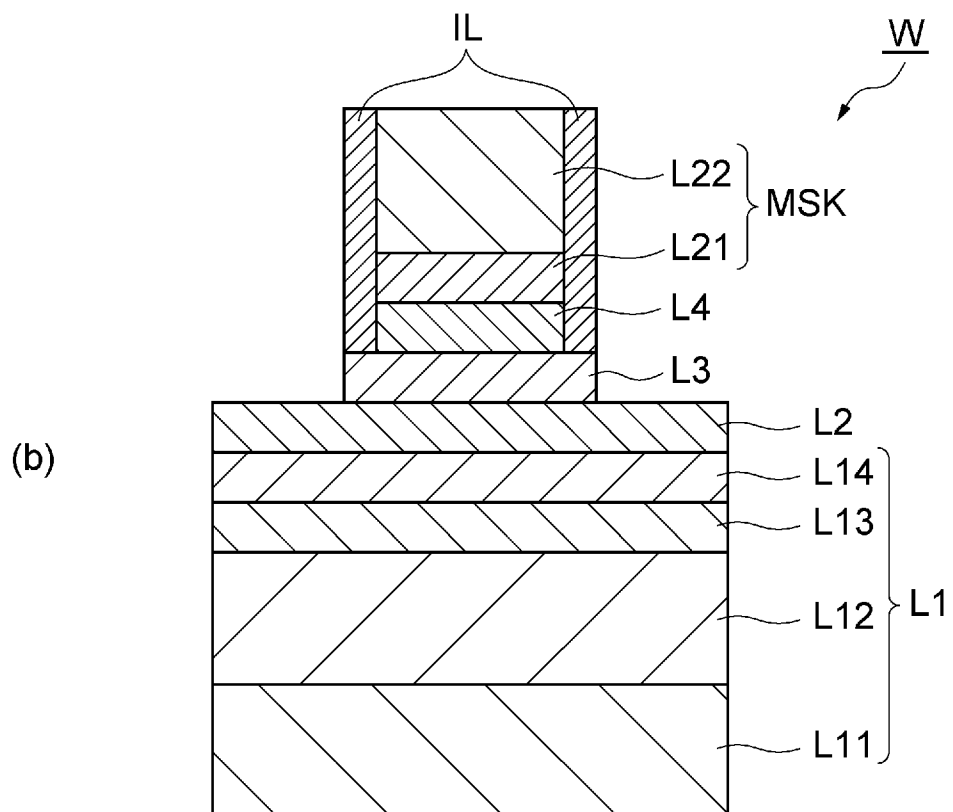
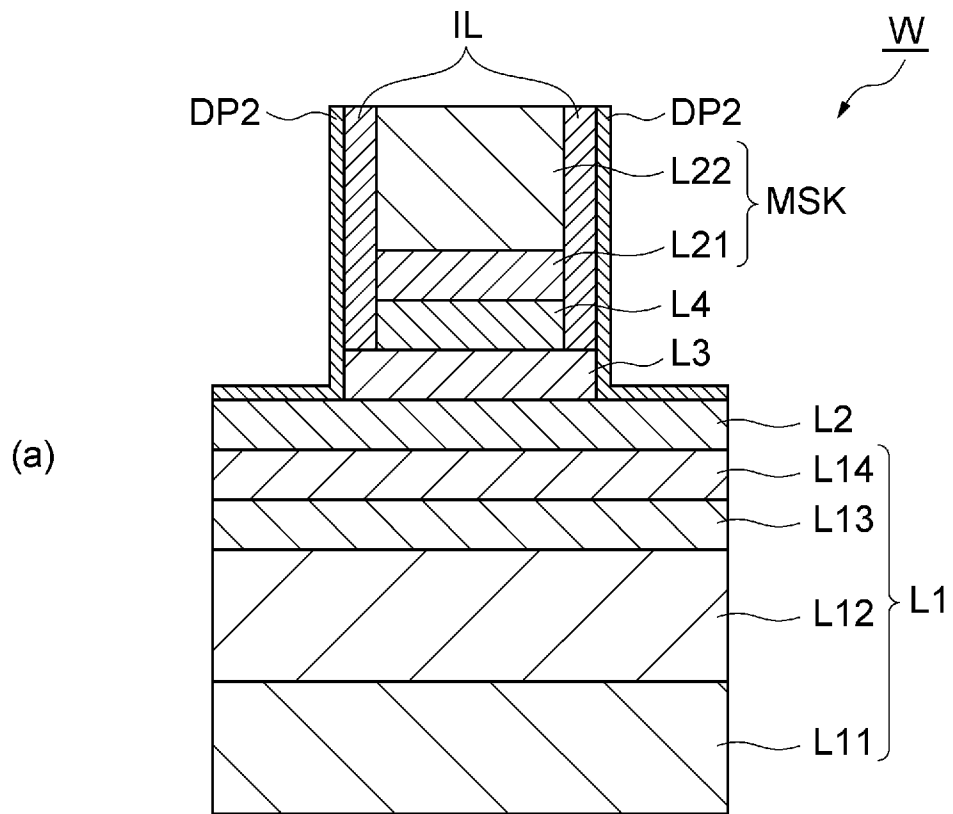
[図10]



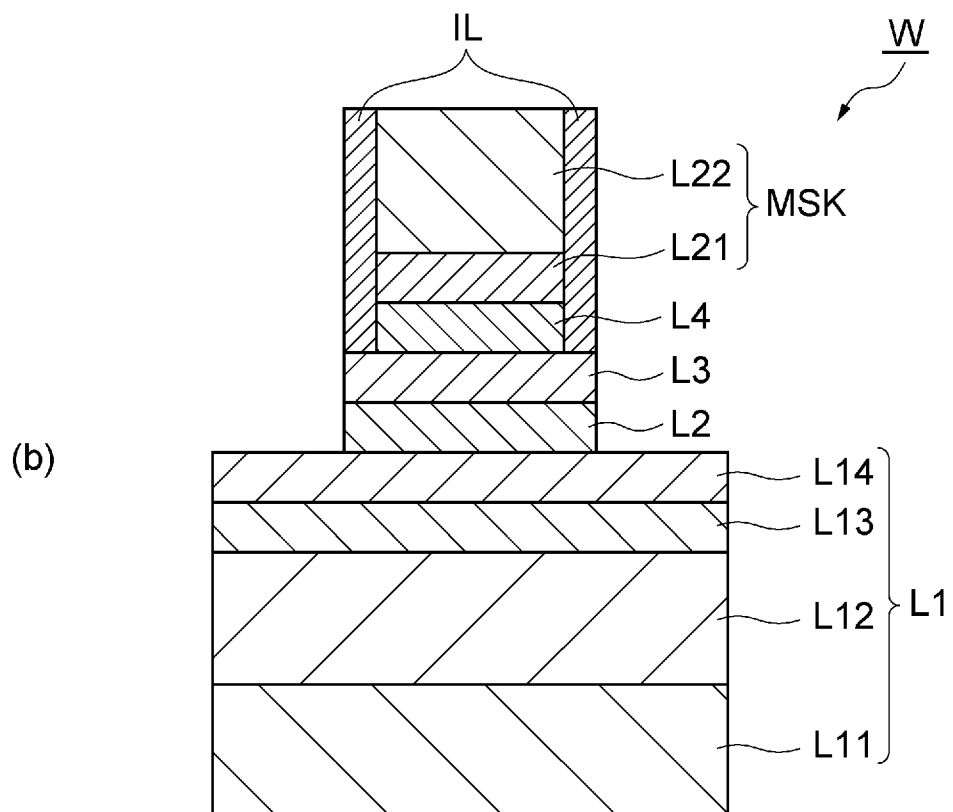
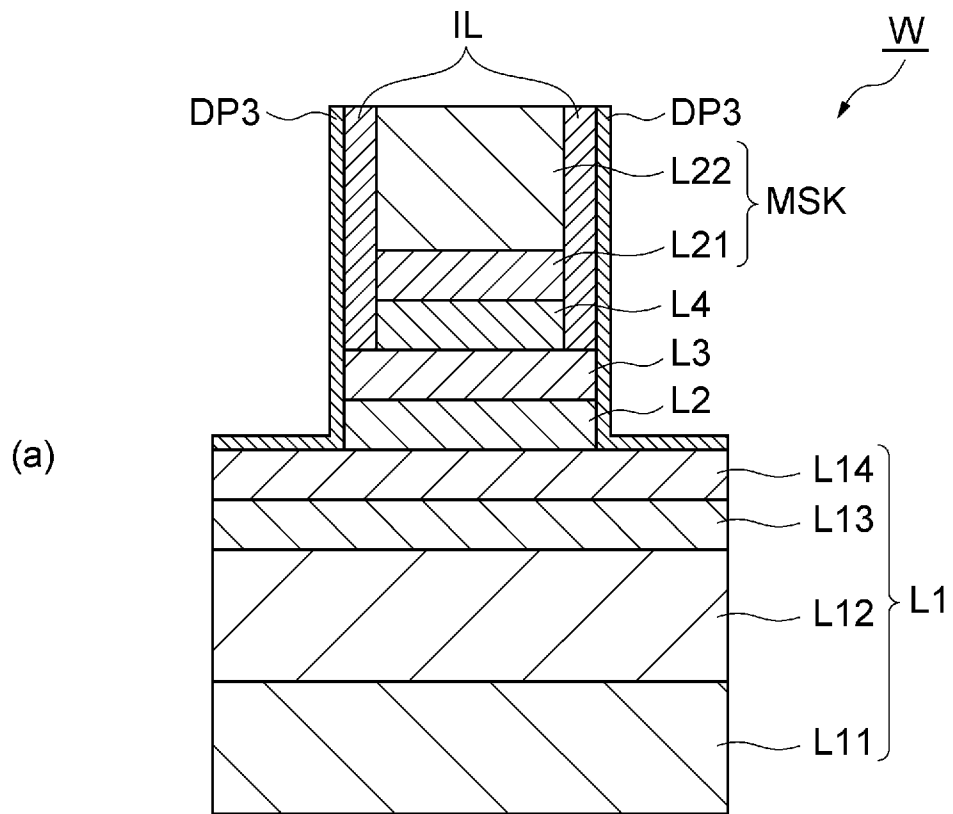
[図11]



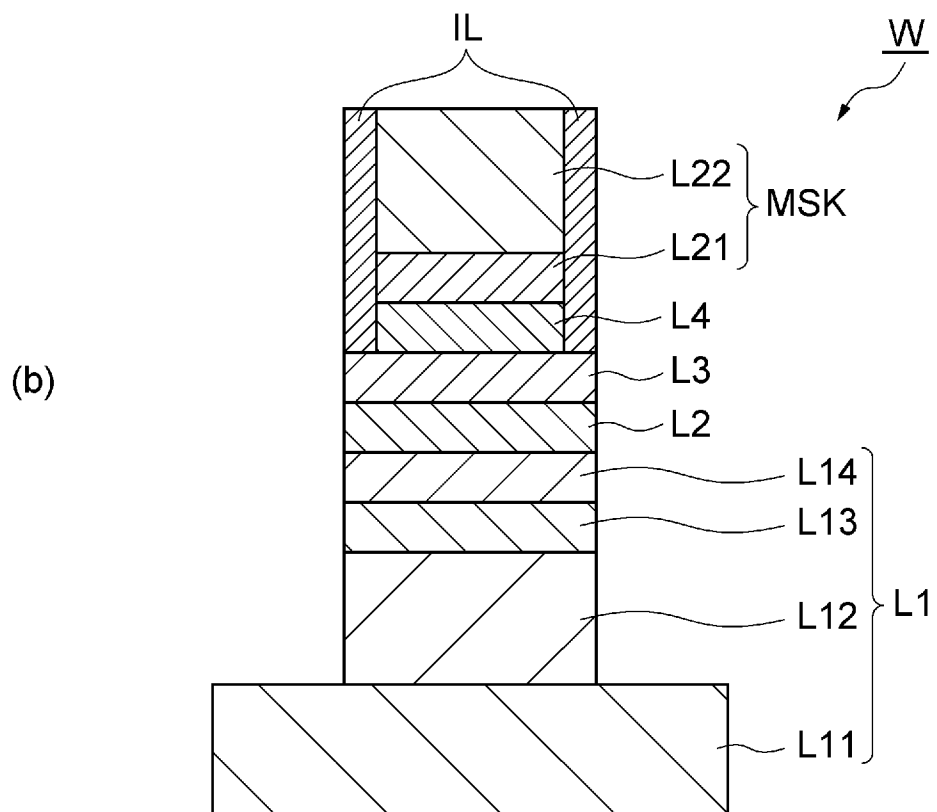
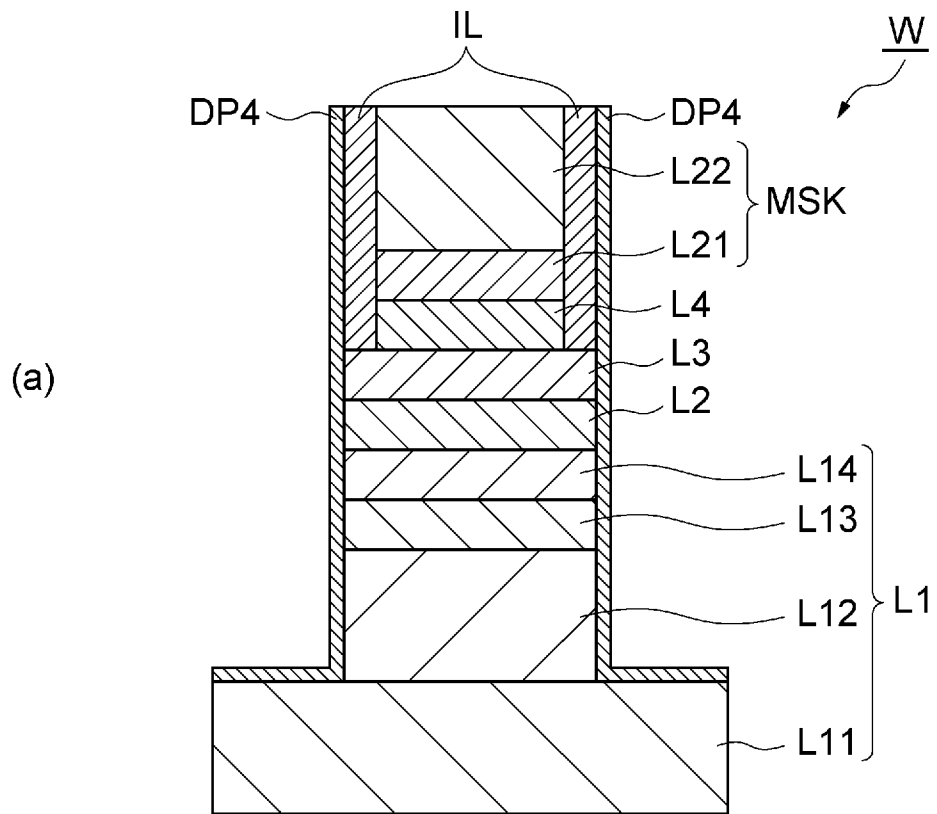
[図12]



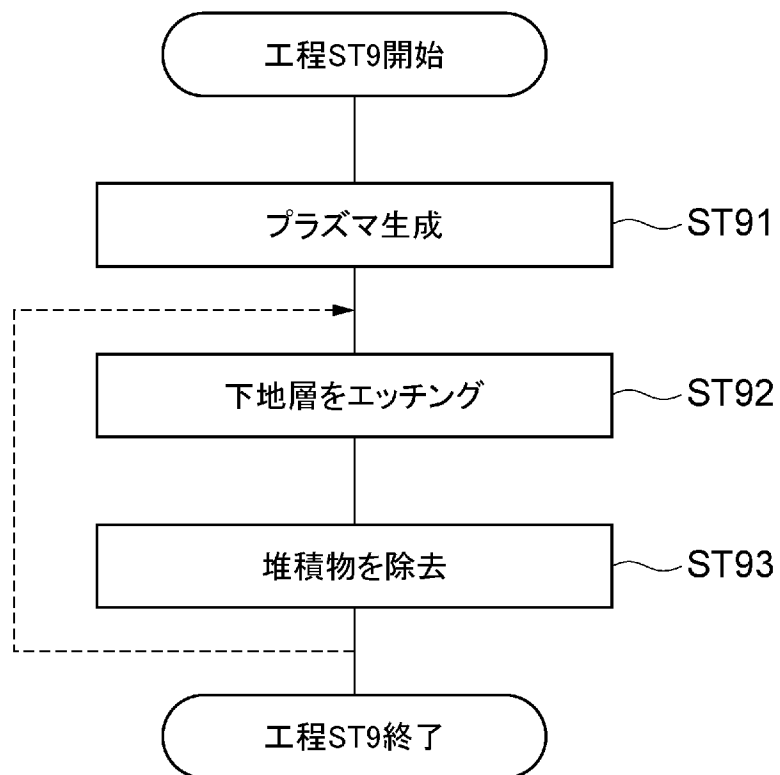
[図13]



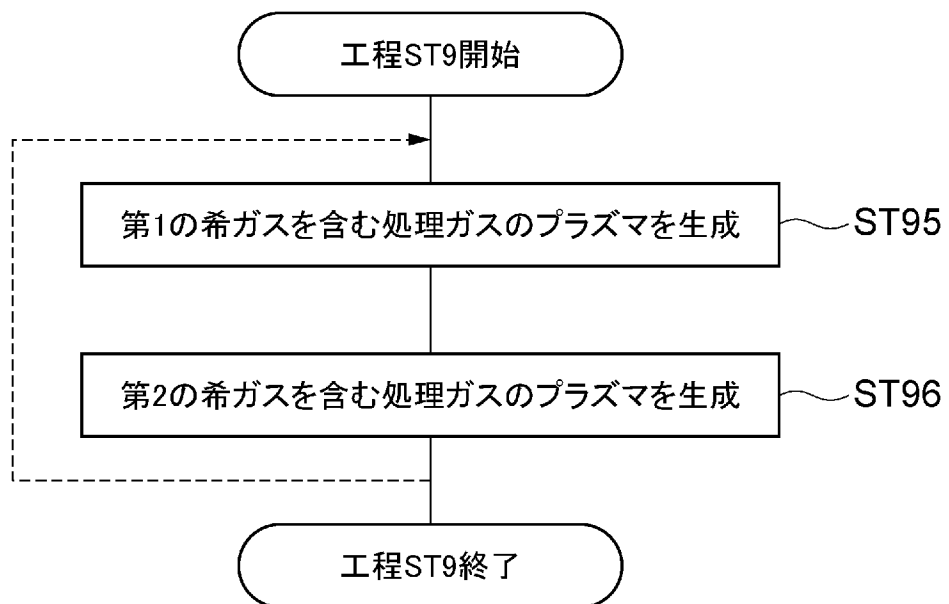
[図14]



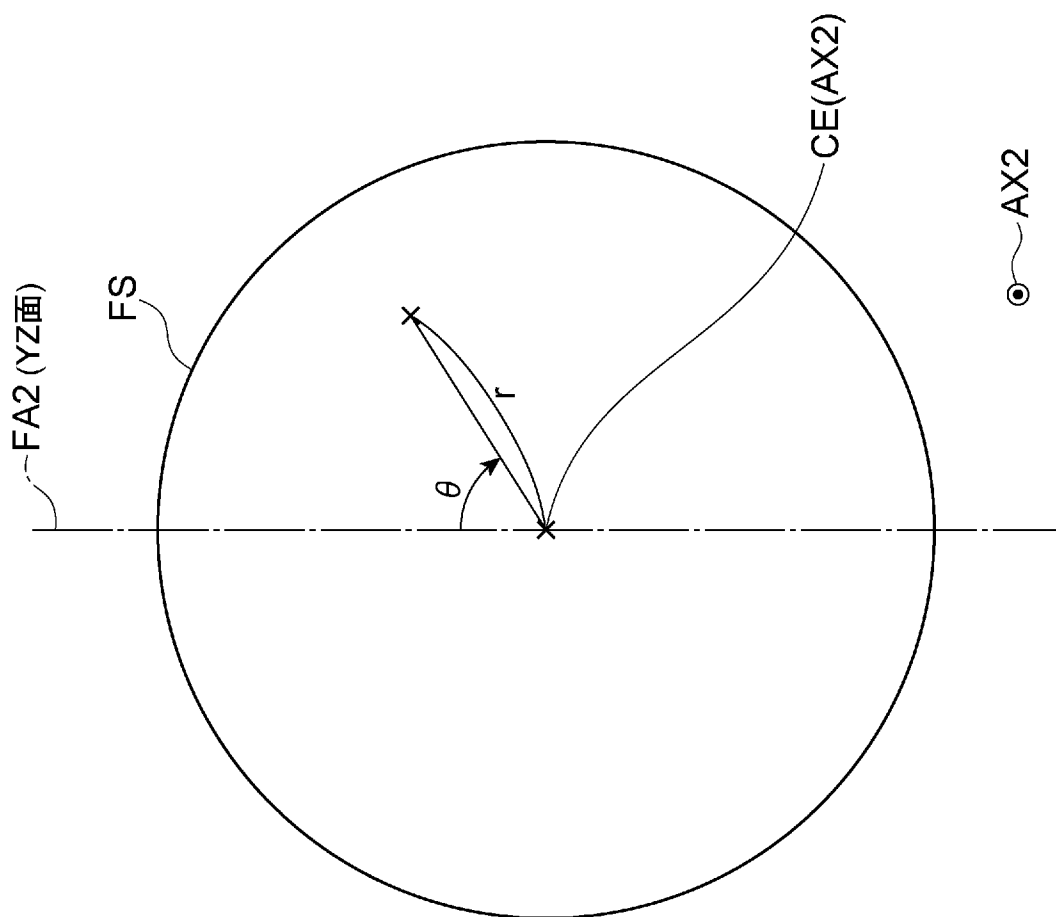
[図15]



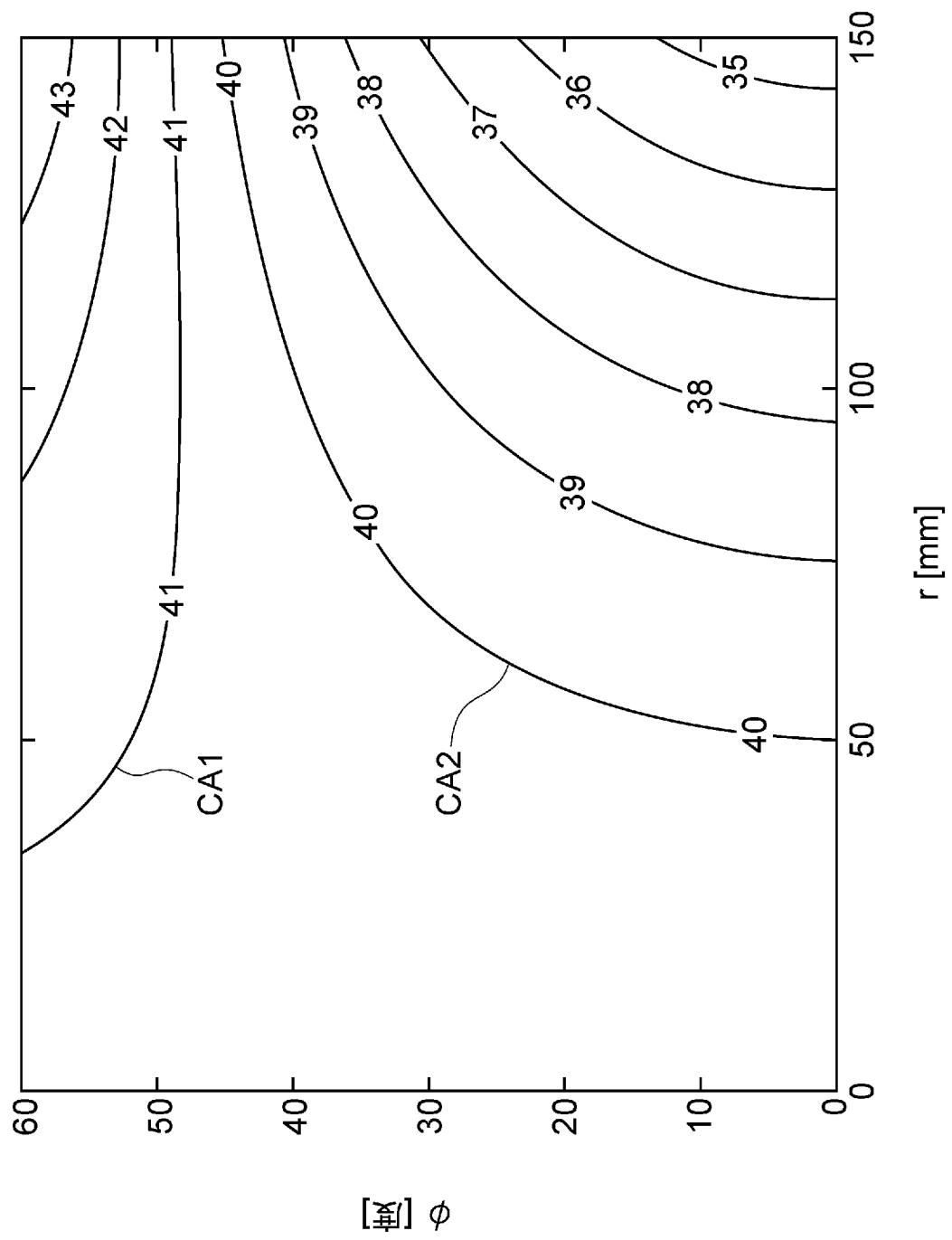
[図16]



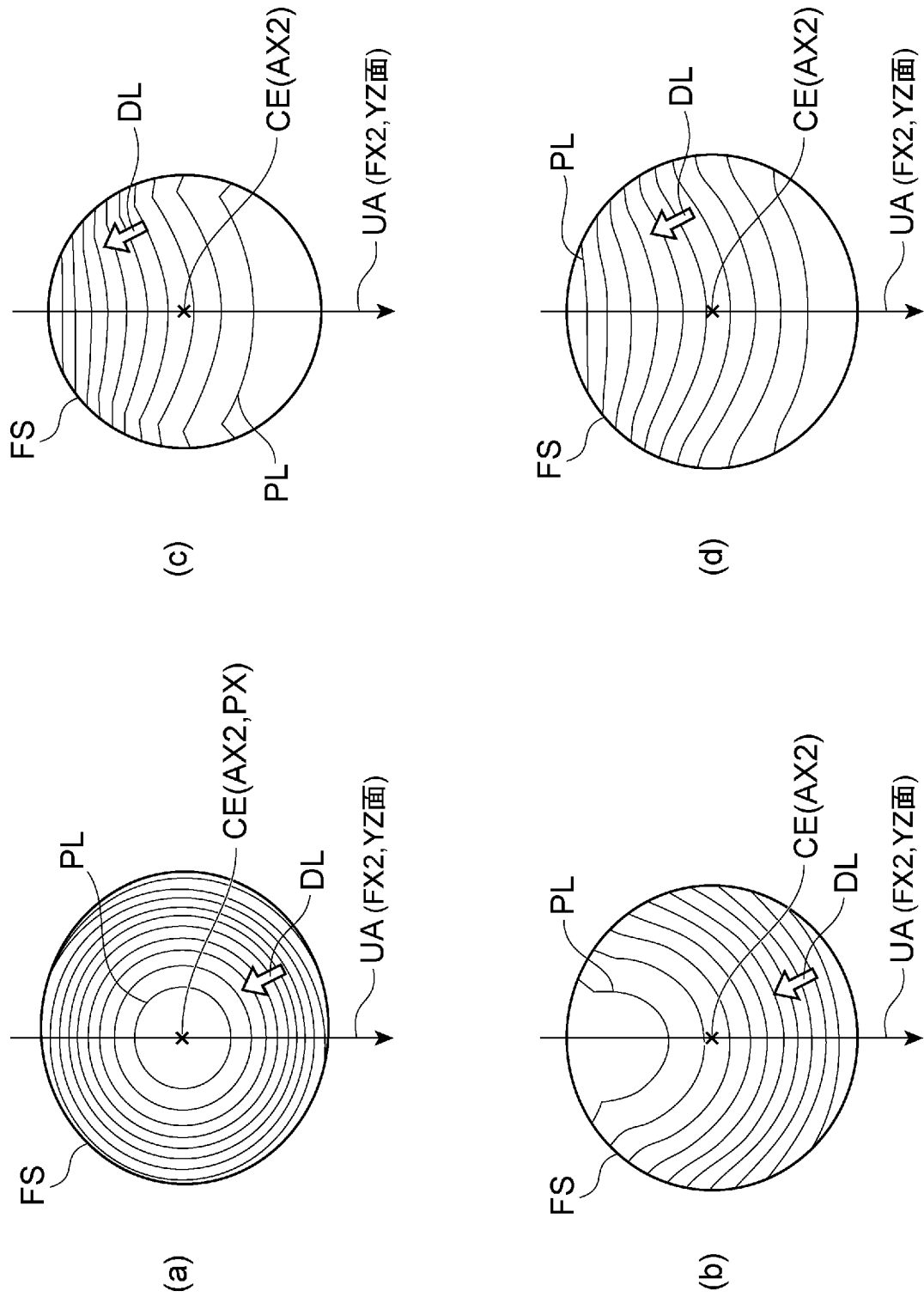
[図17]



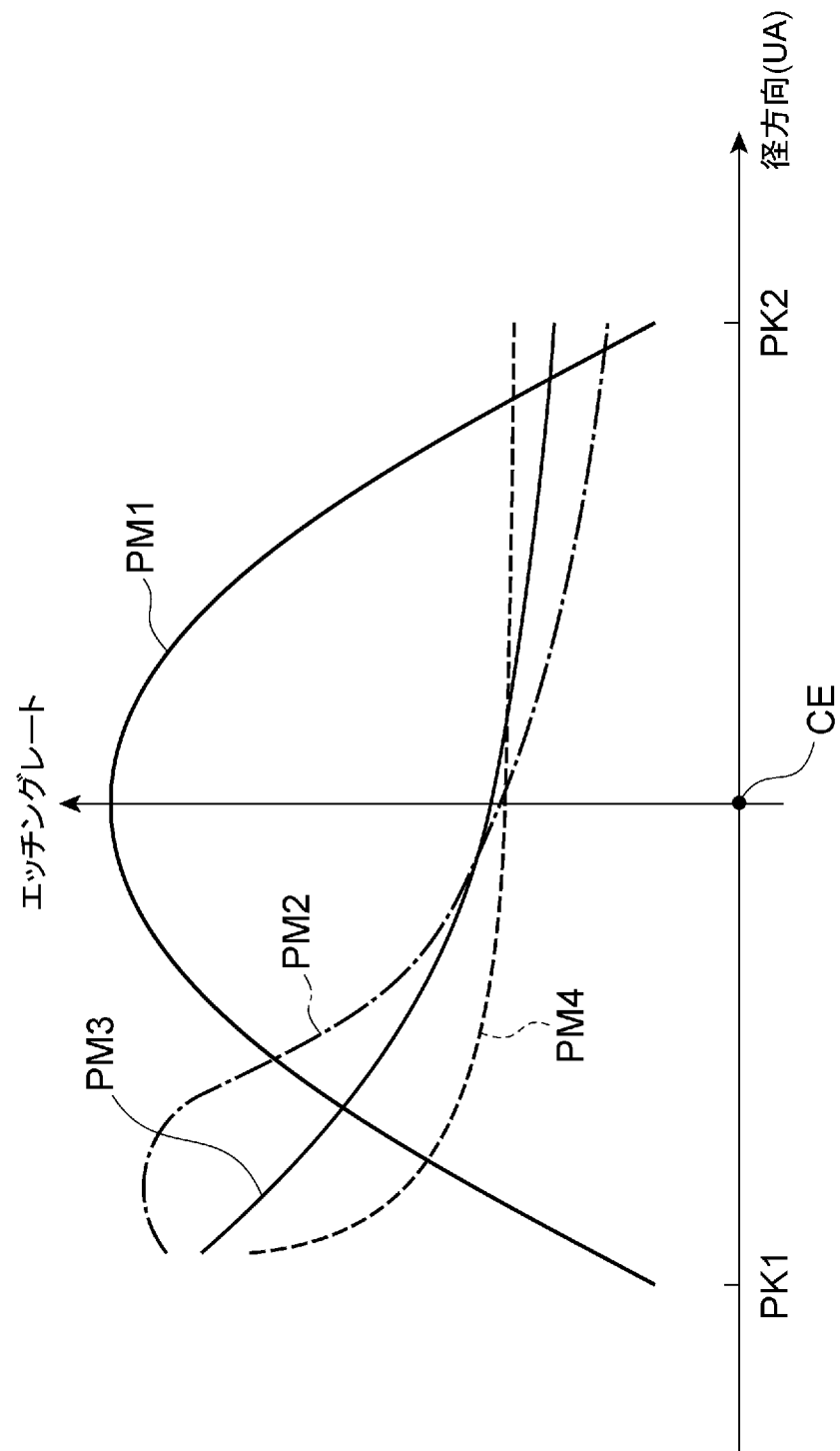
[図18]



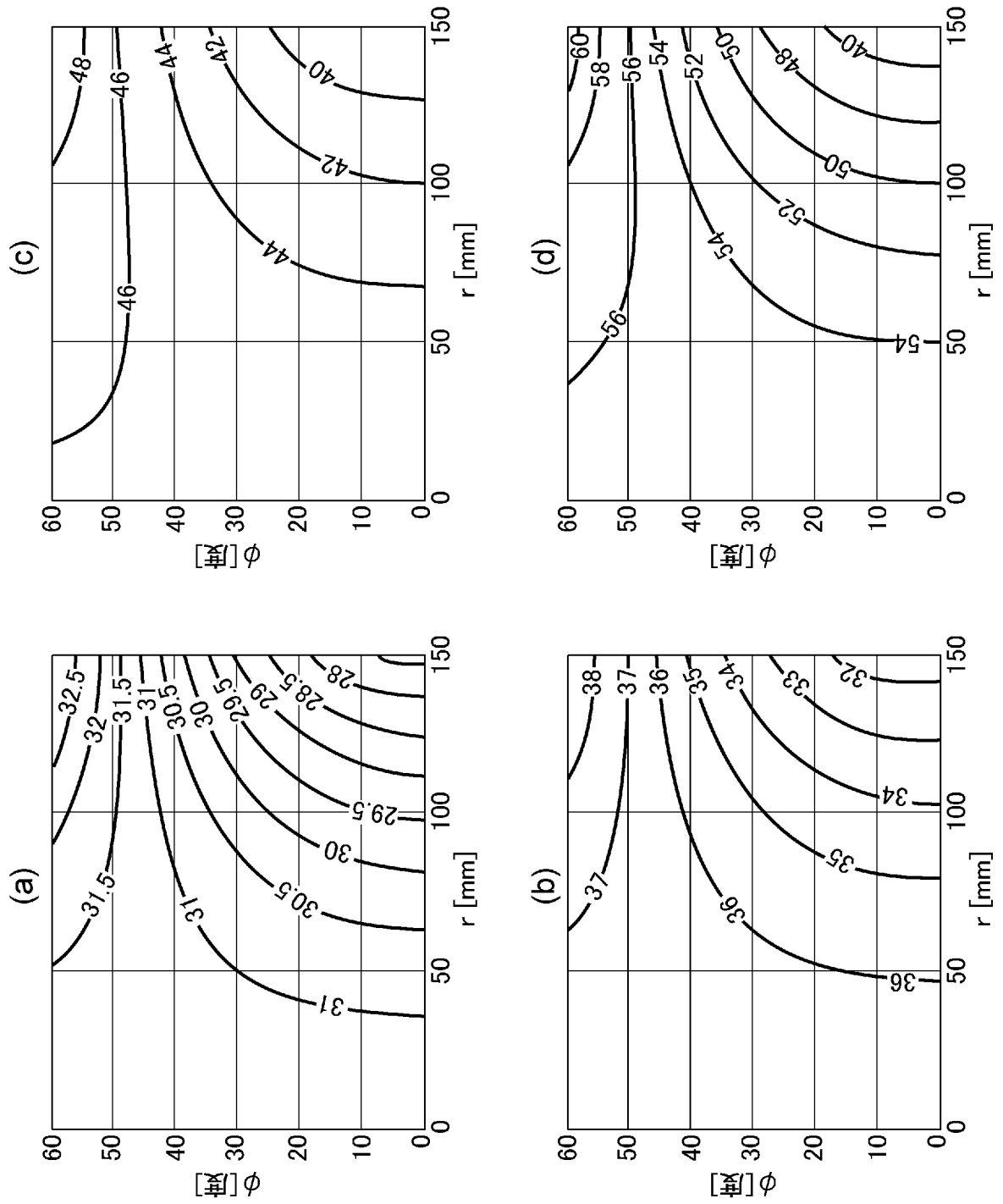
[図19]



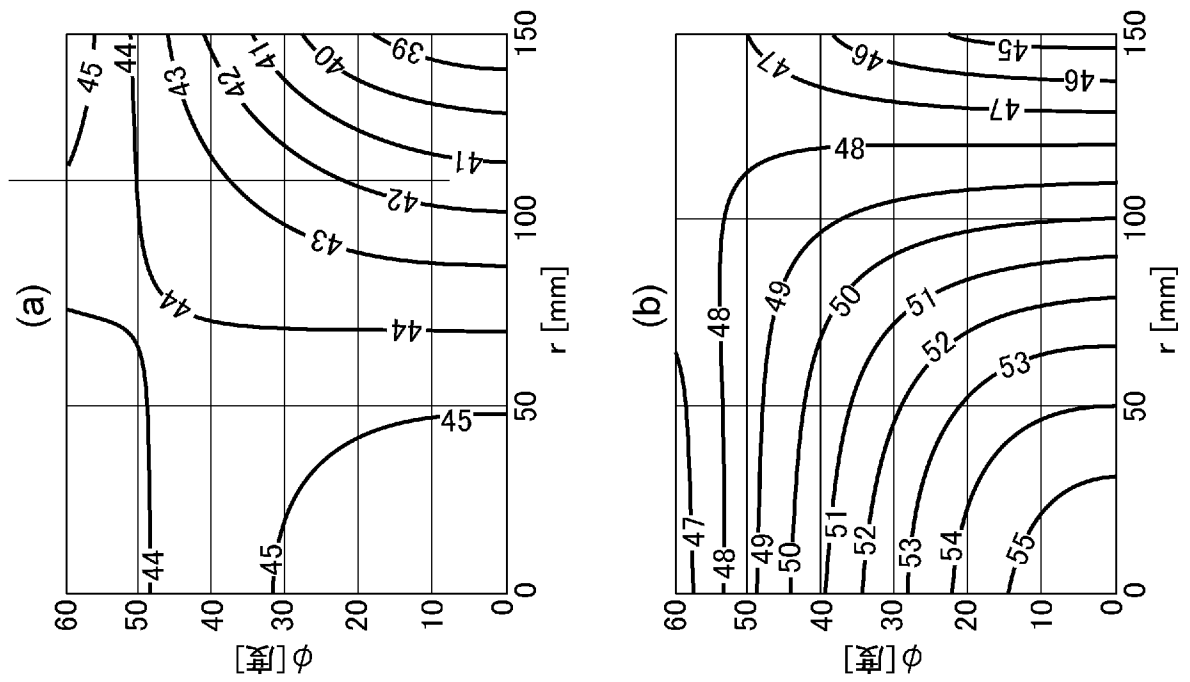
[図20]



[図21]



[図22]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/083455

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/3065(2006.01)i, C23F4/00(2006.01)i, H01L21/683(2006.01)i,
H01L21/8246(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i, H01L43/08(2006.01)i,
H01L43/12(2006.01)i, H05H1/46(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)

H01L21/3065, C23F4/00, H01L21/683, H01L21/8246, H01L27/105, H01L43/08,
H01L43/12, H05H1/46

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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 A	WO 2015/097942 A1 (Canon Anelva Corp.), 02 July 2015 (02.07.2015), paragraphs [0014] to [0031]; fig. 1 to 4 & US 2016/0268162 A1 paragraphs [0033] to [0050]; fig. 1 to 4 & KR 10-2016-0089441 A & CN 105849870 A & TW 201532220 A	1-2 3-7
A	JP 2002-540548 A (Veeco Instruments Inc.), 26 November 2002 (26.11.2002), paragraph [0018]; fig. 1 & US 6238582 B1 specification, column 5, line 53 to column 6, line 5; fig. 1 & WO 2000/058953 A2 & EP 1183684 B1 & AU 4047500 A & AT 399363 T	1-7

☐ 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

"T" 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
16 December 2016 (16.12.16)

Date of mailing of the international search report
27 December 2016 (27.12.16)

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

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L21/3065(2006.01)i, C23F4/00(2006.01)i, H01L21/683(2006.01)i, H01L21/8246(2006.01)i, H01L27/105(2006.01)i, H01L43/08(2006.01)i, H01L43/12(2006.01)i, H05H1/46(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. H01L21/3065, C23F4/00, H01L21/683, H01L21/8246, H01L27/105, H01L43/08, H01L43/12, H05H1/46

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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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 A	WO 2015/097942 A1 (キヤノンアネルバ株式会社) 2015.07.02, 段落 0014-0031, 図 1-4 & US 2016/0268162 A1, 段落 0033-0050, 図 1-4 & KR 10-2016-0089441 A & CN 105849870 A & TW 201532220 A	1-2 3-7

☒ 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	「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
「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	「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
「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)	「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
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日

16.12.2016

国際調査報告の発送日

27.12.2016

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)

鈴木 聡一郎

50

5589

電話番号 03-3581-1101 内線 3559

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
A	JP 2002-540548 A (ビーコ・インストゥルメンツ・ インコーポレーション) 2002.11.26, 段落 0018, 図 1 & US 6238582 B1, 明細書第 5 欄第 53 行-第 6 欄第 5 行, 図 1 & WO 2000/058953 A2 & EP 1183684 B1 & AU 4047500 A & AT 399363 T	1-7