

(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
2018年2月8日(08.02.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/025855 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 21/3065 (2006.01) H01L 21/768 (2006.01)
H01L 21/3213 (2006.01) H05H 1/46 (2006.01)

英(KIHARA Yoshihide); 〒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).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2017/027888

(22) 国際出願日: 2017年8月1日(01.08.2017)

(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 2016-154663 2016年8月5日(05.08.2016) 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).

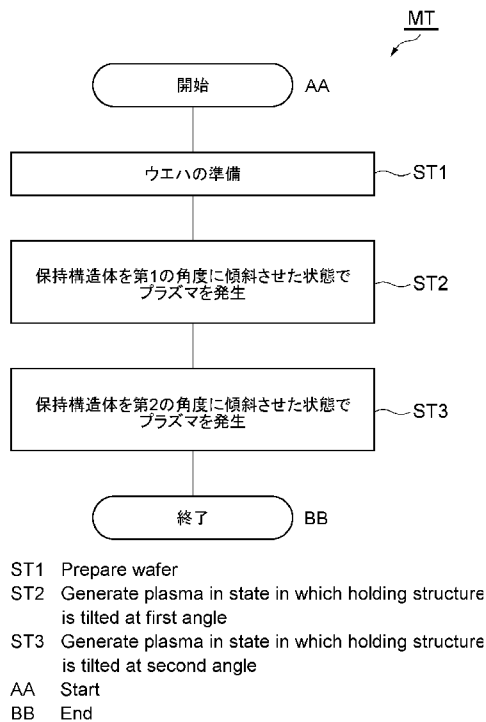
(72) 発明者: 小川 秀平(OGAWA Shuhei); 〒9813629 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内 Miyagi (JP). 豊田 啓吾(TOYODA Keigo); 〒9813629 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内 Miyagi (JP). 木原 嘉

(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 M Y P L A Z A (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, 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,

(54) Title: METHOD FOR PROCESSING SUBJECT TO BE PROCESSED

(54) 発明の名称: 被処理体を処理する方法



(57) Abstract: According to one embodiment of the present invention, a method is provided with: (a) a first step for etching, using plasma generated in a processing container, a subject to be processed, in a state wherein first direction and second direction are maintained to form a first angle, said subject being held by a holding structure; and (b) a second step for etching, using the plasma generated in the processing container, the subject held by the holding structure, said second step being performed after performing the first step, and in a state wherein the first direction and the second direction are maintained to form a second angle.

(57) 要約: 一実施形態に係る方法は、(a) 第1の向きと第2の向きとが第1の角度を成すように維持された状態において、保持構造体によって保持された被処理体を、処理容器内で発生させたプラズマによってエッチングする第1の工程と、(b) 第1の工程の実施後において、第1の向きと第2の向きとが第2の角度を成すように維持された状態において、保持構造体によって保持された被処理体を、処理容器内で発生させたプラズマによってエッチングする第2の工程とを備える。

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))

明 細 書

発明の名称：被処理体进行处理する方法

技術分野

[0001] 本発明の実施形態は、被処理体进行处理する方法に関するものである。

背景技術

[0002] 半導体デバイスといった電子デバイスの製造プロセスでは、被処理層上にマスクを形成し、当該マスクのパターンを当該被処理層に転写するためにエッチングが行われる。マスクとしては、一般的に、レジストマスクが用いられる。レジストマスクは、フォトリソグラフィ技術によって形成される。従って、被エッチング層に形成されるパターンの限界寸法は、フォトリソグラフィ技術によって形成されるレジストマスクの解像限界やパターン密度等によって影響を受けるが、近年では、電子デバイスの高集積化に伴い、レジストマスクの解像限界よりも小さい寸法のパターンを形成することが要求されるようになっている。このため、特許文献1に記載されているように、レジストマスク上にシリコン酸化膜を形成することによって、当該レジストマスクの寸法を調節し、当該レジストマスクによって提供される開口の幅を縮小する技術が提案されている。

[0003] 特許文献1に開示されている微細パターン形成方法では、微細パターンを形成しようとする物質膜上にフォトレジストパターンを形成し、その上にシリコン酸化膜を蒸着するが、下部のフォトレジストパターンに損傷を加えずにコンフォーマルに薄く形成しなければならない。さらにこの後に、下部膜に対してドライエッチングを実施するが、初期にはフォトレジストパターンの側壁にスペーサを形成し、次にフォトレジストパターン上にポリマー膜を形成する。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2004-80033号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 一方、近年の電子デバイスの高集積化に伴う微細化によって、被処理体上のパターン形成において、最小線幅（CD：Critical Dimension）やパターン形状に対する高精度な制御が要求される場合があるが、特許文献1の方法のようにプロセスの複雑化を伴い得る。特に、イオンによるエッチングが支配的な材料の層とラジカルによるエッチングが支配的な材料の層とをプロセスの複雑化を伴うことなく比較的に高い選択比でエッチングするための技術が望まれている。

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。保持構造体は、処理容器内において処理容器に設けられた傾斜軸のまわりに360度の回転が可能である。傾斜軸は、保持構造体と交わっている。傾斜軸の軸線は、処理容器内の天井側に設けられた上部電極の電極板の表面と、保持構造体に保持されている被処理体の表面とに平行である。保持構造体によって保持されている被処理体の表面と電極板の表面とが平行となっており且つ互いに向かい合っている状態では、被処理体の第1の中心軸線と処理容器の第2の中心軸線とが重なるとともに、第1の中心軸線の第1の向きと第2の中心軸線の第2の向きとが同一となる。第1の中心軸線は、被処理体の表面に垂直である。第1の向きは、被処理体の表面の上方に向いている。第2の中心軸線は、電極板の表面に垂直である。第2の向きは、処理容器の底部側から、処理容器の天井側に設けられた電極板に、向いている。第1の中心軸線は、保持構造体が傾斜軸のまわりに回転することによって、第2の中心軸線に対して傾斜する。当該方法は、（a）第1の向きと第2の向きとが第1の角度を成すように維持された状態において、被処理体が保持構造体によって保持されている処理容器内でプラズマを発生させる第1の工程と、（b）第1の工程の実施後において

、第1の向きと第2の向きとが第2の角度を成すように維持された状態において、被処理体が保持構造体によって保持されている処理容器内でプラズマを発生させる第2の工程と、備える。第1の角度および第2の角度は、 -180 度以上 $+180$ 度以下であり、第1の角度の絶対値と第2の角度の絶対値とは異なる。

[0007] 上記方法では、第1の工程と第2の工程とにおいて、被処理体を保持する保持構造体の向きが異なるので、各工程においては、処理容器内において生じるプラズマによるイオン密度の差が、処理プロセスを複雑化することなく、容易に利用され得る。特に、処理容器内において、ガス状態やプラズマ状態等を変化させることなく、保持構造体の向きを変えることによって、イオン密度の差が容易に利用可能となる。

[0008] 一実施形態では、被処理体は、積層領域と積層領域の上に設けられたマスクとを備え、積層領域は、複数の第1の層と複数の第2の層とを備え、第1の層と第2の層とは、積層方向に沿って交互に積層され、第1の層は、第2の層と比較して等方性エッチングが支配的な層であり、第1の角度の絶対値は、第2の角度の絶対値よりも小さく、第1の工程では、マスクを用いて積層方向に積層領域をエッチングし、エッチングによって積層領域内に溝を形成し、第2の工程では、溝の内側に露出した第1の層をエッチングすることができる。このように、第1の工程と第2の工程とにおいて、被処理体を保持する保持構造体の向きが異なるので、処理容器内におけるイオン密度の差が利用され得ることとなり、従って、保持構造体の向きを変えることによって、等方性エッチングが支配的な層に対するエッチングと、異方性エッチングが支配的な層とに対するエッチングとを容易に切り替えることが可能となる。

[0009] 一実施形態では、被処理体は、反射防止膜と反射防止膜上に設けられたマスクとを備え、第1の角度の絶対値は、第2の角度の絶対値よりも大きく、マスクは、等方性エッチングが支配的な層であり、第1の工程では、マスクの表面を改質し、第2の工程では、マスクを用いて、反射防止膜をエッチング

する。このように、等方性エッチングが支配的なマスクの表面を改質する第 1 の工程では、第 1 の角度の絶対値は、第 2 の角度の絶対値よりも大きく、よって、被処理体が電極板から遠避けられるので、被処理体の付近のイオン密度が低くなり、このような第 1 の工程の実施によるマスクの形状の劣化が、回避され得る。

[0010] 一実施形態では、第 1 の角度および第 2 の角度のうち、絶対値の小さいほうの角度は、 -30 度以上 $+30$ 度以下の範囲にあり、絶対値の大きいほうの角度は、 -180 度以上 -150 度以下および $+150$ 度以上 $+180$ 度以下の範囲にある。処理容器内において生じるプラズマによるイオン密度の差は、保持構造体に係る第 1 の向きと第 2 の向きとの成す角度が、 -30 度以上 $+30$ 度以下の範囲にある場合と、 -180 度以上 -150 度以下および $+150$ 度以上 $+180$ 度以下の範囲にある場合とで、十分に異なり得る。

発明の効果

[0011] 以上説明したように、イオンによるエッチングが支配的な材料の層とラジカルによるエッチングが支配的な材料の層とをプロセスの複雑化を伴うことなく比較的の高い選択比でエッチングするための技術が提供される。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]図 1 は、一実施形態に係る被処理体を処理する方法を説明する流れ図である。

[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、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4]図 4 は、パルス変調されたバイアス電圧を示す図である。

[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、図 1 に示す方法の一実施例を示す流れ図である。

[図10]図 10 は、(a) 部～(c) 部を備え、図 10 の (a) 部は、図 9 に

示す方法の処理前のウエハの断面構造を示し、図10の(b)部～(c)部は、図9に示す方法の各処理後のウエハの断面構造を示す。

[図11]図11は、図1に示す方法の一実施例を示す流れ図である。

[図12]図12は、(a)部～(c)部を備え、図12の(a)部は、図11に示す方法の処理前のウエハの断面構造を示し、図12の(b)部～(c)部は、図11に示す方法の各処理後のウエハの断面構造を示す。

[図13]図13は、図1に示す方法の一実施例を示す流れ図である。

[図14]図14は、(a)部～(c)部を備え、図14の(a)部は、図13に示す方法の処理前のウエハの断面構造を示し、図14の(b)部～(c)部は、図13に示す方法の各処理後のウエハの断面構造を示す。

発明を実施するための形態

[0013] 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。

[0014] 図1は、一実施形態の方法を示す流れ図である。図1に示す一実施形態の方法MTは、被処理体（以下、「ウエハ」ということがある）を処理する方法である。方法MTは、図1に示すように、工程ST1～ST3を備える。

[0015] 図2および図3は、プラズマ処理装置の一例（プラズマ処理装置10）を示す図である。図2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3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。図2および図3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。より具体的には、図2および図3には、被処理体を処理する方法の種々の実施形態で利用可能なプラズマ処理装置の断面構造が概略的に示されており、鉛直方向に延びる軸線PX（処理容器12の第2の中心軸線）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。図2および図3に示すように、プラズマ処理装置10は、容量結合型プラズマエッチング装置である。

[0016] 図2および図3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（上部電極）、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 C n t 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 P X と一致する。この処理容器 12 は、ウエハ W 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。

[0017] 軸線 P X は、プラズマ源 16（上部電極）の誘電体板 194（電極板）等が設けられた処理容器 12 の天井側から、保持構造体 18 や自動圧力制御器 20 a 等が設けられた処理容器 12 の底部側に向かう方向に延びている。なお、図 2 および図 3 には、処理容器 12 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 2 は、プラズマ処理装置 10 の内部を Y 方向に向かって見た図であり、図 3 は、プラズマ処理装置 10 の内部を X 方向と逆向きに向かって見た図である、ということができる。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。

[0018] 一実施形態では、処理容器 12 は、処理容器 12 の高さ方向の中間部分 12 a、すなわち保持構造体 18 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 12 は、中間部分 12 a 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 12 の底部は、排気口 12 e を提供しており、排気口 12 e は軸線 P X に対して軸対称に形成されている。

[0019] ガス供給系 14 は、処理容器 12 内にガスを供給するよう構成されている。ガス供給系 14 は、ガス供給部 14 a およびガス吐出孔 14 e を有している。ガス供給系 14 の詳細については、後述する。

[0020] プラズマ源 16 は、処理容器 12 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 16 は、処理容器 12 の天部に設けられている。プラズマ源 16 の中心軸線は、軸線 P X と一致する。なお、プラズマ源 16 の一例に関する詳細については後述する。

[0021] 保持構造体 18 は、処理容器 12 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 18 は、軸線 P X に直交する第 1 軸線 A X 1 中心に回動可能であるよう構成されている。第 1 軸線 A X 1 の軸線は、処理容器 12 内の天井側に設けられたプラズマ源 16（上部電極）の誘電体板 194（電極板）の表面 194 a と、保持構造体 18 に保持されているウエハ W の表面 F S とに平行である。第 1 軸線 A X 1 は、傾斜軸部 50（傾斜軸）の中心軸線に一致する。また、保持構造体 18 は、第 1 軸線 A X 1 に直交する第 2 軸線 A X 2（ウエハ W の第 1 の中心軸線）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 A X 1 中心の回転により、軸線 P X に対して傾斜することが可能である。保持構造体 18 は、処理容器 12 内において処理容器 12 に設けられた傾斜軸部 50 のまわりに 360 度の回動（自転）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 A X 1 中心の保持構造体 18 の回動のための駆動力を発生する。なお、ウエハ W は、例えば、後述する図 10 の（a）部に示すウエハ W1、図 12 の（a）部に示すウエハ W2、図 14 の（a）部に示すウエハ W3 の何れかに対応する。

[0022] 第 1 軸線 A X 1 は、水平基準面 F A 1、X Y 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 F A 2 に直交する。水平基準面 F A 1 は、軸線 P X に直交し、原点 O R を含み、Z 軸に直交し、X Y 面に重なる。水平基準面 F A 1 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 F S を含む。鉛直基準面 F A 2 は、Y Z 面に一致し、水平基準面 F A 1、X Y 面、X 軸、第 1 軸線 A X 1 に直交し、軸線 P X、第 2 軸線 A X 2、原点 O R を含む。第 1 軸線 A X 1 は、軸線 P X、第 2 軸線 A X 2、鉛直基準面 F A 2 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 F S は、鉛直基準面 F A 2、第 2 軸線 A X 2 に直交し、X 軸、第 1 軸線 A X 1 に平行に延びる。第 2 軸線 A X 2 は、ウエハ W の表面 F S に垂直である。第 2 軸線 A X 2 は、ウエハ W の中心軸線に一致する。第 2 軸線 A X 2 は、ウエハ W の表面 F S の中心 C E を通る。軸線 P X と第 1 軸線 A X 1 とは、

一点の交差点X Oで交差する。第2軸線A X 2が軸線P Xに対して傾斜している場合、軸線P Xと、第1軸線A X 1と、第2軸線A X 2とは、交差点X Oで交差する。交差点X Oは、第1軸線A X 1にあり、鉛直基準面F A 2、Y Z面、およびZ X面にある。

[0023] 保持構造体1 8が傾斜していない状態では、図2に示すように、第2軸線A X 2は軸線P Xに一致する。この状態の場合、ウエハWの表面F Sは、軸線P Xに直交し、水平基準面F A 1、X Y面に重なり、原点O R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は、軸線P Xに重なり、原点O Rを含む。ウエハWの表面F Sの中心C Eから誘電体板1 94の表面1 94 aまでの距離がL [mm]であり、中心C Eから交差点X Oまでの距離がR [mm]である。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。

[0024] 保持構造体1 8が傾斜していない状態では、保持構造体1 8によって保持されているウエハWの表面F Sと誘電体板1 94の表面1 94 aとが平行となっており且つ互いに向かい合っており、ウエハWの中心軸線（第2軸線A X 2）と処理容器1 2の中心軸線（軸線P X）とが重なるとともに、第2軸線A X 2の第1の向きV L 1と軸線P Xの第2の向きV L 2とが同一となる。第2軸線A X 2は、ウエハWの表面F Sに垂直である。第1の向きV L 1は、ウエハWの表面F Sの上方に向いている。軸線P Xは、処理容器1 2の天井側にある誘電体板1 94の表面1 94 aに垂直である。第2の向きV L 2は、処理容器1 2の底部側から処理容器1 2の天井側に設けられた誘電体板1 94に向いている。

[0025] 一方、図3に示すように、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は、保持構造体1 8が第1軸線A X 1のまわりに回動（自転）することによって、第2軸線A X 2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 PX との成す角度である。傾斜角 AN は、 YZ 面内の角である。第 2 軸線 $AX2$ と軸線 PX とは、 YZ 面にある。第 2 軸線 $AX2$ の傾斜角 AN の値 ϕ は、図 3 に示すように、ウエハ W の表面 FS が $-Y$ 方向に向くように保持構造体 18 が第 1 軸線 $AX1$ 中心に回動し傾斜した場合に正の値をとるように定める。ウエハ W の表面 FS が $+Y$ 方向に向くように保持構造体 18 が第 1 軸線 $AX1$ 中心に回動し傾斜した場合に負の値をとる。すなわち、 ϕ は、 -180 度以上 $+180$ 度以下の範囲にある。また、第 2 軸線 $AX2$ の傾斜角 AN の値 ϕ は、第 2 軸線 $AX2$ の第 1 の向き $VL1$ と軸線 PX の第 2 の向き $VL2$ との成す角度の値でもある。第 2 軸線 $AX2$ が軸線 PX に一致する場合（保持構造体 18 が傾斜していない場合）、第 2 軸線 $AX2$ の傾斜角 AN の値 ϕ はゼロである。保持構造体 18 の詳細については後述する。

[0026] ウエハ W の表面 FS の中心 CE から誘電体板 194 の表面 194 a までの距離を H [mm] とすると、 H は、 $H = L + R \times (1 - \cos(\phi))$ [mm] によって表され得る。 ϕ が、 0 度以上 $+180$ 度以下の範囲において単調に増加すると、 H も単調に増加し、 ϕ が、 -180 度以上 0 度以下の範囲において単調に増加すると、 H は単調に減少する。 ϕ が 0 度の場合、 H は最小値 ($H = L$ [mm]) となり、 ϕ が ± 180 度の場合、 H は最大値 ($H = L + 2 \times R$ [mm]) となる。

[0027] 空間 S 内にプラズマが生成されている場合において、ウエハ W の表面 FS の中心 CE の電子密度の値 (NE) は、グローバルモデルによって見積もられ得る。グローバルモデルとは、均一な円筒形状のプラズマを近似したモデルである。円筒形状内においては、イオンの生成速度と損失速度とが等しいので、円筒形状の構造と圧力が定まれば、電子温度が算出され、電子温度と入力電力とが決まれば、電子密度の値 (NE) が算出され得る。このモデルを用いれば、電子密度の値 (NE) は、概ね、 $1/H$ に比例し得る ($NE \propto 1/H$)。従って、 $1/H = 1/(L + R \times (1 - \cos(\phi)))$ であることを考慮すれば、ウエハ W の表面 FS の中心 CE の電子密度の値 (NE) は、 ϕ が、 0 度以上 $+180$ 度以下の範囲において単調に増加すると、 NE は

単調に減少し、 ϕ が、 -180 度以上 0 度以下の範囲において単調に増加すると、NEも単調に増加する。 ϕ が 0 度の場合、NEは最大値となり、 ϕ が ± 180 度の場合、NEは最小値となる。すなわち、 ϕ が 0 度付近にある場合（例えば、 -30 度以上 $+30$ 度以下の範囲にある場合）にはNEが比較的に大きいので、異方性エッチングに好適であり、 ϕ が ± 180 度付近にある場合（例えば、 -180 度以上 -150 度以下および $+150$ 度以上 $+180$ 度以下の範囲にある場合）にはNEが比較的に小さいので、等方性エッチングに好適である。

[0028] 排気系20は、処理容器12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20は、自動圧力制御器20a、ターボ分子ポンプ20b、および、ドライポンプ20cを有している。ターボ分子ポンプ20bは、自動圧力制御器20aの下流に設けられている。ドライポンプ20cは、バルブ20dを介して処理容器12内の空間に直結されている。また、ドライポンプ20cは、バルブ20eを介してターボ分子ポンプ20bの下流に設けられている。

[0029] 自動圧力制御器20aおよびターボ分子ポンプ20bを含む排気系は、処理容器12の底部に取り付けられている。また、自動圧力制御器20aおよびターボ分子ポンプ20bを含む排気系は、保持構造体18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10では、保持構造体18の周囲から排気系20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12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。

[0030] 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26aおよび下部26bを有している。上部26a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12aの内壁面に沿って延在

している。また、下部 26b は、上部 26a の下方において上部 26a に連続している。下部 26b 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 26b 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、整流部材 26 の内側、即ちウエハ W が收容される空間と、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 が收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。

[0031] 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 22a および第 2 電源 22b を有している。第 1 電源 22a 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 4 は、パルス変調された直流電圧を示す図である。図 4 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 4 に示すように、期間 T_H と期間 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。

[0032] 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、

400 [kHz] 以上 13 [MHz] 以下が望ましく、例えば、400 [kHz] である。プラズマ処理装置 10 では、第 1 電源 22 a からの変調直流電圧と第 2 電源 22 b 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。

[0033] 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。制御部 Cnt は、特に、図 1 の流れ図に示す方法 MT を、プラズマ処理装置 10 の各部を用いて、実行する。

[0034] 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説明する。

[0035] [ガス供給系]

ガス供給系 14 は、上述したようにガス供給部 14 a を有している。ガス供給部 14 a は、一以上のガス吐出孔 14 e を介して処理容器 12 内に処理ガスを供給する。図 2 においては、ガス吐出孔 14 e の個数は、「1」であるが、複数のガス吐出孔 14 e が設けられていてもよい。複数のガス吐出孔 14 e 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。

[0036] 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、ガス供給部 14 a の一以上のガスソースからの処理ガスの流量は調整可能となっている。ガス供給部 14 a からの処理ガスの流量および当該処理ガスの供給のタイミングは、制御部 Cnt によって個別に調整される。

[0037] [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 2 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 2 および図 5 に示す

ように、処理容器 1 2 の天部には開口が設けられており、当該開口は、誘電体板 1 9 4 によって閉じられている。誘電体板 1 9 4 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 1 6 は、この誘電体板 1 9 4 上に設けられている。

[0038] 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 1 6 は、高周波アンテナ 1 4 0、およびシールド部材 1 6 0 を有している。高周波アンテナ 1 4 0 は、シールド部材 1 6 0 によって覆われている。一実施形態では、高周波アンテナ 1 4 0 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 を含んでいる。内側アンテナ素子 1 4 2 A は、外側アンテナ素子 1 4 2 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 1 4 2 B は、内側アンテナ素子 1 4 2 A を囲むように、内側アンテナ素子 1 4 2 A の外側に設けられている。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。

[0039] 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 は共に、複数の挟持体 1 4 4 に挟持されて一体となっている。複数の挟持体 1 4 4 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。

[0040] シールド部材 1 6 0 は、内側シールド壁 1 6 2 A および外側シールド壁 1 6 2 B を有している。内側シールド壁 1 6 2 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 1 4 2 A と外側アンテナ素子 1 4 2 B の間に設けられている。この内側シールド壁 1 6 2 A は、内側アンテナ素子 1 4 2 A を囲んでいる。また、外側シールド壁 1 6 2 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 1 4 2 B を囲むように設けられている。

[0041] 内側アンテナ素子 1 4 2 A 上には、内側シールド板 1 6 4 A が設けられている。内側シールド板 1 6 4 A は、円盤形状を有しており、内側シールド壁 1 6 2 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 1 4 2 B 上には、外側シールド板 1 6 4 B が設けられている。外側シールド板 1 6

4 Bは、環状板であり、内側シールド壁1 6 2 Aと外側シールド壁1 6 2 Bとの間の開口を塞ぐように設けられている。

[0042] 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 [MH 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 [MH 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。

[0043] 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 [MH z]、2 7 [MH z]、4 0 [MH z]、6 0 [MH 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。

[0044] 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。

[0045] [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2参照）から視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2参照）から視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。

[0046] 保持部30は、ウエハWを保持し、第2軸線AX2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。

[0047] 静電チャック32は、その上面においてウエハ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。

[0048] 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32が接している。また、第1部分34aは、第2部分34b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34aの下面は、第2部分34bの下面よりも下方において延在している。この下部電極34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34は、上述したバイアス電力供給部22と電氣的に接続される。即ち、下部電極34には、第1電源22aからの変調直流電圧、および第2電源22b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34には、冷媒流路34fが設けられている。この冷媒流路34f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34は、絶縁部材35上に設けられている。

[0049] 絶縁部材35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35は、第1部分35aおよび第2部分35bを有している。第1部分35aは、絶縁部材35の中央側の部分であり、第2部分35bは、第1部分35aよりも第2軸線AX2から離れて、即ち、第1部分35aよりも外側で延在する部分である。第1部分35aの上面は、第2部分35bの上面よりも下方で延在しており、また、第1部分35aの下面も第2部分35bの下面よりも下方で延在している。絶縁部材35の第2部分35bの上面は、下部電極34の第2部分34bの下面に接している。一方、絶縁部材35の第1部分35aの上面は、下部電極34の下面から離間している。

[0050] 回転軸部36は、略円柱形状を有しており、下部電極34の下面に結合されている。具体的には、下部電極34の第1部分34aの下面に結合されている。回転軸部36の中心軸線は、第2軸線AX2と一致している。この回転軸部36に対して回転力が与えられることにより、保持部30が回転するようになっている。

[0051] このような種々の要素によって構成される保持部30は、容器部40と共に

保持構造体 18 の内部空間として中空の空間を形成している。容器部 40 は、上側容器部 42、および外側容器部 44 を含んでいる。上側容器部 42 は、略円盤形状を有している。上側容器部 42 の中央には、回転軸部 36 が通る貫通孔が形成されている。この上側容器部 42 は、絶縁部材 35 の第 2 部分 35 b の下方において、第 2 部分 35 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 42 の下面周縁には、外側容器部 44 の上端が結合している。外側容器部 44 は、下端において閉塞された略円筒形状を有している。

[0052] 容器部 40 と回転軸部 36 との間には、磁性流体シール部 52 が設けられている。磁性流体シール部 52 は、内輪部 52 a および外輪部 52 b を有している。内輪部 52 a は、回転軸部 36 と同軸に延在する略円筒形状を有しており、回転軸部 36 に対して固定されている。また、内輪部 52 a の上端部は、絶縁部材 35 の第 1 部分 35 a の下面に結合している。この内輪部 52 a は、回転軸部 36 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 52 b は、略円筒形状を有しており、内輪部 52 a の外側において内輪部 52 a と同軸に設けられている。外輪部 52 b の上端部は、上側容器部 42 の中央側部分の下面に結合している。これら内輪部 52 a と外輪部 52 b との間には、磁性流体 52 c が介在している。また、磁性流体 52 c の下方において、内輪部 52 a と外輪部 52 b との間には、軸受 53 が設けられている。この磁性流体シール部 52 は、保持構造体 18 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 52 により、保持構造体 18 の内部空間は、プラズマ処理装置 10 の空間 S から分離される。なお、プラズマ処理装置 10 では、保持構造体 18 の内部空間は大気圧に維持される。

[0053] 一実施形態では、磁性流体シール部 52 と回転軸部 36 との間に、第 1 部材 37 および第 2 部材 38 が設けられている。第 1 部材 37 は、回転軸部 36 の外周面的一部分、即ち、後述する第 3 筒状部 36 d の上側部分の外周面および下部電極 34 の第 1 部分 34 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37の上端は、下部電極34の第2部分34b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37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。

[0054] 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、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、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。

[0055] 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、傾斜軸部50の内側端部が嵌め込まれている。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、保持構造体18と交わっている。傾斜軸部50は、図2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中心に回動し、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。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 -180 度以上 $+180$ 度以下 [度]

」の範囲の角度をなすように傾斜され得る（すなわち保持構造体 18 が第 1 軸線 A X 1 中心に一回転すること（360 度の回動）が可能である）。

[0056] 一実施形態では、第 1 軸線 A X 1 は、第 2 軸線 A X 2 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 A X 1 上で延在している。

[0057] 別の実施形態では、第 1 軸線 A X 1 は、第 2 軸線 A X 2 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。

[0058] 更に別の実施形態では、第 1 軸線 A X 1 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 A X 1 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。

[0059] 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。

[0060] 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 2 参照）に接続されている。

[0061] 第 1 筒状部 36 b は、柱状部 36 a の外側において柱状部 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36b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22aおよび第2電源22bに接続されている。なお、第2電源22b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。

[0062] 第2筒状部36cは、第1筒状部36bの外側において第1筒状部36b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、軸受55は第2筒状部36c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36c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AX2中心に安定して回転させることが可能である。

[0063] 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2参照）に接続されている。

[0064] 第3筒状部36dは、第2筒状部36cの外側において第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 7 2 および配管 7 4 は、保持構造体 1 8 の内部空間から傾斜軸部 5 0 の内孔を通して、処理容器 1 2 の外部まで延びている。そして、配管 7 2 および配管 7 4 は、処理容器 1 2 の外部においてチラーユニット 7 6（図 2 参照）に接続されている。

[0065] また、図 8 に示すように、保持構造体 1 8 の内部空間には、回転モータ 7 8 が設けられている。回転モータ 7 8 は、回転軸部 3 6 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 7 8 は、回転軸部 3 6 の側方に設けられている。この回転モータ 7 8 は、回転軸部 3 6 に取り付けられたプーリ 8 0 に伝導ベルト 8 2 を介して連結されている。これにより、回転モータ 7 8 の回転駆動力が回転軸部 3 6 に伝達され、保持部 3 0 が第 2 軸線 A × 2 中心に回転する。保持部 3 0 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 3 0 は、プロセス中に 10 [rpm] の回転数で回転される。なお、回転モータ 7 8 に電力を供給するための配線は、傾斜軸部 5 0 の内孔を通して処理容器 1 2 の外部まで引き出され、処理容器 1 2 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 3 0 の回転数 [rpm] は同一の値（例えば 10 [rpm]）であるとする。

[0066] このように、保持構造体 1 8 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 1 8 は、その内部空間に収めた機構と処理容器 1 2 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 1 2 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 1 2 の外部に設けられたヒータ電源と静電チャック 3 2 に設けられたヒータとを接続する配線が、保持構造体 1 8 の内部空間から処理容器 1 2 の外部まで傾斜軸部 5 0 の内孔を介して引き出されていてもよい。

[0067] [被処理体を処理する方法]

以下、一実施形態に係る被処理体を処理する方法を説明する。図 1 は、一実

施形態に係る被処理体を処理する方法（方法MT）の一例を示す流れ図である。方法MTの工程ST1は、処理対象となるウエハWをプラズマ処理装置10の保持構造体18に保持するようにウエハWを準備する。ウエハWは、異方性エッチングが支配的な層と、等方性エッチングが支配的な層とを備える。

[0068] 工程ST1に引き続く工程ST2（第1の工程）では、第1の向きVL1と第2の向きVL2とが第1の角度 ϕ 1に維持された状態（ $\phi = \phi 1$ ）において、ウエハWが保持構造体18によって保持されている処理容器12内でラズマを発生させる。工程ST2に引く続く工程ST3（第2の工程）では、第1の向きVL1と第2の向きVL2とが第2の角度 ϕ 2に維持された状態（ $\phi = \phi 2$ ）において、ウエハWが保持構造体18によって保持されている処理容器12内でラズマを発生させる。

[0069] 第1の角度 ϕ 1および第2の角度 ϕ 2は、 -180 度以上 $+180$ 度以下である。第1の角度 ϕ 1の絶対値と第2の角度 ϕ 2の絶対値とは異なる。第1の角度 ϕ 1および第2の角度 ϕ 2のうち、絶対値の小さいほうの角度は、 -30 度以上 $+30$ 度以下の範囲にあり、絶対値の大きいほうの角度は、 -180 度以上 -150 度以下および $+150$ 度以上 $+180$ 度以下の範囲にある。

[0070] ウエハWに対して異方性エッチングを施す場合には、第1の向きVL1と第2の向きVL2との間の角度（傾斜角AN）の値 ϕ を 30 度以上 $+30$ 度以下の範囲とする。

ウエハWに対して等方性エッチングを施す場合には、第1の向きVL1と第2の向きVL2との間の角度（傾斜角AN）の値 ϕ を -180 度以上 -150 度以下および $+150$ 度以上 $+180$ 度以下の範囲とする。

[0071] （実施例1）

上記した方法MTは、図10の（a）部に示すウエハW1の多層膜をエッチングする場合に適用され得る。図9に示す方法MT1は、上記した方法MTの一例であり、ウエハW1を処理する。図10の（a）～（c）部に示すウ

エハW1（被処理体）は、上記したウエハWの一例である。

[0072] 図10の（a）部に示すウエハW1は、3D-NAND素子の作製に用いられるウエハである。ウエハW1は、基体LB、積層領域LA、マスクLMを備える。積層領域LAは、窒化物領域L11、複数のポリシリコン領域L21（複数の第1の層）、複数の酸化物領域L31（複数の第2の層）を備える。積層領域LAの窒化物領域L11は、一層のみから成る。マスクLMは、有機材料から構成されており、例えば、レジストマスクである。窒化物領域L11の材料は、例えば、SiNであり得る。ポリシリコン領域L21は、酸化物領域L31と比較して等方性エッチングが支配的な層である。ポリシリコン領域L21の材料は、アモルファスシリコンであり得る。酸化物領域L31の材料は、例えば、SiO₂であり得る。

[0073] 基体LB上に積層領域LAが設けられている。基体LB上に積層領域LAの酸化物領域L31が配置されている。積層領域LAにおいて、ポリシリコン領域L21と酸化物領域L31とは、積層方向に沿って交互に積層されている。積層領域LA上にマスクLMが設けられている。積層領域LAにおいて、窒化物領域L11は、ポリシリコン領域L21上に配置されている。マスクLMは、積層領域LAの窒化物領域L11上に配置されている。

[0074] 図9に示す方法MT1は、工程ST11、工程ST21、および工程ST31を備える。工程ST11は、図1に示す工程ST1に対応する。工程ST21は、図1に示す工程ST2に対応する。工程ST31は、図1に示す工程ST3に対応する。まず、方法MT1の工程ST11は、処理対象となる図10の（a）部に示すウエハW1をプラズマ処理装置10の保持構造体18に保持するように、ウエハWを準備する。

[0075] 工程ST11に引き続く工程ST21（第1の工程）では、図10の（b）部に示すように、第1の向きVL1と第2の向きVL2とが第1の角度 ϕ_1 に維持された状態（ $\phi = \phi_1$ ）において、保持構造体18によって保持されたウエハW1を、処理容器12内で発生させたプラズマによってエッチングする。より具体的には、第1の角度 ϕ_1 を、異方性エッチングに好適な-3

0度以上+30度以下の範囲に維持した状態において、マスクLMを用いて積層方向に積層領域LAをエッチングし、当該エッチングによって積層領域LA内に溝TL1を形成する。

[0076] 工程ST21に引き続く工程ST31（第2の工程）では、図10の（c）部に示すように、第1の向きVL1と第2の向きVL2とが第2の角度 ϕ_2 に維持された状態（ $\phi = \phi_2$ ）において、保持構造体18によって保持されたウエハW1を、処理容器12内で発生させたプラズマによってエッチングする。より具体的には、第2の角度 ϕ_2 を、等方性エッチングに好適な -180 度以上 -150 度以下および $+150$ 度以上 $+180$ 度以下の範囲に維持した状態において、溝TL1の内側に露出したポリシリコン領域L21をエッチングする。第1の角度 ϕ_1 の絶対値は、第2の角度 ϕ_2 の絶対値よりも小さい。ポリシリコン領域L21は、酸化物領域L31と比較して等方性エッチングが支配的な層であるので、工程ST31では、ポリシリコン領域L21と酸化物領域L31のうち、比較的に高い選択比で、ポリシリコン領域L21のみが選択的にエッチングされ得る。

[0077] 工程ST21，ST31のプロセス条件の実施例を示す。

<工程ST21>

工程ST21では、処理容器12にH₂ガス、CF₄ガス、CHF₃ガス、および、NF₃ガスを導入し、高周波電源150Aおよび高周波電源150Bを用いて高周波電力を印加しプラズマを生成する。工程ST21では、高アスペクト比の加工が必要なので、第2電源22bによって、例えば3[MHz]の周波数で4000[W]の電力を印加する。

<工程ST31>

工程ST31では、ポリシリコン領域L21をエッチングするために、等方性エッチングが必要となる。具体的には、工程ST31では、処理容器12にNF₃ガス、Arガス、および、O₂ガスを導入し、圧力を例えば高圧の400[mT]に保ち、高周波電源150Aおよび高周波電源150Bを用いて高周波電力を印加しプラズマを生成する。なお、工程ST31では、等方

性エッチングを行うために、バイアス電圧を印加しない、または、低電圧のバイアス電圧を印加する。例えば、工程ST31では、第1電源22aおよび第2電源22bのそれぞれによって、0[V]の電圧と0[W]の電力とを印加して、エッチング処理を行う。

[0078] (実施例2)

上記した方法MTは、図12の(a)部に示すウエハW2の多層膜をエッチングする場合に適用され得る。図11に示す方法MT2は、上記した方法MTの一例であり、ウエハW2を処理する。図12の(a)～(c)部に示すウエハW2(被処理体)は、上記したウエハWの一例である。

[0079] 図12の(a)部に示すウエハW2は、3D-NAND素子の作製に用いられるウエハである。ウエハW2は、基体LB、積層領域LA、マスクLMを備える。積層領域LAは、シリコン酸窒化領域L12、アモルファスカーボン領域L22、複数の窒化物領域L32(複数の第1の層)、複数の酸化物領域L42(複数の第2の層)を備える。積層領域LAにおいて、シリコン酸窒化領域L12は、一層のみから成る。積層領域LAにおいて、アモルファスカーボン領域L22は、一層のみから成る。シリコン酸窒化領域L12の材料は、例えば、SiONであり得る。アモルファスカーボン領域L22の材料は、アモルファス・カーボンから成る。窒化物領域L32は、酸化物領域L42と比較して等方性エッチングが支配的な層である。窒化物領域L32の材料は、例えば、SiNであり得る。酸化物領域L42の材料は、例えば、SiO₂であり得る。

[0080] 基体LB上に積層領域LAが設けられている。基体LB上に積層領域LAの窒化物領域L32が配置されている。積層領域LAにおいて、窒化物領域L32と酸化物領域L42とは、積層方向に沿って交互に積層されている。積層領域LA上にマスクLMが設けられている。積層領域LAにおいて、アモルファスカーボン領域L22は、窒化物領域L32上に配置されている。積層領域LAにおいて、シリコン酸窒化領域L12は、アモルファスカーボン領域L22上に配置されている。マスクLMは、積層領域LAのシリコン酸

窒化領域L 1 2上に配置されている。

[0081] 図1 1に示す方法MT 2は、工程ST 1 2、工程ST 2 2、および工程ST 3 2を備える。工程ST 1 2は、図1に示す工程ST 1に対応する。工程ST 2 2は、図1に示す工程ST 2に対応する。工程ST 3 2は、図1に示す工程ST 3に対応する。まず、方法MT 2の工程ST 1 2は、処理対象となる図1 2の(a)部に示すウエハW 2をプラズマ処理装置1 0の保持構造体1 8に保持するように、ウエハWを準備する。

[0082] 工程ST 1 2に引き続く工程ST 2 2(第1の工程)では、図1 2の(b)部に示すように、第1の向きVL 1と第2の向きVL 2とが第1の角度 $\phi 1$ に維持された状態($\phi = \phi 1$)において、保持構造体1 8によって保持されたウエハW 1を、処理容器1 2内で発生させたプラズマによってエッチングする。より具体的には、第1の角度 $\phi 1$ を、異方性エッチングに好適な -30 度以上 $+30$ 度以下の範囲に維持した状態において、マスクLMを用いて積層方向に積層領域LAをエッチングし、当該エッチングによって積層領域LA内に溝TL 2を形成する。

[0083] 工程ST 2 2に引き続く工程ST 3 2(第2の工程)では、図1 2の(c)部に示すように、第1の向きVL 1と第2の向きVL 2とが第2の角度 $\phi 2$ に維持された状態($\phi = \phi 2$)において、保持構造体1 8によって保持されたウエハW 1を、処理容器1 2内で発生させたプラズマによってエッチングする。より具体的には、第2の角度 $\phi 2$ を、等方性エッチングに好適な -180 度以上 -150 度以下および $+150$ 度以上 $+180$ 度以下の範囲に維持した状態において、溝TL 2の内側に露出した窒化物領域L 3 2をエッチングする。第1の角度 $\phi 1$ の絶対値は、第2の角度 $\phi 2$ の絶対値よりも小さい。窒化物領域L 3 2は、酸化物領域L 4 2と比較して等方性エッチングが支配的な層であるので、工程ST 3 2では、窒化物領域L 3 2と酸化物領域L 4 2のうち、比較的に高い選択比で、窒化物領域L 3 2のみが選択的にエッチングされ得る。

[0084] 工程ST 2 2, ST 3 2のプロセス条件の実施例を示す。

<工程 S T 2 2>

工程 S T 2 2 では、材料が異なる複数の領域が積層された積層領域 L A をエッチングするために、各領域ごとに処理をする。シリコン酸窒化領域 L 1 2 をエッチングする場合には、処理容器 1 2 に CF_4 ガス、 CHF_3 ガス、および、 O_2 ガスを導入し、高周波電源 1 5 0 A および高周波電源 1 5 0 B を用いて高周波電力を印加しプラズマを生成する。更に、第 2 電源 2 2 b を用いてバイアス電力を印加する。アモルファスカーボン領域 L 2 2 をエッチングする場合には、処理容器 1 2 に O_2 ガスおよび COS ガスを導入し、高周波電源 1 5 0 A および高周波電源 1 5 0 B を用いて高周波電力を印加しプラズマを生成する。更に、第 2 電源 2 2 b を用いてバイアス電力を印加する。窒化物領域 L 3 2 と酸化物領域 L 4 2 とをエッチングする場合には、窒化物領域 L 3 2 および酸化物領域 L 4 2 のそれぞれに対するエッチング条件で処理容器 1 2 に C_4F_6 ガス、 C_4F_8 ガス、 CH_2F_2 ガス、 CHF_3 ガス、 Ar ガス、および、 O_2 ガスを導入し、窒化物領域 L 3 2 および酸化物領域 L 4 2 のそれぞれに対するエッチング条件で高周波電源 1 5 0 A および高周波電源 1 5 0 B を用いて高周波電力を印加しプラズマを生成する。更に、窒化物領域 L 3 2 および酸化物領域 L 4 2 のそれぞれに対するエッチング条件で第 2 電源 2 2 b を用いてバイアス電力を印加する。工程 S T 2 2 における窒化物領域 L 3 2 および酸化物領域 L 4 2 に対するエッチングでは、サイクルエッチングの方式を用いる。また、工程 S T 2 2 で行うエッチングでは、高アスペクト比の加工が必要となるので、第 2 電源 2 2 b によって、例えば 3 [MHz] の周波数で 5 0 0 0 [W] のバイアス電力を印加する。

<工程 S T 3 2>

工程 S T 3 2 は、窒化物領域 L 3 2 をエッチングするために、等方性エッチングが必要となる。具体的には、工程 S T 3 2 では、処理容器 1 2 に NF_3 ガス、 Ar ガス、および、 O_2 ガスを導入し、圧力を例えば高圧の 4 0 0 [mT] に保ち、高周波電源 1 5 0 A および高周波電源 1 5 0 B を用いて高周波電力を印加しプラズマを生成する。なお、工程 S T 3 2 では、等方性エッチン

グを行うために、バイアス電圧を印加しない、または、低電圧のバイアス電圧を印加する。例えば、工程ST32では、第1電源22aおよび第2電源22bのそれぞれによって、0[V]の電圧と0[W]の電力とを印加して、エッチング処理を行う。

[0085] (実施例3)

上記した方法MTは、図14の(a)部に示すウエハW3の多層膜をエッチングする場合に適用され得る。図13に示す方法MT3は、上記した方法MTの一例であり、ウエハW3を処理する。図14の(a)～(c)部に示すウエハW3(被処理体)は、上記したウエハWの一例である。

[0086] ウエハW3は、基体LB、積層領域LA、マスクLMを備える。積層領域LAは、反射防止膜L13、有機膜L23、被エッチング層L33を備える。マスクLMは、反射防止膜L13と比較して等方性エッチングが支配的な層である。反射防止膜L13の材料は、例えば、酸化シリコンを含有し得る。有機膜L23は、例えば、炭素またはシリコンを含む層であり、SOH(スピノンハードマスク)層であり得る。被エッチング層L33は、酸化シリコン(SiO_2)から構成される絶縁膜であり得る。

[0087] 基体LB上に積層領域LAが設けられている。基体LB上に積層領域LAの被エッチング層L33が配置されている。積層領域LAにおいて、有機膜L23は、被エッチング層L33上に配置されている。積層領域LAにおいて、反射防止膜L13は、有機膜L23上に配置されている。積層領域LA上にマスクLMが設けられている。マスクLMは、積層領域LAの反射防止膜L13上に配置されている。

[0088] 図13に示す方法MT3は、工程ST13、工程ST23、および工程ST33を備える。工程ST13は、図1に示す工程ST1に対応する。工程ST23は、図1に示す工程ST2に対応する。工程ST33は、図1に示す工程ST3に対応する。まず、方法MT3の工程ST13は、処理対象となる図14の(a)部に示すウエハW3をプラズマ処理装置10の保持構造体18に保持するように、ウエハWを準備する。

[0089] 工程 S T 1 3 に引き続く工程 S T 2 3（第 1 の工程）では、図 1 4 の（b）部に示すように、第 1 の向き V L 1 と第 2 の向き V L 2 とが第 1 の角度 $\phi 1$ に維持された状態（ $\phi = \phi 1$ ）において、保持構造体 1 8 によって保持されたウエハ W 1 を、処理容器 1 2 内で発生させたプラズマによってエッチングする。より具体的には、第 1 の角度 $\phi 1$ を、等方性エッチングに好適な -180 度以上 -150 度以下および $+150$ 度以上 $+180$ 度以下の範囲に維持した状態において、マスク L M の表面を改質する。なお、工程 S T 2 3 では、異方性エッチングが抑制されるので、マスク L M に対するエッチングも抑制される。従って、マスク L M のマスク長と、マスク L M の L W R（Line Width Roughness）および L E R（Line Edge Roughness）とが、共に、工程 S T 2 3 の実施前の状態からの劣化が抑制される。

[0090] 工程 S T 2 3 に引き続く工程 S T 3 3（第 2 の工程）では、図 1 4 の（c）部に示すように、第 1 の向き V L 1 と第 2 の向き V L 2 とが第 2 の角度 $\phi 2$ に維持された状態（ $\phi = \phi 2$ ）において、保持構造体 1 8 によって保持されたウエハ W 1 を、処理容器 1 2 内で発生させたプラズマによってエッチングする。より具体的には、第 2 の角度 $\phi 2$ を、異方性エッチングに好適な -30 度以上 $+30$ 度以下の範囲に維持した状態において、マスク L M を用いて、反射防止膜 L 1 3 をエッチングして、マスク L M 1 3 を形成する。第 1 の角度 $\phi 1$ の絶対値は、第 2 の角度 $\phi 2$ の絶対値よりも大きい。

[0091] 工程 S T 2 3，S T 3 3 のプロセス条件の実施例を示す。

<工程 S T 2 3>

工程 S T 2 3 では、マスク L M の表面を改質するために、等方的な処理が必要となる。処理容器 1 2 に H_2 ガスおよび A r ガスを導入し、圧力を例えば 5 [m T] に保ち、高周波電源 1 5 0 A および高周波電源 1 5 0 B を用いて高周波電力を印加しプラズマを生成する。なお、工程 S T 2 3 では、等方的な処理を行うために、バイアス電圧を印加しない、または、低電圧のバイアス電圧を印加する。例えば、工程 S T 2 3 では、第 1 電源 2 2 a および第 2 電源 2 2 b のそれぞれによって、0 [V] の電圧と 0 [W] の電力とを印加し

て、エッチング処理を行う。

<工程 S T 3 3>

工程 S T 3 3 は、反射防止膜 L 1 3 をエッチングするために、異方性エッチングが必要となる。具体的には、工程 S T 3 3 では、処理容器 1 2 に C F₄ ガスおよび A r ガスを導入し、圧力を例えば 5 [m T] に保ち、高周波電源 1 5 0 A および高周波電源 1 5 0 B を用いて高周波電力を印加しプラズマを生成する。また、工程 S T 3 3 で行うエッチングでは、異方性エッチングが必要となるので、第 2 電源 2 2 b によって、例えば、1 3 [M H z] の周波数で 5 0 0 [W] のバイアス電力を印加する。

[0092] 上記に説明した方法 M T では、工程 S T 1 と工程 S T 2 とにおいて、ウエハ W を保持する保持構造体 1 8 の向きが異なるので、各工程においては、処理容器 1 2 内において生じるプラズマによるイオン密度の差が、処理プロセスを複雑化することなく、容易に利用され得る。特に、処理容器 1 2 内において、ガス状態やプラズマ状態等を変化させることなく、保持構造体 1 8 の向きを変えることによって、イオン密度の差が容易に利用可能となる。

[0093] また、実施例 1 の工程 S T 2 1 と工程 S T 3 1 とにおいて、ウエハ W 1 を保持する保持構造体 1 8 の向きが異なるので、処理容器 1 2 内におけるイオン密度の差が利用され得ることとなり、従って、保持構造体 1 8 の向きを変えることによって、等方性エッチングが支配的な層に対するエッチングと、異方性エッチングが支配的な層とに対するエッチングとを容易に切り替えることが可能となる。

[0094] また、実施例 2 の工程 S T 2 2 と工程 S T 2 2 とにおいて、ウエハ W 2 を保持する保持構造体 1 8 の向きが異なるので、処理容器 1 2 内におけるイオン密度の差が利用され得ることとなり、従って、保持構造体 1 8 の向きを変えることによって、等方性エッチングが支配的な層に対するエッチングと、異方性エッチングが支配的な層とに対するエッチングとを容易に切り替えることが可能となる。

[0095] また、実施例 3 において、等方性エッチングが支配的なマスク L M の表面を

改質する工程 S T 2 3 では、第 1 の角度 $\phi 1$ の絶対値は、第 2 の角度 $\phi 2$ の絶対値よりも大きく、よって、ウエハ W 3 が誘電体板 1 9 4 の表面 1 9 4 a から遠避けられるので、ウエハ W 3 の付近のイオン密度が低くなり、このような工程 S T 2 3 の実施によるマスク L M の形状の劣化が、回避され得る。

[0096] また、処理容器 1 2 内において生じるプラズマによるイオン密度の差は、保持構造体 1 8 に係る第 1 の向き V L 1 と第 2 の向き V L 2 との成す角度が、 -30 度以上 $+30$ 度以下の範囲にある場合と、 -180 度以上 -150 度以下および $+150$ 度以上 $+180$ 度以下の範囲にある場合とで、十分に異なり得る。

[0097] また、イオンエネルギーを制御する場合には、従来では、印加電圧の調節のもとでイオン電流を調節することによって処理容器 1 2 内のイオンエネルギーを制御するが、当該印加電圧をゼロにしてもイオンエネルギーはゼロにはならず、処理容器 1 2 内の上部のプラズマポテンシャルの存在等の影響によって、例えば 4.2 [eV] 程度がイオンエネルギーの下限值となるので、イオンエネルギーを当該下限値より低減させるためには例えばイオントラップ板等の部材が必要となる。これに対し、プラズマ処理装置 1 0 を用いて上記した一実施形態に係る方法 M T で行われたように、保持構造体 1 8 が第 1 軸線 A X 1 の回りに 360 度 (-180 度以上 $+180$ 度以下) の回動が可能であるので、保持構造体 1 8 に保持されているウエハ W の表面 F S を連続的に回動することによって、表面 F S の位置を、好適な電子密度となる位置に移動させることが容易に可能となる。従って、従来のように印加電圧の調節のもとでイオン電流を調節することなく、保持構造体 1 8 を回動するだけで容易にウエハ W の表面 F S 近傍の電子密度を好適な値に設定できる。特に、イオンエネルギーが上記の下限値となっている場合であっても、イオントラップ板等の部材を用いずに、保持構造体 1 8 を例えば ± 180 度の程度だけ回動してウエハ W の表面 F S を処理容器 1 2 の天井側にある誘電体板 1 9 4 の表面 1 9 4 a に対して反対側に向けることによって (ウエハ W の表面 F S を表面 1 9 4 a から最も遠い位置に移動させることによって)、表面 F S

の近傍におけるイオンエネルギーを当該下限値よりも低減させることが可能となる。このように、プラズマ処理装置 10 を用いて、上記した一実施形態に係る方法 M T で行われたように、保持構造体 18 を第 1 軸線 A X 1 の回りに -180 度 $\sim +180$ 度の範囲で連続して回転することによって、保持構造体 18 に保持されたウエハ W の表面 F S の近傍のイオンエネルギーを、従来の下限値を下回る値（例えば、 $2 \sim 3$ e V 近傍、更には、ゼロ e V 近傍）に至るまで、連続的に調節が可能となる。イオンエネルギーを、上記下限値を下回る値に容易に設定できるので、例えばフッ素プラズマによる Si 膜と Si O₂ 膜とに対するエッチングにおいて、高選択比が容易に実現され得る。

[0098] 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を請求する。

符号の説明

[0099] 10…プラズマ処理装置、12…処理容器、12a…中間部分、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…ガス供給部、14e…ガス吐出孔、150A…高周波電源、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、194a…表面、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…バルブ、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、34…下部電極、34a…第 1 部分、34b…第 2 部分、34f…冷媒流路、35…絶縁部材、35a…第 1 部分、35b…第 2 部分、36…回転軸部、36

a…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…封止部材、39b…封止部材、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…軸受、54…ロータリーコネクタ、55…軸受、60…配線、62…電源、64…配線、66…配管、68…伝熱ガスのソース、70…回転継手、72…配管、74…配管、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、CE…中心、Cnt…制御部、FA1…水平基準面、FA2…鉛直基準面、FS…表面、L11…窒化物領域、L12…シリコン酸窒化領域、L13…反射防止膜、L21…ポリシリコン領域、L22…アモルファスカーボン領域、L23…有機膜、L31…酸化物領域、L32…窒化物領域、L33…被エッチング層、L42…酸化物領域、LA…積層領域、LB…基体、LM…マスク、LM13…マスク、MT…方法、MT1…方法、MT2…方法、MT3…方法、OR…原点、PX…軸線、S…空間、TC…1周期、TH…期間、TL…期間、TL1…溝、TL2…溝、VL1…第1の向き、VL2…第2の向き、W…ウエハ、W1…ウエハ、W2…ウエハ、W3…ウエハ、XO…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、
- 前記保持構造体は、前記処理容器内において該処理容器に設けられた傾斜軸のまわりに360度の回転が可能であり、
- 前記傾斜軸は、前記保持構造体と交わっており、
- 前記傾斜軸の軸線は、前記処理容器内の天井側に設けられた上部電極の電極板の表面と、前記保持構造体に保持されている前記被処理体の表面とに平行であり、
- 前記保持構造体によって保持されている前記被処理体の前記表面と前記電極板の前記表面とが平行となっており且つ互いに向かい合っている状態では、該被処理体の第1の中心軸線と前記処理容器の第2の中心軸線とが重なりとともに、該第1の中心軸線の第1の向きと該第2の中心軸線の第2の向きとが同一となり、
- 前記第1の中心軸線は、前記被処理体の前記表面に垂直であり、
- 前記第1の向きは、前記被処理体の前記表面の上方に向いており、
- 、
- 前記第2の中心軸線は、前記電極板の前記表面に垂直であり、
- 前記第2の向きは、前記処理容器の底部側から、該処理容器の天井側に設けられた前記電極板に、向いており、
- 前記第1の中心軸線は、前記保持構造体が前記傾斜軸のまわりに回転することによって、前記第2の中心軸線に対して傾斜し、
- 当該方法は、
- 前記第1の向きと前記第2の向きとが第1の角度を成すように維持された状態において、前記被処理体が前記保持構造体によって保持されている前記処理容器内でプラズマを発生させる第1の工程と、

前記第 1 の工程の実施後において、前記第 1 の向きと前記第 2 の向きとが第 2 の角度を成すように維持された状態において、前記被処理体が前記保持構造体によって保持されている前記処理容器内でプラズマを発生させる第 2 の工程と、
を備え、

前記第 1 の角度および前記第 2 の角度は、 -180 度以上 $+180$ 度以下であり、

前記第 1 の角度の絶対値と前記第 2 の角度の絶対値とは異なる、
方法。

[請求項 2] 前記被処理体は、積層領域と該積層領域の上に設けられたマスクとを備え、

前記積層領域は、複数の第 1 の層と複数の第 2 の層とを備え、

前記第 1 の層と前記第 2 の層とは、積層方向に沿って交互に積層され、

前記第 1 の層は、前記第 2 の層と比較して等方性エッチングが支配的な層であり、

前記第 1 の角度の絶対値は、前記第 2 の角度の絶対値よりも小さく、

前記第 1 の工程では、前記マスクを用いて前記積層方向に前記積層領域をエッチングし、当該エッチングによって前記積層領域内に溝を形成し、

前記第 2 の工程では、前記溝の内側に露出した前記第 1 の層をエッチングする、

請求項 1 に記載の方法。

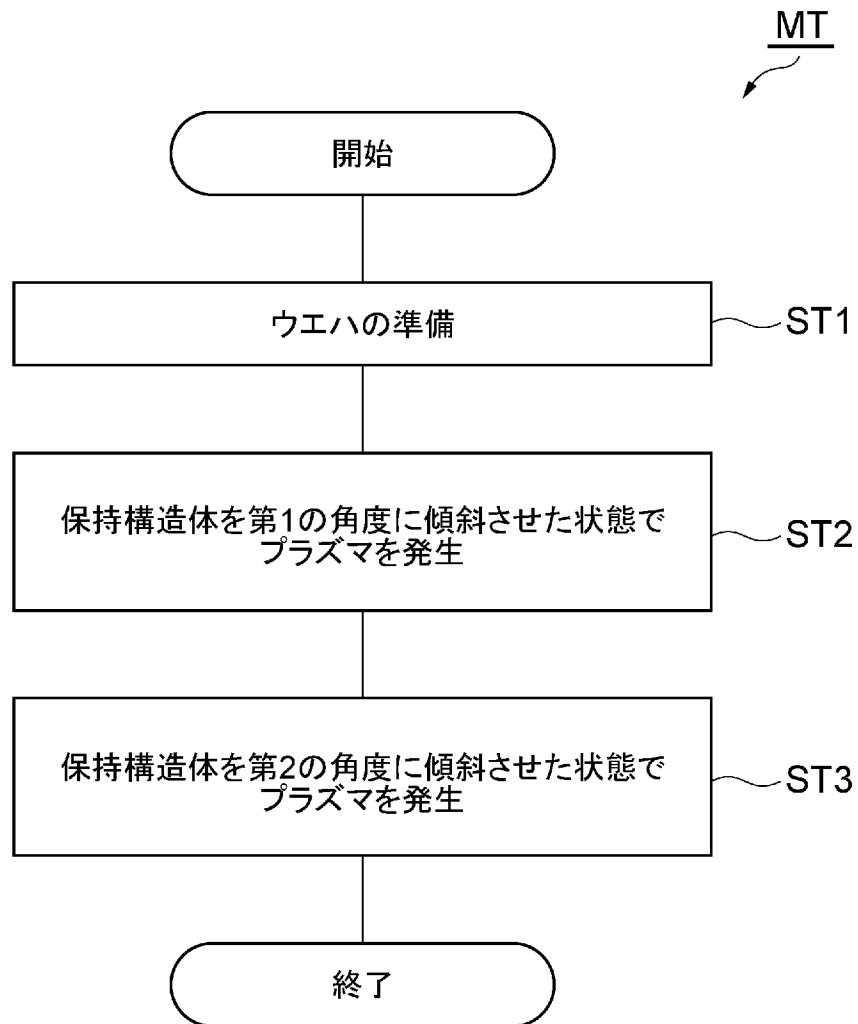
[請求項 3] 前記被処理体は、反射防止膜と該反射防止膜上に設けられたマスクとを備え、

前記第 1 の角度の絶対値は、前記第 2 の角度の絶対値よりも大きく、

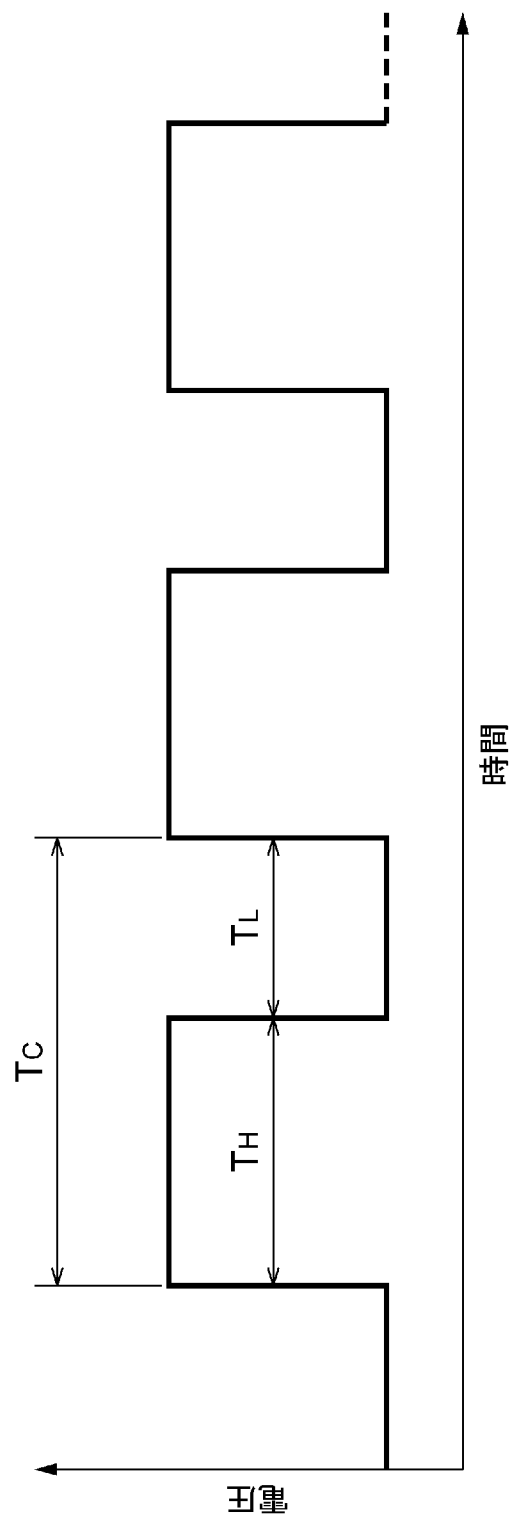
前記マスクは、等方性エッチングが支配的な層であり、
前記第 1 の工程では、前記マスクの表面を改質し、
前記第 2 の工程では、前記マスクを用いて、前記反射防止膜をエッチングする、
請求項 1 に記載の方法。

[請求項 4] 前記第 1 の角度および前記第 2 の角度のうち、絶対値の小さいほうの角度は、 -30 度以上 $+30$ 度以下の範囲にあり、絶対値の大きいほうの角度は、 -180 度以上 -150 度以下および $+150$ 度以上 $+180$ 度以下の範囲にある、
請求項 1 ～ 3 の何れか一項に記載の方法。

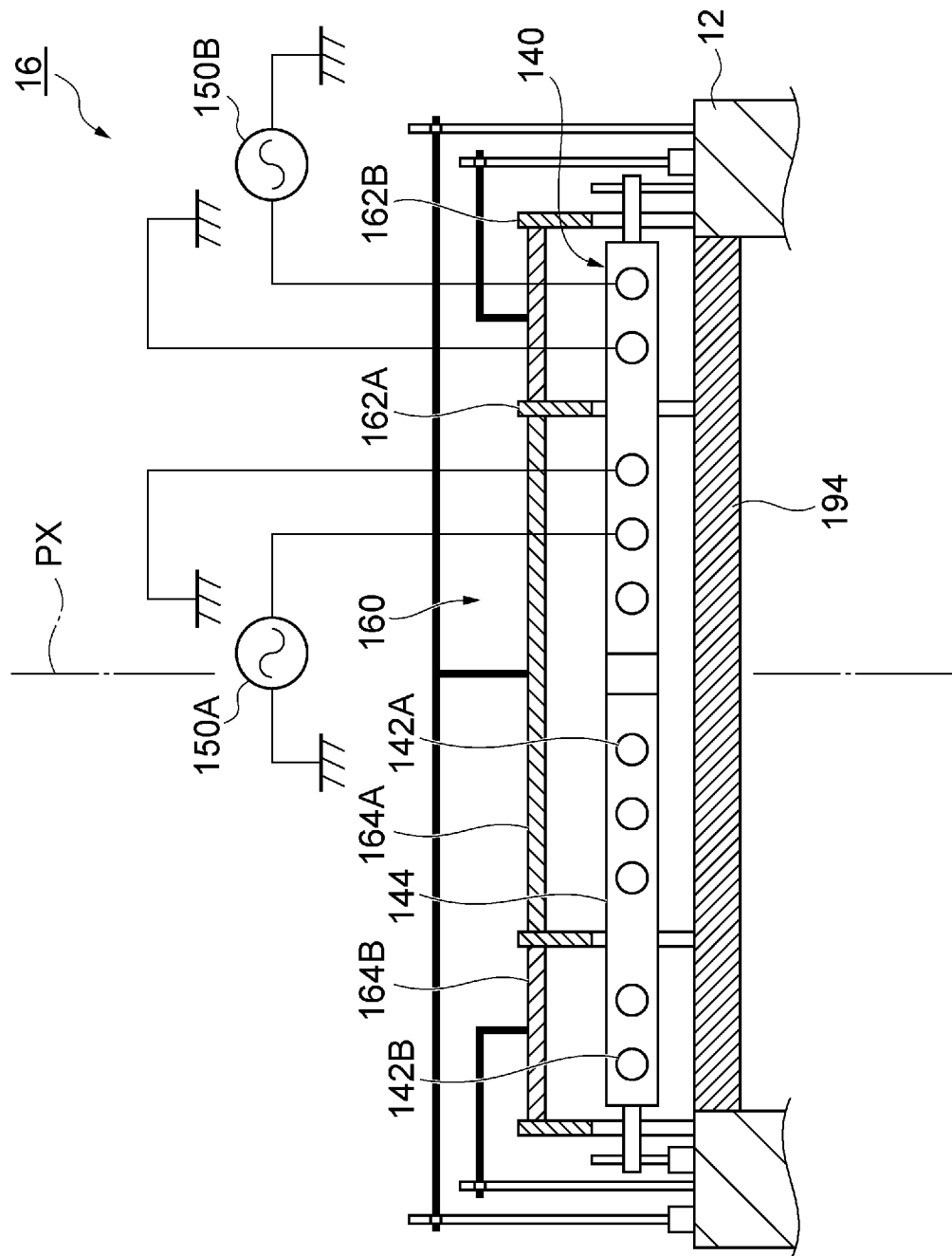
[図1]



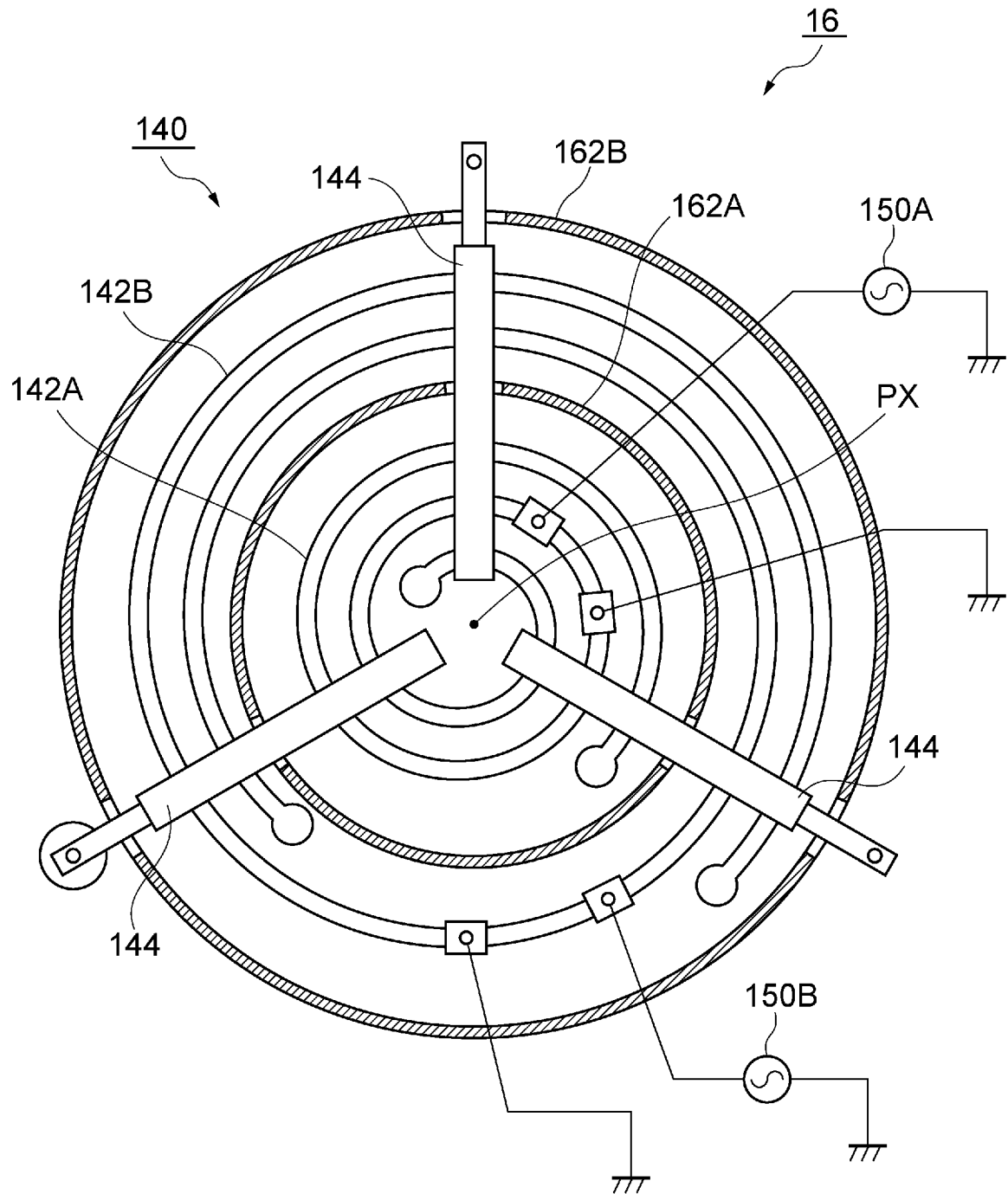
[図4]



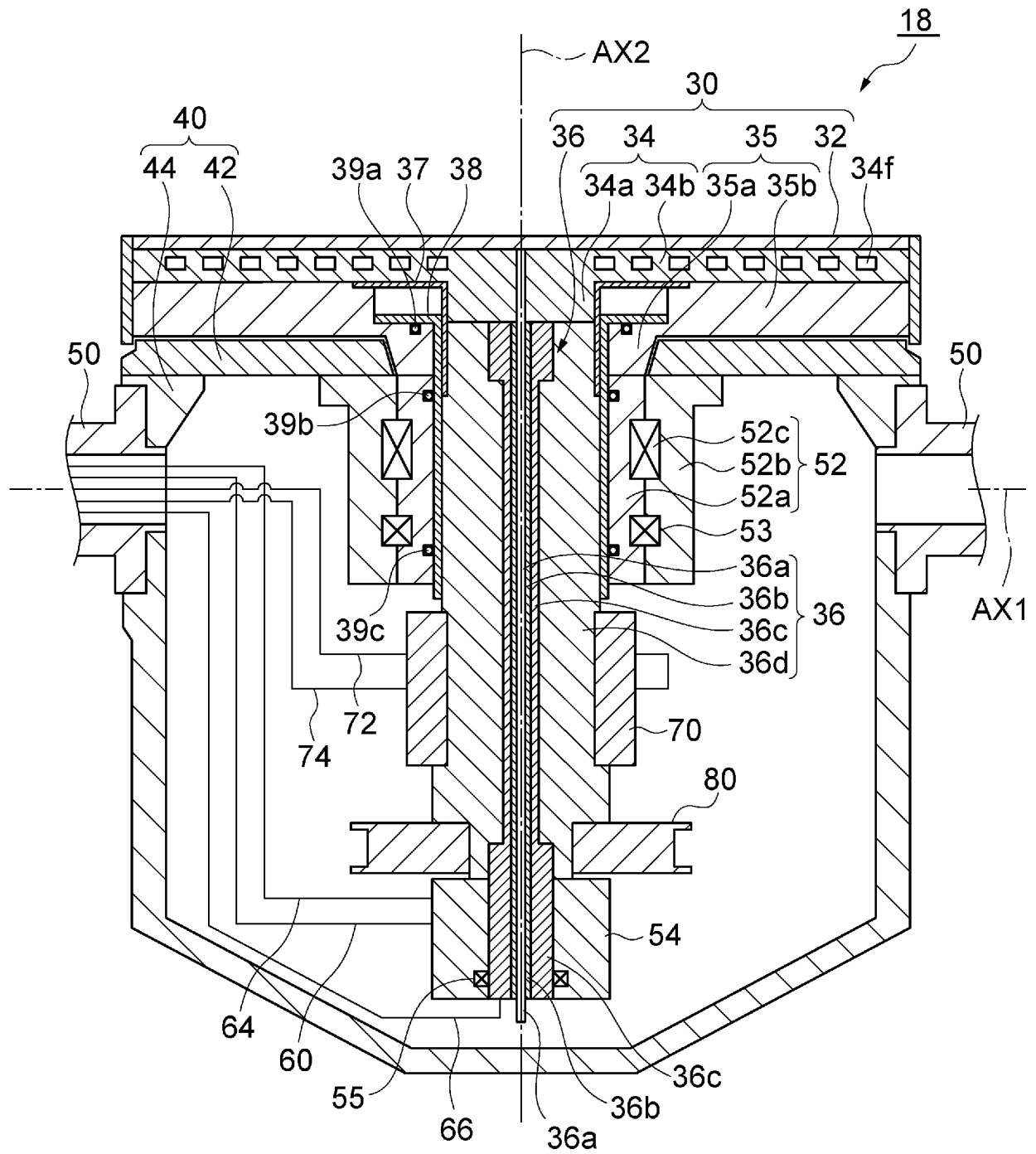
[図5]



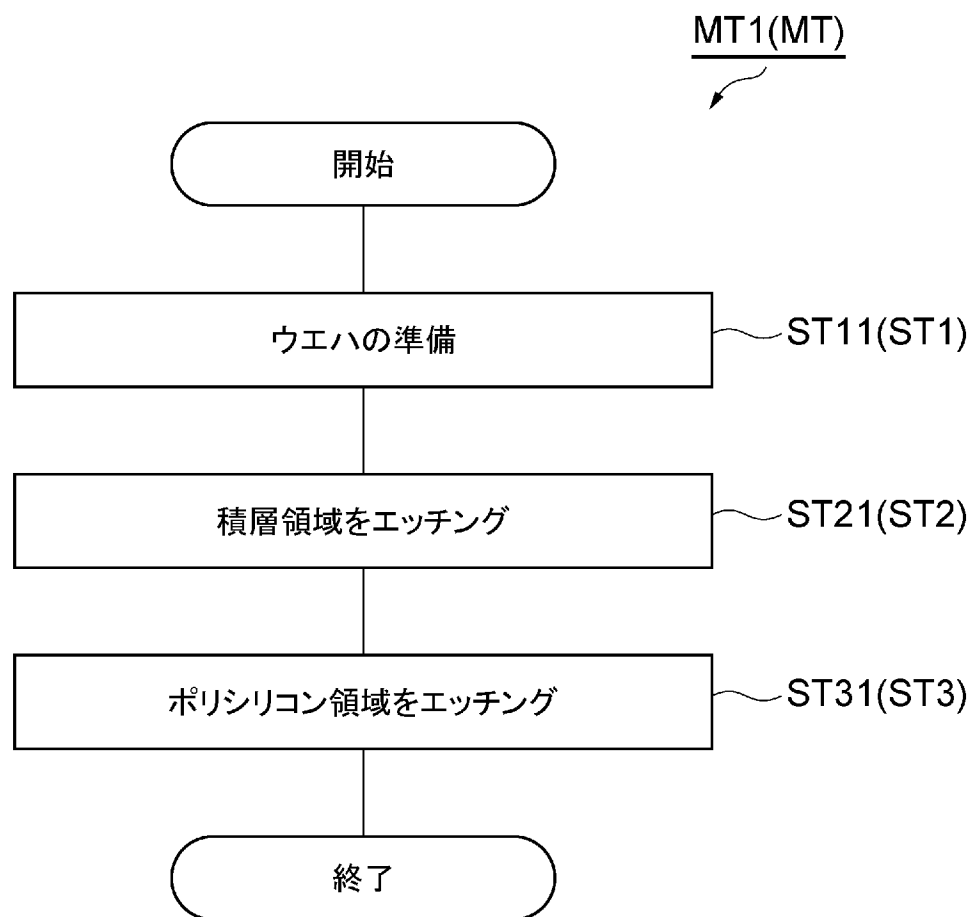
[図6]



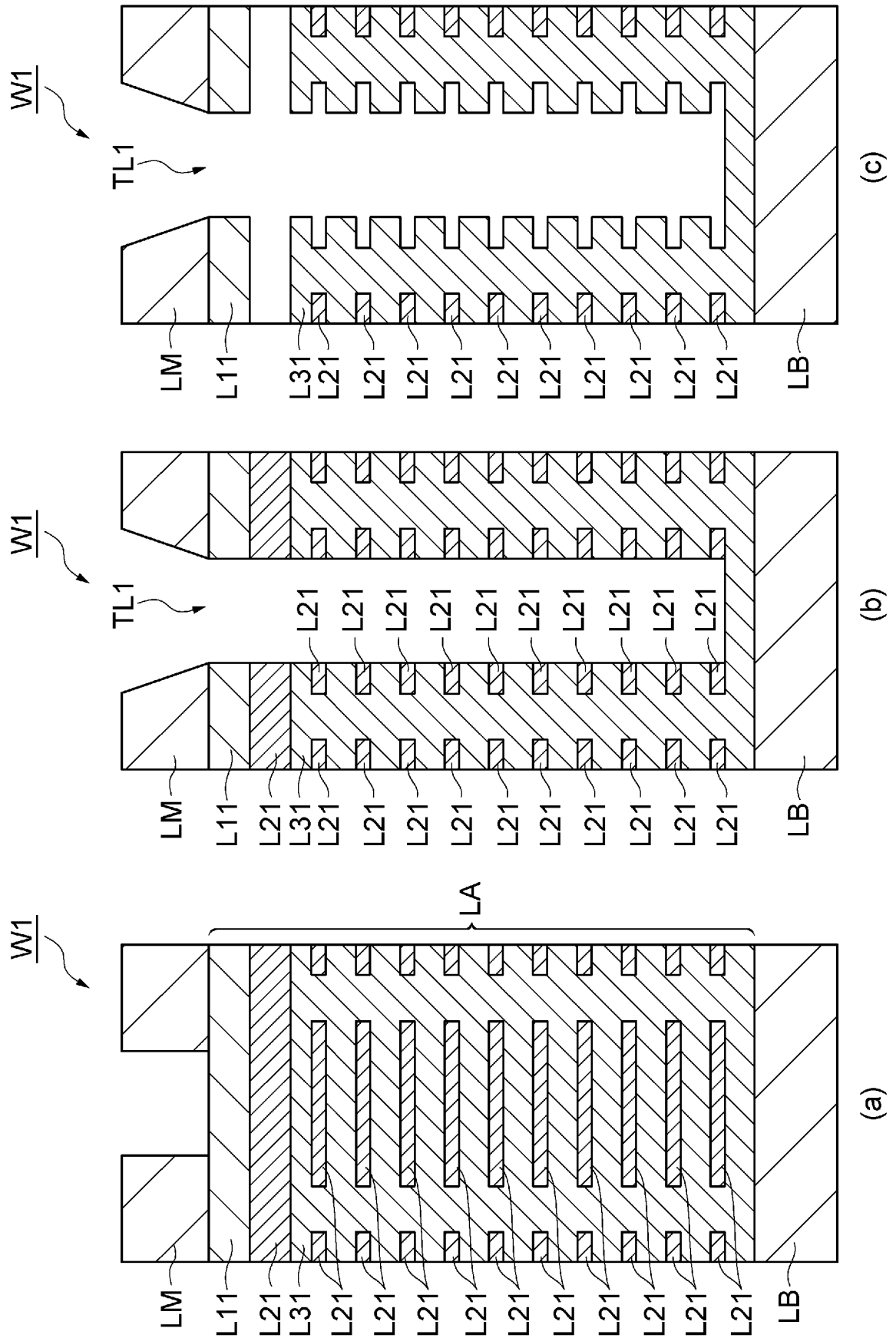
[図7]



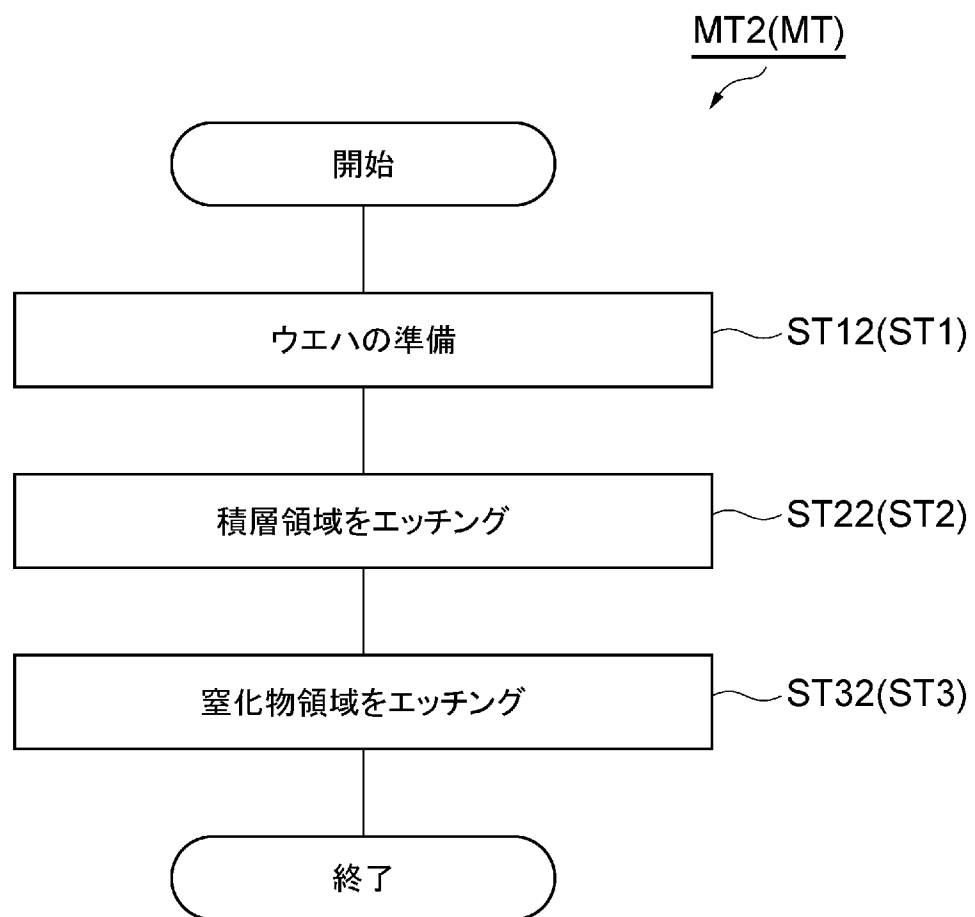
[図9]



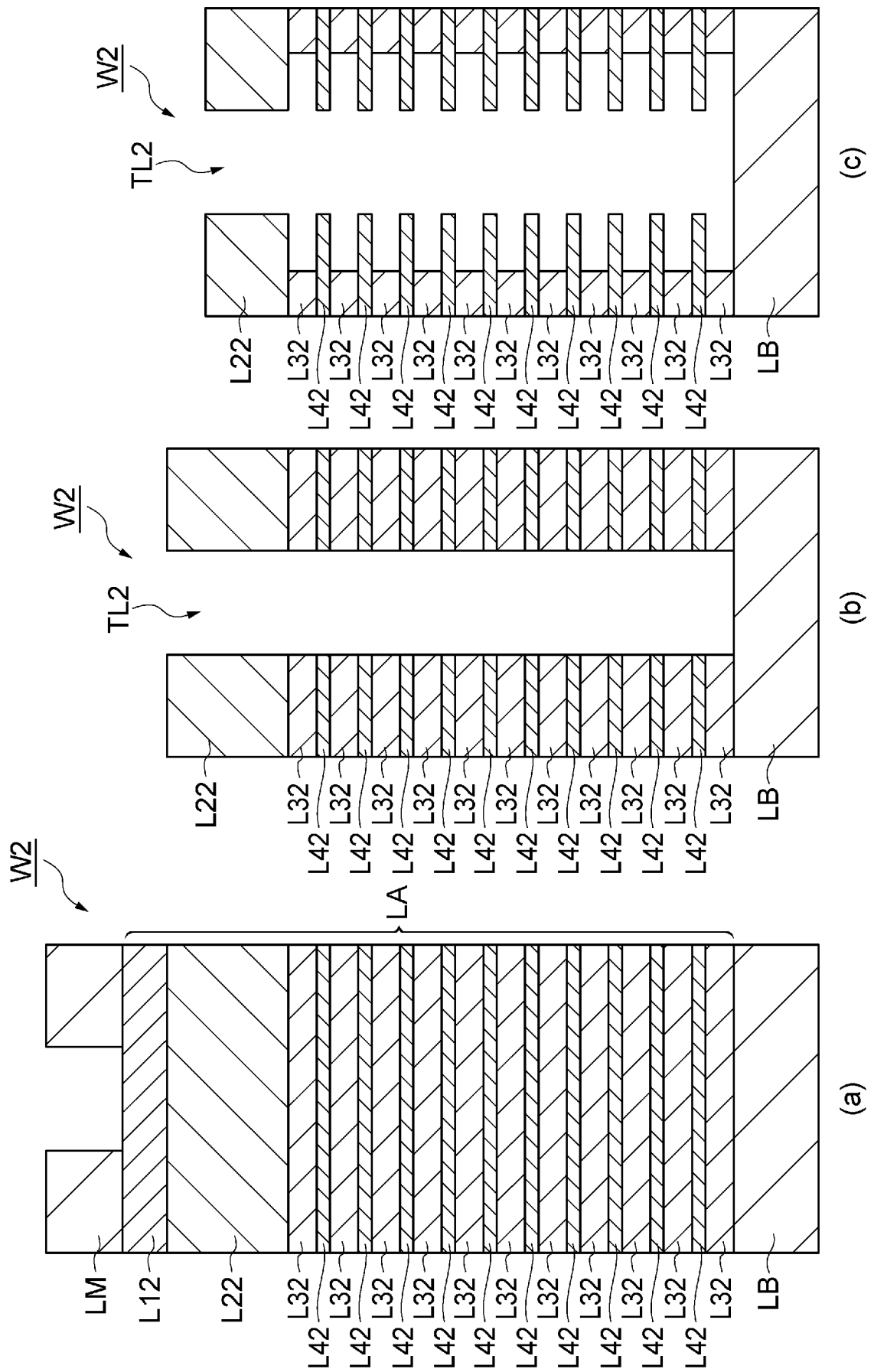
[図10]



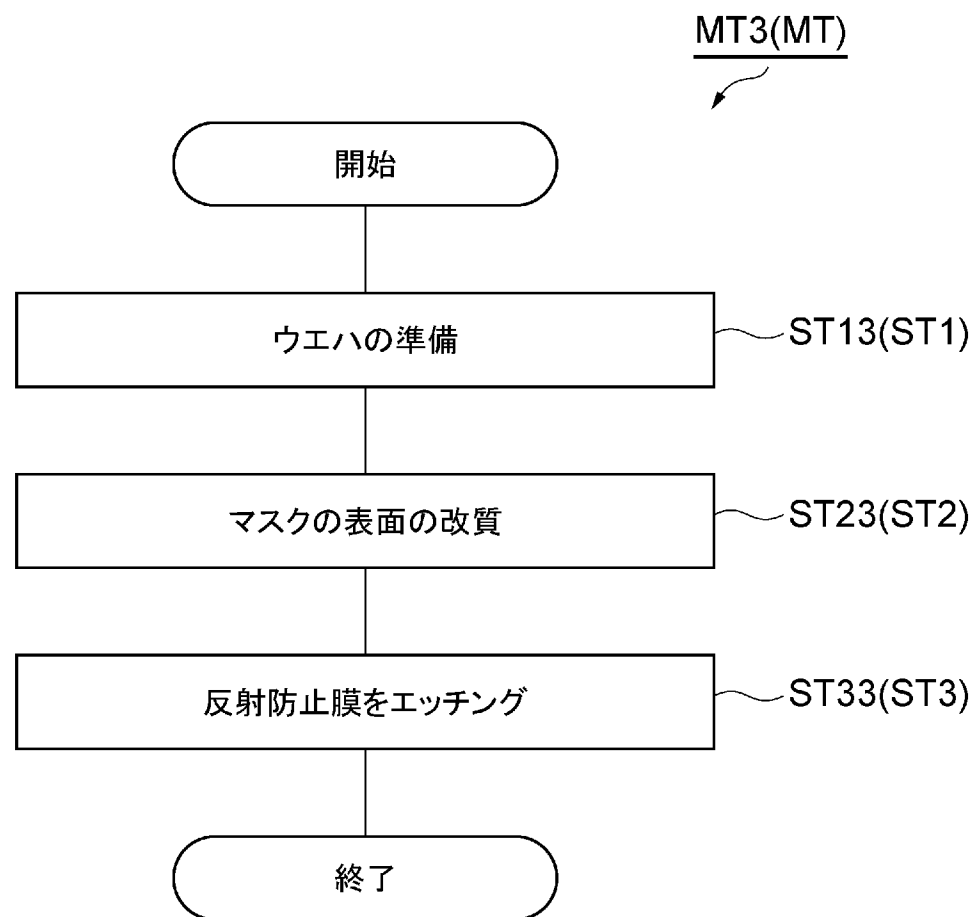
[図11]



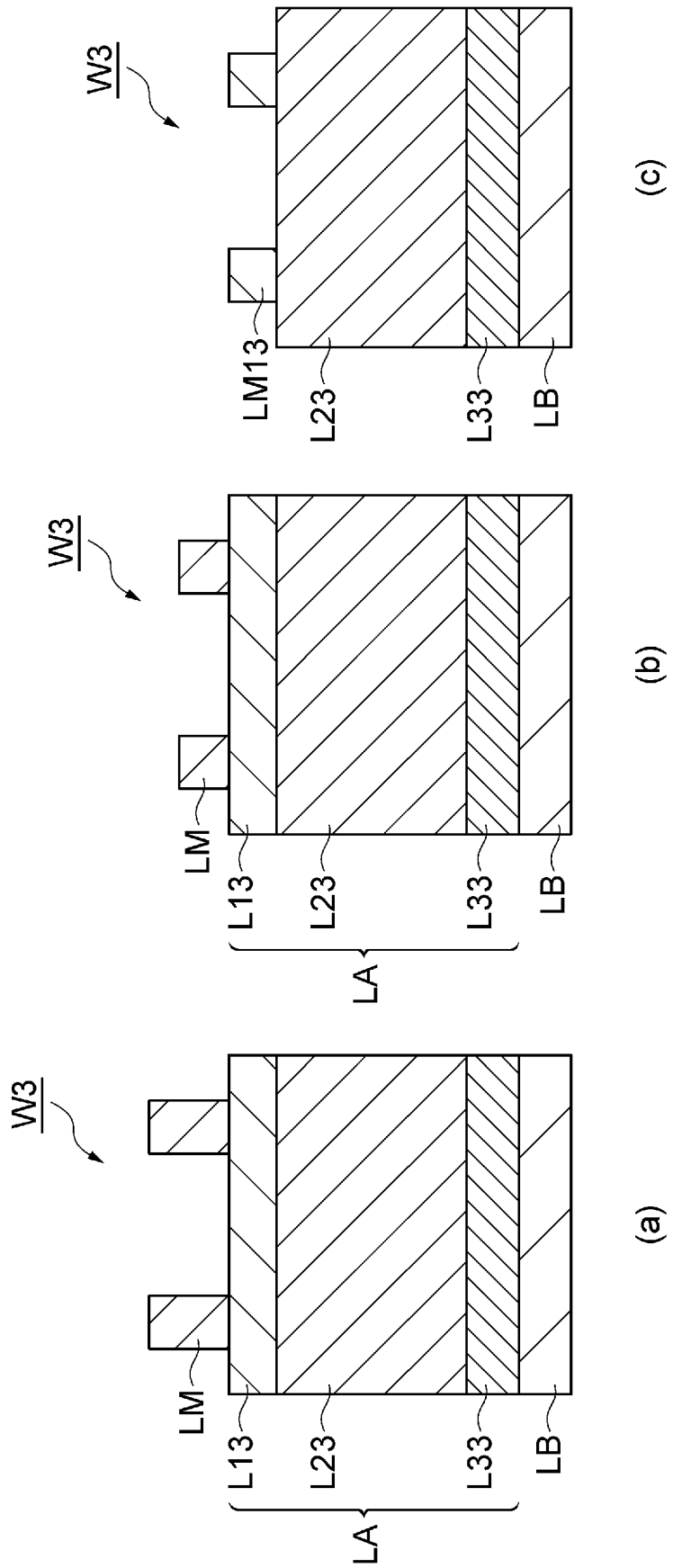
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/027888

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/3065(2006.01)i, H01L21/3213(2006.01)i, H01L21/768(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, H01L21/3213, H01L21/768, 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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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.
Y A	JP 2016-082020 A (Tokyo Electron Ltd.), 16 May 2016 (16.05.2016), paragraphs [0033] to [0092], [0108] to [0128]; fig. 1 to 8, 13 to 21 & US 2017/0221682 A1 paragraphs [0054] to [0113], [0143] to [0163] & WO 2016/060063 A1 & KR 10-2017-0070006 A & CN 107078049 A & TW 201614711 A	1 2-4
Y A	JP 61-097888 A (Fujitsu Ltd.), 16 May 1986 (16.05.1986), page 2, lower right column, lines 5 to 14; fig. 1 (Family: none)	1 2-4

☒ 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
17 October 2017 (17.10.17)

Date of mailing of the international search report
31 October 2017 (31.10.17)

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/JP2017/027888

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2000-216447 A (Japan Science and Technology Corp.), 04 August 2000 (04.08.2000), paragraphs [0057] to [0060]; fig. 7, 8 & US 6605225 B1 column 8, line 57 to column 9, line 24; fig. 8, 9 & WO 2004/097951 A1	1 2-4
A	WO 2015/115002 A1 (Hitachi Kokusai Electric Inc.), 06 August 2015 (06.08.2015), entire text; all drawings & TW 201535510 A	1-4
A	JP 2014-096500 A (Tokyo Electron Ltd.), 22 May 2014 (22.05.2014), entire text; all drawings & US 2014/0134848 A1	1-4
P, X	WO 2017/082373 A1 (Tokyo Electron Ltd.), 18 May 2017 (18.05.2017), paragraphs [0015] to [0144]; fig. 1 to 22 & JP 2017-098521 A	1

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, H01L21/3213(2006.01)i, H01L21/768(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, H01L21/3213, H01L21/768, 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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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
Y A	JP 2016-082020 A（東京エレクトロン株式会社） 2016.05.16, 段落[0033]-[0092], [0108]-[0128], 図1-8, 13-21 & US 2017/0221682 A1, 段落[0054]-[0113], [0143]-[0163] & WO 2016/060063 A1 & KR 10-2017-0070006 A & CN 107078049 A & TW 201614711 A	1 2-4
Y A	JP 61-097888 A（富士通株式会社） 1986.05.16, 第2頁右下欄第5-14行, 第1図 (ファミリーなし)	1 2-4

☒ 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

17.10.2017

国際調査報告の発送日

31.10.2017

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）

長谷川 直也

50

4549

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
Y A	JP 2000-216447 A (科学技術振興事業団) 2000.08.04, 段落[0057]-[0060], 図 7, 8 & US 6605225 B1, 第 8 欄第 57 行-第 9 欄第 24 行, 図 8, 9 & WO 2004/097951 A1	1 2-4
A	WO 2015/115002 A1 (株式会社日立国際電気) 2015.08.06, 全文, 全図 & TW 201535510 A	1-4
A	JP 2014-096500 A (東京エレクトロン株式会社) 2014.05.22, 全文, 全図 & US 2014/0134848 A1	1-4
P, X	WO 2017/082373 A1 (東京エレクトロン株式会社) 2017.05.18, 段落[0015]-[0144], 図 1-22 & JP 2017-098521 A	1