(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
2024年8月22日(22.08.2024)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2024/171669 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 21/3065 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2024/000496

(22) 国際出願日： 2024年1月11日(11.01.2024)

(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 2023-020225 2023年2月13日(13.02.2023) 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: 向山 広記 (**MUKAIYAMA, Koki**); 〒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).

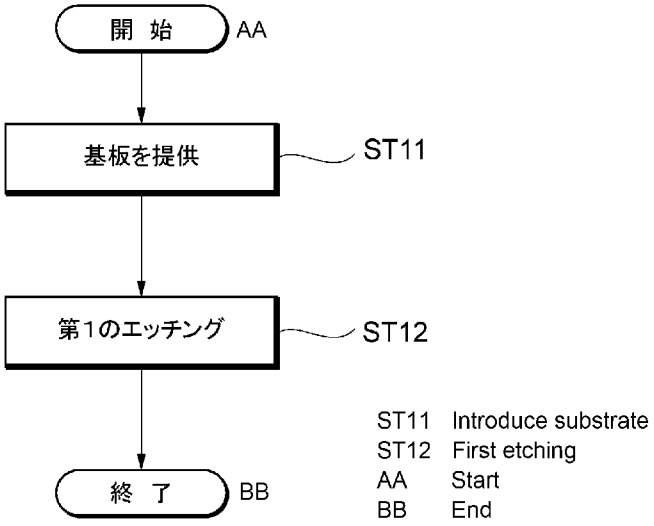
(74) 代理人: 佐藤 睦, 外 (**SATO, Atsushi** et al.); 〒1066123 東京都港区六本木６－１０－１ 六本木ヒルズ森タワー２３階 ＴＭＩ総合法律事務所 Tokyo (JP).

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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,

(54) **Title:** ETCHING METHOD AND PLASMA PROCESSING APPARATUS

(54) 発明の名称： エッチング方法及びプラズマ処理装置



(57) **Abstract:** Provided is a technology that suppresses the blockage of openings in a mask. An etching method is provided. This method comprises: (a) a step for providing, onto a substrate support unit within a chamber, a substrate having a carbon-containing film and a mask on the carbon-containing film; and (b) a step for etching the carbon-containing film using a plasma generated from a first process gas, wherein the first process gas contains a phosphorus halide gas, an oxygen-containing gas, and a sulfur-containing gas or contains a phosphorus halide gas and an oxygen- and sulfur-containing gas.

WO 2024/171669 A1

［続葉有］

DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：マスクの開口閉塞を抑制する技術を提供する。エッチング方法が提供される。この方法は、（ａ）チャンバ内の基板支持部上に、炭素含有膜と炭素含有膜上のマスクとを有する基板を提供する工程と、（ｂ）第１の処理ガスから生成したプラズマを用いて炭素含有膜をエッチングする工程であって、第１の処理ガスは、ハロゲン化リンガス、酸素含有ガス及び硫黄含有ガスを含むか、又は、ハロゲン化リンガスと酸素及び硫黄含有ガスとを含む工程と、を含む。

明　細　書

発明の名称 ： エッチング方法及びプラズマ処理装置

技術分野

[0001]　本開示の例示的実施形態は、エッチング方法及びプラズマ処理装置に関する。

背景技術

[0002]　特許文献１には、O_2ガスとＣＯＳガスとを用いて有機膜をエッチングする技術が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開２０１８－２００９２５号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004]　本開示は、マスクの開口閉塞を抑制する技術を提供する。

課題を解決するための手段

[0005]　本開示の一つの例示的実施形態において、エッチング方法であって、（ａ）チャンバ内の基板支持部上に、炭素含有膜と前記炭素含有膜上のマスクとを有する基板を提供する工程と、（ｂ）第１の処理ガスから生成したプラズマを用いて前記炭素含有膜をエッチングする工程であって、前記第１の処理ガスは、ハロゲン化リンガス、酸素含有ガス及び硫黄含有ガスを含むか、又は、ハロゲン化リンガスと酸素及び硫黄含有ガスとを含む工程と、を含むエッチング方法が提供される。

発明の効果

[0006]　本開示の一つの例示的実施形態によれば、マスクの開口閉塞を抑制する技術を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]プラズマ処理装置の構成例を説明するための図である。

[図2]誘導結合型のプラズマ処理装置の構成例を説明するための図である。

[図3]開口閉塞の一例を説明するための図である。

[図4]第１の実施形態にかかるフローチャートである。

[図5]工程ＳＴ１１で提供される基板Ｗの断面構造の一例を示す図である。

[図6]工程ＳＴ１２において生じる現象の一例を説明するための図である。

[図7]第２の実施形態にかかるフローチャートである。

[図8]工程ＳＴ２２及び工程ＳＴ２３の繰り返しサイクルにおいて生じる現象の一例を説明するための図である。

[図9]第２の実施形態の変化例にかかるフローチャートである。

[図10]第２の実施形態の変形例にかかるフローチャートである。

[図11]実施例１及び参考例１にかかるエッチングの結果を示す図である。

[図12]実施例２及び参考例１にかかるエッチングの結果を示す図である。

[図13]実施例２及び参考例１にかかるエッチングの結果を示す図である。

[0008] 以下、本開示の各実施形態について説明する。

[0009] 一つの例示的実施形態において、エッチング方法であって、（ａ）チャンバ内の基板支持部上に、炭素含有膜と炭素含有膜上のマスクとを有する基板を提供する工程と、（ｂ）第１の処理ガスから生成したプラズマを用いて炭素含有膜をエッチングする工程であって、前記第１の処理ガスは、ハロゲン化リンガス、酸素含有ガス及び硫黄含有ガスを含むか、又は、ハロゲン化リンガスと酸素及び硫黄含有ガスとを含む工程と、を含むエッチング方法が提供される。

[0010] 一つの例示的実施形態において、（ｃ）、第１の処理ガスと異なる第２の処理ガスから生成したプラズマを用いて炭素含有膜をエッチングする工程をさらに含み、第２の処理ガスは、酸素含有ガス及び硫黄含有ガスを含むか、又は、酸素及び硫黄含有ガスを含む。

[0011] 一つの例示的実施形態において、第２の処理ガスは、ハロゲン化リンガスを含まない。

[0012] 一つの例示的実施形態において、第２の処理ガスは、第１の処理ガスに含まれるハロゲン化リンガスよりも少ない流量でハロゲン化リンガスを含む。

[0013] 一つの例示的実施形態において、（ｂ）の工程におけるエッチングの実行時間に対する（ｃ）の工程におけるエッチングの実行時間の比が０．８以上１．２以下である。

[0014] 一つの例示的実施形態において、（ｂ）の工程と（ｃ）の工程とを含むサイクルを複数回繰り返す。

[0015] 一つの例示的実施形態において、２回目以降の少なくとも１つのサイクルにおいて、（ｂ）の工程におけるエッチングの実行時間に対する（ｃ）の工程におけるエッチングの実行時間の比は、１回目のサイクルにおける比よりも大きい。

[0016] 一つの例示的実施形態において、２回目以降の少なくとも１つのサイクルにおける基板支持部の温度は、１回目のサイクルにおける基板支持部の温度よりも高く設定される。

[0017] 一つの例示的実施形態において、ハロゲン化リンガスは、フッ化リンガス、塩化リンガス、オキシフッ化リンガス及びオキシ塩化リンガスからなる群から選択される少なくとも１つのガスを含む。

[0018] 一つの例示的実施形態において、ハロゲン化リンガスは、PF_3ガス、PF_5ガス及びPCl_3ガスからなる群から選択される少なくとも１つのガスを含む。

[0019] 一つの例示的実施形態において、第１の処理ガスにおいて、ハロゲン化リンガスの流量は、第１の処理ガスの総流量の５体積%以下である。

[0020] 一つの例示的実施形態において、酸素含有ガスは、O_2ガス、ＣＯガス及びCO_2ガスからなる群から選択される少なくとも1つのガスを含む。

[0021] 一つの例示的実施形態において、酸素及び硫黄含有ガスは、ＣＯＳガス及びSO_2ガスの少なくともいずれかのガスである。

[0022] 一つの例示的実施形態において、硫黄含有ガスは、SF_6ガスである。

[0023] 一つの例示的実施形態において、マスクは、シリコン含有膜又は金属含有

膜を含む。

[0024] 一つの例示的実施形態において、炭素含有膜は、アモルファスカーボン膜を含む。

[0025] 一つの例示的実施形態において、（ｂ）の工程において、基板支持部の温度が０度以下に設定される。

[0026] 一つの例示的実施形態において、（ｃ）の工程において、基板支持部の温度が０度以下に設定される。

[0027] 一つの例示的実施形態において、チャンバと制御部とを有するプラズマ処理装置であって、制御部は、（ａ）チャンバ内の基板支持部上に、炭素含有膜と炭素含有膜上のマスクとを有する基板を提供する制御と、（ｂ）第１の処理ガスから生成したプラズマを用いて炭素含有膜をエッチングする制御であって、第１の処理ガスは、ハロゲン化リンガス、酸素含有ガス及び硫黄含有ガスを含むか、又は、ハロゲン化リンガスと酸素及び硫黄含有ガスとを含む制御と、を実行するプラズマ処理装置が提供される。

[0028] 一つの例示的実施形態において、制御部は、（ｃ）第１の処理ガスと異なる第２の処理ガスから生成したプラズマを用いて、炭素含有膜をエッチングする制御をさらに実行し、第２の処理ガスは、酸素含有ガス及び硫黄含有ガスを含むか、又は、酸素及び硫黄含有ガスを含む。

[0029] 以下、図面を参照して、本開示の各実施形態について詳細に説明する。なお、各図面において同一または同様の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。特に断らない限り、図面に示す位置関係に基づいて上下左右等の位置関係を説明する。図面の寸法比率は実際の比率を示すものではなく、また、実際の比率は図示の比率に限られるものではない。

[0030] ＜プラズマ処理装置の構成例＞

図１は、プラズマ処理装置の構成例を説明するための図である。一実施形態において、プラズマ処理装置１は、基板処理装置の一例である。プラズマ処理装置１は、制御部２、プラズマ処理チャンバ１０、基板支持部１１及びプラズマ生成部１２を含む。プラズマ処理チャンバ１０は、プラズマ処理空

間を有する。また、プラズマ処理チャンバ１０は、少なくとも１つの処理ガスをプラズマ処理空間に供給するための少なくとも１つのガス供給口と、プラズマ処理空間からガスを排出するための少なくとも１つのガス排出口とを有する。ガス供給口は、後述するガス供給部２０に接続され、ガス排出口は、後述する排気システム４０に接続される。基板支持部１１は、プラズマ処理空間内に配置され、基板を支持するための基板支持面を有する。

[0031] プラズマ生成部１２は、プラズマ処理空間内に供給された少なくとも１つの処理ガスからプラズマを生成するように構成される。プラズマ処理空間において形成されるプラズマは、容量結合プラズマ（ＣＣＰ；Ｃａｐａｃｉｔｉｖｅｌｙ Ｃｏｕｐｌｅｄ Ｐｌａｓｍａ）、誘導結合プラズマ（ＩＣＰ；Ｉｎｄｕｃｔｉｖｅｌｙ Ｃｏｕｐｌｅｄ Ｐｌａｓｍａ）、ＥＣＲプラズマ（Ｅｌｅｃｔｒｏｎ－Ｃｙｃｌｏｔｒｏｎ－ｒｅｓｏｎａｎｃｅ ｐｌａｓｍａ）、ヘリコン波励起プラズマ（ＨＷＰ：Ｈｅｌｉｃｏｎ Ｗａｖｅ Ｐｌａｓｍａ）、又は、表面波プラズマ（ＳＷＰ：Ｓｕｒｆａｃｅ Ｗａｖｅ Ｐｌａｓｍａ）等であってもよい。また、ＡＣ（Ａｌｔｅｒｎａｔｉｎｇ Ｃｕｒｒｅｎｔ）プラズマ生成部及びＤＣ（Ｄｉｒｅｃｔ Ｃｕｒｒｅｎｔ）プラズマ生成部を含む、種々のタイプのプラズマ生成部が用いられてもよい。一実施形態において、ＡＣプラズマ生成部で用いられるＡＣ信号（ＡＣ電力）は、１００ｋＨｚ～１０ＧＨｚの範囲内の周波数を有する。従って、ＡＣ信号は、ＲＦ（Ｒａｄｉｏ Ｆｒｅｑｕｅｎｃｙ）信号及びマイクロ波信号を含む。一実施形態において、ＲＦ信号は、１００ｋＨｚ～１５０ＭＨｚの範囲内の周波数を有する。

[0032] 制御部２は、本開示において述べられる種々の工程をプラズマ処理装置１に実行させるコンピュータ実行可能な命令を処理する。制御部２は、ここで述べられる種々の工程を実行するようにプラズマ処理装置１の各要素を制御するように構成され得る。一実施形態において、制御部２の一部又は全てがプラズマ処理装置１の外部のシステムとして構成されてよい。制御部２は、処理部２ａ１、記憶部２ａ２及び通信インターフェース２ａ３を含んでもよ

い。制御部２は、例えばコンピュータ２ａにより実現される。処理部２ａ１は、記憶部２ａ２からプログラムを読み出し、読み出されたプログラムを実行することにより種々の制御動作を行うように構成され得る。このプログラムは、予め記憶部２ａ２に格納されていてもよく、必要なときに、媒体を介して取得されてもよい。取得されたプログラムは、記憶部２ａ２に格納され、処理部２ａ１によって記憶部２ａ２から読み出されて実行される。媒体は、コンピュータ２ａに読み取り可能な種々の記憶媒体であってもよく、通信インターフェース２ａ３に接続されている通信回線であってもよい。処理部２ａ１は、ＣＰＵ（Ｃｅｎｔｒａｌ Ｐｒｏｃｅｓｓｉｎｇ Ｕｎｉｔ）であってもよい。記憶部２ａ２は、ＲＡＭ（Ｒａｎｄｏｍ Ａｃｃｅｓｓ Ｍｅｍｏｒｙ）、ＲＯＭ（Ｒｅａｄ Ｏｎｌｙ Ｍｅｍｏｒｙ）、ＨＤＤ（Ｈａｒｄ Ｄｉｓｋ Ｄｒｉｖｅ）、ＳＳＤ（Ｓｏｌｉｄ Ｓｔａｔｅ Ｄｒｉｖｅ）、又はこれらの組み合わせを含んでもよい。通信インターフェース２ａ３は、ＬＡＮ（Ｌｏｃａｌ ＡｒｅａＮｅｔｗｏｒｋ）等の通信回線を介してプラズマ処理装置１の各要素との間で通信してもよい。

[0033] 以下に、プラズマ処理装置１の一例としての誘導結合型のプラズマ処理装置の構成例について説明する。図２は、誘導結合型のプラズマ処理装置の構成例を説明するための図である。

[0034] 誘導結合型のプラズマ処理装置１は、制御部２、プラズマ処理チャンバ１０、ガス供給部２０、電源３０及び排気システム４０を含む。プラズマ処理チャンバ１０は、誘電体窓１０１を含む。また、プラズマ処理装置１は、基板支持部１１、ガス導入部及びアンテナ１４を含む。基板支持部１１は、プラズマ処理チャンバ１０（以下、「チャンバ１０」ともいう。）内に配置される。アンテナ１４は、プラズマ処理チャンバ１０上又はその上方（すなわち誘電体窓１０１上又はその上方）に配置される。プラズマ処理チャンバ１０は、誘電体窓１０１、プラズマ処理チャンバ１０の側壁１０２及び基板支持部１１により規定されたプラズマ処理空間１０ｓを有する。プラズマ処理チャンバ１０は接地される。

[0035] 基板支持部１１は、本体部１１１及びリングアセンブリ１１２を含む。本体部１１１は、基板Ｗを支持するための中央領域１１１ａと、リングアセンブリ１１２を支持するための環状領域１１１ｂとを有する。ウェハは基板Ｗの一例である。本体部１１１の環状領域１１１ｂは、平面視で本体部１１１の中央領域１１１ａを囲んでいる。基板Ｗは、本体部１１１の中央領域１１１ａ上に配置され、リングアセンブリ１１２は、本体部１１１の中央領域１１１ａ上の基板Ｗを囲むように本体部１１１の環状領域１１１ｂ上に配置される。従って、中央領域１１１ａは、基板Ｗを支持するための基板支持面とも呼ばれ、環状領域１１１ｂは、リングアセンブリ１１２を支持するためのリング支持面とも呼ばれる。

[0036] 一実施形態において、本体部１１１は、基台１１１０及び静電チャック１１１１を含む。基台１１１０は、導電性部材を含む。基台１１１０の導電性部材はバイアス電極として機能し得る。静電チャック１１１１は、基台１１１０の上に配置される。静電チャック１１１１は、セラミック部材１１１１ａとセラミック部材１１１１ａ内に配置される静電電極１１１１ｂとを含む。セラミック部材１１１１ａは、中央領域１１１ａを有する。一実施形態において、セラミック部材１１１１ａは、環状領域１１１ｂも有する。なお、環状静電チャックや環状絶縁部材のような、静電チャック１１１１を囲む他の部材が環状領域１１１ｂを有してもよい。この場合、リングアセンブリ１１２は、環状静電チャック又は環状絶縁部材の上に配置されてもよく、静電チャック１１１１と環状絶縁部材の両方の上に配置されてもよい。また、後述するＲＦ電源３１及び／又はＤＣ電源３２に結合される少なくとも１つのＲＦ／ＤＣ電極がセラミック部材１１１１ａ内に配置されてもよい。この場合、少なくとも１つのＲＦ／ＤＣ電極がバイアス電極として機能する。なお、基台１１１０の導電性部材と少なくとも１つのＲＦ／ＤＣ電極とが複数のバイアス電極として機能してもよい。また、静電電極１１１１ｂがバイアス電極として機能してもよい。従って、基板支持部１１は、少なくとも１つのバイアス電極を含む。

[0037] リングアセンブリ１１２は、１又は複数の環状部材を含む。一実施形態において、１又は複数の環状部材は、１又は複数のエッジリングと少なくとも１つのカバーリングとを含む。エッジリングは、導電性材料又は絶縁材料で形成され、カバーリングは、絶縁材料で形成される。

[0038] また、基板支持部１１は、静電チャック１１１１、リングアセンブリ１１２及び基板のうち少なくとも１つをターゲット温度に調節するように構成される温調モジュールを含んでもよい。温調モジュールは、ヒータ、伝熱媒体、流路１１１０ａ、又はこれらの組み合わせを含んでもよい。流路１１１０ａには、ブラインやガスのような伝熱流体が流れる。一実施形態において、流路１１１０ａが基台１１１０内に形成され、１又は複数のヒータが静電チャック１１１１のセラミック部材１１１１ａ内に配置される。また、基板支持部１１は、基板Wの裏面と中央領域１１１ａとの間の間隙に伝熱ガスを供給するように構成された伝熱ガス供給部を含んでもよい。

[0039] ガス導入部は、ガス供給部２０からの少なくとも１つの処理ガスをプラズマ処理空間１０ｓ内に導入するように構成される。一実施形態において、ガス導入部は、中央ガス注入部（ＣＧＩ：Ｃｅｎｔｅｒ Ｇａｓ Ｉｎｊｅｃｔｏｒ）１３を含む。中央ガス注入部１３は、基板支持部１１の上方に配置され、誘電体窓１０１に形成された中央開口部に取り付けられる。中央ガス注入部１３は、少なくとも１つのガス供給口１３ａ、少なくとも１つのガス流路１３ｂ、及び少なくとも１つのガス導入口１３ｃを有する。ガス供給口１３ａに供給された処理ガスは、ガス流路１３ｂを通過してガス導入口１３ｃからプラズマ処理空間１０ｓ内に導入される。なお、ガス導入部は、中央ガス注入部１３に加えて又はその代わりに、側壁１０２に形成された１又は複数の開口部に取り付けられる１又は複数のサイドガス注入部（ＳＧＩ：Ｓｉｄｅ Ｇａｓ Ｉｎｊｅｃｔｏｒ）を含んでもよい。

[0040] ガス供給部２０は、少なくとも１つのガスソース２１及び少なくとも１つの流量制御器２２を含んでもよい。一実施形態において、ガス供給部２０は、少なくとも１つの処理ガスを、それぞれに対応のガスソース２１からそれ

ぞれに対応の流量制御器２２を介してガス導入部に供給するように構成される。各流量制御器２２は、例えばマスフローコントローラ又は圧力制御式の流量制御器を含んでもよい。さらに、ガス供給部２０は、少なくとも１つの処理ガスの流量を変調又はパルス化する少なくとも１つの流量変調デバイスを含んでもよい。

[0041] 電源３０は、少なくとも１つのインピーダンス整合回路を介してプラズマ処理チャンバ１０に結合されるＲＦ電源３１を含む。ＲＦ電源３１は、少なくとも１つのＲＦ信号（ＲＦ電力）を少なくとも１つのバイアス電極及びアンテナ１４に供給するように構成される。これにより、プラズマ処理空間１０ｓに供給された少なくとも１つの処理ガスからプラズマが形成される。従って、ＲＦ電源３１は、プラズマ生成部１２の少なくとも一部として機能し得る。また、バイアスＲＦ信号を少なくとも１つのバイアス電極に供給することにより、基板Wにバイアス電位が発生し、形成されたプラズマ中のイオンを基板Wに引き込むことができる。

[0042] 一実施形態において、ＲＦ電源３１は、第１のＲＦ生成部３１ａ及び第２のＲＦ生成部３１ｂを含む。第１のＲＦ生成部３１ａは、少なくとも１つのインピーダンス整合回路を介してアンテナ１４に結合され、プラズマ生成用のソースＲＦ信号（ソースＲＦ電力）を生成するように構成される。一実施形態において、ソースＲＦ信号は、１０ＭＨｚ～１５０ＭＨｚの範囲内の周波数を有する。一実施形態において、第１のＲＦ生成部３１ａは、異なる周波数を有する複数のソースＲＦ信号を生成するように構成されてもよい。生成された１又は複数のソースＲＦ信号は、アンテナ１４に供給される。

[0043] 第２のＲＦ生成部３１ｂは、少なくとも１つのインピーダンス整合回路を介して少なくとも１つのバイアス電極に結合され、バイアスＲＦ信号（バイアスＲＦ電力）を生成するように構成される。バイアスＲＦ信号の周波数は、ソースＲＦ信号の周波数と同じであっても異なっていてもよい。一実施形態において、バイアスＲＦ信号は、ソースＲＦ信号の周波数よりも低い周波数を有する。一実施形態において、バイアスＲＦ信号は、１００ｋＨｚ～６

０ＭＨｚの範囲内の周波数を有する。一実施形態において、第２のＲＦ生成部３１ｂは、異なる周波数を有する複数のバイアスＲＦ信号を生成するように構成されてもよい。生成された１又は複数のバイアスＲＦ信号は、少なくとも１つのバイアス電極に供給される。また、種々の実施形態において、ソースＲＦ信号及びバイアスＲＦ信号のうち少なくとも１つがパルス化されてもよい。

[0044] また、電源３０は、プラズマ処理チャンバ１０に結合されるＤＣ電源３２を含んでもよい。ＤＣ電源３２は、バイアスＤＣ生成部３２ａを含む。一実施形態において、バイアスＤＣ生成部３２ａは、少なくとも１つのバイアス電極に接続され、バイアスＤＣ信号を生成するように構成される。生成されたバイアスＤＣ信号は、少なくとも１つのバイアス電極に印加される。

[0045] 種々の実施形態において、バイアスＤＣ信号は、パルス化されてもよい。この場合、電圧パルスのシーケンスが少なくとも１つのバイアス電極に印加される。電圧パルスは、矩形、台形、三角形又はこれらの組み合わせのパルス波形を有してもよい。一実施形態において、ＤＣ信号から電圧パルスのシーケンスを生成するための波形生成部がバイアスＤＣ生成部３２ａと少なくとも１つのバイアス電極との間に接続される。従って、バイアスＤＣ生成部３２ａ及び波形生成部は、電圧パルス生成部を構成する。電圧パルスは、正の極性を有してもよく、負の極性を有してもよい。また、電圧パルスのシーケンスは、１周期内に１又は複数の正極性電圧パルスと１又は複数の負極性電圧パルスとを含んでもよい。なお、バイアスＤＣ生成部３２ａは、ＲＦ電源３１に加えて設けられてもよく、第２のＲＦ生成部３１ｂに代えて設けられてもよい。

[0046] アンテナ１４は、１又は複数のコイルを含む。一実施形態において、アンテナ１４は、同軸上に配置された外側コイル及び内側コイルを含んでもよい。この場合、ＲＦ電源３１は、外側コイル及び内側コイルの双方に接続されてもよく、外側コイル及び内側コイルのうちいずれか一方に接続されてもよい。前者の場合、同一のＲＦ生成部が外側コイル及び内側コイルの双方に接

続されてもよく、別個のＲＦ生成部が外側コイル及び内側コイルに別々に接続されてもよい。

[0047] 排気システム４０は、例えばプラズマ処理チャンバ１０の底部に設けられたガス排出口１０ｅに接続され得る。排気システム４０は、圧力調整弁及び真空ポンプを含んでもよい。圧力調整弁によって、プラズマ処理空間１０ｓ内の圧力が調整される。真空ポンプは、ターボ分子ポンプ、ドライポンプ又はこれらの組み合わせを含んでもよい。

[0048] ＜マスクの開口閉塞＞

プラズマを用いたエッチングにおいて、マスクの開口が狭まる或いは閉塞すること（以下「開口閉塞」ともいう。）が知られている。開口閉塞が生じると、エッチングの進行が停止したり、ボーイング等の形状異常が生じたりする要因になりうる。開口閉塞は、プラズマ中の堆積性材料が開口側壁に付着したり、プラズマ中のイオンによりスパッタリングされたマスク材料が開口側壁に再付着したりする等することで生じうる。

[0049] 図３は、開口閉塞の一例を示す図である。図３に示す例は、O_2ガスとＣＯＳガスとからなる処理ガスから生成したプラズマを用いて、基板Ｗをエッチングした場合の例である。基板Ｗは、下地膜ＵＦと、炭素含有膜ＯＦと、開口ＯＰを有するマスクＭＫとを有する。この例では、炭素含有膜ＯＦはアモルファスカーボン膜であり、マスクＭＫはシリコン酸窒化（ＳｉＯＮ）膜である。図３の左図から右図に向かって示すとおり、エッチングが進行するに従って、マスクＭＫの側壁Ｓ１に堆積物ＤＰが付着して、開口ＯＰが閉塞していく。堆積物ＤＰは、例えば、プラズマ中のイオンによりスパッタされたマスク材料（この例ではシリコン）を含みうる。

[0050] 本開示の一つの例示的実施形態にかかるエッチング方法（以下「本方法」という）は、このような開口閉塞を抑制し得る。以下、本方法の一例について、図面を参照しながら説明する。

[0051] ＜第１の実施形態＞

図４は、本方法の第１の実施形態にかかるフローチャートである。図４に

示すように、本方法は、基板を提供する工程ＳＴ１１と、第１のエッチングを実行する工程ＳＴ１２とを含んでよい。各工程における処理は、上述したプラズマ処理装置１で実行されてよい。以下では、制御部２が誘導結合型のプラズマ処理装置１（図２参照）の各部を制御して、基板Ｗに対して本方法を実行する場合を例に説明する。

[0052]（工程ＳＴ１１：基板の提供）

工程ＳＴ１１において、基板Ｗがプラズマ処理装置１のプラズマ処理空間１０ｓ内に提供される。基板Ｗは、搬送アームによりチャンバ１０内に搬入され、基板支持部１１の中央領域１１１ａに載置される。基板Ｗは、静電チャック１１１１により、基板支持部１１上に吸着保持される

[0053] 図５は、工程ＳＴ１１で提供される基板Ｗの断面構造の一例を示す図である。基板Ｗは、炭素含有膜ＯＦ及びマスクＭＫを有する。基板Ｗは、下地膜ＵＦをさらに含んでよい。基板Ｗは、半導体デバイスの製造に用いられてよい。半導体デバイスは、例えば、ＤＲＡＭ、３Ｄ－ＮＡＮＤフラッシュメモリ等の半導体メモリデバイスを含む。

[0054] 一実施形態において、下地膜ＵＦは、シリコンウェハやシリコンウェハ上に形成された有機膜、誘電体膜、金属膜、半導体膜又はこれらの積層膜である。一実施形態において、下地膜ＵＦは、シリコン含有膜を含んでよい。シリコン含有膜は、例えば、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜、シリコン炭窒化膜、多結晶シリコン膜又はこれらの膜を２以上含む積層膜でよい。シリコン含有膜は、例えば、シリコン酸化膜とシリコン窒化膜とが交互に積層されて構成されてよい。シリコン含有膜は、例えば、シリコン酸化膜と多結晶シリコン膜とが交互に積層されて構成されてよい。シリコン含有膜は、例えば、シリコン窒化膜、シリコン酸化膜及び多結晶シリコン膜を含む積層膜でもよい。

[0055] 炭素含有膜ＯＦは有機膜である。炭素含有膜ＯＦは、本方法においてエッチングされるエッチング対象膜である。一実施形態において、炭素含有膜ＯＦは、アモルファスカーボン膜、スピンオンカーボン（ＳＯＣ）膜、又はフ

ォトレジスト膜である。アモルファスカーボン（ＡＣＬ）膜は、ホウ素等の元素がドープされてよく、例えば、ホウ素含有アモルファスカーボン膜（Ｂ－ｄｏｐｅｄ　ＡＣＬ）、ヒ素含有アモルファスカーボン膜（Ａｓ－ｄｏｐｅｄ　ＡＣＬ）、タングステン含有アモルファスカーボン膜（Ｗ－ｄｏｐｅｄ　ＡＣＬ）、キセノン含有アモルファスカーボン膜（Ｘｅ－ｄｏｐｅｄ　ＡＣＬ）であってよい。炭素含有膜ＯＦは一つの膜で構成されてよく、また複数の膜が積層されて構成されてもよい。

[0056] 一実施形態において、マスクＭＫは、工程ＳＴ１２で生成されるプラズマに対するエッチングレートが炭素含有膜ＯＦよりも低い材料から形成される。一実施形態において、マスクＭＫは、シリコン含有膜又は金属含有膜を含む。シリコン含有膜は、例えば、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜、シリコン炭窒化膜、多結晶シリコン膜又はこれらの膜を２以上含む積層膜でよい。シリコン含有膜は、例えば、シリコン酸化膜とシリコン窒化膜とが交互に積層されて構成されてよい。シリコン含有膜は、例えば、シリコン酸化膜と多結晶シリコン膜とが交互に積層されて構成されてよい。シリコン含有膜は、例えば、シリコン窒化膜、シリコン酸化膜及び多結晶シリコン膜を含む積層膜でもよい。金属含有膜は、例えば、タングステン、チタン及びモリブデンからなる群から選択される少なくとも１種を含む膜であってよい。

[0057] 一実施形態において、マスクＭＫは、エッチングによって炭素含有膜ＯＦに転写されるパターンを有してよい。マスクＭＫは、１つの層からなる単層マスクでよく、また２つ以上の層からなる多層マスクであってもよい。図５に示すとおり、マスクＭＫは、炭素含有膜ＯＦ上において少なくとも一つの開口ＯＰを規定する側壁Ｓ１を有する。開口ＯＰは、炭素含有膜ＯＦ上の空間であって、マスクＭＫの側壁Ｓ１に囲まれている。すなわち、炭素含有膜ＯＦの上面は、マスクＭＫによって覆われた領域と、開口ＯＰの底部において露出した領域とを有する。

[0058] 開口ＯＰは、基板Ｗの平面視、すなわち、基板Ｗを図５の上から下に向かう方向に見た場合において、任意の形状を有してよい。当該形状は、例えば

、円、楕円、矩形、線やこれらの１種類以上を組み合わせた形状であってよい。マスクＭＫは、複数の側壁を有し、複数の側壁が複数の開口ＯＰを規定してもよい。複数の開口ＯＰは、それぞれ線形状を有し、一定の間隔で並んでライン＆スペースのパターン（トレンチ）を構成してもよい。また、複数の開口ＯＰは、それぞれ穴形状を有し、アレイパターンを構成してもよい。

[0059] 基板Ｗを構成する各膜（下地膜ＵＦ、炭素含有膜ＯＦ及びマスクＭＫ）は、それぞれ、ＣＶＤ法、ＡＬＤ法、ＰＶＤ法、スピンコート法等により形成されてよい。マスクＭＫの開口ＯＰは、マスクＭＫをエッチングすることで形成されてよく、またリソグラフィにより形成されてもよい。各膜は、それぞれ、平坦な膜であってよく、また凹凸を有する膜であってもよい。基板Ｗは、下地膜ＵＦの下に他の膜をさらに有してよい。この場合、炭素含有膜ＯＦ及び下地膜ＵＦに開口ＯＰに対応する形状の凹部を形成し、当該他の膜をエッチングするためのマスクとして用いてもよい。

[0060] 基板Ｗの各膜を形成するプロセスの少なくとも一部は、チャンバ１０の空間内で行われてよい。一例では、マスクＭＫをエッチングして開口ＯＰを形成する工程は、チャンバ１０で実行されてよい。すなわち、開口ＯＰ及び後述する工程ＳＴ１２の炭素含有膜ＯＦのエッチングは、同一のチャンバ内で連続して実行されてよい。また、基板Ｗの各膜の全部がプラズマ処理装置１の外部の装置やチャンバで形成された後、基板Ｗがプラズマ処理装置１のプラズマ処理空間１０ｓ内に搬入され、基板支持部１１の中央領域１１１ａに配置されることで、基板Ｗが提供されてもよい。

[0061] 一実施形態において、基板Ｗが基板支持部１１の中央領域１１１ａに提供された後、基板支持部１１が温調モジュールにより第１の温度に制御される。一例では、基板支持部１１の温度を第１の温度に制御することは、流路１１１０ａを流れる伝熱流体の温度やヒータ温度を第１の温度にすること、又は、第１の温度とは異なる温度にすることを含む。なお、流路１１１０ａに伝熱流体が流れ始めるタイミングは、基板Ｗが基板支持部１１に載置される前でも後でもよく、また同時でもよい。また、基板支持部１１の温度は、工

程ＳＴ１１の前に第１の温度に制御されてよい。すなわち、基板支持部１１の温度が第１の温度に制御された後に、基板支持部１１に基板Ｗが提供されてよい。

[0062] 第１の温度は、炭素含有膜ＯＦの種類や工程ＳＴ１２で用いる処理ガス（第１の処理ガス）の種類に応じて適宜設定されてよい。一実施形態において、第１の温度は、０度以下－７０℃度以上である。一例では、第１の温度は、－１０℃以下、－２０℃以下、－３０℃以下、－４０度以下、－５０℃以下、－６０℃以下である。

[0063] 一実施形態において、基板支持部１１を第１の温度に制御することに代えて、基板Ｗを第１の温度に制御してもよい。基板Ｗの温度を第１の温度に制御することは、基板支持部１１、流路１１１０ａを流れる伝熱流体の温度及び／又はヒータ温度を第１の温度にすること、又は、第１の温度とは異なる温度にすることを含む。

[0064] （工程ＳＴ１２：第１のエッチング）

工程ＳＴ１２において、第１のエッチングが実行される。第１のエッチングにより、基板Ｗの炭素含有膜ＯＦがエッチングされ凹部ＲＣが形成される。

[0065] まず、ガス供給部２０から第１の処理ガスがプラズマ処理空間１０ｓ内に供給される。一実施形態において、第１の処理ガスは、ハロゲン化リンガス、酸素含有ガス及び硫黄含有ガスを含む。一実施形態において、第１の処理ガスは、ハロゲン化リンガスと、酸素及び硫黄含有ガスとを含む。

[0066] 一実施形態において、酸素含有ガスは、O_2ガス、ＣＯガス及びCO_2ガスからなる群から選択される少なくとも1つのガスを含む。

[0067] 一実施形態において、ハロゲン化リンガスは、例えば、PF_3ガスやPF_5ガス等、ハロゲン元素としてフッ素を含むフッ化リンガスであってよい。一実施形態において、ハロゲン化リンガスは、PCl_3ガスやPCl_5ガス等、ハロゲン元素として塩素を含む塩化リンガスであってよい。一実施形態において、ハロゲン化リンガスは、PBr_3ガス、PBr_5ガス、PI_3ガスのよう

にハロゲン元素として、臭素やヨウ素を含むガスであってもよい。一実施形態において、ハロゲン化リンガスは、ＰＣｌＦ$_2$ガス、ＰＣｌ$_2$Ｆガス、ＰＣｌ$_2$Ｆ$_3$ガス等、２種以上のハロゲン元素を含むガスであってもよい。一実施形態において、ハロゲン化リンガスは、オキシフッ化リンガス又はオキシ塩化リンガスであってよい。例えば、ハロゲン化リンガスは、ＰＯＦ$_3$ガス、ＰＯＣｌ$_3$ガス、ＰＯＦ$_2$Ｃｌ$_2$ガス、ＰＯＦＣｌ$_2$ガス又はＰＯＦ$_2$Ｃｌガスであってよい。

[0068] 一実施形態において、ハロゲン化リンガスの流量は、第１の処理ガスの総流量（第１の処理ガスが不活性ガスを含む場合、当該不活性ガスを除く）の０．1体積％以上５体積％以下である。

[0069] 一実施形態において、硫黄含有ガスは、ＳＦ$_6$ガスであってよい。

[0070] 一実施形態において、酸素及び硫黄含有ガスは、ＣＯＳガス又はＳＯ$_2$ガスであってよい。

[0071] 一実施形態において、第１の処理ガスは、不活性ガスをさらに含んでよい。不活性ガスは、一例では、Ａｒガス、Ｈｅガス及びＫｒガス等の貴ガス又は窒素ガスでよい。

[0072] 次に、アンテナ１４にソースＲＦ信号が供給される。これにより、プラズマ処理空間１０ｓ内に高周波電界が生成され、第１の処理ガスからプラズマが生成され、炭素含有膜ＯＦがエッチングされる。基板支持部１１の下部電極にバイアス信号が供給されてよい。この場合、プラズマと基板Ｗとの間にバイアス電位が発生し、プラズマ中のイオン、ラジカル等の活性種が基板Ｗに引きよせられ、炭素含有膜ＯＦのエッチングが促進され得る。バイアス信号は、第２のＲＦ生成部３１ｂから供給されるバイアスＲＦ信号であってよい。またバイアス信号は、ＤＣ生成部３２ａから供給されるバイアスＤＣ信号であってもよい。

[0073] 一実施形態において、ソースＲＦ信号及びバイアス信号は、双方が連続波又はパルス波でよく、また一方が連続波で他方がパルス波でもよい。ソースＲＦ信号及びバイアス信号の双方がパルス波である場合、双方のパルス波の

周期は同期してよく、また同期しなくてもよい。ソースＲＦ信号及び／又はバイアス信号パルス波のデューティ比は適宜設定してよく、例えば、１～８０％でよく、また５～５０％でよい。またバイアス信号として、バイアスＤＣ信号を用いる場合、パルス波は、矩形、台形、三角形又はこれらの組み合わせの波形を有してよい。バイアスＤＣ信号の極性は、プラズマと基板との間に電位差を与えてイオンを引き込むように基板Ｗの電位が設定されれば、負であっても正であってもよい。

[0074] 一実施形態において、工程ＳＴ１２において、ソースＲＦ信号及びバイアス信号の少なくとも一方の供給と停止とが交互に繰り返されてよい。例えば、ソースＲＦ信号が連続して供給される間に、バイアス信号の供給と停止とが交互に繰り返されてよい。また例えば、ソースＲＦ信号の供給と停止とが交互に繰り返される間に、バイアス信号が連続して供給されてもよい。また例えば、ソースＲＦ信号及びバイアス信号の双方の供給と停止とが交互に繰り返されてもよい。

[0075] 一実施形態において、工程ＳＴ１２における処理の間、基板支持部１１の温度は、工程ＳＴ１１で設定した第１の温度に制御されてよい。一実施形態において、基板支持部１１の温度に代えて、基板Ｗの温度が第１の温度に制御されてもよい。

[0076] 工程ＳＴ１２における処理により、炭素含有膜ＯＦのうち、マスクＭＫにより覆われていない部分（開口ＯＰにおいて露出した部分）がエッチングされ凹部ＲＣが形成される。

[0077] 図６は、工程ＳＴ１２において生じる現象の一例を説明するための図である。図６は、工程ＳＴ１２中の基板Ｗのマスク近傍の断面構造を模式的に示す図である。図６に示すように、工程ＳＴ１２において、プラズマ中の活性種（例えば酸素イオンO^+）により、炭素含有膜ＯＦのうち開口ＯＰにおいて露出した部分が深さ方向（図６で上から下に向かう方向）にエッチングされ凹部ＲＣが形成される。凹部ＲＣは、炭素含有膜ＯＦの側壁Ｓ２と底部ＢＴにより画定される空間である。

[0078] 図６に示すように、一実施形態において、工程ＳＴ１２の実行中にマスクＭＫの側壁Ｓ１に第１の堆積膜ＤＰ１が形成される。第１の堆積膜ＤＰ１は、例えば、プラズマ中のイオン（例えば、酸素イオンO^+等）によりスパッタされたマスク材料が側壁Ｓ１に再付着して形成されうる。例えば、マスクＭＫがシリコン含有膜を含む場合、堆積膜ＤＰはシリコンを含みうる。工程ＳＴの実行中、第１の堆積膜ＤＰ１は、図６に模式的に示すように、ハロゲン化リンガスから乖離したプラズマ中のハロゲン活性種（ハロゲンイオンX^+やハロゲンラジカルＸ*）と結合して揮発し除去されうる。

[0079] 図６に示すように、一実施形態において、工程ＳＴ１２の実行中に、炭素含有膜ＯＦの側壁Ｓ２及び底部ＢＴの少なくとも一部に、第２の堆積膜ＤＰ２が形成される。第２の堆積膜ＤＰ２は、例えば、エッチングにより生じる、不揮発性の副生成物（バイプロダクト）でありうる。一実施形態において、第２の堆積膜ＤＰ２は、酸化リン系化合物又は有機リン系化合物を含む。一実施形態において、第２の堆積膜ＤＰ２は、工程ＳＴ１２の実行中に、底部ＢＴからボトムアップで形成される。すなわち、第２の堆積膜ＤＰ２は、図６に模式的に示すように、底部ＢＴと、底部ＢＴの近傍の側壁Ｓ２に形成され得る。一実施形態において、第２の堆積膜ＤＰ２は、プラズマ中のハロゲン活性種に対するエッチング耐性が炭素含有膜ＯＦよりも高い。すなわち、第２の堆積膜ＤＰ２は、当該第２の堆積膜ＤＰ２が形成された側壁Ｓ２や底部ＢＴにおいて、プラズマ中のハロゲン活性種に対する保護膜として機能しうる。

[0080] 本方法の第１の実施形態によれば、工程ＳＴ１２において、開口ＯＰに形成される第１の堆積膜ＤＰ１がプラズマ中のハロゲン活性種によって除去されうる。そのため、エッチングの進行に伴う開口ＯＰの閉塞が抑制されうる。また工程ＳＴ１２の実行中に形成される第２の堆積膜ＤＰ２が保護膜として機能することで、第２の堆積膜ＤＰ２が形成された側壁Ｓ２が水平方向（図６の左右方向）にエッチングされることが抑制されうる。

[0081] ＜第２の実施形態＞

図７は、本方法の第２の実施形態にかかるフローチャートである。図７に示すように、本方法は、基板を提供する工程ＳＴ２１と、第１のエッチングを実行する工程ＳＴ２２と、第２のエッチングを実行する工程ＳＴ２３と、エッチングの停止条件を満たしているかを判定する工程ＳＴ２４を備えてよい。すなわち、本方法は、工程ＳＴ２４において停止条件を満たすと判定されるまで、第１のエッチング（工程ＳＴ２２）と第２のエッチング（工程ＳＴ２３）とを含むサイクルを繰り返してよい。

[0082]（工程ＳＴ２１及び工程ＳＴ２２）

工程ＳＴ２１及び工程ＳＴ２２は、それぞれ、上述した第１の実施形態の工程ＳＴ１１及び工程ＳＴ１２と同様に実行されてよく、説明は省略する。

[0083]（工程ＳＴ２３：第２のエッチング）

工程ＳＴ２３において、第２のエッチングが実行される。第２のエッチングにより、基板Ｗの炭素含有膜ＯＦの凹部ＲＣがさらにエッチングされる。

[0084] まず、ガス供給部２０から第２の処理ガスがプラズマ処理空間１０ｓ内に供給される。第２の処理ガスは、第１の処理ガスと異なるガスである。第２の処理ガスは、酸素含有ガス及び硫黄含有ガスを含むか、又は、酸素及び硫黄含有ガスを含む。第２の処理ガスは、ハロゲン化リンガスを含まないか、又は、第１の処理ガスに含まれるハロゲン化リンガスの流量よりも少ない流量でハロゲン化リンガスを含む。

[0085] 一実施形態において、酸素含有ガスは、O_2ガス、ＣＯガス及びCO_2ガスからなる群から選択される少なくとも1つのガスを含む。第１の処理ガス及び第２の処理ガスの双方に酸素含有ガスが含まれる場合、第２の処理ガスに含まれる酸素含有ガスは、第１の処理ガスと同一種類のガスでよく、また異なっていてもよい。

[0086] 一実施形態において、ハロゲン化リンガスは、例えば、PF_3ガスやPF_5ガス等、ハロゲン元素としてフッ素を含むフッ化リンガスであってよい。一実施形態において、ハロゲン化リンガスは、PCl_3ガスやPCl_5ガス等、ハロゲン元素として塩素を含む塩化リンガスであってよい。一実施形態にお

いて、ハロゲン化リンガスは、ＰＢｒ$_3$ガス、ＰＢｒ$_5$ガス、ＰＩ$_3$ガスのようにハロゲン元素として、臭素やヨウ素を含むガスであってもよい。一実施形態において、ハロゲン化リンガスは、ＰＣＩＦ$_2$ガス、ＰＣＩ$_2$Ｆガス、ＰＣＩ$_2$Ｆ$_3$ガス等、２種以上のハロゲン元素を含むガスであってもよい。一実施形態において、ハロゲン化リンガスは、オキシフッ化リンガス又はオキシ塩化リンガスであってよい。例えば、ハロゲン化リンガスは、ＰＯＦ$_3$ガス、ＰＯＣＩ$_3$ガス、ＰＯＦ$_2$ＣＩ$_2$ガス、ＰＯＦＣＩ$_2$ガス又はＰＯＦ$_2$ＣＩガスであってよい。第２の処理ガスにハロゲン化リンガスが含まれる場合、当該ハロゲン化リンガスは、第１の処理ガスと同一種類のガスでよく、また異なっていてもよい。

[0087] 一実施形態において、硫黄含有ガスは、ＳＦ$_6$ガスであってよい。

[0088] 一実施形態において、酸素及び硫黄含有ガス、ＣＯＳガス又はＳＯ$_2$ガスであってよい。第１の処理ガス及び第２の処理ガスの双方に酸素及び硫黄含有ガスが含まれる場合、第２の処理ガスに含まれる酸素及び硫黄含有ガスは、第１の処理ガスと同一種類のガスでよく、また異なっていてもよい。

[0089] 一実施形態において、第２の処理ガスは、不活性ガスをさらに含んでよい。不活性ガスは、一例では、Ａｒガス、Ｈｅガス及びＫｒガス等の貴ガス又は窒素ガスでよい。

[0090] 次に、アンテナ１４にソースＲＦ信号が供給される。これにより、プラズマ処理空間１０ｓ内に高周波電界が生成され、第２の処理ガスからプラズマが生成され、炭素含有膜ＯＦがエッチングされる。基板支持部１１の下部電極にバイアス信号が供給されてよい。この場合、プラズマと基板Ｗとの間にバイアス電位が発生し、プラズマ中のイオン、ラジカル等の活性種が基板Ｗに引きよせられ、炭素含有膜ＯＦのエッチングが促進され得る。ソース信号やバイアス信号の構成や供給形態は、工程ＳＴ２２（工程ＳＴ１２）と同一であってよく、また異なっていてもよい。

[0091] 一実施形態において、工程ＳＴ２３における処理の間、基板支持部１１の温度は、工程ＳＴ２２と同一の温度（すなわち第１の温度）に制御されてよ

い。一実施形態において、基板支持部１１の温度に代えて、基板Ｗの温度が制御されてもよい。

[0092]（工程ＳＴ２４：停止判定）

工程ＳＴ２４において、停止条件が満たされるか否かが判定される。停止条件は、例えば、工程ＳＴ２２及び工程ＳＴ２３を１サイクルとし、当該サイクルの繰り返し回数が所与の回数に達しているか否かでよい。停止条件は、例えば、エッチング時間が所与の時間に達しているかでもよい。停止条件は、例えば、エッチングにより形成される凹部ＲＣの深さが所与の深さに達しているかでもよい。工程ＳＴ２４において停止条件が満たされていないと判定されると、工程ＳＴ２２及び工程ＳＴ２３を含むサイクルが繰り返される。工程ＳＴ２４において停止条件が満たされると判定されると、エッチングを停止し、本方法を終了する。

[0093] 図８は、工程ＳＴ２２及び工程ＳＴ２３の繰り返しサイクルにおいて生じる現象の一例を説明するための図である。

[0094] 図８に示すように、サイクルＮ（Ｎは１以上の整数である）の工程ＳＴ２２（第１のエッチング）では、図６で説明したと同様の現象が生じうる。すなわち、この工程では、プラズマ中の活性種（例えば、酸素イオンO^+）により、凹部ＲＣが深さ方向にエッチングされる。またプラズマ中のハロゲン活性種（ハロゲンイオンX^+やハロゲンラジカルX^*）により、マスクＭＫの側壁Ｓ１に形成された第１の堆積膜ＤＰ１が除去されうる。さらに、炭素含有膜ＯＦの側壁Ｓ２及び底部ＢＴの少なくとも一部に、プラズマ中のハロゲン活性種に対する保護膜として機能する第２の堆積膜ＤＰ２が形成されうる。

[0095] サイクルＮの工程ＳＴ２３（第２のエッチング）では、プラズマ中の活性種（例えば、酸素イオンO^+）により、凹部ＲＣが深さ方向にさらにエッチングされる。ここで、第２の処理ガスはハロゲン化リンガスを含まない、又は、ハロゲン化リンガスを第１の処理ガスよりも少ない流量で含む。そのため、工程ＳＴ２３では、プラズマ中のハロゲン活性種が工程ＳＴ２２に比べて減少し、またリン活性種も減少する。これにより、マスクＭＫの側壁Ｓ１に

おいて第１の堆積膜ＤＰ１の形成が優位になる。また炭素含有膜ＯＦの側壁Ｓ２及び底部ＢＴにおいて第２の堆積膜ＤＰ２が減少ないし除去される。

[0096] サイクルＮ＋１の工程ＳＴ２２では、プラズマ中の活性種（例えば、酸素イオンO^+）により、凹部ＲＣが深さ方向にさらにエッチングされる。そして、サイクルＮの工程ＳＴ２２と同様に、マスクＭＫの側壁Ｓ１に形成された第１の堆積膜ＤＰ１が除去されうる。また炭素含有膜ＯＦの側壁Ｓ２及び底部ＢＴの少なくとも一部に、第２の堆積膜ＤＰ２が再び形成されうる。

[0097] サイクルＮ＋１の工程ＳＴ２３では、プラズマ中の活性種（例えば、酸素イオンO^+）により、凹部ＲＣが深さ方向にさらにエッチングされる。そして、サイクルＮの工程ＳＴ２３と同様に、マスクＭＫの側壁Ｓ１において第１の堆積膜ＤＰ１の形成が優位になる。また炭素含有膜ＯＦの側壁Ｓ２及び底部ＢＴにおいて、第２の堆積膜ＤＰ２が減少ないし除去される。

[0098] ところで、プラズマ中のハロゲンの活性種が過剰になると、炭素含有膜ＯＦの側壁Ｓ２のうち第２の堆積膜ＤＰ２で覆われていない箇所が水平方向にエッチングされ、凹部ＲＣの開口幅（ＣＤ）が拡大したり、ボーイングが発生する要因になりうる。またマスクＭＫの上部が過剰にエッチングされ選択比が悪化する要因にもなりうる。

[0099] この点、本方法の第２の実施形態によれば、第１のエッチング（工程ＳＴ２２）と第２のエッチング（工程ＳＴ２３）とを含むサイクルを交互に繰り返す。すなわち、処理ガスとして、ハロゲン化リンを含む工程ＳＴ２２と、ハロゲン化リンガスを含まない又は工程ＳＴ２２よりも少ない流量で含む工程ＳＴ２３とを繰り返す。これにより、プラズマ中に乖離するハロゲンの活性種の量を調整することができる。本方法の第２の実施形態によれば、プラズマ中のハロゲンの活性種が過剰になり上述のような問題が発生することを抑制し得る。すなわち、エッチングによる形状異常（ＣＤ拡大、ボーイング）やエッチングの選択比の低下を抑制しうる。

[0100] 工程ＳＴ２２及び工程２３におけるエッチングの実行時間は、適宜設定されてよい。一実施形態において、工程ＳＴ２２及び工程ＳＴ２３の実行時間

は、第１の処理ガス及び／又は第２の処理ガスに含まれるハロゲン化リンガスの流量、マスクＭＫや炭素含有膜ＯＦの種類、凹部ＲＣの深さ、アスペクト比等に応じて設定されてよい。一実施形態において、工程ＳＴ２２におけるエッチングの実行時間に対する工程２３におけるエッチングの実行時間の比は０．８以上１．２以下であってよい。一実施形態において、当該比は、０．９以上１．１以下であってもよい。一実施形態において、当該比は、サイクル数に応じて設定されてよい。例えば、サイクル数が所与の回数を超えると、又は、所与のサイクル数ごとに、当該比が大きくなるようにしてよい。これにより、炭素含有膜ＯＦに形成される凹部ＲＣの深さが深くなるに従って、工程ＳＴ２３のエッチングの時間が工程ＳＴ２２に比べて長くなるようにしてよい。一実施形態において、当該比は、サイクル数ではなく、凹部ＲＣの深さやアスペクト比に応じて設定されてもよい。例えば、凹部ＲＣの深さやアスペクト比が所与の値を超えると、または所与の値増加するごとに、当該比が大きくなるようにしてよい。

[0101] 一実施形態において、工程ＳＴ２３における処理の間、基板支持部１１の温度は、工程ＳＴ２２と異なる第２の温度に制御されてよい。第２の温度は、第１の温度よりも高い温度であってよい。この場合、工程ＳＴ２３において、第２の堆積膜ＤＰ２の揮発（除去）が促進されうる。一実施形態において、第１の温度及び／又は第２の温度は、サイクル数に応じて設定されてよい。例えば、サイクル数が所与の回数を超えると、又は、所与のサイクル数ごとに、第１の温度及び／又は第２の温度が高くなるようにしてよい。これにより、炭素含有膜ＯＦに形成される凹部ＲＣの深さが深くなるに従って、基板支持部１１の温度が高くなるようにしてよい。一実施形態において、第１の温度及び／又は第２の温度は、サイクル数ではなく、凹部ＲＣの深さやアスペクト比に応じて設定されてもよい。例えば、凹部ＲＣの深さやアスペクト比が所与の値を超えると、または所与の値増加するごとに、第１の温度及び／又は第２の温度が高くなるようにしてもよい。

[0102] 図９及び図１０は、第２の実施形態の変形例を示すフローチャートである

。図７は、１つのサイクルにおいて、第１のエッチング（工程ＳＴ２２）を実行した後に、第２のエッチング（工程ＳＴ２３）を実行する例である。しかし、図９に示すように、１つのサイクルにおいて、第２のエッチング（工程ＳＴ３２）を実行した後に、第１のエッチング（工程ＳＴ３３）を実行するようにしてもよい。また図１０に示すように、１つのサイクルの途中で停止条件を満たしているか否かを判定してよい。すなわち、第１のエッチング（工程ＳＴ４２）の実行後にも停止条件を満たしているかを判定する（工程ＳＴ４３）ようにしてよい。そして、停止条件を満たしている場合は、第２のエッチング（工程ＳＴ４４）に進まず、エッチングを終了するようにしてよい。

[0103] ＜実施例＞

次に、本方法の実施例について説明する。本開示は、以下の実施例によって何ら限定されるものではない。

[0104] （実施例１）

実施例１では、図２に示すプラズマ処理装置１を用いて、図４で説明したフローチャートに沿って、図５に示す基板Ｗと同様の構造を有する基板をエッチングした。マスクＭＫはシリコン酸窒化膜であり、炭素含有膜ＯＦはアモルファスカーボン膜であった。マスクＭＫの開口ＯＰはホール形状を有し、開口径は８０ｎｍであっった。

[0105] 工程ＳＴ１２において、第１の処理ガスはO_2ガス、PF_3ガス及びＣＯＳガスを含んでいた。PF_3ガスの流量は、第１の処理ガスの総流量の１．３体積％であった。また工程ＳＴ１２において、ソースＲＦ信号に加えて、バイアスＲＦ信号が供給された。工程ＳＴ１２において、チャンバ１０内の圧力は３０ｍＴｏｒｒに制御され、基板支持部１１の温度は－６０℃に制御された。工程ＳＴ１２は２４０秒間実行された。

[0106] （参考例１）

参考例１では、プラズマ処理装置１を用いて、実施例１と同一の構成の基板をエッチングした。参考例１では、処理ガスとしてO_2ガス及びＣＯＳガス

を用いたことを除いて、実施例１と同一の条件でエッチングを行った。

[0107] 図１１は、実施例１及び参考例１にかかるエッチングの結果を示す図である。図１１において、（ａ１）及び（ｂ１）は、それぞれ、実施例１及び参考例１にかかるエッチング後のマスクＭＫ及び凹部ＲＣ上部の断面形状を示す図である。（ａ２）及び（ｂ２）は、それぞれ、実施例１及び参考例１にかかるエッチング後のマスクＭＫの平面図（図（ａ１）及び（ｂ１）を上方からみた図）である。

[0108] 図１１の（ａ１）及び（ａ２）に示すように、実施例１では、マスクＭＫの開口ＯＰの閉塞は抑制されていた。実施例１ではマスクＭＫの最小開口径は、６３．０ｎｍであった。これに対し、図１１の（ｂ１）及び（ｂ２）に示すように、参考例１では、マスクＭＫの一部において開口径が狭まり（ネックが生じ）、開口ＯＰが大きく閉塞していた。参考例１ではマスクＭＫの最小開口径は、４２．８ｎｍであった。

[0109]（実施例２）

実施例２では、図２に示すプラズマ処理装置１を用いて、図７で説明したフローチャートに沿って、実施例１と同一の構成の基板をエッチングした。

[0110] 工程ＳＴ２２において、第１の処理ガスとして、実施例１と同一の構成の処理ガスを用いた。工程ＳＴ２２において、ソースＲＦ信号に加えてバイアスＲＦ信号が供給された。またチャンバ１０内の圧力は３０ｍＴｏｒｒに制御され、基板支持部１１の温度は－６０℃に制御された。工程ＳＴ２３において、第２の処理ガスは、O_2ガス及びＣＯＳガスを含んでいた。その余の条件は、工程ＳＴ２２と同一の条件で行った。１つのサイクルにおいて、工程ＳＴ２２におけるエッチングを１０秒間実行した後、工程ＳＴ２３におけるエッチングを１０秒間実行した。実施例２では、当該サイクルが１２回繰り返され、合計２４０秒間のエッチングが行われた。

[0111] 図１２は、実施例２及び参考例１にかかるエッチングの結果を示す図である。図１２において、（ａ１）は実施例２にかかるエッチング後のマスクＭＫ及び凹部ＲＣ上部の断面形状を示す図である。（ａ２）は、実施例２にか

かるエッチング後のマスクＭＫの平面図（図（ａ１）を上方からみた図）である。なお、図１２の（ａ２）及び（ｂ２）は、図１１の（ａ２）及び（ｂ２）に示した参考例１の図面を、実施例２との比較のために再掲したものである。

[0112] 図１２に示すように、実施例２は、実施例１と同様に、参考例１に比べて、マスクＭＫの開口閉塞が抑制されていた。実施例２ではマスクＭＫの最小開口径は、６２．６ｎｍであった。

[0113] 図１３は、実施例２及び参考例１にかかるエッチングの結果を示す図である。図１３において縦軸は、マスク膜ＭＫの開口ＯＰ及び炭素含有膜ＯＦに形成された凹部ＲＣの深さＤ［μｍ］を示す。縦軸の０μｍ付近はマスクＭＫと炭素含有膜ＯＦとの境界である。図１３において、横軸は、マスク膜ＭＫの開口ＯＰ及び炭素含有膜ＯＦに形成された凹部ＲＣの開口径ＣＤ［ｎｍ］を示す。

[0114] 図１３に示すように、実施例２は、参考例１に比べ、凹部ＲＣの深さ方向全体にわたって開口径の拡大が抑制されていた。また実施例２の凹部ＲＣの最大径は６７．５ｎｍであり、参考例１の凹部ＲＣの最大径は７７．４ｎｍであった。すなわち、実施例２は参考例１に比べてボーイングが抑制されていた。さらに、エッチングの選択比（マスクＭＫのエッチングレートに対する炭素含有膜ＯＦのエッチングレートの比）は、実施例２は１２５．４であり、参考例１は７５．１であった。すなわち、実施例２は参考例１に比べて選択比も向上していた。

[0115] 本開示の実施形態は、以下の態様をさらに含む。

[0116]（付記１）

エッチング方法であって、

（ａ）チャンバ内の基板支持部上に、炭素含有膜と前記炭素含有膜上のマスクとを有する基板を提供する工程と、

（ｂ）第１の処理ガスから生成したプラズマを用いて前記炭素含有膜をエッチングする工程であって、前記第１の処理ガスは、ハロゲン化リンガス、

酸素含有ガス及び硫黄含有ガスを含むか、又は、ハロゲン化リンガスと酸素及び硫黄含有ガスとを含む工程と、を含む
エッチング方法。

[0117] （付記２）

（ｃ）前記第１の処理ガスと異なる第２の処理ガスから生成したプラズマを用いて、前記炭素含有膜をエッチングする工程をさらに含み、前記第２の処理ガスは、酸素含有ガス及び硫黄含有ガスを含むか、又は、酸素及び硫黄含有ガスを含む、付記１に記載のエッチング方法。

[0118] （付記３）

前記第２の処理ガスは、ハロゲン化リンガスを含まない、付記２に記載のエッチング方法。

[0119] （付記４）

前記第２の処理ガスは、前記第１の処理ガスに含まれるハロゲン化リンガスよりも少ない流量でハロゲン化リンガスを含む、付記２に記載のエッチング方法。

[0120] （付記５）

前記（ｂ）の工程におけるエッチングの実行時間に対する前記（ｃ）の工程におけるエッチングの実行時間の比が０．８以上１．２以下である、付記２から付記４のいずれか１つに記載のエッチング方法。

[0121] （付記６）

前記（ｂ）の工程と前記（ｃ）の工程とを含むサイクルを複数回繰り返す、付記２から付記４のいずれか１つに記載のエッチング方法。

[0122] （付記７）

２回目以降の少なくとも１つの前記サイクルにおいて、前記（ｂ）の工程におけるエッチングの実行時間に対する前記（ｃ）の工程におけるエッチングの実行時間の比は、１回目の前記サイクルにおける当該比よりも大きい、付記６に記載のエッチング方法。

[0123] （付記８）

２回目以降の少なくとも１つの前記サイクルにおける前記基板支持部の温度は、１回目の前記サイクルにおける前記基板支持部の温度よりも高く設定される、付記６又は付記７に記載のエッチング方法。

[0124]（付記９）

前記ハロゲン化リンガスは、フッ化リンガス、塩化リンガス、オキシフッ化リンガス及びオキシ塩化リンガスからなる群から選択される少なくとも１つのガスを含む、付記１から付記８のいずれか１つに記載のエッチング方法。

[0125]（付記１０）

前記ハロゲン化リンガスは、PF_3ガス、PF_5ガス及びPCl_3ガスからなる群から選択される少なくとも１つのガスを含む、付記１から付記９のいずれか１つに記載のエッチング方法。

[0126]（付記１１）

前記第１の処理ガスにおいて、前記ハロゲン化リンガスの流量は、前記第１の処理ガスの総流量の５体積％以下である、付記１から付記１０のいずれか１つに記載のエッチング方法。

[0127]（付記１２）

前記酸素含有ガスは、O_2ガス、ＣＯガス及びCO_2ガスからなる群から選択される少なくとも1つのガスを含む、付記１から付記１１のいずれか１つに記載のエッチング方法。

[0128]（付記１３）

前記酸素及び硫黄含有ガスは、ＣＯＳガス及びSO_2ガスの少なくともいずれかのガスである、付記１から付記１２のいずれか１つに記載のエッチング方法。

[0129]（付記１４）

前記硫黄含有ガスは、SF_6ガスである、付記１から付記１３のいずれか１つに記載のエッチング方法。

[0130]（付記１５）

前記マスクは、シリコン含有膜又は金属含有膜を含む、付記１から付記１４のいずれか１つに記載のエッチング方法。

[0131]（付記１６）

前記炭素含有膜は、アモルファスカーボン膜を含む、付記１から付記１５のいずれか１つに記載のエッチング方法。

[0132]（付記１７）

前記（ｂ）の工程において、前記基板支持部の温度が０度以下に設定される、付記１から付記１６のいずれか１つに記載のエッチング方法。

[0133]（付記１８）

前記（ｃ）の工程において、前記基板支持部の温度が０度以下に設定される、付記２から付記８のいずれか１つに記載のエッチング方法。

[0134]（付記１９）

チャンバと制御部とを有するプラズマ処理装置であって、

前記制御部は、

（ａ）チャンバ内の基板支持部上に、炭素含有膜と炭素含有膜上のマスクとを有する基板を提供する制御と、

（ｂ）第１の処理ガスから生成したプラズマを用いて前記炭素含有膜をエッチングする制御であって、前記第１の処理ガスは、ハロゲン化リンガス、酸素含有ガス及び硫黄含有ガスを含むか、又は、ハロゲン化リンガスと酸素及び硫黄含有ガスとを含む制御と、を実行する

プラズマ処理装置。

[0135]（付記２０）

前記制御部は、（ｃ）前記第１の処理ガスと異なる第２の処理ガスから生成したプラズマを用いて前記炭素含有膜をエッチングする制御をさらに実行し、前記第２の処理ガスは、酸素含有ガス及び硫黄含有ガスを含むか、又は、酸素及び硫黄含有ガスを含む、付記１９に記載のプラズマ処理装置。

[0136]（付記２１）

チャンバと制御部とを有するプラズマ処理装置において実行されるデバイ

ス製造方法であって、

（ａ）チャンバ内の基板支持部上に、炭素含有膜と前記炭素含有膜上のマスクとを有する基板を提供する工程と、

（ｂ）第１の処理ガスから生成したプラズマを用いて前記炭素含有膜をエッチングする工程であって、前記第１の処理ガスは、ハロゲン化リンガス、酸素含有ガス及び硫黄含有ガスを含むか、又は、ハロゲン化リンガスと酸素及び硫黄含有ガスとを含む工程と、を含む

デバイス製造方法。

[0137]（付記２２）

チャンバと制御部とを有するプラズマ処理装置のコンピュータに、

（ａ）チャンバ内の基板支持部上に、炭素含有膜と炭素含有膜上のマスクとを有する基板を提供する制御と、

（ｂ）第１の処理ガスから生成したプラズマを用いて前記炭素含有膜をエッチングする制御であって、前記第１の処理ガスは、ハロゲン化リンガス、酸素含有ガス及び硫黄含有ガスを含むか、又は、ハロゲン化リンガスと酸素及び硫黄含有ガスとを含む制御と、を実行させる

プログラム。

[0138]（付記２３）

付記２２に記載のプログラムを格納した、記憶媒体。

[0139] 以上の各実施形態は、説明の目的で記載されており、本開示の範囲を限定することを意図するものではない。以上の各実施形態は、本開示の範囲及び趣旨から逸脱することなく種々の変形をなし得る。例えば、ある実施形態における一部の構成要素を、他の実施形態に追加することができる。また、ある実施形態における一部の構成要素を、他の実施形態の対応する構成要素と置換することができる。

符号の説明

[0140] １……プラズマ処理装置、２……制御部、１０……プラズマ処理チャンバ、１０ｓ……プラズマ処理空間、１１……基板支持部、１４……アンテナ、２

０……ガス供給部、３１ａ……第１のＲＦ生成部、３１ｂ……第２のＲＦ生成部、３２ａ……第１のＤＣ生成部、ＤＰ１……第１の堆積膜、ＤＰ２……第２の堆積膜、ＭＫ……マスク、ＯＦ……炭素含有膜、ＯＰ……開口、ＲＣ……凹部、ＵＦ……下地膜、Ｗ……基板

請求の範囲

[請求項1] エッチング方法であって、

（ａ）チャンバ内の基板支持部上に、炭素含有膜と前記炭素含有膜上のマスクとを有する基板を提供する工程と、

（ｂ）第１の処理ガスから生成したプラズマを用いて前記炭素含有膜をエッチングする工程であって、前記第１の処理ガスは、ハロゲン化リンガス、酸素含有ガス及び硫黄含有ガスを含むか、又は、ハロゲン化リンガスと酸素及び硫黄含有ガスとを含む工程と、を含む

エッチング方法。

[請求項2] （ｃ）前記第１の処理ガスと異なる第２の処理ガスから生成したプラズマを用いて前記炭素含有膜をエッチングする工程をさらに含み、前記第２の処理ガスは、酸素含有ガス及び硫黄含有ガスを含むか、又は、酸素及び硫黄含有ガスを含む、請求項１に記載のエッチング方法。

[請求項3] 前記第２の処理ガスは、ハロゲン化リンガスを含まない、請求項２に記載のエッチング方法。

[請求項4] 前記第２の処理ガスは、前記第１の処理ガスに含まれるハロゲン化リンガスよりも少ない流量でハロゲン化リンガスを含む、請求項２に記載のエッチング方法。

[請求項5] 前記（ｂ）の工程におけるエッチングの実行時間に対する前記（ｃ）の工程におけるエッチングの実行時間の比が０．８以上１．２以下である、請求項２から請求項４のいずれか１項に記載のエッチング方法。

[請求項6] 前記（ｂ）の工程と前記（ｃ）の工程とを含むサイクルを複数回繰り返す、請求項２から請求項４のいずれか１項に記載のエッチング方法。

[請求項7] ２回目以降の少なくとも１つの前記サイクルにおいて、前記（ｂ）の工程におけるエッチングの実行時間に対する前記（ｃ）の工程にお

けるエッチングの実行時間の比は、１回目の前記サイクルにおける当該比よりも大きい、請求項６に記載のエッチング方法。

[請求項8] ２回目以降の少なくとも１つの前記サイクルにおける前記基板支持部の温度は、１回目の前記サイクルにおける前記基板支持部の温度よりも高く設定される、請求項６に記載のエッチング方法。

[請求項9] 前記ハロゲン化リンガスは、フッ化リンガス、塩化リンガス、オキシフッ化リンガス及びオキシ塩化リンガスからなる群から選択される少なくとも１つのガスを含む、請求項１から請求項４のいずれか１項に記載のエッチング方法。

[請求項10] 前記ハロゲン化リンガスは、PF_3ガス、PF_5ガス及びPCl_3ガスからなる群から選択される少なくとも１つのガスを含む、請求項１から請求項４のいずれか１項に記載のエッチング方法。

[請求項11] 前記第１の処理ガスにおいて、前記ハロゲン化リンガスの流量は、前記第１の処理ガスの総流量の５体積%以下である、請求項１から請求項４のいずれか１項に記載のエッチング方法。

[請求項12] 前記酸素含有ガスは、O_2ガス、ＣＯガス及びCO_2ガスからなる群から選択される少なくとも1つのガスを含む、請求項１から請求項４のいずれか１項に記載のエッチング方法。

[請求項13] 前記酸素及び硫黄含有ガスは、ＣＯＳガス及びSO_2ガスの少なくともいずれかのガスである、請求項１から請求項４のいずれか１項に記載のエッチング方法。

[請求項14] 前記硫黄含有ガスは、SF_6ガスである、請求項１から請求項４のいずれか１項に記載のエッチング方法。

[請求項15] 前記マスクは、シリコン含有膜又は金属含有膜を含む、請求項１から請求項４のいずれか１項に記載のエッチング方法。

[請求項16] 前記炭素含有膜は、アモルファスカーボン膜を含む、請求項１から請求項４のいずれか１項に記載のエッチング方法。

[請求項17] 前記（ｂ）の工程において、前記基板支持部の温度が０度以下に設

定される、請求項１から請求項４のいずれか１項に記載のエッチング方法。

[請求項18] 前記（ｃ）の工程において、前記基板支持部の温度が０度以下に設定される、請求項２から請求項４のいずれか１項に記載のエッチング方法。

[請求項19] チャンバと制御部とを有するプラズマ処理装置であって、

前記制御部は、

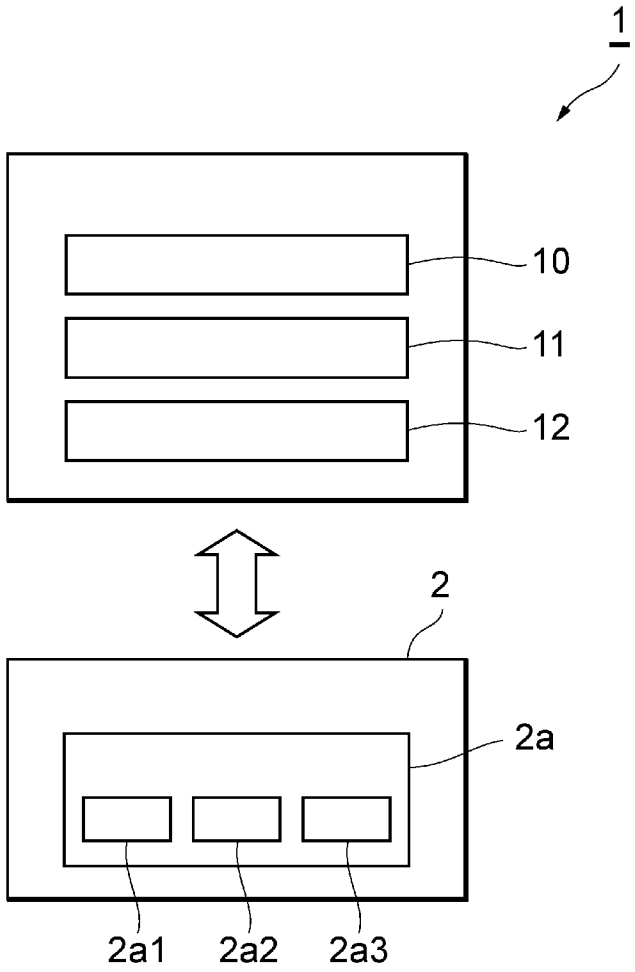
（ａ）チャンバ内の基板支持部上に、炭素含有膜と炭素含有膜上のマスクとを有する基板を提供する制御と、

（ｂ）第１の処理ガスから生成したプラズマを用いて前記炭素含有膜をエッチングする制御であって、前記第１の処理ガスは、ハロゲン化リンガス、酸素含有ガス及び硫黄含有ガスを含むか、又は、ハロゲン化リンガスと酸素及び硫黄含有ガスとを含む制御と、を実行する

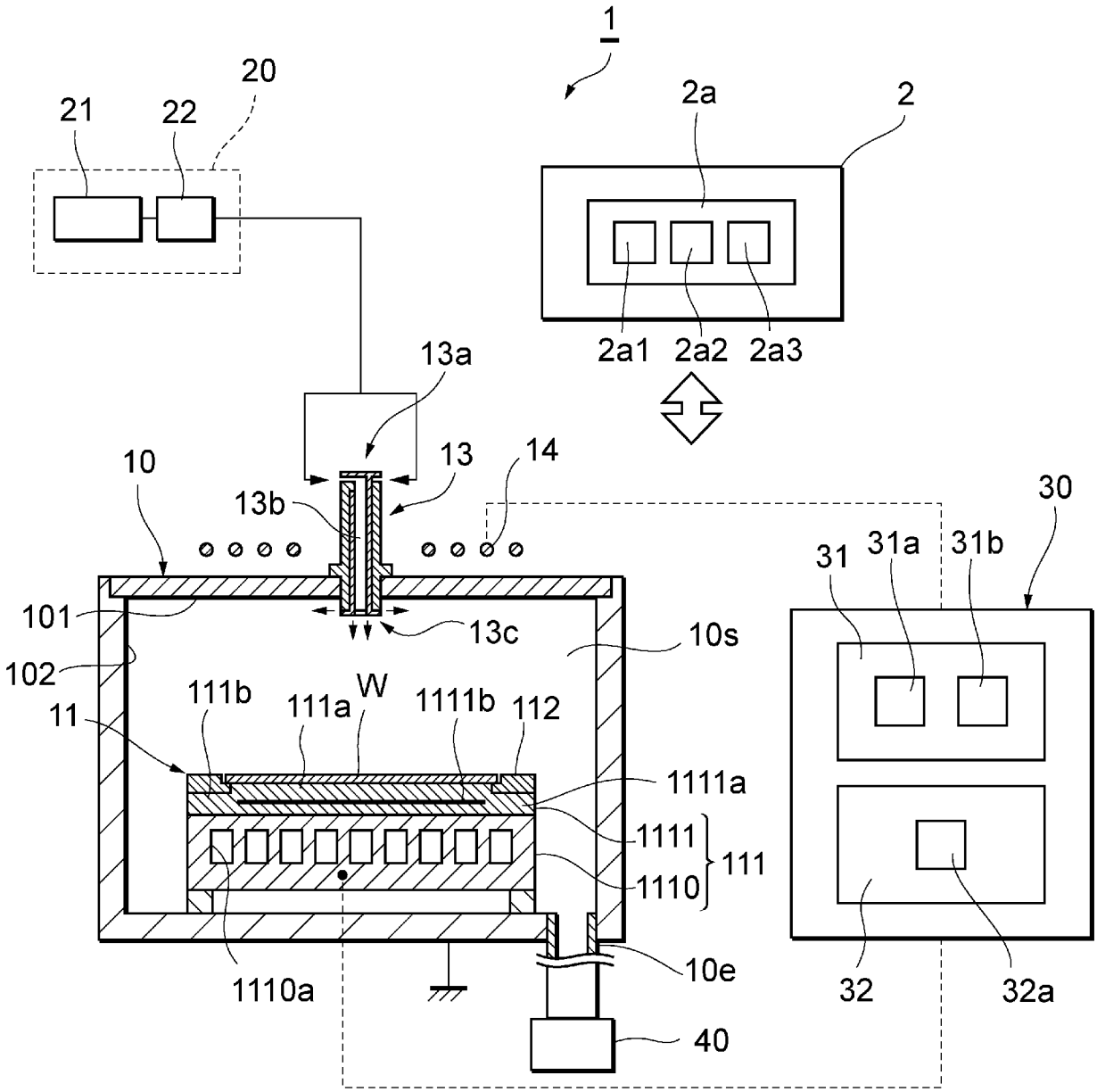
プラズマ処理装置。

[請求項20] 前記制御部は、（ｃ）前記第１の処理ガスと異なる第２の処理ガスから生成したプラズマを用いて前記炭素含有膜をエッチングする制御をさらに実行し、前記第２の処理ガスは、酸素含有ガス及び硫黄含有ガスを含むか、又は、酸素及び硫黄含有ガスを含む、請求項１９に記載のプラズマ処理装置。

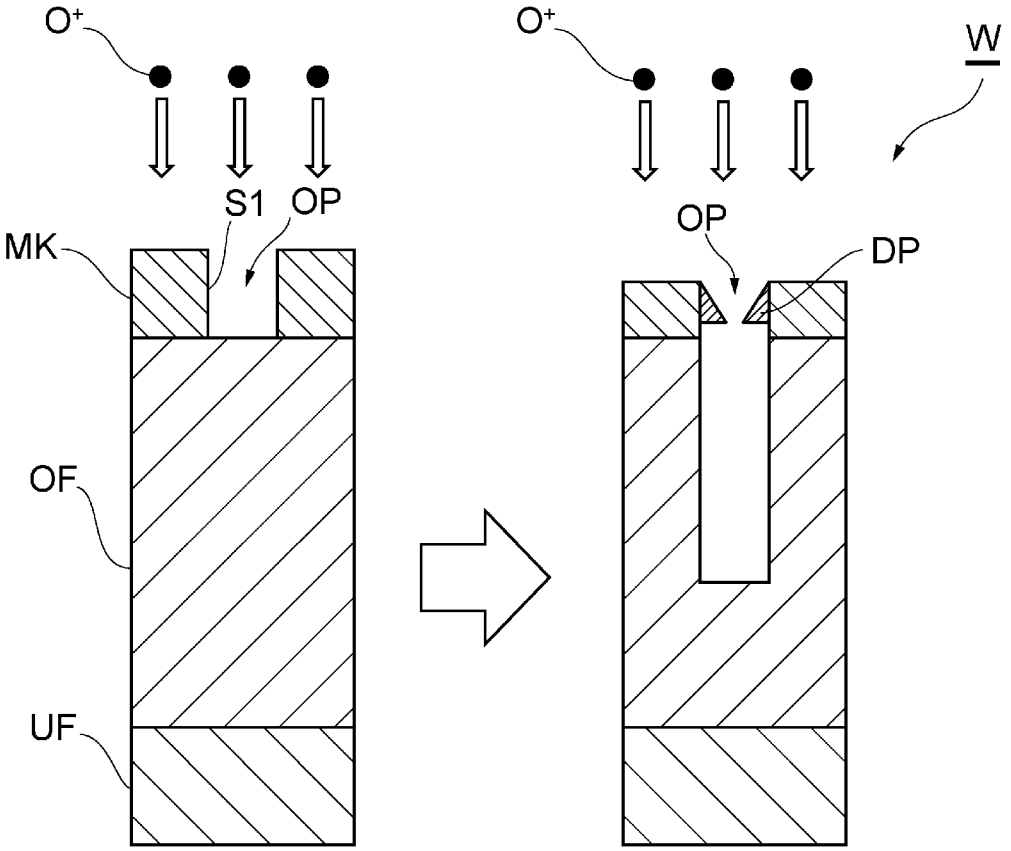
[図1]



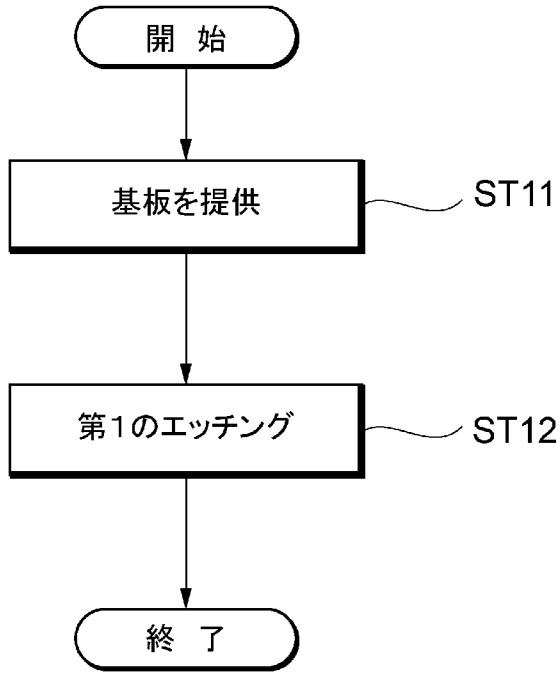
[図2]


1
20
21
22
2a
2
2a1
2a2
2a3
13a
13
14
10
13b
30
31
31a
31b
101
13c
10s
102
111b
111a
W
1111b
112
11
1111a
1111
111
1110
1110a
10e
40
32
32a

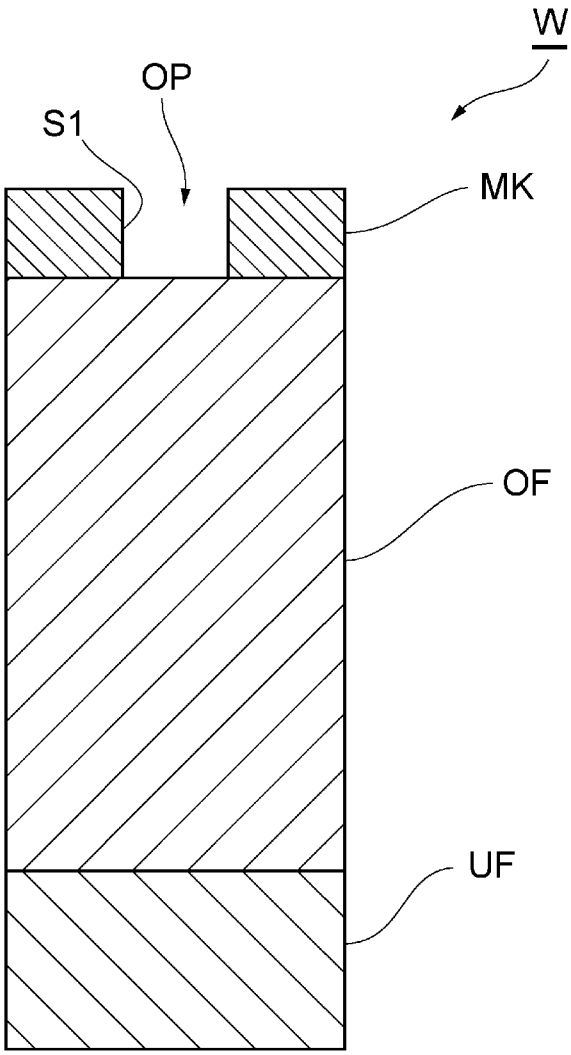
[図3]



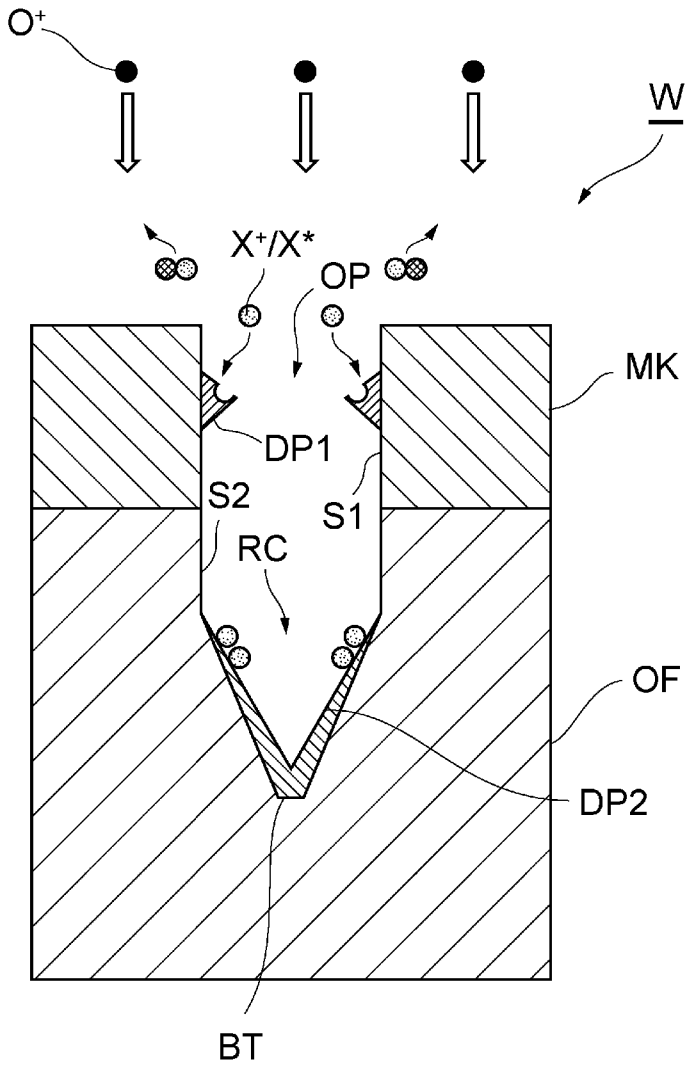
[図4]



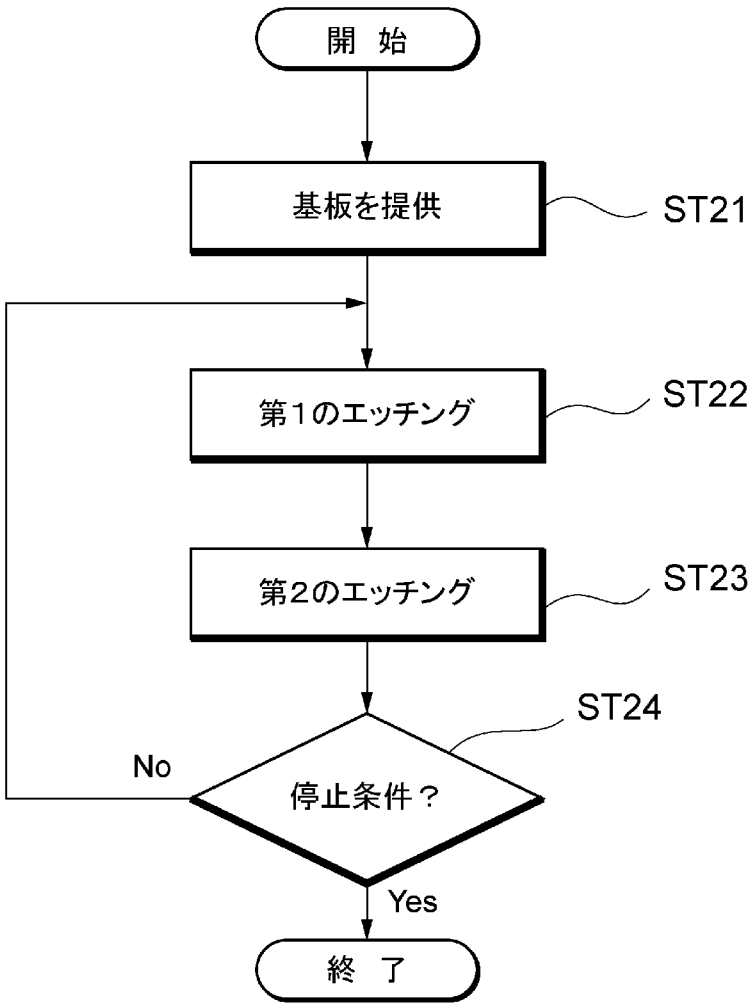
[図5]



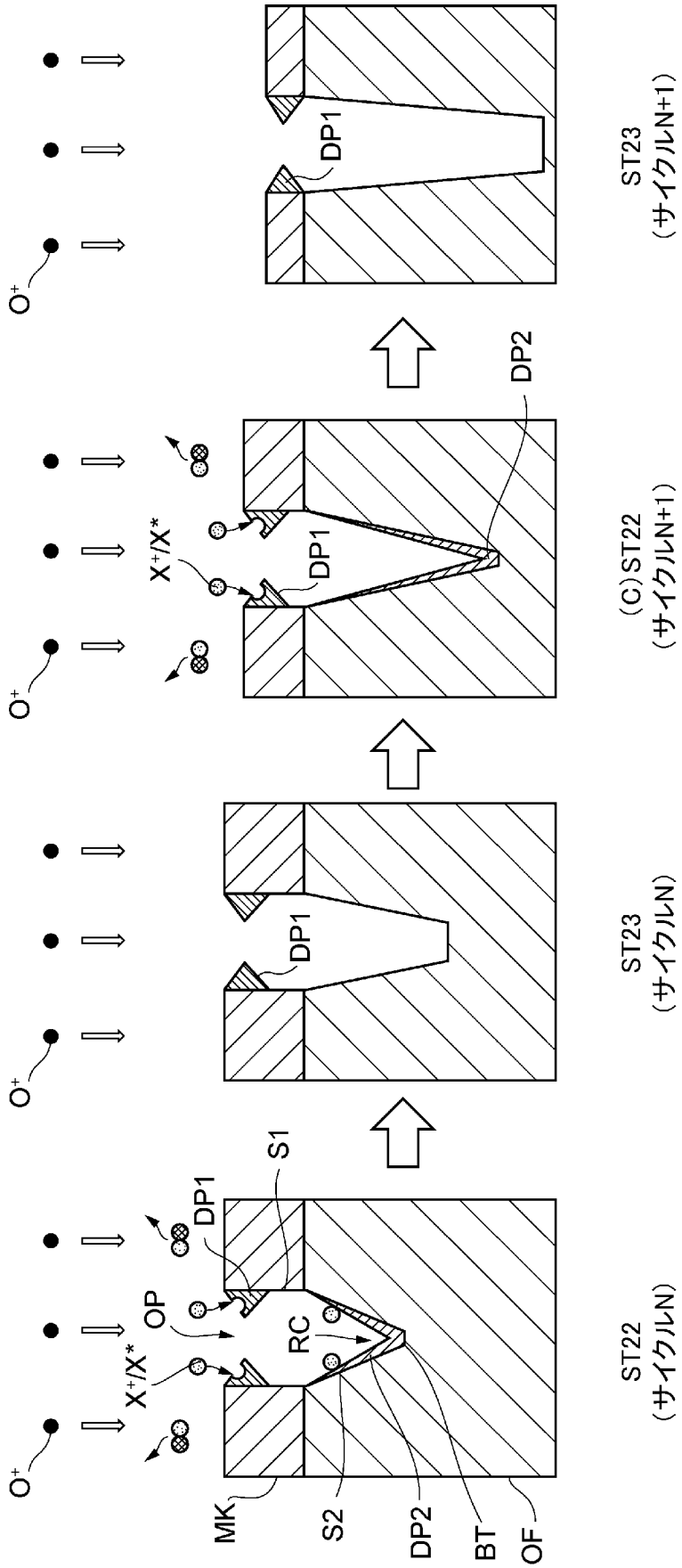
[図6]



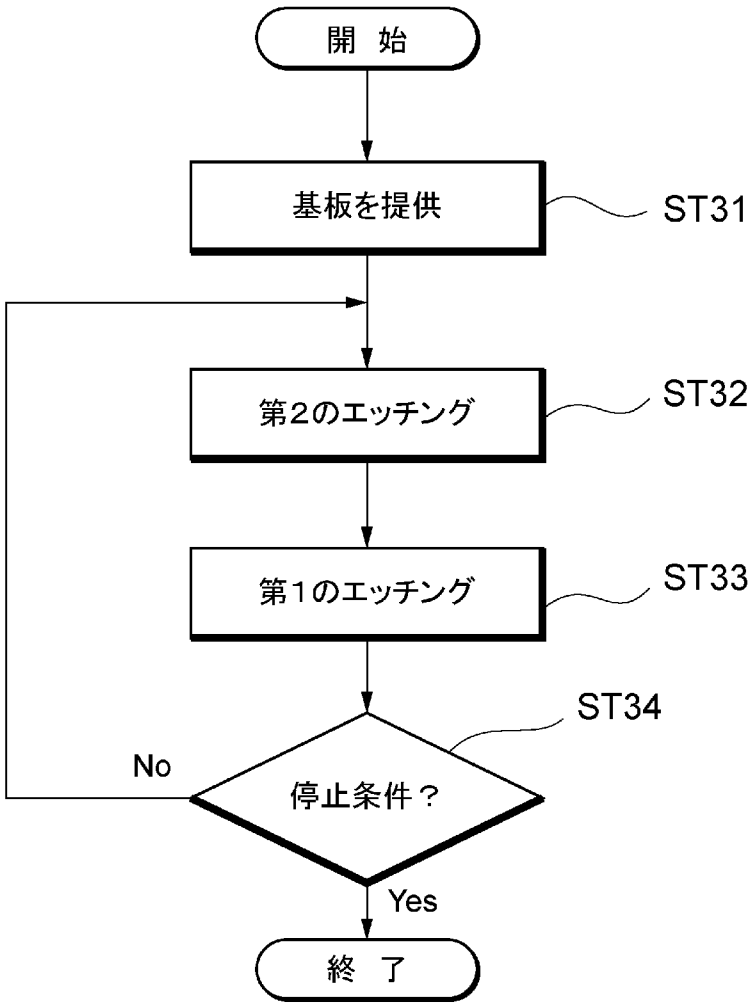
[図7]


開 始
基板を提供
ST21
第1のエッチング
ST22
第2のエッチング
ST23
ST24
No
停止条件？
Yes
終 了

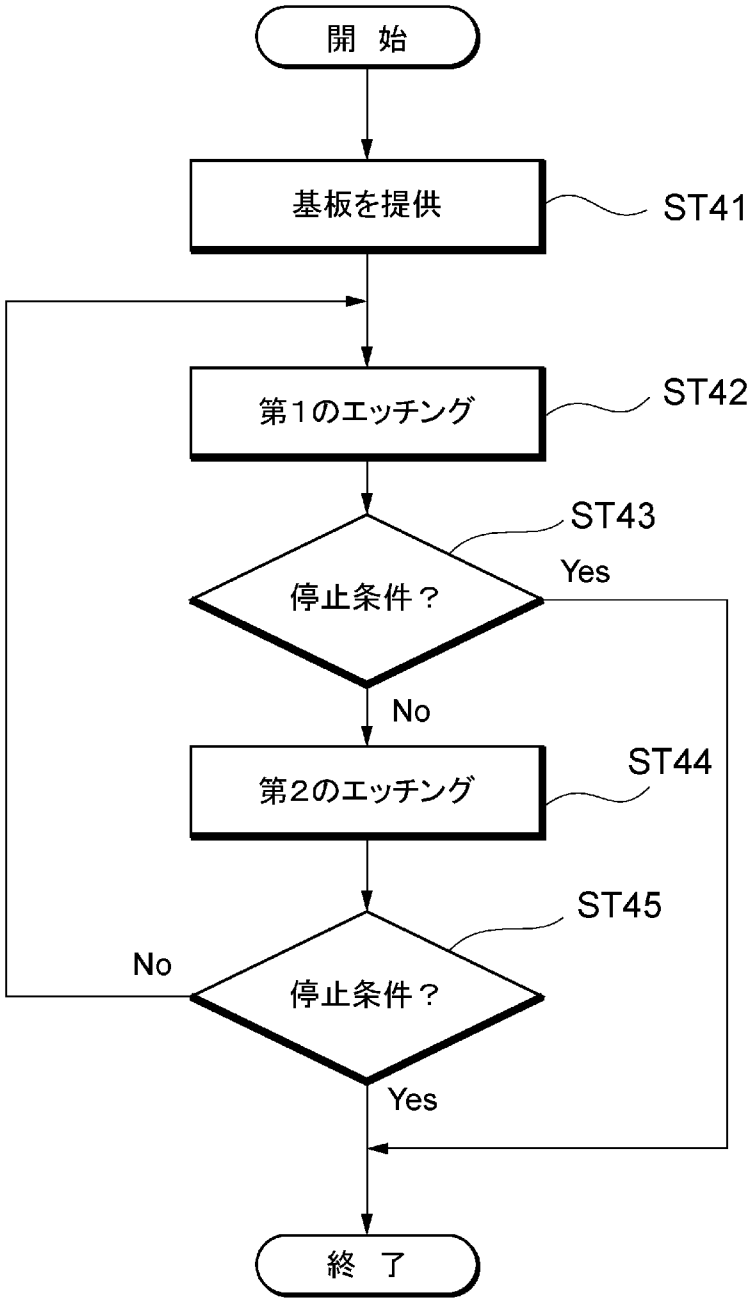
[図8]


ST22
(サイクルN)
ST23
(サイクルN)
(C)ST22
(サイクルN+1)
ST23
(サイクルN+1)
O+
X+/X*
OP
DP1
S1
RC
S2
DP2
BT
OF
MK

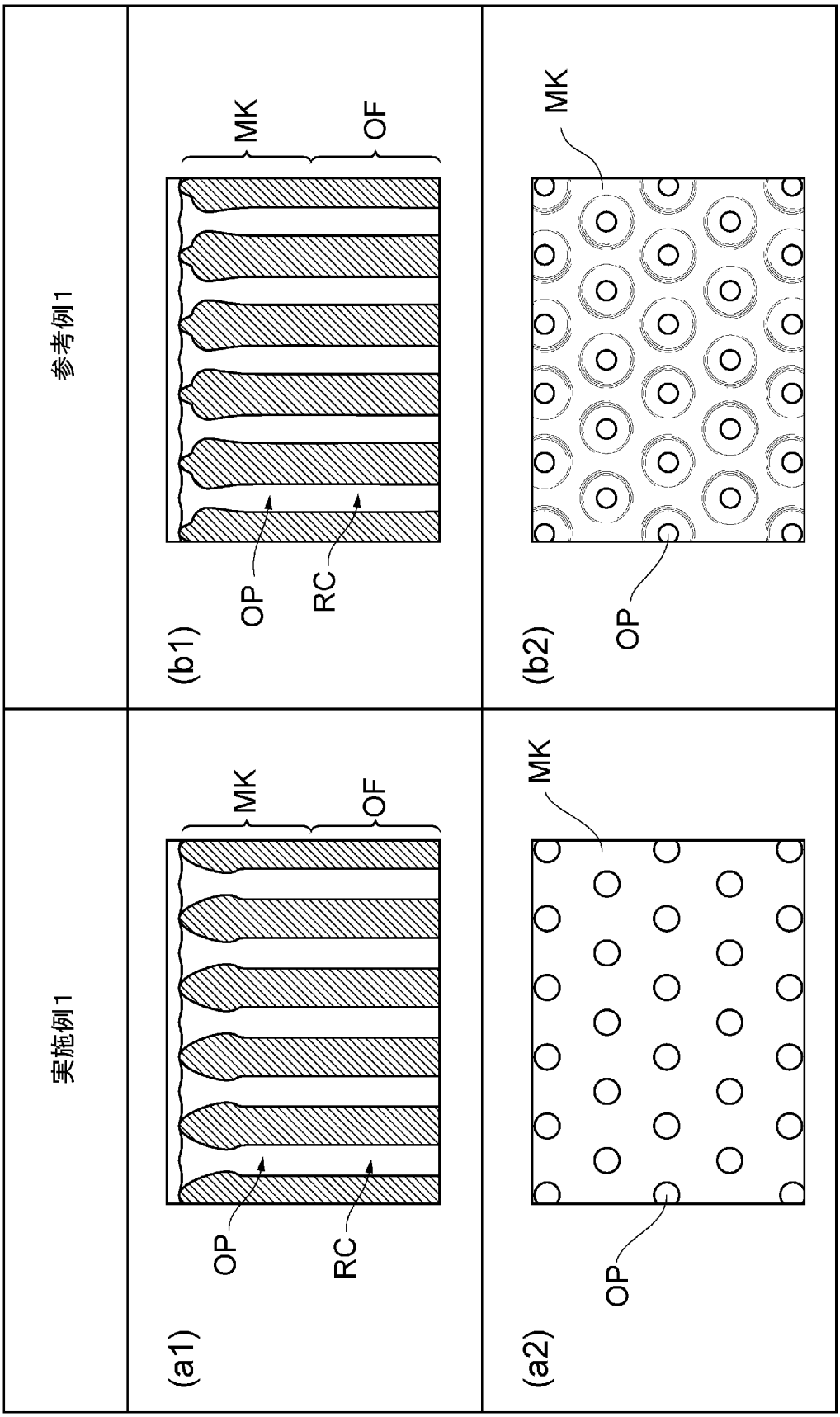
[図9]


開 始
基板を提供
ST31
第2のエッチング
ST32
第1のエッチング
ST33
ST34
No
停止条件？
Yes
終 了

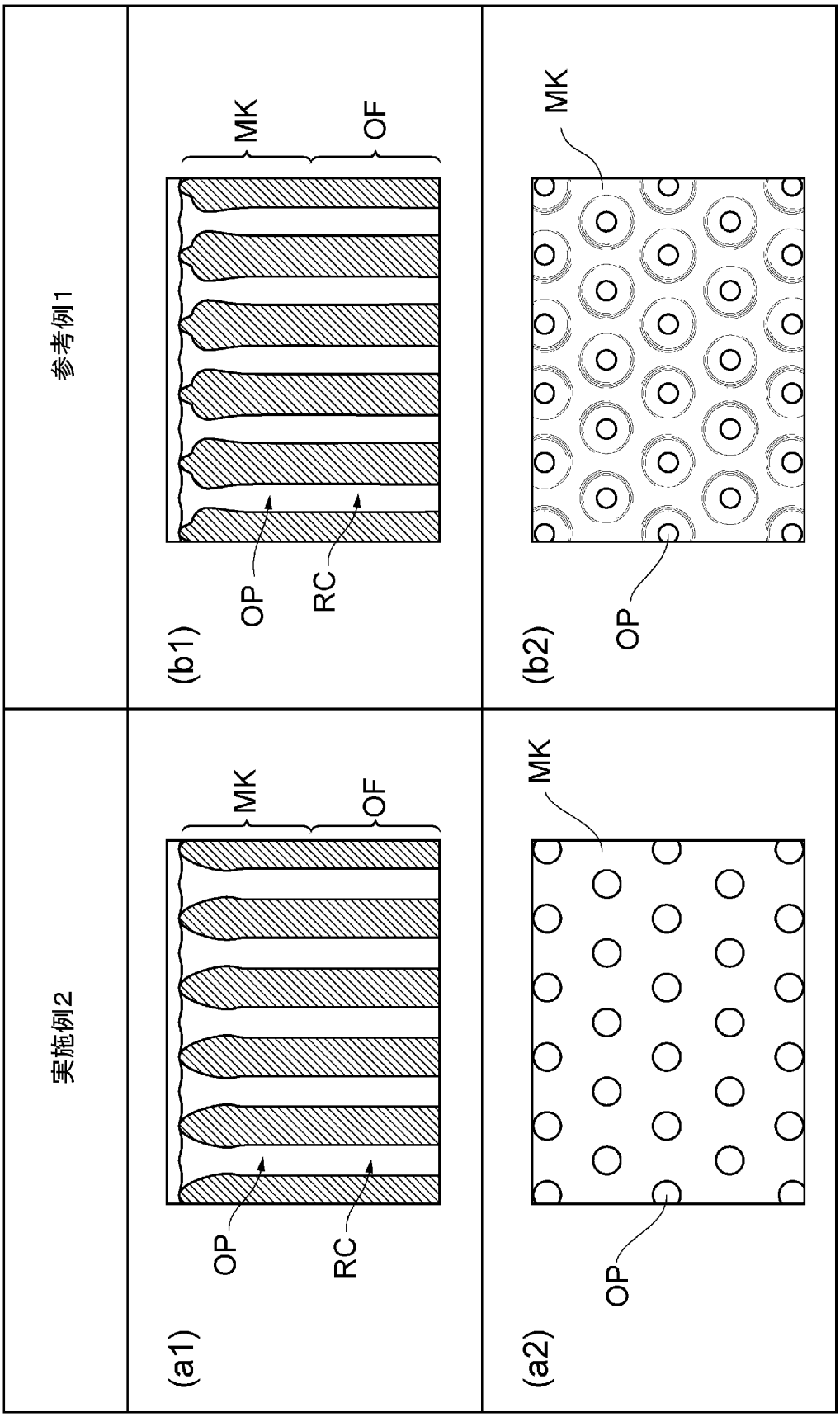
[図10]


開 始
基板を提供
ST41
第1のエッチング
ST42
ST43
停止条件？
Yes
No
第2のエッチング
ST44
ST45
No
停止条件？
Yes
終 了

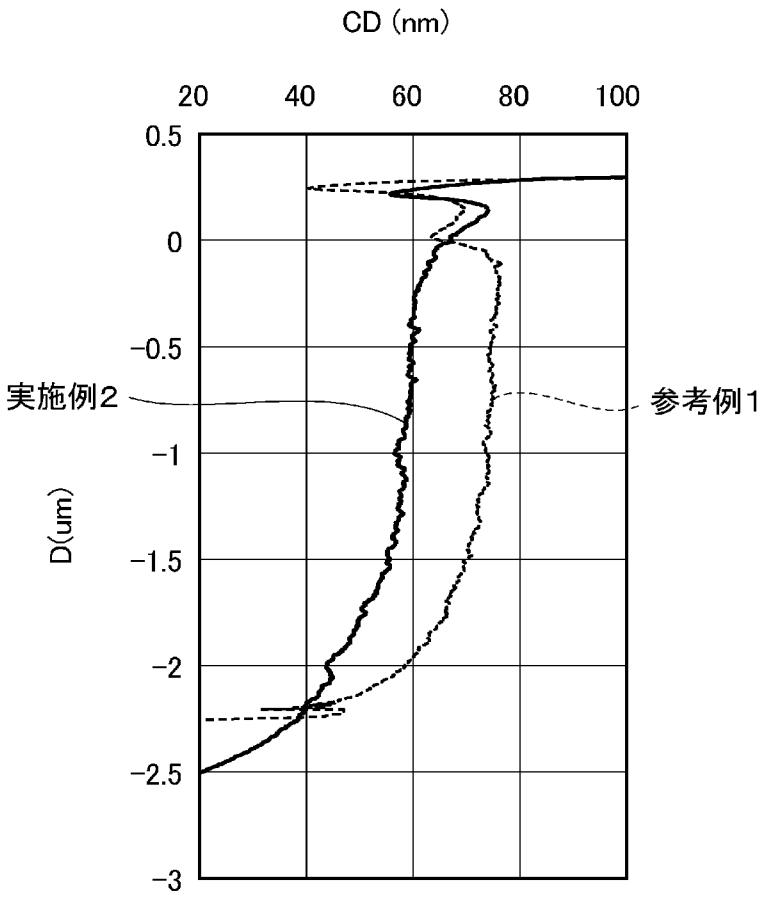
[図11]



[図12]



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2024/000496

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 21/3065(2006.01)i
FI: H01L21/302 105A; H01L21/302 101C

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

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024
Registered utility model specifications of Japan 1996-2024
Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

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	WO 2022/230118 A1 (TOKYO ELECTRON LIMITED) 03 November 2022 (2022-11-03) paragraphs [0008]-[0079], [0090]-[0099], fig. 1-6	1-2, 5-15, 17-20
A	JP 2021-077865 A (TOKYO ELECTRON LIMITED) 20 May 2021 (2021-05-20)	1-20
A	JP 2021-093523 A (TOKYO ELECTRON LIMITED) 17 June 2021 (2021-06-17)	1-20
A	US 2019/0051526 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 14 February 2019 (2019-02-14)	1-20
A	WO 2022/234640 A1 (TOKYO ELECTRON LIMITED) 10 November 2022 (2022-11-10)	1-20

☐ 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
"D" document cited by the applicant in the international application
"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	Date of mailing of the international search report
22 March 2024	**02 April 2024**

Name and mailing address of the ISA/JP	Authorized officer
Japan Patent Office (ISA/JP) **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2024/000496

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO 2022/230118 A1	03 November 2022	US 2023/0268191 A1 paragraphs [0025]-[0101], [0112]-[0122], fig. 1-6 CN 116034454 A KR 10-2023-0137285 A	
JP 2021-077865 A	20 May 2021	CN 112786440 A US 2021/0143016 A1 WO 2021/090516 A1 KR 10-2021-0056240 A EP 4050641 A1	
JP 2021-093523 A	17 June 2021	US 2021/0175091 A1 CN 112951717 A KR 10-2021-0073463 A	
US 2019/0051526 A1	14 February 2019	KR 10-2019-0017227 A CN 109390218 A	
WO 2022/234640 A1	10 November 2022	US 2023/0215700 A1 CN 115943481 A	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2024/000496

A.　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H01L 21/3065(2006.01)i
FI: H01L21/302 105A; H01L21/302 101C

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））

H01L21/3065

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	１９７１－２０２４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２４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	WO 2022/230118 A1 (東京エレクトロン株式会社) 03.11.2022 (2022-11-03) 段落[0008]-[0079],[0090]-[0099],図1-6	1-2,5-15,17-20
A	JP 2021-077865 A (東京エレクトロン株式会社) 20.05.2021 (2021-05-20)	1-20
A	JP 2021-093523 A (東京エレクトロン株式会社) 17.06.2021 (2021-06-17)	1-20
A	US 2019/0051526 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 14.02.2019 (2019-02-14)	1-20
A	WO 2022/234640 A1 (東京エレクトロン株式会社) 10.11.2022 (2022-11-10)	1-20

☐ 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
"D" 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献
"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抵触するものではなく、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	国際調査報告の発送日
22.03.2024	02.04.2024

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）

小▲高▼　孔頌 50 1982

電話番号 03-3581-1101 内線 3559

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2024/000496

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 2022/230118 A1	03.11.2022	US 2023/0268191 A1 段落[0025]-[0101],[0112]-[0122],図1-6	
		CN 116034454 A	
		KR 10-2023-0137285 A	
JP 2021-077865 A	20.05.2021	CN 112786440 A	
		US 2021/0143016 A1	
		WO 2021/090516 A1	
		KR 10-2021-0056240 A	
		EP 4050641 A1	
JP 2021-093523 A	17.06.2021	US 2021/0175091 A1	
		CN 112951717 A	
		KR 10-2021-0073463 A	
US 2019/0051526 A1	14.02.2019	KR 10-2019-0017227 A	
		CN 109390218 A	
WO 2022/234640 A1	10.11.2022	US 2023/0215700 A1	
		CN 115943481 A	