

(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  
2023年2月2日(02.02.2023)



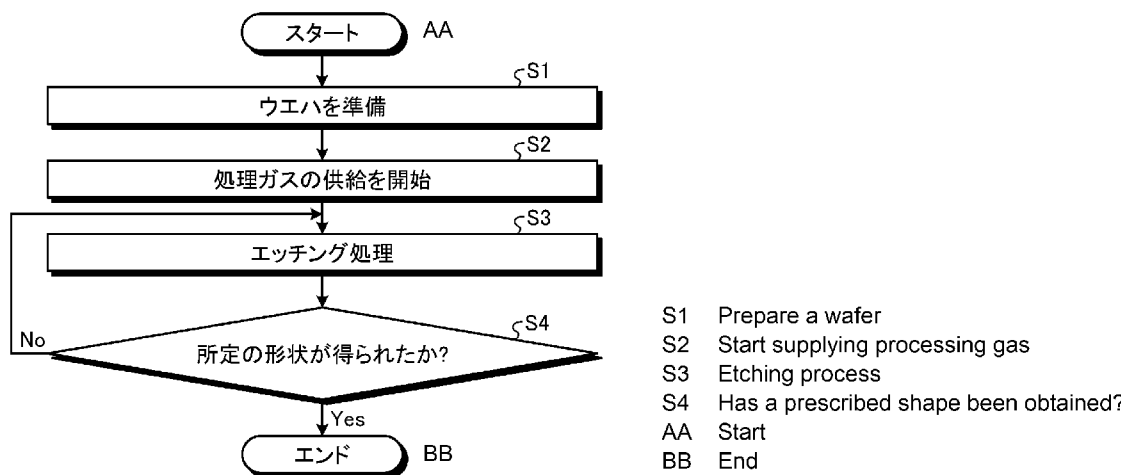
(10) 国際公開番号

WO 2023/008025 A1

- (51) 国際特許分類:  
H01L 21/3065 (2006.01) H01L 21/768 (2006.01)  
H01L 21/3205 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/025435
- (22) 国際出願日: 2022年6月27日(27.06.2022)
- (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 2021-122118 2021年7月27日(27.07.2021) JP  
特願 2022-016830 2022年2月7日(07.02.2022) JP  
111105078 2022年2月11日(11.02.2022) TW
- (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: 横山 喬大(YOKOYAMA, Takahiro); 〒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). 浦川 理史(URAKAWA, Masafumi); 〒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). 千葉 祐毅(CHIBA, Yuki); 〒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: 弁理士法人酒井国際特許事務所(SAKAI INTERNATIONAL PATENT OFFICE); 〒1000013 東京都千代田区霞が関3丁目8番1号 虎の門三井ビルディング 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,

(54) Title: ETCHING METHOD, METHOD FOR MANUFACTURING SEMICONDUCTOR DEVICE, ETCHING PROGRAM, AND PLASMA PROCESSING DEVICE

(54) 発明の名称: エッチング方法、半導体装置の製造方法、エッチングプログラムおよびプラズマ処理装置



(57) Abstract: This etching method comprises: a step for providing a substrate that comprises a layer to be etched that includes a silicon-containing layer, and a mask that includes metal having openings defined by side walls on the layer to be etched; a step for providing a processing gas that contains a metal-containing gas; and a step for generating plasma from the processing gas, forming a protective layer that contains metal on the upper part and side walls of the mask, and etching the layer to be etched via the openings.

WO 2023/008025 A1

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, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, 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, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

---

(57) 要約 : エッチング方法は、シリコン含有層を含むエッチング対象層と、エッチング対象層の上に側壁により規定される開口を有する金属を含むマスクを備える基板を提供する工程と、金属含有ガスを含む処理ガスを供給する工程と、処理ガスからプラズマを生成し、マスクの上部および側壁に金属を含有する保護層を形成しつつ、開口を介してエッチング対象層をエッチングする工程と、を有する。

## 明 細 書

発明の名称：

エッチング方法、半導体装置の製造方法、エッチングプログラムおよびプラズマ処理装置

技術分野

[0001] 本開示は、エッチング方法、半導体装置の製造方法、エッチングプログラムおよびプラズマ処理装置に関する。

背景技術

[0002] 酸化膜などの絶縁膜を炭素とフッ素を含むガス等のプラズマを用いてエッチングする際に、エッチング中に局所的な帯電で生じる形状異常を抑制するために、エッチングガスにWF<sub>6</sub>ガスを添加することで導電層を形成することが提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開平9-50984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、金属含有マスクの選択比を向上できるエッチング方法、半導体装置の製造方法、エッチングプログラムおよびプラズマ処理装置を提供する。

課題を解決するための手段

[0005] 本開示の一態様によるエッチング方法は、シリコン含有層を含むエッチング対象層と、エッチング対象層の上に側壁により規定される開口を有する金属を含むマスクを備える基板を提供する工程と、金属含有ガスを含む処理ガスを供給する工程と、処理ガスからプラズマを生成し、マスクの上部および側壁に金属を含有する保護層を形成しつつ、開口を介してエッチング対象層

をエッチングする工程と、を有する。

## 発明の効果

[0006] 本開示によれば、金属含有マスクの選択比を向上できる。

## 図面の簡単な説明

[0007] [図1]図1は、本開示の一実施形態におけるプラズマ処理装置の一例を示す概略断面図である。

[図2]図2は、本実施形態に係るプラズマ処理装置によってエッチングされる基板の構造の一例を模式的に示す図である。

[図3]図3は、本実施形態における基板のエッチングの進行の一例を模式的に示す図である。

[図4]図4は、本実施形態におけるエッチング処理の一例を示すフローチャートである。

[図5]図5は、本実施形態と参考例とにおける実験結果の一例を示す図である。

[図6]図6は、六フッ化タングステンガスの流量とマスク選択比との関係の一例を示す図である。

[図7]図7は、バイアス電圧とマスク選択比との関係の一例を示す図である。

## 発明を実施するための形態

[0008] 以下に、開示するエッチング方法、半導体装置の製造方法、エッチングプログラムおよびプラズマ処理装置の実施形態について、図面に基づいて詳細に説明する。なお、以下の実施形態により開示技術が限定されるものではない。

[0009] 誘電膜のエッチングにおいて、例えば、炭化タングステン(WC)等の金属含有マスクを用いる場合、金属含有マスクがエッチングされて選択比(誘電膜のエッチレート/金属含有マスクのエッチレート)が低下する場合がある。半導体プロセスの微細化が進むと、金属含有マスクの選択比の低下が問題となる場合がある。そこで、金属含有マスクの選択比を向上させることが期待されている。

[0010] [プラズマ処理装置 10 の構成]

図 1 は、本開示の一実施形態におけるプラズマ処理装置の一例を示す概略断面図である。図 1 に示すプラズマ処理装置 10 は、容量結合型プラズマ処理装置である。プラズマ処理装置 10 は、チャンバ 12 を備えている。チャンバ 12 は、略円筒形状を有している。チャンバ 12 は、その内部空間を処理空間 12c として提供している。チャンバ 12 は、例えばアルミニウムから形成されている。チャンバ 12 の内壁面には、耐プラズマ性を有する処理が施されている。例えば、チャンバ 12 の内壁面には、陽極酸化処理が施されている。チャンバ 12 は、電氣的に接地されている。

[0011] また、チャンバ 12 の側壁には、通路 12p が形成されている。被処理体の一例であるウエハ（基板）W は、処理空間 12c に搬入される時、また、処理空間 12c から搬出される時に、通路 12p を通る。この通路 12p は、ゲートバルブ 12g により開閉可能となっている。

[0012] チャンバ 12 の底部上には、支持部 13 が設けられている。支持部 13 は、絶縁材料から形成されている。支持部 13 は、略円筒形状を有している。支持部 13 は、処理空間 12c 内において、チャンバ 12 の底部から鉛直方向に延在している。支持部 13 は、ステージ 14 を支持している。ステージ 14 は、処理空間 12c 内に設けられている。ステージ 14 は、載置台および基板支持体の一例である。

[0013] ステージ 14 は、下部電極 18 および静電チャック 20 を有している。ステージ 14 は、電極プレート 16 をさらに備え得る。電極プレート 16 は、例えばアルミニウムといった導体から形成されており、略円盤形状を有している。下部電極 18 は、電極プレート 16 上に設けられている。下部電極 18 は、例えばアルミニウムといった導体から形成されており、略円盤形状を有している。下部電極 18 は、電極プレート 16 に電氣的に接続されている。

[0014] 静電チャック 20 は、下部電極 18 上に設けられている。静電チャック 20 の上面の上には、ウエハ W が載置される。静電チャック 20 は、誘電体か

ら形成された本体を有する。静電チャック20の本体内には、膜状の電極が設けられている。静電チャック20の電極は、スイッチを介して直流電源22に接続されている。静電チャック20の電極に直流電源22からの電圧が印加されると、静電チャック20とウエハWとの間で静電引力が発生する。発生した静電引力により、ウエハWは静電チャック20に引き付けられ、当該静電チャック20によって保持される。

[0015] 下部電極18の周縁部上には、ウエハWのエッジを囲むように、フォーカスリングFRが配置される。フォーカスリングFRは、エッジリングの一例であり、エッチングの均一性を向上させるために設けられている。フォーカスリングFRは、限定されるものではないが、シリコン、炭化シリコン、または、石英から形成され得る。

[0016] 下部電極18の内部には、流路18fが設けられている。流路18fには、チャンバ12の外部に設けられているチラーユニット26から配管26aを介して熱交換媒体（例えば冷媒）が供給される。流路18fに供給された熱交換媒体は、配管26bを介してチラーユニット26に戻される。プラズマ処理装置10では、静電チャック20上に載置されたウエハWの温度が、熱交換媒体と下部電極18との熱交換により、調整される。

[0017] プラズマ処理装置10には、ガス供給ライン28が設けられている。ガス供給ライン28は、伝熱ガス供給機構からの伝熱ガス、例えばHeガスを、静電チャック20の上面とウエハWの裏面との間に供給する。

[0018] プラズマ処理装置10は、上部電極30をさらに備えている。上部電極30は、ステージ14の上方に設けられている。上部電極30は、部材32を介して、チャンバ12の上部に支持されている。部材32は、絶縁性を有する材料から形成されている。上部電極30は、天板34および支持体36を含み得る。天板34の下面は、処理空間12c側の下面であり、処理空間12cを画成している。天板34は、ジュール熱の少ない低抵抗の導電体または半導体から形成され得る。天板34には、複数のガス吐出孔34aが形成されている。複数のガス吐出孔34aは、当該天板34をその板厚方向に貫

通している。

[0019] 支持体36は、天板34を着脱自在に支持するものであり、例えばアルミニウムといった導電性材料から形成され得る。支持体36の内部には、ガス拡散室36aが設けられている。ガス拡散室36aからは、複数のガス吐出孔34aにそれぞれ連通する複数のガス通流孔36bが下方に延びている。支持体36には、ガス拡散室36aに処理ガスを導くガス導入口36cが形成されている。ガス導入口36cには、ガス供給管38が接続されている。ガス導入口36cは、チャンバ12内にガスを供給するガス供給口の一例である。

[0020] ガス供給管38には、バルブ群42および流量制御器群44を介して、ガスソース群40が接続されている。ガスソース群40は、複数のガスソースを含んでいる。複数のガスソースは、エッチング処理等で利用される処理ガスを構成する複数のガスのソースを含んでいる。バルブ群42は、複数の開閉バルブを含んでいる。流量制御器群44は、複数の流量制御器を含んでいる。複数の流量制御器の各々は、マスフローコントローラまたは圧力制御式の流量制御器である。ガスソース群40の複数のガスソースは、バルブ群42の対応のバルブ、および、流量制御器群44の対応の流量制御器を介してガス供給管38に接続されている。

[0021] プラズマ処理装置10では、チャンバ12の内壁に沿って、シールド46が着脱自在に設けられている。シールド46は、支持部13の外周にも設けられている。シールド46は、チャンバ12にエッチング副生物が付着することを防止する。シールド46は、例えば、アルミニウム材にY2O3等のセラミックスを被覆することにより構成され得る。

[0022] 支持部13とチャンバ12の側壁との間には、バッフルプレート48が設けられている。バッフルプレート48は、例えば、アルミニウム製の母材にY2O3等のセラミックスを被覆することにより構成される。バッフルプレート48には、複数の貫通孔が形成されている。バッフルプレート48の下方、かつ、チャンバ12の底部には、排気口12eが設けられている。排気

口12eには、排気管52を介して排気装置50が接続されている。排気装置50は、圧力制御弁、および、ターボ分子ポンプといった真空ポンプを有している。

[0023] プラズマ処理装置10は、第1の高周波電源62および第2の高周波電源64をさらに備えている。第1の高周波電源62は、プラズマ生成用の第1の高周波を発生する電源である。第1の高周波の周波数は、例えば、27MHz~100MHzの範囲内の周波数である。第1の高周波電源62は、整合器66および電極プレート16を介して下部電極18に接続されている。整合器66は、第1の高周波電源62の出力インピーダンスと負荷側（下部電極18側）の入力インピーダンスを整合させるための回路を有している。なお、第1の高周波電源62は、整合器66を介して、上部電極30に接続されていてもよい。また、第1の高周波電源62は、プラズマ生成部の一例である。

[0024] 第2の高周波電源64は、ウエハWにイオンを引き込むための第2の高周波を発生する電源である。第2の高周波の周波数は、第1の高周波の周波数よりも低い。第2の高周波の周波数は、例えば400kHz~13.56MHzの範囲内の周波数である。第2の高周波電源64は、整合器68および電極プレート16を介して下部電極18に接続されている。整合器68は、第2の高周波電源64の出力インピーダンスと負荷側（下部電極18側）の入力インピーダンスを整合させるための回路を有している。

[0025] プラズマ処理装置10は、直流電源部70をさらに備え得る。直流電源部70は、上部電極30に接続されている。直流電源部70は、負の直流電圧を発生し、当該直流電圧を上部電極30に与えることが可能である。

[0026] プラズマ処理装置10は、制御部80をさらに備え得る。制御部80は、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り得る。制御部80は、プラズマ処理装置10の各部を制御する。制御部80では、入力装置を用いて、オペレータがプラズマ処理装置10を管理するためにコマンドの入力操作等を行うことができる。また、制御部80では、表示

装置により、プラズマ処理装置10の稼働状況を可視化して表示することができる。さらに、制御部80の記憶部には、プラズマ処理装置10で実行される各種処理をプロセッサにより制御するための制御プログラム、および、レシピデータが格納されている。制御部80のプロセッサが制御プログラムを実行して、レシピデータに従ってプラズマ処理装置10の各部を制御することにより、所望の処理がプラズマ処理装置10で実行される。

[0027] 例えば、制御部80は、後述するエッチング方法を行うようにプラズマ処理装置10の各部を制御する。詳細な一例を挙げると、制御部80は、シリコン含有層を含むエッチング対象層と、エッチング対象層の上に側壁により規定される開口を有する金属を含むマスクを備えるウエハ（基板）Wを提供する工程を実行する。また、制御部80は、金属含有ガスを含む処理ガスを供給する工程を実行する。また、制御部80は、処理ガスからプラズマを生成し、マスクの上部および側壁に金属を含有する保護層を形成しつつ、開口を介してエッチング対象層をエッチングする工程を実行する。

[0028] [処理対象の基板]

次に、図2および図3を用いてエッチング処理対象の基板について説明する。図2は、本実施形態に係るプラズマ処理装置によってエッチングされる基板の構造の一例を模式的に示す図である。図2に示すウエハWは、シリコン基板101上に、シリコン含有層102と、マスク103とを有する。シリコン含有層（含有膜）102としては、例えば、シリコン酸化層（SiO<sub>2</sub>）、シリコン窒化層（SiN）、および、Low-k層等が挙げられる。なお、シリコン含有層102は、シリコン含有誘電層の一例である。Low-k層としては、例えばSiOC層が挙げられる。なお、シリコン含有層102は、シリコン酸化層とLow-k層、シリコン酸化層とシリコン窒化層、または、シリコン窒化層とLow-k層を含む積層構造であってもよい。なお、シリコン含有層102は、エッチング対象層の一例である。

[0029] マスク103は、所定パターンの開口、例えば、側壁により規定される楕円の開口を有するマスクパターンが形成された層である。マスク103は、

例えば金属含有マスクである。金属含有マスクの例は、タングステン、炭化タングステン (WC)、モリブデンまたは窒化チタン (TiN) を含む。マスク103の開口間のピッチは、例えば30nm程度であり、ラインCD (Critical Dimension) は、例えば10nm程度である。また、マスク103の厚さは、例えば20nm程度であり、シリコン含有層102の厚さは、例えば200nm程度である。なお、本実施形態では、処理対象のウエハWとしてロジックデバイス向けの基板を想定している。また、処理対象のウエハWとしては、ロジックデバイス向け以外の用途であってもよく、例えば、アスペクト比30以上の高アスペクト比が形成されるメモリ向けの基板にも適用可能である。

[0030] また、マスク103に含まれる金属または金属の化合物としては、上述の例も含めて、例えば、タングステン (W)、炭化タングステン ( $WC_\alpha$  ( $\alpha$ は0を超える実数。例えば、 $\alpha=1$ 。))、タングステンシリサイド ( $WSi_\beta$  ( $\beta$ は0を超える実数。例えば、 $\beta=1$ または2。))、チタン (Ti)、窒化チタン ( $TiN_\gamma$  ( $\gamma$ は0を超える実数。例えば、 $\gamma=1$ 。))、窒化タンタル ( $TaN_\delta$  ( $\delta$ は0を超える実数。例えば、 $\delta=1$ 。))、炭化モリブデン ( $Mo_\epsilon C$  ( $\epsilon$ は0を超える実数。例えば、 $\epsilon=1$ または2。))、窒化モリブデン ( $Mo_\zeta N$  ( $\zeta$ は0を超える実数。例えば、 $\zeta=1$ または2。))、モリブデンシリサイド ( $MoSi_\eta$  ( $\eta$ は0を超える実数。例えば、 $\eta=1$ または2。))、ホウ化モリブデン ( $MoB_\theta$  ( $\theta$ は0を超える実数。例えば、 $\theta=1, 2$ または3。))、酸化モリブデン ( $MoO_\iota$  ( $\iota$ は0を超える実数。例えば、 $\iota=1, 2$ または3。))、レニウム (Re)、酸化レニウム ( $ReO_\kappa$  ( $\kappa$ は0を超える実数。例えば、 $\kappa=1, 2$ または3。))、および、窒化レニウム ( $ReN_\lambda$  ( $\lambda$ は0を超える実数。例えば、 $\lambda=1$ または2。))が挙げられる。マスク103には、タングステン (W)、チタン (Ti)、タンタル (Ta)、モリブデン (Mo)、および、レニウム (Re) といった金属元素が含まれてもよい。さらに、マスク103には、窒化ホウ素 (BN) が含まれてもよい。マスク103には、

ホウ素（B）、炭素（C）、窒素（N）、酸素（O）、シリコン（Si）、リン（P）、および、硫黄（S）といった非金属元素が含まれてもよい。

[0031] 図3は、本実施形態における基板のエッチングの進行の一例を模式的に示す図である。本実施形態では、図3の状態104～106に示すように、ウエハWのシリコン含有層102のエッチングが進行する。状態104は、エッチングの開始前の状態である。状態105は、エッチングが進行中の状態を示し、マスク103の上部（上面）および側壁にタングステンを含有する保護層107を形成しつつ、マスク103の開口を介して溝108が形成されている。このとき、保護層107は、マスク103の側壁には薄く、マスク103の上部には厚く堆積する。つまり、マスク103の上部に形成される保護層107の厚さは、マスク103の側壁に形成される保護層の厚さよりも大きい。例えば、マスク103の側壁の保護層107の厚さは、1nm程度であり、側壁に対する上部の膜厚比（上部の膜厚／側壁の膜厚）が2以上5未満であってよい。別の例では、側壁に対する上部の膜厚比（上部の膜厚／側壁の膜厚）が5以上であってよい。また、別の例では、側壁に対する上部の膜厚比（上部の膜厚／側壁の膜厚）が2未満であってよい。また、マスク103の側壁に形成される保護層107の厚さは、マスク103の開口の上部から深さ方向に向かって薄くなるように形成されるようにしてもよい。なお、エッチングの工程によっては、マスク103の上部に形成される保護層107の厚さが、マスク103の側壁に形成される保護層の厚さ以下であってよい。状態106は、状態105からさらにエッチングが進行し、溝108がシリコン基板101に達した状態である。状態106までエッチングが進行すると、所定の形状（一例では、所定のアスペクト比）が得られたと判定されエッチングが終了する。なお、図3では、2つの溝108以外のエッチングの状況は省略している。

[0032] [エッチング方法]

次に、本実施形態に係るエッチング方法について説明する。図4は、本実施形態におけるエッチング処理の一例を示すフローチャートである。

[0033] 本実施形態に係るエッチング方法では、制御部80は、ゲートバルブ12gを開放するよう制御する。そして、チャンバ12内に、シリコン含有層102の上部にマスク103が形成されたウエハWが搬入され、ステージ14の静電チャック20上に載置される。ウエハWは、静電チャック20内の吸着電極（図示しない）に直流電圧が印加されることで静電チャック20上に保持される。制御部80は、その後、ゲートバルブ12gを閉鎖するよう制御し、排気装置50を制御することにより、処理空間12cの雰囲気は所定の真空度になるように、処理空間12cから気体を排気する。また、制御部80は、図示しない温調モジュールを制御することにより、ウエハWの温度が所定の温度となるように、温度調整される（ステップS1）。

[0034] 次に、制御部80は、処理ガスの供給を開始するよう制御する（ステップS2）。制御部80は、タングステン含有ガスを含む処理ガスとして、WF6とC4F6とO2とArの混合ガス（以下、WF6/C4F6/O2/Arガスという。）をガス導入口36cに供給するよう制御する。なお、C4F6を一例とする炭素およびフッ素を含有するガスは、フルオロカーボンガスおよびハイドロフルオロカーボンガスのうち1つまたは複数のガスを含むガスであってもよい。つまり、炭素およびフッ素を含有するガスは、 $C_xH_yF_z$ （ $x$ 、 $z$ は1以上の整数、 $y$ は0以上の整数）を含むガスである。 $C_xH_yF_z$ は、 $C_2F_4$ 、 $CF_4$ 、 $C_3F_4$ 、 $C_3F_8$ 、 $C_4F_8$ 、 $C_4F_6$ 、 $C_5F_8$ 、 $CH_2F_2$ 、 $CH_2F_3$ 、 $CHF_3$ 、 $CH_3F$ 等の炭素-フッ素結合を持つ化合物である。また、酸素含有ガスは、COガス、CO2ガス等であってもよい。なお、処理ガスには、O2等の酸素含有ガスは含まなくてもよい。またArガスは、他の貴ガス、例えば、Xeガスであってもよく、貴ガスの代わりにN2ガス等の不活性ガスであってもよい。

[0035] なお、処理ガスは、タングステン含有ガスを含む処理ガスに限られず、他の金属含有ガスを含む処理ガスであってもよい。金属含有ガスとしては、上述の六フッ化タングステン（WF6）ガスの他に、例えば、六臭化タングステン（WBr6）ガス、六塩化タングステン（WCl6）ガス、WF5Cl

ガス、ヘキサカルボニルタングステン (W(CO)<sub>6</sub>) ガス、四塩化チタン (TiCl<sub>4</sub>) ガス、五フッ化モリブデン (MoF<sub>5</sub>) ガス、六フッ化バナジウム (VF<sub>6</sub>) ガス、六フッ化白金 (PtF<sub>6</sub>) ガス、四フッ化ハフニウム (HfF<sub>4</sub>) ガス、および、五フッ化ニオブ (NbF<sub>5</sub>) ガスが挙げられる。また、金属含有ガスは、金属ハロゲン含有ガスであってもよい。さらに、金属含有ガスは、タングステン、チタン、モリブデン、バナジウム、白金、ハフニウム、ニオブ、タンタル、および、レニウムといった金属元素を含んでもよい。

[0036] 処理ガスは、ガス導入口36cに供給された後に、ガス拡散室36aに供給され拡散される。処理ガスは、ガス拡散室36aで拡散された後に、複数のガス吐出孔34aを介して、チャンバ12の処理空間12cにシャワー状に供給され、処理空間12cに導入される。

[0037] 制御部80は、第1の高周波電源62を制御することにより、プラズマ生成用の高周波電力（第1の高周波電力）を下部電極18に供給する。つまり、処理空間12cでは、プラズマ生成用の高周波電力により、処理ガスからプラズマが生成される。ここで、プラズマ生成用の高周波電力は、5kW未満であって、 $5.6\text{W}/\text{cm}^2$ 以下であることが好ましい。ウエハWは、発生したプラズマによってプラズマ処理される。すなわち、制御部80は、チャンバ12内にプラズマ生成用の高周波電力を供給して処理ガスからプラズマを生成し、マスク103を介してシリコン含有層102をエッチング処理するよう制御する（ステップS3）。なお、本実施形態では、第2の高周波電源64からの電気バイアスの電圧（第2の高周波電力）は供給していないが、プラズマ中のイオン等は、下部電極18に供給されるプラズマ生成用の高周波電力によって、ウエハW側に引き込まれてエッチング処理が進行する。

[0038] 制御部80は、プラズマ処理装置10の図示しないセンサから取得した情報やレシピに応じた処理時間等に基づいて、ステップS3によって、所定の形状が得られたか否かを判定する（ステップS4）。制御部80は、所定の形状が得られていないと判定した場合（ステップS4：No）、処理をステ

ップS3に戻す。一方、制御部80は、所定の形状が得られたと判定した場合（ステップS4：Yes）、処理を終了する。

[0039] 制御部80は、処理を終了する場合、処理ガスの供給を停止するよう制御する。また、制御部80は、静電チャック20へ正負が逆の直流電圧を印加して除電するよう制御し、ウエハWが静電チャック20から剥がされる。制御部80は、ゲートバルブ12gを開放するよう制御する。ウエハWは、通路12pを介してチャンバ12の処理空間12cから搬出される。

[0040] なお、搬出されたウエハWは、他の基板処理装置等によって、マスク103の除去、コンタクトパッドとして機能する導電材料の形成等が行われる。つまり、上述のエッチング方法が適用されたウエハWを用いた半導体装置が製造される。

[0041] [実験結果]

続いて、図5から図7を用いて実験結果について説明する。図5は、本実施形態と参考例とにおける実験結果の一例を示す図である。図5は、処理ガスにWF6を添加しない参考例と、処理ガスにWF6を添加する本実施形態に対応する実施例とにおける実験結果である。また、処理条件は、下記の処理条件を用いた。また、ウエハWにおいて、シリコン含有層102は、シリコン酸化層（SiO<sub>2</sub>）を用いた。また、マスク103は、炭化タングステン（WC）を用いた。

[0042] <処理条件>

第1の高周波電力（40MHz）：300W

第2の高周波電力（400kHz）：0W

処理ガス 参考例：C<sub>4</sub>F<sub>6</sub>/O<sub>2</sub>/Arガス

実施例：WF<sub>6</sub>/C<sub>4</sub>F<sub>6</sub>/O<sub>2</sub>/Arガス

ス

（WF<sub>6</sub>の流量比は1%以下）

処理時間：30秒

[0043] 図5に示すように、マスク103の残量は、参考例では12.5nmであ

るのに対して、実施例では14.8 nmであった。マスク103のロス（消耗量）は、参考例では3.9 nmであるのに対して、実施例では1.6 nmと減少した。エッチング量は、ほぼ同じ深さとなるように揃えており、参考例が15.9 nmであり、実施例が15.7 nmであった。マスク選択比は、参考例では4.1であるのに対して、実施例では9.8と2倍以上改善した。

[0044] 図6は、六フッ化タングステンガスの流量とマスク選択比との関係の一例を示す図である。図6のグラフ110は、図5の実験結果における、WF6ガスの流量とマスク選択比との関係を表したものである。グラフ110に示すように、WF6ガスの添加流量が0 sccmである参考例では、WCマスク選択比が4.1となり、WF6ガスの添加流量が5 sccmである実施例では、WCマスク選択比が9.8となっている。つまり、WF6ガスを処理ガスに添加することで、金属含有マスクである炭化タングステン（WC）のマスク103と、シリコン酸化層であるシリコン含有層102との選択比を向上（改善）させることができる。また、WF6ガスの処理ガスの全流量に対する流量の割合（流量比）は、10%以下であることが好ましく、5%以下であることがより好ましく、1%以下であることがさらに好ましい。

[0045] 次に、電気バイアスの電圧のマスク選択比への影響について説明する。図7は、バイアス電圧とマスク選択比との関係の一例を示す図である。図7に示すグラフ111では、処理ガスにWF6ガスを添加した場合において、電気バイアスの電圧（図7中、バイアス電圧と表す。）を供給しない（0V）場合と、供給した（-500V）場合とにおけるWCマスク選択比を示している。また、グラフ111では、参考として、処理ガスにWF6ガスを添加しない場合であって、バイアス電圧を供給しない（0V）場合のWCマスク選択比を示している。グラフ111に示すように、バイアス電圧を供給しない（0V）場合、WF6ガスを添加するとWCマスク選択比が改善することがわかる。一方、バイアス電圧を供給した（-500V）場合、WF6ガスを添加してもWCマスク選択比が改善しないことがわかる。すなわち、バイ

アス電圧が小さい方がWCマスク選択比の改善効果が大きいことがわかる。

[0046] なお、エッチング処理において、エッチング速度の向上等のために、第2の高周波電源64からイオンを引き込むための電気バイアスの電圧を下部電極18に供給するようにしてもよい。この場合、電気バイアスの電圧は、 $-500\text{V}$ 以上 $0\text{V}$ 以下であることが好ましい。

[0047] 上述の本実施形態に示すように、処理ガスに所定量のWF6を添加した上で、バイアス電圧を供給しない、あるいは、低バイアス電圧を供給する場合、マスク選択比が向上する。WF6は、金属元素同士の親和性が高いために、シリコン含有層（シリコン酸化層、シリコン窒化層およびLow-k層等）である被エッチング層より金属含有マスク上により堆積しやすい。一方、バイアス電圧を供給しない、あるいは、低バイアス電圧を供給する場合、基板に入射するイオンエネルギーが0、あるいは、低くなるため、堆積物のエッチングが抑制される。このようなWF6の添加およびバイアス電圧の制御による相互作用により、金属含有マスク上によりWF6が堆積するという効果を有し、それ故、マスク選択比が向上する。なお、WF6に含有されるタングステンと同種の金属であるタングステンを含有するマスクで金属元素同士の結合がより強くなるが、異種の金属同士であってもその効果を有する。別の例では、添加ガスとしてタングステンを含有するガスを含む処理ガスを使ってタングステン以外の金属を含有するマスクを介して被エッチング層をエッチングしてもよく、添加ガスとしてタングステン以外の金属を含有するガスを含む処理ガスを使ってタングステンを含有するマスクを介して被エッチング層をエッチングしてもよい。またさらに、添加ガスとしてタングステン以外の金属を含有するガスを含む処理ガスを使ってタングステン以外の金属を含有するマスクを介して被エッチング層をエッチングしてもよい。すなわち、マスク103に含まれる金属と、金属含有ガスに含まれる金属とは、同じ金属であってもよいし、異なる金属であってもよい。これらの場合も同様に、マスク選択比を向上させることができる。

[0048] また、上記した実施形態では、下部電極18にプラズマ生成用の高周波電

力と、バイアス電圧とを供給するタイプの容量結合型プラズマ処理装置であるプラズマ処理装置10を用いたが、これに限定されない。例えば、上部電極30にプラズマ生成用の高周波電力を供給し、下部電極18にバイアス電圧を供給するタイプの容量結合型プラズマ処理装置を用いてもよい。

[0049] 以上、本実施形態によれば、制御部80は、装置各部を制御して、シリコン含有層102を含むエッチング対象層と、エッチング対象層の上に側壁により規定される開口を有する金属を含むマスク103を備える基板（ウエハW）を提供する工程を実行する。制御部80は、装置各部を制御して、金属含有ガスを含む処理ガスを供給する工程を実行する。制御部80は、装置各部を制御して、処理ガスからプラズマを生成し、マスク103の上部および側壁に金属を含有する保護層を形成しつつ、開口を介してエッチング対象層をエッチングする工程を実行する。その結果、金属を含むマスク103の選択比を向上できる。

[0050] また、本実施形態によれば、マスク103は、タングステン、チタン、タンタル、モリブデン、および、レニウムからなる群より選ばれる少なくとも1つの金属元素を含む。その結果、金属を含むマスク103の選択比を向上できる。

[0051] また、本実施形態によれば、マスク103は、ホウ素、炭素、窒素、酸素、シリコン、リン、および、硫黄からなる群より選ばれる少なくとも1つの非金属元素を含む。その結果、金属を含むマスク103の選択比を向上できる。

[0052] また、本実施形態によれば、マスク103は、タングステン、炭化タングステン、タングステンシリサイド、チタン、窒化チタン、窒化タンタル、炭化モリブデン、窒化モリブデン、モリブデンシリサイド、ホウ化モリブデン、酸化モリブデン、レニウム、酸化レニウム、窒化レニウムからなる群より選ばれる少なくとも1つを含む。その結果、タングステン、炭化タングステン、タングステンシリサイド、チタン、窒化チタン、窒化タンタル、炭化モリブデン、窒化モリブデン、モリブデンシリサイド、ホウ化モリブデン、酸

化モリブデン、レニウム、酸化レニウム、窒化レニウムからなる群より選ばれる少なくとも1つを含むマスク103と、シリコン含有層102との選択比を向上（改善）させることができる。

[0053] また、本実施形態によれば、金属含有ガスは、金属ハロゲン含有ガスである。その結果、金属を含むマスク103の選択比を向上できる。

[0054] また、本実施形態によれば、金属含有ガスは、タングステン、チタン、モリブデン、バナジウム、白金、ハフニウム、ニオブ、タンタル、および、レニウムからなる群より選ばれる少なくとも1つの金属元素を含む。その結果、金属を含むマスク103の選択比を向上できる。

[0055] また、本実施形態によれば、金属含有ガスは、六フッ化タングステン ( $WF_6$ ) ガス、六臭化タングステン ( $WBr_6$ ) ガス、六塩化タングステン ( $WCl_6$ ) ガス、 $WF_5Cl$  ガス、ヘキサカルボニルタングステン ( $W(CO)_6$ ) ガス、四塩化チタンガス、五フッ化モリブデンガス、六フッ化バナジウムガス、六フッ化白金ガス、四フッ化ハフニウムガス、および、五フッ化ニオブガスからなる群より選ばれる少なくとも1つのガスを含む。その結果、金属を含むマスク103の選択比を向上できる。

[0056] また、本実施形態によれば、マスク103に含まれる金属と、金属含有ガスに含まれる金属とは、同じ金属である。その結果、金属を含むマスク103の選択比を向上できる。

[0057] また、本実施形態によれば、マスク103に含まれる金属と、金属含有ガスに含まれる金属とは、異なる金属である。その結果、金属を含むマスク103の選択比を向上できる。

[0058] また、本実施形態によれば、処理ガスは、 $C_xH_yF_z$  ( $x$ 、 $z$ は1以上の整数、 $y$ は0以上の整数) ガスを含む。その結果、金属を含むマスク103の選択比を向上できる。

[0059] また、本実施形態によれば、 $C_xH_yF_z$  ガスは、 $CF_4$ 、 $C_3F_8$ 、 $C_4F_8$ 、 $C_4F_6$ 、 $C_5F_8$ 、 $CH_2F_2$ 、 $CHF_3$ 、 $CH_3F$  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。その結果、金属を含むマスク

103の選択比を向上できる。

[0060] また、本実施形態によれば、処理ガスは、酸素含有ガスをさらに含む。その結果、金属を含むマスク103の選択比を向上できる。

[0061] また、本実施形態によれば、制御部80は、エッチングする工程において、イオンを引き込むための電気バイアスを供給し、電気バイアスの電圧は、 $-500V$ 以上 $0V$ 以下である。その結果、上部電極30にプラズマ生成用の高周波電力を供給するタイプの容量結合型プラズマ処理装置においても、金属を含むマスク103の選択比を向上できる。

[0062] また、本実施形態によれば、エッチングする工程において、イオンを引き込むための電気バイアスを供給しない。その結果、金属を含むマスク103の選択比を向上できる。

[0063] また、本実施形態によれば、生成されるプラズマは、容量結合型プラズマまたは誘導結合型プラズマである。その結果、金属を含むマスク103の選択比を向上できる。

[0064] また、本実施形態によれば、生成されるプラズマは、容量結合型プラズマであり、基板は、基板支持体（ステージ14）に支持され、プラズマ生成用の高周波電力は、基板支持体に供給される。その結果、ステージ14の下部電極18に供給されたプラズマ生成用の高周波電力によってウエハWにイオン等が引き込まれることで、エッチングを進行させることができる。

[0065] また、本実施形態によれば、マスクの上部に形成される保護層の厚さは、マスクの側壁に形成される保護層の厚さよりも大きくなるようにする。その結果、金属を含むマスクの選択比を向上できる。

[0066] また、本実施形態によれば、マスクの側壁に形成される保護層の厚さは、開口の上部から深さ方向に向かって薄くなるようにする。その結果、金属を含むマスクの選択比を向上できる。

[0067] また、本実施形態によれば、基板は、ロジックデバイス向け基板である。その結果、ロジックデバイスに適したエッチングを行うことができる。

[0068] また、本実施形態によれば、上述のエッチング方法を適用した半導体装置

の製造方法を提供する。その結果、半導体装置を製造することができる。

[0069] また、本実施形態によれば、上述のエッチング方法をプラズマ処理装置に実行させるエッチングプログラムを提供する。その結果、プラズマ処理装置で上述のエッチング方法を実行することができる。

[0070] 今回開示された実施形態は、すべての点で例示であって、制限的なものではないと考えられるべきである。上記の実施形態は、添付の請求の範囲およびその主旨を逸脱することなく、様々な形体で省略、置換、変更されてもよい。

[0071] また、上記した実施形態では、容量結合型プラズマを用いてウエハWに対してエッチング等の処理を行うプラズマ処理装置10を例に説明したが、開示の技術はこれに限られない。プラズマを用いてウエハWに対して処理を行う装置であれば、プラズマ源は容量結合プラズマに限られず、例えば、誘導結合プラズマ、マイクロ波プラズマ、マグネトロンプラズマ等、任意のプラズマ源を用いることができる。

[0072] 以上の実施形態に関し、さらに以下の付記を開示する。

[0073] (付記1) エッチング方法であって、

シリコン含有層を含むエッチング対象層と、前記エッチング対象層の上に側壁により規定される開口を有する金属を含むマスクを備える基板を提供する工程と、

金属含有ガスを含む処理ガスを供給する工程と、

前記処理ガスからプラズマを生成し、前記マスクの上部および前記側壁に金属を含有する保護層を形成しつつ、前記開口を介して前記エッチング対象層をエッチングする工程と、を有する、

エッチング方法。

[0074] (付記2) 前記マスクは、タングステン、チタン、タンタル、モリブデン、および、レニウムからなる群より選ばれる少なくとも1つの金属元素を含む、

付記1に記載のエッチング方法。

- [0075] (付記3) 前記マスクは、ホウ素、炭素、窒素、酸素、シリコン、リン、および、硫黄からなる群より選ばれる少なくとも1つの非金属元素を含む、  
付記1または2に記載のエッチング方法。
- [0076] (付記4) 前記マスクは、タングステン、炭化タングステン、タングステンシリサイド、チタン、窒化チタン、窒化タンタル、炭化モリブデン、窒化モリブデン、モリブデンシリサイド、ホウ化モリブデン、酸化モリブデン、レニウム、酸化レニウム、窒化レニウムからなる群より選ばれる少なくとも1つを含む、  
付記1～3のいずれか1つに記載のエッチング方法。
- [0077] (付記5) 前記金属含有ガスは、金属ハロゲン含有ガスである、  
付記1～4のいずれか1つに記載のエッチング方法。
- [0078] (付記6) 前記金属含有ガスは、タングステン、チタン、モリブデン、バナジウム、白金、ハフニウム、ニオブ、タンタル、および、レニウムからなる群より選ばれる少なくとも1つの金属元素を含む、  
付記1～5のいずれか1つに記載のエッチング方法。
- [0079] (付記7) 前記金属含有ガスは、六フッ化タングステンガス、六臭化タングステンガス、六塩化タングステンガス、WF<sub>5</sub>Clガス、ヘキサカルボニルタングステンガス、四塩化チタンガス、五フッ化モリブデンガス、六フッ化バナジウムガス、六フッ化白金ガス、四フッ化ハフニウムガス、および、五フッ化ニオブガスからなる群より選ばれる少なくとも1つのガスを含む、  
付記1～5のいずれか1つに記載のエッチング方法。
- [0080] (付記8) 前記マスクに含まれる金属と、前記金属含有ガスに含まれる金属とは、同じ金属である、  
付記1～7のいずれか1つに記載のエッチング方法。
- [0081] (付記9) 前記マスクに含まれる金属と、前記金属含有ガスに含まれる金属とは、異なる金属である、  
付記1～7のいずれか1つに記載のエッチング方法。
- [0082] (付記10) 前記処理ガスは、C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>F<sub>z</sub> (x、zは1以上の整数、yは

- 0以上の整数) ガスを含む、  
付記1～9のいずれか1つに記載のエッチング方法。
- [0083] (付記11) 前記 $C_xH_yF_z$ ガスは、 $CF_4$ 、 $C_3F_8$ 、 $C_4F_8$ 、 $C_4F_6$ 、 $C_5F_8$ 、 $CH_2F_2$ 、 $CHF_3$ 、 $CH_3F$ 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10に記載のエッチング方法。
- [0084] (付記12) 前記処理ガスは、酸素含有ガスをさらに含む、  
付記1～11のいずれか1つに記載のエッチング方法。
- [0085] (付記13) 前記エッチングする工程において、イオンを引き込むための電気バイアスを供給し、  
前記電気バイアスの電圧は、 $-500V$ 以上 $0V$ 以下である、  
付記1～12のいずれか1つに記載のエッチング方法。
- [0086] (付記14) 前記エッチングする工程において、イオンを引き込むための電気バイアスを供給しない、  
付記1～12のいずれか1つに記載のエッチング方法。
- [0087] (付記15) 生成される前記プラズマは、容量結合型プラズマまたは誘導結合型プラズマである、  
付記1～14のいずれか1つに記載のエッチング方法。
- [0088] (付記16) 生成される前記プラズマは、容量結合型プラズマであり、  
前記基板は、基板支持体に支持され、  
プラズマ生成用の高周波電力は、前記基板支持体に供給される、  
付記1～15のいずれか1つに記載のエッチング方法。
- [0089] (付記17) 前記マスクの上部に形成される前記保護層の厚さは、前記マスクの側壁に形成される前記保護層の厚さよりも大きい、  
付記1～16のいずれか1つに記載のエッチング方法。
- [0090] (付記18) 前記マスクの側壁に形成される前記保護層の厚さは、前記開口の上部から深さ方向に向かって薄くなる、  
付記17に記載のエッチング方法。

- [0091] (付記 19) 前記基板は、ロジックデバイス向け基板である、  
付記 1～18 のいずれか 1 つに記載のエッチング方法。
- [0092] (付記 20) 付記 1～19 のいずれか 1 つに記載のエッチング方法を含む半  
導体装置の製造方法。
- [0093] (付記 21) 付記 1～19 のいずれか 1 つに記載のエッチング方法をプラズ  
マ処理装置に実行させるエッチングプログラム。
- [0094] (付記 22) プラズマ処理装置であって、  
チャンバと、  
前記チャンバ内に配置された基板支持体と、  
前記チャンバ内にガスを供給するガス供給口と、  
前記チャンバ内においてプラズマを生成するプラズマ生成部と、  
制御部と、  
を備え、  
前記制御部は、  
シリコン含有層を含むエッチング対象層と、前記エッチング対象層の上に  
金属を含むマスクを備える基板を前記基板支持体に提供する工程と、  
金属含有ガスをを含む処理ガスを供給する工程と、  
前記処理ガスからプラズマを生成し、前記マスクを介して前記エッチング  
対象層をエッチングするとともに、前記マスクの上部および側壁に金属を含  
有する保護層を形成する工程と、を実行する、  
プラズマ処理装置。
- [0095] (付記 23) 前記保護層を形成する工程において、イオンを引き込むための  
電気バイアスを供給し、  
前記電気バイアスの電圧は、 $-500\text{V}$ 以上 $0\text{V}$ 以下である、  
付記 22 に記載のプラズマ処理装置。
- [0096] (付記 24) 前記保護層を形成する工程において、イオンを引き込むための  
電気バイアスを供給しない、  
付記 22 に記載のプラズマ処理装置。

[0097] (付記 2 5) 生成される前記プラズマは、容量結合型プラズマまたは誘導結合型プラズマである、

付記 2 2 ~ 2 4 のいずれか 1 つに記載のプラズマ処理装置。

[0098] (付記 2 6) 生成される前記プラズマは、容量結合型プラズマであり、前記基板は、前記基板支持体に支持され、

プラズマ生成用の高周波電力は、前記基板支持体に供給される、

付記 2 2 ~ 2 4 のいずれか 1 つに記載のプラズマ処理装置。

[0099] (付記 2 7) エッチング方法であって、

シリコン酸化層を含むエッチング対象層と、前記エッチング対象層の上にタングステン含有マスクを備える基板を提供する工程と、

タングステン含有ガスを含む処理ガスを供給する工程と、

前記処理ガスからプラズマを生成し、前記タングステン含有マスクを介して前記エッチング対象層をエッチングする工程と、を有する、

エッチング方法。

[0100] (付記 2 8) プラズマ処理装置であって、

チャンバと、

前記チャンバ内に配置された基板支持体と、

前記チャンバ内においてプラズマを生成するプラズマ生成部と、

制御部と、

を備え、

前記制御部は、

シリコン酸化層を含むエッチング対象層と、前記エッチング対象層の上にタングステン含有マスクを備える基板を前記基板支持体に提供する工程と、

タングステン含有ガスを含む処理ガスを供給する工程と、

前記処理ガスからプラズマを生成し、前記タングステン含有マスクを介して前記エッチング対象層をエッチングする工程と、を実行する、

プラズマ処理装置。

## 符号の説明

- [0101] 1 0 プラズマ処理装置
- 1 2 チャンバ
- 1 4 ステージ
- 1 8 下部電極
- 3 0 上部電極
- 6 2 第 1 の高周波電源
- 6 4 第 2 の高周波電源
- 8 0 制御部
- 1 0 1 シリコン基板
- 1 0 2 シリコン含有層
- 1 0 3 マスク
- 1 0 7 保護層
- W ウエハ

## 請求の範囲

- [請求項1] エッチング方法であって、  
シリコン含有層を含むエッチング対象層と、前記エッチング対象層の上に側壁により規定される開口を有する金属を含むマスクを備える基板を提供する工程と、  
金属含有ガスを含む処理ガスを供給する工程と、  
前記処理ガスからプラズマを生成し、前記マスクの上部および前記側壁に金属を含有する保護層を形成しつつ、前記開口を介して前記エッチング対象層をエッチングする工程と、を有する、  
エッチング方法。
- [請求項2] 前記マスクは、タングステン、チタン、タンタル、モリブデン、および、レニウムからなる群より選ばれる少なくとも1つの金属元素を含む、  
請求項1に記載のエッチング方法。
- [請求項3] 前記マスクは、ホウ素、炭素、窒素、酸素、シリコン、リン、および、硫黄からなる群より選ばれる少なくとも1つの非金属元素を含む、  
請求項1または2に記載のエッチング方法。
- [請求項4] 前記マスクは、タングステン、炭化タングステン、タングステンシリサイド、チタン、窒化チタン、窒化タンタル、炭化モリブデン、窒化モリブデン、モリブデンシリサイド、ホウ化モリブデン、酸化モリブデン、レニウム、酸化レニウム、窒化レニウムからなる群より選ばれる少なくとも1つを含む、  
請求項1または2に記載のエッチング方法。
- [請求項5] 前記金属含有ガスは、金属ハロゲン含有ガスである、  
請求項1または2に記載のエッチング方法。
- [請求項6] 前記金属含有ガスは、タングステン、チタン、モリブデン、バナジウム、白金、ハフニウム、ニオブ、タンタル、および、レニウムから

なる群より選ばれる少なくとも1つの金属元素を含む、

請求項1または2に記載のエッチング方法。

[請求項7]

前記金属含有ガスは、六フッ化タングステンガス、六臭化タングステンガス、六塩化タングステンガス、WF<sub>5</sub>Clガス、ヘキサカルボニルタングステンガス、四塩化チタンガス、五フッ化モリブデンガス、六フッ化バナジウムガス、六フッ化白金ガス、四フッ化ハフニウムガス、および、五フッ化ニオブガスからなる群より選ばれる少なくとも1つのガスを含む、

請求項1または2に記載のエッチング方法。

[請求項8]

前記マスクに含まれる金属と、前記金属含有ガスに含まれる金属とは、同じ金属である、

請求項1または2に記載のエッチング方法。

[請求項9]

前記マスクに含まれる金属と、前記金属含有ガスに含まれる金属とは、異なる金属である、

請求項1または2に記載のエッチング方法。

[請求項10]

前記処理ガスは、C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>F<sub>z</sub>（x、zは1以上の整数、yは0以上の整数）ガスを含む、

請求項1または2に記載のエッチング方法。

[請求項11]

前記C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>F<sub>z</sub>ガスは、CF<sub>4</sub>、C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>、C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>、C<sub>4</sub>F<sub>6</sub>、C<sub>5</sub>F<sub>8</sub>、CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>、CHF<sub>3</sub>、CH<sub>3</sub>F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10に記載のエッチング方法。

[請求項12]

前記処理ガスは、酸素含有ガスをさらに含む、

請求項1または2に記載のエッチング方法。

[請求項13]

前記エッチングする工程において、イオンを引き込むための電気バイアスを供給し、

前記電気バイアスの電圧は、-500V以上0V以下である、

請求項1または2に記載のエッチング方法。

- [請求項14] 前記エッチングする工程において、イオンを引き込むための電気バイアスを供給しない、  
請求項1または2に記載のエッチング方法。
- [請求項15] 生成される前記プラズマは、容量結合型プラズマまたは誘導結合型プラズマである、  
請求項1または2に記載のエッチング方法。
- [請求項16] 生成される前記プラズマは、容量結合型プラズマであり、  
前記基板は、基板支持体に支持され、  
プラズマ生成用の高周波電力は、前記基板支持体に供給される、  
請求項1または2に記載のエッチング方法。
- [請求項17] 前記マスクの上部に形成される前記保護層の厚さは、前記マスクの側壁に形成される前記保護層の厚さよりも大きい、  
請求項1または2に記載のエッチング方法。
- [請求項18] 前記マスクの側壁に形成される前記保護層の厚さは、前記開口の上部から深さ方向に向かって薄くなる、  
請求項17に記載のエッチング方法。
- [請求項19] 前記基板は、ロジックデバイス向け基板である、  
請求項1または2に記載のエッチング方法。
- [請求項20] 請求項1または2に記載のエッチング方法を含む半導体装置の製造方法。
- [請求項21] 請求項1または2に記載のエッチング方法をプラズマ処理装置に実行させるエッチングプログラム。
- [請求項22] プラズマ処理装置であって、  
チャンバと、  
前記チャンバ内に配置された基板支持体と、  
前記チャンバ内にガスを供給するガス供給口と、  
前記チャンバ内においてプラズマを生成するプラズマ生成部と、  
制御部と、

を備え、

前記制御部は、

シリコン含有層を含むエッチング対象層と、前記エッチング対象層の上に金属を含むマスクを備える基板を前記基板支持体に提供する工程と、

金属含有ガスを含む処理ガスを供給する工程と、

前記処理ガスからプラズマを生成し、前記マスクを介して前記エッチング対象層をエッチングするとともに、前記マスクの上部および側壁に金属を含有する保護層を形成する工程と、を実行する、

プラズマ処理装置。

[請求項23] 前記保護層を形成する工程において、イオンを引き込むための電気バイアスを供給し、

前記電気バイアスの電圧は、 $-500\text{V}$ 以上 $0\text{V}$ 以下である、

請求項22に記載のプラズマ処理装置。

[請求項24] 前記保護層を形成する工程において、イオンを引き込むための電気バイアスを供給しない、

請求項22に記載のプラズマ処理装置。

[請求項25] 生成される前記プラズマは、容量結合型プラズマまたは誘導結合型プラズマである、

請求項22に記載のプラズマ処理装置。

[請求項26] 生成される前記プラズマは、容量結合型プラズマであり、

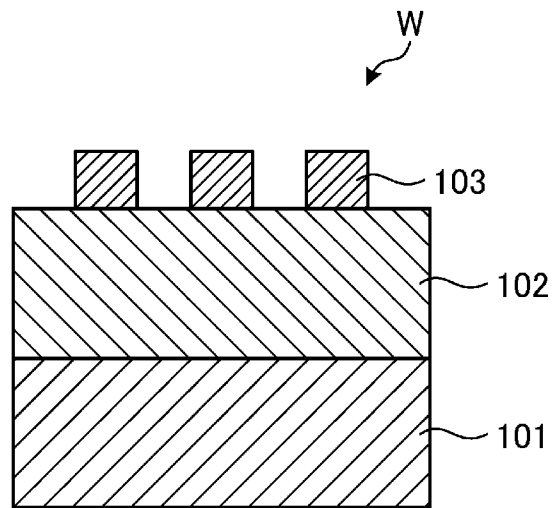
前記基板は、前記基板支持体に支持され、

プラズマ生成用の高周波電力は、前記基板支持体に供給される、

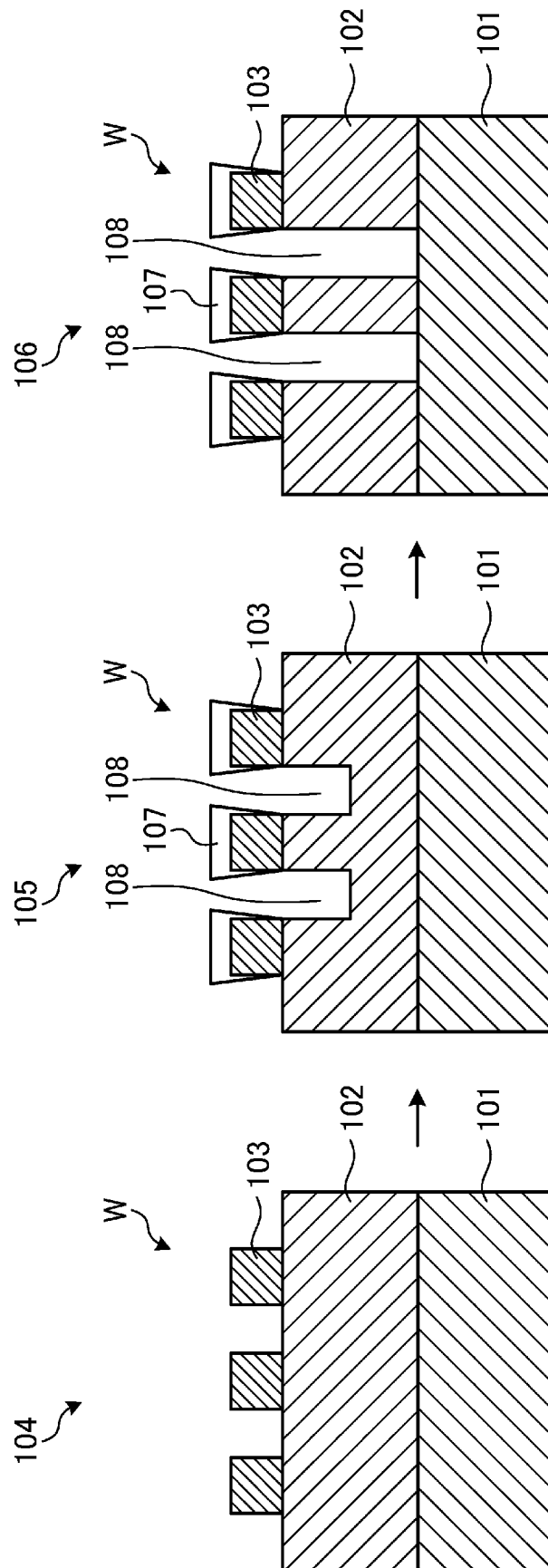
請求項22に記載のプラズマ処理装置。



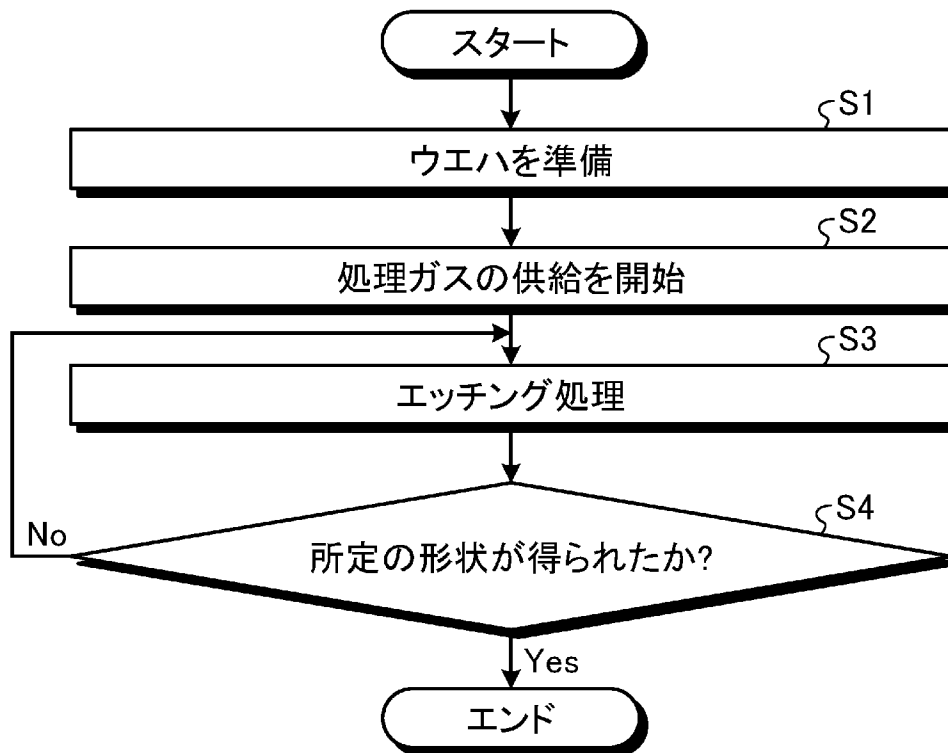
[図2]



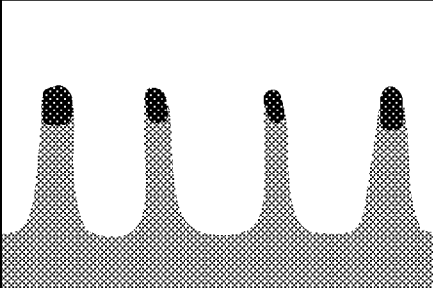
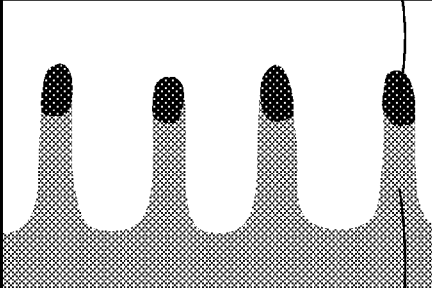
[図3]



[図4]



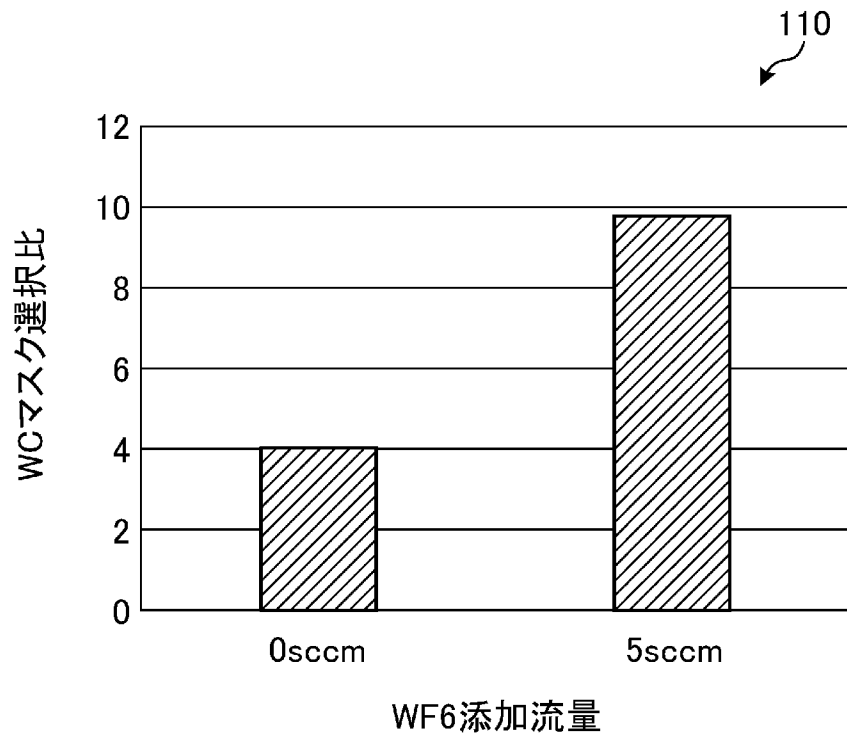
[図5]

	参考例	実施例
断面		
マスク残り(loss)	12.5nm(Δ 3.9nm)	14.8nm(Δ 1.6nm)
エッチング量	15.9nm	15.7nm
選択比	4.1	9.8

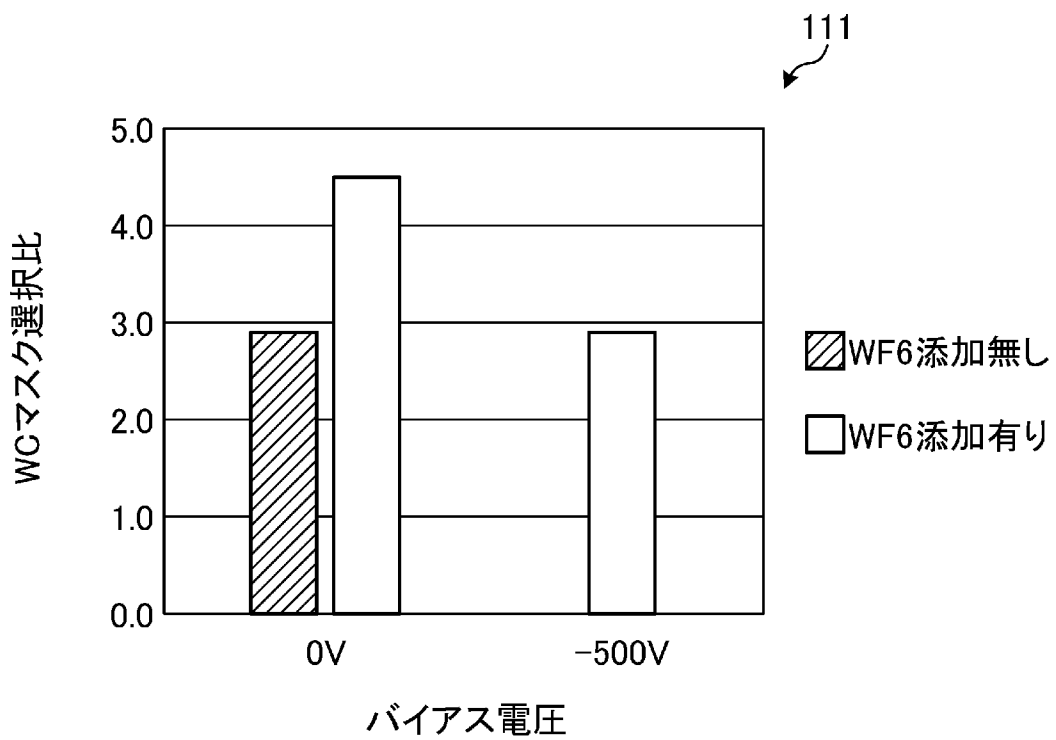
103

102

[図6]



[図7]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/025435

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>H01L 21/3065</i> (2006.01)i; <i>H01L 21/3205</i> (2006.01)i; <i>H01L 21/768</i> (2006.01)i FI: H01L21/302 105A; H01L21/302 101B; H01L21/302 101C; H01L21/90 C; H01L21/88 B		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L21/3065; H01L21/3205; H01L21/768		
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 1971-2022 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 9-50984 A (HITACHI, LIMITED) 18 February 1997 (1997-02-18) paragraphs [0002], [0011]-[0013], [0020], fig. 1	1-7, 9-26 8
Y	JP 2021-77865 A (TOKYO ELECTRON LIMITED) 20 May 2021 (2021-05-20) paragraphs [0049]-[0079], fig. 4a	1-7, 9-26
A	JP 2018-93189 A (TOKYO ELECTRON LIMITED) 14 June 2018 (2018-06-14)	1-26
A	JP 2021-90039 A (TOKYO ELECTRON LIMITED) 10 June 2021 (2021-06-10)	1-26
A	WO 2020/041213 A1 (LAM RESEARCH CORPORATION) 27 February 2020 (2020-02-27)	1-26
A	JP 2019-46994 A (TOKYO ELECTRON LIMITED) 22 March 2019 (2019-03-22)	1-26
A	JP 2021-82701 A (TOKYO ELECTRON LIMITED) 27 May 2021 (2021-05-27)	1-26
A	WO 2020/096808 A1 (LAM RESEARCH CORPORATION) 14 May 2020 (2020-05-14)	1-26
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 <b>30 August 2022</b>		Date of mailing of the international search report <b>13 September 2022</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/JP2022/025435**

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 9-50984 A	18 February 1997	(Family: none)	
JP 2021-77865 A	20 May 2021	US 2021/0143017 A1 paragraphs [0067]-[0097], fig. 4a WO 2021/090798 A1 CN 112786441 A KR 10-2021-0056240 A TW 202125583 A	
JP 2018-93189 A	14 June 2018	US 2018/0151333 A1 KR 10-2018-0062404 A TW 201832286 A	
JP 2021-90039 A	10 June 2021	US 2021/0159085 A1 CN 112838002 A KR 10-2021-0064066 A TW 202133261 A	
WO 2020/041213 A1	27 February 2020	US 2021/0242032 A1 CN 112640064 A KR 10-2021-0036992 A	
JP 2019-46994 A	22 March 2019	US 2019/0074191 A1 CN 109427576 A KR 10-2019-0026589 A TW 201921488 A	
JP 2021-82701 A	27 May 2021	US 2021/0151301 A1 CN 112908844 A KR 10-2021-0061937 A TW 202135161 A	
WO 2020/096808 A1	14 May 2020	JP 2022-506456 A US 2021/0335624 A1 KR 10-2020-0054962 A CN 112997282 A TW 202117835 A	

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; H01L 21/3205(2006.01)i; H01L 21/768(2006.01)i FI: H01L21/302 105A; H01L21/302 101B; H01L21/302 101C; H01L21/90 C; H01L21/88 B		
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; H01L21/3205; H01L21/768 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 - 2022年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2022年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2022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 9-50984 A (株式会社日立製作所) 18.02.1997 (1997 - 02 - 18) [0002], [0011]-[0013], [0020], 図1	1-7, 9-26 8
Y	JP 2021-77865 A (東京エレクトロン株式会社) 20.05.2021 (2021 - 05 - 20) [0049]-[0079], 図4a	1-7, 9-26
A	JP 2018-93189 A (東京エレクトロン株式会社) 14.06.2018 (2018 - 06 - 14)	1-26
A	JP 2021-90039 A (東京エレクトロン株式会社) 10.06.2021 (2021 - 06 - 10)	1-26
A	WO 2020/041213 A1 (LAM RESEARCH CORPORATION) 27.02.2020 (2020 - 02 - 27)	1-26
A	JP 2019-46994 A (東京エレクトロン株式会社) 22.03.2019 (2019 - 03 - 22)	1-26
A	JP 2021-82701 A (東京エレクトロン株式会社) 27.05.2021 (2021 - 05 - 27)	1-26
A	WO 2020/096808 A1 (LAM RESEARCH CORPORATION) 14.05.2020 (2020 - 05 - 14)	1-26
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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、一般的な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	
30.08.2022	13.09.2022	
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）  宇多川 勉 50 3125  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/JP2022/025435

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 9-50984 A	18.02.1997	(ファミリーなし)	
JP 2021-77865 A	20.05.2021	US 2021/0143017 A1 [0067]-[0097], 図4a WO 2021/090798 A1 CN 112786441 A KR 10-2021-0056240 A TW 202125583 A	
JP 2018-93189 A	14.06.2018	US 2018/0151333 A1 KR 10-2018-0062404 A TW 201832286 A	
JP 2021-90039 A	10.06.2021	US 2021/0159085 A1 CN 112838002 A KR 10-2021-0064066 A TW 202133261 A	
WO 2020/041213 A1	27.02.2020	US 2021/0242032 A1 CN 112640064 A KR 10-2021-0036992 A	
JP 2019-46994 A	22.03.2019	US 2019/0074191 A1 CN 109427576 A KR 10-2019-0026589 A TW 201921488 A	
JP 2021-82701 A	27.05.2021	US 2021/0151301 A1 CN 112908844 A KR 10-2021-0061937 A TW 202135161 A	
WO 2020/096808 A1	14.05.2020	JP 2022-506456 A US 2021/0335624 A1 KR 10-2020-0054962 A CN 112997282 A TW 202117835 A	