

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2019年2月21日(21.02.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/035283 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/3065 (2006.01) H05H 1/46 (2006.01)
H05H 1/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/025193
- (22) 国際出願日: 2018年7月3日(03.07.2018)
- (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 2017-157758 2017年8月18日(18.08.2017) JP
- (71) 出願人: ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社(SONY SEMICONDUCTOR SOLUTIONS CORPORATION) [JP/JP]; 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目1番4号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 深沢 正永 (FUKASAWA, Masanaga); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目1番4号

番1号 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP).

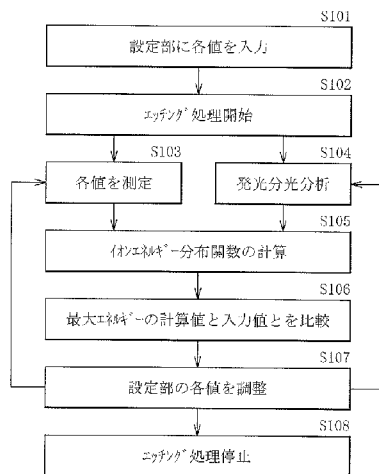
(74) 代理人: 特許業務法人つばさ国際特許事務所 (TSUBASA PATENT PROFESSIONAL CORPORATION); 〒1600022 東京都新宿区新宿1丁目15番9号 さわだビル3階 Tokyo (JP).

(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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: ETCHING METHOD AND ETCHING PROCESSING APPARATUS

(54) 発明の名称: エッチング方法およびエッチング加工装置

[図6]



- S101 Input each value to setting unit
S102 Start etching processing
S103 Measure each value
S104 Perform emission spectrochemical analysis
S105 Calculate ion energy distribution function
S106 Compare input value with maximum energy level
S107 Adjust each value of setting unit
S108 Stop etching processing

(57) Abstract: Provided is an etching method including: inputting values of at least electric power, pressure and gas flow rate to a setting unit; performing etching processing in a chamber according to the values input to the setting unit; and calculating an ion energy distribution function by using the measurement values in the etching processing.

(57) 要約: 設定部に、少なくとも電力、圧力およびガス流量を入力し、前記設定部に入力された値に応じてチャンバ内でエッチング処理を行い、前記エッチング処理の際の測定値を用いてイオンエネルギー分布関数を計算するエッチング方法。

(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:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：エッチング方法およびエッチング加工装置

技術分野

[0001] 本技術は、例えば原子層エッチング（A L E : Atomic Layer Etching）に好適なエッチング方法およびエッチング加工装置に関する。

背景技術

[0002] 半導体デバイスの微細化に伴い、例えば、原子層エッチング技術などの、より高精度な加工技術が必要とされている（例えば、特許文献1参照）。

[0003] 例えばシリコン（S i）ウェハの原子層エッチングは、以下のようにして行う。まず、塩素（C l）などのハロゲン系のガスを、ウェハ表面に吸着させる。次いで、余分なガスを真空引きした後、アルゴン（A r）イオンで表面をたたく。これにより、反応生成物（S i C l）の形でウェハ表面の一層分のS iが除去される。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特表2002-527887号公報

発明の概要

[0005] このような原子層エッチングなどのエッチング方法では、エッチング深さおよびウェハ上のダメージを高精度に制御することが望まれている。ここで、「エッチング深さ」は、除去された膜の深さを表し、「ダメージ」はイオン浸入等に起因した膜の変質を表す。

[0006] したがって、エッチング深さおよびウェハ上のダメージを高精度に制御することが可能なエッチング方法およびエッチング加工装置を提供することが望ましい。

[0007] 本技術の一実施の形態に係るエッチング方法は、設定部に、少なくとも電力、圧力およびガス流量を入力し、設定部に入力された値に応じてチャンバ内でエッチング処理を行い、エッチング処理の際の測定値を用いてイオンエ

エネルギー分布関数を計算するものである。

[0008] 本技術の一実施の形態に係るエッチング方法では、エッチング処理の際にイオンエネルギー分布関数が計算されるので、例えばイオンエネルギー分布関数の最大エネルギー値が抽出される。

[0009] 本技術の一実施の形態に係るエッチング加工装置は、少なくとも電力、圧力およびガス流量が入力される設定部と、設定部に入力された値に応じて、エッチング処理が施されるチャンバと、エッチング処理の際の測定値を用いてイオンエネルギー分布関数を計算する処理部とを備えたものである。

[0010] 本技術の一実施の形態に係るエッチング加工装置では、エッチング処理の際のイオンエネルギー分布関数を計算する処理部が設けられているので、例えばイオンエネルギー分布関数の最大エネルギー値が抽出される。

[0011] 本技術の一実施の形態に係るエッチング方法およびエッチング加工装置によれば、エッチング処理の際にイオンエネルギー分布関数を計算するようにしたので、抽出されたイオンエネルギー分布関数の最大エネルギー値に応じてエッチングの処理条件を調整することができる。よって、エッチング深さおよびウェハ上のダメージを高精度に制御することが可能となる。

[0012] 尚、上記内容は本開示の一例である。本開示の効果は、上述したものに限らず、他の異なる効果であってもよいし、更に他の効果を含んでいてもよい。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]本技術の一実施の形態に係るエッチング加工装置の要部の構成を表すブロック図である。

[図2]図1に示した分析部の解析結果の一例を表す図である。

[図3A]図1に示した表示部に表示される電子温度分布の一例を表す図である。

[図3B]図1に示した表示部に表示される電子温度分布の他の例を表す図である。

[図4]図1に示した表示部に表示されるイオンエネルギー分布の一例を表す図

である。

[図5A]図1に示した表示部に表示されるイオンの浸入深さの分布の一例を表す図である。

[図5B]図1に示した表示部に表示されるイオンの浸入深さの分布の他の例を表す図である。

[図6]図1に示したエッチング加工装置の動作を表す流れ図である。

[図7](A)～(D)は、原子層エッチングの工程を順に説明するための図である。

[図8]自己バイアス電圧とイオンエネルギーとの関係を表す図である。

[図9]変形例に係るエッチング加工装置の要部の構成を表すブロック図である。

[図10]図9に示したエッチング加工装置の動作を表す流れ図である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、本技術の実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。なお、説明は以下の順序で行う。

1. 実施の形態

イオンエネルギー分布関数を計算する処理部を有するエッチング加工装置

2. 変形例

シミュレーションを用いてイオンエネルギー分布関数を計算する例

[0015] 〈実施の形態〉

[構成]

図1は、本技術の一実施の形態に係るエッチング加工装置（エッチング加工装置1）の要部の構成を表している。エッチング加工装置1は、例えば原子層エッチングを行うためのものであり、設定部11、チャンバ12、分析部13、処理部14、表示部15および制御部16を有している。チャンバ12内には、対向する上部電極および下部電極が設けられており、下部電極の上にエッチング対象となるウェハが配置される。上部電極および下部電極

に電圧が印加されると、これらの間のガスがプラズマ化し、ウェハ表面がエッチングされるようになっている。

[0016] 設定部 11 は、チャンバ 12 内で行われるエッチングの処理条件を設定するためのものである。この設定部 11 に、いわゆるプロセスレシピが入力されるようになっている。設定部 11 には、例えば、上部電極および下部電極各々の電力量、チャンバ 12 内の圧力、チャンバ 12 内に供給されるガス流量、チャンバ 12 内の温度および処理時間などの通常のプロセスレシピが入力される。設定部 11 には、このような通常のプロセスレシピに加えて、原子レベルのエッチングが可能となるイオンエネルギー関数の最大エネルギー値 E_{sv} が入力されるようになっている。この設定部 11 に入力されるイオンエネルギー関数の最大エネルギー値 E_{sv} は、エッチング対象物およびチャンバ 12 内の状態等に応じて調整される。

[0017] 例えば、エッチング対象物がシリコン (Si) であり、かつ、プラズマ中に酸素が存在しないとき、イオンエネルギー関数の最大エネルギー値 E_{sv} を、 20 eV 以下に設定する。ここで酸素が存在しないとは、ガス導入による酸素が存在しないだけでなく、チャンバ 12 内の各部品からの酸素放出もないことをいう。エッチング対象物がシリコン (Si) であり、かつ、プラズマ中に酸素が存在するときは、イオンエネルギー関数の最大エネルギー値 E_{sv} を、 20 eV 以上に設定する。

[0018] 例えば、エッチング対象物が酸化シリコン (SiO_2) であるとき、イオンエネルギー関数の最大エネルギー値 E_{sv} を、 40 eV 以下に設定する。エッチングガスが、フッ素化炭化水素 (CF または CHF) を含む場合には、 CF 膜または CHF 膜に起因したエネルギー損失を考慮してイオンエネルギー関数の最大エネルギー値 E_{sv} を設定することが好ましい。

[0019] チャンバ 12 では、設定部 11 に入力された条件に応じてエッチング処理が行われる。エッチング対象物は、例えばシリコン (Si) または酸化シリコン (SiO_2) 等である。チャンバ 12 には、例えばチャンバ 12 内の壁の温度およびウェハをステージに吸着する機構（静電チャック）の温度を制御

するためのヒータが設けられている。このチャンバ12には、ガスの供給口および排気口が設けられ、例えば、フッ素（F）または塩素（Cl）等を含むハロゲン系のエッチングガスが供給されるようになっている。

- [0020] チャンバ12内に供給されるガスには、2種類以上の希ガスが含まれていることが好ましい。この希ガスは、プロセスレシピに含まれていてもよく、プロセスレシピとは別に添加してもよい。プロセスレシピとは別に添加するときには、例えば希ガスが5%以下となるようにする。2種類以上の希ガスは、例えば、ヘリウム（He）、ネオン（Ne）、アルゴン（Ar）、キセノン（Xe）およびクリプトン（Kr）から選択されている。チャンバ12内に2種類以上の希ガスを供給することにより、後述するように、2種類以上の希ガスの発光強度比から、より正確にプラズマの電子温度分布（EEDF：Electron Energy Distribution Function）を算出することができる。
- [0021] 分析部13では、チャンバ12内の発光分光分析（OES：Optical Emission Spectroscopy）がなされるようになっている。発光分光分析の分解能は、0.1nm以下であることが好ましい。この発光分光分析の解析結果は、処理部14でイオンエネルギー分布関数を計算する際に用いられる。
- [0022] 図2は、分析部13での発光分光分析の結果の一例を表している。分析部13では、例えば、2以上の互いに異なる波長の光各々の発光強度、およびチャンバ12に供給された2種類以上の希ガス各々の発光強度が測定される。
- [0023] 処理部14では、チャンバ12内の状態から、イオンエネルギー分布関数が計算される。具体的には、上部電極および下部電極各々の電力量、チャンバ12内の圧力、チャンバ12内に供給されるガス流量、チャンバ12内の温度の測定値（実測値）と分析部13の解析値とから、例えば、モンテカルロシミュレーションを用いて、イオンエネルギー分布関数が計算される。本実施の形態では、イオンエネルギー分布関数を計算する処理部14が設けられているので、イオンエネルギー分布関数の最大エネルギー値（後述のエネルギー値 E_{MAX} ）に応じたフィードバックを行うことができる。詳細は後述する。

が、これにより、エッチング深さおよびウェハ上のダメージを高精度に制御することができる。

[0024] 処理部14でのモンテカルロシミュレーションによるイオンエネルギー分布関数 $\Delta \varepsilon$ の計算は、例えば以下の式(1)～(6)により行われる(例えば、K.Denpoh et al., Jpn. J. Appl. Phys. 43 (2004) 5533およびD.Vender and R.W.Boswell, IEEE Trans. Plasma Sci. 18 (1990) 725参照)。

[0025] [数1]

$$\Delta \varepsilon = \frac{2eV_{RF}}{3\omega d} \sqrt{\frac{2\varepsilon}{m_i}} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

e: 電子電荷 [C] 1.6e-19

V_{RF} : RF 振幅 [V]

ω : 角周波数 [Hz]

d: シース厚さ [m]

ε : 平均加速エネルギー [J]

m_i : 分子重さ[kg]

[数2]

$$V_{RF} = 2 \times \overline{V_{pl}} + |V_{dc}| \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (2)$$

V_{pl} : プラズマポテンシャル[V]

V_{dc} : 自己バイアス電圧[V]

[数3]

$$\omega = f \times 2 \times 3.1415 \quad \dots \dots \dots (3)$$

f: 基板パッド周波数[Hz]

[数4]

$$d = 0.585 \times \lambda \times \left(\frac{2 \times \bar{\varepsilon}}{T_e} \right)^{\frac{3}{4}} \quad \dots \dots \dots (4)$$

 λ : 波長[m] T_e : 電子温度[eV]

[数5]

$$\bar{\varepsilon} = \overline{V_{pl}} + |V_{dc}| \quad \dots \dots \dots (5)$$

[数6]

$$\lambda = 7430 \times \sqrt{\frac{T_e}{N_e}} \quad \dots \dots \dots (6)$$

 N_e : 電子密度 [1/cm³]

[0026] 例えば、チャンバ12内のピークトゥピーク電圧 V_{pp} を測定し、このピークトゥピーク電圧 V_{pp} の測定値から以下の式(7)を用いて式(1), (2)のRF振幅 V_{RF} を求めるようにしてもよい。ピークトゥピーク電圧 V_{pp} と自己バイアス電圧 V_{dc} との校正曲線($V_{dc} = \alpha \times V_{pp} + \beta$, α および β は定数)を事前に作成しておき、この校正曲線を用いて、ピークトゥピ

ーク電圧 V_{pp} の測定値から求めた自己バイアス電圧 V_{dc} を式 (2), (5) に用いるようにしてもよい。

[0027] [数7]

$$V_{RF} = V_{PP} / 2 \quad \dots \dots (7)$$

V_{PP} : ピークトゥピーク電圧 [V]

[0028] あるいは、チャンバ12内の自己バイアス電圧 V_{dc} を測定し、この自己バイアス電圧 V_{dc} の測定値を式 (2), (5) に用いるようにしてもよい。上記と同様に、ピークトゥピーク電圧 V_{pp} と自己バイアス電圧 V_{dc} との校正曲線 ($V_{dc} = \alpha \times V_{pp} + \beta$, α および β は定数) を事前に作成しておき、この校正曲線を用いて、自己バイアス電圧 V_{dc} の測定値からピークトゥピーク電圧 V_{pp} を算出するようにしてもよい。この算出されたピークトゥピーク電圧 V_{pp} の値と式 (7) とから式 (1), (2) の RF 振幅 V_{RF} が求められる。

[0029] 式 (2), (5) のプラズマポテンシャル V_{pl} 、式 (4), (6) の電子温度 T_e および式 (6) の電子密度 N_e は、例えば、分析部13での発光分光分析の解析結果から算出されるようになっている。

[0030] 例えば、電子温度 T_e は、2以上の互いに異なる波長の光の発光強度比を用いて算出することができる (例えば、H. Akatsuka et al., Proc. Of 2015 International Symposium on Dry Process, P95参照)。

[0031] 電子温度 T_e に代えて、電子温度分布を用いるようにしてもよい。電子温度分布は、チャンバ12に供給された2種類以上の希ガスの発光強度比から、Maxwell分布またはBier-Maxwell分布により算出される。

[0032] 図3Aは、Maxwell分布により算出された電子温度分布の一例を表し、図3Bは、Bier-Maxwell分布により算出された電子温度分布の一例を表している。このようなMaxwell分布またはBier-Maxwell

11 分布により算出された電子温度分布は、イオンエネルギー分布関数の計算に用いられるとともに、例えば、表示部 15 に表示される。表示部 15 は、例えばディスプレイにより構成されている。

[0033] 電子密度 N_e は、2 以上の互いに異なる波長の光の発光強度比を用いて算出することができる（例えば、H. Akatsuka et al., Proc. Of 2015 International Symposium on Dry Process, P95）。

[0034] プラズマポテンシャル V_{pl} は、以下の式（8）を用いて求めることができる。式（8）中、係数 k の値はイオン種により、例えば 3～7 程度の範囲で変化する。例えばアルゴン（Ar）イオンを用いるとき、係数 k は約 5 であり、水素（H）を用いるとき係数 k は約 3.3 である。

[数8]

$$V_{pl} \doteq k \times T_e \quad \dots \dots (8)$$

k : 係数

[0035] 例えば、チャンバ 12 内に CF 膜または CHF 膜が生成する場合には、これらの膜の厚みは、エリプソメトリ等の方法を用いることにより、測定することが好ましい。これらの膜に起因したエネルギー損失は、処理部 14 で考慮される。

[0036] 図 4 は、処理部 14 で計算されたイオンエネルギー分布関数の一例を表している。この図では、横軸がエネルギー、縦軸がイオン数をそれぞれ表している。このようなエネルギー分布関数は、リアルタイムで表示部 15 に表示される。処理部 14 は、計算したイオンエネルギー分布関数から最大エネルギー値 E_{MAX} を抽出して、表示部 15 に表示するとともに、この最大エネルギー値 E_{MAX} に関する情報を制御部 16 に伝達する。最大エネルギー値 E_{MAX} は、図 4 に示したように、ピークの位置と重なることが多いが、ピークが検出されない場合であっても、最も高いエネルギーの位置（例えば、図 4 の横軸の右端

）を抽出すればよい。ピークが検出されない場合とは、例えば、圧力が高い場合などである。

[0037] 処理部 14 で、イオンエネルギー分布関数の全体の面積（積分値）を算出し、これを最大のエネルギー値 E_{MAX} とともに、制御部 16 に伝達するようにしてもよい。イオンエネルギー分布関数の全体の面積から電子密度 N_e を予測するようにしてもよい。

[0038] 表示部 15 には、電子密度 N_e 、分子重さ m_i および RF 振幅 V_{RF} 等が表示されるようになっていてもよい。処理部 14 で計算された結果に基づき、表示部 15 で対象物のエッチング深さおよびダメージの深さが確認できるようになっていてもよい。例えば、表示部 15 に、イオン（ダメージ）の浸入深さの分布、投影飛程（ダメージのピーク深さ）およびイオンの最深距離が表示されるように構成されている。

[0039] 図 5 A、図 5 B は、表示部 15 に表示されるイオンの浸入深さの分布のイメージ図である。例えば、エッチング対象物の種類を予め設定部 11 に入力しておくことにより、このように対象物のエッチング深さを表示部 15 で確認することが可能となる。

[0040] 制御部 16 では、処理部 14 で抽出された最大エネルギー値 E_{MAX} と、設定部 11 に入力された最大エネルギー値 E_{SV} とが比較される。エネルギー値 E_{MAX} とエネルギー値 E_{SV} とのずれを表示部 15 に表示するようにしてもよい。制御部 16 は、チャンバ 12 内の状態に基づいて計算された最大エネルギー値 E_{MAX} が、設定部 11 に入力された最大エネルギー値 E_{SV} に近づくように、設定部 11 に信号を送る。具体的には、エネルギー値 E_{MAX} が、エネルギー値 E_{SV} の $\pm 10\%$ の範囲内となるバイアスパワー（Bias Power）が算出され、このバイアスパワーを実現するための上部電極の電力量および下部電極の電力量が、設定部 11 に送られるようになっている。設定部 11 では、上部電極および下部電極のどちらか一方の電力量が変更されてもよく、両方の電力量が変更されてもよい。エネルギー値 E_{MAX} が、エネルギー値 E_{SV} の $\pm 10\%$ の範囲内にある場合には、設定部 11 の各値がそのまま維持される。

[0041] 設定部 11 に予め、イオンエネルギー分布関数の全体の面積（積分値）を入力しておき、処理部 14 で算出されたイオンエネルギー分布関数の全体の面積が、この設定値に近づくようにしてもよい。制御部 16 では、これを実現するためのソースパワー（Source Power）が算出されて、設定部 11 に送られる。イオンエネルギー分布関数の全体の面積は、ウェハ上に照射されるイオンの電流密度（mA/cm²）、イオンフラックス（イオン個数/cm²/s）およびプラズマ中の電子密度 N_e に比例する。このため、イオンエネルギー分布関数の全体の面積に代えて、電流密度（mA/cm²）、イオンフラックス（イオン個数/cm²/s）および電子密度 N_e を入力するようにしてもよい。

[0042] [動作]

図 6 は、このようなエッチング加工装置 1 のエッチング処理の流れを表している。

[0043] まず、設定部 11 に一般的なプロセスレシピおよびイオンエネルギー関数の最大エネルギー値 E_{sv} を入力する（ステップ S101）。次に、この設定部 11 に入力された条件下、チャンバ 12 内でエッチング処理を開始する（ステップ S102）。エッチングガスが、フッ素化炭化水素（CF または CHF）を含む場合には、ウェハ 1 枚を処理する毎に、少なくとも酸素を含むガスを用いて、チャンバ 12 内のプラズマクリーニングを行うことが好ましい。

[0044] エッチング処理開始後、チャンバ 12 内の各値を測定する（ステップ S103）。具体的には、ピークトゥピーク電圧 V_{pp} 等を測定する。このステップ S103 ととともに、分析部 13 でチャンバ 12 内の発光分光分析を行う（ステップ S104）。

[0045] ピークトゥピーク電圧 V_{pp} 等の測定値および分析部 13 の解析値は、処理部 14 へ送られ、処理部 14 でイオンエネルギー分布関数の計算が行われる（ステップ S105）。処理部 14 では、このイオンエネルギー分布関数から最大エネルギー値 E_{MAX} を抽出する。イオンエネルギー分布関数および最大

エネルギー値 E_{MAX} は、表示部 15 に表示される。

[0046] 最大エネルギー値 E_{MAX} が抽出された後、制御部 16 は、設定部 11 に入力されたエネルギー値 E_{SV} と、エネルギー値 E_{MAX} とを比較し（ステップ S106）、これらのずれを検出する。このずれは、表示部 15 に表示される。制御部 16 は、このずれを小さくするためのフィードバックを行う。例えば、制御部 16 は、エネルギー値 E_{MAX} をエネルギー値 E_{SV} に近づけるためのバイアスパワー（Bias Power）を算出し、この情報を設定部 11 に送る。設定部 11 では、制御部 16 からの情報に基づいて、例えば、上部電極および下部電極の電力量等が調整される（ステップ S107）。設定部 11 の各値を調整後、再びチャンバ 12 内の状態を検出するための測定がなされ（ステップ S103、S104）、イオンエネルギー分布関数の計算（ステップ S105）、エネルギー値 E_{MAX} とエネルギー値 E_{SV} との比較（ステップ S106）および設定部 11 へのフィードバック（ステップ S107）が、エッチング処理停止（ステップ S108）時まで繰り返される。

[0047] [作用・効果]

本実施の形態のエッチング加工装置 1 では、チャンバ 12 でのエッチング処理の際に、処理部 14 でイオンエネルギー分布関数を計算するので、イオンエネルギー分布関数の最大エネルギー値 E_{MAX} が抽出される。これにより、エッチング加工装置 1 では、エッチング深さおよびウェハ上のダメージを高精度に制御することが可能となる。以下、これについて説明する。

[0048] 図 7 は、原子層エッチングの各工程を表している。例えば、シリコン（Si）ウェハ表面に塩素（Cl）等のハロゲン系のガスを吸着させた後（図 7（A））、アルゴン（Ar）イオンで、シリコンウェハ表面をたたく（図 7（B））。これにより、反応生成物（SiCl）の形で、1 層分の原子層が除去される（図 7（C））。しかし、イオンエネルギーを調整しない場合には、シリコン層の除去が 1 層分で停止せずに、下地のシリコン層も削れてしまうおそれがある（図 7（D））。

[0049] イオンエネルギーを計算せずに、他のパラメータのみで、エッチング深さ

およびウェハ上のダメージを予測する方法も考え得る。例えば、ピークトゥピーク電圧 V_{pp} から校正曲線を用いて自己バイアス電圧 V_{dc} を求め、この自己バイアス電圧 V_{dc} を制御する方法が考えられる。

[0050] しかし、図8に示したように、自己バイアス電圧 V_{dc} により決まる電圧（中心の電圧）以上に、イオンは高いエネルギーを持つことになる。したがって、自己バイアス電圧 V_{dc} を制御しても、イオンエネルギーを制御することはできない。即ち、エッチング深さおよびウェハ上のダメージを制御することできない。

[0051] これに対し、本実施の形態では、処理部14でチャンバ12の状態に基づくイオンエネルギー分布関数が計算され、最大エネルギー値 E_{MAX} が抽出される。これにより、このエネルギー値 E_{MAX} を、設定部11に入力した所望のエネルギー値 E_{sv} に近づけるように、エッチング処理条件（設定部11の各値）を調整することができる。したがって、下地層を削ることなく、原子レベルのエッチングを行うことができる。

[0052] 以上説明したように、本実施の形態では、処理部14でイオンエネルギー分布関数を計算するようにしたので、抽出されたイオンエネルギー分布関数の最大エネルギー値 E_{MAX} に応じてエッチングの処理条件を調整することができる。よって、エッチング深さおよびウェハ上のダメージを高精度に制御することが可能となる。

[0053] また、計算されたイオンエネルギー分布関数は、表示部15にリアルタイムで表示されるので、エッチング状況を容易にモニタリングすることができる。

[0054] 以下、上記実施の形態の変形例について説明するが、以降の説明において上記実施の形態と同一構成部分については同一符号を付してその説明は適宜省略する。

[0055] 〔変形例〕

図9は、上記実施の形態の変形例に係るエッチング加工装置（エッチング加工装置1A）の要部の構成を表している。このエッチング加工装置1Aに

は、分析部（図 1 の分析部 1 3）が設けられていない。エッチング加工装置 1 A の処理部（処理部 1 4 A）では、エッチング加工装置 1 の処理部 1 4 に比べて、より高度な計算処理を行われる。この点を除き、エッチング加工装置 1 A は、エッチング加工装置 1 と同様の構成を有し、その作用および効果も同様である。

[0056] 図 1 O は、エッチング加工装置 1 A の動作を表している。このエッチング加工装置 1 A では、ピークトゥピーク電圧 V_{pp} 等のチャンバ 1 2 内の測定値（ステップ S 1 0 3）と、処理部 1 4 A でのシミュレーションの算出値とから、イオンエネルギー分布関数が計算されるようになっている。即ち、エネルギー分布関数の計算に必要なパラメータが、処理部 1 4 A でのシミュレーションを用いて算出される。

[0057] このように、発光分光分析に代えて、シミュレーションを用いることによりイオンエネルギー分布関数を計算するようにしてもよい。

[0058] 以上、実施の形態を挙げて本技術を説明したが、本技術は上記実施の形態に限定されるものではなく、種々変形可能である。例えば、上記実施の形態等において例示したエッチング加工装置 1, 1 A の構成要素は、あくまで一例であり、他の構成要素を更に備えていてもよい。

[0059] また、上記実施の形態等では、エッチング加工装置 1, 1 A が原子層エッチングを行う場合を例に挙げて説明したが、本技術は他のドライエッチング技術にも適用できる。

[0060] なお、本明細書に記載された効果はあくまで例示であってこれに限定されるものではなく、また他の効果があってもよい。

[0061] なお、本技術は、以下のような構成も可能である。

(1)

設定部に、少なくとも電力、圧力およびガス流量を入力し、
前記設定部に入力された値に応じてチャンバ内でエッチング処理を行い、
前記エッチング処理の際の測定値を用いてイオンエネルギー分布関数を計算する

エッチング方法。

(2)

更に、前記計算したイオンエネルギー分布関数の最大エネルギー値が、予め入力されたイオンエネルギー分布関数の最大エネルギー値に近づくよう、前記設定部の値を調整する

前記(1)に記載のエッチング方法。

(3)

前記測定値は、ピークトゥピーク電圧 V_{pp} または自己バイアス電圧 V_{dc} を含む

前記(1)または(2)に記載のエッチング方法。

(4)

前記測定値は、電子温度 T_e または電子温度分布 $EEDF$ と、電子密度 N_e とを含む

前記(3)に記載のエッチング方法。

(5)

前記電子温度 T_e または電子温度分布 $EEDF$ と前記電子密度 N_e とは、前記エッチング処理の際に発光分光分析を行うことにより測定する

前記(4)に記載のエッチング方法。

(6)

前記チャンバ内に希ガスを添加し、

$Maxwell$ 分布または $Boltzmann$ 分布を用いて電子温度分布 $EEDF$ を求める

前記(4)または(5)に記載のエッチング方法。

(7)

前記イオンエネルギー分布関数を、前記測定値と、シミュレーションによって求められる算出値とから計算する

前記(3)に記載のエッチング方法。

(8)

前記計算したイオンエネルギー分布関数を、リアルタイムで表示する
前記（１）ないし（７）のうちいずれか１つに記載のエッチング方法。

（９）

更に、前記イオンエネルギー分布関数から求めた、エッチング対象物への
イオン浸入深さの分布を表示する

前記（１）ないし（８）のうちいずれか１つに記載のエッチング方法。

（１０）

前記エッチング処理は、原子層エッチングである

前記（１）ないし（９）のうちいずれか１つに記載のエッチング方法。

（１１）

少なくとも電力、圧力およびガス流量が入力される設定部と、

前記設定部に入力された値に応じて、エッチング処理が施されるチャンバ
と、

前記エッチング処理の際の測定値を用いてイオンエネルギー分布関数を計
算する処理部と

を備えたエッチング加工装置。

（１２）

更に、制御部を有し、

前記制御部により、前記計算したイオンエネルギー分布関数の最大エネ
ルギー値が、予め入力されたイオンエネルギー分布関数の最大エネルギー値に
近づくよう、前記設定部の値が調整される

前記（１１）に記載のエッチング加工装置。

（１３）

更に、前記エッチング処理の際の発光分光分析を行う分析部を有し、

前記分析部で解析された解析値が、前記測定値とともに前記処理部に入力
される

前記（１１）または（１２）に記載のエッチング加工装置。

（１４）

更に、前記計算したイオンエネルギー分布関数をリアルタイムで表示する表示部を有する

前記（１１）ないし（１３）のうちいずれか１つに記載のエッチング加工装置。

[0062] 本出願は、日本国特許庁において２０１７年８月１８日に出願された日本特許出願番号第２０１７－１５７７５８号を基礎として優先権を主張するものであり、この出願の全ての内容を参照によって本出願に援用する。

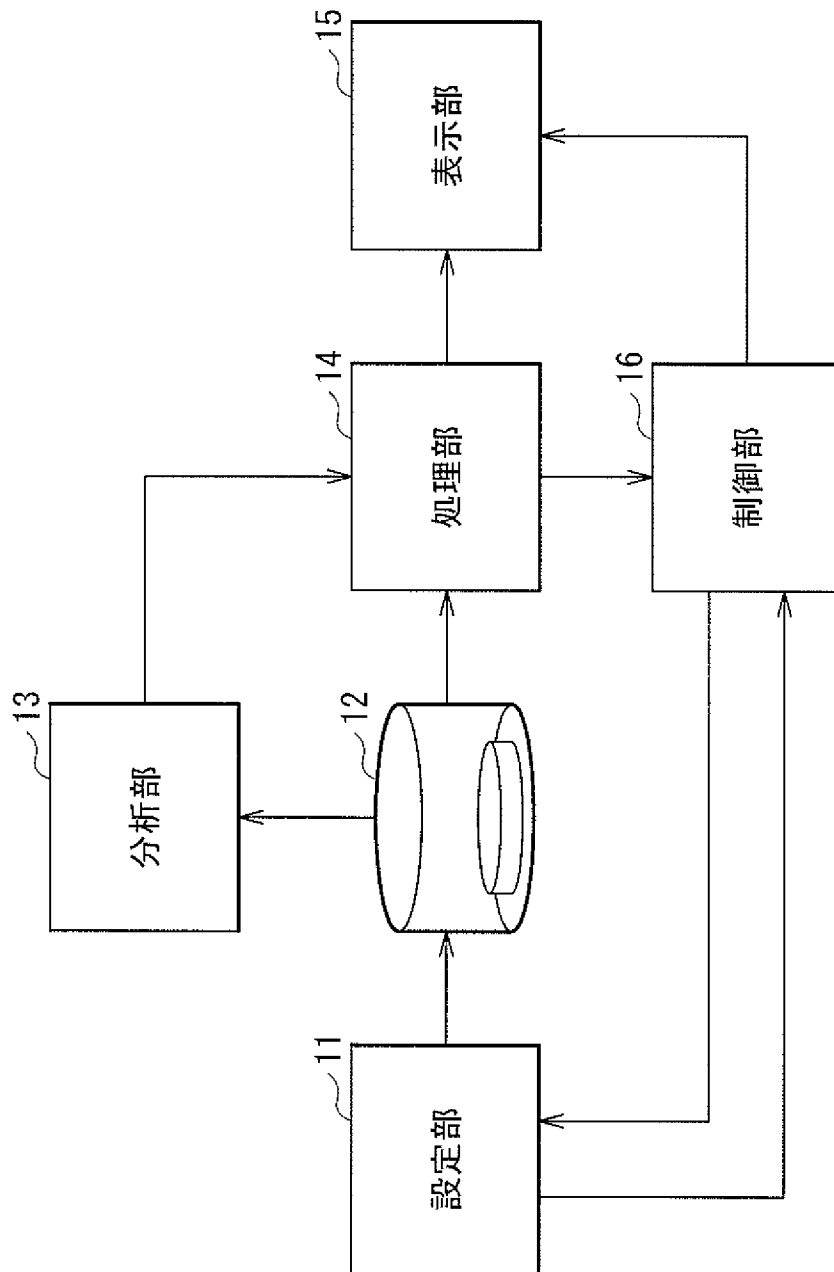
[0063] 当業者であれば、設計上の要件や他の要因に応じて、種々の修正、コンビネーション、サブコンビネーション、および変更を想到し得るが、それらは添付の請求の範囲やその均等物の範囲に含まれるものであることが理解される。

請求の範囲

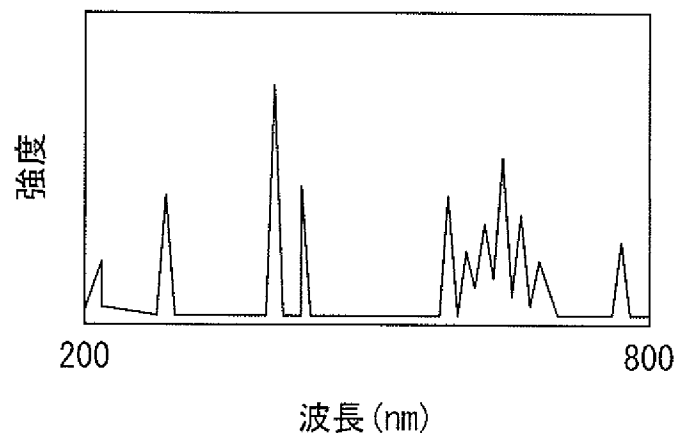
- [請求項1] 設定部に、少なくとも電力、圧力およびガス流量を入力し、
前記設定部に入力された値に応じてチャンバ内でエッチング処理を行い、
前記エッチング処理の際の測定値を用いてイオンエネルギー分布関数を計算する
エッチング方法。
- [請求項2] 更に、前記計算したイオンエネルギー分布関数の最大エネルギー値が、予め入力されたイオンエネルギー分布関数の最大エネルギー値に近づくよう、前記設定部の値を調整する
請求項1に記載のエッチング方法。
- [請求項3] 前記測定値は、ピークトゥピーク電圧 V_{pp} または自己バイアス電圧 V_{dc} を含む
請求項1に記載のエッチング方法。
- [請求項4] 前記測定値は、電子温度 T_e または電子温度分布 $EEDF$ と、電子密度 N_e とを含む
請求項3に記載のエッチング方法。
- [請求項5] 前記電子温度 T_e または電子温度分布 $EEDF$ と前記電子密度 N_e とは、前記エッチング処理の際に発光分光分析を行うことにより測定する
請求項4に記載のエッチング方法。
- [請求項6] 前記チャンバ内に希ガスを添加し、
 $Maxwell$ 分布または $BierMaxwell$ 分布を用いて電子温度分布 $EEDF$ を求める
請求項4に記載のエッチング方法。
- [請求項7] 前記イオンエネルギー分布関数を、前記測定値と、シミュレーションによって求められる算出値とから計算する
請求項3に記載のエッチング方法。

- [請求項8] 前記計算したイオンエネルギー分布関数を、リアルタイムで表示する
請求項1に記載のエッチング方法。
- [請求項9] 更に、前記イオンエネルギー分布関数から求めた、エッチング対象物へのイオン浸入深さの分布を表示する
請求項1に記載のエッチング方法。
- [請求項10] 前記エッチング処理は、原子層エッチングである
請求項1に記載のエッチング方法。
- [請求項11] 少なくとも電力、圧力およびガス流量が入力される設定部と、
前記設定部に入力された値に応じて、エッチング処理が施されるチャンバと、
前記エッチング処理の際の測定値を用いてイオンエネルギー分布関数を計算する処理部と
を備えたエッチング加工装置。
- [請求項12] 更に、制御部を有し、
前記制御部により、前記計算したイオンエネルギー分布関数の最大エネルギー値が、予め入力されたイオンエネルギー分布関数の最大エネルギー値に近づくよう、前記設定部の値が調整される
請求項11に記載のエッチング加工装置。
- [請求項13] 更に、前記エッチング処理の際の発光分光分析を行う分析部を有し、
前記分析部で解析された解析値が、前記測定値とともに前記処理部に入力される
請求項11に記載のエッチング加工装置。
- [請求項14] 更に、前記計算したイオンエネルギー分布関数をリアルタイムで表示する表示部を有する
請求項11に記載のエッチング加工装置。

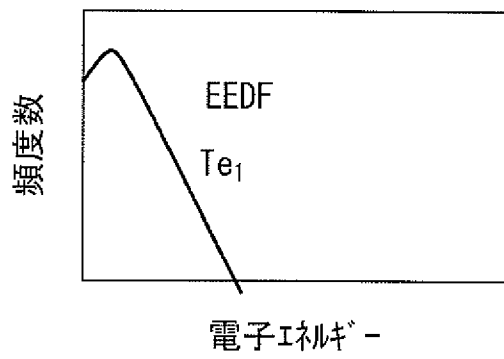
[図1]



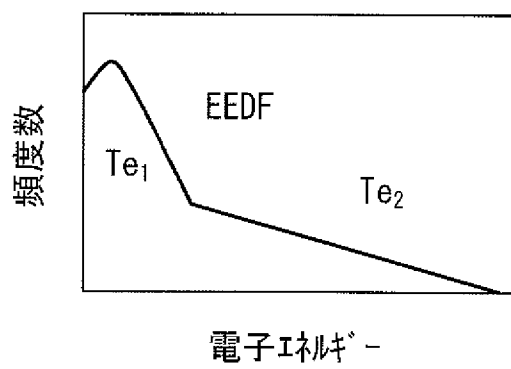
[図2]



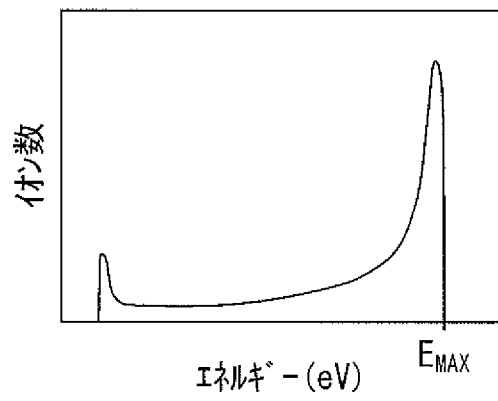
[図3A]



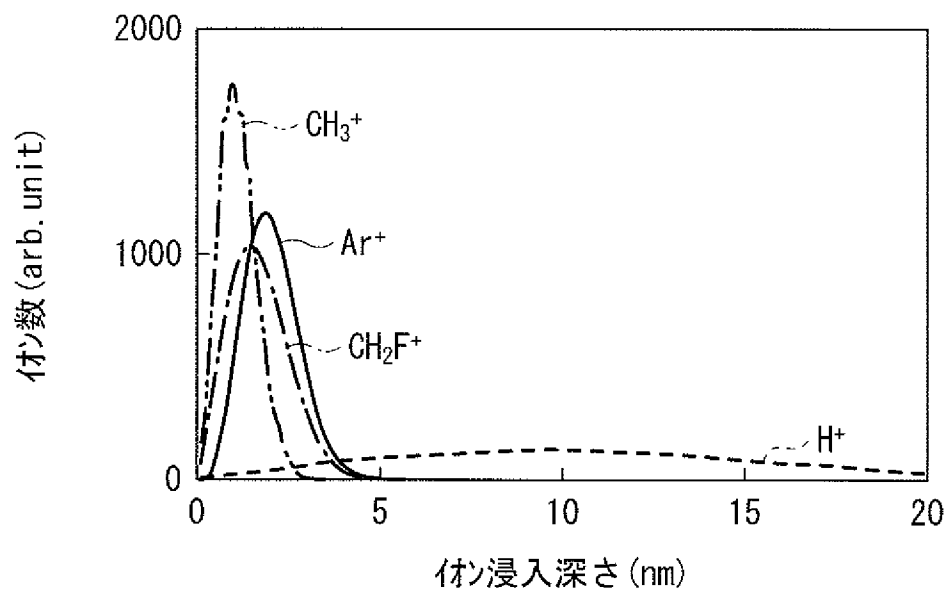
[図3B]



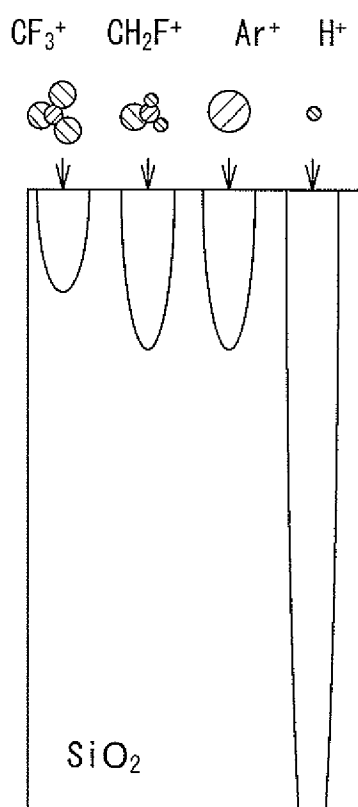
[図4]



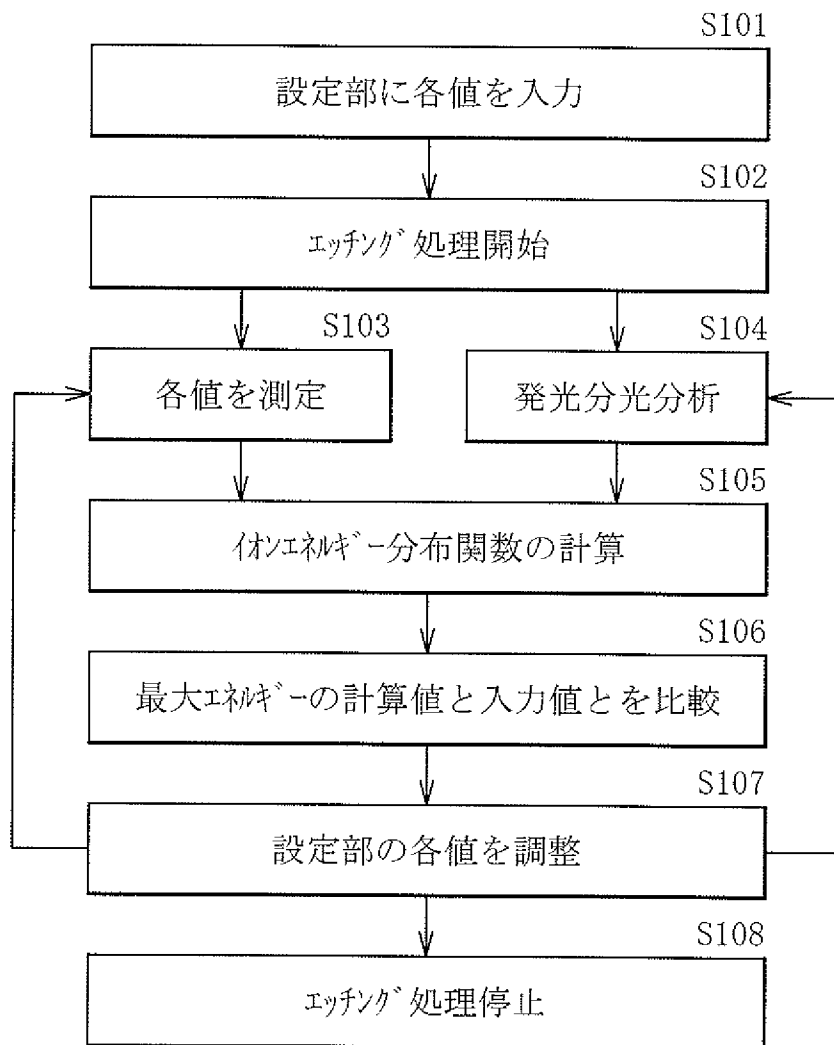
[図5A]



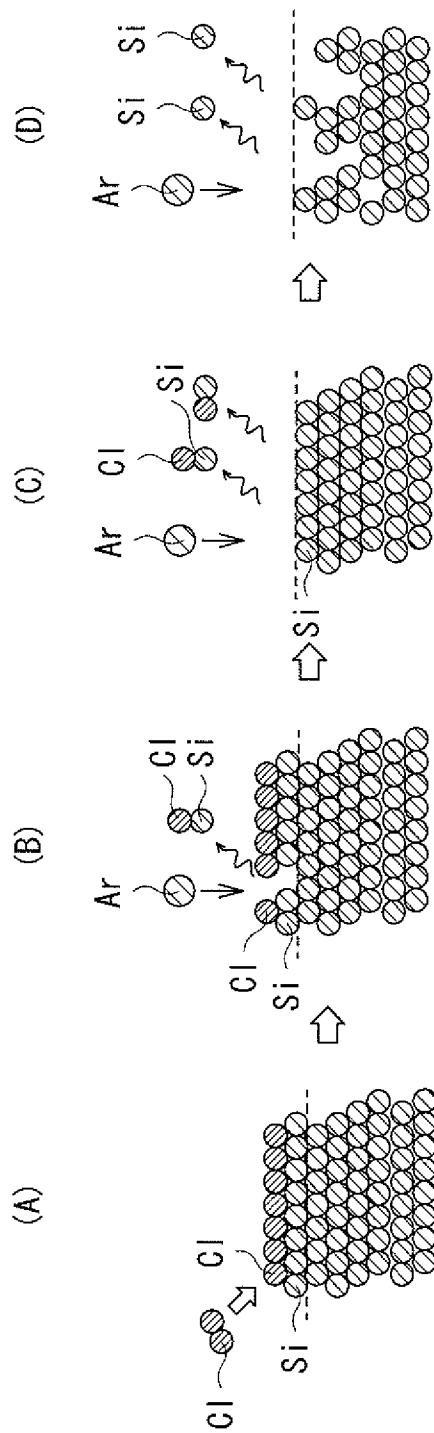
[図5B]



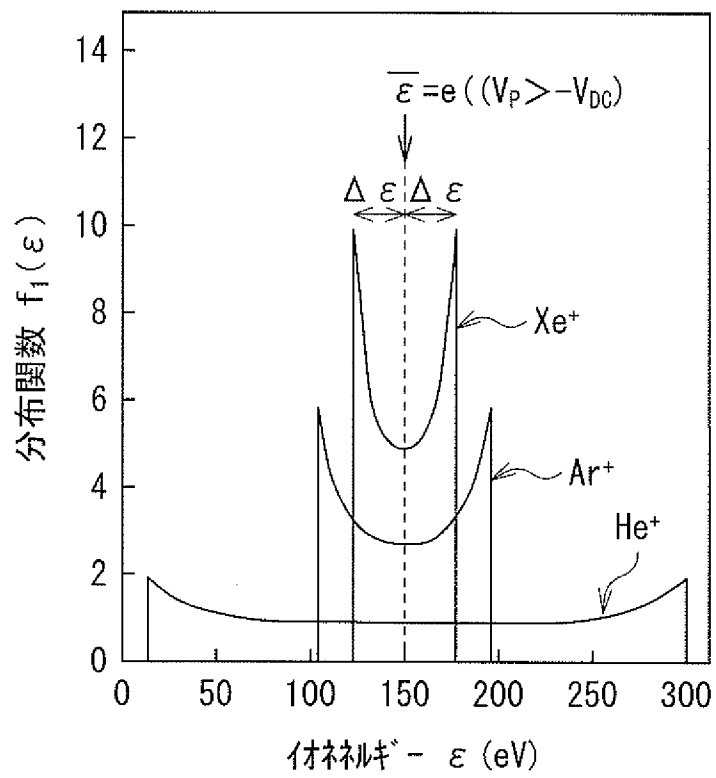
[図6]



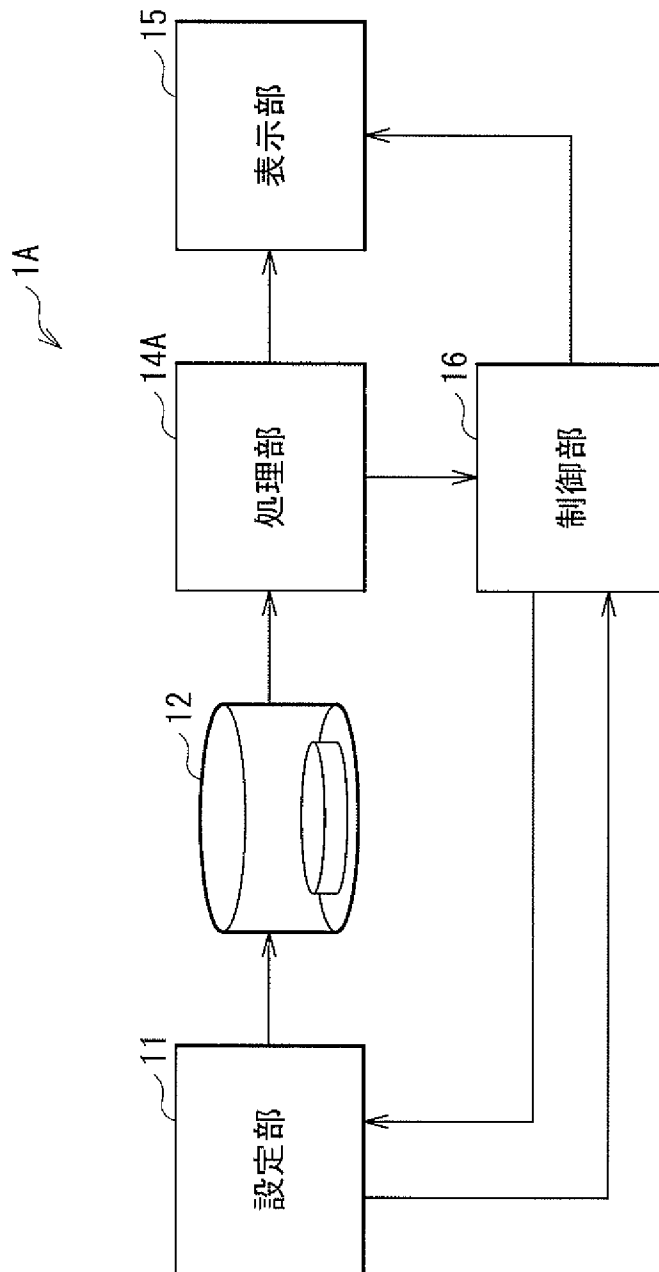
[図7]



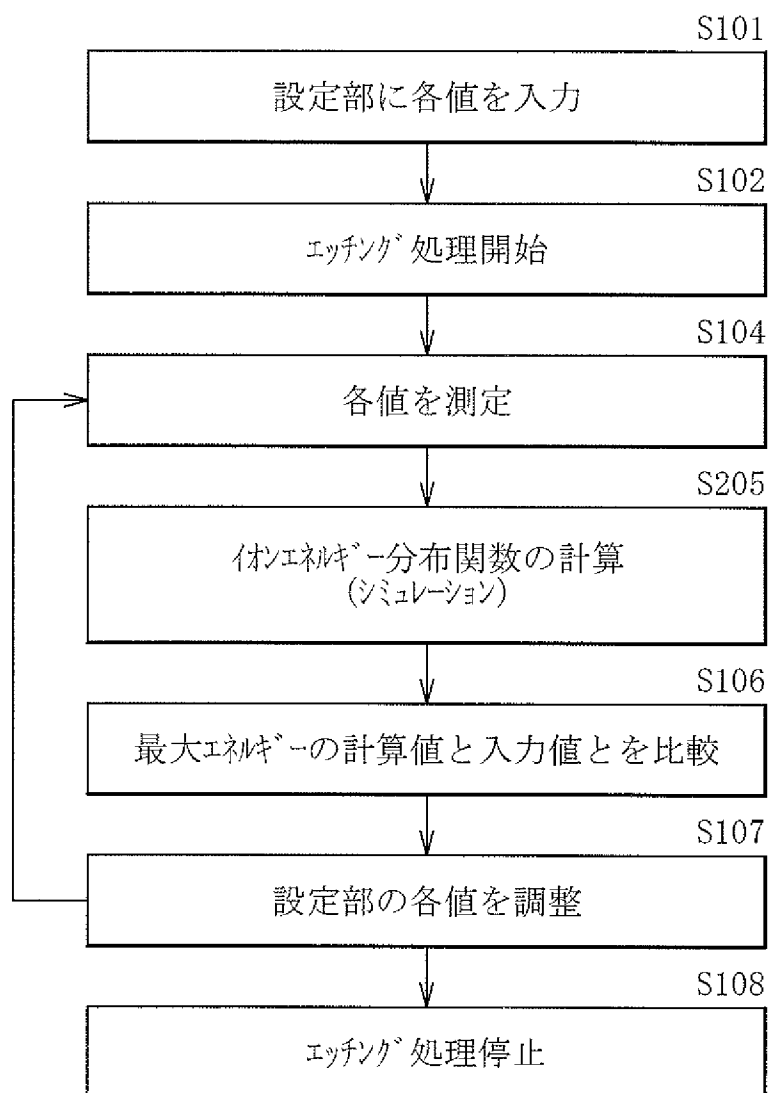
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/025193

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H01L21/3065 (2006.01) i, H05H1/00 (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)

Int.Cl. H01L21/3065, H05H1/00, H05H1/46

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	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2010-232594 A (SONY CORPORATION) 14 October 2010, paragraphs [0028]-[0149]	1, 3, 4, 6, 7, 9-11
Y	& US 2010/0243431 A1, paragraphs [0048]-[0217] &	5, 13
A	CN 101853780 A	2, 8, 12, 14
Y	JP 7-297173 A (FUJITSU LIMITED) 10 November 1995, paragraph [0050] (Family: none)	5, 13
Y	JP 2015-213020 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 26 November 2015, paragraph [0006] & US 2017/0064806 A1, paragraph [0006] & WO 2015/166787 A1	5, 13



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
21.08.2018

Date of mailing of the international search report
04.09.2018

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/JP2018/025193

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 10-74481 A (TOKYO ELECTRON LTD.) 17 March 1998 (Family: none)	1-14
A	JP 2006-269268 A (TOKYO ELECTRON LTD.) 05 October 2006 & US 2006/0214593 A1	1-14
A	JP 2003-507880 A (TOKYO ELECTRON LTD.) 25 February 2003 & US 2002/0160125 A1 & WO 2001/012873 A1 & TW 267562 B & CN 1369021 A & KR 10-0750420 B1	1-14

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, H05H1/00(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, H05H1/00, 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	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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 Y A	JP 2010-232594 A（ソニー株式会社）2010.10.14, [0028]-[0149] & US 2010/0243431 A1, [0048]-[0217] & CN 101853780 A	1, 3, 4, 6, 7, 9-11 5, 13 2, 8, 12, 14
Y	JP 7-297173 A（富士通株式会社）1995.11.10, [0050]（ファミリーなし）	5, 13
Y	JP 2015-213020 A（三菱重工業株式会社）2015.11.26, [0006] & US 2017/0064806 A1, [0006] & WO 2015/166787 A1	5, 13

☒ 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

21.08.2018

国際調査報告の発送日

04.09.2018

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）

宇多川 勉

50

3125

電話番号 03-3581-1101 内線 3559

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 10-74481 A (東京エレクトロン株式会社) 1998. 03. 17, (ファミリーなし)	1-14
A	JP 2006-269268 A (東京エレクトロン株式会社) 2006. 10. 05, & US 2006/0214593 A1	1-14
A	JP 2003-507880 A (東京エレクトロン株式会社) 2003. 02. 25, & US 2002/0160125 A1 & WO 2001/012873 A1 & TW 267562 B & CN 1369021 A & KR 10-0750420 B1	1-14