

(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
2016年8月25日(25.08.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/132759 A1

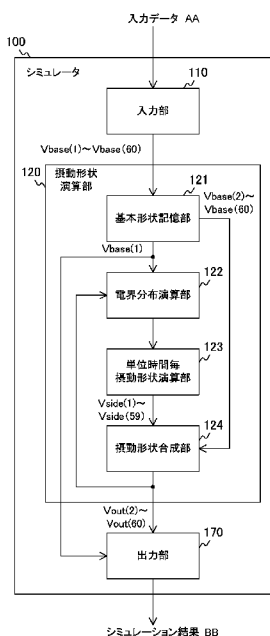
- (51) 国際特許分類:
H01L 21/3065 (2006.01) *H05H 1/46* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/050430
- (22) 国際出願日: 2016年1月8日(08.01.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2015-032229 2015年2月20日(20.02.2015) JP
- (71) 出願人: ソニー株式会社 (SONY CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 久保井 信行 (KUBOI, Nobuyuki); 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 木下 隆 (KINOSITA, Takashi); 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 丸島 敏一 (MARUSHIMA, Toshikazu); 〒1600022 東京都新宿区新宿3-3-2 京王新宿三丁目第二ビル 5F クラフト国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,

[続葉有]

(54) Title: INFORMATION PROCESSING DEVICE, FABRICATION DEVICE, ESTIMATION METHOD, PROGRAM, AND FABRICATION METHOD

(54) 発明の名称: 情報処理装置、加工装置、推定方法、プログラム、および加工方法



100 Simulator
110 Input unit
120 Perturbation shape calculating unit
121 Basic shape storage unit
122 Field distribution calculating unit
123 Per-unit time perturbation shape calculating unit
124 Perturbation shape synthesis unit
170 Output unit
AA Input data
BB Simulation result

(57) Abstract: A physical quantity is efficiently estimated during repetitive execution of an etching process simulation with parameter modifications. An information processing device is provided with a basic shape storage unit and a physical quantity estimation unit. In the information processing device, the basic shape storage unit stores, as a basic shape, the shape of a sample etched in a chamber. In the information processing device, on the basis of the basic shape and a sample processing condition related to a physical quantity in the chamber, the physical quantity estimation unit estimates the physical quantity.

(57) 要約: エッチングプロセスのシミュレーションをパラメータを変更しながら繰り返し実行する際に物理量を効率的に推定する。情報処理装置は、基本形状記憶部および物理量推定部を具備する。この情報処理装置において基本形状記憶部は、チャンバー内においてエッチングされた試料の形状を基本形状として記憶する。また、情報処理装置において物理量推定部は、そのチャンバー内における物理量に関連する試料の加工条件と基本形状とに基づいて物理量を推定する。

WO 2016/132759 A1



ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, 添付公開書類:

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).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

情報処理装置、加工装置、推定方法、プログラム、および、加工方法

技術分野

[0001] 本技術は、情報処理装置、加工装置、推定方法、プログラム、および、加工方法に関する。詳しくは、エッチングプロセスにおいて変化する物理量を推定する情報処理装置、加工装置、推定方法、および、当該方法をコンピュータに実行させるためのプログラム、ならびに、加工方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、半導体デバイスの高性能化や低コスト化が求められており、それらの要求に対応するために、半導体の加工プロセス技術の高精度化が進められている。この加工プロセス技術のうちプラズマエッチングでは、加工形状寸法や、加工中のイオン衝撃によって生じる結晶欠陥量（いわゆる、ダメージ量）の定量予測が重要な要素として扱われている。その加工寸法形状を予測する際には、チャージング効果を考慮する必要がある。ここで、チャージング効果とは、加工パターン表面に入射されるイオンや電子の分布差異により、パターン表面付近に電位分布が生じることを意味する。この電位分布の影響により、イオンや電子の輸送軌跡が変化するため、加工の進展に伴い、側面の形状などが少しずつ変化していく。このように、イオン等の軌道の変化により側面形状などが変化する効果は、摂動効果と呼ばれる。この摂動効果の影響は、微細なトランジスタゲートの加工や、アスペクト比の高い（言い換えれば、狭く深い）パターン加工において特に大きい。このため、それらの加工においては、チャージング効果を考慮した形状やダメージの予測が重要視される。

[0003] 上述のチャージング効果を考慮して形状やダメージを予測するために、モンテカルロ法を用いるシミュレータが提案されている（例えば、非特許文献1参照。）。このシミュレータは、まず、モンテカルロ法を用いてイオンや

電子の輸送軌跡を計算してイオン・電子の密度分布を求める。そして、シミュレータは、求めた密度分布に基づいてポアソン方程式を解くことで、パターン表面の電位分布を導出する。これに続いて、シミュレータは、その電位分布の影響の下で、再度、イオンおよび電子の輸送軌跡を求めてパターン表面でのイオン・電子密度を求め、そのイオン・電子密度からエッチレートを算出し、形状変化を予測する。また、形状変化のほか、紫外線光によるダメージ分布や不純物濃度の変化なども予測される。この手順をエッチング終了時間まで単位時間ごとに繰り返すことにより、エッチングプロセスがシミュレートされる。

先行技術文献

非特許文献

- [0004] 非特許文献1: Mingmei Wang, et al., High energy electron fluxes in dc-augmented capacitively coupled plasmas. II. Effects on twisting in high aspect ratio etching of dielectrics, Journal of Applied Physics 107, 023309 (2010)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0005] 上述の従来技術では、設計変更や最適化のために、シミュレーションに用いるパラメータの変更が必要になることがある。変更するパラメータとしては、例えば、電極のバイアスパワー、エッチング中に生じる紫外線の波長、ウェハ温度、イオン衝撃による格子間シリコンの生成率や拡散係数などが挙げられる。これらのパラメータが変更されると、電界分布、紫外線によるダメージ分布や不純物濃度などの物理量の予測結果が変化する。このため、それらのパラメータを変更するたびに、上述の計算フローを最初からやり直さなければならず、シミュレーション期間が長期化してデバイス開発のコストが増大してしまう。このように、エッチングプロセスのシミュレーションのパラメータを変更しながら繰り返し実行する際に物理量の推定が非効率的に

行われてしまうという問題がある。

[0006] 本技術はこのような状況に鑑みて生み出されたものであり、エッチングプロセスのシミュレーションのパラメータを変更しながら繰り返し実行する際に物理量を効率的に推定することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本技術は、上述の問題点を解消するためになされたものであり、その第1の側面は、チャンバー内においてエッチングされた試料の形状を基本形状として記憶する基本形状記憶部と、上記チャンバー内における物理量に関連する上記試料の加工条件と上記基本形状とに基づいて上記物理量を推定する物理量推定部とを具備する情報処理装置、および、物理量の推定方法、ならびに、当該方法をコンピュータに実行させるためのプログラムである。これにより、加工条件と基本形状とから物理量が推定されるという作用をもたらす。

[0008] また、この第1の側面において、上記物理量推定部は、上記チャンバー内の電界分布を上記物理量として推定してもよい。これにより、電界分布が推定されるという作用をもたらす。

[0009] また、この第1の側面において、上記加工条件は、上記電界分布を生じさせる電極のバイアスパワーと上記チャンバー内の粒子のフラックス量とフラックスベクトルとの少なくとも1つを含んでもよい。これにより、バイアスパワーとフラックス量とフラックスベクトルとの少なくとも1つから電界分布が推定されるという作用をもたらす。

[0010] また、この第1の側面において、上記試料の表面に垂直な深さ方向と異なる側面方向にエッチングされた上記試料の形状を上記電界分布に基づいて摂動形状として推定する摂動形状推定部をさらに具備してもよい。これにより、摂動形状が推定されるという作用をもたらす。

[0011] また、この第1の側面において、上記試料は、不純物を含む半導体であり、上記物理量推定部は、上記不純物の濃度の初期値からの低下の度合いを示す失活度の分布を推定してもよい。これにより、失活度の分布が推定される

という作用をもたらす。

[0012] また、この第1の側面において、上記試料は、不純物を含む半導体であり、上記加工条件は、イオンの衝突により生成される格子間シリコンの生成率と、上記格子間シリコンの拡散係数と、上記格子間シリコンおよび上記不純物の反応に要する活性化エネルギーとウェハ温度との少なくとも1つを含んでもよい。これにより、生成率と拡散係数と活性化エネルギーとウェハ温度との少なくとも1つから失活度の分布が推定されるという作用をもたらす。

[0013] また、この第1の側面において、上記物理量推定部は、上記チャンバー内に生じた紫外線光による上記試料のダメージ量の分布を上記物理量として推定してもよい。これにより、紫外線光によるダメージ量の分布が推定されるという作用をもたらす。

[0014] また、この第1の側面において、上記加工条件は、上記紫外線の波長と上記紫外線の強度との少なくとも一方を含んでもよい。これにより、紫外線の波長および強度から紫外線光によるダメージ量の分布が推定されるという作用をもたらす。

[0015] また、この第1の側面において、上記基本形状記憶部は、単位時間ごとの上記基本形状を記憶し、上記物理量推定部は、上記単位時間ごとに当該単位時間に対応する上記基本形状と上記加工形状とに基づいて上記物理量を推定してもよい。これにより、単位時間ごとに物理量が推定されるという作用をもたらす。

[0016] また、この第1の側面において、上記基本形状を推定して上記基本形状記憶部に保持する基本形状推定部をさらに具備してもよい。これにより、基本形状が推定されるという作用をもたらす。

[0017] また、本技術の第2の側面は、チャンバー内においてエッチングされた試料の形状を基本形状として記憶する基本形状記憶部と、上記チャンバー内における物理量に関連する上記試料の加工条件と上記基本形状とに基づいて上記物理量を推定する物理量推定部と、上記加工条件に基づいて上記試料を加工する加工部と、上記推定された物理量に基づいて上記加工条件を変更して

新たな加工条件として前記加工部に供給する制御部とを具備する加工装置、および、当該装置における加工方法である。これにより、加工条件と基本形状とから物理量が推定されるという作用をもたらす。

発明の効果

[0018] 本技術によれば、エッチングプロセスのシミュレーションをパラメータを変更しながら繰り返し実行する際に物理量を効率的に推定することができるという優れた効果を奏し得る。なお、ここに記載された効果は必ずしも限定されるものではなく、本開示中に記載されたいずれかの効果であってもよい。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]第1の実施の形態におけるシミュレータの一構成例を示すブロック図である。

[図2]第1の実施の形態におけるシミュレーション方法を説明するための図である。

[図3]第1の実施の形態におけるシミュレーション方法と比較例とを比較するための図である。

[図4]第1の実施の形態におけるシミュレータの動作の一例を示すフローチャートである。

[図5]第1の実施の形態における摂動形状演算処理の一例を示すフローチャートである。

[図6]第2の実施の形態におけるシミュレータの一構成例を示すブロック図である。

[図7]第2の実施の形態におけるイオン入射角度分布およびイオンエネルギー分布の一例を示すグラフである。

[図8]第2の実施の形態におけるシミュレーション方法を説明するための図である。

[図9]第2の実施の形態におけるシミュレーション方法と比較例とを比較するための図である。

[図10]第2の実施の形態における失活度分布演算処理の一例を示すフローチャートである。

[図11]第2の実施の形態の第1の変形例における失活度分布演算処理の一例を示すフローチャートである。

[図12]第2の実施の形態の第2の変形例におけるシミュレータの一構成例を示すブロック図である。

[図13]第3の実施の形態におけるシミュレータの一構成例を示すブロック図である。

[図14]第3の実施の形態における紫外線ダメージ分布演算処理の一例を示すフローチャートである。

[図15]第3の実施の形態の変形例におけるシミュレータの一構成例を示すブロック図である。

[図16]第4の実施の形態におけるシミュレータの一構成例を示すブロック図である。

[図17]第4の実施の形態におけるシミュレータの動作の一例を示すフローチャートである。

[図18]第5の実施の形態における製造システムの一例を示す全体図である。

[図19]第5の実施の形態における製造システムの動作の一例を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、本技術を実施するための形態（以下、実施の形態と称する）について説明する。説明は以下の順序により行う。

1. 第1の実施の形態（基本形状から電界分布を推定する例）
2. 第2の実施の形態（基本形状から失活度分布を推定する例）
3. 第3の実施の形態（基本形状から紫外線ダメージ分布を推定する例）
4. 第4の実施の形態（基本形状を推定し、電界分布を推定する例）
5. 第5の実施の形態（基本形状から電界分布を推定して加工を行う例）

[0021] <1. 第1の実施の形態>

[シミュレータの構成例]

図1は、第1の実施の形態におけるシミュレータ100の一構成例を示すブロック図である。このシミュレータ100は、プラズマによりエッチングされる試料の形状などを推定する装置であり、入力部110、摂動形状演算部120および出力部170を備える。摂動形状演算部120は、基本形状記憶部121、電界分布演算部122、単位時間毎摂動形状演算部123および摂動形状合成部124を備える。なお、シミュレータ100は、特許請求の範囲に記載の情報処理装置の一例である。

[0022] シミュレータ100において、OS (Operation System) は、Windows (登録商標)、Linux (登録商標)、Unix (登録商標)、Macintosh (登録商標) のいずれでもよい。また、プログラミング言語は、C/C++ (登録商標) や、Fortran、JAVA (登録商標) などのいずれでもよい。

[0023] 入力部110は、GUI (Graphical User Interface) などを介して、プラズマエッチングのシミュレーションに必要な入力データを摂動形状演算部120に入力するものである。入力データとして、例えば、加工条件を示す各種のパラメータと基本形状データとが入力される。

[0024] ここで、基本形状データは、チャージング効果を含まない場合の試料の形状を基本形状として示すデータである。例えば、一辺がA (Aは実数) ナノメートル (nm) の矩形の開口部を設けたレジストマスクで試料表面を覆ってプラズマエッチングを行った場合を考える。エッチングレートがB (Bは実数) ナノメートル毎秒 (nm/s) である場合、エッチング開始から1秒後において、1辺がAナノメートルの矩形の底面と、 $A \times B$ ナノメートルの4つの矩形の側面とを持つ凹部が試料に形成される。この凹部が形成された試料の断面形状、または、立体形状が基本形状として入力される。実際のエッチングにおいては、上述したように、チャージング効果により粒子の軌道が変化して、試料の側面が複雑な形状に加工される。しかし、基本形状データにおいては、チャージング効果による摂動形状変化については考慮されず

、側面は深さ方向にほぼ平行で、凹凸のない平面または曲面として扱われる。

[0025] 上述の基本形状データは、シミュレーションの開始前において予め演算されたものが入力される。この基本形状データは、例えば、エッチング期間における、単位時間ごとの基本形状を含む。例えば、基本形状データは、基本形状 $Vbase(1)$ 乃至 $Vbase(S)$ を含む。ここで、 S は、エッチング期間（例えば、60秒間）を単位時間（例えば、1秒）で割った値（「60」など）であり、 $Vbase(s)$ は、エッチング開始から s (s は1乃至 S の整数) $\times$ 単位時間が経過した時刻の基本形状を示す。それぞれの基本形状 $Vbase(s)$ は、例えば、複数のボクセルのそれぞれの座標と、ボクセルの属性とを含む。ボクセルは、体積の要素であり、立方体などが用いられる。属性は、ボクセルに存在する物質の種類を示し、例えば、シリコン、空気やレジストマスクなどが属性として設定される。

[0026] なお、シミュレータ100は、基本形状の進展をボクセル法により推定しているが、ストリング法やレベルセット法などにより推定してもよい。また、計算の次元は、2次元、3次元を問わない。

[0027] また、加工条件を示すパラメータは、電極のバイアスパワーと、イオンのフラックス量と、エッチング特性データ内のパラメータとを含む。このエッチング特性データは、ボクセルごとに用意され、立体角、イオンの入射エネルギー、フラックスベクトル、保護膜厚、エッチレートベクトル、および、イオン衝撃によるダメージ量などを含む。ここで、フラックスベクトルは、例えば、イオン、電子およびラジカルのそれぞれのフラックスのベクトルである。立体角は、パターン開口を見込むボクセルの3次元的角度である。

[0028] 基本形状記憶部121は、基本形状データおよびパラメータを記憶するものである。なお、基本形状記憶部121は、特許請求の範囲に記載の基本形状記憶部の一例である。

[0029] 電界分布演算部122は、チャンバー内の物理量として、電界分布を演算により推定するものである。この電界分布演算部122は、まず、最初の基

本形状 V b a s e (1) と、その基本形状に対応するフラックスベクトルとを基本形状記憶部 1 2 1 から読み出し、次のポアソン方程式を用いて電位分布を演算する。

[数1]

$$\Delta\Phi = -\frac{e}{\epsilon_0}(n_i - n_e) \quad \dots \text{式1}$$

上式において、 Φ は電位分布であり、左辺は、電位分布を位置 (x 、 y) により2階微分して得られた電位勾配を示す。ここで、 y は深さ方向における座標であり、 x は深さ方向に垂直な方向における座標である。右辺の e は、素電荷を示し、イプシロンは誘電率を示す。また、 n_i は、ボクセル内のイオン密度を示し、 n_e は、ボクセル内の電子密度を示す。

[0030] そして、電界分布演算部 1 2 2 は、求めた電位分布から、次の式を用いて電界分布 E を推定し、単位時間毎摂動形状演算部 1 2 3 に供給する。なお、電界分布演算部 1 2 2 は、特許請求の範囲に記載の物理量推定部の一例である。

[数2]

$$E = -\nabla\Phi \quad \dots \text{式2}$$

[0031] 単位時間毎摂動形状演算部 1 2 3 は摂動形状を演算により推定するものである。この単位時間毎摂動形状演算部 1 2 3 は、入力部 1 1 0 で入力された入射エネルギーを持つテストイオンをレジストマスクのパターン直上から電界分布 E の下で試料に入射する場合の、それぞれのイオンの軌跡を次の式を解くことにより求める。テストイオンは、所定個数 (20 個など) 入射されるものとして演算が行われ、運動方程式を解くことでテストイオンごとに軌跡が求められる。

$$d v_x / d t = e E_x / m \quad \dots \text{式3}$$

$$d v_y / d t = e E_y / m \quad \dots \text{式4}$$

[0032] 式3および式4において、 v_x は、 x 方向におけるイオンの速度であり、 v

v_y は、 y 方向におけるイオンの速度である。これらの速度の単位は、例えば、メートル毎秒 (m/s) である。 E_x は、 x 方向における電界分布であり、 E_y は、 y 方向における電界分布である。これらの電界分布の単位は、例えば、ボルト毎メートル (V/m) である。 m は、イオンの質量であり、単位は、例えば、キログラム (kg) である。なお、ここでは、 x 方向および y 方向により表される2次元空間において演算を行っているが、さらに z 方向を加えて3次元空間において演算を行ってもよい。

[0033] 電界分布の影響により、テストイオンの軌跡が深さ方向と異なる方向に曲げられ、テストイオンは側面や底面のボクセルに到達する。単位時間毎摂動形状演算部123は、到達したボクセルに対応するイオンフラックスベクトルと、式3および式4から得られるイオンの入射ベクトルとのなす角度を算出する。算出した角度が所定の角度閾値以上であれば、単位時間毎摂動形状演算部123は、そのボクセルを、エッチングより除去される除去ボクセルとする。単位時間毎摂動形状演算部123は、除去ボクセルのそれぞれの座標を示す摂動形状 $V_{side}(1)$ を生成して摂動形状合成部124に供給する。なお、単位時間毎摂動形状演算部123は、特許請求の範囲に記載の摂動形状推定部の一例である。

[0034] 摂動形状合成部124は、摂動形状 $V_{side}(1)$ と、その次の時刻の基本形状 $V_{base}(2)$ とを合成する処理を行うものである。この摂動形状合成部124は、例えば、基本形状 $V_{base}(2)$ において、摂動形状 $V_{side}(1)$ の示す除去ボクセルの属性をシリコンから空気に変更する処理を合成処理として行う。摂動形状合成部124は、合成後の形状を合成形状 $V_{out}(2)$ として出力部170および電界分布演算部122に供給する。

[0035] 電界分布演算部122は、合成形状 $V_{out}(2)$ から電界分布を求め、単位時間毎摂動形状演算部123は、その電界分布から摂動形状 $V_{side}(2)$ を求める。摂動形状合成部124は、摂動形状 $V_{side}(2)$ および基本形状 $V_{base}(3)$ を合成して合成形状 $V_{out}(3)$ を出力する。

。 $s = 3$ 以降においても同様に、電界分布演算部 122 は、合形状 $V_{out}(s)$ から電界分布を求め、単位時間毎摂動形状演算部 123 は、その電界分布から摂動形状 $V_{side}(s)$ を求める。摂動形状合成部 124 は、摂動形状 $V_{side}(s)$ および基本形状 $V_{base}(s+1)$ を合成して合形状 $V_{out}(s+1)$ を出力する。

[0036] 出力部 170 は、シミュレーション結果を出力するものである。例えば、合形状 $V_{out}(1)$ 乃至 $V_{out}(S)$ がシミュレーション結果として出力される。最初の合形状 $V_{out}(1)$ については摂動形状合成部 124 で演算されないため、最初的基本形状 $V_{base}(1)$ がそのまま合形状 $V_{out}(1)$ として出力される。なお、このシミュレーション結果は、GUI により可視化してもよい。また、シミュレーション結果の出力や可視化は、演算の全てが完了したときに行ってもよいし、演算中にリアルタイムに行ってもよい。

[0037] このように、個数を限定したテスト粒子を用いてチャージング効果を扱う方法であるので、摂動形状については、モンテカルロ法を用いて詳細形状（基本形状＋摂動形状）を計算する従来手法よりも効率よく形状計算することができる。特に、アスペクト比の高いエッチングを行う試料について、モンテカルロ法を用いる場合よりも高速に形状を推定することができる。

[0038] また、予め基本形状を演算しておき、摂動形状のみを演算するため、モンテカルロ法により全体の形状を演算する場合と比較して計算量が少なくなる。

[0039] 図 2 は、第 1 の実施の形態におけるシミュレーション方法を説明するための図である。まず、基本形状データおよびパラメータを含む入力データ 500 が入力される。入力データ 500 は、データ 501 やデータ 502 などの複数のデータを時系列順に含む。また、それぞれのデータにおいて、斜線のボックスは、エッチングされる半導体の属性を持つボクセルを示し、灰色のボックスは、レジストマスクの属性を持つボクセルを示す。白いボックスは空気の属性を持つボクセルを示す。また、空気に隣接する半導体のボクセル

における矢印は、イオンフラックスベクトルを示す。イオンフラックスベクトルを除いたボクセルからなるデータは、基本形状データに該当する。

[0040] シミュレータ100は、それぞれの基本形状と、その前の時刻の摂動形状とを合成し、その合形状から電界分布を求め、その電界分布からイオンの輸送軌跡を求める。例えば、時刻 $s=2$ のデータ502の基本形状と、前の時刻 $s=1$ の摂動形状とが合成され、合形状511が生成される。この合形状511において、丸は、テストイオンを示し、点線は、テストイオンの輸送軌跡を示す。

[0041] そして、シミュレータ100は、イオンが到達したシリコンのボクセル512のイオンフラックスベクトルと、そのボクセル512へのイオンの入射ベクトルとのなす角度を求める。その角度が角度閾値以上となった場合、シミュレータ100は、そのボクセル512を除去ボクセルとして選択する。シミュレータ100は、次の時刻 $s=3$ のデータ503の基本形状において除去ボクセル512の属性を半導体から空気に変更して合形状513とする。この合形状513において、シミュレータ100は、電界分布を求め、その電界分布内でイオンの到達したボクセル514を除去ボクセルとして選択する。以下、同様の処理が、エッチング終了の時刻まで繰り返し実行される。

[0042] 具体的な計算例として、例えば、レジスト初期状態がスペース200ナノメートル（nm）で、線幅120ナノメートル（nm）である5つのシリコンゲートパターンを加工する場合について考える。シリコン膜厚は、例えば、170ナノメートル（nm）で、BARC(反射防止コーティング材)膜厚は、50ナノメートル（nm）である。また、加工装置として、上部電極印加周波数60メガヘルツ（MHz）および下部電極印加周波数13.5メガヘルツ（MHz）の2周波のCCP(Conductively Coupled Plasma)装置が用いられる。なお、加工装置は、CCP装置に限定されない。

[0043] また、基本形状は、下記のウェハ・エッチング条件の下で、予めボクセルースラブモデルによりシミュレーションされる。その詳細は、例えば、「N.K

uboi, et al., Prediction of Plasma-Induced Damage Distribution during Silicon Nitride Etching Using Advanced 3D Voxel Model, International Symposium on Dry Process 2014.」に記載されている。ただし、適用工程や加工条件は一例に過ぎない。

ウェハ開口率：80%、

BARCエッチングステップ

ソース電力：200ワット (W)

バイアス電力：70ワット (W)

Cl_2 および O_2 の混合ガス圧力：20ミリトル (mTorr)

下部電極（ウェハ）温度：55度 (°C)

シリコンエッチングステップ

ソース電力：200ワット (W)

バイアス電力：100ワット (W)

HBr および O_2 の混合ガス圧力15ミリトル (mTorr)

下部電極（ウェハ）温度：55度 (°C)

[0044] 上述のBARCエッチングステップにおいて、 Cl_2 ガスおよび O_2 ガスの流量は、例えば、いずれも20標準立方センチメートル毎分 (sccm: standard cubic centimeters per minute) である。また、シリコンエッチングステップにおいて HBr ガスの流量は、例えば、150標準立方センチメートル毎分 (sccm) であり、 O_2 ガスの流量は、1標準立方センチメートル毎分 (sccm) である。

[0045] そして、予め求めておいた基本形状から、シミュレータ100は、摂動形状を求める。例えば、シリコン (Si) ゲートの両側壁から20ナノメートル (nm) 以内の領域からテストイオン20個がエネルギー $V_{pp} = 300$ ボルト (V) で入射された場合において、シリコンに隣接する、空気属性のボクセル内での軌跡の接線が求められる。シミュレータ100は、その接線と、空気に隣接するシリコン属性のボクセルの持つエッチングベクトルとの角度を算出し、閾値角度（例えば、45度）以上のボクセルを除去ボクセルと

する。これらの計算手順をエッチング期間（例えば、60秒）経過まで繰り返すことで、シミュレータ100は、チャージング効果によって生じたゲート寸法を50ナノメートル（nm）と予測することができる。

[0046] 図3は、第1の実施の形態におけるシミュレーション方法と比較例とを比較するための図である。同図におけるaは、第1の実施の形態におけるシミュレーション方法を説明するための図である。シミュレータ100は、予め基本形状を演算しておき、加工条件を示すパラメータ群1が入力されると、それらのパラメータを用いて摂動形状を演算により推定する。次に、バイアスパワー、フラックス量やフラックスベクトルなど、電界分布に関連するパラメータ（加工条件）を変更したパラメータ群2、3が入力されると、シミュレータ100は、それぞれのパラメータ群から摂動形状を推定する。

[0047] 図3におけるbは、全てモンテカルロ法を用いる比較例のシミュレーション方法を説明するための図である。この比較例のシミュレータは、パラメータ群1から、試料全体の形状を演算により推定する。そして、パラメータ群2、3が入力されると、シミュレータは、それぞれのパラメータ群から、試料の詳細形状（基本形状+摂動形状）を再度推定する。

[0048] 図3におけるaに例示したように、シミュレータ100は、予め基本形状を演算しておき、電位分布に関連するパラメータから摂動形状を演算する。このため、それらのパラメータが変更された場合に基本形状を演算する必要がなくなり、演算時間を劇的に短縮することができる。これに対して、同図におけるbに例示したように、比較例では、パラメータが変更されるたびに再度、全ての演算を繰り返す必要があり、シミュレーション期間が長期化してしまう。

[0049] [シミュレータの動作例]

図4は、第1の実施の形態におけるシミュレータ100の動作の一例を示すフローチャートである。この動作は、例えば、シミュレーションを行うための所定のアプリケーションが実行されたときに開始する。シミュレータ100は、加工条件および基本形状を含む入力データの入力を受け付ける（ス

テップS901)。

[0050] 入力データが入力されると、シミュレータ100は、摂動形状を演算するための摂動形状演算処理を実行し(ステップS910)、シミュレーション結果を出力する(ステップS902)。

[0051] 図5は、第1の実施の形態における摂動形状演算処理の一例を示すフローチャートである。シミュレータ100は、時刻 s を「1」に初期化し(ステップS911)、 s 秒目の基本形状を対応するパラメータとともに読み出す(ステップS912)。そして、シミュレータ100は、電界分布を演算し(ステップS913)、その電界分布に基づいてイオンの軌跡を演算し、除去ボクセルを選択する(ステップS914)。シミュレータ100は、 s をインクリメントし(ステップS915)、 s 秒目の基本形状を対応するパラメータとともに読み出す(ステップS916)。シミュレータ100は、読み出した基本形状に除去ボクセルを示す摂動形状を合成する(ステップS917)。

[0052] そして、シミュレータ100は、エッチング終了時刻(例えば、 $s=60$)であるか否かを判断する(ステップS918)。エッチング終了時刻でない場合に(ステップS918:No)、シミュレータ100は、ステップS913以降を繰り返す。一方、エッチング終了時刻である場合に(ステップS918:Yes)、シミュレータ100は、摂動形状演算処理を終了する。

[0053] このように、本技術の第1の実施の形態によれば、基本形状を記憶しておき、加工条件と基本形状とに基づいて、電界分布を物理量として推定するため、加工条件が変更されても基本形状を再計算する必要がなくなる。これにより、電位分布の推定を効率的に行うことができる。

[0054] <2. 第2の実施の形態>

上述の第1の実施の形態では、シミュレータ100は、電界分布を推定していたが、チャンバー内の物理量であれば、電界分布以外の物理量を推定してもよい。例えば、シミュレータ100は、電界分布の代わりに、半導体内

に注入されている不純物の失活度の分布を推定することもできる。ここで、失活度は、イオンの衝突により生じた格子間シリコン（Si）が資料内部へ拡散することにより、試料中の不純物の濃度が初期値から低下する度合いを示す。この第2の実施の形態のシミュレータ100は、電界分布の代わりに失活度分布を物理長として推定する点において第1の実施の形態と異なる。

[0055] 図6は、第2の実施の形態におけるシミュレータ100の一構成例を示すブロック図である。第2の実施の形態のシミュレータ100は、摂動形状演算部120の代わりに、失活度分布演算部130を備える点において第1の実施の形態と異なる。

[0056] 失活度分布演算部130は、基本形状記憶部131、入射イオン個数演算部132、イオン侵入分布演算部133、格子間シリコン分布演算部134、単位時間毎失活度分布演算部135および失活度分布合成部136を備える。

[0057] また、第2の実施の形態におけるパラメータは、イオン衝撃による格子間シリコンの生成率および拡散係数と、格子間シリコンが周囲の不純物と反応する際の活性化エネルギーと、ウェハ温度と、エッチング特性データ内のパラメータとを含む。

[0058] また、第2の実施の形態におけるエッチング特性データは、イオンエネルギー分布（IEDF：Ion Energy Distribution Function）を含む。また、エッチング特性データは、イオン入射角分布（IADF：Ion Angular Distribution Function）を含む。また、エッチング特性データは、IEDFおよびIADFのほか、イオンの入射エネルギー、エッチレートベクトル、保護膜厚、および、イオン衝撃によるダメージ量を含む。

[0059] 基本形状記憶部131は、第1の実施の形態と同様に基本形状データと、加工条件を示すパラメータとを記憶する。

[0060] 入射イオン個数演算部132は、ボクセルごとに、そのボクセルに入射されるイオンの個数を演算するものである。この入射イオン個数演算部132は、まず、基本形状Vbase(s)と、その基本形状に対応するエッチン

グ特性データとを読み出す。次に、入射イオン個数演算部 1 3 2 は、I E D F および I A D F から、それぞれのボクセルについて、単位立体角 d R ごとに入射するイオン個数をエネルギー幅 d E ごとに算出し、イオン侵入分布演算部 1 3 3 に供給する。

[0061] イオン侵入分布演算部 1 3 3 は、ボクセルごとに、侵入するイオンの個数を示すイオン侵入分布を演算するものである。このイオン侵入分布演算部 1 3 3 は、ボクセルごとのイオン数から、イオン侵入分布を演算し、格子間シリコン分布演算部 1 3 4 に供給する。

[0062] 格子間シリコン分布演算部 1 3 4 は、イオン侵入分布から、ボクセルごとの格子間シリコンの濃度を示す格子間シリコン分布を演算するものである。エッチレートベクトル方向へイオンがシリコン内に侵入する際に、イオンがエネルギーごとに減衰を受けながら、格子間シリコンの生成確率関数 $G(E)$ に応じて格子間シリコンをボクセル内に生成する。この前提に基づき、格子間シリコン分布演算部 1 3 4 は、次の式に、入射エネルギー E および保護膜圧 T を入力して、生成確率関数 $G(E)$ を求める。入射エネルギーの単位は、例えば、ジュール (J) であり、保護膜圧の単位は、例えば、マイクロメートル (μm) である。

$$G(E) = b_0 \times \{ (E')^{1/2} - (E_{th})^{1/2} \} \quad \dots \text{式 5}$$

$$E' = E - f(T_0 + x) \quad \dots \text{式 6}$$

[0063] 式 5 において b_0 は、実数の係数であり、 E_{th} は、格子間シリコンが生成する際の閾値のエネルギーである。また、式 6 において $f()$ は、 $T_0 + x$ の値が大きいほど、大きな値を返す減衰関数である。

[0064] そして、格子間シリコン分布演算部 1 3 4 は、生成関数 $G(E)$ を用いて、エッチレートベクトル方向にダメージ量のデータが存在するボクセルまで、格子間シリコンの濃度の計算を継続する。格子間シリコン分布演算部 1 3 4 は、求めた格子間シリコン分布を単位時間毎失活度分布演算部 1 3 5 に供給する。

[0065] 単位時間毎失活度分布演算部 1 3 5 は、格子間シリコン分布から、ボクセ

ルごとの失活度を示す失活度分布を演算するものである。単位時間毎失活度分布演算部 135 は格子間シリコンの濃度から、次の式を使用して濃度拡散計算を行い、不純物濃度を求める。

[数3]

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = D_i \left(\frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_i}{\partial y^2} \right) - 4\pi a_T D_i C_i C_B \quad \dots \text{式7}$$

[数4]

$$\frac{\partial C_B}{\partial t} = \frac{4\pi a_T D_i C_i C_B}{n} \quad \dots \text{式8}$$

$$D_i = D_0 \exp(-E_d / k_B T) \quad \dots \text{式9}$$

$$a_T = a_0 \exp(-E_b / k_B T) \quad \dots \text{式10}$$

[0066] 式7において、 C_i は、格子間シリコンの濃度であり、 D_i は、拡散係数である。 t は時間であり、 a_T は、反応係数である。 C_B は、ボロンなどの不純物濃度である。 C_i および C_B の濃度の単位は、例えば、毎立方メートル（ m^3 ）である。式8において、 n は、反応個数である。式9において、 D_0 は、実数の係数である。 E_d は、拡散に關与する活性化エネルギーである。 k_B は、ボルツマン定数であり、 T は温度である。温度 T の単位は例えばケルビン（K）である。式10において、 a_0 は、実数の係数である。 E_b は、反応に關与する活性化エネルギーである。 E_d および E_b の単位は、例えば、エレクトロンボルト（eV）である。

[0067] 単位時間毎失活度分布演算部 135 は、求めた不純物濃度の初期値からの低下の度合いを失活度として算出し、ボクセルごとの失活度を示す失活度分布 $D_{b_step}(s)$ を生成する。単位時間毎失活度分布演算部 135 は、 $D_{b_step}(s)$ を失活度分布合成部 136 に供給する。なお、単位時間毎失活度分布演算部 135 は、特許請求の範囲に記載の物理量推定部の一例である。

[0068] 失活度分布合成部 136 は、前回の合成失活度分布 $D_{b_out}(s-1)$ と今回の失活度分布 $D_{b_step}(s)$ とを合成して今回の合成失活度分布 D_{b_o}

ut (s) を生成するものである。合成においては、例えば、ボクセルごとに、そのボクセルの今回の失活度と前回の失活度とが加算される。失活度分布合成部 136 は、合成失活度分布 $D_{b_out}(s)$ を出力部 170 に出力する。最初の失活度分布については、前回の合成失活度分布が存在しないため、 $D_{b_step}(s)$ が、そのまま $D_{b_out}(s)$ として出力される。このようにして、シミュレータ 100 は、ゲート酸化膜下にある、ソース領域およびドレイン領域の不純物の失活度を求めることができる。

[0069] 図 7 は、第 2 の実施の形態におけるイオン入射角度分布 (IADF) およびイオンエネルギー分布 (IEDF) の一例を示すグラフである。同図における a は、イオン入射角分布の一例を示す図である。同図における a の縦軸は、イオン数を示し、横軸は、入射角度を示す。同図における b は、イオンエネルギー分布の一例を示すグラフである。同図における b の縦軸は、イオン数を示し、横軸は、イオンの入射エネルギーを示す。

[0070] シミュレータ 100 は、これらの分布から、それぞれのボクセルについて、単位立体角 dR ごとに入射するイオン個数をエネルギー幅 dE ごとに算出する。

[0071] 図 8 は、第 2 の実施の形態におけるシミュレーション方法を説明するための図である。第 2 の実施の形態の入力データ 500 は、基本形状と、イオン衝撃によるダメージ量などのパラメータとを含む。同図において、太い実線で囲ったボクセルは、ダメージ量の大きなボクセルを示し、太い点線で囲ったボクセルはダメージ量の少ないボクセルを示す。

[0072] シミュレータ 100 は、時刻 $s = 2$ の基本形状と、その基本形状に対応するパラメータとから、失活度分布 521 を演算する。失活度分布 521 において、ボクセル内の数値は、値が大きいほど失活度が高いことを示す。シミュレータ 100 は、今回の失活度分布 521 と、前回の合成失活度分布とを合成して、今回の合成失活度分布 522 を生成する。そして、シミュレータ 100 は、次の時刻 $s = 3$ の基本形状と、その基本形状に対応するパラメータとから、失活度分布 523 を演算する。シミュレータ 100 は、今回の失

活度分布 5 2 3 と、前回の合成失活度分布 5 2 2 とを合成して、今回の合成失活度分布 5 2 4 を生成する。以下、同様の手順で、エッチングが終了する時刻まで、単位時間ごとの合成失活度分布が生成される。

[0073] 図 9 は、第 2 の実施の形態におけるシミュレーション方法と比較例とを比較するための図である。同図における a は、第 2 の実施の形態におけるシミュレーション方法を説明するための図である。シミュレータ 100 は、予め基本形状を演算しておき、パラメータ群 1 が入力されると、それらのパラメータを用いて失活度分布を演算により推定する。次に、格子間シリコンの生成率および拡散係数や、活性化エネルギーなど、失活度分布に関連するパラメータを変更したパラメータ群 2、3 が入力されると、シミュレータ 100 は、それぞれのパラメータ群から失活度分布を推定する。

[0074] 図 9 における b は、全ての計算をモンテカルロ法で行う比較例のシミュレーション方法を説明するための図である。この比較例のシミュレータは、パラメータ群 1 から、基本形状および失活度分布を演算により推定する。そして、パラメータ群 2、3 が入力されると、シミュレータは、それぞれのパラメータ群から、基本形状および失活度分布を再度推定する。

[0075] 図 9 における a に例示したように、シミュレータ 100 は、予め基本形状を演算しておき、失活度分布に関連するパラメータから失活度分布を演算する。このため、それらのパラメータが変更された場合に基本形状を演算する必要がなくなり、演算時間を劇的に短縮することができる。これに対して、同図における b に例示したように、比較例では、パラメータが変更されるたびに再度、全ての演算を繰り返す必要があり、シミュレーション期間が長期化してしまう。

[0076] 図 10 は、第 2 の実施の形態における失活度分布演算処理の一例を示すフローチャートである。第 2 の実施の形態においては、摂動形状演算処理の代わりに、失活度分布演算処理（ステップ S 920）が行われる。

[0077] シミュレータ 100 は、時刻 s を「1」に初期化し（ステップ S 921）、 s 秒目の基本形状を対応するパラメータとともに読み出す（ステップ S 9

22)。そして、シミュレータ100は、ボクセルごとに入射イオンの個数を演算し（ステップS923）、その個数からイオン侵入分布を演算する（ステップS924）。そして、シミュレータ100は、イオン侵入分布から格子間シリコン分布を演算し（ステップS925）、その格子間シリコン分布から失活度分布を演算する（ステップS926）。シミュレータ100は、前回の合成失活度分布と今回の失活度分布とを合成し（ステップS927）、時刻sをインクリメントして（ステップS928）、エッチング終了時刻であるか否かを判断する（ステップS929）。エッチング終了時刻でない場合に（ステップS929：No）、シミュレータ100は、ステップS922以降を繰り返す。一方、エッチング終了時刻である場合に（ステップS929：Yes）、シミュレータ100は、失活度分布演算処理を終了する。

[0078] このように、本技術の第2の実施の形態によれば、基本形状を記憶しておき、加工条件と基本形状とに基づいて、失活度分布を物理量として推定するため、加工条件が変更されても基本形状を再計算する必要がなくなる。これにより、失活度分布の推定を効率的に行うことができる。

[0079] [第1の変形例]

上述の第2の実施の形態では、単位時間ごとに失活度分布および合成失活度分布を演算していたが、単位時間ごとに失活度分布の演算のみを行い、それらの演算結果を一括して合成してもよい。この場合には、エッチング中の単位時間ごとの合成失活度分布は得られず、エッチング終了時点の1つの合成失活度分布のみが得られる。第2の実施の形態の第1の変形例におけるシミュレータ100は、単位時間ごとに失活度分布の演算のみを行い、それらの演算結果を一括して合成する点において第2の実施の形態と異なる。

[0080] 図11は、第2の実施の形態の第1の変形例における失活度分布演算処理の一例を示すフローチャートである。第1の変形例の失活度分布演算処理は、失活度分布の合成（ステップS927）を、エッチング時刻の終了後（ステップS929：Yes）に行う点において第2の実施の形態と異なる。

[0081] このように、第2の実施の形態の第1の変形例によれば、単位時間ごとの失活度分布を一括して合成するため、合成に必要な演算量を少なくし、演算時間を短くすることができる。

[0082] [第2の変形例]

上述の第2の実施の形態では、失活度分布の演算のみを行っていたが、さらに摂動形状の演算を行ってもよい。第2の実施の形態の第2の変形例のシミュレータ100は、失活度分布および摂動形状の両方の演算を行う点において第2の実施の形態と異なる。

[0083] 図12は、第2の実施の形態の第2の変形例におけるシミュレータ100の一構成例を示すブロック図である。第2の実施の形態の第2の変形例におけるシミュレータ100は、摂動形状演算部120をさらに備える点において第2の実施の形態と異なる。

[0084] 第2の変形例のパラメータは、電界分布に関連するパラメータ（フラックスベクトルなど）と、失活度分布に関連するパラメータ（活性化エネルギーなど）との両方を含む。

[0085] 第2の変形例の摂動形状演算部120は、第1の実施の形態と同様の手順で摂動形状を演算し、単位時間ごとの合形状をパラメータとともに失活度分布演算部130に供給する。

[0086] 第2の変形例の失活度分布演算部130は、基本形状の代わりに合形状を記憶し、その合形状とパラメータとから失活度分布を演算する。

[0087] このように、第2の実施の形態の第2の変形例によれば、シミュレータ100は、基本形状を記憶しておき、加工条件と基本形状とに基づいて、摂動形状および失活度分布を推定するため、加工条件が変更されても基本形状を再計算する必要がなくなる。これにより、摂動形状および失活度分布の推定を効率的に行うことができる。

[0088] <3. 第3の実施の形態>

上述の第1の実施の形態では、シミュレータ100は、電界分布を推定していたが、チャンバー内の物理量であれば、電界分布以外の物理量を推定し

てもよい。例えば、シミュレータ 100 は、電界分布の代わりに、紫外線ダメージ分布を推定することもできる。ここで、紫外線ダメージ分布は、試料内の紫外線ダメージの分布を示し、例えば、ボクセルごとの紫外線ダメージ量により表される。この紫外線ダメージ量は、チャンバー内においてエッチングガスに起因して生じた紫外線光によって試料内に発生した格子欠陥量である。この第 3 の実施の形態のシミュレータは、電界分布の代わりに、紫外線ダメージ分布を物理量として推定する点において第 1 の実施の形態と異なる。

[0089] 図 13 は、第 3 の実施の形態におけるシミュレータ 100 の一構成例を示すブロック図である。第 3 の実施の形態のシミュレータ 100 は、摂動形状演算部 120 の代わりに紫外線ダメージ分布演算部 140 を備える点において第 1 の実施の形態と異なる。

[0090] 紫外線ダメージ分布演算部 140 は、基本形状記憶部 141、光侵入分布演算部 142、単位時間毎紫外線ダメージ分布演算部 143 および紫外線ダメージ分布合成部 144 を備える。

[0091] また、第 3 の実施の形態におけるパラメータは、紫外線の波長と、エッチング特性データ内のパラメータとを含む。また、第 3 の実施の形態におけるエッチング特性データは、入射紫外線の強度、ラジカルフラックスベクトル、保護膜厚、および、イオン衝撃によるダメージ量を含む。

[0092] 基本形状記憶部 141 は、第 1 の実施の形態と同様に基本形状データおよびパラメータを記憶する。

[0093] 光侵入分布演算部 142 は、それぞれのボクセルに侵入する紫外線光の強度を示す光侵入分布を演算するものである。この光侵入分布演算部 142 は、まず、基本形状 $Vbase(s)$ と、その基本形状に対応するエッチング特性データ（保護膜厚 T_e など）とを読み出す。次に、光侵入分布演算部 142 は、座標 y が所定値（ $y = 0$ など）のボクセルについて、空気に隣接するボクセルから紫外線強度が設定閾値になる深さ x まで、次の式を用いてボクセル単位で光強度 $I(x)$ を演算する。 $y = 1$ 以降についても、同様に光強

度 $I(x)$ が算出される。光侵入分布演算部 142 は、ボクセルのそれぞれの光強度を単位時間毎紫外線ダメージ分布演算部 143 に供給する。

$$I(x) = I_0 \exp \{ - (b_1 \times T_c + b_2 \times x) \} \quad \dots \text{式 1 1}$$

上式において、 I_0 、 b_1 および b_2 は、実数の係数である。

[0094] 単位時間毎紫外線ダメージ分布演算部 143 は、次の式を使用して、紫外線強度 $I(x)$ から紫外線ダメージ量を演算するものである。

$$D_{uv} = F(I) \quad \dots \text{式 1 2}$$

上式において、 D_{uv} は、紫外線ダメージ量であり、 $F(I)$ は、 I が大きいほど、大きな値を返す関数である。

[0095] 単位時間毎紫外線ダメージ分布演算部 143 は、ボクセルごとの紫外線ダメージ量を示す紫外線ダメージ分布 $Du_step(s)$ を生成して、紫外線ダメージ分布合成部 144 に供給する。なお、単位時間毎紫外線ダメージ分布演算部 143 は、特許請求の範囲に記載の物理量推定部の一例である。

[0096] 紫外線ダメージ分布合成部 144 は、前回の合成ダメージ分布 $Du_out(s-1)$ と今回の紫外線ダメージ分布 $Du_step(s)$ とを合成して今回の合成ダメージ分布 $Du_out(s)$ を生成するものである。合成においては、例えば、ボクセルごとに、そのボクセルの今回の紫外線ダメージ量と前回の紫外線ダメージ量とが加算される。失活度分布合成部 136 は、合成ダメージ分布 $Du_out(s)$ を出力部 170 に出力する。最初の紫外線ダメージ分布については、前回の合成ダメージ分布が存在しないため、 $Du_step(s)$ が、そのまま $Du_out(s)$ として出力される。

[0097] このように、シミュレータ 100 は、予め基本形状を演算しておき、紫外線ダメージ分布に関連するパラメータ（紫外線波長や紫外線強度）から紫外線ダメージ分布を演算する。このため、それらのパラメータが変更された場合に基本形状を演算する必要がなくなり、演算時間を劇的に短縮することができる。

[0098] なお、第 3 の実施の形態のシミュレータ 100 は、紫外線ダメージ分布に加えて、失活度分布をさらに推定してもよい。この場合には、失活度分布に

関連するパラメータ（活性化エネルギーなど）がさらに入力され、失活度分布演算部130がシミュレータ100にさらに設けられる。シミュレータ100は、紫外線ダメージ分布および失活度分布の演算を順に行ってもよいし、並列に行ってもよい。

[0099] 図14は、第3の実施の形態における紫外線ダメージ分布演算処理の一例を示すフローチャートである。第3の実施の形態においては、摂動形状演算処理の代わりに、紫外線ダメージ演算処理（ステップS930）が行われる。

[0100] シミュレータ100は、時刻 s を「1」に初期化し（ステップS931）、 s 秒目の基本形状と、対応するパラメータとを読み出す（ステップS932）。そして、シミュレータ100は、光侵入分布を演算し（ステップS933）、その光侵入分布から紫外線ダメージ分布を演算する（ステップS934）。シミュレータ100は、前回の合成ダメージ分布と今回の紫外線ダメージ分布とを合成し（ステップS935）、時刻 s をインクリメントして（ステップS936）、エッチング終了時刻であるか否かを判断する（ステップS937）。エッチング終了時刻でない場合に（ステップS937：No）、シミュレータ100は、ステップS932以降を繰り返す。一方、エッチング終了時刻である場合に（ステップS937：Yes）、シミュレータ100は、紫外線ダメージ分布演算処理を終了する。

[0101] なお、シミュレータ100は、単位時間ごとに紫外線ダメージ分布および合成ダメージ分布を演算していたが、単位時間ごとに紫外線ダメージ分布の演算のみを行い、それらの演算結果を一括して合成してもよい。

[0102] このように、本技術の第3の実施の形態によれば、基本形状を記憶しておき、加工条件と基本形状とに基づいて、紫外線ダメージ分布を物理量として推定するため、加工条件が変更されても基本形状を再計算する必要がなくなる。これにより、紫外線ダメージ分布の推定を効率的に行うことができる。

[0103] [変形例]

上述の第3の実施の形態では、紫外線ダメージ分布の演算のみを行ってい

たが、さらに摂動形状の演算を行ってもよい。この第3の実施の形態の変形例のシミュレータ100は、紫外線ダメージ分布および摂動形状の両方の演算を行う点において第3の実施の形態と異なる。

[0104] 図15は、第3の実施の形態の変形例におけるシミュレータ100の一構成例を示すブロック図である。第3の実施の形態の変形例におけるシミュレータ100は、摂動形状演算部120をさらに備える点において第3の実施の形態と異なる。

[0105] 変形例のパラメータは、電界分布に関連するパラメータ（フラックスベクトルなど）と、紫外線ダメージ分布に関連するパラメータ（紫外線強度など）との両方を含む。

[0106] 変形例の摂動形状演算部120は、第1の実施の形態と同様の手順で摂動形状を演算し、単位時間ごとの合形状をパラメータとともに紫外線ダメージ分布演算部140に供給する。

[0107] 変形例の紫外線ダメージ分布演算部140は、基本形状の代わりに合形状を記憶し、その合形状とパラメータとから紫外線ダメージ分布を演算する。

[0108] なお、シミュレータ100は、摂動形状および紫外線ダメージ分布に加えて、失活度分布をさらに推定してもよい。この場合には、失活度分布に関連するパラメータ（活性化エネルギーなど）がさらに入力され、失活度分布演算部130がシミュレータ100にさらに設けられる。シミュレータ100は、紫外線ダメージ分布および失活度分布の演算を順に行ってもよいし、並列に行ってもよい。

[0109] このように、第3の実施の形態の変形例によれば、シミュレータ100は、基本形状を記憶しておき、加工条件と基本形状とに基づいて、摂動形状および紫外線ダメージ分布を推定するため、加工条件が変更されても基本形状を再計算する必要がなくなる。これにより、紫外線ダメージ分布の推定を効率的に行うことができる。

[0110] <4. 第4の実施の形態>

上述の第1の実施の形態では、シミュレータ100は、予め演算された基本形状が入力されると、その基本形状から摂動形状を推定していた。しかし、シミュレータ100自身が、摂動形状の推定前に基本形状を演算してもよい。この第4の実施の形態のシミュレータ100は、基本形状を演算する点において第1の実施の形態と異なる。

[0111] 図16は、シミュレータ100の一構成例を示すブロック図である。第4の実施の形態のシミュレータ100は、プラズマ状態演算部111、シース加速演算部112、開口率演算部113および形状・ダメージ演算部114をさらに備える。

[0112] また、第4の実施の形態では、レシピ情報、装置情報、計算用パラメータ、GDS (Graphic Data System) データなどの加工初期条件が入力データとして入力される。

[0113] プラズマ状態演算部111は、プラズマの状態を示すパラメータ（ガス密度など）を演算するものである。このプラズマ状態演算部111は、加工初期条件を基にバルクプラズマ中での各ガス種（イオンやラジカルなど）の密度を計算して計算結果をシース加速演算部112に供給する。ガス密度の演算は、例えば、特許5397215号に記載の手順により行われる。

[0114] シース加速演算部112は、IEDFやIADFを演算するものである。このシース加速演算部112は、ガス密度、ガス圧力、印加パワーに基づいて、バルクプラズマで生成されたイオンのシース内加速された終状としてのイオンのエネルギー分布と、パターンへの入射角度分布とを演算する。これらの演算は、例えば、「M.J.Kushner, Distribution of ion energies incident on electrodes in capacitively coupled rf discharges, J. Appl. Phys., 58, 4024 (1985)」に記載の手順により行われる。これらの分布関数に対しては実測等から得られるデータベースを用いてもよい。シース加速演算部112は、演算結果を形状・ダメージ演算部114へ供給する。

[0115] 開口率演算部113は、開口率を演算するものである。この開口率演算部113は、GDSデータや膜厚情報などから、ウェハ開口率やセミローカル

開口率を演算する。ここで、ウェハ開口率は、ウェハを被加工物とする際の、ウェハ全体の開口率である。また、セミローカル開口率は、ウェハに形成されるチップレベルの開口率である。これらの開口率の演算は、例えば、特許第5440021号に記載の手順により行われる。開口率演算部113は、計算結果を形状・ダメージ演算部114へ供給する。

[0116] 形状・ダメージ演算部114は、基本形状や、イオンによるダメージ量を演算するものである。この形状・ダメージ演算部114は、開口率に基づいてアウトフラックスや入射フラックスなどの各種のフラックスを演算する。また、形状・ダメージ演算部114は、シース加速演算部112の演算結果に基づいて、ダングリングボンド率やエッチングレートを演算する。形状・ダメージ演算部114は、それらの演算結果から、基本形状とダメージとを演算し、摂動形状演算部120に供給する。基本形状の演算には、例えば、
「N.Kuboi, et al., Prediction of Plasma-Induced Damage Distribution during Silicon Nitride Etching Using Advanced 3D Voxel Model, International Symposium on Dry Process 2014.」に記載の方法が用いられる。

[0117] なお、形状・ダメージ演算部114は、特許請求の範囲に記載の基本形状推定部の一例である。

[0118] 図17は、第4の実施の形態におけるシミュレータ100の動作の一例を示すフローチャートである。

[0119] シミュレータ100は、加工初期条件の入力を受け付ける（ステップS951）。加工初期条件が入力されると、シミュレータ100は、プラズマ状態を演算し（ステップS952）、シース加速演算を行う（ステップS953）。そして、シミュレータ100は、開口率を演算し（ステップS954）、基本形状およびダメージの演算を実行する（ステップS955）。そして、シミュレータ100は、基本形状と、電界分布に関連するパラメータとに基づいて第1の実施の形態と同様の手順で摂動形状を演算する（ステップS956）。

[0120] そして、シミュレータ100は、形状やダメージの演算結果と要求される

スペックとを比較し、スペックとの差が所定の許容範囲内であるか否かを判断する（ステップS957）。スペックとの差が許容範囲内でない場合（ステップS957：No）、シミュレータ100は、ダミーパターンの配置などを行って開口率を変更し（ステップS959）、ステップS952以降を繰り返す。一方、スペックとの差が許容範囲内である場合（ステップS957：Yes）、シミュレータ100は、シミュレーション結果を出力し（ステップS958）、動作を終了する。

[0121] このシミュレータ100は、例えば、半導体デバイスのレイアウト設計などに用いられる。なお、プロセス設計やOPC（Optical Proximity Correction）設計に関しても、補正要因をダミーパターンの配置から、プロセス条件やマスク形状へ変更することで、同様の方法で実施可能である。

[0122] また、シミュレータ100は、摂動形状の推定を行わず、その代わりに、失活度分布および紫外線ダメージ分布の少なくとも一方の推定を行ってもよい。また、シミュレータ100は、摂動形状の推定に加えて、失活度分布および紫外線ダメージ分布の少なくとも一方の推定をさらに行ってもよい。

[0123] このように、本技術の第4の実施の形態によれば、基本形状を推定して、その結果から摂動形状を推定するため、高い精度で形状の推定を行うことができる。

[0124] ＜5. 第5の実施の形態＞

上述の第4の実施の形態では、形状の推定を行っていたが、その推定結果を用いて試料の加工を行ってもよい。この第5の実施の形態は、形状等の推定結果を使用して試料の加工をさらに行う点において第4の実施の形態と異なる。

[0125] 図18は、第5の実施の形態における製造システムの一例を示す全体図である。この製造システムは、半導体デバイスを製造するものであり、シミュレータ100、加工チャンバー200、制御装置300を備える。また、製造システムは、FDC（Fault Detection & Classification）・EES（Equipment Engineering System）システム400を備える。なお、シミュレータ

１００、加工チャンバー２００および制御装置３００を含む装置は、特許請求の範囲に記載の加工装置の一例である。

[0126] ここで、加工工程は、例えば、膜厚１７０ナノメートルのポリシリコンにおけるゲートのサイドウォール加工である。また、加工初期条件として、例えば、次の条件が入力される。

ウェハ開口率：７０％、

BARCエッチングステップ

ソース電力：２００ワット（W）

バイアス電力：７０ワット（W）

Cl_2 および O_2 の混合ガス圧力：２０ミリトル（mTorr）

下部電極温度：５５度（℃）

シリコンエッチングステップ

ソース電力：２００ワット（W）

バイアス電力：１００ワット（W）

HBr および O_2 の混合ガス圧力：１５ミリトル（mTorr）

下部電極温度：５５度（℃）

[0127] 上述のBARCエッチングステップにおいて、 Cl_2 ガスおよび O_2 ガスの流量は、例えば、いずれも２０標準立方センチメートル毎分（sccm）である。また、シリコンエッチングステップにおいて HBr ガスの流量は、例えば、１５０標準立方センチメートル毎分（sccm）であり、 O_2 ガスの流量は、２標準立方センチメートル毎分（sccm）である。

[0128] 加工チャンバー２００は、半導体ウェハなどの被加工物を加工するものである。この加工チャンバー２００として、例えば、CCP型の装置が用いられる。加工チャンバー２００には、シミュレーションに必要な入力データを取得するためのOES（Optical Emission Spectroscopy）やQMS（Quadrupole Mass Spectroscopy）が実装される。同様の理由で、IRLAS（Infra

red-diode Laser Absorption Spectroscopy) 、および、エネルギースペクトルアナライザーなども実装される。これらによって加工中常時プラズマがモニタリングされている。サンプリング速度は例えば、0.1秒(s)である。加工中に、これらによって取得される情報が、加工条件とともにシミュレータ100に送信される。なお、加工チャンバー200は、特許請求の範囲に記載の加工部の一例である。

[0129] この第5の実施の形態のシミュレータ100は、上述の第4の実施の形態と同様の構成を備える。このシミュレータ100は、加工チャンバー200からのデータに基づいて、ガス密度、ガスフラックス、イオンのエネルギー分布や入射角度分布を計算する。計算時間が実加工時間よりも十分小さければすべてリアクターシミュレーションによって求めても良い。さらに、シミュレータ100は、GDSおよび膜厚情報を用いて開口率を演算し、その開口率のフラックスへの寄与を加味して、形状やダメージを演算する。

[0130] 形状やダメージの演算結果が所望のスペックから外れた場合には、シミュレータ100は、ガス流量、ガス圧力、印加パワー、ウェハ温度の順にプロセスパラメータを変更して、再計算することにより、所望スペックを満たすことができる補正条件を見つけ出す。所望のスペックとして、例えば、サイドウォールの幅60ナノメートル(nm)が設定される。この場合、例えば、所望幅の±10%の許容範囲を外れるか否かが判断される。ダメージ量については、例えば、所望量の50%の許容範囲を外れるか否かが判断される。

[0131] なお、プラズマを生成する装置であれば、ICP(Inductively Coupled Plasma)型、ECR(Electron Cyclotron Resonance)型など、CCP型以外の装置を加工チャンバー200として用いてもよい。

[0132] シミュレータ100は、補正条件を見つけた場合に、制御装置300に、その条件を伝える。一方、補正条件が見つからなかった場合にシミュレータ100は、アラート信号を生成してFDC・EESシステム400に送信する。

- [0133] なお、計算時間が実加工時間以上である場合には、シミュレータ１００は、加工中に形状やダメージを計算するのではなく、加工前に予め形状およびダメージを計算してデータベースなどに保存しておく構成であってもよい。この場合、加工チャンバー２００は、そのデータベースを利用して加工を行えばよい。
- [0134] 制御装置３００は、加工チャンバー２００を制御するものである。この制御装置３００は、シミュレータ１００が求めた補正条件に基づいて、加工チャンバー２００のプロセスパラメータを変更し、新たなパラメータ（加工条件）として加工チャンバー２００に供給する。なお、制御装置３００は、特許請求の範囲に記載の制御部の一例である。
- [0135] FDC・EESシステム４００は、異常を検知して分類する機能と、装置の運転状況の収集、監視および制御を行う装置エンジニアリング機能とを提供するものである。このFDC・EESシステム４００は、アラート信号をシミュレータ１００から受信すると、そのアラート信号を解析し、必要に応じて製造システム全体を停止させる。
- [0136] このような製造システムにより、例えば、イメージセンサ、駆動回路および信号処理回路などが製造される。また、これらのデバイスから、撮像装置などの電子機器が製造される。
- [0137] 図１９は、第５の実施の形態における製造システムの動作の一例を示すフローチャートである。まず、搬送ロボットないしは作業員により加工チャンバー２００にウェハロットがセットされ（ステップＳ９６１）、作業員などによる直接入力、ないしは、装置機能によりより自動で加工初期条件（プロセスレシピ）が入力される（ステップＳ９６２）。
- [0138] シミュレータ１００は、形状・ダメージなどのシミュレーション結果を生成する（ステップＳ９６３）。そして、シミュレータ１００は、シミュレーション結果と、所望スペックとを比較して、プロセスの補正が必要か否かを判断する（ステップＳ９６４）。プロセスの補正が必要であれば（ステップＳ９６４：Ｙｅｓ）、制御装置３００は、プロセスを補正する（ステップＳ

965)。

[0139] 一方、プロセスの補正が必要でなければ（ステップS964：No）、シミュレータ100は、現在の時間がエッチングの終了時間であるか否かを判断する（ステップS966）。終了時間でなければ（ステップS966：No）、シミュレータ100は、ステップS963以降を繰り返す。一方、終了時間であれば（ステップS966：Yes）、シミュレータ100は、動作を停止する。

[0140] また、加工チャンバー200は、チャンバー内でエッチングを行い（ステップS967）、現在の時間がエッチングの終了時間であるか否かを判断する（ステップS968）。終了時間でなければ（ステップS968：No）、加工チャンバー200は、ステップS967以降を繰り返す。終了時間であれば（ステップS968：Yes）、加工チャンバー200は、エッチングの動作を停止する。

[0141] シミュレータ100および加工チャンバー200の動作停止後、搬送ロボットないしは作業員により、ウェハロットが回収される（ステップS969）。ステップS969の後、製造動作は終了する。

[0142] なお、製造システムは、プラズマエッチングにより加工を行っているが、プラズマを用いる半導体の加工であれば、プラズマエッチングに限定されない。製造システムは、例えば、CVD（Chemical Vapor Deposition）やPVD（Physical Vapor Deposition）により加工を行ってもよい。

[0143] このように、本技術の第5の実施の形態によれば、製造システムが形状等の推定結果に基づいてエッチングを行うため、高い精度で加工を行うことができる。

[0144] なお、上述の実施の形態は本技術を具現化するための一例を示したものであり、実施の形態における事項と、特許請求の範囲における発明特定事項とはそれぞれ対応関係を有する。同様に、特許請求の範囲における発明特定事項と、これと同一名称を付した本技術の実施の形態における事項とはそれぞれ対応関係を有する。ただし、本技術は実施の形態に限定されるものではない。

く、その要旨を逸脱しない範囲において実施の形態に種々の変形を施すことにより具現化することができる。

[0145] また、上述の実施の形態において説明した処理手順は、これら一連の手順を有する方法として捉えてもよく、また、これら一連の手順をコンピュータに実行させるためのプログラム乃至そのプログラムを記憶する記録媒体として捉えてもよい。この記録媒体として、例えば、CD (Compact Disc)、MD (MiniDisc)、DVD (Digital Versatile Disc)、メモリカード、ブルーレイディスク (Blu-ray (登録商標) Disc) 等を用いることができる。

[0146] なお、ここに記載された効果は必ずしも限定されるものではなく、本開示中に記載されたいずれかの効果であってもよい。

[0147] なお、本技術は以下のような構成もとることができる。

(1) チャンバー内においてエッチングされた試料の形状を基本形状として記憶する基本形状記憶部と、

前記チャンバー内における物理量に関連する前記試料の加工条件と前記基本形状とに基づいて前記物理量を推定する物理量推定部とを具備する情報処理装置。

(2) 前記物理量推定部は、前記チャンバー内の電界分布を前記物理量として推定する

前記(1)記載の情報処理装置。

(3) 前記加工条件は、前記電界分布を生じさせる電極のバイアスパワーと前記チャンバー内の粒子のフラックス量とフラックスベクトルとの少なくとも1つを含む

前記(2)記載の情報処理装置。

(4) 前記試料の表面に垂直な深さ方向と異なる側面方向にエッチングされた前記試料の形状を前記電界分布に基づいて摂動形状として推定する摂動形状推定部をさらに具備する

前記(2)または(3)に記載の情報処理装置。

(5) 前記試料は、不純物を含む半導体であり、

前記物理量推定部は、前記不純物の濃度の初期値からの低下の度合いを示す失活度の分布を推定する

前記（１）から（４）のいずれかに記載の情報処理装置。

（６）前記試料は、不純物を含む半導体であり、

前記加工条件は、イオンの衝突により生成される格子間シリコンの生成率と、前記格子間シリコンの拡散係数と、前記格子間シリコンおよび前記不純物の反応に要する活性化エネルギーとウェハ温度との少なくとも１つを含む前記（５）記載の情報処理装置。

（７）前記物理量推定部は、前記チャンバー内に生じた紫外線光による前記試料のダメージ量の分布を前記物理量として推定する

前記（１）から（６）のいずれかに記載の情報処理装置。

（８）前記加工条件は、前記紫外線の波長と前記紫外線の強度との少なくとも一方を含む

前記（７）記載の情報処理装置。

（９）前記基本形状記憶部は、単位時間ごとの前記基本形状を記憶し、

前記物理量推定部は、前記単位時間ごとに当該単位時間に対応する前記基本形状と前記加工形状とに基づいて前記物理量を推定する

前記（１）から（８）のいずれかに記載の情報処理装置。

（１０）前記基本形状を推定して前記基本形状記憶部に保持する基本形状推定部をさらに具備する

前記（１）から（９）のいずれかに記載の情報処理装置。

（１１）チャンバー内においてエッチングされた試料の形状を基本形状として記憶する基本形状記憶部と、

前記チャンバー内における物理量に関連する前記試料の加工条件と前記基本形状とに基づいて前記物理量を推定する物理量推定部と、

前記加工条件に基づいて前記試料を加工する加工部と、

前記推定された物理量に基づいて前記加工条件を変更して新たな加工条件として前記加工部に供給する制御部と

を具備する加工装置。

(12) チャンバー内においてエッチングされた試料の形状を基本形状として記憶する基本形状記憶部から前記基本形状を読み出す読出しステップと、
前記チャンバー内における物理量に関連する前記試料の加工条件と前記基本形状とに基づいて前記物理量を推定する物理量推定ステップと
を具備する推定方法。

(13) チャンバー内においてエッチングされた試料の形状を基本形状として記憶する基本形状記憶部から前記基本形状を読み出す読出しステップと、
前記チャンバー内における物理量に関連する前記試料の加工条件と前記基本形状とに基づいて前記物理量を推定する物理量推定ステップと
を実行させるためのプログラム。

(14) チャンバー内においてエッチングされた試料の形状を基本形状として記憶する基本形状記憶部から前記基本形状を読み出す読出しステップと、
前記チャンバー内における物理量に関連する前記試料の加工条件と前記基本形状とに基づいて前記物理量を推定する物理量推定ステップと
加工部が、前記加工条件に基づいて前記試料を加工する加工ステップと、
前記推定された物理量に基づいて前記加工条件を変更して新たな加工条件として前記加工部に供給する制御ステップと
を具備する加工方法。

符号の説明

- [0148] 100 シミュレータ
 110 入力部
 111 プラズマ状態演算部
 112 シース加速演算部
 113 開口率演算部
 114 形状・ダメージ演算部
 120 摂動形状演算部
 121、131、141 基本形状記憶部

- 1 2 2 電界分布演算部
- 1 2 3 単位時間毎摂動形状演算部
- 1 2 4 摂動形状合成部
- 1 3 0 失活度分布演算部
- 1 3 2 入射イオン個数演算部
- 1 3 3 イオン侵入分布演算部
- 1 3 4 格子間シリコン分布演算部
- 1 3 5 単位時間毎失活度分布演算部
- 1 3 6 失活度分布合成部
- 1 4 0 紫外線ダメージ分布演算部
- 1 4 2 光侵入分布演算部
- 1 4 3 単位時間毎紫外線ダメージ分布演算部
- 1 4 4 紫外線ダメージ分布合成部
- 1 7 0 出力部
- 2 0 0 加工チャンバー
- 3 0 0 制御装置
- 4 0 0 F D C ・ E E S システム

請求の範囲

- [請求項1] チャンバー内においてエッチングされた試料の形状を基本形状として記憶する基本形状記憶部と、
- 前記チャンバー内における物理量に関連する前記試料の加工条件と前記基本形状とに基づいて前記物理量を推定する物理量推定部とを具備する情報処理装置。
- [請求項2] 前記物理量推定部は、前記チャンバー内の電界分布を前記物理量として推定する
- 請求項1記載の情報処理装置。
- [請求項3] 前記加工条件は、前記電界分布を生じさせる電極のバイアスパワーと前記チャンバー内の粒子のフラックス量とフラックスベクトルとの少なくとも1つを含む
- 請求項2記載の情報処理装置。
- [請求項4] 前記試料の表面に垂直な深さ方向と異なる側面方向にエッチングされた前記試料の形状を前記電界分布に基づいて摂動形状として推定する摂動形状推定部をさらに具備する
- 請求項2記載の情報処理装置。
- [請求項5] 前記試料は、不純物を含む半導体であり、
- 前記物理量推定部は、前記不純物の濃度の初期値からの低下の度合いを示す失活度の分布を推定する
- 請求項1記載の情報処理装置。
- [請求項6] 前記試料は、不純物を含む半導体であり、
- 前記加工条件は、イオンの衝突により生成される格子間シリコンの生成率と、前記格子間シリコンの拡散係数と、前記格子間シリコンおよび前記不純物の反応に要する活性化エネルギーとウェハ温度との少なくとも1つを含む
- 請求項5記載の情報処理装置。
- [請求項7] 前記物理量推定部は、前記チャンバー内に生じた紫外線光による前

記試料のダメージ量の分布を前記物理量として推定する

請求項 1 記載の情報処理装置。

[請求項8] 前記加工条件は、前記紫外線の波長と前記紫外線の強度との少なくとも一方を含む

請求項 7 記載の情報処理装置。

[請求項9] 前記基本形状記憶部は、単位時間ごとの前記基本形状を記憶し、
前記物理量推定部は、前記単位時間ごとに当該単位時間に対応する
前記基本形状と前記加工形状とに基づいて前記物理量を推定する
請求項 1 記載の情報処理装置。

[請求項10] 前記基本形状を推定して前記基本形状記憶部に保持する基本形状推定部をさらに具備する
請求項 1 記載の情報処理装置。

[請求項11] チャンバー内においてエッチングされた試料の形状を基本形状として記憶する基本形状記憶部と、
前記チャンバー内における物理量に関連する前記試料の加工条件と前記基本形状とに基づいて前記物理量を推定する物理量推定部と、
前記加工条件に基づいて前記試料を加工する加工部と、
前記推定された物理量に基づいて前記加工条件を変更して新たな加工条件として前記加工部に供給する制御部と
を具備する加工装置。

[請求項12] チャンバー内においてエッチングされた試料の形状を基本形状として記憶する基本形状記憶部から前記基本形状を読み出す読出しステップと、
前記チャンバー内における物理量に関連する前記試料の加工条件と前記読み出された基本形状とに基づいて前記物理量を推定する物理量推定ステップと
を具備する推定方法。

[請求項13] チャンバー内においてエッチングされた試料の形状を基本形状とし

て記憶する基本形状記憶部から前記基本形状を読み出す読出しステップと、

前記チャンバー内における物理量に関連する前記試料の加工条件と前記読み出された基本形状とに基づいて前記物理量を推定する物理量推定ステップと
を実行させるためのプログラム。

[請求項14]

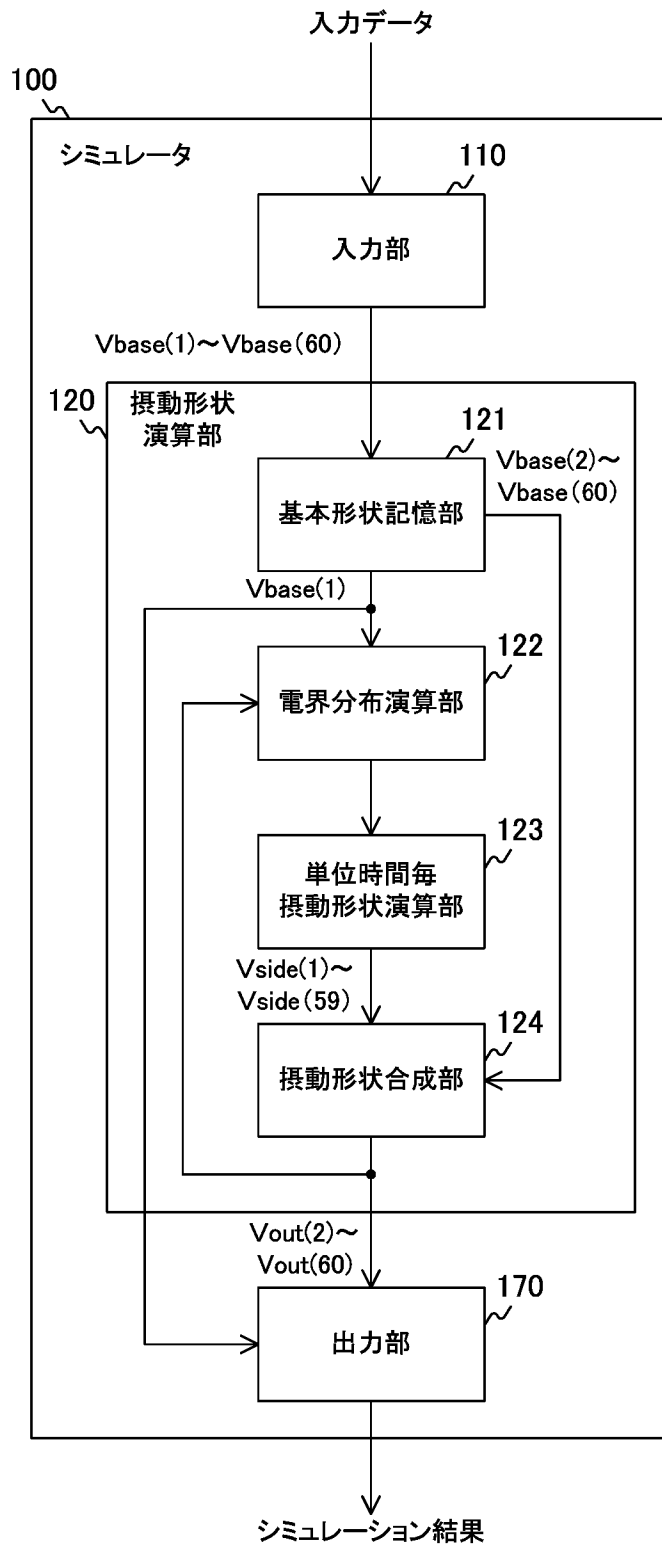
チャンバー内においてエッチングされた試料の形状を基本形状として記憶する基本形状記憶部から前記基本形状を読み出す読出しステップと、

前記チャンバー内における物理量に関連する前記試料の加工条件と前記読み出された基本形状とに基づいて前記物理量を推定する物理量推定ステップと

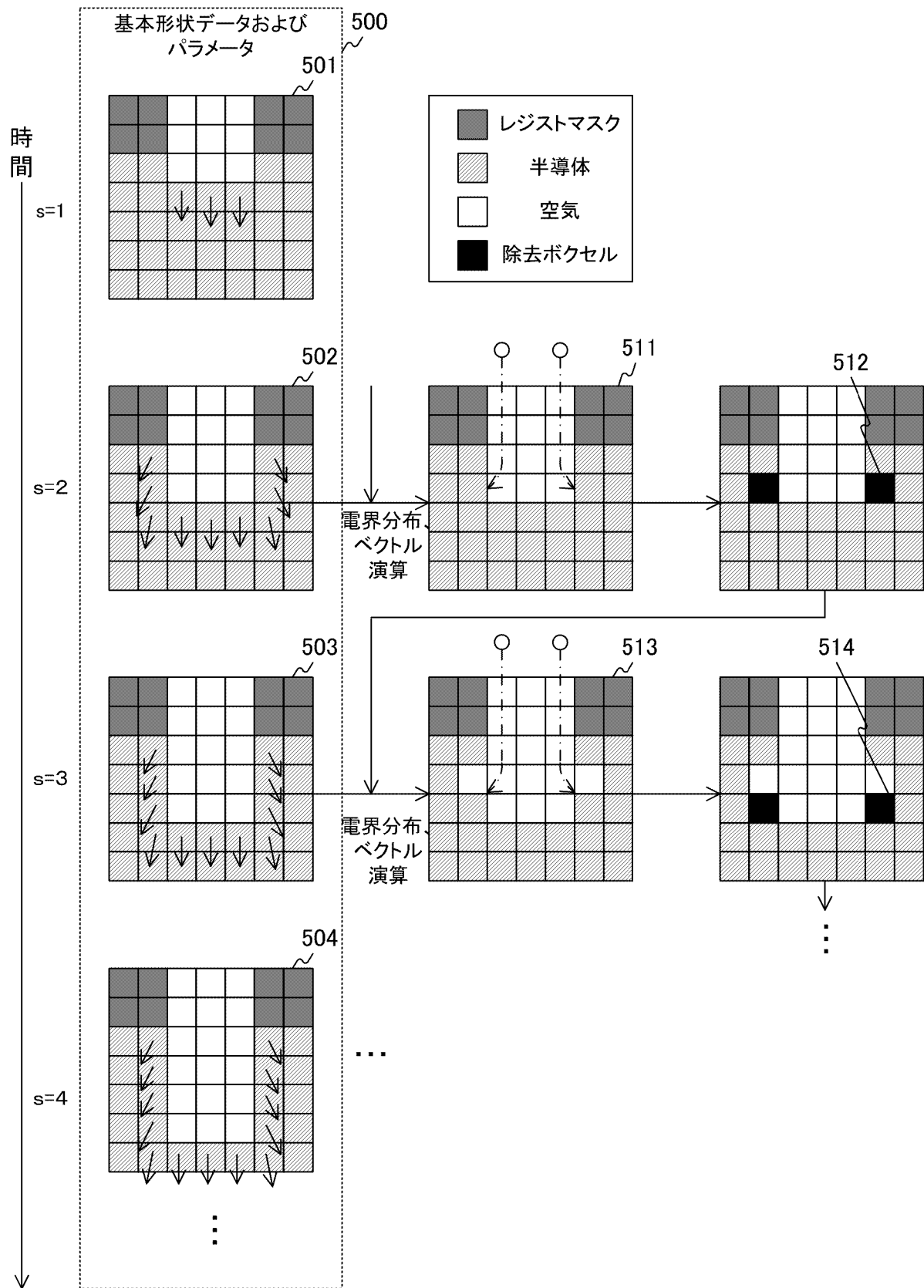
加工部が、前記加工条件に基づいて前記試料を加工する加工ステップと、

前記推定された物理量に基づいて前記加工条件を変更して新たな加工条件として前記加工部に供給する制御ステップと
を具備する加工方法。

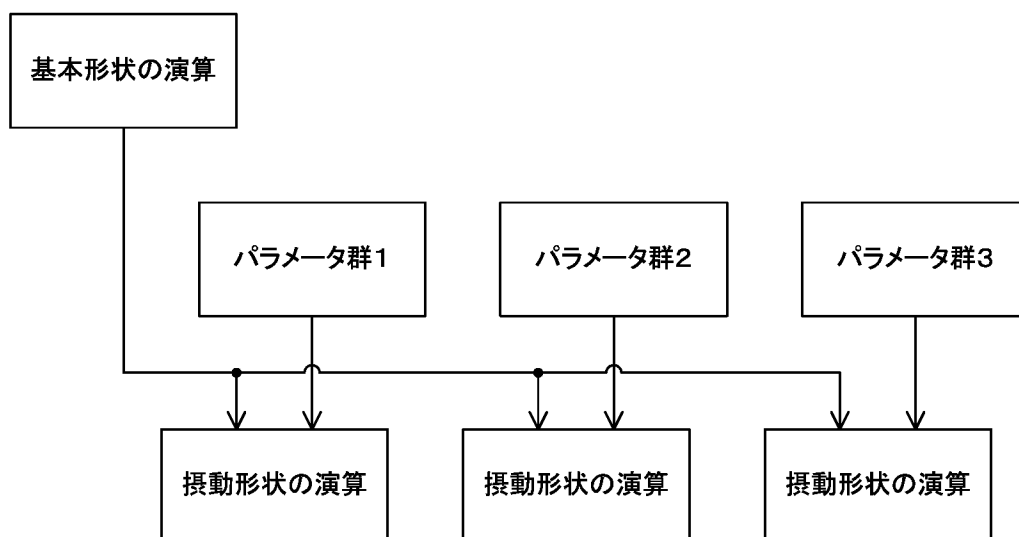
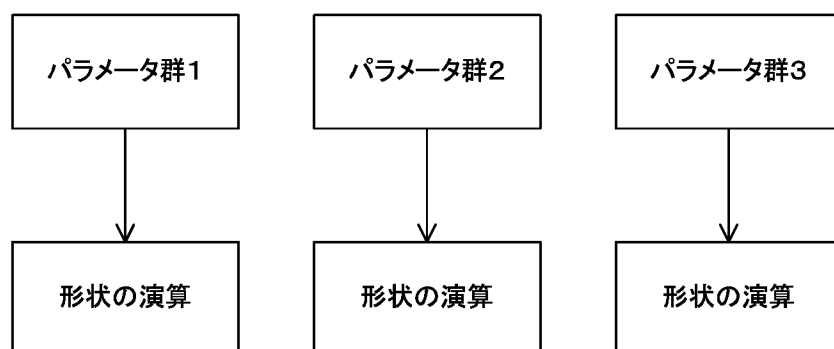
[図1]



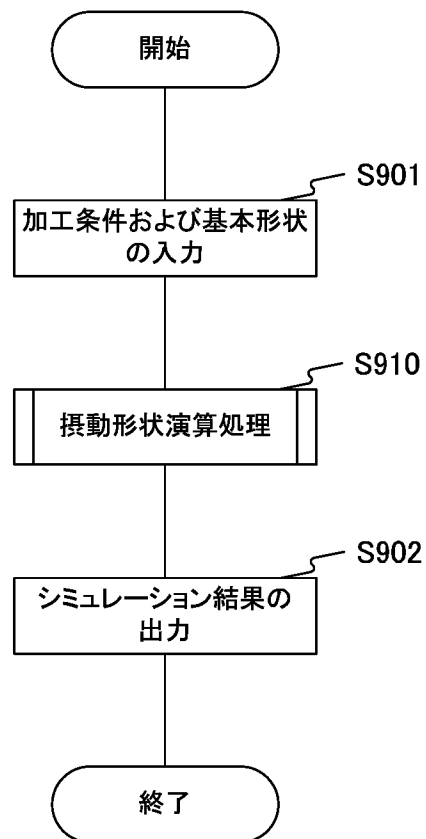
[図2]



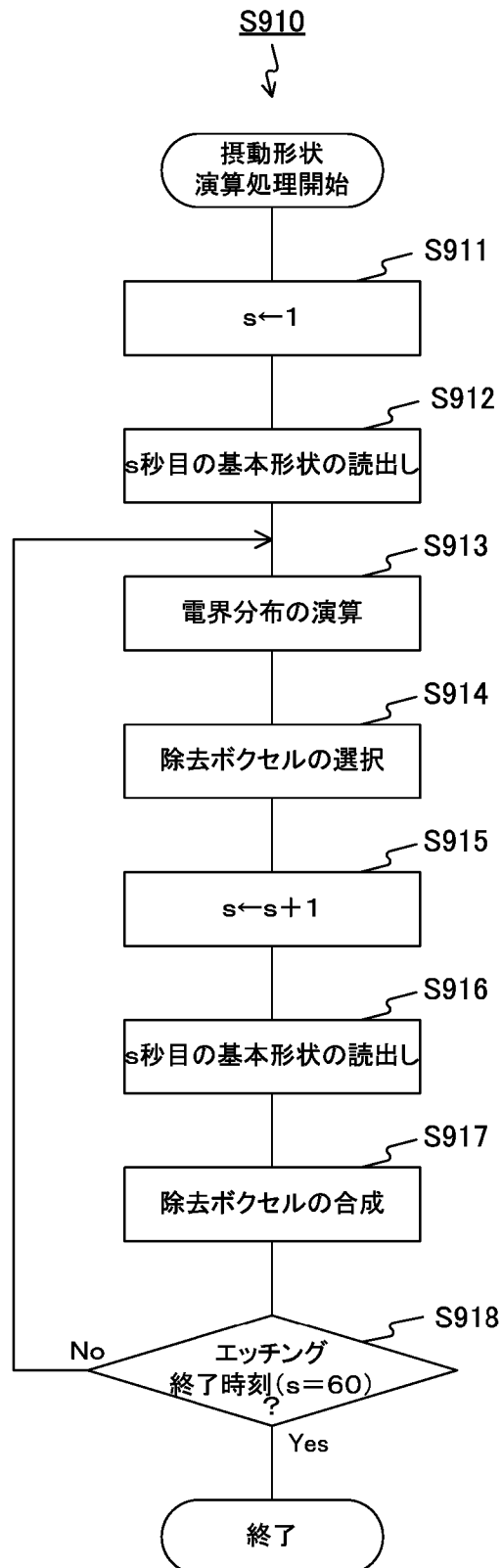
[図3]

ab

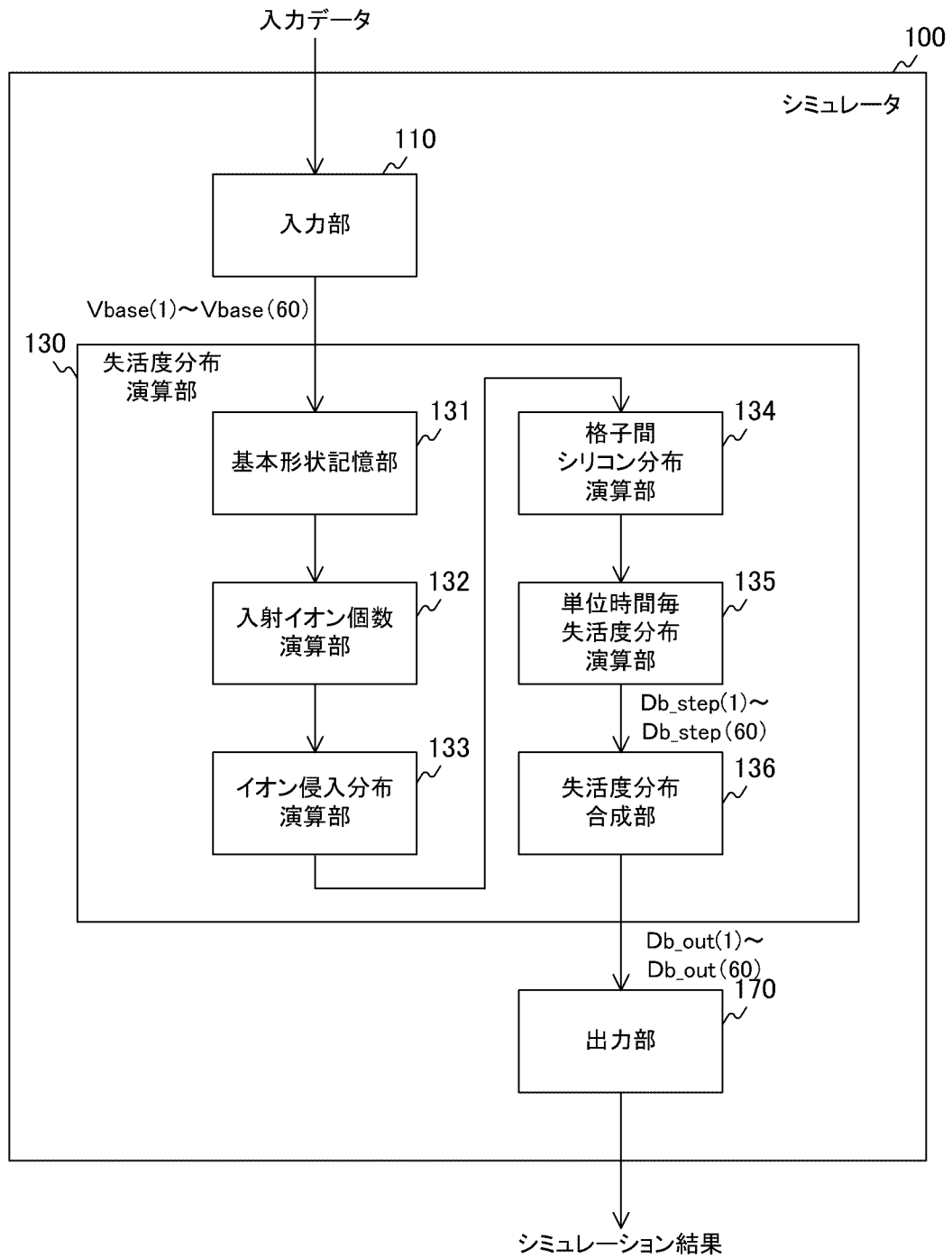
[図4]



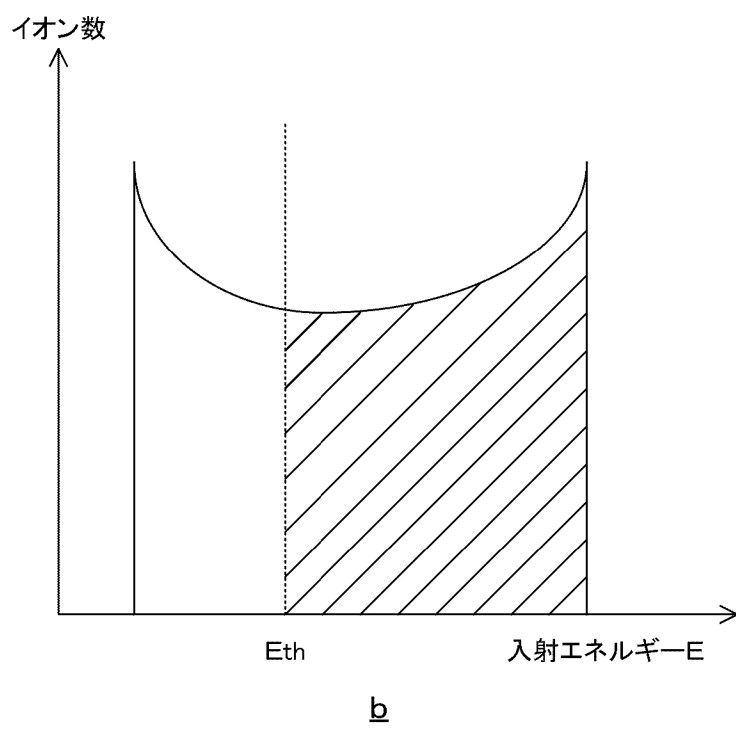
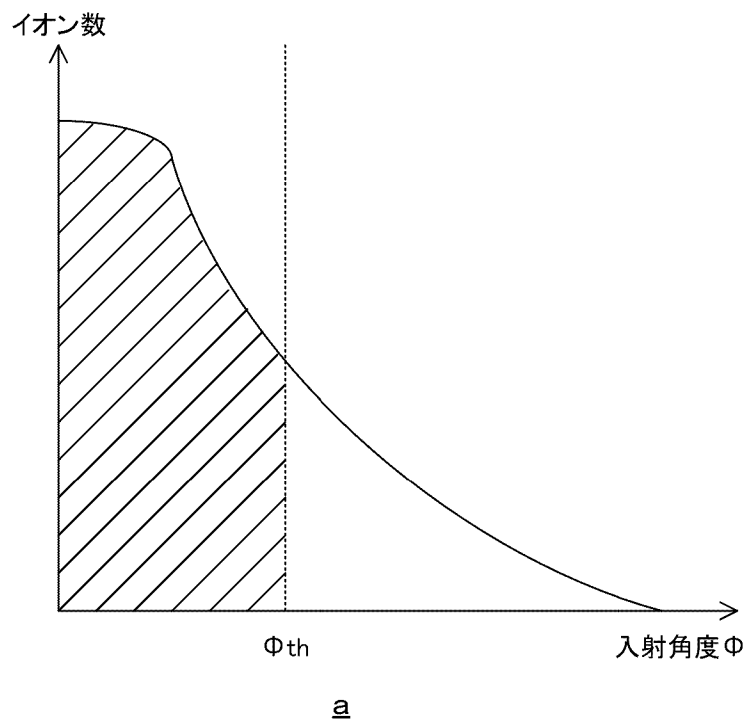
[図5]

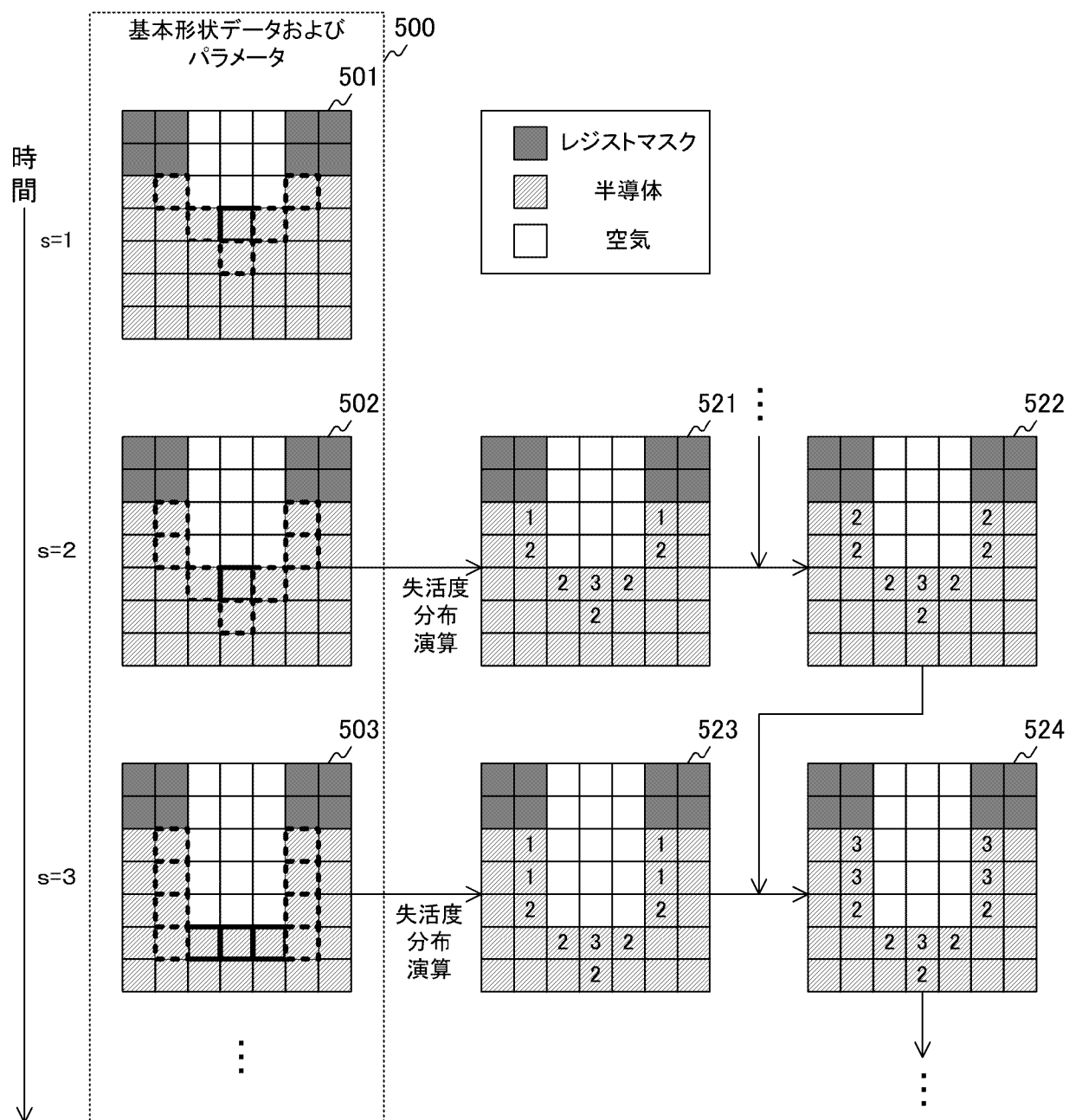


[図6]

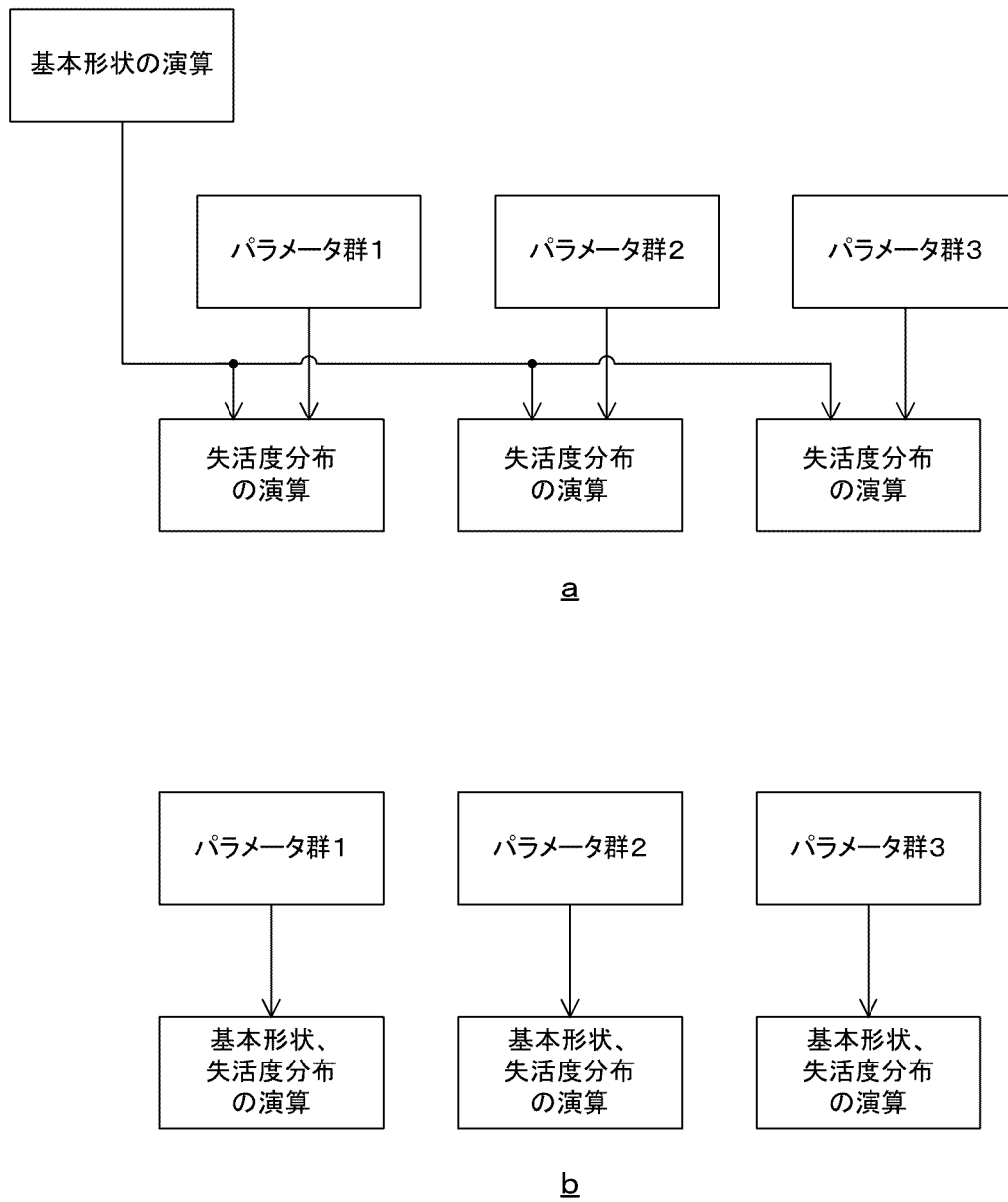


[図7]

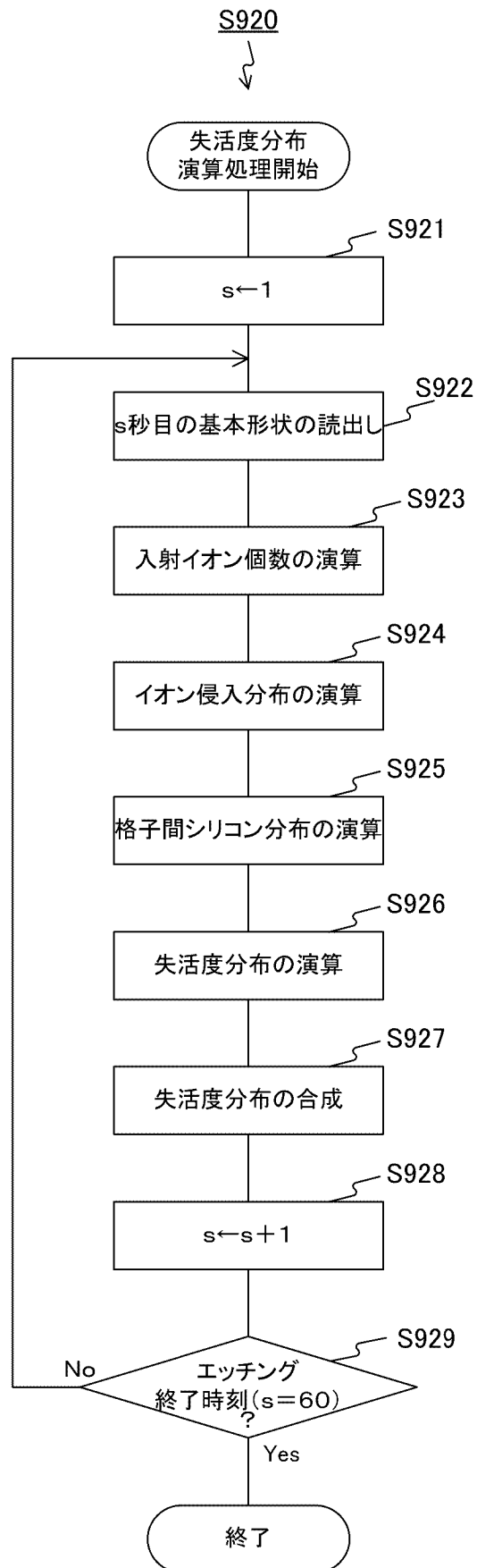




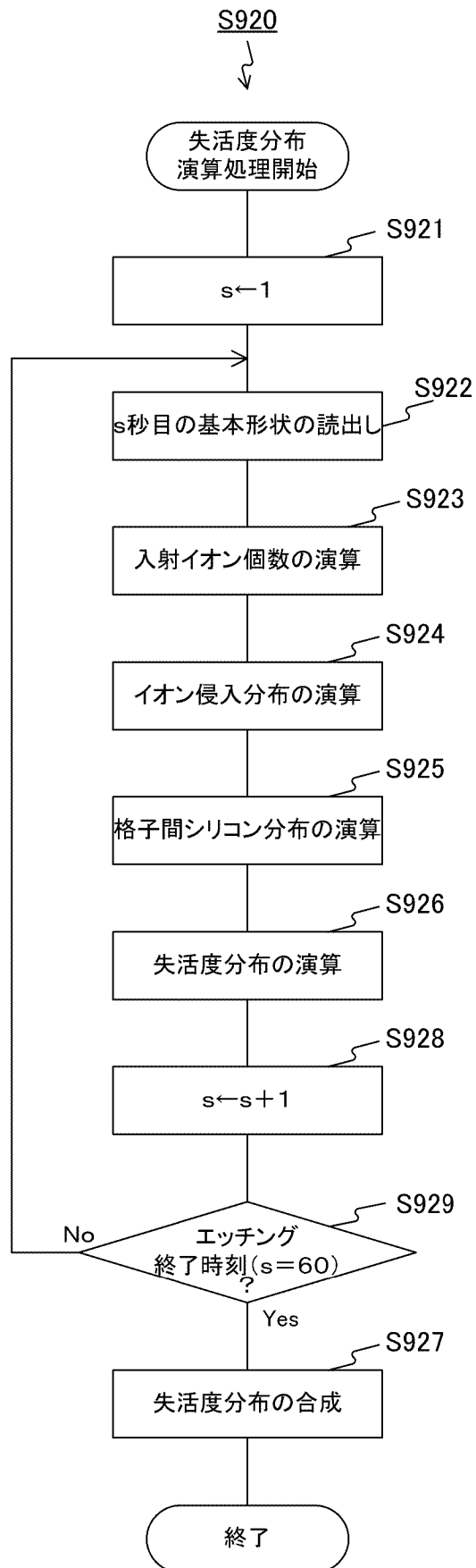
[図9]



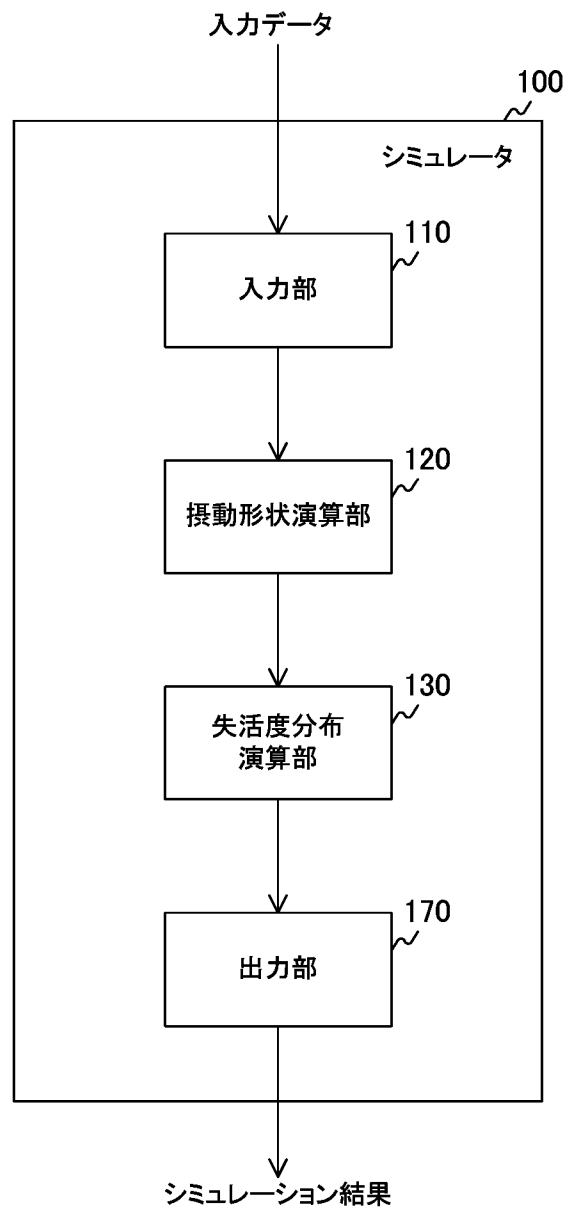
[図10]



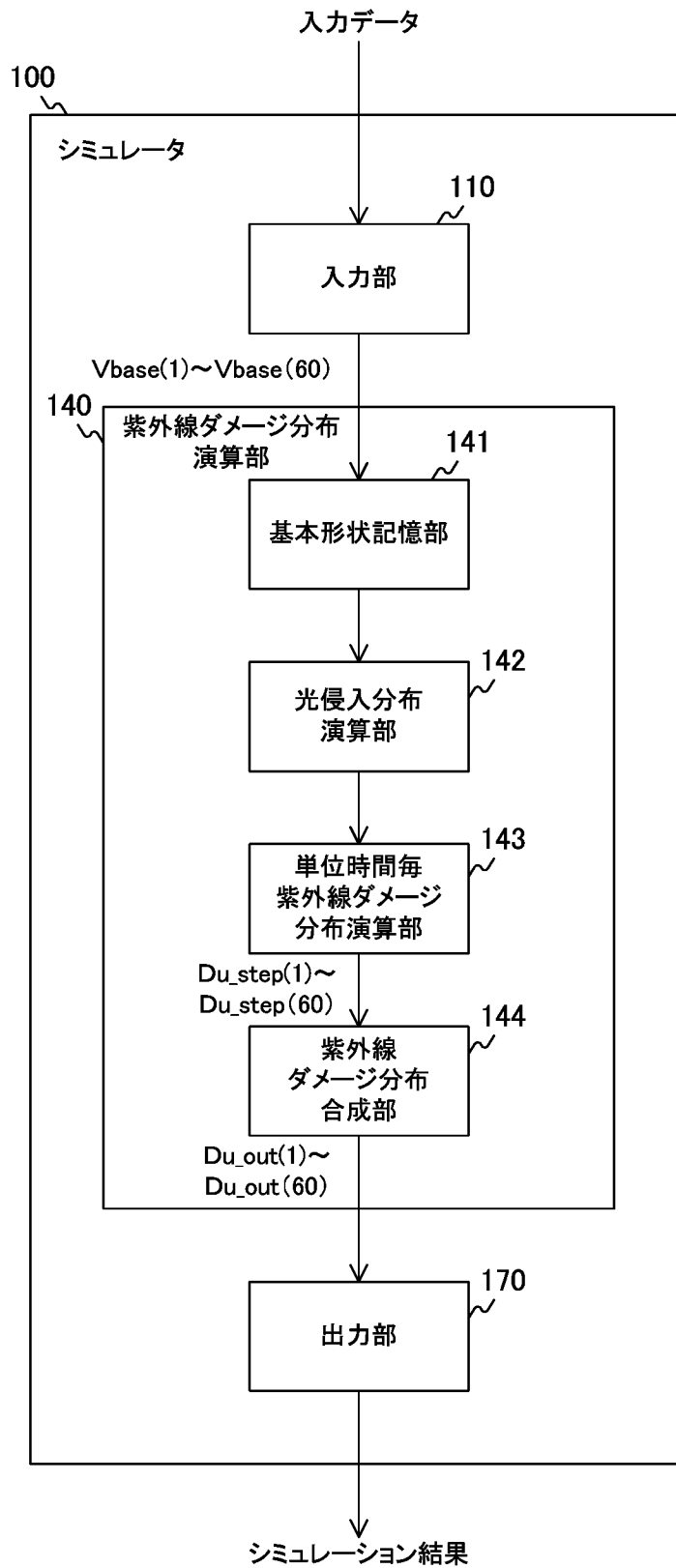
[図11]



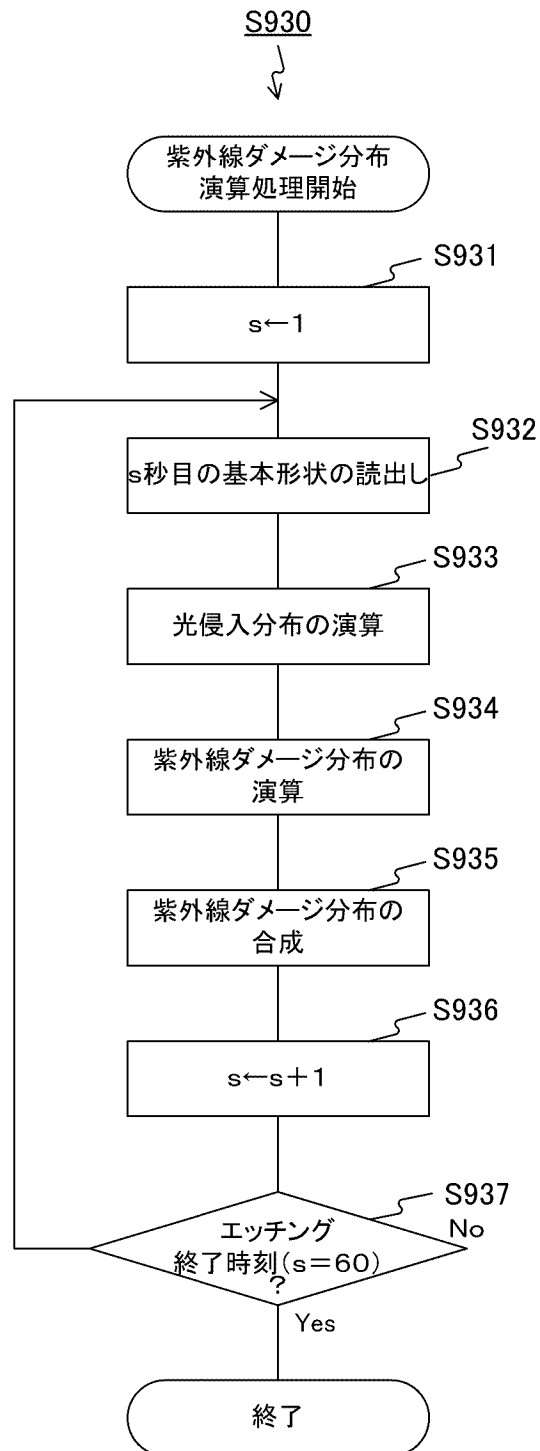
[図12]



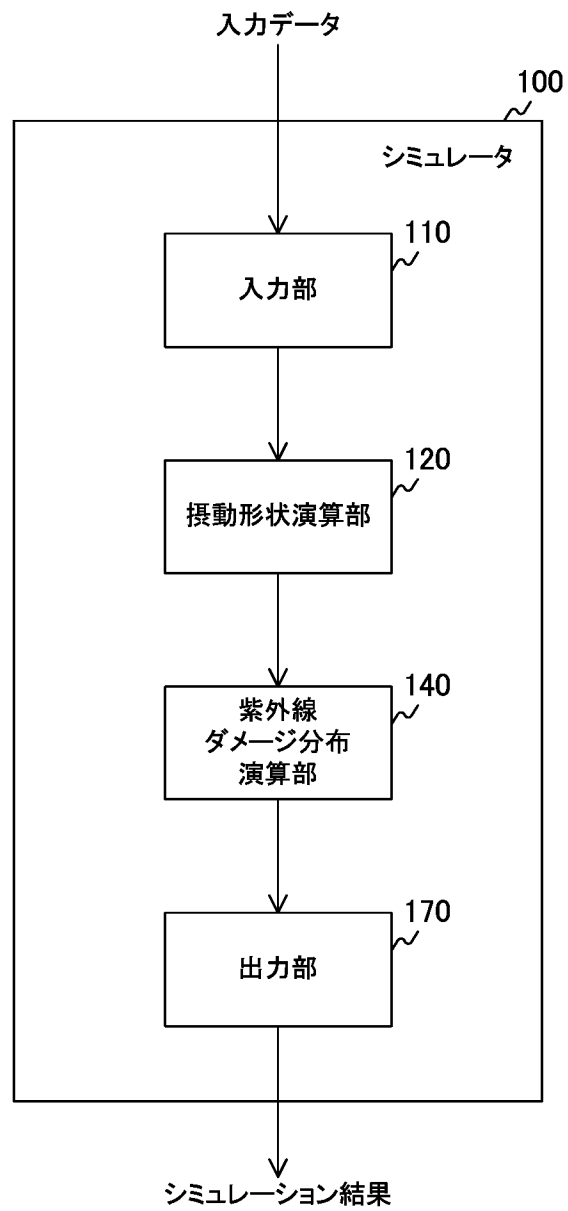
[図13]



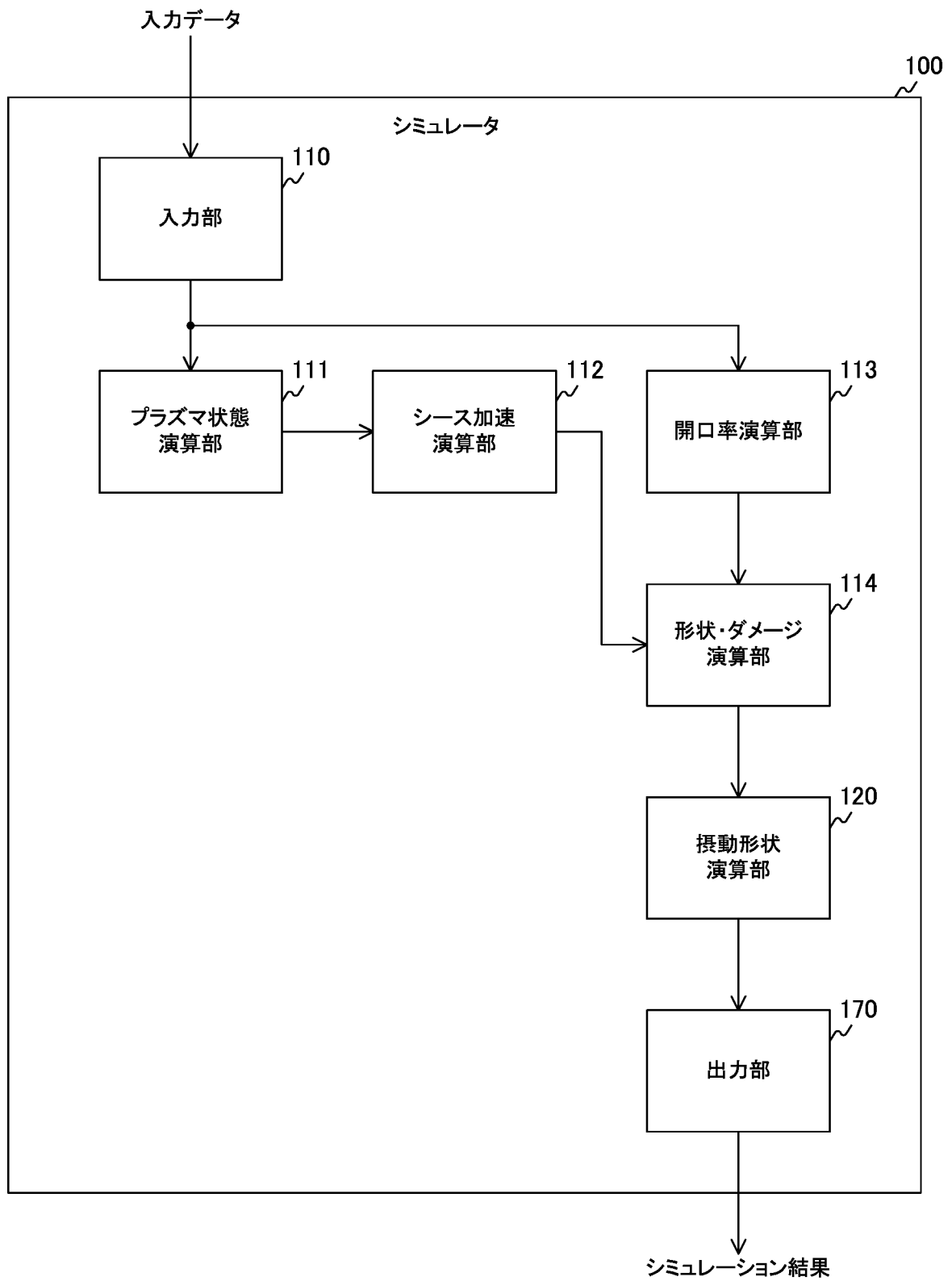
[図14]



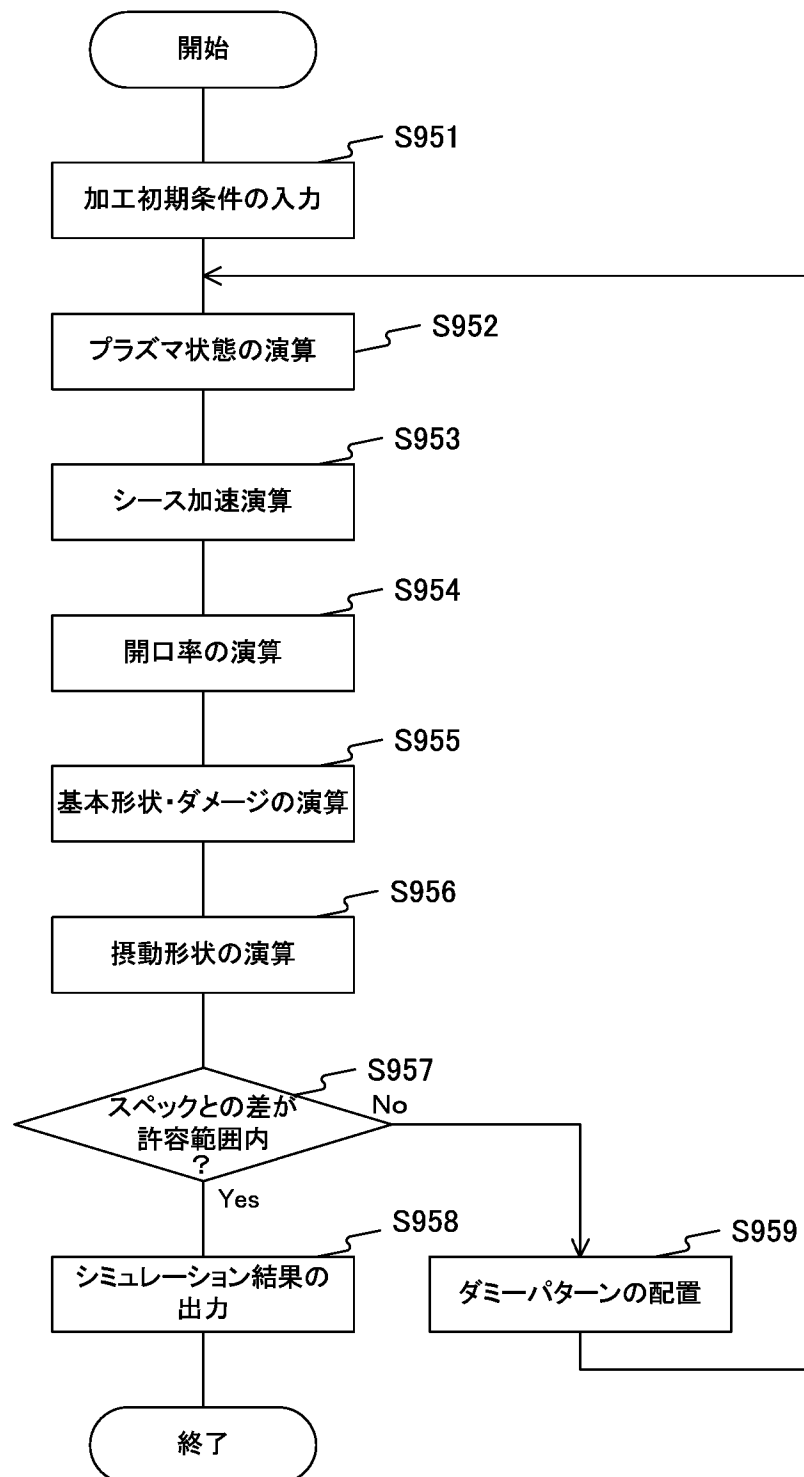
[図15]



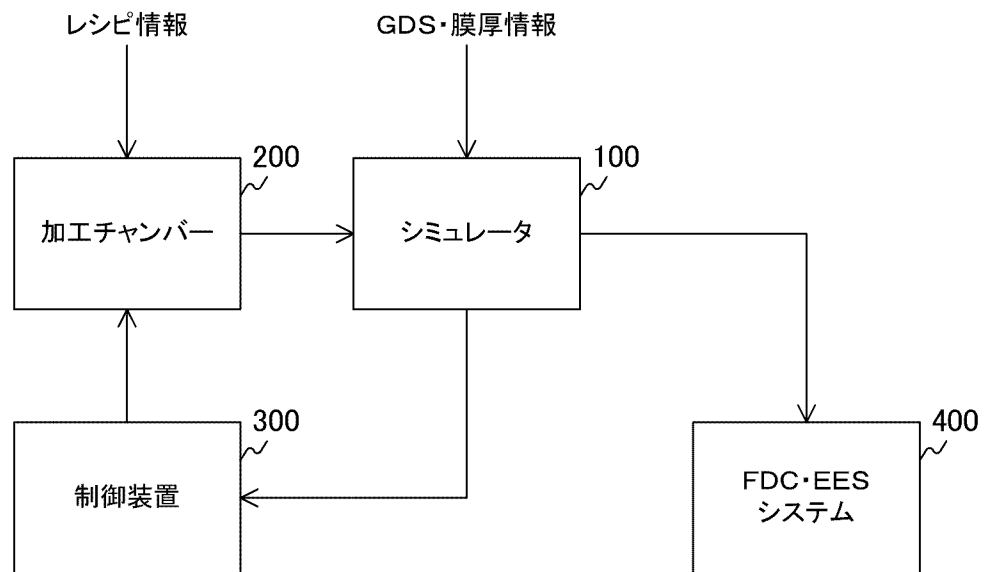
[図16]



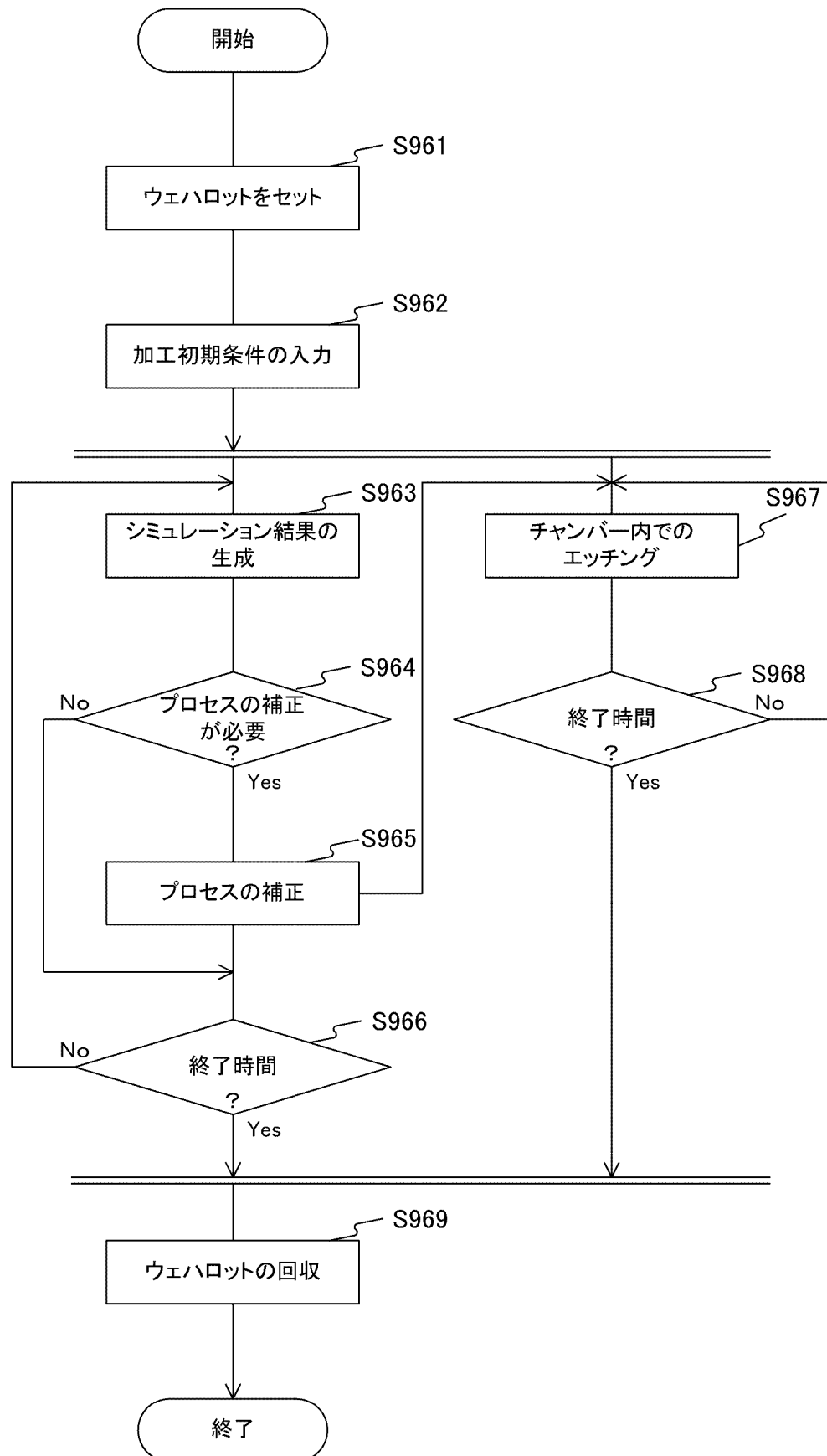
[図17]



[図18]



[図19]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/050430

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/3065(2006.01)i, H05H1/46(2006.01)n

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, H05H1/46

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

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

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2012-186394 A (Mizuho Information & Research Institute, Inc.), 27 September 2012 (27.09.2012), paragraphs [0031] to [0074]; all drawings & US 2014/0005991 A1 paragraphs [0067] to [0123]; all drawings & WO 2012/121081 A1 & EP 2685489 A1 & TW 201239983 A & KR 10-2014-0016924 A	1-4, 9, 10, 12, 13 5-8, 11, 14

☒ 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
10 March 2016 (10.03.16)

Date of mailing of the international search report
22 March 2016 (22.03.16)

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

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/050430

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2011/115023 A1 (Mizuho Information & Research Institute, Inc.), 22 September 2011 (22.09.2011), paragraphs [0059] to [0063], [0079] to [0083]; fig. 7A, 7B, 10 & US 2013/0013253 A1 paragraphs [0100] to [0104], [0121] to [0128]; fig. 7A, 7B, 10 & EP 2549523 A1 & KR 10-2012-0139802 A & TW 201142914 A	1, 7, 8, 12, 13
X	JP 2006-324682 A (Hitachi, Ltd.), 30 November 2006 (30.11.2006), paragraphs [0022], [0023], [0040] to [0046] (Family: none)	1, 11-14
A	JP 2000-150607 A (Toshiba Corp.), 30 May 2000 (30.05.2000), paragraphs [0054] to [0060] (Family: none)	1, 5, 6

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, H05H1/46(2006.01)n

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, H05H1/46

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2012-186394 A (みずほ情報総研株式会社) 2012.09.27, 段落 0031-0074, 全図	1-4, 9, 10, 12, 13
A	& US 2014/0005991 A1, 段落 0067-0123, 全図 & WO 2012/121081 A1 & EP 2685489 A1 & TW 201239983 A & KR 10-2014-0016924 A	5-8, 11, 14

☒ 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

10.03.2016

国際調査報告の発送日

22.03.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

正山 旭

50

5589

電話番号 03-3581-1101 内線 3559

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	WO 2011/115023 A1 (みずほ情報総研株式会社) 2011.09.22, 段落 0059-0063, 0079-0083, 図 7A, 7B, 10 & US 2013/0013253 A1, 段落 0100-0104, 0121-0128, 図 7A, 7B, 10 & EP 2549523 A1 & KR 10-2012-0139802 A & TW 201142914 A	1, 7, 8, 12, 13
X	JP 2006-324682 A (株式会社日立製作所) 2006.11.30, 段落 0022, 0023, 0040-0046 (ファミリーなし)	1, 11-14
A	JP 2000-150607 A (株式会社東芝) 2000.05.30, 段落 0054-0060 (ファミリーなし)	1, 5, 6