

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年4月26日(26.04.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/074087 A1

(51) 国際特許分類:

H01L 21/3065 (2006.01) H05H 1/00 (2006.01)
H01L 21/02 (2006.01) H05H 1/46 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2017/032122

(22) 国際出願日: 2017年9月6日(06.09.2017)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2016-206709 2016年10月21日(21.10.2016) 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14番1号 Kanagawa (JP).

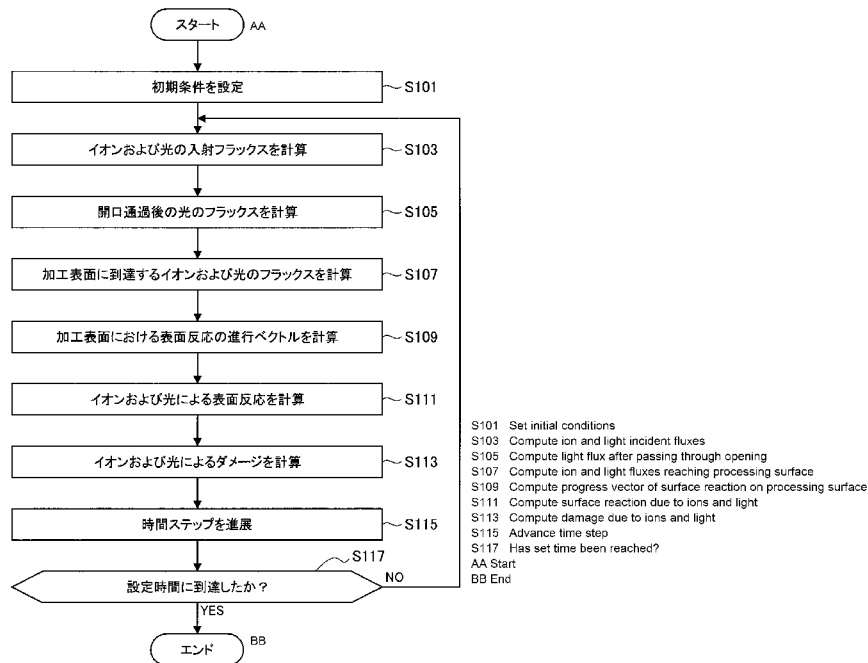
(72) 発明者: 久保井 信行 (KUBOI, Nobuyuki); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 亀谷 美明, 外 (KAMEYA, Yoshiaki et al.); 〒1600004 東京都新宿区四谷3-1-3 第一富澤ビル はづき国際特許事務所 四谷オフィス 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,

(54) Title: DAMAGE PREDICTION METHOD, PROGRAM, AND SEMICONDUCTOR PROCESSING SYSTEM

(54) 発明の名称: ダメージ予測方法、プログラム、および半導体加工システム



(57) Abstract: [Problem] To predict a damage distribution of an object to be processed due to ions and light from plasma more accurately within a realistic computing time. [Solution] A damage prediction method comprises: with the use of a computing device and on the basis of a pattern of an object to be processed including a processing object, calculating, from ion and light fluxes generated by plasma, ion and light fluxes being propagated through the pattern; calculating, from the ion and light fluxes being propagated through the pattern and by optical ray tracking, ion and light fluxes that reach



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.

- (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))

a surface of the processing object; and calculating, from the ion and light fluxes that reach the surface of the processing object, a damage distribution of the processing object.

(57) 要約: 【課題】現実的な計算時間内で、プラズマからのイオンおよび光によって生じる被加工物のダメージ分布をより正確に予測する。【解決手段】演算装置を用いて、加工対象を含む被加工物のパターンに基づいて、プラズマによって生成されるイオンおよび光のフラックスから、前記パターン内に伝搬されるイオンおよび光のフラックスを算出することと、前記パターン内に伝搬されるイオンおよび光のフラックスから、光線追跡によって前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスを算出することと、前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスから、前記加工対象のダメージ分布を算出することと、を含む、ダメージ予測方法。

明 細 書

発明の名称：

ダメージ予測方法、プログラム、および半導体加工システム

技術分野

[0001] 本開示は、ダメージ予測方法、プログラム、および半導体加工システムに関する。

背景技術

[0002] 近年、情報化社会の進展に伴い、情報処理回路を構成する半導体素子の特性を向上させることが増々求められている。

[0003] ここで、半導体素子の特性向上のためには、半導体素子の製造工程において、プラズマプロセス時に生じる半導体素子へのダメージ（例えば、結晶欠陥など）を低減することが重要となっている。

[0004] プラズマプロセスにおける半導体素子へのダメージは、具体的には、プラズマから被加工物へと入射する高エネルギーのイオン、および光（例えば、真空紫外線、紫外線など）等によって引き起こされる。これらのイオンおよび光は、例えば、 SiN および SiO_2 などのバンドギャップが広い絶縁膜を通過してしまうため、下層の有機膜、またはシリコン基板等に欠陥を形成してしまう。

[0005] したがって、プラズマプロセスにおいて、イオンおよび光による被加工物のダメージ分布を予測し、該ダメージ分布を制御することは、高性能な半導体素子を開発するにあたり、非常に重要である。

[0006] 例えば、下記の非特許文献1には、真空紫外線および紫外線の光を粒子の集まりとしてモデル化し、モンテカルロ法を用いて、被加工物におけるダメージ分布を予測する方法が提案されている。

先行技術文献

非特許文献

[0007] 非特許文献1：T i a n a n d K u s h n e r、*「Control lin*

g Correlations Between Ion and UV/VUV Photon Fluxes in Low Pressure Plasma Materials Processing」、[online]、2012年10月30日、AVS 59th International Symposium & Exhibition、[平成28年9月29日検索]、インターネット〈URL: <https://www.src.org/library/publication/p065684/>〉

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0008] しかし、光は、粒子としての性質に加えて、波動としての性質を有する。そのため、光の波動性に起因する回折等を見逃している非特許文献1に開示された技術では、被加工物のパターン形状に依存した光のパターン内部への伝搬を正確に予測することが困難であった。
- [0009] 一方、波動性を考慮して光の伝搬を予測する方法としては、例えば、FDTD (Finite-Difference Time-Domain) 法を用いて、被加工物に入射する光のマクスウェル方程式を解くことが考えられる。しかし、この方法では、時間ステップごとに、被加工物のすべての領域でマクスウェル方程式を解くことになるため、計算量が膨大となってしまう。したがって、この方法では、イオンおよび光によって生じる被加工物のダメージ分布を現実的な計算時間内で計算することは、困難であった。
- [0010] そこで、本開示では、現実的な計算時間内で、プラズマからのイオンおよび光によって生じる被加工物のダメージ分布をより正確に予測することが可能な、新規かつ改良されたダメージ予測方法、プログラム、および半導体加工システムを提案する。

課題を解決するための手段

- [0011] 本開示によれば、演算装置を用いて、加工対象を含む被加工物のパターンに基づいて、プラズマによって生成されるイオンおよび光のフラックスから

、前記パターン内に伝搬されるイオンおよび光のフラックスを算出することと、前記パターン内に伝搬されるイオンおよび光のフラックスから、光線追跡によって前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスを算出することと、前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスから、前記加工対象のダメージ分布を算出することと、を含む、ダメージ予測方法が提供される。

[0012] また、本開示によれば、演算装置を用いて、プラズマによって生成されるイオンおよび光のフラックスから、加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスを算出することと、前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスから、前記加工対象の表面からの侵入長に基づいて、イオンおよび光によるダメージと、光によるダメージとをそれぞれ演算し、前記加工対象のダメージ分布を算出することと、を含む、ダメージ予測方法が提供される。

[0013] また、本開示によれば、演算装置を用いて、プラズマによって生成されるイオンおよび光のフラックスから、加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスを算出することと、前記加工対象の表面に到達する光のフラックスの法線ベクトルの方向は、前記加工対象の表面に到達するイオンのフラックスの法線ベクトルの方向と同じであり、前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスから、前記加工対象へのダメージの分布を算出することと、を含む、ダメージ予測方法が提供される。

[0014] また、本開示によれば、コンピュータを、加工対象を含む被加工物のパターンに基づいて、プラズマによって生成されるイオンおよび光のフラックスから、前記パターン内に伝搬されるイオンおよび光のフラックスを算出する入射フラックス演算部と、前記パターン内に伝搬されるイオンおよび光のフラックスから、光線追跡によって前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスを算出する加工面フラックス演算部と、前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスから、前記加工対象へのダメージの分布を算出するダメージ演算部と、として機能させる、プログラムが提供

される。

[0015] また、本開示によれば、加工対象を含む被加工物のパターンに基づいて、プラズマによって生成されるイオンおよび光のフラックスから、前記パターン内に伝搬されるイオンおよび光のフラックスを算出する入射フラックス演算部と、前記パターン内に伝搬されるイオンおよび光のフラックスから、光線追跡によって前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスを算出する加工面フラックス演算部と、前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスから、前記加工対象へのダメージの分布を算出するダメージ演算部と、を備える、半導体加工システムが提供される。

[0016] 本開示によれば、光を波として扱い、被加工物の開口における回折を考慮することができるため、より正確に被加工物のダメージ分布を計算することができる。また、本開示によれば、イオンおよび光の両方が侵入する領域と、光のみが侵入する領域とで異なるモデルを用いて、被加工物へのダメージを計算することができるため、より正確に被加工物のダメージ分布を計算することができる。

発明の効果

[0017] 以上説明したように本開示によれば、現実的な計算時間内で、プラズマからのイオンおよび光によって生じる被加工物のダメージ分布をより正確に予測することが可能である。

[0018] なお、上記の効果は必ずしも限定的なものではなく、上記の効果とともに、または上記の効果に代えて、本明細書に示されたいずれかの効果、または本明細書から把握され得る他の効果が奏されてもよい。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]本開示の第1の実施形態に係るダメージ予測方法で扱われる加工プロセスを説明する説明図である。

[図2]同実施形態に係るダメージ予測方法の流れを説明するフローチャート図である。

[図3]プラズマによって生成される光の入射を模式的に示す説明図である。

[図4]マスクの開口を通過した後の光のフラックスの計算方法を説明する説明図である。

[図5]加工膜の加工表面に到達する光のフラックスの計算手法を説明する説明図である。

[図6]加工膜の加工表面に到達するイオンのフラックスの計算手法を説明する説明図である。

[図7]加工膜の加工表面に到達するイオンおよび光のフラックスを示す説明図である。

[図8]イオンおよび光による加工膜へのダメージについて模式的に示す説明図である。

[図9]第1の具体例におけるダメージ予測方法の流れを説明するフローチャート図である。

[図10]被加工物の加工表面に到達するイオンのフラックスを検索するためのデータベースの構成を示したブロック図である。

[図11]同具体例において、加工対象となる被加工物と、ダメージ分布の予測結果とを模式的に示した断面図である。

[図12]第2の具体例におけるダメージ予測方法の流れを説明するフローチャート図である。

[図13]シースシミュレーションによる計算結果の一例を示すグラフ図である。

[図14]同具体例において、加工対象となる被加工物と、ダメージ分布の予測結果とを模式的に示した断面図である。

[図15]第3の具体例におけるダメージ予測方法の流れを説明するフローチャート図である。

[図16]本開示の第2の実施形態に係るプログラムを実行する情報処理装置を説明する説明図である。

[図17]同実施形態に係るプログラムを実行する情報処理装置の機能構成を示したブロック図である。

[図18]同実施形態に係るプログラムを実行する情報処理装置のハードウェア構成例を示したブロック図である。

[図19]本開示の第3の実施形態に係る半導体加工システムの概略を説明する説明図である。

[図20]同実施形態に係る半導体加工システムの機能構成を示したブロック図である。

発明を実施するための形態

[0020] 以下に添付図面を参照しながら、本開示の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

[0021] なお、説明は以下の順序で行うものとする。

1. 第1の実施形態

1. 1. 概略

1. 2. ダメージ予測方法の流れ

1. 3. 具体例

2. 第2の実施形態

2. 1. 概略

2. 2. ダメージ予測装置の構成例

2. 3. ハードウェア構成例

3. 第3の実施の形態

3. 1. 概略

3. 2. 半導体加工システムの構成例

4. まとめ

[0022] <1. 第1の実施形態>

(1. 1. 概略)

まず、図1を参照して、本開示の第1の実施形態に係るダメージ予測方法の概略について説明する。図1は、本開示の第1の実施形態に係るダメージ

予測方法で扱われる加工プロセスを説明する説明図である。

[0023] 図1に示すように、本実施形態に係るダメージ予測方法は、プラズマ1を用いてガスの分子または原子をイオン化し、生成したイオン3および光5を被加工物7に対して投射する加工プロセスにおける被加工物7のダメージを予測する方法である。

[0024] 具体的には、本実施形態に係るダメージ予測方法では、プラズマ1によって生成されたイオン3および光5を被加工物7に入射させ、入射したイオン3によって被加工物7のマスク75で覆われていない領域を成膜、またはエッチング等する加工プロセスを扱う。なお、被加工物7は、例えば、基板71の上に加工対象である加工膜73等が形成され、さらに加工膜73の上にマスク75が設けられた積層体等である。

[0025] すなわち、本実施形態に係るダメージ予測方法が扱う加工プロセスは、半導体素子の製造に用いられる微細加工プロセスであり、例えば、プラズマエッチング、PVD (Physical Vapor Deposition)、CVD (Chemical Vapor Deposition)、プラズマアッシング、またはプラズマ洗浄プロセスなどである。また、被加工物7は、半導体素子の製造工程における中間体であってもよい。

[0026] プラズマ1は、ガス等に高周波、またはマイクロ波を供給し、放電させることで形成される。また、プラズマ1の内部では、ガスの原子または分子が電離し、イオン3が形成されている。プラズマ1は、公知のいかなる方法で形成されたものであってもよく、高周波プラズマ、ECR (Electron Cyclotron Resonance) プラズマ、容量結合プラズマ、誘導結合プラズマ、ヘリコン波プラズマ、またはUHF (Ultra High Frequency) もしくはVHF (Very High Frequency) プラズマ等であってもよい。

[0027] イオン3は、ガスの原子または分子が電離してイオン化したものである。イオン3を形成するガスは、例えば、加工膜73の上に成膜される層の材料ガスであってもよく、加工膜73をエッチングすることを目的とするエッチ

ングガスであってもよく、マスク 75 を除去することを目的するアッシングガスであってもよく、被加工物 7 の表面を清浄化することを目的とするクリーニングガスであってもよい。

[0028] 光 5 は、プラズマ 1 によって生成される光であり、例えば、紫外線および真空紫外線である。これらの光 5 は、エネルギーが高いため、比較的バンドギャップが広い SiN または SiO₂ などの絶縁層では吸収されず、加工膜 73 の下層の基板 71、または基板 71 と加工膜 73 との界面に到達し、加工膜 73 または基板 71 にダメージを与えてしまう。光 5 によってダメージを受けた加工膜 73 または基板 71 では、欠陥等が形成されてしまうため、加工膜 73 または基板 71 によって形成される半導体素子の特性が低下してしまう。

[0029] なお、光 5 は、上述した紫外線および真空紫外線に限定されず、可視光、または赤外線等であってもよい。本開示に係る技術では、光 5 とは、粒子性と波動性とを併せ持つ電磁波を表し、可視光、赤外線、電波、および放射線などをも含むものとする。

[0030] 基板 71 は、半導体素子の形成に用いられる基板であれば、公知のものを使用することが可能である。基板 71 は、例えば、金属基板、半導体基板、ガラス基板、または樹脂基板などであってもよい。基板 71 が金属基板、または半導体基板である場合、光 5 は、基板 71 の結晶構造中に欠陥を形成することで、基板 71 に形成される半導体素子の特性を低下させる。また、基板 71 がガラス基板、または樹脂基板である場合、光 5 は、基板 71 の材質の化学結合にダメージを与えることで、基板 71 の強度等を劣化させる。

[0031] 加工膜 73 は、加工対象に相当し、プラズマ 1 によって生成されたイオン 3 によって、例えば、成膜、エッチング、アッシング、またはクリーニング等が施される膜である。加工膜 73 は、例えば、SiN、または SiO₂ などの絶縁層であってもよく、シリコン (Si)、亜鉛 (Zn)、ガリウム (Ga)、チタン (Ti)、タングステン (W)、銅 (Cu)、またはアルミニウム (Al) 等を含む金属層または化合物半導体層であってもよく、イミド

樹脂、アクリル樹脂、またはノボラック樹脂などの樹脂層であってもよい。
すなわち、加工膜 7 3 は、半導体素子にて用いられる膜であれば、いかなる膜であってもよい。

[0032] マスク 7 5 は、例えば、レジスト層、絶縁層、または金属層などのパターンニングされた層である。マスク 7 5 は、例えば、成膜プロセス、またはエッチングプロセスにおいて、加工膜 7 3 のパターンニングのために用いられる。ただし、マスク 7 5 は、プラズマプロセスの種類によっては用いられなくともよい。

[0033] 本実施形態に係るダメージ予測方法では、上述したようなプラズマ 1 を用いた加工工程において、イオン 3 および光 5 によって生じる被加工物 7（特に、加工膜 7 3）のダメージ分布を現実的な計算時間で、より正確に算出することが可能である。

[0034] （1. 2. ダメージ予測方法の流れ）

次に、図 2 を参照して、本実施形態に係るダメージ予測方法の流れについて説明する。図 2 は、本実施形態に係るダメージ予測方法の流れを説明するフローチャート図である。

[0035] なお、以下では、計算手法として、計算素片として二次元ボクセル（*voxel*）を用いるボクセルモデルを例示するが、本開示に係る技術は、かかる例示に限定されない。本実施形態に係るダメージ予測方法では、計算手法として、例えば、*level-set* 法、または *string* 法などの公知の他の計算手法を用いることも可能である。

[0036] 図 2 に示すように、まず、プラズマ 1 を用いた加工プロセスの初期条件が設定される（S 1 0 1）。加工プロセスの初期条件には、具体的には、加工プロセスに関する条件、および被加工物に関する条件などが含まれる。例えば、加工プロセスに関する条件として、加工プロセスの種類、プラズマ 1 の生成条件、プラズマ 1 を形成するガス種に関する条件、およびプラズマ 1 にて生成されたイオンの投射に関する条件などが含まれてもよい。また、被加工物 7 に関する条件として、例えば、被加工物 7 の表面形状に関する条件（

または、マスク 7 5 のパターンに関する条件)、および被加工物 7 の材質に関する条件などが含まれていてもよい。

[0037] また、初期条件には、ダメージ予測方法の予測精度に関する条件が含まれていてもよい。予測精度に関する条件として、例えば、計算素片の大きさ、計算時の近似水準、サンプリングの間隔、およびダメージ予測を実行する時間間隔などが含まれていてもよい。

[0038] 次に、プラズマ 1 によって生成されるイオン 3 および光 5 の入射フラックスが計算される (S 1 0 3)。具体的には、プラズマ 1 の生成条件、およびプラズマ 1 を形成するガス種に関する条件等に基づいて、プラズマ 1 によって生成されるイオン 3 および光 5 の入射フラックスが計算される。なお、イオン 3 または光 5 のフラックスとは、イオン 3 または光 5 の流れをベクトル場で表現したものを表す。

[0039] 例えば、プラズマ 1 によって生成されるイオン 3 および光 5 の入射フラックスは、初期条件に基づいたシミュレーションによって計算されてもよく、加工プロセスが行われるチャンバ内で測定された実測値を用いて計算されてもよい。

[0040] ここで、図 3 を参照して、プラズマ 1 によって生成される光 5 の入射フラックスについて説明する。図 3 は、プラズマ 1 によって生成される光 5 の入射を模式的に示す説明図である。

[0041] 加工プロセスが行われるチャンバ内において、プラズマ 1 が生成される領域は、被加工物 7 の表面 (すなわち、マスク 7 5 の表面) から、おおよそ数センチメートル程度の距離だけ離れている。一方で、被加工物 7 の表面のパターンの大きさは、おおよそ数マイクロメートル程度である。したがって、プラズマ 1 から被加工物 7 への距離は、被加工物 7 の大きさに対して十分に大きいため、プラズマ 1 にて生成された光 5 は、十分に離れた場所から被加工物 7 へ伝搬された平面波とみなすことができる。

[0042] また、図 3 に示すように、例えば、プラズマ 1 が高周波プラズマである場合、プラズマ 1 は、高周波の電圧印加によって生成されるため、被加工物 7

には、プラズマ 1 からの光 5 が時間ステップ Δt ごとに位相が異なる平面波として、次々に投射されることになる。したがって、被加工物 7 に投射される光 5 の各々は、互いに位相が異なるため、被加工物 7 に投射される光 5 の各々の間での干渉の影響は小さいとみなすことができる。すなわち、プラズマ 1 から被加工物 7 に投射される光 5 は、平面波と近似することが可能であり、かつ干渉による影響を無視して計算に用いることが可能である。

[0043] なお、プラズマ 1 がマイクロ波等の交流信号を用いたプラズマである場合も同様に、被加工物 7 には、プラズマ 1 からの光 5 として、時間ステップごとに位相が異なる平面波が投射されることとなる。したがって、このような場合でも、プラズマ 1 からの光 5 は、被加工物 7 のパターン内部での干渉の影響を無視することが可能である。

[0044] 続いて、被加工物 7 の表面のマスク 75 のパターン（すなわち、開口）を通過した後の光 5 のフラックスを計算する（S105）。具体的には、光 5 の波長と、開口の大きさに基づく回折近似によって、被加工物 7 の表面に形成されたマスク 75 の開口を通過した後の光 5 のフラックスを計算する。

[0045] 例えば、マスク 75 の開口を通過した後の光 5 のフラックスは、フレネル回折による近似を用いて計算されてもよい。フレネル回折とは、光源からの距離に対して十分に小さい開口を通過した平面波の光が起こす回折である。

[0046] 本実施形態に係るダメージ予測方法では、上述したように、プラズマ 1 から生じた光 5 を平面波とみなすことが可能であり、かつ被加工物 7 の表面に形成されたマスク 75 の開口の大きさは、プラズマ 1 から被加工物 7 への距離よりも十分に小さい。したがって、被加工物 7 に投射された光 5 は、フレネル回折を起こすとみなすことができる。

[0047] ここで、図 4 を参照して、フレネル回折によって、マスク 75 の開口を通過した後の光 5 のフラックス（または、強度分布）を計算する手法について具体的に説明する。図 4 は、マスク 75 の開口を通過した後の光 5 のフラックスの計算方法を説明する説明図である。図 4 では、図に正対して、上方から下方への方向を Z 軸の正方向とし、左方から右方への方向を X 軸の正方向

とし、紙面の奥から手前方向をY軸の正方向として表した。

[0048] 図4に示すように、まず、マスク75の開口を通過する直前のZ座標を $Z=0$ として、マスク75の開口を通過する前の光5のフラックス（すなわち、プラズマにて生成された光の強度分布）を $U(x_1, y_1, 0)$ と表す。このとき、光5の波長を λ とし、光5の波数を k とすると、マスク75の開口を通過した直後の光5のフラックス $U(x_2, y_2, z)$ は、平面波の重ね合わせによって、以下の数式1として表すことができる。なお、 Σ は、図4の $Z=0$ における開口領域である。

[0049] [数1]

$$U(x_2, y_2, z) = \frac{i}{\lambda} \iint_{\Sigma} U(x_1, y_1, 0) \frac{e^{-ikr}}{r} \cos \gamma \, dx_1 dy_1 \quad \cdots (\text{数式1})$$

[0050] マスク75の開口の形状が、加工膜73側の開口の大きさの方が小さくなる形状（いわゆる、逆テーパー形状）ではない場合、 $\cos \gamma$ は、1と近似することができる。また、 $1/r$ は、マスク75の開口を通過した直後のZ座標Rでのフラックスを計算する場合、 $1/R$ として近似することができる。以上の近似によって、数式1は、以下の数式2のように表すことができる。

[0051] [数2]

$$U(x_2, y_2, R) \sim \frac{i}{\lambda R} \iint_{\Sigma} U(x_1, y_1, 0) e^{-ikr} \, dx_1 dy_1 \quad \cdots (\text{数式2})$$

[0052] さらに、光5はマスク75の開口にてフレネル回折を起こすと近似することによって、距離 r の R^2 項以降が無視される。したがって、距離 r は、以下の数式3のように表すことができる。

[0053]

[数3]

$$r = \sqrt{R^2 + (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \\ \sim R + \frac{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}{2R} + \dots \quad \dots(\text{数式3})$$

[0054] よって、数式2に数式3を代入することで、数式2は、以下の数式4のよう
に表すことができる。

[0055] [数4]

$$U(x_2, y_2, R) = \frac{i}{\lambda R} e^{-ikR} \iint_{\Sigma} U(x_1, y_1, 0) \exp\left[-ik \frac{(x_2 - x_1)^2}{2R}\right] \exp\left[-ik \frac{(y_2 - y_1)^2}{2R}\right] dx_1 dy_1 \\ \dots(\text{数式4})$$

[0056] ここで、数式4の右辺の積分項をそれぞれ以下の数式5および数式6で置
換すると、数式4は、以下の数式7のように表すことができる。よって、数
式7の右辺がZ=Rにおける光5のフラックスの振幅となる。

[0057] [数5]

$$C_1 = \iint_{\Sigma} \cos\left(k \frac{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}{2R}\right) dx_1 dy_1 \quad \dots(\text{数式5})$$

$$C_2 = \iint_{\Sigma} \sin\left(k \frac{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}{2R}\right) dx_1 dy_1 \quad \dots(\text{数式6})$$

$$U(x_2, y_2, R) = \frac{iU_0}{\lambda R} e^{-ikR} [C_1 - iC_2] \quad \dots(\text{数式7})$$

[0058] したがって、Z=Rにおける光5の強度分布は、U(x₁, y₁, 0)をU₀
と表す場合、U(x₂, y₂, R)と、U(x₂, y₂, R)の共役複素数との
積によって、以下の数式8のように表すことができる。すなわち、F₂が座標
(x₂, y₂, R)における光5の強度分布である。

[0059]

[数6]

$$\begin{aligned} F_2(x_2, y_2, R) &= U(x_2, y_2, R)U(x_2, y_2, R)^\dagger \\ &= \frac{U_0^2}{\lambda^2 R^2} (C_1^2 + C_2^2) \end{aligned} \quad \cdots(\text{数式8})$$

[0060] なお、マスク75の開口を通過した後のイオン3のフラックス $G_2(x_2, y_2, R)$ は、例えば、プラズマ1から発せられたイオン3のエネルギー、および入射角度と、イオン3のフラックス $G_2(x_2, y_2, R)$ とが対応付けられたデータベースを検索することで計算されてもよい。また、イオン3のフラックス $G_2(x_2, y_2, R)$ は、例えば、シースシミュレーションによって計算されてもよく、加工プロセスが行われるチャンバ内で測定された実測値を用いてもよい。イオン3は、光5とは異なり、波動性の影響が無視できる程度に小さいため、マスク75の開口を通過した前後でのフラックスの変化は、無視することが可能である。

[0061] 次に、加工膜73の加工表面に到達するイオン3および光5のフラックスが計算される(S107)。具体的には、加工表面に到達するイオン3および光5のフラックスは、加工表面への入射角ごとに、イオン3および光5のフラックスを光線追跡し、加工膜73のパターン内部でのイオン3および光5の反射を考慮することで計算される。例えば、加工表面に到達するイオン3および光5のフラックスは、マスク75の開口を通過した後のイオン3および光5のフラックスに対して、該イオン3および光5の反射回数および反射確率を演算することで計算されてもよい。

[0062] ここで、図5および図6を参照して、加工膜73の加工表面に到達するイオン3および光5のフラックスの計算手法を具体的に説明する。図5は、加工膜73の加工表面に到達する光5のフラックスの計算手法を説明する説明図であり、図6は、加工膜73の加工表面に到達するイオン3のフラックスの計算手法を説明する説明図である。

[0063] 図5に示すように、加工膜73の表面に到達する光5のフラックスは、計算対象であるボクセルを起点として、マスク75および加工膜73の開口方

向に、角度ステップ $d\Omega$ ごとに光線追跡を行うことで導出することができる。なお、角度ステップ $d\Omega$ は、例えば、初期条件において設定される。

[0064] 具体的には、入射角度の角度ステップ $d\Omega$ ごとに、加工表面へ入射した光 5 の光線追跡を行い、光 5 が加工膜 73 の側壁等に当たった場合、光 5 の波長 λ 、および加工膜 73 の膜種 m_i に応じた反射確率 r_{ph} （ただし、 $0 < r_{ph} < 1$ ）で光 5 が反射したとする。これを光 5 の Z 座標が $Z = R$ に到達するまで繰り返す。例えば、光 5 の Z 座標が $Z = R$ に到達するまでに、 n 回反射されたと判断された場合、加工膜 73 の表面に到達する光 5 のフラックス F_2' は、マスク 75 の開口を通過した光 5 のフラックス F_2 を用いて、以下の数式 9 にて表すことができる。すなわち計算対象であるボクセルには、フラックス F_2' で表される光 5 が到達したとみなすことができる。

[0065] [数7]

$$F_2' = F_2(x_2, y_2, R) \times \prod_n r_{ph}(\lambda, m_i) \quad \dots(\text{数式9})$$

[0066] また、図 6 に示すように、加工膜 73 の表面に到達するイオン 3 のフラックスは、計算対象であるボクセルを起点として、マスク 75 および加工膜 73 の開口方向に、角度ステップ $d\Omega$ ごとに光線追跡を行うことで導出することができる。

[0067] 具体的には、入射角度の角度ステップ $d\Omega$ ごとに、加工表面へ入射したイオン 3 の光線追跡を行い、イオン 3 が加工膜 73 の側壁等に当たった場合、イオン 3 のエネルギー E 、および加工膜 73 の膜種 m_i に応じた反射確率 r_{ion} （ただし、 $0 < r_{ion} < 1$ ）でイオン 3 が反射したとする。これをイオン 3 の Z 座標が $Z = R$ に到達するまで繰り返す。例えば、イオン 3 の Z 座標が $Z = R$ に到達するまでに、 n 回反射されたと判断された場合、加工膜 73 の表面に到達するイオン 3 のフラックス G_2' は、マスク 75 の開口を通過したイオン 3 のフラックス G_2 を用いて、以下の数式 10 にて表すことができる。すなわち、計算対象であるボクセルには、フラックス G_2' で表されるイオン 3

が到達したとみなすことができる。

[0068] [数8]

$$G_2' = G_2(x_2, y_2, R) \times \prod_n r_{ion}(\lambda, m_i) \quad \dots(\text{数式10})$$

[0069] なお、イオン3の光線追跡に用いる角度ステップ $d\Omega$ は、例えば、初期条件において設定される。イオン3の光線追跡に用いる角度ステップ $d\Omega$ は、光5の光線追跡に用いる角度ステップ $d\Omega$ と同じであってもよく、異なってもよい。ただし、イオン3および光5の光線追跡に用いる角度ステップ $d\Omega$ が同じである場合、イオン3および光5の光線追跡を同時に行うことができるため、計算量を削減することができる。

[0070] ここで、マスク75の開口を通過したイオン3のフラックス G_2 は、上述したように、プラズマ1から発せられたイオン3のエネルギー、および入射角度と、イオン3のフラックスとが対応付けられたデータベースを検索することで計算されてもよい。また、イオン3のフラックス G_2 は、シースシミュレーションによって計算されてもよく、加工プロセスが行われるチャンバ内で測定された実測値が用いられてもよい。

[0071] 続いて、加工膜73の加工表面における反応の進行ベクトルが計算される(S109)。具体的には、加工膜73の加工表面において、イオン3および光5による加工膜73へのダメージのベクトル、およびイオン3等による加工膜73の形状進展のベクトルが計算される。

[0072] 加工膜73の加工表面における反応の進行ベクトルとしては、例えば、加工膜73の加工表面に入射するイオン3のフラックスのベクトルを足し合わせた法線ベクトルを用いることができる。

[0073] 図7を参照して、上述した点について説明する。図7は、加工膜73の加工表面に到達するイオン3および光5のフラックスを示す説明図である。図7に示すように、イオン3は、加工膜73の加工表面に対して、方向性を有して入射する。したがって、あるボクセルに入射したイオン3による反応の

進行方向 31 は、該ボクセルに到達したイオン 3 のフラックスのベクトルを足し合わせた法線ベクトルとなる。

[0074] 一方、光 5 は、加工膜 73 の加工表面に対して、等方的に入射する。したがって、あるボクセルに入射した光 5 の伝搬光 51 の波面は、該ボクセルを中心として同心円状に広がり、方向性を有さない。そこで、光 5 によるダメージを予測する際に用いるベクトル 51A は、イオン 3 のフラックスの法線ベクトルを代表として用いることとする。このような場合、光 5 によるダメージと、イオン 3 によるダメージとを同時に計算することができるため、計算量を削減することができる。

[0075] 次に、イオン 3 および光 5 による加工膜 73 での表面反応が計算される (S111)。例えば、表面反応とは、加工表面に入射したイオン 3 による成膜、エッチング、アッシング、またはクリーニングなどを表す。表面反応が成膜である場合、加工膜 73 は、表面反応によって成長するため、二次元ボクセルモデルでは、新たなボクセルが生成されることとなる。また、表面反応がエッチング、またはアッシングである場合、加工膜 73 は、表面反応によって除去されるため、二次元ボクセルモデルでは、加工膜 73 の加工表面のボクセルが消滅することとなる。

[0076] このような加工膜 73 での表面反応は、例えば、プラズマプロセスごとに公知のシミュレーション手法を用いることで計算されてもよい。また、加工膜 73 での表面反応の進行ベクトルは、例えば、前段の S109 で計算した表面反応の進行ベクトルとしてもよい。

[0077] 続いて、イオン 3 および光 5 による加工膜 73 へのダメージが計算される (S113)。具体的には、イオン 3 および光 5 による加工膜 73 へのダメージは、加工膜 73 の加工表面からのイオン 3 および光 5 の侵入長によって、異なるモデルにて計算される。また、イオン 3 および光 5 による加工膜 73 へのダメージの方向は、S109 で計算した表面反応の進行ベクトルの方向とする。

[0078] イオン 3 および光 5 の加工膜 73 への侵入長は、イオン源であるガスの種

類、および加工膜 7 3 の材質によって異なるが、光 5 の方がイオン 3 よりも深く加工膜 7 3 へ侵入する。また、光 5 は、単体で加工膜 7 3 にダメージを与えるだけでなく、イオン 3 と加工膜 7 3 との反応確率を増加させることで、イオン 3 が加工膜 7 3 へ与えるダメージを増加させる。そのため、イオン 3 および光 5 による加工膜 7 3 へのダメージは、イオン 3 および光 5 の間での相互作用を考慮するために、イオン 3 および光 5 の両方が侵入する侵入長と、光 5 のみが侵入する侵入長とで異なるモデルを用いて計算される。

[0079] ここで、図 8 を参照して、イオン 3 および光 5 による加工膜 7 3 へのダメージを計算する手法についてより具体的に説明する。図 8 は、イオン 3 および光 5 による加工膜 7 3 へのダメージについて模式的に示す説明図である。

[0080] 図 8 に示すように、イオン 3 および光 5 による加工膜 7 3 へのダメージは、イオン 3 および光 5 が入射するボクセルを加工表面からの距離に応じて複数の薄片（図 8 では、S l a b 1 ～ 5）に分割し、分割された S l a b ごとにダメージを計算することで算出される。

[0081] 具体的には、イオン 3 および光 5 の両方が侵入する S l a b（S l a b 1 ～ 3）では、イオン 3 および光 5 の間での相互作用を考慮したモデル（m o d e l 1）によって、加工膜 7 3 へのダメージが計算される。また、光 5 のみが侵入する S l a b（S l a b 4 ～ 5）では、光 5 によるダメージ生成を反映したモデル（m o d e l 2）によって、加工膜 7 3 へのダメージが計算される。なお、イオン 3 および光 5 の加工膜 7 3 への侵入長は、イオン源であるガスの種類、および加工膜 7 3 の材質に基づいて、計算される。

[0082] 以下では、イオン 3 および光 5 の両方が侵入する領域における加工膜 7 3 へのダメージのモデル（m o d e l 1）、および光 5 のみが侵入する領域における加工膜 7 3 へのダメージのモデル（m o d e l 2）について、エッチングプロセスを例示してそれぞれ説明する。

[0083] まず、イオン 3 および光 5 の両方が侵入する領域における加工膜 7 3 へのダメージのモデル（m o d e l 1）について説明する。イオン 3 および光 5 の両方が侵入する領域では、イオン 3 および光 5 の入射によるダメージ割合

θ の生成に加えて、エッチングによる θ の消滅が生じている。よって、 j 番目のS l a bでの θ の生成および消滅は、以下の数式11で表すことができる。また、ダメージ割合 θ の生成および消滅は、加工膜73の形状変化に対して平衡になっていると考えることができるため、各時間(t_1 、 t_2 、 t_3)において、加工膜73には、一定の割合でダメージ領域77が形成されているとみなすことができる。

[0084] [数9]

$$\sigma \frac{d\theta(j)}{dt} = [1 - \theta(j)] \left[\sum_i Y_i(V_{net}) \Gamma_i + \sum_{\lambda} Y_{ph}(\lambda) \Gamma_{ph} \right] - \theta(j) \Gamma_{DB}^{ER} \quad \dots(\text{数式11})$$

[0085] 数式11において、右辺の第1項および第2項は、それぞれイオン3および光5によるダメージの生成を表しており、右辺の第3項は、エッチングによるダメージの消滅を表している。 $Y_i(V_{net})$ は、イオン3の加工膜73中のエネルギー V_{net} に依存するイオン3と、加工膜73との反応確率を表し、 $Y_{ph}(\lambda)$ は、光5の波長 λ に依存する光5と、加工膜73との反応確率を表す。さらに、 σ は、加工膜73の面密度を表す。

[0086] また、 Γ_{DB} は、加工膜73にてエッチングされる量を表す。さらに、 Γ_i は、各S l a bに入射するイオン3のフラックスを表し、 Γ_{ph} は、各S l a bに入射する光5のフラックスを表す。なお、 Γ_{DB} は、前段のS111で算出したイオン3および光5による加工膜73での表面反応の計算結果を用いることができる。

[0087] さらに、光5のフラックスは、加工膜73の膜中を伝搬するにつれて、加工膜73の膜種 m_i および光5の波長 λ に依存した消衰係数 $\alpha(\lambda, m_i)$ と、加工表面からの深さ d とに応じて減衰する。したがって、各S l a bに入射する光5のフラックス Γ_{ph} は、加工表面に到達した光5のフラックス F_2' を用いて、以下の数式12で表すことができる。一方、イオン3のフラックスは、加工膜73の膜中を伝搬するにつれて、加工膜73の膜種 m_i 、およびイオン3のエネルギー E に依存した消衰係数 $\alpha'(E, m_i)$ と、加工

表面からの深さ d とに応じて減衰する。したがって、各 $S \mid a b$ に入射するイオン 3 のフラックス Γ_i は、加工表面に到達したイオン 3 のフラックス G_2 ' を用いて、以下の数式 13 で表すことができる。

[0088] [数10]

$$\Gamma_{ph} = F_2' \times \exp(-\alpha d) \quad \dots(\text{数式12})$$

$$\Gamma_i = G_2' \times \exp(-\alpha' d) \quad \dots(\text{数式13})$$

[0089] ここで、加工膜 73 の形状変化の時間スケール $d t$ に対して、 θ の生成および消滅の時間スケールが十分小さい場合、上述したように θ の生成および消滅は、平衡となっていると考えることができる。したがって、 $d \theta / d t = 0$ と近似することで、 j 番目の $S \mid a b$ におけるダメージ割合 θ 、およびダメージ D_a は、以下の数式 14、15 で表すことができる。なお、 $L(j)$ は、 j 番目の $S \mid a b$ の厚みであり、 A' は、シミュレーションのパラメータである。

[0090] [数11]

$$\theta(j) = \frac{[\sum_i Y_{iSiN}(V_{net})\Gamma_i + \sum_{\lambda} Y_{ph}(\lambda)\Gamma_{ph}]}{[\sum_i Y_{iSiN}(V_{net})\Gamma_i + \sum_{\lambda} Y_{ph}(\lambda)\Gamma_{ph}] + \Gamma_{DB}^{ER}} \quad \dots(\text{数式14})$$

$$D_a(j) = L(j) \times \theta(j) \times A' \quad \dots(\text{数式15})$$

[0091] 次に、光 5 のみが侵入する領域における加工膜 73 へのダメージのモデル (mode 12) について説明する。すなわち、イオン 3 が侵入する深さよりも深い領域では、光 5 しか侵入しないため、光 5 による加工膜 73 へのダメージ生成のみを考えればよい。光 5 は、ある時間 t_n においてダメージを受けていない加工膜 73 の領域に新たにダメージを与え、ダメージ領域 77 を形成すると考えることができる。また、光 5 によって形成されたダメージ領域 77 は、加工膜 73 に蓄積され、ある水準で飽和する ($\theta = 1$ となる) と考えることができる。したがって、 j 番目の $S \mid a b$ での θ の生成速度は、

以下の数式 16 で表すことができる。また、数式 16 の右辺の Σ の項は、時間 t に依存せず、定数 β と見なすことができるため、 θ は、数式 17 のように表すことも可能である。

[0092] [数12]

$$\sigma \frac{d\theta}{dt} = [1 - \theta] \left[\sum_{\lambda} Y_{ph}(\lambda) \Gamma_{ph} \right] \quad \dots(\text{数式16})$$

$$\theta = 1 - \exp(-\beta t) \quad \dots(\text{数式17})$$

[0093] したがって、ある時間 t_n に、 j 番目の S l a b にて生成される光 5 によるダメージ D_a は、数式 18 のように表すことができる。なお、 dL_{UV} は、 j 番目の S l a b の厚みであり、 A は、シミュレーションのパラメータである。

[0094] [数13]

$$D_a(j, t_n) = \left[1 - \sum_{t'=0}^{t_n-1} \theta(j, t') \right] \times \theta(j, t_n) \times dL_{UV} \times A \quad \dots(\text{数式18})$$

[0095] 以上の計算を時間ステップごとに加工膜 73 の加工表面の各ボクセルにて行うことで、イオン 3 および光 5 の加工膜 73 への伝搬と、イオン 3 および光 5 による加工膜 73 へのダメージとを計算することができる。これによれば、イオン 3 および光 5 の両方が侵入する領域と、光 5 のみが侵入する領域とでモデルを分けて加工膜 73 へのダメージを計算するため、より正確に加工膜 73 におけるダメージ分布を計算することができる。

[0096] 次に、プラズマプロセスの開始からの経過時間を時間ステップだけ進展させ（S 115）、経過時間が設定時間に到達した否かを判断する（S 117）。設定時間は、プラズマプロセスの終了時間に相当し、時間ステップは、加工膜 73 のダメージ分布を計算する時間間隔に相当する。これらの設定時間、および時間ステップは、例えば、初期条件の設定の際に設定されてもよ

い。

[0097] 経過時間が設定時間に到達していない場合（S 1 1 7 / N o）、次の時間ステップにおける加工膜 7 3 のダメージ分布を計算するために、S 1 0 3 に戻って計算が続行される。一方、経過時間が設定時間に到達している場合（S 1 1 7 / Y e s）、ダメージ予測を終了する。

[0098] なお、上記では、プラズマ 1 にて生成されたイオン 3 および光 5 が加工膜 7 3 に与えるダメージを予測する流れについて説明したが、加工膜 7 3 に加えて、加工膜 7 3 の下方の他の膜、および基板 7 1 等のダメージについても同様に予測可能であることは言うまでもない。

[0099] 以上にて説明した流れによれば、本実施形態に係るダメージ予測方法では、光 5 のフラックスを用いることによって、光 5 を波として扱い、マスク 7 5 の開口における回折を考慮することができる。また、本実施形態に係るダメージ予測方法では、イオン 3 および光 5 の両方が侵入する領域と、光 5 のみが侵入する領域とで異なるモデルを用いて、加工膜 7 3 へのダメージを計算するため、イオン 3 および光 5 の相互作用を考慮してダメージを予測することが可能である。したがって、本実施形態に係るダメージ予測方法では、より正確に加工膜 7 3 のダメージ分布を計算することができる。

[0100] また、本実施形態に係るダメージ予測方法では、フラックスを用いることで、イオン 3 および光 5 による加工膜 7 3 へのダメージを共通の構成で計算することができるため、計算速度を向上させることができる。これによれば、本実施形態に係るダメージ予測方法では、現実的な時間内で、加工膜 7 3 のダメージ分布を計算することが可能である。

[0101] （1. 3. 具体例）

続いて、図 9 ～図 1 5 を参照して、本実施形態に係るダメージ予測方法の第 1 ～第 3 の具体例について説明する。

[0102] （第 1 の具体例）

まず、図 9 ～図 1 1 を参照して、エッチングによるダメージを予測する第 1 の具体例について説明する。第 1 の具体例は、レジストの開口に入射する

イオンおよび光のフラックスをプラズマシミュレーションによって計算する例である。

[0103] 図9は、第1の具体例におけるダメージ予測方法の流れを説明するフローチャート図である。また、図10は、被加工物の加工表面に到達するイオンのフラックスを検索するためのデータベースの構成を示したブロック図である。さらに、図11は、加工対象となる被加工物と、ダメージ分布の予測結果とを模式的に示した断面図である。

[0104] 図9に示すように、まず、初期条件を設定する(S201)。第1の具体例では、以下の条件を初期条件として設定した。

[0105] 例えば、加工対象となる被加工物として、図11に示すように、厚さ $1\mu\text{m}$ の SiO_2 層731と、厚さ 400nm のレジスト層751とが積層された Si 基板711を設定した。なお、レジスト層751は、直径 200nm のホールがパターニングされているものとする。すなわち、第1の具体例は、レジスト層751をマスクとして SiO_2 層731をパターニングする際の Si 基板711へのエッチングダメージを計算する例である。

[0106] また、プロセス条件および装置条件は、以下のように設定した。エッチング装置は、容量結合プラズマ(Capacitively Coupled Plasma: CCP)型とし、印加する電圧の周波数は、イオン引き込み用の電極では、 0.8MHz とし、プラズマ生成用の電極では、 27MHz とした。なお、プラズマの発生機構は、ICP(Inductively Coupled Plasma)型、またはECR(Electron Cyclotron Resonance)型等の他の機構であってもよい。

[0107] エッチングガスは、 C_4F_8 、 O_2 、および Ar の混合ガスとし、流量の比率は、 $\text{C}_4\text{F}_8 : \text{O}_2 : \text{Ar} = 1 : 1 : 8 : 400$ (sccm)とした。なお、sccmは、 0°C 、1気圧での気体の1分間あたりの流量(cm^3/min)を示し、SI単位系で表した場合、流量は、 $\text{C}_4\text{F}_8 : \text{O}_2 : \text{Ar} = 1.859 \times 10^{-4} : 1.352 \times 10^{-4} : 6.76 \times 10^{-4}$ ($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$)である。

。被加工物を加工するチャンバの内部の圧力は、 30 mTorr (4 Pa) とし、エッチング時間は、 30 秒とした。また、プラズマによって生成されたイオンのエネルギーは、 $0\text{ V} \sim 1450\text{ V}$ と設定した。

[0108] さらに、 SiO_2 層 731 の形状変化は、例えば、一辺の長さが 5 nm の正方形を 1 ボクセルとする二次元ボクセルモデルでモデル化した。ただし、 SiO_2 層 731 の形状変化は、他のモデルでモデル化してもよく、`level-set` 法、または `string` 法などを用いてモデル化されてもよい。

[0109] 次に、プラズマシミュレーションによって、プラズマにて生成されるイオンおよび光（具体的には、紫外線）の入射フラックスを計算する（S203）。例えば、`Kuboi et al., Japanese Journal of Applied Physics, 49, 08JD01 (2010)`、または特開 2013-115354 等の開示された計算方法を用いることで、被加工物を加工するチャンバの壁面の状態も考慮して、被加工物に入射するイオンおよび光のフラックスを計算することができる。なお、光のフラックスの波長領域は、エッチャントである CF_2 ガスの発光領域である $250\text{ nm} \sim 270\text{ nm}$ とした。

[0110] 続いて、レジスト層 751 の開口を通過した後の光のフラックスを計算する（S205）。例えば、レジスト層 751 の開口の大きさを直径 200 nm の円形として、上述したフレネル回折による近似を用いることで、レジスト層 751 の開口を通過した後の光のフラックス F_2 を計算することができる。

[0111] さらに、レジスト層 751 の開口を通過した光のフラックス F_2 を用いて、光線追跡を行うことで、 SiO_2 層 731 の加工表面に到達する光のフラックスを計算する（S2071）。例えば、光線追跡を行う角度ステップ $d\Omega$ を 1.5 度とし、 SiO_2 層 731 での反射を鏡面反射とし、反射確率を単純化のため 0.1 として上述した計算を行うことで、 SiO_2 層 731 の加工表面に到達する光のフラックス F_2' を計算することができる。

[0112] 続いて、実測データベースを検索することで、 SiO_2 層 731 の加工表面

に到達するイオンのフラックスを計算する（S 2 0 7 2）。

[0113] 具体的には、まず、S 2 0 7 1と同様に、S i O₂層 7 3 1の加工表面から光線追跡を行うことで、レジスト層 7 5 1の開口を通過した後のイオンの入射角度を計算する。次に、計算した入射角度と、イオンのエネルギーとを引数として、実測データベースを検索することで、レジスト層 7 5 1の開口を通過した後のイオンのフラックス G_2 を導出する。続いて、導出したイオンのフラックス G_2 に対して、光線追跡にて導出した反射回数、および反射確率を演算することで、S i O₂層 7 3 1の加工表面に到達するイオンのフラックス G_2' を計算することができる。なお、光線追跡を行う角度ステップ $d\Omega$ は、例えば、1.5度としてもよく、S i O₂層 7 3 1での反射は、反射確率が0.1の鏡面反射としてもよい。

[0114] ここで、図 1 0を参照して、実測データベースの構成について説明する。

[0115] 図 1 0に示すように、実測データベース 9 0 0は、イオンの入射角度 Ω 、イオンのエネルギー E 、およびイオンのフラックス G_2 をそれぞれ対応させて記憶する。具体的には、実測データベース 9 0 0には、各種プラズマを実測することで得られたイオンの入射角度 Ω 、イオンのエネルギー E 、およびイオンのフラックス G_2 がそれぞれ記憶されている。したがって、イオンの入射角度 Ω 、およびイオンのエネルギー E を引数として検索することで、該引数に対応するイオンのフラックス G_2 の実測データを特定することができる。

[0116] 次に、S i O₂層 7 3 1の加工表面における表面反応の進行ベクトルとして、加工表面に到達するイオンのフラックスの法線ベクトルを計算する（S 2 0 9）。具体的には、S 2 0 7 2で計算した加工表面に到達するイオンのフラックス G_2' の入射ベクトルを足し合わせることで、イオンのフラックス G_2' の法線ベクトルを計算し、該法線ベクトルを加工表面における表面反応の進行ベクトルとして設定する。

[0117] 続いて、エッチングによるS i O₂層 7 3 1の形状変化を計算する（S 2 1 1）。例えば、S 2 0 9で計算した表面反応の進行ベクトルに基づいて、公知のシミュレーションを行うことで、二次元ボクセルモデルにおける加工表

面のボクセルの消滅確率を予測し、 SiO_2 層 731 の形状変化を計算することができる。

[0118] 次に、イオンおよび光による Si 基板 711 のダメージ分布を計算する (S 213)。具体的には、イオンおよび光が侵入する領域と、光のみが侵入する領域とで異なるモデルを用いて、イオンおよび光が Si 基板 711 に与えるダメージを計算する。なお、 Si 基板 711 へのダメージの方向は、S 209 で計算した表面反応の進行ベクトルの方向と同じとすることができる。例えば、上述したように、加工表面を複数の薄片に分割する *Slab* モデルを用いて計算することで、イオンおよび光による Si 基板 711 のダメージ分布を計算することができる。

[0119] 続いて、エッチング開始からの経過時間を時間ステップだけ進展させた (S 215) 後、経過時間が設定時間に到達した否かを判断する (S 217)。経過時間が設定時間に到達していない場合 (S 217 / No)、次の時間ステップにおける Si 基板 711 のダメージ分布を計算するために、S 203 に戻って計算を続行する。一方、経過時間が設定時間に到達している場合 (S 217 / Yes)、計算を終了する。

[0120] 以上の第 1 の具体例による計算の結果を図 11 に併せて示す。図 11 に示すダメージ分布予測 771 によれば、 Si 基板 711 の露出した表面に近い領域のほうがより大きなダメージを受けることが予測される。また、計算の結果、 Si 基板 711 へのイオンの侵入長は約 10 nm であり、それ以降の深さの Si 基板 711 では、光によるダメージが支配的となることが予測される。

[0121] なお、ガス種、および被加工物の材質によっては、光よりもイオンのほうが被加工物への侵入長が長くなる場合がある。例えば、水素原子を含むガスを用いたシリコンへの高エネルギーエッチングでは、紫外線よりも水素イオンのほうが被加工物への侵入長が長くなる場合があり得る。このような場合であっても、紫外線および水素イオンが侵入する領域と、水素イオンのみが侵入する領域とを分けてモデル化することで、被加工物のダメージ分布をよ

り正確に予測することが可能である。

[0122] (第2の具体例)

次に、図12～図14を参照して、エッチングによるダメージを予測する第2の具体例について説明する。第2の具体例は、加工表面に到達するイオンのフラックスをシースシミュレーションによって計算する例である。

[0123] 図12は、第2の具体例におけるダメージ予測方法の流れを説明するフローチャート図である。また、図13は、シースシミュレーションによる計算結果の一例を示すグラフ図である。さらに、図14は、加工対象となる被加工物と、ダメージ分布の予測結果とを模式的に示した断面図である。

[0124] 図12に示すように、まず、初期条件を設定する(S301)。第2の具体例では、以下の条件を初期条件として設定した。

[0125] 例えば、加工対象となる被加工物として、図14に示すように、Si基板712と、Si基板712の上にSiO₂にて設けられたゲート絶縁膜722と、ゲート絶縁膜722の上にpoly-Siにて設けられたゲート電極762と、Si基板712およびゲート電極762の上にSiO₂にて一面に設けられた第1絶縁層732と、第1絶縁層732の上にSiNにて一面に設けられた第2絶縁層752と、を備えるMOS(Metal-Oxide-Semiconductor)トランジスタの中間体を設定した。

[0126] なお、ゲート絶縁膜722および第1絶縁層732の膜厚は2nmとし、ゲート電極762の膜厚は150nmとし、第2絶縁層752の膜厚70nmとした。すなわち、第2の具体例は、MOSトランジスタにおいて、サイドウォール752Aを形成する際の全面エッチング(いわゆる、エッチバック)によるSi基板712へのダメージを計算する例である。

[0127] また、プロセス条件および装置条件は、以下のように設定した。エッチング装置は、容量結合プラズマ(CCP)型とし、印加する電圧の周波数は、イオン引き込み用の電極では、2MHzとし、プラズマ生成用の電極では、60MHzとした。また、ソース電力およびバイアス電力は、500Wおよび100Wとした。なお、プラズマの発生機構は、ICP型、またはECR

型等の他の機構であってもよい。

[0128] エッチングガスは、 C_4F_8 、 O_2 、およびArの混合ガスとし、流量の比率は、 $CH_2F_2 : O_2 : Ar = 60 : 30 : 300$ (sccm) とした。なお、sccmは、 $0^\circ C$ 、1気圧での気体の1分間あたりの流量 (cm^3/min) を示し、SI単位系で表した場合、流量は、 $CH_2F_2 : O_2 : Ar = 101.4 \times 10^{-4} : 50.7 \times 10^{-4} : 507 \times 10^{-4}$ ($Pa \cdot m^3/sec$) である。被加工物を加工するチャンバの内部の圧力は、 $20mTorr$ ($2.7Pa$) とし、エッチング時間は、50秒とした。また、プラズマによって生成されたイオンのエネルギーは、350Vと設定した。

[0129] さらに、第2絶縁層752の形状変化は、例えば、一辺の長さが2nmの正方形を1ボクセルとする二次元ボクセルモデルでモデル化した。ただし、第2絶縁層752の形状変化は、他のモデルでモデル化してもよく、level-set法、またはstring法などを用いてモデル化してもよい。

[0130] 次に、プラズマシミュレーションによって、プラズマにて生成されるイオンおよび光（具体的には、紫外線）の入射フラックスを計算する (S303)。例えば、Kuboi et al., Japanese Journal of Applied Physics, 49, 08JD01 (2010)、または特開2013-115354に開示された計算方法を用いることで、被加工物を加工するチャンバの壁面の状態も考慮して、被加工物に入射するイオンおよび光のフラックスを計算することができる。なお、光のフラックスの波長領域は、エッチャントである CF_2 ガスの発光領域である250nm～270nmとした。

[0131] 続いて、プラズマシミュレーションにて計算した光の入射フラックスを用いて、第2絶縁層752の加工表面に到達する光のフラックスを計算する (S3071)。例えば、光線追跡を行う角度ステップ $d\Omega$ を1.5度とし、第2絶縁層752の側面での反射を鏡面反射とし、反射確率を単純化のため0.1として上述した計算を行うことで、第2絶縁層752の加工表面に到達する光のフラックス F_2' を計算することができる。

[0132] 次に、シースシミュレーションによって、第2絶縁層752の加工表面に到達するイオンのフラックスを計算する（S3072）。例えば、Kushner, Journal of Applied Physics, 58, 4024（2014）等の開示されたシースシミュレーションを用いることで、シース内でのイオンと、ガス分子等の他の粒子との衝突効果を考慮して、イオンの入射角度、およびイオンのエネルギーの分布を導出することができる。したがって、シースシミュレーションにて導出した情報を用いることで、第2絶縁層752の加工表面に入射するイオンのフラックス G_2' を計算することができる。

[0133] ここで、図13を参照して、シースシミュレーションを用いたイオンのフラックス G_2' の計算について具体的に説明する。

[0134] 図13に示すように、シースシミュレーションを用いることで、イオンの入射角度 Ω 、イオンのエネルギー E 、およびイオンのフラックス G を座標軸とする三次元グラフを導出することができる。すなわち、シースシミュレーションにて計算された三次元グラフを用いることで、イオンの入射角度 Ω 、イオンのエネルギー E 、およびイオンのフラックス G の対応関係を予測することができる。

[0135] 具体的には、まず、第2絶縁層752の加工表面から光線追跡を行うことで、被加工物に対するイオンの入射角度を計算する。次に、計算した入射角度、およびイオンのエネルギーに対応するイオンのフラックス G_2 をシースシミュレーションにて計算された三次元グラフから導出する。続いて、算出したイオンのフラックス G_2 に対して、光線追跡にて導出した反射回数、および反射確率を用いて演算することで、第2絶縁層752の加工表面に到達するイオンのフラックス G_2' を計算することができる。なお、光線追跡を行う角度ステップ $d\Omega$ は、例えば、1.5度としてもよく、第2絶縁層752での反射は、例えば、反射確率が0.1の鏡面反射としてもよい。

[0136] 次に、第2絶縁層752の加工表面における表面反応の進行ベクトルとして、加工表面に到達するイオンのフラックスの法線ベクトルを計算する（S

309)。具体的には、S3072で計算した加工表面に到達するイオンのフラックス G_2' の入射ベクトルを足し合わせることで、イオンのフラックス G_2' の法線ベクトルを計算し、該法線ベクトルを加工表面における表面反応の進行ベクトルとして設定する。

[0137] 続いて、エッチングによる第2絶縁層752の形状変化を計算する(S311)。例えば、S309で計算した表面反応の進行ベクトルに基づいて、公知のシミュレーションを行うことで、二次元ボクセルモデルにおける加工表面のボクセルの消滅確率を予測し、第2絶縁層752の形状変化を計算することができる。

[0138] 次に、イオンおよび光によるSi基板712のダメージ分布を計算する(S313)。具体的には、イオンおよび光が侵入する領域と、光のみが侵入する領域とで異なるモデルを用いて、Si基板712に与えられるダメージを計算する。なお、Si基板712へのダメージの方向は、S209で計算した表面反応の進行ベクトルの方向と同じとすることができる。例えば、上述したように加工表面を複数の薄片に分割するSlabモデルを用いて計算を行うことで、イオンおよび光によるSi基板712のダメージ分布を計算することができる。

[0139] 続いて、エッチング開始からの経過時間を時間ステップだけ進展させた(S315)後、経過時間が設定時間に到達した否かを判断する(S317)。経過時間が設定時間に到達していない場合(S317/No)、次の時間ステップにおけるSi基板712のダメージ分布を計算するために、S303に戻って計算を続行する。一方、経過時間が設定時間に到達している場合(S317/Yes)、計算を終了する。

[0140] 以上の第2の具体例による計算の結果を図14に併せて示す。図14に示すダメージ分布予測772によれば、Si基板712では、サイドウォール752Aに覆われておらず、イオンおよび光の両方が直接到達する領域では、ダメージが強く分布することが予測される。また、Si基板712のサイドウォール752Aに覆われた領域では、イオンが直接到達しないため、光

によるダメージが弱く分布することが予測される。

[0141] (第3の具体例)

続いて、図15を参照して、エッチングによるダメージを予測する第3の具体例について説明する。第3の具体例は、プラズマにて生成されるイオンおよび光の入射フラックスを実測値から導出する例である。図15は、第3の具体例におけるダメージ予測方法の流れを説明するフローチャート図である。

[0142] 図15に示すように、まず、初期条件を設定する(S401)。なお、第3の具体例は、第1の具体例に対して、プラズマにて生成されるイオンおよび光の入射フラックスの導出方法のみが異なる。したがって、第3の具体例のS401、S405～S417は、S201、S205～S217と実質的に同様であるため、ここでの説明は省略する。なお、S4072については、実測データベースではなく、S3072と同様にシミュレーションを用いてイオンのフラックスを計算してもよいことは言うまでもない。

[0143] 次に、被加工物を加工するチャンバ内部のプラズマをモニタリングすることで、プラズマにて生成されるイオンおよび光(具体的には、紫外線)の入射フラックスを導出する(S403)。

[0144] 例えば、OES(Optical Emission Spectroscope)によるチャンバ内部のモニタリングにて得られた情報を用いて、特開2013-115355に開示された計算を行うことで、被加工物に入射する光のフラックスを計算することができる。また、QMS(Quadrupole Mass Spectroscope)、およびIRLAS(Infrared Laser Absorption Spectroscope)によるチャンバ内部のモニタリングにて得られた情報を用いることで、被加工物に入射するイオンおよびラジカルのフラックスを計算することができる。

[0145] <2. 第2の実施形態>

(2. 1. 概略)

次に、図 1 6 を参照して、本開示の第 2 の実施形態に係るプログラムの概略について説明する。図 1 6 は、本開示の第 2 の実施形態に係るプログラムを実行する情報処理装置を説明する説明図である。

[0146] 本実施形態に係るプログラムは、上述した第 1 の実施形態に係るダメージ予測方法を実行するプログラムである。本実施形態に係るプログラムは、例えば、公知のプログラミング言語にてプログラミングすることができるが、例えば、C、C++、Fortran、または J A V A（登録商標）などのプログラミング言語にてプログラミングされていてもよい。なお、本実施形態は、上述した第 1 の実施形態に係るダメージ予測方法を実行するプログラムが記憶された記憶媒体をも含むものとする。

[0147] 図 1 6 で示すように、本実施形態に係るプログラムは、例えば、コンピュータ等の情報処理装置 1 0 0 A にて実行されてもよい。

[0148] また、本実施形態に係るプログラムは、ネットワーク 1 1 にて接続された情報処理装置 1 0 0 A と、情報処理サーバ 1 0 0 B との協働によって実行されてもよい。このような場合、より演算能力が高い情報処理サーバ 1 0 0 B にて、計算量が多い処理を実行させることができるため、本実施形態に係るプログラムの実行速度を向上させることができる。

[0149] なお、情報処理装置 1 0 0 A と情報処理サーバ 1 0 0 B とを接続するネットワーク 1 1 は、インターネットなどの公衆回線網であってもよく、L A N（Local Area Network）などの限られた狭い範囲をカバーするネットワークであってもよい。

[0150] （2. 2. ダメージ予測装置の構成例）

続いて、図 1 7 を参照して、本実施形態に係るプログラムを実行する情報処理装置の構成例について説明する。図 1 7 は、本実施形態に係るプログラムを実行する情報処理装置の機能構成を示したブロック図である。なお、図 1 7 の情報処理装置 1 0 0 は、図 1 6 で示した情報処理装置 1 0 0 A、または情報処理装置 1 0 0 A と情報処理サーバ 1 0 0 B とからなる情報処理システムのいずれかを表す。

[0151] 図17に示すように、情報処理装置100は、入力部101と、入射フラックス演算部103と、加工面フラックス演算部105と、形状演算部107と、ダメージ演算部109と、出力部111と、を備える。なお、本実施形態に係るプログラムを実行する情報処理装置100の実行プラットフォームは、Windows（登録商標）、Linux（登録商標）、Unix（登録商標）、Mac OS（登録商標）、またはOS X（登録商標）など、いずれであってもよい。

[0152] 入力部101は、ダメージ予測方法において、初期条件の入力を受け付け、入力された初期条件を入射フラックス演算部103に受け渡す。具体的には、入力部101には、プロセスのレシピ情報、装置情報、計算に用いる各種パラメータ、ならびに被加工物の形状、膜種、および膜厚などの情報が入力されてもよい。入力部101は、例えば、表示装置に表示されたGUI（Graphical User Interface）などであってもよい。また、GUIの構成言語は、OpenGL（登録商標）、Motif、またはtcI/tkなど、いずれであってもよい。

[0153] 入射フラックス演算部103は、入力された初期条件に基づいて、プラズマにて生成されるイオンおよび光のフラックスを計算する。具体的には、入射フラックス演算部103は、プラズマ中でのガス種の密度を計算し、プラズマにて生成されるイオンのエネルギー分布、および被加工物への入射角度分布を計算する。さらに、入射フラックス演算部103は、イオンのエネルギー分布、および被加工物への入射角度分布から、イオンのフラックスを計算する。また、入射フラックス演算部103は、ガス種、およびプラズマの生成条件に基づくシミュレーションによって、プラズマにて生成された光のフラックスを計算する。入射フラックス演算部103が実行する具体的な計算方法については、第1の実施形態にて詳述したので、ここでの説明は省略する。

[0154] 加工面フラックス演算部105は、入力された被加工物の形状、層構造、および膜厚などの情報から、ウェハの開口率、チップレベルの開口率、およ

び被加工物のパターン形状の開口によるイオンおよび光のフラックスへの影響を計算する。また、加工面フラックス演算部 105 は、光線追跡を用いることで、プラズマにて生成されたイオンおよび光のフラックスから、被加工物の加工表面に到達するイオンおよび光のフラックスを計算する。加工面フラックス演算部 105 が実行する具体的な計算方法については、第 1 の実施形態にて詳述したので、ここでの説明は省略する。

[0155] 形状演算部 107 は、被加工物の加工表面に到達するイオンによる表面反応を計算し、被加工物の加工表面の形状進展を計算する。具体的には、形状演算部 107 は、加工表面における反応の進行ベクトルとして、加工表面に入射するイオンのフラックスのベクトルを足し合わせた法線ベクトルを計算する。また、形状演算部 107 は、イオンの入射による加工表面の反応を計算し、被加工物の加工表面の形状進展を計算する。形状演算部 107 が実行する形状進展の具体的な計算方法については、公知の方法を用いることができるため、ここでの説明は省略する。

[0156] ダメージ演算部 109 は、加工表面に入射するイオンおよび光のフラックスに基づいて、イオンおよび光が被加工物に与えるダメージ分布を計算する。具体的には、ダメージ演算部 109 は、イオンおよび光の両方が侵入する領域と、光のみが侵入する領域とで異なるモデルを用いて、イオンおよび光が被加工物に与えるダメージを計算する。また、ダメージ演算部 109 は、イオンおよび光による被加工物へのダメージの方向に、表面反応の進行ベクトルの方向を用いることにより、イオンおよび光によるダメージを同時に計算することができる。なお、表面反応の進行ベクトルは、上述したように、形状演算部 107 が計算してもよいが、ダメージ演算部 109 が計算してもよいことは言うまでもない。ダメージ演算部 109 が実行する具体的な計算方法については、第 1 の実施形態にて詳述したので、ここでの説明は省略する。

[0157] 出力部 111 は、計算された被加工物のダメージ分布を出力する。また、出力部 111 は、被加工物の加工後の形状を出力してもよい。出力部 111

は、被加工物のダメージ分布の計算結果をデータファイルとして出力してもよく、GUIなどの画像などで可視化して出力してもよい。GUIの構成言語は、OpenGL、Motif、またはtcI/tkなど、いずれも使用することが可能である。また、出力部111は、被加工物のダメージ分布の計算結果の出力を計算終了後にまとめて出力してもよく、計算中にリアルタイムで出力してもよい。

[0158] 情報処理装置100は、本実施形態に係るプログラムを実行することにより、上述した機能を実現することが可能である。これによれば、情報処理装置100は、現実的な計算時間で、プラズマプロセスにおける被加工物のダメージ分布をより正確に予測することが可能である。

[0159] (2. 3. ハードウェア構成)

次に、図18を参照して、本実施形態に係るプログラムを実行する情報処理装置のハードウェア構成について説明する。本実施形態に係るプログラムは、図18で示すようなハードウェアと協働することにより、図17で示した機能構成を実現し、第1の実施形態で説明したダメージ予測方法を実行することができる。図18は、本実施形態に係るプログラムを実行する情報処理装置のハードウェア構成例を示したブロック図である。

[0160] 図18に示すように、情報処理装置100は、CPU (Central Processing Unit) 151と、ROM (Read Only Memory) 153と、RAM (Random Access Memory) 155と、ブリッジ161と、内部バス157および159と、インタフェース163と、入力装置165と、出力装置167と、ストレージ装置169と、ドライブ171と、接続ポート173と、通信装置175と、を備える。

[0161] CPU 151は、演算処理装置および制御装置として機能し、ROM 153等に記憶された各種プログラム（本実施形態に係るプログラム等）に従って、情報処理装置100の動作全般を制御する。ROM 153は、CPU 151が使用するプログラム、演算パラメータを記憶し、RAM 155は、C

P U 1 5 1 の実行において使用するプログラムや、その実行において適宜変化するパラメータ等を一時記憶する。例えば、C P U 1 5 1 は、入射フラックス演算部 1 0 3、加工面フラックス演算部 1 0 5、形状演算部 1 0 7、およびダメージ演算部 1 0 9 等の機能を実行してもよい。

[0162] これら C P U 1 5 1、R O M 1 5 3、および R A M 1 5 5 は、ブリッジ 1 6 1、内部バス 1 5 7 および 1 5 9 等により相互に接続されている。また、C P U 1 5 1、R O M 1 5 3、および R A M 1 5 5 は、インタフェース 1 6 3 を介して入力装置 1 6 5、出力装置 1 6 7、ストレージ装置 1 6 9、ドライブ 1 7 1、接続ポート 1 7 3、および通信装置 1 7 5 とともに接続されている。

[0163] 入力装置 1 6 5 は、タッチパネル、キーボード、マウス、ボタン、マイクロフォン、スイッチ、およびレバーなどの各種情報を入力可能な入力手段を含む。また、入力装置 1 6 5 は、入力された情報に基づいて入力信号を生成し、C P U 1 5 1 に出力するための入力制御回路なども含む。例えば、入力装置 1 6 5 は、入力部 1 0 1 の機能を実行してもよい。

[0164] 出力装置 1 6 7 は、例えば、C R T (C a t h o d e R a y T u b e) 装置、液晶表示装置、および有機エレクトロルミネッセンス表示装置などの表示装置を含む。また、出力装置 1 6 7 は、スピーカ、およびヘッドフォンなどの音声出力装置を含む。例えば、出力装置 1 6 7 は、出力部 1 1 1 等の機能を実行してもよい。

[0165] ストレージ装置 1 6 9 は、情報処理装置 1 0 0 の記憶部の一例として構成されるデータ格納用の装置である。ストレージ装置 1 6 9 は、記憶媒体、記憶媒体にデータを記憶する記憶装置、記憶媒体からデータを読み出す読み出し装置、および記憶されたデータを削除する削除装置を含んでもよい。

[0166] ドライブ 1 7 1 は、記憶媒体用リードライタであり、情報処理装置 1 0 0 に内蔵、または外付けされる。例えば、ドライブ 1 7 1 は、装着されている磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク、または半導体メモリ等のリムーバブル記憶媒体に記憶されている情報を読み出し、R A M 1 5 3 に出力す

る。また、ドライブ 171 は、リムーバブル記憶媒体に情報を書き込むことも可能である。

[0167] 接続ポート 173 は、例えば、USB (Universal Serial Bus) ポート、イーサネット (登録商標) ポート、IEEE 802.11 規格ポート、および光オーディオ端子等のような外部接続機器を接続するための接続ポートで構成された接続インタフェースである。

[0168] 通信装置 175 は、例えば、ネットワーク 11 に接続するための通信デバイス等で構成された通信インタフェースである。また、通信装置 175 は、有線によるケーブル通信を行うケーブル通信装置であってもよく、有線または無線 LAN 対応通信装置であってもよい。

[0169] 以上にて説明したように、本実施形態に係るプログラムは、演算処理装置によって実行されることで、第 1 の実施形態に係るダメージ予測方法を行うことが可能である。

[0170] <3. 第 3 の実施形態>

(3. 1. 概略)

続いて、図 19 を参照して、本開示の第 3 の実施形態に係る半導体加工システムの概略について説明する。図 19 は、本開示の第 3 の実施形態に係る半導体加工システムの概略を説明する説明図である。

[0171] 図 19 に示すように、本実施形態に係る半導体加工システムは、半導体加工装置 300 と、第 1 の実施形態に係るダメージ予測方法を実行する情報処理装置 200A と、を含む。なお、情報処理装置 200A は、ネットワーク 11 によって接続された情報処理サーバ 200B と協働して、第 1 の実施形態に係るダメージ予測方法を実行してもよい。

[0172] 本実施形態に係る半導体加工システムは、上述した第 1 の実施形態に係るダメージ予測方法を用いて、プラズマプロセスによるダメージが最適化されるように、プロセス条件をフィードバック補正する半導体加工システムである。

[0173] 半導体加工装置 300 は、プラズマを用いて半導体を加工する装置である

。例えば、半導体加工装置 300 は、エッチング装置、PVD 装置、CVD 装置、プラズマアッシング装置、またはプラズマクリーニング装置のいずれであってもよい。また、半導体加工装置 300 が用いるプラズマは、例えば、高周波プラズマ、ECR プラズマ、容量結合プラズマ、誘導結合プラズマ、ヘリコン波プラズマ、または UHF もしくは VHF プラズマ等であってもよく、その他の機構によって生成されたプラズマであってもよい。

[0174] 情報処理装置 200A は、例えば、コンピュータ等であり、第 1 の実施形態に係るダメージ予測方法を実行する。また、情報処理装置 200A は、第 1 の実施形態に係るダメージ予測方法の演算の一部を情報処理サーバ 200B に実行させてもよい。情報処理装置 200A は、計算量が多い処理を演算能力が高い情報処理サーバ 200B で実行させることにより、ダメージ予測方法の計算速度を向上させることができる。なお、情報処理装置 200A と情報処理サーバ 200B とを接続するネットワーク 11 は、第 2 の実施形態で説明したものと同様であるのでここでの説明は省略する。

[0175] (3. 2. 半導体加工システムの構成例)

次に、図 20 を参照して、本実施形態に係る半導体加工システムの構成例について説明する。図 20 は、本実施形態に係る半導体加工システムの機能構成を示したブロック図である。なお、図 20 の情報処理装置 200 は、図 19 で示した情報処理装置 200A、または情報処理装置 200A と情報処理サーバ 200B とからなるシステムのいずれかを表す。

[0176] 図 20 に示すように、半導体加工装置 300 は、加工部 301 と、センサ部 303 と、制御部 305 とを備える。また、情報処理装置 200 は、入射フラックス演算部 203 と、加工面フラックス演算部 205 と、形状演算部 207 と、ダメージ演算部 209 と、補正判断部 211 と、加工停止部 213 と、を備える。

[0177] (半導体加工装置 300)

加工部 301 は、被加工物である半導体ウェハ等への加工が行われるチャンバを備える。例えば、加工部 301 は、チャンバの内部に導入したガスを

電離させることでプラズマを生成し、被加工物へのエッチング、成膜、アッシング、またはクリーニング等を行う。加工部３０１で行われるプロセスは、プラズマを用いるプロセスであれば、特に限定されない。

[0178] センサ部３０３は、加工部３０１の内部に関する情報を測定する。具体的には、センサ部３０３は、加工部３０１に備えられたセンサ類によって加工部３０１の内部のプラズマの状態等を測定し、測定した情報を情報処理装置２００へ受け渡す。

[0179] 加工部３０１に備えられたセンサ類は、例えば、発光分析器（Optical Emission Spectrometry: OES）、質量分析計（Quadrupole Mass Spectrometry: QMS）、吸収分光分析器（Infrared Laser Absorption Spectroscopy: IRLAS）、またはエネルギースペクトルアナライザなどであってもよい。これらのセンサ類により、センサ部３０３は、加工部３０１の内部のプラズマの状態を常時モニタリングすることができる。センサ部３０３による測定は、例えば、０．１秒のサンプリング速度で行われてもよい。

[0180] 制御部３０５は、加工部３０１におけるプロセス条件を制御する。具体的には、制御部３０５は、情報処理装置２００の補正判断部２１１からプロセス条件の補正を受信した場合、受信した補正に基づいて、加工部３０１でのプロセス条件を制御する。また、制御部３０５は、情報処理装置２００の加工停止部２１３から停止指示を受信した場合、加工部３０１での加工を停止させる。すなわち、制御部３０５は、加工部３０１での加工全般を制御すると共に、情報処理装置２００で実行されたダメージ予測方法の結果を加工部３０１へ反映することができる。

[0181] （情報処理装置２００）

入射フラックス演算部２０３は、プラズマによって生成されたイオンおよび光の入射フラックスを計算する。具体的には、入射フラックス演算部２０３は、センサ部３０３が測定したプラズマの状態に関する情報に基づいて、

加工部 301 の内部のガス密度、およびイオンエネルギーを計算し、プラズマによって生成されたイオンおよび光の入射フラックスを計算する。また、計算時間が実際の加工時間よりも十分に短い場合、入射フラックス演算部 203 は、プラズマシミュレーションによって、プラズマによって生成されるイオンおよび光の入射フラックスを計算してもよい。

[0182] 加工面フラックス演算部 205、形状演算部 207、およびダメージ演算部 209 は、第 2 の実施形態にて説明した加工面フラックス演算部 105、形状演算部 107、およびダメージ演算部 109 と実質的に同様であるので、ここでの説明は省略する。

[0183] 補正判断部 211 は、形状演算部 207、およびダメージ演算部 209 によって計算された被加工物の形状、およびダメージ分布が所望の規定値を超えた場合、プロセス条件に対する補正を判断する。具体的には、補正判断部 211 は、加工部 301 の内部の状態に基づいて予測された被加工物の形状、およびダメージ分布が所望の規定値を超える場合、所望の規定値を満たすプロセス条件を見出し、現状のプロセス条件に対する補正を判断する。

[0184] 例えば、エッチングプロセスにおいて、エッチングで形成される凹部の寸法変動値が $\pm 10\%$ 以上である場合、または被加工物に対するダメージが所望の規定値（例えば、欠陥数が 10^{11} 個 / cm^2 ）を 50% 以上超過する場合、補正判断部 211 は、原料ガスの流量、ガス圧力、印加パワー、およびウェハ温度の順に、プロセス条件を $\pm 50\%$ ずつ変動させて、再度、被加工物の形状およびダメージ分布を入射フラックス演算部 203、加工面フラックス演算部 205、形状演算部 207、およびダメージ演算部 209 に計算させる。これを繰り返すことにより、補正判断部 211 は、計算によって予測される被加工物の形状、およびダメージ分布が所望の規定値を満たすプロセス条件を見出し、現状のプロセス条件への補正を判断する。

[0185] 一方、補正判断部 211 が所望の規定値を満たすプロセス条件を見出せない場合、補正判断部 211 は、アラート信号を加工停止部 213 に送信し、加工部 301 による加工を停止させてもよい。

- [0186] なお、計算時間が実際の加工時間と同程度である場合、情報処理装置 200 は、例えば、様々なプロセス条件に対して摂動計算を行ったデータベースをあらかじめ用意しておいてもよい。このような場合、補正判断部 211 は、該データベースを検索することで、被加工物の形状、およびダメージ分布が所望の規定値を満たすプロセス条件を見出してもよい。
- [0187] 補正判断部 211 によって判断された補正は、半導体加工装置 300 の制御部 305 に送信されることにより、加工部 301 でのプロセス条件に反映される。
- [0188] 加工停止部 213 は、所望の被加工物を形成することが困難であると判断された場合、半導体加工装置 300 による加工を停止させる。具体的には、所望の規定値を満たす形状、およびダメージ分布の被加工物を形成するプロセス条件を見出すことができないと補正判断部 211 が判断した場合、加工停止部 213 は、半導体加工装置 300 における加工を停止させる。加工停止部 213 は、例えば、FDC/EES (Fault Detection and Classification/Equipment Engineering System) などであってもよい。加工停止部 213 によれば、所望の被加工物を形成することが困難である場合、早期に半導体加工装置 300 を停止させることによって、エラーに対する対処を早期に行うことができる。
- [0189] 本実施形態に係る半導体加工システムによれば、プラズマプロセスにおける被加工物のダメージ分布を予測し、予測結果に基づいた補正をプロセス条件にフィードバックすることで、所望の特性を有する半導体素子を効率良く形成することが可能である。
- [0190] なお、上記では、本実施形態は、半導体加工装置 300 と、情報処理装置 200 とからなるシステムとして説明したが、本開示に係る技術は、かかる例示に限定されない。例えば、本実施形態は、半導体加工装置 300 と、情報処理装置 200 とが一体化した半導体加工装置であってもよい。
- [0191] <4. まとめ>

以上にて詳述したように、本開示の第1の実施形態に係るダメージ予測方法では、光を波として扱い、被加工物の開口における回折を考慮することができるため、より正確に被加工物のダメージ分布を計算することができる。

[0192] また、本開示の第1の実施形態に係るダメージ予測方法では、イオンおよび光の両方が侵入する領域と、光のみが侵入する領域とで異なるモデルを用いて、被加工物へのダメージを計算することができる。したがって、本開示の第1の実施形態に係るダメージ予測方法は、イオンおよび光の相互作用を考慮することができるため、より正確に被加工物のダメージ分布を計算することができる。

[0193] さらに、本開示の第1の実施形態に係るダメージ予測方法では、フラックスを用いて、イオンおよび光による被加工物へのダメージを共通の構成で計算することができるため、計算速度を向上させることができる。したがって、本開示の第1の実施形態に係るダメージ予測方法は、現実的な時間内で、被加工物のダメージ分布を計算することが可能である。

[0194] また、本開示の第2の実施形態に係るプログラムは、情報処理装置を用いて第1の実施形態に係るダメージ予測方法を演算処理させることにより、被加工物のダメージ分布を効率的に予測することが可能である。

[0195] さらに、本開示の第3の実施形態に係る半導体加工システムは、第1の実施形態に係るダメージ予測方法の結果をフィードバックすることにより、所望の形状、およびダメージ分布を有する被加工物をより容易に形成することが可能である。

[0196] 以上、添付図面を参照しながら本開示の好適な実施形態について詳細に説明したが、本開示の技術的範囲はかかる例に限定されない。本開示の技術分野における通常の知識を有する者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、これらについても、当然に本開示の技術的範囲に属するものと了解される。

[0197] また、本明細書に記載された効果は、あくまで説明的または例示的なもの

であって限定的ではない。つまり、本開示に係る技術は、上記の効果とともに、または上記の効果に代えて、本明細書の記載から当業者には明らかな他の効果を奏しうる。

[0198] なお、以下のような構成も本開示の技術的範囲に属する。

(1)

演算装置を用いて、加工対象を含む被加工物のパターンに基づいて、プラズマによって生成されるイオンおよび光のフラックスから、前記パターン内に伝搬されるイオンおよび光のフラックスを算出することと、

前記パターン内に伝搬されるイオンおよび光のフラックスから、光線追跡によって前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスを算出することと、

前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスから、前記加工対象のダメージ分布を算出することと、
を含む、ダメージ予測方法。

(2)

前記パターンは、前記被加工物の表面に設けられた開口である、前記(1)に記載のダメージ予測方法。

(3)

前記被加工物は、マスクが形成された前記加工対象であり、

前記開口は、前記マスクに設けられる、前記(2)に記載のダメージ予測方法。

(4)

前記パターン内に伝搬される光のフラックスは、前記光の波長と、前記開口の大きさとに基づく回折近似によって算出される、前記(2)または(3)に記載のダメージ予測方法。

(5)

前記光は、平面波として近似され、

前記パターン内に伝搬される光のフラックスは、前記光と前記開口とのフ

レネル回折によって算出される、前記（４）に記載のダメージ予測方法。

（６）

前記パターン内に伝搬されるイオンのフラックスは、前記イオンのエネルギーおよび入射角度を引数とするデータベース、シースシミュレーション、または実測されたデータに基づいて算出される、前記（１）～（５）のいずれか一項に記載のダメージ予測方法。

（７）

前記プラズマによって生成されるイオンおよび光のフラックスは、シミュレーション、または実測されたデータに基づいて算出される、前記（１）～（６）のいずれか一項に記載のダメージ予測方法。

（８）

前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスは、前記加工対象の表面への入射角度ごとに、前記パターン内に伝搬されるイオンおよび光のフラックスを光線追跡し、光線追跡した前記イオンおよび光のフラックスを反射回数および反射確率によって演算することで算出される、前記（１）～（７）のいずれか一項に記載のダメージ予測方法。

（９）

前記加工対象の表面における加工反応の進行方向は、前記加工対象の表面に到達するイオンのフラックスの法線ベクトルの方向である、前記（１）～（８）のいずれか一項に記載のダメージ予測方法。

（１０）

前記加工対象のダメージ分布は、前記イオンの入射による前記加工対象の形状変化を考慮して算出される、前記（１）～（９）のいずれか一項に記載のダメージ予測方法。

（１１）

前記加工対象のダメージ分布は、前記加工対象の表面からの侵入長に基づいて、イオンおよび光によるダメージと、光によるダメージとをそれぞれ演算することで算出される、前記（１）～（１０）のいずれか一項に記載のダ

メージ予測方法。

(12)

前記加工対象の表面に到達する光のフラックスの法線ベクトルの方向は、前記加工対象の表面に到達するイオンのフラックスの法線ベクトルの方向と同じである、前記(1)～(11)のいずれか一項に記載のダメージ予測方法。

(13)

演算装置を用いて、プラズマによって生成されるイオンおよび光のフラックスから、加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスを算出することと、

前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスから、前記加工対象の表面からの侵入長に基づいて、イオンおよび光によるダメージと、光によるダメージとをそれぞれ演算し、前記加工対象のダメージ分布を算出することと、

を含む、ダメージ予測方法。

(14)

演算装置を用いて、プラズマによって生成されるイオンおよび光のフラックスから、加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスを算出することと、

前記加工対象の表面に到達する光のフラックスの法線ベクトルの方向は、前記加工対象の表面に到達するイオンのフラックスの法線ベクトルの方向と同じであり、前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスから、前記加工対象へのダメージの分布を算出することと、

を含む、ダメージ予測方法。

(15)

コンピュータを

加工対象を含む被加工物のパターンに基づいて、プラズマによって生成されるイオンおよび光のフラックスから、前記パターン内に伝搬されるイオン

および光のフラックスを算出する入射フラックス演算部と、

前記パターン内に伝搬されるイオンおよび光のフラックスから、光線追跡によって前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスを算出する加工面フラックス演算部と、

前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスから、前記加工対象へのダメージの分布を算出するダメージ演算部と、
として機能させる、プログラム。

(16)

加工対象を含む被加工物のパターンに基づいて、プラズマによって生成されるイオンおよび光のフラックスから、前記パターン内に伝搬されるイオンおよび光のフラックスを算出する入射フラックス演算部と、

前記パターン内に伝搬されるイオンおよび光のフラックスから、光線追跡によって前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスを算出する加工面フラックス演算部と、

前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスから、前記加工対象へのダメージの分布を算出するダメージ演算部と、
を備える、半導体加工システム。

(17)

加工対象を含む被加工物を加工するチャンバの内部の状態を計測するセンサ部と、

前記センサ部にて計測された情報を用いて算出される前記加工対象のダメージ分布に基づいて、前記被加工物の加工条件に対する補正を判断する補正判断部と、

判断された前記補正に基づいて、前記加工条件を制御する制御部と、
をさらに備える、前記(16)に記載の半導体加工システム。

(18)

前記補正判断部が前記補正を判断できない場合、前記被加工物の加工を停止させる加工停止部をさらに備える、前記(17)に記載の半導体加工シス

テム。

符号の説明

[0199]	1	プラズマ
	3	イオン
	5	光
	7	被加工物
	7 1	基板
	7 3	加工膜
	7 5	マスク
	1 0 0、2 0 0	情報処理装置
	1 0 1	入力部
	1 0 3、2 0 3	入射フラックス演算部
	1 0 5、2 0 5	加工面フラックス演算部
	1 0 7、2 0 7	形状演算部
	1 0 9、2 0 9	ダメージ演算部
	1 1 1	出力部
	2 1 1	補正判断部
	2 1 3	加工停止部
	3 0 0	半導体加工装置
	3 0 1	加工部
	3 0 3	センサ部
	3 0 5	制御部

請求の範囲

- [請求項1] 演算装置を用いて、加工対象を含む被加工物のパターンに基づいて、プラズマによって生成されるイオンおよび光のフラックスから、前記パターン内に伝搬されるイオンおよび光のフラックスを算出することと、
- 前記パターン内に伝搬されるイオンおよび光のフラックスから、光線追跡によって前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスを算出することと、
- 前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスから、前記加工対象のダメージ分布を算出することと、
- を含む、ダメージ予測方法。
- [請求項2] 前記パターンは、前記被加工物の表面に設けられた開口である、請求項1に記載のダメージ予測方法。
- [請求項3] 前記被加工物は、マスクが形成された前記加工対象であり、
- 前記開口は、前記マスクに設けられる、請求項2に記載のダメージ予測方法。
- [請求項4] 前記パターン内に伝搬される光のフラックスは、前記光の波長と、前記開口の大きさとに基づく回折近似によって算出される、請求項2に記載のダメージ予測方法。
- [請求項5] 前記光は、平面波として近似され、
- 前記パターン内に伝搬される光のフラックスは、前記光と前記開口とのフレネル回折によって算出される、請求項4に記載のダメージ予測方法。
- [請求項6] 前記パターン内に伝搬されるイオンのフラックスは、前記イオンのエネルギーおよび入射角度を引数とするデータベース、シースシミュレーション、または実測されたデータに基づいて算出される、請求項1に記載のダメージ予測方法。
- [請求項7] 前記プラズマによって生成されるイオンおよび光のフラックスは、

シミュレーション、または実測されたデータに基づいて算出される、請求項1に記載のダメージ予測方法。

[請求項8] 前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスは、前記加工対象の表面への入射角度ごとに、前記パターン内に伝搬されるイオンおよび光のフラックスを光線追跡し、光線追跡した前記イオンおよび光のフラックスを反射回数および反射確率によって演算することで算出される、請求項1に記載のダメージ予測方法。

[請求項9] 前記加工対象の表面における加工反応の進行方向は、前記加工対象の表面に到達するイオンのフラックスの法線ベクトルの方向である、請求項1に記載のダメージ予測方法。

[請求項10] 前記加工対象のダメージ分布は、前記イオンの入射による前記加工対象の形状変化を考慮して算出される、請求項1に記載のダメージ予測方法。

[請求項11] 前記加工対象のダメージ分布は、前記加工対象の表面からの侵入長に基づいて、イオンおよび光によるダメージと、光によるダメージとをそれぞれ演算することで算出される、請求項1に記載のダメージ予測方法。

[請求項12] 前記加工対象の表面に到達する光のフラックスの法線ベクトルの方向は、前記加工対象の表面に到達するイオンのフラックスの法線ベクトルの方向と同じである、請求項1に記載のダメージ予測方法。

[請求項13] 演算装置を用いて、プラズマによって生成されるイオンおよび光のフラックスから、加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスを算出することと、

前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスから、前記加工対象の表面からの侵入長に基づいて、イオンおよび光によるダメージと、光によるダメージとをそれぞれ演算し、前記加工対象のダメージ分布を算出することと、
を含む、ダメージ予測方法。

[請求項14] 演算装置を用いて、プラズマによって生成されるイオンおよび光のフラックスから、加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスを算出することと、

前記加工対象の表面に到達する光のフラックスの法線ベクトルの方向は、前記加工対象の表面に到達するイオンのフラックスの法線ベクトルの方向と同じであり、前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスから、前記加工対象へのダメージの分布を算出することと、

を含む、ダメージ予測方法。

[請求項15] コンピュータを

加工対象を含む被加工物のパターンに基づいて、プラズマによって生成されるイオンおよび光のフラックスから、前記パターン内に伝搬されるイオンおよび光のフラックスを算出する入射フラックス演算部と、

前記パターン内に伝搬されるイオンおよび光のフラックスから、光線追跡によって前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスを算出する加工面フラックス演算部と、

前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスから、前記加工対象へのダメージの分布を算出するダメージ演算部と、
として機能させる、プログラム。

[請求項16] 加工対象を含む被加工物のパターンに基づいて、プラズマによって生成されるイオンおよび光のフラックスから、前記パターン内に伝搬されるイオンおよび光のフラックスを算出する入射フラックス演算部と、

前記パターン内に伝搬されるイオンおよび光のフラックスから、光線追跡によって前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスを算出する加工面フラックス演算部と、

前記加工対象の表面に到達するイオンおよび光のフラックスから、

前記加工対象へのダメージの分布を算出するダメージ演算部と、
を備える、半導体加工システム。

[請求項17] 加工対象を含む被加工物を加工するチャンバの内部の状態を計測するセンサ部と、

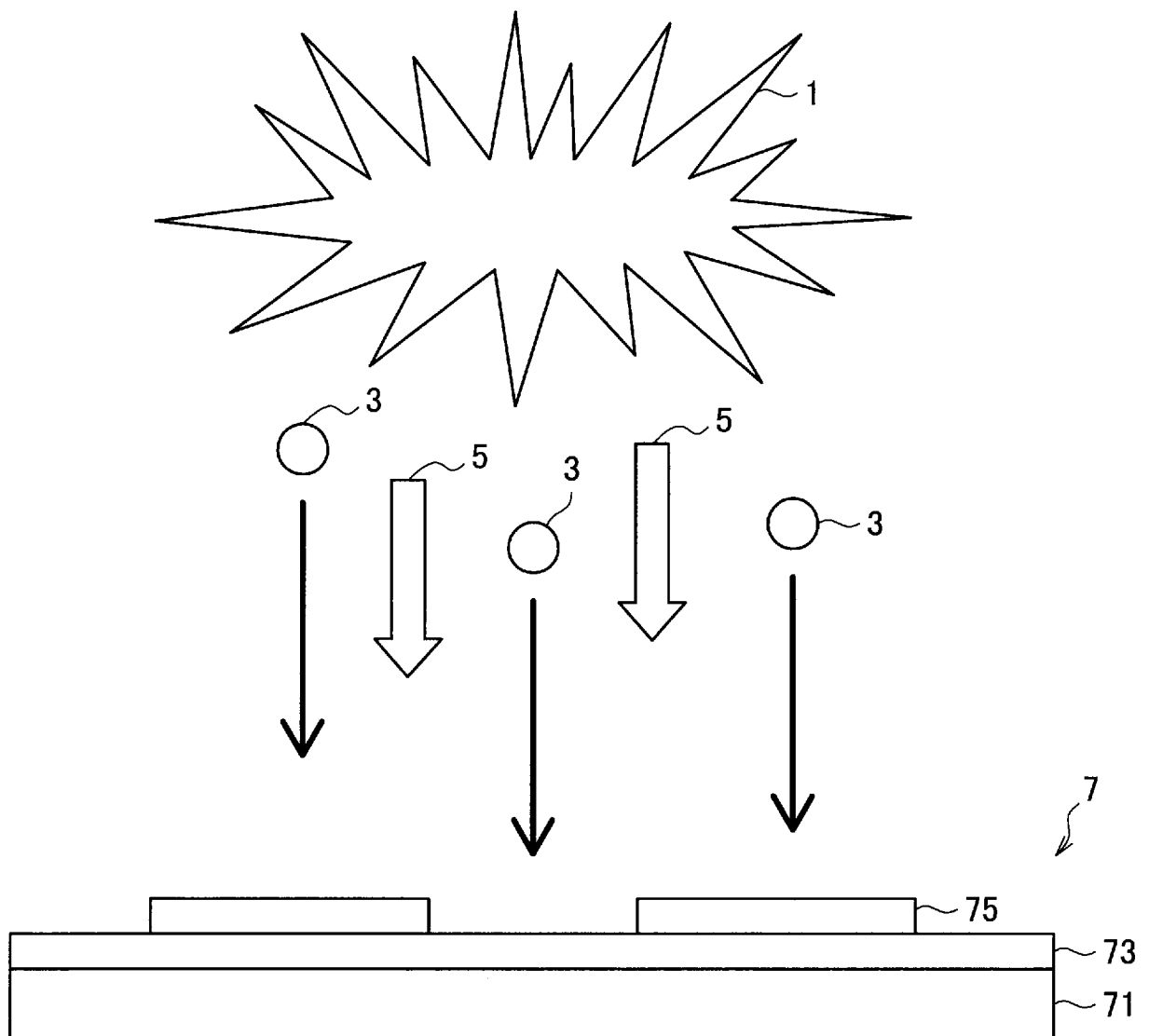
前記センサ部にて計測された情報を用いて算出される前記加工対象のダメージ分布に基づいて、前記被加工物の加工条件に対する補正を判断する補正判断部と、

判断された前記補正に基づいて、前記加工条件を制御する制御部と、
、

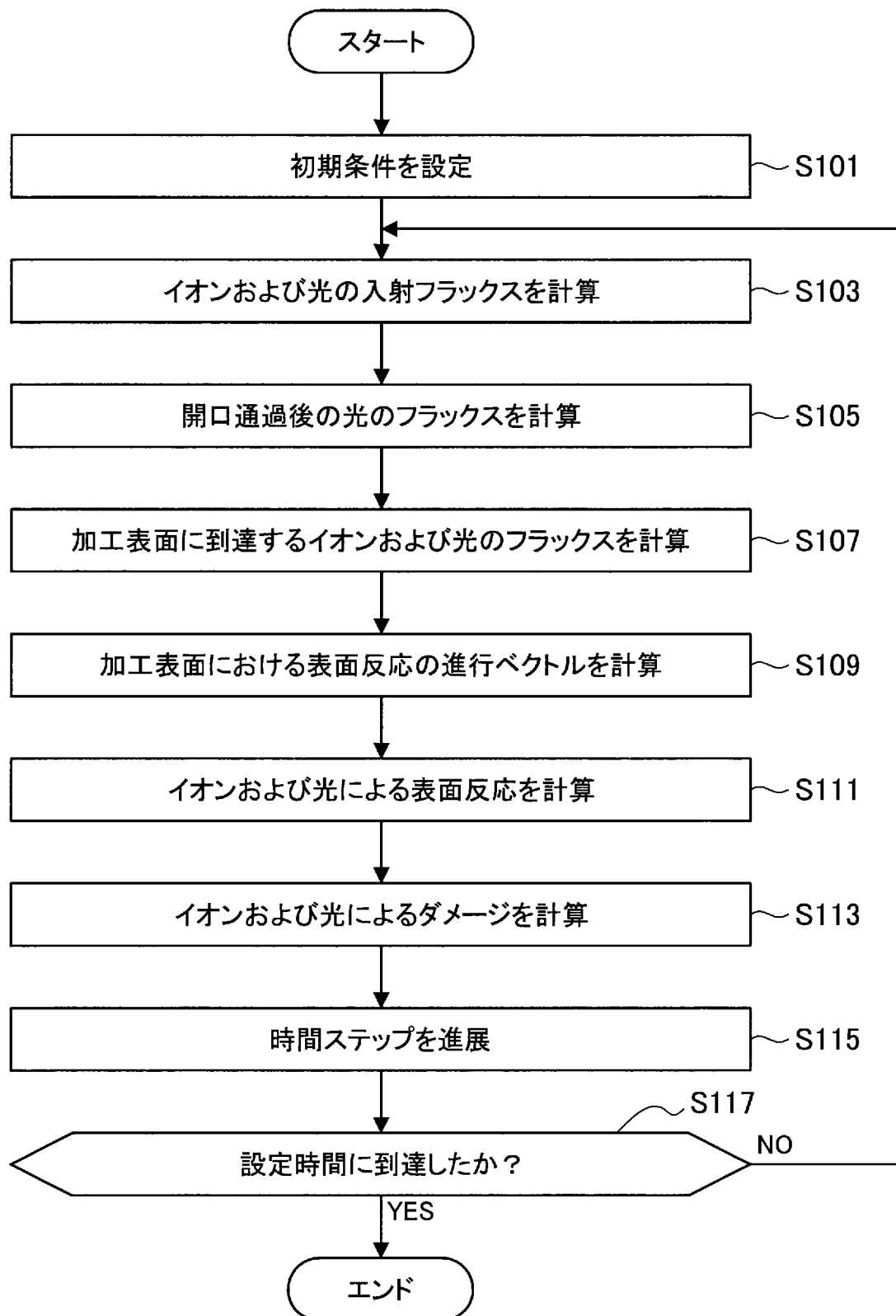
をさらに備える、請求項16に記載の半導体加工システム。

[請求項18] 前記補正判断部が前記補正を判断できない場合、前記被加工物の加工を停止させる加工停止部をさらに備える、請求項17に記載の半導体加工システム。

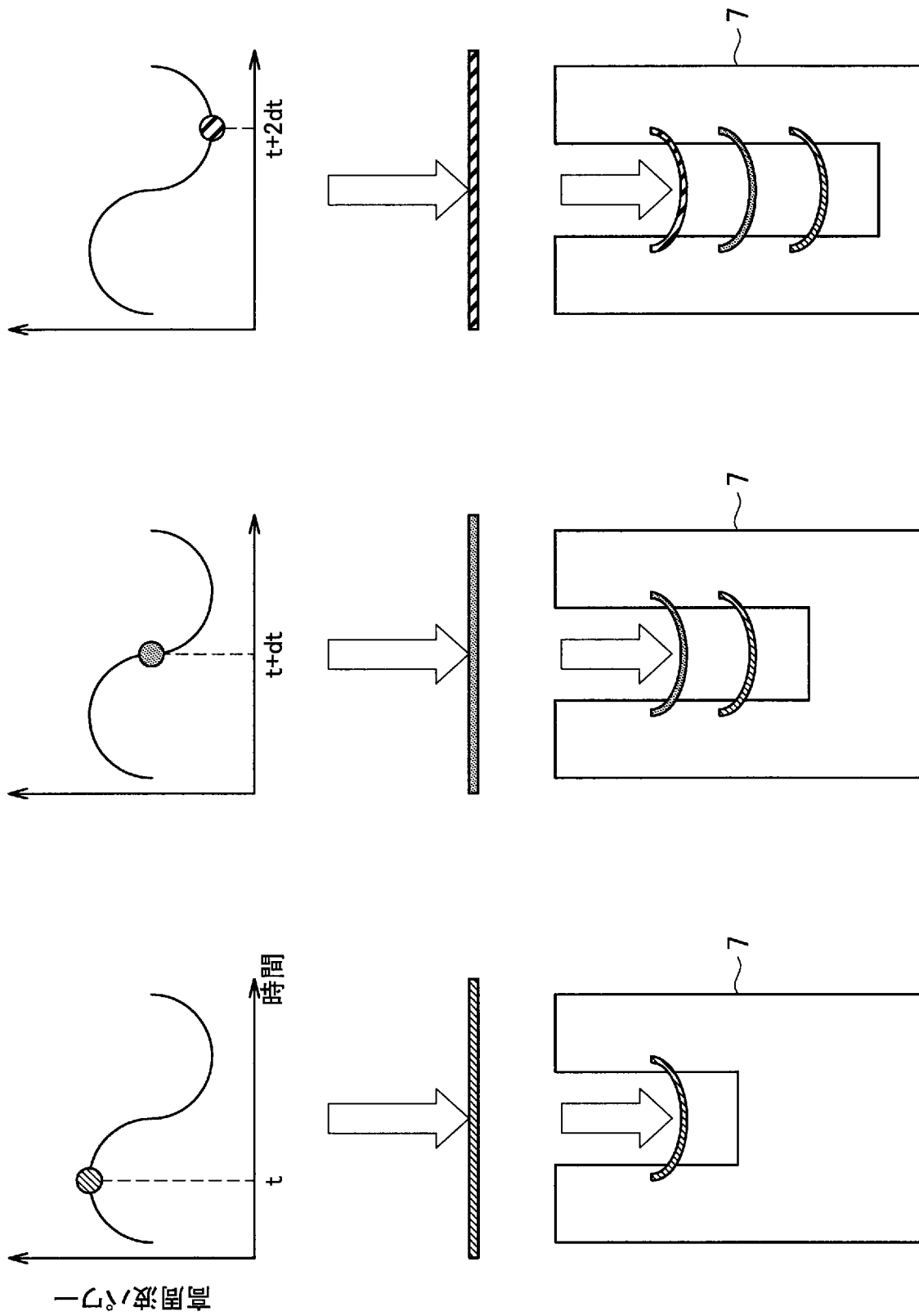
[図1]



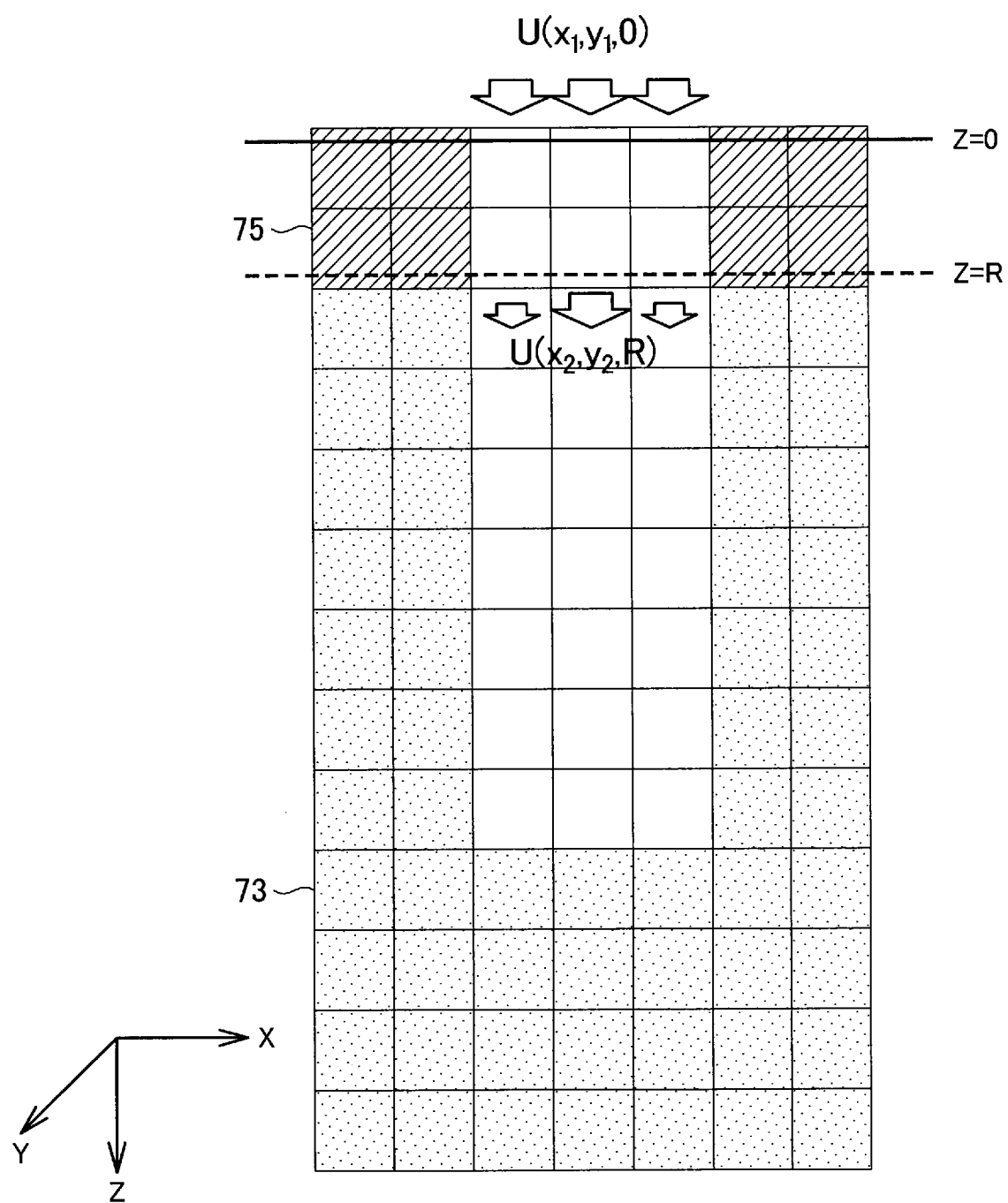
[図2]



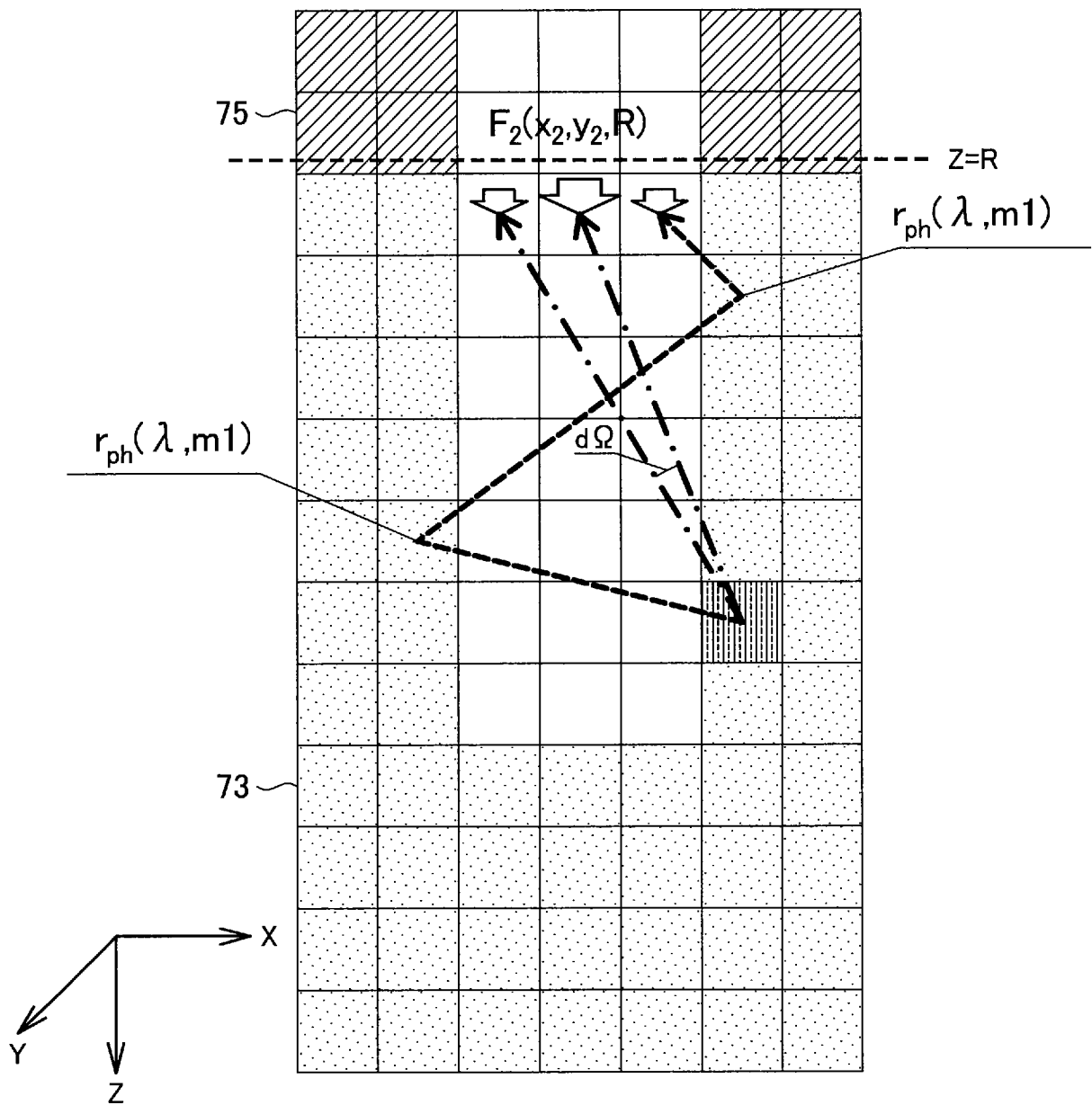
[図3]



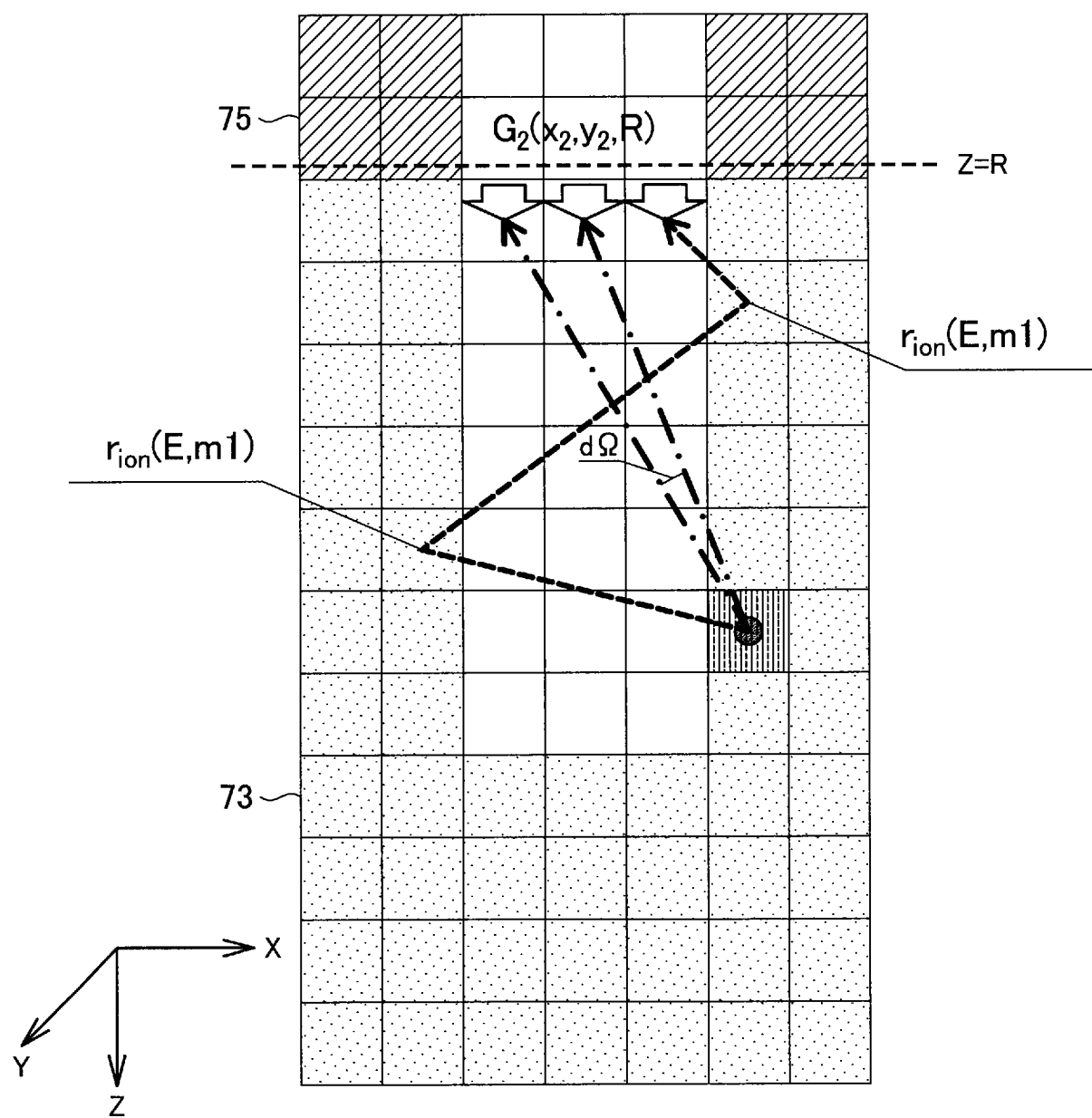
[図4]



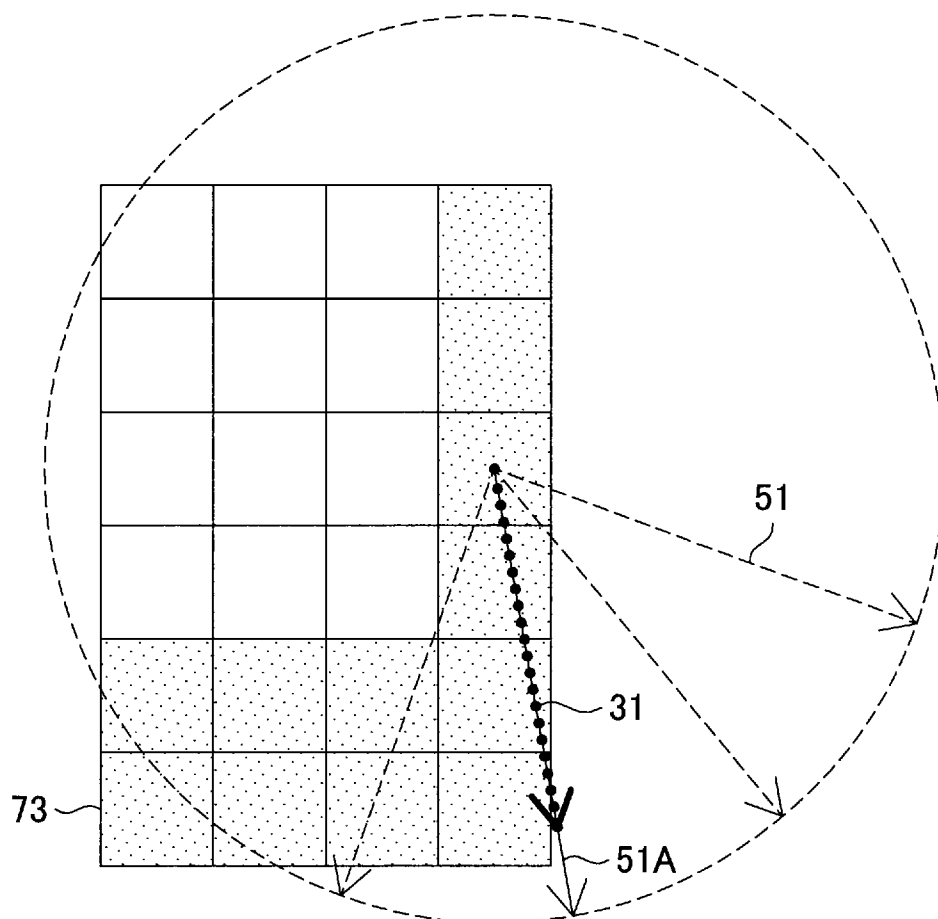
[図5]



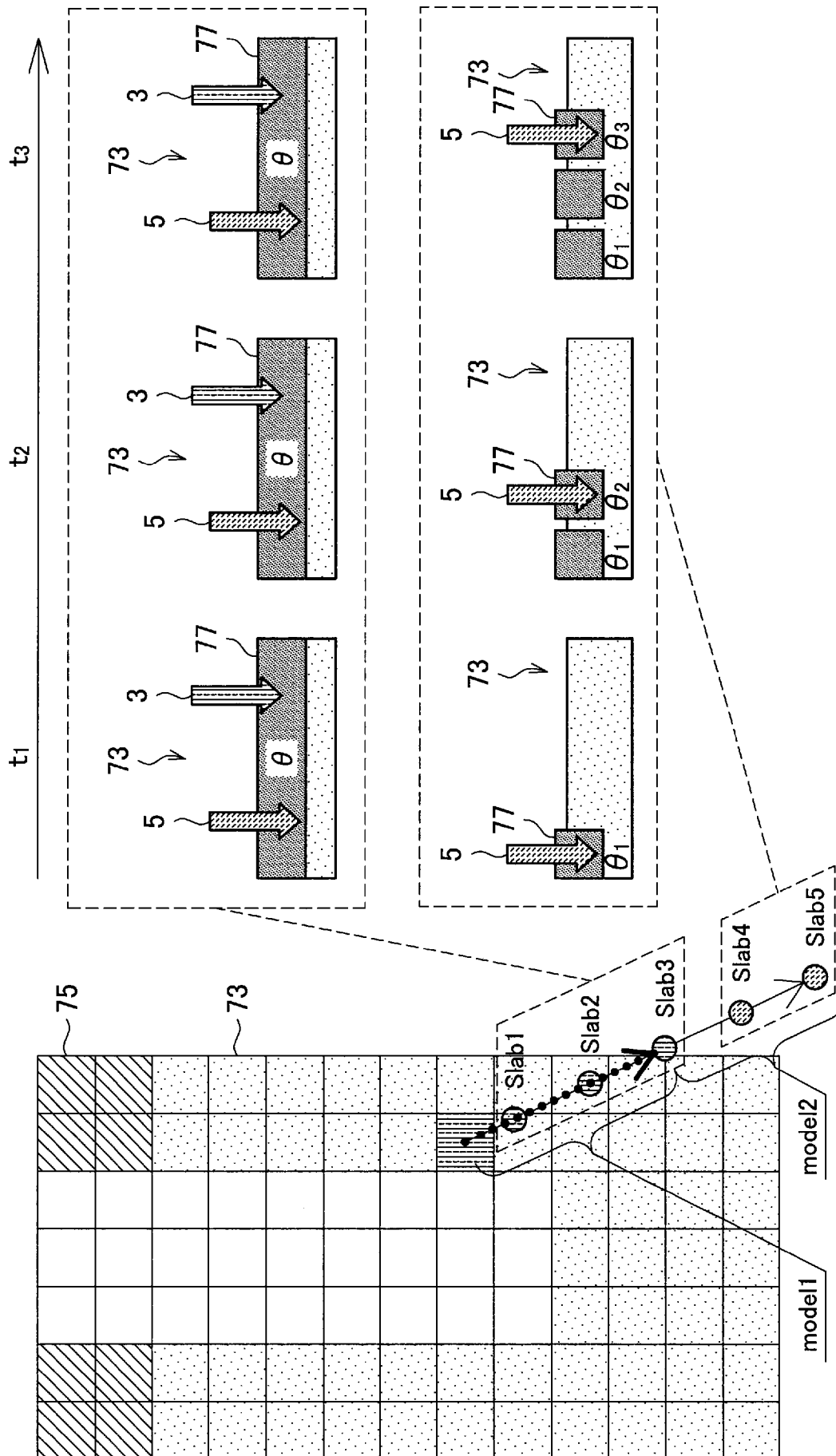
[図6]



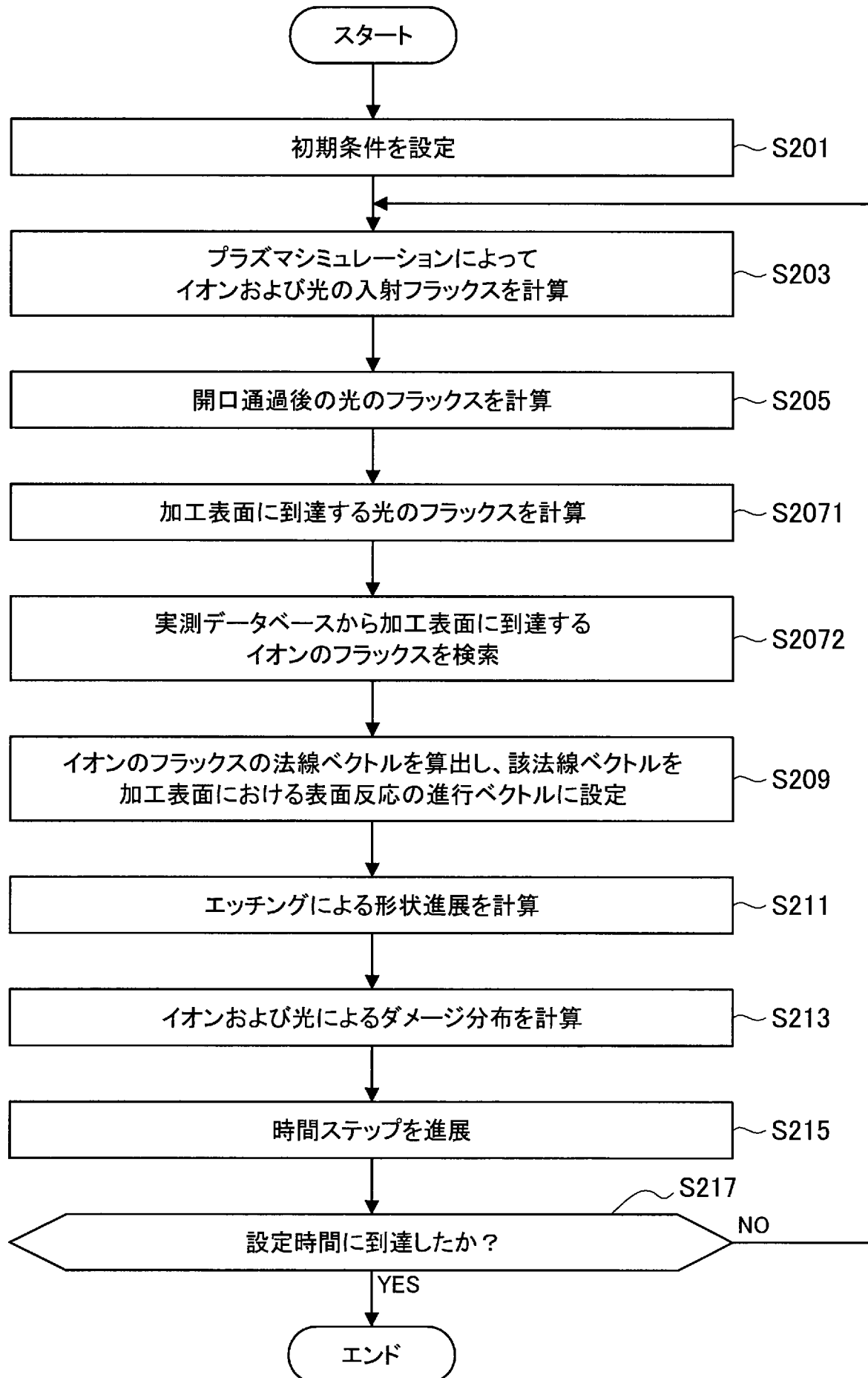
[図7]



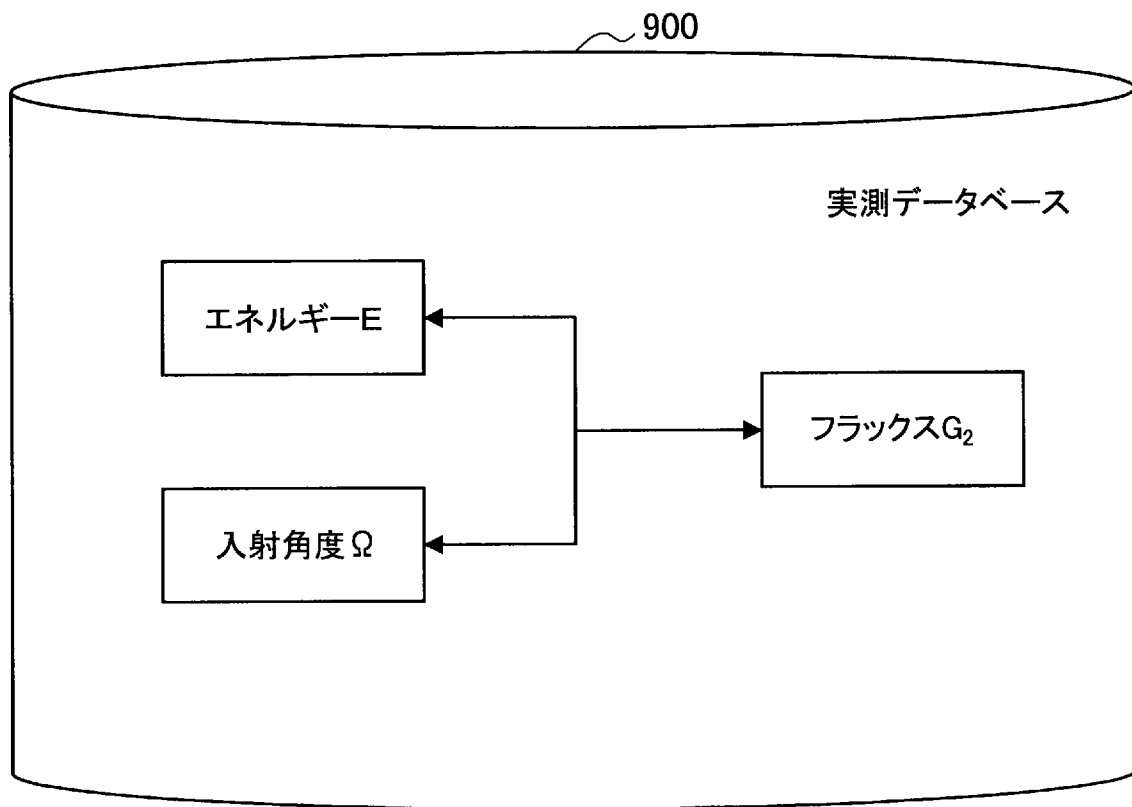
[図8]



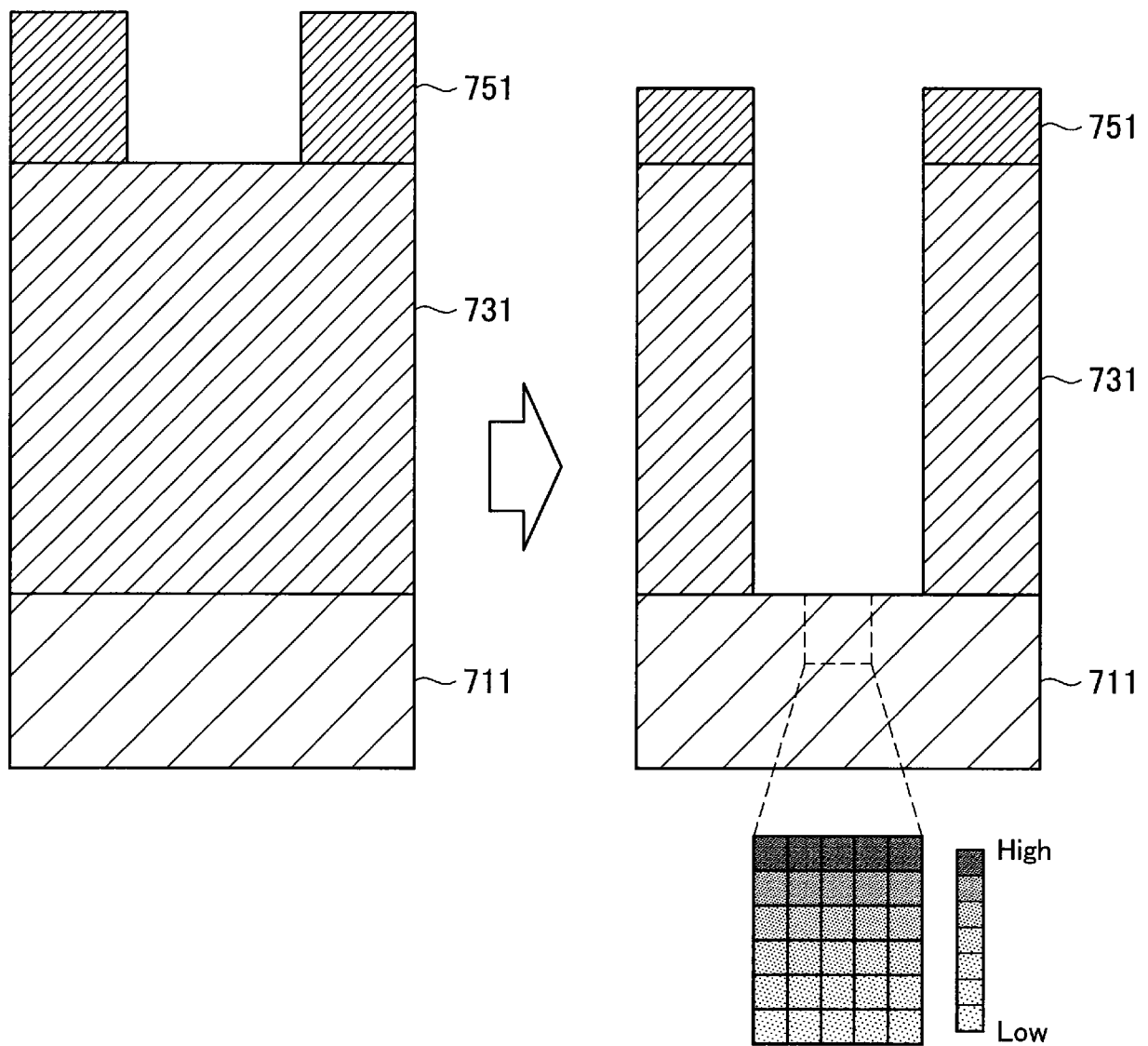
[図9]



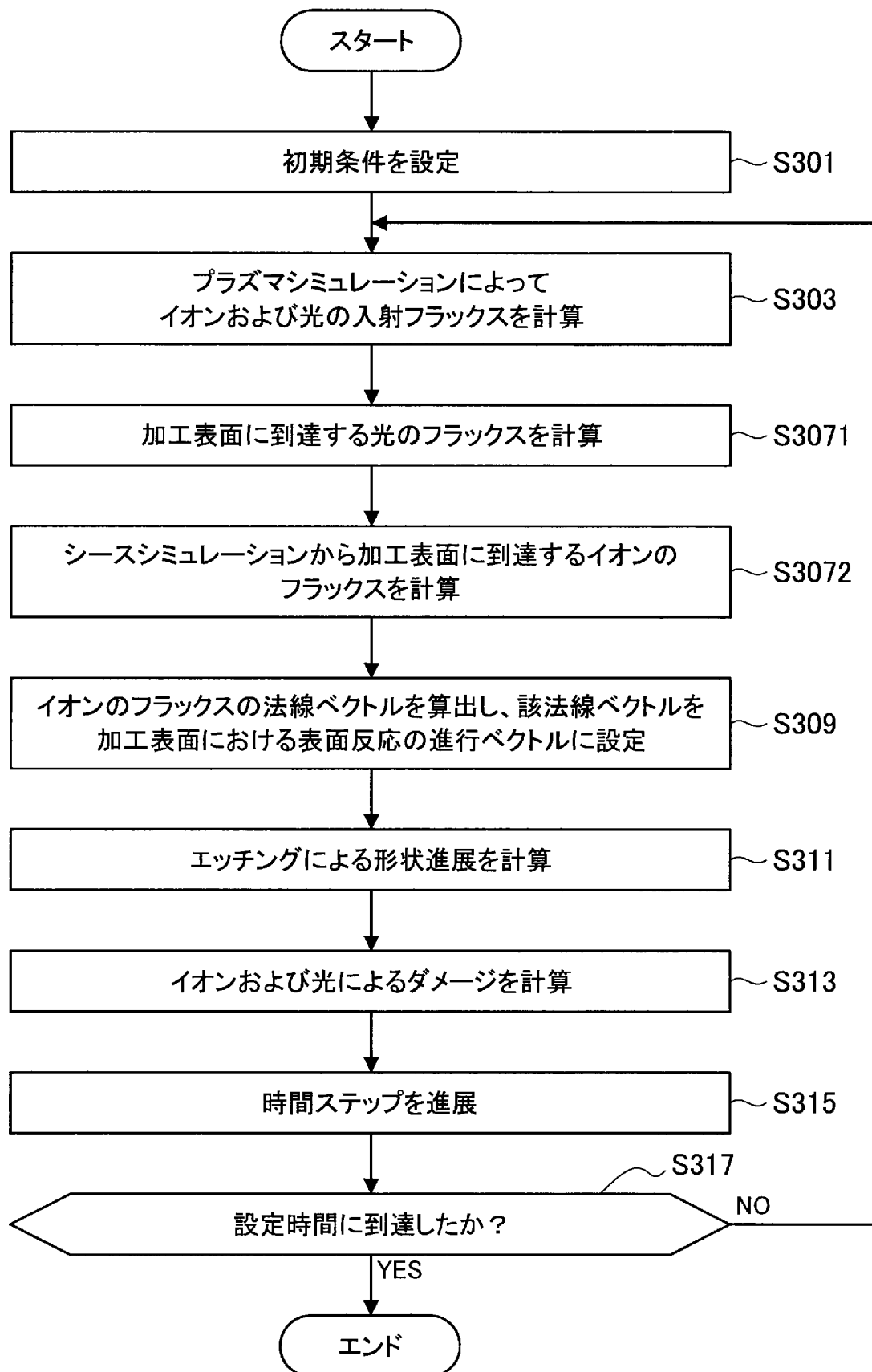
[図10]



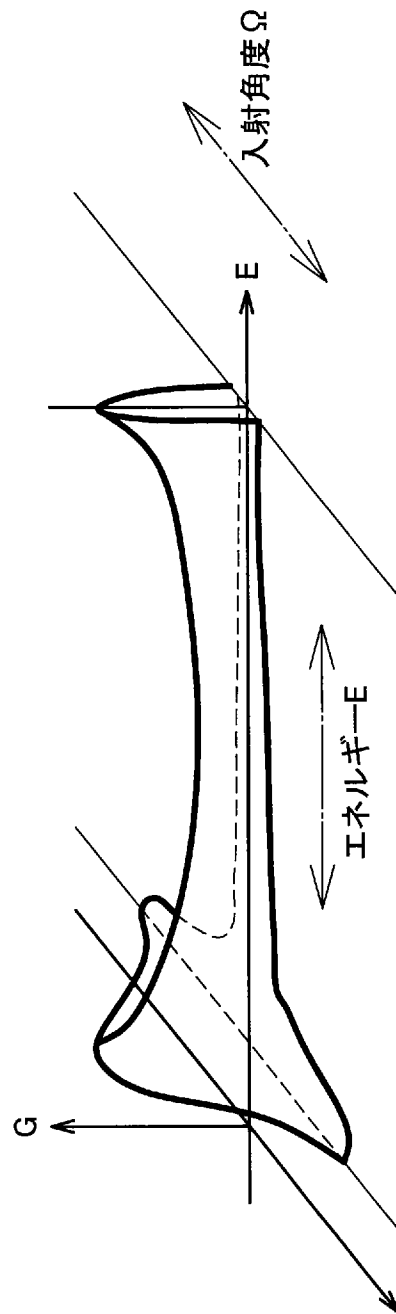
[図11]



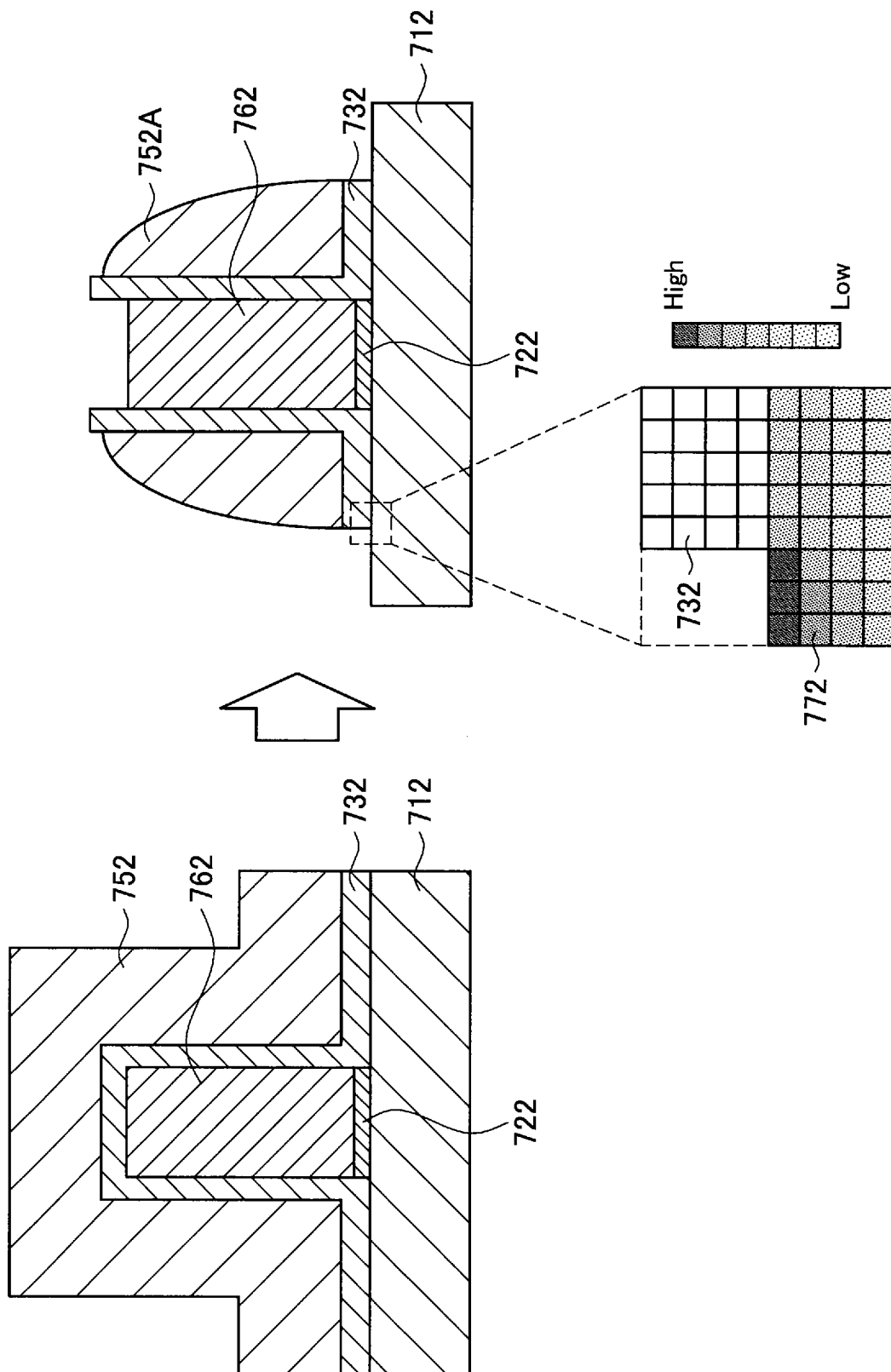
[図12]



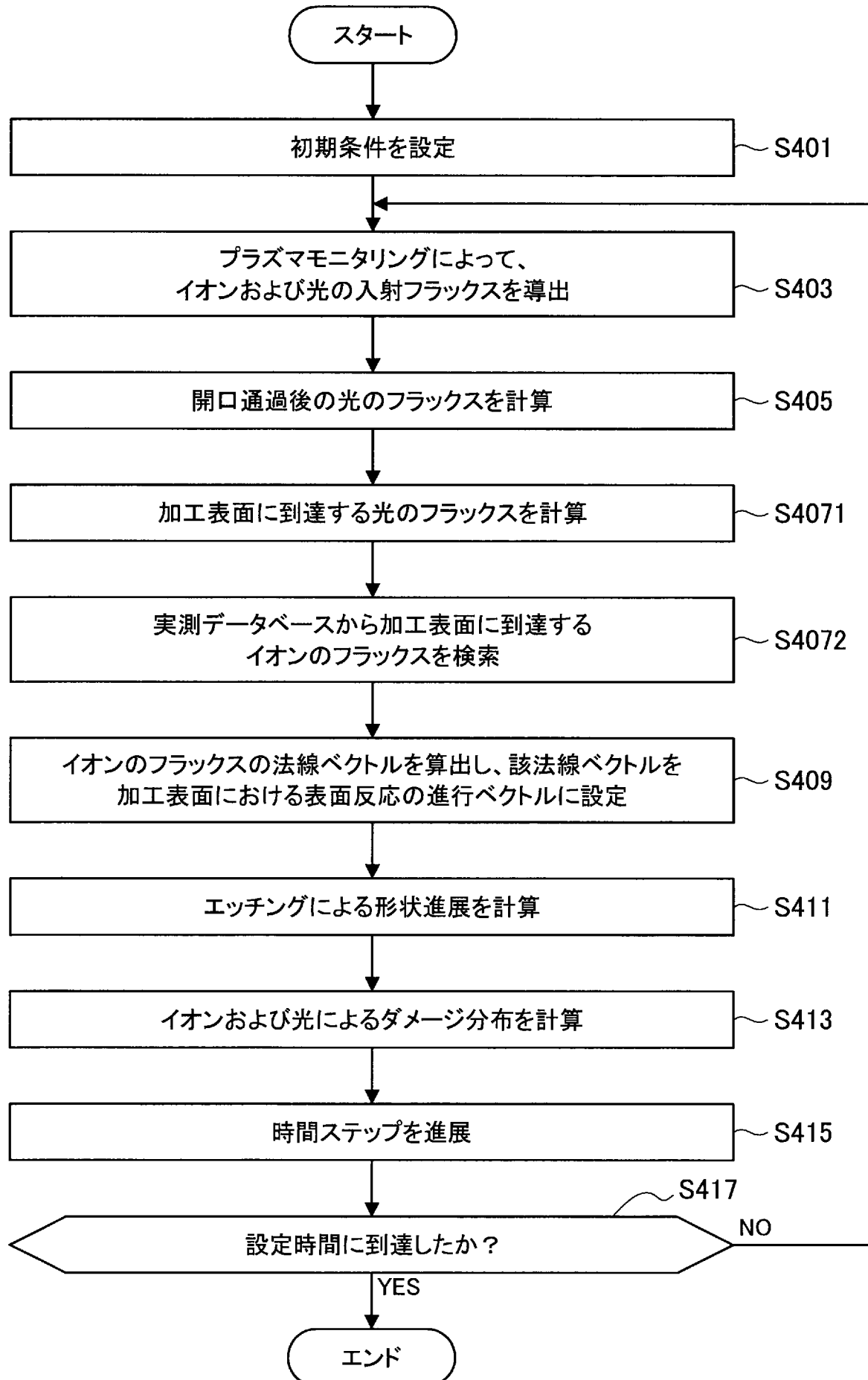
[図13]



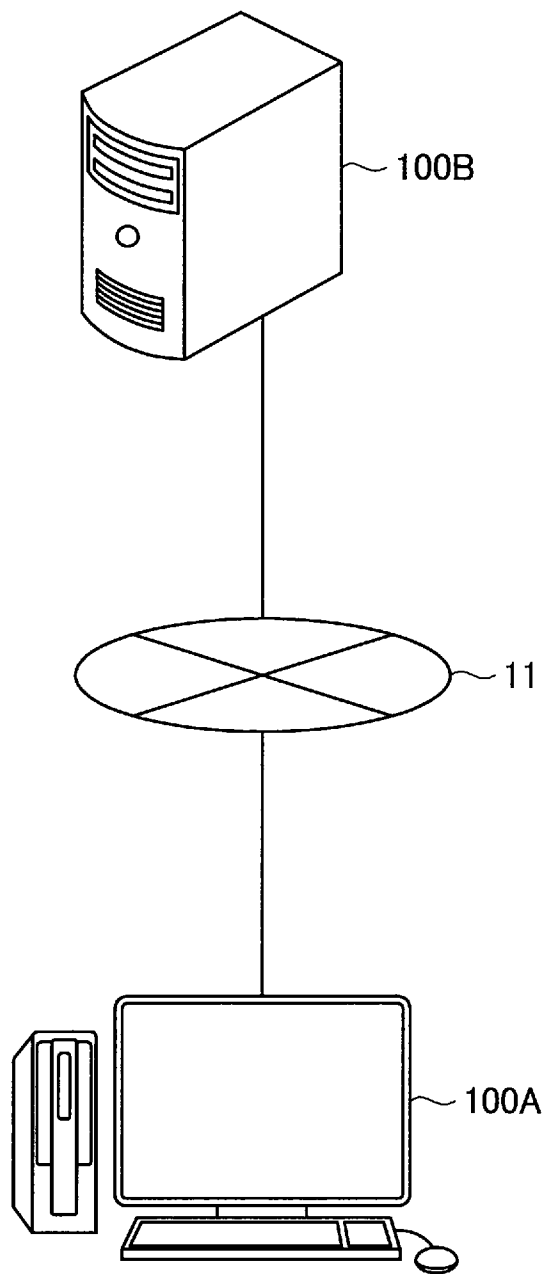
[図14]



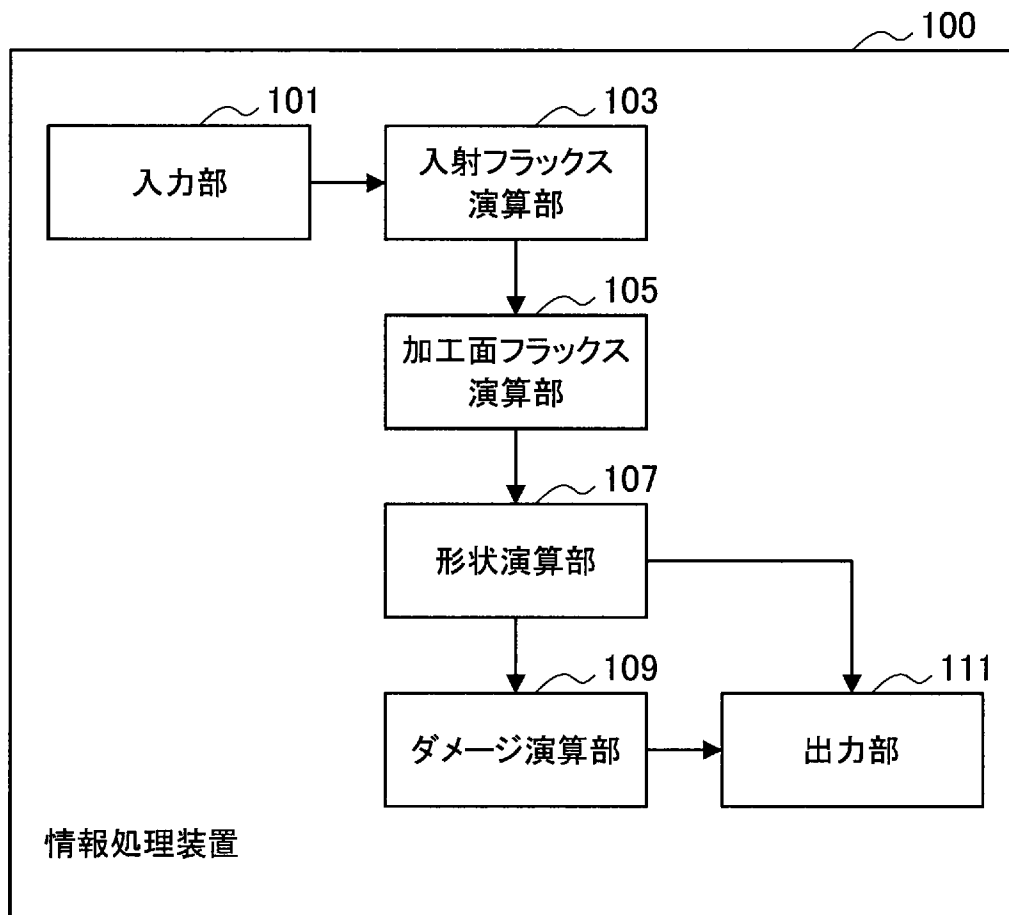
[図15]



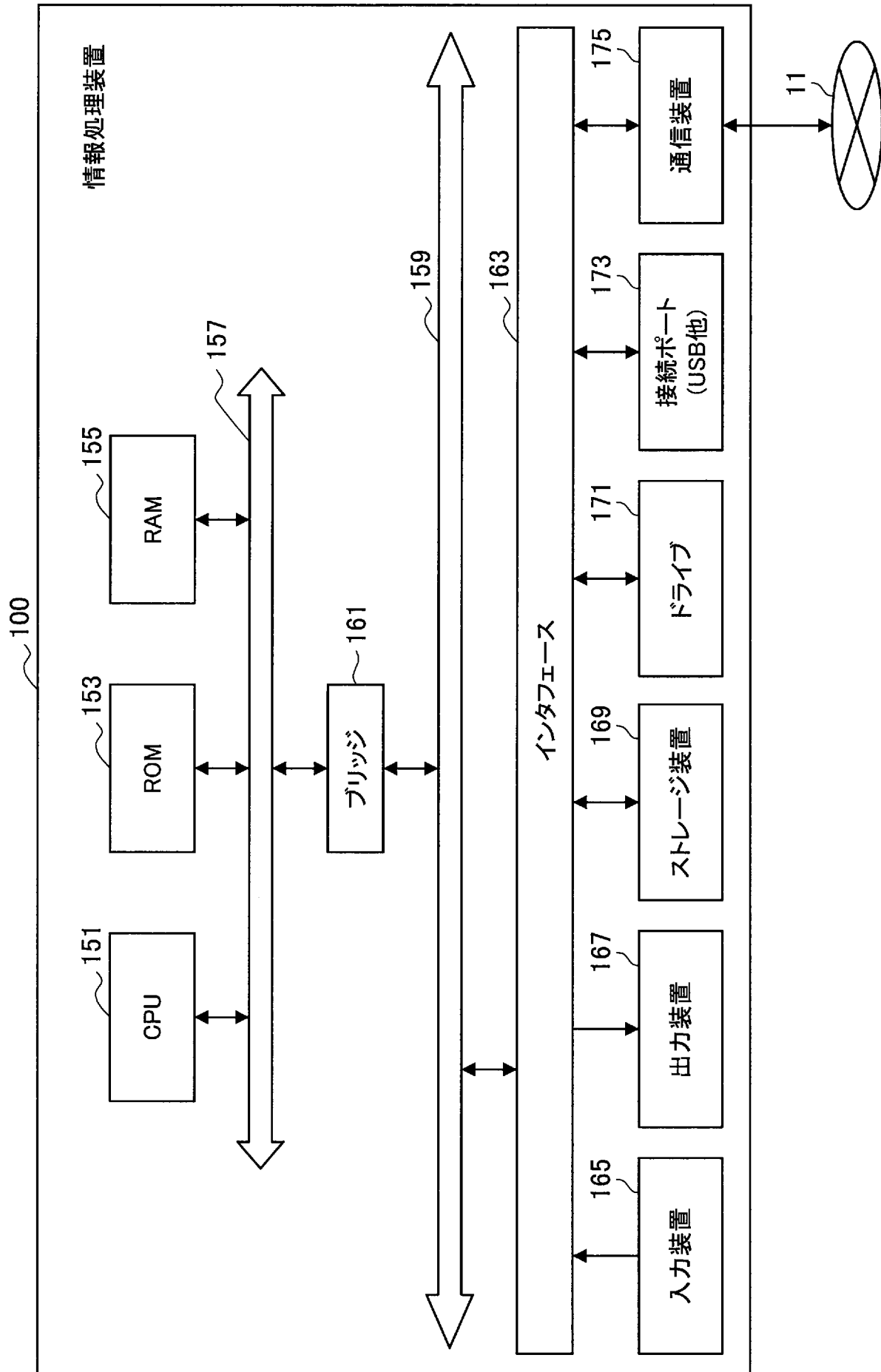
[図16]



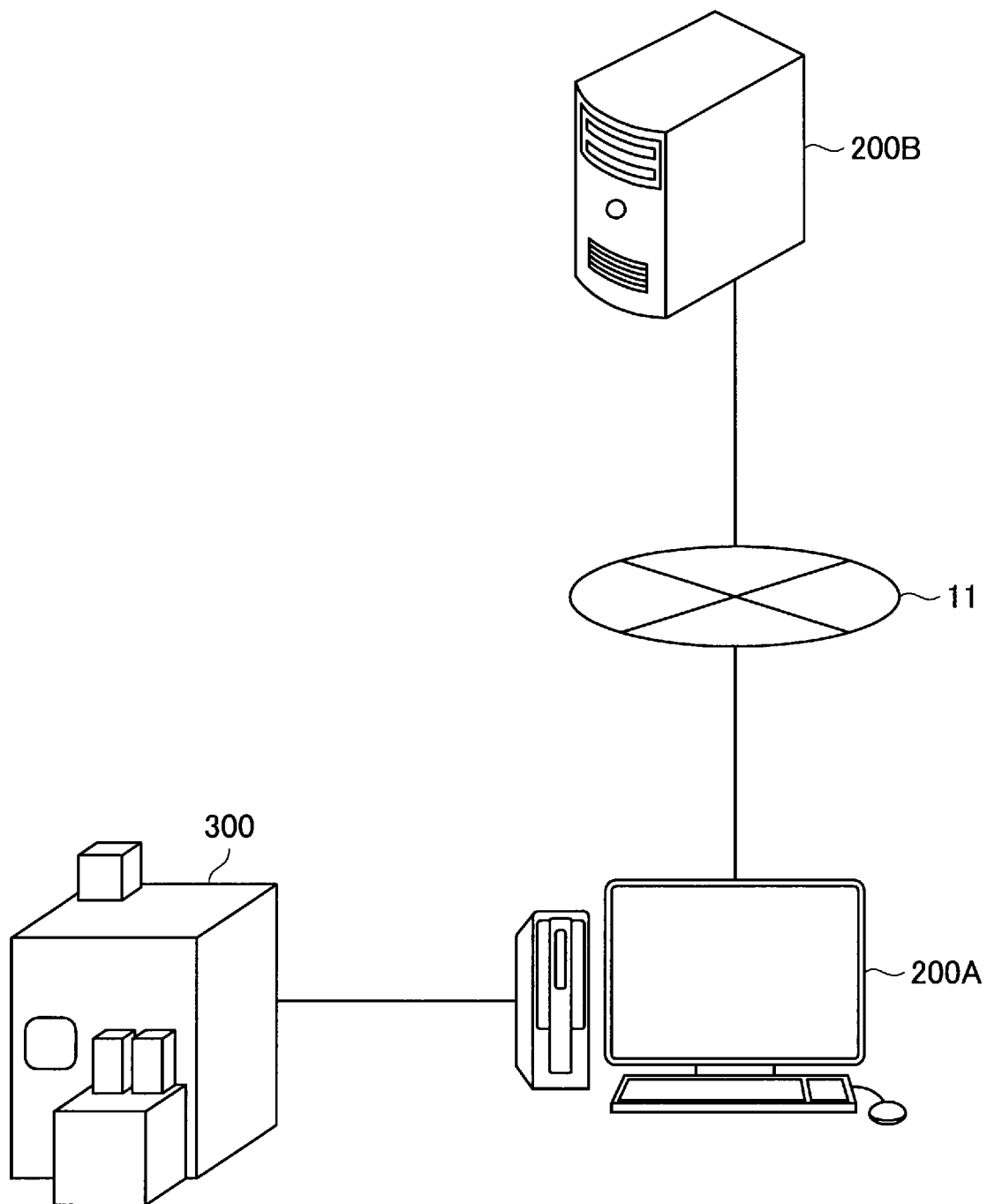
[図17]



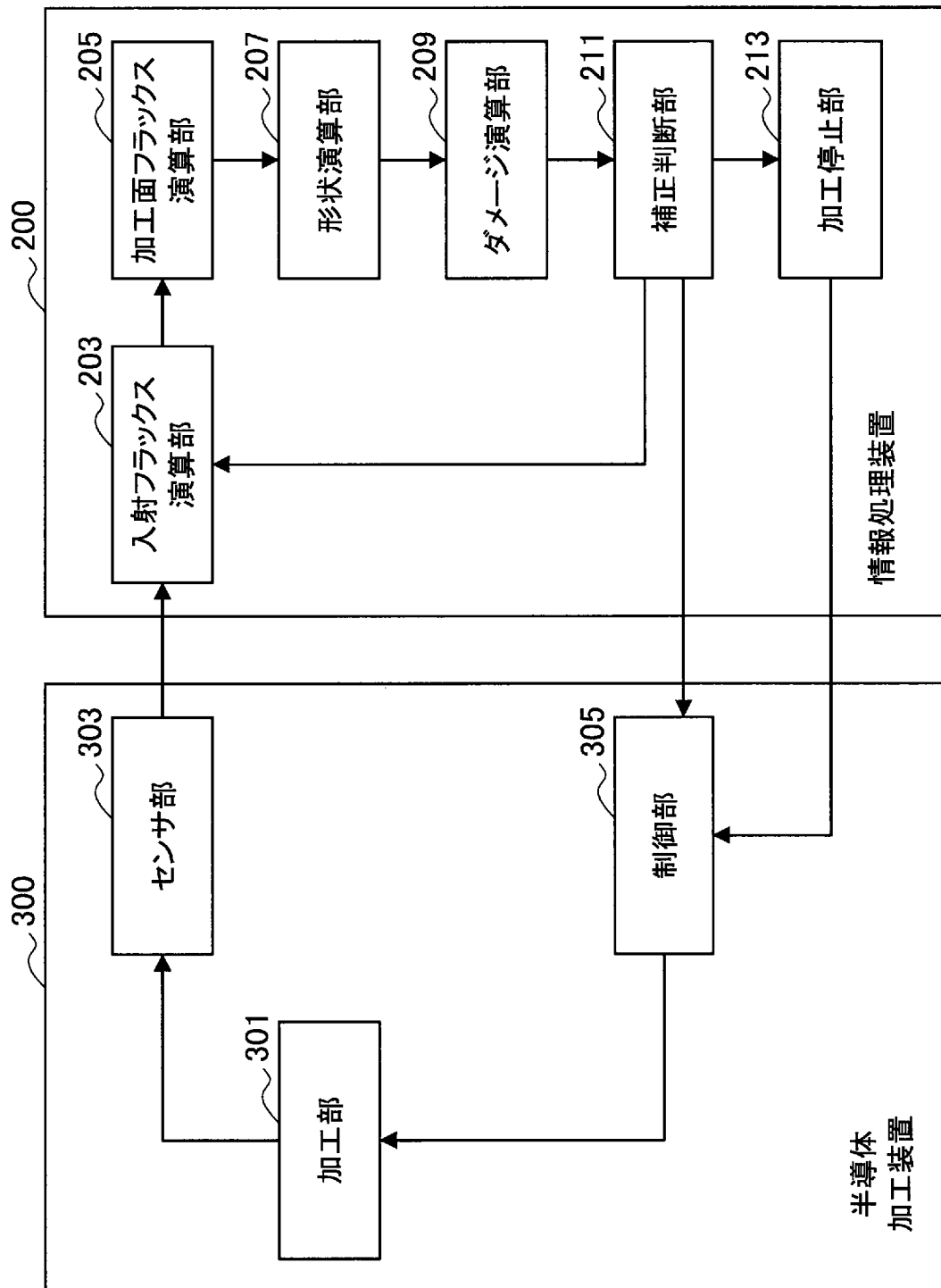
[図18]



[図19]



[図20]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/032122

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/3065(2006.01)i, H01L21/02(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)

H01L21/3065, H01L21/02, H05H1/00, H05H1/46

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	WO 2016/132759 A1 (Sony Corp.), 25 August 2016 (25.08.2016), paragraphs [0054] to [0068], [0088] to [0109]; fig. 6, 13 to 14 (Family: none)	13 1-12, 14-18
Y A	WO 2011/115023 A1 (Mizuho Information & Research Institute, Inc.), 22 September 2011 (22.09.2011), paragraphs [0072] to [0083]; fig. 10 & US 2013/0013253 A1 paragraphs [0114] to [0128]; fig. 10 & EP 2549523 A1 & KR 10-2012-0139802 A & TW 201142914 A	13 1-12, 14-18

☒ 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
24 October 2017 (24.10.17)

Date of mailing of the international search report
07 November 2017 (07.11.17)

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

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/032122

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JINNAI, B., et al., "Prediction of UV spectra and UV-radiation damage in actual plasma etching processes using on-wafer monitoring technique", Journal of Applied Physics, 2010.02.15, Vol.107, No.4, pp.043302-1-043302-6	1-18

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L21/3065(2006.01)i, H01L21/02(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, H01L21/02, 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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	WO 2016/132759 A1 (ソニー株式会社) 2016.08.25, 段落 0054-0068, 0088-0109, 図 6, 13-14 (ファミリーなし)	13 1-12, 14-18
Y A	WO 2011/115023 A1 (みずほ情報総研株式会社) 2011.09.22, 段落 0072-0083, 図 10 & US 2013/0013253 A1, 段落 0114-0128, 図 10 & EP 2549523 A1 & KR 10-2012-0139802 A & TW 201142914 A	13 1-12, 14-18

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

24.10.2017

国際調査報告の発送日

07.11.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

齊田 寛史

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
A	JINNAI, B., et al., "Prediction of UV spectra and UV-radiation damage in actual plasma etching processes using on-wafer monitoring technique", Journal of Applied Physics, 2010.02.15, Vol.107, No.4, pp.043302-1-043302-6	1-18