(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
2011 年 9 月 1 日(01.09.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/104970 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 21/3065 (2006.01) *H01L 21/02* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2010/071733

(22) 国際出願日: 2010 年 12 月 3 日(03.12.2010)

(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 2010-041975 2010 年 2 月 26 日(26.02.2010) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社日立ハイテクノロジーズ (HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION) [JP/JP]; 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目２４番１４号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 森澤 利浩 (MORISAWA, Toshihiro) [JP/JP]; 〒2440817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町２９２番地 株式会社日立製作所 生産技術研究所内 Kanagawa (JP). 白石 大輔 (SHIRAISHI, Daisuke) [JP/JP]; 〒7440002 山口県下松市東豊井７９４番地 株式会社日立ハイテクノロジーズ 笠戸事業所内 Yamaguchi (JP). 井上 智己(INOUE, Satomi) [JP/JP]; 〒7440002 山口県下松市東豊井７９４番地 株式会社日立ハイテクノロジーズ 笠戸事業所内 Yamaguchi (JP). 鹿子嶋 昭(KAGOSHIMA, Akira) [JP/JP]; 〒7440002 山口県下松市東豊井７９４番地 株式会社日立ハイテクノロジーズ 笠戸事業所内 Yamaguchi (JP).

(74) 代理人: 筒井 大和 (TSUTSUI, Yamato); 〒1600022 東京都新宿区新宿２丁目３番１０号 新宿御苑ビル３階 筒井国際特許事務所 Tokyo (JP).

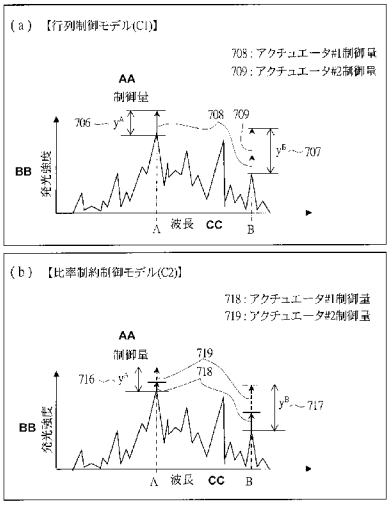
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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.

[続葉有]

(54) **Title**: ETCHING DEVICE, CONTROL SIMULATOR, AND SEMICONDUCTOR DEVICE MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称 : エッチング装置、制御シミュレータ、及び半導体装置製造方法

[図7]



708, 718 ACTUATOR #1 CONTROL AMOUNT
709, 719 ACTUATOR #2 CONTROL AMOUNT
(a) MATRIX CONTROL MODEL (C1)
(b) PROPORTIONAL CONSTRAINT MODEL (C2)
AA CONTROL AMOUNT
BB EMISSION INTENSITY
CC WAVELENGTH

(57) **Abstract**: Disclosed is an etching device that computes a plurality of actuator values (X) from emission intensity values (Y) for a plurality of wavelengths, on the basis of a model that determines the Y values from the X values, and performs run-to-run control suited to the Y values. In the disclosed etching device, the relationship between actuator values (X) and emission intensity values (Y) is defined by a control model (a matrix model (C1), a proportional constraint model (C2)) based on an algebraic function taking ΔX as the input and outputting ΔY. Etching control consists of repeating the following steps to etch each wafer: (S1) using an uncontrolled emission intensity value (Y), ΔX (control amount) is computed from ΔY (control amount) on the basis of the control model, and a value for X is set; (S2) the wafer is etched on the basis of the set X value, and the value of Y is monitored; and (S3) based on the history of Y, the uncontrolled emission intensity value (Y) for processing the next wafer is calculated.

(57) 要約: エッチング装置の複数アクチュエータ値Ｘから複数波長の発光強度値Ｙを求めるモデルに基づき、値Ｙから値Ｘを算出して、値Ｙに関する好適な Run-to-Run 制御を実現する。本エッチング装置では、アクチュエータ値Ｘと発光強度値Ｙの関係が、ΔＸを入力としΔＹを出力とした代数的な数式に基づく制御モデル（行列モデルＣ１，比率制約モデルＣ２）として定義される。エッチング処理制御で、（Ｓ１）制御無し発光強度値Ｙをもとに、ΔＹ（制御量）から制御モデルに基づきΔＸ（制御量）を算出して値Ｘを設定する。（Ｓ２）値Ｘの設定値に基づきウェハのエッチング処理を行い、値Ｙをモニタする。（Ｓ３）値Ｙの実績値をもとに、次のウェハの処理で用いるための、制御無し発光強度値Ｙを計算する。Ｓ１～Ｓ３を各ウェハのエッチング処理で繰り返す。

WO 2011/104970 A1

(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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

明　細　書

発明の名称 ：

エッチング装置、制御シミュレータ、及び半導体装置製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、半導体製造技術における、エッチング装置（エッチング処理方法）、その制御（エッチング制御方法）、及びそのシミュレーション等の技術に関する。

[0002] 特に、プラズマ発光をモニタする装置（ＯＥＳ等）を備えたエッチング装置において、エッチング処理中の発光スペクトル上における複数の波長（発光波長）の発光強度を参照して、次回のエッチング処理における複数のアクチュエータ値より成るエッチング処理条件を決め、目標とする複数の波長の発光強度を得る、Run-to-Runでのプロセス制御方法であるＡＰＣ（Advanced Process Control；アドバンスト・プロセス・コントロール）に関する。

[0003] 更に、複数アクチュエータ値と複数波長発光強度との関係を表す制御モデルを用いた制御で、発光強度の目標値と実績値の誤差と、アクチュエータ調整量の大きさとを鑑みて、上記アクチュエータ値を決める方法に関する。また、制御モデルにおける各種パラメータを変更した場合の制御性能を評価・検証するための制御シミュレーション方法を含む。

背景技術

[0004] ［エッチング］ ウェハ上に形成される半導体装置などの微細形状を得るために、プラズマを利用してガスを電離し、その物質の作用（ウェハ表面における反応）によりウェハ上の物質を取り去るエッチング処理が行われる。電離する物質は様々であり、ウェハ上の物質も製品機能に応じて多種多様である。更にウェハ上に形状を形成するために、有機系物質のレジストを塗布してホトリソグラフィーにより形状を形成してからエッチング処理を行う。また所定の形状を得るために反応の速さを調節するための物質も導入される。エッチング処理を行っているチャンバ容器内では多種多様な物質が反応し

あっている。多種多様な物質の反応の仕方に依存してエッチングレートの大きさや選択性といったエッチングの性能が決まることは、非特許文献１に示される。

[0005] ［ＯＥＳ］ プラズマによる電離現象は発光現象を伴うため、プラズマを利用して処理を行うエッチング装置には、発光センサとしてＯＥＳ（Optical Emission Spectrometry；発光分光器）を搭載し、プラズマの発生状態をモニタできるようにしている（Optical Emission Spectroscopy；発光分光法）。

[0006] 図１に、ＯＥＳによる発光データ（ＯＥＳデータの内容、特に発光スペクトルと波形の関係）を示す。時間を横軸、波長を縦軸にとった発光強度スペクトル分布は、１０１～１０３で例示するようなビットマップ（ＯＥＳデータビットマップ）として表現できる。これらビットマップは、複数のウェハに対する発光現象を描画したものである（発光強度の濃淡スケール）。ある時点での発光強度のスペクトル（発光スペクトル）１１１により、モニタ波長の中心付近で大域的に凸状となっており、また多数の波長位置においてピークが存在することがわかる。また特定の波長における処理時間に沿っての発光強度、即ち波形１２１，１２２によりエッチングの処理が進むにつれ発光強度は変化し、またビットマップ１０１中のａ線のように処理内容を変更したとき、発光現象が変化することがわかる。

[0007] このプラズマによる発光現象をモニタすることで、エッチング処理の性能を確認できる。例えば量産においては、ウェハの連続着工で発光をモニタすることにより異常を検知する。またエッチングの処理終了時点を判定する終点検出としても発光データを活用する。このように発光モニタを活用する理由は、チャンバ内の物質に応じて特定の波長で発光が観察されるためにある。例えば、炭素分子C_2ならば473.7、516.5[nm]、フッ化珪素SiFならば334.6、336.3、436.8、440.1、777.0[nm]、また窒素分子N_2ならば282.0、330.9、405.9、580.4、607.0[nm]などの波長において発光する。同一分子であっても分子のエネルギー状態に応じて発光波長は異なる。このような発光の波長に依存

して発光スペクトル１１１にピークが発生する。

[0008] ［発光強度］ エッチングは化学的な反応である。ある物質（分子構成）が他の物質（分子構成）に変わるものであり、それらの変化には自ずと高い相関がある。

[0009] 図２に、反応に基づく発光強度の相関の原因（化学反応と波形の関係）について示す。２０１の１次系化学反応では、物質[Ａ]が物質[Ｂ]，[Ｃ]に分解され、また反応の過程は２０２の式（１次系化学反応速度）で定められる。２０３の２次系化学反応では、２つの物質[Ａ]（２[Ａ]）が物質[Ｃ]となり、反応過程は２０４の式（２次系化学反応速度）となる。多数の物質（[Ａ]＋……）が物質[Ｃ]となる２０５の高次系化学反応でも、２０６の反応過程（高次系化学反応速度）となる。即ち物質の増減の関係は各反応で１つの物質において説明できることとなる。例えば２１１で示す、[物質１]が[物質２]と[物質３]と変わる反応（化学反応式）では、下側のグラフ（横軸は時間、縦軸は発光強度）に示すように、[物質１]が減少すれば、それに応じて[物質２]、[物質３]が増加する、というように波形間に相関関係が現れる。つまりある時点において発光強度にはある比率関係が成立する。

[0010] 半導体装置のウェハ量産においては１台のエッチング装置で繰り返しロットが着工される。ロットはウェハを取り纏めた着工の単位である。１ロットは数枚～十数枚のウェハで構成され、エッチング装置に搭載されている各チャンバにおいてウェハが連続的にエッチング処理される。

[0011] 図３に、ロット－ウェハのエッチング処理におけるウェハ毎の各波長における発光強度（制御無し発光強度）の経時変動のグラフを示す。横軸の数字はロット単位（プロットはウェハ毎）、縦軸は発光強度、各種波長ごとのプロットで示す。ロット内のウェハ毎に発光強度が上昇・下降と変動する。またロット間においても変動が観察される。発光強度は化学反応の仕方を反映しており、この反応がエッチングの性能を決めるため、ロット毎・ウェハ毎の発光強度の変動は、エッチング性能の変動を意味する。エッチング性能を安定にして、エッチング結果を高い繰り返し精度で一定とするためには、エ

ッチング処理条件を調整する。即ち、反応に影響する各種ガスの流量、高周波電力（RF）などの電流、電圧、チャンバ内圧力、等に係る各種のアクチュエータ（複数アクチュエータ値）を調整する。

[0012] 特開２００３－１７４７１号公報（特許文献１）では、処理中のプロセス量をモニタするセンサ出力より加工結果を予測し、加工結果が目標値となるように処理条件を調整する装置、及び処理方法が示される。特に複数のレシピパラメータを調整することが記載される。

[0013] 特開２００３－１５８１６０号公報（特許文献２）では、ＦＴ－ＩＲ法(Fourier-transform Infrared Spectroscopy)により測定された赤外線吸収スペクトルより被測定膜の膜質を定量化し、成膜温度などを調整することが記載される。このとき特に化学反応のような物質の共変的な変化を取り入れて回帰分析するＰＬＳ回帰分析(Partial Least Square RegressionもしくはProjection to Latent Structure Regression)を用いる。

[0014] 特開２００４－２０７７０３号公報（特許文献３）では、プロセス処理後の計測結果である処理結果に応じてプロセス装置の処理条件を設定することが記載される。特にＯＥＳのようなセンサデータを含むプロセス装置の運転データより処理結果を予測すること、またこの予測にはＰＬＳ回帰分析を用いることが記載される。

先行技術文献

特許文献

[0015] 特許文献1：特開２００３－１７４７１号公報

特許文献2：特開２００３－１５８１６０号公報

特許文献3：特開２００４－２０７７０３号公報

非特許文献

[0016] 非特許文献1：Michael A. Lieberman, Allan J. Lichtenberg, “Principles of Plasma Discharges and Materials Processing”, Wiely Interscience

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0017] 本発明は、プラズマ発光を調整する複数アクチュエータ、及びプラズマ発光をモニタする装置（ＯＥＳ等）を備えたエッチング装置において、ウェハ着工毎にアクチュエータ値（対応するエッチング処理条件ないしレシピ等）を調整するRun-to-Run制御に関する。このRun-to-Run制御は、エッチング処理中の発光スペクトル上における複数の波長の発光強度を参照して、次回のエッチング処理で目標とする複数の波長の発光強度となるように、複数のアクチュエータ値（調整量、制御量）を算出することを目的として考案された。なお複数アクチュエータ値とエッチング処理条件などが所定の関係を持つので、制御対象を複数アクチュエータ値とする（当該複数アクチュエータ値の制御（調整）がエッチング処理条件などの制御（調整）に相当する）。

[0018] 本制御では、まず波長発光強度に応じてアクチュエータ値を算出するために、複数の波長の発光強度値と複数のアクチュエータ値との関係モデル（制御モデル）を定めなければならない。このためには、各アクチュエータ値を様々に設定してエッチングし、そのときの発光強度より、関係モデルのパラメータを決定する。つまり本モデルは、入力のアクチュエータ値（Ｘで表す）から出力の発光強度（Ｙで表す）を求めるモデル（Ｃ：Ｙ＝ＡＸで表す、Ａはパラメータ（係数）を表す）となる。よって本モデル（Ｃ）は、アクチュエータ値（Ｘ）から発光強度（Ｙ）を求める計算を前提としているが、制御（本モデルを用いたエッチング制御）では、逆に、発光強度（Ｙ）からアクチュエータ値（Ｘ）を求める計算に用いられる（$X = A^{-1}Y$）。また本制御の目的は、発光強度の実績値（Ｙの変動量ΔＹ）に関する目標値からの誤差が小さくなるようにアクチュエータ設定値の調整量（Ｘの変動量ΔＸ）を算出することであるが、その算出値（設定値）は、実際にエッチング装置（アクチュエータ）に設定可能な範囲（許容範囲）内でなければならない。言い換えれば、当該アクチュエータ算出値（Ｘ）の異常を防止（許容範囲内に制限）する必要がある。

[0019] 更に、上記モデル（Ｃ）のパラメータ（Ａ）に応じて、複数アクチュエー

タ値（Ｘ）の調整による複数波長の発光強度（Ｙ）の制御性能が変化する。これらの入出力変量（Ｘ，Ｙ）、及びパラメータ（Ａ）の数は多数となる。そのため、半導体ウェハの量産における制御性能の実験的な評価は従来一般的には実現困難となる。

[0020] 特許文献１，特許文献３では、検査結果の目標値よりアクチュエータ値を算出することが記載される。この検査結果としてはＣＭＯＳ素子のゲートのトリミング量、ＣＤ(Critical Dimension)値、選択比、サイドエッチング量、テーパ角度が挙げられる。これらとアクチュエータの関係は応答曲面モデルで定義され、目標の検査結果となるようにアクチュエータ値が定まるとしている。つまり複数の検査結果より各アクチュエータ値を１つずつ決定するものである。またＯＥＳのような装置の運転時に得られるデータを用いて、例えばＰＬＳ回帰分析により検査結果を予測・推定することが示される。

[0021] 特許文献２においても、成膜での膜質に対応する赤外線吸収スペクトルから成膜温度を推定し、成膜温度に応じて、装置の設定条件、即ちアクチュエータ値を決定するものである。

[0022] つまり先行技術例では、複数のデータから構成されるセンサデータや検査結果からアクチュエータ値を求める方法に技術範囲がとどまり、アクチュエータ値からセンサデータ（発光強度）を求めるモデルを用いてセンサデータ（発光強度）からアクチュエータ値を算出する方法については示していない。更にその際の課題や解決方法も示していない。

[0023] （１）本発明の主な目的は、複数アクチュエータ値（Ｘ）からセンサデータ即ち複数波長の発光強度値（Ｙ）を求めるモデル（Ｃ）に基づき、複数波長の発光強度値（Ｙ）から複数アクチュエータ値（Ｘ）を算出して、当該発光強度（Ｙ）に関する好適なRun-to-Run制御（即ち好適なエッチング処理）が実現できる技術を提供することである。

[0024] （２）また、上記アクチュエータ算出値の異常を防止しつつ、発光強度目標値からの誤差を小さくするように制御できることを目的とする。

[0025] （３）また、上記制御のための制御モデル（Ｃ）の好適なパラメータ（Ａ

）を、実験（条件出し）に基づき決定ができれば、その制御モデル（Ｃ）に基づく好適な制御を実現できるので、当該好適なパラメータ（Ａ）の決定のための処理方法の実現を目的とする。

[0026] （４）また、本制御（Ｘ，Ｙの多対多関係の制御モデル）に関しては多変量であるためパラメータ（Ａ）等の数が多く制御性能の評価が一般に困難であるが、制御シミュレーションを用いることにより、実作業の実現困難性や大きな負担を低減して当該評価を実現及び効率化・容易化できることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0027] 上記目的を達成するために、本発明の代表的な手段（形態）は以下である。

[0028] 本形態は、例えば、チャンバ内部のプラズマ発光（発光スペクトルの複数の波長の発光強度）を観察するための発光分光器（ＯＥＳ）と、前記プラズマ発光を（数値設定で）調整するための複数のアクチュエータと、を備え、ウェハのエッチング処理を行うエッチング装置である。本エッチング装置に備える制御機能において以下を行う。即ち、前記複数のアクチュエータの値をＸとし、前記複数の波長の発光強度の値をＹとしたとき、本エッチング装置でのエッチング処理で適用する複数のアクチュエータ値Ｘの設定値（ｄ１）と、当該エッチング処理で前記ＯＥＳにより得られる前記複数の波長の発光強度値Ｙの実績値（ｄ２）との関係について、値Ｘの変化量ΔＸと、各値Ｘに対する値Ｙの変化量ΔＹとの関係が、変化量ΔＸを入力とし変化量ΔＹを出力とした代数的な数式（Ｙ＝ＡＸ）に基づく制御モデル（Ｃ）として定義される。前記制御モデル（Ｃ）に含まれるパラメータ（Ａ）の値が予め設定される。前記値Ｙの目標値（ｄ３）が予め設定される。

[0029] 本エッチング処理の制御（Run-to-Run制御）として、（Ｓ１）第１の処理ステップでは、ウェハのエッチング処理の開始の前に、前記値Ｙの目標値（ｄ３）と、複数の制御無し発光強度の値（ｄ４）と、の差分値（ｄ５）を、前記値Ｙに関する目標制御量（ｄ６）とし、前記制御モデル（Ｃ）に基づき

、当該目標制御量（ｄ６）から、前記値Ｘに関する制御量（ｄ７）を算出し、当該制御量（ｄ７）を、前記複数のアクチュエータに対して前記設定値（ｄ１）として適用する。

[0030] （Ｓ２）次に第２の処理ステップでは、前記ウェハのエッチング処理を開始し、前記発光分光器により所定の時間間隔で前記プラズマ発光の前記複数の波長の発光強度値Ｙをモニタしながら、当該エッチング処理を終了する。

[0031] （Ｓ３）次に第３の処理ステップでは、前記モニタのデータによる、または当該データの中から所定の時間単位（例えば所定の時点の値Ｙもしくは所定の処理時間範囲の値Ｙの集計値など）で取得される、前記複数の波長の発光強度値Ｙの実績値（ｄ２）を用いて、当該値Ｙの実績値（ｄ２）と前記目標値（ｄ３）との誤差（ｄ８）と、前記第１の処理ステップで算出した前記値Ｘの制御量（ｄ７）とに基づき、次のウェハのエッチング処理で用いるための、前記複数の制御無し発光強度の値（ｄ４）を計算する。

[0032] 前記第１～第３の処理ステップを各ウェハのエッチング処理で繰り返し実行すること（Run-to-Run制御）により、前記複数のアクチュエータ値Ｘを調整し、前記複数の波長の発光強度値Ｙを制御することを特徴とする。

[0033] [Run-to-Run制御] 本エッチング装置にはＯＥＳが搭載され、ＯＥＳは記憶手段（ＤＢ等）と接続される。エッチング装置は、エッチング処理のプラズマ発光に対して、ＯＥＳでモニタしたセンサデータ（ＯＥＳデータ）を記憶手段に格納する。また、プラズマ発光に対して、所定の複数の波長における発光強度を目標値とする（または目標値に近付ける）ために、制御対象とする複数の波長とその発光強度の目標値とを含む情報を設定及び格納する手段を備える。

[0034] またエッチング装置に備える複数のアクチュエータの値によって複数の波長の発光強度を制御するために、各アクチュエータ（値）の調整（設定）が可能な構成である。当該調整（設定）値を複数アクチュエータに対して設定ないし指令する手段を備える。また、複数のうち制御対象として用いるアクチュエータを設定ないし指令し、その情報を記憶手段に格納する手段を備え

る。

[0035] 発光強度目標値からアクチュエータ値（調整量）を算出するためには、それらの関係を定める制御モデル（Ｃ）が必要である。エッチング性能はチャンバ内の物質構成に依存し、その構成に応じて各波長における発光強度は変化する。またアクチュエータ値、即ちそれらに関係付けられるエッチング処理条件により、エッチング性能が決まる。即ちアクチュエータ値の調整量により発光強度を制御できる。今、アクチュエータ値（Ｘ）の調整量に対する発光強度（Ｙ）の関係を線形で定める。即ち次式（１）である。

[0036] [数1]

$$\mathbf{y} = \mathbf{A}\mathbf{x} \qquad \cdots (1)$$

[0037] ここで、xはアクチュエータ値（Ｘ）のベクトル（変化量）、yは発光強度値（Ｙ）のベクトル（変化量）、Aはパラメータ行列（係数行列）である。発光強度（Ｙ）の目標値（ターゲット）（目標発光強度）をy^{TGT}とする。y^{TGT}に対するアクチュエータ値（Ｘ）は、次式（２）で算出できる。

[0038] [数2]

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{y}^{TGT} \qquad \cdots (2)$$

[0039] このような制御モデル（行列表現であるため「行列制御モデル（行列モデル）」等と称する（一般的には「連立方程式によるモデル」等と言い換え可能））に基づき、目標発光強度からアクチュエータ値を算出するために、上記行列モデルによる制御モデル（Ｃ）のパラメータ（Ａ）を設定及び格納する手段を備える。制御モデル（Ｃ）は式（１）に限定されるものではなく、各種モデルの定義を設定及び格納する手段を備える。

[0040] ウェハのエッチング処理の開始前においては、制御モデル（Ｃ）に基づき目標発光強度となるアクチュエータ値（Ｘ）（調整量）を算出するための機能を備える。エッチング処理中の発光強度（Ｙ）をＯＥＳによりモニタし、そのモニタ結果から、ウェハ毎の発光強度（Ｙ）のばらつきや、着工繰り返

しにより発生する発光強度（Ｙ）の経時変動を補償するための機能を備える。本機能により、エッチング処理時点での「制御しない場合の発光強度」（制御無し発光強度）を求め、目標発光強度との差分から、アクチュエータ値（Ｘ）の調整量を算出できる。

[0041] ［条件出し］ また、制御モデル（Ｃ）のパラメータ行列（Ａ）を実験により求めるために、条件出し（条件出し実験）を行うための各種機能を備える。複数アクチュエータ値（Ｘ）の変化に対応する複数波長の発光強度（Ｙ）の変化の関係を得るために、実験計画法を適用して条件出しを行う。アクチュエータ値（Ｘ）に水準を設定し、各値（Ｘ）の水準組合せ毎に異なるウェハをエッチング処理する。そこでロット内の各ウェハに水準組合せを設定（割付）する機能を備える。エッチング処理中の発光強度（Ｙ）は、ＯＥＳモニタにより記憶手段に格納される。そして、アクチュエータ設定値（Ｘ）（適用する値）を入力とし、各波長の発光強度（Ｙ）を出力として、制御モデル（Ｃ）のパラメータ行列（Ａ）を決定（推定等）するための機能を備える。なお、エッチング装置では一般にロット単位で着工する。そこでロット内の各ウェハのエッチング処理毎に発光強度（Ｙ）が経時変動する場合、この変動を補償するための機能を備える。

[0042] ［制御シミュレータ］ また、制御モデル（Ｃ）のパラメータ行列（Ａ）の設定値に応じた、複数波長の発光強度（Ｙ）の制御結果を評価等するために、Run-to-Run制御シミュレーションを実現する制御シミュレータ（エッチング装置に接続または内蔵される所定の計算機システムやプログラム等）を用いる。制御シミュレータは、エッチング装置での実際の制御（実制御、実エッチング処理）の計算と同様の計算をシミュレーションする機能を備える。即ち、制御対象とする複数波長の発光強度（Ｙ）の目標値やアクチュエータ値（Ｘ）や制御モデル（Ｃ）及びそのパラメータ（Ａ）などの設定及び格納手段を備える。またロット着工繰り返し、及びロット内の複数各ウェハ着工のエッチング処理繰り返しを模擬する機能を備える。また本シミュレーションで用いる、制御モデル（Ｃ）に基づきアクチュエータ値（Ｘ）調整量を

計算する機能、発光強度（Ｙ）の経時変動を補償する機能などを備える。本シミュレーションで実エッチング処理と同様の結果を得るためには、エッチング処理繰り返しでの発光強度（Ｙ）の経時変動やばらつきの情報を入力データとして獲得する手段、もしくは当該経時変動やばらつきの情報を生成する手段を備える。そしてアクチュエータ値（Ｘ）を調整した結果による発光強度（Ｙ）の実績値を算出する機能を有する。

[0043] ここで制御モデル（Ｃ）を式（１）で定義した際の課題を示す。エッチングは化学的な反応であることに注意する。例えばアクチュエータにフルオロカーボンCF_2流量を用いてシリコンSi基板をエッチングする場合、流量を増やせば反応生成物であるC_2やSiFが増加し、即ちC_2やSiFに起因する波長の発光強度が高くなる。そこで、２つのアクチュエータが２つの波長の発光強度に同様の比率（１：２）で影響する場合を考え、次式（３）を仮定する。

[0044] [数3]

$$\mathbf{y}=\begin{bmatrix}1 & 2\\ 2 & 4\end{bmatrix}\mathbf{x} \qquad \cdots (3)$$

[0045] 式（３）のパラメータ行列（Ａ）の逆行列（A^{-1}）は計算できないので、アクチュエータ値（x）を求めることはできない。今、目標とする２つの発光強度（y：y^A, y^B）の目標値を、$[y^A \quad y^B]^T=[2 \quad 3]^T$とする（尚この$y^A$等はベクトル）。ここでベクトル（行列でも同様）の右肩のＴは転置を意味する。発光強度の管理値（目標値とその上限・下限を考慮した範囲）は、$[1.5 \leqq y^A \leqq 2.5]$，$[2.5 \leqq y^B \leqq 3.5]$、また設定可能なアクチュエータ値（x：$x_1$, x_2）は、$[0 \leqq x_1 < 2]$，$[0 \leqq x_2 \leqq 2]$であるとする。先のパラメータ行列（Ａ）がほぼ成立するように、モデルを次式（４）のように設定する。

[0046] [数4]

$$\mathbf{A}=\begin{bmatrix}1.01 & 2\\ 2 & 4.01\end{bmatrix} \qquad \cdots (4)$$

[0047] このとき、発光強度目標値を式（２）で求めると、$[x_1 \quad x_2]^T=[40.32 \quad -$

19.36]Tとなり、アクチュエータ値を装置に設定できない。ところが、[x_1 x_2]T＝[1.25 0.25]Tを式（３）に代入すると、[y^A y^B]T＝[1.75 3.5]Tとなり、目標値から外れるものの、管理値は満たしている。式（１）のように行列でモデル化すると、式（２）に基づくアクチュエータ算出値は極端な値となった。しかしながら発光強度は目標値と一致する。

[0048] 設定不可能（許容範囲外）となるような極端（異常）なアクチュエータ値の算出を防止し、かつ発光強度目標値からの誤差を小さくするために、単純な行列ではない形の制御モデルを導入する。今、アクチュエータ数を２、発光波長数を２とする。２つのアクチュエータについて、一方を１の大きさで調整するなら、他方は２の大きさで調整する。即ち当該アクチュエータ間の値Ｘの変化の関係について、比率P＝[1 2]Tを設定する。また一方の波長の発光強度が１変化するなら、他方は２変化するとし、即ち当該波長間の発光強度の変化の関係について比率Q＝[1 2]Tとなる。アクチュエータをx、発光強度をyとし、xとyの関係に重みB＝[5]を設定して、次の式（５），（６）を制御モデル（Ｃ）とする。

[0049] [数5]

$$\mathbf{y}^T = \mathbf{x}^T\mathbf{P}\left(\mathbf{P}^T\mathbf{P}\right)^{-1}\mathbf{B}\mathbf{Q}^T = \mathbf{x}^T\begin{bmatrix}1 & 2\\ 2 & 4\end{bmatrix} \quad \cdots (5)$$

[0050] [数6]

$$\mathbf{x}^T = \mathbf{y}^T\mathbf{Q}\left(\mathbf{Q}^T\mathbf{Q}\right)^{-1}\mathbf{B}^{-1}\mathbf{P}^T = \mathbf{y}^T\begin{bmatrix}0.04 & 0.08\\ 0.08 & 0.16\end{bmatrix} \quad \cdots (6)$$

[0051] ここで、xからyを求める行列は、転置した式（３）と同じであり、また式（６）のようにyからxを求める行列も定まる。複数アクチュエータ値（Ｘ）と複数波長の発光強度値（Ｙ）との間に比率を制約条件として定めたモデルであるため、本モデルを、「比率制約制御モデル（比率制約モデル）」等と称する。発光強度目標値を[2 3]Tとすれば、式（６）より、[x_1 x_2]T＝[0.32 0.64]T が得られる。これを式（５）に代入すれば、[y^A y^B]T＝[1

.6　3.2]Tとなり、上記の発光強度（Ｙ）の管理値［1.5≦y^A≦2.5］，［2.5≦y^B≦3.5］、及び設定可能なアクチュエータ値（Ｘ）の範囲［0≦x_1＜2］，［0≦x_2≦2］を満たす。なお、比率の制約があるため、発光強度目標値となるアクチュエータ値とはならない。

[0052] 次に、式（４）をパラメータ行列（Ａ）とした行列モデル（Ｃ１）と、式（５）の比率制約モデル（Ｃ２）との２つを利用してアクチュエータ値（Ｘ）を算出する例を示す。発光強度目標値［2　3］Tを、第１の目標値＃１［1.98　2.97］Tと第２の目標値＃２［0.02　0.03］Tとの２つに分割（分配）する。比率制約モデル（Ｃ２）に基づき、第１の目標値＃１から第１のアクチュエータ値＃１［0.310　0.621］Tが得られ、また行列モデル（Ｃ１）に基づき、第２の目標値＃２から第２のアクチュエータ値＃２［1.209　-0.581］Tが得られる。アクチュエータ設定値（Ｘ）は、上記２つのアクチュエータ値＃１，＃２を加算して［1.520　0.040］Tであり、これはアクチュエータ値（Ｘ）の設定許容範囲内である。

[0053] 一方、式（４）の行列モデル（Ｃ１）、式（６）の比率制約モデル（Ｃ２）に、それぞれのアクチュエータ値（Ｘ）を代入して加算すれば、発光強度（Ｙ）［1.612　3.194］Tとなり、式（６）のみによる発光強度（Ｙ）［1.6　3.2］Tよりも目標値に近くなった。このようにすれば、アクチュエータ算出値（Ｘ）を設定許容範囲内としつつ、かつ発光強度（Ｙ）を目標値に近付けることができる。

[0054] また、条件出しにおいては、行列モデル（Ｃ１）のパラメータ（Ａ）については重回帰分析、比率制約モデル（Ｃ２）のパラメータ（Ａ）についてはＰＬＳ回帰分析を利用すれば、実験結果に基づき当該パラメータ（Ａ）を決定できる。

[0055] 制御モデル（Ｃ）は、代数式で定義される。そこで、実際に発生する多波長での発光強度（Ｙ）を得るためのモデルを、実制御で設定（適用）する制御モデル（Ｃａ）とは別に、「真の制御モデル」（Ｃｂ）として定義し、実際の発光強度を算出しながらアクチュエータ値算出を繰り返すことにより、

制御シミュレータにおけるRun-to-Run制御シミュレーションを実現できる。

[0056] なお「制御しない場合の発光強度」（制御無し発光強度）とは、実制御による発光強度の実績値（モニタ値）に基づき計算で得られる、制御しない（制御無し）と仮定した場合に対応した発光強度（Ｙ）を指している。

発明の効果

[0057] 本発明の代表的な実施の形態によれば、（１）複数アクチュエータ値から複数波長の発光強度値を求めるモデルに基づき、複数波長の発光強度値から複数アクチュエータ値を算出して、当該発光強度に関する好適なRun-to-Run制御（即ち好適なエッチング処理）が実現できる。（２）また、上記アクチュエータ算出値の異常を防止しつつ、発光強度目標値からの誤差を小さくするように制御できる。（３）また、上記制御のための制御モデル（Ｃ）の好適なパラメータの決定のための処理方法が実現できる。（４）また、本制御シミュレーションを用いることにより、実作業の実現困難性や大きな負担を低減して当該評価を実現及び効率化・容易化できる。

図面の簡単な説明

[0058] [図1]前提技術において、ＯＥＳデータの内容、特に発光スペクトルと波形の関係を示す説明図である。

[図2]前提技術において、化学反応と波形（発光強度）の相関の関係を示す説明図である。

[図3]前提技術において、ロット及びウェハのエッチング処理毎の各波長の発光強度の変動のグラフを示す図である。

[図4]本発明の一実施の形態のエッチング装置及びそれを含んで成るシステムの構成例を示す図である。

[図5]図４のシステムの各機能の構成例を示す図である。

[図6]（ａ），（ｂ）は、前提技術及び本発明の一実施の形態において、Run-to-Run制御の基本を示す説明図である。

[図7]本発明の一実施の形態において、２通りの制御モデルの内容を示す説明図であり、（ａ）は行列制御モデル（Ｃ１）、（ｂ）は比率制約制御モデル

（Ｃ２）を示す。

[図8]本発明の一実施の形態のエッチング装置等において、Run-to-Run制御の処理フローを示す図である。

[図9]本Run-to-Run制御の結果（発光強度値）の一例（その１）を示す図である。

[図10]本Run-to-Run制御の結果（発光強度値）の一例（その２）を示す図である。

[図11]本Run-to-Run制御の結果（発光強度値）の一例（その３）を示す図である。

[図12]本Run-to-Run制御の結果（アクチュエータ値）の一例（その１）を示す図である。

[図13]本Run-to-Run制御の結果（アクチュエータ値）の一例（その２）を示す図である。

[図14]本制御における２通りの制御モデル（行列モデル（Ｃ１）、比率制約モデル（Ｃ２））について特徴などをまとめた比較表を示す。

[図15]本発明の一実施の形態（実施の形態２）のエッチング装置及びシステム等において、２通りの制御モデル（Ｃ１，Ｃ２）を統合した場合（統合モデル（Ｃ３））の効果等を示す説明図であり、（ａ）はアクチュエータ値の経時変動について、（ｂ）は発光強度の経時変動について示す。

[図16]本発明の一実施の形態（実施の形態３）のエッチング装置及びシステム等において、制御モデルのパラメータを定めるための条件出しの処理フローを示す図である。

[図17]条件出しにおいて、発光強度（Ｙ）経時変動モデルの必要性を示す説明図である。

[図18]条件出しにおいて実験計画法（ＤＯＥ：Design of Experiments）に関し、直交配置による水準組合せを示す説明図である。

[図19]条件出しにおいて（ａ）アクチュエータ値、もしくは（ｂ）波長に応じて、発光強度が変化しない場合に関するグラフを示す。

[図20]条件出しにおいて、アクチュエータ値に対する発光強度の変化の有無を定量的に判定する方法を示す説明図であり、（ａ）変動無しの場合、（ｂ）は変動有りの場合を示す。

[図21]本発明の一実施の形態（実施の形態４）のエッチング装置及びシステム等において、Run-to-Run制御シミュレーションの処理フローを示す図である。

[図22]本発明の一実施の形態の制御の概要を示す説明図である。

発明を実施するための形態

[0059] 以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、実施の形態を説明するための全図において、同一部には原則として同一符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。

[0060] ＜概要＞

本実施の形態の概要は以下である（記号等は例えば図７，図２２等参照）。前述の従来技術の課題として、複数アクチュエータ値の算出方法では、エッチング処理後の品質に基づき各アクチュエータ値を個別に算出する。しかし複数アクチュエータ値の調整が、いずれかの品質、即ちそれに関係する複数センサデータ（複数波長の発光強度）に影響する場合、アクチュエータ間の相互のセンサデータ（発光強度）への影響を鑑みてアクチュエータ調整量を決めなければならない。特にエッチング処理でＯＥＳによりモニタされるセンサデータである多波長の発光強度は、１つのアクチュエータ値を調整すると、その影響から複数波長で発光強度が変化する。

[0061] このような場合、発光強度が目標値となるようにアクチュエータ値（調整量）を計算すると、当該アクチュエータ値が現実的には設定できないような結果（設定許容範囲外）となる問題がある。また、複数アクチュエータ値と複数波長の発光強度との関係（多対多関係）を制御モデルとし、そのパラメータを実験により求めようとする場合、そのために要するウェハ枚数及び実験工数などが多くなってしまう問題がある。更に、上記多対多関係の制御モデルとそのパラメータを用いたRun-to-Run制御では、設定の項目やバリエー

ションが多いため、実際のエッチング処理（実エッチング処理）で制御評価しようとする場合、長期間が必要になる、もしくは実行上評価不可能となる、といった問題がある。

[0062] ［システム］ 上記課題に対し、本発明の解決手段（実施の形態）は以下である。本エッチング装置（そのシステム）において、複数アクチュエータ及びＯＥＳ等を備え、エッチング処理のRun-to-Run制御の機能を備える。本制御で、ウェハ着工（ウェハエッチング処理）毎に、複数アクチュエータ値Ｘ（即ちエッチング処理条件）を調整し、複数波長（多波長）の発光強度値Ｙを制御する。値Ｘの調整による値Ｙの変化の関係を、少なくとも２種類の制御モデル（Ｃ）で定義し、発光強度目標値となるように又は近付けるようにアクチュエータ値Ｘ（調整量）を算出する方法が示される。また、制御モデル（Ｃ）のパラメータ（Ａ）を決定するための条件出し方法、更に、実エッチング処理すること無くRun-to-Run制御の性能を評価等するための制御シミュレーション方法などが示される。

[0063] ［制御モデル］ 上記値（Ｘ，Ｙ）の変化の関係（関係モデル）について、第１に、値Ｙが目標値通りとなるよう値Ｘを算出できるように定義した行列表現による制御モデル（行列モデル：Ｃ１）（行列制御モデル：Matrix Control Model）と、第２に、複数波長間の値Ｙの関係、及び複数アクチュエータ間の値Ｘの関係をそれぞれ比率で制約して値Ｘと値Ｙの比例関係を定義した比率制約表現による制御モデル（比率制約モデル：Ｃ２）（比率制約制御モデル：Ratio-Constraint Control Model）との２種類で定義し、設定可能とする構成である。

[0064] また、実際にアクチュエータ（Ｘ）に指令（設定）が可能な範囲（許容範囲）、及び発光強度Ｙに求められる精度（Ｙばらつき等）等の条件に応じて、複数の制御モデル（Ｃ）から実制御に適用するモデルを選択することにより、良好な制御結果が得られる。

[0065] 更に、上記２つのモデル（Ｃ１，Ｃ２）を統合して用いる形（統合モデルＣ３）により、発光強度Ｙのばらつき等を鑑みた最適なアクチュエータ値Ｘ

の算出ができる（実施の形態２）。

[0066] また、ロット間（複数ロット）及びウェハ間（複数ウェハ）における値Ｙの経時変動を補償（例えば一定化）するための経時変動モデル（Ｃｔ）を用いた制御ができる（各実施の形態）。

[0067] ［基本設定］ 上記制御（Run-to-Run制御）の事前には、制御対象とする、複数（ｊ）のアクチュエータ（１≦ｊ≦Ｊ）、及び複数（ｋ）の波長（１≦ｋ≦Ｋ）、発光強度Ｙの目標値（あるいは管理値）等を設定する。なおＪは、エッチング装置に備えるアクチュエータ数（最大数）であり、Ｋは、ＯＥＳにより観察可能な波長数（最大数）である。なお上記ｊ＝１の場合やｋ＝１の場合も制御が可能である。更に、制御モデル（Ｃ）とそのパラメータ（Ａ）を設定（選択）する。例えば、制御結果の発光強度Ｙ（Ｙ実績値）を目標値通りとしたい場合は行列モデル（Ｃ１）を設定し、設定するアクチュエータ値Ｘの算出の範囲を限定したい場合は比率制約モデル（Ｃ２）を設定する。また、上記値Ｘの範囲を限定しつつ値Ｙを目標値にできるだけ近付けるためには、上記２つのモデル（Ｃ１，Ｃ２）の統合モデル（Ｃ３）を設定する。上記各種の基本設定は、ユーザによる設定が可能である。

[0068] ［制御］ 上記Run-to-Run制御における１回（ウェハ毎）のエッチング処理では、以下のような制御処理となる（図２２）。第１の処理ステップ（Ｓ１）として、エッチング処理の開始の前に、「制御無し発光強度」（ｄ４）ないしＹ経時変動量（ｄ９）に基づき（今回のための）アクチュエータ値Ｘの制御量（ｄ７）を算出してアクチュエータ（Ｘ設定値（ｄ１））に設定する。第２の処理ステップ（Ｓ２）として、エッチング処理中は、アクチュエータ設定値（ｄ１）に基づくプラズマ発光から、ＯＥＳにより発光強度Ｙ（ｄ２）をモニタし、データを格納する。第３の処理ステップ（Ｓ３）として、エッチング処理の後には、ＯＥＳデータ（モニタ値／取得値）に基づくＹ実績値（ｄ２）をもとに「制御無し発光強度」（ｄ４）を算出する。これらの処理（Ｓ１～Ｓ３）を、各回のエッチング処理でRun-to-Runで繰り返す。なお上記Ｓ１等は説明上の便宜的な区分である。

[0069] 上記構成により、アクチュエータ値Ｘの算出の異常、もしくはアクチュエータ値Ｘの調整不足によるエッチング処理性能劣化などを防止できる。また、発光強度Ｙについては、エッチング装置のチャンバ内のプラズマの物質構成をモニタできるので、複数物質に依存して形成される形状や多種組成の膜のエッチング量を制御でき、ＬＳＩ微細化に対応した高精度化や、異物付着によるチャンバ劣化の抑制を図ることができる。

[0070] ［条件出し］ また他の機能（実施の形態３）として、制御モデル（Ｃ）及びそのパラメータ（Ａ）を評価・決定等するための条件出しの処理においては、ＰＬＳ回帰分析などを用いて、複数の制御モデルを比較評価することで、精度良好となるモデルを決定（選択）する。これは、従来に比べて少ないウェハ数で決定でき、よって実験工数などを低減できる。本条件出しの処理では、実験計画法に基づく水準組合せより、パラメータ（Ａ）の算出に必要なだけの水準組合せを選定する。そしてＰＬＳ回帰分析など（例えば比率制約モデルＣ２の場合）により、アクチュエータ値ＸとＹ実績値を用いて、複数の各モデル（Ｃ）のパラメータ（Ａ）を算出する。Ｙ実績値と、推定値もしくは予測値との誤差を比較評価して、複数のうちから好適な制御モデル（Ｃ）及びパラメータ（Ａ）を決定する。決定されたものを実制御用に設定できる。

[0071] ［制御シミュレーション］ また他の機能（実施の形態４）として、Run-to-Run制御の制御シミュレーションの処理において、上述した制御用の制御モデル（Ｃ）（区別のため第１の制御モデルＣａとする）とは別に、アクチュエータ値Ｘの調整により実際に発生する多波長での発光強度Ｙを得るために「真の制御モデル」（区別のため第２の制御モデルＣｂとする）を定義する。多波長の発光強度Ｙを複数アクチュエータ値ＸによってRun-to-Run制御する場合、設定の項目などが多く、パラメータ（Ａ）値の良否を実エッチング処理で評価することが一般には困難である。本機能（実施の形態４）では、Run-to-Run制御における各エッチング処理の繰り返しにおいて、「真の制御モデル」（Ｃｂ）に基づき実際の発光（Ｙ実績値、但しシミュレーション値）

を算出しながら、制御用の制御モデル（Ｃａ）に基づきアクチュエータ値Ｘの算出を繰り返すことにより、Run-to-Run制御シミュレーションを実現できる。これにより実際のエッチング装置への制御の適用を早期化できる。

[0072] ＜補足＞

図２２に、補足として、本実施の形態（特に実施の形態１）の制御（Run-to-Run制御）に関する概要（イメージ）を示す。（ｄ１）等は各種情報データの区別のための記号を示す。Ｅは、エッチング装置及びそのエッチング処理を示す。エッチング処理は、ロットーウェハ（Ｗ）単位である。例えば今回＃ｉのウェハW＃ｉのエッチング処理Ｅ＃ｉとする。エッチング装置には、前提技術として複数（Ｊ）のアクチュエータ、及びＯＥＳ等を備える。複数（Ｊ）のアクチュエータないしその値をＸ（個別にはｘ）で表し、ＯＥＳにより観察可能である複数（Ｋ）の波長の発光強度をＹ（個別にはｙ）で表す。

[0073] 複数（Ｊ）のアクチュエータのうち、対象として複数（ｊ）のアクチュエータが選択される。それらのＸ設定値｛ｘ１，ｘ２，…，ｘｊ｝（ｄ１）が、エッチング処理Ｅ＃ｉの開始前（Ｓ１）に設定される。上記複数アクチュエータの数値的設定によって、エッチング処理Ｅ＃ｉの際のプラズマ発光が調整される。エッチング処理中（Ｓ２）、そのプラズマ発光に対し、ＯＥＳにより複数（Ｋ）の波形の発光強度値Ｙをモニタしてデータを格納する。このＯＥＳデータをもとに所定の時間単位でＹ値を取得してＹ実績値（ｄ２）とする。この際、複数（Ｋ）の波形のうち、対象として複数（ｋ）の波形が選定される。それらのＹ実績値｛ｙ１，ｙ２，…，ｙｋ｝（ｄ２）が計算に使用される。

[0074] 本制御全体は、基本設定として、制御モデルＣ及びそのパラメータ（係数）（Ａ）の設定や、上記Ｘ，Ｙに関する対象（制御用）とする数（ｊ，ｋ）や、Ｙ目標値（ｄ３）や、その他の変数が設定可能である。なおここでいう「設定」は、予め可能なユーザ設定などであり、実制御・実エッチング処理（Ｓ１～Ｓ３）中の「設定」（例えばＸ設定値（ｄ１）の設定など）とは意味合いが異なる。

[0075] 制御モデルＣは、各実施の形態（あるいはユーザ設定や機能など）に応じて、行列モデルＣ１、比率制約モデルＣ２、統合モデルＣ３、等から選択可能である。またそのパラメータ（Ａ）等についても事前の設定が可能となっている。そして上記基本設定に基づき、実制御（実エッチング処理）の単位（ウェハW毎のエッチング処理Ｅ）でのRun-to-Run制御処理の繰り返しを構成する第１～第３の処理ステップ（Ｓ１～Ｓ３）を有する。

[0076] 第１の処理ステップＳ１は、今回（＃ｉ）のエッチング処理Ｅ＃ｉの前の処理であり、「制御無し発光強度」（ｄ４）からのＹ目標制御量（ΔＹ）（ｄ６）の算出、そのΔＹ（ｄ６）からのＸ制御量（ΔＸ）（ｄ７）の算出、及びその設定（ｄ１）などである。

[0077] 次に、第２の処理ステップＳ２は、今回（＃ｉ）のエッチング処理Ｅ＃ｉの実行であり、Ｘ設定値（ｄ１）に基づく発光から、ＯＥＳによるモニタに基づきＹ実績値（ｄ２）を得る。

[0078] 次に、第３の処理ステップＳ３は、今回（＃ｉ）のエッチング処理Ｅ＃ｉの後の処理であり、Ｙ実績値（ｄ２）からの「制御無し発光強度」（ｄ４）の算出などである。Ｙ実績値（ｄ２）から、計算（ｄ３，ｄ７等を使用）により、「制御しない場合の発光強度」である「制御無し発光強度」（ｄ４）を得る（このＳ３で求めた値（ｄ４）をＳ１で使用可能）。

[0079] 詳しくは、上記Ｓ１では、「制御無し発光強度」（ｄ４）と、Ｙ目標値（ｄ３）との差分値（ｄ５）を得て、この差分値（ｄ５）を、Ｙ目標制御量（ΔＹ）（ｄ６）とする。そして、制御モデルＣ（Ｙ＝ＡＸ）を用いて、上記Ｙ目標制御量（ΔＹ）（ｄ６）から、Ｘ制御量（調整量）（ΔＸ）（ｄ７）を求める（ΔＹ→ΔＸ）。上記Ｓ３では、Ｙ実績値（ｄ２）とＹ目標値（ｄ３）との誤差（ｄ８）、Ｓ１で求めたＸ制御量（調整量）（ΔＸ）（ｄ７）を用いて、「制御無し発光強度」（ｄ４）を計算する。

[0080] なおＳ２またはＳ３では、所定の時間単位で、計算に用いる値Ｙ（ｄ２）（モニタ値／取得値）を取得する。本例ではＳ２のＯＥＳによるモニタ値（Ｙ）から、所定の時点の値、もしくは所定の処理時間範囲の集計値などを取

得して当該値（ｄ２）とする。

[0081] また、上記Ｓ１でＸ制御量（ΔＸ）（ｄ７）を算出する際は、当該Ｘ設定値（ｄ１）に関する許容範囲などを条件として適用することで、設定の異常などを防止できる。

[0082] また、ロット間及びウェハ間での値Ｙに関する経時変動（例えば前記図３）を制御（補償）する場合、値Ｙに関する経時変動モデル（Ｃｔ）を用いて制御する。この場合、Ｓ３の「制御無し発光強度」（ｄ４）の計算の際、Ｙ経時変動量（ｄ９）を計算し、それに基づきＹ目標制御量（ｄ６）を算出する。

[0083] ＜エッチング装置、システム＞

図４，図５を用いて、本発明の一実施の形態のエッチング装置４０１及びそれを含んで成るシステム４００の構成及び動作などについて説明する。なお図４，図５の構成は後述の各実施の形態の構成要素を含む。図４は主にエッチング装置４０１の構成を示し、図５は特に各機能の構成を示す。なおエッチング装置４０１や他の要素（４３２，４３３，４３４等）を含んで成るシステム全体をシステム４００（エッチング制御システム）と称する。

[0084] 図４で、エッチング装置４０１は、チャンバ４０２、電極４０３、ウェハ４０５、電極４０６、排気系４０７、ガス供給系４０８、装置コントローラ４０９、ＯＥＳ（発光分光器）４１０、計算機４１１、画面４１２、流量調整装置４１３、圧力調整装置４１４、電力調整装置４１５、温度調整装置４１６、等から構成される。装置コントローラ４０９は外部通信装置などを含んで成る。計算機４１１は、計算機システムであり記憶装置などを含んで成り、本特徴要素である制御機能（設定機能やRun-to-Run制御機能を含む）を構成する。画面４１２は端末やディスプレイ等の手段であり、ユーザによる入出力の操作を容易化するユーザインタフェース（例えばＧＵＩ）を含む。チャンバ４０２には窓４２１が設けられており、プラズマによる光４２２（プラズマ発光）をＯＥＳ４１０で観測できる。なおＯＥＳ４１０はセンサの一種と捉えることができる。

[0085] エッチング装置４０１は、ネットワーク４３１を介してデータベース（ＤＢ）４３２と接続されている。またデータ共用の便を図り、ネットワーク４３１及びＤＢ４３２には、計算機システムであるＯＥＳデータ解析システム４３３、及び制御シミュレータ４３４等も接続されている。

[0086] ウェハ４０５はチャンバ４０２内でエッチング処理される。ウェハ４０５は、電極４０３，４０６に挟まれるように配置され、この電極４０３，４０６間にプラズマ４０４を発生させることでウェハ４０５表面がエッチングされる。なおプラズマ４０４の発生に関しては必ずしも電極によらなくてもよい。エッチングに必要なガス材料はガス供給系４０８より導入され、エッチング反応後のガスは排気系４０７より排気される。

[0087] エッチング装置４０１は、複数のアクチュエータとして、流量調整装置４１３、圧力調整装置４１４、電力調整装置４１５、温度調整装置４１６などを備えており、それぞれ対応して、各種ガス材料の流量、チャンバ４０２内の圧力、電極４０３，４０６に印加する電流・電圧、更に温度を調整可能である。これらの調整（即ちアクチュエータ値Ｘの設定）は、装置コントローラ４０９からの指示で実行される。

[0088] プラズマ４０４は発光を伴い、この光４２２をＯＥＳ４１０により波長別に発光強度をモニタする。ＯＥＳ４１０及び装置コントローラ４０９は、エッチング装置４０１に設置された計算機４１１と接続される。装置コントローラ４０９は、エッチング装置４０１でのエッチング処理の基本的な制御機能を持つ。

[0089] 計算機４１１（制御機能）は、ＯＥＳ４１０によりモニタした各波長の発光強度値Ｙに基づいて各アクチュエータ値Ｘの調整量（制御量）（ｄ７）を算出する制御などを行い、装置コントローラ４０９とデータを授受する。計算機４１１は、ロット毎の着工、及びロット内の各ウェハのエッチング処理の回数や順序など（着工・エッチング処理情報）の情報データを記憶し、当該値に応じてアクチュエータ値Ｘの調整量を求め、装置コントローラ４０９に指令する。

[0090] 計算機４１１は、画面４１２と接続されており、画面４１２により、アクチュエータ値Ｘや発光強度値Ｙや、各種設定値、着工・エッチング処理情報など、各種の情報（計算機４１１やＤＢ４３２等の格納情報に基づく）を、ユーザ（オペレータ、エンジニア、管理者、制御設計者など）に対して表示する。また制御に必要となる制御モデルＣの種類（形式）やパラメータ（Ａ）、対象の各波長とそのＹ目標値（ｄ３）など、ユーザ設定可能な情報については画面４１２を通じてユーザにより設定可能であり、設定された情報は、計算機４１１やＤＢ４３２等に格納され、本制御で用いられる。

[0091] エッチング装置４０１内のＯＥＳ４１０、装置コントローラ４０９、及び計算機４１１等は、ネットワーク４３１を介してＤＢ４３２に接続されており、ＤＢ４３２に対して情報データを格納し、必要に応じて参照する。

[0092] 画面４１２に対しては、ユーザ操作により、アクチュエータ値Ｘや、ウェハの処理順序といったエッチング処理に関する情報を設定でき、ユーザによる任意の指示でエッチング処理を実施できる。また、制御モデルＣとパラメータ（Ａ）を決定する条件出しを行うためには、制御に用いる各アクチュエータのＸ設定値を様々に設定してエッチング処理（実験）を実施する。上記エッチング処理中のＯＥＳデータとＸ設定値とをＤＢ４３２に格納する。格納したデータを参照して、ＯＥＳデータ解析システム４３３（条件出し機能５２１）を用いて、ユーザは、制御モデルＣとそのパラメータ（Ａ）を決定する。なおＯＥＳデータ解析システム４３３は、エッチング装置４０１内の計算機４１１等により実行されるソフトウェア等の機能として実装される形態としてもよい。

[0093] ＤＢ４３２に格納される情報データは、エッチング装置４０１内の各アクチュエータ等の動作データといった装置ログデータ、複数アクチュエータのＸ設定値（ｄ１）や、複数波長の発光強度Ｙに関するＯＥＳデータ（モニタデータ）及びそれによるＹ実績値（ｄ２）、特に複数ロット及び複数ウェハの発光強度Ｙの経時変動データ等を含む。また、設定情報として、制御対象の複数（ｋ）の波長とそのＹ目標値、及び複数（ｊ）のアクチュエータを含

む。また、複数の制御モデルＣの種類（形式）やそのパラメータ（Ａ）等を含む。また、ロット及びウェハのエッチング処理の工程や順序等を管理する情報、着工来歴に関するデータ（既存の製造管理システム等から得られるデータ）などを含む。

[0094] 制御シミュレータ４３４（Run-to-Run制御機能５０１Ｂ）では、ＤＢ４３２等のデータを取り込み、Run-to-Run制御シミュレーションを実行することにより、発光強度Ｙの制御結果などについて評価する。なお制御シミュレータ４３４は、ネットワーク４３１と接続されていなくても、制御シミュレータ４３４がインストールされている計算機の端末からデータを設定することでシミュレーションを実行できる。または、制御シミュレータ４３４は、エッチング装置４０１内の計算機４１１等により実行されるソフトウェア等の機能として実装される形態としてもよい。

[0095] また本実施の形態では、計算機４１１（制御機能）は、エッチング装置４０１内に実装されるものとしたが、ＯＥＳデータ解析システム４３３や制御シミュレータ４３４等と共にエッチング装置４０１の外部に接続されるシステム等の形態としてもよい。

[0096] ＜機能＞

図５のシステム４００の機能において、エッチング装置４０１の計算機４１１（制御機能）に備えるRun-to-Run制御機能５０１（構成要素：５０２～５１１等）、ＯＥＳデータ解析システム４３３に備える条件出し機能５２１（構成要素：５２２～５３１）、制御シミュレータ４３４に備えるRun-to-Run制御機能５０１Ｂ他の機能（５４１～５４５）を有する。これら各機能を含む構成において、ロット毎及びロット内ウェハ毎に、複数波長の発光強度Ｙを複数アクチュエータ値Ｘにより制御するものであり（実施の形態１，２）、更に、条件出し（実施の形態３）、及び制御シミュレーション（実施の形態４）等を実行することができる。

[0097] [Run-to-Run制御機能] まず、計算機４１１による計算処理で実現されるRun-to-Run制御機能５０１について説明する。なお制御シミュレータ４３

４内にもRun-to-Run制御機能５０１Ｂを備えるが、こちらは５０１（実制御用）に対応した制御シミュレーション機能である。

[0098] 制御目標の例として、ロット着工毎、及びロット内の各ウェハのエッチング処理毎の発光強度Ｙの経時変動を補償する（例えば値Ｙを目標値に一定化）。そのために、ロット・ウェハ毎エッチング処理来歴取得機能５０２により、装置メンテナンス以降のウェハ処理枚数といった来歴情報をＤＢ４３２から取得する。また、本制御では、制御モデルＣに基づきアクチュエータ値Ｘを算出して発光強度Ｙの変動を補償する。そこで、制御を行う事前に、制御モデル設定機能５０３により、制御モデルＣとそのパラメータ（Ａ）を設定する。また、計算に必要となる対象の発光波長（数ｋ）とその発光強度Ｙの目標値（ｄ３）を、発光波長・発光強度目標値設定機能５０４でユーザ等が指定して設定し、また、制御に用いる対象のアクチュエータ（数ｊ）を、制御用アクチュエータ設定機能５０５でユーザ等が指定して設定する。

[0099] 基本設定に基づき、実制御の処理（Ｓ１～Ｓ３）において、今回（＃ｉ）のウェハ（Ｗ＃ｉ）のエッチング処理（Ｅ＃ｉ）を開始するために、まず（Ｓ１）、前回（＃ｉ－１）までのウェハのエッチング処理で発生した発光強度Ｙの経時変動量（ｄ９）とＹ目標値（ｄ３）から、制御すべき発光強度Ｙの変化量ΔＹ（Ｙ目標制御量（ｄ６））を、複数波長発光強度制御量算出機能５０６により算出する。そして、このＹ目標制御量（ｄ６）をもとに、アクチュエータ値算出機能５０７により、制御モデルＣを用いて、制御のための複数アクチュエータ値Ｘの変化量ΔＸ（Ｘ制御量）（ｄ７）を算出する。そして、アクチュエータ値指令機能５０８により、装置コントローラ４０９に対し、上記算出値（ｄ７）に基づく各アクチュエータ値Ｘ（Ｘ設定値（ｄ１））を送信または指令し、これに従い装置コントローラ４０９から当該アクチュエータに対して当該Ｘ設定値（ｄ１）を設定（適用）する。これにより今回のエッチング処理（Ｅ＃ｉ）（Ｓ２）を開始可能とする。

[0100] エッチング装置４０１でのエッチング処理（Ｓ２）中、プラズマ発光をＯＥＳ４１０でモニタし、そのモニタ値（ＯＥＳデータ）をＯＥＳデータ取得

機能５０９により取得し、計算機４１１に格納する。そして、複数波長発光強度取得機能５１０により、上記ＯＥＳデータから、設定で指定された対象の複数（ｋ）の波長の発光強度Ｙの実績値（ｄ２）を取得する。なおＯＥＳデータは、エッチング処理中に所定の短い時間間隔でサンプリングした波形データであるので、このＯＥＳデータから、所定の時間単位で、即ち特定の時点（間隔）ごとのデータ値、あるいは所定の処理時間範囲での平均、最大、最小などの集計値、を取得することにより、上記Ｙ実績値（ｄ２）とする。

[0101] そして、発光強度経時変動量取得機能５１１により、上記Ｙ実績値（ｄ２）（Ｙ目標値（ｄ３）との誤差（ｄ８））とＸ制御量（ｄ７）から、「制御しなかった場合の発光強度」である「制御無し発光強度」（ｄ４）を計算する。この「制御無し発光強度」（ｄ４）を、前回までのウェハエッチング処理で発生した発光強度Ｙの経時変動量（ｄ９）とあわせて、今回までの発光強度Ｙの経時変動量（ｄ９）を求める。この値（ｄ９）（ないし（ｄ３）と（ｄ４）の差分（ｄ５））に基づき、次回（＃ｉ＋１）のウェハエッチング処理（Ｅ＃ｉ＋１）で発光強度Ｙの経時変動を補償するためのＹ目標制御量（ｄ６）を決定することができる。

[0102] ［条件出し機能］ 次に、ＯＥＳデータ解析システム４３３の処理により実現される条件出し機能５２１について説明する。なお条件出し機能５２１は、ＯＥＳデータ解析システム４３３以外の例えばエッチング装置４０１内の計算機４１１で実現される機能などとしてもよい。

[0103] 複数アクチュエータ値Ｘの変動に対する複数波長の発光強度Ｙの変動の関係を式としてモデル化するために、実験計画法による条件出しを実施する。そのためにまず、アクチュエータ水準組合せ設定機能５２２により、数段階の水準として各アクチュエータに値（Ｘ）を設定し、各アクチュエータの水準間の組合せを設定する。そしてその水準組合せ数分のウェハと、複数ウェハの連続のエッチング処理での発光強度Ｙの経時変動の基準を得るための数枚のウェハとを準備し、実際にエッチング装置４０１にてエッチング処理を

実施する。エッチング処理中のプラズマ発光をＯＥＳ４１０でモニタし、当該ＯＥＳデータをＤＢ４３２に格納しておく。

[0104] 複数波長発光強度取得機能５２３にて、上記ＯＥＳデータより、複数波長の発光強度Ｙ（Ｙ実績値（ｄ２））を取得する。この対象の波長やエッチング処理中の取得対象の時点については、例えば設定で指定されているものを用いる。またウェハエッチング処理の繰り返しによる発光強度Ｙの経時変動が有る場合、当該経時変動の基準を得るためのウェハエッチング処理の発光強度Ｙを、エッチング処理順に補間して、水準組合せのウェハの処理時点での発光強度Ｙを内挿・外挿して実際にモニタしたＹ実績値（ｄ２）より差し引くことにより、アクチュエータ調整量（ΔＸ）に応じた発光強度Ｙの変動（ΔＹ）を取得できる。

[0105] 制御モデル毎モデルパラメータ算出機能５２４により、上記で得られた発光強度Ｙを出力とし、上記設定したアクチュエータ値Ｘを入力として、制御モデルＣのパラメータ（Ａ）を推定する。この制御モデルＣは、行列モデルＣ１と比率制約モデルＣ２がある。また式（５），（６）で定義される比率制約モデルＣ２は、パラメータP，Qの列数を可変に設定できるため、それに応じて複数の比率制約モデルＣ２があることになる。これら複数の制御モデルＣ毎に、パラメータ（Ａ）を推定する。

[0106] 発光強度推定誤差算出・評価機能５２５により、上記設定したアクチュエータ値Ｘを、各制御モデルＣに代入して発光強度Ｙを推定し、実績値と推定値との誤差を集計することで、各制御モデルＣの精度を比較評価できる。

[0107] また発光強度Ｙの予測により条件出し結果の精度を評価できる。このために、発光強度予測用アクチュエータ値算出機能５２６により、（発光強度予測用の）アクチュエータ値Ｘを算出し、設定する。

[0108] また「真の制御モデル」設定機能５２７により、実エッチング処理での発光強度Ｙ（Ｙ実績値）を得ることに相当する、「真の制御モデル」（Ｃｂ）とそのパラメータ（Ａ）を仮定（推定、設定等）する。

[0109] また発光強度算出・評価機能５２８により、上記「真の制御モデル」（Ｃ

ｂ）とそのパラメータ（Ａ）を推定した各制御モデルＣに基づき、アクチュエータ値Ｘを用いて発光強度Ｙを算出し、比較評価できる。

[0110] また複数波長発光強度目標値取得機能５２９により、Ｙ目標値（ｄ３）等の情報をＤＢ４３２から取得する。

[0111] 複数波長発光強度制御量算出機能５３０により、上記「真の制御モデル」（Ｃｂ）に基づきアクチュエータ値Ｘから算出した発光強度Ｙと、上記Ｙ目標値（ｄ３）との差分を、Ｙ制御量（ｄ６）として求める。

[0112] そしてアクチュエータ値算出・評価機能５３１により、上記パラメータ（Ａ）を推定した各制御モデルＣに基づき、上記Ｙ制御量（ｄ６）を用いて、アクチュエータ値Ｘ（制御量（ｄ７））を算出する。これにより、アクチュエータ変動量を各制御モデルＣについて比較・評価できる。

[0113] ［制御シミュレータ］ 次に制御シミュレータ４３４の機能について説明する。本制御シミュレーションは主にRun-to-Run制御機能５０１Ｂを利用して実現できる。Run-to-Run制御の事前の制御モデルＣの設定、対象波長やＹ目標値（ｄ３）の設定、制御用アクチュエータの設定などについては、前述のRun-to-Run制御機能５０１と同様に行う。更に実エッチング処理を行わないで発光強度値Ｙを計算で得るために、「真の制御モデル」設定機能５４１により「真の制御モデル」（Ｃｂ）を（制御用の制御モデル（Ｃａ）とは別に）設定しておく。また、ロット毎及びロット内ウェハのエッチング処理毎の制御シミュレーションを行うためには、エッチング処理の繰り返しによる「真の発光強度」の経時変動が必要であり、このデータ（制御無し発光強度変動データ）を、制御無し発光変動取得機能５４３により、ＤＢ４３２から取得する。実エッチング処理の発光強度Ｙ（Ｙ実績値）のデータが、Run-to-Run制御を実施したもので有る場合には、当該データとそのときの制御モデルＣ、パラメータ（Ａ）、及びアクチュエータ値Ｘ等の設定やログのデータを、制御有り発光変動取得機能５４４によってＤＢ４３２から取得する。そして制御無し発光変動算出機能５４５により、上記制御モデルＣ、パラメータ（Ａ）、及びアクチュエータ値Ｘ等から、Ｙ制御量（ｄ６）を算出して、発

光強度値Ｙから差し引くことにより、上記制御無し発光強度変動データが求まる。

[0114] ウェハエッチング処理（Ｓ２）の前に、アクチュエータ値算出機能５０７により、前回までのＹ経時変動量を参照してアクチュエータ値Ｘ（制御量）を算出する。そして実エッチング処理（Ｓ２）の実施に相当する計算処理（シミュレーション）を行う。複数波長発光強度算出機能５４２により、「真の制御モデル」（Ｃｂ）に基づきアクチュエータ値Ｘを用いてＹ制御量を算出し、これに「真の制御無し発光強度」を加えることにより、発光強度Ｙの制御結果（シミュレーション結果）が得られる。この発光強度Ｙを、ＯＥＳ４１０でモニタした発光強度（Ｙ実績値）として捉えて、Run-to-Run制御機能５０１の場合と同様に、発光強度経時変動量取得機能５１１によりＹ経時変動量が求まる。尚このとき発光強度Ｙから差し引くＹ制御量は、アクチュエータ値Ｘを算出するときに計算したものであり、「真の制御モデル」（Ｃｂ）に基づくＹ制御量ではないことに注意する。

[0115] （実施の形態１）

以上の構成に基づき、図６～図１４等を用いて、実施の形態１のエッチング装置及びシステム等の制御処理について説明する。

[0116] ＜Run-to-Run制御＞

図６を用いて、エッチング装置４０１を用いたＡＰＣのRun-to-Run制御の基本について説明する。図６（ａ）で、左側に示すように、今回（＃ｉ）、ｉ番目のウェハW＃ｉのエッチング処理Ｅ＃ｉを行うとする。このエッチング処理Ｅ＃ｉ（エッチング工程）は、例えば、Step1, Step2, ……, Step10といったように全１０のステップ（エッチングステップ）により構成される。尚これらの各ステップは、エッチング処理開始、メインエッチング、下層膜エッチング、残渣除去、エッチング終了といった処理内容毎に設定され、よって当該ステップ構成は所望のエッチング処理に応じて変わる。また各ステップではＯＥＳ４１０によりプラズマ発光をモニタする。

[0117] 例えばStep2でモニタされたプラズマ発光６４１のＯＥＳデータから、複数

（Ｋ）の波長の発光強度（Ｙ）６４２を取得しておく（処理６３１）。そして右側に示す次のｉ＋１番目のウェハW#ｉ＋１のエッチング処理Ｅ#ｉ＋１の開始前に、制御モデル（多対多関連制御モデル）６３２に基づき、発光強度（Ｙ）６４２を参照し、発光強度値Ｙが目標値（ｄ３）となるように、複数のアクチュエータ値（Ｘ）６４３を算出する。アクチュエータ値（Ｘ）６４３は、例えば、「レシピ項目１」，「レシピ項目２」，……，「レシピ項目５」といったレシピに設定される。なおレシピとは、複数の項目により成るエッチング処理条件のことである。なお上記のアクチュエータ値Ｘ、エッチング処理条件（レシピ）、エッチングステップ等の要素（各々１つ以上）は、所定の関係を持つので、直接的な制御対象を複数アクチュエータ（Ｘ）とする。

[0118] そして上記に基づき、ウェハW#ｉ＋１のエッチング処理Ｅ#ｉ＋１が開始され、例えばStep2では「レシピ項目１」，「レシピ項目２」，「レシピ項目３」の値より、アクチュエータ６４４（関係する１つ以上）が動作する。同様に、例えばStep3では「レシピ項目４」の値、Step4では「レシピ項目５」の値より、それぞれアクチュエータ６４４が動作する。このような処理を、ウェハエッチング処理（Ｅ#）の度に繰り返すことにより、Run-to-Run制御が実現される。

[0119] 制御モデル（多対多関連制御モデル）６３２に基づき複数のアクチュエータ値（Ｘ）６４３を求めるためには、制御モデル６３２について、図６（ｂ）に示すように、横軸を発光強度Ｙ、縦軸をアクチュエータ値Ｘとした、多対多の数値的な関係が成立していなければならない。発光はチャンバ４０２内部のプラズマ４０４の状態によって変化し、またプラズマ４０４の状態はガス流量、電流・電圧といったアクチュエータ（４１３～４１６）により調整される（図４）。つまりアクチュエータ値Ｘに対する発光強度Ｙとして制御モデルＣが定義される（Ｃ：Ｙ＝ＡＸ，ΔＸ→ΔＹ）。

[0120] １つのプラズマ中の物質からは複数の波長の発光が観察され、また化学反応は連鎖反応であるので、特定の物質の変化は他物質の量にも影響を与える

。しかしながら、例えば不活性ガスであるアルゴンArは直接的に反応には寄与しない等、チャンバ４０２内で起こっている反応による物質の変化量は様々である。また制御対象とした波長においては、それぞれアクチュエータ値Ｘ変化により量が変動する物質に応じて、発光強度Ｙが変化する波長は限定されることとなる。つまり各々のアクチュエータ別の変化に応じて独立に発光強度Ｙが変化する波長と、連動して変化する波長と、を想定できる。そこで本実施の形態では、制御モデルＣを、行列モデルＣ１と比率制約モデルＣ２との２通りで定義している。

[0121] ＜制御モデル＞

図７を用いて、本制御モデル（Ｃ：Ｃ１，Ｃ２）の内容を説明する。（ａ）は行列モデルＣ１のグラフ、（ｂ）は比率制約モデルＣ２のグラフを示す。グラフは横軸が波長、縦軸が発光強度Ｙである発光スペクトルを示しており、（ａ），（ｂ）のいずれのモデルにおいても、２波長（Ａ，Ｂ）の発光強度Ｙを、２アクチュエータ（＃１，＃２）で制御する例である。

[0122] 図７（ａ）の行列モデルＣ１では、複数のアクチュエータの各々で、各波長の発光強度Ｙを目標値に制御できることを根拠として定義できる。制御対象の波長は、波長Ａと波長Ｂであり、Ｙ目標値（ｄ３）と「制御無し発光強度」（ｄ４）との差分（ｄ５）であるＹ目標制御量（ｄ６）は、波長Ａではy^A（７０６）、波長Ｂではy^B（７０７）である。アクチュエータ＃１（その制御量）（７０８）を調整すると、波長Ａ，Ｂの両方の発光強度Ｙが変化するが、アクチュエータ＃２（その制御量）（７０９）を調整すると、波長Ｂの発光強度Ｙのみ変化する。このような場合には、アクチュエータ＃１（７０８）を制御量y^A（７０６）となるように調整し、制御量y^B（７０７）についてはアクチュエータ＃１（７０８）で制御しきれなかった分をアクチュエータ＃２（７０９）で制御するようにすればよい。即ち目標制御量を得られるようにアクチュエータ値Ｘを求めることができる。行列モデルＣ１は式（７）となり、アクチュエータ値Ｘの算出式は式（８）となる。

[0123]

[数7]

$$\mathbf{y}^T = \mathbf{x}^T \mathbf{A}^T \quad \cdots (7)$$

[0124] [数8]

$$\mathbf{x}^T = \mathbf{y}^T \left(\mathbf{A}^T\right)^{-1} \quad \cdots (8)$$

[0125] ここで、$y^T = [y^A \quad y^B \quad \cdots \quad y^{Char(N)}]^T$、$x^T = [x_1 \quad x_2 \quad \cdots \quad x_M]^T$、である。Nは波長数（ないしセンサ数）（前述の数ｋ，Ｋと対応）、Ｍはアクチュエータ数（前述の数ｊ，Ｊと対応）であり、両者は同じ（Ｎ＝Ｍ）でなければならない（Ｃ１の場合）。なおChar(i)はi番目のアルファベット大文字を意味する。上記パラメータAは次式（９）となる。

[0126] [数9]

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_1^A & a_1^B & \Lambda & a_1^{Char(N)} \\ a_2^A & a_2^B & \Lambda & a_2^{Char(N)} \\ \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{O} & \mathrm{M} \\ a_M^A & a_M^B & \Lambda & a_M^{Char(N)} \end{bmatrix} \quad \cdots (9)$$

[0127] このパラメータAは、重回帰分析により求めることができる（Ｃ１の場合）。

[0128] 図７（ｂ）の比率制約モデルＣ２は、各アクチュエータ値Ｘの調整により、各波長の発光強度Ｙが一定の比率で変化することに基づき定義できる。アクチュエータ＃１（その制御量）（７１８）を調整すると、波長Ａ，Ｂの両方の発光強度Ｙが変化し、またアクチュエータ＃２（その制御量）（７１９）を調整しても、波長Ａ，Ｂの両方の発光強度Ｙが変化する。各波長における値Ｙの変化量ΔＹは、各アクチュエータで一定の比率となる。そこで、この２つのＹ目標制御量にできるだけ近付くように、アクチュエータ調整量（ΔＸ）を求める。比率制約モデルＣ２は次の式（１０），（１１）となる。

[0129]

[数10]

$$\mathbf{y}^T = \mathbf{tBQ}^T \quad \cdots (10)$$

[0130] [数11]

$$\mathbf{x}^T = \mathbf{tP}^T \quad \cdots (11)$$

[0131] ここで、内部変数t＝［t_1　t_2　…　t_L］であり、Ｌを内部モデル数と呼ぶ。パラメータPはM行Ｌ列の行列であり、P＝［p_1　p_2　…　p_L］，p_i^T＝［p_{1i}　p_{2i}　…　p_{Mi}］であり、パラメータQはＮ行Ｌ列の行列であり、Q＝［q_1　q_2　…　q_L］，q_i^T＝［q_{1i}　q_{2i}　…　q_{Ni}］である。ここでの右下添え字ｉは内部モデルの番号である。またパラメータBは、B＝diag｛b_1，b_2，…，b_L｝であり、値b_1，b_2，…，b_Lが対角要素になり他要素はゼロの正方行列である。アクチュエータ数Ｍと波長数Ｎは異なっていてもよい（Ｃ２の場合）。但しＬはmin｛Ｎ，Ｍ｝以下である。min｛ａ，ｂ｝はａとｂで小さい方の数を選ぶ演算である。上記パラメータP，Q，Bは、ＰＬＳ回帰分析により求めることができる。なおxは入力（Ｘと対応）、yは出力（Ｙと対応）であり、内部変数tをスコア、パラメータP，Qをローディングと呼ぶ。またパラメータBは、$y^TQ(Q^TQ)^{-1}$＝tB，$x^TP(P^TP)^{-1}$＝tのように、入力側と出力側に内部変数値を整合化する重みなので、内部モデルパラメータである。

[0132] 内部変数tを式（１０），（１１）より消去すれば、次式（１２），（１３）が得られる。つまり発光強度Ｙの推定、もしくはアクチュエータ値Ｘの算出に、内部変数tは特に必要無い。

[0133] [数12]

$$\mathbf{y}^T = \mathbf{x}^T\mathbf{P}\left(\mathbf{P}^T\mathbf{P}\right)^{-1}\mathbf{BQ}^T \quad \cdots (12)$$

[0134] [数13]

$$\mathbf{x}^T = \mathbf{y}^T\mathbf{Q}\left(\mathbf{Q}^T\mathbf{Q}\right)^{-1}\mathbf{B}^{-1}\mathbf{P}^T \quad \cdots (13)$$

[0135] 図１４には、上記２つの制御モデルＣの比較表を示している。行列モデルＣ１では、特長として各アクチュエータで個別発光を制御する。狙いとして、微調整も可能である。パラメータ設定については、重回帰分析による。比率制約モデルＣ２では、特長としてアクチュエータに制御量を分配する。狙いとして、化学反応指向である。パラメータ設定については、ＰＬＳ回帰分析による。

[0136] ＜処理フロー＞

図８に示す処理フローに従って、実施の形態１におけるRun-to-Run制御の処理内容を説明する（S801等は処理ステップを示す）。本制御の実施の事前に、制御に必要となる基本設定の項目を、S801～S803において設定（ユーザ設定等）する。S801では、発光強度（Ｙ）情報を設定する。即ち対象の複数（ｋ）の波長、各波長のＹ目標値（ｄ３）、及び、ＯＥＳデータから発光強度Ｙを取得するためのエッチングステップとＹ集計法などを設定する。エッチングステップとは、前述の例えば図６のStep2等であり、またＹ集計法とは、前述のように、ＯＥＳデータに基づく所定の時間単位での取得値、例えばエッチングステップ処理開始２０秒、または３０～４０秒間の平均といったＯＥＳデータから発光強度値Ｙを求める方法のことである。

[0137] 対象の波長を設定するためには、当該波長を選定できなければならない。プラズマ発光では特定の物質に応じた波長において発光することが知られているため、想定される化学反応に基づき波長を選定することができる。もしくは発光スペクトル上のピークを閾値や凹凸度合いなどにより自動的に検出して波長を決めてもよい。また発光強度Ｙに経時変動があるかどうかについてはＯＥＳデータを観察すればよい。またはエッチング処理中の波形（処理時間に対する発光強度）を観察して変化の大きい波形が化学反応に大きく寄与するとすれば、その波形の波長を選定することができる。また複数の波長における波形形状の類似性を判定し、例えば良く類似している波形は同一物質に起因した発光である等と判断することで、波長を取捨選択できる。

[0138] Ｙ目標値（ｄ３）は、例えば、標準として決定したエッチング処理条件（

レシピ等）によるエッチング処理で生じた発光強度値Ｙを参照して決めることができる。または、ＣＤ寸法やゲート・配線のアスペクト比といった、実エッチング処理したウェハの検査結果と、ＯＥＳデータとを付き合わせ、当該検査結果と発光強度Ｙとの関係モデルを構築すれば、所望の検査結果となる発光強度Ｙを定めることができる。なおＹ目標値（ｄ３）に限らず、量産においてはエッチングの繰り返し精度を管理するため発光強度Ｙの管理値などを設定してもよい。

[0139] S802では、制御に用いる複数（ｊ）のアクチュエータを指定する。エッチングは化学反応であるため、特定のガスを導入することでチャンバ４０２内の物質の量を調整でき、また圧力や温度により反応速度が調整できる。プラズマ４０４の電離状態はチャンバ４０２内の電磁的状態により決まるので、電力など関連するアクチュエータにより調整できる。

[0140] なお各アクチュエータ値（Ｘ）には、当該アクチュエータ種類に応じて、流量調整範囲といった、実質的な物理的制限（設定許容範囲）が存在する。また反応を大きくすることによる事故の危険もある。そのため、これらを考慮して、アクチュエータ値Ｘ（ｄ１）について、上限・下限といった所定の設定値を設定し、条件として本制御に適用してもよい。

[0141] S803では、制御モデルＣとそのパラメータ（Ａ）を設定する。制御モデルＣは、行列モデルＣ１、比率制約モデルＣ２から選択でき、また比率制約モデルＣ２の場合、内部モデル数（Ｌ）も設定対象となる。パラメータ（Ａ）は、行列モデルＣ１では式（７）のA、比率制約モデルＣ２では式（１２）のP，Q，Bである。パラメータ（Ａ）値は条件出しにより定めることができる。パラメータ（Ａ）については、様々に設定したアクチュエータ値Ｘと実エッチング処理中のＯＥＳ４１０でモニタした発光強度Ｙの複数のサンプルに基づいて、重回帰分析もしくはＰＬＳ回帰分析で求めればよい。なお、ロット着工毎、及びウェハエッチング処理毎の値Ｙの経時変動を数式モデルとして値Ｙの経時変動の補償に用いる場合は、そのモデル（Ｙ経時変動モデルＣｔ）のパラメータ（Ａ）も設定しておく。発光強度Ｙのばらつきを除去し、Ｙ

経時変動を平滑化するアルゴリズムを用いる場合は、当該アルゴリズム用のパラメータも設定しておく。

[0142] S804では、ロット毎の着工を開始する前に、エッチング装置４０１をメンテナンスし、装置のエッチング性能を試しエッチングにより確認する。この際、ＯＥＳ４１０により発光強度Ｙをモニタすれば、制御対象の波長の発光強度Ｙの初期値が得られる。この際、アクチュエータ値Ｘについては基準値（標準値、代表値など）を設定する。ここで得られる発光強度Ｙは、「制御無し発光強度」（ｄ４）の初期値y_{No}*[0][0]である。ここでアスタリスク“*”は実績値を意味する。

[0143] 以降、S805～S812では、ロット毎の着工（ロット単位の処理）を繰り返す。ロット着工のための構成例としては、複数ウェハを格納したロットに対応する容器（カセット、ＦＯＵＰ（Front Opening Unified Pod））をエッチング装置４０１に設置する。なお直接エッチング装置４０１にウェハを格納する構成としてもよいし、マニュアルで設置する構成としてもよいし、自動搬送装置などを利用して自動的に設置（配膳、回収）する構成としてもよい。

[0144] １ロットの着工において、S806～S811では、当該ロット内の複数の各ウェハのエッチング処理（ウェハ単位の処理）を連続的に自動的に繰り返す。今、＃ｉｉ番目のロットの着工における＃ｊｊ枚目のウェハ（W＃ｊｊ）のエッチング処理を行う場合として、計算内容を説明する。また＃ｋｋは、S804の後にエッチング処理されたウェハのカウントとする。今回のウェハエッチング処理の前に、S807で、アクチュエータ値Ｘ（Ｘ設定値（ｄ１）のためのＸ制御量（ΔＸ）（ｄ７））が算出される。制御モデルＣは、「制御無し発光強度」（ｄ４）とＹ目標値（ｄ３）との差分（ｄ５）、即ちＹ目標制御量（ｄ６）と、アクチュエータ値Ｘ（Ｘ制御量（ｄ７））との関係モデルである。アクチュエータ値Ｘ（ΔＸ）の算出のために、これからエッチング処理する時の「制御無し発光強度」y_{No}[#ii][#jj]が必要である。この値は、前回のウェハエッチング処理の制御でのS810での「制御無し発光強度」（ｄ４）の算出値としてもよいが、「制御無し発光強度」の経時変動モデル（Ｃｔ）

を用いて算出される値としてもよい。式（１４）は、経時変動モデル（Ｃｔ）の一例である。

[0145] [数14]

$$\mathbf{y}_{No}[\#ii][\#jj] = \mathbf{Drift}_{lot} \times \#kk + \mathbf{Drift}_{wafer} \times (\#jj - 1) + \mathbf{y}^{*}_{No}[0][0] \qquad \cdots (14)$$

[0146] ここで、$Drift_{lot}$は全ウェハ毎経時変動ゲイン、$Drift_{wafer}$はロット内ウェハ毎経時変動ゲインである。

[0147] [数15]

$$\mathbf{y} = \mathbf{y}^{TGT} - \mathbf{y}_{No}[\#ii][\#jj] \qquad \cdots (15)$$

[0148] 式（１５）とすれば、行列モデルＣ１ならば式（８）で、また比率制約モデルＣ２ならば式（１３）で、アクチュエータ値Ｘ（x）を算出できる。その算出値Ｘを用いて、行列モデルＣ１ならば式（７）で、また比率制約モデルＣ２ならば式（１２）で、Ｙ制御量を求め、これを、設定制御量y^{set}[#ii][#jj]とする。S810でこの設定制御量（Ｙ目標制御量（ｄ６）に対応）を利用する。

[0149] 次にS808において、エッチング装置４０１で実エッチング処理が開始される。この際はS807で算出したアクチュエータ値Ｘ（Ｘ設定値（ｄ１））に従ってアクチュエータが動作する。このエッチング処理中のプラズマ発光がＯＥＳ４１０によりモニタされ、当該ＯＥＳデータが格納される。

[0150] 次にS809において、ＯＥＳデータより、指定された対象の波長の発光強度Ｙ（Ｙ実績値（ｄ２））（所定の時間単位での取得値）が取得される。この際の波長、エッチングステップ、発光強度値Ｙの計算は、S801での設定に従えばよい。ここで得られた発光強度y^{*}[#ii][#jj]を、Ｙ実績値（ｄ２）と呼ぶ。

[0151] そしてS810において、次回のウェハエッチング処理のためのアクチュエータ値Ｘ（制御量）の算出にて必要になる、「制御無し発光強度」（ｄ４）を算出する。「制御無し発光強度の実績値」y_{No}^{*}[#ii][#jj]は、次式（１６）で

求まる。

[0152] [数16]

$$\mathbf{y}^{*}_{No}[\#ii][\#jj] = \mathbf{y}^{*}[\#ii][\#jj] - \mathbf{y}^{set}[\#ii][\#jj] \quad \cdots (16)$$

[0153] この「制御無し発光強度の実績値」を、直接に、次回のウェハエッチング処理でのアクチュエータ値Ｘの算出のための「制御無し発光強度」（ｄ４）としてもよい。またノイズ除去し経時変動を平滑化するためには、フィルタを利用すればよい。例えばＥＷＭＡ（Exponentially-Weighted Moving Average）フィルタを利用すればよい。

[0154] ロット内最後のウェハのエッチング処理では次式（１７）である。

[0155] [数17]

$$\mathbf{y}_{No}[\#ii+1][1] = \lambda \times \mathbf{y}^{*}_{No}[\#ii][\#jj] + (1-\lambda) \times \mathbf{y}_{No}[\#ii][\#jj] \quad \cdots (17)$$

[0156] それ以外の処理では次の式（１８）である。

[0157] [数18]

$$\mathbf{y}_{No}[\#ii][\#jj+1] = \lambda \times \mathbf{y}^{*}_{No}[\#ii][\#jj] + (1-\lambda) \times \mathbf{y}_{No}[\#ii][\#jj] \quad \cdots (18)$$

[0158] 式（１４）の経時変動モデル（Ｃｔ）に基づき「制御無し発光強度」（ｄ４）を算出する場合には、経時変動モデル（Ｃｔ）のパラメータ（Ａ）を更新すればよい。

[0159] ロット内最初のウェハのエッチング処理では次式（１９）である。

[0160] [数19]

$$\mathbf{Drift}_{lot} = \frac{\mathbf{y}^{*}_{No}[\#ii][\#jj] - \mathbf{y}^{*}_{No}[0][0]}{\#kk} \quad \cdots (19)$$

[0161] それ以外の処理では次の式（２０）である。

[0162]

[数20]

$$\mathbf{Drift}_{wafer} = \frac{\mathbf{y}^{*}_{No}[\#ii][\#jj] - \mathbf{Drift}_{lot} \times \#kk - \mathbf{y}^{*}_{No}[0][0]}{\#jj - 1} \quad \cdots (20)$$

[0163] 以上が、実施の形態１における、行列モデルＣ１もしくは比率制約モデルＣ２に基づくRun-to-Run制御の処理内容である。

[0164] ＜半導体装置製造方法＞

本実施の形態のエッチング装置４０１及びそのシステム４００を用いて実現される、本実施の形態の半導体装置製造方法については以下である。公知の半導体装置製造方法におけるロット及びウェハのエッチング工程を、エッチング装置４０１及びそのシステム４００で行うものである。生産ライン及びその管理システム等において、エッチング工程の前の露光工程等を終えた状態の複数のロットをエッチング装置４０１に対して設置する。例えば生産ラインから自動搬送装置などを利用して所定のスケジュールで自動的にロットをエッチング装置４０１へ配膳し、エッチング処理後のロットを生産ラインへ回収する。エッチング装置４０１では、装置コントローラ４０９の制御（各アクチュエータの動作制御等）に基づき、前述したロット単位及びウェハ単位のエッチング処理（エッチング工程）が連続的に繰り返し実行される。図４のようにチャンバ４０２内で各ウェハ４０５が連続的にエッチング処理される。上記エッチング処理の繰り返しの際、前述の計算機４１１（制御機能）により、基本設定に基づくRun-to-Run制御が自動的に行われる。これにより例えば図３のようなロット及びウェハの発光強度Ｙの経時変動に係り、補償（一定化）されるように調整される。

[0165] （実施の形態２）

図９～図１５等を用いて、実施の形態２のエッチング装置４０１等について説明する。実施の形態２では、特に実施の形態１の２つの制御モデル（Ｃ１，Ｃ２）の統合モデル（Ｃ３）を用いる形態について示す。なお実施の形態２以降の構成では、基本的に実施の形態１の構成に基づいて機能等の追加

要素が加わる。

[0166] まず図９～図１３に、行列モデルＣ１と比率制約モデルＣ２に基づくRun-to-Run制御の結果例を示す。３波長（３センサ）－３アクチュエータの制御の場合である。図９～図１１では、発光強度Ｙ（ウェハ毎の実績値）の経時変動のグラフを示し、図９は制御無し発光強度、図１０は行列モデルＣ１に基づく制御での発光強度、図１１は比率制約モデルＣ２に基づく制御での発光強度、のグラフである。波長Ａの発光強度Ｙ（目標値１．４）は実線、波長ＢのＹ（目標値１．５）は点線、波長ＣのＹ（目標値１．６）は破線で示される。また図１２，図１３では、アクチュエータ値Ｘの変動のグラフを示し、図１２は行列モデルＣ１に基づく制御でのＸ変動、図１３は比率制約モデルＣ２に基づく制御でのＸ変動、のグラフである。第１のアクチュエータ値（x_1）は実線、第２のアクチュエータ値（x_2）は点線、第３のアクチュエータ値（x_3）は破線で示される。図９～図１３で、横軸はウェハ処理順[枚]であり、縦軸は、図９～図１１では発光強度Ｙ[a.u.]、図１２，図１３ではアクチュエータ値Ｘ[a.u.]である。縦軸には目盛りに数値を付したが、これは目盛りを等間隔としたことを示すためであり、絶対値自体は実エッチング処理とは無関係である。

[0167] 図９の制御無し発光強度のグラフより、例えば波長Ａはおよそ１．７から１．２まで大きく下降する。図１０の行列モデルＣ１に基づく制御の発光強度Ｙでは、波長Ａ、波長Ｂ、波長Ｃは、白色雑音的にばらつくが、平均は目標値となっている。図１１の比率制約モデルＣ２に基づく制御の発光強度Ｙでは、波長Ａ、波長Ｂの間で少し変化する。この変化は、比率制約モデルＣ２では制御量が目標値と一致するようにアクチュエータ値Ｘを算出することはできないためである。しかしながら制御しない場合よりは、発光強度Ｙの変動は小さくなり、また目標値に近付いている。

[0168] 一方で、図１２の行列モデルＣ１に基づく制御でのＸ変動では、例えば第１のアクチュエータ値（x_1）は、－０．１から０．１までと大きく上昇した。図１３の比率制約モデルＣ２に基づく制御でのＸ変動では、値（x_1，x_{12}，x_3）

の変動範囲は、±０．３の範囲に収まっている。

[0169] 図１４に以上の関係を整理して示している。行列モデルＣ１では、アクチュエータ値Ｘは変動が大きい（ランク落ちのリスク有り）が、発光強度Ｙの制御性（発光制御性）は良好である。比率制約モデルＣ２では、アクチュエータ値Ｘは変動が小さい（設定容易）が、発光制御性はやや悪い。つまり、片方の制御モデルに基づいて制御した場合、要求されるエッチング処理結果の精度に応じて、もしくはアクチュエータへの設定の限界（許容範囲）に応じて、アクチュエータ値Ｘの設定に不具合が発生するか、もしくは発光強度Ｙが満たしておく範囲を逸脱して精度が不十分となる可能性がある。

[0170] 上記の課題を解決するために、実施の形態２では、アクチュエータ値Ｘの調整量を狭い範囲に留めながらも、発光強度Ｙの変動量を小さくする（制御目標）。行列モデルＣ１と比率制約モデルＣ２に基づくRun-to-Run制御におけるアクチュエータ値Ｘと発光強度Ｙの変動の特徴を鑑みて、２つの制御モデル（Ｃ１，Ｃ２）を統合する。この行列＋比率制約統合制御モデルを統合モデルＣ３とする。

[0171] ＜統合モデル＞

図１５を用いて、上記制御モデルの統合に関する概要を説明する。図１５（ａ）は、モデルの統合によるアクチュエータ値Ｘの経時変動の効果を示す。（ａ１）に示す、行列モデルＣ１に基づくRun-to-Run制御でのアクチュエータ値Ｘの経時変動グラフにおいて、ａで示す値Ｘの調整範囲は、大きいため設定不可能である。（ａ２）に示す、比率制約モデルＣ２に基づくRun-to-Run制御でのアクチュエータ値Ｘの経時変動グラフにおいて、値Ｘの調整範囲は小さい。アクチュエータ値Ｘの算出時に、発光強度Ｙの制御量を分配してそれぞれのモデルに基づきアクチュエータ値Ｘを算出することにより、調整量を分配できる。よって、（ａ３）に示す、統合モデルＣ３に基づくRun-to-Run制御でのアクチュエータ値Ｘの経時変動グラフにおいては、ｃで示す値Ｘの調整範囲は小さくなり、アクチュエータ値Ｘをエッチング装置４０１（アクチュエータ）に設定可能となる。

[0172] また図１５（ｂ）は、モデル統合による発光強度Ｙの経時変動の効果を示す。（ｂ１）に示す、行列モデルＣ１に基づくRun-to-Run制御での発光強度Ｙの経時変動グラフにおいて、値Ｙは変動が小さい。（ｂ２）に示す、比率制約モデルＣ２に基づくRun-to-Run制御での発光強度Ｙの経時変動グラフにおいて、ｂで示すように値Ｙは変動大である。アクチュエータ値Ｘの算出で発光強度Ｙの制御量をそれぞれのモデルに分配しているので、行列モデルＣ１に制御量を割り当てた分だけ発光強度Ｙの変動は小さくなる。（ｂ３）に示す、統合モデルＣ３に基づくRun-to-Run制御での発光強度Ｙの経時変動グラフにおいては、ｃで示すように値Ｙは変動小となり、即ちエッチング処理結果は精度向上する。

[0173] 統合モデルＣ３を次式（２１），（２２）で定義する。

[0174] [数21]

$$\begin{aligned}\mathbf{y}^T &= (D_{MAT} + D_{RC})\mathbf{y}^T \\ &= D_{MAT}\mathbf{y}^T + D_{RC}\mathbf{y}^T \\ &= \mathbf{y}_{MAT}^T + \mathbf{y}_{RC}^T \\ &= \mathbf{x}^{MAT^T}\mathbf{A}^T + \mathbf{x}^{RC^T}\mathbf{P}\left(\mathbf{P}^T\mathbf{P}\right)^{-1}\mathbf{B}\mathbf{Q}^T\end{aligned} \quad \cdots (21)$$

[0175] [数22]

$$D_{MAT} + D_{RC} = 1 \quad \cdots (22)$$

[0176] ここで、Dはスカラの分配係数である。添え字のMATは行列制御モデル成分（Matrix Control Model Component）、RCは比率制約制御モデル成分（Ratio-Constraint Control Model Component）を意味する。式（２１）の２，３，４段目の右辺の１項目，２項目はそれぞれ等しい。式（２２）は分配の制約条件である。

[0177] 分配係数をベクトルとすることもできる。その場合、式（２１）の１，２段目、式（２２）は、次のような表現（式（２３），（２４））に変わる。

[0178]

[数23]

$$\mathbf{y}^T = \mathrm{diag}\left((\mathbf{D}_{MAT} + \mathbf{D}_{RC})\mathbf{y}^T\right)^T = \mathrm{diag}\left(\mathbf{D}_{MAT}\mathbf{y}^T\right)^T + \mathrm{diag}\left(\mathbf{D}_{RC}\mathbf{y}^T\right)^T \quad \cdots (23)$$

[0179] [数24]

$$\mathbf{D}_{MAT} + \mathbf{D}_{RC} = \mathbf{1} \quad \cdots (24)$$

[0180] ここでDは発光波長数Ｎを要素数とする分配係数ベクトルである。発光強度Ｙに対して重みとなるベクトルであるので、縦ベクトルDと横ベクトルy^Tの積である行列の対角成分を取れば表現できる。ここでdiag(M)は正方行列Mの対角要素を縦ベクトルにする演算であり、スカラの並び、もしくはベクトルを引数とした場合とは演算の内容は異なる。

[0181] ＜統合モデルに基づく制御＞

統合モデルＣ３に基づくRun-to-Run制御の処理内容を説明する。処理の流れは図８のフローと同様である。異なる処理内容はS803とS807である。

[0182] S803の制御モデルＣ（Ｃ３）とそのパラメータ（Ａ）の指定の処理では、他の設定項目に加えて、上記の分配係数D_{MAT}，D_{RC}もしくは分配係数ベクトルD_{MAT}，D_{RC}を設定する。

[0183] S807のアクチュエータ値Ｘの算出の処理では、値Ｘの算出方法が異なる。値Ｘは、Ｙ目標値（ｄ３）と制御無し発光強度（ｄ４）との差分（ｄ５）をＹ目標制御量（ｄ６）として、制御モデルＣ（Ｃ３）に基づき値Ｘを算出する。まずＹ目標制御量yを行列モデルＣ１による第１の制御量と、比率制約モデルＣ２による第２の制御量とに分配する。即ち次式（２５），（２６）である。

[0184] [数25]

$$\mathbf{y}_{MAT}^T = D_{MAT}\mathbf{y}^T \quad \cdots (25)$$

[0185] [数26]

$$\mathbf{y}_{RC}^{T} = D_{RC}\mathbf{y}^{T} \quad \cdots (26)$$

[0186] そして各モデル（Ｃ１，Ｃ２）で別々にアクチュエータ値Ｘ（第１の値Ｘ，第２の値Ｘ）を算出して、加えることで、アクチュエータ値Ｘの算出値とする。即ち次式（２７），（２８），（２９）である。

[0187] [数27]

$$\mathbf{x}^{MAT^{T}} = \mathbf{y}_{MAT}^{T}\mathbf{A}^{T^{-1}} \quad \cdots (27)$$

[0188] [数28]

$$\mathbf{x}^{RC^{T}} = \mathbf{y}_{RC}^{T}\mathbf{Q}\left(\mathbf{Q}^{T}\mathbf{Q}\right)^{1}\mathbf{B}^{-1}\mathbf{P}^{T} \quad \cdots (28)$$

[0189] [数29]

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}^{MAT} + \mathbf{x}^{RC} \quad \cdots (29)$$

[0190] なお分配係数ベクトルを用いた計算の場合では、式（２５）を$y_{MAT}{}^{T}$＝diag($D_{MAT}y^{T}$)とし、式（２６）を$y_{RC}{}^{T}$＝diag($D_{RC}y^{T}$)とすればよい。設定制御量y^{set}[#ii][#jj]は、式（２１）もしくは式（２３）により算出する。以上が統合モデルＣ３に基づくRun-to-Run制御の処理内容である。

[0191] ＜ランク落ち＞

行列モデルＣ１については他に懸念事項がある。図８に示したように、行列モデルＣ１に対するアクチュエータ値Ｘの算出には、ランク落ちによる計算不可能のリスクがある。条件出しでパラメータ（Ａ）を用いれば、Ｙ実績値にはばらつきが入るため、行列モデルＣ１のパラメータ（Ａ）はランク落ちしないように計算できてしまうが、よってアクチュエータ値Ｘの算出値は異常な値となってしまう。そこで、ランク落ちする条件は、行列式|A|がゼロ（０）となる場合であるので、当該行列式が０に近いかどうかにより制御不

可能かどうかを判定する。即ち次式（３０）である。

[0192] [数30]

$$\mathrm{abs}|\mathbf{A}|<\Delta_{\mathrm{det}} \quad \cdots (30)$$

[0193] ここでΔ_{det}は制御不可能判定上限値である。またabsは絶対値をとる演算である。

[0194] もしくは、式（８）によりアクチュエータ値Ｘを計算して、そのＸ算出値により制御不可能かどうかを判定してもよい。今、条件出しで次式（３１）の行列モデルＣ１のパラメータ（Ａ）が得られたとする。

[0195] [数31]

$$A=\begin{bmatrix}1.000 & 2.000\\ 1.001 & 2.001\end{bmatrix} \quad \cdots (31)$$

[0196] ここで$(y^{TGT})^{T}$＝［1　2］とすると、式（８）より、アクチュエータ値Ｘは、x^{T}＝［1999　-999］となってしまう。このように得られた行列モデルＣ１のパラメータ（Ａ）に発光強度Ｙの制御量を設定してアクチュエータ値Ｘを算出することで、行列モデルＣ１を利用して制御を行ってよいかどうか判定できる。例えば、標準的なアクチュエータ値Ｘが－１０以上＋１０以下（範囲）であるなら、その３倍の－３０以下＋３０以上（範囲）で制御不可能と判定すればよい。

[0197] もしくは、アクチュエータ値Ｘが極端に大きくなるときには、逆行列の要素の絶対値が大きくなっていることになるので、当該逆行列の値で判定してもよい。また、行列を基本変形により、パラメータAを任意の１行と１列が全て１となるように変形して、他の行、もしくは列で全て値が１となるかどうかを判定すれば、ランク落ちを引き起こす波長、もしくはアクチュエータを見出すことができる。

[0198] ＜モデル変換方法＞

行列モデルＣ１のパラメータAがランク落ち、もしくは行列式が０に近いと

しても、比率制約モデルＣ２のパラメータに変換することができれば、Run-to-Run制御に利用できる。これは条件出しにおいてＰＬＳ回帰分析が利用できない場合には有効である。波長数（Ｎ）、アクチュエータ数（Ｍ）、内部モデル数（Ｌ）の３通りの組合せについて変換方法の例を示す。

[0199] 変換方法の考え方は、$A^T=P_aQ^T$と分解して、$P(P^TP)^{-1}BQ^T$と一致させることである。Bは単位行列とする。P_aをA^Tの線形独立な列よりなる行列と設定して、$A^T=P_aQ^T$よりQ^Tを解く。$P=P_aL$とおけば$L=((P_a^TP_a)^{-1})^T$が得られるので、$P=P_a((P_a^TP_a)^{-1})^T$となる。A^Tの行に線形従属が有る場合には、$A^T=PQ_a^T$のようにQ_a^Tを設定してPを解いて行けばよい。

[0200] 第１の例、（Ｎ＝２、Ｍ＝２、Ｌ＝１）の場合について示す。行列モデルＣ１のパラメータAは次式（３２）であるものとして、転置の１列目の値と１列目に対する２列目の比率で行列をベクトルに分ける。

[0201] [数32]

$$\mathbf{A}^T=\begin{bmatrix}a & \alpha a\\ b & \alpha b\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}a\\ b\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1 & \alpha\end{bmatrix} \quad \cdots (32)$$

[0202] 比率制約モデルＣ２のパラメータ（Ａ）であるB，Q，Pは、次式（３３），（３４），（３５）のように設定する。

[0203] [数33]

$$\mathbf{B}=[1] \quad \cdots (33)$$

[0204] [数34]

$$\mathbf{Q}^T=\begin{bmatrix}1 & \alpha\end{bmatrix} \quad \cdots (34)$$

[0205] [数35]

$$\mathbf{P}^T=\begin{bmatrix}\dfrac{a}{a^2+b^2} & \dfrac{b}{a^2+b^2}\end{bmatrix} \quad \cdots (35)$$

[0206] 第２の例、（Ｎ＝３、Ｍ＝３、Ｌ＝１）の場合について示す。行列モデルＣ１のパラメータAを次式（３６）のようにベクトルの積に変形する。

[0207] [数36]

$$\mathbf{A}^T = \begin{bmatrix} a & \alpha a & \chi a \\ b & \alpha b & \chi b \\ c & \alpha c & \chi c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \chi \end{bmatrix} \quad \cdots (36)$$

[0208] 比率制約モデルＣ２のパラメータ（Ａ）であるB，Q，Pは、次式（３７），（３８），（３９）のように設定する。

[0209] [数37]

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 \end{bmatrix} \quad \cdots (37)$$

[0210] [数38]

$$\mathbf{Q}^T = \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \chi \end{bmatrix} \quad \cdots (38)$$

[0211] [数39]

$$\mathbf{P}^T = \begin{bmatrix} \frac{a}{a^2+b^2+c^2} & \frac{b}{a^2+b^2+c^2} & \frac{c}{a^2+b^2+c^2} \end{bmatrix} \quad \cdots (39)$$

[0212] 第３の例、（Ｎ＝３、Ｍ＝３、Ｌ＝２）の場合について示す。行列モデルＣ１のパラメータAを次式（４０）のような非正方行列の積で表現する。右辺左側の行列は行列A^Tの線形独立な列を残して３行２列となる。右側の行列は仮に置いた。

[0213]

[数40]

$$\mathbf{A}^T = \begin{bmatrix} a & \alpha a & g \\ b & \alpha b & h \\ c & \alpha c & i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & g \\ b & h \\ c & i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} o & p & q \\ s & t & u \end{bmatrix} = \mathbf{P}_a \mathbf{Q}^T \quad \cdots (40)$$

[0214] 式（４０）を解いてQ^Tは次式（４１）となる。

[0215] [数41]

$$Q^T = \begin{bmatrix} 1 & \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \cdots (41)$$

[0216] もちろん$Q^T = (P_a{}^T P_a)^{-1} P_a{}^T A^T$として数値的に解いてもよい。PはP＝$P_a((P_a{}^T P_a)^{-1})^T$で求める。

[0217] なおＰＬＳ回帰分析を利用して、行列モデルＣ１から比率制約モデルＣ２のパラメータ（Ａ）を求めることもできる。まず、行列モデルＣ１の入力を適宜設定して出力を算出し、多数のサンプルを作成する。そのサンプルを用いてＰＬＳ回帰分析すれば、比率制約モデルＣ２のパラメータであるB，Q，Pを求めることができる。新たな条件出し作業は不要である。

[0218] 以上のように、実施の形態２（統合モデルＣ３を用いた制御）によれば、好適なエッチング制御が実現できる。

[0219] （実施の形態３）

図１６～図２０等を用いて、実施の形態３のエッチング装置４０１等について説明する。実施の形態３では、特に、行列モデルＣ１及び比率制約モデルＣ２とそれらのパラメータ（Ａ）を定めるための、条件出しの処理方法について示す。実施の形態３における条件出し方法自体は、公知の実験計画法（ＤＯＥ；Design of Experiments）に基づいて構成される。即ち各アクチュ

エータ値Ｘを何段階かの水準に設定し、各値Ｘの水準を組合せてエッチング処理することにより、アクチュエータ値Ｘの調整量（ΔＸ）に対する発光強度Ｙの変動量（ΔＹ）を求める方法である。簡単に言えば、ロット内の最初の数枚を処理し、以降のウェハを実験計画法による水準割付に応じたＸ調整量でエッチング処理し、ＯＥＳで値Ｙをモニタする。最初の数枚の結果で値Ｙの経時変動モデル（Ｃｔ）のパラメータ（Ａ）を推定し、以降のウェハ結果で値Ｘの調整量に応じた値Ｙの変動量（サンプル）を求め、これを用いて制御モデルのパラメータ（Ａ）を算出するものである。

[0220] 実施の形態３での特長は、上記２つのモデル（Ｃ１，Ｃ２）を求めるための条件出しであること、エッチング処理における経時変動を補償してＹ実績値、即ちサンプル値を決めること、量産での条件出し工数低減を図るためにエッチング処理回数・ウェハ数を少なくすること、等である。

[0221] ＜条件出しー処理フローー＞

図１６のフローに従って、条件出し処理の内容を説明する。なお図１６で、太枠の部分（S1201等）は、マニュアル（ユーザ）での設定処理であり、他の部分は、エッチング装置４０１またはその計算機４１１等による処理である。前述の図５の構成では、ＯＥＳデータ解析システム４３３に条件出し機能５２１が実装される形態としたが、ここでは、その機能（５２１）はエッチング装置４０１に実装されて計算機４１１により計算処理される形態として説明する。なお、エッチング処理はエッチング装置４０１で実施し、設定や計算処理などはＯＥＳデータ解析システム４３３で実行する形態としてもよい。

[0222] まずS1201において、ロット内経時変動モデル（Ｃｔ１とする）を設定し、アクチュエータ代表値（Ｘｒとする）によるエッチング処理数（ウェハ枚数）（ｗ２とする）を設定する。ロット内経時変動モデル（Ｃｔ１）とは、ロット内の複数ウェハについてウェハ１枚ずつ連続的にエッチング処理を繰り返すことにより発生する発光強度Ｙの変動の表現である。これは式（１４）において右辺１項目を排除した式が一例である。またアクチュエータ代表値

（Ｘｒ）とは、調整量（制御量）（ｄ７）を加えていないアクチュエータ値Ｘであり、即ち「制御無しのアクチュエータ（値）設定」を意味する。

[0223] 図１７を用いて、条件出しにおけるロット内経時変動モデル（Ｃｔ１）の必要性を説明する。グラフの横軸は条件出しでのウェハ処理順[枚]、縦軸は発光強度Ｙである。黒丸プロットはアクチュエータ代表値（Ｘｒ）でのエッチング処理における発光強度Ｙであり、白丸プロットはアクチュエータ水準組合せでのエッチング処理における発光強度Ｙである。発光強度Ｙはエッチング処理順に一定比率で上昇していくとする。この場合にはアクチュエータ水準組合せによる制御量（発光強度Ｙの変化量ΔＹ）とエッチング処理繰り返しによる発光強度Ｙの変化量ΔＹを定量化しなければならない。そのためには、まずアクチュエータ代表値（Ｘｒ）でのエッチング処理における発光強度Ｙ（黒丸）により経時変動の傾向であるａで示す推定線を求める。そしてアクチュエータ水準組合せでのエッチング処理における発光強度Ｙ（白丸）と推定線（ａ）との差をとれば、それが水準組合せによる発光強度Ｙの変化量ΔＹ、即ち制御量である。例えば、ｂで示す水準組合せでの発光強度Ｙと推定線（ａ）との差が、ｃで示す制御量である。推定線（ａ）は、ロット内経時変動モデル（Ｃｔ１）を直線と設定した上で、アクチュエータ代表値（Ｘｒ）でのＹ実績値によりパラメータ（Ａ）を決定して得た、制御無し発光強度のエッチング処理毎の変化を意味する線となる。このようにエッチング処理繰り返しによる発光強度Ｙの変動を補償してアクチュエータ値Ｘの調整による制御量を得るために、ロット内経時変動モデル（Ｃｔ１）とアクチュエータ代表値（Ｘｒ）によるエッチング処理が必要となる。

[0224] なお、ロット内経時変動モデル（Ｃｔ１）は、直線でなくとも、２次式などの非線形の式であってもよい。またアクチュエータ代表値（Ｘｒ）によるエッチング処理数は、例えば重回帰分析を用いてパラメータ（Ａ）を決める場合には、当該パラメータ数以上でなければならない。アクチュエータ水準組合せのうち１つがアクチュエータ代表値（Ｘｒ）であるなら、その処理数は１つ減らしてもよい。ロット内で経時変動が無いならば、アクチュエータ

代表値（Ｘｒ）によるエッチング処理は１回でよく、その発光強度Ｙと各水準組合せでの発光強度Ｙとの差が制御量である。

[0225] 次にS1202で、制御に用いるアクチュエータを指定し、水準数と各水準での値Ｘを設定する。このアクチュエータは、調整することで発光強度Ｙの変化が見込まれるものを選んでおく。水準数は、値の設定が２段階ならば２水準、３段階ならば３水準などであり、各水準でのアクチュエータ値Ｘは、物理的に許容される範囲、もしくは所定のエッチング性能を得るために許容される範囲、などに基づき設定すればよい。例えば当該アクチュエータ値Ｘの設定許容範囲が－１５～＋１５であり、３水準を設定する場合、第１水準のアクチュエータ値を－１０、第２水準の値を０、第３水準の値を＋１０とすればよい。

[0226] 次にS1203で、発光強度Ｙに関する情報を設定する。即ち、対象の波長、エッチングステップ、Ｙ集計法などを設定する。これは図８のS801と同様であるが、条件出しでは、アクチュエータ値Ｘの調整量に対する発光強度Ｙの変化量ΔＹを求めることが目的なので、Ｙ目標値（ｄ３）は特に設定不要である。

[0227] 上記の設定は、計算機４１１に接続された画面４１２を介してユーザが設定を実施することを想定しているが、ファイルやＤＢ４３２に設定内容を格納しておき計算機４１１が読み取る形態などとしてもよい。

[0228] S1204では、上記設定された情報をもとに、エッチング装置４０１では、水準組合せを生成して、実験対象となる水準組合せの候補を、条件出しを実施しているユーザに提示する。この提示は例えば画面４１２に情報を表示する形とすればよい。

[0229] 図１８を用いて、水準組合せについて説明する。図１８は、３アクチュエータに値Ｘを３水準設定したときの、全アクチュエータ水準組合せを格子として表現した図である。横方向に第１のアクチュエータ値x_1の水準設定、奥行き方向に第２のアクチュエータ値x_2の水準設定、高さ方向に第３のアクチュエータ値x_3の水準設定を表現し、水準組合せ数は、３アクチュエータの３水準乗

、即ち３^3＝２７となる。このような水準組合せの設定方法（配置方法）を直交配置と呼び、水準組合せ数は、一般に、アクチュエータ数をＭ、水準数をｑとして、Ｍのｑ乗（Ｍ^q）である。図１８の格子（節点）に付された数字記号（111，211，…，122，222，…，233，333）は、水準組合せを表現しており、各々、１つ目の数字は第１のアクチュエータ値x_1の水準、２つ目の数字は第２のアクチュエータ値x_2、３つ目の数字は第３のアクチュエータ値x_3の水準を意味する。

[0230] ここで実際に条件出しにおいてエッチング処理を行うサンプル数については注意を要する。行列モデルＣ１でのパラメータ（Ａ）の算出は、３アクチュエータに対する３波長の発光強度Ｙの変化の関係に基づき、それぞれ波長個別にパラメータ（Ａ）を求めることである。よって最低３サンプルでパラメータ（Ａ）を算出可能であり、発光強度Ｙのばらつき（標準偏差）を算出するためには４サンプルあればよい。また比率制約モデルＣ２について内部モデル数（Ｌ）が１ならば、１サンプルでＮＩＰＡＬＳ（Non linear Iterative PArtial Least Squares；非線形反復部分最小２乗法）によりパラメータ（Ａ）を算出可能である。

[0231] 図１８では、９サンプルを得るための９つのアクチュエータ水準組合せを実線丸囲み（311等）で示し、また４サンプルを得るための４つのアクチュエータ水準組合せを破線丸囲み（122等）で示している。各アクチュエータ値Ｘは全ての水準を網羅するように、即ち３水準であるならいずれのアクチュエータにも水準１，２，３が設定されるようにすることが望ましい。ユーザへの提示は、２７水準組合せ、９水準組合せ、４水準組合せを提示した上で、更に任意の水準組合せを選定可能なようにする。

[0232] S1205において、ユーザにより、水準組合せを選定し、またそのウェハ数（ｗ３とする）を設定する。水準組合せについては、例えば利用できるウェハ数、特に詳細に調べたいアクチュエータなどを鑑みて設定する。またアクチュエータ値Ｘの水準間の設定に応じた発光強度Ｙの変化よりも、同一アクチュエータ値Ｘにおける発光強度Ｙのばらつきを評価したい場合には、例えば

各水準組合せでのウェハ数を２枚、３枚とすればよい。

[0233] そして上記に基づき、S1211～S1213において、前記アクチュエータ代表値（Ｘｒ）での処理数（ｗ２）と水準組合せ数での実エッチング処理が繰り返される。S1212の実エッチング処理中には、ＯＥＳ４１０により発光強度Ｙをモニタする。

[0234] 上記実エッチング処理の繰り返しの終了後、S1221において、ＯＥＳデータより、指定された波長の発光強度Ｙ（Ｙ実績値）を取得する。この際、前記S1203で指定したエッチングステップ、Ｙ集計法などに従って、発光強度Ｙを取得する。

[0235] S1222において、ロット内経時変動モデル（Ｃｔ１）のパラメータ（Ａ）を求め、水準組合せのエッチング処理時における制御無し発光強度を推定する。例えば、ロット内経時変動モデル（Ｃｔ１）を次式（４２）とする。

[0236] [数42]

$$\mathbf{y}_{No}[\#jj] = \mathbf{Drift} \times (\#jj - 1) + \mathbf{Shift} \quad \cdots (42)$$

[0237] #jjは、S1211～S1213の繰り返しのウェハ１枚目からの処理数である。係数はDriftとShiftである。今２枚のウェハをアクチュエータ代表値（Ｘｒ）によりエッチング処理し、そのときの発光強度Ｙ（サンプル）を$y_{Sample}^{*}[1]$，$y_{Sample}^{*}[2]$とするならば、DriftとShiftは次式（４３，４４）のように求まる。

[0238] [数43]

$$\mathbf{Shift} = \mathbf{y}_{Sample}^{*}[1] \quad \cdots (43)$$

[0239] [数44]

$$\mathbf{Drift} = \mathbf{y}_{Sample}^{*}[2] - \mathbf{Shift} \quad \cdots (44)$$

[0240] これにより、式（４２）に基づき、水準組合せでの制御無し発光強度を算出できる。なお、ロット内経時変動モデル（Ｃｔ１）は２次以上の高次であ

ってもよい。またロット内経時変動モデル（Ｃｔ１）のパラメータ（Ａ）の数よりも多くアクチュエータ代表値（Ｘｒ）によりエッチング処理し、当該パラメータ（Ａ）を重回帰分析により推定してもよい。

[0241] S1223において、発光強度Ｙから制御無し発光強度を差し引き、アクチュエータ水準組合せに対する発光強度Ｙの変動量ΔＹの実績値、即ち制御量を算出する。アクチュエータ代表値（Ｘｒ）によるエッチング処理数（ｗ２）をN_{No}とすれば、変動量ΔＹの実績値は、次式（４５）で求まる。

[0242] [数45]

$$\mathbf{y}^{*}_{DOE}[\#comb] = \mathbf{y}^{*}_{Sample}[\#comb + N_{No}] - \mathbf{y}_{No}[\#comb + N_{No}] \qquad \cdots (45)$$

[0243] ここで添え字のDOEは、条件出しにより得られた変動量ΔＹの実績値であることを明示するためのものである。#combは水準組合せの番号であり、１～N_{comb}の数である。N_{comb}はアクチュエータ水準組合せ数である。

[0244] そしてS1224において、重回帰分析またはＰＬＳ回帰分析により、条件出し実績サンプル（x_{DOE}^{*}[#comb]，y_{DOE}^{*}[#comb]）を用いて、各制御モデル（Ｃ１，Ｃ２）のパラメータ（Ａ）を推定する。行列モデルＣ１のパラメータであるAは次式（４６），（４７），（４８）で求まる。

[0245] [数46]

$$\mathbf{A}^{T} = \left(\mathbf{X}^{*}_{DOE}{}^{T}\mathbf{X}^{*}_{DOE}\right)\mathbf{X}^{*}_{DOE}{}^{T}\mathbf{Y}^{*}_{DOE} \qquad \cdots (46)$$

[0246] [数47]

$$\mathbf{Y}^{*}_{DOE} = \begin{bmatrix} \mathbf{y}^{*}_{DOE}[0]^{T} \\ \mathbf{y}^{*}_{DOE}[1]^{T} \\ \mathrm{M} \\ \mathbf{y}^{*}_{DOE}[N_{comb}]^{T} \end{bmatrix} \qquad \cdots (47)$$

[0247]

[数48]

$$\mathbf{X}^{*}_{DOE}=\begin{bmatrix}\mathbf{x}^{*}_{DOE}[0]^{T}\\ \mathbf{x}^{*}_{DOE}[1]^{T}\\ \mathrm{M}\\ \mathbf{x}^{*}_{DOE}[N_{comb}]^{T}\end{bmatrix} \quad \cdots (48)$$

[0248] 比率制約モデルＣ２のパラメータであるP，Q，Bは，次式（４９）のようにＮＩＰＡＬＳで求まる。

[0249] [数49]

$$[\mathbf{P},\mathbf{Q},\mathbf{B}]=\mathrm{NIPALS}\left(\mathbf{X}^{*}_{DOE},\mathbf{Y}^{*}_{DOE},L\right) \quad \cdots (49)$$

[0250] ここでNIPALS(X,Y,L)は、P，Q，Bを返す関数であり、引数は入力サンプル（Ｘ）、出力サンプル（Ｙ）、内部モデル数（Ｌ）となる。内部モデル数であるＬは、１（内部モデル最小数）から、アクチュエータ数Ｍと波長数Ｎのうち小さい数（min｛Ｍ，Ｎ｝）、までの範囲（１≦Ｌ≦min｛Ｍ，Ｎ｝）で設定可能である。

[0251] そしてS1225において、アクチュエータ水準組合せを用いて発光強度Ｙを推定し、実績値との誤差を集計する。この誤差eは、次式（５０）のように、発光強度Ｙの実績値と推定値の差で求まる。

[0252] [数50]

$$\mathbf{e}_{DOE}[\#comb]=\mathbf{y}^{*}_{DOE}[\#comb]-\hat{\mathbf{y}}_{DOE}[\#comb] \quad \cdots (50)$$

[0253] ここでハット“^”は推定値を意味する。行列モデルＣ１に基づく推定は式（５１）、比率制約モデルＣ２に基づく推定は式（５２）で算出できる。

[0254] [数51]

$$\hat{\mathbf{y}}_{DOE}[\#comb]^{T}=\mathbf{x}^{*}_{DOE}[\#comb]^{T}\mathbf{A}^{T} \quad \cdots (51)$$

[0255] [数52]

$$\hat{\mathbf{y}}_{DOE}[\#comb]^T = \mathbf{x}^*_{DOE}[\#comb]^T \mathbf{P}\left(\mathbf{P}^T\mathbf{P}\right)^{-1}\mathbf{B}\mathbf{Q}^T \quad \cdots (52)$$

[0256] 上記の誤差集計では、平均値、標準偏差を算出する。平均が大きな値になれば、それだけモデルによる推定結果は実績値よりもずれが大きく、また標準偏差が大きければ、それだけモデルによる推定の誤差がばらつくことを意味する。いずれもゼロに近いほどモデルの推定精度は高い。

[0257] 最後にS1226において、各制御モデル（Ｃ１，Ｃ２）のパラメータ（Ａ）と誤差集計結果を提示する。これによりユーザは、いずれの制御モデルが発光強度Ｙを良く制御できるか等について判断できる。

[0258] 上記ＰＬＳ回帰分析の式（４９）のＮＩＰＡＬＳについてであるが、アクチュエータ数Ｍと波長数Ｎが等しく、更に内部モデル数Ｌも等しい場合、制御モデルのパラメータ（Ａ）の推定結果は、式（４６）の重回帰分析の結果と一致する。即ち、$A^T=P(P^TP)^{-1}BQ^T$であり、また$(A^T)^{-1}=Q(Q^TQ)^{-1}B^{-1}P^T$である。つまり、重回帰分析はＰＬＳ回帰分析により一般化できる。つまり、パラメータ（Ａ）を求めるには、ＮＩＰＡＬＳのみ実装されていればよい。

[0259] また、発光強度Ｙを予測することによる制御モデル(Ｃ１，Ｃ２)の比較評価も可能である。全部のアクチュエータ水準組合せの条件出し実績サンプル（サンプル数N_{comb}）を、今、モデルパラメータ算出用のサンプル（サンプル数N_{reg}）と予測用サンプル（サンプル数N_{pred}）とに分割する。$N_{comb}=N_{reg}+N_{pred}$である。パラメータ算出用のサンプルを用いて、式（４９）に基づきパラメータ（Ａ）を算出する。算出したパラメータ（Ａ）を「真のモデルパラメータ」とし、予測用サンプルを用いて、式（５２）により発光強度Ｙの予測値を算出し、式（５０）に基づき予測誤差を算出する。予測誤差を集計することで、各制御モデル（Ｃ１，Ｃ２）を比較評価できる。なお、この時、式（４７），（４８）のN_{comb}はN_{reg}とし、また式（５０），（５２）の#combを予測用サンプルのインデクス、推定値を予測値と解釈する。以上が条件出し方法に従

った処理内容の説明である。

[0260] ＜条件出し－工数低減＞

半導体ウェハ生産工場（ファブ）における量産では、生産スループットが重要であり、製品ウェハそのものの生産ではない条件出しのような準備作業の工数は少ないほどよい。つまり前記アクチュエータ代表値（Ｘｒ）によるエッチング処理数（ｗ２）、及びアクチュエータ水準組合せ数は少ないほどよい。そこで条件出しにおいて、これらの最小数の提示は有用である。

[0261] ロット内経時変動は無いと仮定すれば、アクチュエータ代表値（Ｘｒ）によるエッチング処理数（ｗ２）は１、もしアクチュエータ水準組合せ中にアクチュエータ代表値（Ｘｒ）が有るならば０である。ロット内経時変動が有るとすれば、その変動は線形で近似できるとして、処理数（ｗ２）は２、もしアクチュエータ水準組合せ中にアクチュエータ代表値（Ｘｒ）が有るならば１となる。そこでアクチュエータ代表値（Ｘｒ）による処理数（ｗ２）は、０，１，２のいずれかで決まる。

[0262] ＰＬＳ回帰分析による制御モデルのパラメータの計算のためには、サンプル数は内部モデル数（Ｌ）以上必要である。内部モデル数（Ｌ）は、前述のように、１（内部モデル最小数）からmin｛Ｍ，Ｎ｝（内部モデル最大数）の範囲でとることができる（当該範囲内で任意）。本制御は、複数波長の発光強度Ｙをアクチュエータ値Ｘにより制御するものであるが、発光は物質に依存して多数の波長において発生するため、一般的に制御においては波長数（Ｎ）以下にアクチュエータ数（Ｍ）を設定する（Ｎ≧Ｍ）。もしくは、例えば１つの波長の発光強度Ｙを２つのアクチュエータで制御する場合でも、それぞれのアクチュエータ値Ｘにより発光強度Ｙがどのように変化するかを評価しなければならない。よって制御モデルＣのパラメータ（Ａ）を決めるためのサンプル数、即ちアクチュエータ水準組合せ数は、上記の内部モデル最小数（１）以上でアクチュエータ数（Ｍ）以下において定まる（１≦サンプル数≦Ｍ）。但し、ばらつき評価のために推定誤差、もしくは予測誤差を算出する必要がある。そこでアクチュエータ水準組合せ数には更にウェハ１枚

分を加える。

[0263] つまり条件出しに必要となるウェハの最小枚数は、制御に用いるアクチュエータ数（Ｍ）以下の数に、ばらつき評価用の１を加え、経時変動補償のための０もしくは１もしくは２を加えた数となる。

[0264] 条件出しを行った結果、アクチュエータのいずれの設定においても全ての波長における発光強度Ｙが変化しない場合、また全てのアクチュエータの設定においてもある波長では発光強度Ｙが変化しない場合、が起こり得る。図１９によりこれらの場合を例示する。

[0265] 図１９において、（ａ）アクチュエータ無効、（ｂ）波長無効、の例を示している。それぞれ２つのアクチュエータ（＃１，＃２）を行方向、２つの波長（Ａ，Ｂ）を列方向にとって、アクチュエータ値Ｘを横軸、発光強度Ｙを縦軸にとったグラフを配置している。グラフ中のプロットはアクチュエータの水準毎の発光強度Ｙである。

[0266] 図１９（ａ）のアクチュエータ無効では、第２のアクチュエータ＃２を大きい方向に調整したときには波長Ａで発光強度Ｙはｃで示すように上昇、波長Ｂで発光強度Ｙはｄで示すように下降する。よって第２のアクチュエータ＃２で発光強度Ｙを制御可能である。一方、第１のアクチュエータ＃１では、ａで示す波長Ａでの発光強度Ｙ、ｂで示す波長Ｂでの発光強度Ｙのように、明確な上昇・下降といった傾向が無い。行列モデルＣ１、比率制約モデルＣ２とも、１つのアクチュエータに対する１つの波長の発光強度Ｙの関係は比例関係であるため、第１のアクチュエータ＃１ではこれらの波長の発光強度Ｙを制御できない。

[0267] 図１９（ｂ）の波長無効では、波長Ａにおいて第１のアクチュエータ＃１を調整すれば、ａで示すように発光強度Ｙは下降、第２のアクチュエータ＃２を調整すれば、ｃで示すように発光強度Ｙは上昇するので、制御可能である。また波長Ｂにおいては第１のアクチュエータ＃１、第２のアクチュエータ＃２の調整で、それぞれｂで示す発光強度Ｙ、ｄで示す発光強度Ｙのようになり、制御不可能である。

[0268] これらのような場合には、該当のアクチュエータを制御に使用しない、もしくは該当の波長を制御対象から外す。この判断を定量的に行うためには、アクチュエータ値Ｘに対する発光強度Ｙの変化量と、条件出しでのＹ実績値のばらつきの大きさを比較すればよい。これについて図２０により説明する。

[0269] 図２０には、（ａ）変動無し、（ｂ）変動有りについて、アクチュエータ値Ｘを横軸、発光強度Ｙを縦軸に、Ｙ実績値を白丸でプロットしている。ａの破線は、プロットを用いた重回帰分析による発光強度Ｙの推定線である。（ａ）変動無しの場合は、アクチュエータ値Ｘの調整範囲における発光強度Ｙの変化量Δ1は、実績値と推定線ａとの誤差eと比較して小さい。一方（ｂ）変動有りの場合には、発光強度Ｙの変化量Δ2は誤差と比較して大きい。つまり、発光強度Ｙの変化量をΔ、実績値と推定線ａとの誤差の標準偏差σとすれば、Δ/σにより変動有無を判定できる。Δ/σが基準値、例えば３より小さければ、発光強度Ｙは変動しないと判定すればよい。

[0270] 全てのアクチュエータに対して、全ての波長の発光強度Ｙにおいて変化が見られない場合も起こり得る。このような場合、定めたアクチュエータで制御対象の波長の発光強度Ｙを制御できない。この場合には制御対象のアクチュエータを選定しなおす。

[0271] 実施の形態３の制御の結果において、行列モデルＣ１のパラメータ（Ａ）である係数行列がランク落ちをする場合、もしくは、値Ｘの変化量ΔＸの制御量（ｄ７）が、所定の設定許容範囲を超える場合、本制御が不可能または不適切と判定し、エラーメッセージを出力（通知、表示など）する。例えば、画面４１２にエラーメッセージ等の情報を表示する。また、本制御が不可能または不適切と判定した場合、エッチング装置４０１での実エッチング処理については自動的に停止させるようにしてもよいし、続行させるようにしてもよい。

[0272] 以上のように、実施の形態３（制御モデルＣとそのパラメータ（Ａ）を決定するための条件出し方法）によれば、好適なエッチング制御が実現できる

。

[0273] （実施の形態４）

図２１等を用いて、実施の形態４のエッチング装置４０１等について説明する。実施の形態４では、複数アクチュエータ値Ｘにより複数波長の発光強度ＹをRun-to-Run制御したときの制御性能、即ちＹ目標値に対する制御結果発光強度Ｙ（Ｙ実績値）の誤差を、実エッチング処理すること無く評価するための制御シミュレーションについて説明する。

[0274] 実施の形態４の基本的な処理内容は図８のフローの通りであるが、制御シミュレーションでは、実際にエッチング装置４０１でエッチング処理すること無くＹ実績値（その相当値）を算出する必要がある。そこでＹ実績値を算出するための制御モデルＣを「真の制御モデル」（Ｃｂ）として定義し、アクチュエータ値Ｘを算出する制御モデルＣについては、制御用に設定した制御モデル（Ｃａ）とした。また、制御無し発光強度の経時変動の補償についても、その制御用の制御モデル（Ｃａ）を用いる。この制御用の制御モデル（Ｃａ）は、実制御（実際のRun-to-Run制御）で設定・使用する制御モデルＣに相当する。「真の制御モデル」（Ｃｂ）と制御用の制御モデル（Ｃａ）との違いにより、Ｙ実績値は目標値からずれることとなる。よって各制御モデルＣの制御性能を評価できる。なお制御モデルＣのパラメータ（Ａ）の違いによる制御性能の評価も同様である。

[0275] なお制御無し発光強度の経時変動についても「真の経時変動」があり、「真の制御無し発光強度」の経時変動データを用いてＹ実績値を算出しなければならない。但し制御における制御無し発光強度の経時変動の補償には、制御用の制御モデル（Ｃａ）を用い、また制御用に設定した経時変動モデル、フィルタ等を用いる。

[0276] ＜制御シミュレーション－処理フロー＞

図２１のフローに従って、制御シミュレータ４３４による制御シミュレーションの処理内容を説明する。本処理内容は、全て制御シミュレータ４３４（その計算機システム）により実行される。

[0277] S1701において、「真の制御モデル」（Ｃｂ）と制御モデルＣのパラメータ（Ａ）を読み込む。制御モデルＣの定義自体に、入力である波長数（Ｎ）、アクチュエータ数（Ｍ）が含まれる。しかしシミュレーションでは、波長[nm]の情報やアクチュエータ種類といった情報は不要である。制御モデルＣが行列モデルＣ１の場合にはそのパラメータであるA^{true}、比率制約モデルＣ２の場合にはパラメータであるP^{true}, Q^{true}, B^{true}を読み込み、統合モデルＣ３の場合にはそのパラメータであるA^{true}, P^{true}, Q^{true}, B^{true}の他に分配係数$D_{MAT}{}^{true}$, $D_{RC}{}^{true}$（もしくはベクトル$D_{MAT}{}^{true}$, $D_{RC}{}^{true}$）を読み込む。Ｃ２，Ｃ３の場合には内部モデル数（Ｌ）の情報も読み込む。

[0278] S1702において、制御用の制御モデル（Ｃａ）とそのパラメータ（Ａ）を読み込む。パラメータ（Ａ）は、A, P, Q, B, D_{MAT}, D_{RC}（もしくはベクトルD_{MAT}, D_{RC}）のいずれか、もしくは全てである。

[0279] S1703において、複数波長の発光強度Ｙの目標値y^{TGT}と、制御無し発光強度の初期値$y_{No}[0][0]$を読み込む。

[0280] S1704において、ロット数、ロット内ウェハ数のデータを読み込む。

[0281] S1705において、「真の制御無し発光強度」の経時変動データである$y^{true}[\#ii][\#jj]$を読み込む。#iiはロット順序を表すインデクス、#jjはロット内ウェハ順序（エッチング処理順）を表すインデクスである。ロット数、ロット内ウェハ数は、S1704で読み込んだデータにおける数と一致していなければならない。

[0282] S1706において、制御無し発光強度の経時変動を補償するための設定情報を読み込む。これは、ノイズを除去し経時変動を平滑化するフィルタパラメータや経時変動モデル（Ｃｔ）とそのパラメータ（Ａ）の初期値が対象である。フィルタが例えばＥＷＭＡ(Exponentially-Weighted Moving Average)フィルタであるなら、パラメータlを読み込む。経時変動モデル（Ｃｔ）が式（１４）で定義されるなら、そのパラメータ（Ａ）である$Drift_{lot}$, $Drift_{wafer}$の初期値を読み込む。

[0283] 以降、S1711～S1717の処理が、ロット毎、及びロット内のウェハ毎の繰り

返し計算となる。今、ロット繰り返し#ii回目、ロット内ウェハ（エッチング処理）繰り返し#jj回目の処理とする。繰り返し開始からの全繰り返しは#kk回目とする。

[0284] S1713において、アクチュエータ値Ｘを算出する（図８のS807と同様の計算）。まず制御無し発光強度であるy_{No}[#ii][#jj]が必要であるが、これは前回の制御無し発光強度の算出の結果を利用するか、例えば式（１４）のような経時変動モデル（Ｃｔ）に基づき算出する。そして式（１５）により制御量を求めて、行列モデルＣ１ならば式（８）、比率制約モデルＣ２ならば式（１３）、統合モデルＣ３ならば式（２５）～（２９）により、アクチュエータ値であるx[#ii][#jj]を算出する。なおＣ３の場合、x^{MAT}[#ii][#jj]，x^{RC}[#ii][#jj]の算出結果も記憶しておく。設定制御量についても、行列モデルＣ１ならば式（７）、比率制約モデルＣ２ならば式（１２）、統合モデルＣ３ならば式（２１）もしくは式（２３）により求めておく。

[0285] S1714において、Ｙ実績値を算出する。Ｙ実績値は、「真の制御無し発光強度」の経時変動データであるy^{true}[#ii][#jj]と「真の制御モデル」（Ｃｂ）による制御量である$y_{model}{}^{true}$との和である。即ち次式（５３）である。

[0286] [数53]

$$\mathbf{y}^{*}[\#ii][\#jj]=\mathbf{y}^{true}[\#ii][\#jj]+\mathbf{y}^{true}_{model}[\#ii][\#jj] \quad \cdots (53)$$

[0287] ここで、制御量は、行列モデルＣ１なら式（５４）、比率制約モデルＣ２なら式（５５）、統合モデルＣ３なら式（５６）で求まる。

[0288] [数54]

$$\mathbf{y}^{true}_{model}[\#ii][\#jj]=\mathbf{x}[\#ii][\#jj]^{T}\mathbf{A}^{true^{T}} \quad \cdots (54)$$

[0289]

[数55]

$$\mathbf{y}_{model}^{true}[\#ii][\#jj] = \mathbf{x}[\#ii][\#jj]^T \mathbf{P}^{true}\left(\mathbf{P}^{true^T}\mathbf{P}^{true}\right)^{-1}\mathbf{B}^{true}\mathbf{Q}^{true^T} \quad \cdots (55)$$

[0290] [数56]

$$\mathbf{y}_{model}^{true}[\#ii][\#jj] = \mathbf{x}^{MAT}[\#ii][\#jj]^T \mathbf{A}^{true^T} + \mathbf{x}^{RC}[\#ii][\#jj]^T \mathbf{P}^{true}\left(\mathbf{P}^{true^T}\mathbf{P}^{true}\right)^{-1}\mathbf{B}^{true}\mathbf{Q}^{true^T} \quad \cdots (56)$$

[0291] S1715において、制御無し発光強度を算出し、経時変動を補償する。式（１６）で制御無し発光強度の実績値を算出し、例えばＥＷＭＡフィルタを用いて経時変動を補償する場合には式（１７），（１８）を用いて、制御無し発光強度を算出する。また経時変動モデル（Ｃｔ）を用いてアクチュエータ値Ｘの算出時に制御無し発光強度を算出する場合には、式（１９），（２０）のように経時変動モデル（Ｃｔ）のパラメータ（Ａ）を更新すればよい。

[0292] そして全ての繰り返しの終了後、S1721において、アクチュエータ値Ｘの算出結果、Ｙ実績値と目標値からの誤差を集計する。アクチュエータ値Ｘの算出結果であるx[#ii][#jj]、Ｙ実績値であるy*[#ii][#jj]、Ｙ実績値と目標値との誤差であるe[#ii][#jj]＝y*[#ii][#jj]－y^{TGT}の、平均、標準偏差、最大、最小といった統計量を集計計算により求めればよい。

[0293] 上記制御用の制御モデル（Ｃｂ）とそのパラメータ（Ａ）を変更して制御シミュレーションを行うことで、設定に対する制御性能を比較評価可能となる。

[0294] 図２１のフローにより、「真の制御無し発光強度」データを直接に読み込んでのシミュレーションを説明した。「真の制御無し発光強度」データとは、実際にアクチュエータ値Ｘを調整しないでエッチング処理を繰り返すことにより得られるデータである。実制御（実エッチング処理）を実施しているエッチング装置４０１ではこのデータを直接に取得することはできない。つまり式（５３）の左辺のy*[#ii][#jj]を取得することになる。そこで実エッチ

ング処理したときのアクチュエータ値Ｘと制御モデルＣ及びそのパラメータ（Ａ）を取得し、当該制御モデルＣに応じて、式（５４），（５５），（５６）に応じて制御量を求める。これにより式（５３）に基づき「真の制御無し発光強度」の経時変動データであるy^{true}[#ii][#jj]を作成できる。

[0295] また「真の制御無し発光強度」の経時変動データを、経時変動モデル（Ｃｔ）により生成して制御シミュレーションすることも可能である。この場合、図２１のS1721では、「真の経時変動モデル」パラメータを読み込む。例えば式（１４）の経時変動モデル（Ｃｔ）とするならば、$Drift_{lot}^{true}$, $Drift_{wafer}^{true}$を読み込む。またデータにばらつきを与えるために、ばらつきの大きさのパラメータであるσ^{true}も読み込む。そしてS1714のＹ実績値の算出の際に、次式（５７）により「真の制御無し発光強度」データであるy^{true}[#ii][#jj]を算出する。

[0296] [数57]

$$\mathbf{y}^{true}[\#ii][\#jj] = \mathbf{Drift}_{lot}^{true} \times \#kk + \mathbf{Drift}_{wafer}^{true} \times (\#jj - 1) + \mathbf{y}_{No}[0][0] + \blacksquare^{true} \times N(0,1) \quad \cdots (57)$$

[0297] ここでN(m, σ^2)は平均m、分散σ^2の正規分布に従う乱数である。

[0298] 以上の制御シミュレーションにおいては、「真の制御モデル」（Ｃｂ）に基づきＹ実績値を算出する形態として説明したが、他にも例えば物理的な根拠に基づくシミュレータ（プロセスシミュレータ）を利用して、算出したアクチュエータ値Ｘによる制御量を求めてからＹ実績値を求めても、制御シミュレーションは可能である。

[0299] 以上のように、実施の形態４（Run-to-Run制御シミュレーション）によれば、好適なエッチング制御が実現できる。

[0300] （効果等）

以上説明したように、実施の形態によれば、（１）制御モデルＣを用いた好適なRun-to-Run制御の実現、（２）Ｘ値の異常を防止（許容範囲内に限定）しながらＹ目標値へ近付ける制御の実現、（３）好適なパラメータ（Ａ）

を決定する条件出しの実現、（４）Run-to-Run制御シミュレーションの実現、等の効果がある。詳しくは以下が挙げられる。

[0301] 実施の形態１，２等において、エッチング装置４０１の複数アクチュエータ値Ｘの調整量を設定許容範囲内で算出できるので、エッチング処理不良などを防止できる。またその範囲に応じて複数波長の発光強度Ｙを目標値に近付けることができる。

[0302] 複数波長の発光強度Ｙの制御は、チャンバ４０２内のエッチング現象に係る複数種類の物質の量の制御に相当する。つまり複数の物質の化学反応によってエッチングされて出来る形状や異なる組成の膜のエッチング量を制御できる。深さ方向と横方向のエッチングレートに影響するガスやバイアス電圧を、上記アクチュエータ値Ｘ（即ちエッチング処理条件等）として制御して、目標とする断面形状を得ることができる。多層構造の膜のエッチングにおいて、各層のエッチングの反応に影響するアクチュエータでエッチングレートを制御することで、特定層のエッチング量の過不足を防止できる。エッチングでの反応生成物の増加に対して、その反応生成物を別の物質へと反応させることにより、特定の異物の生成を抑制することができる。有機膜などの複雑な組成を持つ膜をエッチングする際に、多種多様な物質の発生がエッチングレートの経時変動に影響する場合、各物質の発生量を一定にしてエッチングレートを安定化することができる。

[0303] またＯＥＳ４１０はエッチング処理中の発光をモニタするものであるため、別途検査装置でウェハを検査すること無くエッチングの性能を推定できる。従って、連続的にエッチング処理が繰り返されるロット内のウェハ毎にアクチュエータ値Ｘを調整でき、またロット毎にも検査結果を待つことなく着工を繰り返すことができる。よってエッチング装置スループットを落とすことなく、エッチング処理を安定化し、例えばＣＤ寸法を高精度化できる。

[0304] また、実施の形態３の条件出しにおいては、比率制約モデルＣ２のパラメータ（Ａ）を決定する際に、ＰＬＳ回帰分析を利用する。本分析方法では、例えば１組のサンプルであってもパラメータを算出可能であり、重回帰分析

のようなパラメータ数以上のサンプル数は必要無い。つまり少ないサンプル数でパラメータを決定でき、実験工数、及び実験のためのウェハ数などを削減できる。

[0305] また、実施の形態４の複数アクチュエータによる複数波長の発光強度Ｙの制御シミュレーションを活用すれば、制御モデルＣに含まれる多数のパラメータを変更した際の制御性能の変化を容易に机上で評価可能となる。よって制御結果を良好とするパラメータを効率的に見出して適用することができる。また発光強度Ｙの経時変動の大きさやエッチング処理毎のばらつきの大きさが変わった場合にも、同様に机上で評価できる。

[0306] 本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能である。例えば、前記実施の形態の説明では、ＯＥＳ４１０でモニタしたプラズマの発光強度Ｙを制御対象としたが、これに限らず例えば、処理中のウェハの光学的膜厚モニタや、ウェハ近傍の電磁界モニタ、更には赤外線などを用いて検出したスペクトル等、モニタ値が多変量となる場合には、そのモニタ値を制御対象として適用可能である。

産業上の利用可能性

[0307] 本発明は、半導体製造管理システムなどに利用可能である。

符号の説明

[0308] ４０１…エッチング装置、４０２…チャンバ、４０３，４０６…電極、４０４…プラズマ、４０５…ウェハ、４０７…排気系、４０８…ガス供給系、４０９…装置コントローラ、４１０…ＯＥＳ（発光分光器）、４１１…計算機、４１２…画面、４１３…流量調整装置、４１４…圧力調整装置、４１５…電力調整装置、４１６…温度調整装置、４２１…窓、４２２…光、４３１…ネットワーク、４３２…ＤＢ、４３３…ＯＥＳデータ解析システム、４３４…制御シミュレータ、５０１…Run-to-Run制御機能、５０１Ｂ…Run-to-Run制御機能、５０２…ロット・ウェハ毎エッチング処理来歴取得機能、５０３…制御モデル設定機能、５０４…発光波長・発光強度目標値設定機能、５０５…制御用アクチュエータ設定機能、５０６…複数発光波長強度制御量算出

機能、５０７…アクチュエータ値算出機能、５０８…アクチュエータ値指令機能、５０９…ＯＥＳデータ取得機能、５１０…複数波長発光強度取得機能、５１１…発光強度経時変動量取得機能、５２１…条件出し機能、５２２…アクチュエータ水準組合せ設定機能、５２３…複数波長発光強度取得機能、５２４…制御モデル毎モデルパラメータ算出機能、５２５…発光強度推定誤差算出・評価機能、５２６…発光強度予測用アクチュエータ値算出機能、５２７…真の制御モデル設定機能、５２８…発光強度算出・評価機能、５２９…複数波長発光強度目標値取得機能、５３０…複数波長発光強度制御量算出機能、５３１…アクチュエータ値算出・評価機能、５４１…真の制御モデル設定機能、５４２…複数波長発光強度算出機能、５４３…制御無し発光変動取得機能、５４４…制御有り発光変動取得機能、５４５…制御無し発光変動算出機能。

請求の範囲

[請求項1] チャンバ内部のプラズマ発光を観察するための発光分光器と、前記プラズマ発光を調整するための複数のアクチュエータとを備え、ウェハのエッチング処理を行うエッチング装置であって、

本エッチング装置に備える制御機能において、

前記複数のアクチュエータの値をＸとし、前記発光分光器によりモニタされる前記プラズマ発光の複数の波長の発光強度の値をＹとしたとき、前記エッチング処理で適用する複数のアクチュエータの値Ｘの設定値（ｄ１）と、前記エッチング処理で前記発光分光器によりモニタされる前記複数の波長の発光強度の値Ｙの実績値（ｄ２）との関係について、値Ｘの変化量ΔＸと、各値Ｘに対する値Ｙの変化量ΔＹとの関係が、変化量ΔＸを入力とし変化量ΔＹを出力とした代数的な数式に基づく制御モデルとして定義され、

前記制御モデル及びそれに含まれるパラメータの値が予め設定され、

前記複数の波長の発光強度の値Ｙの目標値（ｄ３）が予め設定され、

前記エッチング処理の制御の処理として、

（Ｓ１）前記ウェハのエッチング処理の開始の前に、前記値Ｙの目標値（ｄ３）と、複数の制御無し発光強度の値Ｙ（ｄ４）との差分値（ｄ５）を、前記値Ｙに関する目標制御量（ｄ６）とし、前記制御モデルに基づき、当該値Ｙの目標制御量（ｄ６）から、前記複数のアクチュエータの値Ｘに関する制御量（ｄ７）を算出し、当該値Ｘの制御量（ｄ７）を、前記複数のアクチュエータに対して前記設定値（ｄ１）として適用する、第１の処理ステップと、

（Ｓ２）次に前記ウェハのエッチング処理を開始し、前記発光分光器により所定の時間間隔で前記プラズマ発光のスペクトルの前記複数の波長の発光強度の値Ｙをモニタしながら、当該エッチング処理を終

了する、第２の処理ステップと、

（Ｓ３）次に前記モニタのデータによる、または当該データの中から所定の時間単位で取得される、前記複数の波長の発光強度の値Ｙの実績値（ｄ２）を用いて、当該値Ｙの実績値（ｄ２）と前記目標値（ｄ３）との誤差（ｄ８）と、前記第１の処理ステップで算出した前記値Ｘの制御量（ｄ７）とに基づき、次のウェハのエッチング処理で用いるための、前記複数の制御無し発光強度の値（ｄ４）を計算する第３の処理ステップと、を有し、

前記第１～第３の処理ステップを各ウェハのエッチング処理で繰り返し実行する制御により、前記複数のアクチュエータ値Ｘを調整し、前記複数の波長の発光強度値Ｙを制御する、ことを特徴とするエッチング装置。

[請求項2] 請求項１記載のエッチング装置において、

前記制御モデルにおける各値の関係は、前記値Ｘの変化量ΔＸを入力とし前記値Ｙの変化量ΔＹを出力とした行列方程式もしくは連立方程式による第１の制御モデルとして定義される、ことを特徴とするエッチング装置。

[請求項3] 請求項１記載のエッチング装置において、

前記制御モデルにおける各値の関係は、前記値Ｘの変化量ΔＸにおける当該アクチュエータ間の関係に第１の比率が定義され、前記値Ｙの変化量ΔＹにおける当該波長間の関係に第２の比率が定義され、前記第１の比率と前記第２の比率との関係が所定の比例関係で定義された、第２の制御モデルとして定義される、ことを特徴とするエッチング装置。

[請求項4] 請求項１記載のエッチング装置において、

前記制御モデルにおける各値の関係は、前記値Ｘの変化量ΔＸにおける当該アクチュエータ間の関係が複数の第１の比率で定義され、前記値Ｙの変化量ΔＹにおける当該波長間の関係が複数の第２の比率で

定義され、前記複数の第１の比率の各々と前記複数の第２の比率の各々との所定の対応する比率同士の関係が所定の比例関係で定義された、第２の制御モデルとして定義される、ことを特徴とするエッチング装置。

[請求項5] 請求項１記載のエッチング装置において、

前記制御モデルにおける各値の関係は、

第１に、前記値Ｘの変化量ΔＸを入力とし前記値Ｙの変化量ΔＹを出力とした行列方程式もしくは連立方程式による第１の部分的な制御モデルとして定義され、

第２に、前記値Ｘの変化量ΔＸにおける当該アクチュエータ間の関係に第１の比率が定義され、前記値Ｙの変化量ΔＹにおける当該波長間の関係に第２の比率が定義され、前記第１の比率と前記第２の比率との関係が所定の比例関係で定義された、第２の部分的な制御モデルとして定義され、

更に、前記第１の部分的な制御モデルと前記第２の部分的な制御モデルとを統合した第３の制御モデルが定義される、ことを特徴とするエッチング装置。

[請求項6] 請求項５記載のエッチング装置において、

前記制御機能は、前記第１の処理ステップでの前記制御モデルに基づく前記値Ｘに関する制御量（ｄ７）の算出において、

前記値Ｙの目標制御量（ｄ６）は、２つの制御量に分配され、そのうち第１の制御量を第１の目標値として、前記第１の部分的な制御モデルに基づき、一方の第１のアクチュエータの値Ｘの変化量ΔＸに関する第１の制御量を算出し、そのうち第２の制御量を第２の目標値として、前記第２の部分的な制御モデルに基づき、他方の第２のアクチュエータの値Ｘの変化量ΔＸに関する第２の制御量を算出し、上記算出した第１と第２の制御量を加算することにより、前記値Ｘに関する制御量（ｄ７）を得る、ことを特徴とするエッチング装置。

[請求項7] 請求項２記載のエッチング装置において、

前記制御機能は、前記第１の制御モデルの前記パラメータである係数行列がランク落ちをする場合、もしくは前記値Ｘの制御量（ｄ７）が前記設定値（ｄ１）に関する所定の設定許容範囲を超える場合、本制御が不可能または不適切と判定し、エラーメッセージを出力する、ことを特徴とするエッチング装置。

[請求項8] 請求項２記載のエッチング装置において、

前記制御機能は、

前記第１の制御モデルの前記パラメータである係数行列がランク落ちをする場合、もしくは前記値Ｘの制御量（ｄ７）が前記設定値（ｄ１）に関する所定の設定許容範囲を超える場合、前記第１の制御モデルの前記パラメータである係数行列を、第２の制御モデルのパラメータに変換して、当該第２の制御モデルを新たに前記制御に適用し、

前記第２の制御モデルは、前記値Ｘの変化量ΔＸにおける当該アクチュエータ間の関係に第１の比率が定義され、前記値Ｙの変化量ΔＹにおける当該波長間の関係に第２の比率が定義され、前記第１の比率と前記第２の比率との関係が所定の比例関係で定義される、ことを特徴とするエッチング装置。

[請求項9] 請求項１記載のエッチング装置において、

前記エッチング処理及びその制御は、ロット単位の複数ロット間、及びロット内のウェハ単位の複数ウェハ間を対象とし、

前記制御機能は、前記第３の処理ステップでの前記制御無し発光強度の値Ｙ（ｄ４）の計算において、

前記ウェハのエッチング処理のウェハ枚数（ｗ１）に関する前記制御無し発光強度の値Ｙ（ｄ４）が、前記値Ｙに関する経時変動モデルとして定義され、

前記値Ｙの実績値（ｄ２）のデータと前記値Ｙの目標値（ｄ３）との誤差（ｄ８）、及び前記第１の処理ステップで算出した前記値Ｘの

変化量ΔＸに関する制御量（ｄ７）を用いて、前記値Ｙの経時変動モデルのパラメータを算出し、上記算出した経時変動モデルのパラメータにより、前記制御無し発光強度の値Ｙ（ｄ４）を計算する、ことを特徴とするエッチング装置。

[請求項10] 請求項１記載のエッチング装置において、

前記制御モデルに含まれるパラメータの値の設定のための条件出しの処理を行う条件出し機能を有し、

前記条件出し機能による条件出しの処理において、

前記ウェハのエッチング処理のウェハ枚数（ｗ１）に関する、前記制御無し発光強度の値Ｙ（ｄ４）が、当該ウェハ枚数（ｗ１）に関する前記値Ｙの実績値（ｄ２）の変動を表現する制御モデルである経時変動モデルとして定義され、

前記複数のアクチュエータの値Ｘを代表値に設定して連続的にエッチング処理するウェハ枚数（ｗ２）が設定され、

前記複数のアクチュエータについて実験計画法を適用して水準設定した各アクチュエータの値Ｘの設定値とその水準設定数に相当するウェハ枚数（ｗ３）とが設定され、

第１に、前記複数のアクチュエータの値Ｘを前記代表値に設定して前記発光分光器により前記複数の波長の発光強度の値Ｙをモニタする前記エッチング処理を、前記設定したウェハ枚数（ｗ２）分連続的に行い、

第２に、引き続き、前記水準設定した各値Ｘの設定値で前記発光分光器により前記複数の波長の発光強度の値Ｙをモニタする前記エッチング処理を、前記水準設定数に相当するウェハ枚数（ｗ３）分連続的に行い、

上記第１の連続的なエッチング処理における前記複数の波長の発光強度の値Ｙを１つ以上取得し、各波長別に、前記経時変動モデルのパラメータを算出し、

上記第２の連続的なエッチング処理における前記複数の波長の発光強度の値Ｙを１つ以上取得し、また前記経時変動モデルに基づき各エッチング処理でのウェハ枚数（ｗ１）に応じた各波長の発光強度の値Ｙを算出し、上記取得した１つ以上の値Ｙから上記算出した各波長の値Ｙを差し引くことにより、各波長の水準設定に対する発光強度の値Ｙの変化量ΔＹを求め、

前記値Ｘの設定値の水準間の１つ以上の変化量ΔＸと、前記値Ｙの１つ以上の変化量ΔＹとの組合せサンプルより、前記制御モデルのパラメータを算出する、ことを特徴とするエッチング装置。

[請求項11] 請求項１０記載のエッチング装置において、

前記条件出し機能は、重回帰分析により前記制御モデルのパラメータを算出する、ことを特徴とするエッチング装置。

[請求項12] 請求項１０記載のエッチング装置において、

前記条件出し機能は、ＰＬＳ回帰分析により前記制御モデルのパラメータを算出する、ことを特徴とするエッチング装置。

[請求項13] 請求項１０記載のエッチング装置において、

前記複数のアクチュエータの値Ｘの変化量ΔＸの関係を表す第１の比率の数と、前記複数の波長の発光強度の値Ｙの変化量の関係を表す第２の比率の数と、前記第１の比率と第２の比率との比例関係の数とが同じ数（ｐ）であり、

前記条件出し機能は、

前記複数のアクチュエータの数（Ｍ）と前記複数の波長の数（Ｎ）とにおける小さい方の数をmin｛Ｍ，Ｎ｝としたとき、上記の数（ｐ）を、１からmin｛Ｍ，Ｎ｝まで、それぞれ設定し、前記組合せサンプルを用いて、ＰＬＳ回帰分析により、前記制御モデルのパラメータを算出し、前記組合せサンプルの前記値Ｘの設定値の変化量ΔＸを用いて、前記値Ｙの変化量ΔＹを、上記設定した数（ｐ）に対応する数の制御モデルにより推定して、前記値Ｙの変化量ΔＹとの誤差を求め

、前記誤差が最も小さくなる上記の数（ｐ）を選定することにより、前記設定のための前記制御モデルを決定する、ことを特徴とするエッチング装置。

[請求項14] 請求項１０記載のエッチング装置において、

前記複数のアクチュエータ値Ｘの変化量の関係を表す第１の比率の数と、前記複数の波長の発光強度値Ｙの変化量の関係を表す第２の比率の数と、前記第１の比率と第２の比率との比例関係の数とが同じ数（ｐ）であり、

前記条件出し機能は、

前記複数のアクチュエータの数（Ｍ）と前記複数の波長の数（Ｎ）とのうちの小さい方の数をmin｛Ｍ，Ｎ｝としたとき、上記の数（ｐ）を、１からmin｛Ｍ，Ｎ｝まで、それぞれ設定し、前記組合せサンプルのうちの一部の第１のサンプルを用いて、ＰＬＳ回帰分析により、前記制御モデルのパラメータを算出し、前記組合せサンプルのうちの残りの第２のサンプルの前記複数のアクチュエータの値Ｘの設定値の変化量ΔＸを用いて、前記複数の波長の発光強度の値Ｙの変化量ΔＹを、上記設定した数（ｐ）に対応する数の制御モデルにより予測して、前記第２のサンプルの前記値Ｙの変化量ΔＹとの誤差を求め、前記誤差が最も小さくなる上記の数（ｐ）を選定することにより、前記設定のための前記制御モデルを決定する、ことを特徴とするエッチング装置。

[請求項15] 請求項１０記載のエッチング装置において、

前記エッチング処理するウェハの必要枚数について、

前記代表値に設定して連続的にエッチング処理するウェハ枚数（ｗ２）は、０または１または２とし、

前記水準設定した各アクチュエータの値Ｘの設定値の水準組合せ数でエッチング処理するウェハ枚数（ｗ３）は、１以上で前記アクチュエータの数（Ｍ）以下の数に、ばらつきを評価するための１枚を加え

た数とする、ことを特徴とするエッチング装置。

[請求項16] 請求項１０記載のエッチング装置において、

前記条件出し機能は、

前記値Ｘの設定値の水準間の１つ以上の変化量ΔＸと、前記値Ｙの１つ以上の変化量ΔＹとの組合せサンプルにおいて、いずれのアクチュエータにおいても当該水準間で値Ｙの変化量ΔＹに変化が見られない場合、または、当該水準間で上昇もしくは下降の傾向よりも値Ｙのばらつきが大きい場合、当該波長を前記制御の対象から除外する、ことを特徴とするエッチング装置。

[請求項17] 請求項１０記載のエッチング装置において、

前記値Ｘの設定値の水準間の１つ以上の変化量ΔＸと、前記値Ｙの１つ以上の変化量ΔＹとの組合せサンプルにおいて、いずれの波長においても当該水準間で値Ｙの変化量ΔＹに変化が見られない場合、または、当該水準間で上昇もしくは下降の傾向よりも値Ｙのばらつきが大きい場合、当該アクチュエータを前記制御の対象から除外する、ことを特徴とするエッチング装置。

[請求項18] エッチング装置でのウェハのエッチング処理の制御に関するシミュレーションの処理を計算機上で行う制御シミュレータであって、

前記エッチング装置の複数のアクチュエータの値をＸとし、前記エッチング装置の発光分光器によりモニタされるプラズマ発光の複数の波長の発光強度の値をＹとしたとき、値Ｘの変化量ΔＸと、各値Ｘに対する値Ｙの変化量ΔＹとの関係が、変化量ΔＸを入力とし変化量を出力とした代数的な数式に基づく制御モデルとして定義され、

前記制御モデル及びそれに含まれるパラメータの値は、前記制御で適用される第１のモデルと、真の第２のモデルとが事前に設定され、

前記複数の波長の発光強度の値Ｙの目標値が事前に設定され、

前記制御をしない場合の前記ウェハ毎の前記複数の波長の発光強度の値Ｙの経時変動データが、事前に設定され、

１枚目のウェハの処理のために、前記制御をしない場合の前記値Ｙの推定値の初期値を、前記ウェハ毎の値Ｙの経時変動データの１回目の値とし、

所定のウェハ処理枚数における１枚目のウェハから最後のウェハまで順に行う前記シミュレーションの処理において、

前記ウェハのエッチング処理の開始の前に、前記値Ｙの目標値と、前記制御をしない場合の前記値Ｙの推定値との差を、目標制御量として、前記制御モデルのパラメータを設定値として、前記第１のモデルに基づき前記値Ｘの制御量を算出して、前記複数のアクチュエータの値Ｘの設定値とする第１の処理ステップと、

前記ウェハのエッチング処理として、前記ウェハ処理枚数に応じた前記値Ｙの経時変動データに、前記真の第２のモデルに基づき前記値Ｘより算出した前記値Ｙの１つ以上の変化量ΔＹを加え、前記発光分光器による前記値Ｙのモニタ値とする第２の処理ステップと、

前記値Ｙの１つ以上のモニタ値と前記値Ｙの目標値との誤差と、前記第１の処理ステップで算出した値Ｘの制御量とを用いて、前記制御をしない場合の前記値Ｙの推定値を計算する第３の処理ステップと、を有し、

前記第１～第３の処理ステップの繰り返しで求めた全ウェハの処理の前記値Ｙのモニタ値を集計して、前記値Ｙの目標値との誤差を評価する、ことを特徴とする制御シミュレータ。

[請求項19] 請求項１８記載の制御シミュレータにおいて、

前記制御をしない場合の前記ウェハ毎の前記複数の波長の発光強度の値Ｙの経時変動データとは、

ウェハ毎のアクチュエータ値を調整して発光強度を制御したエッチング処理において、発光分光器でモニタした発光強度と、アクチュエータ値を調整した際に目標とした制御量とにより求めた発光強度である、ことを特徴とする制御シミュレータ。

[請求項20] 請求項１８記載の制御シミュレータにおいて、

前記制御をしない場合の前記ウェハ毎の前記複数の波長の発光強度の値Ｙの経時変動データについては、

前記ウェハ処理枚数に関する、前記制御をしない場合の前記値Ｙの経時変動を表現する経時変動モデルが定義され、

前記経時変動モデルのパラメータが設定され、

前記ウェハ処理枚数が設定され、

１枚目のウェハのエッチング処理から順に、前記経時変動モデルに基づき、前記値Ｙが算出され、または、前記経時変動モデルのパラメータを乱数と演算して更新して当該経時変動モデルに基づき前記値Ｙが算出される、ことを特徴とする制御シミュレータ。

[請求項21] チャンバ内部のプラズマ発光を観察するための発光分光器と、前記プラズマ発光を調整するための複数のアクチュエータとを備え、ウェハのエッチング処理を行うエッチング装置、によるエッチング工程を含む、半導体装置製造方法であって、

前記エッチング工程及びその制御は、ロット単位の複数ロット間、及びロット内のウェハ単位の複数ウェハ間を対象とし、

前記複数ロット及びその複数ウェハが前記エッチング装置に対して連続的に着工され、

前記ウェハ着工毎の前記エッチング工程において、

前記複数のアクチュエータの値をＸとし、前記発光分光器によりモニタされる前記プラズマ発光の複数の波長の発光強度の値をＹとしたとき、前記エッチング処理で適用する複数のアクチュエータの値Ｘの設定値（ｄ１）と、前記エッチング処理で前記発光分光器によりモニタされる前記複数の波長の発光強度の値Ｙの実績値（ｄ２）との関係について、値Ｘの変化量ΔＸと、各値Ｘに対する値Ｙの変化量ΔＹとの関係が、変化量ΔＸを入力とし変化量ΔＹを出力とした代数的な数式に基づく制御モデルとして定義され、

前記制御モデル及びそれに含まれるパラメータの値が予め設定され、

前記複数の波長の発光強度の値Ｙの目標値（ｄ３）が予め設定され、

前記エッチング処理の制御の処理として、

（Ｓ１）前記ウェハのエッチング処理の開始の前に、前記値Ｙの目標値（ｄ３）と、複数の制御無し発光強度の値Ｙ（ｄ４）との差分値（ｄ５）を、前記値Ｙに関する目標制御量（ｄ６）とし、前記制御モデルに基づき、当該値Ｙの目標制御量（ｄ６）から、前記複数のアクチュエータの値Ｘに関する制御量（ｄ７）を算出し、当該値Ｘの制御量（ｄ７）を、前記複数のアクチュエータに対して前記設定値（ｄ１）として適用する、第１の処理工程と、

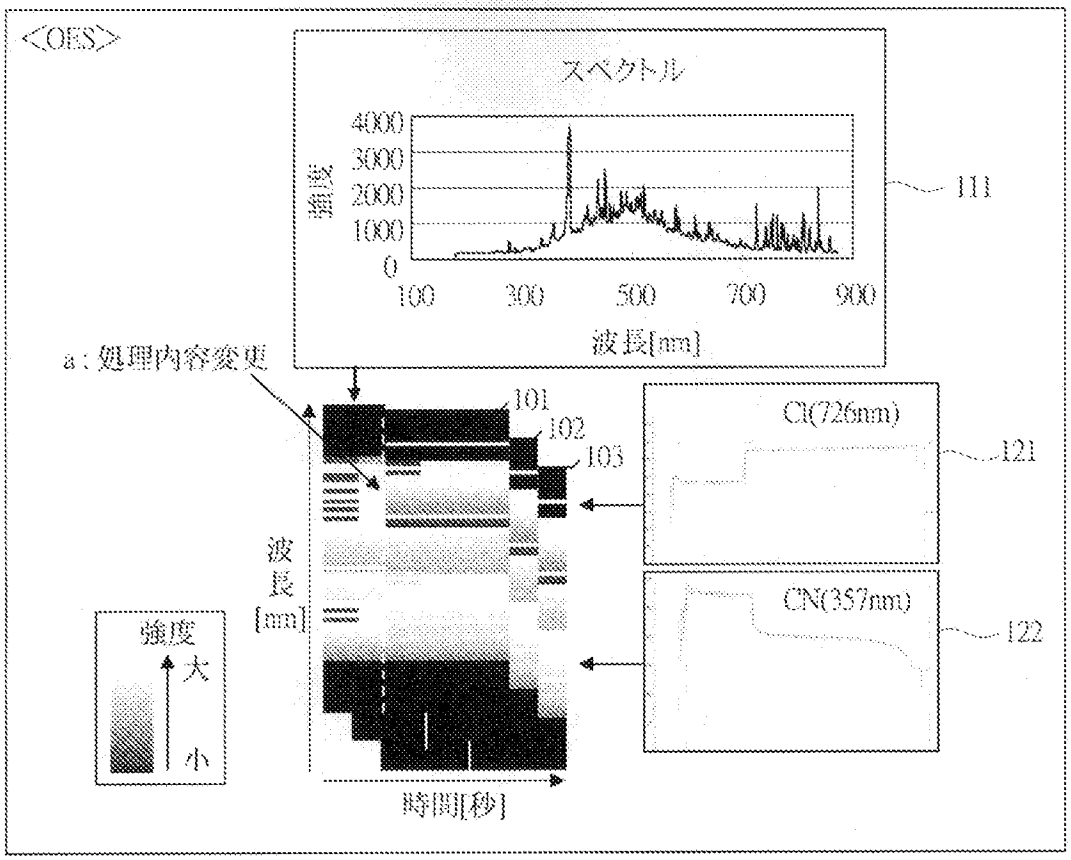
（Ｓ２）次に前記ウェハのエッチング処理を開始し、前記発光分光器により所定の時間間隔で前記プラズマ発光のスペクトルの前記複数の波長の発光強度の値Ｙをモニタしながら、当該エッチング処理を終了する、第２の処理工程と、

（Ｓ３）次に前記モニタのデータによる、または当該データの中から所定の時間単位で取得される、前記複数の波長の発光強度の値Ｙの実績値（ｄ２）を用いて、当該値Ｙの実績値（ｄ２）と前記目標値（ｄ３）との誤差（ｄ８）と、前記第１の処理工程で算出した前記値Ｘの制御量（ｄ７）とに基づき、次のウェハのエッチング処理で用いるための、前記複数の制御無し発光強度の値（ｄ４）を計算する第３の処理工程と、を有し、

前記第１～第３の処理工程を各ウェハのエッチング処理で繰り返し実行する制御により、前記複数のアクチュエータ値Ｘを調整し、前記複数の波長の発光強度値Ｙを制御する、ことを特徴とする半導体装置製造方法。

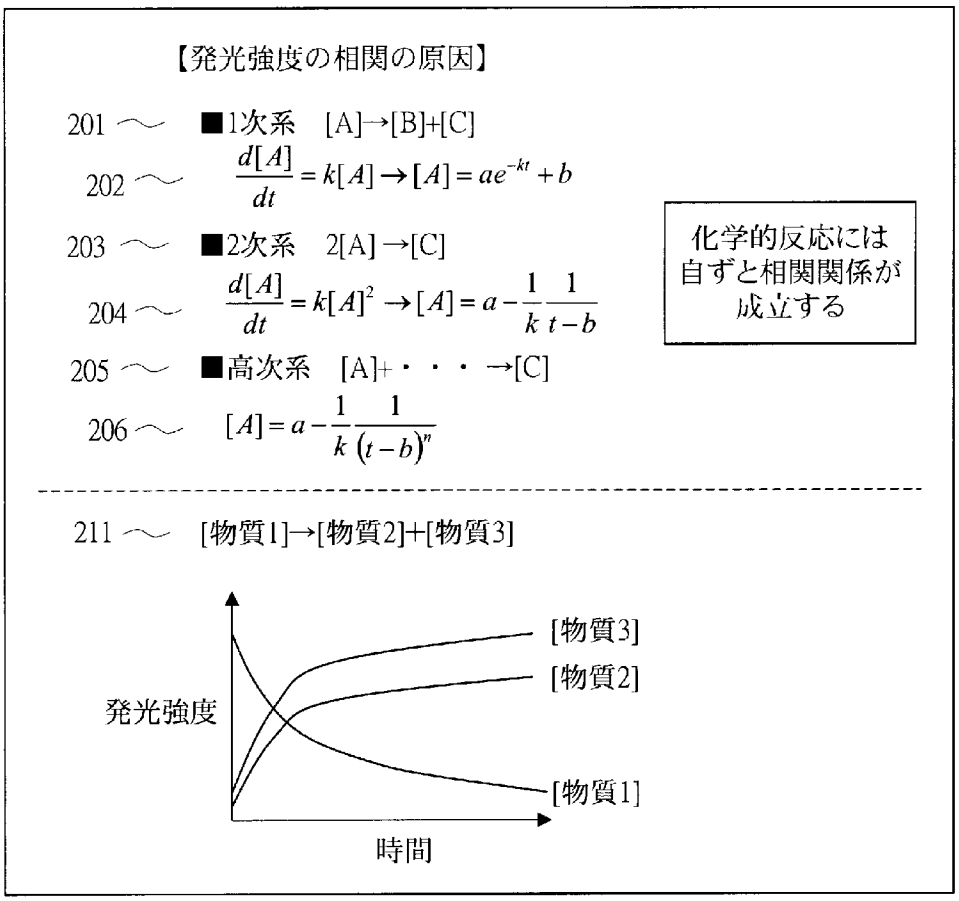
[図1]

図 1


<OES>
スペクトル
4000
3000
2000
1000
0
強度
100
300
500
700
900
波長[nm]
111
a：処理内容変更
101
102
103
波長[nm]
強度
大
小
時間[秒]
Cl(726nm)
121
CN(357nm)
122

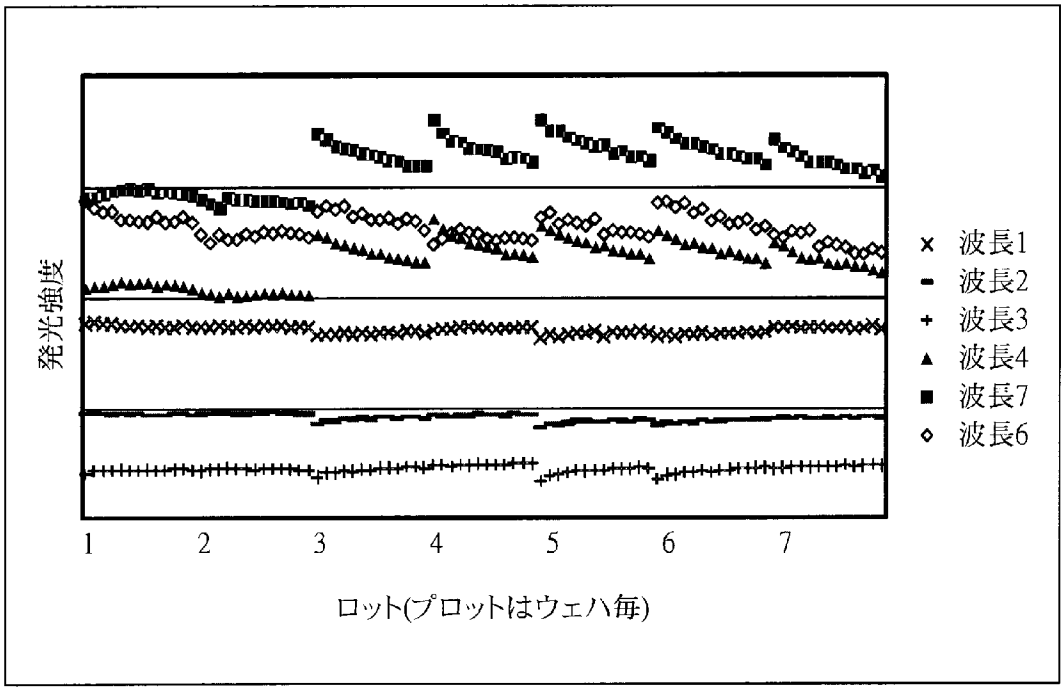
[図2]

図 2


【発光強度の相関の原因】
201 ■1次系 [A]→[B]+[C]
202 $\frac{d[A]}{dt} = k[A] \rightarrow [A] = ae^{-kt} + b$
203 ■2次系 2[A]→[C]
204 $\frac{d[A]}{dt} = k[A]^2 \rightarrow [A] = a - \frac{1}{k}\frac{1}{t-b}$
205 ■高次系 [A]+・・・→[C]
206 $[A] = a - \frac{1}{k}\frac{1}{(t-b)^n}$
化学的反応には自ずと相関関係が成立する
211 [物質1]→[物質2]+[物質3]
[物質3]
[物質2]
[物質1]
発光強度
時間

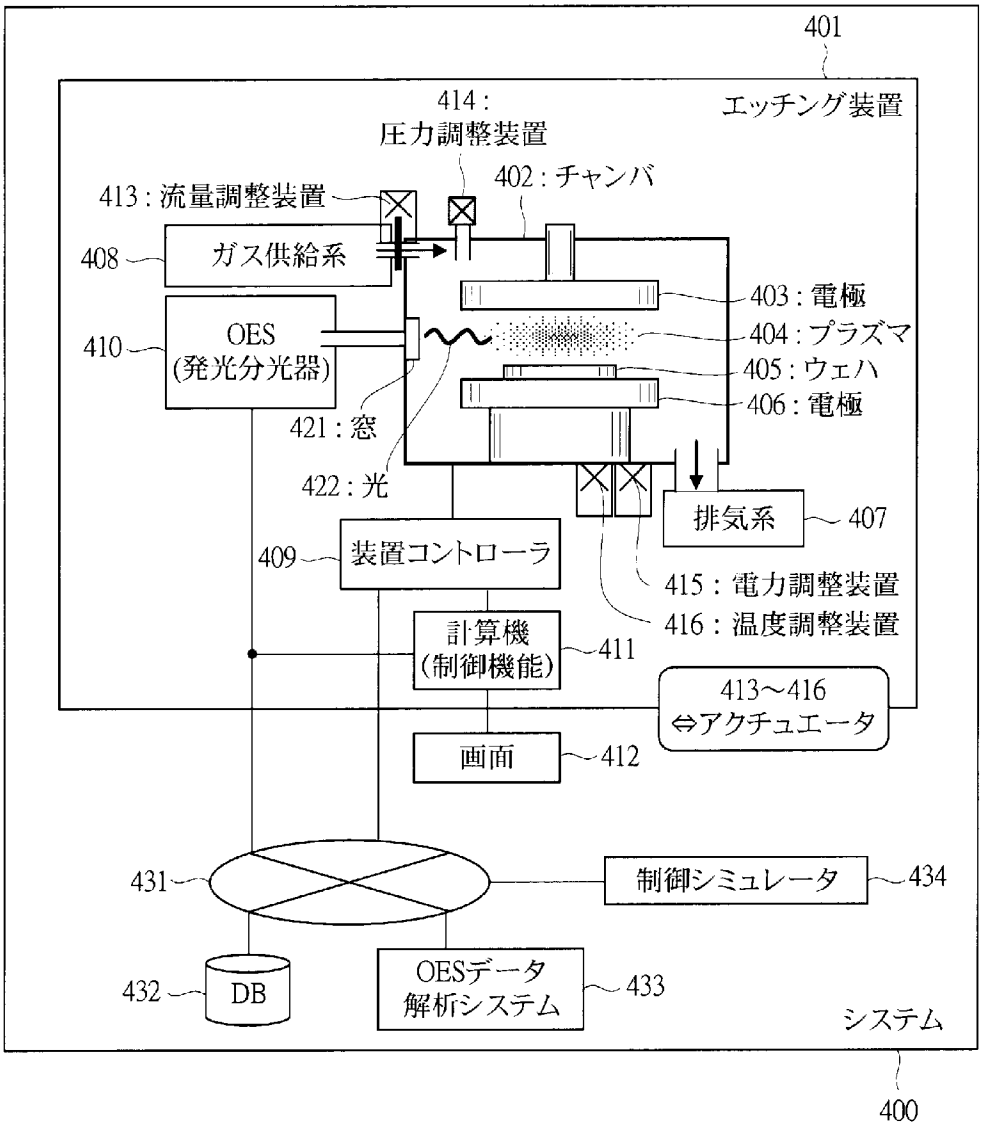
[図3]

図 3



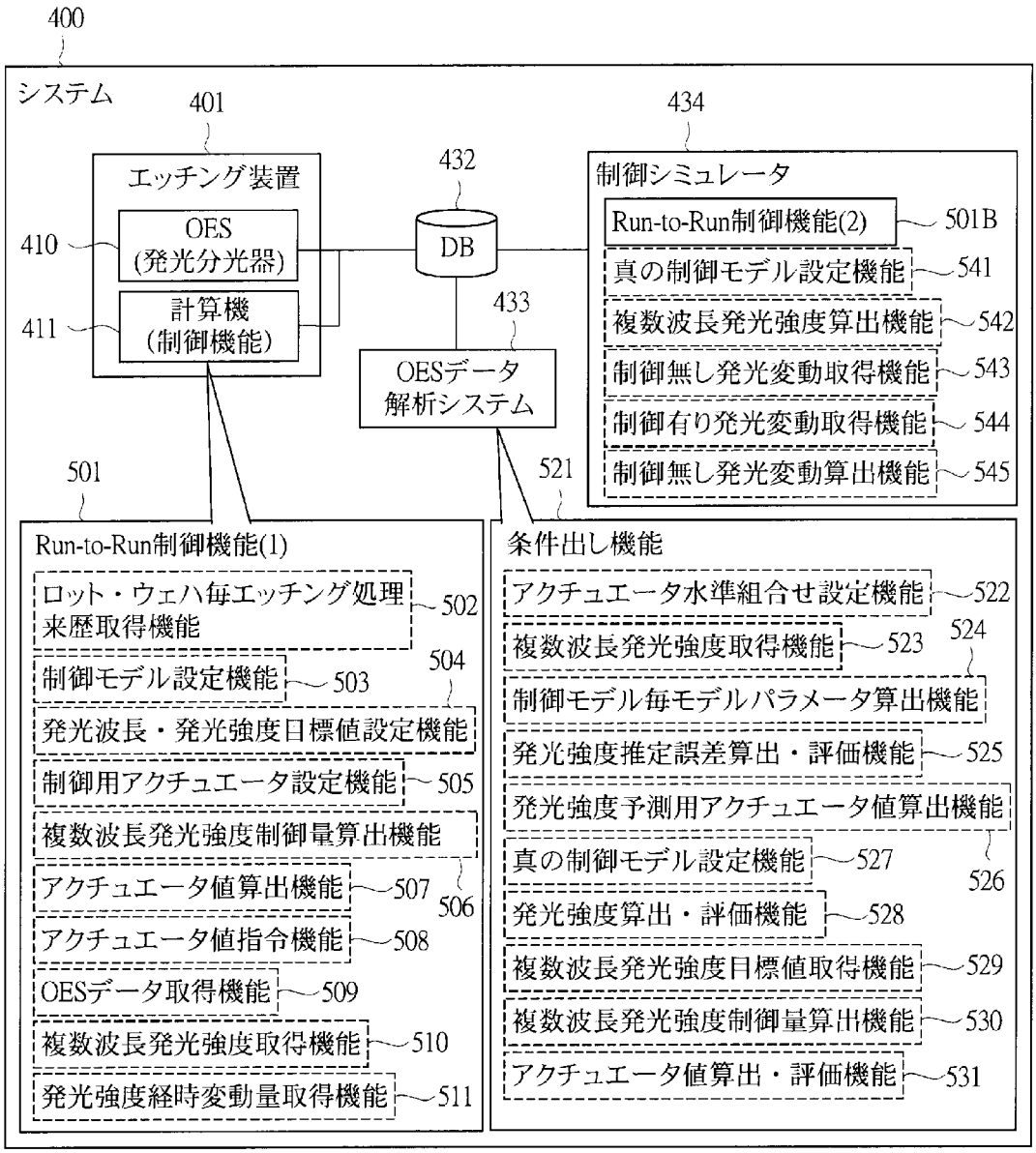
[図4]

図 4


401
エッチング装置
414：
圧力調整装置
402：チャンバ
413：流量調整装置
408
ガス供給系
403：電極
410
OES
(発光分光器)
404：プラズマ
405：ウェハ
406：電極
421：窓
422：光
排気系
407
409
装置コントローラ
415：電力調整装置
416：温度調整装置
計算機
(制御機能)
411
413～416
⇔アクチュエータ
画面
412
431
制御シミュレータ
434
432
DB
OESデータ
解析システム
433
システム
400

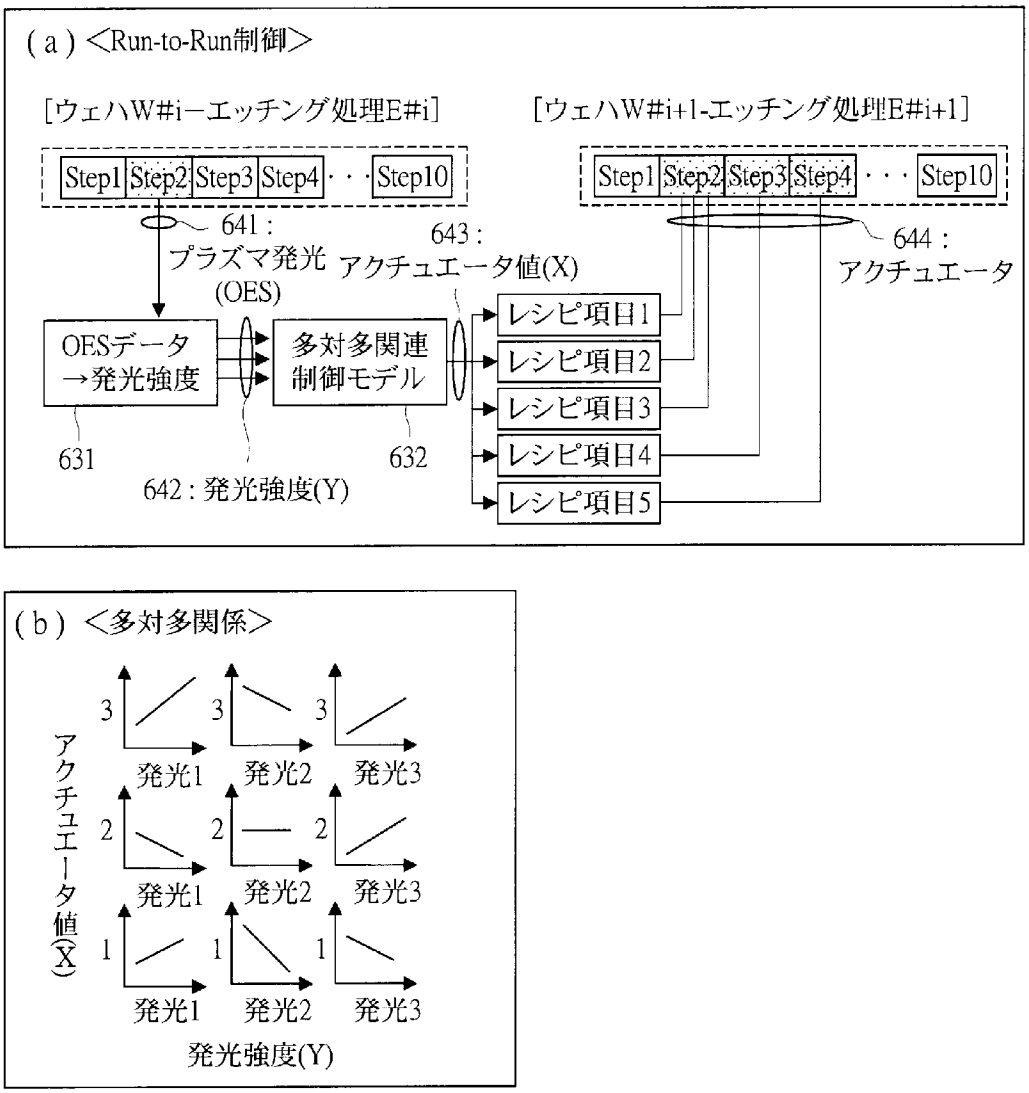
[図5]

図 5


400
システム
401
エッチング装置
410
OES
(発光分光器)
411
計算機
(制御機能)
432
DB
433
OESデータ
解析システム
434
制御シミュレータ
Run-to-Run制御機能(2)
501B
真の制御モデル設定機能
541
複数波長発光強度算出機能
542
制御無し発光変動取得機能
543
制御有り発光変動取得機能
544
制御無し発光変動算出機能
545
501
Run-to-Run制御機能(1)
ロット・ウェハ毎エッチング処理
来歴取得機能
502
制御モデル設定機能
503
504
発光波長・発光強度目標値設定機能
制御用アクチュエータ設定機能
505
複数波長発光強度制御量算出機能
アクチュエータ値算出機能
507
506
アクチュエータ値指令機能
508
OESデータ取得機能
509
複数波長発光強度取得機能
510
発光強度経時変動量取得機能
511
521
条件出し機能
アクチュエータ水準組合せ設定機能
522
複数波長発光強度取得機能
523
524
制御モデル毎モデルパラメータ算出機能
発光強度推定誤差算出・評価機能
525
発光強度予測用アクチュエータ値算出機能
真の制御モデル設定機能
527
526
発光強度算出・評価機能
528
複数波長発光強度目標値取得機能
529
複数波長発光強度制御量算出機能
530
アクチュエータ値算出・評価機能
531

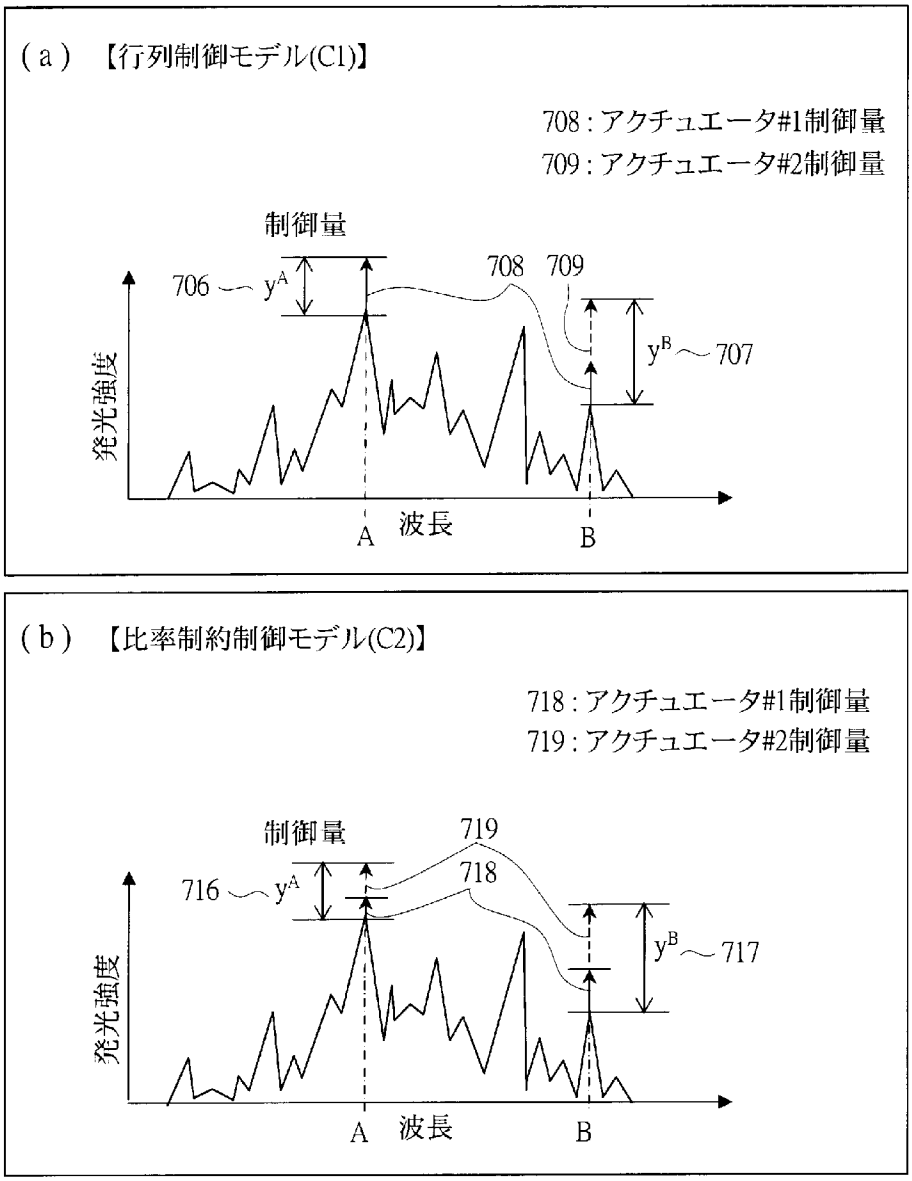
[図6]

図 6


(a) <Run-to-Run制御>
[ウェハW#i−エッチング処理E#i]
[ウェハW#i+1-エッチング処理E#i+1]
Step1 Step2 Step3 Step4 ・・・ Step10
Step1 Step2 Step3 Step4 ・・・ Step10
641 : プラズマ発光 (OES)
643 : アクチュエータ値(X)
644 : アクチュエータ
OESデータ →発光強度
多対多関連 制御モデル
レシピ項目1
レシピ項目2
レシピ項目3
レシピ項目4
レシピ項目5
631
632
642 : 発光強度(Y)
(b) <多対多関係>
アクチュエータ値(X)
3
2
1
発光1
発光2
発光3
発光強度(Y)

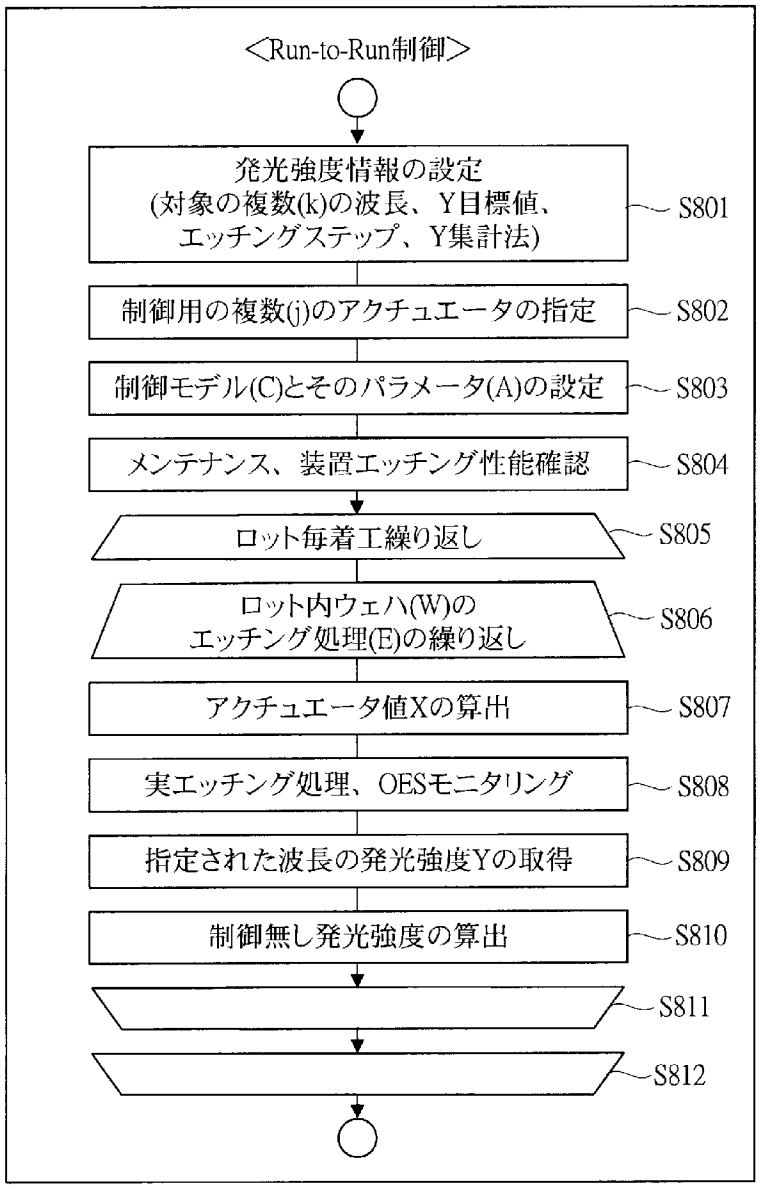
[図7]

図 7


(a) 【行列制御モデル(C1)】
708 : アクチュエータ#1制御量
709 : アクチュエータ#2制御量
制御量
706
y^A
708
709
y^B
707
発光強度
A
波長
B
(b) 【比率制約制御モデル(C2)】
718 : アクチュエータ#1制御量
719 : アクチュエータ#2制御量
制御量
719
718
716
y^A
y^B
717
発光強度
A
波長
B

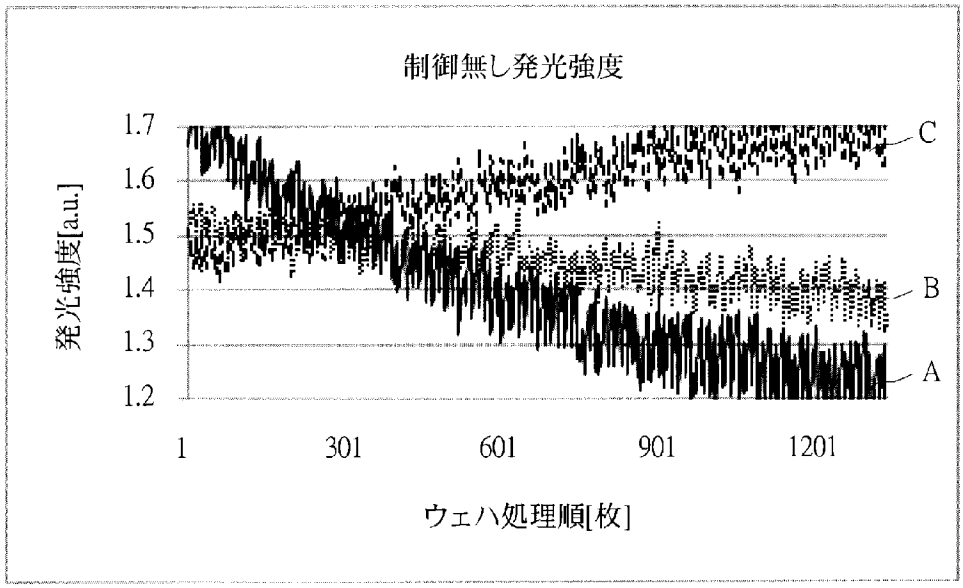
[図8]

図 8


<Run-to-Run制御>
発光強度情報の設定
(対象の複数(k)の波長、Y目標値、
エッチングステップ、Y集計法)
S801
制御用の複数(j)のアクチュエータの指定
S802
制御モデル(C)とそのパラメータ(A)の設定
S803
メンテナンス、装置エッチング性能確認
S804
ロット毎着工繰り返し
S805
ロット内ウェハ(W)の
エッチング処理(E)の繰り返し
S806
アクチュエータ値Xの算出
S807
実エッチング処理、OESモニタリング
S808
指定された波長の発光強度Yの取得
S809
制御無し発光強度の算出
S810
S811
S812

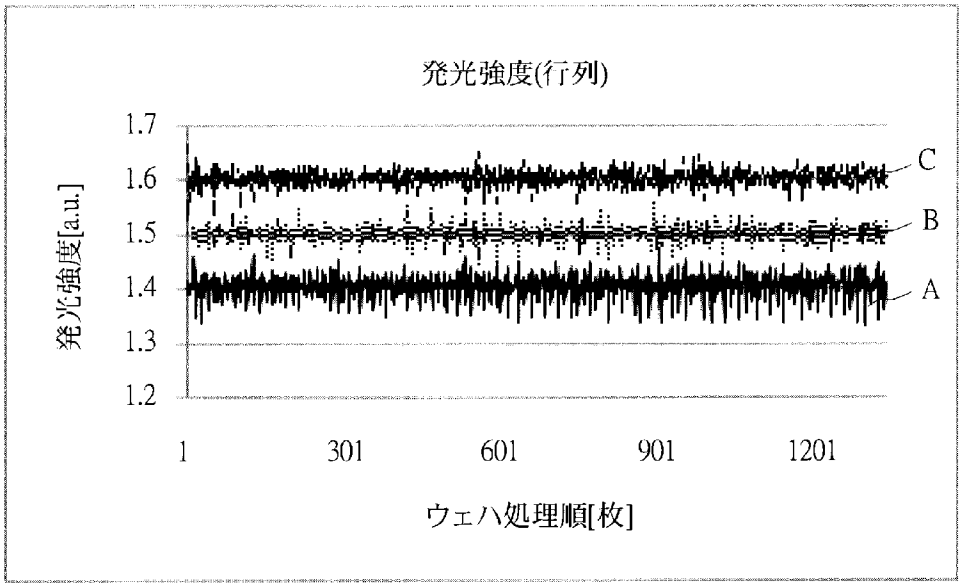
[図9]

図 9


制御無し発光強度
発光強度[a.u.]
1.7
1.6
1.5
1.4
1.3
1.2
1
301
601
901
1201
ウェハ処理順[枚]
C
B
A

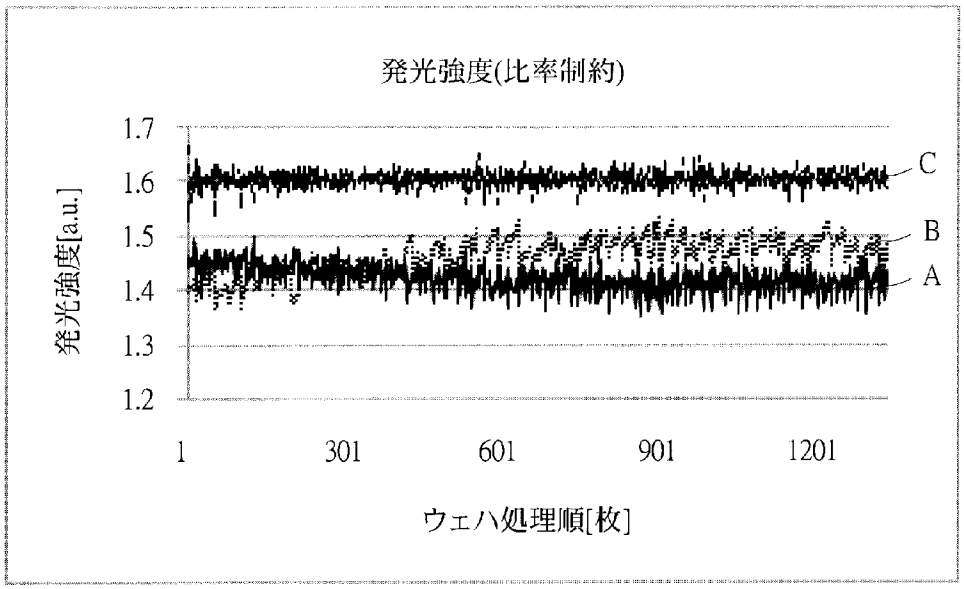
[図10]

図 10



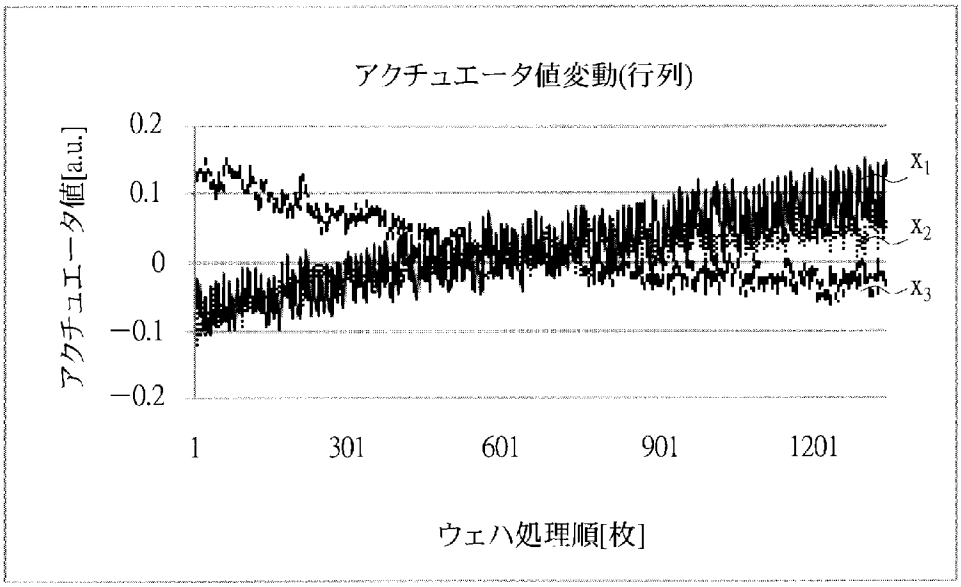
[図11]

図 11


発光強度(比率制約)
発光強度[a.u.]
1.7
1.6
1.5
1.4
1.3
1.2
C
B
A
1
301
601
901
1201
ウェハ処理順[枚]

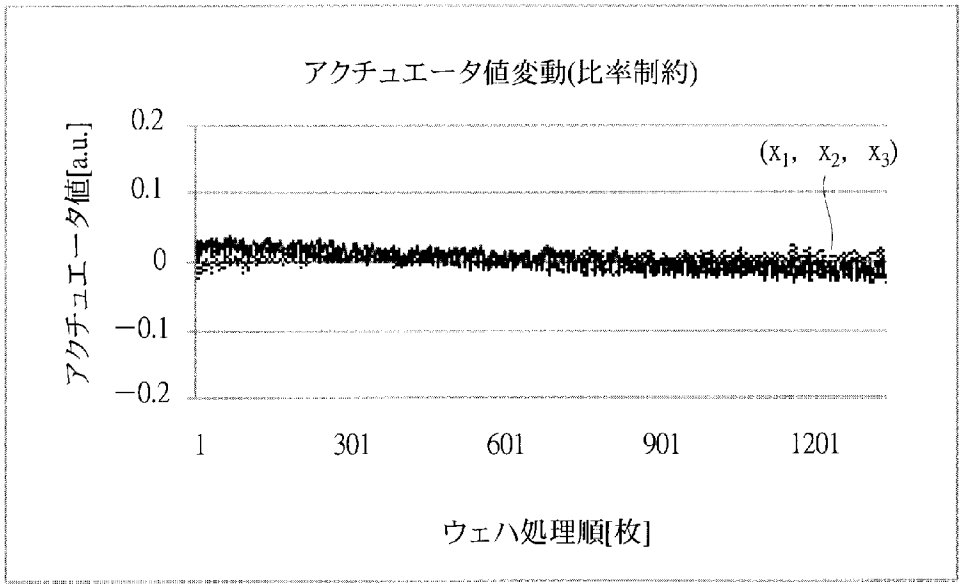
[図12]

図 12


アクチュエータ値変動(行列)
アクチュエータ値[a.u.]
0.2
0.1
0
−0.1
−0.2
1
301
601
901
1201
ウェハ処理順[枚]
X1
X2
X3

[図13]

図 13



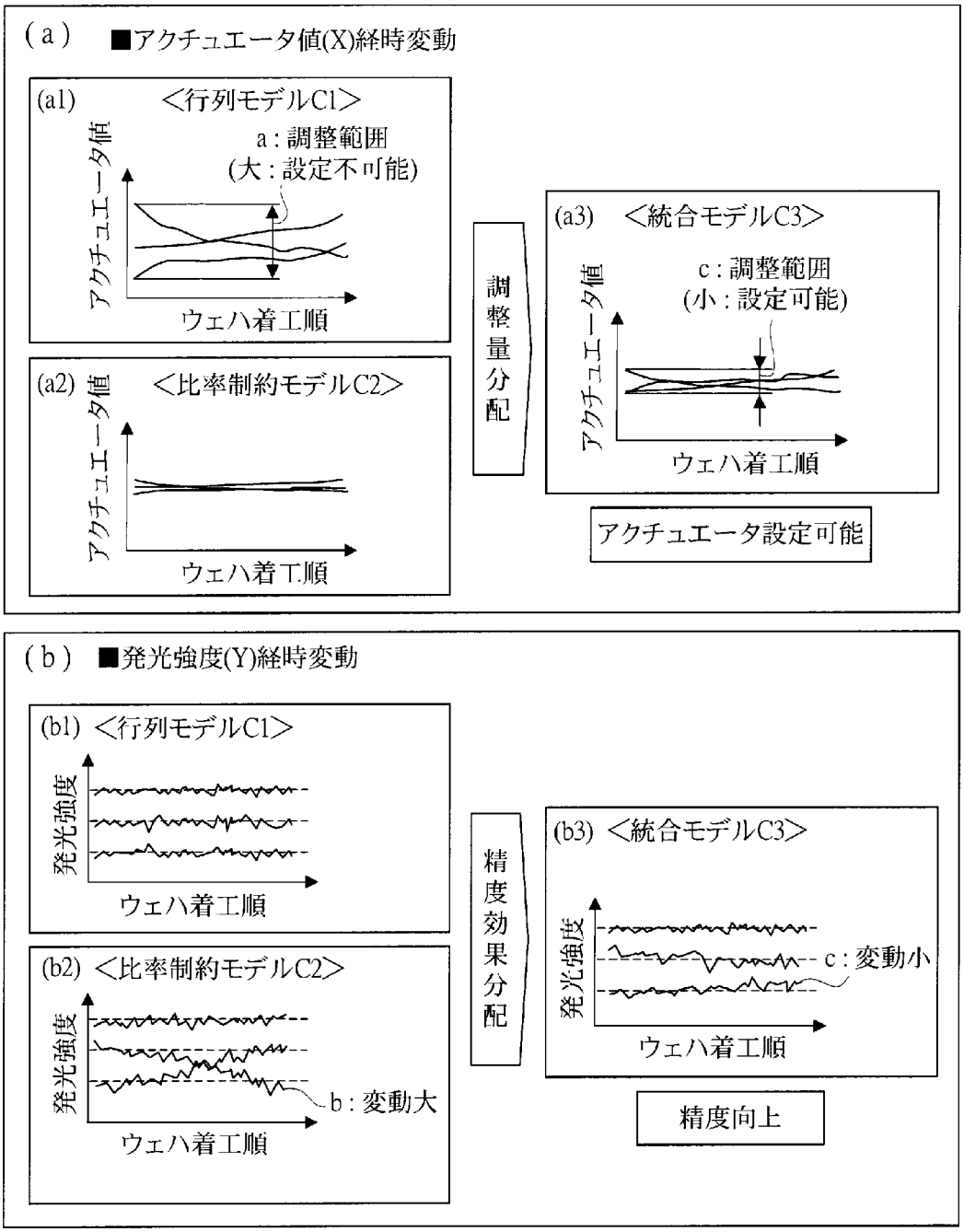
[図14]

図 14

方法 (制御モデル)	特長	狙い	パラメータ 設定	アクチュエータ値	発光制御性
行列	各アクチュエータで個別発光を制御	微調整も可能	重回帰分析	変動大 (ランク落ちのリスク有り)	良好
比率制約	アクチュエータに発光制御量を分配	化学反応指向	PLS回帰分析	変動小 (設定容易)	やや悪い

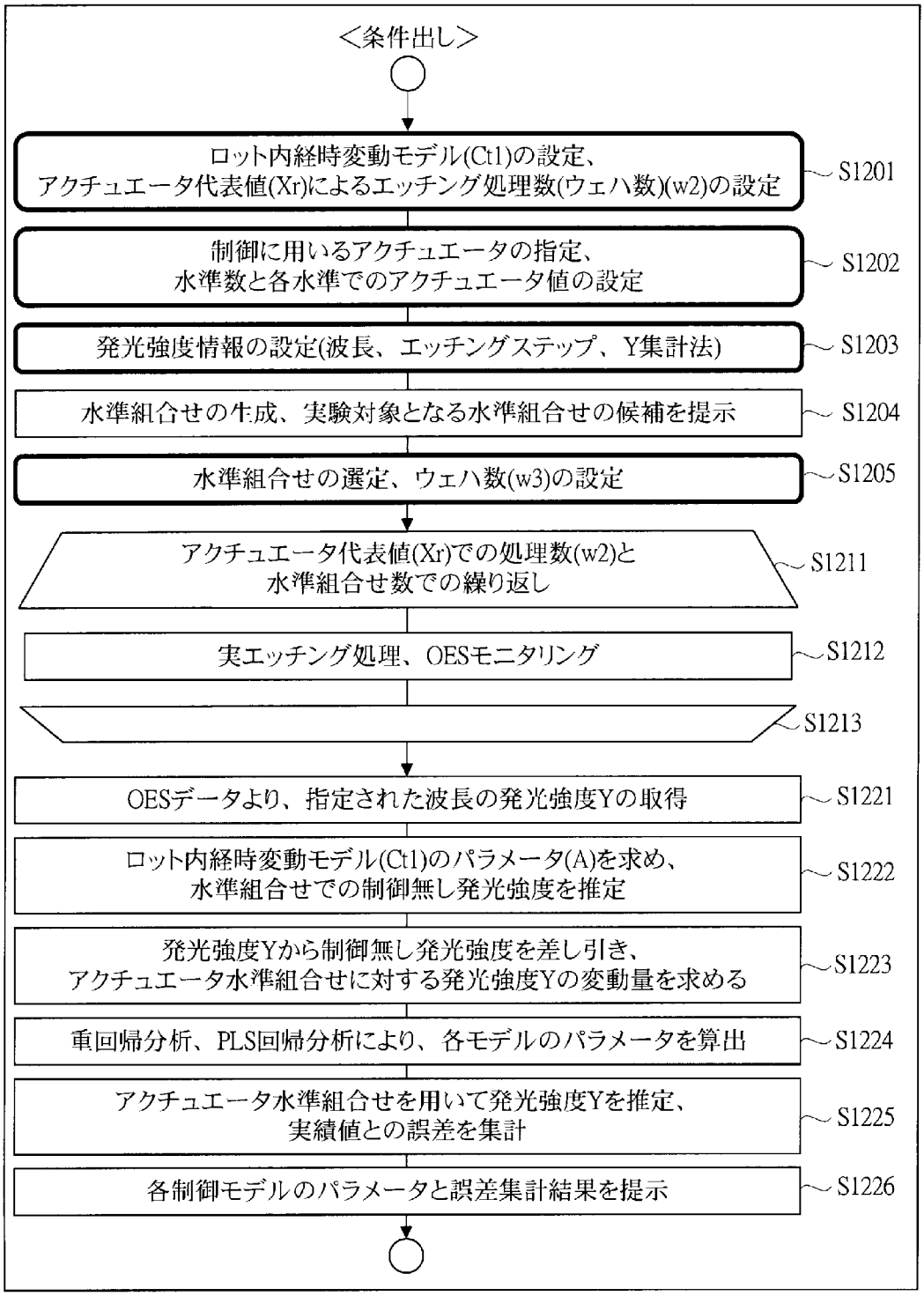
[図15]

図 15


(a) ■アクチュエータ値(X)経時変動
(a1) <行列モデルC1>
a:調整範囲
(大:設定不可能)
アクチュエータ値
ウェハ着工順
(a2) <比率制約モデルC2>
アクチュエータ値
ウェハ着工順
調整量分配
(a3) <統合モデルC3>
c:調整範囲
(小:設定可能)
アクチュエータ値
ウェハ着工順
アクチュエータ設定可能
(b) ■発光強度(Y)経時変動
(b1) <行列モデルC1>
発光強度
ウェハ着工順
(b2) <比率制約モデルC2>
発光強度
b:変動大
ウェハ着工順
精度効果分配
(b3) <統合モデルC3>
発光強度
c:変動小
ウェハ着工順
精度向上

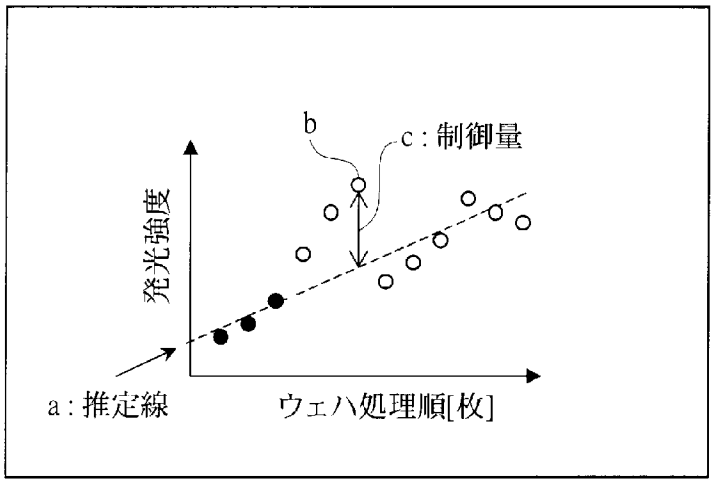
[図16]

図 16


<条件出し>
ロット内経時変動モデル(Ct1)の設定、
アクチュエータ代表値(Xr)によるエッチング処理数(ウェハ数)(w2)の設定
S1201
制御に用いるアクチュエータの指定、
水準数と各水準でのアクチュエータ値の設定
S1202
発光強度情報の設定(波長、エッチングステップ、Y集計法)
S1203
水準組合せの生成、実験対象となる水準組合せの候補を提示
S1204
水準組合せの選定、ウェハ数(w3)の設定
S1205
アクチュエータ代表値(Xr)での処理数(w2)と
水準組合せ数での繰り返し
S1211
実エッチング処理、OESモニタリング
S1212
S1213
OESデータより、指定された波長の発光強度Yの取得
S1221
ロット内経時変動モデル(Ct1)のパラメータ(A)を求め、
水準組合せでの制御無し発光強度を推定
S1222
発光強度Yから制御無し発光強度を差し引き、
アクチュエータ水準組合せに対する発光強度Yの変動量を求める
S1223
重回帰分析、PLS回帰分析により、各モデルのパラメータを算出
S1224
アクチュエータ水準組合せを用いて発光強度Yを推定、
実績値との誤差を集計
S1225
各制御モデルのパラメータと誤差集計結果を提示
S1226

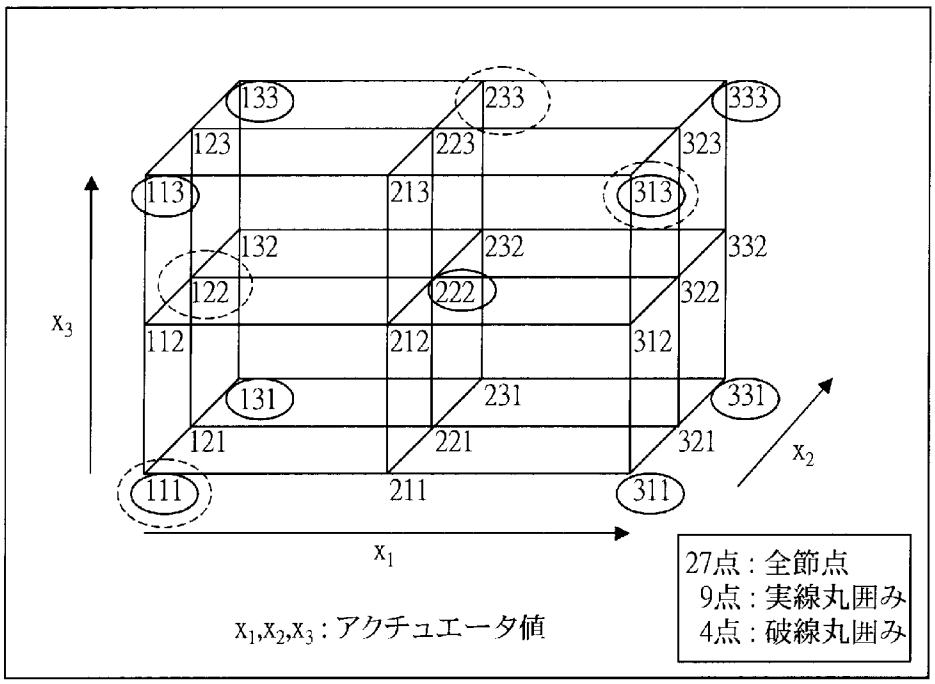
[図17]

図 17



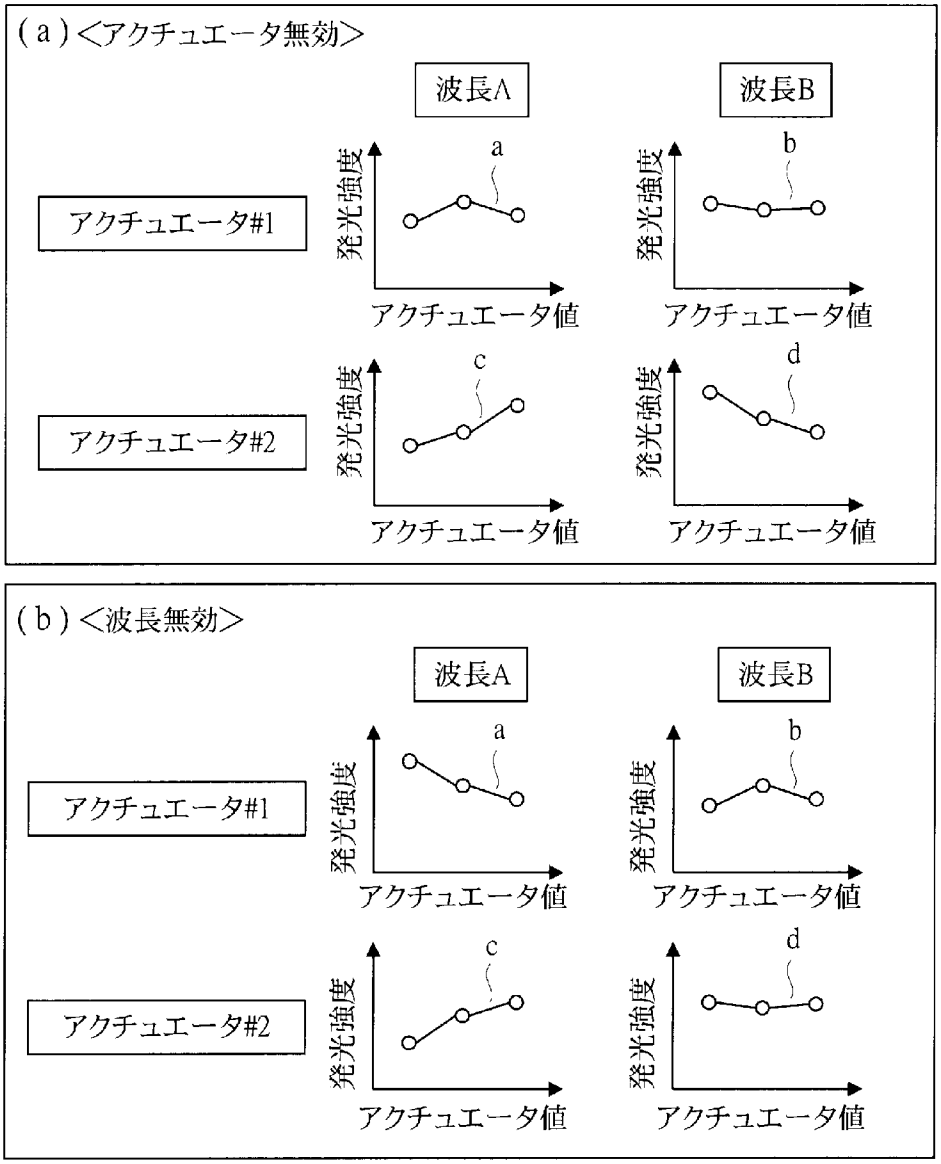
[図18]

図 18



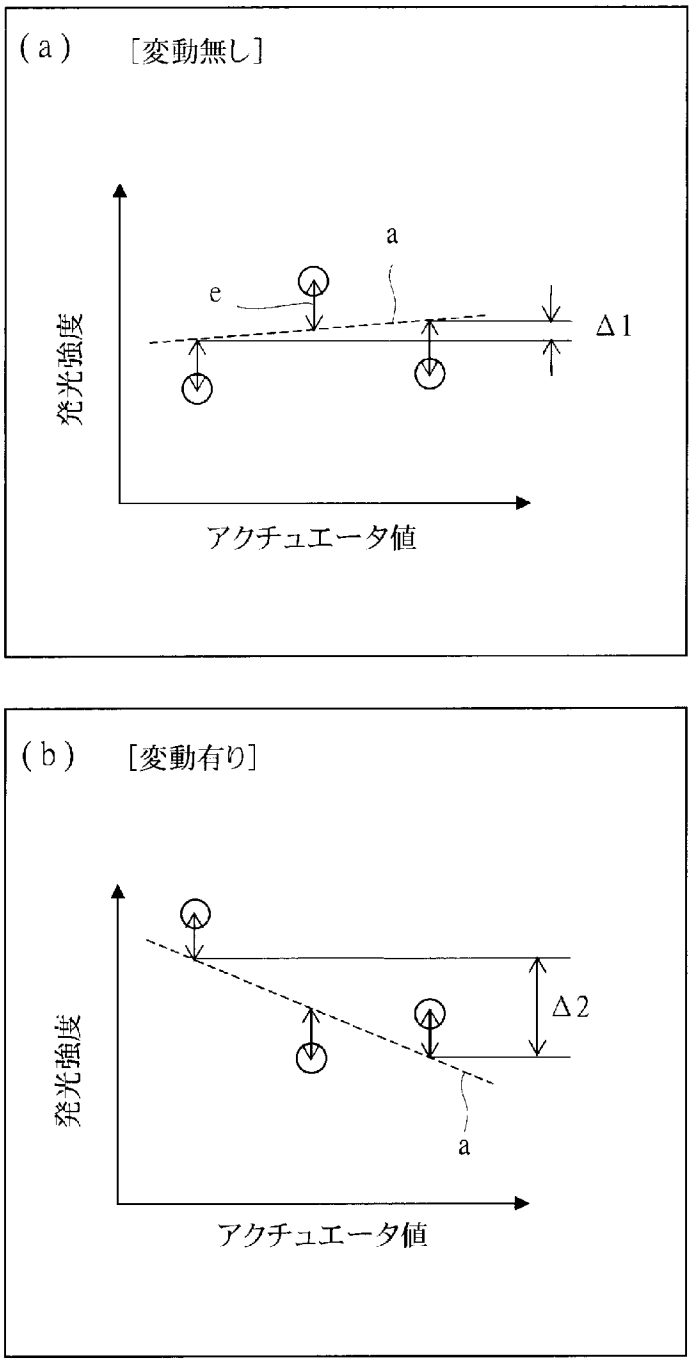
[図19]

図 19


(a)<アクチュエータ無効>
波長A
波長B
アクチュエータ#1
アクチュエータ#2
発光強度
アクチュエータ値
a
b
c
d
(b)<波長無効>
波長A
波長B
アクチュエータ#1
アクチュエータ#2
発光強度
アクチュエータ値
a
b
c
d

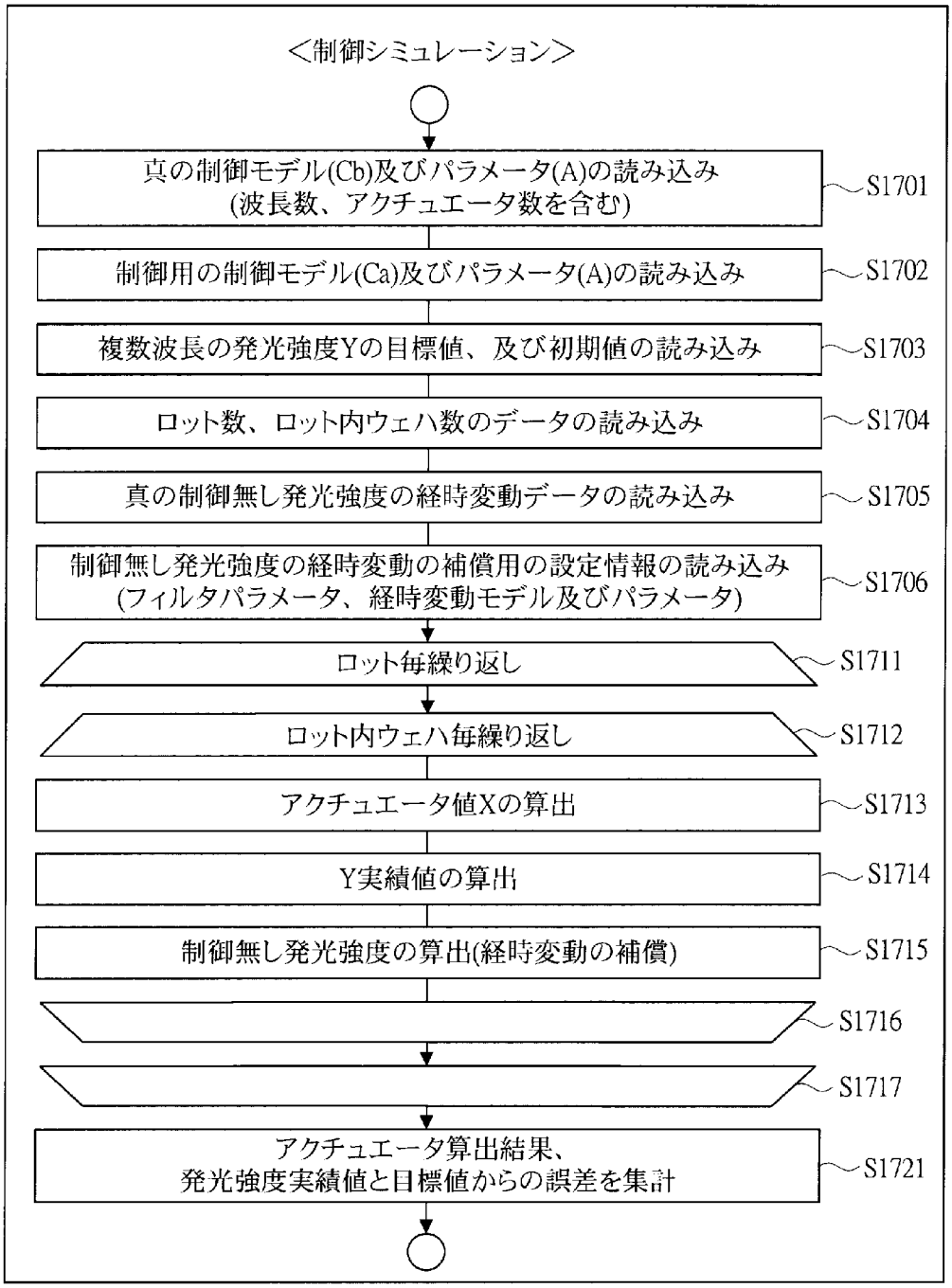
[図20]

図 20



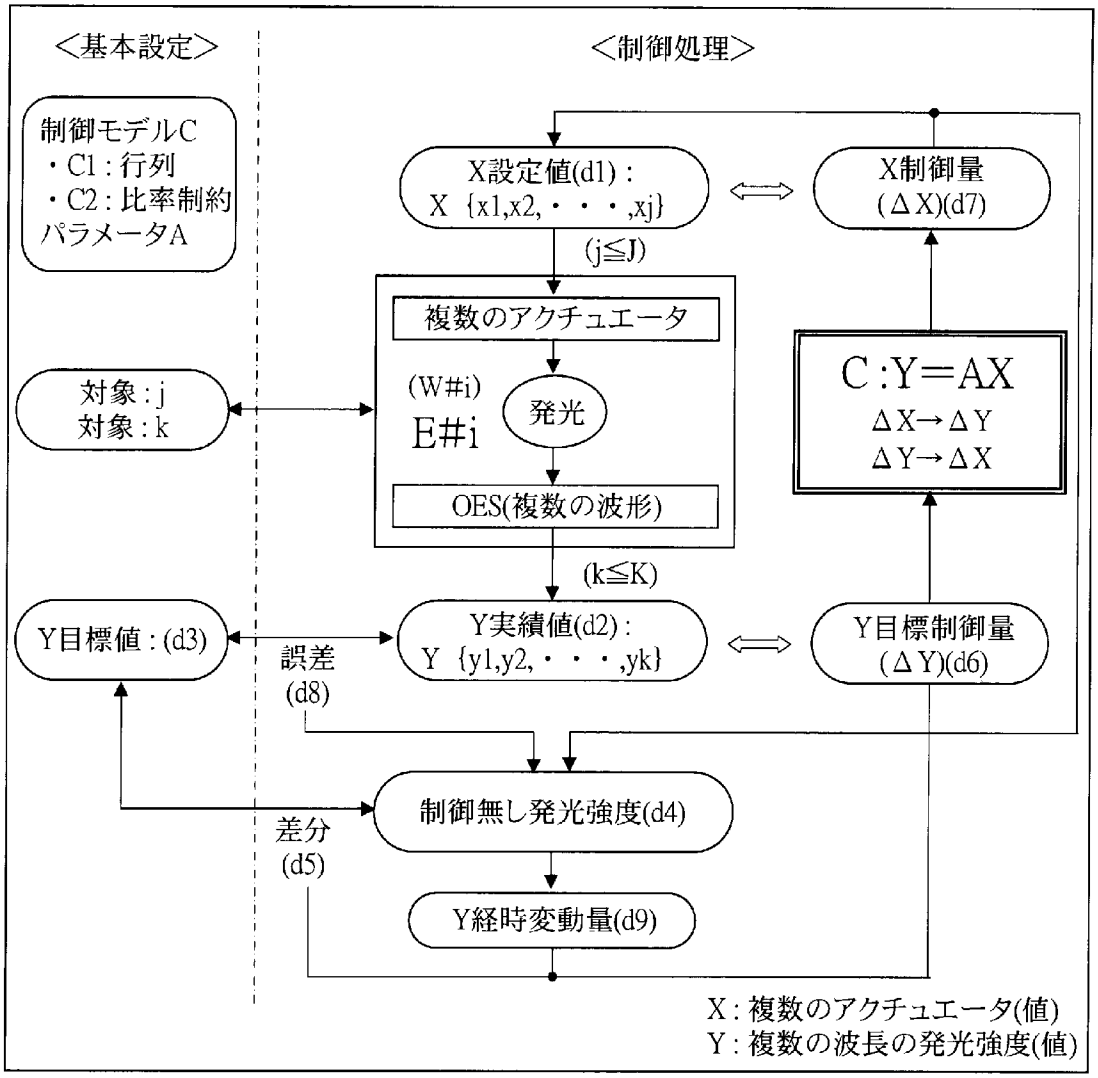
[図21]

図 21


<制御シミュレーション>
真の制御モデル(Cb)及びパラメータ(A)の読み込み
(波長数、アクチュエータ数を含む)
S1701
制御用の制御モデル(Ca)及びパラメータ(A)の読み込み
S1702
複数波長の発光強度Yの目標値、及び初期値の読み込み
S1703
ロット数、ロット内ウェハ数のデータの読み込み
S1704
真の制御無し発光強度の経時変動データの読み込み
S1705
制御無し発光強度の経時変動の補償用の設定情報の読み込み
(フィルタパラメータ、経時変動モデル及びパラメータ)
S1706
ロット毎繰り返し
S1711
ロット内ウェハ毎繰り返し
S1712
アクチュエータ値Xの算出
S1713
Y実績値の算出
S1714
制御無し発光強度の算出(経時変動の補償)
S1715
S1716
S1717
アクチュエータ算出結果、
発光強度実績値と目標値からの誤差を集計
S1721

[図22]

図 22


<基本設定>
<制御処理>
制御モデルC
・C1：行列
・C2：比率制約
パラメータA
X設定値(d1)：
X {x1,x2,・・・,xj}
(j≦J)
X制御量
(ΔX)(d7)
複数のアクチュエータ
(W#i)
E#i
発光
OES(複数の波形)
C：Y＝AX
ΔX→ΔY
ΔY→ΔX
対象：j
対象：k
(k≦K)
Y目標値：(d3)
Y実績値(d2)：
Y {y1,y2,・・・,yk}
Y目標制御量
(ΔY)(d6)
誤差
(d8)
制御無し発光強度(d4)
差分
(d5)
Y経時変動量(d9)
X：複数のアクチュエータ(値)
Y：複数の波長の発光強度(値)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2010/071733

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01L21/3065(2006.01)i, *H01L21/02*(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

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	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2002-9059 A (Hitachi, Ltd.), 11 January 2002 (11.01.2002), paragraphs [0017] to [0062] (Family: none)	1,2,6,18,19, 21
A	JP 2007-535169 A (Tokyo Electron Ltd.), 29 November 2007 (29.11.2007), paragraphs [0012] to [0053] & US 2005/0241669 A1 & WO 2005/111265 A1 & TW 290743 B	3-5,7-17,20
A	JP 2004-119851 A (Hitachi High-Technologies Corp.), 15 April 2004 (15.04.2004), paragraphs [0022] to [0076] (Family: none)	3-5,7-17,20

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
09 February, 2011 (09.02.11)	22 February, 2011 (22.02.11)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１０／０７１７３３

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

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

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	１９７１－２０１１年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１１年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１１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 2002-9059 A (株式会社日立製作所) 2002.01.11, 【0017】～【0062】 (ファミリーなし)	1,2,6,18,19,21
A	JP 2007-535169 A (東京エレクトロン株式会社) 2007.11.29, 【0012】～【0053】 & US 2005/0241669 A1 & WO 2005/111265 A1 & TW 290743 B	3-5,7-17,20
A	JP 2004-119851 A (株式会社日立ハイテクノロジーズ) 2004.04.15, 【0022】～【0076】 (ファミリーなし)	3-5,7-17,20

☐　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー

「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「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	国際調査報告の発送日
０９．０２．２０１１	２２．０２．２０１１

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　４Ｒ　９０５５
今井　淳一
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３４７１