

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7241663号
(P7241663)

(45)発行日 令和5年3月17日(2023.3.17)

(24)登録日 令和5年3月9日(2023.3.9)

(51)国際特許分類	F I
H 0 1 L 21/31 (2006.01)	H 0 1 L 21/31 C
H 0 1 L 21/02 (2006.01)	H 0 1 L 21/02 Z
C 2 3 C 16/52 (2006.01)	C 2 3 C 16/52

請求項の数 13 (全24頁)

(21)出願番号	特願2019-200139(P2019-200139)	(73)特許権者	000219967 東京エレクトロン株式会社 東京都港区赤坂五丁目3番1号
(22)出願日	令和1年11月1日(2019.11.1)	(74)代理人	100107766 弁理士 伊東 忠重
(65)公開番号	特開2021-72422(P2021-72422A)	(74)代理人	100070150 弁理士 伊東 忠彦
(43)公開日	令和3年5月6日(2021.5.6)	(72)発明者	山崎 翔太 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京 エレクトロン テクノロジーソリューシ ョンズ株式会社内
審査請求日	令和4年4月15日(2022.4.15)	(72)発明者	竹永 裕一 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京 エレクトロン テクノロジーソリューシ ョンズ株式会社内
		最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 情報処理装置、情報処理方法、情報処理プログラム及び半導体製造装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数のプラズマ源を有する成膜装置の各プラズマ源の出力を所定量変更して成膜処理を行った場合の、第1のウェハの各位置での膜厚または屈折率の変化量を規定した第1の膜厚モデルまたは第1の屈折率モデルを格納する格納部と、

第2のウェハの各位置での膜厚の目標値または屈折率の目標値を実現するための、前記各プラズマ源の出力の補正值を、前記第1の膜厚モデルまたは前記第1の屈折率モデルに基づいて算出する算出部と

を有する情報処理装置。

【請求項2】

前記算出部は、前記第2のウェハの各位置での膜厚または屈折率と、前記第2のウェハの各位置での膜厚の目標値または前記屈折率の目標値との差分である膜厚残差または屈折率残差を算出し、前記膜厚残差または屈折率残差と前記第1の膜厚モデルまたは前記第1の屈折率モデルとに基づいて、前記各プラズマ源の出力の補正值を算出する、請求項1に記載の情報処理装置。

【請求項3】

前記算出部は、

学習機能を用いて前記膜厚残差または前記屈折率残差の真値を推定し、

推定した前記膜厚残差または前記屈折率残差の真値に基づいて、前記各プラズマ源の出力の補正值を算出する、請求項2に記載の情報処理装置。

【請求項 4】

前記算出部により算出された補正值を用いて成膜処理を行った場合の、前記膜厚残差または前記屈折率残差の真値が小さくなるように、前記補正值を算出する、請求項 3 に記載の情報処理装置。

【請求項 5】

前記算出部は、前記第 2 のウェハの各位置での初期膜厚または初期屈折率と、前記第 1 の膜厚モデルまたは前記第 1 の屈折率モデルと、前記各プラズマ源の出力の補正值と、に基づいて、前記各プラズマ源の出力の補正值が適用されたプロセス条件のもとで成膜処理が行われた場合の、前記第 2 のウェハの各位置での予測膜厚または予測屈折率を算出する、請求項 4 に記載の情報処理装置。

10

【請求項 6】

前記算出部は、前記第 2 のウェハの各位置での予測膜厚または予測屈折率を、カラーマップにより可視化する、請求項 5 に記載の情報処理装置。

【請求項 7】

前記第 2 のウェハに対して成膜処理が行われた際に用いられた、現状のレシピに含まれる所定のプロセス条件に、前記算出部により算出された各プラズマ源の出力の補正值を適用することで、新たなレシピを生成する生成部を更に有する、請求項 4 に記載の情報処理装置。

【請求項 8】

前記格納部は、プラズマ源の数に応じた数の前記第 1 の膜厚モデルまたは前記第 1 の屈折率モデルを格納する、請求項 1 に記載の情報処理装置。

20

【請求項 9】

前記格納部は、更に、前記成膜装置の各ガス流路のプラズマガスの流量を所定量変更して成膜処理を行った場合の、前記第 1 のウェハの各位置での膜厚または屈折率の変化量を規定した第 2 の膜厚モデルまたは第 2 の屈折率モデルを格納し、

前記算出部は、前記第 2 のウェハの各位置での膜厚の目標値または屈折率の目標値を実現するための、前記各プラズマ源の出力の補正值及び前記各ガス流路のプラズマガスの流量の補正值を、前記第 1 の膜厚モデルまたは前記第 1 の屈折率モデルと、前記第 2 の膜厚モデルまたは前記第 2 の屈折率モデルとに基づいて算出する、請求項 1 に記載の情報処理装置。

30

【請求項 10】

前記格納部は、ガス流路の数に応じた数の前記第 2 の膜厚モデルまたは前記第 2 の屈折率モデルを格納する、請求項 9 に記載の情報処理装置。

【請求項 11】

複数のプラズマ源を有する成膜装置の各プラズマ源の出力を所定量変更して成膜処理を行った場合の、第 1 のウェハの各位置での膜厚または屈折率の変化量を規定した膜厚モデルまたは屈折率モデルを生成する工程と、

第 2 のウェハの各位置での膜厚の目標値または屈折率の目標値を実現するための、前記各プラズマ源の出力の補正值を、前記膜厚モデルまたは前記屈折率モデルに基づいて算出する工程と

40

を有する情報処理方法。

【請求項 12】

複数のプラズマ源を有する成膜装置の各プラズマ源の出力を所定量変更して成膜処理を行った場合の、第 1 のウェハの各位置での膜厚または屈折率の変化量を規定した膜厚モデルまたは屈折率モデルを生成する工程と、

第 2 のウェハの各位置での膜厚の目標値または屈折率の目標値を実現するための、前記各プラズマ源の出力の補正值を、前記膜厚モデルまたは前記屈折率モデルに基づいて算出する工程と

をコンピュータに実行させるための情報処理プログラム。

【請求項 13】

50

請求項 1 2 に記載の情報処理プログラムが組み込まれた記憶部を有する半導体製造装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【 0 0 0 1 】

本発明は、情報処理装置、情報処理方法、情報処理プログラム及び半導体製造装置に関する。

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

一般に、成膜装置において、所望の膜厚（または屈折率）を実現する新たなレシピを生成する場合、作業者は、ウェハの表面状態（膜厚、屈折率）を逐次確認しながら成膜装置のプロセス条件を調整し、成膜処理を行うことでプロセス条件の最適化を図る。

10

【 0 0 0 3 】

一方で、複数のプラズマ源を有する成膜装置の場合、全てのプラズマ源の出力を最適化する作業は作業者にとって負荷が高く、また、これらの作業は、作業者のノウハウに依存するところが多い。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 4 】

【文献】特開 2 0 0 8 - 9 1 8 2 6 号公報

【発明の概要】

20

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 5 】

本開示は、複数のプラズマ源の出力を最適化する作業を支援する情報処理装置、情報処理方法、情報処理プログラム及び半導体製造装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

一態様によれば、情報処理装置は、
複数のプラズマ源を有する成膜装置の各プラズマ源の出力を所定量変更して成膜処理を行った場合の、第 1 のウェハの各位置での膜厚または屈折率の変化量を規定した膜厚モデルまたは屈折率モデルを格納する格納部と、
第 2 のウェハの各位置での膜厚の目標値または屈折率の目標値を実現するための、前記各プラズマ源の出力の補正值を、前記膜厚モデルまたは前記屈折率モデルに基づいて算出する算出部とを有する。

30

【発明の効果】

【 0 0 0 7 】

本開示によれば、複数のプラズマ源の出力を最適化する作業を支援する情報処理装置、情報処理方法、情報処理プログラム及び半導体製造装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 8 】

【図 1】膜厚モデルまたは屈折率モデルを生成するフェーズにおける成膜システムのシステム構成の一例を示す図である。

40

【図 2】各プラズマ源の出力を最適化し、新レシピを生成するフェーズにおける成膜システムのシステム構成の一例を示す図である。

【図 3】複数のプラズマ源を有する成膜装置の内部構成の一例を示す図である。

【図 4】情報処理装置のハードウェア構成の一例を示す図である。

【図 5】モデル生成部の機能構成の一例を示す図である。

【図 6】膜厚モデル及び屈折率モデルを生成するモデル生成処理の流れを示すフローチャートの一例である。

【図 7】モデル生成処理においてモデル生成部が行う処理の具体例を示す第 1 の図である。

【図 8】モデル生成処理においてモデル生成部が行う処理の具体例を示す第 2 の図である。

50

【図 9】最適化部及びレシピ生成部の機能構成の一例を示す図である。

【図 10】最適化部における処理の詳細を説明するための図である。

【図 11A】新レシピ生成処理の流れを示すフローチャートである。

【図 11B】レシピ調整処理の流れを示すフローチャートである。

【図 12】新レシピ生成処理において最適化部が行う処理の具体例を示す第 1 の図である。

【図 13】新レシピ生成処理において最適化部が行う処理の具体例を示す第 2 の図である。

【図 14】新レシピ生成処理において最適化部が行う処理の具体例を示す第 3 の図である。

【図 15】新レシピによる成膜処理の結果を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

10

以下、各実施形態について添付の図面を参照しながら説明する。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した説明を省く。

【0010】

[第 1 の実施形態]

<成膜システムのシステム構成>

はじめに、第 1 の実施形態に係る成膜システムのシステム構成について説明する。第 1 の実施形態に係る成膜システムでは、複数の処理が 2 つのフェーズに分けて実行される。具体的には、膜厚モデルまたは屈折率モデルを生成するフェーズと、生成した膜厚モデルまたは屈折率モデルを用いて各プラズマ源の出力を最適化し、新レシピを生成するフェーズとに分けて実行される。

20

【0011】

そこで、以下では、

- ・膜厚モデルまたは屈折率モデルを生成するフェーズにおける成膜システムのシステム構成と、
- ・生成した膜厚モデルまたは屈折率モデルを用いて各プラズマ源の出力を最適化し、新レシピを生成するフェーズにおける成膜システムのシステム構成と、

に分けて説明する。

【0012】

(1) 膜厚モデルまたは屈折率モデルを生成するフェーズにおける成膜システムのシステム構成

30

はじめに、膜厚モデルまたは屈折率モデルを生成するフェーズにおける成膜システムのシステム構成について説明する。図 1 は、膜厚モデルまたは屈折率モデルを生成するフェーズにおける成膜システムのシステム構成の一例を示す図である。図 1 に示すように、成膜システム 100 は、成膜装置 110、膜厚測定装置 120、屈折率測定装置 130、情報処理装置 140 を有する。

【0013】

成膜装置 110 は、複数のプラズマ源を有する枚葉の成膜装置である。成膜装置 110 は、所定のプロセス条件のもとで、ウェハの成膜処理を行う。また、成膜装置 110 は、成膜処理を行った際に用いたプロセス条件を、情報処理装置 140 に通知する。

40

【0014】

膜厚測定装置 120 は、成膜処理前のウェハの各位置の膜厚と、成膜処理後のウェハの各位置の膜厚とをそれぞれ測定する。また、膜厚測定装置 120 は、成膜処理前及び成膜処理後にそれぞれ測定した各位置の膜厚を、情報処理装置 140 に通知する。

【0015】

屈折率測定装置 130 は、成膜処理前のウェハの各位置の屈折率（膜内の窒素成分の割合に関する値）と、成膜処理後のウェハの各位置の屈折率とをそれぞれ測定する。また、屈折率測定装置 130 は、成膜処理前及び成膜処理後にそれぞれ測定した各位置の屈折率を、情報処理装置 140 に通知する。

【0016】

50

情報処理装置 140 には、モデル生成プログラムがインストールされており、当該モデル生成プログラムが実行されることで、情報処理装置 140 は、モデル生成部 150 として機能する。

【0017】

モデル生成部 150 は、膜厚測定装置 120 より通知された、成膜処理前の膜厚及び屈折率と、成膜処理後の膜厚及び屈折率と、成膜装置 110 より通知された、成膜処理を行った際に用いたプロセス条件とを取得する。

【0018】

また、モデル生成部 150 は、複数のプラズマ源それぞれの出力を所定量変更したプロセス条件のもとで成膜処理を行った場合の、ウェハの各位置での膜厚の変化量を規定した膜厚モデルを生成する。

10

【0019】

また、モデル生成部 150 は、複数のプラズマ源それぞれの出力を所定量変更したプロセス条件のもとで成膜処理を行った場合の、ウェハの各位置での屈折率の変化量を規定した屈折率モデルを生成する。

【0020】

更に、モデル生成部 150 は、生成した膜厚モデル及び屈折率モデルを、格納部の一例であるモデル格納部 160 に格納する。

【0021】

(2) 各プラズマ源の出力を最適化し、新レシピを生成するフェーズにおける成膜システムのシステム構成

20

次に、生成した膜厚モデルまたは屈折率モデルを用いて各プラズマ源の出力を最適化し、新レシピを生成するフェーズにおける成膜システムのシステム構成について説明する。

図 2 は、各プラズマ源の出力を最適化し、新レシピを生成するフェーズにおける成膜システムのシステム構成の一例を示す図である。ここでは、図 1 との相違点を中心に説明する。

【0022】

成膜装置 110 は、はじめに、現状のレシピに含まれる所定のプロセス条件のもとで、ウェハに対する成膜処理を行い、成膜処理を行った際に用いたプロセス条件を、情報処理装置 140 に通知する。続いて、成膜装置 110 は、新たなプロセス条件が通知された場合に、該新たなプロセス条件のもとで、ウェハに対する成膜処理を行う。

30

【0023】

膜厚測定装置 120 は、現状のレシピに含まれる所定のプロセス条件のもとでウェハに対する成膜処理が行われた後の、ウェハの各位置の膜厚を測定し、初期膜厚として、情報処理装置 140 に通知する。また、膜厚測定装置 120 は、新たなプロセス条件のもとでウェハに対する成膜処理が行われた後の、ウェハの各位置の膜厚を測定し、現膜厚として、情報処理装置 140 に通知する。

【0024】

屈折率測定装置 130 は、現状のレシピに含まれる所定のプロセス条件のもとでウェハに対する成膜処理が行われた後の、ウェハの各位置の屈折率を測定し、初期屈折率として、情報処理装置 140 に通知する。また、屈折率測定装置 130 は、新たなプロセス条件のもとでウェハに対する成膜処理が行われた後の、ウェハの各位置の屈折率を測定し、現屈折率として、情報処理装置 140 に通知する。

40

【0025】

情報処理装置 140 には、最適化プログラムとレシピ生成プログラムとがインストールされており、当該最適化プログラム及びレシピ生成プログラムが実行されることで、情報処理装置 140 は、最適化部 151、レシピ生成部 152 として機能する。

【0026】

最適化部 151 は算出部の一例であり、作業者 170 より、新レシピ生成用の膜厚の目標値（目標膜厚）を受け付け、初期膜厚との残差（膜厚残差）を算出する。また、最適化部 151 は、算出した膜厚残差と、モデル格納部 160 に格納された膜厚モデルとを用い

50

て、複数のプラズマ源それぞれの出力の変更量（補正值）を算出する。

【００２７】

また、最適化部１５１は、新たなプロセス条件（算出した複数のプラズマ源それぞれの出力の補正值が適用されたプロセス条件）を、成膜装置１１０に通知する。また、最適化部１５１は、新たなプロセス条件のもとでウェハに対する成膜処理が行われた後の現膜厚と、目標膜厚との膜厚残差を算出する。最適化部１５１では、膜厚残差（の真値）がなるべく小さくなるように補正值を算出し、膜厚残差（の真値）が充分小さくなったと判定すると、複数のプラズマ源それぞれの出力の補正值を、レシピ生成部１５２に通知する。

【００２８】

更に、最適化部１５１は、当該新たなプロセス条件のもとで成膜処理が行われた場合のウェハの各位置の計算上の膜厚を、予測膜厚として算出する。

10

【００２９】

同様に、最適化部１５１は、作業者１７０より、新レシピ生成用の屈折率の目標値（目標屈折率）を受け付け、初期屈折率との残差（屈折率残差）を算出する。また、最適化部１５１は、算出した屈折率残差と、モデル格納部１６０に格納された屈折率モデルとを用いて、複数のプラズマ源それぞれの出力の変更量（補正值）を算出する。

【００３０】

また、最適化部１５１は、新たなプロセス条件（算出した複数のプラズマ源それぞれの出力の補正值が適用されたプロセス条件）を、成膜装置１１０に通知する。また、最適化部１５１は、新たなプロセス条件のもとで成膜処理が行われた後の現屈折率と、目標屈折率との屈折率残差を算出する。最適化部１５１では、屈折率残差（の真値）がなるべく小さくなるように補正值を算出し、屈折率残差（の真値）が充分小さくなったと判定すると、複数のプラズマ源それぞれの出力の補正值をレシピ生成部１５２に通知する。

20

【００３１】

更に、最適化部１５１は、当該新たなプロセス条件のもとで成膜処理が行われた場合のウェハの各位置の計算上の屈折率を、予測屈折率として算出する。

【００３２】

レシピ生成部１５２は生成部の一例であり、作業者１７０より現状のレシピを受け付ける。また、レシピ生成部１５２は、最適化部１５１より、複数のプロセス源それぞれの出力の補正值が通知された場合に、現状のレシピを修正し、新レシピを生成する。レシピ生成部１５２は、生成した新レシピを、作業者１７０に表示するとともに、成膜装置１１０に通知する。

30

【００３３】

< 成膜装置の内部構成 >

次に、複数のプラズマ源を有する成膜装置１１０の内部構成について説明する。図３は、複数のプラズマ源を有する成膜装置の内部構成の一例を示す図である。

【００３４】

図３に示すように、成膜装置１１０は、気密に構成されたアルミニウムまたはステンレス鋼等の金属材料からなる略円筒状をなす接地されたチャンバ３００と、チャンバ３００内にマイクロ波プラズマを形成するためのマイクロ波プラズマ源３１０とを有する。

40

【００３５】

チャンバ３００の上部には開口部３００aが形成されており、この開口部３００aには円板状をなす蓋体３０１を介してチャンバ３００の内部に臨むようにマイクロ波プラズマ源３１０が設けられている。蓋体３０１は、アルミニウム等の金属製であり、チャンバ３００の上部に設けられた支持リング３１１により支持されており、支持リング３１１と蓋体３０１との間はシールリング（図示せず）により気密にシールされている。

【００３６】

チャンバ３００内にはウェハWを水平に支持するためのサセプタ３０２が、チャンバ３００の底部中央に絶縁部材３０３aを介して立設された筒状の支持部材３０３により支持された状態で設けられている。サセプタ３０２および支持部材３０３を構成する材料とし

50

ては、例えば、表面をアルマイト処理（陽極酸化処理）したアルミニウム等が挙げられる。

【 0 0 3 7 】

また、図示していないが、サセプタ 3 0 2 には、ウェハ W を静電吸着するための静電チャック、温度制御機構、ウェハ W の裏面に熱伝達用のガスを供給するガス流路、およびウェハ W を搬送するために昇降する昇降ピン等が設けられている。更に、サセプタ 3 0 2 には、整合器 3 2 0 を介して高周波バイアス電源 3 2 1 が電氣的に接続されている。この高周波バイアス電源 3 2 1 からサセプタ 3 0 2 に高周波電力が供給されることにより、ウェハ W 側にプラズマ中のイオンが引き込まれる。

【 0 0 3 8 】

チャンバ 3 0 0 の底部には排気管 3 0 4 が接続され、この排気管 3 0 4 には真空ポンプを含む排気装置 3 3 0 が接続される。そしてこの排気装置 3 3 0 を作動させることによりチャンバ 3 0 0 内が排気され、チャンバ 3 0 0 内を所定の真空度まで高速に減圧することができる。また、チャンバ 3 0 0 の側壁には、ウェハ W の搬入出を行うための搬入出口 3 0 5 と、この搬入出口 3 0 5 を開閉するゲートバルブ 3 0 6 とが設けられている。

10

【 0 0 3 9 】

チャンバ 3 0 0 内のサセプタ 3 0 2 の上方位置には、処理ガスをウェハ W に向けて吐出するシャワープレート 3 0 7 が水平に設けられている。このシャワープレート 3 0 7 は、格子状に形成されたガス流路 3 0 8 と、このガス流路 3 0 8 に形成された多数のガス吐出孔 3 0 8 a とを有しており、格子状のガス流路 3 0 8 の間は空間部 3 0 8 b が形成されている。このシャワープレート 3 0 7 のガス流路 3 0 8 にはチャンバ 3 0 0 の外側に延びる配管 3 0 9 が接続されている。また、この配管 3 0 9 には処理ガス供給源 3 4 0 が接続されており、シャワープレート 3 0 7、配管 3 0 9、および処理ガス供給源 3 4 0 は処理ガス用のガス供給機構を構成している。

20

【 0 0 4 0 】

一方、チャンバ 3 0 0 のシャワープレート 3 0 7 の上方位置には、リング状のプラズマガス導入部材 3 5 0 がチャンバ壁に沿って設けられており、このプラズマガス導入部材 3 5 0 には内周に多数のガス吐出孔が設けられている。このプラズマガス導入部材 3 5 0 には、プラズマガスを供給するプラズマガス供給源 3 5 1 が配管 3 5 2 を介して接続されており、プラズマガス導入部材 3 5 0、配管 3 5 2、およびプラズマガス供給源 3 5 1 はプラズマガス用のガス供給機構を構成している。プラズマガスとしては A r ガスなどが好適に用いられる。

30

【 0 0 4 1 】

プラズマガス導入部材 3 5 0 からチャンバ 3 0 0 内に導入されたプラズマガスは、マイクロ波プラズマ源 3 1 0 からチャンバ 3 0 0 内に導入されたマイクロ波によりプラズマ化される。プラズマ化されたプラズマガスはシャワープレート 3 0 7 の空間部 3 0 8 b を通過しシャワープレート 3 0 7 のガス吐出孔 3 0 8 a から吐出された処理ガスを励起し、処理ガスのプラズマを形成する。なお、プラズマガスと処理ガスとを同一の供給部材で供給してもよい。また、処理ガスにプラズマガスの機能をもたせてもよい。

【 0 0 4 2 】

マイクロ波プラズマ源 3 1 0 は、複数経路に分配してマイクロ波を出力するマイクロ波出力部 3 1 2 と、マイクロ波出力部 3 1 2 から出力されたマイクロ波を伝送しチャンバ 3 0 0 内に放射するためのマイクロ波供給部 3 6 0 とを有している。

40

【 0 0 4 3 】

マイクロ波供給部 3 6 0 は、マイクロ波を主に増幅する複数のアンプ部 3 6 1 と、各アンプ部 3 6 1 で増幅されたマイクロ波をそれぞれチャンバ 3 0 0 内へ導く複数のマイクロ波放射機構 3 6 2 とを有している。

【 0 0 4 4 】

蓋体 3 0 1 のマイクロ波放射機構 3 6 2 に対応する部分には孔 3 0 1 a が形成されており、孔 3 0 1 a には、マイクロ波放射機構 3 6 2 の一部をなす、マイクロ波を透過させるマイクロ波透過窓として機能する誘電体部材 3 0 1 b が嵌め込まれている。したがって、

50

蓋体 3 0 1 および誘電体部材 3 0 1 b によりチャンバ 3 0 0 の天壁 3 7 0 が形成される。また、天壁 3 7 0 の下面には、マイクロ波放射機構 3 6 2 の配置領域を包含し天壁 3 7 0 を覆うように薄い誘電体板 3 0 1 c が設けられている。誘電体板 3 0 1 c は誘電体部材 3 0 1 b および蓋体 3 0 1 の両方を覆う一枚板として構成される。

【 0 0 4 5 】

第 1 の実施形態において、マイクロ波供給部 3 6 0 は、アンプ部 3 6 1 およびマイクロ波放射機構 3 6 2 (プラズマ源) を 7 個有している (図 3 (b) のマイクロ波放射機構 3 6 2 a ~ 3 6 2 g 参照) 。なお、図 3 (b) は、マイクロ波放射機構 3 6 2 a ~ 3 6 2 g の配置を上面から見た様子を示す図である。

【 0 0 4 6 】

図 3 (b) に示すように、マイクロ波放射機構 3 6 2 a ~ 3 6 2 g は、サセプタ 3 0 2 に水平に支持されたウェハ W に対して、円周状に 6 個および中心に 1 個配置される。

【 0 0 4 7 】

なお、図 3 (b) に示すように、本実施形態の以下の説明では、マイクロ波放射機構 3 6 2 a を " プラズマ源 # 1 " 、マイクロ波放射機構 3 6 2 b を " プラズマ源 # 2 " 、マイクロ波放射機構 3 6 2 c を " プラズマ源 # 3 " と称する。また、マイクロ波放射機構 3 6 2 d を " プラズマ源 # 4 " 、マイクロ波放射機構 3 6 2 e を " プラズマ源 # 5 " 、マイクロ波放射機構 3 6 2 f を " プラズマ源 # 6 " 、マイクロ波放射機構 3 6 2 g を " プラズマ源 # 7 " と称する。

【 0 0 4 8 】

図 3 (a) の説明に戻る。図 3 (a) に示す成膜装置 1 1 0 の各構成部は、マイクロプロセッサを有する制御部 3 8 0 により制御される。制御部 3 8 0 は、成膜装置 1 1 0 に設定されるレシピを記憶した記憶部や、操作部、表示部等を備えており、設定されたレシピに従って成膜装置 1 1 0 の各構成部を制御する。

【 0 0 4 9 】

< 情報処理装置のハードウェア構成 >

次に、情報処理装置 1 4 0 のハードウェア構成について説明する。図 4 は、情報処理装置のハードウェア構成の一例を示す図である。図 4 に示すように、情報処理装置 1 4 0 は、CPU (Central Processing Unit) 4 0 1 、ROM (Read Only Memory) 4 0 2 、RAM (Random Access Memory) 4 0 3 を有する。CPU 4 0 1 、ROM 4 0 2 、RAM 4 0 3 は、いわゆるコンピュータを形成する。

【 0 0 5 0 】

また、情報処理装置 1 4 0 は、補助記憶部 4 0 4 、表示部 4 0 5 、入力部 4 0 6 、ネットワーク I / F (Interface) 部 4 0 7 、接続部 4 0 8 を有する。なお、情報処理装置 1 4 0 の各ハードウェアは、バス 4 0 9 を介して相互に接続されている。

【 0 0 5 1 】

CPU 4 0 1 は、補助記憶部 4 0 4 にインストールされている各種プログラム (例えば、モデル生成プログラム、最適化プログラム、レシピ生成プログラム等の情報処理プログラム) を実行するデバイスである。

【 0 0 5 2 】

ROM 4 0 2 は、不揮発性メモリである。ROM 4 0 2 は、補助記憶部 4 0 4 にインストールされている各種プログラムを CPU 4 0 1 が実行するために必要な各種プログラムやデータ等を格納する、主記憶デバイスとして機能する。具体的には、ROM 4 0 2 は BIOS (Basic Input/Output System) や EFI (Extensible Firmware Interface) 等のブートプログラム等を格納する。

【 0 0 5 3 】

RAM 4 0 3 は、DRAM (Dynamic Random Access Memory) や SRAM (Static Random Access Memory) 等の揮発性メモリである。RAM 4 0 3 は、補助記憶部 4 0 4 にインストールされている各種プログラムが CPU 4 0 1 によって実行される際に展開される作業領域を提供する、主記憶デバイスとして機能する。

【 0 0 5 4 】

10

20

30

40

50

補助記憶部 404 は、各種プログラムや、各種プログラムが実行される際に用いられる情報を格納する補助記憶デバイスである。モデル格納部 160 は、補助記憶部 404 において実現される。

【0055】

表示部 405 は、各種プログラムが実行されることで生成される画面（例えば、予測膜厚、予測屈折率、新レシピを含む画面等）を表示する、表示デバイスである。入力部 406 は、情報処理装置 140 に対して、作業員 170 等が各種指示（例えば、目標膜厚、目標屈折率、現状のレシピ等）を入力するための入力デバイスである。

【0056】

ネットワーク I/F 部 407 は、不図示の外部ネットワークと接続する通信デバイスである。接続部 408 は、成膜装置 110、膜厚測定装置 120、屈折率測定装置 130 等の各種装置と接続するための接続デバイスである。

【0057】

<モデル生成部の機能構成>

次に、情報処理装置 140 のモデル生成部 150 の詳細について説明する。図 5 は、モデル生成部の機能構成の一例を示す図である。

【0058】

図 5 に示すように、モデル生成部 150 は、モデル生成用データ取得部 501 と、生成部 502 とを有する。

【0059】

モデル生成用データ取得部 501 は、膜厚モデル及び屈折率モデルの生成用に、成膜装置 110 がウェハ（モデル生成処理時の処理対象である第 1 のウェハ）に対して成膜処理を行った際の、各種データを取得する。第 1 の実施形態において、膜厚モデル及び屈折率モデル生成用の成膜処理とは、第 1 の処理手順で行われる成膜処理を指す。なお、第 1 の処理手順とは、例えば、複数のプラズマ源 # 1 ~ # 7 の出力以外のプロセス条件を固定した状態で、複数のプラズマ源 # 1 ~ # 7 それぞれの出力を所定量変更する処理手順を指す。

【0060】

ただし、膜厚モデル及び屈折率モデル生成用の成膜処理は、第 1 の処理手順で行われる成膜処理に限定されない。例えば、実験計画法（直交表）を用いて、複数のプラズマ源 1 ~ 7 の出力を同時に変更する第 2 の処理手順で行われる成膜処理であってもよい。あるいは、他の方法（例えば、PLS（Partial Least Squares）や DL（Deep Learning））により、膜厚モデル及び屈折率モデルを生成する場合にあっては、他の方法に適した他の処理手順で成膜処理を行ってもよい。なお、以下では、説明の簡略化のため、膜厚モデル及び屈折率モデル生成用の成膜処理が、第 1 の処理手順で行われるものとして説明する。

【0061】

モデル生成用データ取得部 501 は、成膜装置 110 より、複数のプラズマ源 # 1 ~ # 7 の出力（所定量変更後の出力）を、複数のプラズマ源 # 1 ~ # 7 の出力以外のプロセス条件とともに取得する。

【0062】

また、モデル生成用データ取得部 501 は、膜厚モデル生成用の成膜処理が行われた際の、成膜処理前のウェハの各位置の膜厚と成膜処理後のウェハの各位置の膜厚とを、膜厚測定装置 120 より取得する。

【0063】

また、モデル生成用データ取得部 501 は、屈折率モデル生成用の成膜処理が行われた際の、成膜処理前のウェハの各位置の屈折率と成膜処理後のウェハの各位置の屈折率とを、屈折率測定装置 130 より取得する。

【0064】

生成部 502 は、膜厚モデル生成用の成膜処理が行われた際の、ウェハの各位置での膜厚の変化量から、単位量（例えば、1 [W]）あたりの膜厚の変化量を算出することで、

10

20

30

40

50

膜厚モデルを生成する。

【 0 0 6 5 】

また、生成部 5 0 2 は、屈折率モデル生成用の成膜処理が行われた際の、ウェハの各位置での屈折率の変化量から、単位量（例えば、1 [W] ）あたりの屈折率の変化量を算出することで、屈折率モデルを生成する。

【 0 0 6 6 】

更に、生成部 5 0 2 は、生成した膜厚モデル及び屈折率モデルを、モデル格納部 1 6 0 に格納する。

【 0 0 6 7 】

< モデル生成処理の流れ >

次に、成膜システム 1 0 0 において、膜厚モデル及び屈折率モデル生成用の成膜処理が行われることで実行されるモデル生成処理の流れについて説明する。図 6 は、膜厚モデル及び屈折率モデルを生成するモデル生成処理の流れを示すフローチャートの一例である。

【 0 0 6 8 】

ステップ S 6 0 1 において、情報処理装置 1 4 0 のモデル生成用データ取得部 5 0 1 は、膜厚測定装置 1 2 0 及び屈折率測定装置 1 3 0 より、膜厚モデル及び屈折率モデル生成用の成膜処理を行う前の、ウェハの各位置の膜厚及び屈折率を取得する。なお、モデル生成用データ取得部 5 0 1 が膜厚及び屈折率を取得するウェハの各位置の数は、例えば、4 9 箇所であるとする。

【 0 0 6 9 】

ステップ S 6 0 2 において、成膜装置 1 1 0 は、複数のプラズマ源 # 1 ~ # 7 のうちの 1 のプラズマ源（例えば、プラズマ源 # 1 ）の出力を、デフォルトの値から所定量（例えば、5 0 [W] ）変更して、成膜処理を行う。

【 0 0 7 0 】

ステップ S 6 0 3 において、情報処理装置 1 4 0 のモデル生成用データ取得部 5 0 1 は、成膜装置 1 1 0 より、ステップ S 6 0 2 において成膜処理を行った際に用いたプロセス条件を取得する。

【 0 0 7 1 】

ステップ S 6 0 4 において、膜厚測定装置 1 2 0 及び屈折率測定装置 1 3 0 は、成膜処理後のウェハの各位置の膜厚及び屈折率を測定する。

【 0 0 7 2 】

ステップ S 6 0 5 において、情報処理装置 1 4 0 のモデル生成用データ取得部 5 0 1 は、膜厚測定装置 1 2 0 及び屈折率測定装置 1 3 0 より、成膜処理後のウェハの各位置の膜厚及び屈折率を取得する。

【 0 0 7 3 】

ステップ S 6 0 6 において、情報処理装置 1 4 0 の生成部 5 0 2 は、ウェハの各位置の単位量（例えば、1 [W] ）あたりの膜厚の変化量及び屈折率の変化量を算出する。

【 0 0 7 4 】

ステップ S 6 0 7 において、情報処理装置 1 4 0 の生成部 5 0 2 は、算出した膜厚の変化量を膜厚モデル M_T の 1 つとしてモデル格納部 1 6 0 に格納する。また、情報処理装置 1 4 0 の生成部 5 0 2 は、算出した屈折率の変化量を屈折率モデル M_R の 1 つとしてモデル格納部 1 6 0 に格納する。

【 0 0 7 5 】

ステップ S 6 0 8 において、情報処理装置 1 4 0 の生成部 5 0 2 は、膜厚モデル及び屈折率モデルの生成が完了したか否かを判定する。ステップ S 6 0 8 において、膜厚モデル及び屈折率モデルの生成が完了していないと判定した場合には（ステップ S 6 0 8 において N o の場合には）、ステップ S 6 0 2 に戻る。一方、ステップ S 6 0 8 において、膜厚モデル及び屈折率モデルの生成が完了したと判定した場合には、モデル生成処理を終了する。

【 0 0 7 6 】

10

20

30

40

50

<モデル生成処理の具体例>

次に、成膜システム 100 によるモデル生成処理の具体例について図 7 及び図 8 を用いて説明する。図 7 は、モデル生成処理の具体例を示す第 1 の図であり、情報処理装置 140 のモデル生成用データ取得部 501 が成膜装置 110 より取得する、膜厚モデル生成用の成膜処理を行った際に用いたプロセス条件の具体例を示す図である。

【0077】

図 7 に示すように、プロセス条件 700 には、情報の項目として、"プロセスデータの種類"、"プロセスデータ"が含まれる。"プロセスデータの種類"には、チャンバ 300 内の圧力、プラズマガス供給源 351 より供給されるプラズマガスの流量、各プラズマ源 # 1 ~ # 7 の出力、チャンバ 300 内の温度、成膜時間等が含まれる。また、"プロセスデータ"には、"プロセスデータの種類"に対応する値が格納される。なお、説明の簡略化のため、プロセス条件 700 では、プラズマ源 # 1 ~ # 7 の出力以外のプロセス条件については、一部のみを抜粋して記載している。

【0078】

上述したように、膜厚モデル及び屈折率モデル生成用の成膜処理では、プロセス条件 700 のうち、プロセスデータの種類 = "プラズマ源 # 1 の出力" ~ "プラズマ源 # 7 の出力"それぞれのプロセスデータを、所定量（例えば、50 [W]）変更する。

【0079】

図 8 は、モデル生成処理の具体例を示す第 2 の図であり、膜厚モデル (M_T) 810 及び屈折率モデル (M_R) 820 の具体例を示す図である。膜厚モデル (M_T) 810 の符号 811 は、プラズマ源 # 1 の出力を、所定量変更して成膜処理を行った場合の、ウェハの各位置の膜厚の変化量から、単位量あたりの変化量を算出した算出結果（膜厚分布の変化）を、カラーマップとして可視化したものである。

【0080】

同様に、符号 812 は、プラズマ源 # 2 の出力を、所定量変更して成膜処理を行った場合の、ウェハの各位置の膜厚の変化量から、単位量あたりの変化量を算出した算出結果（膜厚分布の変化）を、カラーマップとして可視化したものである。

【0081】

同様に、符号 813 は、プラズマ源 # 3 の出力を、所定量変更して成膜処理を行った場合の、ウェハの各位置の膜厚の変化量から、単位量あたりの変化量を算出した算出結果（膜厚分布の変化）を、カラーマップとして可視化したものである。

【0082】

同様に、符号 814 は、プラズマ源 # 4 の出力を、所定量変更して成膜処理を行った場合の、ウェハの各位置の膜厚の変化量から、単位量あたりの変化量を算出した算出結果（膜厚分布の変化）を、カラーマップとして可視化したものである。

【0083】

同様に、符号 815 は、プラズマ源 # 5 の出力を、所定量変更して成膜処理を行った場合の、ウェハの各位置の膜厚の変化量から、単位量あたりの変化量を算出した算出結果（膜厚分布の変化）を、カラーマップとして可視化したものである。

【0084】

同様に、符号 816 は、プラズマ源 # 6 の出力を、所定量変更して成膜処理を行った場合の、ウェハの各位置の膜厚の変化量から、単位量あたりの変化量を算出した算出結果（膜厚分布の変化）を、カラーマップとして可視化したものである。

【0085】

同様に、符号 817 は、プラズマ源 # 7 の出力を、所定量変更して成膜処理を行った場合の、ウェハの各位置の膜厚の変化量から、単位量あたりの変化量を算出した算出結果（膜厚分布の変化）を、カラーマップとして可視化したものである。

【0086】

このように、モデル生成部 150 では、膜厚モデル生成用の成膜処理が行われることで、プラズマ源 # 1 ~ # 7 の数に応じた数の算出結果（符号 811 ~ 817）を含む膜厚モ

10

20

30

40

50

デル (M_T) 8 1 0 を生成する。同様に、モデル生成部 1 5 0 では、屈折率モデル生成用の成膜処理が行われることで、プラズマ源 # 1 ~ # 7 の数に応じた数の算出結果を含む屈折率モデル (M_R) 8 2 0 を生成する。なお、膜厚モデル及び屈折率モデル生成用の成膜処理が第 2 の処理手順によって行われる場合にあっては、プラズマ源 # 1 ~ # 7 は複数のゾーンに分類される。このため、ゾーンの数に応じた数の算出結果を含む膜厚モデル (M_T) 及び屈折率モデル (M_R) が生成されることになる。

【 0 0 8 7 】

< 最適化部及びレシピ生成部の機能構成 >

次に、情報処理装置 1 4 0 の最適化部 1 5 1 及びレシピ生成部 1 5 2 の機能構成について説明する。図 9 は、最適化部及びレシピ生成部の機能構成の一例を示す図である。

10

【 0 0 8 8 】

図 9 に示すように、最適化部 1 5 1 は、測定値取得部 9 0 1、目標値入力部 9 0 2、残差算出部 9 0 3、カルマンフィルタ部 9 0 4、補正值算出部 9 0 5 を有する。

【 0 0 8 9 】

測定値取得部 9 0 1 は、成膜装置 1 1 0 より、現状のレシピにより成膜処理が行われた際に用いられたプロセス条件を取得する。また、測定値取得部 9 0 1 は、膜厚測定装置 1 2 0 及び屈折率測定装置 1 3 0 より、現状のレシピにより成膜処理が行われた後の、ウェハ (新レシピ生成処理時の処理対象である第 2 のウェハ) の各位置の膜厚及び屈折率を、初期膜厚及び初期屈折率として取得する。

【 0 0 9 0 】

20

また、測定値取得部 9 0 1 は、新たなプロセス条件 (複数のプラズマ源の出力の補正值が適用されたプロセス条件) のもとで成膜装置 1 1 0 により成膜処理が行われた後の、ウェハの各位置の膜厚及び屈折率を、現膜厚及び現屈折率として取得する。

【 0 0 9 1 】

目標値入力部 9 0 2 は、作業員 1 7 0 より、目標膜厚及び目標屈折率の入力を受け付ける。

【 0 0 9 2 】

残差算出部 9 0 3 は、初期膜厚と目標膜厚との差分または現膜厚と目標膜厚との差分である膜厚残差を算出する。また、残差算出部 9 0 3 は、初期屈折率と目標屈折率との差分または現屈折率と目標屈折率との差分である屈折率残差を算出する。

30

【 0 0 9 3 】

カルマンフィルタ部 9 0 4 は、カルマンゲインを調整することで、残差算出部 9 0 3 により算出された膜厚残差及び屈折率残差の真値を推定する。なお、膜厚測定装置 1 2 0 及び屈折率測定装置 1 3 0 がウェハの各位置の膜厚及び屈折率を測定した際の測定結果には測定誤差が含まれているものとする。

【 0 0 9 4 】

補正值算出部 9 0 5 は、カルマンフィルタ部 9 0 4 により推定された膜厚残差の真値及び屈折率残差の真値と、モデル格納部 1 6 0 に格納された膜厚モデル (M_T) 8 1 0 及び屈折率モデル (M_R) 8 2 0 とを取得する。また、補正值算出部 9 0 5 は、取得した膜厚残差の真値及び屈折率残差の真値と、膜厚モデル (M_T) 8 1 0 及び屈折率モデル (M_R) 8 2 0 とに基づいて、複数のプラズマ源 # 1 ~ # 7 の出力の補正值を算出する。また、補正值算出部 9 0 5 は、算出した複数のプラズマ源 # 1 ~ # 7 の出力の補正值を適用した新たなプロセス条件を、成膜装置 1 1 0 に通知する。

40

【 0 0 9 5 】

また、補正值算出部 9 0 5 は、膜厚残差の真値及び屈折率残差の真値がなるべく小さくなるように補正值を算出する。そして、補正值算出部 9 0 5 では、真値が充分小さくなった判定すると、複数のプラズマ源 # 1 ~ # 7 の出力の補正值 (複数回算出された場合には複数回分の補正值の合計値) を、新レシピ生成部 9 0 6 に通知する。

【 0 0 9 6 】

また、補正值算出部 9 0 5 は、

50

・初期膜厚と、
 ・膜厚モデル (M_T) 810 と、
 ・複数のプラズマ源 # 1 ~ # 7 の出力の補正值 (複数回算出された場合には複数回分の補正值の合計値) と、
 に基づいて、当該新たなプロセス条件のもとで成膜処理が行われた場合のウェハの各位置の計算上の膜厚を、予測膜厚として算出し、作業者 170 に表示する。

【0097】

また、補正值算出部 905 は、
 ・初期屈折率と、
 ・屈折率モデル (M_R) 820 と、
 ・複数のプラズマ源 # 1 ~ # 7 の出力の補正值 (複数回算出された場合には複数回分の補正值の合計値) と、
 に基づいて、当該新たなプロセス条件のもとで成膜処理が行われた場合のウェハの各位置の計算上の屈折率を、予測屈折率として算出し、作業者 170 に表示する。

【0098】

レシピ生成部 152 は、新レシピ生成部 906 を有する。新レシピ生成部 906 は、作業者 170 より、現状のレシピの入力を受け付ける。また、新レシピ生成部 906 は、補正值算出部 905 より通知された、複数のプラズマ源 # 1 ~ # 7 の出力の補正值 (複数回算出された場合には複数回分の補正值の合計値) を用いて、現状のレシピを修正し、新レシピを生成する。更に、新レシピ生成部 906 は、生成した新レシピを作業者 170 に表示するとともに、成膜装置 110 に通知する。

【0099】

<最適化部における処理の詳細>

次に、最適化部 151 における処理の詳細 (主に、カルマンフィルタ部 904 の処理の詳細) について数式を用いて説明する。なお、ここでは、説明の簡略化のために、新レシピ生成用の目標値として、目標膜厚の入力を受け付ける場合について説明する (目標屈折率の入力を受け付ける場合については、目標膜厚の入力を受け付ける場合と同様であるため、説明を省略する)。

【0100】

図 10 は、最適化部における処理の詳細を説明するための図である。このうち、図 10 (a) は、

・最適化部 151 の補正值算出部 905 で算出されるプラズマ源の出力の補正值と、
 ・最適化部 151 の残差算出部 903 で算出される膜厚残差と、
 の間の入出力関係を模式的に示した図である。

【0101】

なお、図 10 (a) に示す各記号の意味は、下記のとおりである。

・ k : 時間ステップ (プラズマ源の出力の補正值が成膜装置 110 に通知された回数)
 ・ $u(k)$: プラズマ源の出力の補正值、
 ・ $w(k)$: システムノイズ、
 ・ $x(k+1)$: k 回目の補正值が通知されることで変化する、変化後の成膜装置 110 の状態、
 ・ $x(k)$: k 回目の補正值が通知される前の、成膜装置 110 の状態、
 ・ $y(k)$: k 回目の補正值が通知される前の、膜厚残差 (現膜厚 - 目標膜厚) の真値、
 ・ v_T : 膜厚に関する測定誤差、
 ・ $z(k)$: k 回目の補正值が通知される前の、現膜厚に基づいて算出される膜厚残差。

【0102】

最適化部 151 のカルマンフィルタ部 904 では、
 ・最適化部 151 の補正值算出部 905 で算出されるプラズマ源の出力の補正值と、
 ・最適化部 151 の残差算出部 903 で算出される膜厚残差と、
 の間の入出力関係 (図 10 (a)) に基づいて、カルマンフィルタを構成し、カルマンゲ

10

20

30

40

50

インを調整する（図 10（b）参照）。

【0103】

なお、図 10（b）は、図 10（a）に示す入出力関係に基づいて、カルマンフィルタ部 904 において構成されたカルマンフィルタの一例である。

【0104】

最適化部 151 のカルマンフィルタ部 904 では、補正值算出部 905 がプラズマ源の出力の補正值を通知することにより、残差算出部 903 より膜厚残差を取得し、カルマンゲインを調整することで、膜厚残差の真値を推定する。

【0105】

なお、図 10（b）に示す各記号において、例えば、

10

【0106】

【数 1】

$$\hat{x}(k+1|k)$$

20

は、k 回目の補正值が通知されることで変化する、変化後の成膜装置 110 の状態（カルマンフィルタにより推定される状態）を表している。

【0107】

同様に、例えば、

【0108】

【数 2】

$$\hat{y}(k+1|k)$$

30

は、k - 1 回目の補正值が通知され成膜処理が行われた場合の（k 回目の補正值が通知される前の）、膜厚残差の真値（カルマンフィルタにより推定される値）を表している。

【0109】

< 新レシピ生成処理の流れ >

次に、新レシピ生成処理の流れについて説明する。図 11A は、新レシピ生成処理の流れを示すフローチャートである。

40

【0110】

ステップ S1101 において、目標値入力部 902 は、作業員 170 より、目標膜厚の入力を受け付ける。

【0111】

ステップ S1102 において、成膜装置 110 は、現状のレシピを用いて成膜処理を行う。

【0112】

ステップ S1103 において、膜厚測定装置 120 は、ステップ S1102 において成膜処理が行われたウェハの各位置の膜厚を測定する。

50

【 0 1 1 3 】

ステップ S 1 1 0 4 において、測定値取得部 9 0 1 は、ステップ S 1 1 0 3 において測定されたウェハの各位置の膜厚を初期膜厚として取得する。また、残差算出部 9 0 3 は、取得された初期膜厚が、目標膜厚と一致するか否かを判定する。

【 0 1 1 4 】

ステップ S 1 1 0 4 において、一致すると判定した場合には（ステップ S 1 1 0 4 において Y e s の場合には）、新レシピ生成処理を終了する。一方、ステップ S 1 1 0 4 において、一致しないと判定した場合には（ステップ S 1 1 0 4 において N o の場合には）、ステップ S 1 1 0 5 に進む。以降、ステップ S 1 1 0 5 ~ S 1 1 0 6 において、最適化部 1 5 1 では、各プラズマ源 # 1 ~ # 7 の出力の補正値を算出する工程を実行する。

10

【 0 1 1 5 】

ステップ S 1 1 0 5 において、残差算出部 9 0 3 は、初期膜厚と目標膜厚との差分に基づいて膜厚残差を算出する。また、カルマンフィルタ部 9 0 4 は、カルマンゲインを調整することで、膜厚残差の真値を推定する。

【 0 1 1 6 】

ステップ S 1 1 0 6 において、補正値算出部 9 0 5 は、膜厚残差の真値と膜厚モデル (M_T) とに基づいて、各プラズマ源 # 1 ~ # 7 の出力の補正値を算出する。また、補正値算出部 9 0 5 は、算出した各プラズマ源 # 1 ~ # 7 の出力の補正値（複数回算出した場合には複数回分の補正値の合計値）を適用した新たなプロセス条件を、成膜装置 1 1 0 に通知する。

20

【 0 1 1 7 】

ステップ S 1 1 0 7 において、成膜装置 1 1 0 は、通知された新たなプロセス条件のもとで成膜処理を行い、ステップ S 1 1 0 3 に戻る。以降、ステップ S 1 1 0 3 において測定される現膜厚が、ステップ S 1 1 0 4 において、目標膜厚と一致すると判定されるまで、ステップ S 1 1 0 3 ~ S 1 1 0 7 の処理を繰り返す。そして、ステップ S 1 1 0 4 において、目標膜厚と一致すると判定された場合には（ステップ S 1 1 0 4 において Y e s の場合には）、新レシピ生成処理を終了する。

【 0 1 1 8 】

なお、図 1 1 A では、新レシピ生成処理の流れについて示したが、レシピ調整処理の流れも同様である。

30

【 0 1 1 9 】

図 1 1 B は、レシピ調整処理の流れを示すフローチャートであり、Run to Run 時の処理の流れを示している。なお、図 1 1 B に示す処理内容は、図 1 1 A に示した処理内容と概ね同じであるため、ここでは、詳細な説明を省略する。

【 0 1 2 0 】

< 新レシピ生成処理の具体例 >

次に、新レシピ生成処理において最適化部 1 5 1 が行う処理の具体例について説明する。図 1 2 は、新レシピ生成処理において最適化部が行う処理の具体例を示す第 1 の図である。

【 0 1 2 1 】

40

図 1 2 の例は、現状のレシピに基づいて成膜処理が行われることで、測定値取得部 9 0 1 が、膜厚測定装置 1 2 0 から、初期膜厚として、 $v(1) = (40 + v_T) [nm]$ を取得した様子を示している。

【 0 1 2 2 】

また、図 1 2 の例は、目標値入力部 9 0 2 が、目標膜厚として、作業員 1 7 0 により、目標膜厚 = 50 [nm] が入力された様子を示している。

【 0 1 2 3 】

また、図 1 2 の例は、残差算出部 9 0 3 が、初期膜厚と目標膜厚との差分を算出することで、膜厚残差として、 $z(1) = (-10 + v_T) [nm]$ を算出した様子を示している。

50

【 0 1 2 4 】

また、図 1 2 の例は、カルマンフィルタ部 9 0 4 が、膜厚残差に基づいて、膜厚残差の真値として、 -10 [nm] を推定した様子を示している。

【 0 1 2 5 】

また、図 1 2 の例は、補正值算出部 9 0 5 が、膜厚残差の真値 ($= -10 \text{ [nm]}$) がなるべく小さくなるように、膜厚モデル (M_T) と膜厚残差とに基づいて、各プラズマ源の出力の補正值を算出し、 $u(1) = 20 \text{ [W]}$ を出力した様子を示している。

【 0 1 2 6 】

図 1 3 は、新レシピ生成処理において最適化部が行う処理の具体例を示す第 2 の図である。図 1 3 の例は、図 1 2 において算出された、各プラズマ源の出力の補正值 ($u(1) = 20 \text{ [W]}$) が適用された新たなプロセス条件のもとで成膜処理が行われた後の、最適化部 1 5 1 による処理を示している。具体的には、測定値取得部 9 0 1 が、膜厚測定装置 1 2 0 から、現膜厚として、 $v(2) = (70 + v_T) \text{ [nm]}$ を取得した様子を示している。

10

【 0 1 2 7 】

また、図 1 3 の例は、残差算出部 9 0 3 が、現膜厚と目標膜厚との差分を算出することで、膜厚残差として、 $v(2) = (20 + v_T) \text{ [nm]}$ を算出した様子を示している。

【 0 1 2 8 】

また、図 1 3 の例は、カルマンフィルタ部 9 0 4 が、膜厚残差に基づいて、膜厚残差の真値として、 20 [nm] を推定した様子を示している。

20

【 0 1 2 9 】

また、図 1 3 の例は、補正值算出部 9 0 5 が、膜厚残差の真値 ($= 20 \text{ [nm]}$) がなるべく小さくなるように、膜厚モデル (M_T) と膜厚残差とに基づいて、各プラズマ源の出力の補正值を算出し、 $u(2) = 13 \text{ [W]}$ を出力した様子を示している。

【 0 1 3 0 】

図 1 4 は、新レシピ生成処理の具体例を示す第 3 の図である。図 1 4 の例は、図 1 3 において算出された、各プラズマ源の出力の補正值 ($u(2) = 13 \text{ [W]}$) を適用した新たなプロセス条件のもとで成膜処理が行われた後の、最適化部 1 5 1 による処理を示している。具体的には、測定値取得部 9 0 1 が、膜厚測定装置 1 2 0 から、現膜厚として、 $v(3) = (50 + v_T) \text{ [nm]}$ を取得した様子を示している。

30

【 0 1 3 1 】

また、図 1 4 の例は、残差算出部 9 0 3 が、現膜厚と目標膜厚との差分を算出することで、膜厚残差として、 $z(3) = (0 + v_T) \text{ [nm]}$ を算出した様子を示している。

【 0 1 3 2 】

また、図 1 4 の例は、カルマンフィルタ部 9 0 4 が、膜厚残差に基づいて、膜厚残差の真値として、 0 [nm] を推定した様子を示している。

【 0 1 3 3 】

また、図 1 4 の例は、膜厚残差の真値が 0 [nm] になったことで、膜厚残差の真値が充分小さくなったと判定された様子を示している。

【 0 1 3 4 】

また、図 1 4 の例は、補正值算出部 9 0 5 が、各プラズマ源の出力の補正值 (例えば、プラズマ源 # 1 の出力の複数回分の補正值 $u(1) = 20 \text{ [W]}$ 、 $u(2) = 13 \text{ [W]}$) を、新レシピ生成部 9 0 6 に通知した様子を示している。

40

【 0 1 3 5 】

このように、成膜装置 1 1 0 において所望の膜厚を実現する新たなレシピを生成する際、情報処理装置 1 4 0 の最適化部 1 5 1 では、各プラズマ源の出力の補正值を自動的に算出する。これにより、作業員 1 7 0 は、最適化部 1 5 1 により算出された補正值を適用した新たなプロセス条件に従って成膜処理を行うだけで、各プラズマ源の出力を最適化することができる。つまり、情報処理装置 1 4 0 によれば、作業員 1 7 0 のノウハウに依存することなく、複数のプラズマ源の出力を最適化することができる。

50

【 0 1 3 6 】

< 新レシピによる成膜処理 >

次に、新レシピによる成膜処理について説明する。図 1 5 は、新レシピによる成膜処理の結果を示す第 1 の図である。図 1 5 において、プロセス条件 1 5 0 0 のうち、上段のプロセスデータは、現状のレシピに含まれるプロセスデータを示しており、下段のプロセスデータは、新レシピに含まれるプロセスデータを示している。

【 0 1 3 7 】

また、図 1 5 において、符号 1 5 1 0 は、現状のレシピを用いて成膜処理が行われた場合の、ウェハの各位置での膜厚の分布（つまり、初期の膜厚分布）をカラーマップとして可視化したものである。また、符号 1 5 1 1 は、各径方向の初期膜厚の平均値を示している。

10

【 0 1 3 8 】

一方、符号 1 5 2 0 は、新レシピを用いて成膜処理が行われた場合の、ウェハの各位置での予測の膜厚分布をカラーマップとして可視化したものである。また、符号 1 5 2 1 は、各径方向の予測の膜厚の平均値を示している。

【 0 1 3 9 】

また、符号 1 5 3 0 は、新レシピを用いて成膜処理が行われた場合の、ウェハの各位置での実際の膜厚分布をカラーマップとして可視化したものである。また、符号 1 5 3 1 は、各径方向の実際の膜厚の平均値を示している。

【 0 1 4 0 】

符号 1 5 1 1 と符号 1 5 2 1 及び符号 1 5 3 1 との対比から明らかなように、符号 1 5 1 1 の場合、径方向の膜厚の変動が大きい。一方、符号 1 5 2 1 及び符号 1 5 3 1 の場合、径方向の膜厚の変動が小さい。

20

【 0 1 4 1 】

このように、プラズマ源ごとに生成した膜厚モデルに基づいて最適化した新レシピを用いることで、ウェハの表面状態のうち、表面形状に関わる膜厚の均一性を向上させることができる。

【 0 1 4 2 】

また、符号 1 5 2 1 と符号 1 5 3 1 との対比から明らかなように、新レシピを用いて成膜処理を行った場合の、ウェハの各位置での予測膜厚の平均値と、ウェハの各位置での膜厚の実測値の平均値とは、概ね同じである。つまり、情報処理装置 1 4 0 によれば、予測膜厚を精度よく算出することができる。

30

【 0 1 4 3 】

< まとめ >

以上の説明から明らかなように、第 1 の実施形態に係る情報処理装置 1 4 0 では、
・複数のプラズマ源を有する成膜装置の各プラズマ源の出力を所定量変更して成膜処理を行った場合の、ウェハの各位置での膜厚または屈折率の変化量を取得する。
・各プラズマ源の出力を変更した際の変更量に対する、ウェハの各位置での膜厚または屈折率の変化量を算出することで、膜厚モデルまたは屈折率モデルを生成する。
・目標膜厚または目標屈折率を実現するための、各プラズマ源の出力の補正値を、生成した膜厚モデルまたは屈折率モデルに基づいて算出する。

40

【 0 1 4 4 】

これにより、作業者は、算出された補正値が適用された新たなプロセス条件に従って成膜処理を行うことで、各プラズマ源の出力を最適化することができる。

【 0 1 4 5 】

このように、第 1 の実施形態に係る情報処理装置 1 4 0 によれば、複数のプラズマ源の出力を最適化する作業を支援することができる。

【 0 1 4 6 】

[第 2 の実施形態]

上記第 1 の実施形態において、補正値算出部 9 0 5 は、膜厚モデルを用いて、膜厚残差

50

の真値がなるべく小さくなるよう、各プラズマ源の出力の補正値を算出するものとして説明した。しかしながら、各プラズマ源の出力の補正値の算出方法はこれに限定されない。

【 0 1 4 7 】

例えば、膜厚モデルと、各プラズマ源の出力の補正値と、膜厚残差の真値とを含む関数を 2 乗した値を目的関数とし、各プラズマ源の出力の補正値の上下限値を制約条件とした 2 次計画法により算出してもよい。これにより、第 2 の実施形態によれば、上下限値の範囲内で、膜厚残差の真値がなるべく小さくなるよう、各プラズマ源の出力の補正値を算出することができる。

【 0 1 4 8 】

[第 3 の実施形態]

上記第 1 の実施形態では、各プラズマ源の出力を所定量変更することで、膜厚モデル及び屈折率モデルを生成するものとして説明した。しかしながら、膜厚モデル及び屈折率モデルの生成方法はこれに限定されず、例えば、プラズマガスの流量を所定量変更することで、膜厚モデル及び屈折率モデルを生成してもよい。これにより、プラズマガスの流量を最適化することができる。

【 0 1 4 9 】

このように、各プラズマ源の出力に加えて、プラズマガスの流量を最適化することで、各プラズマ源の出力のみを最適化する場合と比較して、屈折率の均一性をより向上させることができる。

【 0 1 5 0 】

なお、本実施形態の場合、最適化部 1 5 1 では、2 種類の膜厚モデルとして、
・各プラズマ源の出力を所定量変更することで生成した膜厚モデル（第 1 の膜厚モデル）と、
・各ガス流路のプラズマガスの流量を所定量変更することで生成した膜厚モデル（第 2 の膜厚モデル）と、
を用いて、各プラズマ源の出力と各ガス流路のプラズマガスの流量とを最適化する。

【 0 1 5 1 】

同様に、本実施形態の場合、最適化部 1 5 1 では、2 種類の屈折率モデルとして、
・各プラズマ源の出力を所定量変更することで生成した屈折率モデル（第 1 の屈折率モデル）と、
・各ガス流路のプラズマガスの流量を所定量変更することで生成した屈折率モデル（第 2 の屈折率モデル）と、
を用いて、各プラズマ源の出力と各ガス流路のプラズマガスの流量とを最適化する。

【 0 1 5 2 】

あるいは、最適化部 1 5 1 では、
・各プラズマ源の出力を所定量変更することで生成した膜厚モデルと、
・各ガス流路のプラズマガスの流量を所定量変更することで生成した屈折率モデルと、
を用いて、各プラズマ源の出力と各ガス流路のプラズマガスの流量とを最適化してもよい。

【 0 1 5 3 】

[第 4 の実施形態]

上記第 1 の実施形態では、カルマンフィルタ部 9 0 4 がカルマンゲインを調整することにより、膜厚残差及び屈折率残差の真値を推定するものとして説明した。しかしながら、真値の推定方法はこれに限定されず、他の学習機能を用いて真値を推定するように構成してもよい。

【 0 1 5 4 】

[第 5 の実施形態]

上記第 1 の実施形態では、プロセス条件 7 0 0 のうち、各プラズマ源の出力以外のプロセス条件を固定するものとして説明した。しかしながら、各プラズマ源の出力以外のプロセス条件であっても、例えば、成膜時間や A L D (Atomic Layer Deposition) サイクルについては最適化の対象としてもよい。現状のレシピにより成膜処理が行われた際の成

10

20

30

40

50

膜時間と膜厚の変化量との関係に基づいて、予め成膜レートを算出しておくことで、最適化部 1 5 1 では、最適化した成膜時間に応じた予測膜厚または予測屈折率を算出することができるからである。

【 0 1 5 5 】

また、上記第 1 の実施形態では、情報処理プログラムが、情報処理装置 1 4 0 の補助記憶部 4 0 4 に格納されるものとして説明した。しかしながら、情報処理プログラムは、例えば、半導体製造装置の一例である成膜装置 1 1 0 内の制御部 3 8 0 が有する記憶部に組み込まれてもよい。

【 0 1 5 6 】

なお、上記実施形態に挙げた構成等に、その他の要素との組み合わせ等、ここで示した構成に本発明が限定されるものではない。これらの点に関しては、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で変更することが可能であり、その応用形態に応じて適切に定めることができる。

【 符号の説明 】

【 0 1 5 7 】

1 0 0 : 成膜システム
1 1 0 : 成膜装置
1 2 0 : 膜厚測定装置
1 3 0 : 屈折率測定装置
1 4 0 : 情報処理装置
1 5 0 : モデル生成部
1 5 1 : 最適化部
1 5 2 : レシピ生成部
5 0 1 : モデル生成用データ取得部
5 0 2 : 生成部
7 0 0 : プロセス条件
8 1 0 : 膜厚モデル
8 2 0 : 屈折率モデル
9 0 1 : 測定値取得部
9 0 2 : 目標値入力部
9 0 3 : 残差算出部
9 0 4 : カルマンフィルタ部
9 0 5 : 補正值算出部
9 0 6 : 新レシピ生成部
1 5 0 0 : プロセス条件

10

20

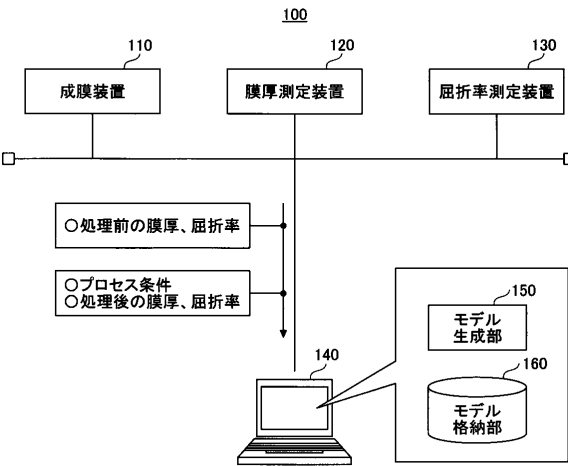
30

40

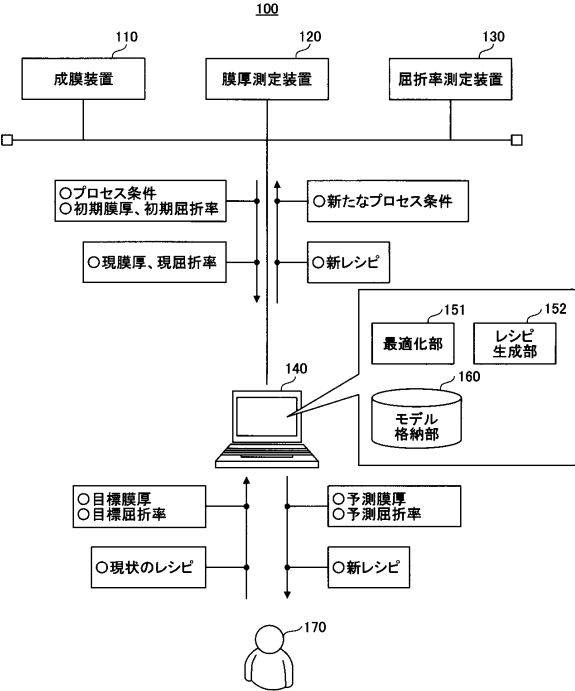
50

【図面】

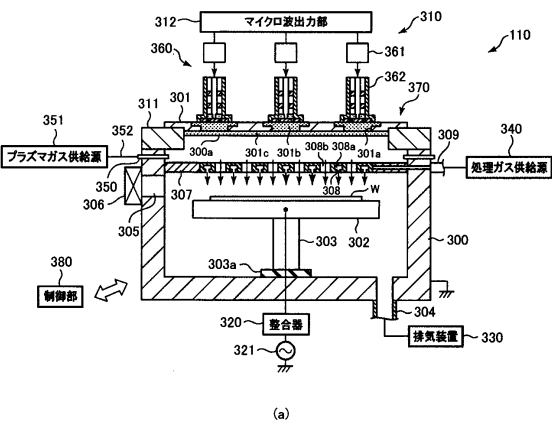
【図 1】



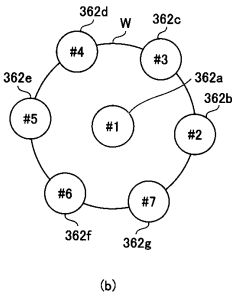
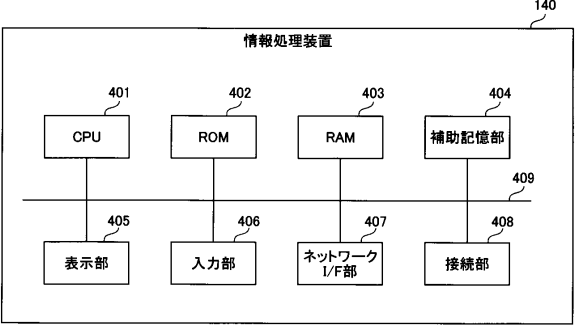
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

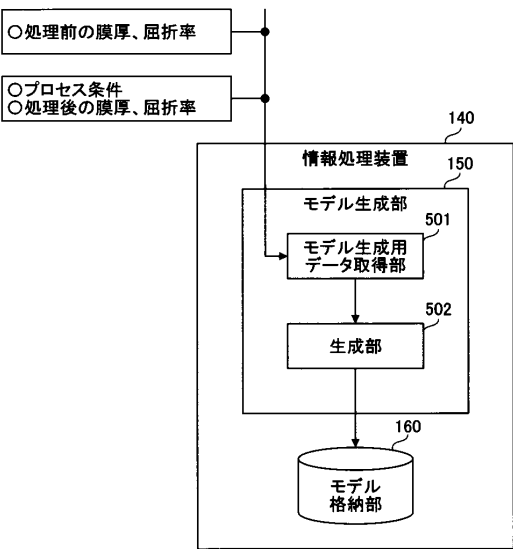
20

30

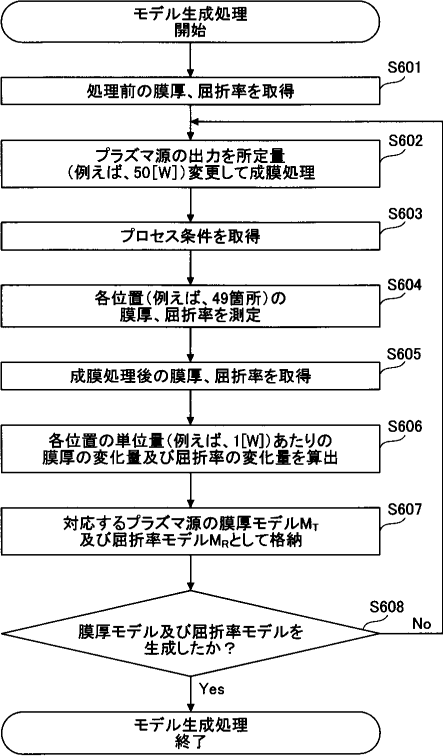
40

50

【図 5】



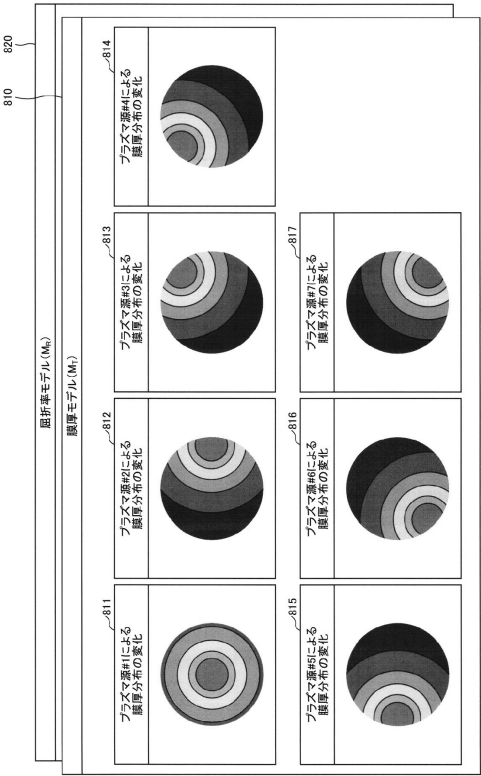
【図 6】



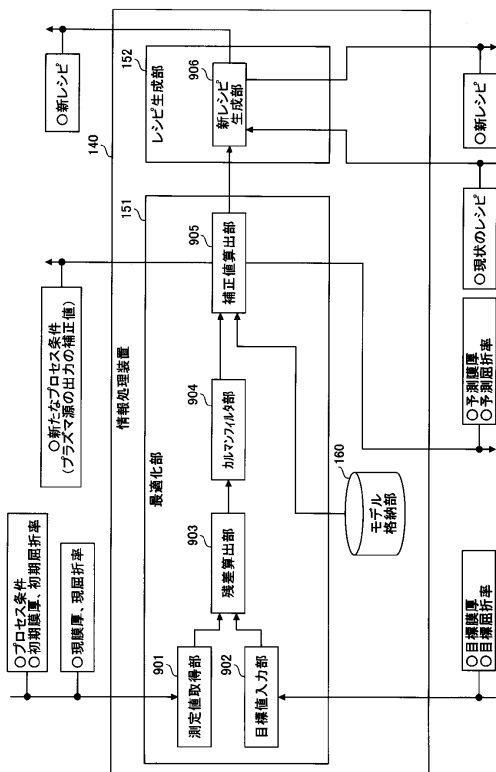
【図 7】

プロセス条件									
プロセスデータの種類	圧力 [Pa]	プラズマガス流量 [sccm]	プラズマ #1の出力 [W]	プラズマ #2の出力 [W]	プラズマ #3の出力 [W]	プラズマ #4の出力 [W]	プラズマ #5の出力 [W]	プラズマ #6の出力 [W]	プラズマ #7の出力 [W]
プロセスデータ	p	f	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7
成膜時間 [sec]	温度 [deg-C]								
成膜時間	t								

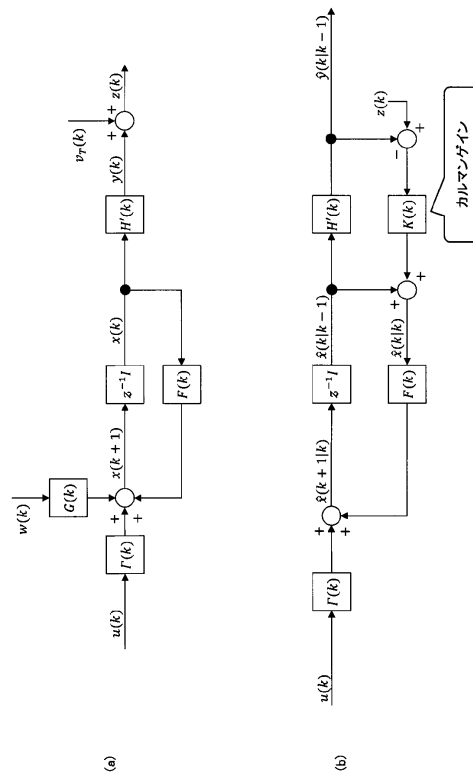
【図 8】



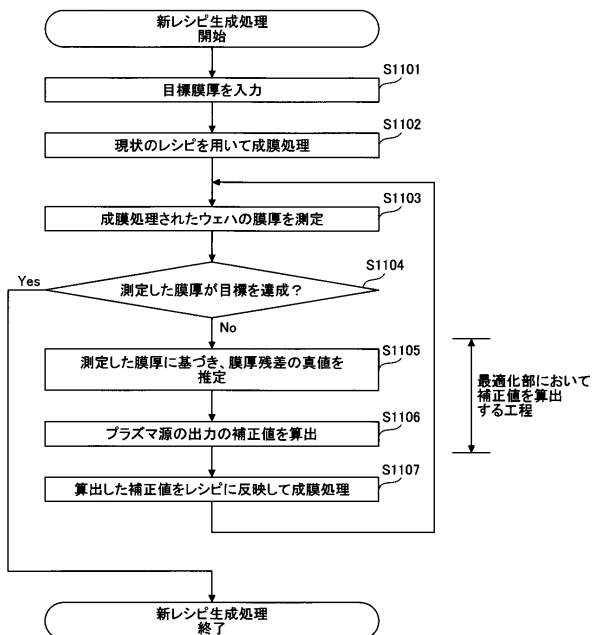
【図 9】



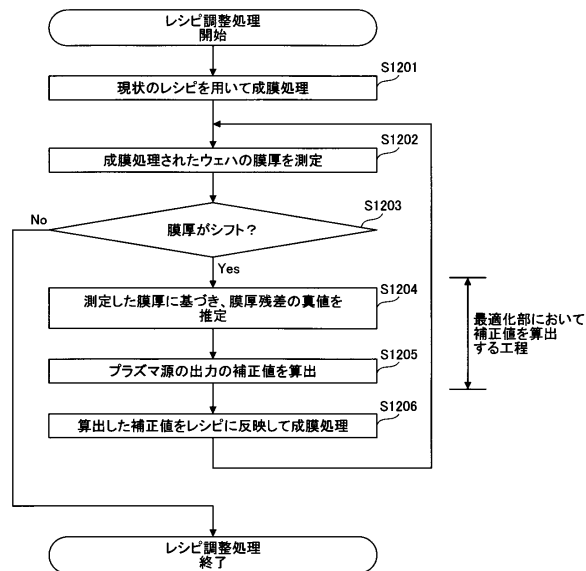
【図 10】



【図 11 A】



【図 11 B】



10

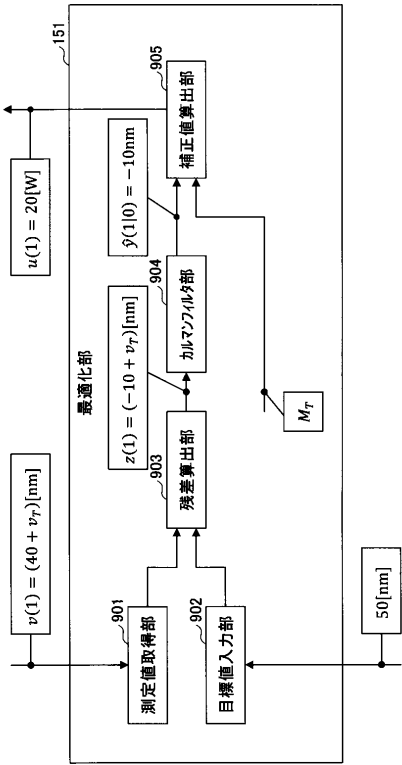
20

30

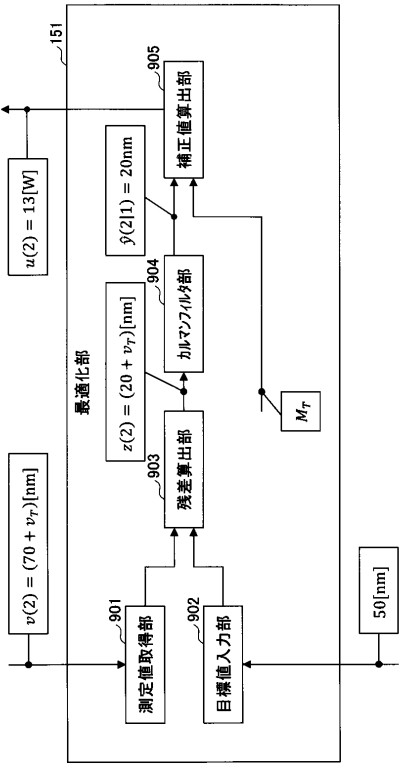
40

50

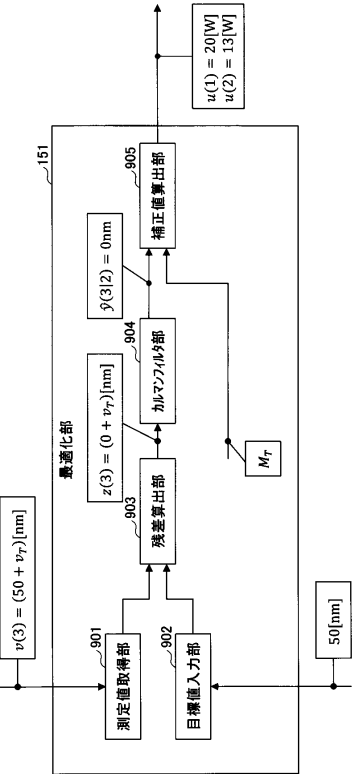
【図 1 2】



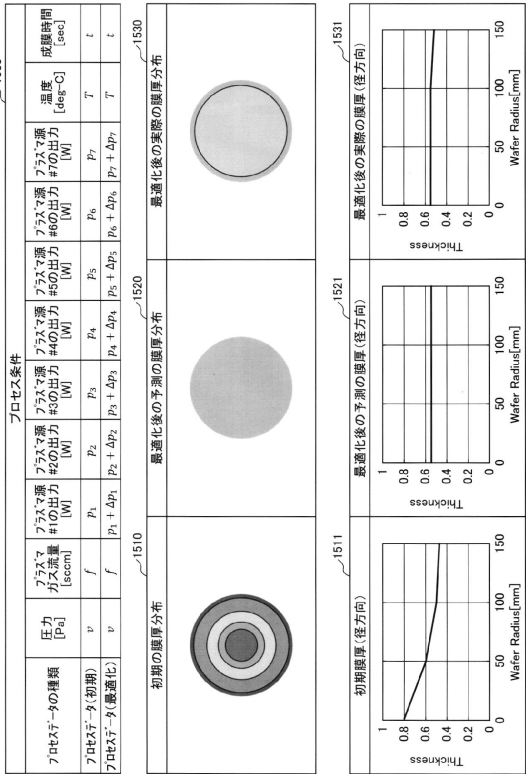
【図 1 3】



【図 1 4】



【図 1 5】



フロントページの続き

審査官 加藤 芳健

- (56)参考文献 特開平 5 - 1 9 0 4 5 8 (J P , A)
特開平 5 - 9 0 2 4 7 (J P , A)
特開平 1 0 - 1 2 5 6 6 0 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- | | |
|---------|-----------|
| H 0 1 L | 2 1 / 3 1 |
| H 0 1 L | 2 1 / 0 2 |
| C 2 3 C | 1 6 / 5 2 |
| H 0 5 H | 1 / 4 6 |
| H 0 1 L | 2 1 / 0 2 |