

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6875224号
(P6875224)

(45) 発行日 令和3年5月19日 (2021.5.19)

(24) 登録日 令和3年4月26日 (2021.4.26)

(51) Int. Cl.	F I
H O 1 L 21/3065 (2006.01)	H O 1 L 21/302 I O 1 G
H O 5 H 1/46 (2006.01)	H O 5 H 1/46 M
H O 5 H 1/00 (2006.01)	H O 5 H 1/00 A

請求項の数 7 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2017-152921 (P2017-152921)	(73) 特許権者	501387839
(22) 出願日	平成29年8月8日 (2017.8.8)		株式会社日立ハイテク
(65) 公開番号	特開2019-33165 (P2019-33165A)		東京都港区虎ノ門一丁目17番1号
(43) 公開日	平成31年2月28日 (2019.2.28)	(74) 代理人	110001689
審査請求日	令和2年2月13日 (2020.2.13)		青稜特許業務法人
		(72) 発明者	朝倉 涼次
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株
			式会社日立製作所内
		(72) 発明者	梅田 祥太
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株
			式会社日立製作所内
		(72) 発明者	白石 大輔
			東京都港区西新橋一丁目24番14号 株
			式会社日立ハイテクノロジーズ内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置及び半導体装置製造システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

試料をプラズマ処理するプラズマ処理部と、
 前記プラズマ処理を制御する制御部と、を備え、
 前記制御部は、
 前記プラズマ処理の結果を予測する複数の予測モデルの中から一つの前記予測モデルを分割されたデータ毎に選択し、
 前記分割されたデータ毎に選択された予測モデルを用いて前記プラズマ処理の結果を予測し、
 前記分割されたデータは、前記プラズマ処理部の状態を示す管理項目の閾値を基に分割されたデータであり、
 前記分割されたデータ毎に選択された前記予測モデルは、前記管理項目と前記閾値を基に選択され、

10

分光の波長と前記管理項目と前記閾値は、前記波長における分光のモニタ値と前記プラズマ処理の結果指標との相関に対するロバスト性と、前記分割されたデータ間の距離と、前記分割されたデータにおける回帰式の係数と、を基に特定されることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項2】

請求項1に記載のプラズマ処理装置において、
 前記管理項目は、前記試料のプラズマ処理回数であることを特徴とするプラズマ処理装置

20

。

【請求項 3】

請求項 1 に記載のプラズマ処理装置において、
前記プラズマ処理の結果は、前記試料上に形成されたパターンの寸法であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 4】

請求項 1 に記載のプラズマ処理装置において、
予測された前記プラズマ処理の結果を前記予測モデルに対応させて表示する出力部をさらに備えることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 5】

請求項 1 に記載のプラズマ処理装置において、
前記プラズマ処理の結果における過去の履歴と発光データにおける過去の履歴とが記憶される記憶部を更に備え、
前記制御部は、
前記プラズマ処理の結果における過去の履歴と前記発光データにおける過去の履歴との相関を基に前記管理項目の閾値を求めることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 6】

請求項 1 に記載のプラズマ処理装置において、
検査装置により前記プラズマ処理の結果の指標を取得する処理結果取得部をさらに備え、
前記制御部は、
前記指標を基に前記予測モデルを選択することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 7】

試料がプラズマ処理されるプラズマ処理部と制御部とがネットワークを介して接続された半導体装置製造システムにおいて、
前記制御部は、
前記プラズマ処理の結果を予測する複数の予測モデルの中から一つの前記予測モデルを分割されたデータ毎に選択し、
前記分割されたデータ毎に選択された予測モデルを用いて前記プラズマ処理の結果を予測し、
前記分割されたデータは、前記プラズマ処理部の状態を示す管理項目の閾値を基に分割されたデータであり、
前記分割されたデータ毎に選択された前記予測モデルは、前記管理項目と前記閾値を基に選択され、
分光の波長と前記管理項目と前記閾値は、前記波長における分光のモニタ値と前記プラズマ処理の結果指標との相関に対するロバスト性と、前記分割されたデータ間の距離と、前記分割されたデータにおける回帰式の係数と、を基に特定されることを特徴とする半導体装置製造システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、プラズマ処理装置及びプラズマ処理システムに関する。

【背景技術】

【0002】

プラズマ処理装置では、半導体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、物質を電離した状態（プラズマ状態）にし、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プラズマ処理が行われる。

【0003】

ここで、半導体装置の微細形状の幅や深さなどの寸法や、プラズマ処理装置が微細形状を加工する際の加工速度（エッチレート）を処理結果指標と呼ぶ。

【0004】

プラズマ処理装置では、同一のプラズマ処理条件で処理を行っても様々な外乱やプラズマ状態の経時変化により同一の処理結果指標を得ることは困難になっている。そのため、処理結果指標を安定化させるために、プラズマ処理装置には、エッチング中に計測された装置のモニタデータを用いて処理結果指標を予測し、予測した結果に基づいてプラズマ処理条件を変更する制御技術が適用されている。モニタデータには、プラズマ処理中のプラズマの発光や半導体ウェハ表面の反射光などを分光器で計測したデータ（以下、分光データと呼ぶ）が用いられる。

【0005】

このような分光データを用いて処理結果指標を予測して制御する方法は、例えば、特許文献1に記載されている。特許文献1では、分光データの多数の波長の中から加工寸法の予測に適した波長を選択して予測及び制御を行っている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2016-25145号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

特許文献1では、分光データと処理結果指標との間に相関関係があることを活用し、分光データを入力とした単一の関数である予測モデルを用いて処理結果指標を予測している。

20

【0008】

しかし、特許文献1では、単一の予測モデルを用いているため、プラズマ処理装置の状態の変化により分光データと処理結果指標の間の相関関係が変化した場合には、その変化に追従できず予測精度が低下してしまう。

【0009】

本発明の目的は、プラズマ処理装置の状態の変化に追従して処理結果指標を高精度で予測することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

30

本発明の一態様のプラズマ処理装置は、試料をプラズマ処理するプラズマ処理部と、前記プラズマ処理を制御する制御部とを備え、前記制御部は、前記プラズマ処理部の状態に基づいて前記プラズマ処理の結果を予測する複数の予測モデルの中から一つを選択し、前記選択された予測モデルを用いて前記プラズマ処理の結果を予測することを特徴とする。

【0011】

本発明の一態様のプラズマ処理システムは、試料をプラズマ処理するプラズマ処理部と、前記プラズマ処理を制御する制御部と、前記プラズマ処理部の状態を示す管理値を保持する装置状態管理部を有する処理部とを備え、前記プラズマ処理部と前記処理部とがネットワークを介して接続され、前記制御部は、前記管理値の閾値に基づいて前記プラズマ処理の結果を予測する複数の予測モデルの中から一つを選択し、前記選択された予測モデルを用いて前記プラズマ処理の結果を予測することを特徴とする。

40

【発明の効果】

【0012】

本発明の一態様によれば、プラズマ処理装置の状態の変化に追従して処理結果指標を高精度で予測することができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】実施例のプラズマ処理装置の概略の構成を示すブロック図である。

【図2】プラズマ処理装置の処理部の概略の構成を示すブロック図である。

【図3】制御部の予測及び制御処理を説明する構成図である。

50

【図４】予測モデル記憶領域の例を示す表である。

【図５】データ解析装置の解析処理を示すフロー図である。

【図６】処理履歴記憶領域の例を示すテーブルを示す図である。

【図７】評価結果記憶領域の例を示すテーブルを示す図である。

【図８】予測モデルを切替える予測及び制御処理の設定を入力する画面を示す図である。

【図９】予測モデルを切替える予測及び制御処理の結果を表示する画面の例を示す図である。

【図１０】データ解析装置の解析処理の入力画面を示す図である。

【図１１】データ解析装置の解析処理の出力画面を示す図である。

【図１２a】解析処理の解析例を示す図である。

10

【図１２b】解析処理の解析例を示す図である。

【図１２c】解析処理の解析例を示す図である。

【図１２d】解析処理の解析例を示す図である。

【図１３】予測モデルの例を示す図である。

【図１４】他の実施例の予測及び制御処理を説明する構成図である。

【図１５】他の実施例のプラズマ処理システムの概略の構成を示すブロック図である。

【図１６】分光器で計測された分光データの例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【００１４】

以下、図面を用いて、実施例について説明する。

20

【００１５】

〔プラズマ処理装置〕

図１を参照して、プラズマ処理装置１の構成について説明する。

図１に示すように、プラズマ処理装置１は、処理部１０と解析部２０と入力部３０と出力部３１と通信インタフェース部（通信ＩＦ部）３２と処理結果取得部３３を有し、これらはバス３４を介して相互に接続されている。

【００１６】

処理部１０は、プラズマ処理部１１と分光器１２と制御部１３と装置状態管理部１４と記憶部１５とインタフェース部（ＩＦ部）１１０とを有する。プラズマ処理部１１はプラズマを発生させてウェハ（試料）を加工し、分光器１２はプラズマ処理が行われる間にプラズマの発光データや、ウェハ表面又はプラズマ処理部１１の内壁面での反射光である分光データを取得する。分光データはＩＦ部２１０を介して解析部２０の有する記憶部２２に格納される。

30

【００１７】

制御部１３は、プラズマ処理部１１での処理を制御する。制御部１３は、後述の予測モデルを用いてプラズマ処理の処理結果指標を予測し、プラズマ処理条件を調整する予測及び制御処理（ＡＰＣ：Advanced Process Control）を行う。記憶部１５の予測モデル記憶領域１６には、予測モデルを特定する情報が格納される。

【００１８】

解析部２０は、予測モデルの切換えに用いる装置状態管理項目とその判定基準を特定する処理を行う。解析部２０は、データを解析する演算部２１と、記憶部２２、インタフェース部（ＩＦ部）２１０を有する。

40

【００１９】

記憶部２２は、過去のプラズマ処理の結果を示す処理履歴記憶領域２３と、解析処理の結果を示す解析結果記憶領域２４を有する。

【００２０】

演算部２１は、処理履歴記憶領域２３を用いて装置状態管理項目とその判定基準を決定する解析処理を行う。演算部２１の行う解析処理の詳細については、後述する。

【００２１】

入力部３０は、ユーザ操作による情報入力を受け付ける例えばマウスやキーボード等で

50

ある。出力部 31 は、ユーザに対して情報を出力するディスプレイやプリンタ等である。通信 I F 部 32 は、バス 34 や外部ネットワーク等を介して他の装置やシステム（既存の生産管理システム等とも接続可能である）と接続し情報送受信を行うためのインタフェースである。

【0022】

バス 34 は、各部（10、20、30、31、32、33）を連結する。各部の I F 部（110、210）は、バス 34 を介して情報送受信を行うためのインタフェースである。処理結果取得部 33 は、処理結果指標を計測する検査装置等から処理結果指標を取得するインタフェースである。なお、解析部 20 を解析装置として独立させて、プラズマ処理部 10 を有するプラズマ処理装置に I F 部 210 を介して接続される形態としても良い。

10

【0023】

[プラズマ処理部]

処理部 10 は、プラズマ処理部 11 と分光器 12 と制御部 13 と記憶部 15 と I F 部 110 とを備えている。プラズマ処理部 11 は、図 2 に示すように、真空排気手段(図示せず)で内部を真空中に排気されるチャンバ 111 と、電源(図示せず)により高周波電力が印加されて真空中に排気されたチャンバ 111 の内部にプラズマを発生させる 1 対の電極 112a 及び 112b と、チャンバ 111 の内部を外側から観察する窓 115 と、真空中に排気されたチャンバ 111 の内部にウェハ（試料） 114 をプラズマ処理するためのプラズマ処理ガスを供給するガス供給器 117 とを備えている。なお、ガス供給部 117 は、複数の種類のガス（CF₄、CHF₃、Ar 等）をそれぞれ供給することが可能となっている。

20

【0024】

このような構成において、制御部 13 からの指示によってプラズマ処理部 11 は、ウェハ 114 をチャンバ 111 の内部に格納してチャンバ 111 の内部を排気手段で真空中に排気した状態で、ガス供給器 117 からプラズマ処理ガスを供給し、電源により電極 112a 及び 112b に高周波電力を印加する。これにより、電極 112a と 112b との間でプラズマ処理ガスをプラズマ化させる。プラズマ化したガス 113 をウェハ 114 に化学的及び物理的に反応させることでウェハ 114 を加工する。

【0025】

プラズマ化したガス 113 は、ガス供給器 117 から供給されたプラズマ処理ガスに含まれるエレメントやウェハ 114 から加工の過程で発生したエレメントを含んでおり、プラズマ化したガス 113 に含まれているエレメントに応じた波長の光 116 を発生させる。発生した光 116 は窓 115 を通して分光器 12 にて計測され、I F 部 110 を介して解析部 20 の記憶部 22 の処理履歴記憶領域 23 に記憶される。なお、外部光源(図示せず)を用いてチャンバ 111 の壁面やウェハ 114 に光を照射し、分光器 12 でその反射光や透過光を計測するようにしても良い。この場合は、プラズマ処理をされたウェハ 114 やチャンバ 111 の壁面の状態に応じた分光データが得られる。

30

【0026】

制御部 13 は、プラズマ処理部 11 への指示に加えて、分光器 12 で計測された分光データを入力としてプラズマ処理条件を変更する処理を行う。

40

【0027】

装置状態管理部 14 は、プラズマ処理部 11 の状態として、クリーニングからのプラズマ処理の回数（例えば、ウェハ 114 の処理回数）や、プラズマ処理部 11 の待機時間を測定又は保持する。ここで、装置状態管理部 14 による装置状態管理とは、例えば、プラズマ処理部 11 の状態を管理することである。これらのデータの値は、予測及び制御処理に利用されるだけでなく、I F 部 110 を介して解析部 20 の記憶部 22 の処理履歴記憶領域 23 に記憶される。

【0028】

記憶部 15 は、処理結果指標の予測値を算出するための予測モデルと、予測モデルを切換えに用いる装置状態管理項目と判定基準が記憶される。これらの情報は、予測モデル記

50

憶領域 16 に記憶される。

【0029】

図 4 を参照して、予測モデル記憶領域 16 の例について説明する。

図 4 に示すように、予測モデル記憶領域 16 は、予測モデル切換テーブル 16-1 a と予測モデルテーブル 16-2 a で構成される。予測モデル切換テーブル 16-1 a には、予測モデルを切換えに用いる装置状態管理項目（装置状態管理項目欄 16-1 b）と判定基準（判定基準欄 16-1 c）と、それぞれの判定基準に合致する場合に利用される予測モデルの ID（予測モデル ID 欄 16-1 d）が格納される。

【0030】

予測モデルテーブル 16-2 a には、予測モデルの ID（予測モデル ID 欄 16-2 b）と、その予測モデルに用いる分光データの波長（波長欄 16-2 c）と、分光データから処理結果指標を計算するための計算式（計算式欄 16-2 d）が格納される。計算式は、波長 16-2 c における分光データの発光強度の平均値を入力として、処理結果指標を算出する形式である。以降では、分光データの発光強度の平均値を分光モニタ値と呼ぶ。

【0031】

ここで、図 16 に、分光器 12 で計測された分光データの例を示す。分光データは、各波長について計測された発光強度の値を表している。

【0032】

プラズマ処理の終了後には、処理されたウェハ 114 はチャンバ 111 から取り出されて別の装置（検査装置など）に搬送され、また新たな別のウェハ 114 がプラズマ処理部 11 に格納されてプラズマ処理が行われる。処理されたウェハ 114 は、別の装置（検査装置など）にてプラズマ処理の結果として得られるパターンの形状の寸法などが計測される。この形状の寸法などは処理結果指標のデータとして、処理結果取得部 33 を介して、記憶部 22 の処理履歴記憶領域 23 に記憶される。

【0033】

〔予測及び制御処理（APC）〕

図 3 を参照して、制御部 13 にて行われる APC の処理の例について説明する。ウェハ 114 のプラズマ処理が完了すると、APC を実行するように設定されている場合には、制御部 13 は予測モデル切換えの判定を行う（S101）。

【0034】

S101 では、装置状態管理部 14 から装置状態管理項目のデータを取得し、予測モデル切換テーブル 16-1 a の判定基準欄 16-1 c について、基準を満たす行を特定し、それに対応する予測モデル ID 欄 16-1 d の情報を予測に用いる予測モデルとして特定する。

【0035】

更に、制御部 13 は、特定した予測モデルと分光データを用いて処理結果指標を予測する（S102）。S102 では、特定された予測モデルについて、予測モデルテーブル 16-2 a の波長欄 16-2 c から予測に用いる波長の情報を取得する。そして、分光データから当該波長の分光モニタ値を算出し、計算式欄 16-2 d で特定される計算式に代入することで処理結果指標の予測値を算出する。なお、発光強度の最大値や最小値、中央値を分光モニタ値としてもよい。また、波長はプラズマに含まれるエレメント（Ar や Si）の発光波長を利用できる。また、ウェハ 114 やチャンバ 111 の壁面から反射された光の強度を用いる場合には、ウェハ 114 やチャンバ 111 の壁面の状態によって強度が異なる波長が利用できる。また複数の波長における発光強度の比を用いても良い。

【0036】

次に、制御部 13 は記憶部 15 に格納されている予測モデルで指定された係数を、分光モニタ値に掛けることで、処理結果指標の予測値を算出する（S102）。

【0037】

さらに、制御部 13 は、処理結果指標の予測値と目標値の差分に従って、プラズマ処理条件を調整する（S103）。プラズマ処理条件としては、例えばガス供給器 117 から

10

20

30

40

50

供給するプラズマ処理ガスの流量（ガス流量）が調整される。また、S103においては、プラズマ処理条件の調整をするだけでなく、処理結果指標の予測値と目標値の差分が予め定めた閾値よりも大きい場合に、異常としてアラームを出力する構成としても良い。また、プラズマ処理条件を調整せずに、プラズマ処理装置の後の装置のために、処理結果指標の予測値を出力する構成としても良い。

【0038】

[予測及び制御処理（APC）の画面]

前述の予測及び制御処理を行う場合には、生産工程でプラズマ処理装置1を用いて複数のウェハ114を順次プラズマ処理する前の段階で予め装置管理者によって、予測モデルの切換えに用いる装置状態管理項目や判定基準、予測モデルの計算式を入力する必要がある。

10

【0039】

図8を参照して、装置管理者による入力画面D100の例について説明する。

装置管理者は、切換え項目欄D101で、予測モデルを切換えに用いる装置状態管理項目や判定基準を入力し、予測モデル欄D102にて分光モニタ値の算出に用いる波長や予測モデルの計算式を入力する。入力後、予測のみを行う場合はD103にて指示し、APCを行う場合は、D104にて指示をする。

【0040】

図9を参照して、予測やAPCの結果を示す画面の例について説明する。

予測のみを行った場合の例が、D200である。ここでは、処理結果指標の実測値と予測値を合わせて表示している。また、予測に用いた予測モデルを該当する区間について表示している。例えば、今回のようにウェハ114の処理回数の前半と後半で、装置状態の変化に起因する処理結果指標の変化のトレンドが異なる場合には、前半と後半で異なる予測モデルを用いることで予測精度を向上できる。例えば、図9に示すように、前半で予測モデル1を用い、後半で予測モデル2を用いる。

20

【0041】

APCを行った場合の例が、D300である。ここでは、処理結果指標の実測値と予測に用いた予測モデルを表示している。装置状態の変化に合わせて予測モデルを切換えることで、D200に示したように予測精度を向上でき、その結果D300に示したように制御結果のばらつきも低減できる。このAPCの設定は、次の解析部20の解析処理にて過去の処理履歴から作成される。

30

【0042】

[解析部]

図1に示すように、解析部20は、演算部21と記憶部22とIF部210を有する。記憶部22は、処理履歴記憶領域23と解析結果記憶領域24とを備えている。処理履歴記憶領域23には、プラズマ処理をしたウェハごとに、プラズマ処理中に分光器12で計測された分光モニタ値と、そのときの装置状態管理項目の値と、計測装置で計測された処理結果指標の値を特定する情報が格納される。

【0043】

図6は、処理履歴記憶領域23の例である処理履歴データテーブル23aを示す。本テーブルは、ウェハID欄23b、分光モニタ値欄23c、装置状態管理項目値欄23d、処理結果指標欄23e、等の各フィールドを有する。

40

【0044】

ウェハID欄23bには、ウェハ114を特定する情報が格納される。分光モニタ値欄23cには、分光器12で計測された分光器計測データを特定する情報が格納される。分光モニタ欄23cは、図6に示すように波長ごとにフィールドが分割されており、それぞれのフィールドには各波長における発光強度をプラズマ処理時間で平均した値が格納される。また、各行がその分光データを計測したウェハのIDと対応付いている。

【0045】

なお、格納される分光データは、ウェハ114を加工するためのプラズマ処理の際に得

50

られた分光データであってもよいし、ウェハ 1 1 4 を加工する前にプラズマ処理部 1 1 の状態を整えるために行われるプラズマ処理の際に得られた分光データであってもよい。

【0046】

また、それぞれの波長は、プラズマに含まれるエレメント（A r や S i ）の発光波長が格納される。また、ウェハ 1 1 4 やチャンバ 1 1 1 の壁面から反射された光の強度を用いる場合には、ウェハ 1 1 4 やチャンバ 1 1 1 の壁面の状態によって強度が異なる波長が格納される。また、複数の波長における発光強度の比を用いても良い。

【0047】

また、格納される値は発光強度のプラズマ処理時間での平均値ではなく最大値や最小値、中央値であってもよいし、プラズマ処理の中間時点での発光強度の値など、ある指定した時間における発光強度の値であってもよい。

10

【0048】

装置状態管理項目値欄 2 3 d には、それぞれのウェハの処理を行ったときの装置状態管理部 1 4 の管理値や測定値を特定する情報が格納される。装置状態管理項目欄 2 3 d は、図 6 に示すように、管理項目ごとにフィールドが分割されており、それぞれ該当する管理項目の値が格納される。管理項目としては、例えばクリーニングからのプラズマ処理の回数や、前回のプラズマ処理からの待機時間などが利用される。

【0049】

処理結果指標欄 2 3 e には、プラズマ処理の結果を特定する情報が格納される。例えば、プラズマ処理後にプラズマ処理装置 1 に接続された計測装置などを用いて、ウェハ I D 欄 2 3 b にて特定されるウェハ 1 1 4 の表面形状を計測した結果（例えば、測長 S E M や光学式計測装置などの計測装置で計測したウェハ 1 1 4 上に形成されたパターンの寸法、パターン間の寸法など）が格納される。ウェハ 1 1 4 ごとに表面形状の寸法情報が、処理結果取得部 3 3 を介して処理結果指標欄 2 3 e に格納される。

20

【0050】

また、ウェハ 1 1 4 ごとにプラズマ処理条件が調整された場合には、プラズマ処理条件の調整量と処理結果指標の変更量の間の関数を用いてプラズマ処理条件の調整量による処理結果指標の変更量を算出し、計測された処理結果指標を処理結果指標の変更量で補正した値を、処理結果指標欄 2 3 e に格納してもよい。

【0051】

30

図 7 は、解析結果記憶領域 2 4 の例である解析結果データテーブル 2 4 a を示す。本テーブルは、波長欄 2 4 b、装置状態管理項目欄 2 4 c、判定基準閾値欄 2 4 d、決定係数欄 2 4 e、ロバスト性評価欄 2 4 f、分布間距離評価欄 2 4 g、係数評価欄 2 4 h、等の各フィールドを有する。

【0052】

波長欄 2 4 b、装置状態管理項目欄 2 4 c、判定基準閾値欄 2 4 d に格納される値は、予測モデルの分光モニタ値を算出する波長、予測モデルを切替える装置状態管理項目、切替えの判定基準の閾値を表している。

【0053】

また、判定基準閾値欄 2 4 d、決定係数欄 2 4 e、ロバスト性評価欄 2 4 f、分布間距離評価欄 2 4 g、係数評価欄 2 4 h に格納される値は、前期の波長欄 2 4 b、装置状態管理項目欄 2 4 c、判定基準閾値欄 2 4 d の組合せの良否を特定するための情報が格納される。本データテーブルの値は、後述の解析処理の中で格納される。

40

【0054】

〔解析部 2 0 の解析処理〕

実施例による解析処理は、プラズマを用いてウェハ 1 1 4 を加工するプラズマ処理において、処理結果指標を予測する予測モデルの切替えに用いる装置状態管理項目とその判定基準の閾値を特定する。

【0055】

実施例による解析処理は、分光データの波長と装置状態管理項目とその判定基準の閾値

50

の組合せそれぞれについて、当該波長の分光モニタ値と処理結果指標の間の相関の強さやそのロバスト性などを評価する。これにより、予測モデルの切換えに用いる装置状態管理項目とその判定基準の閾値を特定する。

【0056】

以下に、実施例による解析処理の方法を、具体的に説明する。

生産工程でプラズマ処理装置1を用いて複数のウェハ114を順次プラズマ処理する前の段階として、プラズマ処理装置1を扱う装置管理者が、予測に用いる装置状態管理項目とその判定基準の閾値と予測モデルを作成するために、解析部20において解析処理を実行する。

【0057】

予測モデルとその切換えの条件は、プラズマ処理の対象であるウェハ114の表面上の膜の構成などによって変化するため、プラズマ処理の立上げ時には、適宜、本解析処理を実行することが必要になる。

【0058】

次に、図5を参照して、解析部20において実行される解析処理の流れについて説明する。

図10に示すような表示画面D400上で装置管理者が解析対象となる波長(D401)と装置状態管理項目(D402)を入力し、解析処理の実行を指示する(D403)と解析部20は解析処理を行う。

【0059】

はじめに、入力された波長と装置状態管理項目を元に、波長と装置状態管理項目と閾値の組み合わせを作成し(S201)、それぞれの組合せについて、S203以降の処理を行う(S202)。

【0060】

まず、解析対象となる処理履歴を装置状態管理項目とその閾値で2つに層別し(S203)、層別したそれぞれのデータについて、評価対象の波長における分光モニタ値と処理結果指標の相関の強さである決定係数を算出する(S204)。

【0061】

更に、閾値を微変更したときの相関のロバスト性の評価(S205)と、層別データ間の距離(S206)と、層別データの回帰式の評価(S207)を、全ての組み合わせについて計算し(S208)、評価の最も良い波長と装置状態管理項目と閾値の組合せを特定する(S209)。特定した組合せで予測モデルを切換える設定と、予測モデルデータを作成し、装置管理者に表示画面D500(図11参照)で提示することで(S210)、解析処理を終了する。

【0062】

次に、各ステップの詳細を説明する。

S201では、演算部21は、図10に示す表示画面400上で装置管理者によって入力された波長と装置管理項目を取得する。入力された装置管理項目については、その閾値の候補を設定する。例えば、装置管理項目の最大値と最小値の間をN分割(N=5、10など)するように閾値の候補を設定する。この閾値の候補と、波長と装置管理項目を用いて、波長と装置管理項目とその閾値の全組合せを作成する。作成した組合せを、解析結果データテーブル24a(図7参照)の波長欄24b、装置状態管理項目欄24c、判定基準閾値欄24dに格納する。解析結果データテーブル24aの各行は、それぞれの組合せを表すことになる。

【0063】

S202では、演算部21は、S201で作成した全ての組合せについて、すなわち解析結果データテーブル24a(図7参照)の各行について、それらの組合せの良否を評価する。以下では計算対象となっている波長を波長 W_i 、装置状態管理項目を項目 H_j 、装置状態管理項目の閾値を閾値 $H_j T_k$ と記載する。

【0064】

S 2 0 3では、演算部 2 1は、処理履歴データテーブル 2 3 a（図 6 参照）のデータを、装置状態管理項目値欄 2 3 dを基準に2つに層別（分割）する。装置状態管理項目値欄 2 3 dの項目 H j の値が閾値 H j T k よりも大きいデータと、閾値 H j T k 以下となるデータの2つに層別する。

【0 0 6 5】

S 2 0 4では、演算部 2 1は、層別した処理履歴データテーブル 2 3 a（図 6 参照）のデータそれぞれについて、波長 W i における分光モニタ値と処理結果指標を取得する。このデータは、図 1 2 aに示すように、2つのグループに層別される。それぞれのグループについて相関の強さを示す決定係数を算出し、2つのグループの決定係数の平均を、この組合せの評価指標として解析結果データテーブル 2 4 aの決定係数欄 2 4 eに格納する。

10

【0 0 6 6】

S 2 0 5では、演算部 2 1は、閾値 H j T k の値を微変更（例えば $\pm 5\%$ 増減）した場合の相関のロバスト性を評価する。具体的には、微変更した閾値においても、S 2 0 3、S 2 0 4と同じ処理を行い、決定係数の平均値を算出する。この決定係数と S 2 0 4の決定係数の差分が、予め定めた閾値よりも大きい場合には、相関のロバスト性が低いとして、解析結果データテーブル 2 4 aのロバスト性評価欄 2 4 fに×を格納する。

【0 0 6 7】

閾値 H j T k を微変更した場合に、例えば図 1 2 bのように、層別したデータのグループが変更されると決定係数の差分が大きくなり、ロバスト性が低いと評価される。前記の差分が小さい場合は、ロバスト性が大きいとして○を格納する。

20

【0 0 6 8】

装置状態管理項目の種類によっては、外乱により予測モデル切換えのタイミングがばらつく可能性もある。その様な場合にも予測精度を悪化させないために、ロバスト性の高い組合せを特定する。

【0 0 6 9】

S 2 0 6では、演算部 2 1は、層別した2つのデータの距離を評価する。例えば、それぞれの重心間のユークリッド距離を算出し、それが予め定めた閾値よりも大きい場合は、距離が大きいとして、分布間距離評価欄 2 4 gに○を格納し、そうでなければ×を格納する。距離が小さい場合の例を図 1 2 cに示す。距離が大きいほど予測モデル切換えの効果が大きいために、そのような組合せを選択する。

30

【0 0 7 0】

S 2 0 7では、演算部 2 1は、層別した2つのデータにおける回帰式の係数を評価する。ここでは2つのデータについて作成した単回帰式の傾きを評価する。その傾きの差分が予め定めた閾値よりも小さい場合は、傾きが小さいとして係数欄 2 4 fに○を格納し、そうでなければ×を格納する。傾きの差が大きい例を図 1 2 dに示す。これは、分布モニタ値と処理結果指標の相関関係の変化が小さいものを選択するためである。

【0 0 7 1】

S 2 0 8では、演算部 2 1は、波長と装置状態管理項目、閾値の全ての組合せについて S 2 0 4から S 2 0 7の処理を行う。処理が完了した場合には S 2 0 9に進む。

【0 0 7 2】

40

S 2 0 9では、演算部 2 1は、最も良い波長と装置状態管理項目、閾値の組合を特定する。具体的には、解析結果データテーブル 2 4 aのロバスト性評価 2 4 f、分布間距離評価 2 4 g、係数 2 4 hが全て満了（○である）波長と装置状態管理項目、閾値の組合せのうち、決定係数欄 2 4 eが最も大きい組合せを特定する。

【0 0 7 3】

S 2 1 0では、演算部 2 1は、S 2 0 9で特定した組合せを表示画面 D 5 0 0の切換え項目欄に表示する。また、波長と装置状態管理項目、閾値の組合せで作成される層別されたデータについて、図 1 3に示すようにそれぞれ単回帰式（ r_1 、 r_2 ）を作成し、その数式を予測モデル欄 D 5 0 2に表示する。

【0 0 7 4】

50

装置管理者は、この予測モデルを用いてA P Cを行う場合はD 5 0 3（図1 1参照）で指示をする。A P Cを行う場合、図1 1に示す画面（D 5 0 1，D 5 0 2）に表示された情報は、予測モデル記憶領域1 6に格納され、制御に利用される。

【0 0 7 5】

以上で解析処理の説明であるが、層別したデータを更に同様の手法で層別して、切換える予測モデルを3つ以上にすることも可能である。

【0 0 7 6】

このようにして、装置管理者は、容易に予測モデル切換えに用いる装置状態管理項目とその判定基準となる閾値を特定することができる。

【0 0 7 7】

以上説明したように、実施例のプラズマ処理装置1（解析部2 0）は、装置状態に応じて予測モデルを切換えることにより、処理結果指標の予測精度を向上できる。具体的には、ウェハ（試料）をプラズマ処理するプラズマ処理部1 1と、プラズマ処理を制御する制御部1 3とを備え、制御部1 3は、プラズマ処理部1 1の状態に基づいてプラズマ処理の結果を予測する複数の予測モデルの中から一つを選択し、選択された予測モデルを用いてプラズマ処理の結果を予測する。また、予測モデルを切換えるための装置状態管理項目と判定基準となる閾値も処理履歴から作成できる。これにより、A P Cを行うときの処理結果指標を更にばらつきを小さく制御できるようになる。

【0 0 7 8】

なお、実施例としては、装置管理者がモデル切換の装置状態管理項目及び閾値の特定と予測モデルの作成を指示したが、処理履歴のデータが蓄積された段階で、装置状態管理項目で項目及び閾値の特定と予測モデルの作成を行う構成としても良い。

【0 0 7 9】

また、図1 4に示すように、予測モデルの切換え判定（S 1 0 1）を、処理結果取得部3 3から取得した処理結果指標の値にしたがって行う構成としても良い。

【0 0 8 0】

具体的には、図1 4に示す処理部1 0を含むプラズマ処理装置1は、プラズマ処理を行うチャンバ1 1 1内の発光を計測する分光器1 2と、検査装置（図示せず）からプラズマ処理の結果の指標を取得する処理結果取得部3 3とを有する。制御部1 3は、処理結果取得部3 3が取得したプラズマ処理の結果の指標に基づいて予測モデルを切換え、切換えた予測モデルに分光データを入力してプラズマ処理の結果を予測する。

【0 0 8 1】

また、予測モデルの予測誤差を逐次計算し、予測誤差の大きさにしたがって予測モデルの切換え判定（S 1 0 1）を行う構成としても良い。

【0 0 8 2】

あるいは、図1 5に示すように、図1にて処理部1 0内に位置していた制御部1 3、装置状態管理部1 4、記憶部1 5をネットワークで接続されたシステム上に移動し、そこで予測及び制御をする構成としても良い。

【0 0 8 3】

具体的には、図1 5に示すプラズマ処理システムは、処理部1 0を含むプラズマ処理装置1と、処理部2とがネットワーク3 3を介して接続されている。処理部1 0は、ウェハ1 1 4をプラズマ処理して加工するプラズマ処理部1 1と、プラズマ処理部1 1のチャンバ1 1 1内の発光を計測する分光器1 2とを含む。また、処理部2は、プラズマ処理部1 1でのプラズマ処理を制御する制御部1 3と、プラズマ処理部1 1の状態を示す管理値を保持する装置状態管理部1 4とを含む。

【0 0 8 4】

制御部1 3は、プラズマ処理の結果を予測するための複数の予測モデルを有し、装置状態管理部1 4に保持された管理値の閾値に基づいて予測モデルを切換え、切換えた予測モデルに分光データを入力してプラズマ処理の結果を予測する。

【0 0 8 5】

10

20

30

40

50

上記実施例によれば、プラズマ処理装置の状態の変化に追従して処理結果指標を高精度で予測することができる。

【符号の説明】

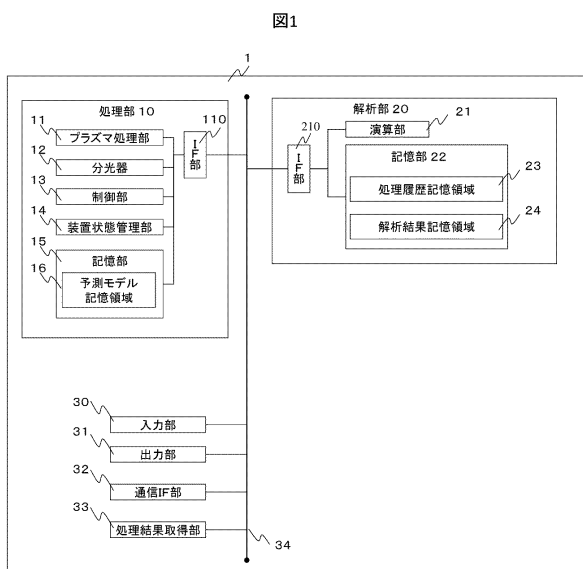
【0086】

- 1 プラズマ処理装置
- 10 処理部
- 11 プラズマ処理部
- 12 分光器
- 13 制御部
- 14 装置状態管理部
- 15 記憶部
- 16 予測モデル記憶領域
- 110 IF部
- 20 解析部
- 21 演算部
- 22 記憶部
- 23 処理履歴記憶領域
- 24 解析結果記憶領域
- 210 IF部
- 30 入力部
- 31 出力部
- 32 通信IF部
- 33 処理結果取得部
- 34 バス

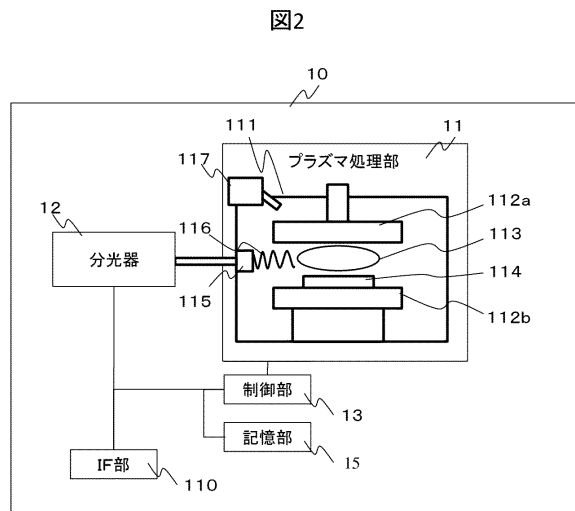
10

20

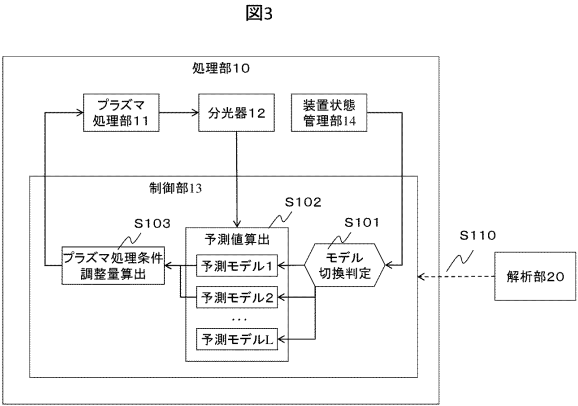
【図1】



【図2】



【図 3】



【図 4】

図4

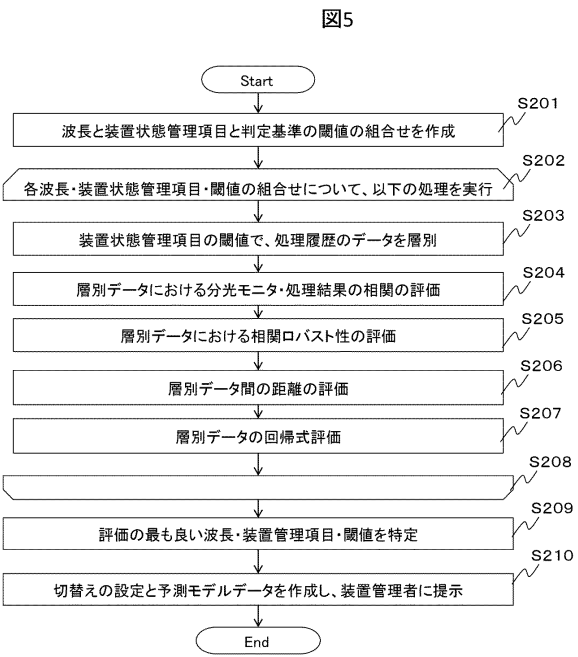
予測モデル切替テーブル 16-1a

装置状態管理項目	判定基準	予測モデルID
H5	H5<100	予測モデル1
	H5≥100	予測モデル2
...	...	...

予測モデルテーブル 16-2a

予測モデルID	波長	計算式
予測モデル1	W3	0.31 + 0.22 * monitor(W3)
予測モデル2	W3	0.42 + 0.23 * monitor(w3)
...	...	...

【図 5】



【図 6】

図6

ウェハID	分光モニタ値			装置状態管理項目値			処理結果指標
	W1	...	Wk	H1	...	Hn	
R1	80.6	...	79.0	102	...	35	1.8
R2	79.5	...	79.4	130	...	48	1.9
...	...	...	...	...	...	...	...
R500	81.5	...	80.5	201	...	92	2.5

【図 7】

図7

24a

波長	装置状態 管理項目	判定基準 閾値	決定 係数	ロバスト性 評価	分布間距離 評価	係数 評価
W1	H1	H1_T1	0.46	×	×	×
W1	H1	...	...	...	...	...
W1	H1	H1_Tm	0.53	○	○	○
W1	H2	H2_T1	0.78	○	○	○
W1	H2	...	...	...	...	...
W1	H2	H2_Tm	0.82	×	○	○
...	...	...	...	...	...	...
WK	Hn	Hn_Tm	0.3	×	○	○

24b 24c 24d 24e 24f 24g 24h

【図 8】

図8

D100

APCを行う予測モデルを設定し、実行を指示してください。

D101

切換え項目	判定基準	予測モデルID
装置状態 管理項目	ウエハ処理回数 <100	予測モデル1
ウエハ処理回数	ウエハ処理回数 ≧100	予測モデル2

D102

予測モデルID	波長	計算式
予測モデル1	W2	$0.11 + 0.42 * \text{monitor}(W2)$
予測モデル2	W2	$0.22 + 0.53 * \text{monitor}(w2)$

D103

本予測モデルを用いて予測を行いますか？

Yes No

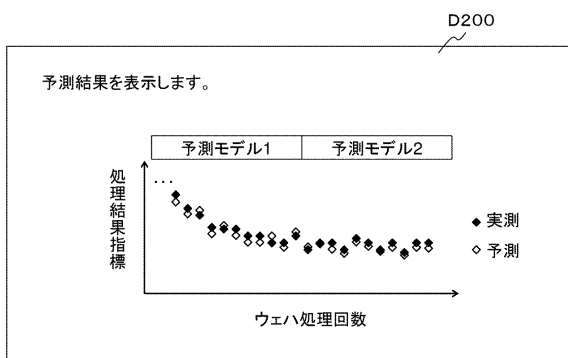
D104

本予測モデルを用いてAPCを行いますか？

Yes No

【図 9】

図9



【図 10】

図10

D400

波長と装置状態管理項目を指定し、予測モデル作成の実行ボタンをクリックしてください。

D401

波長指定

予測モデルの候補とする波長を入力してください

波長
W1
W2
...

D402

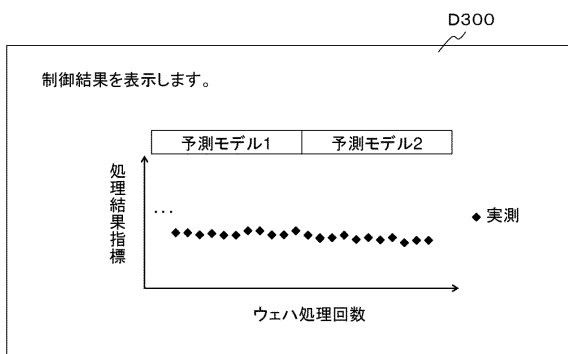
装置状態管理項目

予測モデルの候補とする装置状態管理項目を入力してください

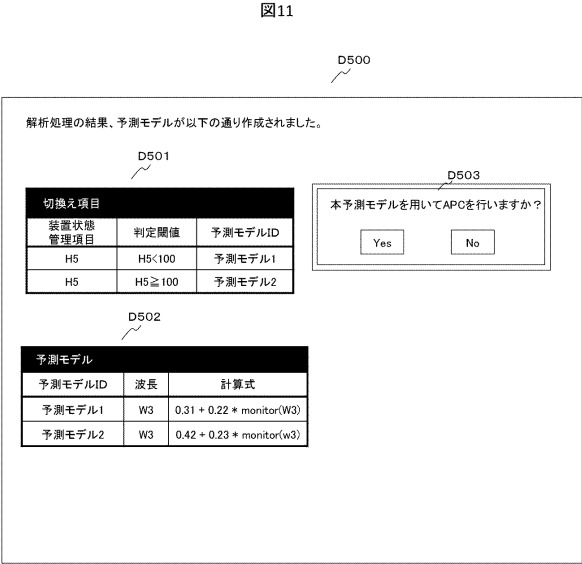
装置状態管理項目
H1
H2
...

D403

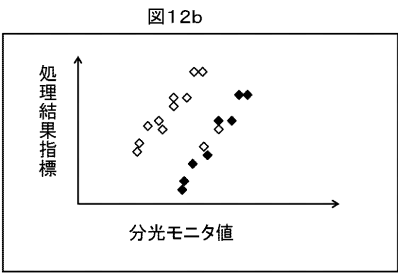
実行1



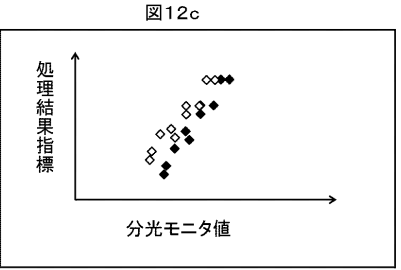
【図 1 1】



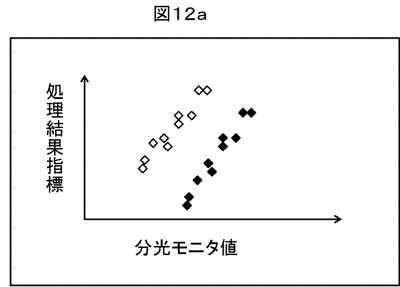
【図 1 2 b】



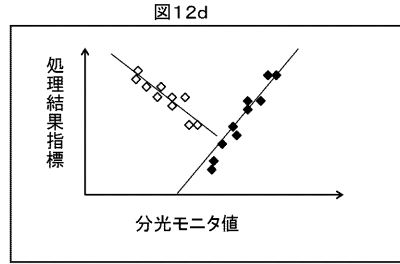
【図 1 2 c】



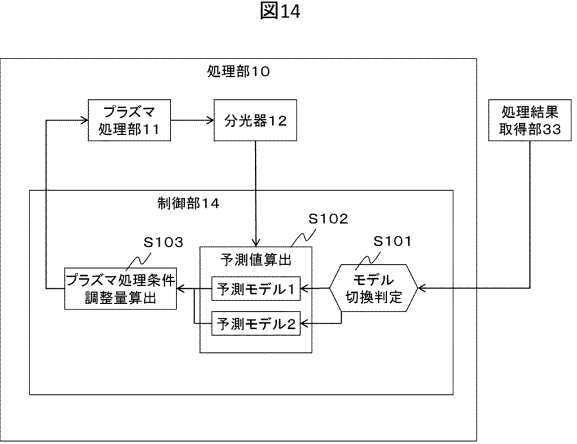
【図 1 2 a】



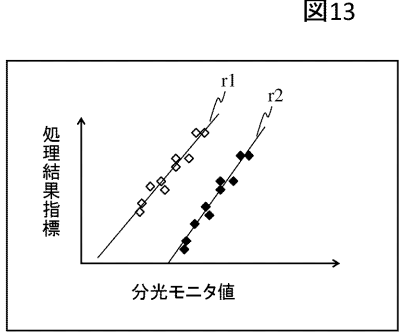
【図 1 2 d】



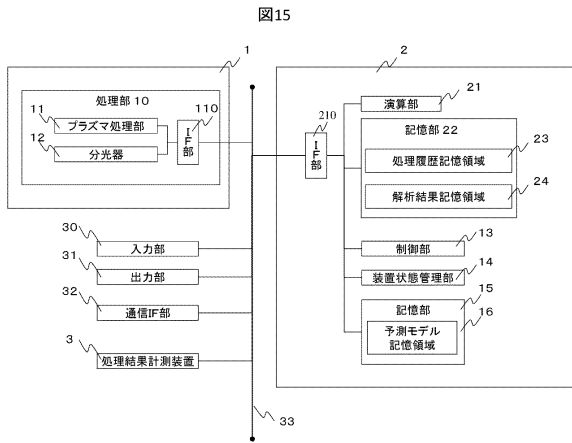
【図 1 4】



【図 1 3】

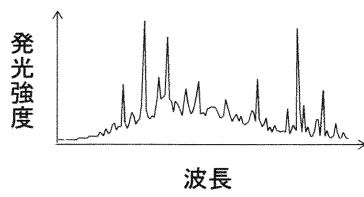


【図 1 5】



【図 1 6】

図16



フロントページの続き

- (72)発明者 鹿子嶋 昭
東京都港区西新橋一丁目24番14号 株式会社日立ハイテクノロジーズ内
- (72)発明者 井上 智己
東京都港区西新橋一丁目24番14号 株式会社日立ハイテクノロジーズ内

審査官 長谷川 直也

- (56)参考文献 特開2013-219401 (JP, A)
特開2016-143738 (JP, A)
特開2002-231596 (JP, A)
特開2013-105923 (JP, A)
特開2017-017067 (JP, A)
特開2007-250902 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/302、21/3065、21/461、
H01J 37/30-37/36、
H05H 1/00- 1/54