

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-82233

(P2016-82233A)

(43) 公開日 平成28年5月16日(2016.5.16)

(51) Int.Cl.

H01L 21/3065 (2006.01)

F 1

H01L 21/302

103

テーマコード(参考)

5FO04

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L 外国語出願 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2015-200658 (P2015-200658)
 (22) 出願日 平成27年10月9日 (2015.10.9)
 (31) 優先権主張番号 62/066,330
 (32) 優先日 平成26年10月20日 (2014.10.20)
 (33) 優先権主張国 米国(US)
 (31) 優先権主張番号 14/523,770
 (32) 優先日 平成26年10月24日 (2014.10.24)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 592010081
 ラム・リサーチ コーポレーション
 LAM RESEARCH CORPORATION
 アメリカ合衆国、カリフォルニア 945
 38, フレモント, クッシング・パークウ
 エイ 4650
 (74) 代理人 1100000028
 特許業務法人明成国際特許事務所
 ヤシン・カボウジ
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 945
 38 フレモント, クッシング・パークウ
 エイ, 4650

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】マルチモードパルスプロセスにおいてプロセス点を検出するためのシステム及び方法

(57) 【要約】

【解決手段】マルチモードパルスプロセスにおいて被選択プロセス点を特定するシステム及び方法は、プラズマプロセスチャンバ内において被選択ウエハにマルチモードパルスプロセスを適用することを含み、該マルチモードパルスプロセスは、複数のサイクルを含み、各サイクルは、異なる複数の段階のうちの少なくとも1つの段階を含む。被選択ウエハに対する複数サイクル中に、上記段階のうちの少なくとも1つの被選択段階について、少なくとも1つのプロセス出力変数が収集される。被選択プロセス点を特定するために、収集された少なくとも1つのプロセス出力変数のエンベロープ及び/又はテンプレートが使用可能である。或る従前の段階の、収集されたプロセス出力変数についての第1の軌道が、上記選択された段階の、プロセス出力変数の第2の軌道と比較可能である。

【選択図】図5

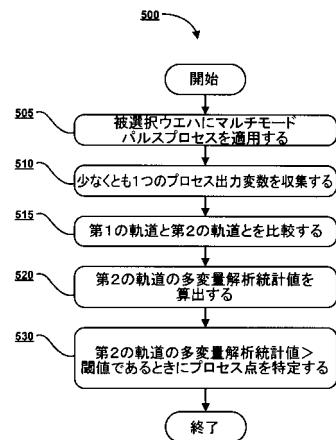


FIG. 5

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

マルチモードパルスプロセスにおいて終点を特定する方法であって、
プラズマプロセスチャンバ内において被選択ウエハにマルチモードパルスプロセスを適用することであって、前記マルチモードパルスプロセスは、複数のサイクルを含み、前記複数のサイクルの各サイクルは、異なる複数の段階のうちの少なくとも1つの段階を含む、ことと、

前記被選択ウエハに対する前記複数のサイクル中に、前記複数の段階のうちの少なくとも1つの被選択段階について、少なくとも1つのプロセス出力変数を収集することと、
を備える方法。

10

【請求項 2】

請求項1に記載の方法であって、更に、
前記収集されたプロセス出力変数を解析することと、
前記解析された少なくとも1つのプロセス出力変数から前記被選択プロセス点を特定することと、
を備える方法。

【請求項 3】

請求項2に記載の方法であって、
前記エンベロープから前記被選択マルチモードパルスプロセス点を特定することは、前記マルチモードパルスプロセスの前記終点を特定することを含む、方法。

20

【請求項 4】

請求項2に記載の方法であって、
前記被選択ウエハに対する前記複数のサイクル中に、前記複数の段階のうちの少なくとも1つの被選択段階について、少なくとも1つのプロセス出力変数を収集することは、約1Hzから約10,000Hzの間のサンプリングレートで前記少なくとも1つのプロセス出力変数を収集することを含む、方法。

【請求項 5】

請求項2に記載の方法であって、
前記収集された少なくとも1つのプロセス出力変数を解析することは、前記収集された少なくとも1つのプロセス出力変数のエンベロープを決定することを含み、前記決定されたエンベロープは、前記被選択プロセス点よりも前ににおける前記監視対象とされるプロセス出力変数の正常挙動及び/又は傾向のうちの少なくとも1つを含む、方法。

30

【請求項 6】

請求項5に記載の方法であって、
前記解析された少なくとも1つのプロセス出力変数から前記被選択マルチモードパルスプロセス点を特定することは、前記収集された少なくとも1つのプロセス出力変数の前記エンベロープからマルチモードパルスプロセス点を特定することを含む、方法。

【請求項 7】

請求項5に記載の方法であって、
前記解析された少なくとも1つのプロセス出力変数から前記被選択マルチモードパルスプロセス点を特定することは、前記エンベロープのスロープにおける選択された傾向に対応して前記被選択マルチモードパルスプロセス点を特定することを含む、方法。

40

【請求項 8】

請求項2に記載の方法であって、
前記収集された少なくとも1つのプロセス出力変数を解析することは、前記マルチモードパルスプロセスの前記被選択プロセス点のためのテンプレートを特定することを含み、前記解析された少なくとも1つのプロセス出力変数から前記被選択マルチモードパルスプロセス点を特定することは、前記被選択プロセス点のための前記テンプレートを前記収集された少なくとも1つのプロセス出力変数と突き合わせることを含む、方法。

【請求項 9】

50

請求項 8 に記載の方法であって、

前記マルチモードパルスプロセスの前記被選択プロセス点のためのテンプレートを特定することは、複数のウエハに対する前記マルチモードパルスプロセス中における、少なくとも 1 つのプロセス出力変数に関する前記被選択プロセス点に対応する曲線を含む、方法。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の方法であって、

複数のウエハに対する前記マルチモードパルスプロセス中における、少なくとも 1 つのプロセス出力変数に関する前記目的の被選択プロセス点に対応する前記曲線は、固有な曲線である、方法。

10

【請求項 11】

請求項 2 に記載の方法であって、

前記収集される少なくとも 1 つのプロセス出力変数は、前記マルチモードパルスプロセス中にプラズマから放射された光放射スペクトル及び / 又は前記マルチモードパルスプロセス中に前記ウエハの上面から反射された反射スペクトルのうちの少なくとも 1 つである、方法。

【請求項 12】

請求項 2 に記載の方法であって、

前記収集される少なくとも 1 つのプロセス出力変数は、RF 電圧、及び / 又は RF 電流、及び / 又は RF インピーダンス、及び / 又は 1 つ以上の RF 高調波、及び / 又はマルチモードパルスプロセスチャンバ圧力、及び / 又はマルチモードパルスプロセスチャンバ温度のうちの少なくとも 1 つである、方法。

20

【請求項 13】

請求項 2 に記載の方法であって、

前記収集される少なくとも 1 つのプロセス出力変数は、前記複数の異なる段階の段階ごとに変動する、方法。

【請求項 14】

請求項 13 に記載の方法であって、

前記複数の異なる段階の各段階は、約 2 秒から約 20 秒の間の持続時間有する、方法。

30

【請求項 15】

請求項 1 に記載の方法であって、更に、

複数のサイクルにわたって発生する選択された一段階の、前記収集された少なくとも 1 つのプロセス出力変数についての複数の軌道を比較することと、

選択された一サイクルにおける、前記被選択プロセス点を含む前記選択された一段階の対応する軌道を、前記複数の軌道から区別することであって、

前記対応する軌道の多変量解析統計値を計算することと、

前記多変量解析が閾値を超えるときに、前記被選択プロセス点を特定することと、を含む、ことと、

を備える方法。

40

【請求項 16】

請求項 1 に記載の方法であって、

前記少なくとも 1 つのプロセス出力変数は、複数の光波長を含む、方法。

【請求項 17】

請求項 1 に記載の方法であって、

プロセスは、前記複数の異なる段階の段階ごとに変化する、方法。

【請求項 18】

請求項 1 に記載の方法であって、

前記監視対象とされる少なくとも 1 つの出力プロセス変数は、放射スペクトル、反射スペクトル、RF 高調波、RF 電圧、RF 電流、RF インピーダンス、プロセスチャンバ温

50

度、及び／又はプロセスチャンバ圧力のうちの少なくとも1つを含む、方法。

【請求項19】

マルチモードパルスプラズマプロセスシステムであって、

ウエハに対してプラズマプロセスを実施するように構成されたプラズマプロセスチャンバであって、少なくとも1つの対応する出力プロセス変数を検出するようにそれぞれ構成された複数のセンサを含むプラズマプロセスチャンバと、

少なくとも1つのバイアス源と、

少なくとも1つのRF源と、

少なくとも1つのガス源であって、前記少なくとも1つのバイアス源、前記少なくとも1つのRF源、及び前記少なくとも1つのガス源は、前記プラズマプロセスチャンバに接続されている、少なくとも1つのガス源と、

前記プラズマプロセスチャンバ、前記複数のセンサ、前記少なくとも1つのバイアス源、前記少なくとも1つのRF源、及び前記少なくとも1つのガス源のそれぞれに接続されたコントローラであって、

少なくとも1つのマルチモードパルスプラズマプロセスレシピと、

コンピュータ読み取り可能メディアに実装された少なくとも1つのマルチモードパルスプラズマプロセス点検出口ロジックであって、

前記プラズマプロセスチャンバ内において被選択ウエハに前記マルチモードパルスプロセスを適用するためのコンピュータ実行可能ロジックであって、前記マルチモードパルスプロセスは、複数のサイクルを含み、前記複数のサイクルの各サイクルは、複数の異なる段階のうちの少なくとも1つの段階を含む、コンピュータ実行可能ロジックと、

前記被選択ウエハに対する前記複数のサイクル中に、前記複数の段階のうちの少なくとも1つの被選択段階について、前記少なくとも1つのプロセス出力変数を収集するためのコンピュータ実行可能ロジックと、

前記収集された少なくとも1つのプロセス出力変数を解析するためのコンピュータ実行可能ロジックと、

前記解析された少なくとも1つのプロセス出力変数から前記被選択プロセス点を特定するためのコンピュータ実行可能ロジックと、

を含む、少なくとも1つのマルチモードパルスプラズマプロセス点検出口ロジックと、

を含むコントローラと、

を備えるシステム。

【請求項20】

請求項19に記載のシステムであって、

前記収集された少なくとも1つのプロセス出力変数を解析するためのコンピュータ実行可能ロジックは、

前記収集された少なくとも1つのプロセス出力変数のエンベロープを決定するためのコンピュータ実行可能ロジック、及び／又は

前記マルチモードパルスプロセスの前記被選択プロセス点のためのテンプレートを特定するためのコンピュータ実行可能ロジック、

の少なくとも1つを含み、前記解析された少なくとも1つのプロセス出力変数から前記被選択マルチモードパルスプロセス点を特定するためのコンピュータ実行可能ロジックは、前記被選択プロセス点のための前記テンプレートを前記収集された少なくとも1つのプロセス出力変数と突き合わせるためのコンピュータ実行可能ロジックを含む、システム。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

本発明は、総じて、マルチモードパルスプロセスに関し、特に、マルチモードパルスプロセスにおいて終点を正確に検出するためのシステム及び方法に関する。

【0002】

代表的なエッティングプロセスは、エッティングプロセスがいつ終点に到達するかを決定す

10

20

30

40

50

るために、発光スペクトル解析を用いる。代表的なプラズマエッティングプロセスは、プロセス時間が数秒から數十分程度である。エッティング化学物質、圧力、温度、バイアス電圧、RF周波数、RF電圧、RF電流、及びRF電力は、エッティングプロセス全体を通して実質的に一定である。プラズマは、プラズマ化学物質（例えばプロセスガス）と、エッティング副生成物とを含む。エッティング副生成物は、対応する特徴的な光スペクトルを放射する。

【0003】

新しいプラズマプロセスの多くは、マルチモードパルスプラズマプロセスであり、異なる複数のプロセスを含むことができる。各プロセスは、各サイクルの一部分で用いられ、段階（フェーズ）と呼ばれる。例えば、マルチモードプロセスは、堆積段階と、貫通段階と、エッティング段階とを含むことができる。あいにく、化学物質、圧力、温度、バイアス電圧、RF周波数、RF電圧、RF電流、及びRF電力は、マルチモードパルスプロセスの段階ごとに変動する可能性がある。したがって、このような可変のマルチモードパルスプロセス条件は、このような条件内では光スペクトルが変動するゆえに、代表的な終点検出システムによるマルチモードパルスプロセスの終点の正確な特定を妨げる。更に、停止層へのオーバエッティングは、エッティング対象層を過剰な深さまでエッティングするかもしれません、これは、エッティングプロセスによって形成される特徴を損傷又は変形させる可能性がある。

10

【0004】

以上を鑑みると、マルチモードパルスプロセスの終点を正確に検出することが必要である。

20

【発明の概要】

【0005】

概して、本発明は、マルチモードパルスプロセスの終点を正確に検出するためのシステム及び方法を提供することによって、これらの必要を満たす。本発明は、プロセス、装置、システム、コンピュータ読み取り可能メディア、又はデバイスを含む、数々の形で実現可能であることがわかる。本発明の、幾つかの発明実施形態が、以下で説明される。

【0006】

一実施形態は、マルチモードパルスプロセスにおいて選択されたプロセス点（以下、「被選択プロセス点」と言う）を特定するシステム及び方法を提供する。該システム及び方法は、プラズマプロセスチャンバ内において選択されたウエハ（以下、「被選択ウエハ」と言う）にマルチモードパルスプロセスを提供することを含み、該マルチモードパルスプロセスは、複数のサイクルを含み、各サイクルは、異なる複数の段階のうちの少なくとも1つを含む。被選択ウエハに対する複数のサイクル中に、上記複数の段階のうちの少なくとも1つの選択された段階（以下、「被選択段階」と言う）について、少なくとも1つのプロセス出力変数が収集される。

30

【0007】

上記方法は、また、収集された少なくとも1つのプロセス出力変数を解析することと、解析された少なくとも1つのプロセス出力変数から被選択プロセス点を特定することと、を含むことができる。エンベロープから被選択マルチモードパルスプロセス点を特定することは、マルチモードパルスプロセスの終点を特定することを含むことができる。被選択ウエハに対する複数のサイクル中に、少なくとも1つの被選択段階について少なくとも1つのプロセス出力変数を収集することは、約1Hzから約10,000Hzの間のサンプリングレートで少なくとも1つのプロセス出力変数を収集することを含むことができる。

40

【0008】

収集された少なくとも1つのプロセス出力変数を解析することは、収集された少なくとも1つのプロセス出力変数のエンベロープを決定することを含むことができる。解析された少なくとも1つのプロセス出力変数から被選択マルチモードパルスプロセス点を特定することは、収集された少なくとも1つのプロセス出力変数のエンベロープからマルチモードパルスプロセス点を特定することを含むことができる。解析された少なくとも1つのプ

50

ロセス出力変数から被選択マルチモードパルスプロセス点を特定することは、エンベロープのスロープにおける選択された傾向に対応して被選択マルチモードパルスプロセス点を特定することを含むことができる。

【0009】

収集された少なくとも1つのプロセス出力変数を解析することは、加えて又は或いは、マルチモードパルスプロセスの被選択プロセス点のためのテンプレートを特定することを含むことができる。解析された少なくとも1つのプロセス出力変数から被選択マルチモードパルスプロセス点を特定することは、被選択プロセス点のためのテンプレートを上記収集された少なくとも1つのプロセス出力変数と突き合わせることを含むことができる。マルチモードパルスプロセスの被選択プロセス点のためのテンプレートを特定することは、被選択ウエハを含む又は含まない複数のウエハに対するマルチモードパルスプロセス中に10
おける、監視対象とされる少なくとも1つのプロセス出力変数の曲線を含むことができる。

【0010】

収集される少なくとも1つのプロセス出力変数は、マルチモードパルスプロセス中にプラズマから放射された光放射スペクトルから選択可能である。収集される少なくとも1つのプロセス出力変数は、マルチモードパルスプロセス中にウエハの上面から反射された反射スペクトルから選択可能である。

【0011】

収集される少なくとも1つのプロセス出力変数は、異なる段階の段階ごとに変動する可能性がある。異なる段階の各段階は、約2秒から約20秒の間の持続時間を有することができる。

【0012】

1つ又は複数の従前の段階の、収集されたプロセス出力変数のうちの少なくとも1つについての第1の軌道が、上記1つ又は複数の被選択段階の、対応する収集されたプロセス出力変数の第2の軌道と比較可能である。1つ以上の連続する軌道についての多変数解析統計値が算出可能であり、上記連続する軌道についての多変数解析統計値が閾値を超えるときに、被選択プロセス点が特定可能である。

【0013】

少なくとも1つのプロセス出力変数は、複数の光波長を含むことができる。マルチモードパルスプロセスは、異なる段階の段階ごとに変化することができる。監視対象とされる出力プロセス変数は、放射スペクトル、反射スペクトル、RF高調波、RF電圧、RF電流、RFインピーダンス、プロセスチャンバ温度、及び/又はプロセスチャンバ圧力のうちの少なくとも1つを含むことができる。

【0014】

別の一実施形態は、ウエハに対してプラズマプロセスを実施するように構成されたプラズマプロセスチャンバを備えたマルチモードパルスプラズマプロセスシステムを提供する。プラズマプロセスチャンバは、複数のセンサを含み、各センサは、少なくとも1つの対応する出力プロセス変数を検出するように構成される。プラズマプロセスチャンバには、少なくとも1つのバイアス源と、少なくとも1つのRF源と、少なくとも1つのガス源とが接続される。プラズマプロセスチャンバ、複数のセンサ、少なくとも1つのバイアス源、少なくとも1つのRF源、及び少なくとも1つのガス源のそれぞれに、コントローラが接続される。コントローラは、少なくとも1つのマルチモードパルスプラズマプロセスレスピと、コンピュータ読み取り可能メディアに実装された少なくとも1つのマルチモードパルスプラズマプロセス点検出口ジックとを含み、該ジックは、プラズマプロセスチャンバ内において被選択ウエハにマルチモードパルスプロセスを適用するためのコンピュータ実行可能ロジックであって、マルチモードパルスプロセスは、複数のサイクルを含み、複数のサイクルの各サイクルは、複数の異なる段階のうちの少なくとも1つの段階を含む、コンピュータ実行可能ロジックと、被選択ウエハに対するサイクル中に、少なくとも1つの被選択段階について少なくとも1つのプロセス出力変数を収集するためのコンピュー

タ実行可能ロジックと、収集された少なくとも1つのプロセス出力変数を解析するためのコンピュータ実行可能ロジックと、解析された少なくとも1つのプロセス出力変数から被選択プロセス点を特定するためのコンピュータ実行可能ロジックとを含む。

【0015】

開示される実施形態は、マルチモードパルスプラズマプロセスの段階の変化から、より正確に且つ迅速にマルチモードプロセスの終点を識別することができる、という利点を提供する。開示される実施形態は、マルチモードパルスプラズマプロセスの段階の変化から、終点ではないマルチモードパルスプラズマプロセス中のその他のプロセス点を識別することができる、という利点も提供する。プロセス点及び／又は終点の正確で且つ迅速な特定は、より精確なマルチモードパルスプラズマプロセス制御を可能にし、全体のプロセス時間を短縮し、マルチモードパルスプラズマプロセスの生産の歩留まりを向上させる。

10

【0016】

本発明の原理を例として示した添付の図面と併せてなされる以下の詳細な説明から、本発明のその他の態様及び利点が明らかになる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

本発明は、添付の図面と併せてなされる以下の詳細な説明によって、容易に理解される。

【0018】

【図1A】本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセスシステム100を示した概要図である。

20

【0019】

【図1B】本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセスを表わしたグラフである。

【0020】

【図2A】本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセス中にウエハの表面と相互作用する反射光を示した図である。

【図2B】本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセス中にウエハの表面と相互作用する反射光を示した図である。

【図2C】本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセス中にウエハの表面と相互作用する反射光を示した図である。

30

【0021】

【図2D】本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセス中に実施される方法動作の概略を示したフローチャートである。

【0022】

【図3】本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセスにおいて被選択プロセス点を特定するにあたって実施される方法動作を示したフローチャートである。

【0023】

【図4A】本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセスの複数のサイクル中に収集される被選択プロセス出力変数を示したグラフである。

40

【図4B】本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセスの複数のサイクル中に収集される被選択プロセス出力変数を示したグラフである。

【図4C】本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセスの複数のサイクル中に収集される被選択プロセス出力変数を示したグラフである。

【図4D】本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセスの複数のサイクル中に収集される被選択プロセス出力変数を示したグラフである。

【図4E】本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセスの複数のサイクル中に収集される被選択プロセス出力変数を示したグラフである。

【0024】

【図5】本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセスにおいて被選

50

択プロセス点を特定するにあたって実施される方法動作を示したフローチャートである。

【0025】

【図6A】本開示の実施形態を実現するため、マルチモードパルスプロセスの複数のサイクルにわたって収集された検出された光強度を示したグラフである。

【図6B】本開示の実施形態を実現するため、マルチモードパルスプロセスの複数のサイクルにわたって収集された検出された光強度を示したグラフである。

【0026】

【図6C】本開示の実施形態を実現するため、マルチモードパルスプロセスの複数のサイクルにわたって収集された2つ以上の検出された変数を示したグラフである。

【0027】

【図6D】本開示の実施形態を実現するため、マルチモードパルスプロセスの複数のサイクルにわたって収集された反射光強度を示したグラフである。

【0028】

【図6E】本開示の実施形態を実現するため、マルチモードパルスプロセスの複数サイクル中における1つ以上の被選択プロセス変数のパターンを示したグラフである。

【0029】

【図6F】本開示の実施形態を実現するため、上記パターンの終点部分をマルチモードパルスプロセスの複数のサイクル中における1つ以上の被選択プロセス変数のグラフと比較したグラフである。

【0030】

【図6G】本開示の実施形態を実現するため、上記グラフと上記パターンの終点部分との間の距離を示したグラフである。

【0031】

【図7】本開示の実施形態を実現するため、マルチモードパルスプロセスにおいて被選択プロセス点を特定するにあたって実施される方法動作を示したフローチャートである。

【0032】

【図8】本発明にしたがってプロセスを行うためのコンピュータシステムの一例を示したブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0033】

マルチモードパルスプロセス中に終点又はその他の点などの被選択プロセス点を正確に検出するためのシステム及び方法に関する幾つかの代表的な実施形態が説明される。当業者にならば、本発明が本明細書に明記される具体的詳細の一部又は全部を伴わずとも実施されえることが明らかである。

【0034】

エッティングプロセスでは、エッティングされる表面は複数の層を含んでおり、最上層としての1枚以上のマスク層と、それに続くマスク層下の1枚以上のエッティング対象層がある。停止層は、通常は、(1枚以上の)エッティング対象層の下に含まれる。停止層は、通常は、エッティング対象層よりも遅いエッティング速度を有する。

【0035】

エッティングプロセスが停止層に至るまで貫通したときに、プラズマの光スペクトルは、停止層に特徴的な光スペクトルを含む。この貫通点は、次いで、終点を特定するために使用することができる。プラズマの光スペクトルは、したがって、エッティングプロセスがエッティング対象層を超えて停止層内の幾らかの深さまで過剰にエッティングするときにそのエッティングプロセスの終点を特定するために監視することができる。

【0036】

マルチモードパルスプロセスは、複数のプロセスを含む。複数のプロセスの各プロセスは、比較的短い持続期間にわたって用いられ、段階(フェーズ)と呼ばれる。例えば、マルチモードプロセスは、堆積段階と、貫通段階と、エッティング段階とを含むことができる。各段階は、10秒程度の短さであってよい、又はそれよりも長くてよい。段階は、各マ

10

20

30

40

50

ルチモードパルスプロセスサイクル中に間断なく実行される。所望のエッティング結果を実現するために、エッティング対象層に対して複数のサイクルが適用される。

【0037】

上述のように、代表的な発光スペクトル手法は、マルチモードパルスプロセスシステムでは上手く機能しない。マルチモードパルスプロセスの終点を特定するために監視可能な変数は、数多くある。例えば、1つ以上の光波長が監視可能である。1つ以上の光波長は、プラズマによって光放射として放射される。加えて又は或いは、1つ以上の光波長は、光源から放射されてエッティング対象表面から反射される反射光であってよい。監視対象とされる1つ以上の光波長は、約190nmから約1000nmの間であってよい。

【0038】

更に、マルチモードパルスプロセスにおいてプロセス終点ではないプロセス点を特定することも有用である。被選択プロセス点は、マルチモードパルスプロセスの開始後で且つ終点前の、プロセス途中に生じることができる。例えば、マルチモードパルスプロセスのその既知の数の段階内で終点の前に生じるマルチモードパルスプロセスの被選択プロセス点の特定は、段階期間の延長若しくは短縮、RF信号振幅の増加若しくは減少、又は必要に応じてプロセス速度（例えばエッティング速度）をそれが漸減するように若しくは突然停止するように変化させることができるその他のプロセス変数などの、マルチモードパルスプロセスを変更するための指標として使用することができる。

【0039】

終点又はプロセス点を特定するためには、放射光及び反射光に追加して又は代わって、その他のマルチモードパルスプロセス変数を監視することができる。監視可能なマルチモードパルスプロセス変数の例として、RF電圧、RF電流、RFインピーダンス、1つ以上のRF高調波、マルチモードパルスプロセスチャンバ圧力、及び／又は温度が挙げられる。

【0040】

段階ごとにマルチモードパルスプロセスが変化するのに伴って、プラズマの化学物質含有量も変動する。プラズマの化学物質含有量の変動に相応して、プラズマの導電率も変動する。プラズマの導電率の変動は、プラズマインピーダンスが整合インピーダンスから変化するのに伴って、RF高調波を発生させえる。マルチモードパルスプロセス中は、RF高調波を検出すること、並びに該高調波の波長及び／又は位相を監視することが可能である。プラズマの導電率の変動は、対応するRF電圧及び／又は電流の変動を発生させえる。RF電圧及び／又は電流の変動は、マルチモードパルスプロセス中に監視可能である。

【0041】

マルチモードパルスプロセスにおいて終点又は被選択プロセス点を検出するための一手法は、1つ以上のプロセス出力変数を監視することを含むことができる。例えば、1つ以上のプロセス出力変数は、マルチモードパルスプロセス中における、放射スペクトル、反射スペクトル、RF高調波、RF電圧、RF電流、RFインピーダンス、マルチモードパルスプロセスチャンバのプロセスチャンバ温度及び／又はプロセスチャンバ圧力であってよい。監視対象とされる各プロセス出力変数のデータは、監視対象とされるプロセス出力変数に対応するエンベロープを特定するために処理可能である。加えて又は或いは、監視対象とされる各プロセス出力変数のデータは、監視対象とされるプロセスステージ又はイベントに対応するテンプレートを特定するために処理可能である。加えて又は或いは、所望のプロセス点を検出するために、特定されたエンベロープへの接近度が監視可能である。加えて又は或いは、監視対象とされる各プロセス出力変数のデータは、サイクルの段階内の、監視対象とされるプロセス点よりも前における平均値又は傾向を特定するために、処理可能である。このような方法は、監視対象とされる2つ以上のプロセス出力変数の線形又は非線形結合にも適用可能である。

【0042】

監視対象とされるプロセス点に対応する1つ以上の監視対象プロセス変数からの少なくとも1つの基準エンベロープ又はテンプレートが、プロセスデータから抽出可能である。

この基準データは、監視対象とされるプロセス点をモデル化してマルチモードパルスプロセスの終点及び／又はその他のプロセス点を特定するために使用可能である。

【0043】

マルチモードパルスプロセスの終点又はプロセス点は、リアルタイムで又はほぼリアルタイムで特定可能である。例えば、一部の実現形態では、終点又はプロセス点は、開示される検出プロセスの1つ以上を使用して、マルチモードパルスプロセスの一段階よりも短い期間内に特定可能である。

【0044】

図1Aは、本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセスシステム100を示した概要図である。マルチモードパルスプロセスシステム100は、プラズマプロセスチャンバ110と、1つ以上のガス源112と、1つ以上のRF源114と、1つ以上のバイアス源116と、コントローラ120とを含む。10

【0045】

プラズマプロセスチャンバ110は、処理対象とされるウエハ102をプラズマプロセスチャンバ110内において支えるためのウエハサポート104を含む。ウエハサポート104は、第1の電極を形成し、1つ以上のRF源114及び1つ以上のバイアス源116の一方又は両方に接続可能である。プラズマプロセスチャンバ110は、ウエハサポート104とは反対側に、第2の電極106も含む。第2の電極106は、1つ以上のRF源114及び1つ以上のバイアス源116の一方又は両方に接続可能である。

【0046】

ウエハサポート104及び第2の電極106は、それぞれ、ウエハ／ウエハサポート及び第2の電極のそれぞれの温度を制御するためのそれぞれの温度制御機器104A、106Aを含む。温度制御機器104A、106Aは、ウエハ／ウエハサポート及び第2の電極のそれぞれの温度を上昇させるための加熱器を含むことができる。或いは又は加えて、温度制御機器104A、106Aは、ウエハ／ウエハサポート及び第2の電極のそれぞれの温度を下降させるための冷却器を含むことができる。20

【0047】

第2の電極106は、1つ以上のガス源112及びコントローラ120に接続可能である。第2の電極106は、ガス源112から供給される1種類以上のガスをプラズマプロセスチャンバ110に注入するためのガス注入システムを含むことができる。ガス注入システムは、ノズルなどの有向性のガス注入システム、及び／又は注入ガスをプラズマプロセスチャンバ内へ分散させるためのシャワーヘッドなどのガス分散システムを含むことができる。30

【0048】

プラズマプロセスチャンバ110は、1つ以上のセンサ130、131も含む。1つ以上のセンサ130、131は、例えば190nmから約1000nmの間のような広帯域の光を検出することができる。1つ以上のセンサ130、131は、ウエハ102の表面に向かって光を放射するための1つ以上の発光器を含むことができる。1つ以上のセンサ130、131は、ウエハ102の表面から反射された光及び／又はプラズマ108から放射された光のスペクトルを検出することができる。1つ以上のセンサ130、131は、フォトダイオード又はその他のタイプの光センサを含むことができる。40

【0049】

プラズマプロセスチャンバ110は、また、圧力センサ132、温度センサ133、RF電圧センサ134、135、RF電流センサ136、137、及びRFプローブ138を含むことができる。センサ130～138は、それぞれ、それぞれのセンサ入力を提供するためにコントローラ120に接続される。

【0050】

プラズマプロセスチャンバ110は、また、プラズマプロセスチャンバからガス及びプロセス副生成物を除去するための1つ以上の出口111を含む。1つ以上の出口111は、必要に応じて、適切な低圧力源（例えばポンプ）及び／又は加熱表面若しくは冷却表面

10

20

30

40

50

に接続可能である。

【 0 0 5 1 】

ガス源 1 1 2 は、1つ以上のプロセスガス源と、1つ以上のバージ及び／又はキャリアガス源とを含むことができる。ガス源 1 1 2 は、また、コントローラ 1 2 0 による決定に応じてガス源からプラズマプロセスチャンバ 1 1 0 への流れを監視及び制御するための、流量計 1 1 2 A 及び流量調整器 1 1 2 B を含むことができる。

【 0 0 5 2 】

R F 源 1 1 4 は、異なる複数の R F 源を含むことができ、R F 源は、それぞれ、異なる振幅、電力レベル、周波数、及び／又は変調、及び／又はデューティサイクルを有する R F 信号を出力する。それぞれの R F 源 1 1 4 は、ウエハサポート 1 0 4 又は第 2 の電極 1 0 6 の一方又は両方に接続可能である。例えば、R F 源は、約 2 M H z の R F 源、約 2 5 ~ 3 0 M H z の R F 源、及び約 5 0 ~ 7 5 M H z の R F 源を含むことができる。10

【 0 0 5 3 】

バイアス源 1 1 6 は、1つ以上のD C バイアスと、接地電位源とを含むことができる。バイアス源 1 1 6 は、それぞれ、ウエハサポート 1 0 4 若しくは第 2 の電極 1 0 6 の一方若しくは両方に、又はプラズマプロセスチャンバ 1 1 0 のその他の部分に接続可能である。プラズマプロセスチャンバ 1 1 0 のその他の部分は、側壁 1 1 0 A 、各種のシールド、及びプラズマ閉じ込め構造 1 1 0 B を含むことができる。

【 0 0 5 4 】

コントローラ 1 2 0 は、プラズマプロセスチャンバ、ガス源、R F 源、及びバイアス源のそれぞれの動作を制御及び監視するために、プラズマプロセスチャンバ 1 1 0 、ガス源 1 1 2 、R F 源 1 1 4 、及びバイアス源 1 1 6 のそれぞれに接続される。コントローラ 1 2 0 は、また、バイアス電圧、各サイクルにおけるマルチモードプロセスの段階の長さ、マルチモードパルスプロセスの段階の順序、及びサイクルマルチモードパルスプロセス段階の組み合わせ、マルチモードパルスプロセスサイクルの数、R F 周波数、R F 電力、R F 変調、デューティサイクル、プロセス化学物質、ガス混合、ガス流量、圧力、プラズマプロセスチャンバのマルチモードパルスプロセス動作中におけるプラズマプロセスチャンバ 1 1 0 の少なくとも一部分の温度などのプロセス変数を制御するためにコントローラが使用することができる、コンピュータ読み取り可能メディアに実装された1つ以上のレシピ 1 2 2 を含む。例えば、1つ以上のレシピ 1 2 2 は、マルチモードパルスプロセスをウエハ 1 0 2 に適用するためのマルチモードパルスプロセスレシピを含むことができる。20

【 0 0 5 5 】

コントローラ 1 2 0 は、また、プロセス中のプロセス点及び／又はプロセス終点をコントローラが正確に決定することができるようにコンピュータ読み取り可能メディアに実装された、終点・プロセス点ロジック 1 2 4 も含む。例えば、終点・プロセス点ロジック 1 2 4 は、ウエハ 1 2 0 に適用されているマルチモードパルスプロセスの終点及び／又は被選択プロセス点をコントローラが検出することを可能にすることができる。

【 0 0 5 6 】

図 1 B は、本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセス 1 5 0 をグラフで表したものである。マルチモードパルスプロセス 1 5 0 は、サイクル 0 からサイクル n までの複数のサイクルを含む。サイクル 0 ~ n の各サイクルは、1つ以上の段階、すなわち段階 1 、段階 2 、段階 3 を含む。プロセスチャンバ 1 1 0 内において発生する(1つ以上の)プロセスは、段階 1 ~ 3 のそれだけで異なる。例えば、段階 1 が堆積プロセスであってよい一方で、段階 2 はエッティングプロセスであってよく、段階 3 は不動態化プロセスであってよい。その結果、サイクル 0 ~ n の各サイクルでは、段階 1 ではウエハ 1 0 2 の表面上に層が堆積又は形成され、貫通段階 2 では堆積層がエッティングによって貫通され、エッティング段階 3 では下位の層がエッティングされる。堆積プロセス、エッティングプロセス、及び不動態化プロセスに追加して又はこれらのプロセスのうちの1つ以上のプロセスの代わりとして、その他のタイプの段階が使用されてもよい。更に、堆積プロセス、エッティングプロセス、及び不動態化プロセスのそれぞれとして、異なるタイプのプロセス40

10

20

30

40

50

が使用されてもよいことがわかる。

【0057】

3つの段階（段階1～3）が示されているが、サイクル0～nの各サイクルでは4つ以上又は2つ以下の段階が使用されてもよいことが理解されるべきである。また、段階1～3は、時間的に実質的に等しい持続時間を有するものとして示されているが、段階ごとに持続時間が異なっていてもよいことが理解されるべきである。また、各段階は、処理されている表面からエッティングによって材料が除去されるエッティングプロセス段階、処理されている表面上に材料が形成されている堆積プロセス段階、不動態化プロセス段階、及びその他の類似のタイプのプロセス、並びにこれらの各タイプのプロセスの組み合わせのうちの少なくとも1つ以上であってよいことが理解されるべきである。

10

【0058】

図2A～2Cは、本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセス中にウエハ102の表面と相互作用する反射光を示している。図2A～2Cは、縮尺通りではないが、ウエハ表面の一部分の断面を示した簡易図を含んでいる。ウエハ102は、ベースシリコン基板層252を含む。ベースシリコン基板層252の上には、1枚以上の層254が形成される。1枚以上の層254の上には、エッティング対象層256が形成される。エッティング対象層256を覆って、マスク層258が形成される。図に示されるように、マスク層258は、エッティング対象層256を部分的に覆っている。マルチモードパルスプロセスによって、エッティング対象層256内に特徴260（凹部）が形成される。

20

【0059】

図2Aに示されるように、マルチモードパルスプロセスは、エッティング対象層256内へのエッティングを開始し、特徴260を形成し始めている。光源（不図示）から光264Aが放射され、特徴260を満たす材料260Aの表面262Aへ方向付けられる。材料260Aは、光264を反射するのに十分な光学的厚さを有するので、光264Aは、反射光264Bとして表面262Aから反射される。材料260Aを特定するために、反射光264B内の1つ以上の波長の強度が解析可能である。

20

【0060】

図2Bに示されるように、マルチモードパルスプロセスは、エッティング対象層256内へ更に深くエッティングされ、特徴260は、実質的に形成される。しかしながら、特徴の底部には、まだ、光学的に薄い材料層260Bが残っている。この薄い材料層260Bは、光264Aが表面262Bを貫通して下位層254の表面254Aで反射光264B'として反射されるゆえに、光学的に薄いと表現される。反射光264B'が下位層254の表面254Aで反射されるゆえに、選択された波長の光の強度は、下位層254の材料に対応しており、特徴260内に残る光学的に薄い材料層260Bには対応していないだろう。光学的に薄い材料層260Bは、原子層数枚の薄さであってよい、又はそれよりも厚くてよい。例えば、もし、エッティング対象層256がタンクステン含有層であるならば、タンクステンは、約10nm未満の厚さで光学的に薄くなる。

30

【0061】

もし、エッティングプロセスの終点又はその他のプロセス点が、下位層254を識別する選択された波長の強度によってのみ決定されたとすると、光学的に薄い材料層260Bは、完全には除去されず、したがって、特徴260は、エッティング対象層256を完全に貫通して下位層254に到達するには形成されない。

40

【0062】

図2Cに示されるように、マルチモードパルスプロセスは、光264B"が下位層254の露出表面254Cから反射されるゆえに、特徴が下位層254内の深さ254Bまで到達したとされるまで、選択された期間又は選択されたサイクル数又は選択された段階数にわたって更に引き続きエッティングされる。

【0063】

なお、処理されている表面からの反射光264Bが論じられているが、処理されている表面からの反射光に追加して又は代わって、上で挙げられたような他の出力プロセス

50

変数が使用されてもよいことが理解されるべきである。

【0064】

図2Dは、本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセス中に実施される方法動作200の概要を示したフローチャートである。動作205では、処理対象とされるウエハ102がプロセスチャンバ110内に配され、コントローラ120内の1つ以上のレシピ112によって決定されるようにマルチモードパルスプロセスがウエハに適用される。

【0065】

動作210では、マルチモードパルスプロセス中に、複数のセンサ130～138が、それぞれのデータをマルチモードパルスプロセスの各サイクルの複数の段階にわたって収集するために監視される。例えば、1つ以上のセンサ130、131は、ウエハ102の表面から反射された光又はプラズマ108から放射された光のスペクトルを検出することができる。圧力センサ132は、プラズマプロセスチャンバ110内の圧力を検出することができる。温度センサ133は、プラズマプロセスチャンバ110における選択された部分若しくは表面、又は上部電極106若しくは下部電極104、又はプラズマ108、又はウエハ102における温度を検出することができる。RF電圧センサ134、135、RF電流センサ136、137、及びRFプローブ138は、RF電圧、RFインピーダンス、RF電流、RF電圧、及び電流高調波を検出することができる。

10

【0066】

各センサ130～138からのそれぞれのデータは、マルチモードパルスプロセスの各段階中に複数回にわたって収集可能である。例えば、コントローラ120への各センサ130～138出力は、1秒ごとに約1回から1ミリ秒ごとに約10回又はそれを超える頻度（例えば、約1Hzから約10,000Hzを超えるサンプリング・収集レート）でサンプリング及び収集されることが可能である。一実現形態では、コントローラ120への各センサ130～138出力は、約20ミリ秒ごとに1回の頻度（例えば、約50Hzのサンプリング・収集レート）でサンプリング及び収集される。約1Hzから約10Hzの間に更に遅いサンプリング・収集レートが使用されてもよい。約10,000Hzを超えるなどの更に速いサンプリング・収集レートが使用されてもよい。

20

【0067】

動作215では、収集されたデータは、監視対象とされる各出力プロセス変数に関する情報を抽出するために処理される。例えば、ウエハ102の表面から反射される反射光262Bの1つ以上の被選択波長の強度が一定期間にわたって示す変動などの傾向を識別するために、その反射光の1つ以上の被選択波長の強度が解析されてよい。動作220では、処理されたデータは、上記の例で更に詳しく説明されたように、プロセスの終点又はプロセス中の被選択プロセス点などの1つ以上のプロセス点を特定するために解析可能である。

30

【0068】

図3は、本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセスにおいて被選択プロセス点を特定するにあたって実施される方法動作300を示したフローチャートである。動作305では、プラズマプロセスチャンバ110内にウエハが配され、該ウエハにマルチモードパルスプロセスが適用される。上述のように、マルチモードパルスプロセスは、複数のサイクルを含むことができ、各サイクルは、1つ以上の段階を含むことができる。

40

【0069】

各段階は、それまでに適用された段階とは異なることができる。同じ段階は、各サイクル内において及び／又はサイクルを超えて繰り返されることが可能である。段階は、通常は、1つ以上のサイクルにおいて再び生じる。段階の順序は、その段階が生じる各サイクルにおいて同じであってよい又は異なっていてよい。段階の発生の順序及び反復は、コントローラ120内のレシピロジック122によって決定される。

【0070】

50

異なる各段階は、約2秒から約20秒の間の持続時間を有することができる。代表的なプロセス点検出手法は、マルチモードパルスプロセスにおいて適用される段階の長さよりも長い検出時間を必要とするので、各段階の持続時間が比較的短いゆえに誤りを生じ、総じて不正確である。

【0071】

マルチモードパルスプロセスをウエハに適用すると、複数のプロセス出力変数が生成される。例えば、マルチモードパルスプロセスは、放射スペクトル、反射スペクトル、RF高調波、RF電圧、RF電流、RFインピーダンス、プロセスチャンバ温度、及び／又はプロセスチャンバ圧力、及びその他のプロセス出力変数を非限定的な例として含む、プロセス出力変数を生成することができる。動作310では、ウエハに対するマルチモードパルスプロセスにおける1つ以上のサイクル中に、少なくとも1つの段階について、少なくとも1つのプロセス出力変数が収集のために選択される。収集される(1つ以上の)プロセス出力変数は、段階ごとに変動する可能性がある。10

【0072】

図4A～4Eは、本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセスの複数のサイクル中に収集される被選択プロセス出力変数のグラフ410、450、460、470、及び480をそれぞれ示している。被選択プロセス出力変数は、波長387nmにおける反射光の強度レベルである。しかしながら、この被選択プロセス出力変数は、一例にすぎず、代わりに及び／又は追加して、他のプロセス出力変数が選択及び収集されてもよいことが理解されるべきである。20

【0073】

図4Bのグラフ450は、複数のサイクルにわたって放射波長387nmを示している。グラフ450において、実質的に垂直な各線は、マルチモードパルスサイクルの一段階を表している。図4Cのグラフ460は、図4Bに示された放射波長387nmの一部分を更に詳細に示している。図4Cのグラフ460は、持続時間が t_{trans} である一段階の傾斜部分 t_{ramp} において検出された放射波長387nmの傾斜を更に詳細に示している。20

【0074】

反射及び放射波長387nmは、グラフ410及びグラフ450のいずれでも、それぞれ10Hzの(例えば、0.1秒ごとに1回の)サンプリングレートでサンプリングされる。なお、サンプリングレートは、約1Hzから約10,000Hzの間であってよいことが理解されるべきである。30

【0075】

動作320では、この場合は放射波長387nmである収集されたプロセス出力変数が、該収集されたプロセス出力変数のエンベロープを決定するために解析される。図4Dは、図4Bのグラフ450のエンベロープ475を示したグラフ470である。エンベロープ475は、反射波長387nm、及び／又は他の被選択プロセス出力変数のグラフ450の輪郭であってよい。エンベロープ475は、複数のサイクル及び段階に跨る期間にわたる被選択プロセス出力変数の傾向を与える。

【0076】

動作325では、選択されて解析された(1つ以上の)プロセス出力変数の1つ以上から、被選択プロセス点が特定可能である。図4Dのグラフ470に示されるように、エンベロープ475は、非常に短い時間間隔 T_{EP_tresh} 内に下降線をたどり、事前に選択された閾値レベル l_{EP_tresh} へ推移するゆえに、容易に検出可能な推移を有する。被選択プロセス点は、この下降線が、事前に選択された閾値レベル l_{EP_tresh} に交わる交点として特定可能である。40

【0077】

加えて又は或いは、プロセス点は、図4Eのグラフ480に示されるように、各サイクルの一選択段階内における同じ時点を比較し、閾値を使用して目的のプロセス点を検出することによって特定可能である。この手順を点ごとにリアルタイムで繰り返すことによつて、プロセス点の適時な検出が可能になる。この方法は、エンベロープ475における前50

述の下降線又はその他の形状若しくは傾向、及び事前に選択された時間、段階、又はサイクルのいずれとの併用によって実現可能である。例えば、マルチモードパルスプロセス終点は、或るサイクルの一被選択段階内における特定の時点で生じるものとして特定されてよい。

【0078】

図5は、本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセスにおいて被選択プロセス点を特定するにあたって実施される方法動作500を示したフローチャートである。動作505では、プラズマプロセスチャンバ110内にウエハが配され、該ウエハにマルチモードパルスプロセスが適用される。上述のように、マルチモードパルスプロセスは、複数のサイクルを含むことができ、各サイクルは、1つ以上の段階を含むことができる。動作510では、ウエハに対するマルチモードパルスプロセスにおける1つ以上のサイクル中に、少なくとも1つの段階について、少なくとも1つのプロセス出力変数が収集のために選択される。

【0079】

動作515では、従前の全てのサイクルについて、一段階の最新の軌道に至るまでの全ての軌道が比較される。複数のサイクルにおける特定の一段階の最新の軌道が従前の軌道から大きくずれる時点が、目的のプロセス点として決定される。

【0080】

動作520では、現(最新)サイクルを含む全ての従前サイクルの、同じ段階の軌道について、多変量解析統計値が計算される。

【0081】

動作530では、現(最新)軌道についての多変量解析統計値が閾値を超えるときに、被選択プロセス点が特定される。

【0082】

図6A及び6Bは、本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセスの複数サイクルにわたって収集された検出光強度を示したグラフ600及び605である。マルチモードパルスプロセスの例えはサイクル1～5などの5つのサイクル中に光センサ130、131の1つ以上によって検出された一被選択波長777nmにおける光強度が示されている。グラフ600には、他の段階からの及び他の波長の放射は示されていない。検出された光は、サイクル1～5の期間中、およそ450回にわたってサンプリングされた。450のサンプルは、図に示されるように時間的に等間隔あってよいが、これらの450のサンプルは、時間的に等間隔でなくてもよいことが理解されるべきである。図に示されるように、波長777nmにおける光の強度は、サイクル1～4の各サイクルでは非常に似ている。これに対し、サイクル5中の波長777nmにおける光の強度は、サイクル1～4の各サイクルにおける強度と幾分異なっている。

【0083】

図6Bのグラフ610は、図6Aのグラフ600に示されたものと同じデータ群を示しているが、ただし、全てのサイクル1～5を重ねた形で示している。グラフ610は、サイクル2～4の類似性及びサイクル5の非類似性を示している。グラフ610は、サイクル2～4の各サイクルについて、被選択波長の強度の比較を示している。サイクル2～4の各サイクルでは、被選択波長の強度は非常に似ており、これらの強度間の差は非常に小さいので、その結果、実質的に1本の線であるグラフ610が、サイクル2～4の全サイクルを網羅している。これに対し、サイクル5における波長777nmの光の強度は、サイクル1～4の各サイクルにおける強度と幾分異なり、したがって、サイクル2～4についてのグラフ610からはずれたグラフ612として示されている。この非類似性は、プロセスが終点条件に達した結果である。これらの各曲線は、マルチモードパルスプロセス出力変数の軌道を表している。これらの軌道を時間的に比較すると、第5のサイクル中のサンプル25において違いが表れ始めることがわかる。1つの波長では、変化を見分けるのに十分でない又は変化を見分けるのに十分な信号を提供できないかもしれません、したがって、スペクトル全体、又はスペクトル内の一定域、又はスペクトル内の複数の被選択波長に

多変量統計を適用することによって、より優れた検出限界が得られるだろう。これは、図 6 C に示されており、ここでは、200 ~ 1000 nm の放射スペクトル全体を使用し、全てのサイクルについての多変量統計値が算出されている。なお、多変量統計値は、サイクル 3 及びサイクル 4 では実質的に一定であり、サイクル 5 において大きな変化を示し始める。これは、プロセスが終点条件に達したことを示している。

【0084】

図 6 C は、本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセスの複数サイクルにわたって収集された 2 つ以上の検出変数値を示したグラフ 6 2 0 である。グラフ 6 2 0 は、軌道方法を使用して算出された多変量統計値である。グラフ 6 2 0 では、複数の波長が使用されている。グラフ 6 2 0 は、検出可能なだけ全ての光波長を表すことができる。上記の図 6 A 及び 6 B では、選択された 1 つの变数、具体的には波長 777 nm における強度が検出され、グラフ 6 0 0 及び 6 0 5 として記録された。これに対し、図 6 C のグラフ 6 2 0 では、複数の变数が組み合わされて報告されている。複数の变数は、1 つ以上の被選択波長の強度、並びに / 又は RF 電流、RF 電圧、RF 電力、バイアス電圧、プラズマプロセスチャンバ圧力、1 種類以上のガスの流量、若しくはその他の被選択マルチモードパルスプロセス变数のうちの 1 つ以上を含むその他のプロセス变数を含むことができる。

10

【0085】

閾値整合限界 6 2 2 が選択される。閾値整合限界 6 2 2 は、過去の経験及び / 又はテストの結果にしたがって選択可能である。グラフ 6 2 0 は、サイクル 5 の最中に閾値整合限界 6 2 2 を超えており、したがって、終点は、サイクル 5 のなかで特定可能である。

20

【0086】

図 6 D は、本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセスの複数サイクルにわたって収集された反射光強度を示したグラフ 6 3 0 である。グラフ 6 3 0 は、マルチモードパルスプロセスにおいて処理されているウエハの表面から反射された 275 nm の光を示している。グラフ 6 3 0 では、275 nm が被選択波長であるが、任意の適切な波長が選択可能であることが理解されるべきである。図に示されるように、反射光の強度は、マルチモードパルスプロセスに入ってから 0 秒から 87 秒の間では比較的高い。反射光の強度は、0 秒から約 87 秒の間では、処理されているウエハの表面上の層が光学的に厚いゆえに、比較的一定である。この光学的に厚い表面は、実質的に等しい強度を反射する。

30

【0087】

約 87 秒が経過した後、反射光強度は、全体として下降線をたどり始め、マルチモードパルスプロセスに入って約 118 秒において最小強度に達する。反射光の強度は、処理されているウエハの表面上の層が光学的に薄くなり、下位層が光を反射し始めるゆえに、下降する。材料は、タイプごとに異なる波長の光を異なる形で反射する。なお、約 112 秒に局在するピークは、約 106 秒から約 112 秒の間に発生する堆積プロセス段階の結果である。

【0088】

図 6 E は、本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセスの複数のサイクル中における 1 つ以上の被選択プロセス变数のパターン 6 4 0 を示したグラフである。パターン 6 4 0 は、図 6 A ~ 6 D において上述されたような多くの異なるやり方で生成可能である。或いは、パターン 6 4 0 は、同じマルチモードパルスプロセスの複数のサイクルを経ている 1 枚以上のウエハに対する結果の平均に基づくことができる。

40

【0089】

グラフ 6 4 5 は、評価されているウエハに対して同じマルチモードパルスプロセスの複数のサイクルが適用されている間ににおける、パターン 6 4 0 の形成に使用されたのと同じ 1 つ以上の变数を示したグラフである。パターン 6 4 0 とグラフ 6 4 5 とが比較され、パターン 6 4 0 の終点 6 4 1 に相当するものとして終点 6 4 6 が見つけられる。パターン 6 4 0 とグラフ 6 4 5 との比較は、リアルタイムで実現することが難しいことがある。

50

【0090】

図6Fは、開示の実施形態を実現するための、パターン640の終点部分642をマルチモードパルスプロセスの複数のサイクル中における1つ以上の被選択プロセス変数のグラフ645と比較したグラフである。代案として、評価されているウエハに対して同じマルチモードパルスプロセスの複数のサイクルが適用されている間におけるグラフ645との準リアルタイムな比較のために、パターン640の終点部分642を使用することができる。パターン640の終点部分642の比較は、複数の点642A～642Eを選択すること、及び該選択された点をグラフ645上の対応する候補点645A～645Eと比較することを含む。例えば642Aを645Aと比較するなど対応する点間の差は、距離絶対値として表すことができる。複数の点642A～642Eは、最小距離絶対値が実現されるまで、対応する後続の点645F～645Sと引き続き比較される。最小距離絶対値が実現されるのは、642A～642Eが点645N～645Sに対応するところであり、終点645Rが特定可能である。

10

【0091】

図6Gは、本開示の実施形態を実現するための、グラフ645とパターン640の終点部分642との間の差の距離を示したグラフである。差は、およそサンプル1100において最小値をとり、したがって、図6Fに示されるように、終点部分642が位置642'にあるときが、終点部分642との最も近い一致となる。

20

【0092】

グラフ645では、上記のパターン整合プロセスは、終点の一例645Rを特定するために使用されたが、上記のパターン整合プロセスは、パターン640の任意の部分において対応するプロセス点を見つけるために使用可能である。例えば、図6Eに示されるような、例えばプロセス点640Xなどの被選択プロセス点は、上述のパターン整合プロセスを使用して、グラフ645において対応する点645Jを見つけるために使用可能である。

20

【0093】

図7は、本開示の実施形態を実現するための、マルチモードパルスプロセスにおいて被選択プロセス点を特定するにあたって実施される方法動作700を示したフローチャートである。動作705では、プラズマプロセスチャンバ110内にウエハが配され、該ウエハにマルチモードパルスプロセスが適用される。上述のように、マルチモードパルスプロセスは、複数のサイクルを含むことができ、各サイクルは、1つ以上の段階を含むことができる。動作710では、ウエハに対するマルチモードパルスプロセスにおける1つ以上のサイクル中に、少なくとも1つの段階について、少なくとも1つのプロセス出力変数が収集のために選択される。

30

【0094】

動作715では、マルチモードパルスプロセスの被選択プロセス点のためのテンプレートを特定するために、収集された(1つ以上の)プロセス出力変数が解析される。プロセス点に対応して特定されるテンプレートは、全ての目的ウエハにおいて、監視対象とされる(1つ以上の)プロセス出力変数に関して十分に類似していることが望ましい。被選択マルチモードパルスプロセス点の特定は、動作720において、被選択プロセス点のためのテンプレートを全ての被選択ウエハについて収集された(1つ以上の)プロセス出力変数の少なくとも1つと突き合わせることによって実施可能である。一実現形態では、プロセス点のために特定されたテンプレートは、その他のプロセス点とは異なる例えば(1つ以上の)曲線などの1つ以上の固有な特性を含むので、パターンは、マルチモードパルスプロセス中に(1つ以上の)プロセス出力変数に対して複数のウエハにわたって突き合わせることが可能である。基準テンプレートを特定するために選択されたウエハは、テストされているウエハとは異なっていてよい。この場合、プラズマプロセスチャンバ110の現条件は、一定にとどまり、選択されているテンプレートは、プラズマプロセスチャンバ内において処理されるウエハが増えるにつれて変化することはない。

40

【0095】

50

(1枚以上の)基準ウエハの少なくとも1枚から、プロセス点に対応して2つ以上のテンプレートが(1つ以上の)基準テンプレートとして特定可能である。テストウエハの場合は、テストされているウエハのプロセス出力変数に関するパターンが、基準テンプレートからの少なくとも1つのテンプレートと一致した場合に、パターン整合によって、プロセス点を検出することができる。例えば、(1つ以上の)プロセス出力変数のテンプレートを特定するために処理される複数のウエハは、プラズマプロセスチャンバ110のための特性化テンプレートを決定するための複数の基準/テストウエハを含んでいてよい。あるいは、プラズマプロセスチャンバ110のための特性化テンプレートは、プラズマプロセスチャンバ110内において複数のウエハを実際に処理することによってではなく、望ましい理論的なテンプレートとして特定可能である。

10

【0096】

あるいは、(1つ以上の)プロセス出力変数の(1つ以上の)テンプレートを特定するため処理される複数のウエハは、基準ウエハ、及び/又はプラズマプロセスチャンバ110内において処理された選択枚数分の直近のテストウエハを含んでいてよい。この代案は、テンプレートがプラズマプロセスチャンバ110の現条件を取り入れて反映させるように変化することを可能にする。

20

【0097】

上記の実施形態を念頭におくと、本発明は、コンピュータシステムに格納されたデータを伴った、コンピュータによって実現される様々な動作を用いてよいことが理解されるべきである。これらの動作は、物理量の物理的操作を必要とする動作である。必ずしも必須ではないが、通常は、これらの量は、格納、移動、結合、比較、及びその他の操作が可能である電気信号又は磁気信号の形態をとる。更に、実施される操作は、多くの場合、生成する、特定する、決定する、又は比較するなどの表現で言及される。

20

【0098】

本発明は、ハンドヘルドデバイス、マイクロプロセッサシステム、マイクロプロセッサをベースにした若しくはプログラム可能な家庭用電子機器、ミニコンピュータ、メインフレームコンピュータなどの、その他のコンピュータシステム構成で実施されてよい。本発明は、また、ネットワークを通じてリンクされた遠隔処理装置によってタスクが実施される分散コンピューティング環境において実施されてもよい。

30

【0099】

本明細書で説明されて本発明の一部を構成する動作は、いずれも、有用な機械動作である。本発明は、また、これらの動作を実施するためのデバイス又は装置にも関する。装置は、所要の目的のために特別に構築されてよい、又はコンピュータに格納されたコンピュータプログラムによって選択的にアクティブにされる若しくは構成される汎用コンピュータであってよい。特に、各種の汎用マシンは、本明細書における教示内容にしたがって記述されたコンピュータプログラムを伴って使用されてよい、又は所要の動作を実施するために更に専用の装置を構築するのに更に好都合であってよい。

30

【0100】

図8は、本発明にしたがったプロセスを行うためのコンピュータシステム1000の一例を示したブロック図である。上述されたプロセスの少なくとも一部を実施するための動作を実行するシステムを制御するためのコントローラ120として、コンピュータシステム1000などの、汎用又は専用のコンピュータシステムが使用可能である。コンピュータシステム1000は、コンピュータ1002と、ディスプレイ1018と、光プリンタ又は光出力デバイス(不図示)と、着脱式メディア(例えば磁気/光/フラッシュ)ドライブ1034と、大容量ストレージシステム1014(例えば、ハードディスクドライブ、半導体ドライブ、又はその他の適切なデータストレージデバイス)と、ネットワークインターフェース1030と、キーボード1022とを含む。マウス1024やタッチパッド又はタッチ画面などの、更なるユーザインターフェースデバイスが含まれていてもよい。

40

【0101】

50

コンピュータ1002は、中央演算処理装置1004と、1本以上のデータバス1010と、ランダムアクセスメモリ(RAM)1028と、読み出し専用メモリ(ROM)1012と、入出力インターフェース1020とを含む。コンピュータ1002は、パソコン(IBM対応パソコン、Macintoshコンピュータ、若しくはMacintosh対応コンピュータなど)、ワークステーションコンピュータ(Sun Microsystems若しくはHewlett-Packardワークステーションなど)、又はその他の適切なタイプのコンピュータであってよい。

【0102】

CPU1004は、汎用デジタルプロセッサ又は特別に設計されたプロセッサであってよい。CPU1004は、コンピュータシステム1000の動作を制御する。メモリから取り出された命令(例えば(1つ以上の)プログラム1008)を使用して、CPU1004は、入力データの受信及び操作、並びに出力デバイスへのデータの出力及び表示を制御する。

10

【0103】

データバス1010は、CPU1004によって、RAM1028、ROM1012、及び大容量ストレージ1014にアクセスするために使用される。RAM1028は、CPU1004によって、汎用ストレージエリアとして及びスクラッチパッドメモリとして使用され、また、入力されたデータ及び処理されたデータを格納するためにも使用可能である。RAM1028及びROM1012は、CPU1004によって読み取り及び実行が可能なコンピュータ読み取り可能命令又はプログラムコード1008、並びにその他のデータを格納するために使用可能である。

20

【0104】

バス1010は、コンピュータ1002によって使用される入力デバイス、出力デバイス、及びストレージデバイスにアクセスするためにも使用可能である。これらのデバイスは、ディスプレイ1018、光プリンタ(不図示)、着脱式メディアドライブ1034、及びネットワークインターフェース1030を含む。入出力インターフェース1020は、キーボード1022からの入力を受信するために、及び押された各キーに対応する復号化された記号をデータバス1010に乗せてCPU1004に送信するために使用される。

30

【0105】

ディスプレイ1018は、バス1010を通じてCPU1004によって提供される又はコンピュータシステム1000内のその他の構成要素によって提供されるデータの画像を表示する出力デバイスである。光プリンタデバイスは、プリンタとして動作するときは、紙の上に又は類似の表面の上に画像を提供する。プリンタデバイスに代わって又は追加して、プロッタやプロジェクタなどのその他の出力デバイスも使用可能である。

【0106】

着脱式メディアドライブ1034及び大容量ストレージ1014は、様々なタイプのデータを格納するために使用可能である。着脱式メディアドライブ1034は、このようなデータの、他のコンピュータシステムへの移送を容易にし、大容量ストレージ1014は、大量の格納データへの高速アクセスを可能にする。大容量ストレージ1014は、コンピュータシステムに含まれていてよい、又はネットワーク接続型ストレージ、若しくは1つ以上のネットワーク(例えばローカルエリアネットワーク、広域ネットワーク、ワイヤレスネットワーク、インターネット1032)を通じてアクセス可能なクラウドストレージなどのように、コンピュータシステムに外付けされてよい、又はこのようなストレージデバイス及び場所の組み合わせであってよい。

40

【0107】

CPU1004は、コンピュータ読み取り可能コード及びロジックを実行するために、並びにデータを生成及び使用するために、オペレーティングシステムと協同して動作する。コンピュータコード、ロジック、及びデータは、RAM1028内、ROM1012内、若しくは大容量ストレージ1014内、若しくは他のメディアストレージデバイス

50

内にあってよい、又はこれらの組み合わせであってよい。コンピュータコード及びデータは、着脱式プログラムメディア上にあって、必要なときにコンピュータシステム1000に取り込まれてよい又はインストールされてよい。着脱式プログラムメディアは、例えば、DVD、CD-ROM、PC-CARD、フロッピィディスク、フラッシュメモリ、光メディア、及び磁気ディスク又は磁気テープを含む。

【0108】

ネットワークインターフェース1030は、その他のコンピュータシステムに接続されたネットワーク1032を通じてデータを送受信するために使用される。コンピュータシステム1000を既存のネットワークに接続するために、並びにローカルエリアネットワーク、広域ネットワーク、ワイヤレスネットワーク、インターネット、及びその他の任意の適切なネットワーク及びネットワークプロトコルなどの標準プロトコルにしたがってデータを転送するために、インターフェースカード又は類似のデバイスと、CPU1004によって実行される適切なソフトウェアとが使用可能である。10

【0109】

キーボード1022は、コマンド及びその他の命令をコンピュータシステム1000に入力するために、ユーザによって使用される。その他のタイプのユーザ入力デバイスも、本発明と併せて使用可能である。例えば、汎用コンピュータの画面上のポインタを操作するために、コンピュータマウス、トラックボール、スタイルス、タッチパッド、タッチ画面、又はタブレットなどのポインティングデバイスが使用可能である。

【0110】

更に、上記の図面のなかで動作として表されている命令が、例示された順序で実施される必要はないこと、及び動作として表されている必ずしも全ての処理が、本発明を実施するために必要であるとは限らないことがわかる。また、動作によっては副動作を有していてよいこと、また、本明細書で説明される特定の動作が例示の動作に含まれていなくてよいことがわかる。更に、上記のいずれの図面に記載されているプロセスも、RAM、ROM、若しくはハードディスクドライブのうちのいずれか1つ、又はいずれかの組み合わせに記憶されたソフトウェアとしても実現可能である。20

【0111】

本発明は、コンピュータ読み取り可能メディア上のコンピュータ読み取り可能コード及び/又はロジック回路としても実装可能である。コンピュータ読み取り可能メディアは、コンピュータシステムによって後で読み取り可能なデータを格納することができる任意のデータストレージデバイスである。コンピュータ読み取り可能メディアの例には、ハードドライブ、ネットワーク接続ストレージ(NAS)、ロジック回路、読み出し専用メモリ、ランダムアクセスメモリ、CD-ROM、CD-R、CD-RW、磁気テープ、並びにその他の光及び非光データストレージデバイスがある。コンピュータ読み取り可能メディアは、コンピュータ読み取り可能コードが分散方式で格納及び実行されるように、ネットワーク接続されたコンピュータシステムに分散させることも可能である。30

【0112】

更に、上記の図面のなかで動作として表されている命令が、例示された順序で実施される必要はないこと、及び動作として表されている必ずしも全てのプロセスが、本発明を実施するために必要であるとは限らないことがわかる。更に、上記のいずれの図面に記載されているプロセスも、RAM、ROM、若しくはハードディスクドライブのいずれか1つ又はいずれかの組み合わせに記憶されたソフトウェアとしても実現可能である。40

【0113】

以上の発明は、理解を明瞭にする目的で幾らか詳細に説明してきたが、添付の特許請求の範囲内で特定の変更及び修正がなされてよいことが明らかである。したがって、これらの実施形態は、例示的であって限定的ではないと見なされ、本発明は、本明細書で与えられる詳細に限定されず、添付の特許請求の範囲及びそれらの均等物の範囲内で変更されてよい。

【図 1 A】

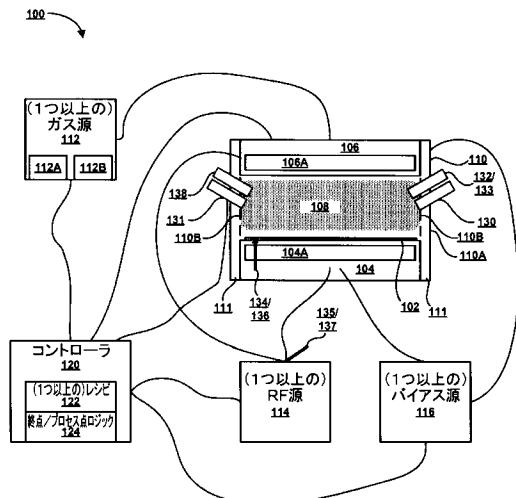


FIG. 1A

【図 1 B】

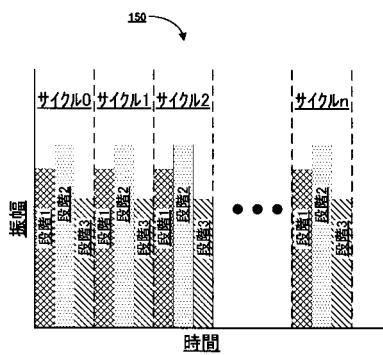


FIG. 1B

【図 2 A】

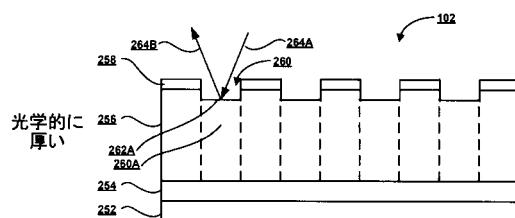
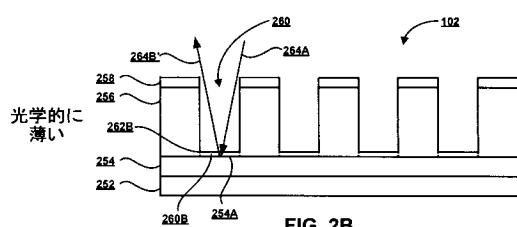


FIG. 2A

【図 2 B】



【図 2 D】

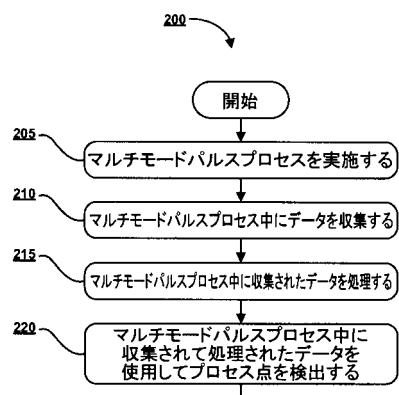
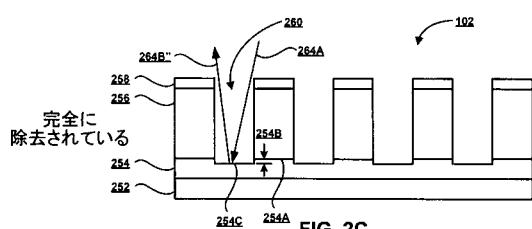
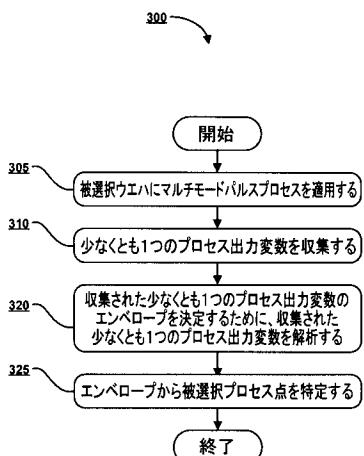


FIG. 2D

【図 2 C】



【図3】



【図4E】

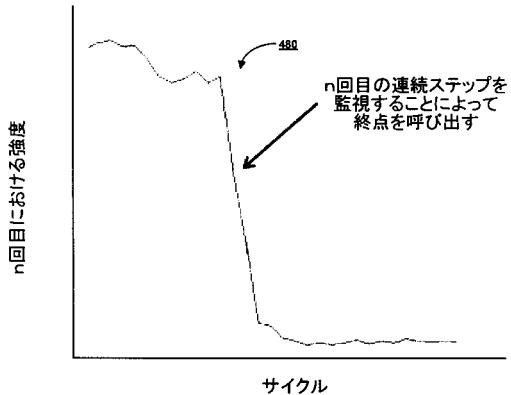
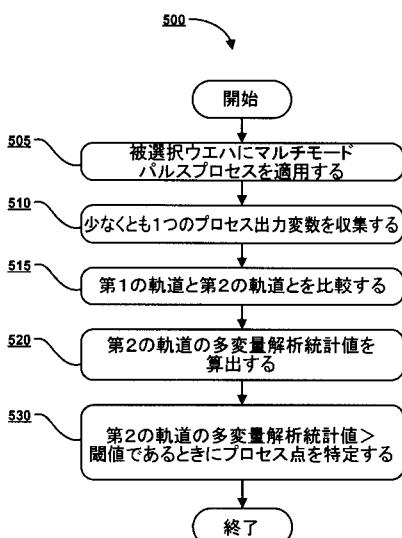


FIG. 4E

【図5】



【図6A】

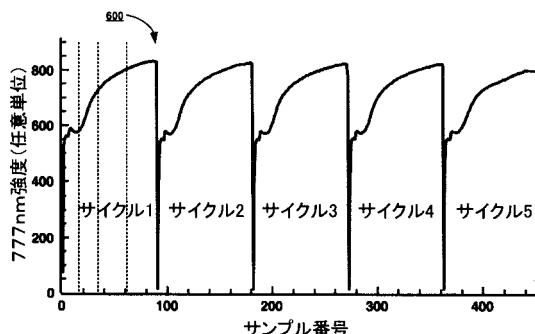


FIG. 6A

【図6B】

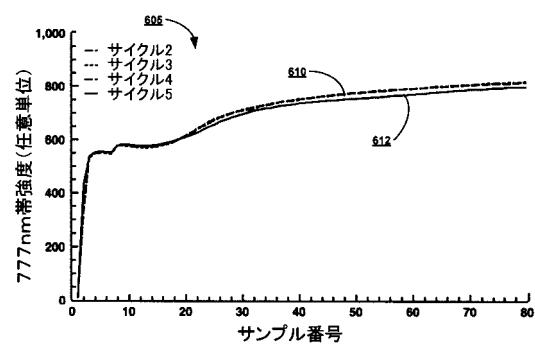


FIG. 6B

【図 6 C】

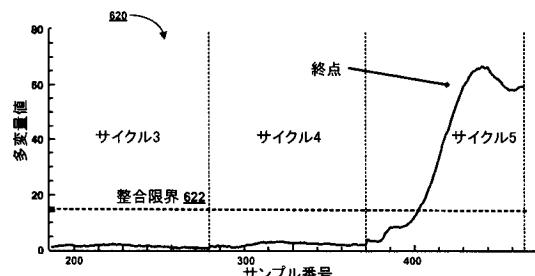


FIG. 6C

【図 6 E】

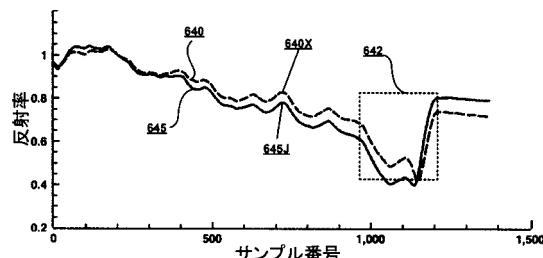


FIG. 6E

【図 6 D】

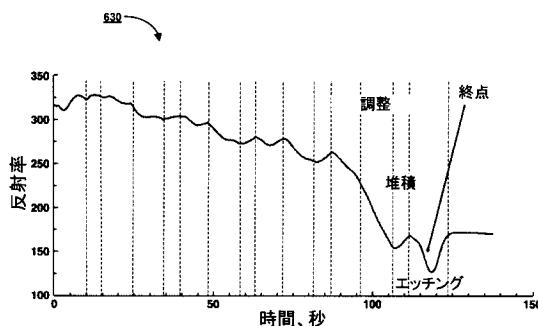


FIG. 6D

【図 6 F】

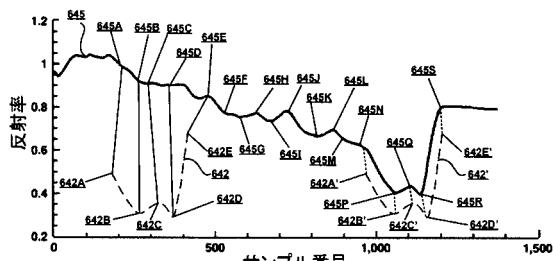


FIG. 6F

【図 6 G】

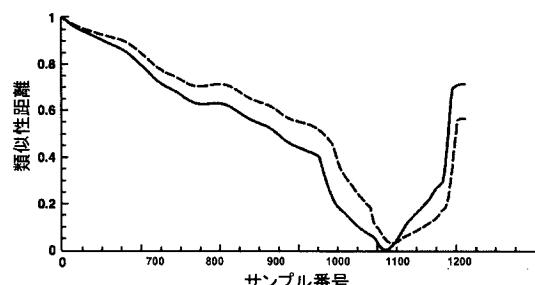


FIG. 6G

【図 7】

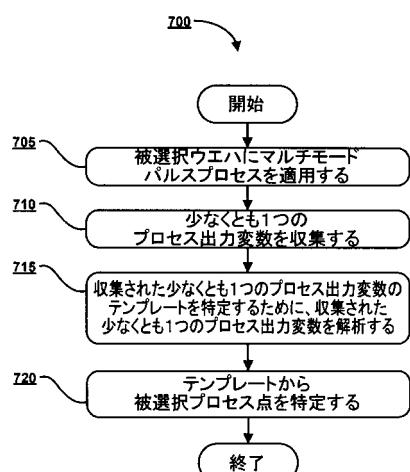


FIG. 7

【図 8】

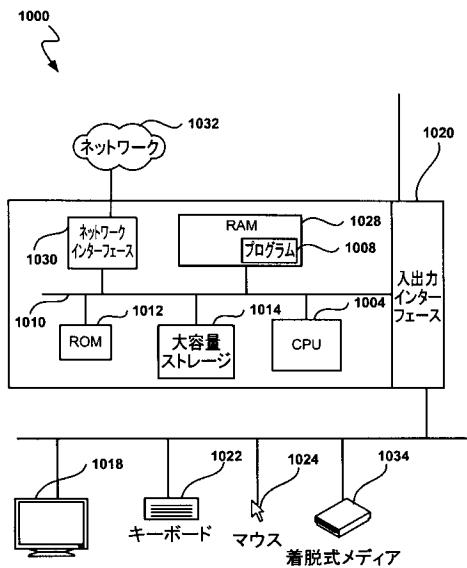


Fig. 8

【図 4 A】

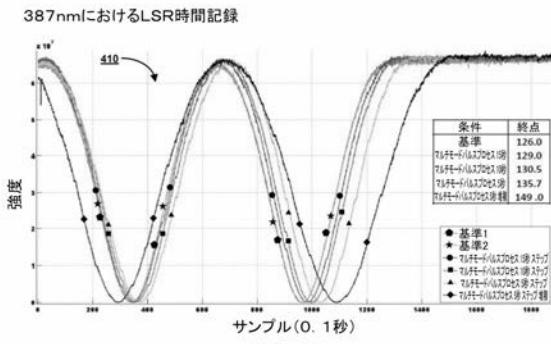


FIG. 4A

【図 4 B】

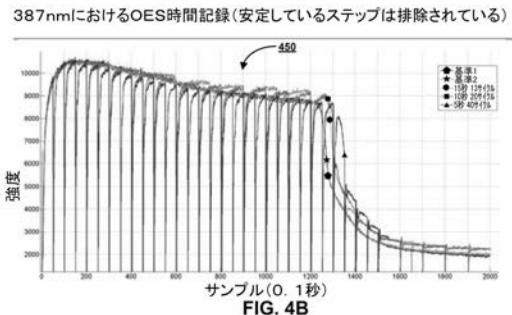


FIG. 4B

【図 4 C】

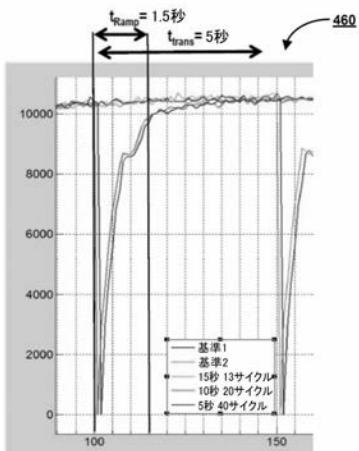


FIG. 4C

【図 4 D】

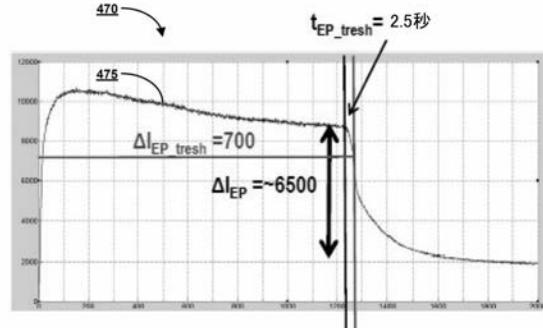


FIG. 4D

フロントページの続き

(72)発明者 ホルヘ・ルケ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94538 フレモント, クッシング・パークウェイ, 465
0

(72)発明者 アンドリュー・ディー・ベイリー・ザ サード

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94538 フレモント, クッシング・パークウェイ, 465
0

(72)発明者 メメント・デルヤ・テティカー

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94538 フレモント, クッシング・パークウェイ, 465
0

(72)発明者 ラムクマル・スバラマニアン

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94538 フレモント, クッシング・パークウェイ, 465
0

(72)発明者 山口 葉子

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94538 フレモント, クッシング・パークウェイ, 465
0

F ターム(参考) 5F004 AA01 BA09 CA06 CA08 CB01 CB02 CB05 CB07 CB09 CB16
EA28

【外國語明細書】

2016082233000001.pdf