

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3977423号

(P3977423)

(45) 発行日 平成19年9月19日(2007.9.19)

(24) 登録日 平成19年6月29日(2007.6.29)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/3065 (2006.01)

H O 1 L 21/302 1 O 3

請求項の数 1 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願平9-505222	(73) 特許権者	ラム リサーチ コーポレーション
(86) (22) 出願日	平成8年6月28日(1996.6.28)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94
(65) 公表番号	特表平11-509685		538-6470 フレモント クッシン
(43) 公表日	平成11年8月24日(1999.8.24)		グ パークウェイ 4650
(86) 国際出願番号	PCT/US1996/011016	(74) 代理人	
(87) 国際公開番号	W01997/002593		弁理士 柳田 征史
(87) 国際公開日	平成9年1月23日(1997.1.23)	(74) 代理人	
審査請求日	平成15年6月30日(2003.6.30)		弁理士 佐久間 剛
(31) 優先権主張番号	08/497,461	(72) 発明者	リウ, アレクサンダー エフ
(32) 優先日	平成7年6月30日(1995.6.30)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95
(33) 優先権主張国	米国 (US)		118 サンホセ パイン フォレスト
			ブレース 4789
		審査官	長谷部 智寿
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマエッチングにおける最適終結点検出方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

1 つまたは複数の化学種の濃度水準を特定するために該 1 つまたは複数の化学種の光放出が測定されるエッチング処理の終結点を検出する方法であって、

(1) その時点における前記 1 つまたは複数の化学種の前記光放出の各強度を、該強度を示すアナログ信号の形式で個別に検出するために割り当てられた 1 つまたは複数のチャンネルの各々から、該アナログ信号を検出する工程と、

(2) 前記アナログ信号の各々をデジタル値に変換するために、予め指定されたサンプリングレートで前記アナログ信号をチャンネルごとにサンプリングする工程と、

(3) 前記サンプリングする工程中にピックアップされたノイズのいくらかを除去するために、前記デジタル値をチャンネルごとにプリフィルタする工程と、

(4) チャンネルごとに平均規格化値を導出する工程と、

(5) 該プリフィルタされたデジタル値をチャンネルごとに規格化する工程であって、当該工程が、チャンネルごとの前記プリフィルタされたデジタル値をそのチャンネルに対する前記平均規格化値で除算することにより、該プリフィルタされたデジタル値をチャンネルごとに規格化する工程と、

(6) 前記チャンネルのすべてに対する規格化された前記デジタル値を相互に相関関係付けて、単一の相互相関値を導出する工程と、

(7) ノイズをさらに低減させるために前記相互相関値をポストフィルタする工程と、

(8) 3 つのモードの内から 1 つを選定し実行する工程であって、その際に、サンプリン

10

20

グレート及びノイズスパイクの幅に依存する遅延カウントと呼ばれるパラメータを指定し、該遅延カウントを指定することが、選択されたモードによって規定された領域内に存在する、特定の特性を持つ連続したサンプル数を規定するものである工程と、

(9) 前記一連の時点に対する前記予め指定された個数の一連のポストフィルタされた値またはそれらの微分値が、前記予め指定された閾値を超過し、かつ該予め指定された個数の一連のポストフィルタされた値またはそれらの微分値の大きさが連続的に増大するようになった時点を、前記終結点として検出する工程と

(10) 前記終結点を、サンプリング間隔と同程度の細かさで微調整する工程とを有してなり、

前記工程 (8) の 3 つのモードについて、

10

その第 1 のモードが、

一連の時点に対する予め指定された個数の一連のポストフィルタされた値またはそれらの微分値が、予め指定された閾値を超過し、かつ該予め指定された遅延カウント数の一連のポストフィルタされた値またはそれらの微分値の大きさが連続的に増大するようになるまで、前記検出する工程、前記サンプリングする工程、前記プリフィルタする工程、前記規格化する工程、前記相互相関値を導出する工程および前記ポストフィルタする工程を繰り返すモードで、

その第 2 のモードが

一連の時点に対する予め指定された個数の一連のポストフィルタされた値またはそれらの微分値が、予め指定された閾値を超過し、かつ該予め指定された遅延カウント数の一連のポストフィルタされた値またはそれらの微分値の大きさが連続的に減少するようになるまで、前記検出する工程、前記サンプリングする工程、前記プリフィルタする工程、前記規格化する工程、前記相互相関値を導出する工程および前記ポストフィルタする工程を繰り返すモードで、

20

その第 3 のモードが、

一連の時点に対する予め指定された個数の一連のポストフィルタされた値またはそれらの微分値が、該一連の時点よりも前の時点で予め指定された閾値を少なくとも 1 度超過した後、該一連の時点では該閾値未満となり、かつ該予め指定された遅延カウント数の一連のポストフィルタされた値またはそれらの微分値の大きさが連続的に減少するようになるまで、前記検出する工程、前記サンプリングする工程、前記プリフィルタする工程、前記規格化する工程、前記相互相関値を導出する工程および前記ポストフィルタする工程を繰り返すモードであり、

30

前記工程 (4) の平均規格化値を導出する工程が、

前記 1 つまたは複数のチャンネルの各々から前記アナログ信号を検出する副工程と、

前記検出する副工程において検出された前記アナログ信号の各々をデジタル値に変換するために、前記予め指定されたサンプリングレートで該アナログ信号をチャンネルごとにサンプリングする副工程と、

前記サンプリングする副工程中にピックアップされたノイズのいくらかを除去するために、前記サンプリングする副工程において得られた前記デジタル値をチャンネルごとにプリフィルタする副工程と、

40

予め指定された時間が経過するまで、前記検出する副工程、前記サンプリングする副工程および前記プリフィルタする副工程を繰り返す副工程と、

前記予め指定された時間中に得られた一連のプリフィルタされた前記デジタル値をチャンネルごとに平均して、各チャンネルに対する前記平均規格化値とする副工程を含むものであり、

前記 1 つまたは複数のチャンネルが、前記 1 つまたは複数の化学種の光放出に関係する全ての振動数に亘る合計の光放出の強度をアナログ信号の形式で検出するために割り当てられた追加チャンネルを含むものであり、

前記終結点は、終結点に関する最適位置を経験的に算出できるように半導体回路の性能を測定するための現実のパラメータと関連させることができるものであることを特徴とする

50

方法。

【発明の詳細な説明】

技術分野

本発明は、半導体ウェーハのプラズマ又は乾式エッチングに関し、更に詳細には、エッチング処理において当該処理を終結させるための最適点（即ち、終結点）を検出することに関する。

背景技術

半導体ウェーハのプラズマ又は乾式エッチングは、半導体処理技術において周知である。プラズマ又は乾式エッチング処理は、シリコンウェーハ又は他の被加工物の表面上に沈積または成長させられた化学種の1つ又は複数の層を、エッチング処理に反応しないフォトリソグレイドによって保護されていない部分に相当するウェーハの表面から除去または遊離する処理である。

ウェーハは、通常、内部が大気圧よりも実質的に低い圧力に保たれた密封チャンバ内に配置される。気体がイオン化された場合にエッチングされるべき層を構成する化学成分との反応性が高い1種又は複数の種類の気体がチャンバ内に導入される。気体イオン化源（一般にRFエネルギー）は、化学的に活性であって荷電した種（ $\sim 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ ）から成るプラズマを発生するので、プラズマ内の化学的に活性であって荷電した種は被加工品に衝突し、そして、材料と反応し、材料を取り除く（ディスロジする）か、或いは、被加工品から材料を除去または揮発させ、そして、真空ポンプ装置を介してプロセスチャンバから排出させる。

プラズマは保護されていない層と反応するので、新規な化合物、及び/又は、種は、イオン、遊離基、又は、揮発性気体の形でウェーハの表面から放出される。これらの種のうちの幾らかは、更に高いエネルギー状態に引き上げられ、その後で、より低いエネルギー状態に戻る際に光子を放出する。それぞれの種に関しての光放出は、検出可能な固有の振動数を持ち、当該種の存在を示す。光放出の強度は、当該チャンバ内に存在する特定の種の量に正比例する。

エッチングされるべき層が表面から完全に除去され、その下に有る層をエッチングによって取り去る過程が始まる以前の時点においてプラズマ又は乾式エッチング処理を停止することは極めて重要である。そのようにしないと、結果として得られる半導体回路が最適動作することは実現されないはずである。事実、ウェーハから組み立てられた集積回路が全

プラズマ又は乾式エッチング処理の終結点を検出するためのいくつかの方法および装置は過去において実現済みである。これらの方法および装置は、放出された種がチャンバ内からなくなるか又はチャンバ内に現れ始める時点进行を特定することを目的として、1つ又は複数の放出された種の光放出を検出するために、通常、光検出器、及び/又は、モノクロメータを使用する。上記の時点は、1つの層がエッチングによって除去され、及び/又は、その下に有る層の表面にエッチングが到達する点である。モノクロメータ、及び/又は、光検出器は、チャンバの窓（ウィンドウ）に結合され、これらが同調している特定の振動数の光の強度を測定する。モノクロメータ、及び、データ検出器は、これらが同調しているチャンバ内の1つの種の濃度に比例する振幅を持つアナログ電圧を生成する。先行技術の方法においては、アナログ信号がデジタル表現に変換され、処理され、そして、これに到達するか或いはこれを超過した場合に終結点を指示するものである閾値と比較される。

ただし、半導体処理の対象形状の大きさがサブミクロンレベルまで小さくなるにつれて、エッチングされるべき特定の層の露出される表面積が、ウェーハの全表面積の5%よりかなり小さくなる場合が少なくない。従って、1つの特定の種に関する光放出強度が非常に低くなり、その結果、光放出は、当該システムによって生成されるノイズ内に埋もれてしまう。S/N比が非常に低くなるので、対象信号を識別するためにノイズをフィルタする現在周知の方法は、エッチング処理の適切な終結点を正確かつ確実に検出可能にするには充分でない。更に、特定のエッチング装置によって処理されるウェーハの個数が大きくなるにつれて、それを通して光放出が観測され検出される窓（ウィンドウ）上の沈積物に

10

20

30

40

50

より、対象信号の強度が更に低下させられ、それにより、減少しているS/N比が更に悪化する。

従って、半導体ウェーハのプラズマ又は乾式エッチング技術においては、例えば、半導体ウェーハ上のエッチング処理されるべき層の露出される表面積がウェーハの全表面積の5%よりもかなり小さい(最小の場合0.8%程度しかない)状況、及び、「曇り窓(ウィンドウ)」問題が低いS/N比をさらに悪化させる状況下において、作動するプラズマ又は乾式エッチング処理に関して終結点を適切かつ確実に検出する改良された方法が必要である。終結点を検出するためのこの新規かつ改良された方法は、既存および将来の全てのエッチング装置に容易に適用され、そして、一般にプラズマ又は乾式エッチング処理を用いてエッチングされる様々のあらゆる表面層に適用可能なはずである。最後に、本方法は、終結点の微細調節および以前の処理実行から記録された経験的結果を用いて最適終結点を選定する能力を提供することにより、所定のエッチング処理に関して終結点検出の最適化を容易にすることができるものである。

10

発明の概要

本発明は、極度に低いS/N比を生成する状態の下においてさえも、最適終結点を指定し、かつ、当該最適終結点を正確かつ確実に検出するためにプラズマ又は乾式エッチング処理システムに適用される。1個又は複数個の光検出器、及び/又は、モノクロメータは、一束の光ファイバを介して、プラズマエッチングシステムのエッチングチャンパの窓に取付けられた光学レンズに結合される。光検出器、及び/又は、モノクロメータの出力は、アナログマルチプレクサ(MUX)に結合され、そこからさらにアナログ/デジタルコンバータ(ADC)に結合される。次に、ADCの出力は、CPU、記憶装置、及び、入力/出力(I/O)ポートを有するマイクロコントローラに光学的に結合される。各光検出器、及び/又は、モノクロメータは、制御されるべきエッチング処理の期間中に放出される特定の化学種によって放出される光の固有振動数に同調されている。アナログMUXは、各光検出器、及び/又は、モノクロメータによって生成されるアナログ出力電圧信号を、前以て設定されたサンプリングレートにおいてサンプリングし、これらのアナログ信号のサンプリングされた値を集合としてADCに供給する。ADCは、アナログ信号の各集合を、デジタル表現に変換し、そのデジタル表現はその後マイクロコントローラに供給される。マイクロコントローラは、エッチング処理が終結されるべき点(即ち、終結点)を検出するために、本発明の改良された方法を用いてデジタル生データサンプルの集合を処理するようにプログラムされている。

20

30

エッチング処理の開始に先立って、制御されるべきエッチング処理によって放出される1つ又は複数の化学種によって放出される光の固有振動数を検出するために1個または複数個の光検出器、及び/又は、1個または複数個のモノクロメータが割り当てられる。各光検出器、及び/又は、モノクロメータは、システムの特定のチャンネルに割り当てられる。エッチング処理の開始に際して、光検出器、及び/又は、モノクロメータは、これらが同調されている振動数において放出されている光の量に大きさが正比例するようなアナログ信号を生成し始める。次に、アナログMUXは、サンプリングレートと呼ばれる固定周期速度で、作動中のチャンネルの出力の各々をサンプリングする。従って、サンプリング期間Tsの開始を表す時点t以降、各々のチャンネル出力は、アナログ電圧信号をそのアナログ電圧の大きさに正比例するデジタル値に変換するADCに順次結合される。次に、時点tに関するこのデジタル値の集合は、マイクロコントローラへ入力され、本発明の方法に従ってリアルタイムで処理される。従って、各サンプリング期間に関して、各チャンネルから1つずつ来る生データサンプルの集合が生成され、これらのサンプルは、本発明の方法によって1つの集合として処理される。

40

時点tにおいて作動中のチャンネルから捕捉されたサンプルの集合中の各生データサンプルDは、まず、マイクロコントローラによってプリフィルタリング処理される。プリフィルタリング過程は、時点tにおいて作動中の各チャンネルに関して次に示す方程式に従ってフィルタされたデータサンプルの集合を生成する： $Df1(t) = (1 - Q1) \times Df1(t - 1) + Q1 \times D1(t)$ 、ここに、 $Df1(t)$ はチャンネルのうち1つの時点tにお

50

けるプリフィルタされたデータであり、 $Df1(t-1)$ は当該チャンネルの時点 $t-1$ におけるプリフィルタされたデータであり、 $D(t)$ は当該チャンネルの時点 t における生データサンプルであり、 $Q1$ はプリフィルタフィルタ定数である。

ある固定した時間 t_D に関して、マイクロコントローラは、 $t < t_D$ の間の全てのサンプルに関するプリフィルタされたデータを無視する。時間 t_D は、遅延時間またはマスキングタイムとして公知である。2番目の期間 $t_D < t < t_N$ に関しては、平均規格化値 Dan が算定される。 $t_D < t < t_N$ に関して、作動中のチャンネルの各々に関するプリフィルタされたデータサンプル $Df1(t)$ が合計され、次に、この合計値は、 $t_D < t < t_N$ 期間中に捕捉されたサンプルの全個数 N によって除算される。 $t > t_N$ に関しては、作動中の各チャンネルに関するプリフィルタされた各データサンプル $Df1(t)$ が、作動中の当該チャンネルに関して算定された平均規格化値 Dan によって除算され、当該チャンネルの平均規格化値 Dan に対する百分率として表される規格化された値 $Y(t)$ を生成する。

次に、時間 $t > t_N$ に対する各チャンネルに関して算定された規格化された値 $Y(t)$ の集合は、相互に相関関係付けられて、時点 t において作動中の各チャンネルの規格化された値 $Y(t)$ の相互に相関関係付けられた結合を表す単一の多重チャンネル値（相互相関値） $MCA(t)$ が生成される。チャンネルは、次に示す方程式に従って結合される： $MCA(t) = [(A - B) + (C - D)] / (E)$ 、ここに、 A 、 B 、 C 、 D 、及び、 E は最大5個までの作動中チャンネルを表するように割り当て可能である。

次に、相互相関値 $MCA(t)$ は、次に示す方程式に従ってポストフィルタリング処理される： $Df2(t) = (1 - Q2) \times Df2(t-1) + Q2 \times MCA(t)$ 、ここに、 $Df2(t)$ は $MCA(t)$ のポストフィルタされた値であり、 $Df2(t-1)$ は $MCA(t-1)$ のポストフィルタされた値であり、 $MCA(t)$ は、時点 t における作動中の各チャンネルの規格化された値 $Y(t)$ の相互相関値であり、 $Q2$ はポストフィルタ用フィルタ定数である。

次に、マイクロコントローラは、ポストフィルタされた値 $Df2(t)$ （又は、これらの値の微分）と指定された閾値を比較する。一旦、閾値を超過すると、マイクロコントローラは、当該処理の指定された終結点に到達した時点特定する。ユーザは、エッチング処理を開始するのに先立って、終結点を検出するために振幅モード（即ち、 $Df2(t)$ ）又は勾配モード（即ち、 $dDf2(t)/dt$ ）のいずれを使用するかを指定する。

終結点は、3つのモードのうちの1つによって特定可能である。モード1は、ある個数（ k ）の $Df2(t)$ （又は、 $dDf2(t)/dt$ ）の値が指定された閾値を超過し、そして、大きさが連続的に増大している点として終結点を特定する。モード2は、ある個数（ k ）の $Df2(t)$ （又は、 $dDf2(t)/dt$ ）の値が指定された閾値を超過し、そして、これらの値がピーク値から連続的に減少している点として終結点を特定する。モード3は、 $Df2(t)$ （又は、 $dDf2(t)/dt$ ）が指定された閾値を少なくとも1度超過した後において、ある個数（ k ）の $Df2(t)$ （又は、 $dDf2(t)/dt$ ）の値が、指定された閾値未満となり、しかも連続的に減少している点として終結点を特定する。

3つのモードのうちの1つを用いて終結点を特定する処理は、ノイズによって作られて極めて短期間だけ閾値を超過する可能性のある偽りピークが、偽りの終結点の検出によって処理を早期に終結させることのないように、さらなるレベルのフィルタリングを可能にする。更に、3つのモードのうちの1つを用いて終結点を特定する処理は、プロセスエンジニアに、以前の処理実行期間中に本発明の方法および装置によって収集された実験データによって効果的な半導体回路を作成するために最適であることが示される点に、終結点を微細同調させることを可能にする。

【図面の簡単な説明】

図1は本発明の方法を用いる装置のブロック図表現である。

図2は本発明の方法を用いる装置の概略図である。

図3は先行技術の方法および本発明の方法のハイレベルフローチャート表現である。

図4は先行技術の方法および本発明の方法用の生データ処理ルーチンのハイレベルフロー

10

20

30

40

50

チャート表現である。

図5は先行技術の方法に用いられるパラメータ及びモード設定ルーチンのフローチャート表現である。

図6は終結点検出の先行技術の方法において用いられる「終結点？」ルーチンのフローチャート表現である。

図7は本発明の方法用のデータ規格化ルーチンのフローチャート表現である。

図8は本発明の方法のポストフィルタ過程からの典型的な出力に終結点検出スキームを適用する説明図である。

図9は本発明の方法の「終結点？」ルーチンのフローチャート表現である。

図10は本発明の方法の終結点検出／モード1ルーチンのフローチャート表現である。

10

図11は本発明の方法の終結点検出／モード2ルーチンのフローチャート表現である。

図12は本発明の方法の終結点検出／モード3ルーチンのフローチャート表現である。

図13は本発明の方法のパラメータ及びモード設定ルーチンのフローチャート表現である。

図14は本発明の方法の終結点検出ルーチンを本発明の方法のポストフィルタ過程によって生成される典型的な信号に適用する説明図である。

発明の実施の形態

1. 序言

本発明は、S/N比が非常に低い状況においてプラズマ或いは乾式エッチング処理が終結されるべき最適点を検出するための改良された方法である。更に、本発明の改良された方法を実行するための装置についても開示する。以下の記述においては、最初に、本発明の改良された方法を実行することも可能な公知の装置について説明する。次に、エッチングするために露出されるウェーハの部分面積がウェーハの全表面積の3%よりもかなり小さい値になった場合には、最適終結点を確立かつ検出することが出来なかった以前の公知の方法について説明する。最後に、既知の処理に対する改良について開示する。本発明の改良された処理とは、露出される表面積が最小で全表面積の0.8%程度しかなくても終結点を確立し、かつ確実に識別することを可能にするような処理を意味する。更に、例えば、本発明の完全理解を可能にする例示的なハードウェア構成のような多数の特定の詳細項目について記述する。ただし、当該技術分野における当業者にとっては、本発明がこれらの特定の詳細項目の説明なしに実現可能であることは明白なはずである。

20

30

本発明を必要以上に不明瞭にしないために、公知の回路および構造については詳細に記述しないこととする。例を挙げれば、例えば光検出器およびモノクロメータのような公知の構成要素の詳細、及び、エッチングチャンバの窓（ウィンドウ）に対するこれら構成要素のインタフェースについては詳細に記述されない。当該技術分野における当業者は、プラズマエッチング機械のエッチングチャンバ内の放射を含む光放射を検出するために、これらの構成要素が広く応用されることを理解するはずである。同様に、当該技術分野における当業者は、アナログ信号を多重化し、更に、これらをデジタル信号に変換するための多くの技法が有ることを理解するはずであり、従って、これらの構成要素の詳細についても提示されないか、或いは、詳細については一切説明されない。最後に、デジタルデータを処理するためにも、マイクロコントローラ、マイクロプロセッサ、及び、他の形のデータ処理装置を含む多くの公知の技法が有る。当該技術分野における当業者は、本発明の方法に従ってサンプル値データを処理するために用いられるマイクロコントローラを具体化するための詳細は公知であり、本発明の特許可能性がこれらの詳細には関係しないことを理解するはずである。

40

更に、当該技術分野における当業者は、システム内のノイズによって不明瞭化される光放出の検出を必要とするあらゆる状況に本発明の方法および装置が適用可能であることを理解するはずである。従って、以下では半導体ウェーハのプラズマエッチング処理における終結点を特定する場合に関し本発明の方法および装置について説明するが、例えば蒸着処理のような他の同様の応用も、本出願の適用範囲に含まれるものとする。

2. 発明の装置

50

本発明の方法を実現することのできる装置のブロック図表現を図1に例示する。n個の光検出器および/又はモノクロメータ16の入力端は、光学コネクタ24を介して光学レンズ14へ結合されている。光学レンズ14は、エッチングチャンバ10のウィンドウ(窓)12に取り付けられている。エッチングチャンバ10は、当該技術分野において公知のプラズマ又は乾式エッチングシステムの部分を形成する。

当該技術分野における当業者は、光検出器又はモノクロメータのどちらを選定するかは主として処理期間中に検出されるはずの種のタイプに基づくことを理解するはずである。多くの場合、モノクロメータは酸化物のエッチングに用いられるが、光検出器は金属のエッチングに用いられる。本発明の装置の好ましい実施例においては、通常2個のモノクロメータと3個の光検出器が用いられる。2個のモノクロメータ及び2個の光検出器は、実施中のエッチング処理に応じて特定の種を検出するために用いることが出来る。典型的には、第3の光検出器は、当該処理によって生成される全ての光放出を感知するために広帯域フィルタと共に用いられる。従って、好ましい実施例においては、5個のデータチャネルを用いることが好ましいが、追加チャネルを付加することは容易である。

エッチング処理が開始されると、特定の処理の適用によって放出される特定の種に対して割り当てられ同調されられたN個の光検出器、及び/又は、モノクロメータのいずれもがアナログ電圧を発生し始める。この場合の発生電圧の大きさは、その光検出器及び/又はモノクロメータが同調された種によって生成される光放出の強度に正比例する。光検出器、及び/又は、モノクロメータ16の出力は、コネクタ17を通して、アナログマルチプレクサ及びアナログデジタルコンバータ(ADC)18の入力に結合される。アナログMUXは、作動中のチャネルを介して伝送されているアナログ信号を前以て指定されたサンプリングレートにおいてサンプリングし、これらのサンプルは、ADCにより、サンプリングされたアナログ電圧の振幅に正比例するデジタル値に変換される。従って、エッチング処理中に5個の作動中チャネルが有る場合には、アナログMUX及びADC18は、各サンプリング期間毎に、5個のチャネルの各1個のチャネルにつき1個の割合で、5個のデジタル値を生成する。次に、生デジタルデータは、光カプラ20を介して、マイクロコントローラ22に連続的に伝送される。

次に、例えばインテル8045のような8ビットマイクロコントローラであっても差し支えないマイクロコントローラ22は、各サンプリング期間中、本発明の方法に従って生データを処理する。本発明の方法に従い、マイクロコントローラ22によって終結点が検出された場合には、マイクロコントローラ22が、入力/出力(IO)インタフェース34を介してエッチングチャンバ10に供給されているイオン化エネルギー源を遮断する。イオン化エネルギー源が除去されると直ちに、エッチング処理が実質的に終了する。

図2は、本発明の装置の実施例の略図を例示する。CPU26は、アナログMUX及びADC18、光カプラ20、及び、マイクロコントローラ22を有する。モノクロメータ、及び/又は、光検出器16は、図に示すように、コネクタ17を介してCPU26に結合される。更に、CPU26は、プラズマエッチングシステム32内に存在するI/Oインタフェース34にも結合される。CPU26を支援するために、LCDモニタ28、プリンタ30、及び、キーボード36も同様に装備される。

3. 先行技術の方法

ここで図3から6までを参照し、既に公知である終結点検出方法について説明することとする。図3は、既知の終結点検出方法によって用いられ、本発明の改良された方法でも用いられる過程を示す、トップレベルフローチャートである。ブロック52は、特定のエッチング処理を実施するようなエッチングシステムを準備するために、例えばプロセスエンジニアのようなエッチングシステムのユーザにより実施される過程を表す。設定しなければならないパラメータ及びモード、及び、これらのパラメータ及びモードの選択に影響する要因に関しては後で更に詳細に説明する。

ブロック54はエッチング処理を開始する過程を表す。この開始時点において、アナログMUX及びADC18は、システムの割り当てられた作動中のチャネル上それぞれにおいて生成されている生データのサンプリングを開始する。既に説明したように、各サンプリ

10

20

30

40

50

ング期間に亘って、作動中の各チャネルからの生データ値の組は、生データ処理ルーチン（PRDR）58を実行するマイクロコントローラに光学的に伝送される。1組の生データポイントが一旦処理されると、「終結点？」ルーチン60によって終結点を検出済みであるかどうかを判定するために、結果として得られた処理済みデータが解析される。処理されたデータが終結点を反映しない（一般に、前以て確立済みの或る閾値を超過していない）場合には、エッチング処理は継続し、新規な1組の生データがサンプリングされ、生データ処理ルーチン58によって処理するためにマイクロコントローラへ供給される。終結点に到達したことを「終結点？」ルーチン60によって検出する時まで、このループは継続する。前記の検出時点において、エッチング処理は、図3のブロック62に示すようにマイクロコントローラからの出力信号によって終結される。

10

さて、図4を参照しながら、生データ処理ルーチン58の更に詳細な説明をすることとする。エッチング処理中の各サンプリング期間において、マイクロコントローラは $D(t)$ で表示される1組の生データサンプル（作動中の各チャネルに対して1つずつのデータ）を受け取る。この過程は、図4のブロック82によって表される。次に、生データ点の集合はプリフィルタされ、プリフィルタされたデータサンプル $Df1(t)$ が得られる。時点 t において作動中の各チャネルに対する $Df1(t)$ の値は次の方程式に従って算定される： $Df1(t) = (1 - Q1) \times Df1(t - 1) + Q1 \times D1(t)$ 、ここに、 $Df1(t)$ は、チャネルのうち1つの時間 t におけるプリフィルタされたデータであり、 $Df1(t - 1)$ は、当該チャネルの時間 $(t - 1)$ におけるプリフィルタされたデータである。 $D(t)$ は、当該チャネルの時間 t における生データサンプルであり、 $Q1$ はプリフィルタのフィルタ定数である。ブロック84によって表されるこの過程は、サンプリング過程中にピックアップされるノイズのいくらかを除去することを意図したものである。

20

決定ブロック86は、プリフィルタされたデータが更に処理されることを期間 t_0 に亘ってマスキングする過程を表す。この場合の期間 t_0 は、この期間中は終結点への到達は期待されないが、エッチング処理の開始に起因して一般にノイズが非常に大きい期間を意味する。前以て確立されたこの遅延時間 t_0 が未だ経過していない場合には、ルーチンループがブロック82に戻り、この時点において、マイクロコントローラは、システムからの生データサンプルの新規な集合を待ち受ける状態にある。当該技術分野における当業者は、 t_0 の実際の値は、特定のエッチング処理に対して変化し、実験データ及び経験に基づき、プロセスエンジニアによって設定可能であることを理解するであろう。一旦、マスキング期間が経過すると、ルーチンは、ブロック88によって表される次の過程まで進行する。このブロック88の過程の期間中に、マスキング時間 t_0 が経過した後で（即ち $t > t_0$ ）、各チャネルに関して発生するプリフィルタされた第1のデータサンプル $Df1(t)$ に、各チャネルに対する Dn を等しく設定することによって、作動中の各チャネルに関する規格化値 Dn が確立される。各チャネルに対して一旦この規格化値 Dn が確立されると、この規格化値に対する百分率として表される集合内の各サンプルの規格化された値 $Y(t)$ を得るためにプリフィルタ済みデータサンプル $Df1(t)$ を各チャネルに対する Dn によって除算することによって、特定のサンプリング期間中に捕捉されたプリフィルタ済みデータサンプルの各集合が規格化される。

30

40

ここにおいて、本発明の改良方法の1つは、次のサブセクションにおいて更に詳細に説明するデータ規格化過程88内に存在することに注意されたい。

現行サンプリング期間に対する規格化されたデータサンプルの集合が一旦確立されると、現行サンプリング期間における規格化された値の集合に対する単一値 $MCA(t)$ を生成するために、各チャネルに対する規格化された値 $Y(t)$ が相互に相関関係付けられる（即ち、結合される）。現行サンプリング期間において結合された単一値（相互相関値） $MCA(t)$ は、次に示す方程式に従って求められる： $MCA(t) = [(A - B) + (C - D)] / (E)$ 、ここに、 A 、 B 、 C 、 D 、及び、 E は、5個までの作動中チャネルを表すために割り当て可能である。

例えば、特定のエッチング処理に対してただ2個のチャネルだけが使用されている場合に

50

は、これら 2 個のチャンネルが、それぞれ A と B に割り当てられるものとする。方程式内の残りの変数 C、D、及び、E は 1 に等しく設定され、 $MCA(t)$ に対する値が $A - B$ に等しいことを意味する。当該技術分野においては、特定のチャンネルに対して特定の種を割り当てることは、対象とする信号を強調しながら、チャンネル間の共通ノイズを除去するために役立つことは周知である。例えば、終結点に到達しようとする時点 t において、一方のチャンネル 1 に割り当てられた種の濃度は下降中であり、同時に、他方のチャンネル 2 に割り当てられた種の濃度が上昇中であるものとする。チャンネル 1 を変数 A に、また、チャンネル 2 を変数 B に割り当てることにより、一方において対象とされる 2 つの信号を相互に差算することは実際には加算することを意味し、他方において両方のチャンネルに共通のノイズは差算されて打ち消される。更に、E に割り当てられたチャンネルは、所定のあらゆる時点においてチャンバに存在する全ての振動数の検出を可能にする広帯域フィルタを備えた光検出器である場合が多い。従って、広帯域チャンネルの規格化された値を除算することにより、 $MCA(t)$ の値から更に共通ノイズを除去することが可能である。終結点を検出するためにはどの種を使用することが最も適切であるかということ、及び、これらの種に同調された検出器がどのチャンネルに割り当てられるべきかということを決める際に考察すべき多数のよく知られた事項が有ることが当該技術分野における当業者によって理解されるはずである。これらの考察事項は、本発明の方法および装置の特許性には関係ない。

10

次に、生データ処理ルーチン 58 は、対象信号からノイズを更に除去するために結合済みチャンネル値（相互相関値） $MCA(t)$ をポストフィルタ（後濾過）するブロック 92 へと進む。ポストフィルタ過程は、次に示す方程式に従ってポストフィルタされた値 $Df2(t)$ を確立する： $Df2(t) = (1 - Q2) \times Df2(t - 1) + Q2 \times MCA(t)$ 、ここに、 $Df2(t)$ は $MCA(t)$ のポストフィルタされた値であり、 $Df2(t - 1)$ は $MCA(t - 1)$ のポストフィルタされた値であり、 $MCA(t)$ は、時点 t において作動中の各チャンネルの規格化された値 $Y(t)$ の相互相関値であり、 $Q2$ はポストフィルタのフィルタ定数である。

20

露出される表面積が被加工品の全表面積の 5 % 以下になった場合に一層小さくなる S/N 比に対処しようとして、プリフィルタリング（前濾過）過程と同様に、この先行法にこのポストフィルタリング（後濾過）過程を追加することが試みられた。しかし、露出される表面積が全表面積の 5 % よりも遥かに小さくなったので、この過程は、プリフィルタリング過程 84 と同様に、信頼できる終結点を検出を可能にするには十分でなかった。露出される表面積が 5 % より大きい場合においては、 $Q2$ は、 $Q1$ の場合と同様に 1 に設定することが出来る。方程式から分かるように、こうすることによって、フィルタリング（濾過）機能を除去することが出来る。露出される表面積が 5 % 以下に減少し、更に減少し続けるにつれて、 $Q2$ は、 $Q1$ の場合と同様に、1 よりも小さい値でなくてはならなくなる。当該技術分野における当業者は、 $Q1$ の場合と同様に $Q2$ の最適値が、監視されている特定のエッチング処理の特性に依存することを理解するはずである。 $Q2$ の値は（ $Q1$ の場合と同様に）実験データ及び当該方法を実行するエッチングシステムのオペレータの経験に基づいて最適化することが出来る。

30

生データ処理ルーチン 58 は、決定ブロック 60 における終結点検出ルーチン 50 に戻る。決定ブロック 60 において、先行技術の「終結点？」ルーチン 60 が実行される。図 6 は、先行技術の「終結点？」ルーチン 60 を表すフローチャートを例示する。決定ブロック 100 において、マイクロコントローラは、ポストフィルタされたサンプル $Df2(t)$ の振幅値、又は、これらの値の微分（即ち、勾配）のどちらに関して終結点を検出されるべきかを決定する。振幅モードが選定された場合には、マイクロコントローラは決定ブロック 102 に進み、ここで、現行サンプリング期間に対してポストフィルタされた値が予め指定された閾値（限界）と比較される。値 $Df2(t)$ が前以て指定された閾値より大きい場合には、処理が終結点検出ルーチン 50 の過程 62 に行き、ここで、マイクロコントローラによってエッチング処理が終結される。そうでない場合には、処理が終結点検出ルーチン 50 の過程 56 に戻り、ここで、サンプルの新規集合が生データ処理ルーチン

40

50

58に入力される。振幅モードが選定されない場合には、プリフィルタされたデータ $Df_2(t)$ の微分が指定された閾値と比較される。微分値が前以て選定された閾値より大きい場合には、手順は終結点検出ルーチン50の過程62に進む。微分が指定された閾値より小さい場合には、手順は終結点検出ルーチン50の過程56に戻り、ここで、既に説明したように、サンプルの新規集合がルーチンに従って処理される。

ここで、ウェーハの露出される表面積が約3%以下に減少した場合、図6に示す「終結点？」ルーチン60を含む先行技術の方法は終結点を確実かつ信頼可能に特定することが出来ないことを指摘しておかねばならない。更に曇り窓(ウィンドウ)問題が存在する場合には、露出される表面積の最小限度は実際に更になることが有り得る。次のサブセクションにおいて説明するように、本発明の改良された方法によれば、新規な「終結点？」ルーチン60を実行することによって、曇り窓によって複雑化された場合であっても、0.8%程度もの小さな露出される表面積に対して、信頼可能かつ正確に終結点が検出される。

図5は、先行技術の方法によってエッチング処理を実施するためのエッチング機械の準備に際して、プロセスエンジニアによって実施されなければならない種々のタスクを示すためのパラメータ及びモード設定ルーチン52を例示したものである。既に説明したように、プロセスエンジニアは、先ず、装置の適切なチャネルに重要な種を割り当てなければならない。サンプリングレート並びにプリフィルタおよびポストフィルタ係数(Q_1 及び Q_2)が指定されなければならない。マスク又は遅延時間 t_D は、エッチング処理の開始後にシステムを安定させるために必要な時間に基づいて選定されなければならない。更に、プロセスエンジニアは、ポストフィルタリング過程によって生成される振幅値($Df_2(t)$)、又は、当該値の微分($dDf_2(t)/dt$)のどちらを使用するかを選定しなければならない。最後に、プロセスエンジニアは、 $Df_2(t)$ の現行値(或いは、その微分)の超過対象とされ、終結点が検出されたこと及びエッチング処理を終結させねばならないことを示す閾値を設定しなければならない。当該技術分野における当業者は、これらのパラメータ及びモードは種々のエッチング処理に関して最適化することが可能であり、しかも、この種の最適化は実験データ並びに経験を用いることにより達成可能であることを理解するはずである。

4. 本発明の改良された方法

本発明の改良された方法は、図3及び4に示す既に説明した先行技術の方法の場合と同じハイレベルフローチャートに従う。本発明の方法によって実現される改良は、パラメータ及びモード設定ルーチン52及び「終結点？」ルーチン60(図3参照)並びにデータ規格化ルーチン88(図4参照)に基づいた規格化値に存在する。

既に説明したように、低いS/N比の原因となる条件の下において対象とする信号を不明瞭にするノイズの量を更に減少させるために、本発明の改良された方法は、プリフィルタされたデータサンプルを規格化する平均規格化値 D_{an} を計算する。図7のフローチャートは、本発明のデータ規格化ルーチン88を例示する。このルーチンは、 t_N 未満であるが t_D より大きい期間 t に亘って各チャネルに関するフィルタされたデータ値を合計する。このルーチンは、各々の作動中チャネルに関する $Df_1(t)$ の値を合計し、この合計値を、期間 $t_D < t < t_N$ に亘って合計された全サンプル個数 N 数によって除算する。多数のサンプルについて平均した平均規格化値を使用することは、マスクング時間 t_D が経過した後で、各チャネルに関する最初の値 $Df_1(t)$ だけを使用する前述の先行技術の方法と対照的である。

決定ブロック200は、時間 t が t_N を超過しているかどうかを判断し、そして、超過している場合には、次に、各々の当該チャネルに関して算定された平均規格化値 D_{an} を用いて、各チャネルに関するプリフィルタされた各データサンプル $Df_1(t)$ が規格化される。この過程はブロック206によって表される。従って、規格化値を決定するために作動中の各チャネルに関するプリフィルタされた多数のデータ値を平均することは、対象信号の値を不明瞭にしているノイズに起因する峰と谷を平らにする傾向がある。先行技術の方法におけるプリフィルタ及びポストフィルタ過程および既に説明したように改良され

10

20

30

40

50

た規格化過程を用いても、先行技術の方法における「終結点？」ルーチン60が使用される場合には、S/N比が減少し続けるにつれて、ノイズは、依然として間違った終結点を誘発するような範囲まで対象信号を不明瞭にし続ける。ここで、図8から14までを参照しながら、自明でない新規な「終結点？」ルーチン60について詳細に説明することとする。図8は、本発明の生データ処理ルーチン58によって処理されたポストフィルタ済みサンプル値がなす例示的な波形を示す。サンプルポイント302は、時点tにおいてサンプリングした場合における、 $Df2(t)$ （又は、勾配モードが選定されている場合には、その微分）の値を表す。ノイズ又は他のアーティファクトの結果として、 $Df2(t)$ の値（又は、その微分）は、或る短期間中、前以て指定された閾値300を超過することもあり得る。この状況の下において先行技術の方法による先行技術「終結点？」ルーチン60（図6）が実行された場合には、検出される終結点は時期尚早であり、エッチング処理は早期終結することになる。

10

本発明の改良された「終結点？」ルーチン60を図9から12までに示す。本発明の方法においては、所要の終結点を特定するために3つのモードのなかの1つを選定することが出来る。図10に示すモード1ルーチン130は、図8の領域304内において特定されるべき終結点を検出するために用いられる。モード2ルーチン152は、図11に示すように、図8の領域306内において特定される終結点を検出するために用いられる。モード3ルーチン172は、図12に示すように、図8の領域308内において特定される終結点を検出するために用いられる。

従って、検出するべき終結点の確立に際して、プロセスエンジニアは、閾値だけでなくモード及び遅延カウント(k)と呼ばれるパラメータも指定する。モードを指定することは、その中で終結点が検出されるべき出力波形の領域を指定することになる。遅延カウントkを指定することは、モードによって規定された領域内に所在する、ある特定の特性を持つ連続したサンプルの個数を規定することになる。従って、マイクロコントローラが図8に示す波形の領域304内において終結点を検出する場合には、当該マイクロコントローラは、閾値を超過し、そして、それらの値が連続的に増加するようなk個の連続した $Df2(t)$ の値（又は、勾配モードが選定されている場合には、その微分）に遭遇しなければならない。マイクロコントローラが図8に示す波形の領域306内において終結点を検出する場合には、当該マイクロコントローラは、閾値よりも大きく、そして、それらの値が連続的に減少するようなk個の連続したサンプルに遭遇しなければならない。マイクロ

20

30

コントローラが図8に示す波形の領域308内において終結点を検出する場合には、当該マイクロコントローラは、閾値未満であり、相互の相対的な値が連続的に減少し、そして、k個のサンプルに先行する或る時点tにおいて、 $Df2(t)$ 又はその微分の値が閾値300を超過していなければならないようなk個の連続した $Df2(t)$ の値、又は、その微分に遭遇しなければならない。従って、kが3以上と指定されている場合には、本発明の「終結点？」ルーチン60は、図8に示す波形の領域310に関しては終結点を検出しないはずである。 $Df2(t)$ の値（又は、その微分）は閾値300を超過したけれども、サンプルの個数が、3に等しい遅延カウントk以上になったことはないからである。当該技術分野における当業者は、最適遅延カウントkは、サンプリングレート及びノイズスパイクの幅に依存することを理解するはずである。更に、終結点検出の改良された方法は、正確かつ信頼できる終結点検出を保証するためのさらなるノイズ排除性を提供するばかりでなく、プロセスエンジニアに対し、終結点が発生すべき場所を精密に指定することに関して非常に大きい融通性を提供する。本発明の装置は、エッチングシステムにおいて処理されるウェーハの各ロットに関して終結点検出過程によって生成されるデータを記憶するために十分なメモリを備える。これらの結果は、終結点に関する最適位置を経験的に導出することが出来るように半導体回路の性能を測定するための現実のプロセスパラメータと関連させることが出来る。本発明の改良された方法は、プロセスエンジニアに対して、終結点位置を非常に微細に調節する能力を提供する。換言すれば、プロセスエンジニアは、1つの終結点を特定するために唯1つの閾値に頼る必要はなく、サンプリング期間と同程度に小さい時間段階によって終結点を徐々に移動させ、エッチング時間自体を調節す

40

50

ることができる。

図13は、本発明の方法に関するパラメータとモード設定ルーチン52を示す。改良された方法は、この図に示す追加パラメータの指定を必要とする。過程220において、プロセスエンジニアは、遅延時間またはマスキング時間 t_D を設定するだけでなく、平均規格化値 D_{an} の算定期間を規定する規格化時間 t_N も設定しなければならない。過程224では、既に述べたように、その中において終結点が指定されるべきポストフィルタされた出力波形の領域を規定する終結点検出のモードをエンジニアが指定する必要がある。過程226は、終結点を認識する以前にマイクロコントローラは選定されたモードの該当特性を持つ連続したサンプルに何個遭遇しなければならないかを規定するために、プロセスエンジニアが遅延カウント k も設定しなければならないことを示す。過程228は、改良された規格化ルーチンと終結点検出ルーチンにおいて使用するために、パラメータ N 及び S を設定する。

10

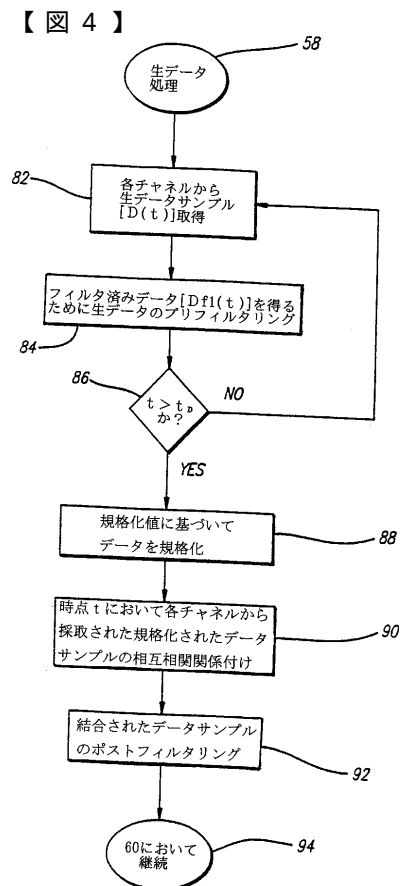
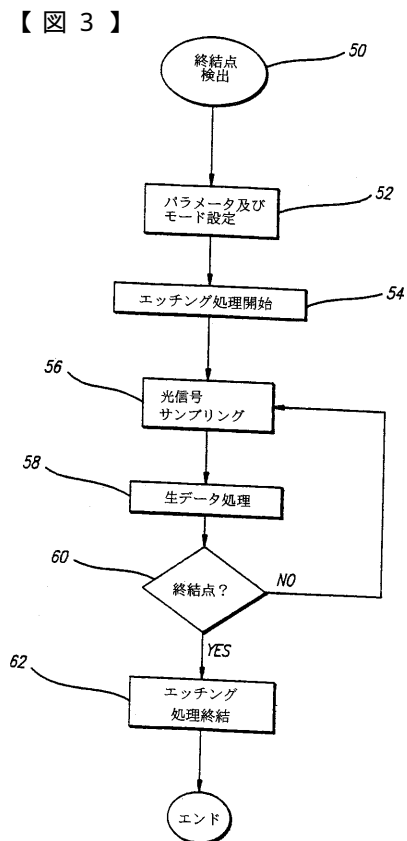
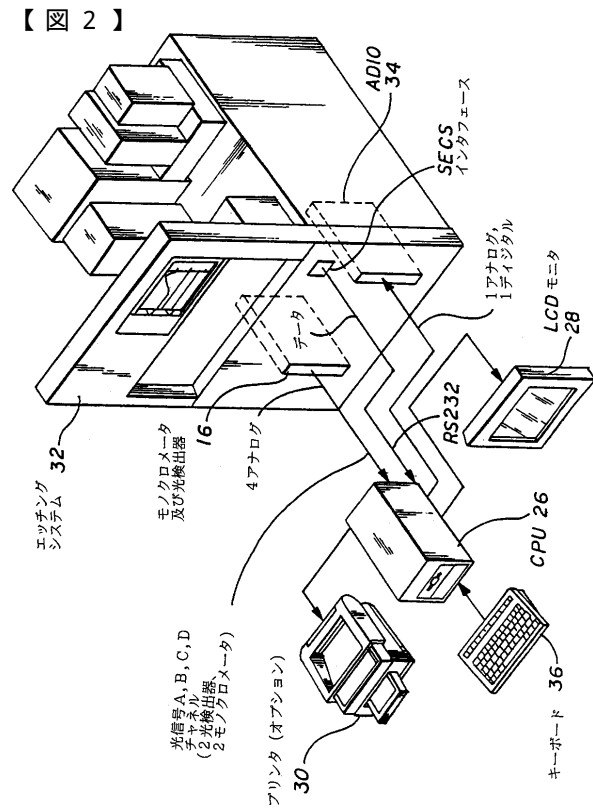
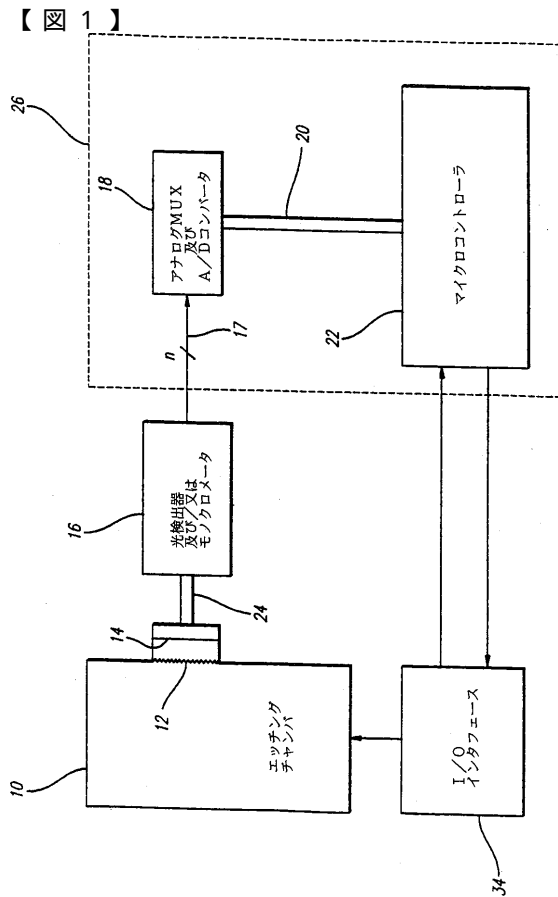
図14は、本発明の方法の利点を示す追加説明図である。図14は、時点 t_{11} における終結点検出を例示する。この場合の終結点は、モード1を選定することによって特定され、その遅延カウント k は3に等しい。本発明の方法は、ノイズスパイク400又は極大点402によって欺かれることなく、終結点404に到達するまで待つてから、エッチング処理を終了させる。

産業上の利用可能性

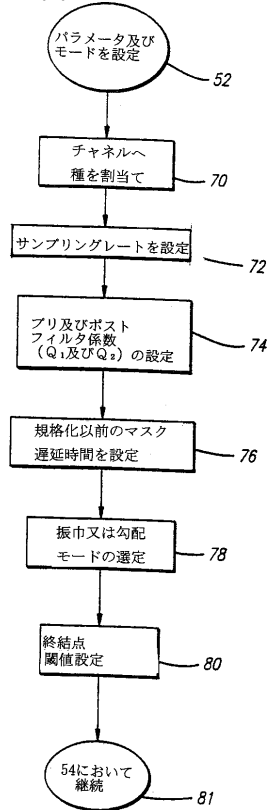
本明細書に示すように、本発明は、 S/N 比を低下させるような状況の下において、例えばプラズマエッチングのような処理の終結点を正確かつ確実に特定し、また、検出することを可能とする改良された方法である。本発明の方法は、 S/N 比が低い状況の下においては終結点を正確かつ確実に検出することができない既知の先行技術の方法の改良である。本発明の方法は、先行技術の処理を実行するために当該技術分野において現在使用されている装置によって実行することが可能である。本発明の改良された方法は、先行技術の方法によって可能であったよりも更に大きいノイズ排除性を提供する、終結点を指定および検出するための独特かつ新規な方法を実現する。終結点を指定および検出するこの独特かつ新規な方法は他の処理にも応用可能であることを意図するものである。例えば、本発明の方法は、当該システムのノイズが対象信号を圧倒する程に量が少ない種の濃度水準を特定するために、その化学種の光放出が測定されるような蒸着または他の処理への応用が可能である。本発明は例示的な図1から14までの少数の図面を参照して説明したが、前述の記述を参考にすることによって多くの代替、修正、及び、改造が実施可能であることは明白である。

20

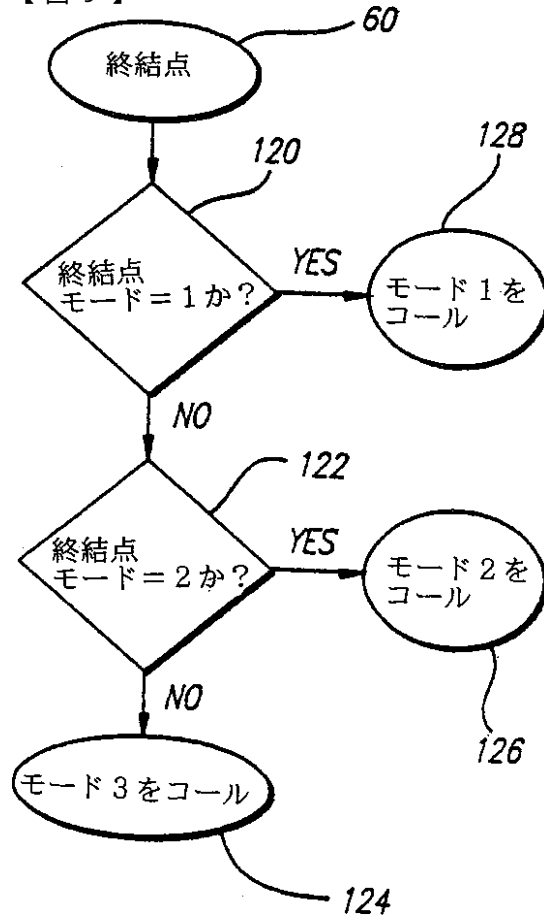
30



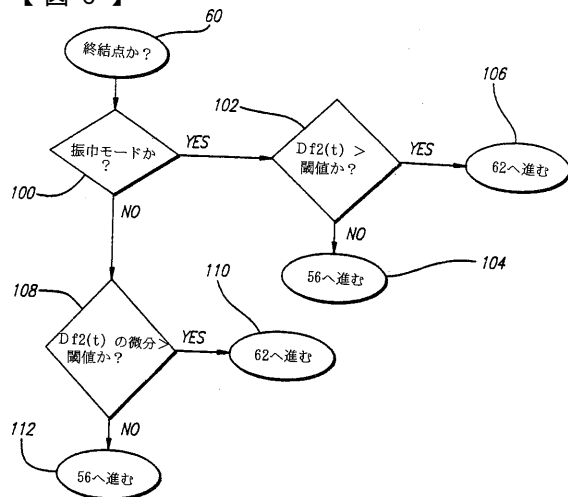
【図 5】



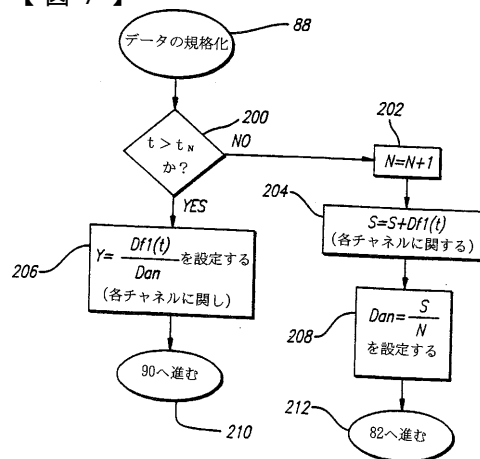
【図 9】



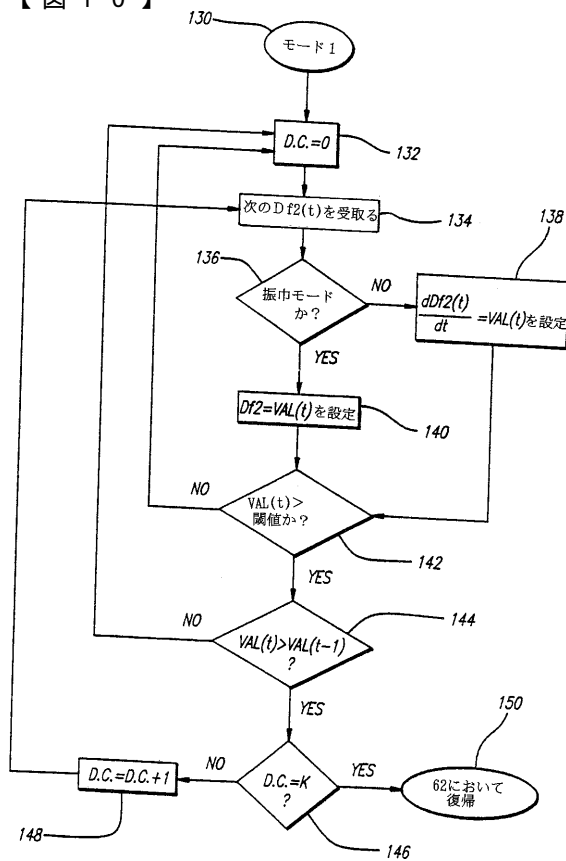
【図 6】



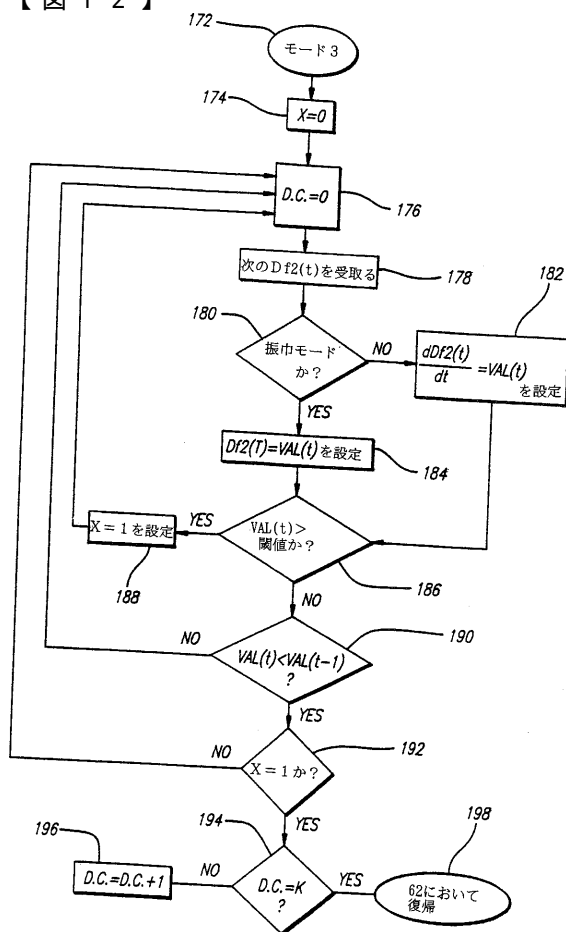
【図 7】



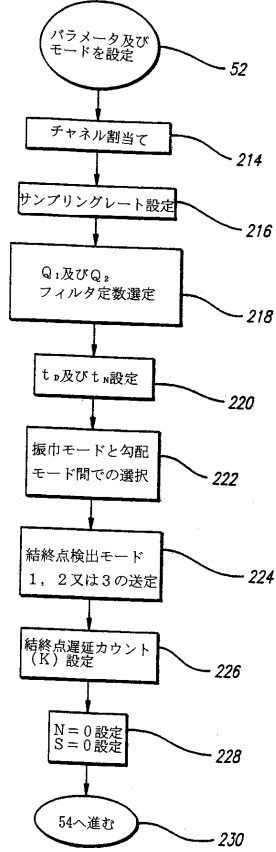
【 図 1 0 】



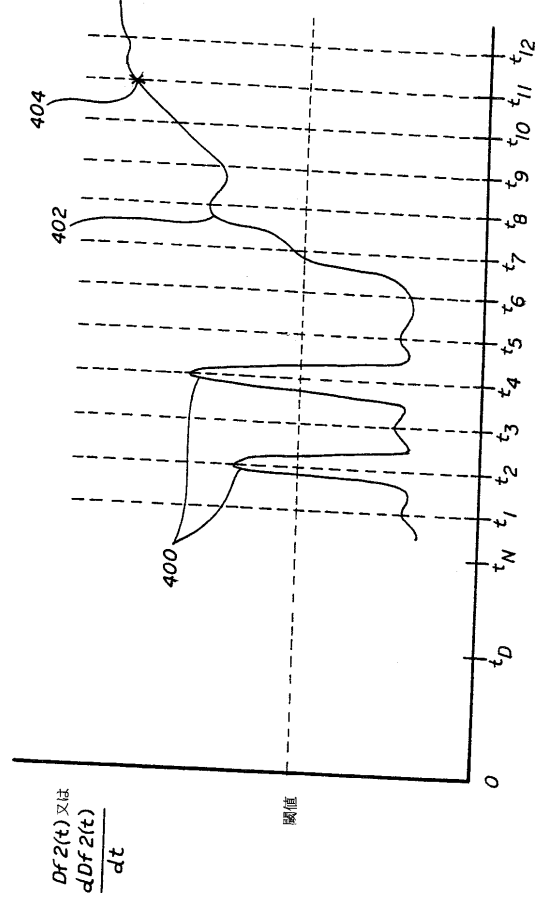
【 図 1 2 】



【図 13】



【図 14】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平05 - 094973 (JP, A)
特開平05 - 175308 (JP, A)
特開昭61 - 053728 (JP, A)
特開昭63 - 244847 (JP, A)
特開昭64 - 021927 (JP, A)
特開平06 - 295883 (JP, A)
特開平06 - 053179 (JP, A)
特開平06 - 033271 (JP, A)
特開平05 - 206074 (JP, A)
特開平04 - 229620 (JP, A)
国際公開第93 / 025893 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065
H01L 21/205
C23F 4/00
H05H 1/46
H01L 21/02
H01L 21/66