

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5427888号
(P5427888)

(45) 発行日 平成26年2月26日 (2014. 2. 26)

(24) 登録日 平成25年12月6日 (2013. 12. 6)

(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 20 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2011-517510 (P2011-517510)	(73) 特許権者	592010081
(86) (22) 出願日	平成21年7月7日 (2009. 7. 7)		ラム リサーチ コーポレーション
(65) 公表番号	特表2011-527521 (P2011-527521A)		LAM RESEARCH CORPOR
(43) 公表日	平成23年10月27日 (2011. 10. 27)		ATION
(86) 国際出願番号	PCT/US2009/049757		アメリカ合衆国, カリフォルニア 945
(87) 国際公開番号	W02010/005930		38, フレモント, クッシング パークウ
(87) 国際公開日	平成22年1月14日 (2010. 1. 14)		エイ 4650
審査請求日	平成24年6月28日 (2012. 6. 28)	(74) 代理人	110000028
(31) 優先権主張番号	61/078, 739		特許業務法人明成国際特許事務所
(32) 優先日	平成20年7月7日 (2008. 7. 7)	(72) 発明者	ブース・ジャンーポール
(33) 優先権主張国	米国 (US)		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】 プラズマ処理チャンバ内のストライクステップを検出するための容量結合静電 (CCE) ブロー
ブ構成、それに関連する方法、及び、その方法を実行するコードを格納するプログラム格納媒体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

プラズマ処理システムの処理チャンバ内の安定化プラズマを特定するための方法であって、

前記処理チャンバ内においてストライクステップを実行してプラズマを発生させることであって、前記ストライクステップは、

前記処理チャンバ内において、前記ストライクステップの後に行われるエッチングステップにおけるガス圧よりも高いガス圧を印加することと、

前記処理チャンバ内において、前記エッチングステップにおける高周波電力よりも低い高周波 (RF) 電力を維持することと、

を含む、ことと、

前記ストライクステップ中に、前記処理チャンバの表面上にあるブローヘッドを利用して特性パラメータ測定結果の集合を収集することと、

前記特性パラメータ測定結果の集合を所定の範囲と照らして比較することと、を備え、

前記特性パラメータ測定結果の集合が前記所定の範囲内である場合は、前記安定化プラズマが存在するものであり、

前記ブローヘッドを利用して特性パラメータ測定結果の集合を収集することは、

前記ブローヘッドで電流値と電圧値の時間変化を測定することと、

前記測定された電流値の時間変化において、初めの電流値と前記時間変化の変曲点と

の間の範囲、又は、前記始めの電流値と予め定められたパーセントにおけるパーセント減衰閾値との間の範囲を、関連性範囲として決定することと、

前記測定された電流値と電圧値の間の電流 - 電圧特性を前記関連性範囲において曲線適合することによって、前記特性パラメータ測定結果の集合を決定することと、を含む、方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の方法であって、

前記プローブヘッドは、容量結合静電 (C C E) プローブである、方法。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の方法であって、

前記プローブヘッドのプラズマ対向表面は、前記処理チャンバのその他のプラズマ対向部品と同じ材料で作成される、方法。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の方法であって、

前記特性パラメータ測定結果の集合は、イオン束測定結果の集合である、方法。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の方法であって、

前記特性パラメータ測定結果の集合は、電子温度測定結果の集合である、方法。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の方法であって、

前記特性パラメータ測定結果の集合は、浮遊電位測定結果の集合である、方法。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の方法であって、

前記特性パラメータ測定結果の集合が前記所定の範囲内でない場合は、前記プラズマは安定化されておらず、修正措置がとられる、方法。

【請求項 8】

ストライクステップを実行してプラズマを発生させる際にプラズマ処理システムの処理チャンバ内の安定化プラズマを特定するための構成であって、

前記処理チャンバ内において下部電極上に位置決めされる基板と、

前記処理チャンバ内において、前記ストライクステップの後に行われるエッチングステップにおける R F 電力よりも低い R F 電力を前記ストライクステップで印加する高周波 (R F) 電力源と、

前記 R F 電力と相互作用することによってプラズマを発生させるガスを前記処理チャンバ内に供給するガス供給システムと、

前記処理チャンバ内において、前記エッチングステップにおけるガス圧よりも高いガス圧を前記ストライクステップで印加する圧力モジュールと、

プラズマ対向センサを含み、前記処理チャンバの表面上に配され、少なくとも、前記ストライクステップ中に特性パラメータ測定結果の集合を収集するように構成されたプローブ構成と、

前記特性パラメータ測定結果の集合を所定の範囲と照らして比較するように構成される検出モジュールと、
を備え、

前記特性パラメータ測定結果の集合が前記所定の範囲内である場合は、前記安定化プラズマが存在するものであり、

前記プローブ構成は、

前記プラズマ対向センサで電流値と電圧値の時間変化を測定し、

前記測定された電流値の時間変化において、初めの電流値と前記時間変化の変曲点との間の範囲、又は、前記始めの電流値と予め定められたパーセントにおけるパーセント減衰閾値との間の範囲を、関連性範囲として決定し、

前記測定された電流値と電圧値の間の電流 - 電圧特性を前記関連性範囲において曲線

10

20

30

40

50

適合することによって、前記特性パラメータ測定結果の集合を決定する、構成。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の構成であって、

前記プラズマ対向センサは、容量結合静電（CCE）プローブヘッドである、構成。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の構成であって、

前記プラズマ対向センサのプラズマ対向表面は、前記処理チャンバのその他のプラズマ対向部品と同じ材料で作成される、構成。

【請求項 11】

請求項 8 に記載の構成であって、

前記特性パラメータ測定結果の集合は、イオン束測定結果の集合である、構成。

10

【請求項 12】

請求項 8 に記載の構成であって、

前記特性パラメータ測定結果の集合は、電子温度測定結果の集合である、構成。

【請求項 13】

請求項 8 に記載の構成であって、

前記特性パラメータ測定結果の集合は、浮遊電位測定結果の集合である、構成。

【請求項 14】

請求項 8 に記載の構成であって、

前記検出モジュールは、ソフトウェアアルゴリズムである、構成。

20

【請求項 15】

請求項 8 に記載の構成であって、

もし前記検出モジュールが、前記安定化プラズマを決定することができない場合は、修正措置がとられる、構成。

【請求項 16】

プラズマ処理システムの処理チャンバ内の安定化プラズマを特定するように構成されたコンピュータ可読コードを盛り込まれたプログラム格納媒体であって、前記コンピュータ可読コードは、コンピュータに、

前記処理チャンバ内においてストライクステップを実行してプラズマを発生させるためのコードであって、

30

前記処理チャンバ内において、前記ストライクステップの後に行われるエッチングステップにおけるガス圧よりも高いガス圧を印加させるためのコードと、

前記処理チャンバ内において、前記エッチングステップにおける高周波電力よりも低い高周波（RF）電力を維持させるためのコードと、

を含む、コードと、

前記ストライクステップ中に、前記処理チャンバの表面上にあるプローブヘッドを利用して特性パラメータ測定結果の集合を収集させるためのコードと、

前記特性パラメータ測定結果の集合を所定の範囲と照らして比較させるためのコードと、

、

を備え、

40

前記特性パラメータ測定結果の集合が前記所定の範囲内である場合は、前記安定化プラズマが存在するものであり、

前記特性パラメータ測定結果の集合を収集するためのコードは、

前記プローブヘッドで電流値と電圧値の時間変化を測定するコードと、

前記測定された電流値の時間変化において、初めの電流値と前記時間変化の変曲点との間の範囲、又は、前記始めの電流値と予め定められたパーセントにおけるパーセント減衰閾値との間の範囲を、関連性範囲として決定するコードと、

前記測定された電流値と電圧値の間の電流 - 電圧特性を前記関連性範囲において曲線適合することによって、前記特性パラメータ測定結果の集合を決定するコードと、を含む、プログラム格納媒体。

50

【請求項 17】

請求項 16 に記載のプログラム格納媒体であって、
前記プローブヘッドは、容量結合静電 (CCE) プローブである、プログラム格納媒体。

【請求項 18】

請求項 16 に記載のプログラム格納媒体であって、
前記特性パラメータ測定結果の集合は、イオン束測定結果の集合、電子温度測定結果の集合、及び浮遊電位測定結果の集合のうちの 1 つである、プログラム格納媒体。

【請求項 19】

請求項 16 に記載のプログラム格納媒体であって、
前記特性パラメータ測定結果の集合が前記所定の範囲内でない場合は、前記プラズマは安定化されておらず、修正措置がとられる、プログラム格納媒体。

10

【請求項 20】

請求項 16 に記載のプログラム格納媒体であって、
前記特性パラメータ測定結果の集合を前記所定の範囲と照らして比較するための前記コードは、検出モジュールによって実施される、プログラム格納媒体。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

プラズマ処理チャンバ内における基板の処理において、満足のいく結果を得るには、多くの場合、プロセスパラメータの厳格な管理が必要とされる。これは、最新の高密度集積回路を製造するために用いられる蒸着、エッチング、洗浄などのプロセスの場合に特に当てはまる。

20

【0002】

例えば、特定のエッチングプロセスの実行では、プラズマは、基板に対して実際のエッチング工程が実施される前に、安定し且つよく特性化されている必要がある。よく特性化された安定したプラズマを開始させるために、多くの場合、ストライクステップ (導入工程) レシピとして知られる特別なレシピが利用される。このストライクステップでは、プラズマ点火を確実にするために、プラズマ処理チャンバ内において比較的高いガス圧が用いられる。高周波 (RF) 電力は、多くの場合、基板及び / 又はチャンバ部品の不慮の損傷を阻止するために、低く維持される。ストライクステップは、所定のエッチングレシピにしたがった実際のエッチング (通常、より高 RF の電力を用いる) が基板に対して開始される前に、チャンバ内におけるプラズマ条件が何らかの所定の許容可能レベルに到達することを保証する。したがって、ストライクステップは、実際のエッチングに適さないプラズマ条件を伴う可能性がある一方で、それでもなお、満足のいくエッチング結果と高いデバイス歩留まりとを基板ごとに保証するにあたって非常に重要な工程である。

30

【0003】

先行技術では、ストライクステップは、多くの場合、何らかの所定の最も良く知られる方法、即ち BKM (best known method) にしたがって幾らかの任意の期間にわたって実行される。ストライクステップの持続時間は、通常、テスト基板から得られるフィードバックデータに基づいて事前に経験的に決定され、各エッチングレシピの実行前に実行される。例えば、一部の BKM は、エッチングに先立って高信頼性のプラズマ点火及びプラズマ安定化を保証するために、5 秒間のストライクステップを要求するであろう。通常は、5 秒間の持続時間の 1 秒目、2 秒目、3 秒目、又は 4 秒目にプラズマが点火され安定化されたかどうかに関係なく、5 秒間全部のストライクステップが実施される。

40

【0004】

もし所定のストライクステップ持続時間の非常に早い段階で、プラズマが点火され安定化された場合は、プラズマは既に点火され安定化されており、ストライクステップ持続時間の残りの部分では有用なエッチングは生じないので、その残りの部分は、基本的に、無駄な時間を表わす。無駄な時間は、プラズマ処理システムの全体的なスループットを低下

50

させ、（生産されるデバイス単位の関数として）プラズマツールの所有コストを増加させる。更に、無駄な時間中におけるチャンバ内の導入プラズマの存在は、チャンバ部品の早期劣化の一因となる（それによって、より頻繁な洗浄サイクル及びメンテナンスサイクルを余儀なくさせる）、且つ／又は基板生産の向上及び／若しくは増加の観点からの対応する利益を伴わない望ましくない基板のエッチングの一因となる。

【 0 0 0 5 】

他方、もしストライクステップの満了後、プラズマが点火していない又は持続状態にない場合は、よく特性化されたプラズマの不在下におけるメインのエッチング工程の開始は、多くの場合、基板を損傷させる結果となる。

【 0 0 0 6 】

以上を考慮すると、ストライクステップが成功しているかどうかを検出するための及びストライクステップの実施に必要とされる持続時間を最短にするための、改良された技術が望まれていることがわかる。

【発明の概要】

【 0 0 0 7 】

本発明は、一実施形態では、プラズマ処理システムの処理チャンバ内の安定化プラズマを特定するための方法に関する。方法は、処理チャンバ内においてストライクステップを実行してプラズマを発生させることを含む。ストライクステップは、処理チャンバ内において十分に高いガス圧を印加すること及び処理チャンバ内において低い高周波（RF）電力を維持することを含む。方法は、また、ストライクステップ中に、基板表面にごく接近している処理チャンバの表面上にあるプローブヘッドを利用して特性パラメータ測定結果の集合を収集することを含む。方法は、更に、特性パラメータ測定結果の集合を所定の範囲と照らして比較することを含む。もし特性パラメータ測定結果の集合が所定の範囲内である場合は、安定化プラズマが存在する。

【 0 0 0 8 】

上記の概要は、本明細書において開示される発明の多くの実施形態の1つに関するに過ぎず、特許請求の範囲において定められる発明の範囲を限定することを意図しない。本発明のこれらの及びその他の特徴は、発明の詳細な説明において以下の図面との関連のもとで更に詳しく下記に説明される。

本発明の第1の形態は、プラズマ処理システムの処理チャンバ内の安定化プラズマを特定するための方法であって、

前記処理チャンバ内においてストライクステップを実行してプラズマを発生させることであって、前記ストライクステップは、

前記処理チャンバ内において、前記ストライクステップの後に行われるエッチングステップにおけるガス圧よりも高いガス圧を印加することと、

前記処理チャンバ内において、前記エッチングステップにおける高周波電力よりも低い高周波（RF）電力を維持することと、

を含む、ことと、

前記ストライクステップ中に、前記処理チャンバの表面上にあるプローブヘッドを利用して特性パラメータ測定結果の集合を収集することと、

前記特性パラメータ測定結果の集合を所定の関連性範囲と照らして比較することと、を備え、

前記特性パラメータ測定結果の集合が前記関連性範囲内である場合は、前記安定化プラズマが存在するものであり、

前記特性パラメータ測定結果の集合を収集することは、

前記プローブヘッドで電流値と電圧値の時間変化を測定することと、

前記測定された電流値の時間変化において、初めの電流値と前記時間変化の変曲点との間の範囲、又は、前記始めの電流値と予め定められたパーセントにおけるパーセント減衰閾値との間の範囲を、関連性範囲として決定することと、

前記測定された電流値と電圧値の間の電流 - 電圧特性を前記関連性範囲において曲線

10

20

30

40

50

適合することによって、前記特性パラメータ測定結果の集合を決定することと、を含む。

【図面の簡単な説明】

【0009】

本発明は、添付の図面において限定としてではなく例として示され、図中、類似の参照符号は、同様の要素を指すものとする。

【0010】

【図1】CCEプローブ構成の一例を示している。

【0011】

【図2】先行技術においてなされるような、イオン電流（時間単位あたりの単位面積あたりのイオン束）対時間のプロットを示している。

10

【0012】

【図3】本発明の一実施形態にしたがった、イオン電流（時間単位あたりの単位面積あたりのイオン束）対時間のプロットを示している。

【0013】

【図4 - A】プラズマを発生させるために高周波（RF）源をリアクタチャンバに容量結合されたプラズマシステムの一部の簡単な配線図を示している。

【0014】

【図4 - B 1】RF充電後における電圧対時間のグラフを示している。

【0015】

【図4 - B 2】RF充電後における収集された電流データのグラフを示している。

20

【0016】

【図4 - C】RFバースト間の一時間区間について簡単な電流対電圧グラフを示している。

【0017】

【図4 - D】発明の一実施形態における、基板処理中にプラズマを自動的に特性化するための全工程を説明した簡単なフローチャートを示している。

【0018】

【図4 - E】発明の一実施形態における、関連性範囲及びシード値を決定するための簡単なアルゴリズムを示している。

【0019】

30

【図4 - F 1】RFバースト後における電流対時間の一例を示している。

【0020】

【図4 - F 2】RFバースト後における電圧対時間の一例を示している。

【0021】

【図4 - F 3】変曲点の一例を示している。

【0022】

【図4 - F 4】電流対電圧グラフに適用される曲線適合の一例を示している。

【発明を実施するための形態】

【0023】

添付の図面に例示される幾つかの実施形態を参照にして、本発明が詳細に説明される。以下の説明では、本発明の完全な理解を可能にするために、多くの詳細が特定されている。しかしながら、当業者ならば明らかなように、本発明は、これらの一部又は全部の詳細を特定しなくても実施されえる。また、本発明が不必要に不明瞭にされないように、周知のプロセス工程及び/又は構造は詳細に説明されていない。

40

【0024】

発明の実施形態は、ストライクステップの成功裏の完了を検出するために容量結合静電（CCE）プローブを使用することに関する。CCEプローブは、長い間、プラズマプロセスパラメータを測定するために利用されてきた。CCEプローブは、当該分野において既知であり、その詳細は、例えば引用によって本明細書に組み込まれる「Method and Device For Measuring An Ion Flow In A Plasma（プラズマ内のイオン流動を測定するため

50

の方法及び装置)」(1999年8月10日)と題された米国特許第5,936,413号を含む、公表されている文献から得ることができる。CCEプローブは、例えば検出感度が向上される、センサのサイズが小さいゆえにプラズマに対する摂動が最小である、チャンバ壁への取り付けが容易である、センサヘッド上のポリマの付着に反応しにくいなどを含む、多くの利点を提供する。更に、センサのプラズマ対向表面は、多くの場合、周辺のチャンバ壁と同じ材料で作成することができるので、それによって、プラズマに対する摂動を更に最小にすることができる。これらの利点は、CCEプローブを、プロセスパラメータの感知における使用にとって非常に望ましいものにする。

【0025】

概して、CCEプローブ構成は、測定コンデンサの一方の端子につながれたプラズマ対向センサを伴う。ここで、CCEプローブ構成の一例が、図1に示される。図1では、測定コンデンサ104の一方の板104aに、(チャンバ130の壁内に配される)プラズマ対向センサ102が接続される。測定コンデンサ104のもう一方の板104bは、RF電圧源106に接続される。RF電圧源106は、RF振動列を周期的に供給し、測定コンデンサの両端では、RF振動列の終わりの直後におけるコンデンサ電流放電率を決定するために測定が実施される。コンデンサ電流放電率を決定するために、測定コンデンサ104とRF電圧源106との間に電流測定器120が直列に配される。代替又は追加として、プローブヘッドの電位を測定するために、板104aとアースとの間に電圧測定器122が接続される。CCEプローブの構成及び動作に関する詳細は、上記の米国特許第5,936,413号において論じられており、本明細書ではこれ以上論じないものとする。

【0026】

上記のように、チャンバの表面内に、伝導性材料で作成されたプローブヘッドが取り付けられる。プローブには、短いRF列が印加され、これは、コンデンサ(Cm)を充電させるとともに、プローブの表面に負電位(地電位に対して数十ボルトの負である)を持たせる。RFパルスの終わりに続いて、プローブの電位は、Cmの放電とともに減衰して浮遊電位に戻る。電位が変化する率は、プラズマ特性によって決定される。この放電中、プローブの電位Vfは、電圧測定器122によって測定され、プローブにそしてコンデンサCmを流れる電流は、電流測定器120によって測定される。曲線V(t)及びI(t)は、電流電圧特性VIを構成するために使用され、該特性VIは、次いで、信号プロセッサによって解析される。これらのデータ点に対して、モデル関数が適用され、浮遊電位Vf、イオン飽和電流Isat、及び電子温度Teの推定値が生成される。更なる詳細については、「Methods for Automatically Characterizing a Plasma(プラズマを自動的に特性化するための方法)」と題され、2008年6月26日付けで米国特許局に出願された同時係属出願(出願番号61/075,948号)及び2009年6月2日付けで米国特許庁に出願された同時係属出願(出願番号第12/477,007号)に見いだされ、本明細書における「考察」に含まれる。

【0027】

本発明の1つ又は2つ以上の実施形態にしたがって、ストライクステップの成功裏の完了の検出を可能にするための、革新的技術が提案される。ここで、発明者らは、イオン束を監視することによって、イオン束データ内におけるプラズマ点火の信号ステップ特性が、適切な信号処理ソフトウェア及び/又はハードウェアを使用して検出されえることに気付いた。プラズマ点火が生じたら、一定期間にわたってイオン束が監視されてよい。プラズマ点火の信号ステップ特性の監視は、プラズマ点火が生じると予期される時間枠内において実施されてよい。もしこの時間窓内に安定したイオン束の確立が観測される場合は、プラズマは安定化されたと考えられ、ストライクステップは成功したと見なされる。したがって、ストライクステップの成功裏の完了は、プラズマ点火事象の検出、及び後続のプラズマパラメータが所定の期間にわたって特定の条件を満たすとの判定の、両方を必要とする。

【0028】

代替又は追加として、電子温度が監視されてもよい。電子温度を監視することによって、検出されたプラズマ点火事象を確認するための追加の確認データ点が得られる。

【0029】

代替又は追加として、プローブヘッドの浮遊電位が監視されてもよい。浮遊電位を監視することによって、浮遊電位データ内におけるプラズマ点火の信号ステップ特性が、適切な信号処理ソフトウェア及び/又はハードウェアを使用して検出されえる。プラズマ点火が生じたら、一定期間にわたって浮遊電位が監視されてよい。もしこの時間窓内に特定の条件が満たされる場合は、プラズマは安定化されたと考えられ、ストライクステップは成功したと見なされる。イオン束の監視の場合と同様に、ストライクステップの成功裏の完了は、プラズマ点火事象の検出、及び後続のプラズマパラメータが所定の期間にわたって特定の条件を満たすとの判定の、両方を必要とする。

10

【0030】

図2は、先行技術においてなされるような、イオン電流(時間単位あたりの単位面積あたりのイオン束)対時間のプロットを示している。図2において、点200は、ストライクステップの開始を表わしている。点200と点210との間の期間は、ストライクステップを表わしている。ステップ202は、プラズマの点火を反映している。実際、図2からわかるように、プラズマは、点204から既に安定化している。先行技術によるBKMは、ストライクステップ200の開始後に一定の期間を要求するので、ストライクステップは、その一定の期間が点210において満了するまで継続される。当業者ならば、点204と点210との間の期間が、基本的に無駄な時間を表わしていることが容易にわかり、これは、システムのスループットを低下させるとともに、安定化点の後の長時間に及ぶ導入プラズマの存在ゆえに基板及び/又はチャンバ部品を損傷させる可能性がある。

20

【0031】

図3は、本発明の一実施形態にしたがった、イオン電流(時間単位あたりの単位面積あたりのイオン束)対時間のプロットを示している。図3において、点300は、ストライクステップの開始を表わしている。点302は、プラズマの点火を反映している。点火事象に続いて、プラズマは安定化し始める。点304において、プラズマは安定化される。プラズマの点火は、イオン束及び/又は電子温度及び/又は浮遊電位を監視することによって監視されえる。もし点302(プラズマの点火)と点304との間の時間内におけるプラズマ条件が満足のいくものである場合、エッチングプロセスは、点304から開始してよく、それによって、長時間に及ぶ無駄な時間(先行技術の図2の点204と210との間の時間など)を排除することができる。なお、もしプラズマの点火が検出されなかった(例えばステップ302がない)場合は、ストライクステップは失敗したと見なされる。このように、発明は、プラズマが成功裏に点火された且つ/又は安定化されたかどうかに関係なく所定のストライクステップ持続時間の満了時にエッチング工程が開始される先行技術に優る、大きな利点を提供する。

30

【0032】

1つ又は2つ以上の実施形態では、エッチングの一例におけるプラズマ点火や安定化期間などについて、特性パラメータ測定結果(イオン束測定結果、電子温度測定結果、及び/又は浮遊電位測定結果など)が実験的に得られてよい。何枚かのテスト基板について、これらの特性パラメータが突き止められたら、その特性パラメータパターンは、ストライクステップが成功裏に完了されたかどうかを判定するために、のちのプロセス実行からのパラメータ読み取り値と照らして比較するために利用されてよい。

40

【0033】

入射又は反射のRF電力又はRFインピーダンスプローブを測定するなどの、先行技術によるパラメータ測定技術とは対照的に、発明によるCCEプローブをベースにしたストライクステップ検出技術は、高感度である。これは、発明の実施形態が、処理されている基板の近くにおいて、リアクタ壁に向かうイオン束を直接測定するプローブを使用するからである。したがって、プローブによって測定されるイオン束は、基板表面に到着する束に非常に密接に関係し、この測定を、本質的に絶対的な測定にする。したがって、検出シ

50

システムは、エッチング工程への移行を始動させる前に、イオン束が安定している（例えば不当な振動、即ち不安定性がない）こと及び設定制御限界内であることを確認しえる。

【 0 0 3 4 】

この直接的な測定手法は、より非直接的な測定である傾向がある且つストライクステップの検出について誤検出及び／又は検出漏れを発生しがちである且つ較正する又は絶対的にするのがより困難である先行技術による技術（上記のＲＦ電力測定又はＲＦインピーダンスプローブ測定など）と異なる。

【 0 0 3 5 】

また、ＣＣＥプローブは、小さいものである傾向があり、プラズマ処理チャンバの周辺プラズマ対向構造と同一面になるように取り付けられ、チャンバのプラズマ対向部品と同じ材料で形成されるプラズマ対向プローブ表面を有することが可能であるゆえに、プラズマに対する損傷が最小である。更に、電流は、プローブヘッドのプラズマ対向表面上に形成されえる任意の付着を通じて容量結合されるので、発明によるＣＣＥプローブベースのストライクステップ検出技術は、プラズマ対向プローブヘッド上のポリマ付着に反応しにくい。

【 0 0 3 6 】

本発明は、幾つかの好ましい実施形態の観点から説明されているが、本発明の範囲内に入るものとして、代替形態、置換形態、及び均等物がある。また、本発明の方法及び装置を実現する多くの代替的手法があることも留意されるべきである。本明細書では、種々の例が提供されるが、これらの例は、例示的であって、発明に対して限定的であることを意図されない。

【 0 0 3 7 】

また、名称及び要約は、便宜のために本明細書に提供されており、特許請求の範囲の範囲を解釈するために用いられるべきでない。更に、要約は、極めて短縮された形で記載され、便宜のために本明細書に提供されており、したがって、特許請求の範囲に述べられた発明全体を解釈する又は制限するために用いられるべきでない。もし本明細書において「集合」という用語が用いられる場合は、このような用語は、ゼロ、１つ、又は２つ以上の要素を含む普通に理解される数学的意味を有することを意図される。また、以下の添付の特許請求の範囲は、本発明の真の趣旨及び範囲に含まれるものとしてこのようなあらゆる代替形態、置換形態、及び均等物を含むと解釈されることを意図される。

【 0 0 3 8 】

「考察」は、「Methods for Automatically Characterizing a Plasma（プラズマを自動的に特性化するための方法）」と題され、２００８年６月２６日付けで米国特許局に出願された同時係属出願（出願番号６１／０７５，９４８号）及び２００９年６月２日付けで米国特許局に出願された同時係属出願（出願番号第１２／４７７，００７号）にも見いだされ、引用によって本明細書に組み込まれる。

【 0 0 3 9 】

「プラズマを自動的に特性化するための方法の考察」

【 0 0 4 0 】

プラズマ処理の進歩は、半導体産業の成長を導いてきた。標準的な電子製品のチップを供給するには、幾百又は幾千の基板（半導体ウエハなど）が処理されると考えられる。競争力を有するために、メーカは、最短の処理時間で基板を処理して高品質の半導体素子に仕上げられる必要がある。

【 0 0 4 1 】

通常、プラズマ処理中は、基板に悪影響を及ぼす可能性がある問題が発生しえる。処理されている基板の品質を変える可能性がある重要な要因は、１つには、プラズマ自体である。プラズマを解析するのに十分なデータを得るためには、各基板に関する処理データを収集するためのセンサが用いられてよい。収集されたデータは、問題の原因を突き止めるために解析されてよい。

【 0 0 4 2 】

考察を進めるため、図4 - Aは、プラズマシステムA - 100の一部におけるデータ収集プローブの簡単な配線図を示している。プラズマシステムA - 100は、プラズマA - 106を発生させるためにリアクタチャンバA - 104に容量結合される、パルス状RF周波発生器などの高周波(RF)源A - 102を含んでよい。RF源A - 102がオンにされると、外部コンデンサA - 108にバイアス電圧がかけられ、これは、約26.2ナノファラッド(nF)でありえる。一例では、RF源A - 102は、数ミリ秒(例えば約5ミリ秒)ごとに小さな電力バースト(例えば11.5メガヘルツ)を提供して外部コンデンサA - 108を充電させてよい。RF源A - 102がオフにされると、外部コンデンサA - 108には、極性を持つバイアス電圧が残るので、プローブA - 110は、バイアスをかけられてイオンを収集する。バイアス電圧が減衰するにつれて、図4 - B1、図4 - B2、及び図4 - Cに示されるような曲線が描かれると考えられる。

10

【0043】

当業者ならば、プローブA - 110が大抵は、リアクタチャンバA - 104の壁を背にして位置決め可能な伝導性の平面を持つ電気プローブであることを承知している。プローブA - 110は、したがって、リアクタチャンバA - 104環境に直接曝される。プローブA - 110によって収集された電流データ及び電圧データは、解析されてよい。レシピによっては、プローブA - 110上に非伝導性の付着層A - 116を付着させる可能性がある。全てのプローブが、信頼できる測定結果を収集できるとは限らない。しかしながら、当業者ならば、PIF(平面イオン束)プローブが、測定の実施のために直流(DC)を引き込む必要がないその方式ゆえに、非伝導性の付着層にもかかわらずデータを収集可能であることを承知している。

20

【0044】

プラズマシステムA - 100内における電流信号及び電圧信号は、他のセンサによって測定される。例において、RF源A - 102がオフに切り替えられると、電流及び電圧をそれぞれ測定するために、電流センサA - 112及び高インピーダンス電圧センサA - 114が用いられる。電流センサA - 112及び電圧センサA - 114から収集された測定データは、次いで、プロットされて電流グラフ及び電圧グラフに作成されえる。データは、手作業でプロットされてグラフに作成されてもよいし、又はソフトウェアプログラムに入力されてグラフに作成されてもよい。

【0045】

30

図4 - B1は、RF充電サイクル後における電圧対時間のグラフを示している。データ点B1 - 202において、RF源A - 102は、RF充電がなされた後にオフに切り替えられている(即ち、RFバースト)。この例では、データ点B1 - 202において、プローブA - 110にかかる電圧は、約マイナス57ボルトである。プラズマシステムA - 100が、休止状態(データ点B1 - 204とB1 - 206との間の区間)に戻るにつれて、電圧は、大抵は浮遊電圧電位に達する。この例では、浮遊電圧電位は、約マイナス57ボルトから約ゼロボルトに上昇する。しかしながら、浮遊電圧電位は、ゼロである必要はなく、マイナス又はプラスのバイアス電圧電位であってもよい。

【0046】

同様に、図4 - B2は、RF充電後における収集された電流データのグラフを示している。データ点B2 - 252において、RF源A - 102は、RF充電がなされた後にオフに切り替えられている。減衰期間B2 - 254中に、外部コンデンサA - 108における戻り電流は、放電されるであろう。一例では、満充電のときに(データ点B2 - 252)、電流は、約0.86mA/cm²である。しかしながら、電流は、完全に放電されたときに(データ点B2 - 256)、ゼロに戻っている。このグラフに基づくと、放電は、約75ミリ秒かかる。データ点B2 - 256からデータ点B2 - 258までの間、コンデンサは、放電された状態にとどまる。

40

【0047】

電流データ及び電圧データは、一定期間にわたって収集されるので、電流対電圧グラフは、時間で統合して時間変数を排除することによって作成されえる。換言すると、収集さ

50

れた電流データは、収集された電圧データに対応付けられてよい。図4-Cは、RFバースト間の一時間区間に及ぶ簡単な電流対電圧グラフを示している。データ点C-302において、RF源A-102は、RF充電がなされた後にオフに切り替えられている。

【0048】

各RFバースト中に収集されたデータに対して非線形適合を適用することによって、プラズマA-106が特性化されてよい。換言すると、プラズマA-106を特性化しえるパラメータ（例えば、イオン飽和、イオン飽和の傾き、電子温度、浮遊電圧電位など）が決定されてよい。プラズマA-106は、収集されたデータによって特性化されてよいが、パラメータを計算するプロセスは、人による介入を必要とする単調な手作業のプロセスである。一例では、各RFバースト後（即ち、RF充電がなされ、次いでオフにされたとき）に収集されたデータを、ソフトウェア解析プログラムに取り込んでよい。ソフトウェア解析プログラムは、プラズマを特性化しえるパラメータを決定するために、非線形適合を実施してよい。プラズマを特性化することによって、技術者は、基板の低水準処理を最小限に抑えるためにどのようにレシピを調整すればよいかを決定できると考えられる。

【0049】

あいにく、各RFバーストについてデータを解析する先行技術の方法は、完了までに数秒の、又は数分もの時間を必要とする可能性がある。解析されるべきRFバーストは、幾百万まではいかなくても通常幾千はあるので、レシピのためにプラズマを特性化するには、計算のために合計で幾時間も費やされると考えられる。ゆえに、先行技術の方法は、プロセス制御目的で時宜に即した関連データを提供するのに効果的な方法ではない。

【0050】

添付の図面に例示される幾つかの実施形態を参照にして、本発明が詳細に説明される。以下の説明では、本発明の完全な理解を可能にするために、多くの詳細が特定されている。しかしながら、当業者ならば明らかなように、本発明は、これらの一部又は全部の詳細を特定しなくても実施されえる。また、本発明が不必要に不明瞭にされないように、周知のプロセス工程及び/又は構造は詳細に説明されていない。

【0051】

以下では、方法及び技術を含む、種々の実施形態が説明される。発明は、発明技術の実施形態を実施するためのコンピュータ可読命令を格納されたコンピュータ可読媒体を含む製造品も対象としえることを、念頭に置かれるべきである。コンピュータ可読媒体は、コンピュータ可読コードを格納するための、例えば半導体、磁気、光磁気、光、又はその他の形態のコンピュータ可読媒体を含みえる。更に、発明は、発明の実施形態を実施するための装置も対象としえる。このような装置は、発明の実施形態にかかわるタスクを実施するための、専用の及び/又はプログラム可能な回路を含みえる。このような装置の例は、適切にプログラムされたときの汎用コンピュータ及び/又は専用計算装置を含み、コンピュータ/計算装置と、発明の実施形態にかかわる種々のタスクに適応された専用の/プログラム可能な回路との組み合わせを含みえる。

【0052】

上記のように、プラズマに関するデータを収集するためにPIFプローブ法が用いられ、リアクタチャンバ環境内に位置決めされてよい。センサ（例えばPIFプローブ）から収集されたデータは、リアクタチャンバ内のプラズマを特性化するために用いられてよい。また、センサは、図4-Aに示されるように収集表面を用いるので、チャンバの表面に関するデータも決定されえる。先行技術では、PSDによって収集されたデータが、解析に利用可能な即座のデータ源を提供する。あいにく、収集されえるデータの甚大な量が、時宜に即したデータの解析を困難にしている。幾千の、又は幾百万ものデータ点が収集されえるので、プラズマを正確に特性化するために関連区間を測定する作業は、とりわけデータが大抵は手作業で解析されるゆえに、気の遠くなる作業になるであろう。結果的に、収集されたデータは、時宜に即したプラズマの特性化をプラズマ処理システムに提供するのに有用ではなかった。

【0053】

しかしながら、もし、プラズマの特性化に必要とされる関連のデータ点が、収集されえる幾千／幾百万のデータ点から特定されるならば、プラズマの特性化に必要とされる時間は、大幅に短縮されるであろう。発明の実施形態にしたがって、比較的短期間でプラズマを自動的に特性化するための方法が提供される。本明細書において説明される発明の実施形態は、プラズマを特性化するための解析を必要としえるデータ点を減らすために関連性範囲を特定するためのアルゴリズムを提供する。本明細書において論じられるように、関連性範囲は、各 R F パースト間に収集されえる幾千又は幾百万のデータ点のなかの、より小さいデータ点の集合を言う。発明の実施形態は、更に、プラズマを特性化するための値を計算する数学モデルに適用されえるシード値を推定することも提供する。関連性範囲に対して曲線適合を実施することによって、プラズマを特性化するために利用されえるパラメータが計算されえる。

10

【 0 0 5 4 】

本発明の特徴及び利点は、以下の図面及び議論を参照にして更に良く理解されるであろう。

【 0 0 5 5 】

図 4 - D は、発明の一実施形態における、基板処理中にプラズマを自動的に特性化するための工程を説明した簡単なフローチャートを示している。基板処理中に R F 充電が提供された状況を考える。

【 0 0 5 6 】

第 1 の工程 D - 4 0 2 では、電流データ及び電圧データが収集される。一例では、R F 源がオンにされた後に、R F 充電（パルス）が提供される。R F 充電がオフにされた後は、リアクタチャンバのチャンバ壁に取り付け可能な平面イオン束プローブなどのプローブでデータを収集するために、電流センサ及び電圧センサが用いられてよい。上記のように、センサによって収集されえるデータ点の数は、幾千又は幾百万に及ぶであろう。一部のケースでは、各 R F パースト間において幾千から幾万のデータ点が収集されることがあり、これは、先行技術によるリアルタイムに近い解析をほぼ不可能にする。

20

【 0 0 5 7 】

先行技術では、半導体基板処理中に収集される測定データを解析するために、数時間の時間が充てられることがある。ここで、発明の一態様では、発明者らは、プラズマの特性化のために各 R F パースト間における測定データを解析する必要はないことに気付いた。その代わりに、もし、データ集合の関連性範囲に対して曲線適合が適用されるならば、プラズマの特性化に利用されえるパラメータが決定されるであろう。

30

【 0 0 5 8 】

次の工程 D - 4 0 4 では、関連性範囲が決定される。上記のように、関連性範囲は、各 R F パースト間に収集されたデータ集合のなかの小集合を言う。先行技術では、データは手作業で解析されているので、収集されたデータの甚大な量は、関連性範囲の計算を困難な作業にする。多くの場合、関連性範囲は、視覚的に推定されえる。関連性範囲を特定するにあたっては、データ集合のなかの小集合から、存在しえるノイズが実質的に排除されてよい。一例では、複雑な基板処理中に、プローブ上にポリマが蓄積され、収集されたデータの一部を歪曲させることがある。例えば、影響を受けるデータの一部は、コンデンサが完全に放電された時点で収集されえるデータである傾向がある。関連性範囲を特定するにあたっては、ポリマの蓄積に関連したデータが、解析から取り除かれてよい。換言すると、関連性範囲の決定は、プラズマの特性化が不規則ノイズに見舞われることなく行われることを可能にしえる。一例として、関連性範囲がどのように決定されえるかに関しては、下記の図 4 - E の考察において論じられる。

40

【 0 0 5 9 】

関連性範囲を特定することに加えて、次の工程 D - 4 0 6 では、シード値も決定されてよい。本明細書において論じられるように、シード値は、傾き、電子温度、イオン飽和値、浮遊電圧電位などの推定値を言う。例えばシード値がどのように推定されえるかに関しては、図 4 - E の考察において提供される。

50

【 0 0 6 0 】

関連性範囲及びシード値は、曲線適合を実施するために用いられる。曲線適合は、次の R F バースト前に実施される必要があるので、関連性範囲及び / 又はシード値を決定するために用いられる方法は、最小限のオーバーヘッドで最終適合値に近い値を生成することによって、急速な収束を達成するために必要とされえる曲線適合の反復回数を減らす必要がある。

【 0 0 6 1 】

関連性範囲及びシード値によって、次の工程 D - 4 0 8 では、非線形適合（例えば曲線適合）が実施されることによって、高価な高性能のコンピュータを必要とすることなく短時間でプラズマが特性化されることを可能にしてよい。先行技術と異なり、この方法は、処理のために数分、又は数時間もの時間を必要とする代わりに、一 R F バーストに起因する減衰区間からの結果がおよそ 2 0 ミリ秒内に特性化されることを可能にする。リアルタイムに近い解析能力によって、この方法は、自動制御システムの一部として適用されて、プラズマ処理中に技術者に関連データを提供しえる。

【 0 0 6 2 】

図 4 - E は、発明の一実施形態における、関連性範囲及びシード値を決定するための簡単なアルゴリズムを示している。図 4 - E は、図 4 - F 1、図 4 - F 2、図 4 - F 3、及び図 4 - F 4 との関連で論じられる。

【 0 0 6 3 】

第 1 の工程 E - 5 0 2 では、各 R F バースト中に収集されたデータが、自動的にプロットされる。一例では、電流センサによって収集される電流データがプロットされ、図 4 - F 1 に示されるような電流対時間グラフ F 1 - 6 0 0 に作成される。別の例では、収集された電圧データがプロットされ、図 4 - F 2 に示されるような電圧対時間グラフ F 2 - 6 5 0 に作成されてよい。データは、先行技術の場合と同様のグラフを生じえるが、先行技術と異なり、収集されたデータは、人による介入を必要とすることなく自動的に解析プログラムに取り込まれる。或いは、収集された測定データは、プロットされる必要がなく、その代わりに、解析プログラムに直接取り込まれてよい。その代わりに、グラフは、アルゴリズムを説明するための視覚的な例として提供される。

【 0 0 6 4 】

先行技術と異なり、プラズマを特性化するためにデータ集合全体が解析されるのではなく、その代わりに、関連性範囲が決定される。関連性範囲を決定するために、次の工程 E - 5 0 4 では、まず、パーセント減衰点が決定されてよい。本明細書において論じられるように、パーセント減衰点は、初めの値がその一定のパーセントまで減衰したところのデータ点を言う。一実施形態では、パーセント減衰点は、解析されるべきデータ区間の終わりを表わしてよい。一例において、R F 源がオフに切り換えられたとき、電流値は、約 $0.86 \text{ mA} / \text{cm}^2$ である。値は、図 4 - F 1 のグラフ F 1 - 6 0 0 上のデータ点 F 1 - 6 0 2 によって表わされる。もしパーセント減衰点が、初めの値の 1 0 パーセントに設定されるならば、パーセント減衰点は、データ点 F 1 - 6 0 4 にあり、約 $0.086 \text{ mA} / \text{cm}^2$ である。換言すると、パーセント減衰点は、R F 源がオフに切り換えられシステムが平衡状態に戻っていくときの電荷の値である初めの値の所定のパーセントをとることによって決定されてよい。一実施形態では、パーセントは、経験的に決定される。一実施形態では、データ区間の終わりを決定するためにパーセント減衰点を用いる代わりに、各 R F バーストについて収集されたデータの一次微分のピークが計算されてよい。

【 0 0 6 5 】

次の工程 E - 5 0 6 では、アルゴリズムは、初めの値と第 2 の減衰点との間のデータ小集合であるイオン飽和区間を決定してよい。本明細書において論じられるイオン飽和区間は、プローブへの電子束が無視できるようにプローブ電位が浮遊電位に対して十分に負であるような電流電圧 (I V) 曲線の領域を言う。この領域では、プローブへの電流は、電位の負の度合いが増すにつれて緩やかに線形に増加する。また、イオン飽和区間は、プローブがシステム内における利用可能イオンを全て収集できるようにバイアス電圧が浮遊電

10

20

30

40

50

位に対して十分に負であるような領域である。換言すると、収集される電流は、バイアス電圧が十分高く上昇されるにつれて「飽和」する。また、本明細書において論じられるように、「利用可能イオン」は、「シース境界」に衝突するイオン束を言い、これは、バイアス電圧が更に増加されるにつれて拡大するであろう。

【0066】

換言すると、イオン飽和区間は、図4-F1のデータ点F1-602からF1-606までの区間である。一実施形態では、第2の減衰点は、初めの値（即ち、データ点F1-602）のパーセントをとることによって決定されてよい。一例において、もし第2の減衰点が、初めの値の約95パーセントであるならば、第2の減衰点は、約0.81 mA/cm²（即ち、データ点F1-606）である。したがって、イオン飽和区間は、初めの値（データ点F1-602）から第2の減衰点（データ点F1-606）までである。なお、第2の減衰点は、初めの値（データ点F1-602）とパーセント減衰点（データ点F1-604）との間であることがわかる。パーセント減衰点と同様に、第2の減衰点もまた、一実施形態では所定の閾値に基づいてよい。一実施形態では、パーセントは、経験的に決定される。

【0067】

イオン飽和区間が決定されたら、次の工程E-508では、傾き（s）及びイオン飽和（i₀）が推定されてよい。上記のように、傾き（s）及びイオン飽和（i₀）は、プラズマを特性化するパラメータを決定するために数学モデル（下記の式2）に適用されえる4つのシード値のうちの2つである。一例では、傾き（s）は、線形回帰を実施することによって決定されてよい。別の実施形態では、アルゴリズムは、データ点F1-602とF1-606との間のデータ値の平均をとることによってイオン飽和（i₀）も決定してよい。

【0068】

次の工程E-510では、アルゴリズムは、二次微分が符号を変える点である変曲点を決定してよい。一実施形態では、変曲点は、パーセント減衰点と第2の減衰点との間の電流値の一次微分の最小値を特定することによって計算されてよい。説明のため、図4-F3は、電流信号F3-660のパーセント減衰点（F3-664）と初めの点（F3-662）との間の値の一次微分を示している。変曲点は、一次微分（F3-670）の最小データ点であり、（データ点F3-666によって示されるように）-0.012 mA/cm²の値と226の指標値とを有する。変曲値を決定するために、指標値は、電流信号プロットF3-660に対してマッピングされている。この例において、一次微分の指標値が、電流信号F3-660に対してマッピングされているとき、変曲値は、データ点F3-668によって示されるように、0.4714 mA/cm²である。

【0069】

一実施形態では、関連性範囲は、初めの値と変曲点との間の範囲として定義される。その追加として又は代わりとして、変曲点を計算する代わりに（例えば35パーセントの）パーセント減衰閾値が設定されてよい。一例において、経験的に決定されえる35パーセントのパーセント減衰点を使用すると、関連性範囲は、図4-F1の点F1-602とF1-604との間に入るであろう。

【数1】

$$T_e = abs \left(\frac{I_{meas}(t)}{\left(\frac{dI_{meas}}{dV_{meas}} \right)} \right) = abs \left(\frac{I_{meas}(t)}{\left(\left(\frac{dI_{meas}}{dt} \right) \left(\frac{dt}{dV_{meas}(t)} \right) \right)} \right) \quad [式1]$$

10

20

30

40

【表 1】

表 1 : 定義されたパラメータ

パラメータ	変数名
I_{meas}	測定された電流
V_{meas}	測定された電圧
t	現在の時刻
T_e	電子温度

10

【0070】

変曲点を特定されたら、次の工程 E - 512 では、電子温度が推定されてよい。電子温度は、上記の式 1 を用いて推定されてよい。電子温度を計算するために用いられる電流データ及び電圧データは、プローブが引き込む電流が大抵はイオン飽和電流よりも少ないときである推移区間内にある。一実施形態では、電流データ及び電圧データが測定される時刻は、変曲点に対応してよい。或いは、電流電圧 (I - V) 曲線の変曲点が用いられてもよい。電子温度は、電流電圧曲線上の変曲点に対応する時刻における、一 RF パーストについて収集されたデータの一次微分 (パーセント減衰点を計算するにあたって決定される) の率であるので、その数字を生成するために必要とされえる計算のオーバーヘッドは、最小限である。

20

【0071】

次の工程 E - 514 では、アルゴリズムは、浮遊電圧電位を決定してよい。浮遊電圧電位は、収集された電圧データに基づいて決定されるので、浮遊電圧電位は、工程 E 1 - 504 ~ E - 512 において計算されるような値を最初に決定する必要なく決定されえる。当業者ならば、浮遊電圧電位が、外部コンデンサが完全に放電された後にプローブが浮遊する電位であることを承知している。通常、浮遊電圧電位は、次の RF パーストの直前に生じる信号を見ることによって決定されてよい。しかしながら、ポリマの蓄積が歪みを引き起こす可能性ゆえに、誤ったデータ (即ち、ノイズ) が収集されることがあり、したがって、浮遊電圧電位は、収集期間の終わり頃に収集される電圧値を平均化することによって計算されてよい。一実施形態では、浮遊電圧電位は、図 4 - F 2 に示されるように、データ点 F 2 - 652 (電圧がその浮遊電位に最初に到達するデータ点) からデータ点 F 2 - 654 (次の RF パーストの直前のデータ点) にかけて計算されてよい。別の実施形態では、浮遊電圧電位は、図 4 - F 2 に示されるようにデータ点 F 2 - 652 と F 2 - 654 との間に位置する窓 F 2 - 656 内の電圧値に基づいてよい。一実施形態では、窓 F 2 - 656 は、先のパルスが 99 パーセントを超えて減衰する前に始まって次のパルスが始まる前に終わる限り、任意のサイズであってよい。一実施形態では、浮遊電圧電位は、標準偏差 (誤差) の小さい平均値を提供する窓から決定されてよい。

30

【0072】

以上からわかるように、関連性範囲及びシード値を決定するための方法は、電流、電圧、及び / 又は電流電圧 (I - V) 曲線に生じえる異常を打ち消す。一例では、RF パーストの終わりにポリマの蓄積が発生しえる。しかしながら、上記のアルゴリズムを適用することによって、関連性範囲及びシード値は、処理中に発生しえる予想外のアーチファクトに影響されなくなる。

40

【0073】

関連性範囲が決定されシード値が計算されると、次の工程 E - 516 では、図 4 - F 4 のグラフ F 4 - 680 を作成するために、電流値が電圧値に対してプロットされ曲線適合が適用されてよい。一例では、曲線適合を実施するために、レベンバーグ・マーカード (Levenberg-Marquardt) アルゴリズムが適用されてよい。曲線適合グラフを作成すること、及び下記の式 2 のような数学モデルにシード値を適用することによって、プラズマを特

50

性化するために利用されえる 4 つのパラメータが決定されえる。

【数 2】

$$I = I_0 \left\{ 1 - S * (V - V_f) - \exp \left[\frac{(V - V_f)}{T_e} \right] \right\} \quad [\text{式 2}]$$

【表 2】

表 2：定義されたパラメータ

パラメータ	変数名
I	電流
I ₀	イオン飽和
S	傾き
V	電圧
V _f	浮遊電圧電位
T _e	電子温度

10

【0074】

20

本発明の 1 つ又は複数の実施形態からわかるように、プラズマ処理中にプラズマを特性化するための自動化された方法が提供される。関連性範囲及びシード値の集合を決定することによって、一 R F パースト後に大抵収集される幾千又は幾百万のデータ点を処理する必要なくプラズマの特性化が生じえる。自動化されたこの方法は、手作業によるこれまでの単調なプロセスを、迅速に且つ効率良く実施されえる自動的な作業に転換する。データ解析を数分（又は数時間）から数ミリ秒に大幅に短縮されたことによって、プラズマ特性化は、製造プロセス後の代わりにプラズマ処理中に実施されえる。したがって、関連性データは、現時点のプラズマ環境を明らかにすることによって、レシピ及び／又はツールの調整を行うこと並びに廃棄を最小限に抑えることを可能にしえる。

【0075】

30

本発明は、幾つかの好ましい実施形態の観点から説明されているが、本発明の範囲内に入るものとして、代替形態、置換形態、及び均等物がある。また、本発明の方法及び装置を実現する多くの代替的手法があることも留意されるべきである。本明細書では、種々の例が提供されるが、これらの例は、例示的であって、発明に対して限定的であることを意図されない。

【0076】

また、名称及び要約は、便宜のために本明細書に提供されており、特許請求の範囲の範囲を解釈するために用いられるべきでない。更に、要約は、極めて短縮された形で記載され、便宜のために本明細書に提供されており、したがって、特許請求の範囲に述べられた発明全体を解釈する又は制限するために用いられるべきでない。もし本明細書において、「集合」という用語が用いられる場合は、このような用語は、ゼロ、1 つ、又は 2 つ以上の要素を含む普通に理解される数学的意味を有することを意図される。また、以下の添付の特許請求の範囲は、本発明の真の趣旨及び範囲に含まれるものとしてこのようなあらゆる代替形態、置換形態、及び均等物を含むと解釈されることを意図される。

40

【図 1】

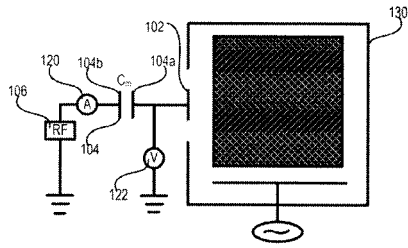


FIG. 1

【図 2】

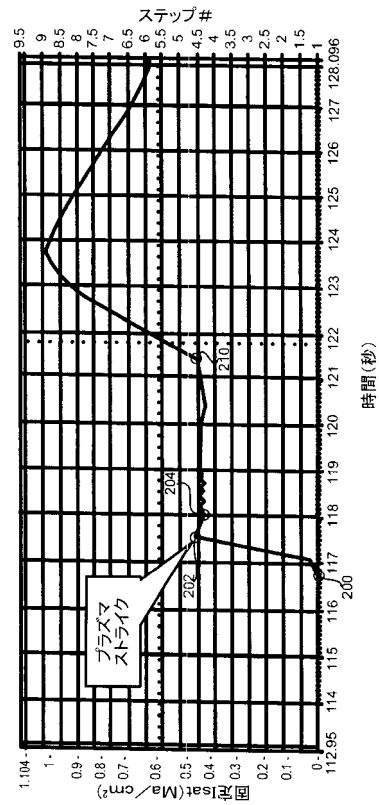


FIG. 2
(先行技術)

【図 3】

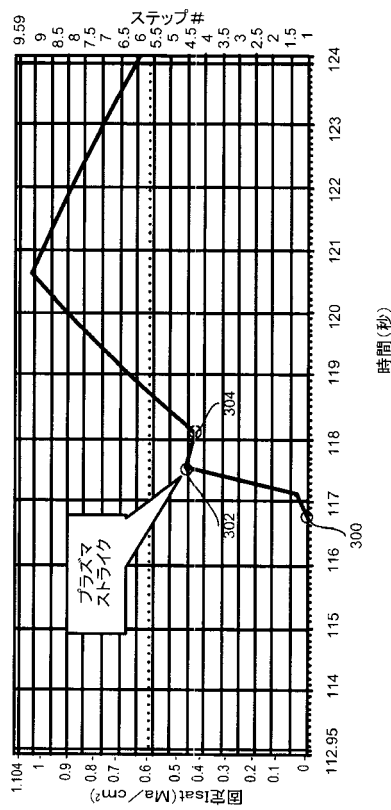


FIG. 3

【図 4 - A】

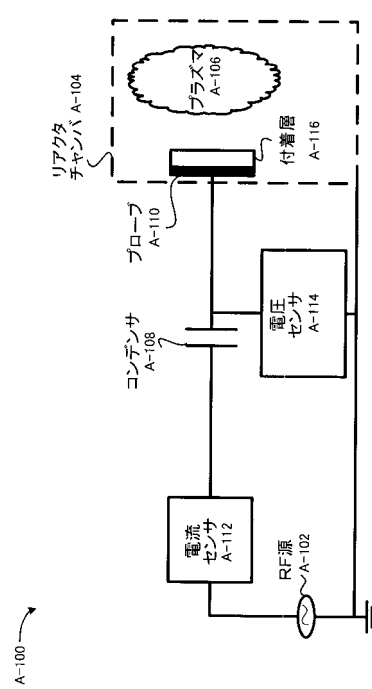


FIG. A
(先行技術)

【図 4 - B 1】

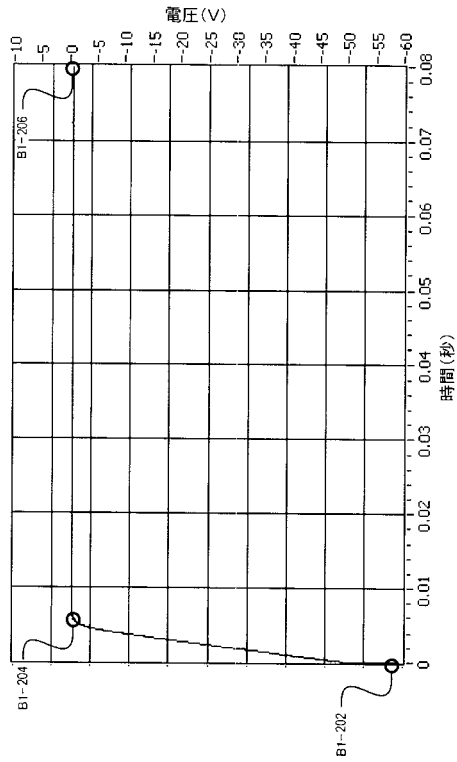


FIG. B1
(先行技術)

【図 4 - B 2】

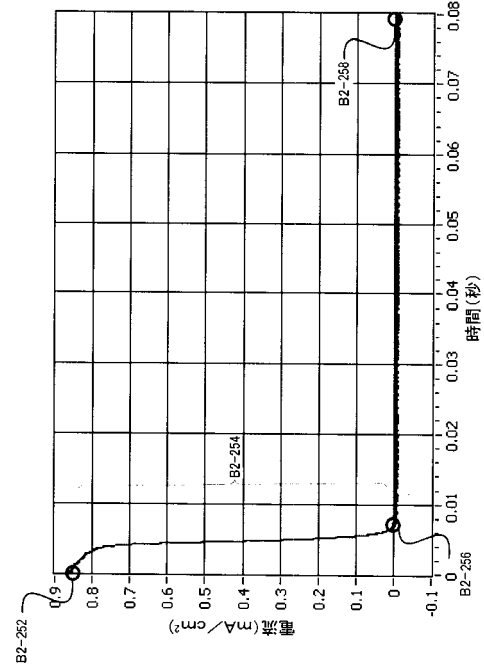


FIG. B2
(先行技術)

【図 4 - C】

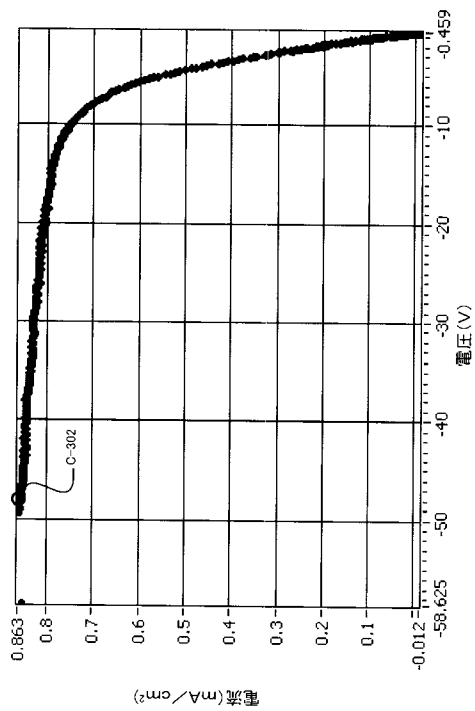


FIG. C
(先行技術)

【図 4 - D】

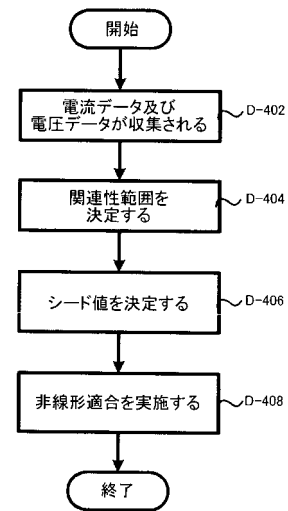


FIG. D

【図 4 - E】

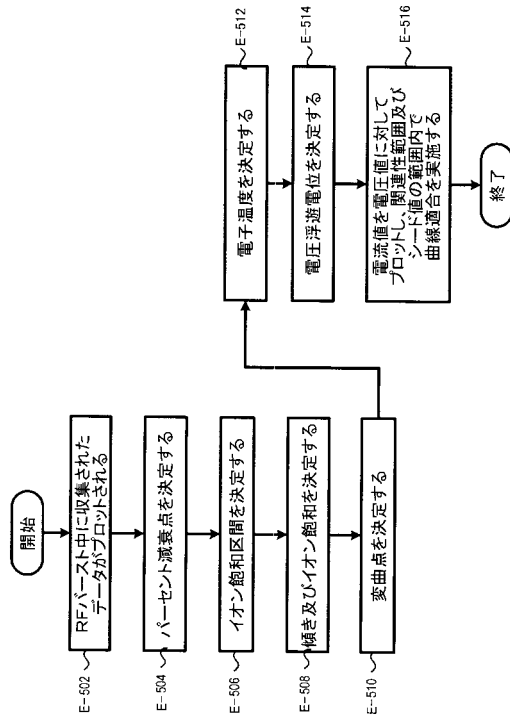


FIG. E

【図 4 - F 1】

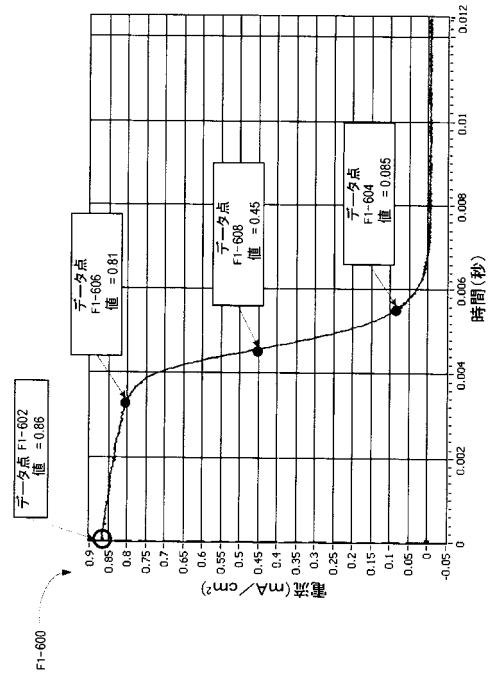


FIG. F1

【図 4 - F 2】

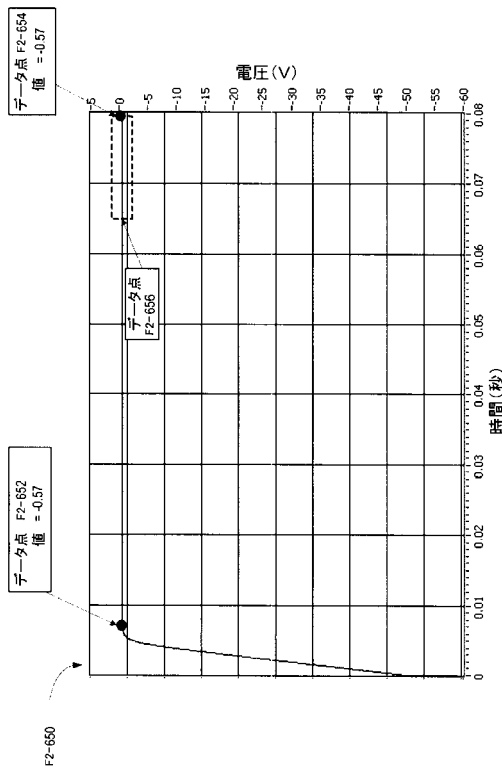


FIG. F2

【図 4 - F 3】

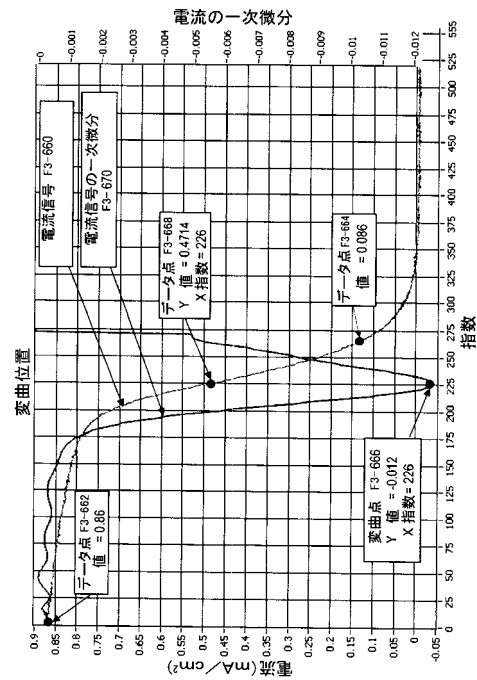


FIG. F3

F4-680

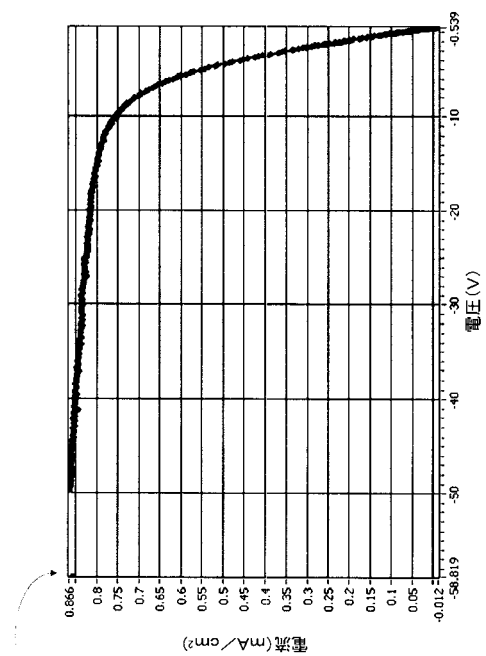


FIG. F4

フロントページの続き

(72)発明者 キール・ダグラス・エル・
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 3 8 フレモント, クッシング・パークウェイ, 4 6 5
0

審査官 井上 由美子

(56)参考文献 特開平 1 1 - 0 6 1 4 5 6 (J P , A)
国際公開第 2 0 0 7 / 1 4 5 8 0 1 (W O , A 1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
H 0 1 L 2 1 / 3 0 6 5
H 0 5 H 1 / 4 6