

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4914119号

(P4914119)

(45) 発行日 平成24年4月11日(2012.4.11)

(24) 登録日 平成24年1月27日(2012.1.27)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/3065 (2006.01)

H O 1 L 21/302 1 O 3

H O 5 H 1/00 (2006.01)

H O 1 L 21/302 1 O 1 H

H O 5 H 1/00 A

請求項の数 2 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2006-152305 (P2006-152305)
 (22) 出願日 平成18年5月31日(2006.5.31)
 (65) 公開番号 特開2007-324341 (P2007-324341A)
 (43) 公開日 平成19年12月13日(2007.12.13)
 審査請求日 平成21年4月22日(2009.4.22)

(73) 特許権者 501387839
 株式会社日立ハイテクノロジーズ
 東京都港区西新橋一丁目24番14号
 (74) 代理人 110000442
 特許業務法人 武和国際特許事務所
 (72) 発明者 池上 英治
 山口県下松市大字東豊井794番地 株式
 会社 日立ハイテクノロジーズ 笠戸事業
 所内
 (72) 発明者 幾原 祥二
 山口県下松市大字東豊井794番地 株式
 会社 日立ハイテクノロジーズ 笠戸事業
 所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理方法およびプラズマ処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

試料を載置する下部電極を内部に具備するプラズマ処理容器と、
 前記プラズマ処理容器内に処理ガスを供給するガス供給装置と、
 前記プラズマ処理容器内に供給された前記処理ガスを排気バルブを介して排気する排気
 ポンプと、

アンテナ電極に整合器を介して高周波電力を供給する高周波電源と、
 前記下部電極に高周波バイアスを供給する高周波バイアス電源とを備えるプラズマ処理
 装置を用いて前記試料にプラズマ処理を施す処理を、複数の試料に対して順次繰り返す慣
 らし放電を行うプラズマ処理方法において、

次の条件(1)ないし(6)のうち複数の条件が成立したとき慣らし放電の終了と判定
 することを特徴とするプラズマ処理方法。

(1) プラズマ中の炭素C2と水素Hの発光強度比(C2/H)が減少して予め設定され
 た慣らし放電の終了と判定する判定値に達したとき、

(2) 下部電極に供給する高周波バイアスのピークツーピーク電圧がプラズマ処理時間の
 増加とともに増加して予め設定された慣らし放電の終了と判定する判定値に達したとき、

(3) プラズマ処理中における前記排気バルブの開度がプラズマ処理時間の増加とともに
 減少して予め設定された慣らし放電の終了と判定する判定値に達したとき、

(4) プラズマ放電終了後、処理容器内圧力が所定真空圧に排気されるまでに要する時間
 がプラズマ処理時間の増加とともに減少して予め設定された慣らし放電の終了と判定する

10

20

判定値に達したとき、

(5) 前記整合器を構成するコンデンサの整合動作時の静電容量がプラズマ処理時間の増加とともに増加して予め設定された慣らし放電の終了と判定する判定値に達したとき、

(6) 前記アンテナ電極に整合器を介して高周波電力を供給してから、プラズマが着火するまでの時間がプラズマ処理時間の増加とともに減少して予め設定された慣らし放電の終了と判定する判定値に達したとき、

【請求項2】

試料を載置する下部電極を内部に具備するプラズマ処理容器と、
前記プラズマ処理容器内に処理ガスを供給するガス供給装置と、
前記プラズマ処理容器内に供給された前記処理ガスを排気バルブを介して排気する排気ポンプと、

アンテナ電極に整合器を介して高周波電力を供給する高周波電源と、
前記下部電極に高周波バイアスを供給する高周波バイアス電源とを備え、
前記試料にプラズマ処理を施す処理を、複数の試料に対して順次繰り返す慣らし放電を行うプラズマ処理装置において、

次の条件(1)ないし(6)のうち複数の条件が成立したとき慣らし放電の終了と判定することを特徴とするプラズマ処理装置。

(1) プラズマ中の炭素C2と水素Hの発光強度比(C2/H)が減少して予め設定された慣らし放電の終了と判定する判定値に達したとき、

(2) 下部電極に供給する高周波バイアスのピークツーピーク電圧がプラズマ処理時間の増加とともに増加して予め設定された慣らし放電の終了と判定する判定値に達したとき、

(3) プラズマ処理中における前記排気バルブの開度がプラズマ処理時間の増加とともに減少して予め設定された慣らし放電の終了と判定する判定値に達したとき、

(4) プラズマ放電終了後、処理容器内圧力が所定真空圧に排気されるまでに要する時間がプラズマ処理時間の増加とともに減少して予め設定された慣らし放電の終了と判定する判定値に達したとき、

(5) 前記整合器を構成するコンデンサの整合動作時の静電容量がプラズマ処理時間の増加とともに増加して予め設定された慣らし放電の終了と判定する判定値に達したとき、

(6) 前記アンテナ電極に整合器を介して高周波電力を供給してから、プラズマが着火するまでの時間がプラズマ処理時間の増加とともに減少して予め設定された慣らし放電の終了と判定する判定値に達したとき、

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、プラズマ処理技術に係り、特に慣らし放電の終了を高精度に判定することができるプラズマ処理技術に関する。

【背景技術】

【0002】

プラズマ処理装置は、半導体基板等の試料を収容する処理容器を有しており、前記試料のプラズマ処理中に生じた不揮発性の反応生成物が前記処理容器内壁等に堆積する。その後の処理において、前記堆積物は処理容器内壁から剥離し、異物となって前記試料表面へ落下し、付着することがある。

【0003】

付着した異物は、試料表面に設けた集積回路の配線の短絡、断線あるいはエッチング残り等を引き起こし、半導体デバイス不良の原因となる。このため、半導体デバイス製造における歩留まりが低下する。これを防ぐためには、処理容器を大気開放して、処理容器内部品を予め洗浄されたスワップ品と交換し、あるいは純水またはアルコール拭き等により処理容器内を洗浄する、いわゆるウェットクリーニングが行われる。

【0004】

ウェットクリーニングを行った直後の処理容器内壁の状態は、量産安定時とは異なる。

このため、ウエットクリーニング直後のプラズマエッチング装置におけるエッチング速度、試料表面内におけるエッチング速度分布、試料上の被エッチング材とマスクあるいは下地とのエッチング選択比（エッチング速度の比）、あるいはエッチングによる加工形状などの処理性能は量産安定時とは異なるものとなる。

【 0 0 0 5 】

このような問題の発生を防ぐためには、慣らし放電（シーズニング）と呼ばれる処理を行い、ウエットクリーニングによって変化した処理容器内状態を量産安定時に近づけることが一般的に行われている。なお、この慣らし放電は半導体基板処理を模擬して行われることが多い。また、慣らし放電の処理時間は、ウエットクリーニングの実施状態により1ないし数ロット（1ロット：25枚）分が必要とされ、この値は大きくばらつくことが多い。

10

【 0 0 0 6 】

このように、慣らし放電に要する処理時間がロット単位となる場合、慣らし放電時に必要以上の枚数の試料（ダミーウエハ）処理することとなる。また、必要以上のダミーウエハの処理は、装置の非稼働時間を増加させることになり、半導体デバイスの製造コストを増加させる。

【 0 0 0 7 】

このような問題を解決する技術として、特許文献1が知られている。この文献には、あるロットのプラズマ発光データを主成分解析して作成した主成分スコアと、前のロットにおける主成分スコアとの差を取り、その差のロット内の平均値およびロット内の最大値と最小値の差ならびにロット内の標準偏差を求め、それらの値を予め設定された標準偏差と比較することにより処理容器内の状態を判定することが示されている。

20

【特許文献1】特開2004-235349号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 8 】

しかしながら、前記従来技術の方法では、試料の処理条件毎に、慣らし放電の終点判定に用いるデータの条件出しが必要となり、取り扱いが困難となる。また、ウエットクリーニングの実施状態あるいは慣らし放電の条件によっては、終点判定が困難な場合が生じる。

30

【 0 0 0 9 】

本発明は、これらの問題点に鑑みてなされたもので、慣らし放電の終点を汎用性のある方法で高精度に判定することのできるプラズマ処理技術を提供するものである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 0 】

本発明は上記課題を解決するため、次のような手段を採用した。

【 0 0 1 1 】

試料を載置する下部電極を内部に具備するプラズマ処理容器と、前記プラズマ処理容器内に処理ガスを供給するガス供給装置と、前記プラズマ処理容器内に供給された前記処理ガスを排気バルブを介して排気する排気ポンプと、アンテナ電極に整合器を介して高周波電力を供給する高周波電源と、前記下部電極に高周波バイアスを供給する高周波バイアス電源とを備えるプラズマ処理装置を用いて前記試料にプラズマ処理を施す処理を、複数の試料に対して順次繰り返す慣らし放電を行うプラズマ処理方法において、次の条件（1）ないし（6）のうち複数の条件が成立したとき慣らし放電の終了と判定する。

40

（1）プラズマ中の炭素C2と水素Hの発光強度比（C2/H）が減少して予め設定された慣らし放電の終了と判定する判定値に達したとき、

（2）下部電極に供給する高周波バイアスのピークツーピーク電圧がプラズマ処理時間の増加とともに増加して予め設定された慣らし放電の終了と判定する判定値に達したとき、

（3）プラズマ処理中における前記排気バルブの開度がプラズマ処理時間の増加とともに減少して予め設定された慣らし放電の終了と判定する判定値に達したとき、

50

(４) プラズマ放電終了後、処理容器内圧力が所定真空圧に排気されるまでに要する時間がプラズマ処理時間の増加とともに減少して予め設定された慣らし放電の終了と判定する判定値に達したとき、

(５) 前記整合器を構成するコンデンサの整合動作時の静電容量がプラズマ処理時間の増加とともに増加して予め設定された慣らし放電の終了と判定する判定値に達したとき、

(６) 前記アンテナ電極に整合器を介して高周波電力を供給してから、プラズマが着火するまでの時間がプラズマ処理時間の増加とともに減少して予め設定された慣らし放電の終了と判定する判定値に達したとき、

【発明の効果】

【００１２】

本発明は、以上の構成を備えるため、ウェットクリーニング後の慣らし放電の終点を汎用性のある方法で高精度に判定することのできるプラズマ処理技術を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００１３】

以下、最良の実施形態を添付図面を参照しながら説明する。図１は、本発明を適用できるＵＨＦ－ＥＣＲ(Electron Cyclotron Resonance)を用いたプラズマエッチング装置を示す図である。ＵＨＦ－ＥＣＲを用いたプラズマエッチング装置は、ＵＨＦ電磁波をアンテナ１０２より放射し、磁場との相互作用によってプラズマを生成するＵＨＦ－ＥＣＲ方式のプラズマエッチング装置である。

【００１４】

このエッチング装置におけるプラズマ処理容器（この例の場合はエッチング処理容器１０１）は図示しない温調手段によりその内壁面を２０～１００の温度範囲で温度調整可能となっている。エッチング処理容器１０１の上部にはアンテナ１０２が配置され、エッチング処理容器１０１とアンテナ１０２の間にはＵＨＦ電磁波を透過可能な誘電体１０３が設けられている。アンテナ１０２には、導波管１０４および整合器１０５を介して、ＵＨＦ電磁波を発生する高周波電源１０６が接続されている。

【００１５】

エッチング処理容器１０１の外周部にはエッチング処理容器１０１内に磁場を形成するための磁場コイル１０７が配置されている。エッチング処理容器１０１内のアンテナ１０２の下方にはウエハ１０８等の試料を配置するための試料台としての下部電極１０９が設けられている。下部電極１０９には、エッチング処理容器１０１の外にある高周波電源１１１が高周波バイアス整合器１１０を介して接続されている。

【００１６】

このように構成したプラズマエッチング装置では、高周波電源１０６から出力されたＵＨＦ電磁波は、整合器１０５、導波管１０４およびアンテナ１０２を介してエッチング処理容器１０１に供給される。

【００１７】

一方、エッチング処理容器１０１の周囲に配置した磁場コイル１０７による磁界がエッチング処理容器１０１に形成され、前記ＵＨＦ電磁波の電界と磁場コイルの磁界との相互作用によって、図示しないガス供給装置を介してエッチング処理容器１０１内に導入されたエッチングガスは効率良くプラズマ化される。

【００１８】

図２は、このようなプラズマエッチング装置において、慣らし放電の終了を判定するための構成を説明する図である。図２において、１１７はデータ収集部であり、プラズマ処理中にエッチングパラメータを逐次モニタリングし、モニタリングしたデータを収集する。なお、収集するエッチングパラメータとしては、（１）プラズマ発光強度（スペクトル強度）、（２）ウエハバイアス電圧、（３）排気バルブの開度、（４）エッチング処理容器の真空排気時間、（５）整合器を構成するコンデンサの整合時容量、（６）プラズマ着火時間、（７）静電吸着電圧、（８）伝熱ガス流量、等を設定する。

10

20

30

40

50

【0019】

119はデータベース部であり、慣らし放電の終了を判定するための判定値等を保存する。118は演算処理部であり、前記収集部117が収集したデータと前記データベース部119に保存されている判定値と比較演算する。これにより、ウェットクリーニング後に行う慣らし放電の終了時点を判定することができる。120は制御部であり、演算処理部118の出力信号を基にエッチング装置を制御する。また、前記収集部が収集したデータをもとにエッチング装置を制御する。

【0020】

以下に、慣らし放電の終了時点を判定する例を詳述する。

【0021】

10

[実施例1]

本実施例ではモニタリングするパラメータとしてプラズマ発光を選定する。なお、プラズマ発光は、エッチング処理容器101内で発生したプラズマ発光を光ファイバ121を介して導出し、導出した光を光検出器113によりモニタする。

【0022】

図3は第1の実施例を説明する図であり、ウェットクリーニング後に、フッ素(F)を主体とした混合ガスを用いて慣らし放電(慣らし放電は、ダミーウエハに対するプラズマ処理を、ダミーウエハを交換しながら継続して行われる。また、前記モニタリングは、例えば、各ウエハに対するプラズマ処理の終期に行われる)を行った場合において、慣らし放電の累積時間に対するエッチングレートの変化の推移を示した例である。

20

【0023】

本実施例に使用したフッ素(F)を含む処理ガスは SF_6 と CHF_3 の混合ガスであり、流量はそれぞれ 15 mL/min 、 112 mL/min である。また、処理圧力は 0.4 Pa 、プラズマ生成用電力は 800 W 、下部電極109に印加する高周波バイアスは 15 W である。

【0024】

図3において、曲線aは、試料であるウエハ(ダミーウエハ)108上に形成されたポリシリコンのエッチングレートの推移を表す。また、曲線bは、慣らし放電時の炭素(C_2)および水素(H)の発光強度比(C_2/H)の推移を表す。

【0025】

30

図3に示すように、慣らし放電時間が長くなるにつれて、ポリシリコンのエッチングレートが安定することがわかる。このような現象は以下のように推測される。すなわち、慣らし放電により発生するカーボン系の反応生成物(デポ、C、CF、CH等からなる)は、その一部はプラズマ処理容器の内壁に付着し、他は排気される。

【0026】

慣らし放電が不十分な場合、即ちウェットクリーニング直後は、カーボン系デポが処理容器内壁に付着する確率が高い。このため、供給された前記混合ガス中のフッ素(F)が処理容器内壁に付着しているカーボン系デポに消費される。したがって、ウエハに供給されるフッ素(F)が減少してポリシリコンのエッチングレートが低下すると考えられる。

【0027】

40

一方、十分な慣らし放電を実施すると、チャンバ内壁に付着したカーボン系デポが減少するため、処理容器内壁で消費されるフッ素(F)が減少し、ウエハに供給されるフッ素(F)が増加してポリシリコンのエッチレートが増加したと考えられる。

【0028】

すなわち、図3の曲線bに示すように、プラズマ発光の発光強度比(C_2/H)の推移モニタし、発光強度比(C_2/H)が安定値に達したとき慣らし放電の終了と判定することができる。

【0029】

[実施例2]

図4は、第2の実施例を説明する図である。本実施例では、モニタリングするパラメー

50

タとしてウエハバイアス電圧 V_{pp} (ピークツーピーク電圧) を選定する。

【0030】

本実施例では、3台の同一仕様のエッチング装置(装置1, 装置2, 装置3)を用い、それぞれのエッチング装置にウエットクリーニングを施した後、真空排気を開始する。処理容器内の圧力が 0.0005 Pa 以下に到達するまで排気を継続する。また、処理容器内のアウトガス・レートが $0.08 \text{ Pa} \cdot \text{L} / \text{sec}$ 以下であることを確認する。その後、新品のSiウエハ(ダミーウエハ)を用いて、慣らし放電を繰り返し実施しながら、高周波バイアス電源111の V_{pp} 電圧を測定した。なお、前記 V_{pp} は高周波バイアス整合器110の部分で検出する。

【0031】

10

処理条件としては、例えばプラズマ生成用電力 600 W で、処理ガスとして $\text{Cl}_2 / \text{HBr} / \text{O}_2$ の混合ガスを用いてプラズマを生成し、高周波バイアスを 50 W 印加した条件で処理を行った。

【0032】

本実施例では、前記3台のエッチング装置の処理圧力を、 1.6 Pa , 1.2 Pa および 0.4 Pa に設定し処理を行い、 V_{pp} 変動を前記処理圧力毎にモニタした。なお、処理容器101の圧力は圧力計114を介してモニタすることができる。

【0033】

図4の処理圧力: 1.6 Pa の例に示すように、ウエットクリーニング直後の V_{pp} 電圧は3台とも異なる値を示すが、慣らし放電を続けていくと、ある一定の電圧で安定していくことがわかる。この現象は以下のように推測される。すなわち、慣らし放電が不十分なときには処理容器内壁にSiとエッチングガスとの反応生成物が付着する。しかし慣らし放電が十分になると、前記処理容器内壁付着した反応生成物、あるいはウエットクリーニングの際に処理容器内に残留した水分等が除去され、装置状態が安定化したことによるとものと考えられる。

20

【0034】

すなわち、下部電極に供給する高周波バイアスのピークツーピーク電圧 V_{pp} が慣らし放電の処理時間の増加とともに増加して安定値に達したとき、慣らし放電の終了と判定することができる。

【0035】

30

なお、図4に示す処理圧力: 1.2 Pa の例、あるいは処理圧力: 0.4 Pa の例に示すように、処理圧力が 1.6 Pa に満たない処理条件の場合には、処理容器内壁からのアウトガス等の影響を受けにくく、 V_{pp} 変動を有効に検出することは難しくなる。

【0036】

[実施例3]

図5は第3の実施例を説明する図である。本実施例では、モニタリングするパラメータとして排気バルブ115の開度(VV開度)を選定する。排気バルブ開度は、処理容器内圧力が設定圧力になるようにターボ分子ポンプ116の排気具合を調整する排気バルブの開度である。

【0037】

40

本実施例では、3台の同一仕様のエッチング装置(装置1, 装置2, 装置3)のそれぞれにウエットクリーニングを施した後、ターボ分子ポンプ116により、例えば一定流量で真空排気を開始し、処理容器内圧力が 0.0005 Pa 以下になるまで真空排気を継続する。次いで、処理条件として、例えば処理容器内圧力を 2.0 Pa に制御し、プラズマ生成用電力を 600 W に設定し、処理ガスとして $\text{Cl}_2 / \text{HBr} / \text{O}_2$ の混合ガスを用いてプラズマを生成し、RFバイアスを 50 W 印加した条件で処理を行った。試料としてはSiウエハ(ダミーウエハ)を用い、慣らし放電毎に前記処理容器圧力を 2.0 Pa に維持するに要する排気バルブ開度を測定した。

【0038】

図5の、処理圧力: 2.0 Pa の例に示すように、ウエットクリーニング直後は、排気

50

バルブ開度が大きいことがわかる。

【 0 0 3 9 】

慣らし放電が不十分な場合には、ウエットクリーニングにより処理容器内に残留した水分あるいは大気中の成分と反応して生成されたデポからアウトガスが生成し、生成したアウトガスが処理容器内の圧力をわずかに上昇させるためである。慣らし放電が十分になると、前記残留した水分あるいはデポが除去されて生成するアウトガスが減少する。このため、処理容器内の圧力の上昇が抑制されることにより、排気バルブ開度は小さくなる。なお、図 5 の、処理圧力：5 . 0 P a の例に示すように、処理容器圧力を 5 . 0 P a に制御する場合においても、処理容器圧力を 2 . 0 P a に制御する場合と同様な傾向が得られる。

10

【 0 0 4 0 】

すなわち、排気バルブ開度が、慣らし放電の処理時間の増加とともに減少して安定値に達したとき、慣らし放電の終了と判定することができる

[実施例 4]

図 6 は、第 4 の実施例を説明する図である。本実施例では、モニタリングするパラメータとして、S i ウエハ（ダミーウエハ）を用いた慣らし放電後に、処理容器内の残留ガスをターボ分子ポンプにより排出する際、一定圧力までに到達するに要する時間を設定し、この時間の推移を測定する。

【 0 0 4 1 】

この例では、2 台の同一仕様のエッチング装置（装置 1 , 装置 2 ）にウエットクリーニングを施した後、真空排気を開始し、処理容器内の圧力を 0 . 0 0 0 5 P a 以下に到達させる。このとき処理容器内のアウトガス・レートが 0 . 0 8 P a ・ L / s e c 以下であることを確認した後、新品の S i ウエハ（ダミーウエハ）を用いて、慣らし放電を実施した。

20

【 0 0 4 2 】

処理条件としては、例えば処理圧力を 0 . 4 P a に制御し、プラズマ生成用電力を 6 0 0 W に設定し、処理ガスとして C l ₂ / H B r / O₂ の混合ガスを用いてプラズマを生成し、R F バイアスを 5 0 W 印加した条件で処理を行った。

【 0 0 4 3 】

S i ウエハ（ダミーウエハ）を用いた慣らし放電を行った後に、処理容器内の残留ガスをターボ分子ポンプ 1 1 6 により、例えば一定流量で排出する。このとき一定圧力（目標圧力）まで到達するに要する時間を測定する。

30

【 0 0 4 4 】

本実施例では、到達圧力を 0 . 0 0 5 P a に設定し、この圧力に到達するまでの時間を測定した。なお、処理容器内圧力は圧力計 1 1 4 によりモニタすることができる。

【 0 0 4 5 】

図 6 は、前記目標圧力（0 . 0 0 5 P a ）に到達するまでの時間（排気時間）の推移を示す図である。図 6 に示すように、ウエットクリーニング直後は、目標圧力までの到達時間が長いことがわかる。これは、ウエットクリーニングにより、処理容器内に残留した水分、あるいは大気中の成分と反応して生成された物質が、プラズマ放電により解離され、プラズマ放電後の排気時間に影響を与えていると考えられる。

40

【 0 0 4 6 】

なお、前記排気時間は、S i ウエハ（ダミーウエハ）を用いた慣らし放電を重ねると短縮されて行き、一定の時間で安定していくようになる。これは処理容器内の状態が安定したことを示している。すなわち、図 6 に示すように、慣らし放電後における排気時間の推移モニタし、プラズマ放電終了後、処理容器内圧力が目標圧力に排気されるまでに要する時間が慣らし放電時間の増加とともに減少して、安定値に達したとき、慣らし放電の終了と判定することができる。

【 0 0 4 7 】

[実施例 5]

50

図 7, 8 は、第 5 の実施例を説明する図である。本実施例では、モニタリングするパラメータとしてプラズマ生成用高周波電源に接続した整合器 105 (ソースバイアス整合器) を構成するコンデンサの整合時の静電容量を設定し、該容量の変化の推移を測定する。

【0048】

図 7 は、整合器 105 の構成を説明する図である。図 7 において、71 はプラズマ生成用高周波電源 106 と導波管 104 を接続する同軸線路である。72, 73, 74 はそれぞれ同軸線路 71 に接続した分岐路であり、分岐路 72 にはコンデンサ C1、リアクトル L1 からなる共振回路が挿入され、分岐路 73 にはコンデンサ C2、リアクトル L2 からなる共振回路が挿入され、分岐路 74 にはコンデンサ C3、リアクトル L3 からなる共振回路が挿入される。

10

【0049】

図 7 は、ウエットクリーニング後の慣らし放電時間に対する整合器 105 の整合時における容量 (整合容量) の推移を示した図である。なお、慣らし放電に使用したハロゲンを含むガスは、 $Cl_2 / O_2 / HBr$ の混合ガスであり、流量はそれぞれ $40 mL / min$, $5 mL / min$, $140 mL / min$ 、処理圧力は $0.4 Pa$ 、プラズマ生成用電力は $500 W$ 、下部電極に印加する高周波バイアスは $20 W$ である。

【0050】

図 8 (a) は整合器 105 を構成するコンデンサ C1 の整合容量の推移を示し、図 8 (b) はコンデンサ C2 の整合容量の推移を示し、図 8 (c) はコンデンサ C3 の整合容量の推移を示す。

20

【0051】

慣らし放電時間が長くなるにつれて、図 8 (a) に示すコンデンサ C1 および図 8 (c) に示すコンデンサ C3 の整合容量は大きく変動しないのに対し、図 8 (b) に示すコンデンサ C2 の整合容量は大きく変動する。また、図 6 (b) に示すようにコンデンサ C2 の整合容量は、慣らし放電時間 40 分以上で安定する。

【0052】

このような現象は以下のように推測される。慣らし放電が不十分な場合、即ちウエットクリーニング直後は、残留した水分や大気中で生成されたデポがアウトガス成分となるため、処理容器内雰囲気不安定となり、コンデンサの整合容量が安定しないと考えられる。しかし、慣らし放電が十分な場合は、慣らし放電にて生成されたデポで処理容器内雰囲気が安定することにより、コンデンサの整合容量も安定すると考えられる。このように、整合器 105 を構成するコンデンサの整合時の静電容量 (整合容量) を検出し、検出容量がプラズマ処理時間の増加とともに増加して安定値に達したとき、慣らし放電の終了と判定することができる。

30

【0053】

[実施例 6]

図 9 は、第 6 の実施例を説明する図である。本実施例では、モニタリングするパラメータとしてプラズマ着火検出時間 (プラズマ生成用高周波電力を印加してからプラズマが生成するまでの時間) を設定する。

【0054】

本実施例では、2 台の同一仕様のエッチング装置 (装置 1, 装置 2) にウエットクリーニングを施した後に真空排気を開始する。処理容器内の圧力を $0.0005 Pa$ 以下に設定し、その後、Siウエハ (ダミーウエハ) を順次搬入して慣らし放電を繰り返す。このとき、光検出器 113 により、前記プラズマ着火時間を測定する。

40

【0055】

慣らし放電の条件として、プラズマ生成用電力を $400 W$ に設定し、処理ガスとして $Ar / CF_4 / CHF_3 / O_2$ の混合ガスを用い、下部電極に印加する高周波バイアスとして $150 W$ を設定した。

【0056】

図 9 は、ウエットクリーニング後の慣らし放電時間に対するプラズマ着火時間の推移を

50

示した図である。図9に示すように、ウエットクリーニング直後は慣らし放電を行っても、プラズマ着火時間は装置1および装置2共に不安定である。しかし、慣らし放電を繰り返すことによりプラズマ着火時間は安定する。これは、ウエットクリーニング後に処理容器内壁に残留している水分あるいは洗浄での残留物が慣らし放電を繰り返すことにより除去され、処理容器内壁の表面状態が安定し、また、慣らし放電によるエッチング作用に伴って生成された反応生成物が処理容器内壁へ堆積し安定したことを示している。

【0057】

すなわち、処理容器にプラズマ生成用高周波電力を供給してから、プラズマが着火するまでの時間を検出し、該時間がプラズマ処理時間の増加とともに減少して安定値に達したとき、慣らし放電の終了と判定することができる。

10

【0058】

[実施例7]

図10は、第7の実施例を説明する図である。本実施例では、モニタリングするパラメータとして静電吸着電圧（ESC電圧）を設定する。なお、静電吸着電圧は静電吸着電源112が発生する直流電圧であり、ウエハ108を下部電極109に静電吸着させる電圧である。静電吸着電圧は、静電吸着用電源112の電源電圧が一定であっても電源の内部抵抗により変動する。すなわち静電吸着電流の変動に応じて変動する。

【0059】

本実施例では、3台の同一仕様のエッチング装置（装置1，装置2，装置3）のそれぞれにウエットクリーニングを施した後、ターボ分子ポンプ116により真空排気を開始し、処理容器内圧力が0.0005Pa以下になるまで真空排気を継続する。次いで、処理条件として、例えば処理容器内圧力を2.0Paに制御し、プラズマ生成用電力を600Wに設定し、処理ガスとして $Cl_2/HBr/O_2$ の混合ガスを用いてプラズマを生成し、RFバイアスを50W印加した条件で処理を行った。

20

【0060】

図10は、静電吸着電圧の時間推移を示す図である。図に示すように、ウエットクリーニング直後は静電吸着電圧が小さくて、慣らし放電が十分になるにつれて、静電吸着電圧が安定する。この現象は以下のように推測する。慣らし放電が不十分なときはウエットクリーニングによる残留水分あるいは反応生成物からのアウトガスにより、放電が不安定になる。このため、静電吸着電圧は小さく、その値もばらつく。慣らし放電が十分になると、前記残留水分あるいは前記反応生成物は除去され、アウトガスが減少して、プラズマは安定する。これにより静電吸着電圧が安定する。

30

【0061】

このように、下部電極に供給する静電吸着電圧のばらつきがプラズマ処理時間の増加とともに減少し、かつ前記静電吸着電圧が増加して安定値に達したとき、慣らし放電の終了と判定することができる。

【0062】

[実施例8]

本実施例では、モニタするパラメータとして下部電極と該下部電極上に載置したウエハ間に供給する伝熱ガスの流量を設定する。伝熱ガス（He）の流量は、ウエットクリーニング直後は大きくて、慣らし放電が十分になるにつれて、減少して安定する。

40

【0063】

本実施例では、3台の同一仕様のエッチング装置のそれぞれにウエットクリーニングを施した後、ターボ分子ポンプ116により真空排気を開始し、処理容器内圧力が0.0005Pa以下になるまで真空排気を継続する。次いで、処理条件として、例えば処理容器内圧力を2.0Paに制御し、プラズマ生成用電力を600Wに設定し、処理ガスとして $Cl_2/HBr/O_2$ の混合ガスを用いてプラズマを生成し、RFバイアスを50W印加した条件で処理を行った。

【0064】

ウエットクリーニング後、Siウエハ（ダミーウエハ）を用いて慣らし放電を繰り返す

50

実施しすることにより、下部電極のヘッド部の残留水分が除去され、また、下部電極表面の外周部が反応生成物に覆われてウエハの吸着力が回復する。これにより、伝熱ガスの流量が減少して安定するものと考えられる。なお、伝熱ガスの流量に代えて伝熱ガスの圧力（ウエハの裏面側における圧力）の推移を利用することができる。

【0065】

すなわち、下部電極と該下部電極上に載置した試料間に供給する伝熱ガスの流量を検出し、該流量がプラズマ処理時間の増加とともに減少して安定値に達したとき、慣らし放電の終了と判定することができる。

【0066】

以上説明したように、各実施例において慣らし放電の終了と判定した時点、すなわち、
(1) プラズマ中の炭素 C_2 と水素 H の発光強度比(C_2/H)が減少して安定値に達したとき、

(2) 下部電極に供給する高周波バイアスのピークツーピーク電圧がプラズマ処理時間の増加とともに増加して安定値に達したとき、

(3) プラズマ処理中における前記排気バルブの開度がプラズマ処理時間の増加とともに減少して安定値に達したとき、

(4) プラズマ放電終了後、処理容器内圧力が所定真空圧に排気されるまでに要する時間がプラズマ処理時間の増加とともに減少して安定値に達したとき、

(5) 整合器を構成するコンデンサの整合動作時の静電容量がプラズマ処理時間の増加とともに増加して安定値に達したとき、

(6) アンテナ電極に整合器を介して高周波電力を供給してから、プラズマが着火するまでの時間がプラズマ処理時間の増加とともに減少して安定値に達したとき、

(7) 下部電極に供給する静電吸着電圧のばらつきがプラズマ処理時間の増加とともに減少し、かつ前記静電吸着電圧が増加して安定値に達したとき、

(8) 下部電極と該下部電極上に載置した試料間に供給する伝熱ガスの流量がプラズマ処理時間の増加とともに減少して安定値に達したとき、

はいずれもウエットクリーニングの際に付着した水分（残留水分）等に基づくアウトガスの供給が消失した時点、あるいは装置に所定量の反応生成物が付着して装置が安定化した時点、に密接に関連していると考えられる。

【0067】

したがって、少なくとも前記アウトガスに伴う処理室内圧力の上昇（排気に要する時間の増大）を間接的に測定することで慣らし放電の終了時点を判定することができる。このため、以上に説明した各実施例では、慣らし放電中に、ある特定の物理量（パラメータ）が慣らし放電時間の経過と共に変化し、その後安定することを利用して、慣らし放電の終点を判定している。

【0068】

前記物理量が安定したと判定する基準の設定に際して、発明者らは、事前に数多く実験を行い、前記物理量がどのように推移するかを記録した。

【0069】

前記実験結果によれば、ウエットクリーニング後に慣らし放電を継続した場合、毎回安定して一定値になるパラメータもあれば、ウエットクリーニング毎に安定する値が異なるパラメータもある。

【0070】

例えば、前記パラメータの値が、関係する部品の消耗度等に影響されない場合には、ウエットクリーニング毎にパラメータの安定する値が変化することはない（例えば、実施例2, 3, 4, 5, 6, 7, 8）。

【0071】

一方、前記パラメータの値が、関係する部品の消耗度等に影響される場合には、ウエットクリーニング毎にパラメータの安定する値が異なることになる（例えば、実施例1）。

【0072】

前者の場合（パラメータの値が毎回再現する場合）には、終点判定においてはパラメータの値がある閾値を超える（あるいは下回る）ことにより判定できる。この判定方法を以下、レベル判定と呼ぶこととする。

【 0 0 7 3 】

また、後者の場合（パラメータの値が毎回異なる場合）には、ある特定時点のパラメータの値を単独に用いるのみでは終点判定が行えない。このため、何度か実施する慣らし放電中のパラメータの変化量をチェックすることにより終点判定を行う必要がある。このような判定は従来よりプラズマ発光を用いたエッチング終点判定では実施されている。この方法では、パラメータの 1 次、もしくは 2 次微分値を計算し、その変化量により判定を行う。以下、この方法を 1 次、2 次あわせて微分判定法と呼ぶ。

10

【 0 0 7 4 】

図 1 1 は、レベル判定法の原理を説明する図である。図 1 1 に示すように、慣らし放電時間の経過とともにパラメータの値が変化し、安定領域において安定する。ウェットクリーニング毎にこのように安定領域で安定し、その再現性が十分である場合には、安定領域における安定値の、例えば 90 % を越えた時点慣らし放電の終点とすることができる。なお、この終点では、実際には未だ安定領域に入っていないので、実運用では終点判定後さらに一定のダミー放電時間を追加するとよい。

【 0 0 7 5 】

図 1 2 は微分法の原理を説明する図である。図 1 2 (a) に示すように推移するパラメータを 1 次微分すると図 1 2 (b) に示す 1 次微分値が得られ、2 次微分すると図 1 2 (c) に示す 2 次微分値が得られる。このようにして得られた 1 次微分値あるいは 2 次微分値を閾値と比較して慣らし放電の終点を判定する。終点判定に際しては、誤判定防止用のデッドタイムを設定し、設定したデッドタイム経過した後の 1 次微分値あるいは 2 次微分値と閾値を比較して判定する。

20

【 0 0 7 6 】

図 1 2 (b) の例では、1 次微分値が閾値を下回った場合、パラメータの変動が小さくなったことを表しているため、1 次微分値が閾値を下回った時点を終点と判定する。

【 0 0 7 7 】

図 1 2 (c) の例では、2 次微分値が閾値 1 を下回り、次いで閾値 2 を越えた時点を終点と判定する。2 次微分値の極大、極小値は元の信号の変曲点を表すため、前述のように 2 次微分値と閾値を 2 度比較することにより、元の信号が一定状態から上昇に転じ、再度一定値に安定したことがわかる。

30

【 0 0 7 8 】

[実施例 9]

本実施例では、モニタするパラメータとして前記実施例 1 ないし 8 においてモニタしたパラメータの全てをモニタする。すなわち、前記各実施例においてモニタしたパラメータは、ダミーウエハを用いた慣らし放電中に、同時にモニタすることができる。したがって実施例 1 ないし 8 の各々に開示した方法により慣らし放電の終点を検出することが可能であるが、すべての項目を用いて総合的に判定することもできる。以下に総合判定の例（総合判定例 1 , 2 , 3 ）を図 1 3 , 1 4 , 1 5 を参照して説明する。

40

【 0 0 7 9 】

（総合判定例 1 ）

図 1 3 は総合判定例 1 を説明する図である。この例では、まずモニタする項目（パラメータ）毎に点数を付与する。次に、モニタした項目毎に慣らし放電の終点が判定できたか否かを判別し、終点が判定できた項目に対して付与された前記点数のみを累積加算する。

【 0 0 8 0 】

図 1 3 の例では、各項目毎に各 10 点を付与し、終点が判定できた項目（1 , 2 , 6 , 7 , 8 ）に付与された点数を累積加算する。この例では、終点が判定できた項目が 5 項目あるので累積加算値は 50 点となる。また、モニタする項目は 8 項目あるので合計点数は最大 80 点となる。このうち、例えば 60 点獲得すれば、その時点で総合判定として慣ら

50

し放電が終了したものとする事ができる。

【 0 0 8 1 】

(総合判定例 2)

図 1 4 は総合判定例 2 を説明する図である。この例では、まずモニタする項目 (パラメータ) 毎に重み係数を付与する。また、図 1 3 の例と同様に各項目に 1 0 点を付与しておく。次に、モニタした項目毎に慣らし放電の終点が判定できたか否かを判別し、終点が判定できた項目に対して付与された前記点数のみに前記重み係数を積算して累積加算する。

【 0 0 8 2 】

図 1 4 の例では、各項目毎に各 1 0 点を付与し、更に図に示す重み係数を付与する。次に終点が判定できた項目 (1 , 2 , 6 , 7 , 8) に付与された点数に重み係数を累積加算する。この例では、終点が判定できた項目が 5 項目あるので累積加算値は 8 0 点となる。また、モニタする項目は 8 項目あるので合計点数は最大 1 3 5 点となる。このうち、例えば 9 0 点獲得すれば、その時点で総合判定として慣らし放電が終了したものとする事ができる。なお、この例では合計点が最大 1 3 5 点となるため、適当に正規化を行うとよい。

10

【 0 0 8 3 】

(総合判定例 3)

図 1 5 は総合判定例 3 を説明する図である。前述のレベル判定法では、現在の値が目標値の何パーセントかという途中経過の値を得ることができる。

【 0 0 8 4 】

したがって、この例では、モニタしたパラメータの中で、そのレベルが測定可能なものについては、測定したレベルに応じて進行度 (0 ないし 1 0 0 %) を付与するようにした。

20

【 0 0 8 5 】

図 1 5 の例では、まずモニタする項目 (パラメータ) 毎に重み係数を付与する。また、図 1 3 の例と同様に各項目に 1 0 点を付与しておく。次に、モニタした項目毎に慣らし放電の終点が判定できたか否かを判別し、終点が判定できた項目に対して付与された前記点数のみに前記重み係数および進行度を積算して累積加算する。すなわち、(点数 = 1 0 (点) × (進行度 ÷ 1 0 0) × 係数) で計算する。なお、進行度に「 - 」表記のあるものは微分判定によるものであることを表している。

30

【 0 0 8 6 】

このように、重み係数および進行度を加味して総合判定することにより、より細かな総合判定が行えるようになり、余分な慣らし電時間を削減し、更に慣らし放電に使用するダミーウエハを節約することができる。

【 0 0 8 7 】

以上説明したように、エッチングパラメータの時間推移をモニタリングする機構を有し、モニタリングしたエッチングパラメータを予め設定した判定値と比較演算して、エッチング装置を制御する機構を制御するので、ウェットクリーニング後の慣らし放電の終了を高精度に判定して慣らし放電を終了することができる。これにより、慣らし放電を必要最低限の処理枚数にすることができ、半導体製造装置の不稼働時間を短縮し、製造コストを低減することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【 0 0 8 8 】

【図 1】本発明を適用できる UHF - ECR を用いたプラズマエッチング装置を説明する図である。

【図 2】慣らし放電の終了を判定するための構成を説明する図である。

【図 3】第 1 の実施例を説明する図である。

【図 4】第 2 の実施例を説明する図である。

【図 5】第 3 の実施例を説明する図である。

【図 6】第 4 の実施例を説明する図である。

50

- 【図 7】第 5 の実施例を説明する図である。
【図 8】第 5 の実施例を説明する図である。
【図 9】第 6 の実施例を説明する図である。
【図 10】第 7 の実施例を説明する図である。
【図 11】レベル判定法の原理を説明する図である。
【図 12】微分法の原理を説明する図である。
【図 13】総合判定例 1 を説明する図である。
【図 14】総合判定例 2 を説明する図である。
【図 15】総合判定例 3 を説明する図である。

【符号の説明】

10

【 0 0 8 9 】

- 1 0 1 エッチング処理容器（プラズマ処理容器）
- 1 0 2 アンテナ
- 1 0 3 誘電体
- 1 0 4 導波管
- 1 0 5 整合器
- 1 0 6 プラズマ生成用高周波電源（UHF 電源）
- 1 0 7 磁場コイル
- 1 0 8 ウエハ（試料）
- 1 0 9 下部電極（試料台）
- 1 1 0 高周波バイアス整合器
- 1 1 1 高周波バイアス電源
- 1 1 2 静電吸着用電源
- 1 1 3 光検出器
- 1 1 4 圧力計
- 1 1 5 排気バルブ
- 1 1 6 ターボ分子ポンプ
- 1 1 7 データ収集部
- 1 1 8 演算処理部
- 1 1 9 データベース部
- 1 2 0 制御部
- 1 2 1 光ファイバ

20

30

【図 1】

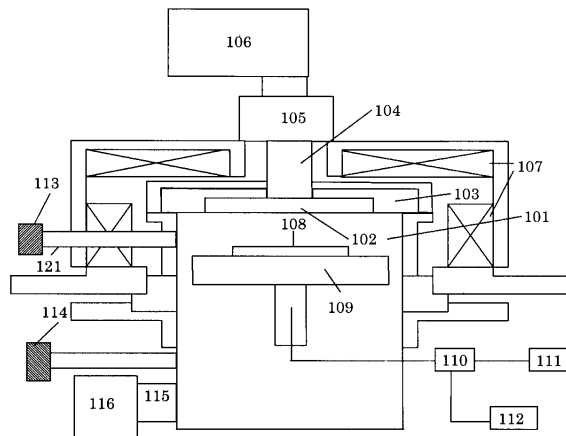


図 1

【図 2】

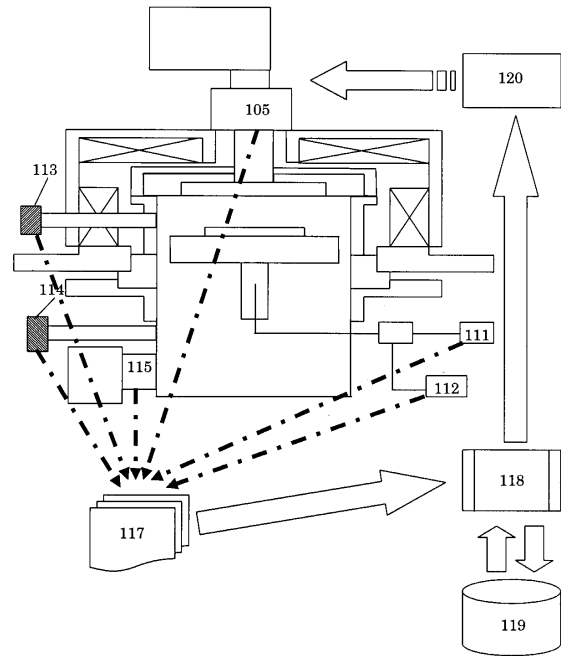


図 2

【図 3】

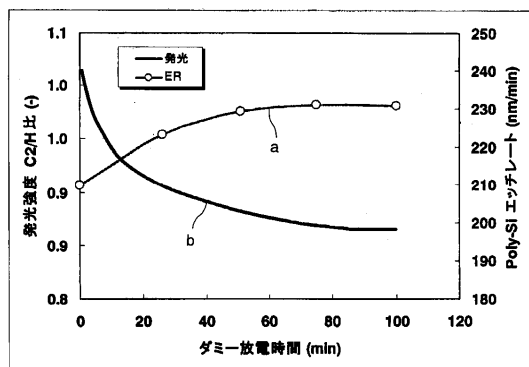


図 3

【図 4】

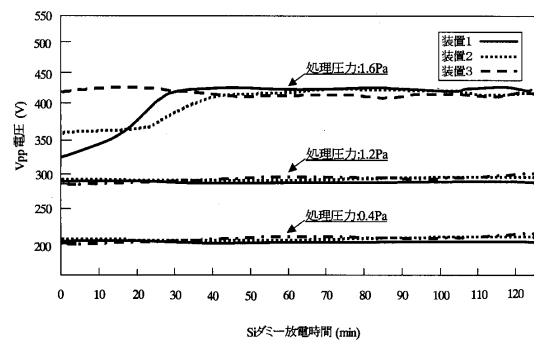


図 4

【図5】

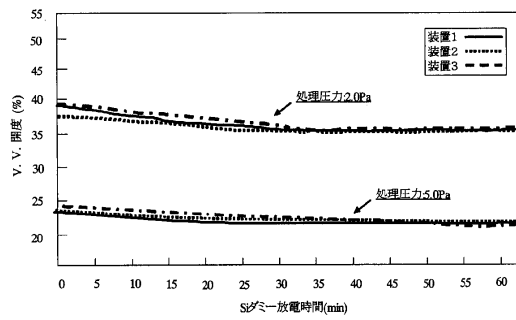


図 5

【図6】

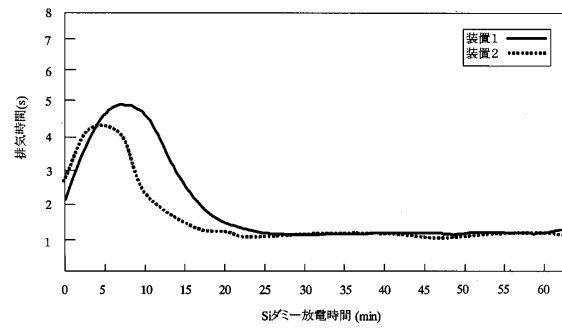


図 6

【図7】

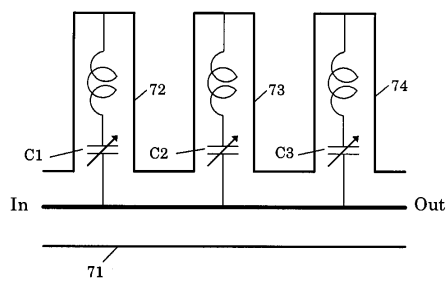
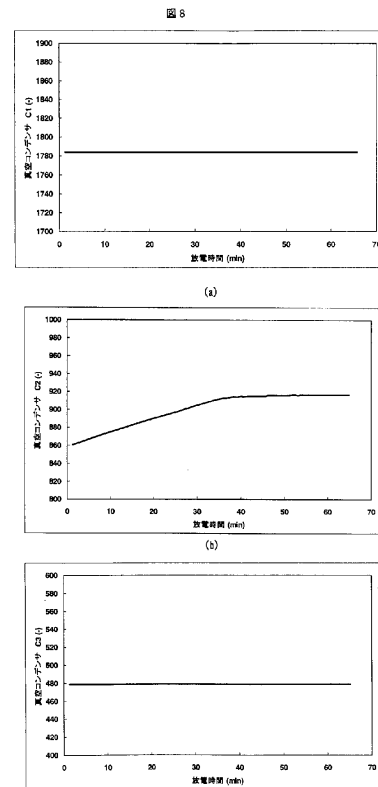


図 7

【図8】



【図 9】

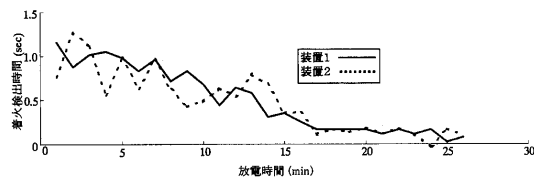


図 9

【図 10】

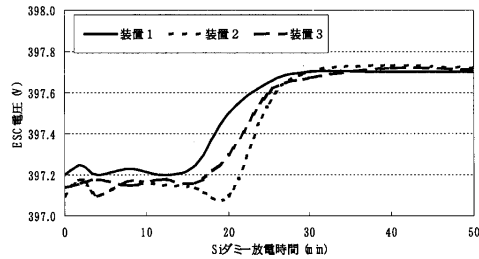


図 10

【図 11】

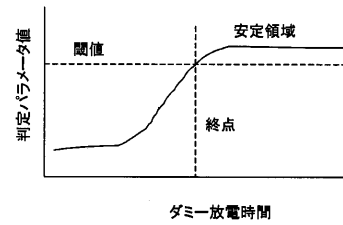


図 11

【図 12】

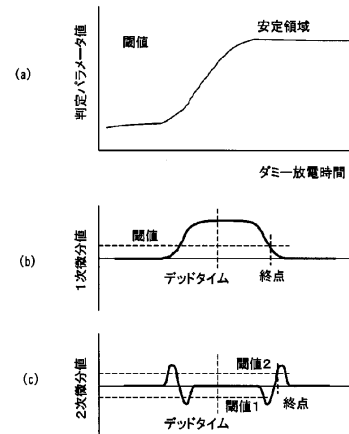


図 12

【図 13】

項目	判定パラメータ	判定	点数
1	発光	○	10
2	V _{pp}	○	10
3	VV 開度	×	0
4	排気時間	×	0
5	整合器位置	×	0
6	着火検出時間	○	10
7	静電吸着電圧	○	10
8	冷却ガス流量	○	10
合計			50

判定項で○は終点検出済み、×は未検出を表す

図 13 総合判定例 1

【図 14】

項目	判定パラメータ	判定	係数	点数
1	発光	○	2	20
2	V _{pp}	○	4	40
3	VV 開度	×	2	0
4	排気時間	×	1	0
5	整合器位置	×	0.5	0
6	着火検出時間	○	0.5	5
7	静電吸着電圧	○	0.5	5
8	冷却ガス流量	○	1	10
合計			15.5	80

判定項で○は終点検出済み、×は未検出を表す

図 14 総合判定例 2

【図 15】

項目	判定パラメータ	判定	進行度 (%)	係数	点数
1	発光	○	100	2	20
2	V _{pp}	○	100	4	40
3	VV 開度	×	20	2	4
4	排気時間	×	15	1	1.5
5	整合器位置	×	—	0.5	0
6	着火検出時間	○	100	0.5	5
7	静電吸着電圧	○	—	0.5	5
8	冷却ガス流量	○	100	1	10
合計				15.5	85.5

判定項で○は終点検出済み、×は未検出を表す

進行度「—」は進行度が測定できないパラメータを表す

図 15 総合判定例 3

フロントページの続き

- (72)発明者 島田 剛
山口県下松市大字東豊井794番地 株式会社 日立ハイテクノロジーズ 笠戸事業所内
- (72)発明者 桑原 謙一
山口県下松市大字東豊井794番地 株式会社 日立ハイテクノロジーズ 笠戸事業所内
- (72)発明者 荒瀬 高男
山口県下松市大字東豊井794番地 株式会社 日立ハイテクノロジーズ 笠戸事業所内
- (72)発明者 松本 剛
山口県下松市大字東豊井794番地 株式会社 日立ハイテクノロジーズ 笠戸事業所内

審査官 日比野 隆治

- (56)参考文献 特開2005-228727(JP,A)
特開平07-263408(JP,A)
特開2006-019501(JP,A)
特開2002-057149(JP,A)
特開2001-152341(JP,A)
特開2001-081545(JP,A)
特開2002-124503(JP,A)
特開2005-217448(JP,A)
特開平11-135482(JP,A)
特開2006-073751(JP,A)
特開平09-082645(JP,A)
特開平11-233487(JP,A)
特開平06-120173(JP,A)
特開2006-041470(JP,A)
特表2003-532986(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065
H05H 1/00