

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4865948号
(P4865948)

(45) 発行日 平成24年2月1日 (2012. 2. 1)

(24) 登録日 平成23年11月18日 (2011. 11. 18)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/302 (2006. 01)

H O 1 L 21/302

B O 1 J 19/08 (2006. 01)

B O 1 J 19/08

H

C 2 3 C 16/507 (2006. 01)

C 2 3 C 16/507

C 2 3 C 16/52 (2006. 01)

C 2 3 C 16/52

H O 1 J 37/32 (2006. 01)

H O 1 J 37/32

請求項の数 33 (全 15 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-611304 (P2000-611304)
 (86) (22) 出願日 平成12年4月12日 (2000. 4. 12)
 (65) 公表番号 特表2002-541677 (P2002-541677A)
 (43) 公表日 平成14年12月3日 (2002. 12. 3)
 (86) 国際出願番号 PCT/GB2000/001383
 (87) 国際公開番号 W02000/062328
 (87) 国際公開日 平成12年10月19日 (2000. 10. 19)
 審査請求日 平成19年3月18日 (2007. 3. 18)
 (31) 優先権主張番号 9908374. 3
 (32) 優先日 平成11年4月14日 (1999. 4. 14)
 (33) 優先権主張国 英国 (GB)
 (31) 優先権主張番号 9914689. 6
 (32) 優先日 平成11年6月24日 (1999. 6. 24)
 (33) 優先権主張国 英国 (GB)

(73) 特許権者 500064351
 サーフィス テクノロジー システムズ
 ビーエルシー
 イギリス国 グウェント エヌビー 1 9
 ユージェイ ニューポート インペリアル
 パーク (番地なし)
 (74) 代理人 100110711
 弁理士 市東 篤
 (74) 代理人 100078798
 弁理士 市東 禮次郎
 (72) 発明者 バハードワイ , イヨッティ, キロン
 イギリス国 ブリストル ビーエス 1 2
 O ビーエッチ カンピオン ドライヴ 6
 O

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマを安定させる方法と装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

室内の加工物を加工する方法であって、

(a) 前記室内にプラズマを発生させ、

(b) 少なくとも、第一の組のプロセスパラメータを有する第一のエッチングステップと第二の組のプロセスパラメータを有する第二の蒸着ステップとの間で、プロセスパラメータを周期的に調節することにより、前記加工物を処理し、

(c) 前記第一のステップと第二のステップとの間の過渡時に前記プラズマを安定させ、前記プラズマに R F 電力が誘導結合されることを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記プラズマが各周期ステップの間で安定させられることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記プラズマが、整合ユニットによって、該プラズマのインピーダンスを、該プラズマにエネルギーを供給する電源のインピーダンスに整合させることによって、安定させられることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記整合ユニットを手操作によりまたは電氣的に調節することができることを特徴とする請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

10

20

前記プラズマのインピーダンスが、前記加工物の処理時間の少なくとも一部にわたって、前記電源のインピーダンスに自動的に整合させられることを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記整合ユニットが、第一のステップと第二のステップとの間の過渡の瞬間またはその直前に作動するように、予設定されていることを特徴とする請求項 3 から 5 のいずれか 1 つに記載の方法。

【請求項 7】

自動整合が、前記室の圧力その他のパラメータが安定したときに、作動可能とされることを特徴とする請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記自動整合が、過渡時またはその直前に作動禁止とされることを特徴とする請求項 5 から 7 のいずれか 1 つに記載の方法。

【請求項 9】

前記整合ユニットがモーターによって駆動されることを特徴とする請求項 3 から 8 のいずれか 1 つに記載の方法。

【請求項 10】

制御信号が前記モーターの駆動のために使用され、かつインピーダンス変化を オーバーシュートなし で追跡するために修正されることを特徴とする請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

前記整合ユニットが、同じ種類の後続ステップのための設定初期値を有するコンデンサーを有し、前記初期値が工程全体にわたって勾配を付与されているかまたは別様に調節されていることを特徴とする請求項 3 から 10 のいずれか 1 つに記載の方法。

【請求項 12】

一つの種類のステップに対する前記初期値が、同じ種類の先行ステップの終了時に自動整合から得られる値から得られることを特徴とする請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

直接指令または自動制御回路によって、前記整合ユニットのコンデンサーをステップのそれぞれに対して異なる値に調節し、またはその調節に代えて若しくは加えて、電源の周波数を変化させることを特徴とする請求項 11 に記載の方法。

【請求項 14】

プラズマへの電力の整合を実現するための、ステップのそれぞれに対する電源周波数調節または周波数予設定を使用して、整合ユニットコンデンサー値の調節の必要を少なくするかまたは排除することを特徴とする請求項 13 に記載の方法。

【請求項 15】

エッチングステップと蒸着ステップとの間で変わらない、整合ユニットコンデンサーの固定位置と、前記電源からの RF 電力の、予設定または自動調節周波数とを有することを特徴とする請求項 13 または 14 に記載の方法。

【請求項 16】

エッチングおよび蒸着ステップに対するそれぞれの適当な設定値に整合ユニットコンデンサー位置を固定し、そのあと、電源からの RF 電力の周波数を予設定するかまたは自動調節することを含むことを特徴とする請求項 13 または 14 に記載の方法。

【請求項 17】

プラズマの安定化が、第一のステップと第二のステップとの間に前記室内の圧力の変動を実質的に防止または減少させることにより、助長されることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 つに記載の方法。

【請求項 18】

エッチングと蒸着との周期的な切替工程中に、エッチングガスが遮断されるかまたは流量が減少させられる前に、蒸着ガスを供給するかまたは該ガスの流量を増大させ、また、蒸着ガスが遮断されるかまたは該ガスの流量が減少させられる前に、エッチングガスを供給

10

20

30

40

50

するかまたは該ガスの流量を増大させることを特徴とする請求項 1 7 に記載の方法。

【請求項 1 9】

エッチングガスまたは蒸着ガスが、切替工程の全体またはその実質的部分にわたって、流れることが許容される請求項 1 8 に記載の方法。

【請求項 2 0】

蒸着ガスが蒸着ステップに加えてエッチングステップにおいても減少した流量で流れつづけ、一方エッチングガスはエッチングステップ中にのみ流れることが許容されることを特徴とする請求項 1 9 に記載の方法。

【請求項 2 1】

エッチングガスがエッチングステップに加えて蒸着ステップにおいても減少した流量で流れつづけ、一方蒸着ガスは蒸着ステップ中にのみ流れることが許容されることを特徴とする請求項 1 9 に記載の方法。

10

【請求項 2 2】

エッチングガスと蒸着ガスがともに同時かつ連続的に流れることが許容されることを特徴とする請求項 1 9 に記載の方法。

【請求項 2 3】

それぞれのガスの流量がそれぞれのステップにおいて変化することを特徴とする請求項 1 8 から 2 2 のいずれか 1 つに記載の方法。

【請求項 2 4】

プラズマの安定化が、前記室に別のガスを供給することによって助長されることを特徴とする請求項 1 から 2 3 のいずれか 1 つに記載の方法。

20

【請求項 2 5】

前記別のガスが、流量制御器によって、前記室に供給されることを特徴とする請求項 2 4 に記載の方法。

【請求項 2 6】

前記別のガスが、ヘリウム、アルゴン、もしくは他の希ガス、酸素、または窒素、またはこれらの混合物から選択されることを特徴とする請求項 2 4 または 2 5 に記載の方法。

【請求項 2 7】

さらに、前記室内の圧力をモニターし、またそれによって前記別のガスの流量を調節することを含む請求項 2 4 から 2 6 のいずれか 1 つに記載の方法。

30

【請求項 2 8】

前記室内の全圧に、特定ステップ時に勾配が与えられることを特徴とする請求項 1 から 2 7 のいずれか 1 つに記載の方法。

【請求項 2 9】

前記室に、可撓性部材によって該室の主要部から分離された部分が備えられていることを特徴とする請求項 1 7 から 2 8 のいずれか 1 つに記載の方法。

【請求項 3 0】

前記分離された部分が、前記室の前記主要部に比して大きな容積を有することを特徴とする請求項 2 9 に記載の方法。

【請求項 3 1】

40

加工物のための支持体を有する室、前記室内にプラズマを発生させる手段、第一のエッチングステップと第二の蒸着ステップとの間でプロセスパラメータを周期的に調節する手段、および前記第一のステップと前記第二のステップとの間の過渡時に前記プラズマを安定させる手段を備え、前記プラズマに R F 電力が誘導結合されることを特徴とするプラズマ加工装置。

【請求項 3 2】

前記安定させる手段が、プラズマのインピーダンスを、プラズマに電力を供給する電源のインピーダンスに整合させるための整合ユニットを有することを特徴とする請求項 3 1 に記載のプラズマ加工装置。

【請求項 3 3】

50

前記安定させる手段が、前記第一のステップと前記第二のステップとの間で、R F 電源周波数を変化させる手段、または前記室内の圧力の変動を低下させる手段を有することを特徴とする請求項 3 1 または 3 2 に記載のプラズマ加工装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

本発明は、室内で発生させられたプラズマが、ステップとステップとの間の過渡時、特に、またもっぱらというわけではないが、加工物処理の周期的工程におけるステップとステップとの間の過渡時に安定させられる、加工物を加工する方法と装置に関する。

【0002】

ウェーハその他の加工物のプラズマ加工においては、いくつかのプラズマパラメータを、二つ以上の状態の間で周期的に変える必要がありうる。状態間で、たとえばガス圧力または放電パワーを急激に変える必要のために、プラズマの不安定性がもたらされることがあり、あるいはプラズマが消えてしまうことさえありうる。

【0003】

大きなアスペクト比の溝のために非等方性の大きなエッチングを実現するための一つの特定方法においては、エッチングステップが蒸着ステップと交互に行われる切替法が使用される。そのような方法は、WO - A - 9 4 / 1 4 1 8 7 号、EP - A - 0 8 2 2 5 8 2 号、および EP - A - 0 8 2 2 5 8 4 号明細書に開示されている。深溝シリコンエッチングの場合、不動態化層を、蒸着ステップ中に、ウェーハのすべての表面（溝を含む）上に、蒸着することができる。エッチングステップの初期部分中に、不動態化層を、イオン衝撃により溝の底から優先的に除去する必要がある。そうすれば、エッチングステップの残りの部分において、シリコンを溝の底から実質的に化学的な方法により除去することができる。交互になされる蒸着ステップとエッチングステップにより、大アスペクト比の溝をエッチングすることができるが、これは、ほとんど等方的なエッチングをもたらす、エッチングステップのみの使用の場合と対照的である。この周期的方法における、エッチングステップから蒸着ステップへの切替え、またはその逆においては、一つのプロセスガスまたはガス混合物が遮断されるかまたは流量が減少させられ、第二のガスの供給が開始されるかまたは流量が増大させられる。一つのステップから他のステップへの切替え時に、プラズマの不安定性または消滅がもたらされうる。

【0004】

本発明は、各過渡時のプラズマの安定性を改善する方法を開示する。

【0005】

本発明の第一側面によれば、室内の加工物を加工する方法であって、

(a) 前記室内にプラズマを発生させ、

(b) 少なくとも、第一の組のプロセスパラメータを有する第一のエッチングステップと第二の組のプロセスパラメータを有する第二の蒸着ステップとの間で、プロセスパラメータを周期的に調節することにより、前記加工物を処理し、

(c) 前記第一のステップと第二のステップとの間の過渡時に前記プラズマを安定させ、前記プラズマに R F 電力が誘導結合されることを特徴とする方法が提供される。

【0006】

任意の適当な加工物、たとえば一般にシリコンから成りうるウェーハを使用することができる。

【0007】

もちろん、加工物の処理において二つよりも多くのステップを使用することができる。周期工程を使用する場合、好ましくは、プラズマを各周期ステップの間で安定させる。この方法は、特に、加工物を交互になされるエッチングステップと蒸着ステップとを周期的に実施することによって処理する場合に使用することができる。

【0008】

この方法は、プラズマに電力を供給することを含み、R F 電力をプラズマに誘導結合させる。

【 0 0 0 9 】

一つの実施形態においては、整合ユニットによって、プラズマのインピーダンスを、該プラズマにエネルギーを供給する電源のインピーダンスに整合させることによって、プラズマが安定させられる。インピーダンスを整合させるこの方法は当業者には周知である。

【 0 0 1 0 】

整合ユニットは、一つの誘導負荷に対して、二つ以上の可変コンデンサー、また場合によっては追加の固定コンデンサーを有することができる。あるいは、適当な固定キャパシタンスとともに可変誘導子を使用することができる。

【 0 0 1 1 】

整合ユニットは、手操作によりまたは電氣的に調節することができるが、任意の適当な調節方法を使用することができる。好ましくは、プラズマが発生したとき、加工物の処理時間の少なくとも一部にわたって、プラズマのインピーダンスを電源のインピーダンスに自動的に整合させる。整合ユニットは、第一のステップと第二のステップとの間の、あるいは二つよりも多くの処理ステップが使用される場合にはすべてのステップの間の、過渡の瞬間またはその直前に作動するように、予設定することができる。たとえば、エッチング/蒸着切替法の場合、整合ユニットは、この周期的な切替工程において、エッチングステップと蒸着ステップとの間、または蒸着ステップとエッチングステップとの間の、過渡時またはその直前に予設定することができる。そのような実施形態の場合、室の圧力その他のパラメータが安定したときに、自動整合をふたたび作動可能とすることができる。一つの実施形態においては、自動整合を、過渡時またはその少しまえに作動禁止にする。予設定値は、周期工程における同じ種類の先行ステップから決定することができる。

【 0 0 1 2 】

整合ユニットはモーターによって駆動することができる。一つの実施形態においては、以下で詳しく述べるように、制御信号が前記モーターの駆動のために使用され、また、インピーダンス変化を迅速に追跡して“オーバーシュート”を最小限に抑えるかまたは排除するために修正することができる。

【 0 0 1 3 】

一つの実施形態においては、前記整合ユニットは、同じ種類の後続ステップのための設定初期値を有するコンデンサーを有し、前記初期値が工程全体にわたって勾配を付与されるかまたは別様に調節される。一つの特定ケースにおいては、一つの種類のステップに対する前記初期値を、同じ種類の先行ステップの終了時に自動整合から得られる値から得ることができる。

【 0 0 1 4 】

直接指令または自動制御回路によって、前記整合ユニットのコンデンサーをステップのそれぞれに対して異なる値に調節し、またはその調節に代えて若しくは加えて、電源の周波数を変化させることができる。プラズマへの電力の整合を実現するための電源周波数調節を使用して、整合ユニットコンデンサー値の調節の必要を少なくするかまたは排除することができる。一般に、周波数制御は短い時間尺度で実現されるので、自動調節は、機械的にコンデンサー値を調節する場合よりもずっと速く行うことができる。しかし、状況によっては、ステップのそれぞれに対する周波数の予設定値を所望の値とすることができる。

【 0 0 1 5 】

この産業分野で標準的な 13 . 56 MHz 電源の場合、必要な周波数可変性は、一般に、 $< + / - 0 . 5 \text{ MHz}$ であるが、極端な場合には、 $+ / - 1 . 0$ である。ここでの一つの実施形態は、エッチングステップと蒸着ステップとの間で変わらない、整合ユニットコンデンサーの固定位置と、電源からの RF 電力の周波数の、予設定または自動調節周波数とを有する。もう一つの実施形態においては、エッチングおよび蒸着ステップに対するそれぞれの適当な設定値に整合ユニットコンデンサー位置を固定し、そのあと、電源からの RF 電力の周波数を予設定するかまたは自動調節する。

【 0 0 1 6 】

前述の整合ユニットに代わるもの、または該ユニットに付加するものとして、プラズマを、第一のステップと第二のステップとの間に前記室内の圧力の変動を実質的に防止または減少させることにより、安定させることができる。これを、エッチングと蒸着との周期的な切替工程において使用する場合、該工程中、エッチングガスが遮断されるかまたは流量が減少させられる前に、蒸着ガスを供給するかまたは該ガスの流量を増大させることができ、また、蒸着ガスが遮断されるかまたは該ガスの流量が減少させられる前に、エッチングガスを供給するかまたは該ガスの流量を増大させることができる。

【 0 0 1 7 】

たとえば、エッチングステップから蒸着ステップへの過渡、または蒸着ステップからエッチングステップへの過渡が生じる場合、二種類のガスを、過渡時に同時に加工室に流入させることができる。さらに、エッチングまたは蒸着ガスのどちらかが切替工程の全体またはその相当の部分にわたって流れるようにすることができる。たとえば、蒸着ガスを、蒸着ステップに加えてエッチングステップ全体においても、ただし大部分の場合ずっと減少した流量で、流しつづけることができ、一方エッチングガスはエッチングステップ中にのみ流れることが許容されるようにする。あるいは、エッチングガスを、エッチングステップに加えて蒸着ステップ全体においても、ただし普通はずっと減少した流量で、流しつづけることができ、一方蒸着ガスは蒸着ステップ中にのみ流れることが許容されるようにする。

【 0 0 1 8 】

もう一つの可能性は、ある特定の加工結果の実現に必要な場合に、エッチングガスと蒸着ガスがともに同時かつ連続的に流れることが許容されるようにすることである。しかし、それぞれのガスの流量は、ステップのそれぞれに対して変化させられる。通常、エッチングガスの流量は、エッチングステップ中、蒸着ガスの流量よりもずっと大きく、また蒸着ガスの流量は、蒸着ステップ中、エッチングガスの流量よりもずっと大きい。したがって、依然として、明確なエッチングステップと蒸着ステップとが維持される。

【 0 0 1 9 】

エッチングステップへの蒸着ガスの供給および/または蒸着ステップへのエッチングガスの供給は、輪郭と側壁粗さの制御を助ける。一般に、このガスの混合はプラズマインピーダンスの過渡変化を小さくする。過渡変化を小さくするのに十分な蒸着ガスをエッチングステップに供給する(また、その逆を行う)ことができない場合には、過渡時にのみより大きな流量のガスを流入させることができる。

【 0 0 2 0 】

プラズマは、別のガスを前記室に供給することによって安定させることができる。この“緩衝”ガスは、たとえば、第一のステップから第二のステップに変わるときの圧力変動を小さくする。たとえば、周期的エッチング/蒸着工程の場合、この緩衝ガスは、エッチングステップと蒸着のステップとの間の過渡またはその逆の過渡における圧力の変化を小さくする。このガスは高速動作の流量制御器によって前記室に供給することができる。この“緩衝”ガスは、任意の適当なガスとすることができるが、一般には、希ガス(たとえば、ヘリウムまたはアルゴン)、酸素、または窒素、またはこれらの混合物である。好ましい“緩衝”ガスはヘリウムである。

【 0 0 2 1 】

本発明の方法は、さらに、室内の圧力をモニターし、またそれによってガスの流量を調節することを含むことができる。一つの実施形態においては、工程全体において、少なくともある程度のガスの流れが存在する。一つの実施形態においては、このガスを、加工物処理の少なくとも一種類のステップ全体にわたって供給することができる。

【 0 0 2 2 】

室内の全圧は特定ステップ時に勾配が与えられるようにすることができる。

【 0 0 2 3 】

さらに、または代替的に、室内の圧力変動を小さくする別の手段を備えることができる。たとえば、室には、可撓性部材たとえば軟質隔膜によって加工室の主要部から分離された

10

20

30

40

50

部分（一つの実施形態においては、側室の形とすることができる）を備えることができる。好ましくは、この分離された部分は、加工室の主要部に比して大きな容積を有する。したがって、隔膜は加工室の主要部内での圧力変動を調節するためにある程度湾曲することができる。

【0024】

本発明の第二の側面によれば、加工物のための支持体を有する室、前記室内にプラズマを発生させる手段、第一のエッチングステップと第二の蒸着ステップとの間でプロセスパラメータを周期的に調節する手段、および前記第一のステップと前記第二のステップとの間の過渡時に前記プラズマを安定させる手段を備え、前記プラズマにRF電力が誘導結合されることを特徴とするプラズマ加工装置が提供される。

10

【0025】

前記安定させる手段は、プラズマのインピーダンスを、プラズマに電力を供給する電源のインピーダンスに整合させるための整合ユニットを有することができる。

【0026】

あるいは、またはさらに、前記安定させる手段は、前記第一のステップと前記第二のステップとの間で、RF電源周波数を変化させる手段、または前記室内の圧力の変動を低下させる手段たとえば前記室にガスを供給する手段、を有することができる。このガスは前記の“緩衝”ガスである。

【0027】

以上、本発明を明確に示したが、本発明は、前述の特徴または以下の説明で示す特徴のすべての発明的組合せを含む、と理解すべきである。

20

【0028】

本発明はいろいろなやり方で実施することができる。以下では、添付の図面を参照しつつ、例として特定実施形態について述べる。

【0029】

図1には、代表的なエッチング/蒸着周期工程中の、蒸着ガスおよびエッチングガスの流量ならびに室圧力を示す。エッチングステップから蒸着ステップへの切替えまたはその逆において、プロセスガスが切替えられる。すなわち、第一のガスを制御する質量流量制御器または代替手段（たとえば、加工室のまわりでのガス流の方向を変える作動装置）のスイッチが切られ、第二のガスを制御する質量流量制御器のスイッチが入れられる。各プロセスガスのスイッチのオンまたはオフは、かなり短い時間尺度で行うことができ、あるいは一つまたは他の動作はより長い時間尺度で、もっとゆっくり行うことができる。一つのプロセスガスの流量が減少しつつあり、他のプロセスガスの流量が増大しつつあるような、両方のプロセスガスが同時に加工室に供給されつつある時間はあってもなくても良い。二つのガスの必要な流量レベルはまったく異なったものであることができ、またそれぞれのステップにおける加工室の必要圧力は著しく異なったものであることができる。

30

【0030】

高周波電力がプラズマに誘導結合されるプラズマ加工装置の場合、ある種の形の整合ユニットを使用して、RF電源のインピーダンスをプラズマのインピーダンスに整合させることができる。前記のそれぞれのステップのための異なったガスおよび異なった室充填圧力においては、プラズマインピーダンスは異なると考えられる。したがって、整合ユニットの設定値を、一つのステップから次のステップへの切替え時に、変える必要がある。通常、この圧力変化はゆっくりではなく急激であり、時定数は、整合回路網が、ある比率の供給電力の反射を生じる中間インピーダンス“不整合”なしで、応答する能力よりも小さい。

40

【0031】

異なるステップの間でのプロセスガスと室圧力の変化に加えて、各ステップに必要なプラズマとラジカルの密度（したがって、放電パワー）が異なっていることが多いと考えられる。これは、多ステップ工程の異なるステップ間のプラズマインピーダンスの違いをさらに大きくしうるもう一つの要因である。

50

【0032】

多ステップ工程において最大の全体エッチング速度を実現するためには、各ステップのはじめから終わりまで電源インピーダンスをプラズマインピーダンスに整合させることが望ましい。一つのステップから次のステップに切替えたあと、プラズマが不安定になり、それぞれのステップの相当の部分にわたって正しく整合していない場合、加工に非常に有害でありうる。一つのステップから次のステップへの過渡時にプラズマが消えてしまう極端な場合、プラズマが再発生するまで、エッチングまたは蒸着工程時間が失われ、それぞれ必要なものよりも小さなエッチング深さまたは薄い蒸着層がもたらされる。これらはどちらも溝輪郭に大きなひずみを生じうるものであり、したがって精密に釣合いをとった切替え過程が必要である。

10

【0033】

本発明の二つの特定実施形態は以下の通りである。

1) 一つのステップから次のステップへの過渡時、好ましくは直後に、整合ユニットを制御して、プラズマインピーダンスが電源インピーダンスに正しく整合していない時間を最小限に抑える。

2) 室への緩衝ガスの供給量を制御して、加工室圧力がしたがってプラズマインピーダンスの全体的変動が小さくなるようにする。

【0034】

これらは別々に使用することができ、あるいは両方を同時に使用することができる。

【0035】

20

1) 整合ユニット制御

前述のように、整合ユニットの機能は、プラズマのインピーダンスを電源のインピーダンスに整合させることである。電源のインピーダンスは通常50オームという値に固定してある。誘導負荷のために使用される整合ユニットは通常二つ以上の可変コンデンサーを有し、また場合によっては追加の固定コンデンサーを有する。あるいは、適当な固定キャパシタンスを有する可変誘導子を使用することができる。

【0036】

整合ユニットは、そのもっとも簡単な形態の場合、手操作で調節して、プラズマのインピーダンスと電源のインピーダンスとの間の最善の整合が得られるようなものとすることができる。しかし、この方法は、プラズマ負荷のインピーダンスがプラズマの発生と定常運転との間で著しく変化する場合、すなわちプラズマが発生する前にはアンテナだけのインピーダンスとなり、発生後にはインピーダンスがアンテナとプラズマを合わせたもののそれになる場合、使用が困難でありうる。切替法の場合、通常、インピーダンス整合要素を必要な速度で手操作制御するのは不可能であろう。

30

【0037】

可変コンデンサーを使用する代替整合ユニットでは、通常、小型の電動機を使用し、これらのそれぞれが一つ以上のコンデンサーを駆動する。一つの実施形態を図5に示す。DCまたはACモーターを使用することができ、サーボ電位差計によりコンデンサー設定値へのフィードバックを行う。あるいは、ステッパ(stapper)モーター/割送り装置から成る構成を使用することができる。適当な制御回路により、プラズマが発生する前に、各コンデンサーの設定値を選択点に合わせることができる。

40

【0038】

プラズマが発生すると、プラズマのインピーダンスの実数部分と虚数部分とに関する誤差信号を検出することができ、この信号が増幅されて、プラズマのインピーダンスの電源のインピーダンスへの安定整合を実現するためにコンデンサーの設定値を制御するのに使用される。この自動整合により、簡単なエッチングまたは蒸着工程の場合、条件が工程中相当の範囲にわたって変化する場合でも、工程時間の全体にわたって電力がプラズマに効率的に結合することが保証される。

【0039】

切替法の場合、切替えは数秒間隔で行われうるが、より大きなまたは小さな間隔を使用す

50

ることができる。自動整合は各ステップ中にプラズマインピーダンスの変化を追跡することができるが、しかし一つのステップから次のステップへの切替え時には、インピーダンスの変化は約 1 秒またはそれよりもさらに短い時間で急激に変化する。この急激なインピーダンス変化は、たとえば、一つのプロセスガスが遮断され、かつ第二のガスがその安定レベルに到達するのに時間がかかるときの急激な圧力低下によるものでありうる。さらに、プラズマによるガス分裂により、圧力増大がもたらされ、この効果は、プラズマに供給される電力が増大するにつれてますます顕著になる。切替法においてガスが変化したときのプラズマによるガス分裂の程度の違いは、一定の RF 電力供給の場合でも、圧力変化を引き起しうる。自動整合は、圧力低下によるインピーダンス変化を追跡しようとするが、インピーダンスがほとんどすぐに逆戻りするのを見出すだけである。変化を十分速く追跡できないために、第二のステップに割当てられた時間のかなりの部分が経過するまで、補正できないインピーダンス不整合が起りうる。これはあきらかに望ましい状況ではない。

10

【0040】

したがって、本発明は、一つの実施形態において、整合ユニット設定値を一つのステップから次のステップへの切替えの瞬間またはその少し前に、予設定し、そのあと室圧力および/または他の適当なパラメータが安定したときに、自動整合システムを作動可能とするものを開示する。

【0041】

詳しくいうと、蒸着ステップ、後続のエッチングステップ、さらなる蒸着ステップ、さらなるエッチングステップという具合にシーケンスの多数の繰り返しを含む二工程プロセスにおいて、プラズマがはじめに発生させられると仮定し、説明はシーケンスの任意の段階に関するものであるとする。蒸着ステップへの切替えが行われると、整合ユニットの設定値は、蒸着ステップでの安定なプラズマ動作に必要なものに近い所定値まで駆動される。室圧力または他の関連パラメータが安定するのに要する時間に関係するある時間ののち、自動整合装置は作動可能とされ、プラズマインピーダンスの追跡が可能となる。蒸着ステップの終りに到達すると、自動整合は作動禁止とされ、整合ユニット設定値がエッチングステップに必要な値に設定される。ふたたび、室圧力または他のパラメータが安定するのに必要な時間にもとづく予設定時間ののち、自動整合は再度作動可能とされる。次に、エッチングプラズマインピーダンスがエッチングステップの終りまで自動整合装置によって追跡され、エッチングステップの終りに、自動整合はふたたび作動禁止とされ、整合ユニットの設定値が蒸着ステップに必要な値まで駆動される。この動作シーケンスを図 2 に示す。

20

30

【0042】

エッチングおよび蒸着ステップの大部分において自動整合装置を作動可能とするが、一つのステップから次のステップへの切替え時に該装置を作動禁止とする方法により、それぞれの工程において各ステップのより大きな部分をより有効に使用することができ、またこの方法はステップ間の滑らかな遷移を確実にするのに役立つ。この方法は、それだけで使用することができ、あるいは、他の方法、たとえば一つのステップから次のステップへの切替え時に圧力変化を小さくするための緩衝ガスの導入、とともに使用することができる。

40

【0043】

自動整合は各ステップの終りに作動禁止とすることができると述べた。しかし、一つの実施形態においては、自動整合をステップの終りの少し前に作動禁止とし、整合ユニット設定値を次のステップに必要な値に予設定するのに十分な時間を与えるようにするのが有利でありうる。次のステップで必要な設定値が現在のステップで使用されているものと著しく異なる場合には、特にそうである。

【0044】

整合ユニットの設定において、基準は通常、図 6 に示すような、複素インピーダンスの実数部分と虚数部分とを電源インピーダンスに整合させるのに使用される、整合ユニットの

50

可変コンデンサの設定位置である。自動設定により、整合ユニットは、検出された誤差信号と簡単な制御ループとを使用して複素インピーダンスの二つの成分を自動的に補正することができる。コンデンサの動作にはある程度の相互作用があるが、前記インピーダンスの実数部分の整合に一つ以上のコンデンサを使用することができ、また前記インピーダンスの虚数部分の整合に一つ以上のコンデンサを使用することができる、と考えられる。

【 0 0 4 5 】

前記の本発明の実施形態において、切替法工程におけるいろいろな時点での自動整合の作動可能および作動禁止において、この作動可能と作動禁止とは複素インピーダンスの一方または両方の成分に対する動作に使用することができる。したがって、特定切替え工程中、たとえばインピーダンスの実数部分に関するコンデンサが全体にわたって自動整合制御下にとどまるようにし、一方インピーダンスの虚数部分に関するコンデンサに対する自動整合を作動可能および作動禁止とするのが適当であると考えられる。

【 0 0 4 6 】

整合ユニットコンデンサの設定値は、自動整合モードにない場合、同じ種類の先行ステップから採ることができる。たとえば、周期的エッチング/蒸着工程の場合、エッチングステップ開始時に使用する設定値は先行エッチングステップ中の自動整合期の終り近くで記録されたものとして行うことができる。これにより、システムにさらに適応要素をつけ加えることができる。

【 0 0 4 7 】

図3は、整合ユニットのコンデンサの値が切替法工程中にどのように変化するかを示す。(a)は前述の非適応初期設定であり、(b)は前述の適応初期設定である。図3(a)の場合、コンデンサは各蒸着ステップの初期段階において固定値に設定される。また、コンデンサは各エッチングステップの初期段階において第二の固定値に設定される。各ステップの残りにおいて、整合ユニットが自動整合に切替えられ、コンデンサが適当に駆動される。図3(b)の場合、各蒸着ステップの初期段階においてコンデンサは先行蒸着ステップの終り近くで記録された値に設定される。また、各エッチングステップの初期段階において、コンデンサは先行エッチングステップの終り近くで記録された値に設定される。各ステップの残りにおいて、整合ユニットは自動整合に切替えられ、コンデンサが適当に駆動される。

【 0 0 4 8 】

過渡時にプラズマが消えてしまうのを防ぐために、プラズマに十分な電力を供給する必要がある。これは、整合ユニットがプラズマインピーダンスの変化を十分速く追跡して、RF電源から見たこのインピーダンスをRF発生器が動作するように設計されている範囲内に保持するようにすることができる場合にのみ、可能である。インピーダンスがこの範囲から出ると、RF発生器は必要な電力を供給することができず、したがってプラズマが消滅しうる。整合ユニットの応答は、コンデンサを駆動するモーターに電力供給する増幅器のゲインを大きくするだけで、スピードアップすることができる。しかし、これは整合ユニットが、必要なインピーダンスをオーバーシュートしがちであるという欠点を有する。というのは、モーターが、必要なインピーダンスの実数部分と虚数部分の不整合の程度を表示する信号により、“開ループ”で駆動されるからである。

【 0 0 4 9 】

オーバーシュートを最小限に抑えるかまたは排除するために、モーター駆動信号にフィードフォワード補正を加えることができる。この補正法により、予想要素が与えられ、この予想要素を使用して駆動信号を修正し、インピーダンス変化をオーバーシュートなしで速く追跡することができるようにすることができる。この方法は、能動装置たとえば演算増幅器を抵抗およびコンデンサとともに使用して必要な補正回路を形成させることによって、アナログ形式で実施することができる。より複雑かつ精密な方法を含む代替実施法は、記憶アルゴリズムを有するマイクロ制御器(micro-controller)によって実施することができる。この制御器は、プラズマのインピーダンスに影響する各種パ

10

20

30

40

50

ラメータたとえば圧力、電力、およびガス流量をモニターし、これらの情報を使用して駆動出力を予想し、またスイッチによって設定されるかまたはPCからダウンロードされる重みつき係数によって駆動出力を補正する。

【0050】

これはシステムの複雑さを増大させるものであるが、同種の後続ステップたとえばエッチングステップのために整合ユニットコンデンサーが設定されている値に、工程全体において勾配をつけ、他のプロセスパラメータたとえば室圧力またはプラズマに供給される電力の勾配を考慮した最善のあてはめを行うことができる。

【0051】

2) 緩衝ガスの供給

切替法工程中に、加工室内の圧力が相当量の大きさ変化することが防止されるならば、一般にプラズマインピーダンスの変化は小さい。

【0052】

エッチングステップから蒸着ステップへの過渡時、またはその逆の過渡時に、一つのプロセスガスを供給する質量流量制御器のスイッチが切られ、他のプロセスガスを供給する質量流量制御器が作動させられる。それぞれ弁の閉鎖および解放に関わる遅れを考慮した、スイッチ・オフおよびスイッチ・オンの信号のタイミングの賢明な選択により、この過渡時の圧力変化を小さくすることができる。これは、通常、第一のプロセスガスが遮断される少し前に第二のプロセスガスのためのスイッチをオンにし（なぜならば、質量流量制御器は完全閉鎖状態から流量制御状態に変わるのに有限の時間を要するからである）、それによってこの重なり時にエッチングガスと不動態化ガスとの混合が起るようにする。

【0053】

それぞれの質量流量制御器のオン・オフ動作のタイミングの調節は、加工室の圧力変化を小さくするのに有効であるが、それでもある程度の圧力変動が存在してプラズマインピーダンスに影響し、またプラズマの不安定性をもたらしうと考えられる。プラズマによるガス分裂は圧力上昇をもたらす。この効果はプラズマに供給される電力が増大するにつれて、ますます顕著になる。この産業においては、常により大きな工程速度が要求されており、この工程速度はプラズマに供給される電力に関係しており、電力供給時のガス分裂（したがって、圧力増大）がますます重大な意味を持つようになっている。ガス分裂の程度は使用するプロセスガスによって変化する。したがって、大電力切替法工程の場合、この要因だけでも、重大な圧力変化が起る。本発明においては、高速動作流量制御器その他の手段によって制御される、加工室への緩衝ガスの供給形式における圧力変化を小さくする手段を備え、室圧力がある一定値付近に保たれるようにすることができる。図7を参照されたい。この実施形態の場合、制御ループは、加工室供給制御回路上に圧力モニターを有し、これが緩衝ガスの流量を調節して、加工室に一定に近い全圧を与える。有効であるためには、明らかに、流量制御器は、高速動作しなければならない、また全工程ガスマニホールド供給の場合と異なり、加工室に直接供給することが必要になりうる。応答時間を最小にするためには、一般に、流量制御器は全時間にわたってある程度の緩衝ガスの流れを許容し、必要に応じて流量を増大させる。緩衝ガスはヘリウムとすることができるが、他のガスも使用することができる。

【0054】

ここで見出すことができたところでは、それぞれのプロセスガスに対する圧力要件の異なる、二つ以上のステップから成る切替法工程の一つ以上のステップのはじめから終わりまで相当の流量の緩衝ガスを許容し、加工室内の全圧が一定に近くなるようにすることが望ましい。図4(b)は、室圧力が緩衝ガスの供給がないときに図4(a)のように変化する場合に、緩衝ガスの流量がどのように制御されるか、を示す。それぞれのステップ中の全圧の勾配をつけた上昇または下降を使用して、次のステップへの滑らかな移行を実現することができ、それによってプラズマインピーダンスがゆっくり変化して、この変化をRF制御ユニットによって簡単に処理することができるようにする。これにより、また、一つのステップから次のステップに切替わるときの、圧力変化の平滑化に加えて、発生するブ

10

20

30

40

50

ラズマインピーダンス変化の平滑化がなされる。

【 0 0 5 5 】

緩衝ガスを加工室に供給するための制御システムの追加は、現行の制御システムと両立するようになされなければならない。たとえば、室から出ていくガスの流量を制限することによって室圧力を調節する現行の自動圧力制御システムの使用においては、不調和が起る可能性があるが、そのような不調和は容易に処理することができる。

【 0 0 5 6 】

加工室の圧力変動を小さくするもう一つの手段として、加工室の第二の部分または加工室に取りつけられた側室を、柔軟な隔膜構造物によって主加工室から分離することができる。加工室の主要部は、ウェーハ、支持手段、およびプラズマ発生手段を収容する。圧力は隔膜構造物の両側で最初同じまたはほとんど同じであり、加工室の主要部の圧力上昇または低下により、隔膜がたわむ。このたわみは、主室の圧力が上昇したときには、主室の容積を増大させ、あるいは主室の圧力が低下したときには、この容積を減少させるようなものである。加工室の主要部の容積のこの増大または減少により、この室で起る圧力変動が小さくなる。

【 0 0 5 7 】

もっとも効果的に圧力変動を最小限のものとするためには、加工室の第二の部分または側室は、加工室の主要部の容積に比して、大きなものとしなければならない。そのため、加工室の主要部の容積が大きいシステムの場合、この方法は実施に移しにくい、小さな加工室の場合には、実施できる可能性がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 切替法工程時の、エッチングガスおよび蒸着ガスの流量と室圧力との可能な変化の様子を示す曲線である。

【図 2】 本発明による動作シーケンスの可能な実施のやり方を示す図である。

【図 3 (a) および (b)】 切替法工程時の、整合ユニットのコンデンサー値の可能な変化の様子を示す図である。

【図 4 (a) および (b)】 緩衝ガスの流量の室圧力に応じた可能な調節の様子を示す曲線である。

【図 5】 整合ユニットの制御回路の模式ブロック図である。

【図 6】 代表的な構成の整合ユニットの回路図である。

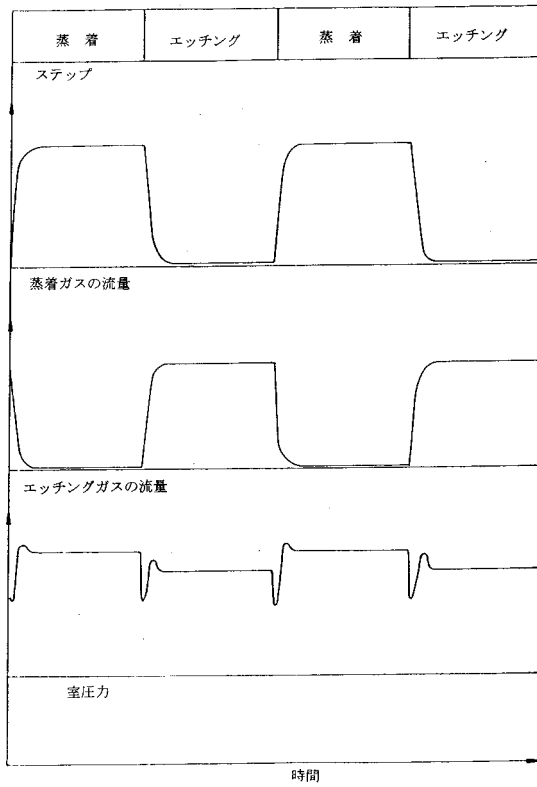
【図 7】 代表的な構成のガス供給システムの模式図である。

10

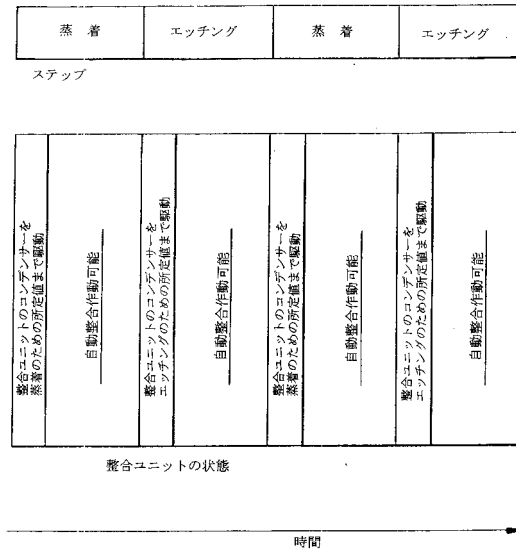
20

30

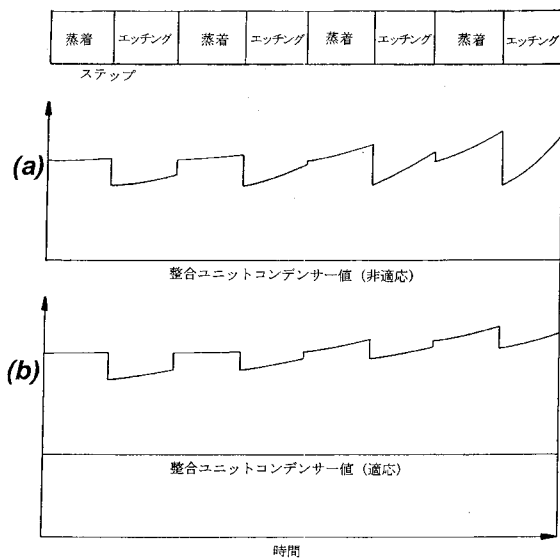
【 図 1 】



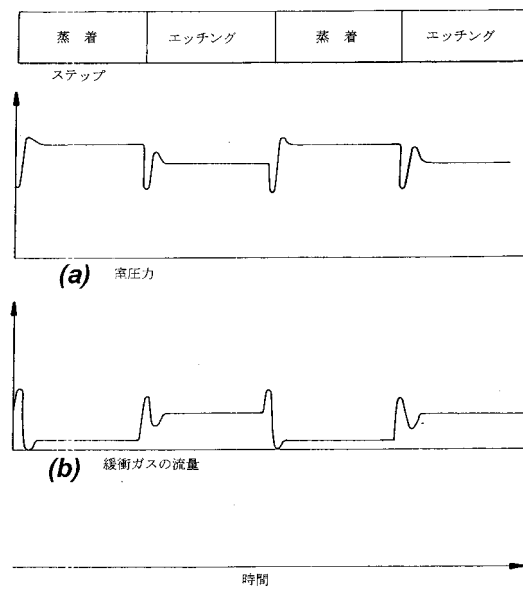
【 図 2 】



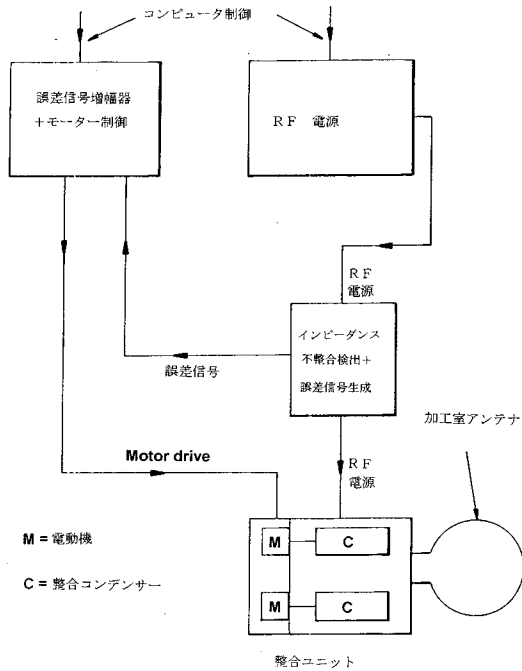
【 図 3 】



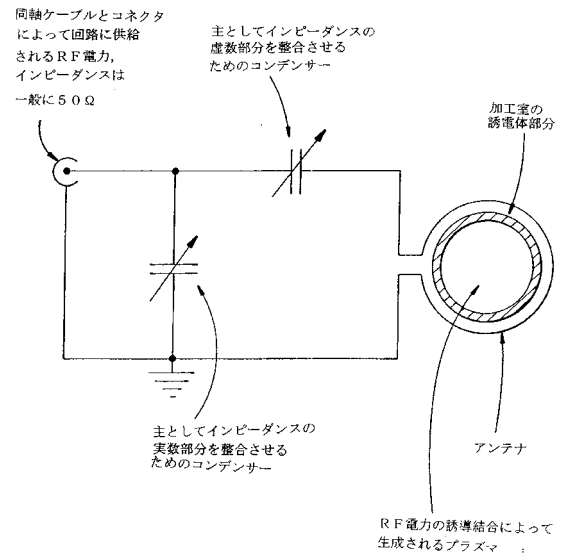
【圖 4】



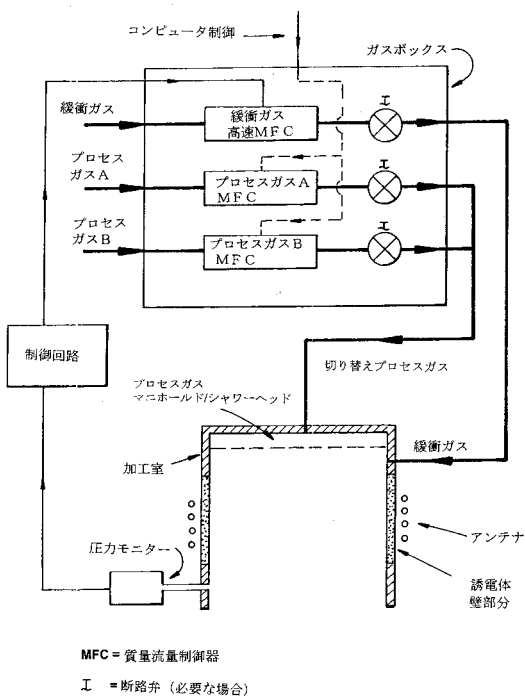
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 L 21/205 (2006.01) H 0 1 L 21/205
H 0 5 H 1/46 (2006.01) H 0 5 H 1/46 L

(72)発明者 リア, レズリー, マイケル
イギリス国 オックスフォードシャー オーエックス11 9ジェイユー ディッドコット イー
スト ハッグボーン ニュー ロード 16ピー ヘデアウェー (番地なし)
(72)発明者 ギイバラ, エドワード
イギリス国 カーディフ シーエフ4 4エルダブリュ ヒース イサン ロード ストリート
6 5

審査官 宮本 靖史

(56)参考文献 特開平05 - 275194 (JP, A)
特開平05 - 205898 (JP, A)
特開平11 - 040396 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/302
C23C 16/507
C23C 16/52
H01L 21/205
H05H 1/46
B01J 19/08