

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3955110号  
(P3955110)

(45) 発行日 平成19年8月8日(2007.8.8)

(24) 登録日 平成19年5月11日(2007.5.11)

(51) Int. Cl. F I  
H O 1 L 21/02 (2006.01) H O 1 L 21/02 Z

請求項の数 17 (全 11 頁)

<p>(21) 出願番号 特願平7-312659                  (22) 出願日 平成7年11月30日(1995.11.30)                  (65) 公開番号 特開平8-236412                  (43) 公開日 平成8年9月13日(1996.9.13)                  審査請求日 平成14年10月30日(2002.10.30)                  (31) 優先権主張番号 08/348352                  (32) 優先日 平成6年11月30日(1994.11.30)                  (33) 優先権主張国 米国(US)</p>	<p>(73) 特許権者 390040660                  アプライド マテリアルズ インコーポレ                  イテッド                  APPLIED MATERIALS, I                  NCORPORATED                  アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95                  054 サンタ クララ パウアーズ ア                  ベニュー 3050                  (74) 代理人 100088155                  弁理士 長谷川 芳樹                  (74) 代理人 100089978                  弁理士 塩田 辰也                  (74) 代理人 100092657                  弁理士 寺崎 史朗</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 固定RF整合回路を有するプラズマ反応器システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体基板を処理するための高周波数RFプラズマ反応器システムであって、  
 半導体基板とプロセスガスを内部に受容するに適したプラズマチャンバと、  
 該チャンバの内部のプロセスガスへRFエネルギーを結合させる結合デバイスと、  
 該プラズマチャンバに隣接するRF電力発生器と、

を備え、

該RF電力発生器は、

少なくとも1MHzの周波数を有するRFエネルギーを発生させるRF電力回路であって、前記結合デバイスから、前記周波数における波長の8分の1よりも実質的に小さい距離をもって配置された出力を有するRF電力回路と、

10

該RF電力回路と該結合デバイスの間に接続され、固定インピーダンスを有する固定RFインピーダンス整合回路と、

該RF電力回路と該結合デバイスの間で整合回路と直列に接続される電力感知カプラであって、該カプラを介して供給されるRF電力の量を指示する測定出力を有する電力感知カプラと、

前記電力感知カプラの前記測定出力に結合され、前記RF電力回路に接続されて、該カプラによって測定される供給電力を所定のレベルに維持するように、前記RF電力回路により発生するRF電力の量を制御する制御回路と

を含んでいる、高周波RFプラズマ反応器システム。

20

## 【請求項 2】

前記電力感知カブラが、双方向カブラであって、該双方向カブラの測定出力は、  
該カブラを介して順方向に伝送される電力量を指示する順方向信号出力と、  
該カブラを介して反射し返す電力の量を指示する反射信号出力と  
を有しており、該順方向信号出力と該反射信号出力の差が、該カブラを介して供給される  
R F 電力の量を指示する、請求項 1 に記載の反応器システム。

## 【請求項 3】

前記電力感知カブラが前記 R F 電力回路と前記整合回路の間に直列に接続され、該カブラの前記測定出力が、該整合回路と前記チャンバへ供給される全 R F 電力を指示する、請求項 1 に記載の反応器システム。

10

## 【請求項 4】

前記電力感知カブラが前記整合回路と前記チャンバの間に直列に接続され、該カブラの前記測定出力が、前記チャンバへ供給される R F 電力を指示する、請求項 1 に記載の反応器システム。

## 【請求項 5】

前記電力感知カブラが、双方向カブラであって、  
前記 R F 電力発生器は、前記 R F 電力回路と前記双方向カブラの間に接続され、前記 R F 電力回路の出力インピーダンスを所定の出力インピーダンスに変換する出力ステージを更に有する、請求項 3 に記載の反応器システム。

## 【請求項 6】

前記固定 R F 整合回路は、前記所定の出力インピーダンスと、前記反応器チャンバ内のプラズマにより与えられる負荷インピーダンスの範囲にある予想される負荷インピーダンスとの間に R F 整合を与えるリアクタンスを有する、請求項 5 に記載の反応器システム。

20

## 【請求項 7】

前記固定 R F 整合回路が、前記 R F 電力回路の出力インピーダンスと、前記反応器チャンバ内のプラズマにより与えられる負荷インピーダンスの範囲にある予想される負荷インピーダンスとの間に R F 整合を与えるリアクタンスを有する、請求項 4 に記載の反応器システム。

## 【請求項 8】

前記制御回路に接続されて、反射し返される前記電力が安定したレベルに到達したかどうかを、チャンバクリーニング操作中に感知して、前記反応器チャンバから汚染が完全に除去されたことを指示するセンサを更に備える請求項 1 に記載の反応器システム。

30

## 【請求項 9】

R F プラズマチャンバであって、該チャンバへ R F 電力を結合させる R F 結合デバイスを有する前記 R F プラズマチャンバと、

前記 R F プラズマチャンバ上の高周波数 R F 電力発生器と、  
を備えるプラズマ反応器システムであって、

前記高周波数 R F 電力発生器は、

1 MHz よりも高い周波数の R F 信号を与える R F 電力回路と、

前記 R F 電力回路と前記 R F 結合デバイスの間に接続された固定 R F 整合回路と、

前記 R F 電力回路により供給される R F 電力の量を感知し、前記 R F 電力回路を制御して、供給される前記 R F 電力を所望のレベルに維持する、感知及び制御手段と、

40

を有し、前記 R F 結合デバイスから前記高周波数における波長の 8 分の 1 よりも小さい距離をもって配置されている、プラズマ反応器システム。

## 【請求項 10】

前記高周波数が、13 MHz のオーダである請求項 9 に記載のプラズマ反応器システム

## 【請求項 11】

前記感知及び制御手段が、

前記固定 R F 整合回路で順方向電力と反射電力とを感知するための手段と、

50

供給される R F 電力を前記順方向電力と前記反射電力との間の差として計算するための手段と、

前記供給された電力を所望の電力レベルと比較して誤差信号を生じさせ、前記 R F 電力回路により生じた電力を、前記誤差信号がゼロとなるように変化させる、比較のための手段と、

を有している請求項 9 に記載のプラズマ反応器システム。

【請求項 1 2】

前記感知するための手段が、前記固定 R F 整合回路の R F 入力に接続されている、請求項 1 1 に記載のプラズマ反応器システム。

【請求項 1 3】

前記感知するための手段が、前記固定 R F 整合回路の R F 出力に接続されている、請求項 1 1 に記載のプラズマ反応器システム。

【請求項 1 4】

前記固定 R F 整合回路が、前記 R F 電力回路の出力インピーダンスと前記反応器チャンバの前記 R F 結合デバイスでの公称インピーダンスとの間のおよその R F 整合を与える、請求項 9 に記載のプラズマ反応器システム。

【請求項 1 5】

前記公称インピーダンスが、前記反応器チャンバ内部のプラズマにより与えられる負荷インピーダンスであり、前記反応器チャンバの異なる操作条件群において前記プラズマにより与えられる負荷インピーダンスの範囲にある、請求項 1 4 に記載のプラズマ反応器システム。

【請求項 1 6】

前記範囲が、約 3 : 1 を越えない順方向電力と反射電力の間の電圧定在波比 ( V S W R ) に対応する、請求項 1 5 に記載のプラズマ反応器システム。

【請求項 1 7】

前記制御回路に接続され、チャンバクリーニングの操作中に、反射し返される前記電力が安定したレベルに達して、前記反応器チャンバからの汚染物の除去が完結したことを指示するかどうかを感知するセンサを更に有する請求項 1 1 に記載のプラズマ反応器システム。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体ウエハのための高周波容量結合した高周波 ( R F ) プラズマ反応器に関し、特に、チャンバクリーニング操作において、R F ソースパワーレベルの制御性を改善しウエハペDESTALを損傷から保護することに関する。

【 0 0 0 2】

【従来の技術】

図 1 ( a ) に示されるように、高い R F 周波数 ( 例えば 1 3 . 5 6 M H z ) で動作するプラズマチャンバ 1 0 は半導体ウエハないし基板を保持し ( 図示されず )、プラズマエッチング、プラズマ励起化学気相堆積又はスパッタリング等の所望のプロセスをウエハに対して行う。チャンバ 1 0 内にプラズマを維持するためには、従来からの 1 3 . 5 6 M H z R F 発生器 1 2 により、伝達ライン 1 4 ( 5 0 オーム同軸ケーブル等 ) と R F 整合回路 1 6 を介して、チャンバ 1 0 に供給される。従来からの R F 発生器 1 2 は、1 3 . 5 6 M H z R F 電力ソース 1 2 a、出力ステージ 1 2 b 及び従来からの双方向性カプラ 1 2 c を有している。出力ステージ 1 2 b は、R F 電力回路 1 2 a の非標準的な出力インピーダンスを 5 0 オームの同軸ケーブルの産業上標準的特性インピーダンスに整合させる。双方向性カプラ 1 2 c は、出力ステージ 1 2 b の出力において順方向及び反射方向の R F 電力を指示する出力 1 8 a 及び 1 8 b を与える。従来からのフィードバック制御回路 2 0 は、V S W R ( 電圧定在波比 ) を最小にする方法、即ち双方向カプラの反射電力出力 1 8 b で検知される反射電力を最小にするような方法で、R F 整合回路を調整する。特に、プラズマチ

10

20

30

40

50

チャンバのインピーダンスを同軸ケーブルの50オームの特性インピーダンスに変換するように、制御回路は可変RF整合回路網を調整する。プラズマチャンバのインピーダンスはウエハの処理中に変化する傾向があるため、可変RF整合回路網16は、自身のインピーダンスを変化させてプラズマチャンバのインピーダンスの変動を補償することにより、RF整合を維持する。

#### 【0003】

可変RF整合回路及び低いVSWRを維持するフィードバック制御回路は、3つの理由から必要である；(1)一定の負荷インピーダンスをRF発生器の出力ステージに与えて、発生器がプラズマチャンバに一定のRF電力レベルを供給するようにする。RF電力レベルの変動は、プラズマチャンバによって行われる半導体処理に不安定さと非予測性を生じ 10  
させてしまう。(2)その高電圧が伝達ラインを損傷する、伝達ライン14の高いVSWRと関連する高いピーク電圧を防止する。(3)その電流が伝達ラインのオーバーヒートを生じて特性インピーダンスを変化させ、伝達ラインの熱履歴に依存するチャンバプロセス条件を不均一する、伝達ラインの高いVSWRと関連した高いピーク電流を防止する。

#### 【0004】

図1のシステムにおける問題点の1つに、可変RF整合回路16は高価で嵩ばることがある。更に、可動部品を用いた可変RF整合回路網は信頼性に欠ける傾向がある。しかし、化学気相堆積プロセスに必要な1200ワットの高RF電力レベルやエッチング又はチャンバクリーニング操作に必要な2000ワットの高RF電力レベルにおいて、可変RF整合回路網14は、13.56MHzのオーダーの高いRF周波数に対して不可欠であった 20

#### 【0005】

図1(b)に示されるように、低い周波数(例えば350kHz)RF発生器12'は、図1(a)の高周波電力回路12aの代りに低周波数電力回路12a'を有している。低周波数電力回路12a'は、固定RF整合回路網30を介してプラズマチャンバ10に結合されている。RF周波数が低いため、RF発生器とプラズマチャンバの間の伝達ラインはおよそ、1/4波長よりも随分と短く、伝達ラインに定常波パターンは発生しない。従って、上述の高いピーク電圧とピーク電流の問題(2)及び(3)は、プラズマチャンバのインピーダンスと伝達ラインの整合がとれていなくとも、生じないであろう。

#### 【0006】

しかし、問題(1)プラズマチャンバの負荷インピーダンスがRF電力ソース出力レベルを変化させる効果は、未だ解決されなければならない問題である。図1(b)に示された既知の低周波数(350kHz)RF発生器デザインにおいて、制御回路32はRF電力回路12aの電力レベルを動的に調整し、与えられるRF電力(即ち、順方向電力18aと反射電力18bの間の差)を一定のレベルに維持する。この制御回路によりRF電力レベルが負荷インピーダンスの緩やかな変化に依存しなくなるため、このデザインは、可変RF整合回路とそのフィードバック回路20を必要とせず、これを固定RF整合回路網に置き換える。固定RF整合回路網30は、時間に対してチャンバ10の内側のプラズマの平均インピーダンスを整合するように選択される固定出力インピーダンスを有している。プラズマインピーダンスが必然的に変動を生じるため、RF発生器12に反射して戻る 40  
電力のために、RF不整合及びRF電力の損失が生じるだろう。このことは、図1(a)のアプローチとは対称的であり、図1(a)では、RF回路12aの電力レベルは一定のレベルに維持され、プラズマインピーダンスの変動は、可変整合回路16のインピーダンスの変化によって補償されて反射RF電力を最小にする。

#### 【0007】

伝達ライン14は1/4波長よりも短いため、整合回路網と接続されるのがどちらの端部かは問題とはならず、そのため、固定RF整合回路30はRF電力発生器12内部の1つの部品として含めることができる。

#### 【0008】

制御回路32は、発せられるRF電力(即ち、双方向カプラ12cの順方向電力出力18 50

aと反射電力18bの間の差)を感知する第1の減算器ノード34と、発せられるRF電力とユーザーによって設定される所望のRF電力との差を感知する第2の減算器ノード36を有する。(図2の線図では、ソース38がデジタルであり減算器ノード36によりデジタル的に比較が行われるが、所望の電力レベルは減算器ノード36の1つの入力に印加される可変アナログ電力ソース38として描かれている。)第2の減算器ノードの出力は、RF電力回路12aの制御入力に対して誤差信号として印加される。RF電力12aは、誤差信号の符号により出力電力レベルを増加させることによっても減少させることによっても、この誤差信号に対して応答する。このことは、電力出力レベル12aを制御して、誤差信号を最小にしあるいはゼロにして、発せられる電力が所望の電力レベルに維持される。RF電力回路12aの制御入力に印加される誤差信号は、プラズマインピーダンスの変動がなければゼロになる。

10

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

図1(b)の低周波RFプラズマシステムは、高価で信頼性に乏しい可変RF整合回路の必要性を排除する点で有利である。しかし、通常用いられる13.56MHzのように高いRF周波数において、可変RF整合回路の使用を排除することは可能ではないようである。

【0010】

【課題を解決するための手段】

半導体ウエハないし基板のプラズマ処理のための装置は、RF電力をプラズマチャンバへ結合させる電極又はアンテナ等の結合デバイスから、1/8波長よりも実質的に短い距離でRF電力ソースを配置させることにより、高いRF周波数において固定RF整合回路の使用を可能にする。好ましくは、RF電力ソースと固定整合回路は、プラズマチャンバ上に直接載置されて、この距離を最小にする。この装置は、プラズマチャンバのインピーダンスの変化にかかわらず、発せられる電力の一定のレベルを維持する制御回路を有している。

20

【0011】

また、本発明は、エッチング又はクリーニングされる基板の除去の機能の1つとして、反射電力又はVSWRの変化が消失するときを検出することによりエッチング又はクリーニングプロセスの終点を検出する装置を随意有していてもよい。

30

【0012】

【発明の実施の形態】

(固定RF整合器を有するプラズマ励起回路)

本発明は、プラズマエッチングチャンバやプラズマ励起堆積チャンバ等の、半導体基板ないしウエハを処理するためのあらゆるプラズマチャンバに用いてよい。チャンバは、チャンバ内へRF電力を電氣的に結合するための従来からのデバイス、例えば容量的結合のための電極、誘導的結合のためのコイル、又はチャンバへ電磁氣的に結合するアンテナ等を用いていてもよい。

【0013】

図2に示されるように、本発明は、従来からの低周波RF発生器12'と同じ位相を有する、新規な高周波数RF発生器12''を用いている。ここで高周波とは、少なくとも1MHz以上の周波数と考えられる。従来からの低周波発生器の如く、しかし従来からの高周波RF発生器とは異なり、我々のデザインは、固定RF整合器を用い、また、与えられるRF電力を所望のレベルに維持する制御回路32を有している。我々のデザインは、図1(b)の低周波電力ソース12'の代りに高周波電力ソース12aを有している。

40

【0014】

これは重要なことであるが、我々のデザインは、プラズマチャンバ10内でRF電力が供給される電極、インダクタ、アンテナ又はその他のRF結合デバイスから非常に短い距離をもってRF発生器を配置することにより、特に、この距離をRF発生器の周波数の1波長の1/8よりも小さくすることにより、可変RF整合回路の必要性を排除する。13.

50

MHzという典型的な高いRF周波数では、RFシグナルは約15メートルの典型的な同軸伝送線における波長を有しているので、1波長の1/8は、約2メートルということになる。好ましくは、RF発生器12はプラズマチャンバ10上に直接載置されるので、これら2つの部材を隔てる距離は無視できる程度である。RF発生器とプラズマチャンバの間の長い伝送線を取り除くことにより、従来の高周波RF電力システムに用いられている非常に高価でしばしば信頼性に欠ける可変RF整合回路16に代えて、比較的安価でコンパクトで信頼性の高い固定RF整合回路に置き換えることができる。

#### 【0015】

固定RF整合回路を用いるということは、プラズマチャンバ内の負荷インピーダンスにおける全ての変動をRF発生器が経験するだろうということである。プラズマチャンバ負荷インピーダンスは変化するものの、チャンバ内でプロセスが行われている間は、制御器32が供給電力（順方向電力マイナス反射電力）を一定に維持する。

10

#### 【0016】

RF整合回路の出力インピーダンスを負荷のインピーダンスに整合させるように、RF整合回路を設計する原理は良く知られている。RF整合器は、インダクタ(L)及び/又はキャパシタ(C)を有し、これらの値は、ある一定の周波数におけるある一定の入力インピーダンス及び出力インピーダンスに整合させるための簡単な設計式に従って選択される。例えば、このような設計式は、次に挙げる参考文献に記載されている：'Reflections-Transmission Lines and Antennas'Walter Maxwell(1990)；及び'Radio Frequency Transistors-Principles and Practical Applications',Norm Dye and Helge Granberg(1993)

20

#### 【0017】

RF整合回路は、RF発生器の出力インピーダンスとプラズマ反応器負荷のインピーダンスの間のインピーダンスの不整合により生じたVSWRを、RF発生器が要求される供給電力を安全に供給できる値よりも低く維持するように、最適化される。ほとんどのRF発生器は、その定格最大出力電力よりも低い電力で運転されているときは、より高いVSWRを許容することができる。従って、RF整合器L及びC成分の値は、最も高いRF電力を必要とするプラズマプロセスの間に比較的低いVSWRを与えるように選択されるべきである。

#### 【0018】

図3のスミスチャートは、我々の発明のRF整合回路30を最適化するために用いられる方法を例示する。チャートの中の小さな四角形は、チャンバ内で行われる典型的なプラズマ励起化学気相堆積法(PECVD)の異なる位相の間の、プラズマチャンバの負荷インピーダンスを示している。小さな十字は、PECVDのプロセスとプロセスの間のチャンバのクリーニングに用いられる典型的なプラズマエッチングの異なる位相の間に行われたチャンバ負荷インピーダンスを示している。ここで推奨すべきCVDプロセスは1200ワットのRF電力を要し、エッチングプロセスは2000ワットのRF電力を要し、両者とも周波数は13.56MHzにおいてである。我々の実施例に用いられる商業的に入手可能なRF発生器は、VSWRが2以下であれば負荷に2000ワットを供給でき、VSWRが3以下であれば1200ワットを供給できる。RF整合器のL成分とC成分は、図3の大きな点で指示されるチャンバ「中心」インピーダンスに、50オームのRF発生器出力インピーダンスを整合させるように選択されれば、十字の全てがVSWR=2の円の内部に収束し、四角形の全てはVSWR=3の円の内部に収束する。従って、RF整合器をこの「中心」インピーダンスに整合させることは、我々の目的を実現させる。

30

40

#### 【0019】

図2に示されるデザインの電力レベルレギュレータは、図1(b)に示された従来のシステムのレギュレータ回路と同一のものである。従来の50オーム双方向カプラ12cは、制御回路に要求される順方向電力18aと反射電力18bの測定値を与える。第1の比較器ないし減算器回路34は、整流されてローパスフィルタを通った順方向電力信号18aを反射電力信号18bから減ずることにより、負荷(プラズマチャンバ)へ供給される

50

電力を決定する。第2の比較器ないし減算器回路36は、所望の供給電力を表す値38により決定された値と、供給電力レベルを比較する。第2の比較器は、供給電力が高すぎるか低すぎるかによって電力ソースへ送られる制御信号を調節する。ここに説明された回路の設計は、従来のアナログ又はデジタルの形態の簡単な技術により、あるいは一般用途のマイクロコンピュータをプログラミングすることにより、なされてもよい。図2に示されるデザインの変形は、RF電力ソース12aの出力インピーダンスを50オーム産業標準インピーダンスへ変換する出力ステージ12bを取り除くことにより、RF発生器を簡単にすることである。そして、固定RF整合回路のL成分とC成分は、50オームに整合させる代りに、非標準的なRF電力ソースのインピーダンスに整合させるよく知られた設計式に従って選択されることになる。この変形による複雑さは、双方向カプラもまた、非標準的なインピーダンスのために設計されなければならないことである。また、双方向カプラの設計原理も非常によく知られているので、非標準的なインピーダンスのために設計を行うことは、内容的な困難さは無いのであるが、「オフ・ザ・シェルフ」50オーム双方向カプラを用いることを妨げる。

10

#### 【0020】

図4は、本発明の更なる変形例を示し、ここでは、出力ステージ12bはここに記されたように除去され、更に、双方向カプラとRF整合器のRF発生器回路12のトポロジー内のそれぞれの位置が、交換される。図4の具体例の利点は、双方向カプラ54により与えられる順方向及び反射電力の測定は、プラズマチャンバへ与えられる実際の電力を更に正確に指示する。

20

#### 【0021】

前述の具体例では、図2に示されているように、双方向カプラ12cと反応チャンバ10の間に固定RF整合回路網30が配置されており、双方向カプラが、整合回路網30及びプラズマチャンバ10へ与えられる全電力を測定している。しかし、典型的には、与えられた電力の5~10%が整合回路網52において消失している；従って、プラズマチャンバへ実際に与えられる電力は、与えられたものとして双方向カプラに指示された電力の90~95%であるだろう。電力の量は、プラズマチャンバにより与えられるインピーダンスが別のプラズマ条件において変化すると同様に、この範囲で変化するだろう。従って、チャンバへ与えられるRF電力には、5%までの非予測性が存在することもある。

#### 【0022】

図4に示されるように、整合回路網52とチャンバの間に双方向カプラ54を配置することにより、カプラ54はプラズマチャンバへ実際に与えられる電力を測定するであろう。従って、チャンバへ与えられる電力は、制御回路32により更に正確に制御され、そのため、チャンバ内の半導体基板の処理において更なる均一性と予測性が可能となる。

30

#### 【0023】

図4の具体例では、双方向カプラとプラズマチャンバの間にRF整合回路が存在しないため、双方向カプラ54は、RF電力ソースの出力インピーダンスではなくプラズマ反応器の負荷インピーダンスで運転されるように設計されなければならない。

#### 【0024】

(プロセス終点検出)

上述の如く、図2及び図4の具体例の制御回路は、プラズマインピーダンスの変動に応じた反射電力をゼロにしようとするのではなく、VSWRを変動させ、そして即ち反射電力も変動させる。本発明の他の側面に従えば、この特徴は、エッチング又はチャンバクリーニングの操作中に、エッチングされる物質が完全に除去され又はチャンバが完全にクリーニングされてエッチング又はクリーニングプロセスが終了した時を決定することに利用される。

40

#### 【0025】

堆積チャンバをクリーニングする従来のプロセスでは、製造のウエハがチャンバ除去された後、強力なエッチャントガスがチャンバ内に導入されて、他方、チャンバに高いレベルのRF電力が印加されて、エッチャントガスをプラズマ状態に励起させる。その結果、チ

50

チャンバ側壁及びペDESTALから様々な不要の堆積物除去される。例えば、反応器が通常、製造ウエハに対する窒化珪素の化学気相堆積の実施に用いられる場合は、多くの堆積サイクルにより、次に続く製造サイクル中に化学気相堆積プロセスを阻害するほどに、窒化珪素の堆積が蓄積するので、反応器を再び用いる前に除去する必要がある。

#### 【0026】

しかし、チャンバクリーニングのステップが行われて不要な堆積物全てを除去する時間の長さを決定することは難しく、またこのため、クリーニングのステップは、全ての堆積物の除去を保証するため過剰な時間行われることが通例である。しかし、不要な堆積物が除去された後、チャンバのクリーニングプロセスを続ければ、アルミニウムチャンバ壁、アルミニウムガス流入口やアルミニウムウエハ支持ペDESTALのような、チャンバ内部の露出されたあらゆる金属部材をエッチングしてしまう。このエッチングは、遂には、チャンバの部材を、交換の必要が生じるほどに損傷させてしまう。従って、不要な堆積物が全て除去されれば直ちにエッチングを終了させることができれば、エッチングチャンバ部材の寿命を伸ばすことが可能である。

10

#### 【0027】

この問題に対する我々の解決法は、チャンバクリーニング操作中にプラズマチャンバ負荷インピーダンスの変化を感知することである。プラズマインピーダンスのこのような変化はチャンバ内表面から堆積物が除去されたことを示すが、その理由は、チャンバ壁面上の堆積物の厚さは金属のチャンバ部材とプラズマ本体の間のインピーダンスに影響するからである。特に、我々の終点検出デザインは双方向カブラ12c(図2又は4)により測定されたVSWRの変化又は反射電力の変化を感知することにより、プラズマのインピーダンスの変化を感知する。最初は、典型的なチャンバクリーニングプロセスのおよそ最初の十秒間は、除去される堆積物の量は、全堆積量の中で比較的小さな分率を表しているに過ぎないため、プラズマインピーダンスの変化に認知され得る変化はない。そして、堆積物の残りの層がかなり薄くなった後は、プラズマチャンバ負荷インピーダンスは、堆積層が減り続けると共にはっきりと変化し始める。全ての堆積物ないし汚染物がチャンバ内部から除去されれば、プラズマインピーダンスの変化は停止する(又は、プラズマインピーダンスの変化の速度が、所定の閾値よりも低くなる)従って、チャンバクリーニング操作の完結は、反射RF電力が一定のレベルに達することにより(又は、反射電力の変化の速度が所定の閾値よりも低くなることにより)検知される。このとき、チャンバクリーニングプロセスは、停止される。

20

30

#### 【0028】

この目的で、チャンバクリーニング操作を停止させるアラーム信号が、図4に示されるマイクロプロセッサ70によって発生する。マイクロプロセッサ70は、プラズマインピーダンスがまず変化し始めるまで待機する(チャンバクリーニング操作の最初の十秒間)ようにプログラミングされる。その後、プロセッサは、反射RF電力が、所定の閾値の割合(例えば、ゼロでもよい)を越える変化の割合によって反射RF電力が変化しているかどうかを、連続的に調べる。最小の時間量(例えば1秒)に対して、変化の割合が所定の閾値よりも低くなれば、チャンバクリーニング操作が終了したことを指示するアラーム信号が転送される。1つの具体例では、マイクロプロセッサ70は、双方向カブラ54から反射電力出力信号18bへ、アナログ-デジタル変換器72を介して入力ポートが接続される。マイクロプロセッサ70は、定期的に反射電力信号をサンプリングし、前の処理サイクルでサンプリングされた値と比較する。その差が所定の処理サイクルの数に対して所定の値よりも低くなった場合は、マイクロプロセッサ70はユーザーに対して、チャンバクリーニング操作が終了し、チャンバ内部表面の過剰な損傷を防止するために一時停止すべきであることを指示する信号を出力する。ユーザーは、チャンバクリーニング操作を一時停止させる必要があるが、又は、ユーザーに信号を送ると共にこの信号が自動的にチャンバチャンバクリーニング操作を一時停止させるために用いられてもよい。デジタルデバイス(マイクロプロセッサ70及びアナログ-デジタル変換器72)は、「チャンバクリーニング終了」信号を与えるものとして開示されてきたが、マイクロプロセッサ70は、

40

50



専用の論理回路ないしはアナログ回路によって置き換えられてもよい。

【0029】

また、同じ終点検出プロセスがプラズマエッチングチャンバに用いられて、半導体基板からエッチングされる膜が完全に除去された時を検出することも可能である。

【0030】

固定RF整合回路を有するRF励起回路は、電力をプラズマに容量的に結合させる1対の電極や、電力をプラズマに誘導的に結合させるインダクタやアンテナのような、プラズマへRF電力を結合させるあらゆる手段と共に等しく用いることが可能である。このような電力結合デバイスのデザインは、従来技術には数多くある。

【0031】

以上、本発明は好ましい具体例に対する特定の参照事項により詳細に説明されてきたが、本発明の真の精神及び範囲から離れることなく、変形や修正が可能であることが理解されよう。

【0032】

【発明の効果】

以上詳細に説明してきたように、本発明の反応器のシステムによれば、高いRF周波数において、高価で信頼性に乏しい可変RF整合回路の使用を排除し、固定RF整合回路の使用が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1(a)は、従来の高周波数RFプラズマ反応器とRF制御システムのブロック線図である。図1(b)は、従来の低周波数RFプラズマ反応器とRF制御システムのブロック線図である。

【図2】本発明の第1の具体例のプラズマ反応器とRF制御システムのブロック線図である。

【図3】図2の具体例に対応したスミスチャートである。

【図4】本発明の第2の具体例のRFプラズマ反応器とRF制御システムのブロック線図である。

【符号の説明】

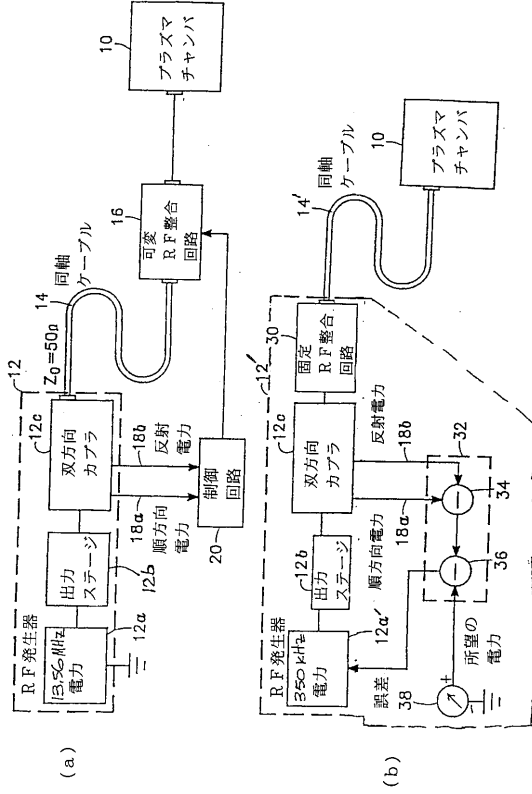
10...プラズマチャンバ、12, 12', 12''...RF発生器、14...伝達ライン、16...RF整合回路網、20...制御回路、30...固定RF整合回路網、32...制御回路、34...第1の減算器回路、36...第2の減算器回路、52...整合回路網、54...双方向カプラ、70...マイクロプロセッサ、72...アナログ-デジタル変換器。

10

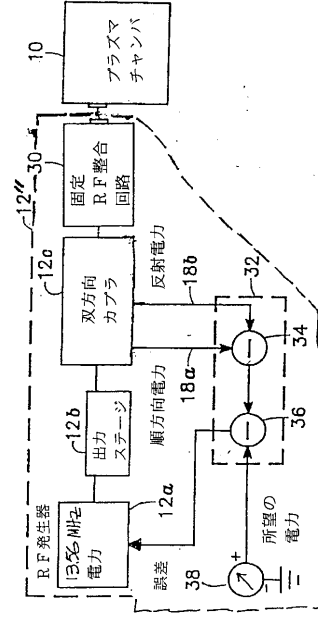
20

30

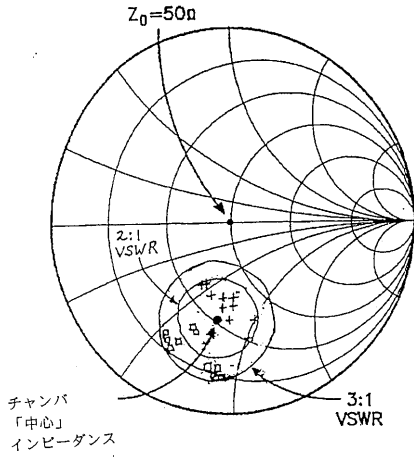
【 図 1 】



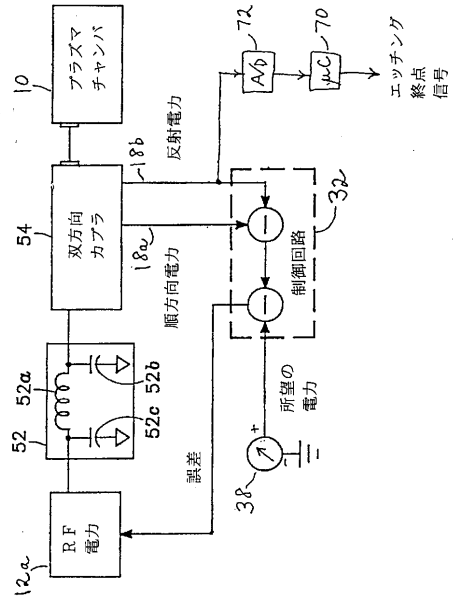
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



## フロントページの続き

- (74)代理人 100094318  
弁理士 山田 行一
- (74)代理人 100097320  
弁理士 宮川 貞二
- (72)発明者 ジュン ツアオ  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州 95035, ミルピタス, カール メサ 2050
- (72)発明者 ステファン ウルフ  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州 94086, サニーヴェール, アスター アヴェニュー  
- ナンバー2204 1035
- (72)発明者 ケネス スミス  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州 94087, サニーヴェール, クアイル アヴェニュー  
- 1618
- (72)発明者 ウィリアム ニクソン テイラー, ジュニア  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州 94568, ダブリン, メイプル ドライヴ 687  
7
- (72)発明者 ジェラルド マクナット  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州 94022, ロス アルトス ヒルズ, アムハースト  
コート 14172

審査官 北島 健次

- (56)参考文献 特開昭63-307735(JP,A)  
特開昭58-073848(JP,A)  
特開平04-343222(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H01L 21/02