

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5636038号  
(P5636038)

(45) 発行日 平成26年12月3日(2014.12.3)

(24) 登録日 平成26年10月24日(2014.10.24)

(51) Int.Cl.

H01L 21/3065 (2006.01)  
H05H 1/46 (2006.01)

F 1

H01L 21/302 101G  
H01L 21/302 101B  
H05H 1/46 M

請求項の数 12 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2012-504754 (P2012-504754)  
 (86) (22) 出願日 平成22年4月6日 (2010.4.6)  
 (65) 公表番号 特表2012-523134 (P2012-523134A)  
 (43) 公表日 平成24年9月27日 (2012.9.27)  
 (86) 國際出願番号 PCT/US2010/030019  
 (87) 國際公開番号 WO2010/117969  
 (87) 國際公開日 平成22年10月14日 (2010.10.14)  
 審査請求日 平成25年4月5日 (2013.4.5)  
 (31) 優先権主張番号 61/166,987  
 (32) 優先日 平成21年4月6日 (2009.4.6)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)  
 (31) 優先権主張番号 12/621,590  
 (32) 優先日 平成21年11月19日 (2009.11.19)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 592010081  
 ラム リサーチ コーポレーション  
 LAM RESEARCH CORPORATION  
 アメリカ合衆国, カリフォルニア 945  
 38, フレモント, クッシング パークウ  
 エイ 4650  
 (74) 代理人 110000028  
 特許業務法人明成国際特許事務所  
 (72) 発明者 マラクタノフ・アレクセイ  
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州947  
 06 アルバニー, ビアス・ストリート,  
 555, アパートメント 637

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマを用いた処理システムを動作させる方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

ガスを受け入れるための空間と、電極と、前記電極に駆動信号を供給するよう動作可能なRFドライバとを有する処理システムを動作させる方法であつて、

前記空間内にガスを供給する工程と、

第1の信号部分および第2の信号部分に基づく前記駆動信号を前記電極に供給する工程と、

前記ガスから前記空間内でプラズマを生成する工程とを備え、

前記プラズマはプラズマシースを有し、

前記プラズマシースはプラズマシース電位を有し、

前記プラズマシース電位は前記駆動信号に基づき、

時間の関数としての前記プラズマシース電位は、第1のプラズマシース電位関数部分および第2のプラズマシース電位関数部分に基づき、

前記第1のプラズマシース電位関数部分は、第1の振幅と第1の周波数とを有する連続正弦関数部分を含み、

前記第2のプラズマシース電位関数部分は、最大振幅区間と最小振幅区間とデューティサイクルとを有する正弦関数部分を含み、

前記最大振幅区間は、第2の周波数と第1の持続時間と第1の区間振幅とを有し、

前記最小振幅区間は、第2の持続時間と第2の区間振幅とを有し、

10

20

前記第1の区間振幅は、前記第2の区間振幅よりも大きく、  
前記デューティサイクルは、前記第1の持続時間および前記第2の持続時間の合計に対する前記第1の持続時間の比であり、

前記第2のプラズマシース電位関数部分は、前記第1の周波数の高調波と等しい周波数で振幅変調され、

前記駆動信号を前記電極に供給する工程では、前記第1の振幅が、前記最大振幅区間の第1の区間振幅よりも大きくなるように前記駆動信号を前記電極に供給する方法。

【請求項2】

請求項1に記載の方法であって、前記駆動信号を前記電極に供給する工程では、前記第1の持続時間が前記第2の持続時間以下になるように前記駆動信号を前記電極に供給する方法。 10

【請求項3】

請求項2に記載の方法であって、前記駆動信号を前記電極に供給する工程では、前記最大振幅区間がプラズマシース電位の振幅が最大となる期間を含むように前記駆動信号を前記電極に供給する方法。

【請求項4】

請求項1に記載の方法であって、前記駆動信号を前記電極に供給する工程では、前記最大振幅区間がプラズマシース電位の振幅が最大となる期間を含むように前記駆動信号を前記電極に供給する方法。 20

【請求項5】

請求項1の方法であって、前記高調波は第1高調波である方法。

【請求項6】

請求項1の方法であって、前記高調波は第1高調波よりも高次の高調波である方法。

【請求項7】

ガスを受け入れるよう構成された内部の空間と、前記空間内で電磁場を生成するよう動作可能な電磁場生成部とを有する処理システムを動作させる方法であって、

前記空間内にガスを供給する工程と、

前記空間内で電磁場を生成して前記ガスの少なくとも一部をプラズマに変換するよう、駆動電位で前記電磁場生成部を動作させる工程と 30  
を備え、

時間の関数としての前記駆動電位は、第1の電位関数部分および第2の電位関数部分に基づき、

前記第1の電位関数部分は、第1の振幅と第1の周波数とを有する第1の連続正弦関数部分を含み、

前記第2の電位関数部分は、最大振幅区間と最小振幅区間とデューティサイクルとを有する第2の正弦関数部分を含み、

前記第2の正弦関数部分は、前記最小振幅区間中よりも前記最大振幅区間に高い振幅を有し、

前記デューティサイクルは、前記最大振幅区間および前記最小振幅区間の合計に対する前記最大振幅区間の比であり、 40

前記第2の正弦関数部分は、さらに、第2の周波数を有し、

前記第2の正弦関数部分は、前記第1の周波数の高調波と等しい周波数で振幅変調され、

前記駆動電位で前記電磁場生成部を動作させる工程では、前記第1の振幅が、前記第2の正弦関数部分の前記最大振幅区間の振幅よりも大きくなるように前記駆動電位で前記電磁場生成部を動作させる

方法。

【請求項8】

請求項7に記載の方法であって、前記駆動電位で前記電磁場生成部を動作させる工程で 50

は、前記第1の持続時間が前記第2の持続時間以下になるように前記駆動電位で前記電磁場生成部を動作させる方法。

【請求項9】

請求項8に記載の方法であって、前記駆動電位で前記電磁場生成部を動作させる工程では、前記最大振幅区間がプラズマシース電位の振幅が最大となる期間を含むように前記駆動電位で前記電磁場生成部を動作させる方法。

【請求項10】

請求項7に記載の方法であって、前記駆動電位で前記電磁場生成部を動作させる工程では、前記最大振幅区間がプラズマシース電位の振幅が最大となる期間を含むように前記駆動電位で前記電磁場生成部を動作させる方法。

10

【請求項11】

請求項7の方法であって、前記高調波は第1高調波である方法。

【請求項12】

請求項7の方法であって、前記高調波は第1高調波よりも高次の高調波である方法。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

本願は、2009年4月6日出願された米国仮出願60/166,987に基づく優先権を主張し、当該出願に開示された全内容が参照により組み込まれよう。

【0002】

半導体製造産業においては、プラズマエッティングがウエハ処理に広く用いられている。通例、プラズマエッティングは、電気接觸を形成するために、コンタクトホールまたはトレンチなどのフィーチャを形成するのに用いられる。空間が製造における重要な検討事項であることを考慮すると、しばしば、これらのコンタクトホールは、できるだけ狭くて深いことが望ましい。かかる狭くて深いフィーチャのエッティングは、プラズマエッティング処理中に生じる様々な複雑性および困難によって、多くの難題をもたらす。

20

【0003】

図1は、従来のプラズマエッティング処理中の従来のウエハ処理システムの左側を示す断面図である。ウエハ処理システム100は、処理チャンバ102、上側電極104、静電チャック(ESC)106、および、RFドライバ110を備える。処理チャンバ102、上側電極104、および、ESC106は、プラズマ形成空間108を提供するよう構成される。RFドライバ110はESC106に電気接続されており、上側電極104は電気的に接地されている。

30

【0004】

動作中、ウエハ114が、静電力によってESC106上に保持される。ガス源(図示せず)は、プラズマ形成空間108にエッティングガスを供給する。RFドライバ110は、ESC106に駆動信号を供給して、ESC106および上側電極104の間に電圧差を提供する。電圧差は、プラズマ形成空間108内に電磁場を生成し、プラズマ形成空間108内のガスがイオン化されて、プラズマ112を形成する。プラズマ112は、ウエハ114の表面をエッティングする。

40

【0005】

従来のウエハエッティング処理の一例を、図2Aおよび図2Bを参照しつつ以下で説明する。

【0006】

図2Aは、プラズマ112が形成される前、したがって、ウエハ114上の材料がエッティングされる前の図1に示したウエハ114の断面図である。図2Aにおいて、ウエハ114は、基板200およびマスク202を備える。マスク202は、プラズマ112によってエッティングされる基板200の領域を規定するよう機能する。マスク202で覆われていない基板200の部分(非マスク領域204)はプラズマ112にさらされるため、エッティング処理中にエッティングされる。逆に、マスク202によって覆われている基板2

50

00の部分(マスク領域206)はプラズマ202にさらされないため、エッティング処理中にエッティングされない。マスク202自体も、プラズマ112にさらされ、いくらかエッティングされるが、プラズマ112の特性は、通常、マスク202のエッティング速度が基板200のエッティング速度よりもはるかに遅くなる(選択比が高くなる)ように選択されるため、マスク202は、ほとんど損なわれることがない。

#### 【0007】

図2Bは、プラズマ112が形成され、エッティング処理が始まった後のウエハ114の断面図を示す。エッティング処理中、ウエハ114の表面には、プラズマ112からの入射プラズマイオン208が衝突する。非マスク領域204において、入射プラズマイオン208は、基板200の一部をエッティング除去し、エッティングホール212を形成する。エッティング処理中、プラズマからの重合中性種の入射束は、入射プラズマイオン208と共に、露出したウエハ表面(主に、マスク202の上面)上にポリマ層210を蒸着させる。ポリマ層210の蒸着物は、一般に、マスク202の望ましくないエッティングを防ぐよう機能することにより、基板200の材料に対するエッティング処理の選択性を高める。あるいは、入射中性種およびイオン種は、マスク202のエッティング速度を低下させるよう作用することにより、基板200の材料に対するエッティング処理の選択性を高めうる。

#### 【0008】

図2Bに示すように、エッティングされたコンタクトホール212は、ホール高さ214( $h_1$ )およびホール直径216( $d_1$ )を有する。アスペクト比は、高さを直径で割ったものとして定義される。この場合、エッティングホール212のアスペクト比は、 $h_1/d_1$ と定義される。従来、エッティングホール212のように比較的アスペクト比の低いコンタクトホールは、以下でさらに詳述するように、最小限のホールの歪みで比較的容易にエッティングすることができる。しかしながら、いくつかの半導体用途では、直径が小さく非常に深いホールのエッティングを含む高アスペクト比エッティングを提供すること(高アスペクト比コンタクト(HARC)を形成することなど)への需要が高い。図3A~図5Bを参照して説明するように、HARCエッティング処理を提供するための従来の方法にはいくつかの難題がある。

#### 【0009】

図3Aおよび図3Bは、RFドライバ110によって供給される信号を時間の関数として表したグラフである。図3Cおよび図3Dは、それぞれ、図3Aおよび図3Bに示した信号に関して、イオン束をイオンエネルギーの関数として表したグラフである。

#### 【0010】

図3Aは、低周波駆動信号である関数300を含む。図3Bは、低周波部分および高周波部分で構成された駆動信号である関数302を含む。図3Cは、RFドライバ110によって供給される駆動信号として図3Aの関数300を用いた結果生じる測定イオン束をイオンエネルギーの関数として示す関数304を含む。図3Dは、RFドライバ110によって供給される駆動信号として図3Bの関数302を実装した結果生じる予測イオンエネルギー分布を示す関数310を含む。

#### 【0011】

図3Cに示すように、関数304は、低イオンエネルギーでの第1のピーク306および高イオンエネルギーでの第2のピーク308を示す。図に示すように、第1のピーク306は、第2のピーク308よりもはるかに大きい。したがって、より大きい第1のピーク306によって表されるような低いイオンエネルギーは、処理結果に影響を持つ。いくつかの処理要件にとって、高束の低エネルギーイオンを提供することが有益であると考えられる。換言すると、できるだけ低いエネルギーに、できるだけ大きいピーク306が存在することが有益である。低エネルギーイオンは、2つの理由から有益であると考えられる。第1に、低エネルギーイオンは、放電側壁によって、エッティング処理中のフィーチャの帯電を低減する。具体的には、陽イオンは、エネルギーが低いため、フィーチャ表面上の負に帯電した領域に引きつけられることにより、フィーチャの帯電を低減する。第2に、低エネルギーイオンは、エッティング処理中のポリマ蒸着に寄与して、マスクを保護しうる。

10

20

30

40

50

## 【0012】

図3Dには、参考のために関数304が点線で示されている。図3Dに示すように、関数310は、関数304のピーク306から高イオンエネルギーにシフトされた第1のピーク312を含む。さらに、関数310は、関数304のピーク308から低イオンエネルギーにシフトされた第2のピーク314を含む。同様に、図3Cを参照して説明するように、第1のピーク312で表される低イオンエネルギーは、処理結果に重大な影響を与える。

## 【0013】

図3Bに示すように駆動信号に高周波部分を付加することで、プラズマ密度が増大する。そのため、図3Dの第1のピーク312のイオンエネルギーに対応するイオン束の量は、図3Cの第1のピーク306のイオンエネルギーに対応するイオン束の量よりも多い。したがって、駆動信号に高周波部分を導入すること（関数300から関数302に切り替えること）により、イオンエネルギー分布がシフトされ、プラズマ密度およびイオン束が全体的に増大される。

## 【0014】

図4は、図3Bの関数302がRFドライバ110によって供給される駆動信号として実装されたHAR Cエッティングを提供する従来の方法でのウェハ114におけるプラズマシース電位を示すグラフである。このグラフにおいて、x軸は時間（秒）であり、y軸はウェハにおけるプラズマシース電位（V）である。時間の関数（関数400）としてのプラズマシース電位は、RFドライバ110によって供給される信号に関連する。この例において、RFドライバ110によって供給される信号は、図3Bに示すように、連続低周波部分および連続高周波部分を重畠したものを含む。したがって、図4に示すように、結果として得られるプラズマシース電位（関数400）も、RFプラズマシースで通例見られるいくらかの歪みを伴った連続低周波部分および連続高周波部分を重畠したものを含む。

## 【0015】

従来のHAR Cエッティング処理は、RFドライバ110によって印加されるような連続高周波信号および連続低周波信号の組み合わせを利用しうる。連続高周波信号は、高プラズマ密度ひいては高イオン束を実現するために用いられる。連続低周波信号は、高プラズマシース電位ひいては高イオン衝撃エネルギーを広いイオンエネルギー分布の一部として生み出すために用いられる。

## 【0016】

従来のHAR Cエッティング処理において、RFドライバ110は、第1の電力の連続高周波部分および第2の電力の連続低周波部分を重畠したものを含む駆動信号（図3Bの関数302など）をESC110に提供しうる。連続高周波部分の電力と連続低周波部分の電力との比を調整することにより、様々なプラズマ特性を調整することができるため、プラズマのエッティング特性を調整することが可能である。例えば、駆動信号の連続高周波部分の電力が比較的大きく、駆動信号の連続低周波部分の電力が比較的小さい場合、結果として得られるプラズマは、より高いプラズマ密度およびイオン束と、より低い最大イオンエネルギーとで特徴付けられる。また、駆動信号の連続高周波部分の電力を増大せると、重合プロセスを増大させることによって、コンタクト対マスクのエッティング選択比が高くなるが、エッティング停止にもつながりうる。さらに、駆動信号の連続高周波部分の電力が比較的大きいと、図5Aを参照して以下で説明するように、通例、エッティングホールの歪みが大きくなる。

## 【0017】

図5Aは、従来のHAR Cエッティング処理の結果生じうるウェハ114の断面を示す。この例では、RFドライバ110からの駆動信号は、連続高周波部分および連続低周波部分を含んでおり、駆動信号の連続高周波部分の電力は比較的大きく、駆動信号の連続低周波部分の電力は比較的小さい。この例において、駆動信号は、関数300で表されたプラズマシース電位を有するプラズマを生成する。

## 【0018】

10

20

30

40

50

この例では、エッティング処理中、入射プラズマイオン 208 が、プラズマ 112 からの中性種の入射束の存在下で、ウエハ 114 の表面に衝突する。これによって、ポリマ層 210 が、露出したウエハ表面の一部の上に蒸着される。同時に、入射プラズマイオン 208 の衝突によって、非マスク領域 204 にある基板 202 の部分がエッティング除去され、エッティングコンタクトホール 500 を形成する。エッティングホール 500 は、ホール高さ 502 (h2) およびホール直径 504 (d2) を有する。したがって、エッティングホール 500 は、アスペクト比  $h2/d2$  を有する。ここで、 $h2 > > h1$  である。結果として、エッティングホール 500 のアスペクト比は、図 2B のエッティングホール 212 のアスペクト比よりも著しく大きい。

## 【0019】

10

しかしながら、図 5A に示すように、エッティングホール 500 の壁は完全には垂直ではなく、底面は一方に捻れている（ずれています）。正確なメカニズムは完全には理解されていないが、この捻れ (twisting) 効果は、エッティングホール 500 の壁に蓄積した電荷によって説明できる。図 5B は、エッティングホール 500 の底面領域の拡大図であり、ポリマ層 210 に蓄積した電荷を示している。正の差分電荷 (positive differential charge) 506 および負の差分電荷 (negative differential charge) 508 の存在は、下向きに方向付けられた入射プラズマイオン 208 を一方に偏向させるように作用する電場を引き起こす。ここでは、イオン軌道 510 が右に曲がっているため、エッティングは、エッティングホール 500 の底面ではなく、右の面に向かって選択的に生じる。したがって、この効果により、エッティングホール 500 の歪みすなわち捻れが生じる。

## 【0020】

20

従来の H A R C エッティング処理において、エッティングされるコンタクトホールの歪みは、R F ドライバ 110 によって供給される信号の連続高周波部分の電力を低減することによって最小化することができる。しかしながら、この方法は、処理の重合特性を減少させるため、コンタクト対マスクのエッティング選択比を低下させる。また、この方法は、プラズマ密度およびイオン束を減少させ、それにより、エッティング速度を遅くする。

## 【0021】

歪みのない最良の H A R C エッティング処理結果を提供しつつ、それと同時に、スループットを高くするために高いコンタクト - マスク選択比および高エッティング速度を維持するためのシステムおよび方法が求められている。

30

## 【発明の概要】

## 【0022】

本発明の目的は、歪みのない良好な H A R C エッティング処理結果を提供しつつ、それと同時に、スループットを高くするために高いコンタクト - マスク選択比および高エッティング速度を維持するシステムおよび方法を提供することである。

## 【0023】

本発明の一態様によると、ガスを受け入れるための空間と、電極部と、R F ドライバとを有する処理システムを動作させる方法が提供されている。R F ドライバは、電極部に駆動信号を供給できる。方法は、空間内にガスを供給する工程と、第 1 の信号部分および第 2 の信号部分に基づく駆動信号を電極部に供給する工程と、空間内でガスからプラズマを生成する工程とを備える。プラズマはプラズマシースを有しており、プラズマシースは、駆動信号に基づくプラズマシース電位を有する。時間の関数としてのプラズマシース電位は、第 1 のプラズマシース電位関数部分および第 2 のプラズマシース電位関数部分を重畠したものである。第 1 のプラズマシース電位関数部分は、第 1 の振幅と第 1 の周波数とを有する連続部分を含む。第 2 のプラズマシース電位関数部分は、第 1 の部分と第 2 の部分とデューティサイクルとを有する周期的部分を含む。第 1 の部分は、第 2 の周波数と第 1 の持続時間と第 1 の部分振幅とを有する。第 2 の部分は、第 2 の持続時間と第 2 の部分振幅とを有する。第 1 の部分振幅は、第 2 の部分振幅よりも大きい。デューティサイクルは、第 1 の持続時間および第 2 の持続時間の合計に対する第 1 の持続時間の比である。第 2 のプラズマシース電位関数部分の振幅変調は、第 1 のプラズマシース電位関数部分の高調

40

50

波と等しい周波数で振幅変調される。

【0024】

本発明の一態様によると、ガスを受け入れるよう構成された内部の空間と、空間内で電磁場を生成するよう動作可能な電磁場生成部とを有する処理システムを動作させる方法が提供されている。その方法は、空間内にガスを供給する工程と、空間内で電磁場を生成してガスの少なくとも一部をプラズマに変換するように、駆動電位で電磁場生成部を動作させる工程とを備える。時間の関数としての駆動電位は、第1の電位関数部分および第2の電位関数部分に基づく。第1の電位関数部分は、第1の振幅と第1の周波数とを有する第1の連続正弦関数部分を含む。第2の電位関数部分は、最大振幅区間と最小振幅区間とデューティサイクルとを有する第2の正弦関数部分を含む。最大振幅区間中、第2の正弦関数部分は、最小振幅区間中よりも高い振幅を有する。デューティサイクルは、最大振幅区間の持続時間および最小振幅区間の持続時間の合計に対する最大振幅区間の持続時間の比である。第2の正弦関数部分は、さらに、第2の周波数を有する。第2の正弦関数部分は、第1の連続正弦関数部分の第1の周波数と等しい周波数で振幅変調される。振幅変調と第1の連続正弦関数部分との間の相対位相は制御され、可変である。

【0025】

本発明のさらなる課題、利点、および、新規の特徴については、以下の記載において部分的に説明されており、以下を検討することで当業者にとって部分的に明らかになり、また、本発明の実施によって学習されうる。本発明の課題および利点は、添付の特許請求の範囲で特に指摘された手段および組み合わせによって達成および実現されうる。

10

【図面の簡単な説明】

【0026】

明細書内で参照され明細書の一部を構成する図面は、本願の典型的な実施例を示しており、明細書の記載と共に、発明の概念を説明するのに供される。各図の内容は次の通り。

【0027】

【図1】従来のプラズマエッティング処理中の従来のウエハ処理システムの左側を示す断面図。

【0028】

【図2A】プラズマが形成される前、したがって、ウエハ上の材料がエッティングされる前の図1に示したウエハを示す断面図。

20

【0029】

【図2B】プラズマが形成され、エッティング処理が始まった後のウエハを示す断面図。

【0030】

【図3A】R F ドライバによって供給される信号を時間の関数として表したグラフ。

【0031】

【図3B】R F ドライバによって供給される信号を時間の関数として表した別のグラフ。

【0032】

【図3C】図3Aに示した信号に関して、イオン束をイオンエネルギーの関数として表したグラフ。

【0033】

【図3D】図3Bに示した信号に関して、イオン束をイオンエネルギーの関数として表したグラフ。

30

【0034】

【図4】H A R C エッティングを提供するための従来の方法でのウエハにおけるプラズマシース電位を示すグラフ。

【0035】

【図5A】従来のH A R C エッティング処理の結果生じうるウエハの断面図。

【0036】

【図5B】図5Aのエッティングされたコンタクトホールの底面領域の拡大図であり、ポリマ層に蓄積した電荷を示す図。

40

50

【0037】

【図6】本発明の一態様に従って、H A R Cエッチングを提供する方法の一例でのウエハにおけるプラズマシース電位を示すグラフ。

【0038】

【図7A】R F ドライバによって供給される信号を時間の関数として表したグラフ。

【0039】

【図7B】本発明の一態様に従って、R F ドライバによって供給される信号を時間の関数として表した別のグラフ。

【0040】

【図7C】図7Aに示した信号に関して、イオン束をイオンエネルギーの関数として表したグラフ。 10

【0041】

【図7D】図7Bに示した信号に関して、イオン束をイオンエネルギーの関数として表したグラフ。

【0042】

【図8】本発明の一態様に従って、H A R Cエッチング処理の一例を行った後のウエハを示す断面図。

【発明を実施するための形態】

【0043】

本発明の一態様によると、システムおよび方法は、コンタクトホールの歪みのない最良のH A R Cエッチングを提供しつつ、高スループットのために高エッチング速度を維持する。より詳細には、本発明の一態様によると、ガスに電磁場を作用させることによってプラズマを生成するよう動作可能な処理システムが、低周波正弦関数部分および高周波正弦関数部分に基づく時間の関数としてパラメータを制御する特定の方法で動作される。高周波正弦関数部分は、低周波正弦関数部分の高調波と等しい周波数で振幅変調される。さらに、高周波正弦関数部分は、高振幅区間および低振幅区間を含む。高周波正弦関数部分のデューティサイクルの持続時間は、高振幅区間の持続時間および低振幅区間の持続時間の合計に対する高振幅区間の持続時間の比である。高周波正弦関数部分の高振幅区間の振幅、高周波正弦関数部分の低振幅区間の振幅、高周波正弦関数部分のデューティサイクルの持続時間、および、高周波正弦関数部分と低周波正弦関数部分との間の相対位相のいずれかを調整することによって、処理システムの処理特性が正確に制御されうる。 30

【0044】

例の実施形態において、時間の関数としてのパラメータは、低周波正弦関数部分および高周波正弦関数部分に基づくプラズマシース電位である。これらの例の実施形態において、時間の関数としてのプラズマシース電位の高周波正弦関数部分は、最大振幅区間、最小振幅区間、および、デューティサイクルを有しており、時間の関数としてのプラズマシース電位は、最小振幅区間中よりも最大振幅区間に高い振幅を有し、デューティサイクルは、最大振幅区間および最小振幅区間の合計に対する最大振幅区間の比である。さらに、いくつかの例の実施形態において、時間の関数としてのプラズマシース電位の高周波正弦関数部分は、高周波正弦関数部分の最大振幅区間が低周波正弦関数部分のサイクルの最大振幅かまたはその付近で生じ、かつ、高周波正弦関数部分の最小振幅区間が低周波正弦関数部のサイクルの最小振幅かまたはその付近で生じるように、低周波正弦関数部分の高調波と等しい周波数で振幅変調される。 40

【0045】

別の例の実施形態において、時間の関数としてのパラメータは、低周波正弦関数部分および高周波正弦関数部分に基づく駆動信号である。これらの例の実施形態において、駆動信号は、低周波正弦関数部分と、高周波正弦関数部分の最大振幅区間が低周波正弦関数部分のサイクルの最小振幅かまたはその付近で生じ、かつ、高周波正弦関数部分の最小振幅区間が低周波正弦関数部分のサイクルの最大振幅かまたはその付近で生じるように、低周波正弦関数部分の高調波と等しい周波数で振幅変調された高周波正弦関数部分と、に関し 50

て記載されうる。

【0046】

ここで、本発明の一態様に従った例の実施形態について、図6～図8を参照しつつ説明する。

【0047】

図6は、本発明の一態様に従って、H A R Cエッティングを提供する方法の一例でのウエハ1114におけるプラズマシース電位を示すグラフである。このグラフにおいて、x軸は時間であり、y軸はウエハ表面におけるプラズマシース電位(V)である。時間の関数(関数600)としてのプラズマシース電位は、R Fドライバ110によって供給される信号に関連する。この例において、R Fドライバ110によって供給される信号は、結果として得られるプラズマシース電位(関数600)が連続低周波部分602および高周波部分604に基づくように提供される。例の実施形態において、連続低周波部分602は、高周波部分604の高調波と等しい周波数で振幅変調される。

10

【0048】

連続低周波部分602は、周波数および振幅を有する。高周波部分604は、最小振幅区間および最大振幅区間を含む。この例において、高周波部分604の最小振幅区間は、ゼロ振幅を有しており、高周波部分604は「オフ」であるように見える。この例において、高周波部分604の最大振幅区間は、連続低周波部分602の振幅よりも小さい振幅を有する。最大振幅区間において、高周波部分604は「オン」であるように見える。したがって、高周波部分604のデューティサイクルは、最大振幅区間および最小振幅区間の合計に対する最大振幅区間の比である。

20

【0049】

図に示すように、高周波部分604は、特定の期間中だけ「オン」である。この例において、低周波部分602の各サイクルに対して、オン期間606およびオフ期間608がある。オン期間の長さは、tONで表され、オフ期間の長さは、tOFFで表される。したがって、低周波部分602のサイクル(すなわち、期間)全体の長さは、TLF=tON+tOFFと表すことができる。サイクル全体の長さの時間に対する高周波部分604がオン状態である時間の比は、デューティサイクルと呼ばれる。したがって、デューティサイクルDは、tON/TLF、または、tON/(tON+tOFF)と表される。

30

【0050】

低周波部分602に対応するプラズマシースは、高プラズマシース電位を有し、高い衝突エネルギーを提供する。したがって、図6に示すように、低周波部分602は、非常に大きな振幅、すなわち、高周波部分604の振幅よりもはるかに大きい振幅を有する。R Fドライバ110によって提供され、低周波部分602に対応する信号は、所与の電極ギャップ、すなわち、図1の上側電極104およびE S C 106の間の距離と、所与のガス圧とに対して、プラズマが特に二次電子放出によって持続されるように選択される。二次電子放出とは、入射粒子(イオンなど)が十分なエネルギーで材料に衝突した時に、さらなる電子(二次電子と呼ばれる)が材料の表面から放出される現象である。放出されると、これらの二次電子は、加速されてプラズマ内に戻り、プラズマ内の分子をイオン化するよう作用する。

40

【0051】

一実施形態において、低周波シース電位がその振動の最小値に達し、高周波が「オフ」である期間中には、プラズマシース電位は非常に小さく、ウエハ表面には潜在的なバリアがほとんどない。この状況では、プラズマ内に閉じ込められた電子が、ウエハ表面に向かって抜け出しうる。これは、シース電位が大きい間に増大した任意の正電荷を効果的に中和しうる。したがって、この電荷の中和は、例えば図5Aおよび図5Bを参照して上述したように、従来の方法においてコンタクトホールの歪みの原因の一つと考えられる帯電効果を回避するのに役立つ。この中和は、高周波が変調されない従来の場合よりも効率的でありえる。しかしながら、本発明に従って、第1の信号および第2の信号に基づいてR Fドライバ110によって提供される信号、もしくは、第1の信号および第2の信号に基づ

50

くプラズマシース電位を生成する方法は、他の理由で提供されうることに注意されたい。

#### 【0052】

変調なしに低周波および高周波の両方が連続的に供給される従来の場合に、高周波の影響はいくつかの利点を有する。プラズマは、より高い密度を有し、より高いイオン束およびより多い重合を提供し、より高速なエッティング速度およびより良好なコンタクト対マスクのエッティング選択比につながることが期待される。しかしながら、高周波シース成分の連続的な存在は、プラズマシースの完全な崩壊を防止して、(図3Dに符号310で示すように)ウエハに到達するイオンのイオンエネルギー分布関数の下限をもたらしうるものであり、その結果、非常に低いエネルギーでウエハ表面に到達するイオン束が少なくなる。これは、以下で説明するように、非常に低いエネルギーのイオンの有益な効果を防ぎうる。あるいは、上述のように、高周波駆動関数が利用されず、低周波駆動関数のみが提供される従来の場合を考慮すると、主に二次電子放出によってプラズマが維持される。ウエハにおけるプラズマシース電位が特定の閾値よりも低い点まで減少すると、プラズマシースは「崩壊」し始める。プラズマシース電位が0(LF最小値610)に近づくと、イオンは非常に低いエネルギーでウエハ表面に到達し、コンタクトホール壁の表面上に負電荷が蓄積した領域に引きつけられうる。これによって、蒸着されたポリマ層または既存の誘電体膜の電荷を中和して、エッティングホールの歪みを生じる帯電効果を回避することができる。これは、低周波のみのレジームの利点である。しかしながら、低周波のみのレジームでは、通例、イオン束および重合が比較的低く、比較的低いエッティング速度およびコンタクト・マスク・エッティング選択比につながる。したがって、本発明に従った態様は、適切な組み合わせのパラメータで用いられた場合に、低周波のみの場合の電荷を中和する利点と、高周波の場合の高エッティング速度および高コンタクト・マスク選択比という利点とを兼ね備えうる。

#### 【0053】

「オン」期間606中のプラズマは、より高い密度を有し、より高いイオン束およびより多い重合を提供し、より高速なエッティング速度およびより良好なコンタクト・マスク・エッティング選択比につながることが期待される。図6に示すように、オン期間606中、高周波部分604の振幅は、低周波部分602の振幅よりもはるかに小さい。RFドライバ110によって提供され、高周波部分604に対応する信号は、RF電力をプラズマ内の電子に伝達してプラズマ密度を高めるのに十分な時間を提供するために、ウエハにおけるプラズマシース電位がオン期間606中に十分なRFサイクルを有するように選択される。

#### 【0054】

要するに、オン期間606中には、高周波部分604がオン状態であるため、プラズマは、より高いプラズマ密度およびより高いイオン束を示す。したがって、この期間中には、エッティング速度が比較的高い。また、プラズマシース電位が高いことによって、イオン衝突エネルギーが非常に高くなる。次いで、オフ期間608が始まると、RFドライバ110によって提供され、高周波部分604に対応する信号は、オフにされる。この時点で、低周波部分602のみが、ウエハにおけるプラズマシース電位に存在するため、イオン束は低く、エッティング速度は遅くなる。しかし、オン期間に高周波部分によって生み出されたより高い重合が、オフ期間中、ある程度持続するため、より良好なコンタクト・マスク・エッティング選択比につながる。

#### 【0055】

このように、RFドライバ110が、本発明の一態様に従って連続低周波部分602および高周波部分604に基づくプラズマシース電位をもたらす信号を提供することを可能にすることにより、(オン期間606の効果によって)速いエッティング速度および良好な選択比を実現すると共に、(オフ期間608の効果によって)歪みを引き起こしうるフィーチャの帯電を低減することができる。

#### 【0056】

本発明に従って、第1の信号および第2の信号に基づいてRFドライバ110によって

提供される信号、もしくは、第1の信号および第2の信号に基づくプラズマシース電位を生成する方法の利点の根拠を提供する他のメカニズムが存在しうることに注意されたい。非限定的なメカニズムの一例は、オフ期間608中の電子加熱がオン期間606中の電子加熱と大きく異なるために、オフ期間608中のプラズマ化学がオン期間中606のプラズマ化学と異なることに關する。したがって、本発明の一態様によると、第1の信号および第2の信号に基づいてRFドライバ110によって提供される信号、もしくは、第1の信号および第2の信号に基づくプラズマシース電位を生成する方法は、二重周波数駆動信号条件の高イオン束と併せて、低周波（のみの）駆動信号条件に近いプラズマ化学を実現するために用いられてもよい。

## 【0057】

10

図6を参照した上述の例では、高周波数部604のデューティサイクルは、1/2よりも短い。より具体的には、オン期間606は135ns、オフ期間608は約340nsであり、その結果、高周波部分604のデューティサイクルは約28%になる。別の実施形態において、高周波部分604のデューティサイクルは、1/2以上であってもよい。デューティサイクルは、必要とされるエッティングパラメータを実現するように選択されてよい。例えば、デューティサイクルを大きくすれば、より速いエッティング速度を実現できる。しかしながら、デューティサイクルを大きくすると、蒸着されたポリマ層内での中和をさらに低減しうるため、歪みを促進することになる。したがって、デューティサイクルの選択により、エッティング速度を最適化し、歪みを最小化することができる。

## 【0058】

20

図6を参照して上述した例では、時間の関数としてのプラズマシース電位は、RFドライバ110によってESC106に供給された特定のタイプのRF駆動信号の結果である。このタイプのRF駆動信号については、図7A～図7Dを参照しつつ以下で詳述する。

## 【0059】

図7Aおよび図7Bは、RFドライバ110によって供給される信号を時間の関数として表したグラフである。図7Cおよび図7Dは、それぞれ、図7Aおよび図7Bに示した信号について、予測イオン束をイオンエネルギーの関数として表したグラフである。

## 【0060】

図7Aは、低周波部分および高周波部分を含んだ駆動信号である関数700を含む。関数700の高周波部分は、「オン」部分702と、低周波部分の高調波に等しい周波数で振幅変調された「オフ」部分704とを含み、オン部分702は低周波部分の最大電位で生じ、オフ部分704は低周波部分の最小電位で生じるようになっている。

30

## 【0061】

図7Bは、低周波部分および高周波部分を含んだ駆動信号である関数706を含む。関数706の高周波部分は、「オン」部分708と、低周波部分の高調波に等しい周波数で振幅変調された「オフ」部分710とを含み、オン部分708は低周波部分の最小電位で生じ、オフ部分710は低周波部分の最大電位で生じるようになっている。

## 【0062】

図7Cは、RFドライバ110によって供給される駆動信号として図7Aの関数700を用いた結果生じる予測イオン束をイオンエネルギーの関数として示す関数712を含む。図7Cに示すように、関数712は、低イオンエネルギーに対する第1のピーク714および高イオンエネルギーに対する第2のピーク716を示す。図に示すように、第1のピーク714は、第2のピーク716よりもはるかに大きい。より大きい第1のピーク714によって表された低イオンエネルギーは、処理結果に対して特定の効果を与え、より小さい第2のピーク716によって表された高イオンエネルギーは、処理結果に対して異なる効果を与える。本発明によると、RFドライバ110によって供給される駆動信号の制御を通して各効果の量を制御することにより、処理結果をより正確に制御することができる。

40

## 【0063】

図7Cには、参照のために図3Cの関数304（低周波のみの駆動信号に対応する）が点線で示されている。図7Cにおいて、第1のピーク714は、関数304の第1のピー

50

ク306から高イオンエネルギーにシフトされていることは明らかである。さらに、第2のピーク716は、関数304の第2のピーク308から低イオンエネルギーにシフトされていることは明らかである。また、第1のピーク714のイオンエネルギーに対応するイオン束の量は、第1のピーク306のイオンエネルギーに対応するイオン束の量よりも多いことに注意されたい。したがって、関数700を駆動信号として用いると、関数300を駆動信号として用いる場合に比べて、プラズマ密度およびイオン束が全体的に増大する。

#### 【0064】

図7Dは、RFドライバ110によって供給される駆動信号として図7Bの関数706を実装した結果生じる予測イオンエネルギー分布を示す関数718を含む。図7Dには、参考のために関数304が点線で示されている。

10

#### 【0065】

図に示すように、関数718は、低イオンエネルギーに対する第1のピーク720および高イオンエネルギーに対する第2のピーク722を含む。より大きい第1のピーク720によって表された低イオンエネルギーは、処理結果に対して特定の効果を与え、より小さい第2のピーク722によって表された高イオンエネルギーは、処理結果に対して異なる効果を与える。本発明によると、RFドライバ110によって供給される駆動信号の制御を通して各効果の量を制御することにより、処理結果をより正確に制御することができる。

#### 【0066】

第1のピーク720は、関数304の第1のピーク306のイオンエネルギーから異なるイオンエネルギーへ大幅にはシフトされていない。第2のピーク722は、第2のピーク308のイオンエネルギーから低いイオンエネルギーへシフトされている。

20

#### 【0067】

図3Dおよび図7Cに関して上述した状況と同様に、第1のピーク720のイオン束の量は、ピーク306のイオン束の量よりもはるかに大きく、プラズマ密度の増大を示唆する。しかしながら、図3Dおよび図7Cに関して上述した状況と異なり、第1のピーク720のイオン束は、関数304の第1のピーク306のイオンエネルギーから異なるイオンエネルギーへ大幅にはシフトされていない。関数706に示すように、本発明の一態様に従った駆動信号は、プラズマ密度およびイオン束を全体的に増大させ、同時に、低エネルギーイオンの存在を維持する。このイオンエネルギー分布は、連続的な多周波励起を組み合わせることによっては実現不可能であり、本発明に特有の結果である。低エネルギーイオンの存在は、トレンチの側壁に蓄積した電荷を放電する助けとなることによって帯電効果を低減する助けとなりうるものであり、変調された高周波信号によって導入された比較的高いイオン束および比較的多い重合反応は、エッチング速度およびコンタクト・マスク選択比を改善する傾向があるため、これは、HARCエッチング処理に有効である。

30

#### 【0068】

したがって、本発明の一態様に従った一実施形態は、図6の関数600の形態のプラズマシース電位を得ることができるように、図7Bの関数706の形態のRF駆動信号を実装することである。電位が測定される方法により、図6の関数600に関連するプラズマシース電位の結果は、図7Bの関数706に関連する駆動信号の電位と極性が逆になることに注意されたい。

40

#### 【0069】

図6および図7を参照して上述した実施形態について、図1のウエハ処理システムを参照してさらに説明する。ただし、本発明の一態様は、図1のウエハ処理システムに限定されないことに注意されたい。逆に、本発明の一態様は、印加された電磁場によってプラズマを生成するよう動作可能な任意のウエハ処理システムと共に利用されてよい。かかるシステムは、容量結合プラズマ処理システムまたは誘導結合プラズマ処理システムを含むが、これらに限定されない。この観点から、プラズマを生成するために電磁場を印加する任意の周知の方法が、本発明に従って利用されてよい。図1を参照して上述した例では、駆動信号は単一の電極に印加される。別の実施形態では、複数の活性電極がプラズマ形成空間の周りに配置されてよく、プラズマ形成空間は、ガスを受け入れるように構成される。

50

これらの実施形態では、プラズマ形成空間内に電磁場を生成してガスからプラズマを発生させ、本発明に従ったプラズマシース電位を得るために、複数の電極に複数の信号が供給されてよい。

【0070】

図6および図7Dを参照して上述した実施形態において、結果として得られるプラズマシース電位(関数600)は、2つの部分、すなわち、連続低周波部分602および高周波部分604に基づく。しかしながら、別の実施形態は、3つ以上の部分、例えば、連続低周波部分および複数の非連続高周波部分に基づくプラズマシース電位を有するプラズマ生成を含んでもよいことに注意されたい。

【0071】

図6および図7を参照して上述した実施形態では、連続低周波部分602は、オン期間606が低周波部分602の最大振幅区間を中心とするように、高周波部分604の高調波と等しい周波数で振幅変調される。しかしながら、別の実施形態では、連続低周波部分602は、オン期間606が低周波部分602の最大振幅区間から中心をずらして配置されるように、高周波部分604の高調波と等しい周波数で振幅変調されてもよい。低周波部分602の最大振幅区間の中心に対するオン期間606の具体的な配置により、所望の通りにエッティング特性が修正される。

【0072】

ここで、本発明の一態様の利点について、図8を参照しつつ詳述する。

【0073】

図8は、本発明の一態様に従って、H A R Cエッティング処理の一例を行った後のウエハ114を示す断面図である。

【0074】

図に示すように、入射プラズマイオン208が、ウエハ114の表面に衝突し、非マスク領域204の基板200の部分をエッティングして、エッティングホール800を形成する。同時に、入射プラズマイオン208は、重合中性種の入射束と共に、ポリマ層210を形成する。エッティングホール800は、ホール高さ802(h3)およびホール直径804(d3)を有する。したがって、エッティングホール800は、アスペクト比h3/d3を有する。ここで、図2Bを参照して上述した従来の方法と比べると、h3>>h1である。結果として、エッティングホール500のアスペクト比は、図2Bのエッティングホール212のアスペクト比よりも著しく大きい。

【0075】

図8に示すように、イオン軌道806は、完全に垂直であり、エッティングホール800の側壁は真っ直ぐで、歪みすなわち捻れがない。これは、図6に示したようなオフ期間中に、ポリマ層210における電荷が中和されるため、相当量の電荷がポリマ層210に蓄積することが防止されるからである。帯電効果がごく小さいため、イオン軌道806をそらす電場が存在せず、ごく小さい歪みすなわち捻れしか持たないエッティングホール800(高アスペクト比のコンタクトホール)の形成が可能になる。

【0076】

本発明の一態様によると、歪みがなく高エッティング速度および選択比を有する最良のH A R Cエッティング結果を提供するために、一構成のR F波形がウエハ処理システムに適用される。適用されるR F信号、ひいては、ウエハにおけるプラズマシース電位は、連続低周波部分および高周波部分を備える。R F信号の高周波部分は、低周波サイクルの低電圧部分の間にのみ最大振幅を有し、他のすべての期間には最小振幅を有する(オフにされる)。したがって、結果としてウエハで生じるプラズマシース電位は、低周波サイクルの高電圧部分(オン期間)の間にのみ最大振幅を有し、他のすべての期間(オフ期間)に最小振幅を有する高周波部分を備える。そのため、オン期間中のプラズマは、高プラズマ密度および高イオンエネルギーを示し、オフ期間中のプラズマは、パルスD C放電のように振る舞う。時間平均したオン期間の効果は、プラズマの化学的性質をより重合能の高いものにして、選択比の改善に寄与することである。このように、オン期間は、高速のエッティング

10

20

30

40

50

速度および良好なコンタクト・マスク選択比を提供し、オフ期間は、コンタクトホールの側壁に蓄積した電荷を中和する時間を見ることによって歪みを低減する。

#### 【0077】

上述のように、本発明の一態様によると、ガスに電磁場を作用させることによってプラズマを生成するよう動作可能な処理システムが、特定の方法で動作される。この特定の方法は、低周波正弦関数部分および高周波正弦関数部分に基づく時間の関数としてのパラメータを制御する。高周波正弦関数部分は、低周波正弦関数部分の高調波と等しい周波数で振幅変調される。

#### 【0078】

いくつかの実施形態において、処理システムが動作される特定の方法は、高周波正弦関数部分と低周波正弦関数部分との間の位相を調整して、処理システム内の処理を調整することに関する。いくつかの実施形態において、パラメータはプラズマシース電位に関し、別の実施形態において、パラメータは駆動信号に関する。

10

#### 【0079】

さらに、本発明の一態様によると、高周波正弦関数部分は、高振幅区間および低振幅区間を備える。いくつかの実施形態において、処理システムが動作される特定の方法は、高振幅区間の振幅および低振幅区間の振幅の少なくとも一方を調整して、処理システム内の処理を調整することに関する。いくつかの実施形態において、パラメータはプラズマシース電位に関し、別の実施形態において、パラメータは駆動信号に関する。

#### 【0080】

20

さらに、本発明の一態様によると、高周波正弦関数部分のデューティサイクルの持続時間は、高振幅区間の持続時間および低振幅区間の持続時間の合計に対する高振幅区間の持続時間の比である。いくつかの実施形態において、処理システムが動作される特定の方法は、高周波正弦関数部分のデューティサイクルの持続時間を調整して、処理システム内の処理を調整することに関する。いくつかの実施形態において、パラメータはプラズマシース電位に関し、別の実施形態において、パラメータは駆動信号に関する。

#### 【0081】

上述のように、本発明の一態様は、時間の関数としてのプラズマシース電位の高周波正弦関数部分が、低周波正弦関数部分の高調波と等しい周波数で振幅変調されることに関する。上述の例のいくつかでは、時間の関数としてのプラズマシース電位の高周波正弦関数部分が、低周波正弦関数部分の第1高調波と等しい周波数で振幅変調される。特定の例において、第1高調波における相対位相差は、低周波正弦関数部分のサイクルの最大振幅かまたはその付近に高周波正弦関数部分の最大振幅区間を提供し、低周波正弦関数部分のサイクルの最小振幅かまたはその付近に高周波正弦関数部分の最小振幅区間を提供する。別の例では、時間の関数としてのプラズマシース電位の高周波正弦関数部分が、低周波正弦関数部分の第n高調波と等しい周波数で振幅変調される(nは、整数)。かかる例では、n個の高周波正弦関数部分が、低周波正弦関数部分における異なる部分に生じうる。

30

#### 【0082】

上述のように、本発明の一態様は、時間の関数としての駆動信号の高周波正弦関数部分が、低周波正弦関数部分の高調波と等しい周波数で振幅変調されることに関する。上述の例のいくつかでは、時間の関数としての駆動信号の高周波正弦関数部分が、低周波正弦関数部分の第1高調波と等しい周波数で振幅変調される。特定の例において、第1高調波における相対位相差は、低周波正弦関数部分のサイクルの最小振幅かまたはその付近に高周波正弦関数部分の最大振幅区間を提供し、低周波正弦関数部分のサイクルの最大振幅かまたはその付近に高周波正弦関数部分の最小振幅区間を提供する。別の例では、時間の関数としてのプラズマシース電位の高周波正弦関数部分が、低周波正弦関数部分の第n高調波と等しい周波数で振幅変調される(nは、整数)。かかる例では、n個の高周波正弦関数部分が、低周波正弦関数部分における異なる部分に生じうる。

40

#### 【0083】

上述の実施形態は、エッチングに関連する。しかしながら、本発明の態様はエッチング

50

に限定されないことに注意されたい。逆に、本発明の態様は、任意の処理を行うために、印加された電磁場によってプラズマを生成するよう動作可能な任意のウエハ処理システムと共に利用されてよい。かかる処理の例としては、蒸着、インプランテーション、自動洗浄などが含まれるが、これらに限定されない。

【0084】

高周波正弦関数部分の高振幅区間の振幅、高周波正弦関数部分の低振幅区間の振幅、高周波正弦関数部分のデューティサイクルの持続時間、高周波正弦関数部分と低周波正弦関数部分との間の相対位相、および、高周波正弦関数部分の振幅変調高調波のいずれかを調整することによって、処理システムの処理特性を正確に制御することができる。

【0085】

本発明の様々な好ましい実施形態に関するこれまでの記載は、説明を目的としたものである。つまり、本発明を網羅するものでも、開示された正確な形態に本発明を限定するものでもなく、上述の教示に基づき、多くの変形例および変更例が可能であることは明らかである。上述した代表的な実施形態は、本発明の原理および実際の応用を最も良く説明することで、当業者が、様々な実施形態、および、想定される特定の利用に適した様々な変形例で、本発明を最適に利用できるようにするために、選択され記載されたものである。本発明の範囲は、添付の特許請求の範囲によって規定される。

本発明は例えば以下の適用例としても実施することができる。

[適用例1] ガスを受け入れるための空間と、電極部と、前記電極部に駆動信号を供給するよう動作可能なRFドライバとを有する処理システムを動作させる方法であって、

前記空間内にガスを供給する工程と、

第1の信号部分および第2の信号部分に基づく前記駆動信号を前記電極部に供給する工程と、

前記ガスから前記空間内でプラズマを生成する工程とを備え、

前記プラズマはプラズマシースを有し、

前記プラズマシースはプラズマシース電位を有し、

前記プラズマシース電位は前記駆動信号に基づき、

時間の関数としての前記プラズマシース電位は、第1のプラズマシース電位関数部分および第2のプラズマシース電位関数部分に基づき、

前記第1のプラズマシース電位関数部分は、第1の振幅と第1の周波数とを有する連続正弦関数部分を含み、

前記第2のプラズマシース電位関数部分は、最大振幅区間と最小振幅区間とデューティサイクルとを有する正弦関数部分を含み、

前記最大振幅区間は、第2の周波数と第1の持続時間と第1の区間振幅とを有し、

前記最小振幅区間は、第2の持続時間と第2の区間振幅とを有し、

前記第1の区間振幅は、前記第2の区間振幅よりも大きく、

前記デューティサイクルは、前記第1の持続時間および前記第2の持続時間の合計に対する前記第1の持続時間の比であり、

前記第2のプラズマシース電位関数部分は、前記第1の周波数の高調波と等しい周波数で振幅変調される方法。

[適用例2] 適用例1に記載の方法であって、前記駆動信号を前記電極に供給する工程は、前記第1の振幅が前記第2の振幅よりも大きくなるように前記駆動信号を前記電極に供給する工程を含む方法。

[適用例3] 適用例2に記載の方法であって、前記駆動信号を前記電極に供給する工程は、前記第1の持続時間が前記第2の持続時間以下になるように前記駆動信号を前記電極に供給する工程を含む方法。

[適用例4] 適用例3に記載の方法であって、前記駆動信号を前記電極に供給する工程は、前記最大振幅区間が最大プラズマシース電位と一致するように前記駆動信号を前記電極に供給する工程を含む方法。

10

20

30

40

50

[適用例5] 適用例2に記載の方法であって、前記駆動信号を前記電極に供給する工程は、前記最大振幅区間が最大プラズマシース電位と一致するように前記駆動信号を前記電極に供給する工程を含む方法。

[適用例6] 適用例1に記載の方法であって、前記駆動信号を前記電極に供給する工程は、前記第1の持続時間が前記第2の持続時間以下になるように前記駆動信号を前記電極に供給する工程を含む方法。

[適用例7] 適用例6に記載の方法であって、前記駆動信号を前記電極に供給する工程は、前記最大振幅区間が最大プラズマシース電位と一致するように前記駆動信号を前記電極に供給する工程を含む方法。

[適用例8] 適用例1に記載の方法であって、前記駆動信号を前記電極に供給する工程は、前記最大振幅区間が最大プラズマシース電位と一致するように前記駆動信号を前記電極に供給する工程を含む方法。

[適用例9] 適用例1の方法であって、前記高調波は第1高調波である方法。

[適用例10] 適用例1の方法であって、前記高調波は第1高調波よりも高次の高調波である方法。

[適用例11] ガスを受け入れるよう構成された内部の空間と、前記空間内で電磁場を生成するよう動作可能な電磁場生成部とを有する処理システムを動作させる方法であって、前記空間内にガスを供給する工程と、

前記空間内で電磁場を生成して前記ガスの少なくとも一部をプラズマに変換するよう、駆動電位で前記電磁場生成部を動作させる工程と  
を備え、

時間の関数としての前記駆動電位は、第1の電位関数部分および第2の電位関数部分に基づき、

前記第1の電位関数部分は、第1の振幅と第1の周波数とを有する第1の連続正弦関数部分を含み、

前記第2の電位関数部分は、最大振幅区間と最小振幅区間とデューティサイクルとを有する第2の正弦関数部分を含み、

前記第2の正弦関数部分は、前記最小振幅区間中よりも前記最大振幅区間中に高い振幅を有し、

前記デューティサイクルは、前記最大振幅区間および前記最小振幅区間の合計に対する前記最大振幅区間の比であり、

前記第2の正弦関数部分は、さらに、第2の周波数を有し、

前記第2の正弦関数部分は、前記第1の周波数の高調波と等しい周波数で振幅変調される方法。

[適用例12] 適用例11に記載の方法であって、前記駆動信号を前記電極に供給する工程は、前記第1の振幅が前記第2の振幅よりも大きくなるように前記駆動信号を前記電極に供給する工程を含む方法。

[適用例13] 適用例12に記載の方法であって、前記駆動信号を前記電極に供給する工程は、前記第1の持続時間が前記第2の持続時間以下になるように前記駆動信号を前記電極に供給する工程を含む方法。

[適用例14] 適用例13に記載の方法であって、前記駆動信号を前記電極に供給する工程は、前記最大振幅区間が最大プラズマシース電位と一致するように前記駆動信号を前記電極に供給する工程を含む方法。

[適用例15] 適用例12に記載の方法であって、前記駆動信号を前記電極に供給する工程は、前記最大振幅区間が最大プラズマシース電位と一致するように前記駆動信号を前記電極に供給する工程を含む方法。

[適用例16] 適用例11に記載の方法であって、前記駆動信号を前記電極に供給する工程は、前記第1の持続時間が前記第2の持続時間以下になるように前記駆動信号を前記電極に供給する工程を含む方法。

[適用例17] 適用例16に記載の方法であって、前記駆動信号を前記電極に供給する工

10

20

30

40

50

程は、前記最大振幅区間が最大プラズマシース電位と一致するように前記駆動信号を前記電極に供給する工程を含む方法。

【適用例 18】適用例 11 に記載の方法であって、前記駆動信号を前記電極に供給する工程は、前記最大振幅区間が最大プラズマシース電位と一致するように前記駆動信号を前記電極に供給する工程を含む方法。

【適用例 19】適用例 11 の方法であって、前記高調波は第 1 高調波である方法。

【適用例 20】適用例 11 の方法であって、前記高調波は第 1 高調波よりも高次の高調波である方法。

【図 1】

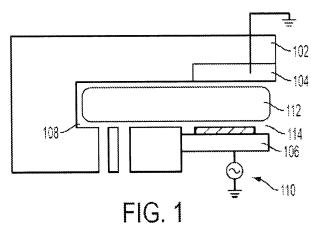


FIG. 1

【図 3 A】

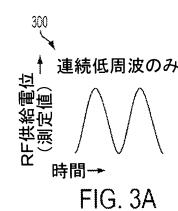


FIG. 3A

【図 2 A】

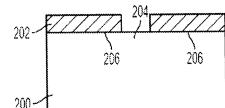


FIG. 2A

【図 3 B】

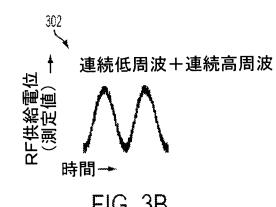


FIG. 3B

【図 2 B】

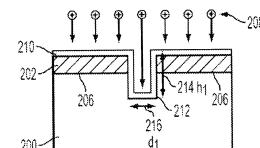


FIG. 2B

【図 3 C】

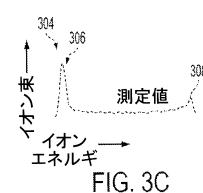


FIG. 3C

【図3D】

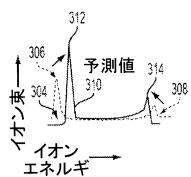


FIG. 3D

【図4】

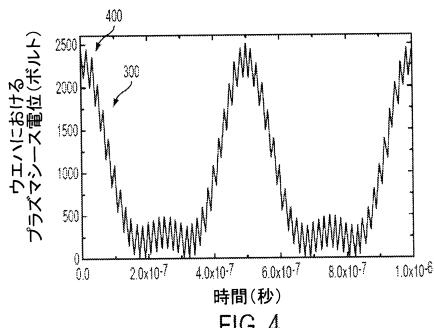


FIG. 4

【図5A】

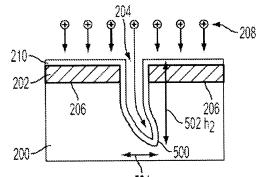


FIG. 5A

【図7B】

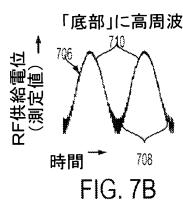


FIG. 7B

【図7C】

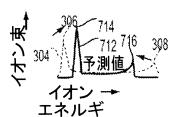


FIG. 7C

【図7D】

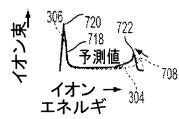


FIG. 7D

【図5B】

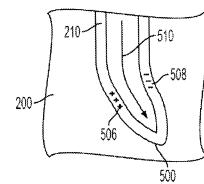


FIG. 5B

【図6】

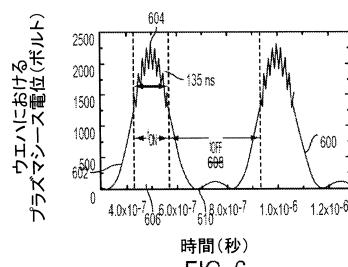


FIG. 6

【図7A】

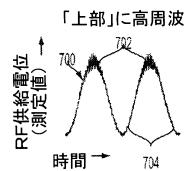


FIG. 7A

【図8】

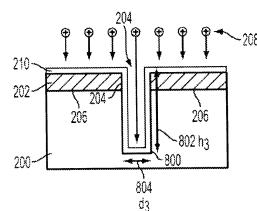


FIG. 8

---

フロントページの続き

(72)発明者 ハドソン・エリック

アメリカ合衆国 カリフォルニア州94707 バークレー, カタリーナ・アベニュー, 1820

(72)発明者 ディンドサ・ラジンダー

アメリカ合衆国 カリフォルニア州95148 サン・ホセ, ローリングサイド・ドライブ, 36  
70

(72)発明者 ベイリー・アンドリュー

アメリカ合衆国 カリフォルニア州94588 プレザントン, セージウッド・コート, 3363

審査官 井上 由美子

(56)参考文献 特開平10-041281 (JP, A)

特開2000-269198 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065

H05H 1/46