

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号  
特許第6276704号  
(P6276704)

(45) 発行日 平成30年2月7日 (2018.2.7)

(24) 登録日 平成30年1月19日 (2018.1.19)

(51) Int. Cl.

F I

HO 1 L 21/3065 (2006.01)

HO 5 H 1/46 (2006.01)

HO 1 L 21/302 1 O 1 G

HO 5 H 1/46 M

HO 5 H 1/46 L

請求項の数 32 (全 27 頁)

|               |                               |           |                       |
|---------------|-------------------------------|-----------|-----------------------|
| (21) 出願番号     | 特願2014-549582 (P2014-549582)  | (73) 特許権者 | 592010081             |
| (86) (22) 出願日 | 平成24年12月17日 (2012.12.17)      |           | ラム リサーチ コーポレーション      |
| (65) 公表番号     | 特表2015-505421 (P2015-505421A) |           | LAM RESEARCH CORPOR   |
| (43) 公表日      | 平成27年2月19日 (2015.2.19)        |           | ATION                 |
| (86) 国際出願番号   | PCT/IB2012/057385             |           | アメリカ合衆国, カリフォルニア 945  |
| (87) 国際公開番号   | W02013/098702                 |           | 38, フレモント, クッシング パークウ |
| (87) 国際公開日    | 平成25年7月4日 (2013.7.4)          |           | エイ 4650               |
| 審査請求日         | 平成27年12月16日 (2015.12.16)      | (74) 代理人  | 110000028             |
| (31) 優先権主張番号  | 61/581,054                    |           | 特許業務法人明成国際特許事務所       |
| (32) 優先日      | 平成23年12月28日 (2011.12.28)      | (72) 発明者  | ジェイコブス・カナリク・ケレン       |
| (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940   |
| (31) 優先権主張番号  | 13/550,548                    |           | 24 ロス・アルトス, サマーヒル・アベ  |
| (32) 優先日      | 平成24年7月16日 (2012.7.16)        |           | ニュー, 24481            |
| (33) 優先権主張国   | 米国 (US)                       | 審査官       | 鈴木 聡一郎                |
| 前置審査          |                               |           | 最終頁に続く                |

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理システムにおける混合モードパルスングエッチング

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

混同モードパルスングを用いて基板を処理するためのプラズマ処理システムであって、  
基板と、  
前記基板を処理するためのプラズマ処理チャンバと、  
前記プラズマ処理チャンバの内部領域のなかのワークピースホルダと、  
少なくとも1つのプラズマ発生ソースと、  
前記プラズマ処理チャンバの前記内部領域に少なくとも第1の反応性ガスを供給するた  
めの少なくとも1つの反応性ガスソースと、  
前記プラズマ処理チャンバの前記内部領域に少なくとも第1の非反応性ガスを供給する  
ための少なくとも1つの非反応性ガスソースと、  
有形コンピュータ可読媒体であって、  
(a) 前記内部領域のなかで前記ワークピースホルダの上に前記基板を配することと、  
(b) 混同モードパルスング (MMP) 準備位相を実施することであって、  
前記第1の反応性ガスを前記内部領域に流入させることと、  
前記第1の反応性ガスを、第1のRF周波数を有する第1のRF信号によって励起し、  
前記第1のRF信号は、チャージングされた周波数を有するRF信号を表すことと、  
少なくとも前記第1の反応性ガスを用いて第1のプラズマを発生させ、前記第1のプ  
ラズマによって前記基板を処理することと、  
を含む、ことと、

10

(c) 混同モードパルシング(MMP)反応位相を実施することであって、  
少なくとも前記第1の非反応性ガスを前記内部領域に流入させることと、  
少なくとも前記第1の非反応性ガスを用いて第2のプラズマを発生させ、前記第2のプラズマによって前記基板を処理することであって、前記第2のプラズマは、前記MMP反応位相において、前記MMP準備位相における前記第1の反応性ガスの流量未満の流量の前記第1の反応性ガスによって発生することと、  
前記第1の反応性ガスとは異なる第2の反応性ガスを前記内部領域に流入させることと

(d) 前記工程(b)及び(c)を複数回にわたって繰り返すことと、  
を前記プラズマ処理システムに実行させるためのコンピュータ可読命令を記憶する有形コンピュータ可読媒体と、 10  
を備える、プラズマ処理システム。

【請求項2】

請求項1に記載のシステムであって、更に、  
前記MMP反応位相において、前記内部領域に第1の反応性ガスが流入されないことを規定するためのコンピュータ可読命令を備える、システム。

【請求項3】

請求項1に記載のシステムであって、  
前記プラズマ処理チャンバは、誘導結合プラズマ処理チャンバを含む、システム。

【請求項4】

請求項1に記載のシステムであって、  
前記プラズマ処理チャンバは、容量結合プラズマ処理チャンバを含む、システム。

【請求項5】

請求項1に記載のシステムであって、  
前記少なくとも1つの非反応性ガスソースは、更に、第2の非反応性ガスを供給し、  
前記有形コンピュータ可読媒体は、更に、前記第2の非反応性ガスが、前記MMP準備位相において前記内部領域に流入されることを規定するためのコンピュータ可読命令を記憶することを備える、システム。

【請求項6】

請求項1に記載のシステムであって、更に、 30  
前記第1の非反応性ガスが、前記MMP準備位相において前記内部領域に流入されることを規定するためのコンピュータ可読命令を備える、システム。

【請求項7】

請求項1に記載のシステムであって、更に、  
前記MMP準備位相において、前記ワークピースホルダにバイアス電力が印加されないことを規定するためのコンピュータ可読命令を備える、システム。

【請求項8】

請求項7に記載のシステムであって、更に、  
前記MMP反応位相において、ゼロを超えるバイアス電力レベルを有するバイアス電力が前記ワークピースホルダに印加されることを規定するためのコンピュータ可読命令を備える、システム。 40

【請求項9】

請求項1に記載のシステムであって、更に、  
前記MMP反応位相において、第1の反応性ガスが流されないことを規定するためのコンピュータ可読命令を備える、システム。

【請求項10】

請求項1に記載のシステムであって、更に、  
前記MMP準備位相において、前記ワークピースホルダに第1のバイアス電力が印加され、前記MMP反応位相において、前記第1のバイアス電力の電力レベルとは異なる電力レベルを有する第2のバイアス電力が前記ワークピースホルダに印加されることを規定す 50

るためのコンピュータ可読命令を備える、システム。

【請求項 1 1】

請求項 1 0 に記載のシステムであって、更に、

前記第 2 のバイアス電力の前記電力レベルが、前記第 1 のバイアス電力の前記電力レベルよりも高いことを規定するためのコンピュータ可読命令を備える、システム。

【請求項 1 2】

請求項 1 に記載のシステムであって、更に、

前記プラズマ処理チャンバが、前記 M M P 反応位相において、前記基板の表面上の前記第 1 の反応性ガスの原子が吸着した吸着層をエッチングするために必要とされるよりも高いが前記基板の前記第 1 の反応性ガスの原子が吸着していない非吸着層をエッチングするためには不十分であるイオンエネルギーレベルを有する非反応性イオンを発生させるように構成され、前記吸着層が、前記 M M P 準備位相において形成されることを規定するためのコンピュータ可読命令を備える、システム。

10

【請求項 1 3】

混同モードパルシングを用いて基板を処理するためのプラズマ処理システムであって、基板と、

前記基板を処理するためのプラズマ処理チャンバと、

前記プラズマ処理チャンバの内部領域のなかのワークピースホルダと、

少なくとも 1 つのプラズマ発生ソースと、

前記プラズマ処理チャンバの前記内部領域に少なくとも第 1 の反応性ガスを供給するための少なくとも 1 つの反応性ガスソースと、

20

前記プラズマ処理チャンバの前記内部領域に少なくとも第 1 の非反応性ガスを供給するための少なくとも 1 つの非反応性ガスソースと、

有形コンピュータ可読媒体であって、

( a ) 前記内部領域のなかでワークピースホルダの上に前記基板を配することと、

( b ) 混同モードパルシング ( M M P ) 準備位相を実施することであって、

前記第 1 の反応性ガスを前記内部領域に流入させることと、

少なくとも前記第 1 の反応性ガスを用いて第 1 のプラズマを発生させ、前記第 1 のプラズマによって前記基板を処理することと、

を含む、ことと、

30

( c ) 混同モードパルシング ( M M P ) 反応位相を実施することであって、

少なくとも前記第 1 の非反応性ガスを前記内部領域に流入させることと、

少なくとも前記第 1 の非反応性ガスを用いて第 2 のプラズマを発生させ、前記第 2 のプラズマによって前記基板を処理することであって、前記第 2 のプラズマは、前記 M M P 反応位相において、前記 M M P 準備位相における前記第 1 の反応性ガスの流量未満の流量の前記第 1 の反応性ガスによって発生し、前記プラズマ処理チャンバは、前記 M M P 反応位相において、前記基板の表面上の吸着層をエッチングするために必要とされるよりも高いが前記基板の非吸着層をエッチングするためには不十分であるイオンエネルギーレベルを有する非反応性イオンを発生させるように構成され、前記吸着層は、前記 M M P 準備位相において形成されることと、

40

前記第 1 の反応性ガスとは異なる第 2 の反応性ガスを前記内部領域に流入させることと

を含む、ことと、

( d ) 前記工程 ( b ) 及び ( c ) を複数回にわたって繰り返すことと、

を前記プラズマ処理システムに実行させるためのコンピュータ可読命令を記憶する有形コンピュータ可読媒体と、

を備える、プラズマ処理システム。

【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載のシステムであって、更に、

前記 M M P 反応位相において、前記内部領域に第 1 の反応性ガスが流入されないことを

50

規定するためのコンピュータ可読命令を備える、システム。

【請求項 15】

請求項 13 に記載のシステムであって、更に、

前記 M M P 準備位相において、前記ワークピースホルダにバイアス電力が印加されないことを規定するためのコンピュータ可読命令を備える、システム。

【請求項 16】

請求項 15 に記載のシステムであって、更に、

前記 M M P 反応位相において、ゼロを超えるバイアス電力レベルを有するバイアス電力が前記ワークピースホルダに印加されることを規定するためのコンピュータ可読命令を備える、システム。

10

【請求項 17】

請求項 16 に記載のシステムであって、更に、

前記バイアス電力が、前記 M M P 反応位相においてパルスされることを規定するためのコンピュータ可読命令を備える、システム。

【請求項 18】

請求項 13 に記載のシステムであって、更に、

少なくとも 1 つの誘導アンテナを備え、更に、

前記少なくとも 1 つの誘導アンテナが、前記 M M P 準備位相において、第 1 の R F 周波数を有する第 1 の R F 信号によって励起され、前記少なくとも 1 つの誘導アンテナが、前記 M M P 反応位相において、前記第 1 の R F 周波数とは異なる第 2 の R F 周波数を有する第 2 の R F 信号によって励起されることを規定するためのコンピュータ可読命令を備える、システム。

20

【請求項 19】

請求項 13 に記載のシステムであって、更に、

少なくとも 1 つの誘導アンテナを備え、更に、

前記少なくとも 1 つの誘導アンテナが、前記 M M P 準備位相において、第 1 の R F 周波数を有する第 1 の R F 信号によって励起され、前記第 1 の R F 信号が、パルスされた R F 信号を表していることを規定するためのコンピュータ可読命令を備える、システム。

【請求項 20】

請求項 13 に記載のシステムであって、更に、

少なくとも 1 つの誘導アンテナを備え、更に、

前記少なくとも 1 つの誘導アンテナが、前記 M M P 反応位相において、第 1 の R F 周波数を有する第 1 の R F 信号によって励起され、前記第 1 の R F 信号が、パルスされた R F 信号を表していることを規定するためのコンピュータ可読命令を備える、システム。

30

【請求項 21】

混同モードパルシングを用いて基板を処理するためのプラズマ処理システムであって、基板と、

前記基板を処理するためのプラズマ処理チャンバと、

前記プラズマ処理チャンバの内部領域のなかのワークピースホルダと、

前記プラズマ処理チャンバの前記内部領域に少なくとも第 1 の反応性ガスを供給するための少なくとも 1 つの反応性ガスソースと、

40

前記プラズマ処理チャンバの前記内部領域に少なくとも第 1 の非反応性ガスを供給するための少なくとも 1 つの非反応性ガスソースと、

混同モードパルシング ( M M P ) 準備位相において、前記内部領域に第 1 の反応ガスを流入させるための少なくとも 1 つのガスパルシングバルブと、

混同モードパルシング ( M M P ) 反応位相において、前記内部領域に第 1 の非反応性ガスを流入させるための少なくとも 1 つのガスパルシングバルブであって、前記 M M P 反応位相における前記第 1 の反応ガスの流量は、前記 M M P 準備位相における前記第 1 の反応ガスの流量未満である、少なくとも 1 つのガスパルシングバルブと、

パルシング対応 R F 電源を有する少なくとも 1 つのプラズマ発生ソースと、

50

を備え、

前記パルシング対応 R F 電源は、

前記 M M P 準備位相において、前記第 1 の反応性ガスを第 1 の R F 周波数を有する第 1 の R F 信号によって励起し、前記第 1 の R F 信号は、チャージングされた周波数を有する R F 信号を表し、少なくとも前記第 1 の反応性ガスを用いて第 1 のプラズマを発生させて前記第 1 のプラズマによって前記基板を処理し、

前記 M M P 反応位相において、少なくとも前記第 1 の非反応性ガスを用いて第 2 のプラズマを発生させて前記第 2 のプラズマによって前記基板を処理し、前記 M M P 準備位相と前記 M M P 反応位相は交互に起きて複数回にわたって繰り返され、

前記 M M P 反応位相において、前記第 1 の反応性ガスとは異なる第 2 の反応性ガスを前記内部領域に流入させることを備える、  
プラズマ処理システム。

10

【請求項 2 2】

請求項 2 1 に記載のシステムであって、

前記 M M P 反応位相において、前記内部領域に第 1 の反応性ガスは流入されない、システム。

【請求項 2 3】

請求項 2 1 に記載のシステムであって、

前記プラズマ処理チャンバは、誘導結合プラズマ処理チャンバを含む、システム。

【請求項 2 4】

20

請求項 2 1 に記載のシステムであって、

前記プラズマ処理チャンバは、容量結合プラズマ処理チャンバを含む、システム。

【請求項 2 5】

請求項 2 1 に記載のシステムであって、

前記少なくとも 1 つの非反応性ガスソースは、更に、第 2 の非反応性ガスを供給し、前記第 2 の非反応性ガスは、前記 M M P 準備位相において前記内部領域に流入される、システム。

【請求項 2 6】

請求項 2 1 に記載のシステムであって、

前記第 1 の非反応性ガスも、前記 M M P 準備位相において前記内部領域に流入される、システム。

30

【請求項 2 7】

請求項 2 1 に記載のシステムであって、

前記 M M P 準備位相において、前記ワークピースホルダにバイアス電力が印加されない、システム。

【請求項 2 8】

請求項 2 1 に記載のシステムであって、

前記 M M P 反応位相において、ゼロを超えるバイアス電力レベルを有するバイアス電力が前記ワークピースホルダに印加される、システム。

【請求項 2 9】

40

請求項 2 1 に記載のシステムであって、更に、

前記 M M P 反応位相において、第 1 の反応性ガスは流されない、システム。

【請求項 3 0】

請求項 2 1 に記載のシステムであって、

前記 M M P 準備位相において、前記ワークピースホルダに第 1 のバイアス電力が印加され、前記 M M P 反応位相において、前記第 1 のバイアス電力の電力レベルとは異なる電力レベルを有する第 2 のバイアス電力が前記ワークピースホルダに印加される、システム。

【請求項 3 1】

請求項 3 0 に記載のシステムであって、更に、

前記第 2 のバイアス電力の前記電力レベルは、前記第 1 のバイアス電力の前記電力レベ

50

ルよりも高い、システム。

【請求項 3 2】

請求項 2 1 に記載のシステムであって、

前記プラズマ処理チャンバは、前記 M M P 反応位相において、前記基板の表面上の吸着層をエッチングするために必要とされるよりも高いが前記基板の非吸着層をエッチングするためには不十分であるイオンエネルギーレベルを有する非反応性イオンを発生させるように構成され、前記吸着層は、前記 M M P 準備位相において形成される、システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

〔優先権の主張〕

本出願は、米国特許法第 1 1 9 条 ( e ) に基づいて、「M I X E D M O D E P U L S I N G E T C H I N G I N P L A S M A P R O C E S S I N G S Y S T E M S ( プラズマ処理システムにおける混合モードパルスエッチング ) 」と題された K e r e n J a c o b s K a n a r i k による 2 0 1 1 年 1 2 月 2 8 日出願の共同所有の仮特許出願第 6 1 / 5 8 1 , 0 5 4 号の優先権を主張する。該特許は、その全てを参照によって本明細書に組み込まれる。

【背景技術】

【0002】

プラズマ処理システムは、長きにわたり、基板 ( 例えばウエハ又はフラットパネル又は L C D パネル ) を処理して集積回路又はその他の電子製品を形成するために用いられてきた。よくあるプラズマ処理システムとして、なかでも特に、容量結合プラズマ処理システム ( C C P ) 又は誘導結合プラズマ処理システム ( I C P ) が挙げられる。

20

【0003】

総じて、プラズマ基板処理は、イオンとラジカル ( ニュートラルとも呼ばれる ) とをバランスさせることを伴う。電子デバイスの小型化及び / 又は複雑化が進むにつれて、選択性、均一性、高アスペクト比、アスペクト依存性エッチングなどのエッチング要件が増えてきた。現世代の製品では、圧力、R F バイアス、電力などの特定のパラメータを変化させることによってエッチングを実施することが可能であったが、更に小型の及び / 又は更に精巧な次世代の製品では、異なるエッチング能力が求められる。現行の技術によってイオン及びラジカルを更に効果的に分離する及び独立制御することができないという事実は、一部のプラズマ処理システムにおいてこれらの更に小型の及び / 又は更に精巧な電子デバイスを製造するために一部のエッチングプロセスを実施することを、制限している及び場合によっては非実用的にしている。

30

【0004】

先行技術では、イオン対ラジカル比を調整するためのプラズマ条件をエッチングの様々な時点で得ようとする試みがなされてきた。従来方式では、パルスサイクルの或る位相 ( 例えばパルスオン位相 ) では通常イオン対ニュートラルフラックス比を有するプラズマを得て、パルスサイクルの別の位相 ( 例えばパルスオフ位相 ) ではそれよりも低いイオン対ニュートラルフラックス比を有するプラズマを得るために、ソース R F 信号を ( 例

40

【0005】

先行技術によるパルス処理は、或る程度は、通常イオン対ニュートラルフラックス比のプラズマを有する交互位相を様々な時点で得て一部のプロセスのための動作窓を開いてきたが、しかしながら、一方では、更に大きい動作窓が依然として望まれていることがわかっていてる。

【図面の簡単な説明】

【0006】

本発明は、添付の図面において、限定的なものではなく例示的なものとして示され、図

50

中、類似の参照符号は、同様の要素を指すものとする。

【0007】

【図1】本発明の1つ以上の実施形態にしたがって、周波数は異なるが（反応性ガス及び／又は不活性ガスなどの）入力ガスとソースRF信号とがともにパルスされる組み合わせパルシング方式の一例を示している。

【0008】

【図2】本発明の1つ以上の実施形態にしたがって、組み合わせパルシング方式の別の一例を示している。

【0009】

【図3】本発明の1つ以上の実施形態にしたがって、組み合わせパルシング方式の更に別の一例を示している。

10

【0010】

【図4】本発明の1つ以上の実施形態にしたがって、組み合わせパルシング方式としてありうるその他の組み合わせ候補を示している。

【0011】

【図5】本発明の1つ以上の実施形態にしたがって、組み合わせパルシングを実施するための工程を示している。

【0012】

【図6】本発明の1つ以上の実施形態にしたがって、ガスパルシングを実施するための工程を示している。

20

【0013】

【図7A】本発明の1つ以上の実施形態にしたがって、図6と関連付けて論じられたガスパルシング方式の様々な変形例を示している。

【図7B】本発明の1つ以上の実施形態にしたがって、図6と関連付けて論じられたガスパルシング方式の様々な変形例を示している。

【0014】

【図8】本発明の1つ以上の実施形態にしたがって、シリコンエッチングの例における概念的MMPエッチングサイクルを示しており、各サイクルは、少なくとも、MMP準備位相とMMP反応位相とを伴っている。

【0015】

30

【図9】本発明の1つ以上の実施形態にしたがって、MMP準備位相において幾らかのイオンが存在する場合におけるその他の概念的MMPエッチングサイクルを示している。

【0016】

【図10】本発明の1つ以上の実施形態にしたがって、生産ICPチャンバのなかでMMPエッチングを実施するための方法を示している。

【発明を実施するための形態】

【0017】

本発明は、次に、添付の図面に例示されるような幾つかのその実施形態を参照にして、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与えるために、数々の具体的詳細が明記される。しかしながら、当業者になれば、本発明が、これらの詳細の一部又は全部を伴わずとも実施されうることが明らかである。また、本発明を不必要に不明瞭にしないために、周知のプロセス工程及び／又は構造の詳細な説明は省略されている。

40

【0018】

以下では、方法及び技術を含む様々な実施形態が説明される。発明技術の実施形態を実行に移すための、コンピュータ可読命令を記憶されたコンピュータ可読媒体を含む製造品も、本発明の範囲に含まれていてよいことが念頭に置かれるべきである。コンピュータ可読媒体としては、コンピュータ可読コードを記憶するための、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が挙げられる。更に、本発明は、本発明の実施形態を実施するための装置も範囲に含んでいてよい。このような装置は、本発明の実施形態に関するタスクを実行に移すための、専用の及び／又はプログラム可能な回路

50

を含んでいてよい。このような装置の例としては、適切にプログラムされたときの、汎用コンピュータ及び／又は専用コンピュータ機器が挙げられ、本発明の実施形態に関する様々なタスクを実行に移すように適応された、コンピュータ／計算機器と専用の／プログラム可能な回路との組み合わせを含んでいてよい。

#### 【 0 0 1 9 】

本発明の実施形態は、第 1 のパルシング周波数を使用して入力ガス（例えば反応性ガス及び／又は不活性ガス）をパルスさせ、異なる第 2 のパルシング周波数でソース R F 信号をパルスさせる、組み合わせパルシング方式に関する。本明細書では、例を挙げて論じるために、誘導結合プラズマ処理システム及び誘導 R F 電源が用いられるが、本発明の実施形態は、容量結合プラズマ処理システム及び容量 R F 電源にも等しく適用されることが理解されるべきである。

10

#### 【 0 0 2 0 】

1 つ以上の実施形態では、誘導結合プラズマ処理システムにおいて、入力ガスは、より遅いパルシング周波数でパルスされ、誘導ソース R F 信号は、より速い異なるパルシング周波数でパルスされる。例えば、もし、誘導ソース R F 信号が、13.56 MHz であるならば、誘導ソース R F 信号は、ガスが 1 Hz などの異なるパルシングレートでガスがパルスされている間に、例えば 100 Hz でパルスされてよい。

#### 【 0 0 2 1 】

したがって、この例では、完全ガスパルスサイクルは 1 秒である。もし、ガスパルシングデューティサイクルが 70 % であるならば、ガスは、1 秒のガスパルシング期間の 70 % にわたってオンであってよく、1 秒のガスパルシング期間の 30 % にわたってオフであってよい。ソース R F 信号パルシングレートは、100 Hz であるので、完全 R F 信号パルシング期間は、10 ms である。もし、R F パルシングデューティサイクルが 40 % であるならば、(13.56 MHz 信号がオンであるときの) R F オン位相は、10 ms の R F パルシング期間の 40 % であり、(13.56 MHz 信号がオフであるときの) R F オフ位相は、10 ms の R F パルシング期間の 60 % である。

20

#### 【 0 0 2 2 】

1 つ以上の実施形態では、誘導ソース R F 信号は、ガスがそれ自身のガスパルシング周波数でパルスされている間に、2 つの異なる周波数でパルスされてよい。例えば、上記の 13.56 MHz R F 信号は、100 Hz の周波数  $f_1$  でパルスされるのみならず、周波数  $f_1$  のオン位相において、更に高い異なる周波数でもパルスされてよい。例えば、もし、R F パルシングデューティサイクルが  $f_1$  パルスの 40 % であるならば、 $f_1$  のオン位相は、10 ms の 40 %、すなわち 4 ms である。しかしながら、 $f_1$  の 4 ms のオン位相において、R F 信号は、更に高い異なる周波数  $f_2$  (400 Hz など) でもパルスされてよい。

30

#### 【 0 0 2 3 】

本発明の実施形態は、ガスパルスと R F パルスとが同期であってよい（すなわち、パルス信号の立ち上がりエッジ及び／若しくは立ち下がりエッジが一致していてよい）、又は非同期であってよいと考える。デューティサイクルは、一定であってよい、又はその他のパルシング周波数とは無関係に若しくはその他のパルシング周波数に依存する形で変動してよい。

40

#### 【 0 0 2 4 】

1 つ以上の実施形態では、周波数チャージングが用いられてよい。例えば、R F 信号は、その基本周波数を周期的に又は非周期的に変化させてよく、したがって、任意のパルシング期間（例えば、任意の R F 信号パルシング期間又はガスパルシング期間）の一位相又はその一位相の一部において、異なる周波数（例えば、13.56 MHz に対して 60 MHz）が用いられてよい。同様に、もし必要であれば、ガスパルシング周波数が、周期的に又は非周期的に変化されてよい。

#### 【 0 0 2 5 】

1 つ以上の実施形態では、上記のガスパルシング及びソース R F パルシングは、別のパ

50



ラメータの、1つ以上のパルシング又はヴァリエーション（バイアスRF信号のパルシング、電極へのDCバイアスのパルシング、異なるパルシング周波数での複数のRF周波数のパルシング、任意のパラメータの位相を変化させるなど）と組み合わせられてよい。

【0026】

以下に続く図面及び議論を参照にして、本発明の実施形態の特徴及び利点が更に良く理解されるだろう。

【0027】

図1は、本発明の1つ以上の実施形態にしたがって、周波数は異なるが（反応性ガス及び/又は不活性ガスなどの）入力ガスとソースRF信号とがともにパルスされる組み合わせパルシング方式の一例を示している。図1の例では、入力ガス102は、1パルスあたり約2秒の、すなわち2MHzのガスパルシングレート（ガスパルシング期間を $T_{gp}$ としたときに、 $1/T_{gp}$ として定義される）でパルスされる。

10

【0028】

13.56MHzのTCPソースRF信号104は、RFパルシングレート（RFパルシング期間を $T_{rfp}$ としたときに、 $1/T_{rfp}$ として定義される）でパルスされる。本明細書におけるRFパルシングの概念を明確にするために、RF信号は、期間120では（13.56MHz RF信号のように）オンであり、期間122ではオフである。ガスパルシングレート及びRFパルシングレートは、それぞれ自身のデューティサイクル（パルスオン時間を総パルシング期間で割ったものとして定義される）を有してよい。デューティサイクルは、どのパルス信号の場合も50%である必要はなく、個々のプロセスにおける必要性に応じて可変である。

20

【0029】

一実施形態では、ガスパルシング及びRF信号パルシングは、デューティサイクルが同じであってよい。別の一実施形態では、ガスパルシング及びRF信号パルシングは、細かい制御を最大限に発揮させるために、デューティサイクルが独立制御可能であってよい（そして、異なっていてよい）。1つ以上の実施形態では、ガスパルシング信号及びRFパルシング信号は、その立ち上がりエッジ及び/又は立ち下がりエッジが同期であってよい。1つ以上の実施形態では、ガスパルシング信号及びRFパルシング信号は、その立ち上がりエッジ及び/又は立ち下がりエッジが非同期であってよい。

【0030】

30

図2では、ガス入力202は、それ自身のガスパルシング周波数でパルスされる。しかしながら、ソースRF信号204は、ガスがそれ自身のパルシング周波数（ガスパルシング期間を $T_{gp}$ としたときに、 $1/T_{gp}$ として定義される）でパルスされている間に、2つの異なる周波数でパルスされてよい。例えば、RF信号は、周波数 $f_1$ （図から、 $1/T_{f_1}$ として定義される）でパルスされるのみならず、 $f_1$ パルシングのオン位相において、更に高い異なる周波数でもパルスされてよい。例えば、この $f_1$ パルシングのオン位相において、RF信号は、異なるパルシング周波数 $f_2$ （図から、 $1/T_{f_2}$ として定義される）でパルスされてよい。

【0031】

図3では、ガス入力302は、それ自身のガスパルシング周波数でパルスされる。しかしながら、ソースRF信号304は、ガスがそれ自身のパルシング周波数でパルスされている間に、3つの異なる周波数でパルスされてよい。例えば、RF信号は、周波数 $f_1$ （図から、 $1/T_{f_1}$ として定義される）でパルスされるのみならず、 $f_1$ パルシングのオン位相において、更に高い異なる周波数でもパルスされてよい。したがって、この $f_1$ パルシングのオン位相において、RF信号は、異なるパルシング周波数 $f_2$ （図から、 $1/T_{f_2}$ として定義される）でパルスされてよい。この $f_1$ パルシングのオフ位相において、RF信号は、異なるパルシング周波数 $f_3$ （図から、 $1/T_{f_3}$ として定義される）でパルスされてよい。

40

【0032】

加えて又は或いは、図1～3の例では、デューティサイクルが一定のものとして示され

50

ているが、デューティサイクルは、いずれかのパルシング信号の（ガスパルシング信号であるか、RFパルシング信号であるか、若しくはそれ以外であるかにかかわらず）の位相に無関係に又は依存して、周期的に又は非周期的に変動してもよい。更に、デューティサイクルの変化は、任意のパルシング信号（ガスパルシング信号であるか、RFパルシング信号であるか、若しくはそれ以外であるかにかかわらず）の位相に対して同期であってよい、又は非同期であってよい。

#### 【0033】

一実施形態では、RFパルシングのデューティサイクルは、ガスパルスのオン位相（例えば、図1における154）では或る値に設定され、ガスパルスのオフ位相（例えば図1における156）では別の異なる値に設定されることが有利である。好ましい一実施形態では、RFパルシングのデューティサイクルは、ガスパルスのオン位相（例えば図1における154）では或る値に設定され、ガスパルスのオフ位相（例えば図1における156）ではそれよりも低い値に設定されることが有利である。一部のエッチングでは、ガスパルシングのオン位相でのほうがデューティサイクルが高くガスパルシングのオフ位相でのほうがデューティサイクルが低いこのRFパルシングデューティサイクルの実施形態が、有利であると考えられる。一部のエッチングでは、ガスパルシングのオン位相でのほうがデューティサイクルが低くガスパルシングのオフ位相でのほうがデューティサイクルが高いこのRFパルシングデューティサイクルの変更形態が、有利であると考えられる。本明細書で使用される用語として、信号がパルスされるときに、デューティサイクルは、信号がパルスされている間は100%では無い（すなわち、パルシング及び「常時オン」は、2つの異なる概念である）。

#### 【0034】

加えて又は或いは、いずれかのパルシング信号（ガスパルシング信号であるか、RFパルシング信号であるか、若しくはそれ以外であるかにかかわらず）に、周波数チャージングが用いられてよい。周波数チャージングは、以下の図4において、RFパルシング信号と関連付けて更に詳しく説明される。

#### 【0035】

1つ以上の実施形態では、ガスは、ガスパルシングオン位相における（1種以上の）反応性ガス及び（1種以上の）不活性ガス（アルゴン、ヘリウム、キセノン、クリプトン、ネオンなど）がレシピによって指定されたものであるように、パルスされる。ガスパルシングオフ位相では、（1種以上の）反応性ガス及び（1種以上の）不活性ガスの両方の少なくとも一部が除去されてよい。その他の実施形態では、ガスパルスオフ位相において（1種以上の）反応性ガスの少なくとも一部が除去されて、（1種以上の）不活性ガスに置き換えられる。有利な一実施形態では、チャンバ圧力を実質的に同じに維持するために、ガスパルシングオフ位相において（1種以上の）反応性ガスの少なくとも一部が除去されて、（1種以上の）不活性ガスに置き換えられる。

#### 【0036】

1つ以上の実施形態では、ガスパルシングオフ位相において、チャンバに流入される（1種以上の）ガス全体に対する（1種以上の）不活性ガスの割合が、約X%から約100%まで変動してよく、ここで、Xは、ガスパルシングオン位相において用いられるガス全体の流量に対する（1種以上の）不活性ガスの割合である。より好ましい一実施形態では、チャンバに流入される（1種以上の）ガス全体に対する（1種以上の）不活性ガスの割合が、約1.1X%から約100%まで変動してよく、ここで、Xは、ガスパルシングオン位相において用いられるガス全体の流量に対する（1種以上の）不活性ガスの割合である。好ましい一実施形態では、チャンバに流入される（1種以上の）ガス全体に対する（1種以上の）不活性ガスの割合が、約1.5X%から約100%まで変動してよく、ここで、Xは、ガスパルシングオン位相において用いられるガス全体の流量に対する（1種以上の）不活性ガスの割合である。

#### 【0037】

ガスパルシングレートは、チャンバ内におけるガスの滞留時間によって、その上限（周

10

20

30

40

50

波数上限)を制限される。この滞留時間の概念は、当業者に知られており、チャンバ設計ごとに異なる。例えば、滞留時間は、容量結合チャンバの場合は数十ミリ秒の範囲にわたるのが一般的である。別の例では、滞留時間は、誘導結合チャンバの場合は数十ミリ秒から数百ミリ秒の範囲にわたるのが一般的である。

【0038】

1つ以上の実施形態では、ガスパルシング期間は、10ミリ秒から50秒の範囲にわたってよく、より好ましくは50ミリ秒から約10秒の範囲にわたってよく、好ましくは約500ミリ秒から約5秒の範囲にわたってよい。

【0039】

本発明の実施形態にしたがうと、ソースRFパルシング期間は、ガスパルシング期間よりも短い。RFパルシング周波数は、その上限を、RF信号の周波数によって制限される(例えば、もし、RF周波数が13.56MHzであるならば、13.56MHzが、RFパルシング周波数の上限を確立するだろう)。

【0040】

図4は、本発明の1つ以上の実施形態にしたがって、その他の組み合わせ候補を示している。図4では、ガスパルシング信号402及びソースRFパルシング信号404(430及び432によって示されるようにパルスされる)とともに、別の信号406(バイアスRF又はその他の任意の周期性パラメータなど)がパルスされてよい。信号406のパルシングは、システムにおけるその他の任意の信号と同期で又は非同期でなされてよい。

【0041】

或いは又は加えて、ガスパルシング信号402及びソースRFパルシング信号404とともに、別の信号408(DCバイアス又は温度又は圧力又はその他の任意の非周期性パラメータなど)がパルスされてよい。信号408のパルシングは、システムにおけるその他の任意の信号と同期で又は非同期でなされてよい。

【0042】

或いは又は加えて、ガスパルシング信号402とともに、別の信号410(RFソース又はRFバイアス又はその他の任意の非周期性パラメータなど)がチャージング及びパルスされてよい。例えば、信号410は、パルスされている間に、その周波数を、信号410若しくは別の信号(ガスパルシング信号など)に依存して又はツール制御コンピュータからの制御信号に応答して)変動させてよい。図1の例において、参照番号422は、参照番号420に関連付けられた領域よりも周波数が高い領域を指している。低い周波数422の一例は、27MHzであってよく、高い周波数420の一例は、60MHzであってよい。信号410のパルシング及び/又はチャージングは、システムにおけるその他の任意の信号と同期で又は非同期でなされてよい。

【0043】

図5は、本発明の一実施形態にしたがって、組み合わせパルシングを実施するための工程を示している。図5における工程は、例えば、1つ以上のコンピュータによる制御下においてソフトウェアを通じて実行されてよい。ソフトウェアは、1つ以上の実施形態における非一時的なコンピュータ可読媒体などの、コンピュータ可読媒体に記憶されてよい。

【0044】

502では、プラズマ処理チャンバのなかに、基板が提供される。工程504では、RFソース及び入力ガスの両方をパルスさせつつ、基板が処理される。工程506には、随意としての、1つ以上のその他の信号(RFバイアス又は別の信号など)のパルシングが示されている。工程508では、RFソース及び入力ガスをパルスさせつつ、随意として、周波数、デューティサイクル、ガスの割合などを変動させてよい。

【0045】

1つ以上の実施形態では、ガスは、サイクルが周期的に繰り返されるなかで、各サイクルあたり少なくとも2つの位相があるようにパルスされる。RFソース信号を含むその他のパラメータは、パルスされないままであってよい。第1の位相において、反応性ガス(複数の異なるエッチングガス及び/又はポリマ形成ガスを含んでいてよい)対不活性ガス

10

20

30

40

50

(アルゴン、ヘリウム、キセノン、クリプトン、ネオンなどのうちの１種以上など)の比は、第１の比である。第２の位相において、反応性ガス対不活性ガスの比は、第１の比とは異なる第２の比である。もし、第２の位相において、チャンバ内へのガス全体の流量に対する反応性ガスの流量比が減少した(すなわち、チャンバ内へのガス全体の流量に対する不活性ガスの流量比が増加した)ならば、チャンバは、第２の位相において、第１の位相におけるよりも高い割合の不活性ガスを含む。この場合は、結果として、イオンが優勢のプラズマが形成され、エッチングを実施するために主に不活性ガスによってプラズマイオンフラックスが形成される。

【００４６】

これは、ガスをパルスさせるために反応性ガスが追加される先行技術の状況とは異なる。チャンバ内における不活性ガスの割合を、チャンバ内への反応性ガスの流量を増加させることなく引き上げることによって、本発明の実施形態は、イオンに富むプラズマを実現し、エッチングの均一性、方向性、及び／又は選択性を向上させる。

【００４７】

一実施形態では、流量比は、チャンバ内への反応性ガス(エッチャント又はポリマ形成ガスなど)を追加することによってではなく、反応性ガスに対する不活性ガスの流量の割合が増すように反応性ガスの流量を減少させることによって変更される。この実施形態では、第２の位相において、チャンバ圧力が本質的に減少するだろう。

【００４８】

或いは又は加えて、(１種以上の)反応性ガス対(１種以上の)不活性ガスの比は、(チャンバ内への反応性ガスの流量を増加させるのではなく、)チャンバ内への(１種以上の)反応性ガスの流量を一定に維持しつつチャンバ内への(１種以上の)不活性ガスの流量を増加させることによって、又は(１種以上の)反応性ガスの流量を減少させることによって変化されてよい。一実施形態では、不活性ガスの流量は、反応性ガスの流量の減少を打ち消すために増加される。この実施形態では、チャンバ圧力は、第１の位相及び第２の位相において実質的に同じにとどまる。別の一実施形態では、不活性ガスの流量は増加されるが、反応性ガスの流量の減少を完全に打ち消すには不十分である。この実施形態では、チャンバ圧力は、第２の位相において減少する。別の一実施形態では、不活性ガスの流量は、反応性ガスの流量の減少を打ち消すのに十分な以上に増加される。この実施形態では、チャンバ圧力は、第２の位相において増加する。

【００４９】

言及されたように、１つ以上の実施形態では、ガスパルシングの第２の位相において、チャンバに流入される(１種以上の)ガス全体に対する(１種以上の)不活性ガスの割合が、約 $X\%$ から約 $100\%$ まで変動してよく、ここで、 $X$ は、プラズマチャンバが処理に備えて安定化されるときに存在するガス全体の流量に対する(１種以上の)不活性ガスの割合、又は第１の位相において存在するガス全体の流量に対する(１種以上の)不活性ガスの割合である。より好ましい一実施形態では、チャンバに流入される(１種以上の)ガス全体に対する(１種以上の)不活性ガスの割合が、約 $1.1X\%$ から約 $100\%$ まで変動してよい。好ましい一実施形態では、チャンバに流入される(１種以上の)ガス全体に対する(１種以上の)不活性ガスの割合が、第２の位相において約 $1.5X\%$ から約 $100\%$ まで変動してよい。

【００５０】

ガスパルシングレートは、チャンバ内におけるガスの滞留時間によって、その上限(周波数上限)を制限される。言及されたように、例えば、滞留時間は、容量結合チャンバの場合は数十ミリ秒の範囲にわたるのが一般的である。別の例では、滞留時間は、誘導結合チャンバの場合は数十ミリ秒から数百ミリ秒の範囲にわたるのが一般的である。やはり言及されたように、１つ以上の実施形態では、ガスパルシング期間は、 $10$ ミリ秒から $50$ 秒の範囲にわたってよく、より好ましくは $50$ ミリ秒から約 $10$ 秒の範囲にわたってよく、好ましくは約 $500$ ミリ秒から約 $5$ 秒の範囲にわたってよい。

【００５１】

1つ以上の実施形態では、周期性パルシングの第2の位相において加えられる不活性ガスは、同じ不活性ガスであってよい、又は異なる化学組成及び/若しくは成分を有する異なる不活性ガスであってよい。或いは又は加えて、ガスパルシングレートのデューティサイクルは、1%から99%の間で変動してよい。或いは又は加えて、ガスパルシングレートは、処理中にチャージングされてよい、すなわち変化してよい。例えば、ガスパルシングは、デューティサイクルが40%である5秒のガスパルシング期間でなされてよく、次いで、デューティサイクルが同じ40%である又はデューティサイクルが異なる9秒のガスパルシング期間に切り替えられてよい。チャージングは、チャージング周波数(ガスパルシング周波数が20秒ごとに变化される20秒のチャージング周波数など)にしたがって周期的になされてよい。

10

#### 【0052】

図6は、本発明の1つ以上の実施形態にしたがって、ガスパルシングを実施するための工程を示している。図6における工程は、例えば、1つ以上のコンピュータによる制御下においてソフトウェアを通じて実行されてよい。ソフトウェアは、1つ以上の実施形態における非一時的なコンピュータ可読媒体などの、コンピュータ可読媒体に記憶されてよい。

#### 【0053】

602では、プラズマ処理チャンバのなかに、基板が提供される。工程604では、チャンバのなかでプラズマが形成され、不活性ガス対反応性ガスの基準流量比によって安定化される。工程606では、ガスパルシングの一位相において、不活性ガス対反応性ガスの流量比が、チャンバ内への反応性ガスの流量を増加させることなく引き上げられる。工程608では、ガスパルシングの別の一位相において、不活性ガス対反応性ガスの流量比が、チャンバ内への反応性ガスの流量を増加させることなく工程606の不活性ガス対反応性ガスの流量比と比べて引き下げられる。各種の実施形態において、工程608における不活性ガス対反応性ガスの流量比は、工程604(プラズマを安定化させる工程)における不活性ガス対反応性ガスの流量比と実質的に同じであってよい、又は安定化工程604における不活性ガス対反応性ガスの流量比よりも高くてもよく若しくは低くてもよい。工程610では、上記の不活性ガス対反応性ガスの流量比が工程606及び工程608における流量比で周期的に上下することによってガスがパルスされている間に、基板が処理される。

20

30

#### 【0054】

図7A及び図7Bは、本発明の実施形態にしたがって、図6と関連付けて論じられたガスパルシング方式の様々な変形例を示している。図7Aの例では、事例A、C、D、及びEは、不活性ガス対反応性ガスの様々な比を表している。事例Aでは、例えば、不活性ガス(I)対反応性ガス(R)の比は、3:7である。事例Bでは、例えば、不活性ガス対反応性ガスの比は、8:1である。事例Cでは、例えば、不活性ガス対反応性ガスの比は、1:9である。事例Dでは、チャンバ内へのガス流は、基本的に全て不活性である。比の値の例が与えられてはいるが、比の厳密な値は例示的なものにすぎず、重要なのは、これらの事例が全て互いに異なる比を有している点にある。

#### 【0055】

図7Bでは、パルシング例702は、好ましい一実施形態におけるADADであってよく、ガスパルスは、図7Aの事例Aと事例Dとの間で周期的に上下し、それを繰り返してよい。

40

#### 【0056】

別のパルシング例704は、ABABAB/ADAD/ABABAB/ADADであってよく、ガスパルスは、図7Aの事例Aと事例Bとの間で周期的に上下し、次いで、図7Aの事例Aと事例Dとの間で周期的に上下し、次いで、再び図7Aの事例Aと事例Bとの間で周期的に上下し、それを繰り返してよい。

#### 【0057】

別のパルシング例706は、ABABAB/ACAC/ABABAB/ACACであっ

50

てよく、ガスパルスは、図 7 A の事例 A と事例 B との間で周期的に上下し、次いで、図 7 A の事例 A と事例 D との間で周期的に上下し、次いで、再び図 7 A の事例 A と事例 B との間で周期的に上下し、それを繰り返してよい。

【 0 0 5 8 】

別のパルシング例 7 0 8 は、A B A B A B / C D C D / A B A B A B / C D C D であってよく、ガスパルスは、図 7 A の事例 A と事例 B との間で周期的に上下し、次いで、図 7 A の事例 C と事例 D との間で周期的に上下し、次いで、再び図 7 A の事例 A と事例 B との間で周期的に上下し、それを繰り返してよい。

【 0 0 5 9 】

別のパルシング例 7 1 0 は、A B A B A B / C D C D / A D A D / A B A B A B / C D C D / A D A D であってよく、ガスパルスは、図 7 A の事例 A と事例 B との間で周期的に上下し、次いで、図 7 A の事例 C と事例 D との間で周期的に上下し、次いで、図 7 A の事例 A と事例 D との間で周期的に上下し、次いで、再び図 7 A の事例 A と事例 B との間で周期的に上下し、それを繰り返してよい。

【 0 0 6 0 】

その他の例としては、A B A B / C D C D / A D A D / A C A C などの、4 位相及びその繰り返しが挙げられる。複合パルシングは、例えば、i n - s i t u のエッチングとそれに続く洗浄、又は多段階のエッチングなどを伴うプロセスにとって、極めて有利である。

【 0 0 6 1 】

別の一実施形態では、図 6、図 7 A、及び図 7 B のガスパルシングが、通電電極に供給される R F バイアス信号の非同期又は同期パルシングと組み合わせられてよい。一例では、ガスパルスサイクルの一位相において、ガスが、高いすなわち 1 0 0 % の又は 1 0 0 % 近くの不活性ガス割合でパルスされたときに、R F バイアス信号は、高くパルスされる。ガスパルスサイクルの別の一位相において、ガスが、より低い不活性ガス割合でパルスされたときに、R F バイアス信号は、低く又はゼロにパルスされる。各種の実施形態において、R F バイアス信号のパルシング周波数は、ガスパルシングのパルシング周波数と同じであってよい、又は異なっていてよい。各種の実施形態において、R F バイアス信号のデューティサイクルは、ガスパルシングのデューティサイクルと同じであってよい、又は異なっていてよい。もし必要であれば、R F バイアス信号パルシング及びガスパルシングの一方又は両方に、チャージングが用いられてよい。

【 0 0 6 2 】

ガスパルシングの各例では、パルシング周波数、パルス数、デューティサイクルなどが、エッチング全体を通じて一定に維持されてよい、又は必要に応じて周期的に若しくは非周期的に変動してよい。

【 0 0 6 3 】

以上からわかるように、本発明の実施形態は、プロセスごとにプロセス窓を広げることができる別の制御ノブ（制御手段）を提供するものである。現行のプラズマチャンバの多くは、パルシングバルブ又はパルシング質量流量コントローラを既に備えているので、図 6 ~ 7 A / 7 B にしたがったガスパルシングの実装形態、及び本明細書における議論は、高価なハードウェア改造を必要とせずとも実現されうる。更に、もし、ガスパルシングと関連付けた R F パルシングが望まれるとしても、現行のプラズマチャンバの多くは、パルシング対応の R F 電源を既に備えているので、高価なハードウェア改造を必要とせずとも、ガス / R F 電力のパルシングを通じて広いプロセス窓の実現が得られる。現行のツール所有者は、既存のエッチング処理システムを活用し、少ないソフトウェア更新及び / 又は少ないハードウェア変更によって、エッチングの向上を達成しうる。更に、イオン対ラジカルフラックス比の制御の向上及び / 又は細分化によって、選択性、均一性、及び逆 R I E ラグ効果が改善されうる。例えば、一部の事例では、イオンフラックスをラジカルフラックスに相対的に増加させることが、基板上における層の選択性を向上させうる。このようなイオン対ラジカル制御の向上によって、原子層エッチング（A L E）が更に効率的に

10

20

30

40

50

実現されうる。

【0064】

1つ以上の実施形態では、少なくともMMP準備(MMP P)位相とMMP反応(MMP R)位相とを各シーケンスが含む多段階シーケンスを繰り返すことを伴う混合モードパルスング(MMP)エッチングが開示される。混合モードパルスングは、生産誘導結合プラズマ(ICP、若しくは場合によってはTCPすなわちトランス結合プラズマとしても知られる)チャンバ又は容量結合プラズマ(CCP)チャンバのなかで、イオンと中性ラジカルとをin-situで時間的に(すなわち時間で)更に完全に分けるように構成される。

【0065】

明確にすると、MMPエッチングは、例えば原子層エッチング(ALE)、又は先行技術において(ビームタイプのチャンバなどの)別のチャンバの使用を必要とするのが一般的である非常に精密なタイプのエッチングを実現するために、生産誘導結合プラズマ(ICP)チャンバのなかで実施される。このような原子層エッチング(ALE)又は精密な一層毎のエッチングでは、生産チャンバから別のチャンバへ基板を移送する必要がないので、本発明のMMPエッチングが生産ICPチャンバにおけるこのようなALE又は精密な一層毎のエッチングを可能にするという事実は、全体のスループットを大幅に向上させる。本発明のMMPエッチングは、また、ALE又は一層毎のエッチングのための特殊な機器の必要も排除し、それによって、製造コストを削減している。MMPエッチングは、また、本明細書で後述されるように、生産ICPチャンバのなかで高選択性エッチングを実現するためにも用いられる。

【0066】

明確にすると、よく知られた構成を有するICPチャンバは、反応性ガス及びその他のガスから形成されたプラズマ雲に誘電体窓を通じてRFエネルギーを誘導結合するための、少なくとも1つのRF通電誘電コイルの使用を伴う。プラズマ雲は、誘電体窓の下方に、ただし、基板をエッチングするために基板の上方に配される。基板自体は、例えばESCチャックが代表的であるワークピースホルダの上に配される。ワークピースホルダは、もし必要であれば、それ自体の(1つ以上の)RF信号を供給されてもよい。ワークピースホルダに供給されるRFエネルギーは、バイアス電力として知られる。ICPチャンバは、今日のIC(集積回路)製造設備において基板を生産するために一般的に用いられ、高スループットに適している。

【0067】

1つ以上の実施形態において、MMP準備位相は、プラズマを使用して反応性ガスからラジカル(ニュートラルとしても知られる)を生成することを伴う。一実施形態では、基板ワークピースホルダにバイアス電力は印加されない。バイアス電力の排除又は最小限の使用は、MMP準備位相におけるイオンの影響を軽減するために重要である。

【0068】

シリコンエッチングを例にとると、反応性ガスは、例えば塩素( $\text{Cl}_2$ )であってよい。エッチングされる材料に応じ、その他の反応性ガスとして、例えば $\text{C}_x\text{F}_y$ 若しくは $\text{CH}_x\text{F}_y$ ( $x$ 及び $y$ は整数である)、 $\text{CH}_3\text{Cl}$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{BCl}_3$ 、 $\text{O}_2$ 、又は基板をエッチングするために一般的に使用されるその他の反応性ガスが挙げられる。MMP準備位相では、反応性ガスからプラズマが形成され、シリコン基板の露出最上層内へ吸着することを可能にされる。MMP準備位相は、一実施形態では少なくとも1枚のシリコン原子層に侵入する吸着を可能にするように、及びもし更に攻撃的なエッチングが望まれるならば別の実施形態では複数のシリコン原子層に侵入する吸着を可能にするように計時される。

【0069】

MMP準備位相において、チャンバのパラメータは、吸着SiCl層を過度に取り除くことなく吸着速度を増加させるように最適化される。例えば、1つ以上の実施形態では、吸着を促すために、誘導コイルRF周波数が、MMP準備位相においてMMP反応位相と異なっていてよい。或いは又は加えて、別の一例として、基板又は基板表面が、MMP準備

10

20

30

40

50

備位相において加熱（又は冷却）されてよい。或いは又は加えて、別の一例として、イオンエネルギーを減少させるために及び／又は吸着を促すために、誘導コイル R F 電力が、（対称的な又は非対称的なオンサイクル及びオフサイクル持続時間で）オン及びオフにパルスされてよい。1 つ以上の実施形態では、（1 つ以上の）誘導コイル R F 信号が、1 回の M M P 準備位相のなかで異なる R F 周波数にチャージングされてよい。

【0070】

或いは又は加えて、別の例として、イオンエネルギーレベルを下げるために、自己バイアスを低減させるために、及び／又はイオンの影響を軽減するために、M M P 準備位相において、（ギャップが可変であるチャンバの）電極間のチャンバギャップが M M P 反応位相におけるよりも大きく設定されてよい。或いは又は加えて、別の例として、1 つ以上の実施形態では、イオンが偶発的に生成されたときに、パラメータが調整され、イオンエネルギーが吸着 S i C l 層をエッチングするのに必要とされるレベル未満にされてよい。例えば、1 つ以上の実施形態では、イオンエネルギーを低減させるために、M M P 準備位相において、チャンバ圧力が高く（例えば一エッチング例では 4 0 m T より高く）維持されてよい。

10

【0071】

1 つ以上の実施形態では、M M P 準備位相において、一部の非反応性ガス（アルゴンなど）が許容されてよい。しかしながら、M M P 準備位相におけるこのような非反応性ガス流は、もし許容されたとしても、M M P 反応位相において発生する非反応性ガス流よりも少ない量に設定される。M M P 準備位相及び M M P 反応位相では、ともに同じ非反応性ガスが用いられてよい、又は異なる非反応性ガスが用いられてよい。その他の実施形態では、M M P 準備位相は、反応性ガス（フッ素など）のみを伴っており、M M P 準備位相において、非反応性ガス（アルゴンなど）が用いられることはない。

20

【0072】

1 つ以上の実施形態では、1 回の M M P 準備位相のなかで、異なる反応性ガスが同時に用いられてよい。或いは、1 つ以上の実施形態では、M M P 準備位相において、異なる反応性ガスが順番にチャンバに流入されてよい。これは、二元化合物又はその他の化合物をエッチングするのに有利である。もし必要であれば、M M P 準備位相において、チャンバは、異なる反応性ガスが流入される合間に（アルゴンなどの）非反応性ガスで洗い流されてよい。

【0073】

30

単原子層のエッチングが望まれる又は少数の原子層のエッチングが望まれる A L E エッチングでは、M M P 準備位相においてバイアス電力が印加されないことが好ましい。正確さを維持しつつも更に高いスループットが望まれる用途では、反応種の幾らかの注入を促すために、M M P 準備位相において（M M P 反応位相において印加されるバイアス電力と比べて）少ない量のバイアス電力が印加されてよい。もし、M M P 準備位相において少量のバイアス電力が印加されるならば、このバイアス電力は、M M P 準備位相において一定に維持されてよい、又は必要に応じて（誘導コイル R F パルシングと同期せずに若しくは同期して）パルスされてよい。

【0074】

M M P 準備位相後は、M M P 反応位相があり、該反応位相では、チャンバ内に反応性ガスが存在することが許容されず、特定のイオンエネルギー窓を有するプラズマを形成するために非反応性ガス（アルゴンなど）からプラズマが生成される。上で言及されたシリコンの例では、M M P 反応位相において、非反応性ガスとしてアルゴンが用いられてよい。或いは又は加えて、（1 種以上の）非反応性ガスは、X e、H e、N e、又は上記の任意のガスの集まりであってよい。

40

【0075】

M M P 反応位相において、（反応性ガスの不在下で非反応性ガスから生成される）A r<sup>+</sup>イオンのイオンエネルギーは、吸着 S i C l 層をエッチングするために必要とされる閾値を上回り、ただし、その下の非吸着 S i 基板をエッチングするために必要とされる閾値を下回ることが望ましい。例えば、イオンエネルギー窓は、一実施形態では、シリコンをエッ

50



チングするために、50 eVから70 eVの間であってよい。これは、エッチングの精密な制御を可能にするMMPエッチングの一実施形態が有する自己制限特徴の一態様であり、吸着層が全てエッチング除去されたときにエッチングを停止させる。MMPエッチングの一実施形態が有する自己制限特徴の別の態様は、1つ以上の実施形態では、MMP準備位相における吸着SiC層の深さ制御である。MMPエッチングの一実施形態が有する自己制限特徴の別の態様は、吸着SiC層の一部又は全部のみが除去されて、その下のSi材料はエッチングされないことを保証するためのMMP反応位相の時間の長さである。MMPエッチングの一実施形態が有する自己制限特徴の別の態様は、MMP準備位相の時間の長さである。

【0076】

着目すべき重要な点は、MMP反応位相では、バイアス電力がオンにされるという事実である（これに対し、MMP準備位相では、イオンエネルギーを吸着層のイオン誘導エッチングの閾値未満に確実にとどまらせることを助けるために、バイアス電力が好ましくは完全にオフにされる、又はMMP反応位相におけるバイアス電力レベルよりも低いレベルでオンにされる）。非反応性ガスから形成されるプラズマによる吸着SiC層の方向性エッチングを促すために、チャンバのその他のパラメータが最適化されてよい。例えば、衝突回数を減らし、そうしてイオンの角度分布を狭くして、より方向性の高いエッチングを得るために、MMP反応位相では、チャンバ圧力が（MMP準備位相における高いチャンバ圧力と比べて）引き下げられてよい。別の例としては、1回のMMP反応位相のなかで、バイアス電力が複数回にわたってオン及びオフにパルスされてよい。或いは又は加えて、別の例として、1回のMMP反応位相のなかで、RF誘導コイル電力が複数回にわたってオン及びオフにパルスされてよい。

【0077】

或いは又は加えて、別の例として、1回のMMP反応位相のなかで、バイアス電力及びRF誘導コイル電力の両方が互いに同期して又は同期せずに複数回にわたってパルスされてよい。或いは又は加えて、別の例として、MMP反応位相において、誘導コイルRF周波数がMMP準備位相における周波数と異なっていてよい（イオンエネルギー分布関数を高めるために、MMP準備位相におけるよりも高くてもよい）。一例では、MMP反応位相は、誘導コイルRF信号用に60 MHzを用いてよく、一方で、MMP準備位相は、MMP反応位相における誘導コイルRF信号用に13.56 MHzを用いてよい。或いは又は加えて、別の例として、1回のMMP反応位相のなかで、バイアスRF及び/又は誘導コイルRFが異なるRF周波数にチャージングされてよい。或いは又は加えて、イオンエネルギーを減らすために、MMP反応位相において、特別にあつらえられたバイアス波形が用いられてよい。詳述すると、特別にあつらえられたバイアス波形は、イオンエネルギーを最適化する又は調整するために波形を特別にあつらえられた又は成形された（例えば切り取られた若しくは変形された）RFバイアス信号である。

【0078】

MMP準備位相、及びそれに続くMMP反応位相は、サイクルを形成し、該サイクルは、エッチングが完了したとみなされるまで複数回にわたって繰り返されてよい。MMP反応位相に先立って、チャンバから反応性ガスが完全に又は実質的に完全に確実に除去されるためには、（1種以上の）反応性ガスの更に完全な除去を促すために、並びに/又はMMP反応位相に備えてチャンバを安定化させる及び/若しくは準備するために、MMP準備位相とMMP反応位相との間にMMP移行位相が挟まれてよい（ただし、全ての事例で必要とされるわけではない）。或いは又は加えて、1つ以上の実施形態では、MMP準備位相に備えてチャンバを安定化させる及び/又は準備するために、前のサイクルのMMP移行位相とMMP準備位相との間に別の移行位相が用いられてよい。

【0079】

MMP反応位相は、反応性ガスを使用せずに（又はMMP準備位相と比べて可能な限り少ない反応性ガスを使用して）実施する必要があるので、MMP準備位相とMMP移行位相との間でどれくらい速くエッチングがパルシング可能であるかに関しては、制約が課さ

10

20

30

40

50

れる。チャンバからガスを抜くためには、幾らかの有限長さの時間がかかるので、MMP準備位相からMMP反応位相への移行は、一実施形態では、チャンバのガス滞留時間によって制限される。該滞留時間は、当業者によって容易に算出することができる。言及されたように、MMP移行位相は、MMP反応位相に備えてチャンバを準備する（一実施形態では、全て反応性ガスを確実に除去する又はチャンバを安定化させるなど）ことを助けるために、MMP準備位相とMMP反応位相との間で用いられてよい（ただし、全ての事例で必要とされるわけではない）。

#### 【0080】

1つ以上の実施形態では、MMP準備位相は、約0.01秒から約5秒までの間、より好ましくは0.2秒から約1秒までの間であってよい。1つ以上の実施形態では、MMP反応位相は、約0.01秒から約5秒までの間、より好ましくは0.05秒から約1秒までの間であってよい。1つ以上の実施形態では、切り替え速度は、1Hz前後であってよい。これが、ガス滞留時間を考慮に入れない及び/若しくはMMP反応位相においてチャンバから反応性ガスを除去することを伴わないTCP並びに/又はTCP/バイアス電力の同期パルスング又は非同期パルスングを伴う技術との違いである。

#### 【0081】

なお、基板に向かってイオンを加速するためのグリッド構造又はその他の何らかの構造の使用が、1つ以上の実施形態では必須ではないことに留意せよ。また、MMP準備位相及びエッチング位相が、その他の基板処理工程のために用いられるのと同じICPチャンバのなかで完全に*in-situ*で実施されると有利であることも留意せよ。

#### 【0082】

1つ以上の実施形態では、MMP反応位相は、時間を計られてよい、又は（例えば発光分光技術を使用した）チャンバの監視に応答して終結されてよい。1つ以上の実施形態では、MMP反応位相における反応性エッチングは、単原子層のエッチング（ALE）のみを許容される。この例では、吸着は、吸着層が単原子層の厚さ程度であるように制御されてよい。1つ以上の実施形態では、MMP反応位相における反応性エッチングは、吸着基板表面の複数の原子層を突き進んで完全にエッチングすることを許容される。1つ以上の実施形態では、1回のMMP反応位相のなかで、バルクMMP反応性エッチング、その後続く更に正確ではあるが更に低速でもある単層MMP反応性エッチングとがあるように、チャンバのパラメータが調節されてよい。

#### 【0083】

1つ以上の実施形態では、選択性を向上させるために、MMPエッチングが用いられる。これまで、MMPエッチングの例は、単一の材料（例えばこの例におけるシリコンなど）を伴ってきた。上で言及されたように、MMP準備位相における反応性ガスの選択は、シリコンのエッチングに適した反応性ガス（ $Cl_2$ など）を選択することを伴い、MMP反応位相におけるイオンエネルギーレベルの設定は、吸着SiC層のエッチングには適しているがその下の非吸着Si材料の塊のエッチングには適していないイオンエネルギーレベルを選択することを伴う。

#### 【0084】

基板をエッチングするときの2つの材料間における選択性を向上させるために、反応性ガスは、そこから一方の材料内への吸着を他方の材料内への吸着よりも好むプラズマが形成されるように、（MMP準備位相において使用されるために）選択されてよい。加えて又は或いは、選択されるガスは、両方の材料に吸着はされるが一方の材料上での揮発性化合物の形成を他方の材料上での揮発性化合物の形成よりも好むものであってよい。加えて又は或いは、選択されるガスは、一方の材料上でのほうが他方の材料上でよりも多くの蒸着を引き起こすものであってよい。加えて又は或いは、選択されるガスは、一方の材料の表面における結合強さを他方の材料の表面における結合強さよりも多く低下させるものであってよい。加えて又は或いは、MMP反応位相におけるイオンエネルギーは、一方の材料を他方の材料よりも積極的にエッチングするように選択されてよい。このMMP選択性エッチングの一例は、ポリシリコンをエッチングするが酸化物はエッチングしないエッチン

10

20

30

40

50

グである。この事例では、反応性ガスは、MMP準備位相では $Cl_2$ であるように選択され、これは、化学的考察に基づく、単独では酸化物をエッチングしない傾向があり、MMP反応位相におけるイオンエネルギー閾値は、例えば、ポリシリコンの場合は70 eV、酸化物の場合は80 eVであってよい。

【0085】

図8は、本発明の一実施形態にしたがって、シリコンエッチングの例における概念的MMPエッチングサイクルを（種密度対時間で）示しており、各サイクルは、少なくとも、MMP準備位相とMMP反応位相とを伴っている。図8を参照すると、MMPエッチングサイクル802は、少なくとも、MMP準備位相804とMMP反応位相806とを含む。MMP準備位相804及びMMP反応位相806のそれぞれのチャンバ条件及びガス条件は、上述されている。注意すべき重要な点は、ラジカルとイオンとが時間で分けられており、MMP準備位相804ではラジカルが多量であってイオンがほとんどなく、MMP反応位相806ではイオンが多量であってラジカルがほとんどないという事実である。

【0086】

図9は、本発明の1つ以上の実施形態にしたがって、MMP準備位相904において幾らかのイオンが存在する場合のその他の概念的MMPエッチングサイクルを示している。プラズマの発生による意図せぬ副作用として、イオンが存在するかもしれないが、MMP準備位相904では、吸着SiCl表面のエッチングに必要な閾値のイオンエネルギーレベル未満に（チャンバパラメータを操作することによって）維持される。イオンは、また、前述のように、注入を促すために、幾らかの少量のバイアス電力を用いることによって意図的に導入されることもある。それでもなお、イオンエネルギーは、MMP準備位相では、吸着SiCl表面のエッチングに必要な閾値のイオンエネルギーレベル未満に維持される。

【0087】

MMP反応位相906では、チャンバから反応性ガスが排除され、したがって、MMP反応位相906では、チャンバ内に実質的に反応物が存在しないことが好ましい。MMP準備位相904及びMMP反応位相906のそれぞれのチャンバ条件及びガス条件は、上述されている。前述のように、もし必要であれば、MMP準備位相904とMMP反応位相906との間に、MMP移行位相が挟まれてよい。或いは又は加えて、前のサイクルのMMP反応位相906と、次のMMPサイクルのMMP準備位相908との間に、別のMMP移行位相が挟まれてよい。

【0088】

図10は、本発明の1つ以上の実施形態にしたがって、生産ICPチャンバのなかでMMPエッチングを実施するための方法を示している。工程1000では、in-situ MMPエッチングの準備をするために、生産ICPチャンバのなかに、基板が提供される。なお、基板は、既にしばらくの間チャンバのなかに置かれていて、MMPエッチングに先立って既にその他の処理工程（バルクエッチングなど）が行われているかもしれないことが、理解されるべきである。工程1002では、チャンバは、MMP準備位相において動作するように構成される。このMMP準備位相では、反応性ガスがプラズマの助けを受けて基板表面内へ吸着されることが可能にされる。吸着の深さは、（その後続くMMP反応位相において実施される）自己制限エッチングの一態様を形成するように制御される。MMP準備位相のためのその他の代替の又は追加のチャンバ条件は、前述されている。

【0089】

工程1004では、チャンバは、MMP反応位相において基板をエッチングするように構成される。このMMP反応位相では、（1種以上の）不活性ガスから形成されるプラズマを使用した、プラズマの助けによる（1枚以上の）吸着層の除去を促すために、チャンバから反応性ガスが排除されるとともに、バイアス電力が引き上げられる（又はオンにされる）。MMP反応位相におけるイオンエネルギーは、吸着層のエッチングに必要なレベルよりも高く、ただしその下の非吸着層のエッチングに必要なレベルよりも低く設定され、そうして、エッチングを本質的に自己制限する。MMP反応位相のためのその他の代替の又は追加のチャンバ条件は、前述されている。MMP準備位相とMMP反応位相とを少な

くとも含むMMPサイクルは、MMPエッチングが完了された(1008)と見なされる(1006)まで繰り返される(1012)。

【0090】

以上からわかるように、MMPエッチングの実施形態は、ALEエッチング又は精密なエッチング(3Dロジック若しくはメモリデバイス若しくはMRAMの製造のためのエッチング)又は高選択性のエッチングに極めて適している。更に、本発明の実施形態は、基板の損傷を軽減し、その結果、エッチング前線を平坦にする。MMPエッチングの自己制限特性及び/又は高選択性は、エッチングされるべきでない(1枚以上の)層又は(1つ以上の)構造に対する構造的損傷を軽減するのに役立つ。場合によっては、MMPエッチングの自己制限特性は、エッチング精度及び/若しくはエッチング形状の向上に役立つ、並びに/又は過剰エッチングの必要性を軽減しうる。

10

【0091】

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きたが、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。例えば、MMPエッチングは、ICPチャンバの例を使用して開示されてきたが、MMPエッチングは、もし必要であれば、容量結合プラズマ(CCP)チャンバのなかで実施されてよい。MMPエッチングに関し、エッチングが容量結合プラズマチャンバのなかで実施されるときは、供給される高いRF周波数及び供給される低いRF周波数は、これらのRF信号がチャンバの1枚の板のみに提供されるのか又はチャンバの複数枚の板の間で分割されるのかにかかわらず、それぞれソースRF及びバイアスRFであると思なされてよい。

20

【0092】

別の例として、図で論じられたパルシング技術は、個々のプロセスの要件に適合するために、任意の組み合わせで組み合わせられてよい。例えば、任意の図(又は任意の図の一部又は複数の図の組み合わせ)で論じられた技術とともに、デューティサイクルの変形が実施されてよい。同様に、任意の図(若しくは任意の図の一部若しくは複数の図の組み合わせ)で論じられた技術及び/又はデューティサイクルの変形とともに、周波数チャージングが実施されてよい。同様に、任意の図(若しくは任意の図の一部若しくは複数の図の組み合わせ)で論じられた技術、及び/又はデューティサイクルの変形、及び/又は周波数チャージングとともに、不活性ガスの置き換えが実施されてよい。重要なのは、これらの様々な技術が、個別に及び/又は特定の図と関連付けて論じられてはいるが、特定のプロセスを実施するために、任意の組み合わせで組み合わせ可能であるという点である。

30

【0093】

本明細書では、様々な例が提供されているが、これらの例は、例示的なものであること、及び本発明を制限するものではないことを意図される。また、名称及び概要は、本明細書において便宜のために提供されたものであり、特許請求の範囲を解釈するために使用されるべきでない。もし、本明細書において「集合」という用語が用いられるならば、このような用語は、ゼロの、1つの、又は2つ以上の部材を対象範囲とした一般的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、本発明の方法及び装置を実現するものとして多くの代替的方法があることも、留意されるべきである。

本発明は、以下の適用例としても実現可能である。

40

[適用例1]

プラズマ処理システムのプラズマ処理チャンバのなかで基板を処理するための方法であって、前記プラズマ処理チャンバは、少なくとも1つのプラズマ発生ソースと、前記プラズマ処理チャンバの内部領域に少なくとも第1の反応性ガスを供給するための反応性ガスソース及び前記プラズマ処理チャンバの前記内部領域に少なくとも第1の非反応性ガスを供給するための非反応性ガスソースを少なくとも有し、前記方法は、

(a) 前記内部領域のなかでワークピースホルダの上に前記基板を配することと、

(b) 混同モードパルシング(MMP)準備位相を実施することであって、

前記第1の反応性ガスを前記内部領域に流入させることと、

少なくとも前記第1の反応性ガスをを用いて第1のプラズマを発生させ、前記第1のプ

50

ラズマによって前記基板を処理することと、  
を含む、ことと、

(c) 混同モードパルシング(MMP)反応位相を実施することであって、  
少なくとも前記第1の非反応性ガスを前記内部領域に流入させることと、

少なくとも前記第1の非反応性ガスを用いて第2のプラズマを発生させ、前記第2の  
プラズマによって前記基板を処理することであって、前記第2のプラズマは、前記MMP  
反応位相において、前記MMP準備位相における前記第1の反応性ガスの流量未満の流量  
の前記第1の反応性ガスによって発生する、ことと、  
を含む、ことと、

(d) 前記工程(b)及び(c)を複数回にわたって繰り返すことと、  
を備える方法。

10

[適用例2]

適用例1に記載の方法であって、  
前記MMP反応位相において、前記内部領域に第1の反応性ガスは流入されない、方法  
。

[適用例3]

適用例1に記載の方法であって、  
前記プラズマ処理チャンバは、誘導結合プラズマ処理チャンバを表す、方法。

[適用例4]

適用例1に記載の方法であって、  
前記プラズマ処理チャンバは、容量結合プラズマ処理チャンバを表す、方法。

20

[適用例5]

適用例1に記載の方法であって、  
前記非反応性ガスソースは、更に、第2の非反応性ガスを供給し、前記第2の非反応性  
ガスは、前記MMP準備位相において前記内部領域に流入される、方法。

[適用例6]

適用例1に記載の方法であって、  
前記第1の非反応性ガスも、前記MMP準備位相において前記内部領域に流入される、  
方法。

[適用例7]

適用例1に記載の方法であって、  
前記MMP準備位相において、前記ワークピースホルダにバイアス電力は印加されない  
、方法。

30

[適用例8]

適用例7に記載の方法であって、  
前記MMP反応位相において、ゼロを超えるバイアス電力レベルを有するバイアス電力  
が前記ワークピースホルダに印加される、方法。

[適用例9]

適用例1に記載の方法であって、  
前記少なくとも1つのプラズマ発生ソースは、前記MMP準備位相において、第1のR  
F周波数を有する第1のRF信号によって励起され、前記少なくとも1つのプラズマ発生  
ソースは、前記MMP反応位相において、前記第1のRF周波数とは異なる第2のRF周  
波数を有する第2のRF信号によって励起される、方法。

40

[適用例10]

適用例1に記載の方法であって、  
前記少なくとも1つのプラズマ発生ソースは、前記MMP準備位相において、第1のR  
F周波数を有する第1のRF信号によって励起され、前記第1のRF信号は、パルスされ  
たRF信号を表している、方法。

[適用例11]

適用例1に記載の方法であって、

50

前記少なくとも１つのプラズマ発生ソースは、前記ＭＭＰ準備位相において、第１のＲＦ周波数を有する第１のＲＦ信号によって励起され、前記第１のＲＦ信号は、チャージングされた周波数を有するＲＦ信号を表している、方法。

[適用例１２]

適用例１に記載の方法であって、更に、

前記ＭＭＰ反応位相において、前記第１の反応性ガスとは異なる第２の反応性ガスを前記内部領域に流入させることを備える方法。

[適用例１３]

適用例１２に記載の方法であって、

前記ＭＭＰ反応位相において、第１の反応性ガスは流されない、方法。

10

[適用例１４]

適用例１に記載の方法であって、

前記ＭＭＰ反応位相において、前記ワークピースホルダに第１のバイアス電力が印加され、前記ＭＭＰ反応位相において、前記第１のバイアス電力の電力レベルとは異なる電力レベルを有する第２のバイアス電力が前記ワークピースホルダに印加される、方法。

[適用例１５]

適用例１４に記載の方法であって、

前記第２のバイアス電力の前記電力レベルは、前記第１のバイアス電力の前記電力レベルよりも高い、方法。

[適用例１６]

20

適用例１に記載の方法であって、

前記プラズマ処理チャンバは、前記ＭＭＰ反応位相において、前記基板の表面上の吸着層をエッチングするために必要とされるよりも高いが前記基板の非吸着層をエッチングするためには不十分であるイオンエネルギーレベルを有する非反応性イオンを発生させるように構成され、前記吸着層は、前記ＭＭＰ準備位相において形成される、方法。

[適用例１７]

プラズマ処理システムの誘導結合プラズマ処理チャンバのなかで基板を処理するための方法であって、前記プラズマ処理チャンバは、少なくとも１つの誘導アンテナと、前記プラズマ処理チャンバの内部領域に少なくとも第１の反応性ガスを供給するための反応性ガスソース及び前記プラズマ処理チャンバの前記内部領域に少なくとも第１の非反応性ガスを供給するための非反応性ガスソースを少なくとも有し、前記方法は、

30

(a) 前記内部領域のなかでワークピースホルダの上に前記基板を配することと、

(b) 混同モードパルシング(ＭＭＰ)準備位相を実施することであって、

前記第１の反応性ガスを前記内部領域に流入させることと、

少なくとも前記第１の反応性ガスを用いて第１のプラズマを発生させ、前記第１のプラズマによって前記基板を処理することと、

を含む、ことと、

(c) 混同モードパルシング(ＭＭＰ)反応位相を実施することであって、

少なくとも前記第１の非反応性ガスを前記内部領域に流入させることと、

少なくとも前記第１の非反応性ガスを用いて第２のプラズマを発生させ、前記第２のプラズマによって前記基板を処理することであって、前記第２のプラズマは、前記ＭＭＰ反応位相において、前記ＭＭＰ準備位相における前記第１の反応性ガスの流量未満の流量の前記第１の反応性ガスによって発生し、前記プラズマ処理チャンバは、前記ＭＭＰ反応位相において、前記基板の表面上の吸着層をエッチングするために必要とされるよりも高いが前記基板の非吸着層をエッチングするためには不十分であるイオンエネルギーレベルを有する非反応性イオンを発生させるように構成され、前記吸着層は、前記ＭＭＰ準備位相において形成される、ことと、

40

を含む、ことと、

(d) 前記工程(b)及び(c)を複数回にわたって繰り返すことと、

を備える方法。

50

[ 適用例 1 8 ]

適用例 1 7 に記載の方法であって、

前記 M M P 反応位相において、前記内部領域に第 1 の反応性ガスは流入されない、方法。

[ 適用例 1 9 ]

適用例 1 7 に記載の方法であって、

前記 M M P 準備位相において、前記ワークピースホルダにバイアス電力は印加されない、方法。

[ 適用例 2 0 ]

適用例 1 9 に記載の方法であって、

前記 M M P 反応位相において、ゼロを超えるバイアス電力レベルを有するバイアス電力が前記ワークピースホルダに印加される、方法。

[ 適用例 2 1 ]

適用例 2 0 に記載の方法であって、

前記バイアス電力は、前記 M M P 反応位相においてパルスされる、方法。

[ 適用例 2 2 ]

適用例 1 7 に記載の方法であって、

前記少なくとも 1 つの誘導アンテナは、前記 M M P 準備位相において、第 1 の R F 周波数を有する第 1 の R F 信号によって励起され、前記少なくとも 1 つの誘導アンテナは、前記 M M P 反応位相において、前記第 1 の R F 周波数とは異なる第 2 の R F 周波数を有する第 2 の R F 信号によって励起される、方法。

[ 適用例 2 3 ]

適用例 1 7 に記載の方法であって、

前記少なくとも 1 つの誘導アンテナは、前記 M M P 準備位相において、第 1 の R F 周波数を有する第 1 の R F 信号によって励起され、前記第 1 の R F 信号は、パルスされた R F 信号を表している、方法。

[ 適用例 2 4 ]

適用例 1 7 に記載の方法であって、

前記少なくとも 1 つの誘導アンテナは、前記 M M P 反応位相において、第 1 の R F 周波数を有する第 1 の R F 信号によって励起され、前記第 1 の R F 信号は、パルスされた R F 信号を表している、方法。

10

20

30

【図 1】

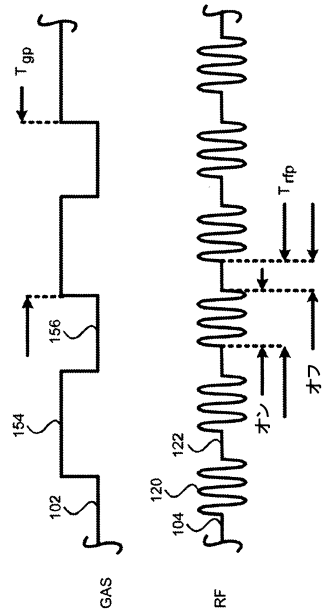


FIG. 1

【図 2】

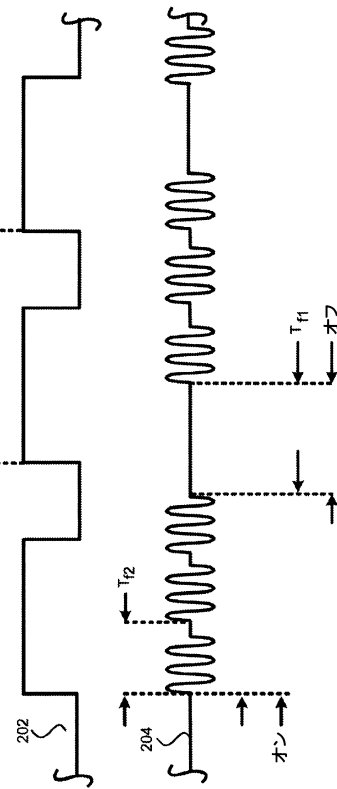


FIG. 2

【図 3】

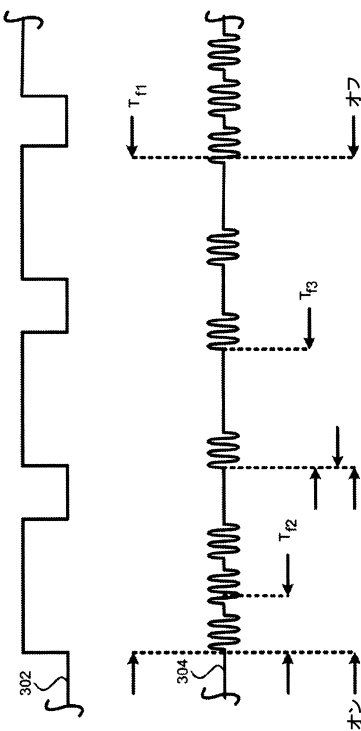


FIG. 3

【図 4】

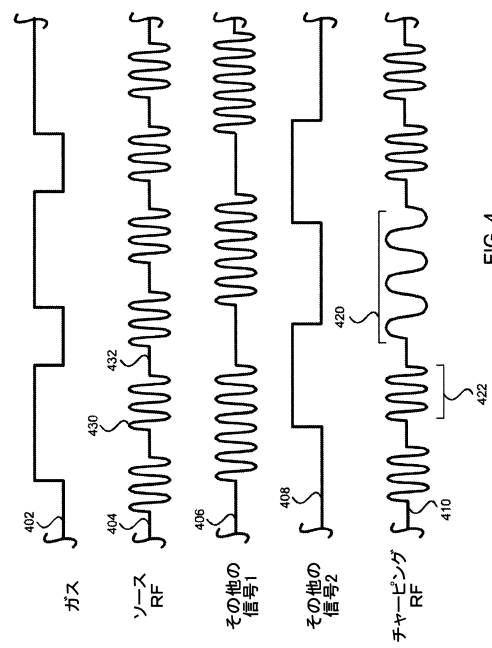


FIG. 4



【図 5】

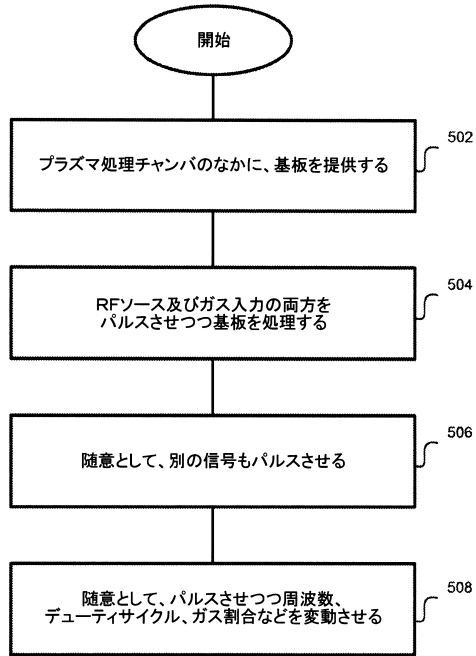


FIG. 5

【図 6】

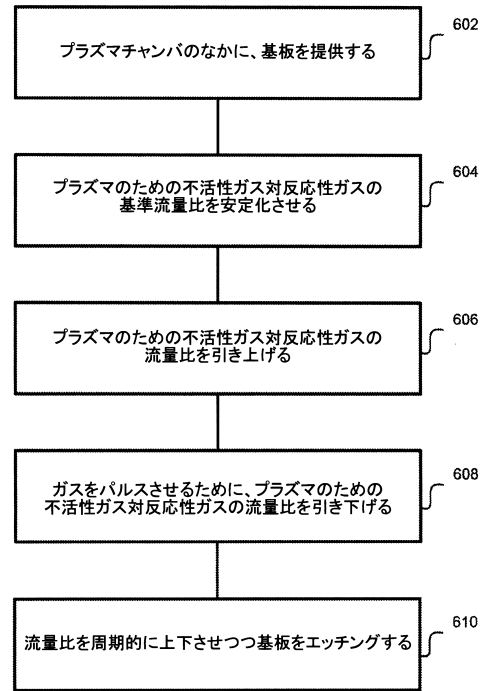


FIG. 6

【図 7 A】

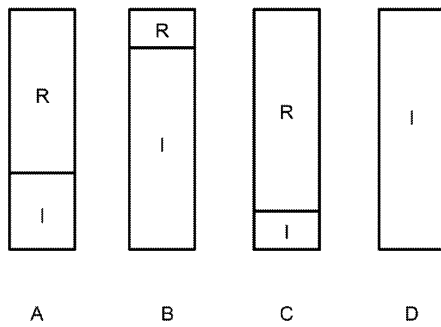


FIG. 7A

【図 7 B】

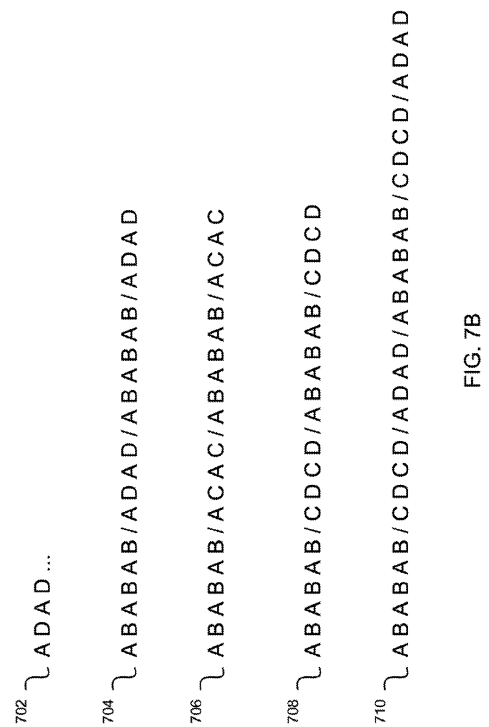


FIG. 7B

【図 8】

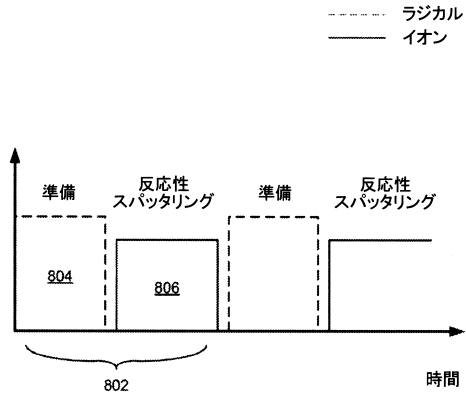


FIG. 8

【図 9】

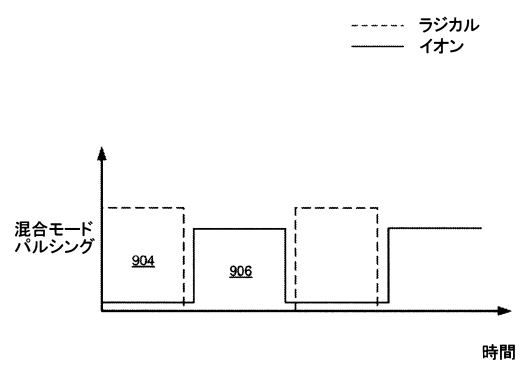


FIG.9

【図 10】

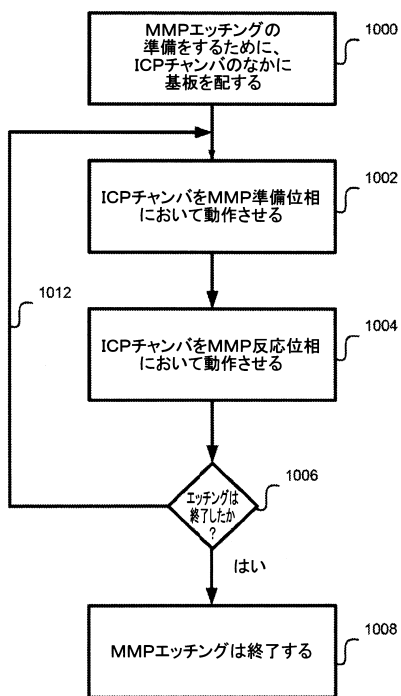


FIG. 10

---

フロントページの続き

(56)参考文献 特表2003-507880(JP,A)  
特開2007-126749(JP,A)  
特表2007-509506(JP,A)  
特開2011-215371(JP,A)  
特開平06-077184(JP,A)  
特開2000-306884(JP,A)  
特開平05-267226(JP,A)  
特表2006-507664(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/205  
H01L 21/302  
H01L 21/3065  
H01L 21/31  
H01L 21/312-21/32  
H01L 21/365  
H01L 21/461  
H01L 21/469-21/475  
H01L 21/86  
H05H 1/00-1/54