

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6349257号
(P6349257)

(45) 発行日 平成30年6月27日 (2018. 6. 27)

(24) 登録日 平成30年6月8日 (2018. 6. 8)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/3065 (2006. 01)

H O 5 H 1/46 (2006. 01)

H O 1 L 21/302 1 O 1 G

H O 1 L 21/302 1 O 1 B

H O 1 L 21/302 1 O 1 C

H O 5 H 1/46 L

H O 5 H 1/46 M

請求項の数 22 (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2014-540630 (P2014-540630)
 (86) (22) 出願日 平成24年11月12日 (2012. 11. 12)
 (65) 公表番号 特表2015-503223 (P2015-503223A)
 (43) 公表日 平成27年1月29日 (2015. 1. 29)
 (86) 国際出願番号 PCT/IB2012/056341
 (87) 国際公開番号 W02013/072831
 (87) 国際公開日 平成25年5月23日 (2013. 5. 23)
 審査請求日 平成27年11月6日 (2015. 11. 6)
 (31) 優先権主張番号 61/560, 001
 (32) 優先日 平成23年11月15日 (2011. 11. 15)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 13/550, 546
 (32) 優先日 平成24年7月16日 (2012. 7. 16)
 (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 CORPOR
 ATION
 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
 ェイ 4650
 (74) 代理人 110000028
 特許業務法人明成国際特許事務所
 (74) 代理人 100102989
 弁理士 井上 佳知
 (72) 発明者 ジェイコブス カナリク・ケレン
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州940
 24 ロス・アルトス, サマーヒル・アベ
 ニュー, 24481

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ハイブリッドパルス化プラズマ処理システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

プラズマ処理システムのプラズマ処理チャンバ内で層の原子層エッチングを提供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つのプラズマ発生源と、前記プラズマ処理チャンバの内部領域にプロセスガスを供給するための少なくとも1つのガス源とを有し、前記方法は、

R F 周波数を有する R F 信号で前記プラズマ発生源を励起し、

少なくとも第1のソースパルス周波数を用いて前記 R F 信号をパルス化することであって、前記 R F 信号の振幅、位相、および、周波数の少なくとも1つが、前記第1のソースパルス周波数に関連する R F パルス周期の第1の部分の間に第1の値を有すると共に、前記第1のソースパルス周波数に関連する前記 R F パルス周期の第2の部分の間に第2の値を有するようにパルス化し、

ガスパルス周波数を用いて前記ガス源をパルス化することであって、前記プロセスガスが、前記ガスパルス周波数に関連するガスパルス周期の第1の部分の間に第1の速度で前記プラズマ処理チャンバ内に流されると共に、前記ガスパルス周波数に関連する前記ガスパルス周期の第2の部分の間に第2の速度で前記プラズマ処理チャンバ内に流されるようにパルス化し、前記プロセスガスは、前記ガスパルス周期の前記第1の部分の間の成分ガスの第1のガス混合物組成と、前記ガスパルス周期の前記第2の部分の間の成分ガスの第2のガス混合物組成とを有し、前記第1のガス混合物組成は、前記第2のガス混合物組成と異なり、

前記 R F 信号の前記パルス化および前記ガス源の前記パルス化の間にバイアス R F をパルス化すること、

前記第 1 のソースパルス周波数は、前記ガスパルス周波数よりも高いこと、
を備える、方法。

【請求項 2】

請求項 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であり、前記少なくとも 1 つのプラズマ発生源は、少なくとも 1 つの誘導アンテナである、方法。

【請求項 3】

請求項 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であり、前記少なくとも 1 つのプラズマ発生源は、電極である、方法。

10

【請求項 4】

請求項 1 に記載の方法であって、前記 R F 信号は、さらに、前記第 1 のソースパルス周波数とは異なる第 2 のソースパルス周波数でパルス化される、方法。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の方法であって、前記第 1 のソースパルス周波数を用いる前記 R F 信号のパルス化は、前記ガスパルス周波数を用いる前記ガス源のパルス化と同期する、方法。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の方法であって、前記第 1 のソースパルス周波数を用いる前記 R F 信号のパルス化は、前記ガスパルス周波数を用いる前記ガス源のパルス化と非同期である、方法。

20

【請求項 7】

請求項 1 に記載の方法であって、前記ガス源のパルス化は、一定のデューティサイクルを用いる、方法。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の方法であって、前記ガス源のパルス化は、変化するデューティサイクルを用いる、方法。

【請求項 9】

請求項 1 に記載の方法であって、前記 R F 信号のパルス化は、一定のデューティサイクルを用いる、方法。

30

【請求項 10】

請求項 1 に記載の方法であって、前記 R F 信号のパルス化は、変化するデューティサイクルを用いる、方法。

【請求項 11】

請求項 1 に記載の方法であって、前記ガス源のパルス化は、周波数チャープングを用いる、方法。

【請求項 12】

請求項 1 に記載の方法であって、前記 R F 信号のパルス化は、周波数チャープングを用いる、方法。

【請求項 13】

40

請求項 1 に記載の方法であって、前記バイアス R F の前記パルス化は、別のパルス周波数を用いる、方法。

【請求項 14】

プラズマ処理システムのプラズマ処理チャンバ内で層の原子層エッチングを提供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 つのプラズマ発生源と、前記プラズマ処理チャンバの内部領域にプロセスガスを供給するための少なくとも 1 つのガス源とを有し、前記方法は、

R F 周波数を有する R F 信号で前記プラズマ発生源を励起し、

少なくとも第 1 のソースパルス周波数を用いて前記 R F 信号をパルス化することであって、前記 R F 信号の振幅、位相、および、周波数の少なくとも 1 つが、前記第 1 のソース

50

パルス周波数に関連する R F パルス周期の第 1 の部分の間に第 1 の値を有すると共に、前記第 1 のソースパルス周波数に関連する前記 R F パルス周期の第 2 の部分の間に第 2 の値を有するようにパルス化し、

ガスパルス周波数を用いて前記ガス源をパルス化することであって、前記プロセスガスが、前記ガスパルス周波数に関連するガスパルス周期の第 1 の部分の間に成分ガスの第 1 のガス混合物組成で前記プラズマ処理チャンバ内に流されると共に、前記ガスパルス周波数に関連する前記ガスパルス周期の第 2 の部分の間に第 2 のガス混合物組成で前記プラズマ処理チャンバ内に流されるようにパルス化し、

前記 R F 信号の前記パルス化および前記ガス源の前記パルス化の間に圧力をパルス化し、

10

前記 R F 信号の前記パルス化および前記ガス源の前記パルス化の間に別のパルス周波数を用いてバイアス R F をパルス化すること、
を備える、方法。

【請求項 1 5】

請求項 1 または 1 4 に記載の方法であって、前記第 1 のガス混合物組成は、前記第 2 のガス混合物組成内の不活性ガス対反応ガスの比よりも高い不活性ガス対反応ガスの比を有する、方法。

【請求項 1 6】

請求項 1 または 1 4 に記載の方法であって、前記第 1 のガス混合物組成は、前記第 2 のガス混合物組成内の不活性ガス対反応ガスの比よりも低い不活性ガス対反応ガスの比を有する、方法。

20

【請求項 1 7】

請求項 1 に記載の方法はさらに、前記プラズマ処理チャンバ内において圧力をパルス化することを備える、方法。

【請求項 1 8】

請求項 1 に記載の方法であって、前記プロセスガスは、反応ガスを含む、方法。

【請求項 1 9】

請求項 1 4 に記載の方法であって、前記第 1 のガス混合物組成は反応ガスを含み、前記第 2 のガス混合物組成は不活性ガスを含む、方法。

【請求項 2 0】

30

請求項 1 または 1 4 に記載の方法であって、少なくとも前記ガスパルス周期の前記第 1 の部分の間に前記プラズマ処理チャンバ内にプラズマが存在する、方法。

【請求項 2 1】

請求項 1 または 1 4 に記載の方法であって、前記ガスパルス周期の前記第 1 の部分の間および前記ガスプラズマ周期の第 2 の部分の間に前記プラズマ処理チャンバ内にプラズマが存在する、方法。

【請求項 2 2】

請求項 1 または 1 4 に記載の方法であって、前記バイアス R F のパルス化は前記ガス源のパルス化の周波数よりも高い周波数で行われる、方法。

【発明の詳細な説明】

40

【背景技術】

【0 0 0 1】

優先権の主張

本願は、米国特許法第 1 1 9 条 (e) の下、K e r e n J a c o b s K a n a r i k によって 2 0 1 1 年 1 1 月 1 5 日に出願された、本願の権利者が所有する発明の名称を「 I N T E R - D O M I N A N T P U L S 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不活性物優勢パルス化) 」とする米国仮特許出願第 6 1 / 5 6 0 , 0 0 5 号に基づく優先権を主張し、この仮出願は参照によって全てが本明細書に組み込まれる。

【0 0 0 2】

50

基板（例えば、ウエハまたは平面パネルまたはLCDパネル）を処理して集積回路またはその他の電子製品を形成するために、プラズマ処理システムが長い間用いられてきた。一般的なプラズマ処理システムは、特に、容量結合プラズマ処理システム（CCP）または誘電結合プラズマ処理システム（ICP）を備えうる。

【0003】

一般に、プラズマ基板処理には、イオンおよびラジカル（中性種ともいう）のバランスが関係する。例えば、イオンよりも多くのラジカルを有するプラズマを用いると、エッチングは、より化学的および等方性になる傾向がある。ラジカルよりも多くのイオンを有するプラズマを用いると、エッチングは、より物理的になる傾向があり、選択比が悪化する傾向がある。従来のプラズマチャンバでは、イオンおよびラジカルが、密に結合する傾向にある。したがって、（処理パラメータに関する）プロセスウィンドウは、イオンが優勢のプラズマまたはラジカルが優勢のプラズマを独立的に達成するための制御ノブ（control knobs）が限られているという事実により、かなり狭くなる傾向がある。

【0004】

電子デバイスが、より小さくおよび/または複雑になるにつれて、選択比、均一性、高アスペクト比、アスペクト依存エッチングなど、エッチング要件が増えている。圧力、RFバイアス、電力などの特定のパラメータを変更することにより、現行世代の製品に対してエッチングを実行することが可能になったが、より小型および/または精密な次世代の製品には、異なるエッチング能力が必要になる。イオンおよびラジカルをより効果的に分離して独立的に制御できないことが、一部のプラズマ処理システムで上述のようなより小型および/または精密な電子デバイスを製造するためにいくつかのエッチング処理を実行する制限となり、一部の例では、その実行を困難にしていた。

【0005】

従来技術では、エッチング中の異なる時にイオン対ラジカル比を調節するためのプラズマ条件を得る試みがなされてきた。従来のスキームでは、パルスサイクルの或る位相（例えば、パルスオン位相）中に通常のイオン対中性子の流束比を有するプラズマと、パルスサイクルの別の位相（例えば、パルスオフ位相）中により低いイオン対中性子の流束比を有するプラズマとを得るために、ソースRF信号がパルス化されうる（例えば、オンおよびオフ）。ソースRF信号は、バイアスRF信号と同期してパルス化されることが周知である。

【0006】

しかしながら、従来技術のパルス化は、或る程度まで、異なる時点に通常のイオン対中性子の流束比のプラズマの交互の位相をもたらし、いくつかの処理のための動作ウィンドウ（operating windows）を開いたが、より大きい動作ウィンドウが望まれていることが認められた。

【図面の簡単な説明】

【0007】

添付の図面では、限定ではなく例示を目的として本発明を図示する。なお、これらの添付図面においては、同様の構成要素には同様の符号が付されている。

【0008】

【図1】本発明の1または複数の実施形態に従って、入力ガス（反応ガスおよび/または不活性ガスなど）およびソースRF信号が共にパルス化されるが、異なるパルス周波数でパルス化される複合型パルス化スキームの一例を示す図。

【0009】

【図2】本発明の1または複数の実施形態に従って、複合型パルス化スキームの別の例を示す図。

【0010】

【図3】本発明の1または複数の実施形態に従って、複合型パルス化スキームのさらに別の例を示す図。

【0011】

【図4】本発明の1または複数の実施形態に従って、複合型パルス化スキームの他の可能な組み合わせを示す図。

【0012】

【図5】本発明の1または複数の実施形態に従って、複合型パルス化を実行するための工程を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下では、添付図面に例示されているいくつかの実施形態を参照しつつ、本発明の詳細な説明を行う。以下の説明では、本発明の完全な理解を促すために、数多くの具体的な詳細事項が示されている。しかしながら、当業者にとって明らかなように、本発明は、これらの具体的な詳細事項の一部または全てがなくとも実施することが可能である。また、本発明が不必要に不明瞭となるのを避けるため、周知の処理工程および/または構造については、詳細な説明を省略した。

【0014】

以下では、方法および技術を含め、様々な実施形態について説明する。本発明は、本発明の技術の実施形態を実行するためのコンピュータ読み取り可能な命令を格納するコンピュータ読み取り可能な媒体を含む製品も含みうることに留意されたい。コンピュータ読み取り可能な媒体としては、例えば、コンピュータ読み取り可能な暗号を格納するための半導体、磁気、光磁気、光学、または、その他の形態のコンピュータ読み取り可能な媒体が挙げられる。さらに、本発明は、本発明の実施形態を実施するための装置も含んでよい。かかる装置は、本発明の実施形態に関するタスクを実行するために、専用および/またはプログラム可能な回路を備えてよい。かかる装置の例は、汎用コンピュータおよび/または適切にプログラムされた専用コンピュータデバイスを含み、本発明の実施形態に関する様々なタスクに適したコンピュータ/コンピュータデバイスおよび専用/プログラム可能回路を組み合わせたものを含んでもよい。

【0015】

本発明の実施形態は、第1のパルス周波数で入力ガス（例えば、反応ガスおよび/または不活性ガス）をパルス化し、異なった第2のパルス周波数でソースRF信号をパルス化する複合型パルス化スキームに関する。本明細書の例においては、説明のために誘導結合プラズマ処理システムおよび誘導RF電源を用いているが、本発明の実施形態は、容量結合プラズマ処理システムおよび容量RF電源にも同様に適用されることを理解されたい。

【0016】

1または複数の実施形態において、入力ガスは、より遅いパルス周波数でパルス化され、誘導ソースRF信号は、誘導結合プラズマ処理システム内で、異なったより速いパルス周波数でパルス化される。例えば、誘導ソースRF信号が13.56MHzである場合、例えば、100Hzでパルス化されてよく、ガスは、異なるパルスレート（1Hzなど）でパルス化される。

【0017】

したがって、この例においては、ガスの全パルスサイクルは1秒である。ガスパルス化のデューティサイクルが70%である場合、ガスは、1秒間のガスパルス周期の70%でオンであり、1秒間のガスパルス周期の30%でオフでありうる。ソースRF信号のパルスレートが100Hzであるので、RF信号の全パルス周期は10msである。RFパルス化のデューティサイクルが40%である場合、RFオン位相（13.56MHz信号がオンである時）は、10msのRFパルス周期の40%であり、RFオフ位相（13.56MHz信号がオフである時）は、10msのRFパルス周期の60%である。

【0018】

1または複数の実施形態において、誘導ソースRF信号は、2つの異なる周波数でパルス化されてもよく、一方、ガスは、独自のガスパルス周波数でパルス化される。例えば、上述の13.56MHzのRF信号は、100Hzの周波数f1でパルス化されるだけでなく、周波数f1のオン位相中に、異なったより高い周波数でパルス化されてもよい。例

えば、RFパルスのデューティサイクルが f_1 パルスの40%である場合、 f_1 のオン位相は、10msの40%すなわち4msである。しかしながら、 f_1 の4msのオン位相中に、RF信号は、さらに、異なったより高い周波数 f_2 (400Hzなど)でパルス化されてよい。

【0019】

本発明の実施形態は、ガスパルスおよびRFパルスが同期(すなわち、パルス信号の立ち上がりエッジおよび/または立ち下がりエッジが一致する)または非同期であってよいことを想定する。デューティサイクルは、一定であってもよいし、他のパルス周波数から独立してまたは他のパルス周波数に依存して変化してもよい。

【0020】

1または複数の実施形態において、周波数チャープングが用いられてもよい。例えば、RF信号は、パルス周期のいずれか(例えば、RF信号またはガスのパルス周期の内のいずれか)の位相または位相の一部の間に、異なる周波数(例えば、13.56MHzに対して60MHz)を利用できるように、周期的または非周期的に基本周波数を変更してもよい。同様に、ガスパルス周波数が、必要に応じて、周期的または非周期的に時間と共に変更されてもよい。

【0021】

1または複数の実施形態において、上述のガスおよびソースRFのパルス化は、別のパラメータの1または複数のパルス化または変動と組み合わせてもよい(バイアスRF信号のパルス化、電極へのDCバイアスのパルス化、異なるパルス周波数の複数のRF周波数のパルス化、パラメータの内のいずれかの位相の変更など)。

【0022】

本発明の実施形態の特長および利点は、図面と以下の説明を参照すれば、よりよく理解できる。

【0023】

図1は、本発明の一実施形態に従って、入力(導入)ガス(反応ガスおよび/または不活性ガスなど)およびソースRF信号が共にパルス化されるが、異なるパルス周波数でパルス化される複合型パルス化スキームの一例を示す。図1の例において、入力ガス102は、約2秒/パルスまたは2MHzのガスパルスレート($1/T_{gp}$ と定義され、 T_{gp} はガスパルスの周期)でパルス化される。

【0024】

13.56MHzのTCPソースRF信号104は、RFパルスレート($1/T_{rfp}$ と定義され、 T_{rfp} はRFパルスの周期)でパルス化される。本明細書でのRFパルス化の概念を明確にすると、RF信号は、期間120中にオン(13.56MHz RF信号など)であり、期間122中にオフである。ガスパルスレートおよびRFパルスレートの各々は、独自のデューティサイクルを有してよい(パルスオンの時間を全パルス周期で割ったものとして定義される)。パルス信号のいずれに対してもデューティサイクルが50%でなければならないという要件はなく、デューティサイクルは、特定の処理のために必要に応じて変化してもよい。

【0025】

一実施形態において、ガスパルス化およびRF信号パルス化は、同じデューティサイクルで行われる。別の実施形態において、ガスパルス化およびRF信号パルス化は、最大限に詳細な制御を行うために、独立して制御可能な(そして、異なってもよい)デューティサイクルで行われる。1または複数の実施形態において、ガスパルス信号およびRFパルス信号の立ち上がりエッジおよび/または立ち下がりエッジは同期してよい。1または複数の実施形態において、ガスパルス信号およびRFパルス信号の立ち上がりエッジおよび/または立ち下がりエッジは非同期的であってよい。

【0026】

図2において、ガス入力202は、独自のガスパルス周波数でパルス化される。ただし、ソースRF信号204は、2つの異なる周波数でパルス化されうるが、ガスは、独自の

10

20

30

40

50

ガスパルス周波数 ($1/T_{gp}$ と定義され、 T_{gp} はガスパルスの周期である) でパルス化される。例えば、RF 信号は、周波数 f_1 (図から $1/T_{f_1}$ と定義される) でパルス化されるだけでなく、 f_1 パルス化のオン位相中に、異なったより高い周波数でさらにパルス化されうる。例えば、 f_1 パルス化のこのオン位相中に、RF 信号は、異なるパルス周波数 f_2 (図から $1/T_{f_2}$ と定義される) でパルス化されてよい。

【0027】

図3において、ガス入力302は、独自のガスパルス周波数でパルス化される。ただし、ソースRF信号304は、3つの異なる周波数でパルス化されうるが、ガスは、独自のガスパルス周波数でパルス化される。例えば、RF信号は、周波数 f_1 (図から $1/T_{f_1}$ と定義される) でパルス化されるだけでなく、 f_1 パルス化のオン位相中に、異なったより高い周波数でさらにパルス化されうる。このように、 f_1 パルス化のこのオン位相中に、RF信号は、異なるパルス周波数 f_2 (図から $1/T_{f_2}$ と定義される) でパルス化されてよい。 f_1 パルス化のオフ位相中に、RF信号は、異なるパルス周波数 f_3 (図から $1/T_{f_3}$ と定義される) でパルス化されてよい。

【0028】

追加的または代替的に、デューティサイクルは、図1～図3の例では一定として図示されているが、デューティサイクルは、周期的または非周期的に、および、パルス信号(ガスパルス信号、RFパルス信号、または、その他の信号)の内の1信号の位相に独立してまたは依存して変化してもよい。さらに、デューティサイクルの変化は、パルス信号(ガスパルス信号、RFパルス信号、または、その他の信号)の内の任意の1信号の位相に関して同期または非同期的であってよい。

【0029】

一実施形態において、RFパルス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の154)中に或る値に設定され、ガスパルスのオフ位相(例えば、図1の156)中には別の異なる値に設定されることが有利である。好ましい実施形態において、RFパルス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の154)中に或る値に設定され、ガスパルスのオフ位相(例えば、図1の156)中にはより低い値に設定されることが有利である。デューティサイクルがガスパルスのオン位相中に高く、ガスパルスのオフ位相中に低いこのRFパルスデューティサイクルの実施形態は、一部のエッチングに対して有利であると考えられる。デューティサイクルがガスパルスのオン位相中に低く、ガスパルスのオフ位相中に高いこのRFパルスデューティサイクルの変動は、一部のエッチングに対して有利であると考えられる。本明細書で用いられるように、信号がパルス化された場合、デューティサイクルは、信号がパルス化された期間中には100%以外である(すなわち、パルス化および「常にオン」は、2つの異なる概念である)。

【0030】

追加的または代替的に、パルス信号(ガスパルス信号、RFパルス信号、または、その他の信号)のいずれかに、周波数チャープングが用いられてもよい。以下では、周波数チャープングについて、図4のRFパルス信号と関連して詳述する。

【0031】

1または複数の実施形態において、ガスは、ガスパルスのオン位相中に、反応ガスおよび不活性ガス(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通りになるようにパルス化される。ガスパルスのオフ位相中、反応ガスおよび不活性ガスの両方の少なくとも一部が除去されてよい。他の実施形態では、ガスパルスのオフ位相中に、反応ガスの少なくとも一部が除去され、不活性ガスに置き換えられる。有利な実施形態において、チャンバ圧を実質的に同じに保つために、ガスパルスのオフ位相中に、反応ガスの少なくとも一部が除去され、不活性ガスに置き換えられる。

【0032】

1または複数の実施形態において、ガスパルスのオフ位相中、チャンバ内に流される全ガス中の不活性ガスの割合は、約X%から約100%まで変化してよく、ここで、Xは、

10

20

30

40

50

ガスパルスのオン位相中に用いられる全ガス流中の不活性ガスの割合である。より好ましい実施形態において、チャンバ内に流される全ガス中の不活性ガスの割合は、約 $1.1X\%$ から約 100% まで変化してよく、ここで、 X は、ガスパルスのオン位相中に用いられる全ガス流中の不活性ガスの割合である。好ましい実施形態において、チャンバ内に流される全ガス中の不活性ガスの割合は、約 $1.5X\%$ から約 100% まで様々であってよく、ここで、 X は、ガスパルスのオン位相中に用いられる全ガス流中の不活性ガスの割合である。

【0033】

ガスパルスレートは、チャンバ内のガスの滞留時間によって上限（周波数上限）に制限される。この滞留時間の概念は、当業者に周知であり、チャンバ設計によって様々である。例えば、滞留時間は、通例、容量結合チャンバでは数十ミリ秒の範囲にある。別の例において、滞留時間は、通例、誘導結合チャンバでは数十ミリ秒から数百ミリ秒の範囲にある。

10

【0034】

1 または複数の実施形態において、ガスのパルス周期は、 10 ミリ秒から 50 秒の範囲、より好ましくは 50 ミリ秒から約 10 秒の範囲、好ましくは約 500 ミリ秒から約 5 秒の範囲であってよい。

【0035】

ソース RF のパルス周期は、本発明の実施形態によると、ガスのパルス周期よりも短い。RF のパルス周波数は、RF 信号の周波数によって上限に制限される（例えば、RF 周波数が 13.56 MHz である場合、 13.56 MHz が、RF パルス周波数に上限を課す）。

20

【0036】

図 4 は、本発明の 1 または複数の実施形態に従って、他の可能な組み合わせを示す。図 4 において、別の信号 406（バイアス RF または任意の他の周期的なパラメータなど）が、ガスパルス信号 402 およびソース RF パルス信号 404（430 および 432 で示すようにパルス化されている）と共にパルス化されてよい。信号 406 のパルス化は、システムにおける任意の他の信号と同期または非同期にされてよい。

【0037】

代替的または追加的に、別の信号 408（DC バイアスまたは温度または圧力または任意の他の非周期的なパラメータなど）が、ガスパルス信号 402 およびソース RF パルス信号 404 と共にパルス化されてもよい。信号 408 のパルス化は、システムにおける任意の他の信号と同期または非同期にされてよい。

30

【0038】

代替的または追加的に、別の信号 410（RF ソースまたは RF バイアスまたは任意の他の非周期的なパラメータなど）が、ガスパルス信号 402 と共にチャージングおよびパルス化されてもよい。例えば、信号 410 がパルスしている時に、信号 410 の周波数は、信号 410 または別の信号（ガスパルス信号など）の位相に応じて、または、ツール制御コンピュータからの制御信号にตอบสนองして、変化してよい。図 4 の例において、符号 422 は、符号 420 と関連した周波数よりも高い周波数の領域を指している。低い方の周波数 422 の一例は、 27 MHz であってよく、高い方の周波数 420 は、 60 MHz であってよい。信号 410 のパルス化および / またはチャージングは、システムにおける任意の他の信号と同期または非同期にされてよい。

40

【0039】

図 5 は、本発明の一実施形態に従って、複合型パルス化を実行するための工程を示す。図 5 の工程は、例えば、1 または複数のコンピュータの制御下でソフトウェアによって実行されうる。ソフトウェアは、コンピュータ読み取り可能な媒体（1 または複数の実施形態では非一時的なコンピュータ読み取り可能な媒体など）に格納されてよい。

【0040】

工程 502 で、基板が、プラズマ処理チャンバ内に準備される。工程 504 で、基板は

50

、RFソースおよび入力ガスの両方をパルス化した状態で処理される。1または複数の他の信号（RFバイアスまたは別の信号など）の任意選択的なパルス化が工程506に示されている。工程508で、RFソースおよび入力ガスをパルス化する際に、周波数、デューティサイクル、ガスの割合などが、任意選択的に変更されてもよい。

【0041】

本発明の実施形態は、同日付けで出願され、参照によって本願に組み込まれる、本願の権利者が所有する同時係属の発明の名称を「Inert-Dominant Pulsing In Plasma Processing System」とする特許出願（代理人整理番号P2337P/LMRX-P226P1）に開示されたガスパルス化技術の内の1または複数を利用してもよい。

10

【0042】

上記からわかるように、本発明の実施形態は、エッチング処理のためのプロセスウィンドウを広げることができる別の制御ノブを提供する。多くの現行のプラズマチャンバが、パルス化バルブまたはパルス化マスフローコントローラと、パルス可能なRF電源とをすでに備えているので、高価なハードウェアの改造を必要とすることなしに、より広いプロセスウィンドウを達成することができる。現行のツールの所有者は、既存のエッチング処理システムを利用することで、小さいソフトウェアアップグレードおよび/または小さいハードウェアの変更により、エッチングの向上を達成できる。さらに、イオン束対ラジカル束の比の向上した制御および/またはより細かい制御によって、選択比および均一性および逆RIEラグ効果が改善されうる。例えば、ラジカル束に比べてイオン束を増大させることにより、一部の例では、基板上の或る層の別の層に対する選択比が改善しうる。イオン対ラジカルのかかる向上された制御により、原子層エッチング（ALE）がより効率的に達成されうる。

20

【0043】

以上、いくつかの好ましい実施形態を参照しつつ本発明を説明したが、本発明の範囲内で、種々の代替物、置換物、および、等価物が可能である。例えば、図面に記載したパルス化技術は、特定の処理の要件を満たすために、任意の組み合わせで組み合わせられてよい。例えば、デューティサイクルの変動は、図面の内の任意の1図面（または任意の1図面の一部または複数図面の組み合わせ）で説明された技術と共に実施されてよい。同様に、周波数チャージングは、図面の内の任意の1図面（または任意の1図面の一部または複数図面の組み合わせ）で説明された技術および/またはデューティサイクルの変動と共に実施されてよい。同様に、不活性ガスの置換が、図面の内の任意の1図面（または任意の1図面の一部または複数図面の組み合わせ）で説明された技術および/またはデューティサイクルの変動および/または周波数チャージングと共に実施されてよい。重要なのは、個々におよび/または具体的な図面と関連して技術を説明しているが、特定の処理を実行するために、任意の組み合わせで様々な技術を組み合わせることができる点である。

30

【0044】

本明細書では様々な例を提供したが、これらの例は、例示を目的としたものであり、本発明を限定するものではない。また、発明の名称および発明の概要は、便宜上、本明細書で提供されているものであり、特許請求の範囲を解釈するために用いられるべきものではない。「セット（組）」という用語が用いられている場合には、かかる用語は、一般的に理解される数学的な意味を持ち、0、1、または、2以上の要素を網羅するよう意図されている。また、本発明の方法および装置を実施する他の態様が数多く存在することにも注意されたい。

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内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つのプラズマ発生源と、前記プラズマ処理チャンバの内部領域にプロセスガスを供給するための少なくとも1つのガス源とを有し、前記方法は、

RF周波数を有するRF信号で前記プラズマ発生源を励起し、

少なくとも第1のソースパルス周波数を用いて前記RF信号をパルス化することであっ

50

て、前記 R F 信号の振幅、位相、および、周波数の少なくとも 1 つが、前記第 1 のソースパルス周波数に関連する R F パルス周期の第 1 の部分の間に第 1 の値を有すると共に、前記第 1 のソースパルス周波数に関連する前記 R F パルス周期の第 2 の部分の間に第 2 の値を有するようにパルス化し、

ガスパルス周波数を用いて前記ガス源をパルス化することであって、前記プロセスガスが、前記ガスパルス周波数に関連するガスパルス周期の第 1 の部分の間に第 1 の速度で前記プラズマ処理チャンバ内に流されると共に、前記ガスパルス周波数に関連する前記ガスパルス周期の第 2 の部分の間に第 2 の速度で前記プラズマ処理チャンバ内に流されるようにパルス化すること、

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であり、前記少なくとも 1 つのプラズマ発生源は、少なくとも 1 つの誘導アンテナである、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、容量結合プラズマ処理チャンバであり、前記少なくとも 1 つのプラズマ発生源は、電極である、方法。

適用例 4：適用例 1 に記載の方法であって、前記ソースパルス周波数は、前記ガスパルス周波数よりも高い、方法。

適用例 5：適用例 1 に記載の方法であって、前記 R F 信号は、さらに、前記第 1 のソースパルス周波数とは異なる第 2 のソースパルス周波数でパルス化される、方法。

20

適用例 6：適用例 1 に記載の方法であって、前記第 1 のソースパルス周波数を用いる前記 R F 信号のパルス化は、前記ガスパルス周波数を用いる前記ガス源のパルス化と同期する、方法。

適用例 7：適用例 1 に記載の方法であって、前記第 1 のソースパルス周波数を用いる前記 R F 信号のパルス化は、前記ガスパルス周波数を用いる前記ガス源のパルス化と非同期である、方法。

適用例 8：適用例 1 に記載の方法であって、前記ガス源のパルス化は、一定のデューティサイクルを用いる、方法。

適用例 9：適用例 1 に記載の方法であって、前記ガス源のパルス化は、変化するデューティサイクルを用いる、方法。

30

適用例 10：適用例 1 に記載の方法であって、前記 R F 信号のパルス化は、一定のデューティサイクルを用いる、方法。

適用例 11：適用例 1 に記載の方法であって、前記 R F 信号のパルス化は、変化するデューティサイクルを用いる、方法。

適用例 12：適用例 1 に記載の方法であって、前記ガス源のパルス化は、周波数チャープングを用いる、方法。

適用例 13：適用例 1 に記載の方法であって、前記 R F 信号のパルス化は、周波数チャープングを用いる、方法。

適用例 14：適用例 1 に記載の方法であって、さらに、前記 R F 信号のパルス化および前記ガス源のパルス化の間に、別のパルス周波数を用いて、前記 R F 信号および前記ガス源以外の別のパラメータをパルス化することを備える、方法。

40

適用例 15：適用例 14 に記載の方法であって、前記別のパラメータは、バイアス R F 信号である、方法。

適用例 16：適用例 14 に記載の方法であって、前記別のパラメータは、バイアス D C 信号である、方法。

適用例 17：適用例 1 に記載の方法であって、前記プロセスガスは、前記ガスパルス周期の前記第 1 の部分の間の成分ガスの第 1 の混合物組成と、前記ガスパルス周期の前記第 2 の部分の間の成分ガスの第 2 の混合物組成とを有し、前記第 1 の混合物組成は、前記第 2 の混合物組成と異なる、方法。

適用例 18：適用例 17 に記載の方法であって、前記第 1 の混合物組成は、前記第 2 の

50

混合物組成内の不活性ガス対反応ガスの比よりも高い不活性ガス対反応ガスの比を有する、方法。

適用例 19：適用例 17 に記載の方法であって、前記第 1 の混合物組成は、前記第 2 の混合物組成内の不活性ガス対反応ガスの比よりも低い不活性ガス対反応ガスの比を有する、方法。

適用例 20：プラズマ処理システムのプラズマ処理チャンバ内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 つのプラズマ発生源と、前記プラズマ処理チャンバの内部領域にプロセスガスを供給するための少なくとも 1 つのガス源とを有し、前記方法は、

RF 周波数を有する RF 信号で前記プラズマ発生源を励起し、

少なくとも第 1 のソースパルス周波数を用いて前記 RF 信号をパルス化することであって、前記 RF 信号の振幅、位相、および、周波数の少なくとも 1 つが、前記第 1 のソースパルス周波数に関連する RF パルス周期の第 1 の部分の間に第 1 の値を有すると共に、前記第 1 のソースパルス周波数に関連する前記 RF パルス周期の第 2 の部分の間に第 2 の値を有するようにパルス化し、

ガスパルス周波数を用いて前記ガス源をパルス化することであって、前記プロセスガスが、前記ガスパルス周波数に関連するガスパルス周期の第 1 の部分の間に成分ガスの第 1 のガス混合物組成で前記プラズマ処理チャンバ内に流されると共に、前記ガスパルス周波数に関連する前記ガスパルス周期の第 2 の部分の間に第 2 のガス混合物組成で前記プラズマ処理チャンバ内に流されるようにパルス化すること、
を備える、方法。

適用例 21：適用例 20 に記載の方法であって、前記第 1 の混合物組成は、前記第 2 の混合物組成内の不活性ガス対反応ガスの比よりも高い不活性ガス対反応ガスの比を有する、方法。

適用例 22：適用例 20 に記載の方法であって、前記第 1 の混合物組成は、前記第 2 の混合物組成内の不活性ガス対反応ガスの比よりも低い不活性ガス対反応ガスの比を有する、方法。

適用例 23：適用例 20 に記載の方法であって、前記ガス源のパルス化は、変化するデューティサイクルを用いる、方法。

適用例 24：適用例 20 に記載の方法であって、前記 RF 信号のパルス化は、変化するデューティサイクルを用いる、方法。

10

20

30

【図 1】

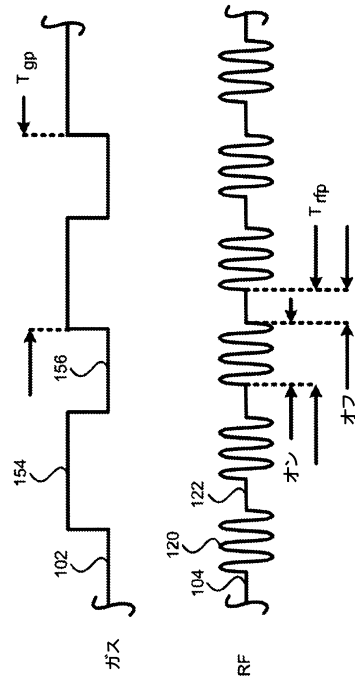


FIG. 1

【図 2】

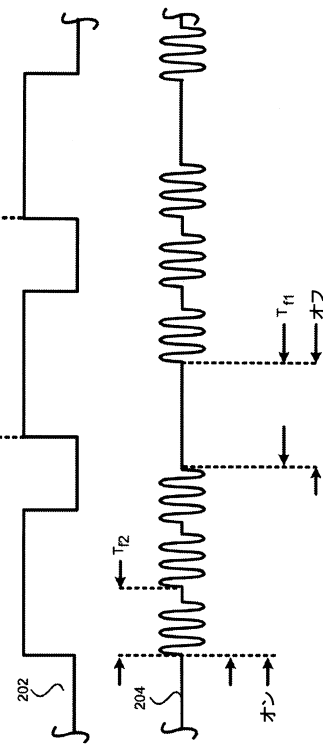


FIG. 2

【図 3】

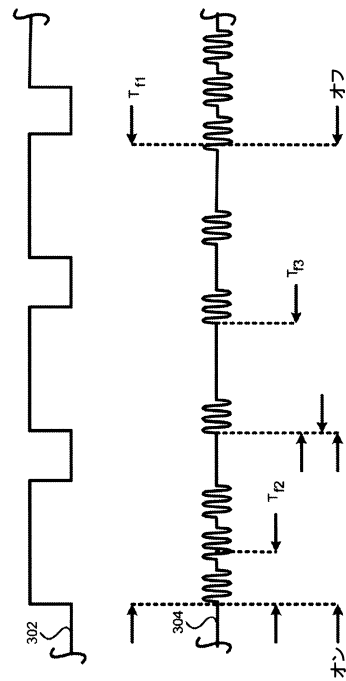


FIG. 3

【図 4】

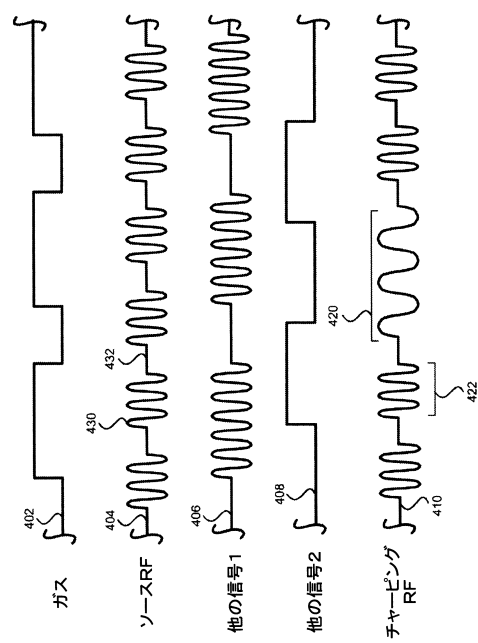


FIG. 4

【図 5】

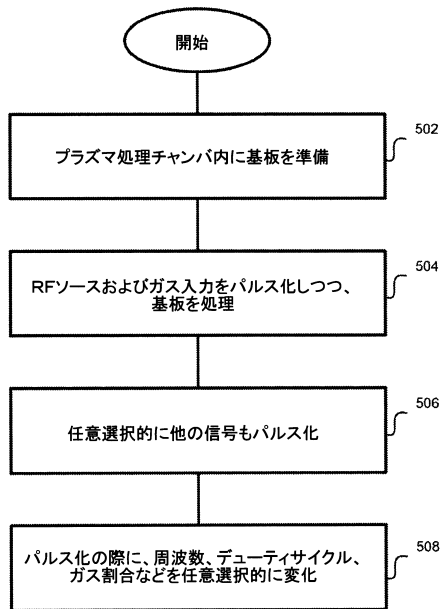


FIG. 5

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 L 21/302 1 0 5

- (72)発明者 グーハ・ジョイディーブ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 0 6 ダンビル, ハスキング・ランチ・サークル, 6 4
- (72)発明者 リー・ウォンチュル
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 8 2 サン・ラモン
- (72)発明者 フー・チエン
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 6 6 プレザントン
- (72)発明者 エップラー・アーロン・スコット
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 3 6 フレモント

審査官 正山 旭

- (56)参考文献 特表 2 0 0 3 - 5 0 7 8 8 0 (J P , A)
特開平 0 7 - 2 2 6 3 9 7 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 1 / 0 1 3 9 7 4 8 (U S , A 1)
特開平 0 3 - 2 6 3 8 2 7 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 0 2 / 0 1 6 0 1 2 5 (U S , A 1)
特表 2 0 1 2 - 5 2 9 7 7 7 (J P , A)
特表 2 0 0 2 - 5 0 8 1 1 7 (J P , A)
特表 2 0 0 8 - 5 4 4 5 4 6 (J P , A)
特表 2 0 0 7 - 5 0 9 5 0 6 (J P , A)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
H 0 1 L 2 1 / 3 0 6 5
H 0 5 H 1 / 4 6