

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2021-34487  
(P2021-34487A)

(43) 公開日 令和3年3月1日(2021.3.1)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)  
H O 1 L 21/3065 (2006.01) H O 1 L 21/302 I O 5 A 5 F 0 0 4

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2019-151441 (P2019-151441)	(71) 出願人	000219967 東京エレクトロン株式会社 東京都港区赤坂五丁目3番1号
(22) 出願日	令和1年8月21日 (2019.8.21)	(74) 代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100113435 弁理士 黒木 義樹
		(74) 代理人	100122507 弁理士 柏岡 潤二
		(72) 発明者	青木 裕介 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内
		(72) 発明者	戸花 敏勝 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内

最終頁に続く

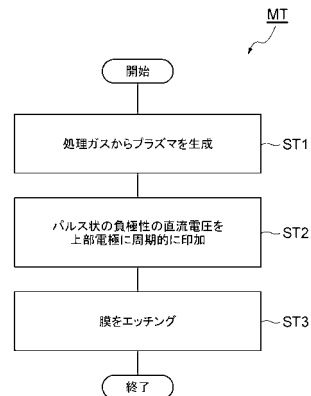
(54) 【発明の名称】 基板を処理する方法、デバイス製造方法、及びプラズマ処理装置

(57) 【要約】

【課題】有機マスクのパターンの形状バラツキ及び有機マスクの縮小を抑制する方法を提供する。

【解決手段】一つの例示的实施形態において、基板を処理する方法が提供される。基板は、パターニングされた有機マスクを有する。方法は、プラズマ処理装置のチャンバ内に基板が収容された状態で、チャンバ内で処理ガスからプラズマを生成する工程を含む。方法は、プラズマを生成する工程の実行中に、プラズマ処理装置の上部電極に周期的にパルス状の負極性の直流電圧を印加する工程を更に含む。パルス状の負極性の直流電圧を印加する工程は、プラズマからのイオンを上部電極に供給して上部電極から放出されるシリコン含有物を基板上に堆積させるために行われる。

【選択図】 図 1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

パターンニングされた有機マスクを有する基板を処理する方法であって、

プラズマ処理装置のチャンバ内に前記基板が収容された状態で、前記チャンバ内で処理ガスからプラズマを生成する工程と、

プラズマを生成する前記工程の実行中に、前記プラズマからのイオンを前記プラズマ処理装置の上部電極に供給して該上部電極から放出されるシリコン含有物を前記基板上に堆積させるために、前記上部電極に周期的にパルス状の負極性の直流電圧を印加する工程と、

を含む方法。

10

## 【請求項 2】

前記処理ガスは、アルゴンガス、水素ガス、及び窒素ガスのうち少なくとも一つを含む、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 3】

一周期内で前記パルス状の負極性の直流電圧が印加される時間が占める割合であるデューティ比は、0.2 以上、0.5 以下である、請求項 1 又は 2 に記載の方法。

## 【請求項 4】

前記パルス状の負極性の直流電圧が前記上部電極に印加される周期の逆数である周波数は、400 kHz 以上、1 MHz 以下である、請求項 1 ~ 3 の何れか一項に記載の方法。

## 【請求項 5】

前記パルス状の負極性の直流電圧の絶対値は、500 V 以上、1200 V 以下である、請求項 1 ~ 4 の何れか一項に記載の方法。

20

## 【請求項 6】

前記基板は、膜を更に有し、前記有機マスクは、前記膜の上に設けられており、

前記チャンバ内で別の処理ガスから生成されるプラズマを用いて、前記膜をエッチングする工程を更に含む、

請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載の方法。

## 【請求項 7】

パターンニングされた有機マスクを有する基板を、請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載の方法により処理することを含む、デバイス製造方法。

30

## 【請求項 8】

チャンバと、

前記チャンバ内に設けられた基板支持器と、

前記チャンバ内でプラズマを生成するために高周波電力を発生する高周波電源と、

前記基板支持器の上方に設けられた上部電極と、

前記上部電極に接続された直流電源装置と、

前記高周波電源及び前記直流電源装置を制御するように構成された制御部と、

を備え、

前記制御部は、

前記チャンバ内で処理ガスからプラズマを生成するために高周波電力を供給するよう

40

、前記高周波電源を制御し、

前記チャンバ内で前記処理ガスから前記プラズマが生成されているときに、該プラズマからのイオンを前記上部電極に供給して該上部電極から放出されるシリコン含有物を前記基板上に堆積させるために、前記上部電極に周期的にパルス状の負極性の直流電圧を印加するよう、前記直流電源装置を制御する、プラズマ処理装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本開示の例示的实施形態は、基板を処理する方法、デバイス製造方法、及びプラズマ処

50

理装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

電子デバイスの製造においては、パターンニングされた有機マスクを有する基板がプラズマを用いて処理されることがある。下記の特許文献1～3には、有機マスクを改質するためのプラズマ処理が記載されている。これら文献に記載されたプラズマ処理では、容量結合型のプラズマ処理装置が用いられる。容量結合型のプラズマ処理装置は、チャンバ、基板支持器、及び上部電極を備える。基板支持器は、チャンバ内に設けられている。上部電極は、基板支持器の上方に設けられている。チャンバ内では処理ガスからプラズマが生成される。そして、上部電極に負極性の直流電圧が印加される。その結果、プラズマからの正イオンが上部電極に衝突して、二次電子及び/又はシリコンが上部電極から放出される。放出された二次電子及び/又はシリコンは、有機マスクを改質する。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2017-98455号公報

【特許文献2】特開2014-96499号公報

【特許文献3】特開2006-270019号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0004】

有機マスクのプラズマ処理には、有機マスクのパターンの形状バラツキ及び有機マスクの縮小を抑制することが求められている。

【課題を解決するための手段】

【0005】

一つの例示的实施形態において、基板を処理する方法が提供される。基板は、パターンニングされた有機マスクを有する。方法は、プラズマ処理装置のチャンバ内に基板が収容された状態で、チャンバ内で処理ガスからプラズマを生成する工程を含む。方法は、プラズマを生成する工程の実行中に、プラズマ処理装置の上部電極に周期的にパルス状の負極性の直流電圧を印加する工程を更に含む。パルス状の負極性の直流電圧を印加する工程は、プラズマからのイオンを上部電極に供給して上部電極から放出されるシリコン含有物を基板上に堆積させるために行われる。

30

【発明の効果】

【0006】

一つの例示的实施形態によれば、有機マスクのプラズマ処理において、有機マスクのパターンの形状バラツキ及び有機マスクの縮小を抑制することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】一つの例示的实施形態に係る基板を処理する方法の流れ図である。

【図2】図2の(a)及び図2の(b)は、一例の基板の部分拡大断面図である。

40

【図3】一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す図である。

【図4】図3に示すプラズマ処理装置の直流電源装置の構成の一例を示す図である。

【図5】一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置における高周波電力及び直流電源装置の出力電圧の一例を示すタイミングチャートである。

【図6】図6の(a)、図6の(b)、図6の(c)、及び図6の(d)は、図1に示す方法における各処理後の一例の基板の部分拡大断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下、種々の例示的实施形態について説明する。

【0009】

50

一つの例示的施形態において、基板を処理する方法が提供される。基板は、パターンニングされた有機マスクを有する。方法は、プラズマ処理装置のチャンバ内に基板が収容された状態で、チャンバ内で処理ガスからプラズマを生成する工程を含む。方法は、プラズマを生成する工程の実行中に、プラズマ処理装置の上部電極に周期的にパルス状の負極性の直流電圧を印加する工程を更に含む。パルス状の負極性の直流電圧を印加する工程は、プラズマからのイオンを上部電極に供給して上部電極から放出されるシリコン含有物を基板上に堆積させるために行われる。

【0010】

チャンバ内のプラズマから上部電極に衝突するイオンのエネルギーは、上部電極に印加される電圧の周波数が低いほど、高くなる傾向がある。上記実施形態に係る方法では、チャンバ内のプラズマから上部電極に衝突するイオンのエネルギーは、上部電極にパルス状の負極性の直流電圧が印加される周期の逆数である周波数（以下、「パルス周波数」という）に依存する。パルス周波数は、高周波電力の周波数よりも低い周波数に設定され得る。したがって、上記実施形態に係る方法では、上部電極に高いエネルギーをもったイオンを衝突させることができる。その結果、上部電極から比較的少量のシリコン含有物を放出させて、基板に供給することができる。上記実施形態に係る方法によれば、比較的少量のシリコン含有物を基板上に堆積することができるので、有機マスクのパターンの形状バラツキ及び有機マスクの縮小を抑制ことが可能である。

【0011】

一つの例示的施形態において、処理ガスは、アルゴンガス、水素ガス、及び窒素ガスのうち少なくとも一つを含んでいてもよい。

【0012】

一つの例示的施形態において、一周期内でパルス状の負極性の直流電圧が印加される時間が占める割合であるデューティ比は、0.2以上、0.5以下であってもよい。

【0013】

一つの例示的施形態において、パルス状の負極性の直流電圧が上部電極に印加される周期の逆数である周波数は、400kHz以上、1MHz以下であってもよい。

【0014】

一つの例示的施形態において、パルス状の負極性の直流電圧の絶対値は、500V以上、1200V以下であってもよい。

【0015】

一つの例示的施形態において、基板は、膜を更に有していてもよい。有機マスクは、膜の上に設けられ得る。この実施形態において、方法は、チャンバ内で別の処理ガスから生成されるプラズマを用いて、膜をエッチングする工程を更に含んでいてもよい。

【0016】

別の例示的施形態においては、デバイス製造方法が提供される。デバイス製造方法は、パターンニングされた有機マスクを有する基板を、上述した実施形態のうち何れかの方法により処理することを含む。

【0017】

別の例示的施形態においては、プラズマ処理装置が提供される。プラズマ処理装置は、チャンバ、基板支持器、高周波電源、上部電極、直流電源装置、及び制御部を備える。基板支持器は、チャンバ内に設けられている。高周波電源は、チャンバ内でプラズマを生成するために高周波電力を発生するように構成されている。上部電極は、基板支持器の上方に設けられている。直流電源装置は、上部電極に接続されている。制御部は、高周波電源及び直流電源装置を制御するように構成されている。制御部は、チャンバ内で処理ガスからプラズマを生成するために高周波電力を供給するよう、高周波電源を制御する。制御部は、チャンバ内で処理ガスからプラズマが生成されているときに、上部電極に周期的にパルス状の負極性の直流電圧を印加するよう、直流電源装置を制御する。パルス状の負極性の直流電圧は、プラズマからのイオンを上部電極に供給して上部電極から放出されるシリコン含有物を基板上に堆積させるために、上部電極に印加される。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 8 】

以下、図面を参照して種々の例示的实施形態について詳細に説明する。なお、各図面において同一又は相当の部分に対しては同一の符号を附すこととする。

## 【 0 0 1 9 】

図 1 は、一つの例示的实施形態に係る基板を処理する方法の流れ図である。図 1 に示す方法（以下、「方法 M T」という）は、有機マスクを有する基板を処理することを含む。図 2 の（ a ）は、一例の基板の部分拡大断面図である。図 2 の（ a ）に示す基板 W は、有機マスク O M を有する。一実施形態において、基板 W は、膜 M F 及び下地領域 U R を更に有し得る。膜 M F は、下地領域 U R 上に設けられている。有機マスク O M は、膜 M F 上に設けられている。有機マスク O M は、有機材料から形成されており、パターニングされている。有機マスク O M のパターンは、膜 M F に転写されるパターンであり得る。有機マスク O M は、例えば、フォトレジストマスクである。有機マスク O M は、例えばフォトリソグラフィ技術により形成され得る。

10

## 【 0 0 2 0 】

膜 M F は、単層の膜であってもよい。或いは、膜 M F は、図 2 の（ b ）に示すように多層膜であってもよい。図 2 の（ b ）に示す基板 W において、膜 M F は、膜 A R F、膜 O F、及び膜 O X F を含む。膜 O X F は、下地領域 U R 上に設けられている。膜 O X F は、例えばシリコン酸化膜である。膜 O F は、膜 O X F 上に設けられている。膜 O F は、例えば有機膜である。膜 A R F は、膜 O F 上に設けられている。膜 A R F は、例えばシリコンを含有する反射防止膜である。

20

## 【 0 0 2 1 】

方法 M T は、工程 S T 1 及び工程 S T 2 を含む。方法 M T の工程 S T 1 及び工程 S T 2 は、基板 W がプラズマ処理装置のチャンバ内に收容された状態で実行される。図 3 は、一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す図である。図 3 に示すプラズマ処理装置 1 は、方法 M T の実行において用いられ得る。プラズマ処理装置 1 は、容量結合型プラズマ処理装置である。

## 【 0 0 2 2 】

プラズマ処理装置 1 は、チャンバ 1 0 を備えている。チャンバ 1 0 は、その中に内部空間 1 0 s を提供している。チャンバ 1 0 は、チャンバ本体 1 2 を含んでいる。チャンバ本体 1 2 は、略円筒形状を有している。内部空間 1 0 s は、チャンバ本体 1 2 の内側に提供されている。チャンバ本体 1 2 は、アルミニウムといった導体から形成されている。チャンバ本体 1 2 は、接地されている。チャンバ本体 1 2 の内壁面には、耐腐食性を有する膜が施されている。耐腐食性を有する膜は、酸化アルミニウム、酸化イットリウムといったセラミックから形成された膜であり得る。

30

## 【 0 0 2 3 】

チャンバ本体 1 2 の側壁には、通路 1 2 p が形成されている。基板 W は、内部空間 1 0 s とチャンバ 1 0 の外部との間で搬送されるときに、通路 1 2 p を通過する。通路 1 2 p は、ゲートバルブ 1 2 g により開閉可能となっている。ゲートバルブ 1 2 g は、チャンバ本体 1 2 の側壁に沿って設けられている。

## 【 0 0 2 4 】

チャンバ本体 1 2 の底部上には、支持部 1 3 が設けられている。支持部 1 3 は、絶縁材料から形成されている。支持部 1 3 は、略円筒形状を有している。支持部 1 3 は、内部空間 1 0 s の中で、チャンバ本体 1 2 の底部から上方に延在している。支持部 1 3 は、基板支持器 1 4 を支持している。基板支持器 1 4 は、チャンバ 1 0 内、即ち内部空間 1 0 s の中で、基板 W を支持するように構成されている。

40

## 【 0 0 2 5 】

基板支持器 1 4 は、下部電極 1 8 及び静電チャック 2 0 を有している。下部電極 1 8 及び静電チャック 2 0 は、チャンバ 1 0 内に設けられている。基板支持器 1 4 は、電極プレート 1 6 を更に有し得る。電極プレート 1 6 は、例えばアルミニウムといった導体から形成されており、略円盤形状を有している。下部電極 1 8 は、電極プレート 1 6 上に設けら

50

れている。下部電極 18 は、例えばアルミニウムといった導体から形成されており、略円盤形状を有している。下部電極 18 は、電極プレート 16 に電氣的に接続されている。

【0026】

静電チャック 20 は、下部電極 18 上に設けられている。静電チャック 20 の上面の上には、基板 W が載置される。静電チャック 20 は、本体及び電極を有する。静電チャック 20 の本体は、誘電体から形成されている。静電チャック 20 の電極は、膜状の電極であり、静電チャック 20 の本体内に設けられている。静電チャック 20 の電極は、スイッチ 20 s を介して直流電源 20 p に接続されている。静電チャック 20 の電極に直流電源 20 p からの電圧が印加されると、静電チャック 20 と基板 W との間で静電引力が発生する。発生した静電引力により、基板 W は、静電チャック 20 に引き付けられ、静電チャック 20 によって保持される。

10

【0027】

基板支持器 14 上には、エッジリング ER が配置される。エッジリング ER は、限定されるものではないが、シリコン、炭化シリコン、又は石英から形成され得る。チャンバ 10 内において基板 W の処理が行われるときには、基板 W は、静電チャック 20 上、且つ、エッジリング ER によって囲まれた領域内に、配置される。

【0028】

下部電極 18 の内部には、流路 18 f が設けられている。流路 18 f には、チラーユニット 22 から配管 22 a を介して熱交換媒体（例えば冷媒）が供給される。チラーユニット 22 は、チャンバ 10 の外部に設けられている。流路 18 f に供給された熱交換媒体は、配管 22 b を介してチラーユニット 22 に戻される。プラズマ処理装置 1 では、静電チャック 20 上に載置された基板 W の温度が、熱交換媒体と下部電極 18 との熱交換により、調整される。

20

【0029】

プラズマ処理装置 1 は、ガス供給ライン 24 を更に備え得る。ガス供給ライン 24 は、伝熱ガス（例えば He ガス）を、静電チャック 20 の上面と基板 W の裏面との間に供給する。伝熱ガスは、伝熱ガス供給機構からガス供給ライン 24 に供給される。

【0030】

プラズマ処理装置 1 は、上部電極 30 を更に備えている。上部電極 30 は、基板支持器 14 の上方に設けられている。上部電極 30 は、部材 32 を介して、チャンバ本体 12 の上部に支持されている。部材 32 は、絶縁性を有する材料から形成されている。上部電極 30 と部材 32 は、チャンバ本体 12 の上部開口を閉じている。

30

【0031】

上部電極 30 は、天板 34 及び支持体 36 を含み得る。天板 34 の下面は、内部空間 10 s の側の下面であり、内部空間 10 s を画成している。天板 34 は、シリコン含有材料から形成されている。天板 34 は、例えばシリコン、炭化シリコン、又は酸化シリコンから形成されている。天板 34 には、複数のガス吐出孔 34 a が形成されている。複数のガス吐出孔 34 a は、天板 34 をその板厚方向に貫通している。

【0032】

支持体 36 は、天板 34 を着脱自在に支持する。支持体 36 は、アルミニウムといった導電性材料から形成される。支持体 36 の内部には、ガス拡散室 36 a が設けられている。支持体 36 には、複数のガス孔 36 b が形成されている。複数のガス孔 36 b は、ガス拡散室 36 a から下方に延びている。複数のガス孔 36 b は、複数のガス吐出孔 34 a にそれぞれ連通している。支持体 36 には、ガス導入口 36 c が形成されている。ガス導入口 36 c は、ガス拡散室 36 a に接続している。ガス導入口 36 c には、ガス供給管 38 が接続されている。

40

【0033】

ガス供給管 38 には、バルブ群 41、流量制御器群 42、及びバルブ群 43 を介して、ガスソース群 40 が接続されている。ガスソース群 40、バルブ群 41、流量制御器群 42、及びバルブ群 43 は、ガス供給部 GS を構成している。ガスソース群 40 は、複数の

50

ガスソースを含んでいる。バルブ群 4 1 及びバルブ群 4 3 の各々は、複数の開閉バルブを含んでいる。流量制御器群 4 2 は、複数の流量制御器を含んでいる。流量制御器群 4 2 の複数の流量制御器の各々は、マスフローコントローラ又は圧力制御式の流量制御器である。ガスソース群 4 0 の複数のガスソースの各々は、バルブ群 4 1 の対応の開閉バルブ、流量制御器群 4 2 の対応の流量制御器、及びバルブ群 4 3 の対応の開閉バルブを介して、ガス供給管 3 8 に接続されている。

**【 0 0 3 4 】**

プラズマ処理装置 1 では、チャンバ本体 1 2 の内壁面に沿って、シールド 4 6 が着脱自在に設けられている。シールド 4 6 は、支持部 1 3 の外周にも設けられている。シールド 4 6 は、チャンバ本体 1 2 にプラズマ処理の副生物が付着することを防止する。シールド 4 6 は、接地されている。シールド 4 6 は、例えば、アルミニウムから形成された部材の表面に耐腐食性を有する膜を形成することにより構成される。耐腐食性を有する膜は、酸化イットリウムといったセラミックから形成された膜であり得る。なお、一実施形態において、シールド 4 6 は、チャンバ 1 0 の側壁が有する内壁面 1 0 w を提供している。内壁面 1 0 w は、第 1 の領域 1 0 a 及び第 2 の領域 1 0 b を含んでいる。第 1 の領域 1 0 a は、内部空間 1 0 s の側方で延在している。第 2 の領域 1 0 b は、内部空間 1 0 s の上方且つ上部電極 3 0 の側方で延在している。第 1 の領域 1 0 a 及び第 2 の領域 1 0 b は、シールド 4 6 ではなく、他の一つ以上の部材、例えば、チャンバ本体 1 2 によって提供されていてもよい。

10

**【 0 0 3 5 】**

支持部 1 3 とチャンバ本体 1 2 の側壁との間には、バッフルプレート 4 8 が設けられている。バッフルプレート 4 8 は、例えば、アルミニウムから形成された部材の表面に耐腐食性を有する膜を形成することにより構成される。耐腐食性を有する膜は、酸化イットリウムといったセラミックから形成された膜であり得る。バッフルプレート 4 8 には、複数の貫通孔が形成されている。バッフルプレート 4 8 の下方、且つ、チャンバ本体 1 2 の底部には、排気口 1 2 e が設けられている。排気口 1 2 e には、排気管 5 2 を介して排気装置 5 0 が接続されている。排気装置 5 0 は、圧力調整弁及びターボ分子ポンプといった真空ポンプを有している。

20

**【 0 0 3 6 】**

プラズマ処理装置 1 は、第 1 の高周波電源 6 2 及び第 2 の高周波電源 6 4 を更に備えている。第 1 の高周波電源 6 2 は、第 1 の高周波電力を発生する電源である。第 1 の高周波電力は、一例では、プラズマの生成に適した周波数を有する。第 1 の高周波電力の周波数は、例えば 2 7 M H z ~ 1 0 0 M H z の範囲内の周波数である。第 1 の高周波電源 6 2 は、整合器 6 6 を介して上部電極 3 0 に接続されている。整合器 6 6 は、第 1 の高周波電源 6 2 の出力インピーダンスと負荷側（上部電極 3 0 側）のインピーダンスを整合させるための回路を有している。なお、第 1 の高周波電源 6 2 は、整合器 6 6 及び電極プレート 1 6 を介して、下部電極 1 8 に接続されていてもよい。

30

**【 0 0 3 7 】**

第 2 の高周波電源 6 4 は、第 2 の高周波電力を発生する電源である。第 2 の高周波電力は、第 1 の高周波電力の周波数よりも低い周波数を有する。第 2 の高周波電力は、基板 W にイオンを引き込むためのバイアス用の高周波電力として用いられ得る。第 2 の高周波電力の周波数は、例えば 4 0 0 k H z ~ 4 0 M H z の範囲内の周波数である。第 2 の高周波電源 6 4 は、整合器 6 8 及び電極プレート 1 6 を介して下部電極 1 8 に接続されている。整合器 6 8 は、第 2 の高周波電源 6 4 の出力インピーダンスと負荷側（下部電極 1 8 側）のインピーダンスを整合させるための回路を有している。

40

**【 0 0 3 8 】**

プラズマ処理装置 1 は、直流電源装置 7 0 を更に備えている。直流電源装置 7 0 は、上部電極 3 0 に電氣的に接続されている。直流電源装置 7 0 は、パルス状の負極性の直流電圧を周期的に発生するように構成されている。図 4 は、図 3 に示すプラズマ処理装置の直流電源装置の構成の一例を示す図である。図 5 は、一つの例示的实施形態に係るプラズマ

50

処理装置における高周波電力及び直流電源装置の出力電圧の一例を示すタイミングチャートである。図4において、横軸は時間を示している。図4において縦軸は、高周波電力(第1の高周波電力及び/又は第2の高周波電力)の供給及び直流電源装置70の出力電圧を示している。図4において、高周波電力が高レベルであることは、高周波電力が供給されていることを表している。図4において、高周波電力が低レベルであることは、高周波電力が供給されていないことを表している。以下、図3と共に、図4及び図5を参照する。

#### 【0039】

一実施形態において、直流電源装置70は、可変直流電源70a及びスイッチングデバイス70bを有する。可変直流電源70aは、負極性の直流電圧を発生するように構成されている。可変直流電源70aが出力する負極性の直流電圧のレベルは、後述する制御部80によって制御され得る。スイッチングデバイス70bは、その導通状態の切り替えにより、可変直流電源70aと上部電極30との間の接続及び遮断を切り替える。スイッチングデバイス70bの導通状態の切り替えは、制御部80によって制御されてもよい。

10

#### 【0040】

パルス状の負極性の直流電圧を周期的に出力するために、直流電源装置70の出力電圧は、周期PTにおける第1の期間P1では、負極性の直流電圧である。一実施形態においては、周期PT内の第1の期間P1では、可変直流電源70aと上部電極30を互いに接続するように、スイッチングデバイス70bの導通状態が切り替わる。直流電源装置70の出力電圧は、周期PTにおける残りの第2の期間P2では、ゼロボルトである。一実施形態においては、周期PT内の第2の期間P2では、可変直流電源70aと上部電極30との間の接続を遮断するよう、スイッチングデバイス70bの導通状態が切り替わる。

20

#### 【0041】

一実施形態において、周期PTにおいて第1の期間P1が占める割合、即ちデューティ比(小数表現のデューティ比)は、0.2以上、0.5以下である。なお、デューティ比は、周期PT内でパルス状の負極性の直流電圧が直流電源装置70から上部電極30に印加される時間が占める割合である。

#### 【0042】

一実施形態において、周期PTの逆数である周波数fは、400kHz以上であり得る。一実施形態において、周波数fは、1MHz以下であり得る。周波数fが1MHz以下である場合には、チャンバ10内でのラジカルの生成に対するイオンの挙動の独立性御性が高くなる。

30

#### 【0043】

一実施形態では、第1の期間P1において直流電源装置70から上部電極30に印加されるパルス状の負極性の直流電圧の絶対値は、500V以上、1200V以下である。

#### 【0044】

プラズマ処理装置1は、制御部80を更に備えている。制御部80は、プロセッサ、メモリといった記憶部、入力装置、表示装置、信号の入出力インターフェイス等を備えるコンピュータであり得る。制御部80は、プラズマ処理装置1の各部を制御する。制御部80では、オペレータが、プラズマ処理装置1を管理するためにコマンドの入力操作等を入力装置を用いて行うことができる。また、制御部80では、表示装置により、プラズマ処理装置1の可視化された稼働状況を表示することができる。さらに、制御部80の記憶部には、制御プログラム及びレシビデータが格納されている。制御プログラムは、プラズマ処理装置1で各種処理を実行するために、制御部80のプロセッサによって実行される。制御部80のプロセッサが、制御プログラムを実行し、レシビデータに従ってプラズマ処理装置1の各部を制御することにより、方法MTがプラズマ処理装置1で実行される。

40

#### 【0045】

以下、図1を再び参照して、それがプラズマ処理装置1を用いて実行される場合を例として、方法MTについて説明する。また、制御部80によるプラズマ処理装置1の各部の制御についても説明する。以下の説明では、図6の(a)、図6の(b)、図6の(c)

50

、及び図6の(d)を参照する。図6の(a)、図6の(b)、図6の(c)、及び図6の(d)は、図1に示す方法における各処理後の一例の基板の部分拡大断面図である。

【0046】

方法MTでは、まず、工程ST1が実行される。工程ST1では、基板Wがチャンバ10内に収容された状態で実行される。基板Wは、チャンバ10内で基板支持器14上に載置され、静電チャック20によって保持される。工程ST1では、チャンバ10内で、処理ガスのプラズマが生成される。処理ガスは、ガス供給部GSから供給される。一実施形態において、処理ガスは、アルゴンガス、水素ガス(H<sub>2</sub>ガス)、及び窒素ガス(N<sub>2</sub>ガス)のうち少なくとも一つを含む。一例において、処理ガスは、アルゴンガスと水素ガスの混合ガスである。工程ST1では、チャンバ10内で処理ガスからプラズマを生成するために、第1の高周波電力及び/又は第2の高周波電力が供給される。

10

【0047】

工程ST1の実行のために、制御部80は、処理ガスをチャンバ10内に供給するようにガス供給部GSを制御する。工程ST1の実行のために、制御部80は、チャンバ10内の圧力を指定された圧力に設定するように排気装置50を制御する。工程ST1の実行のために、制御部80は、第1の高周波電力及び/又は第2の高周波電力を供給するように、第1の高周波電源62及び/又は第2の高周波電源64を制御する。

【0048】

工程ST2は、工程ST1の実行中に実行される。即ち、工程ST2は、工程ST1においてチャンバ10内で処理ガスからプラズマが生成されているときに、実行される。工程ST2は、チャンバ10内のプラズマからのイオンを上部電極30に供給して上部電極30から放出されるシリコン含有物を基板W上に堆積させるために実行される。工程ST2では、直流電源装置70から上部電極30に周期的にパルス状の負極性の直流電圧が印加される。工程ST2の実行のために、制御部80は、上部電極30に周期的にパルス状の負極性の直流電圧を印加するよう、直流電源装置70を制御する。

20

【0049】

一実施形態において、周期PT内でパルス状の負極性の直流電圧が直流電源装置70から上部電極30に印加される時間が占める割合、即ち上述のデューティ比は、0.2以上、0.5以下である。

【0050】

一実施形態において、周期PTの逆数である周波数fは、400kHz以上であり得る。一実施形態において、周波数fは、1MHz以下であり得る。周波数fが1MHz以下である場合には、チャンバ10内でのラジカルの生成に対するイオンの挙動の独立性御性が高くなる。

30

【0051】

一実施形態では、第1の期間P1において直流電源装置70から上部電極30に印加されるパルス状の負極性の直流電圧の絶対値は、500V以上、1200V以下である。

【0052】

工程ST2では、チャンバ10内のプラズマから正イオンが上部電極30に引き付けられて上部電極30の天板34に衝突する。その結果、上部電極30の天板34から、二次電子及びシリコン含有物が放出される。放出された二次電子及びシリコン含有物は、基板Wに供給される。基板Wの有機マスクOMは、二次電子によって改質され得る。また、放出されたシリコン含有物は、図6の(a)に示すように、基板Wの有機マスクOM上に堆積して、膜DPを形成する。

40

【0053】

チャンバ10内のプラズマから上部電極30に衝突するイオンのエネルギーは、上部電極30に印加される電圧の周波数が低いほど、高くなる傾向がある。方法MTでは、チャンバ10内のプラズマから上部電極30に衝突するイオンのエネルギーは、上部電極30にパルス状の負極性の直流電圧が印加される周期PTの逆数である周波数fに依存する。周波数fは、高周波電力の周波数よりも低い周波数に設定され得る。したがって、方法M

50

Tでは、上部電極30に高いエネルギーをもったイオンを衝突させることができる。その結果、上部電極30から比較的少量のシリコン含有物を放出させて、基板Wに供給することができる。方法MTによれば、比較的少量のシリコン含有物を基板W上に堆積することができるので、有機マスクOMのパターンの形状バラツキ及び有機マスクOMの縮小を抑制することが可能である。なお、有機マスクOMのパターンの形状バラツキは、例えば、LWR (Light Width Roughness) により評価され得る。

#### 【0054】

一実施形態において、方法MTは工程ST3を更に含んでいてもよい。工程ST3では、膜MFがエッチングされる。膜MFは、プラズマ処理装置1を用いてエッチングされてもよい。或いは、膜MFは、別のプラズマ処理装置を用いてエッチングされてもよい。以下、図2の(b)に示した膜MFがプラズマ処理装置1を用いてエッチングされる場合を例として、工程ST3について説明する。

10

#### 【0055】

まず、膜ARFのプラズマエッチングのために、別の処理ガスのプラズマがチャンバ10内で生成される。膜ARFがシリコンを含有する反射防止膜である場合には、膜ARFのプラズマエッチング用の処理ガスは、フルオロカーボンガスといったフッ素含有ガスを含み得る。膜ARFのプラズマエッチングのために、制御部80は、処理ガスをチャンバ10内に供給するようにガス供給部GSを制御する。膜ARFのプラズマエッチングのために、制御部80は、チャンバ10内の圧力を指定された圧力に設定するように排気装置50を制御する。膜ARFのプラズマエッチングのために、制御部80は、第1の高周波電力及び/又は第2の高周波電力を供給するように、第1の高周波電源62及び/又は第2の高周波電源64を制御する。膜ARFのプラズマエッチングの結果、図6の(b)に示すように、膜DPによりその幅が調整された有機マスクOMのパターンが、膜ARFに転写される。

20

#### 【0056】

次いで、膜OFのプラズマエッチングのために、更に別の処理ガスのプラズマがチャンバ10内で生成される。膜OFが有機膜である場合には、膜OFのプラズマエッチング用の処理ガスは、水素ガス及び窒素ガスを含み得る。或いは、膜OFのプラズマエッチング用の処理ガスは、酸素含有ガスを含み得る。膜OFのプラズマエッチングのために、制御部80は、処理ガスをチャンバ10内に供給するようにガス供給部GSを制御する。膜OFのプラズマエッチングのために、制御部80は、チャンバ10内の圧力を指定された圧力に設定するように排気装置50を制御する。膜OFのプラズマエッチングのために、制御部80は、第1の高周波電力及び/又は第2の高周波電力を供給するように、第1の高周波電源62及び/又は第2の高周波電源64を制御する。膜OFのプラズマエッチングの結果、図6の(c)に示すように、膜ARFのパターンが、膜OFに転写される。

30

#### 【0057】

次いで、膜OXFのプラズマエッチングのために、更に別の処理ガスのプラズマがチャンバ10内で生成される。膜OXFがシリコン酸化膜である場合には、膜OXFのプラズマエッチング用の処理ガスは、フルオロカーボンガスを含み得る。膜OXFのプラズマエッチングのために、制御部80は、処理ガスをチャンバ10内に供給するようにガス供給部GSを制御する。膜OXFのプラズマエッチングのために、制御部80は、チャンバ10内の圧力を指定された圧力に設定するように排気装置50を制御する。膜OXFのプラズマエッチングのために、制御部80は、第1の高周波電力及び/又は第2の高周波電力を供給するように、第1の高周波電源62及び/又は第2の高周波電源64を制御する。膜OXFのプラズマエッチングの結果、図6の(d)に示すように、膜OFのパターンが、膜OXFに転写される。

40

#### 【0058】

以上、種々の例示的实施形態について説明してきたが、上述した例示的实施形態に限定されることなく、様々な省略、置換、及び変更がなされてもよい。また、異なる実施形態における要素を組み合わせて他の実施形態を形成することが可能である。

50

## 【 0 0 5 9 】

以下、方法 M T の評価のために行った第 1 の実験及び第 2 の実験について説明する。第 1 の実験及び第 2 の実験では、図 2 の ( b ) に示した基板 W と同じ構造のサンプル基板を準備した。サンプル基板において、有機マスク O M はフォトレジストマスクであった。サンプル基板において、膜 A R F はシリコンを含有する反射防止膜であった。サンプル基板において、膜 O F は有機膜であった。サンプル基板において、膜 O X F はシリコン酸化膜であった。サンプル基板の有機マスク O M は、ラインアンドスペースパターンを有していた。サンプル基板の有機マスク O M において、ラインの幅の平均値は 4 1 . 8 n m であり、ラインの L W R は 3 . 3 n m であった。第 1 の実験では、方法 M T の工程 S T 1 及び工程 S T 2 をプラズマ処理装置 1 を用いてサンプル基板に適用した。第 1 の実験の工程 S T 2 10  
2 では、上部電極 3 0 に印加したパルス状の負極性の直流電圧の絶対値は - 9 0 0 V であり、当該パルス状の負極性の直流電圧の周波数 f は 4 0 0 k H z であり、当該パルス状の負極性の直流電圧のデューティ比は 0 . 5 であった。以下に、第 1 の実験における工程 S T 1 及び工程 S T 2 の条件を示す。

## 【 0 0 6 0 】

< 第 1 の実験における工程 S T 1 及び工程 S T 2 の条件 >

処理時間 : 1 0 秒

チャンバ 1 0 内の圧力 : 1 0 0 m T o r r ( 1 3 . 3 3 P a )

第 1 の高周波電力 : 6 0 M H z 、 3 0 0 W

第 2 の高周波電力 : 0 W

処理ガス : 1 0 s c c m の H <sub>2</sub> ガス及び 8 0 0 s c c m の A r ガス

## 【 0 0 6 1 】

第 2 の実験では、プラズマ処理装置 1 を用いて第 1 の実験と同じ条件で処理ガスのプラズマを生成し、上部電極 3 0 に - 9 0 0 V の直流電圧を連続的に印加して、サンプル基板を処理した。

## 【 0 0 6 2 】

第 1 の実験及び第 2 の実験の各々では、その上に堆積したシリコン含有物によってその形状が調整された有機マスク O M のラインの幅の平均値及び L W R を求めた。第 1 の実験では、ラインの幅の平均値は 4 1 . 8 n m であり、L W R は 2 . 8 n m であった。第 2 の実験では、ラインの幅の平均値は 4 0 . 6 n m であり、L W R は 2 . 7 n m であった。第 1 の実験及び第 2 の実験の双方において処理後の L W R は、処理前のサンプル基板の L W R よりも小さくなっていた。また、第 2 の実験では処理後のラインの幅の平均値が処理前のラインの幅の平均値から減少していたが、第 1 の実験では処理後のラインの幅の平均値は処理前のラインの幅の平均値と同じであった。よって、方法 M T によれば、有機マスクのパターンの形状バラツキ及び有機マスクの縮小を抑制することが可能となることが確認された。

## 【 0 0 6 3 】

以上の説明から、本開示の種々の実施形態は、説明の目的で本明細書で説明されており、本開示の範囲及び主旨から逸脱することなく種々の変更をなし得ることが、理解されるであろう。したがって、本明細書に開示した種々の実施形態は限定することを意図しておらず、真の範囲と主旨は、添付の特許請求の範囲によって示される。

## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 6 4 】

1 ... プラズマ処理装置、 1 0 ... チャンバ、 3 0 ... 上部電極、 7 0 ... 直流電源装置、 W ... 基板、 O M ... 有機マスク。

10

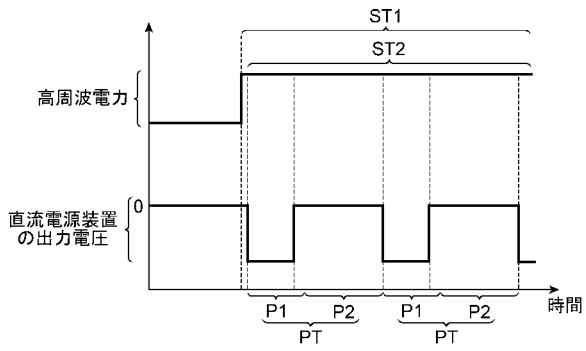
20

30

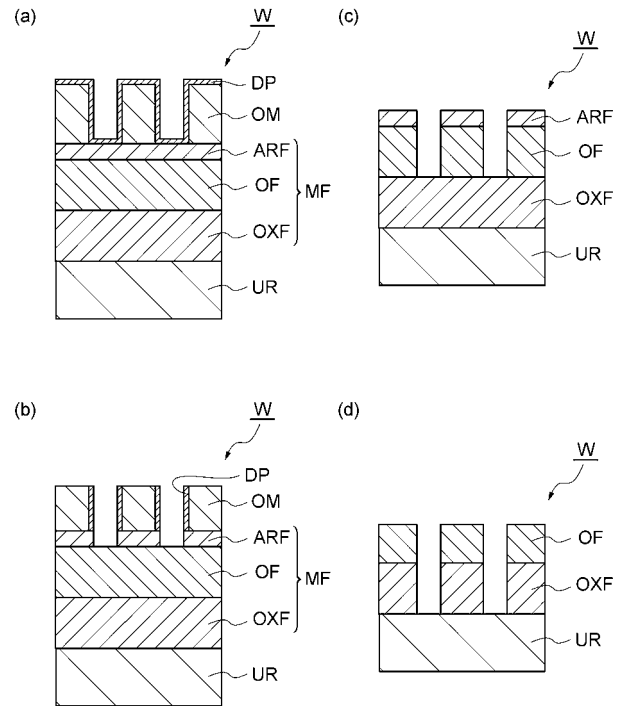
40



【 図 5 】



【 図 6 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 森北 信也

宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内

(72)発明者 中村 諭

宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内

Fターム(参考) 5F004 AA04 BA09 BB12 BB22 BB23 BB25 BB28 CA06 DA23 DA24  
DA25 DB03 EA02 EA13 EA22