

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7599872号  
(P7599872)

(45)発行日 令和6年12月16日(2024.12.16)

(24)登録日 令和6年12月6日(2024.12.6)

(51)国際特許分類

H 0 1 L	21/3065(2006.01)	F I	H 0 1 L	21/302	1 0 5 A
H 0 5 H	1/46 (2006.01)		H 0 5 H	1/46	M
			H 0 5 H	1/46	A

請求項の数 17 (全28頁)

(21)出願番号	特願2020-148214(P2020-148214)	(73)特許権者	000219967
(22)出願日	令和2年9月3日(2020.9.3)		東京エレクトロン株式会社
(65)公開番号	特開2021-77865(P2021-77865A)		東京都港区赤坂五丁目3番1号
(43)公開日	令和3年5月20日(2021.5.20)	(74)代理人	100088155
審査請求日	令和5年6月26日(2023.6.26)		弁理士 長谷川 芳樹
(31)優先権主張番号	特願2019-203326(P2019-203326)	(74)代理人	100113435
(32)優先日	令和1年11月8日(2019.11.8)		弁理士 黒木 義樹
(33)優先権主張国・地域又は機関		(74)代理人	100122507
日本国(JP)			弁理士 柏岡 潤二
		(72)発明者	横山 喬大 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	戸村 幕樹 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】 エッティング方法及びプラズマ処理装置

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

(a) プラズマ処理装置のチャンバ内に基板を準備する工程であり、該基板はシリコン含有膜及び該シリコン含有膜上に設けられたマスクを含み、該マスクは炭素を含有する、該工程と、

(b) 前記チャンバ内で処理ガスから生成されたプラズマからの化学種により前記シリコン含有膜をエッティングする工程であり、前記処理ガスは、ハロゲン元素及びリンを含む、該工程と、  
を含み、

前記(b)において、前記マスクの表面に炭素とリンの結合が形成される、  
エッティング方法。

## 【請求項2】

前記シリコン含有膜は、シリコン酸化膜を含む、請求項1に記載のエッティング方法。

## 【請求項3】

前記シリコン含有膜は、シリコン窒化膜、多結晶シリコン膜、炭素含有シリコン膜、及び低誘電率膜のうち少なくとも一つを更に含む、請求項1又は2に記載のエッティング方法。

## 【請求項4】

前記マスクは、前記シリコン含有膜上で該マスクが画成する開口に対して該マスクが占める割合が高い部分と該割合が低い部分とを含む、請求項1～3の何れか一項に記載のエッティング方法。

**【請求項 5】**

前記マスクは、ラインアンドスペースパターンを有する、請求項 1 ~ 4 の何れか一項に記載のエッチング方法。

**【請求項 6】**

( c ) 前記 ( b ) においてエッチングによって形成された開口を画成する側壁面上に保護膜を形成する工程を更に含み、

前記保護膜は前記処理ガスに含まれるリンを含む、  
請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載のエッチング方法。

**【請求項 7】**

前記 ( b ) と前記 ( c ) が同時に行われる、請求項 6 に記載のエッチング方法。 10

**【請求項 8】**

前記保護膜は、リンと酸素の結合及び / 又はリンとシリコンの結合を含む、請求項 6 又は 7 に記載のエッチング方法。

**【請求項 9】**

前記処理ガスは、フッ素含有ガス及びリン含有ガスを含む、請求項 1 ~ 8 の何れか一項に記載のエッチング方法。

**【請求項 10】**

前記処理ガスは、前記リンを含む分子として、 $\text{PF}_3$ 、 $\text{PCl}_3$ 、 $\text{PF}_5$ 、 $\text{PCl}_5$ 、 $\text{POCl}_3$ 、 $\text{PH}_3$ 、 $\text{PBr}_3$ 、及び  $\text{PBr}_5$  の少なくとも一つを含む、請求項 1 ~ 9 の何れか一項に記載のエッチング方法。 20

**【請求項 11】**

前記処理ガスは、炭化水素、ハイドロフルオロカーボン、又はフルオロカーボンを更に含む、請求項 1 ~ 10 の何れか一項に記載のエッチング方法。

**【請求項 12】**

前記 ( b ) において、電気バイアスのパルスを含むパルス波が、前記基板を支持する基板支持器内の下部電極に周期的に与えられる、請求項 1 ~ 11 の何れか一項に記載のエッチング方法。

**【請求項 13】**

前記パルス波の周期を規定する周波数は、1 Hz 以上、100 kHz 以下である、請求項 12 に記載のエッチング方法。 30

**【請求項 14】**

前記パルス波の周期の時間長において前記電気バイアスの前記パルスが前記下部電極に与えられる時間長が占める割合は、50 % 以上、99 % 以下である、請求項 12 又は 13 に記載のエッチング方法。

**【請求項 15】**

前記電気バイアスは高周波電力であり、前記電気バイアスの前記パルスにおける該高周波電力のレベルは、2 kW 以上である、請求項 12 ~ 14 の何れか一項に記載のエッチング方法。

**【請求項 16】**

前記 ( b ) の開始時において、前記基板の温度が 0 以下の温度に設定される、請求項 1 ~ 15 の何れか一項に記載のエッチング方法。 40

**【請求項 17】**

チャンバと、  
前記チャンバ内で基板を支持するように構成された基板支持器であり、該基板はシリコン含有膜及び該シリコン含有膜上に設けられたマスクを含み、該マスクは炭素を含有する、該基板支持器と、

前記シリコン含有膜をエッチングするための処理ガスを前記チャンバ内に供給するように構成されたガス供給部であり、該処理ガスはハロゲン元素及びリンを含む、該ガス供給部と、

前記シリコン含有膜をエッチングし、前記マスクの表面に炭素とリンの結合を形成する 50

ために、前記チャンバ内で前記処理ガスからプラズマを生成するように構成されたプラズマ生成部と、  
を備えるプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示の例示的実施形態は、エッチング方法及びプラズマ処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、基板のシリコン含有膜のプラズマエッチングが行われている。シリコン含有膜のプラズマエッチングにおいては、フルオロカーボンガスを含む処理ガスが用いられている。このようなプラズマエッチングについては、下記の特許文献1に記載されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】米国特許出願公開第2016/0343580号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

20

本開示は、シリコン含有膜のプラズマエッチングにおいて基板を保護する技術を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

一つの例示的実施形態において、エッチング方法が提供される。エッチング方法は、プラズマ処理装置のチャンバ内に基板を準備する工程(a)を含む。基板は、シリコン含有膜及びマスクを含む。マスクは、炭素を含有する。エッチング方法は、チャンバ内で処理ガスから生成されたプラズマからの化学種によりシリコン含有膜をエッチングする工程(b)を更に含む。処理ガスは、ハロゲン元素及びリンを含む。工程(b)において、マスクの表面に炭素とリンの結合が形成される。

30

【発明の効果】

【0006】

一つの例示的実施形態によれば、シリコン含有膜のプラズマエッチングにおいて基板を保護することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】一つの例示的実施形態に係るエッチング方法の流れ図である。

【図2】図1に示すエッチング方法が適用され得る一例の基板の部分拡大断面図である。

【図3】一つの例示的実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4の(a)は、図1に示すエッチング方法が適用された一例の基板の部分拡大断面図であり、図4の(b)は、リンを含まない処理ガスから生成されたプラズマによってエッチングされた一例の基板の部分拡大断面図である。

40

【図5】一つの例示的実施形態に係るエッチング方法に関する一例のタイミングチャートである。

【図6】図6の(a)及び図6の(b)はそれぞれ、工程S T Pにおいてシリコン酸化膜、シリコン窒化膜をエッチングした実験例において形成された保護膜P Fに対するX P S分析の結果を示す図である。

【図7】一つの例示的実施形態に係るエッチング方法に関する別の例のタイミングチャートである。

【図8】別の例の基板の平面図である。

50

【図9】図9の(a)は、図8のIXA-IXA線に沿ってとった断面図であり、図9の(b)は、図8のIXB-IXB線に沿ってとった断面図である。

【図10】第1の実験で求めた、処理ガス中のPF<sub>3</sub>ガスの流量とシリコン酸化膜のエッティングレートとの関係を示すグラフである。

【図11】第1の実験で求めた、処理ガス中のPF<sub>3</sub>ガスの流量とシリコン酸化膜に形成された開口の最大幅との関係を示すグラフである。

【図12】第1の実験で求めた、処理ガス中のPF<sub>3</sub>ガスの流量と選択比との関係を示すグラフである。

【図13】第2の実験で求めた、処理ガス中のPF<sub>3</sub>ガスの流量とLER及びLWRの各々との関係を示すグラフである。

【図14】別の例示的実施形態に係るエッティング方法(方法MT2)の流れ図である。

【図15】図15の(a)、図15の(b)、図15の(c)は、方法MT2の工程ST22が適用されているときの状態、方法MT2の工程ST23が適用されているときの状態、方法MT2が適用された後の状態それぞれの一例の基板の部分拡大断面図である。

【図16】更に別の例示的実施形態に係るエッティング方法(方法MT3)の流れ図である。

【図17】図17の(a)、図17の(b)は、方法MT3の工程STP3が適用されているときの状態、方法MT3が適用された後の状態それぞれ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、種々の例示的実施形態について説明する。

【0009】

一つの例示的実施形態において、エッティング方法が提供される。エッティング方法は、プラズマ処理装置のチャンバ内に基板を準備する工程(a)を含む。基板は、シリコン含有膜及びマスクを含む。マスクは、炭素を含有する。エッティング方法は、チャンバ内で処理ガスから生成されたプラズマからの化学種によりシリコン含有膜をエッティングする工程(b)を更に含む。処理ガスは、ハロゲン元素及びリンを含む。工程(b)において、マスクの表面に炭素とリンの結合が形成される。ハロゲン元素は、フッ素であってもよい。

【0010】

上記実施形態のエッティング方法において、マスクの表面に形成される炭素とリンの結合は、マスクにおける炭素間結合よりも高い結合エネルギーを有する。したがって、上記実施形態のエッティング方法によれば、シリコン含有膜のプラズマエッティングにおいて、マスクが保護される。故に、上記実施形態によれば、シリコン含有膜のプラズマエッティングにおいて基板を保護することが可能となる。また、上記実施形態のエッティング方法によれば、シリコン含有膜のプラズマエッティングにおけるマスクの形状の劣化が抑制される。

【0011】

一つの例示的実施形態において、シリコン含有膜は、シリコン酸化膜を含んでいてもよい。シリコン含有膜は、シリコン窒化膜、多結晶シリコン膜、炭素含有シリコン膜、及び低誘電率膜のうち少なくとも一つを更に含んでいてもよい。

【0012】

一つの例示的実施形態において、マスクは、シリコン含有膜上で該マスクが画成する開口に対して該マスクが占める割合が高い部分と該割合が低い部分とを含んでいてもよい。開口に対してマスクが占める割合が高い部分は、マスクが密に形成された部分(以下、「密領域」という)である。開口に対してマスクが占める割合が低い部分は、マスクが粗に形成された部分(以下、「粗領域」という)である。一般的には、粗領域におけるマスクは、シリコン含有膜のプラズマエッティングにより、密領域におけるマスクよりも多くエッティングされる。しかしながら、この実施形態においては、マスクは、その表面に形成された炭素とリンの結合により保護される。したがって、粗領域におけるマスクのエッティング量が低減される。その結果、粗領域におけるマスクのエッティング量と密領域におけるマスクのエッティング量の差が低減される。ひいては、粗領域及び密領域の双方を有するマスク

10

20

30

40

50

の形状の劣化が抑制される。

【0013】

一つの例示的実施形態において、エッティング方法は、工程 (b) においてエッティングによって形成された開口を画成する側壁面上に保護膜を形成する工程 (c) を更に含んでいてもよい。保護膜は処理ガスに含まれるリンを含む。工程 (b) と工程 (c) は同時に行われてもよい。保護膜は、リンと酸素の結合及び / 又はリンとシリコンの結合を含んでいてもよい。

【0014】

一つの例示的実施形態において、処理ガスは、フッ素含有ガス及びリン含有ガスを含んでいてもよい。

10

【0015】

一つの例示的実施形態において、処理ガスは、リンを含む分子として、 $\text{PF}_3$ 、 $\text{PCl}_3$ 、 $\text{PF}_5$ 、 $\text{PCl}_5$ 、 $\text{POCl}_3$ 、 $\text{PH}_3$ 、 $\text{PBr}_3$ 、及び $\text{PBr}_5$ の少なくとも一つを含んでいてもよい。

【0016】

一つの例示的実施形態において、処理ガスは、炭化水素、ハイドロフルオロカーボン、又はフルオロカーボンを更に含んでいてもよい。

【0017】

一つの例示的実施形態では、電気バイアスのパルスを含むパルス波が、工程 (b) において基板を支持する基板支持器内の下部電極に周期的に与えられてもよい。パルス波の周期を規定する周波数は、1 Hz 以上、100 kHz 以下であってもよい。パルス波の周期の時間長において電気バイアスのパルスが下部電極に与えられる時間長が占める割合は、50 % 以上、99 % 以下であってもよい。電気バイアスは高周波電力であってもよく、電気バイアスのパルスにおける高周波電力のレベルは、2 kW 以上であってもよい。

20

【0018】

一つの例示的実施形態では、基板の温度が、工程 (b) の開始時において、0 以下の温度に設定されてもよい。

【0019】

別の例示的実施形態では、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、ガス供給部、及びプラズマ生成部を備える。基板支持器は、チャンバ内で基板を支持するように構成されている。基板は、シリコン含有膜及びマスクを含む。マスクは、炭素を含有する、ガス供給部は、シリコン含有膜をエッティングするための処理ガスをチャンバ内に供給するように構成されている。処理ガスは、ハロゲン元素及びリンを含む。プラズマ生成部は、シリコン含有膜をエッティングし、マスクの表面に炭素とリンの結合を形成するために、チャンバ内で処理ガスからプラズマを生成するように構成されている。ハロゲン元素は、フッ素であってもよい。

30

【0020】

更に別の例示的実施形態において、エッティング方法が提供される。エッティング方法は、基板を準備する工程 (a1) を含む。基板は、シリコン含有膜及び該シリコン含有膜上に設けられたマスクを含む。エッティング方法は、基板にリン化学種を供給することにより、シリコン含有膜において開口を画成する側壁面を不活性化する工程 (b1) を更に含む。エッティング方法は、基板にハロゲン化学種を供給することにより、シリコン含有膜をエッティングする工程 (c1) を更に含む。

40

【0021】

上記実施形態のエッティング方法では、シリコン含有膜の側壁面がリンにより不活性化 (又は不動態化) される。即ち、側壁面のパッシベーションが行われる。したがって、上記実施形態のエッティング方法によれば、シリコン含有膜のプラズマエッティングの際にシリコン含有膜の横方向へのエッティングを抑制するように側壁面が保護される。故に、上記実施形態のエッティング方法によれば、シリコン含有膜のプラズマエッティングにおいて基板を保護することが可能となる。

50

**【 0 0 2 2 】**

一つの例示的実施形態において、マスクは炭素を含有していてもよい。工程（b1）は、マスクの表面に炭素とリンの結合を形成してもよい。

**【 0 0 2 3 】**

一つの例示的実施形態において、シリコン含有膜は、シリコン酸化膜を含んでいてもよく、工程（b1）は、側壁面にリンと酸素の結合を形成してもよい。

**【 0 0 2 4 】**

一つの例示的実施形態において、工程（b1）と工程（c1）が同時に行われてもよい。

**【 0 0 2 5 】**

一つの例示的実施形態において、工程（b1）と工程（c1）が繰り返されてもよい。工程（b1）と工程（c1）は交互に繰り返されてもよい。

10

**【 0 0 2 6 】**

一つの例示的実施形態において、工程（b1）及び（c1）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実行されてもよい。

**【 0 0 2 7 】**

一つの例示的実施形態において、リン化学種は、リン含有ガスのプラズマを生成することにより生成されてもよく、ハロゲン化学種は、ハロゲン含有ガスのプラズマを生成することにより生成されてもよい。

**【 0 0 2 8 】**

一つの例示的実施形態において、ハロゲン含有ガスは、フッ素含有ガスを含んでいてもよい。一つの例示的実施形態において、フッ素含有ガスは、フッ化水素、フッ化ヨウ素、及びフルオロカーボンのうち少なくとも一つを含んでいてもよい。

20

**【 0 0 2 9 】**

一つの例示的実施形態において、リン含有ガスはフッ素を含まなくてもよい。一つの例示的実施形態において、リン含有ガスは、PCL<sub>3</sub>又はPOCl<sub>3</sub>を含んでいてもよい。

**【 0 0 3 0 】**

更に別の例示的実施形態において、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、ガス供給部、プラズマ生成部、及び制御部を備える。基板支持器は、チャンバ内で基板を支持するように構成されている。基板は、シリコン含有膜及び該シリコン含有膜上に設けられたマスクを含む。ガス供給部は、リン含有ガス及びハロゲン含有ガスをチャンバ内に供給するように構成されている。プラズマ生成部は、チャンバ内でガスからプラズマを生成するように構成されている。制御部は、ガス供給部及びプラズマ生成部を制御するように構成されている。制御部は、シリコン含有膜において開口を画成する側壁面を不活性化させるリン化学種を生成するために、チャンバ内にリン含有ガスを供給してリン含有ガスからプラズマを生成するようにガス供給部及びプラズマ生成部を制御する。制御部は、シリコン含有膜をエッチングするハロゲン化学種を生成するために、チャンバ内にハロゲン含有ガスを供給してハロゲン含有ガスからプラズマを生成するようにガス供給部及びプラズマ生成部を制御する。

30

**【 0 0 3 1 】**

更に別の例示的実施形態において、エッチング方法が提供される。エッチング方法は、プラズマ処理装置のチャンバ内に基板を準備する工程（a2）を含む。基板は、シリコン含有膜を含む。エッチング方法は、チャンバ内で処理ガスから生成されたプラズマからの化学種によりシリコン含有膜をエッチングする工程（b2）を更に含む。処理ガスは、ハロゲン元素及びリンを含む。

40

**【 0 0 3 2 】**

上記実施形態によれば、シリコンと処理ガスに含まれるリンを含む保護膜が、エッチングによってシリコン含有膜に形成された開口を画成する側壁面上に形成される。この保護膜により側壁面が保護されつつ、シリコン含有膜がエッチングされる。したがって、シリコン含有膜のプラズマエッチングにおいて、横方向のエッチングを抑制することが可能となる。

50

**【 0 0 3 3 】**

一つの例示的実施形態において、エッティング方法は、工程（b2）におけるエッティングによって形成された開口を画成する側壁面上に保護膜を形成する工程（c2）を更に含んでいてもよい。この保護膜は処理ガスに含まれるリンを含む。工程（b2）と工程（c2）は、同時に発生してもよい。

**【 0 0 3 4 】**

一つの例示的実施形態において、処理ガスは、リンを含む分子として、 $\text{PF}_3$ 、 $\text{PCl}_3$ 、 $\text{PF}_5$ 、 $\text{PCl}_5$ 、 $\text{POCl}_3$ 、 $\text{PH}_3$ 、 $\text{PBr}_3$ 、及び $\text{PBr}_5$ の少なくとも一つを含んでいてもよい。

**【 0 0 3 5 】**

一つの例示的実施形態において、処理ガスは炭素及び水素を更に含んでいてもよい。

**【 0 0 3 6 】**

一つの例示的実施形態において、処理ガスは、水素を含む分子として、 $\text{H}_2$ 、 $\text{HF}$ 、 $\text{CxHy}$ 、 $\text{CsHtFu}$ 、及び $\text{NH}_3$ の少なくとも一つを含んでいてもよい。ここで、x、y、s、t、uの各々は自然数である。

**【 0 0 3 7 】**

一つの例示的実施形態において、ハロゲン元素はフッ素であってもよい。

**【 0 0 3 8 】**

一つの例示的実施形態において、処理ガスは酸素を更に含んでいてもよい。

**【 0 0 3 9 】**

一つの例示的実施形態において、シリコン含有膜はシリコン含有誘電体膜であってよい。

**【 0 0 4 0 】**

一つの例示的実施形態において、シリコン含有膜は、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜、及びシリコン膜の少なくとも一つの膜を含んでいてもよい。

**【 0 0 4 1 】**

一つの例示的実施形態において、シリコン含有膜は、互いに異なる膜種を有する二つ以上のシリコン含有膜を含んでいてもよい。

**【 0 0 4 2 】**

一つの例示的実施形態において、二つ以上のシリコン含有膜は、シリコン酸化膜及びシリコン窒化膜を含んでいてもよい。或いは、二つ以上のシリコン含有膜は、シリコン酸化膜及びシリコン膜を含んでいてもよい。或いは、二つ以上のシリコン含有膜は、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜、及びシリコン膜を含んでいてもよい。

**【 0 0 4 3 】**

一つの例示的実施形態において、基板は、シリコン含有膜上に設けられたマスクを更に有していてもよい。

**【 0 0 4 4 】**

一つの例示的実施形態では、工程（b2）の開始時において基板の温度が0℃以下の温度に設定されてもよい。

**【 0 0 4 5 】**

更に別の例示的実施形態においては、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、ガス供給部、及び高周波電源を備える。基板支持器は、チャンバ内で基板を支持するように構成されている。ガス供給部は、シリコン含有膜をエッティングするための処理ガスをチャンバ内に供給するように構成されている。処理ガスは、ハロゲン元素及びリンを含む。高周波電源は、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発生するように構成されている。

**【 0 0 4 6 】**

以下、図面を参照して種々の例示的実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する同一の符号を附すこととする。

**【 0 0 4 7 】**

10

20

30

40

50

図1は、一つの例示的実施形態に係るエッチング方法の流れ図である。図1に示すエッチング方法（以下、「方法MT」という）は、シリコン含有膜を有する基板に適用される。方法MTでは、シリコン含有膜がエッチングされる。

#### 【0048】

図2は、図1に示すエッチング方法が適用され得る一例の基板の部分拡大断面図である。図2に示す基板Wは、DRAM、3D-NANDのようなデバイスの製造に用いられ得る。基板Wは、シリコン含有膜SFを有する。基板Wは、下地領域URを更に有していてもよい。シリコン含有膜SFは、下地領域UR上に設けられ得る。シリコン含有膜SFは、シリコン含有誘電体膜であり得る。シリコン含有誘電体膜は、シリコン酸化膜又はシリコン窒化膜を含み得る。シリコン含有誘電体膜は、シリコンを含有する膜であれば、他の膜種を有する膜であってもよい。また、シリコン含有膜SFは、シリコン膜（例えば多結晶シリコン膜）を含んでいてもよい。また、シリコン含有膜SFは、シリコン窒化膜、多結晶シリコン膜、炭素含有シリコン膜、及び低誘電率膜のうち少なくとも一つを含んでいてもよい。炭素含有シリコン膜は、SiC膜及び/又はSiOC膜を含み得る。低誘電率膜は、シリコンを含有し、層間絶縁膜として用いられ得る。また、シリコン含有膜SFは、互いに異なる膜種を有する二つ以上のシリコン含有膜を含んでいてもよい。二つ以上のシリコン含有膜は、シリコン酸化膜及びシリコン窒化膜を含んでいてもよい。シリコン含有膜SFは、例えば、交互に積層された一つ以上のシリコン酸化膜及び一つ以上のシリコン窒化膜を含む多層膜であってもよい。シリコン含有膜SFは、交互に積層された複数のシリコン酸化膜及び複数のシリコン窒化膜を含む多層膜であってもよい。或いは、二つ以上のシリコン含有膜は、シリコン酸化膜及びシリコン膜を含んでいてもよい。シリコン含有膜SFは、例えば、交互に積層された一つ以上のシリコン酸化膜及び一つ以上のシリコン膜を含む多層膜であってもよい。シリコン含有膜SFは、交互に積層された複数のシリコン酸化膜及び複数の多結晶シリコン膜を含む多層膜であってもよい。或いは、二つ以上のシリコン含有膜は、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜、及びシリコン膜を含んでいてもよい。

10

20

30

#### 【0049】

基板Wは、マスクMKを更に有していてもよい。マスクMKは、シリコン含有膜SF上に設けられている。マスクMKは、工程ST2においてシリコン含有膜SFのエッチングレートよりも低いエッチングレートを有する材料から形成される。マスクMKは、有機材料から形成され得る。即ち、マスクMKは、炭素を含有してもよい。マスクMKは、例えば、アモルファスカーボン膜、フォトレジスト膜、又はスピノンカーボン膜（SOC膜）から形成され得る。或いは、マスクMKは、シリコン含有反射防止膜のようなシリコン含有膜から形成されてもよい。或いは、マスクMKは、窒化チタン、タンゲステン、炭化タンゲステンのような金属含有材料から形成された金属含有マスクであってもよい。マスクMKは、3μm以上の厚みを有し得る。

#### 【0050】

マスクMKは、パターニングされている。即ち、マスクMKは、工程ST2においてシリコン含有膜SFに転写されるパターンを有している。マスクMKのパターンがシリコン含有膜SFに転写されると、シリコン含有膜SFにはホール又はトレチの開口（凹部）が形成される。工程ST2においてシリコン含有膜SFに形成される開口のアスペクト比は20以上であってよく、30以上、40以上、又は50以上であってもよい。なお、マスクMKは、ラインアンドスペースパターンを有していてもよい。

40

#### 【0051】

方法MTでは、シリコン含有膜SFのエッチングのためにプラズマ処理装置が用いられる。図3は、一つの例示的実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、チャンバ10を備える。チャンバ10は、その中に内部空間10sを提供する。チャンバ10はチャンバ本体12を含む。チャンバ本体12は、略円筒形状を有する。チャンバ本体12は、例えばアルミニウムから形成される。チャンバ本体12の内壁面上には、耐腐食性を有する膜が設けられている。耐腐食性を有する膜

50

は、酸化アルミニウム、酸化イットリウムなどのセラミックから形成され得る。

【0052】

チャンバ本体12の側壁には、通路12pが形成されている。基板Wは、通路12pを通して内部空間10sとチャンバ10の外部との間で搬送される。通路12pは、ゲートバルブ12gにより開閉される。ゲートバルブ12gは、チャンバ本体12の側壁に沿って設けられる。

【0053】

チャンバ本体12の底部上には、支持部13が設けられている。支持部13は、絶縁材料から形成される。支持部13は、略円筒形状を有する。支持部13は、内部空間10sの中で、チャンバ本体12の底部から上方に延在している。支持部13は、基板支持器14を支持している。基板支持器14は、内部空間10sの中で基板Wを支持するように構成されている。

10

【0054】

基板支持器14は、下部電極18及び静電チャック20を有する。基板支持器14は、電極プレート16を更に有し得る。電極プレート16は、アルミニウムなどの導体から形成されており、略円盤形状を有する。下部電極18は、電極プレート16上に設けられている。下部電極18は、アルミニウムなどの導体から形成されており、略円盤形状を有する。下部電極18は、電極プレート16に電気的に接続されている。

20

【0055】

静電チャック20は、下部電極18上に設けられている。基板Wは、静電チャック20の上面の上に載置される。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、略円盤形状を有し、誘電体から形成される。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20sを介して直流電源20pに接続されている。静電チャック20の電極に直流電源20pからの電圧が印加されると、静電チャック20と基板Wとの間に静電引力が発生する。基板Wは、その静電引力によって静電チャック20に引き付けられて、静電チャック20によって保持される。

20

【0056】

基板支持器14上には、エッジリング25が配置される。エッジリング25は、リング状の部材である。エッジリング25は、シリコン、炭化シリコン、又は石英などから形成され得る。基板Wは、静電チャック20上、且つ、エッジリング25によって囲まれた領域内に配置される。

30

【0057】

下部電極18の内部には、流路18fが設けられている。流路18fには、チャンバ10の外部に設けられているチラーユニットから配管22aを介して熱交換媒体（例えば冷媒）が供給される。流路18fに供給された熱交換媒体は、配管22bを介してチラーユニットに戻される。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。

【0058】

プラズマ処理装置1には、ガス供給ライン24が設けられている。ガス供給ライン24は、伝熱ガス供給機構からの伝熱ガス（例えばHeガス）を、静電チャック20の上面と基板Wの裏面との間の間隙に供給する。

40

【0059】

プラズマ処理装置1は、上部電極30を更に備える。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。

【0060】

上部電極30は、天板34及び支持体36を含み得る。天板34の下面是、内部空間10sの側の下面であり、内部空間10sを画成する。天板34は、発生するジュール熱の

50

少ない低抵抗の導電体又は半導体から形成され得る。天板34は、天板34をその板厚方向に貫通する複数のガス吐出孔34aを有する。

【0061】

支持体36は、天板34を着脱自在に支持する。支持体36は、アルミニウムなどの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36aが設けられている。支持体36は、ガス拡散室36aから下方に延びる複数のガス孔36bを有する。複数のガス孔36bは、複数のガス吐出孔34aにそれぞれ連通している。支持体36には、ガス導入口36cが形成されている。ガス導入口36cは、ガス拡散室36aに接続している。ガス導入口36cには、ガス供給管38が接続されている。

【0062】

ガス供給管38には、流量制御器群41及びバルブ群42を介して、ガスソース群40が接続されている。流量制御器群41及びバルブ群42は、ガス供給部を構成している。ガス供給部は、ガスソース群40を更に含んでいてもよい。ガスソース群40は、複数のガスソースを含む。複数のガスソースは、方法MTで用いられる処理ガスのソースを含む。流量制御器群41は、複数の流量制御器を含む。流量制御器群41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。バルブ群42は、複数の開閉バルブを含む。ガスソース群40の複数のガスソースの各々は、流量制御器群41の対応の流量制御器及びバルブ群42の対応の開閉バルブを介して、ガス供給管38に接続されている。

10

【0063】

プラズマ処理装置1では、チャンバ本体12の内壁面及び支持部13の外周に沿って、シールド46が着脱自在に設けられている。シールド46は、チャンバ本体12に反応副生物が付着することを防止する。シールド46は、例えば、アルミニウムから形成された母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、酸化イットリウムなどのセラミックから形成され得る。

20

【0064】

支持部13とチャンバ本体12の側壁との間には、バッフルプレート48が設けられている。バッフルプレート48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（酸化イットリウムなどの膜）を形成することにより構成される。バッフルプレート48には、複数の貫通孔が形成されている。バッフルプレート48の下方、且つ、チャンバ本体12の底部には、排気口12eが設けられている。排気口12eには、排気管52を介して排気装置50が接続されている。排気装置50は、圧力調整弁及びターボ分子ポンプなどの真空ポンプを含む。

30

【0065】

プラズマ処理装置1は、高周波電源62及びバイアス電源64を備えている。高周波電源62は、高周波電力HFを発生する電源である。高周波電力HFは、プラズマの生成に適した第1の周波数を有する。第1の周波数は、例えば27MHz～100MHzの範囲内の周波数である。高周波電源62は、整合器66及び電極プレート16を介して下部電極18に接続されている。整合器66は、高周波電源62の負荷側（下部電極18側）のインピーダンスを高周波電源62の出力インピーダンスに整合させるための回路を有する。なお、高周波電源62は、整合器66を介して、上部電極30に接続されていてもよい。高周波電源62は、一例のプラズマ生成部を構成している。

40

【0066】

バイアス電源64は、電気バイアスを発生する電源である。バイアス電源64は、下部電極18に電気的に接続されている。電気バイアスは、第2の周波数を有する。第2の周波数は、第1の周波数よりも低い。第2の周波数は、例えば400kHz～13.56MHzの範囲内の周波数である。電気バイアスは、高周波電力HFと共に用いられる場合には、基板Wにイオンを引き込むために下部電極18に与えられる。電気バイアスが下部電極18に与えられると、基板支持器14上に載置された基板Wの電位は、第2の周波数で規定される周期内で変動する。

50

## 【0067】

一実施形態において、電気バイアスは、第2の周波数を有する高周波電力L Fであってもよい。高周波電力L Fは、高周波電力H Fと共に用いられる場合には、基板Wにイオンを引き込むための高周波バイアス電力として用いられる。高周波電力L Fを発生するよう構成されたバイアス電源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に接続される。整合器6 8は、バイアス電源6 4の負荷側（下部電極1 8側）のインピーダンスをバイアス電源6 4の出力インピーダンスに整合させるための回路を有する。

## 【0068】

なお、高周波電力H Fを用いずに、高周波電力L Fを用いて、即ち、単一の高周波電力のみを用いてプラズマを生成してもよい。この場合には、高周波電力L Fの周波数は、13.56 M H zよりも大きな周波数、例えば40 M H zであってもよい。また、この場合には、プラズマ処理装置1は、高周波電源6 2及び整合器6 6を備えなくてもよい。この場合には、バイアス電源6 4は一例のプラズマ生成部を構成する。

10

## 【0069】

別の実施形態において、電気バイアスは、直流電圧のパルス波であってもよい。直流電圧のパルス波は、周期的に発生されて、下部電極1 8に与えられる。直流電圧のパルス波の周期は、第2の周波数で規定される。直流電圧のパルス波の周期は、二つの期間を含む。二つの期間のうち一方の期間における直流電圧は、負極性の直流電圧である。二つの期間のうち一方の期間における直流電圧のレベル（即ち、絶対値）は、二つの期間のうち他方の期間における直流電圧のレベル（即ち、絶対値）よりも高い。他方の期間における直流電圧は、負極性、正極性の何れであってもよい。他方の期間における直流電圧のレベルはゼロであってもよい。この実施形態において、バイアス電源6 4は、ローパスフィルタ及び電極プレート1 6を介して下部電極1 8に接続される。

20

## 【0070】

一実施形態において、バイアス電源6 4は、電気バイアスの連続波を下部電極1 8に与えてもよい。即ち、バイアス電源6 4は、電気バイアスを連続的に下部電極1 8に与えてもよい。電気バイアスの連続波は、方法M Tの工程S T P又は工程S T 2及び工程S T 3が実行されている期間において、下部電極1 8に与えられ得る。

## 【0071】

別の実施形態において、バイアス電源6 4は、電気バイアスのパルス波を下部電極1 8に与えてもよい。電気バイアスのパルス波は、周期的に下部電極1 8に与えられ得る。電気バイアスのパルス波の周期は、第3の周波数で規定される。第3の周波数は、第2の周波数よりも低い。第3の周波数は、例えば1 H z以上、200 k H z以下である。他の例では、第3の周波数は、5 H z以上、100 k H z以下であってもよい。

30

## 【0072】

電気バイアスのパルス波の周期は、二つの期間、即ちH期間及びL期間を含む。H期間における電気バイアスのレベル（即ち、電気バイアスのパルスのレベル）は、L期間における電気バイアスのレベルよりも高い。即ち、電気バイアスのレベルが増減されることにより、電気バイアスのパルス波が下部電極1 8に与えられてもよい。L期間における電気バイアスのレベルは、ゼロより大きくてよい。或いは、L期間における電気バイアスのレベルは、ゼロであってもよい。即ち、電気バイアスのパルス波は、電気バイアスの下部電極1 8への供給と供給停止とを交互に切り替えることにより、下部電極1 8に与えられてもよい。ここで、電気バイアスが高周波電力L Fである場合には、電気バイアスのレベルは、高周波電力L Fの電力レベルである。電気バイアスが高周波電力L Fである場合には、電気バイアスのパルスにおける高周波電力L Fのレベルは、2 k W以上であってもよい。電気バイアスが負極性の直流電圧のパルス波である場合には、電気バイアスのレベルは、負極性の直流電圧の絶対値の実効値である。電気バイアスのパルス波のデューティ比、即ち、電気バイアスのパルス波の周期においてH期間が占める割合は、例えば1 %以上、80 %以下である。別の例では、電気バイアスのパルス波のデューティ比は5 %以上50 %以下であってよい。或いは、電気バイアスのパルス波のデューティ比は、50 %以上

40

50

、99%以下であってもよい。電気バイアスのパルス波は、方法MTの工程ST2及び工程ST3を実行するために、下部電極18に与えられ得る。

#### 【0073】

一実施形態において、高周波電源62は、高周波電力HFの連続波を供給してもよい。即ち、高周波電源62は、高周波電力HFを連続的に供給してもよい。高周波電力HFの連続波は、方法MTの工程STP又は工程ST2及び工程ST3が実行されている期間において、供給され得る。

#### 【0074】

別の実施形態において、高周波電源62は、高周波電力HFのパルス波を供給してもよい。高周波電力HFのパルス波は、周期的に供給され得る。高周波電力HFのパルス波の周期は、第4の周波数で規定される。第4の周波数は、第2の周波数よりも低い。一実施形態において、第4の周波数は、第3の周波数と同じである。高周波電力HFのパルス波の周期は、二つの期間、即ちH期間及びL期間を含む。H期間における高周波電力HFの電力レベルは、二つの期間のうちL期間における高周波電力HFの電力レベルよりも高い。L期間における高周波電力HFの電力レベルは、ゼロより大きくてよく、ゼロであつてもよい。

10

#### 【0075】

なお、高周波電力HFのパルス波の周期は、電気バイアスのパルス波の周期と同期してもよい。高周波電力HFのパルス波の周期におけるH期間は、電気バイアスのパルス波の周期におけるH期間と同期してもよい。或いは、高周波電力HFのパルス波の周期におけるH期間は、電気バイアスのパルス波の周期におけるH期間と同期していなくてもよい。高周波電力HFのパルス波の周期におけるH期間の時間長は、電気バイアスのパルス波の周期におけるH期間の時間長と同一であってもよく、異なっていてもよい。

20

#### 【0076】

プラズマ処理装置1においてプラズマ処理が行われる場合には、ガスがガス供給部から内部空間10sに供給される。また、高周波電力HF及び/又は電気バイアスが供給されることにより、上部電極30と下部電極18との間で高周波電界が生成される。生成された高周波電界が内部空間10sの中のガスからプラズマを生成する。

#### 【0077】

プラズマ処理装置1は、制御部80を更に備え得る。制御部80は、プロセッサ、メモリなどの記憶部、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、入力装置を用いて、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の稼働状況を可視化して表示することができる。さらに、記憶部には、制御プログラム及びレシピ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、プロセッサによって実行される。プロセッサは、制御プログラムを実行し、レシピデータに従ってプラズマ処理装置1の各部を制御する。

30

#### 【0078】

再び図1を参照する。以下、方法MTについて、それがプラズマ処理装置1を用いて図2に示す基板Wに適用される場合を例にとって、説明する。プラズマ処理装置1が用いられる場合には、制御部80によるプラズマ処理装置1の各部の制御により、プラズマ処理装置1において方法MTが実行され得る。以下の説明においては、方法MTの実行のための制御部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。

40

#### 【0079】

以下の説明では、図1に加えて、図4の(a)、図4の(b)、及び図5を参照する。図4の(a)は、図1に示すエッチング方法が適用された一例の基板の部分拡大断面図であり、図4の(b)は、リンを含まない処理ガスから生成されたプラズマによってエッチングされた一例の基板の部分拡大断面図である。図5は、一つの例示的実施形態に係るエッチング方法に関する一例のタイミングチャートである。図5において、横軸は時間を示

50

している。図5において、縦軸は、高周波電力HFの電力レベル、電気バイアスのレベル、及び処理ガスの供給状態を示している。高周波電力HFの「L」レベルは、高周波電力HFが供給されていないか、又は、高周波電力HFの電力レベルが、「H」で示す電力レベルよりも低いことを示している。電気バイアスの「L」レベルは、電気バイアスが下部電極18に与えられていないか、又は、電気バイアスのレベルが、「H」で示すレベルよりも低いことを示している。また、処理ガスの供給状態の「ON」は、処理ガスがチャンバ10内に供給されていることを示しており、処理ガスの供給状態の「OFF」は、チャンバ10内への処理ガスの供給が停止していることを示している。

#### 【0080】

図1に示すように、方法MTは、工程ST1で開始する。工程ST1では、基板Wがチャンバ10内に準備される。基板Wは、チャンバ10内で静電チャック20上に載置されて、静電チャック20によって保持される。なお、基板Wは300mmの直径を有し得る。

10

#### 【0081】

方法MTでは、次いで、工程STPが実行される。工程STPでは、基板Wに対するプラズマ処理が実行される。工程STPでは、チャンバ10内で処理ガスからプラズマが生成される。方法MTは、工程ST2を含む。工程ST2は、工程STPの実行中に行われる。方法MTは、工程ST3を更に含み得る。工程ST3は、工程STPの実行中に行われる。工程ST2と工程ST3は、同時に行われてもよく、或いは、互いから独立して行われてもよい。

20

#### 【0082】

工程ST2では、シリコン含有膜SFが、工程STPにおいてチャンバ10内で処理ガスから生成されたプラズマからの化学種により、エッティングされる。工程ST3では、保護膜PFが、工程STPにおいてチャンバ10内で処理ガスから生成されたプラズマからの化学種により、基板W上に形成される。保護膜PFは、シリコン含有膜SFに形成された開口を画成する側壁面上に形成される。

#### 【0083】

工程STPで用いられる処理ガスは、ハロゲン元素及びリンを含む。処理ガスに含まれるハロゲン元素は、フッ素であり得る。即ち、処理ガスは、フッ素含有ガスを含み得る。処理ガスは、少なくとも一つのハロゲン含有分子を含み得る。処理ガスは、少なくとも一つのハロゲン含有分子として、フルオロカーボン及びハイドロフルオロカーボンの少なくとも一つを含み得る。フルオロカーボンは、例えばCF<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>、C<sub>3</sub>F<sub>6</sub>、C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>、C<sub>4</sub>F<sub>6</sub>、C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>、C<sub>5</sub>F<sub>8</sub>等のうちの少なくとも一つである。ハイドロフルオロカーボンは、例えばCH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>、CHF<sub>3</sub>、CH<sub>3</sub>F等のうちの少なくとも一つである。

30

#### 【0084】

処理ガスは、少なくとも一つのリン含有分子を含み得る。即ち、処理ガスは、少なくとも一つのリン含有ガスを含み得る。リン含有ガスは、リンとハロゲンの双方を含むガスであってもよい。リン含有分子は、十酸化四リン(P<sub>4</sub>O<sub>10</sub>)、八酸化四リン(P<sub>4</sub>O<sub>8</sub>)、六酸化四リン(P<sub>4</sub>O<sub>6</sub>)のような酸化物であってもよい。十酸化四リンは、五酸化二リン(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)と呼ばれることがある。リン含有分子は、リンとハロゲンの双方を含む分子であってもよい。リン含有分子は、三フッ化リン(PF<sub>3</sub>)、五フッ化リン(PF<sub>5</sub>)、三塩化リン(PCA<sub>3</sub>)、五塩化リン(PCA<sub>5</sub>)、三臭化リン(PBr<sub>3</sub>)、五臭化リン(PBr<sub>5</sub>)、ヨウ化リン(PI<sub>3</sub>)のようなハロゲン化物であってもよい。リン含有分子は、フッ化ホスホリル(POF<sub>3</sub>)、塩化ホスホリル(POCl<sub>3</sub>)、臭化ホスホリル(POBr<sub>3</sub>)のようなハロゲン化ホスホリルであってもよい。リン含有分子は、ホスフィン(PH<sub>3</sub>)、リン化カルシウム(Ca<sub>3</sub>P<sub>2</sub>等)、リン酸(H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)、リン酸ナトリウム(Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)、ヘキサフルオロリン酸(HPF<sub>6</sub>)等であってもよい。リン含有分子は、フルオロホスフィン類(H<sub>x</sub>PF<sub>y</sub>)であってもよい。ここで、xとyの和は、3又は5である。フルオロホスフィン類としては、H<sub>2</sub>PF<sub>3</sub>が例示される。処理ガスは、少なくとも一つのリン含有分子として、上記のリン含有分子のうち一つ以上のリン含有分子を含み得る。例えば、処理ガスは、少なくとも一つのリン含有分子とし

40

50

て、 $\text{PF}_3$ 、 $\text{PCl}_3$ 、 $\text{PF}_5$ 、 $\text{PCl}_5$ 、 $\text{POCl}_3$ 、 $\text{PH}_3$ 、 $\text{PBr}_3$ 、及び $\text{PBr}_5$ の少なくとも一つを含み得る。なお、処理ガスに含まれる各リン含有分子は、液体又は固体である場合には、加熱等によって気化されてチャンバ10内に供給され得る。

#### 【0085】

工程ST2で用いられる処理ガスは、炭素及び水素を更に含んでいてもよい。処理ガスは、水素を含む分子として、 $\text{H}_2$ 、フッ化水素( $\text{HF}$ )、炭化水素( $\text{C}_x\text{H}_y$ )、ハイドロフルオロカーボン( $\text{C}_s\text{H}_t\text{F}_u$ )、及び $\text{NH}_3$ の少なくとも一つを含んでいてもよい。炭化水素は、例えば $\text{CH}_4$ 又は $\text{C}_3\text{H}_6$ である。処理ガスは、炭素を含む分子として、上記の炭化水素、上記のハイドロフルオロカーボン、及びフルオロカーボン( $\text{C}_v\text{F}_w$ )の少なくとも一つを含んでいてもよい。ここで、 $x$ 、 $y$ 、 $s$ 、 $t$ 、 $u$ 、 $v$ 、 $w$ の各々は自然数である。処理ガスは、酸素を更に含んでいてもよい。処理ガスは、酸素含有ガス、例えば $\text{O}_2$ を含んでいてもよい。或いは、処理ガスは、酸素を含んでいなくてもよい。

#### 【0086】

一実施形態において、処理ガスは、第1のガス及び第2のガスを含み得る。第1のガスは、リンを含有しないガスである。第1のガスは、ハロゲン元素を含み得る。第1のガスは、上述した少なくとも一つのハロゲン含有分子のガスを含み得る。第1のガスは、炭素及び水素を更に含んでいてもよい。第1のガスは、上述した水素を含む分子のガス及び/又は炭素を含む分子のガスを更に含んでいてもよい。第1のガスは、酸素を更に含んでいてもよい。第1のガスは、 $\text{O}_2$ ガスを含んでいてもよい。或いは、第1のガスは、酸素を含んでいなくてもよい。第2のガスは、リンを含有するガスである。第2のガスは、上述した少なくとも一つのリン含有分子のガスを含んでいてもよい。

#### 【0087】

工程STPで用いられる処理ガスにおいて、第1のガスの流量に対する第2のガスの流量の比である流量比は、0より大きく、0.5以下に設定されてもよい。流量比は、0.075以上、0.3以下に設定されてもよい。流量比は、0.1以上、0.25以下に設定されてもよい。

#### 【0088】

工程STPでは、チャンバ10内のガスの圧力が指定された圧力に設定される。工程STPでは、チャンバ10内のガスの圧力は、10mTorr(1.3Pa)以上、100mTorr(13.3Pa)以下の圧力に設定され得る。また、工程STP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、高周波電力HFが供給される。図5において実線で示すように、工程STPでは、高周波電力HFの連続波が供給されてもよい。工程STPでは、高周波電力HFの代わりに高周波電力LFが用いられてもよい。工程STPでは、高周波電力HF及び電気バイアスの双方が供給されてもよい。図5において実線で示すように、工程STPでは、電気バイアスの連続波が下部電極18に与えられてもよい。高周波電力HFの電力のレベルは、2kW以上、10kW以下のレベルに設定され得る。高周波電力LFのレベルは、2kW(基板Wの単位面積当たりの電力のレベルでは $2.83\text{W/cm}^2$ )以上のレベルに設定され得る。高周波電力LFのレベルは、10kW(基板Wの単位面積当たりの電力のレベルでは $14.2\text{W/cm}^2$ )以上のレベルに設定されてもよい。

#### 【0089】

工程STP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を制御する。また、制御部80は、チャンバ10内のガス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。また、制御部80は、処理ガスからプラズマを生成するようにプラズマ生成部を制御する。プラズマ処理装置1では、制御部80は、高周波電力HF、高周波電力LF、又は高周波電力HF及び電気バイアスを供給するように高周波電源62及びバイアス電源64を制御する。

#### 【0090】

一実施形態の方法MTにおいて、工程ST2(又は工程STP)の開始時の基板Wの温度は、0以下の温度に設定されてもよい。このような温度に基板Wの温度が設定される

10

20

30

40

50

と、工程 S T 2 におけるシリコン含有膜 S F のエッティングレートが高くなる。工程 S T 2 の開始時の基板 W の温度を設定するために、制御部 80 はチラーユニットを制御し得る。なお、工程 S T 2 (又は工程 S T P) の実行中の基板 W の温度は、200 以下の温度であってもよい。

#### 【 0 0 9 1 】

一実施形態において、方法 M T は、工程 S T T を更に含んでいてもよい。工程 S T T は、工程 S T 2 (又は工程 S T P) の前に実行される。基板 W の温度は、工程 S T T において、0 以下の温度に設定される。工程 S T 2 の開始時の基板 W の温度は、工程 S T T において設定される。工程 S T T において基板 W の温度を設定するために、制御部 80 は、チラーユニットを制御し得る。

10

#### 【 0 0 9 2 】

工程 S T 2 では、シリコン含有膜 S F が、処理ガスから生成されたプラズマからのハロゲン化学種により、エッティングされる。一実施形態では、シリコン含有膜 S F の全領域のうちマスク M K から露出されている部分がエッティングされる (図 4 の ( a ) を参照)。

#### 【 0 0 9 3 】

処理ガスが、リン含有分子として、P F<sub>3</sub> のようにリンとハロゲン元素を含有する分子を含んでいる場合には、かかる分子に由来するハロゲン化学種は、シリコン含有膜 S F のエッティングに寄与する。したがって、P F<sub>3</sub> のようにリンとハロゲン元素を含有するリン含有分子は、工程 S T 2 においては、シリコン含有膜 S F のエッティングレートを高める。

#### 【 0 0 9 4 】

また、マスク M K が炭素を含有する場合には、工程 S T 2 において、マスクの表面において炭素とリンの結合が形成される。マスク M K の表面に形成される炭素とリンの結合は、マスク M K における炭素間結合よりも高い結合エネルギーを有する。したがって、方法 M T によれば、シリコン含有膜 S F のプラズマエッティングにおいて、マスク M K が保護される。また、シリコン含有膜 S F のプラズマエッティングにおいて、マスク M K の形状の劣化が抑制される。故に、方法 M T によれば、膜のプラズマエッティングにおいて基板を保護することが可能となる。

20

#### 【 0 0 9 5 】

一実施形態においては、方法 M T は、図 1 に示すように、工程 S T 3 を更に含んでいてもよい。工程 S T 3 では、保護膜 P F が、工程 S T 2 のエッティングによってシリコン含有膜 S F に形成された開口を画成する側壁面上に形成される (図 4 の ( a ) を参照)。保護膜 P F は、工程 S T P においてチャンバ 10 内で処理ガスから生成されたプラズマからの化学種により形成される。一実施形態では、工程 S T 3 は、工程 S T 2 と同時に進行し得る。図 4 の ( a ) に示すように、一実施形態において、保護膜 P F は、その厚さがシリコン含有膜 S F に形成された開口の深さ方向に沿って減少するように形成されてもよい。

30

#### 【 0 0 9 6 】

保護膜 P F は、シリコン及び工程 S T P で用いられる処理ガスに含まれるリンを含む。一実施形態では、保護膜 P F は、処理ガスに含まれる炭素及び / 又は水素を更に含んでいてもよい。一実施形態では、保護膜 P F は、処理ガスに含まれるか又はシリコン含有膜 S F に含まれる酸素を更に含んでいてもよい。一実施形態では、保護膜 P F は、リンと酸素の結合を含んでいてもよい。

40

#### 【 0 0 9 7 】

図 6 の ( a ) 及び図 6 の ( b ) はそれぞれ、工程 S T P においてシリコン酸化膜、シリコン窒化膜をエッティングした実験例において形成された保護膜 P F に対する X P S 分析の結果を示す図である。図 6 の ( a ) 及び図 6 の ( b ) の各々は、P 2 p スペクトルを示している。実験例の工程 S T P の条件を以下に示す。

#### < 工程 S T P の条件 >

チャンバ 10 内のガスの圧力 : 100 mTorr (13.33 Pa)

処理ガス : 50 sccm の P F<sub>3</sub> ガス及び 150 sccm の Ar ガス

高周波電力 H F (連続波) : 40 MHz, 4500 W

50

高周波電力 L F (連続波) : 4 0 0 k H z, 7 0 0 0 W

基板の温度 (エッティング開始前の基板支持器の温度) : - 7 0

工程 S T P の実行期間の時間長 : 3 0 秒

【 0 0 9 8 】

工程 S T P においてシリコン酸化膜をエッティングした実験例によれば、保護膜 P F の X P S 分析の結果、図 6 の ( a ) に示すように、S i - O の結合ピークと P - O の結合ピークが観察された。また、工程 S T P においてシリコン窒化膜をエッティングした実験例によれば、保護膜 P F の X P S 分析の結果、図 6 の ( b ) に示すように、S i - P の結合ピークと P - N の結合ピークが観察された。

【 0 0 9 9 】

処理ガスにリンが含まれなければ、図 4 の ( b ) に示すように、シリコン含有膜 S F は、横方向にもエッティングされる。その結果、シリコン含有膜 S F に形成される開口の幅が一部で広くなる。例えば、シリコン含有膜 S F に形成される開口の幅はマスク M K の近傍で部分的に広くなる。

【 0 1 0 0 】

一方、方法 M T では、保護膜 P F が、エッティングによってシリコン含有膜 S F に形成された開口を画成する側壁面上に形成される。この保護膜 P F により側壁面が保護されつつ、シリコン含有膜 S F がエッティングされる。したがって、方法 M T によれば、シリコン含有膜 S F のプラズマエッティングにおいて、横方向のエッティングを抑制することが可能となる。

【 0 1 0 1 】

一実施形態においては、工程 S T P が継続されている期間、即ち工程 S T P において処理ガスからプラズマが生成されている期間中に、工程 S T 2 と工程 S T 3 を各々が含む一つ以上のサイクルが順に実行されてもよい。工程 S T P においては、二つ以上のサイクルが順に実行されてもよい。

【 0 1 0 2 】

一実施形態では、図 5 において破線で示すように、上述した電気バイアスのパルス波が、工程 S T P においてバイアス電源 6 4 から下部電極 1 8 に与えられてもよい。即ち、処理ガスから生成されたプラズマがチャンバ 1 0 内に存在するときに、電気バイアスのパルス波が、バイアス電源 6 4 から下部電極 1 8 に与えられてもよい。この実施形態においては、工程 S T 2 のシリコン含有膜 S F のエッティングは、主に、電気バイアスのパルス波の周期内の H 期間において生じる。また、工程 S T 3 の保護膜 P F の形成は、主に、電気バイアスのパルス波の周期内の L 期間において生じる。

【 0 1 0 3 】

なお、電気バイアスが高周波電力 L F である場合には、電気バイアスのパルス波の周期内の H 期間において、高周波電力 L F の電力レベルは、2 k W 以上のレベルに設定され得る。電気バイアスのパルス波の周期内の H 期間において、高周波電力 L F の電力レベルは、1 0 k W 以上のレベルに設定されてもよい。

【 0 1 0 4 】

一実施形態では、図 5 において破線で示すように、上述した高周波電力 H F のパルス波が、工程 S T P において供給されてもよい。高周波電力 H F のパルス波の周期内の H 期間において、高周波電力 H F の電力レベルは、1 k W 以上、1 0 k W 以下のレベルに設定され得る。図 5 に示すように、高周波電力 H F のパルス波の周期は、電気バイアスのパルス波の周期と同期していてもよい。図 5 に示すように、高周波電力 H F のパルス波の周期における H 期間は、電気バイアスのパルス波の周期における H 期間と同期していてもよい。或いは、高周波電力 H F のパルス波の周期における H 期間は、電気バイアスのパルス波の周期における H 期間と同期していなくてもよい。高周波電力 H F のパルス波の周期における H 期間の時間長は、電気バイアスのパルス波の周期における H 期間の時間長と同一であつてもよく、異なっていてもよい。

【 0 1 0 5 】

10

20

30

40

50

図7は、一つの例示的実施形態に係るエッティング方法に関する別の例のタイミングチャートである。図7において、横軸は時間を示している。図7において、縦軸は、高周波電力HFの電力レベル、電気バイアスのレベル、第1のガスの供給状態、及び第2のガスの供給状態を示している。高周波電力HFの「L」レベルは、高周波電力HFが供給されていないか、又は、高周波電力HFの電力レベルが、「H」で示す電力レベルよりも低いことを示している。電気バイアスの「L」レベルは、電気バイアスが下部電極18に与えられないか、又は、電気バイアスのレベルが、「H」で示すレベルよりも低いことを示している。また、第1のガスの供給状態の「ON」は、第1のガスがチャンバ10内に供給されていることを示しており、第1のガスの供給状態の「OFF」は、チャンバ10内への第1のガスの供給が停止されていることを示している。また、第2のガスの供給状態の「ON」は、第2のガスがチャンバ10内に供給されていることを示しており、第2のガスの供給状態の「OFF」は、チャンバ10内への第2のガスの供給が停止されていることを示している。

#### 【0106】

図7に示すように、工程STPにおいては、第1のガスと第2のガスは、互いに交互にチャンバ10内に供給されてもよい。工程ST2のシリコン含有膜SFのエッティングは、主に、第1のガスがチャンバ10内に供給される期間において生じる。また、工程ST3の保護膜PFの形成は、主に、第2のガスがチャンバ10内に供給される期間において生じる。

#### 【0107】

図7において実線で示すように、工程STPにおいて、高周波電力HFの連続波が供給されてもよい。或いは、図5に示した高周波電力HFのパルス波と同じように、工程STPにおいて、高周波電力HFのパルス波が供給されてもよい。高周波電力HFのパルス波は、図7において破線で示されている。高周波電力HFのパルス波の周期内のH期間は、第1のガスがチャンバ10内に供給される期間と同期するか又は部分的に重複する。また、高周波電力HFのパルス波の周期内のL期間は、第2のガスがチャンバ10内に供給される期間と同期するか又は部分的に重複する。

#### 【0108】

また、図7において実線で示すように、工程STPにおいて、電気バイアスの連続波が下部電極18に与えられてもよい。或いは、図5に示した電気バイアスのパルス波と同じように、工程STPにおいて、電気バイアスのパルス波が下部電極18に与えられてもよい。電気バイアスのパルス波は、図7において破線で示されている。電気バイアスのパルス波の周期内のH期間は、第1のガスがチャンバ10内に供給される期間と同期するか、部分的に重複する。また、電気バイアスのパルス波の周期内のL期間は、第2のガスがチャンバ10内に供給される期間と同期するか、部分的に重複する。

#### 【0109】

以下、図8、図9の(a)、及び図9の(b)を参照する。図8は、別の例の基板の平面図である。図9の(a)は、図8のIXA-IXA線に沿ってとった断面図であり、図9の(b)は、図8のIXB-IXB線に沿ってとった断面図である。方法MTが適用される基板は、図8、図9の(a)、及び図9の(b)に示す基板WのようなマスクMKを有していてもよい。即ち、方法MTが適用される基板のマスクは、シリコン含有膜SF上で当該マスクが画成する開口に対して当該マスクが占める割合が高い部分とその割合が低い部分とを含んでいてもよい。

#### 【0110】

図8、図9の(a)及び図9の(b)に示す基板WのマスクMKは、炭素を含有している。マスクMKは、例えば、アモルファスカーボン膜、フォトレジスト膜、又はスピノンカーボン膜(SOC膜)から形成されている。

#### 【0111】

図8、図9の(a)及び図9の(b)に示す基板Wにおいて、マスクMKは、複数の開口OPを画成している。マスクMKは、シリコン含有膜SF上でマスクMKが画成する開

10

20

30

40

50

□OPに対してマスクMKが占める割合が高い部分MKAとその割合が低い部分MKBとを含んでいる。開口OPに対してマスクMKが占める割合が高い部分MKAは、マスクMKが密に形成された部分、即ち密領域である。開口OPに対してマスクMKが占める割合が低い部分MKBは、マスクMKが粗に形成された部分、即ち粗領域である。なお、この「割合」は、シリコン含有膜SF上の面内における単位面積当たりのマスクMKの面積の割合、或いは、シリコン含有膜SF上の面内における単位長さ当たりのマスクMKの長さの割合である。

#### 【0112】

複数の開口OPの各々は、図8に示すように、矩形の平面形状を有していてもよい。或いは、複数の開口OPの各々は、円形又は橢円形のような他の平面形状を有していてもよい。複数の開口OPの各々は、図8に示すように、それらの複数の行と複数の列を提供するように二次元的に配列されていてもよい。図8、図9の(a)及び図9の(b)に示す基板Wにおいて、部分MKAは、上述の配列の行方向及び列方向のうち一方の方向のマスクMKのパターンを含んでおり、部分MKBは、他方の方向のマスクMKのパターンを含んでいる。

10

#### 【0113】

一般的には、粗領域におけるマスクMKは、シリコン含有膜SFのプラズマエッティングにより、密領域におけるマスクMKよりも多くエッティングされる。図8、図9の(a)及び図9の(b)に示す基板Wにおいて、粗領域におけるマスクMKが密領域におけるマスクMKよりも多くエッティングされると、マスクMKの内部応力により、ラインLNの形状に歪みが生じる。ラインLNの形状の歪みが生じると、ラインLNのLER(Line Edge Roughness)及びLWR(Line Width Roughness)が大きくなる。しかしながら、方法MTでは、マスクMKの炭素と工程STPにおいて生成されるプラズマからのリンの結合がマスクMKの表面に形成される。マスクMKの表面に形成される炭素とリンの結合は、マスクMKにおける炭素間結合よりも高い結合エネルギーを有する。したがって、方法MTでは、マスクMKの表面に形成された炭素とリンの結合が、工程ST2におけるシリコン含有膜SFのエッティングの際に、マスクMKを保護する。故に、方法MTによれば、シリコン含有膜SFのプラズマエッティングにおいて基板Wを保護することが可能となる。また、マスクMKの表面に形成された炭素とリンの結合は、粗領域におけるマスクMKのエッティング量を低減させる。その結果、粗領域におけるマスクMKのエッティング量と密領域におけるマスクMKのエッティング量の差が低減される。ひいては、粗領域及び密領域の双方を有するマスクMKの形状の劣化が抑制される。

20

#### 【0114】

以下、方法MTの評価のために行った第1の実験について説明する。第1の実験では、図2に示した基板Wと同一の構造を有する複数のサンプル基板を準備した。複数のサンプル基板の各々は、シリコン酸化膜及び当該シリコン酸化膜上に設けられたマスクを有していた。マスクは、アモルファスカーボン膜から形成されたマスクであった。第1の実験では、複数のサンプル基板に方法MTの工程STPを適用した。複数のサンプル基板それに対して用いた処理ガスは、互いに異なる流量のPF<sub>3</sub>ガスを含んでいた。工程STPにおける他の条件を以下に示す。なお、PF<sub>3</sub>ガスの流量はそれぞれ、0 sccm、15 sccm、30 sccm、50 sccm、及び100 sccmであった。即ち、第1の実験において、第1のガスの流量に対する第2のガスの流量の比である流量比はそれぞれ、0、0.075、0.15、0.25、0.5であった。

30

#### <工程STPの条件>

チャンバ10内のガスの圧力：25 mTorr (3.3 Pa)

処理ガス：50 sccmのCH<sub>4</sub>ガス、100 sccmのCF<sub>4</sub>ガス、50 sccmのO<sub>2</sub>ガス

40

高周波電力HF(連続波)：40 MHz、4500 W

高周波電力LF(連続波)：400 kHz、7000 W

サンプル基板の温度(エッティング開始前の基板支持器の温度)：-30

50

工程 S T P の実行期間の時間長 : 6 0 0 秒

【 0 1 1 5 】

第 1 の実験では、複数のサンプル基板の各々について、シリコン酸化膜のエッティングレート、シリコン酸化膜に形成された開口の最大幅、及び選択比を求めた。選択比は、シリコン酸化膜のエッティングレートをマスクのエッティングレートで除した値である。第 1 の実験では、工程 S T P で用いた処理ガス中の P F <sub>3</sub> ガスの流量とシリコン酸化膜のエッティングレートとの関係を求めた。また、工程 S T P で用いた処理ガス中の P F <sub>3</sub> ガスの流量とシリコン酸化膜に形成された開口の最大幅との関係を求めた。また、工程 S T P で用いた処理ガス中の P F <sub>3</sub> ガスの流量と選択比との関係を求めた。処理ガス中の P F <sub>3</sub> ガスの流量とシリコン酸化膜のエッティングレートとの関係を図 1 0 に示す。また、処理ガス中の P F <sub>3</sub> ガスの流量とシリコン酸化膜に形成された開口の最大幅の関係を図 1 1 に示す。また、処理ガス中の P F <sub>3</sub> ガスの流量と選択比との関係を図 1 2 に示す。

【 0 1 1 6 】

図 1 0 及び図 1 2 に示すように、処理ガスがリンを含む場合、即ち、第 1 のガスの流量に対する第 2 のガスの流量の比である流量比が 0 よりも大きい場合に、シリコン酸化膜のエッティングレート及び選択比が高くなることが確認された。また、図 1 2 に示すように、処理ガス中の P F <sub>3</sub> ガスの流量が 1 5 s c c m 以上、6 0 s c c m 又は 5 0 s c c m 以下である場合、相当に高い選択比が得られることが確認された。即ち、流量比が 0 . 0 7 5 以上、0 . 3 又は 0 . 2 5 以下である場合に、相当に高い選択比が得られることが確認された。また、図 1 0 に示すように、処理ガス中の P F <sub>3</sub> ガスの流量が 2 0 s c c m 以上である場合、即ち、流量比が 0 . 1 以上である場合に、P F <sub>3</sub> を添加しない場合に比べ、エッティングレートが 1 . 5 倍程度になることが確認された。

【 0 1 1 7 】

また、図 1 1 に示すように、処理ガスがリンを含む場合に、シリコン酸化膜の開口の最大幅が小さくなること、即ち、シリコン酸化膜の開口の幅が一部で広くなることを抑制することが可能であることが確認された。特に、処理ガス中の P F <sub>3</sub> ガスの流量が 5 0 s c c m 以上である場合に、シリコン酸化膜の開口の幅が一部で広くなることがより顕著に抑制され得ることが確認された。

【 0 1 1 8 】

以下、方法 M T の評価のために行った第 2 の実験について説明する。第 2 の実験では、図 8 、図 9 の ( a ) 、及び図 9 の ( b ) に示した基板 W と同じ構造を有する複数のサンプル基板を準備した。複数のサンプル基板の各々は、シリコン酸化膜及び当該シリコン酸化膜上に設けられたマスクを有していた。マスクは、アモルファスカーボン膜から形成されたマスクであった。第 2 の実験では、複数のサンプル基板に方法 M T の工程 S T P を適用した。複数のサンプル基板それぞれに対して用いた処理ガスは、互いに異なる流量の P F <sub>3</sub> ガスを含んでいた。第 2 の実験における工程 S T P の他の条件は、第 1 の実験における工程 S T P の他の条件と同一であった。

【 0 1 1 9 】

第 2 の実験では、工程 S T P の適用後の基板 W のマスク M K のライン L N の L E R 及び L W R を求めた。第 2 の実験で求めた処理ガス中の P F <sub>3</sub> ガスの流量と L E R 及び L W R の各々との関係を図 1 3 に示す。図 1 3 に示すように、処理ガス中の P F <sub>3</sub> ガスの流量の増加につれて、L E R 及び L W R が小さくなることが確認された。即ち、処理ガス中の P F <sub>3</sub> ガスの流量の増加につれて、マスク M K の形状の劣化が低減されることが確認された。

【 0 1 2 0 】

以下、別の例示的実施形態に係るエッティング方法について説明する。以下の説明では、図 1 4 、図 1 5 の ( a ) 、図 1 5 の ( b ) 、及び図 1 5 の ( c ) を参照する。図 1 4 は、別の例示的実施形態に係るエッティング方法（以下、「方法 M T 2 」という）の流れ図である。図 1 5 の ( a ) 、図 1 5 の ( b ) 、図 1 5 の ( c ) は、方法 M T 2 の工程 S T 2 2 が適用されているときの状態、方法 M T 2 の工程 S T 2 3 が適用されているときの状態、方法 M T 2 が適用された後の状態それぞれの一例の基板の部分拡大断面図である。以下では

10

20

30

40

50

、方法MT2を、それがプラズマ処理装置1を用いて行われる場合を例にとって、説明する。

【0121】

図14に示す方法MT2は、図2に示したような基板のように、シリコン含有膜SF及びマスクMKを有する基板Wに適用され得る。方法MT2は、工程ST21で開始する。工程ST21は、方法MT1の工程ST1と同じ工程である。工程ST21では、基板Wがチャンバ10内に準備される。基板Wは、チャンバ10内で静電チャック20上に載置されて、静電チャック20によって保持される。方法MT2の工程ST22、工程ST23、及び工程24は、基板Wがチャンバ10内に収容された状態で実行され得る。

【0122】

方法MT2では、工程ST22が工程ST21の後に実行される。工程ST22では、シリコン含有膜SFがエッティングされる。工程ST22では、図15の(a)に示すように、ハロゲン化学種が基板Wに供給されて、シリコン含有膜SFが部分的にエッティングされる。ハロゲン化学種は、例えばイオンであり、図15の(a)において「+」を囲む円で示されている。

【0123】

工程ST22で用いられるハロゲン化学種は、エッティングガスから生成されたプラズマから供給される。エッティングガスは、ハロゲン含有ガスを含む。ハロゲン含有ガスは、フッ素含有ガスを含んでいてもよい。フッ素含有ガスは、フッ化水素、三フッ化窒素(NF<sub>3</sub>)、六フッ化硫黄(SF<sub>6</sub>)、上述のフルオロカーボン、及び上述のハイドロフルオロカーボンのうち少なくとも一つを含んでいてもよい。フルオロカーボンを含むエッティングガスは、シリコン含有膜SFがシリコン酸化膜を含む場合に用いられ得る。ハイドロフルオロカーボンを含むエッティングガスは、シリコン含有膜SFがシリコン窒化膜を含む場合に用いられ得る。シリコン含有膜SFが多結晶シリコンを含む場合には、ハロゲン含有ガスは、C<sub>12</sub>ガスのようなハロゲンガスを含んでいてもよい。エッティングガスは、上述の第1のガスのように、炭素及び水素を更に含んでいてもよい。エッティングガスは、上述した水素を含む分子のガス及び/又は炭素を含む分子のガスを更に含んでいてもよい。エッティングガスは、酸素を更に含んでいてもよい。エッティングガスは、O<sub>2</sub>ガスを含んでいてもよい。

【0124】

工程ST22の実行のために、制御部80は、エッティングガスをチャンバ10内に供給するようにガス供給部を制御する。また、制御部80は、チャンバ10内のガス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。また、制御部80は、チャンバ10内でエッティングガスからプラズマを生成するようにプラズマ生成部を制御する。プラズマ処理装置1では、制御部80は、高周波電力HF、高周波電力LF、又は高周波電力HF及び電気バイアスを供給するように高周波電源62及びバイアス電源64を制御する。

【0125】

方法MT2では、工程ST23及び工程ST24が、工程ST22の後に順に実行される。工程ST23では、図15の(b)に示すように、基板Wにリン化学種が供給される。リン化学種は、例えば、イオン及び/又はラジカルのようなリン活性種であり、図15の(b)において「P」を囲む円で示されている。工程ST23では、図15の(b)に示すように、シリコン含有膜SFにおいて開口を画成する側壁面においてシリコン含有膜SFに含まれる元素とリンの結合が形成される。シリコン含有膜SFがシリコン酸化膜を含む場合には、リンと酸素の結合がシリコン含有膜SFの側壁面において形成される。工程ST23では、シリコン含有膜SFの側壁面がリン化学種により不活性化(又は不動態化)される。即ち、シリコン含有膜SFの側壁面のパッシベーションが行われる。なお、マスクMKが炭素を含有する場合には、工程ST23において、マスクMKの表面に炭素とリンの結合が形成されてもよい。

【0126】

10

20

30

40

50

工程 S T 2 3 で用いられるリン化学種は、パッシベーションガスから生成されたプラズマから供給される。工程 S T 2 3 で用いられるパッシベーションガスは、リン含有ガスを含む。リン含有ガスは、上述した少なくとも一つのリン含有分子を含む。一実施形態では、リン含有ガスはフッ素を含まなくてもよい。そのようなリン含有ガスは、P C l<sub>3</sub> 又は P O C l<sub>3</sub> を含んでいてもよい。

#### 【 0 1 2 7 】

工程 S T 2 3 の実行のために、制御部 8 0 は、パッシベーションガスをチャンバ 1 0 内に供給するようにガス供給部を制御する。また、制御部 8 0 は、チャンバ 1 0 内でのガスの圧力を指定された圧力に設定するように排気装置 5 0 を制御する。また、制御部 8 0 は、チャンバ 1 0 内でパッシベーションガスからプラズマを生成するようにプラズマ生成部を制御する。プラズマ処理装置 1 では、制御部 8 0 は、高周波電力 H F 、高周波電力 L F 、又は高周波電力 H F 及び電気バイアスを供給するように高周波電源 6 2 及びバイアス電源 6 4 を制御する。

10

#### 【 0 1 2 8 】

工程 S T 2 4 では、シリコン含有膜 S F が更にエッチングされる。工程 S T 2 4 は、工程 S T 2 2 と同様の工程である。即ち、工程 S T 2 4 では、エッチングガスから生成されたプラズマから供給されるハロゲン化学種により、シリコン含有膜 S F がエッチングされる。

#### 【 0 1 2 9 】

一実施形態においては、工程 S T 2 3 と工程 S T 2 4 とは交互に繰り返されてもよい。この場合に、方法 M T 2 は、工程 S T 2 5 を更に含み得る。工程 S T 2 5 では、停止条件が満たされるか否かが判定される。工程 S T 2 5 において、停止条件は、例えば、工程 S T 2 3 と工程 S T 2 4 を含むサイクルの繰り返しの回数が所定回数に達している場合に満たされるものと判定される。工程 S T 2 5 において停止条件が満たされていないと判定されると、再びサイクルが実行される。一方、工程 S T 2 5 において停止条件が満たされているものと判定されると、方法 M T 2 が終了する。方法 M T 2 が終了すると、図 1 5 の (c) に示すように、下地領域 U R が露出され得る。

20

#### 【 0 1 3 0 】

なお、工程 S T 2 3 において用いられるリン化学種は、基板 W がその中に収容されているチャンバから離れた場所で生成されたプラズマから供給されてもよい。また、工程 S T 2 3 で用いられるプラズマ処理装置と工程 S T 2 4 で用いられるプラズマ処理装置は、互いに異なっていてもよい。この場合には、基板 W は、工程 S T 2 3 で用いられるプラズマ処理装置と工程 S T 2 4 で用いられるプラズマ処理装置との間では、減圧された空間のみを介して（即ち、真空を破らずに）搬送され得る。

30

#### 【 0 1 3 1 】

以下、更に別の例示的実施形態に係るエッチング方法について説明する。以下の説明では、図 1 6 、図 1 7 の (a) 、及び図 1 7 の (b) を参照する。図 1 6 は、更に別の例示的実施形態に係るエッチング方法（以下、「方法 M T 3 」という）の流れ図である。図 1 7 の (a) 、図 1 7 の (b) は、方法 M T 3 の工程 S T P 3 が適用されているときの状態、方法 M T 3 が適用された後の状態それぞれの一例の基板の部分拡大断面図である。以下では、方法 M T 3 を、それがプラズマ処理装置 1 を用いて行われる場合を例にとって、説明する。

40

#### 【 0 1 3 2 】

図 1 6 に示す方法 M T 3 は、図 2 に示したような基板のように、シリコン含有膜 S F 及びマスク M K を有する基板 W に適用され得る。方法 M T 3 は、工程 S T 3 1 で開始する。工程 S T 3 1 は、方法 M T 1 の工程 S T 1 と同じ工程である。工程 S T 3 1 では、基板 W がチャンバ 1 0 内に準備される。基板 W は、チャンバ 1 0 内で静電チャック 2 0 上に載置されて、静電チャック 2 0 によって保持される。方法 M T 3 の工程 S T P 3 は、基板 W がチャンバ 1 0 内に収容された状態で実行される。

#### 【 0 1 3 3 】

50

工程 S T P 3 は、同時に行われる工程 S T 3 3 と工程 S T 3 4 を含む。工程 S T 3 3 は、方法 M T 2 の工程 S T 2 3 と同様の工程である。工程 S T 3 3 においては、図 17 の (a) に示すように、リン化学種が基板 W に供給されて、シリコン含有膜 S F の側壁面に対するパッシベーション処理が行われる。図 17 の (a) において、リン化学種は、「P」を囲む円で示されている。工程 S T 3 4 は、方法 M T 2 の工程 S T 2 4 と同様の工程である。工程 S T 3 4 においては、図 17 の (a) に示すように、ハロゲン化学種が基板 W に供給されて、シリコン含有膜 S F がエッティングされる。図 17 の (a) において、ハロゲン化学種は、「+」を囲む円で示されている。

#### 【 0 1 3 4 】

工程 S T P 3 では、工程 S T 3 3 と工程 S T 3 4 を同時に行うために、チャンバ 1 0 内で処理ガスのプラズマが生成される。処理ガスは、工程 S T 2 3 に関連して上述したパッシベーションガスと工程 S T 2 2 に関連して上述したエッティングガスを含む。

#### 【 0 1 3 5 】

工程 S T P 3 の実行のために、制御部 8 0 は、処理ガスをチャンバ 1 0 内に供給するようにガス供給部を制御する。また、制御部 8 0 は、チャンバ 1 0 内でのガスの圧力を指定された圧力に設定するように排気装置 5 0 を制御する。また、制御部 8 0 は、チャンバ 1 0 内で処理ガスからプラズマを生成するようにプラズマ生成部を制御する。プラズマ処理装置 1 では、制御部 8 0 は、高周波電力 H F 、高周波電力 L F 、又は高周波電力 H F 及び電気バイアスを供給するように高周波電源 6 2 及びバイアス電源 6 4 を制御する。

#### 【 0 1 3 6 】

方法 M T 2 及び方法 M T 3 においては、シリコン含有膜 S F の側壁面がリンにより不活性化（又は不動態化）される。即ち、側壁面のパッシベーションが行われる。したがって、方法 M T 2 及び方法 M T 3 によれば、シリコン含有膜 S F のプラズマエッティングの際にシリコン含有膜 S F の横方向へのエッティングを抑制するように側壁面が保護される。故に、方法 M T 2 及び方法 M T 3 によれば、シリコン含有膜 S F のプラズマエッティングにおいて基板 W を保護することが可能となる。

#### 【 0 1 3 7 】

以上、種々の例示的実施形態について説明してきたが、上述した例示的実施形態に限定されることなく、様々な追加、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。

#### 【 0 1 3 8 】

例えば、方法 M T 、方法 M T 2 、及び方法 M T 3 の各々において用いられるプラズマ処理装置は、プラズマ処理装置 1 以外の容量結合型のプラズマ処理装置であってもよい。或いは、方法 M T 、方法 M T 2 、及び方法 M T 3 の各々において用いられるプラズマ処理装置は、容量結合型以外のタイプのプラズマ処理装置であってもよい。そのようなプラズマ処理装置は、誘導結合型のプラズマ処理装置、E C R（電子サイクロトロン共鳴）プラズマ処理装置、又はマイクロ波といった表面波を用いてプラズマを生成するプラズマ処理装置等であってもよい。

#### 【 0 1 3 9 】

また、プラズマ処理装置は、高周波電力 L F を下部電極 1 8 に供給するバイアス電源 6 4 に加えて、負極性の直流電圧のパルスを断続的に又は周期的に下部電極 1 8 に印加するように構成された別のバイアス電源を備えていてもよい。

#### 【 0 1 4 0 】

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 1 4 1 】

1 ... プラズマ処理装置、1 0 ... チャンバ、W ... 基板、S F ... シリコン含有膜。

10

20

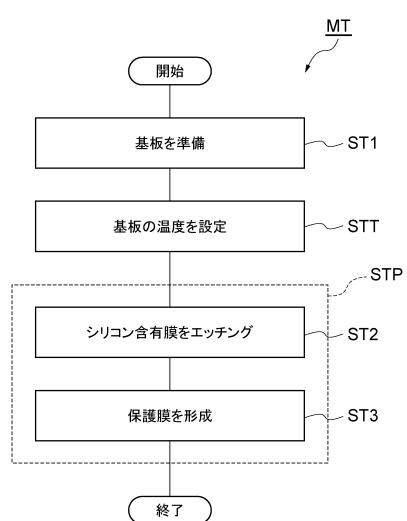
30

40

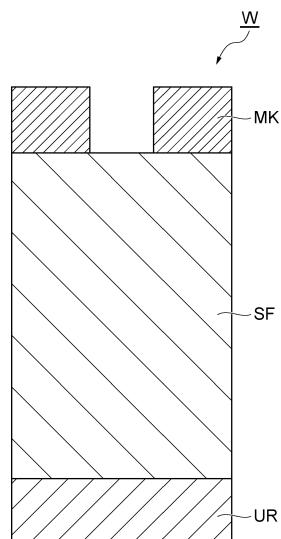
50

【四面】

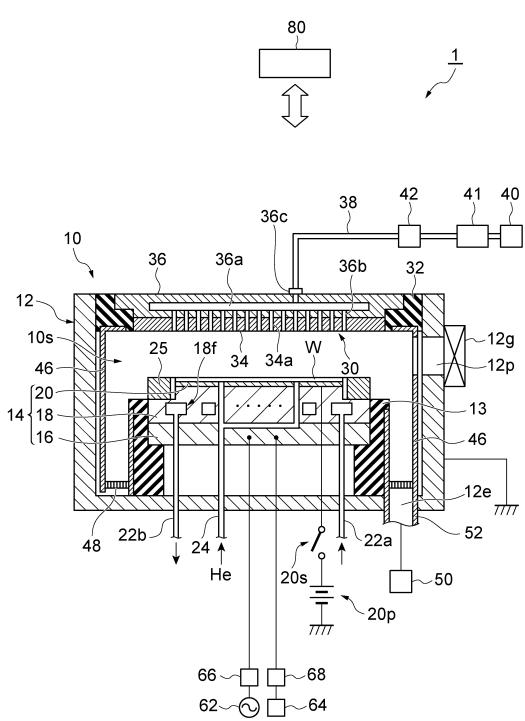
【 四 1 】



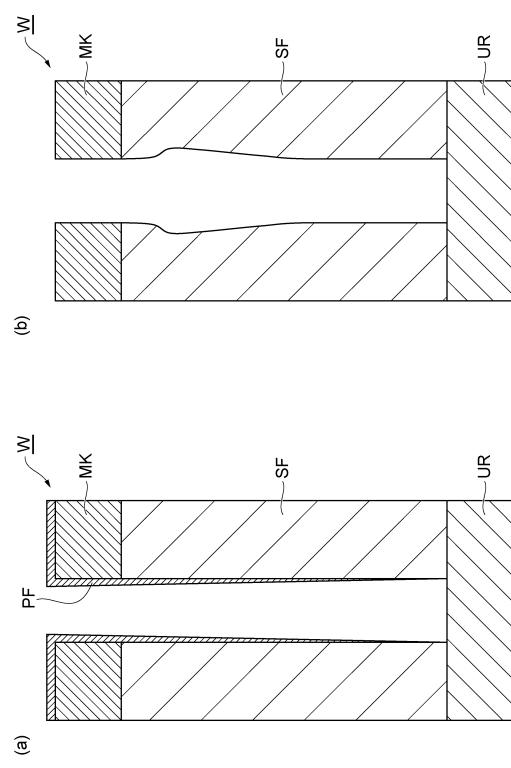
【 図 2 】



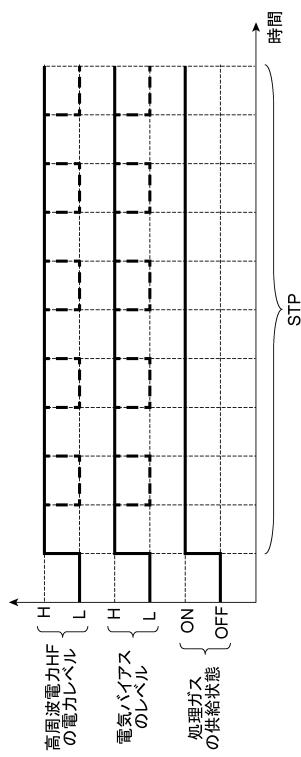
【図3】



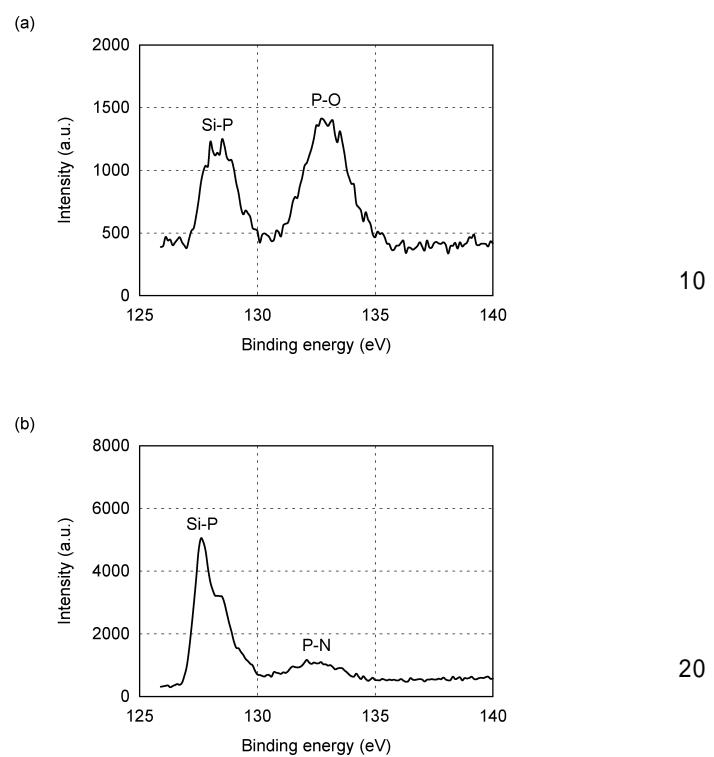
【図4】



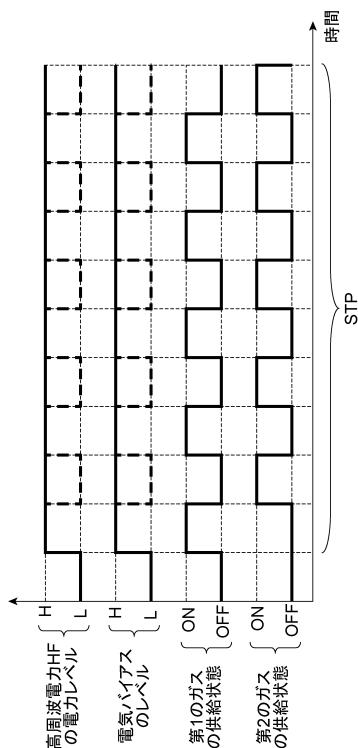
【図 5】



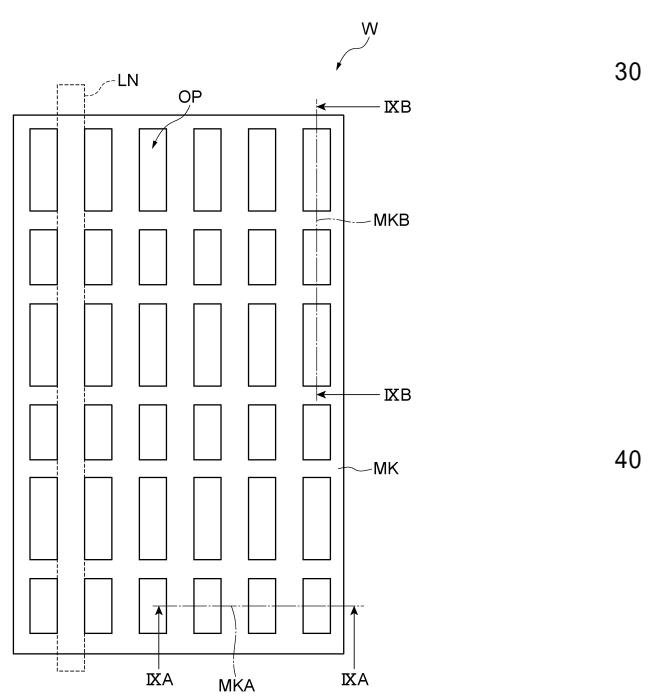
【図 6】



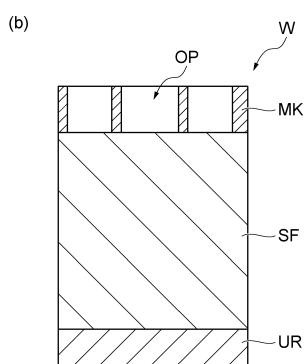
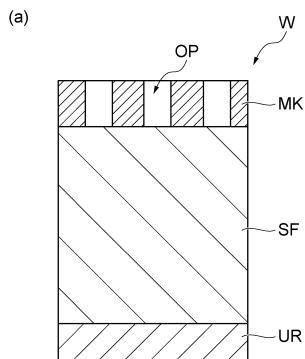
【図 7】



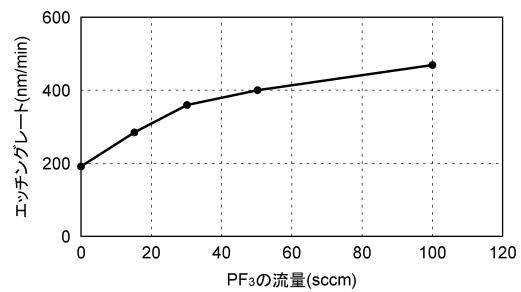
【図 8】



【図 9】



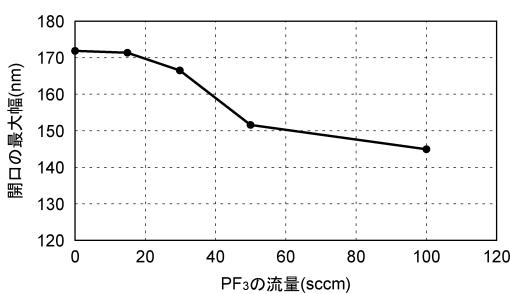
【図 10】



10

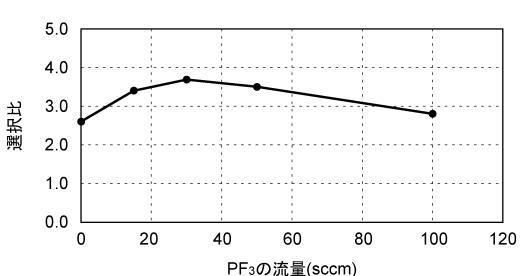
20

【図 11】



30

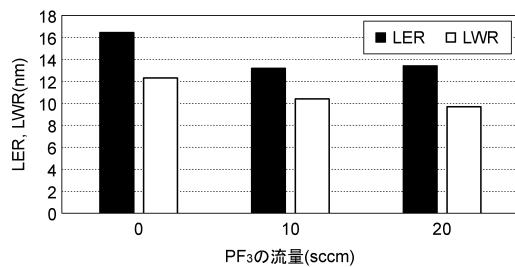
【図 12】



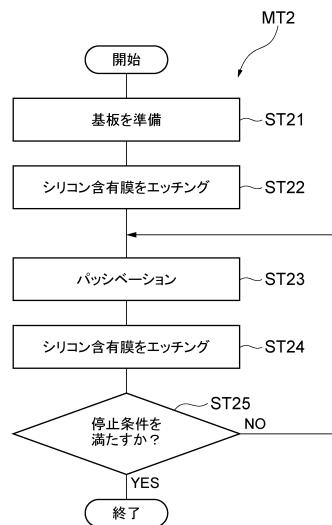
40

50

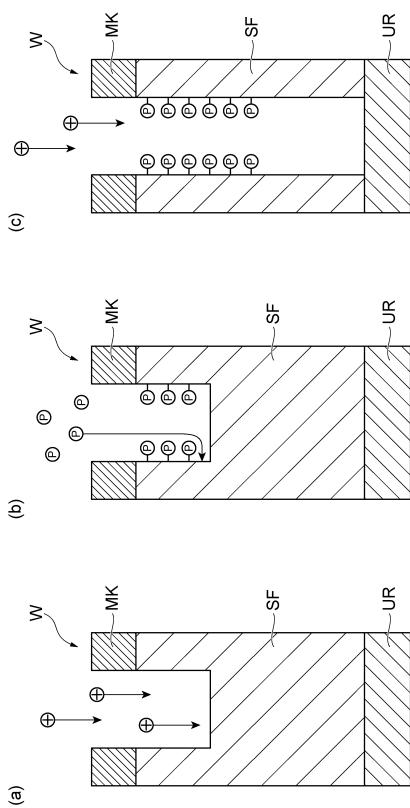
【図 1 3】



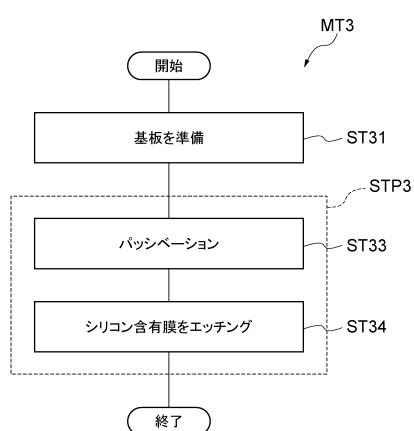
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 6】



10

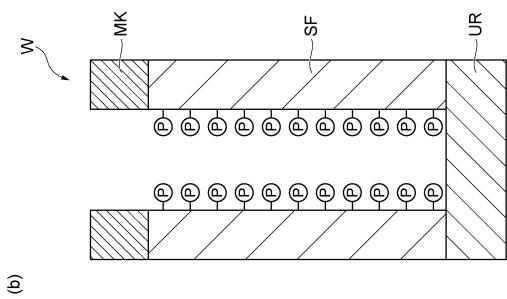
20

30

40

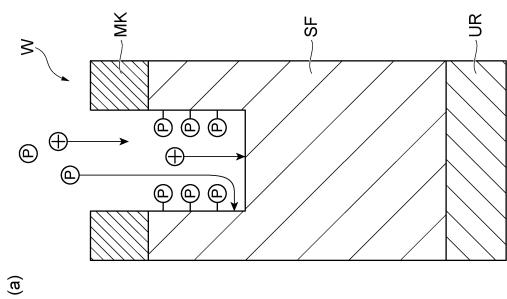
50

【図 1 7】



(b)

10



(a)

20

30

40

50

---

フロントページの続き

(72)発明者 木原 嘉英  
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 大内田 聰  
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

審査官 宇多川 勉

(56)参考文献 特開平08-181116 (JP, A)  
特開2001-035832 (JP, A)  
特表2017-518645 (JP, A)  
特開昭55-107780 (JP, A)  
特開平05-217956 (JP, A)  
特開平02-062039 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065  
H05H 1/46