

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6438831号
(P6438831)

(45) 発行日 平成30年12月19日(2018.12.19)

(24) 登録日 平成30年11月22日(2018.11.22)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/3065 (2006.01)

H O 1 L 21/302 1 O 4 H

請求項の数 5 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2015-85886 (P2015-85886)	(73) 特許権者	000219967 東京エレクトロン株式会社
(22) 出願日	平成27年4月20日 (2015. 4. 20)		東京都港区赤坂五丁目3番1号
(65) 公開番号	特開2016-207772 (P2016-207772A)	(74) 代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
(43) 公開日	平成28年12月8日 (2016. 12. 8)	(74) 代理人	100113435 弁理士 黒木 義樹
審査請求日	平成30年1月10日 (2018. 1. 10)	(74) 代理人	100122507 弁理士 柏岡 潤二
		(72) 発明者	李 忠鍾 東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i zタワー 東京エレクトロン株式会社内
		(72) 発明者	勝沼 隆幸 東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i zタワー 東京エレクトロン株式会社内 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 有機膜をエッチングする方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被処理体の有機膜をエッチングする方法であって、該被処理体は、該有機膜上にハードマスクを有し、該方法は、

前記被処理体を収容したプラズマ処理装置の処理容器内において水素ガス及び窒素ガスを含む処理ガスのプラズマを生成する工程であり、前記ハードマスクから露出されている前記有機膜の一部領域を変質領域に変化させる、該工程と、

前記処理容器内において希ガスのプラズマを生成する工程であり、前記変質領域を除去し、且つ、該変質領域から放出される物質を前記ハードマスクの表面上に堆積させる、該工程と、

を含み、処理ガスのプラズマを生成する前記工程と希ガスのプラズマを生成する前記工程とが交互に繰り返される、方法。

【請求項2】

前記処理容器内において、前記被処理体は、下部電極を含む載置台上に載置されており、

希ガスのプラズマを生成する前記工程では、前記下部電極に供給される高周波バイアスの単位面積当りのパワーが、 0.028 W/cm^2 以下のパワーに設定される、

請求項1に記載の方法。

【請求項3】

処理ガスのプラズマを生成する前記工程では、前記下部電極に高周波バイアスが供給さ

れない、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記処理ガス中の前記水素ガスの流量：前記処理ガス中の前記窒素ガスの流量で表される流量比が、1：3～9：1の範囲内の流量比に設定される、請求項 1～3の何れか一項に記載の方法。

【請求項 5】

前記処理容器内において炭化水素ガスのプラズマを生成する工程を更に含む、請求項 1～4の何れか一項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明の実施形態は、有機膜をエッチングする方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスといった電子デバイスの製造においては、マスクのパターンを被エッチング層に転写するために、プラズマエッチングが用いられている。例えば、レジストマスクのパターンをSi含有反射防止膜に転写することによって、ハードマスクを得て、当該ハードマスクのパターンを有機膜に転写するために、プラズマエッチングが用いられることがある。

【0003】

20

有機膜のプラズマエッチングは、例えば、特開2003-168676号公報に記載されている。この公報に記載されたプラズマエッチングでは、プラズマ処理装置の処理容器内で、水素ガス及び窒素ガスを含む処理ガスのプラズマが生成されることにより、有機膜がエッチングされる。具体的には、窒素ガスから得られる窒素の活性種との反応により、有機膜を構成する炭素がシアン分子(CN)に変質し、水素の活性種との反応により、シアン分子が揮発性の高い反応生成物(HCN)に変質する。この公報に記載されたプラズマエッチングでは、当該反応生成物が揮発することにより、被処理体上への反応生成物の再付着を抑制しつつ、有機膜をエッチングしている。

【先行技術文献】

【特許文献】

30

【0004】

【特許文献1】特開2003-168676号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上述したプラズマエッチングでは、有機膜のエッチング中にハードマスクが削られる。例えば、ハードマスクの肩が削られ、また、ハードマスクの膜厚が減少する。その結果、ハードマスクの形状が劣化するので、有機膜に対するパターンの転写精度が低下する。

【0006】

したがって、有機膜のプラズマエッチングにおいて、ハードマスクの形状を改善することが要請されている。

40

【課題を解決するための手段】

【0007】

一態様においては、被処理体の有機膜をエッチングする方法が提供される。被処理体は、有機膜上にハードマスクを有する。この方法は、(a)被処理体を収容したプラズマ処理装置の処理容器内において水素ガス及び窒素ガスを含む処理ガスのプラズマを生成する工程であり、ハードマスクから露出されている有機膜の一部領域を変質領域に変化させる、該工程と、(b)処理容器内において希ガスのプラズマを生成する工程であり、変質領域を除去し、且つ、該変質領域から放出される物質をハードマスクの表面上に堆積させる、該工程と、を含む。この方法では、処理ガスのプラズマを生成する前記工程と希ガスの

50

プラズマを生成する前記工程とが交互に繰り返される。

【0008】

上記一態様に係る方法では、処理ガスのプラズマが生成されて有機膜の一部領域が変質領域に変化し、希ガスのプラズマから供給される活性種によって変質領域が除去される。このとき変質領域から放出される物質、即ち反応生成物がハードマスク上に堆積する。次に処理ガスのプラズマが生成されると、この反応生成物が部分的に除去される。このような処理ガスのプラズマの生成及び希ガスのプラズマの生成が繰り返されることにより、ハードマスクの表面上に堆積する反応生成物でハードマスクの形状を改善しつつ、有機膜をエッチングすることが可能となる。

【0009】

一実施形態では、処理容器内において被処理体は下部電極を含む載置台上に載置される。希ガスのプラズマを生成する前記工程では、下部電極に供給される高周波バイアスの単位面積当りのパワーが、 0.028 W/cm^2 以下のパワーに設定され得る。この実施形態によれば希ガスのプラズマからの活性種によるハードマスクのダメージが更に抑制される。

【0010】

一実施形態の処理ガスのプラズマを生成する前記工程では、下部電極に高周波バイアスが供給されない。この実施形態によれば、処理ガスのプラズマを生成する前記工程において、有機膜のエッチングを実質的に行うことなく変質領域を形成することができる。

【0011】

一実施形態では、処理ガス中の水素ガスの流量：処理ガス中の窒素ガスの流量で表される流量比が、 $1:3 \sim 9:1$ の範囲内の流量比に設定され得る。かかる流量比の水素ガス及び窒素ガスが用いられることにより、有機膜のエッチング、及びハードマスク上への反応生成物の供給が効率的に行われる。

【0012】

一実施形態における方法は、処理容器内において炭化水素ガスのプラズマを生成する工程を更に含んでもよい。ハードマスク上に堆積する上述の反応生成物の量は、ハードマスクのパターンが密な領域では多くなり、ハードマスクのパターンが粗な領域では少なくなる。一方、炭化水素ガスから生成されハードマスク上に堆積する炭化水素及び/又は炭素の量は、ハードマスクのパターンが密な領域では少なく、ハードマスクのパターンが粗な領域では多い。したがって、この実施形態によれば、パターンが粗なハードマスクが形成された領域とパターンが密なハードマスクが形成された領域を含む場合に、これら領域においてハードマスク上に形成される堆積物の量の差異を低減させることが可能となる。

【発明の効果】

【0013】

以上説明したように、有機膜のプラズマエッチングにおいて、ハードマスクの形状を改善することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】一実施形態に係る有機膜をエッチングする方法を示す流れ図である。

【図2】被処理体の一例を示す断面図である。

【図3】図1に示す方法の実施に用いることが可能なプラズマ処理装置の一例を概略的に示す図である。

【図4】図1に示す方法の実行時の被処理体の状態を示す断面図である。

【図5】図1に示す方法の実行時の被処理体の状態を示す断面図である。

【図6】図1に示す方法の実行時の被処理体の状態を示す断面図である。

【図7】図1に示す方法の実行時の被処理体の状態を示す断面図である。

【図8】図1に示す方法の実行後の被処理体の状態を示す断面図である。

【図9】別の実施形態に係る有機膜をエッチングする方法を示す流れ図である。

10

20

30

40

50

【図10】被処理体の一例を示す断面図である。

【図11】有機膜のエッチングレートを示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、図面を参照して種々の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しては同一の符号を附すこととする。

【0016】

図1は、一実施形態に係る有機膜をエッチングする方法を示す流れ図である。図1に示す方法MTは、ハードマスクのパターンを被処理体の有機膜に転写するために、有機膜をエッチングする方法である。図2は、被処理体の一例を示す断面図である。図2に示す被
10
処理体はウエハの形態を有し得る。以下、方法MTにおいて処理される被処理体を、ウエハWという。ウエハWは、図2に示すように、下地層UL、有機膜OF、及びハードマスクHMを有している。下地層ULは、限定されるものではないが、例えば、多結晶シリコン層、酸化シリコン層のような層である。

【0017】

有機膜OFは、下地層UL上に設けられている。有機膜OFは、ハイドロカーボンといったカーボンを含む膜である。ハードマスクHMは、有機膜OF上に設けられている。ハードマスクHMは、限定されるものではないが、例えば、Si含有反射防止膜から構成される。ハードマスクHMは開口を提供するパターンを有している。このようなパターンを有するハードマスクHMは、例えば、フォトリソグラフィによるレジストマスクの作
20
成、及びプラズマエッチングによって形成される。

【0018】

図1に示す方法MTでは、まず、ウエハWがプラズマ処理装置の処理容器内に搬入される。図3は、図1に示す方法の実施に用いることが可能なプラズマ処理装置の一例を概略的に示す図である。図3に示すプラズマ処理装置10は、容量結合型プラズマエッチング装置であり、略円筒状の処理容器12を備えている。処理容器12の内壁面は、例えば、陽極酸化処理されたアルミニウムから構成されている。この処理容器12は保安接地されている。

【0019】

処理容器12の底部上には、略円筒状の支持部14が設けられている。支持部14は、
30
例えば、絶縁材料から構成されている。支持部14は、処理容器12内において、当該処理容器12の底部から鉛直方向に延在している。また、処理容器12内には、載置台PDが設けられている。載置台PDは、支持部14によって支持されている。

【0020】

載置台PDは、その上面においてウエハWを保持する。載置台PDは、下部電極LE及び静電チャックESCを有している。下部電極LEは、第1プレート18a及び第2プレート18bを含んでいる。第1プレート18a及び第2プレート18bは、例えばアルミニウムといった金属から構成されており、略円盤形状をなしている。第2プレート18bは、第1プレート18a上に設けられており、第1プレート18aに電氣的に接続されて
40
いる。

【0021】

第2プレート18b上には、静電チャックESCが設けられている。静電チャックESCは、膜状の電極を一对の絶縁層又は絶縁シート間に配置した構造を有している。静電チャックESCの電極には、直流電源22がスイッチ23を介して電氣的に接続されている。この静電チャックESCは、直流電源22からの直流電圧により生じたクーロン力等の静電力によりウエハWを吸着する。これにより、静電チャックESCは、ウエハWを保持することができる。

【0022】

第2プレート18bの周縁部上には、ウエハWのエッジ及び静電チャックESCを囲むようにフォーカスリングFRが配置されている。フォーカスリングFRは、エッチングの
50

均一性を向上させるために設けられている。フォーカスリングFRは、エッチング対象の膜の材料によって適宜選択される材料から構成されており、例えば、石英から構成され得る。

【0023】

第2プレート18bの内部には、冷媒流路24が設けられている。冷媒流路24は、温調機構を構成している。冷媒流路24には、処理容器12の外部に設けられたチラーユニットから配管26aを介して冷媒が供給される。冷媒流路24に供給された冷媒は、配管26bを介してチラーユニットに戻される。このように、冷媒流路24とチラーユニットとの間では、冷媒が循環される。この冷媒の温度を制御することにより、静電チャックESCによって支持されたウエハWの温度が制御される。

10

【0024】

また、プラズマ処理装置10には、ガス供給ライン28が設けられている。ガス供給ライン28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ESCの上面とウエハWの裏面との間に供給する。

【0025】

また、プラズマ処理装置10は、上部電極30を備えている。上部電極30は、載置台PDの上方において、当該載置台PDと対向配置されている。下部電極LEと上部電極30とは、互いに略平行に設けられている。上部電極30と下部電極LEとの間には、ウエハWにプラズマ処理を行うための処理空間Sが提供されている。

20

【0026】

上部電極30は、絶縁性遮蔽部材32を介して、処理容器12の上部に支持されている。一実施形態では、上部電極30は、載置台PDの上面、即ち、ウエハ載置面からの鉛直方向における距離が可変であるように構成され得る。上部電極30は、電極板34及び電極支持体36を含み得る。電極板34は処理空間Sに面しており、当該電極板34には複数のガス吐出孔34aが設けられている。この電極板34は、一実施形態では、シリコンから構成されている。

【0027】

電極支持体36は、電極板34を着脱自在に支持するものであり、例えばアルミニウムといった導電性材料から構成され得る。この電極支持体36は、水冷構造を有し得る。電極支持体36の内部には、ガス拡散室36aが設けられている。このガス拡散室36aからは、ガス吐出孔34aに連通する複数のガス通流孔36bが下方に延びている。また、電極支持体36には、ガス拡散室36aに処理ガスを導くガス導入口36cが形成されており、このガス導入口36cには、ガス供給管38が接続されている。

30

【0028】

ガス供給管38には、バルブ群42及び流量制御器群44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は、複数のガスソースを含んでいる。一例では、ガスソース群40は、水素ガス(H₂ガス)のソース、窒素ガス(N₂ガス)のソース、希ガスのソース、及び、炭化水素ガスのソースを含んでいる。希ガスとしては、Heガス、Neガス、Arガス、Krガスといった任意の希ガスを用いることができる。また、炭化水素ガスとしては、CH₄ガスが例示される。

40

【0029】

バルブ群42は複数のバルブを含んでおり、流量制御器群44はマスフローコントローラといった複数の流量制御器を含んでいる。ガスソース群40の複数のガスソースはそれぞれ、バルブ群42の対応のバルブ及び流量制御器群44の対応の流量制御器を介して、ガス供給管38に接続されている。

【0030】

また、プラズマ処理装置10では、処理容器12の内壁に沿ってデポシールド46が着脱自在に設けられている。デポシールド46は、支持部14の外周にも設けられている。デポシールド46は、処理容器12にエッチング副生物(デポ)が付着することを防止するものであり、アルミニウム材にY₂O₃等のセラミックスを被覆することにより構成さ

50

れ得る。

【0031】

処理容器12の底部側、且つ、支持部14と処理容器12の側壁との間には排気プレート48が設けられている。排気プレート48は、例えば、アルミニウム材に Y_2O_3 等のセラミックスを被覆することにより構成され得る。この排気プレート48の下方、且つ、処理容器12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、ターボ分子ポンプなどの真空ポンプを有しており、処理容器12内の空間を所望の真空度まで減圧することができる。また、処理容器12の側壁にはウエハWの搬入出口12gが設けられており、この搬入出口12gはゲートバルブ54により開閉可能となっている。

10

【0032】

また、プラズマ処理装置10は、第1の高周波電源62及び第2の高周波電源64を更に備えている。第1の高周波電源62は、プラズマ生成用の高周波(High Frequency Wave)を発生する電源であり、27~100MHzの周波数の高周波、例えば、60MHzの高周波を発生する。第1の高周波電源62は、整合器66を介して上部電極30に接続されている。整合器66は、第1の高周波電源62の出力インピーダンスと負荷側(上部電極30側)の入力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62は、整合器66を介して下部電極LEに接続されていてもよい。

【0033】

20

第2の高周波電源64は、ウエハWにイオンを引き込むための高周波バイアスを発生する電源であり、400kHz~13.56MHzの範囲内の周波数の高周波バイアス、例えば、13.56MHzの高周波を発生する。第2の高周波電源64は、整合器68を介して下部電極LEに接続されている。整合器68は、第2の高周波電源64の出力インピーダンスと負荷側(下部電極LE側)の入力インピーダンスを整合させるための回路を有している。

【0034】

また、プラズマ処理装置10は、電源70を更に備えている。電源70は、上部電極30に接続されている。電源70は、処理空間S内に存在する正イオンを電極板34に引き込むための電圧を、上部電極30に印加する。一例においては、電源70は、負の直流電圧を発生する直流電源である。別の一例において、電源70は、比較的低周波の交流電圧を発生する交流電源であってもよい。

30

【0035】

また、一実施形態においては、プラズマ処理装置10は、制御部Cntを更に備え得る。この制御部Cntは、プロセッサ、記憶部、入力装置、表示装置等を備えるコンピュータであり、プラズマ処理装置10の各部を制御する。この制御部Cntでは、入力装置を用いて、オペレータがプラズマ処理装置10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、また、表示装置により、プラズマ処理装置10の稼働状況を可視化して表示することができる。さらに、制御部Cntの記憶部には、プラズマ処理装置10で実行される各種処理をプロセッサにより制御するための制御プログラムや、処理条件に応じてプラズマ処理装置10の各部に処理を実行させるためのプログラム、即ち、処理レシピが格納される。一実施形態では、制御部Cntは、方法MT又は後述する別の実施形態の方法用の処理レシピに従い、プラズマ処理装置10の各部を制御する。

40

【0036】

図1に戻り、方法MTについて説明する。以下の説明では、図1に加えて図4~図8を参照する。図4~図8は、図1に示す方法の実行時又は実行後の被処理体の状態を示す断面図である。なお、図4は初回の工程ST1の実行後の被処理体の状態を、図5は初回の工程ST2の実行後の被処理体の状態を、図6は初回以降に行われる工程ST1の実行後の被処理体の状態を、図7は、初回以降に行われる工程ST2の実行後の被処理体の状態を、図8は、方法MTの終了後の被処理体の状態を示している。以下、方法MTがプラズ

50

マ処理装置 10 を用いて実行される例を説明する。

【0037】

上述したように、方法MTでは、まず、ウエハWがプラズマ処理装置10の処理容器内に搬入される。そして、ウエハWは、静電チャックESC上に載置され、当該静電チャックESCによって保持される。

【0038】

方法MTでは、次いで、工程ST1及び工程ST2が交互に繰り返される。工程ST1では、処理容器12内において処理ガスのプラズマが生成される。この処理ガスは、水素ガス及び窒素ガスを含む。一実施形態では、処理ガス中の水素ガスの流量：処理ガス中の窒素ガスの流量で表される流量比は、1：3～9：1の範囲内の流量比に設定される。

10

【0039】

工程ST1では、上記の処理ガスが処理容器12内に供給される。また、排気装置50が作動されて、処理容器12内の圧力が所定の圧力に設定される。また、第1の高周波電源62からの高周波が上部電極30に供給される。なお、一実施形態の工程ST1では、第2の高周波電源64からの高周波バイアスは下部電極LEに供給されない。即ち、工程ST1は、無バイアス状態で行われ得る。

【0040】

この工程ST1では、処理容器12内において生成されたプラズマからの活性種、例えば、水素ラジカル及び窒素ラジカルが、有機膜OFの全領域のうちハードマスクHMから露出されている領域に供給される。そして、供給された活性種が有機膜OF中の炭素と反応して、図4に示すように、変質領域TRが形成される。

20

【0041】

続く工程ST2では、処理容器12内において希ガスのプラズマが生成される。希ガスは、一例ではArガスであるが、任意の希ガスが用いられてもよい。工程ST2では、希ガスが処理容器12内に供給される。また、排気装置50が作動されて、処理容器12内の圧力が所定の圧力に設定される。また、第1の高周波電源62からの高周波が上部電極30に供給される。さらに、第2の高周波電源64からの高周波バイアスが下部電極LEに供給される。一実施形態の工程ST2では、ウエハWの単位面積当りの高周波バイアスのパワーは、 0.028 W/cm^2 以下のパワーに設定される。

【0042】

30

この工程ST2では、処理容器12内において生成された希ガスのプラズマからのイオンが、ウエハWに対して引き込まれる。ウエハWに引き込まれたイオンは、変質領域TRに衝突する。その結果、変質領域TRを構成する物質がウエハWから放出される。これにより、図5に示すように、変質領域TRが除去される。また、変質領域TRから放出された物質、即ち反応生成物は、ハードマスクHMの表面に付着して堆積物DPを形成する。なお、反応生成物は、エッチングによって形成された有機膜OFの側壁面にも付着する。

【0043】

方法MTでは、続く工程STJにおいて、停止条件が満たされるか否かが判定される。停止条件は、工程ST1及び工程ST2を含むシーケンスの繰り返し回数が所定回数に達したときに満たされるものと判定される。工程STJにおいて、停止条件が満たされないと判定されると、工程ST1が再び実行される。

40

【0044】

二回目以降の工程ST1でも、初回の工程ST1と同様に、処理ガスのプラズマが生成される。二回目以降の工程ST1でも、有機膜OFの全領域のうちハードマスクHMから露出されている領域が変質領域TRに変化する。また、二回目以降の工程ST1では、処理容器12内において生成された活性種によって、堆積物DPが部分的に除去される。その結果、図6に示すように、残された堆積物DPによりハードマスクHMの形状が改善される。続く工程ST2においても、初回の工程ST2と同様に、希ガスのプラズマが生成される。その結果、変質領域TRが除去される。また、変質領域TRを構成する反応生成物がハードマスクHMの表面上に堆積して、堆積物DPを形成する。

50

【 0 0 4 5 】

このような工程 S T 1 及び工程 S T 2 を含むシーケンスが繰り返され、工程 S T J において停止条件が満たされると判定されると、方法 M T が終了する。方法 M T が終了すると、図 8 に示すように、ウエハ W は有機膜 O F が下地層 U L が露出するまでエッチングされた状態となる。

【 0 0 4 6 】

かかる方法 M T によれば、上述したようにハードマスク H M の形状が堆積物 D P によって改善しつつ、有機膜 O F をエッチングすることが可能である。また、ハードマスク H M が堆積物 D P によって保護されるので、有機膜 O F のエッチングにおけるハードマスク H M の膜厚減少といった損傷を抑制することができる。

10

【 0 0 4 7 】

一実施形態の工程 S T 1 では、上述したように、下部電極 L E に高周波バイアスが供給されない。この実施形態によれば、工程 S T 1 において有機膜 O F のエッチングを実質的に行うことなく変質領域 T R を形成することができる。

【 0 0 4 8 】

また、一実施形態の工程 S T 1 では、上述したように、処理ガス中の水素ガスの流量：処理ガス中の窒素ガスの流量で表される流量比が、1：3～9：1 の範囲内の流量比に設定され得る。かかる流量比の水素ガス及び窒素ガスが用いられることにより、有機膜 O F のエッチング、及びハードマスク H M 上への反応生成物の供給が効率的に行われる。

【 0 0 4 9 】

また、一実施形態では、上述したように、工程 S T 2 において下部電極 L E に供給される高周波バイアスのウエハ W の単位面積当りのパワーが、 0.028 W/cm^2 以下のパワーに設定され得る。この実施形態によれば、希ガスのプラズマからの活性種によるハードマスク H M のダメージが更に抑制される。

20

【 0 0 5 0 】

以下、別の実施形態に係る有機膜をエッチングする方法について説明する。図 9 は、別の実施形態に係る有機膜をエッチングする方法を示す流れ図である。図 9 に示す方法 M T 2 は、工程 S T 1 及び工程 S T 2 を含むシーケンスに、工程 S T a が更に含まれる点で、方法 M T とは異なっている。工程 S T a では、処理容器 1 2 内において炭化水素ガスのプラズマが生成される。

30

【 0 0 5 1 】

工程 S T a では、炭化水素ガスが処理容器 1 2 内に供給される。炭化水素ガスは、例えば、 CH_4 ガスである。この炭化水素ガスは、希ガスによって希釈されていてもよい。また、工程 S T a では、排気装置 5 0 が作動されて、処理容器 1 2 内の圧力が所定の圧力に設定される。また、第 1 の高周波電源 6 2 からの高周波が上部電極 3 0 に供給される。なお、一実施形態の工程 S T a では、第 2 の高周波電源 6 4 からの高周波バイアスは下部電極 L E に供給されない。即ち、工程 S T a は、無バイアス状態で行われ得る。この工程 S T a によれば、上述した変質領域 T R からの反応生成物に加えて、炭化水素ガスからの炭化水素及び / 又は炭素がウエハ W の表面に堆積して、堆積物 D P を形成する。

【 0 0 5 2 】

ここで、図 1 0 を参照する。図 1 0 は、被処理体の一例を示す断面図である。図 1 0 に示すウエハ W は、図 2 に示したウエハ W と同様に、下地層 U L、有機膜 O F、及びハードマスク H M を有している。また、図 1 0 に示すウエハ W は、密領域 R D 及び粗領域 R C を有しており、これら領域では、ハードマスク H M のパターンの密度が異なっている。具体的には、密領域 R D におけるハードマスク H M のパターンは、粗領域 R C におけるハードマスク H M のパターンよりも密に形成されている。

40

【 0 0 5 3 】

ハードマスク H M 上に堆積する上述の反応生成物の量は、密領域 R D では多くなり、粗領域 R C では少なくなる。一方、炭化水素ガスから生成されハードマスク H M 上に堆積する炭化水素及び / 又は炭素の量は、密領域 R D では少なく、粗領域 R C では多い。したが

50

って、方法MT2では、密領域RDのハードマスクHM上に堆積する反応生成物の量と粗領域RCのハードマスクHM上に堆積する反応生成物の量との差異を、炭化水素ガスから生成される炭化水素及び/又は炭素の量によって低減させることができる。したがって、方法MT2によれば、密領域RD及び粗領域RCを有するウエハWにおける有機膜OFのエッチングの面内均一性を向上させることが可能となる。

【0054】

以下、評価のために行った実験について説明する。

【0055】

実験例1では、プラズマ処理装置10を用い、水素ガスと窒素ガスの流量比を種々に設定して、有機膜をエッチングした。以下に、実験例1における条件を示す。

10

<条件>

- ・処理容器12内の圧力：100mTorr(13.33Pa)
- ・第1の高周波電源62の高周波のパワー：1500W
- ・第2の高周波電源64の高周波バイアスのパワー：1200W

【0056】

そして、実験例1では、設定した各流量比における有機膜のエッチングレートを求めた。その結果を図11に示す。図11において横軸は、水素ガスの流量(sccm)：窒素ガスの流量(sccm)、即ち、流量比を示しており、縦軸は、エッチングレートを示している。図11に示すように、水素ガスの流量：窒素ガスの流量が、225：75～30：270、即ち3：1～9：1の範囲内にあるときに、有機膜のエッチングレートが高くなることが確認された。特に、水素ガスの流量が窒素ガスの流量の50%以下であるときに、有機膜のエッチングレートが高くなることが確認された。この実験結果から、工程ST1における水素ガスの流量：窒素ガスの流量で表される比を、3：1～9：1の範囲内の比に設定することで、効率良く変質領域TRを形成することが可能となり、続く工程ST2において効率良く反応生成物をハードマスクHMに対して供給することが可能になると推定される。

20

【0057】

実験例2では、プラズマ処理装置10を用い、工程ST2における高周波バイアスのパワーを種々に設定して方法MTを実行することにより、図2に示したウエハの有機膜をエッチングした。以下、実験例2における条件を示す。なお、工程ST2の高周波バイアスのパワーが10Wのときには、以下に示す条件の工程ST1及び工程ST2を含むシーケンスを112回実行した。また、工程ST2の高周波バイアスのパワーが20Wのときには、以下に示す条件の工程ST1及び工程ST2を含むシーケンスを74回実行した。また、工程ST2の高周波バイアスのパワーが50Wのときには、以下に示す条件の工程ST1及び工程ST2を含むシーケンスを57回実行した。

30

<条件>

- ・工程ST1の処理容器12内の圧力：50mTorr(6.666Pa)
- ・工程ST1の水素ガスの流量：100sccm
- ・工程ST1の窒素ガスの流量：200sccm
- ・工程ST1における第1の高周波電源62の高周波のパワー：200W
- ・工程ST1における第2の高周波電源64の高周波バイアスのパワー：0W
- ・工程ST1の実行時間：12秒
- ・工程ST2の処理容器12内の圧力：50mTorr(6.666Pa)
- ・工程ST2のArガスの流量：300sccm
- ・工程ST2における第1の高周波電源62の高周波のパワー：100W
- ・工程ST2の実行時間：6秒

40

【0058】

そして、初期状態のウエハのハードマスクHMの膜厚Hi(図2参照)、初期状態のウエハのハードマスクHMの底部の幅CDi(図2参照)、有機膜のエッチング後のハードマスクHMの膜厚Hp(図8参照)、有機膜のエッチング後のハードマスクHMの底部の

50

幅 CD_p (図 8 参照) を求めた。なお、有機膜のエッチング後の幅 CD_p として、図 8 に示すように、ハードマスク HM と堆積物 DP の複合体の幅を、求めた。その結果、工程 ST_2 の高周波バイアスのパワーが $50W$ のときには、膜厚 H_i と膜厚 H_p の差は $11.0nm$ であり、幅 CD_i と幅 CD_p との差は $4.3nm$ であった。したがって、工程 ST_2 の高周波バイアスのパワーが $50W$ のときには、ハードマスク HM のダメージが比較的大きくなることが確認された。一方、工程 ST_2 の高周波バイアスのパワーが $20W$ 及び $10W$ のときには、膜厚 H_i と膜厚 H_p の差は $0.5nm$ 以下であり、幅 CD_i と幅 CD_p との差は $1.3nm$ 以下であった。したがって、工程 ST_2 の高周波バイアスのパワーが $20W$ 以下、即ち、 $0.028W/cm^2$ 以下のパワーであるときに、ハードマスク HM のダメージが大きく抑制されることが確認された。

10

【0059】

以上、種々の実施形態について説明してきたが、上述した実施形態に限定されることなく種々の変形態様を構成可能である。例えば、上述したプラズマ処理装置 10 は容量結合型のプラズマ処理装置であるが、方法 MT 及び方法 MT_2 の実施には、誘導結合型のプラズマ処理装置、又は、マイクロ波といった表面波を利用するプラズマ処理装置のような任意のプラズマ処理装置を利用することができる。

【符号の説明】

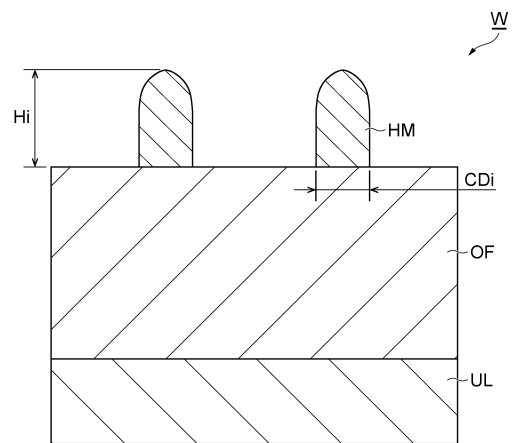
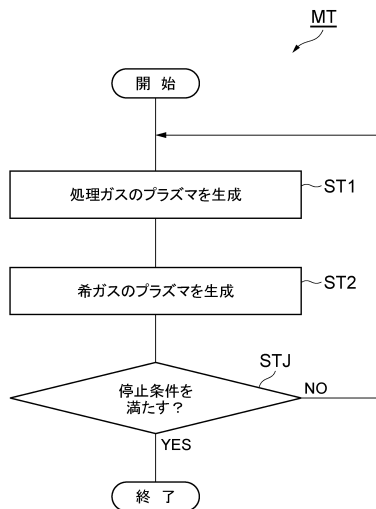
【0060】

10 ... プラズマ処理装置、12 ... 処理容器、PD ... 載置台、ESC ... 静電チャック、LE ... 下部電極、30 ... 上部電極、40 ... ガスソース群、50 ... 排気装置、62 ... 第 1 の高周波電源、64 ... 第 2 の高周波電源、Cnt ... 制御部、W ... ウエハ、OF ... 有機膜、HM ... ハードマスク、TR ... 変質領域、DP ... 堆積物。

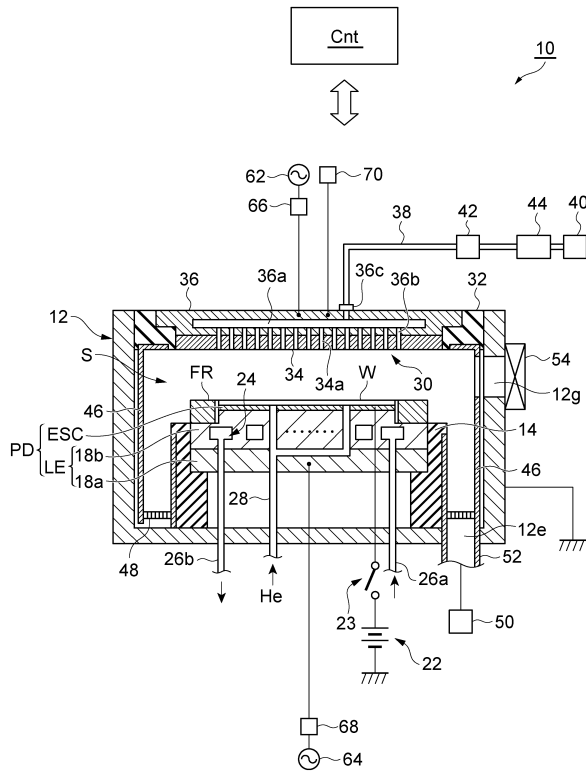
20

【図 1】

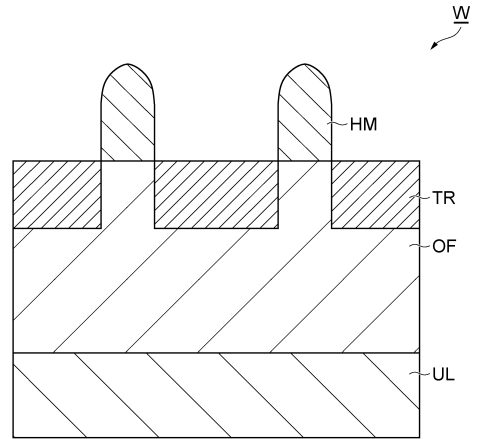
【図 2】



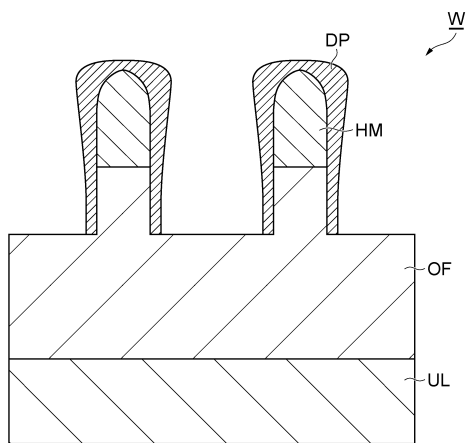
【 図 3 】



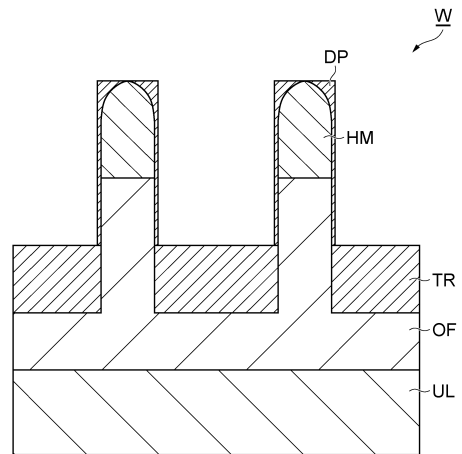
【 図 4 】



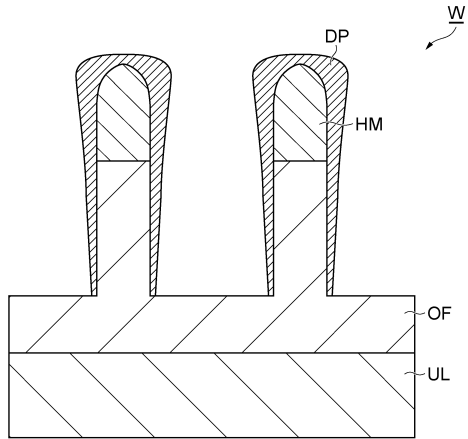
【 図 5 】



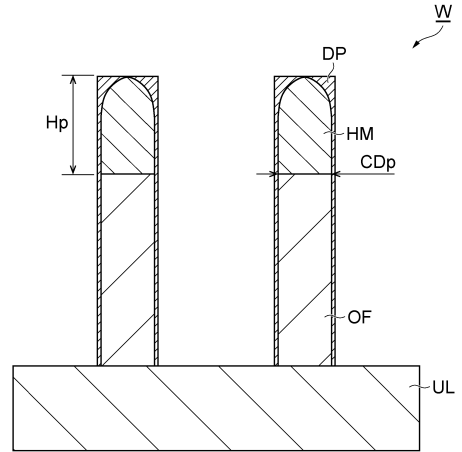
【 図 6 】



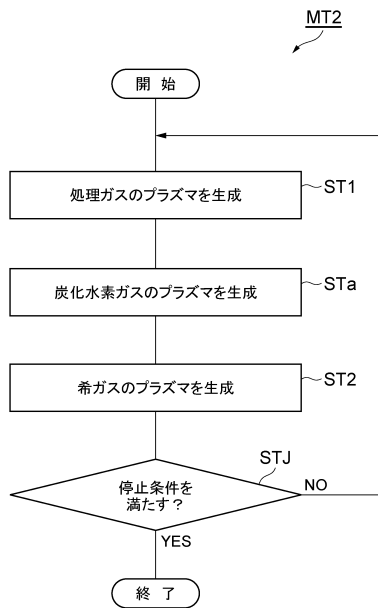
【図7】



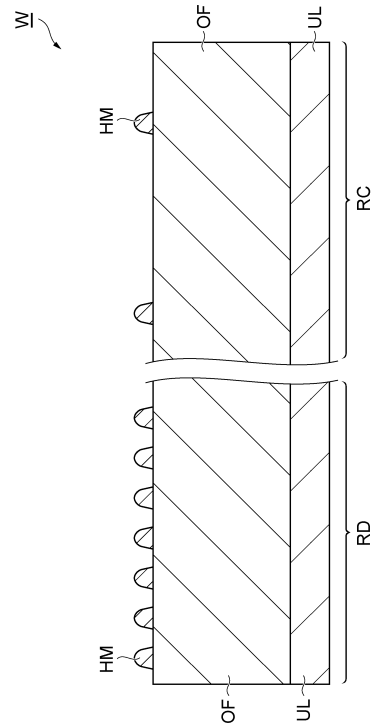
【図8】



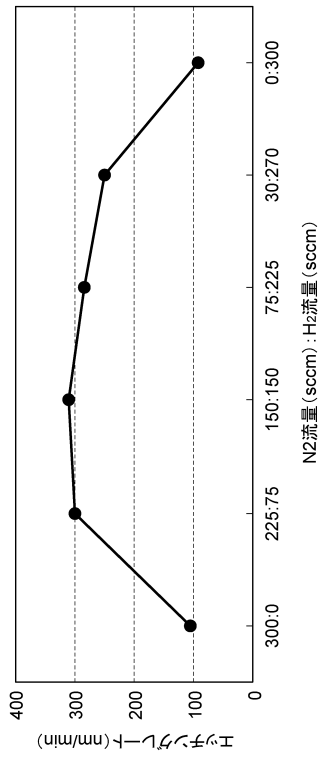
【図9】



【図10】



【 図 1 1 】



フロントページの続き

(72)発明者 本田 昌伸

東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂Bizタワー 東京エレクトロン株式会社内

審査官 宇多川 勉

(56)参考文献 国際公開第2004/003988(WO, A1)

特開2000-216135(JP, A)

特開2006-135210(JP, A)

特開2010-205967(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065