

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6745199号
(P6745199)

(45) 発行日 令和2年8月26日 (2020.8.26)

(24) 登録日 令和2年8月5日 (2020.8.5)

(51) Int.Cl.	F I
HO 1 L 21/3065 (2006.01)	HO 1 L 21/302 I O 4 C
HO 1 L 21/3213 (2006.01)	HO 1 L 21/88 D
HO 1 L 21/768 (2006.01)	

請求項の数 13 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2016-218975 (P2016-218975)	(73) 特許権者	000219967
(22) 出願日	平成28年11月9日 (2016.11.9)		東京エレクトロン株式会社
(65) 公開番号	特開2017-224797 (P2017-224797A)		東京都港区赤坂五丁目3番1号
(43) 公開日	平成29年12月21日 (2017.12.21)	(74) 代理人	100088155
審査請求日	令和1年7月23日 (2019.7.23)		弁理士 長谷川 芳樹
(31) 優先権主張番号	特願2016-116298 (P2016-116298)	(74) 代理人	100113435
(32) 優先日	平成28年6月10日 (2016.6.10)		弁理士 黒木 義樹
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国 (JP)	(74) 代理人	100122507
			弁理士 柏岡 潤二
		(72) 発明者	田原 慈
			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	浦山 大介
			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】 銅層をエッチングする方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被処理体の銅層をエッチングする方法であって、該被処理体は、該銅層と該銅層上に設けられたマスクとを備え、該方法は、

前記被処理体が収容されているプラズマ処理装置の処理容器内に第1のガスのプラズマを生成する第1の工程と、

前記第1の工程の後に、前記処理容器内に第2のガスのプラズマを生成する第2の工程と、

前記第2の工程の後に、前記処理容器内に第3のガスのプラズマを生成する第3の工程と、

を含むシーケンスを繰り返し実行して前記銅層をエッチングし、

前記第1のガスは、ハイドロカーボンガスを含有し、

前記第2のガスは、希ガス、または、希ガスと水素ガスとの混合ガス、の何れかを含有し、

前記第3のガスは、水素ガスを含有し、

前記第2の工程において前記第2のガスのプラズマによってエッチングされる前記銅層の銅の量は、前記第1の工程において前記第1のガスのプラズマによってエッチングされる該銅層の銅の量および前記第3の工程において前記第3のガスのプラズマによってエッチングされる該銅層の銅の量のいずれよりも多い、

方法。

【請求項 2】

被処理体の銅層をエッチングする方法であって、該被処理体は、該銅層と該銅層上に設けられたマスクとを備え、該方法は、

前記被処理体が収容されているプラズマ処理装置の処理容器内に第 1 のガスのプラズマを生成する第 1 の工程と、

前記第 1 の工程の後に、前記処理容器内に第 2 のガスのプラズマを生成する第 2 の工程と、

前記第 2 の工程の後に、前記処理容器内に第 3 のガスのプラズマを生成する第 3 の工程と、

を含むシーケンスを繰り返し実行して前記銅層をエッチングし、

前記第 1 のガスは、ハイドロカーボンガスを含有し、

前記第 2 のガスは、希ガス、または、希ガスと水素ガスとの混合ガス、の何れかを含有し、

前記第 3 のガスは、水素ガスを含有し、

前記第 1 の工程において前記第 1 のガスのプラズマによって前記マスク上および前記銅層上に形成される膜の膜厚は、 0.8 nm 以上 1.2 nm 以下である、

方法。

【請求項 3】

被処理体の銅層をエッチングする方法であって、該被処理体は、該銅層と該銅層上に設けられたマスクとを備え、該方法は、

前記被処理体が収容されているプラズマ処理装置の処理容器内に第 1 のガスのプラズマを生成する第 1 の工程と、

前記第 1 の工程の後に、前記処理容器内に第 2 のガスのプラズマを生成する第 2 の工程と、

前記第 2 の工程の後に、前記処理容器内に第 3 のガスのプラズマを生成する第 3 の工程と、

を含むシーケンスを繰り返し実行して前記銅層をエッチングし、

前記第 1 のガスは、ハイドロカーボンガスを含有し、

前記第 2 のガスは、希ガス、または、希ガスと水素ガスとの混合ガス、の何れかを含有し、

前記第 3 のガスは、水素ガスを含有し、

前記第 2 の工程において前記第 2 のガスのプラズマによってエッチングされる前記銅層の銅の量は、前記第 1 の工程において前記第 1 のガスのプラズマによってエッチングされる該銅層の銅の量および前記第 3 の工程において前記第 3 のガスのプラズマによってエッチングされる該銅層の銅の量のいずれよりも多く、

前記第 1 の工程において前記第 1 のガスのプラズマによって前記マスク上および前記銅層上に形成される膜の膜厚は、 0.8 nm 以上 1.2 nm 以下である、

方法。

【請求項 4】

前記第 2 の工程の実行時間は、該実行時間の条件を除く該第 2 の工程のプロセス条件のもとで前記膜をエッチングし該膜を除去するために必要となる時間の 2.0 倍以上 3.5 倍以下である、

請求項 2 または請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

前記第 1 の工程の実行時間は、前記エッチングの進行に応じて増大する前記マスクによって画定されているパターンの溝のアスペクト比に応じて、前記第 1 の工程において前記銅層上に形成される膜が前記アスペクト比の変化によらずに均一に形成されるように、増減される、

請求項 1 ~ 4 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 6】

10

20

30

40

50

前記第 2 の工程の実行時間は、前記エッチングの進行に応じて増大する前記マスクによって画定されているパターンの溝のアスペクト比に応じて、前記第 2 の工程においてなされるエッチングが、前記アスペクト比の変化によらずに均一に行われるように、増減される、

請求項 1 ～ 5 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 7】

前記第 2 の工程において、前記第 2 のガスのプラズマを生成する場合に前記被処理体に印加するバイアス電圧は、100V 以上且つ 400V 以下の範囲にある、

請求項 1 ～ 6 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 8】

10

前記第 3 の工程において、前記第 3 のガスのプラズマを生成する場合に前記被処理体に印加するバイアス電圧は、100V より大きく且つ 600V より小さい範囲にある、

請求項 1 ～ 7 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 9】

前記第 1 のガスは、 CH_4 ガスを含有する、

請求項 1 ～ 8 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 10】

前記プラズマ処理装置の上部電極の電極板は、炭化シリコンまたは銅を含有し、
前記上部電極は、前記処理容器内において前記被処理体を支持する載置台の上方に設けられる、

20

請求項 1 ～ 9 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 11】

前記プラズマ処理装置の上部電極と下部電極との間において、直流電圧を印加する、または、高周波電圧を印加する第 4 の工程を更に備え、

前記上部電極は、前記処理容器内において前記被処理体を支持する載置台の上方に設けられ、

前記下部電極は、前記載置台に設けられ、

前記第 4 の工程は、前記シーケンスが繰り返し実行されて前記銅層のエッチングが終了し、前記被処理体が搬出された後に実行される、

請求項 1 ～ 10 の何れか一項に記載の方法。

30

【請求項 12】

前記被処理体は、下地層を更に備え、前記銅層は、該下地層上に設けられ、

当該方法は、

前記シーケンスを繰り返し実行して前記銅層を前記下地層に至るまでエッチングした後であって且つ該下地層をエッチングする前において、該下地層上に残留する該銅層の銅を除去する第 5 の工程を更に備える、

請求項 1 ～ 11 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 13】

前記下地層の材料は、Ta、Ta₂N または Ru であり、

前記第 5 の工程では、フッ化水素酸またはクエン酸を用いたウェット洗浄によって前記下地層上に残留する銅を除去する、

40

請求項 12 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、銅層をエッチングする方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスの製造においては、相互接続ラインやコンタクトといった配線を形成するプロセスが行われる。このプロセスとしては、例えば従来からダマシンプロセスと呼ばれ

50

るプロセスが用いられている。ダマシンプロセスでは、エッチングによって層間絶縁膜に溝や穴といった形状を形成し、形成した溝や穴に金属材料を埋め込む処理が行われる。しかしながら、近年の配線の微細化に伴い、ダマシンプロセスでは、微細な穴や溝に対する金属材料の埋込みが困難になってきているといった種々の問題が発生している。このようなダマシンプロセスの問題に対処するため、銅層を成膜した後に当該銅層をエッチングすることによって微細な銅配線を形成するプロセスが提案されている。このようなプロセスについては、非特許文献1に開示されている。非特許文献1に開示されているプロセスでは、水素ガスとアルゴンガスとを含有する処理ガスのプラズマに銅層が曝されることによって、銅層がエッチングされる。

【先行技術文献】

10

【非特許文献】

【0003】

【非特許文献1】Fangyu Wu他、“Low-Temperature Etching of Cu by Hydrogen-Based Plasmas”、ACS APPLIED MATERIALS & INTERFACES, 2010, Vol. 2, No. 8, p. 2175 - 2179

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、水素ガスとアルゴンガスとを含有する処理ガスのプラズマによるエッチングでは銅配線の側面の垂直性を確保することが困難である。そこで、本技術分野において、被処理体の銅層をエッチングすることで形成されるパターン側面の垂直性を向上させることが必要である。

20

【課題を解決するための手段】

【0005】

一態様においては、被処理体の銅層をエッチングする方法が提供される。被処理体は、銅層と銅層上に設けられたマスクとを備える。この方法は、被処理体が収容されているプラズマ処理装置の処理容器内に第1のガスのプラズマを生成する第1の工程と、第1の工程の後に、処理容器内に第2のガスのプラズマを生成する第2の工程と、第2の工程の後に、処理容器内に第3のガスのプラズマを生成する第3の工程と、を含むシーケンスを繰り返し実行して銅層をエッチングし、第1のガスは、ハイドロカーボンガスを含有し、第2のガスは、希ガス、または、希ガスと水素ガスとの混合ガス、の何れかを含有し、第3のガスは、水素ガスを含有する。

30

【0006】

この一態様によれば、シーケンス毎に、第1の工程において、銅層上に炭素を含有する膜が形成され、第1の工程に引き続く第2の工程において、炭素を含有する膜に対しパッタが行われ、当該膜が除去されると共に、当該膜に含まれている炭素が銅層に拡散して銅と炭素との混合層が銅層の表面に形成されつつ混合層が同時に除去され、第2の工程に引き続く第3の工程において、混合層中と、マスクによって画定されるパターンの溝（マスクによって画定される溝であり、エッチング後にはエッチングによって形成される銅層のトレンチを含む）の側面（マスクの側面を含むと共に、エッチング後にはエッチングによって形成される銅層のトレンチの側面を含む）における余剰な炭素が除去されるので、シーケンスが繰り返し行われる場合に余剰炭素によってエッチングが停止することなく、銅層のエッチングが可能となる。また、パターンの溝の側面の余剰炭素が低減されることによって、パターンの溝の側面の垂直性が向上される。

40

【0007】

一実施形態において、第2の工程において第2のガスのプラズマによってエッチングされる銅層の銅の量は、第1の工程において第1のガスのプラズマによってエッチングされる銅層の銅の量および第3の工程において第3のガスのプラズマによってエッチングされる銅層の銅の量のいずれよりも多い。このように銅層の除去を主として第2の工程において

50

実施することは化学アシストによる銅層のエッチングにつながるもので、銅層の除去が主として物理的スパッタリングによってなされて銅層の加工形状がテーパー状になることを抑制することにつながる。

【 0 0 0 8 】

一実施形態において、第 1 の工程において第 1 のガスのプラズマによってマスク上および銅層上に形成される膜の膜厚は、 0.8 [nm] 以上 1.2 [nm] 以下である。この一実施形態によれば、第 1 の工程において第 1 のガスのプラズマによってマスク上および銅層上に形成される膜の膜厚が 0.8 [nm] 以上 1.2 [nm] 以下であるので、第 2 の工程で実施されるスパッタによるエッチングが高選択比で実現され、マスクによって画定されるパターンの溝の側面の垂直性が向上され、よって、銅層の加工の垂直性が向上され得る。

10

【 0 0 0 9 】

一実施形態において、第 1 の工程の実行時間は、第 1 の工程の実行時においてマスクによって画定されているパターンの溝のアスペクト比に応じて増減される。一実施形態によれば、第 1 の工程の実行時間は、エッチングの進行に応じて増大するパターンの溝のアスペクト比に応じて増減され得る。従って、アスペクト比に応じて第 1 の工程の実行時間が増減され得るので、第 1 の工程の実行時にマスクによって画定されているパターンの溝のアスペクト比の変化によらずに、第 1 のガスのプラズマによって均一な膜が銅層およびマスクの表面に形成され得る。なお、パターンの溝のアスペクト比とは、溝の幅と溝の高さとの比である。

20

【 0 0 1 0 】

一実施形態において、第 2 の工程の実行時間は、第 2 の工程の実行時においてマスクによって画定されているパターンの溝のアスペクト比に応じて増減される。この一実施形態によれば、第 2 の工程の実行時間は、エッチングの進行に応じて増大するパターンの溝のアスペクト比に応じて増減される。従って、第 2 の工程の実行時にマスクによって画定されているパターンの溝のアスペクト比のエッチング進行に伴う変化に応じて第 2 の工程の実行時間が増減され得るので、上記の第 2 の工程の実行時間内において更に、第 2 の工程の実行時にマスクによって画定されているパターンの溝のアスペクト比によらずに、第 1 の工程で形成され炭素を含有する膜に対するエッチング、更には、第 2 の工程で形成される銅と炭素とを含有する混合層に対するエッチングが、第 2 のガスのプラズマによって好適に行われ得る。

30

【 0 0 1 1 】

一実施形態において、第 2 の工程において、第 2 のガスのプラズマを生成する場合に被処理体に印加するバイアス電圧は、 100 [V] 以上且つ 400 [V] 以下の範囲にある。この一実施形態によれば、第 2 の工程において、第 2 のガスのプラズマを生成する場合に被処理体に印加するバイアス電圧が 100 [V] 以上且つ 400 [V] 以下の範囲にあるので、第 2 の工程において、第 1 の工程により堆積したハイドロカーボンの膜を貫通するのに十分なイオンエネルギーが得られ、ハイドロカーボン膜と銅層との混合層を形成し、さらに混合層をスパッタリングによって除去することが可能となる。なお、この場合にバイアス電圧によって加速されるイオンのエネルギーは、 200 [eV] 以下の範囲に相当する。更に、銅層に対するエッチングのほうがマスクに対するエッチングよりも速く進行するので第 2 の工程で行われるスパッタが高選択比で実現され、マスクによって画定されるパターンの溝の側面の垂直性が向上される。このように、有機層と銅層の混合の効果によってスパッタされた副生成物の揮発性が増すので、銅層加工において垂直性が向上され得る。

40

【 0 0 1 2 】

一実施形態において、第 2 の工程の実行時間は、実行時間の条件を除く第 2 の工程のプロセス条件のもとで膜をエッチングし膜を除去するために必要となる時間の 2.0 倍以上 3.5 倍以下である。この一実施形態によれば、第 2 の工程の実行時間は、第 1 の工程で堆積させたハイドロカーボンの膜をエッチングしこのハイドロカーボンの膜を除去するため

50

に必要となる時間の2.0倍以上3.5倍以下である。従って、第2の工程中に第1の工程で堆積したハイドロカーボンの膜と銅層とがイオンエネルギーによって混合され、化学アシストによって銅層に対するエッチングが可能になる。更に、ハイドロカーボンの膜が完全に除去されて銅層の銅に対する純粋なスパッタリングに移行する前に第2の工程の後に実行される第3の工程に移行できる。このように、第2の工程において混合層が完全に除去される前に第2の工程が停止することによって、銅層の加工の垂直性が増すと共に、第2の工程の後に実行される第3の工程によって余剰な炭素が除去されエッチング進行に伴う炭素の堆積が抑制されることによって銅層に対するエッチングが確実に実行される。

【0013】

一実施形態において、第3の工程において、第3のガスのプラズマを生成する場合に被処理体に印加するバイアス電圧は、100[V]より大きく且つ600[V]より小さい範囲にある。この一実施形態によれば、第3の工程において、第3のガスのプラズマを生成する場合に被処理体に印加するバイアス電圧が100[V]より大きく且つ600[V]より小さい範囲にあるので、第3の工程における銅層に対するスパッタ能は第2の工程による銅層のスパッタ能に比べて小さい。さらに、この一実施形態によれば、第3の工程において、第3のガスのプラズマを生成する場合に被処理体に印加するバイアス電圧が100[V]より大きく且つ600[V]より小さい範囲にあるので、第3の工程における炭素を含有する層に対するスパッタ能のほうが銅層に対するスパッタ能よりも大きい。従って、第3の工程において、第1の工程で第1のガスのプラズマによって形成され炭素を含有する膜と、第2の工程で第2のガスのプラズマによって形成され炭素と銅とを含有する混合層とから、炭素の除去が選択的に行われ得る。このことは、水素の銅に対するスパッタレートが低いこと、および、炭素はハイドロカーボンガスが形成されることによって効率よく除去されること、等に起因する。なお、この場合にバイアス電圧によって加速されるイオンのエネルギーは、50[eV]より大きく且つ300[eV]より小さい範囲に相当する。

【0014】

一実施形態において、第1のガスは、 CH_4 ガスを含有する。この一実施形態によれば、第1のガスが CH_4 ガスを含有するので、第1の工程において、炭素を含有する膜がマスク上および銅層上に形成され得る。

【0015】

一実施形態において、プラズマ装置の上部電極の電極板は、炭化シリコンまたは銅を含有し、上部電極は、処理容器内において被処理体を支持する載置台の上方に設けられる。この一実施形態によれば、上部電極の電極板が炭化シリコンまたは銅を含有するので、上部電極の電極板に対し、シーケンスで行われるエッチングによって銅が堆積した場合に、電極板に銅原子が拡散することによる電極板の導電性の変化が低減され得る。ひいては、エッチングプロセスの再現性が向上され得る。

【0016】

一実施形態において、プラズマ処理装置の上部電極と下部電極との間において、直流電圧を印加する、または、高周波電圧を印加する第4の工程を更に備え、上部電極は、処理容器内において被処理体を支持する載置台の上方に設けられ、下部電極は、載置台に設けられ、第4の工程は、シーケンスが繰り返し実行されて銅層のエッチングが終了し、被処理体が搬出された後に実行される。一実施形態によれば、プラズマ処理装置のクリーニングをするために第4の工程を更に備える。第4の工程では、プラズマの存在下で上部電極に対して、負の静電圧を印加する、または、高周波電圧を印加する。第4の工程は、第1の工程～第3の工程からなる上記のシーケンスが繰り返し実行されて銅層のエッチングが終了し、被処理体がプラズマ処理装置から搬出された後に実行される。すなわち、プラズマ処理装置の上部電極にプラズマからイオンが引き込まれ、上部電極に付着した銅を含有する堆積物がスパッタされることによって除去され得る。

【0017】

一実施形態において、被処理体は、下地層を更に備え、銅層は、この下地層上に設けられ

10

20

30

40

50

る。一実施形態に係る方法は、シーケンスを繰り返し実行して銅層を下地層に至るまでエッチングした後であって且つこの下地層をエッチングする前において、この下地層上に残留するこの銅層の銅を除去する第5の工程を更に備え得る。この一実施形態によれば、銅層を下地層に至るまでエッチングした後に下地層に銅が残留する場合においても、下地層に対するエッチングの実行前に銅の除去が行われるので、下地層に対するエッチングが当該銅によって阻害されることを防止し得る。

【0018】

一実施形態において、下地層の材料は、Ta、Ta_NまたはRuであり、第5の工程では、フッ化水素酸またはクエン酸を用いたウェット洗浄によって下地層上に残留する銅を除去し得る。この一実施形態によれば、特に下地層がTa、Ta_NまたはRuの場合に、第5の工程において、フッ化水素酸またはクエン酸を用いたウェット洗浄を用いることによって、下地層上に残留する銅の除去が可能となり得る。

10

【発明の効果】

【0019】

以上説明したように、上記の一態様によれば、被処理体の銅層をエッチングすることで形成されるパターン側面の垂直性を向上させることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】図1は、一実施形態の方法を示す流れ図である。

【図2】図2は、(a)部、(b)部、(c)部、および(d)部を含み、図2の(a)部は、図1に示す方法の各工程の実行前の被処理体の主要な構成箇所を例示する断面図であり、図2の(b)部～(d)部は、図1に示す方法の各工程の実行後の被処理体の主要な構成箇所の状態を示す断面図である。

20

【図3】図3は、図1に示す方法に含まれるシーケンスの複数回の実行後における被処理体の主要な箇所の状態を例示する断面図である。

【図4】図4は、図1に示す方法の実行に用いることが可能なプラズマ処理装置の一例を示す図である。

【図5】図5は、図1に示す方法に含まれるシーケンスの実行中において被処理体の表面の炭素の量の変化を模式的に示す図である。

【図6】図6は、図1に示す方法のシーケンスのプロセス条件を決定するために用いられるシミュレーション結果を示す図である。

30

【図7】図7は、図1に示す方法のシーケンスのプロセス条件を決定するために用いられる測定結果を示す図である。

【図8】図8は、(a)部および(b)部を含み、図8の(a)部および図8の(b)部は、図7に示す測定結果を説明するための表を示す図であり、図8の(a)部には、図7の縦軸の値と横軸の値とに対応する条件で被処理体をエッチングした場合に得られたエッチング後の銅層におけるパターンの溝の側面のテーパ角が示されており、図8の(b)部には、図7の縦軸の値と横軸の値との比が示されている。

【図9】図9は、図1に示す方法のシーケンスのプロセス条件を決定するために用いられる他のシミュレーション結果を示す図である。

40

【図10】図10は、図1に示す方法によって銅層が下地層に至るまでエッチングされた被処理体の主要な構成箇所の状態を示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

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、図面において同一または相当の部分に対しては同一の符号を附することとする。図1は、被処理体の銅層をエッチングする一実施形態に係る方法を示す流れ図である。図1に示す方法MTは、被処理体の銅層をエッチングする方法の一実施形態である。図1に示す方法MTは、図1に示す工程ST1、シーケンスSQを含む。また、方法MTは、図1に示す工程ST4を含む場合がある。図2の(a)部は、図1に示す方法MTの適用対象である被処理体(以下、ウエ

50

ハWという)の主要な構成箇所を例示する断面図である。図3は、図1に示す方法MTに含まれるシーケンスSQの複数回の実行後におけるウエハWの主要な箇所の状態を例示する断面図である。

【0022】

まず、図2の(a)部を参照して、方法MTの適用対象であるウエハWの構成について説明する。図2の(a)部には、図1に示す方法MTの各工程の実行前のウエハWの主要な構成箇所を例示する断面図が示されている。図2の(a)部に示すウエハWは、方法MTの実行前において、エッチング等の処理が施されて得られる。より具体的には、例えば、第1の層(図2の(a)部に示す被エッチング層EL)、第2の層、第3の層、第4の層、第5の層がこの順に積層され第5の層上にマスクが設けられたウエハに対して、第2の層~第5の層に対しエッチング等の処理が順次施されることによって、図2の(a)部に示すウエハWが得られる。被エッチング層ELは銅層である。第2の層の材料は、具体的には、例えばTiW等であり、第3の層の材料は例えばSiN等であり、第4の層の材料は例えば有機膜等であり、第5の層の材料は例えばSiON等であり、マスクの材料は例えばフォトリソグ等である。更に、第1の層は、Ta、Ta₂N₅またはRu等の材料を有する第6の層(図10に示す下地層ML)上に積層されている。このように、方法MTは、第1の層~第6の層から成るウエハに対して施される一連の処理工程の一部であり、特に、第1の層である被エッチング層ELをエッチングする工程(銅層をエッチングする工程)に対応している。なお、マスクは、ウエハ上においてパターンを画定しており、当該パターンは、ウエハに対するエッチングによって、被エッチング層ELに転写される。

【0023】

図2の(a)部に示す被エッチング層ELの主面SFには、マスクMKが設けられている。マスクMKは、第2の層等がエッチングされて得られたものとなっている。従って、マスクMKは、第2の層の材料と同じ例えばTiW等を含有する。

【0024】

次に、方法MTの実行に用いることが可能なプラズマ処理装置の構成について説明する。方法MTは、プラズマ処理装置によって実行される。図4は、図1に示す方法MTの実行に用いることが可能なプラズマ処理装置の一例を示す図である。図4には、方法MTの種々の実施形態で利用可能なプラズマ処理装置10の断面構造が概略的に示されている。

【0025】

図4に示すように、プラズマ処理装置10は、平行平板の電極を備えるプラズマエッチング装置であり、処理容器12を備えている。処理容器12は、略円筒形状を有しており、処理空間Spを画定する。処理容器12は、例えば、アルミニウムから構成されており、その内壁面には陽極酸化処理が施されている。処理容器12は保安接地されている。

【0026】

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、例えば、絶縁材料から構成されている。支持部14を構成する絶縁材料は、石英のように酸素を含み得る。支持部14は、処理容器12内において、処理容器12の底部から鉛直方向(処理容器12内において処理容器12の底部の上方)に延在している。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。

【0027】

載置台PDは、載置台PDの上面においてウエハWを保持する。ウエハWの主面FWは、載置台PDの上面に接触するウエハWの裏面の反対側にあり、上部電極30に向いている。載置台PDは、下部電極LEおよび静電チャックESCを有している。下部電極LEは、第1プレート18aおよび第2プレート18bを含んでいる。第1プレート18aおよび第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いる。

【0028】

10

20

30

40

50

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、導電膜である電極を、一对の絶縁層の間または一对の絶縁シートの上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を介して電気的に接続されている。ウエハWは、載置台PDに載置されている場合に、静電チャックESCに接する。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る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。

【0029】

第2プレート18bの周縁部上には、ウエハWのエッジおよび静電チャック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。なお、フォーカスリングFRの材料は、上部電極30の電極板34と同様に、炭化シリコン、銅を含有し得る。

10

【0030】

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(図示略)から配管26aを介して冷媒が供給される。冷媒流路24に供給される冷媒は、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には、冷媒が循環するように供給される。この冷媒の温度を制御することによって、静電チャックESCによって支持されたウエハWの温度が制御され得る。

20

【0031】

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。

【0032】

プラズマ処理装置10には、ウエハWの温度を調節するヒータHTが設けられている。ヒータHTは、静電チャックESCに内蔵されている、または、第2プレート18b内に埋め込まれている。ヒータHTには、ヒータ電源HPが接続されている。ヒータ電源HPからヒータHTに電力が供給されることにより、静電チャックESCの温度が調整され、静電チャックESC上に載置されるウエハWの温度が調整されるようになっている。

30

【0033】

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、処理容器12内において載置台PDの上方に載置台PDと対向するように設けられている。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おり、平行平板電極を構成する。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Spが提供されている。

【0034】

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。絶縁性遮蔽部材32は、絶縁材料から構成されている。上部電極30は、電極板34および電極支持体36を含み得る。電極板34は、処理空間Spに面しており、電極板34には複数のガス吐出孔34aが設けられている。電極板34は、一実施形態では、炭化シリコンまたは銅を含有し得る。

40

【0035】

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。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。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(処理容器12内において載置台PDに向かう方向)に延びている。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、ガス導入口36cには、ガス供給管38が接続

50

されている。

【 0 0 3 6 】

ガス供給管 3 8 には、バルブ群 4 2 および流量制御器群 4 4 を介して、ガスソース群 4 0 が接続されている。ガスソース群 4 0 は、複数のガスソースを有している。複数のガスソースは、ハイドロカーボン系ガス (C_xH_y ガス (x, y は 1 ~ 10 の整数)) のソース、水素ガスのソース、ハロゲン含有ガスのソース、および、希ガスのソース、等を含み得る。

【 0 0 3 7 】

バルブ群 4 2 は、複数のバルブを含んでおり、流量制御器群 4 4 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 4 0 の複数のガスソースのそれぞれは、バルブ群 4 2 の対応のバルブ、および、流量制御器群 4 4 の対応の流量制御器を介して、ガス供給管 3 8 に接続されている。したがって、プラズマ処理装置 1 0 は、ガスソース群 4 0 の複数のガスソースのうち選択された一以上のガスソースからのガスを、個別に調整された流量で、処理容器 1 2 内に供給することが可能である。

【 0 0 3 8 】

プラズマ処理装置 1 0 では、処理容器 1 2 の内壁に沿ってデポシールド 4 6 が着脱自在に設けられている。デポシールド 4 6 は、支持部 1 4 の外周にも設けられている。デポシールド 4 6 は、処理容器 1 2 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る。

【 0 0 3 9 】

処理容器 1 2 の底部側、且つ、支持部 1 4 と処理容器 1 2 の側壁との間には排気プレート 4 8 が設けられている。排気プレート 4 8 の下方、且つ、処理容器 1 2 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、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 1 2 内の空間を所望の真空度まで減圧することができる。処理容器 1 2 の側壁にはウエハ W の搬入出口 1 2 g が設けられており、搬入出口 1 2 g はゲートバルブ 5 4 により開閉可能となっている。なお、処理容器 1 2 内の圧力制御には、圧力計および APC (圧力計からの信号に応じて弁の開閉度を制御するバルブ) が更に用いられ得る。

【 0 0 4 0 】

プラズマ処理装置 1 0 は、第 1 の高周波電源 6 2 および第 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、プラズマ生成用の第 1 の高周波電力を発生する電源であり、27 ~ 100 [MHz] の周波数、一例においては 60 [MHz] の高周波電力を発生する。また、第 1 の高周波電源 6 2 は、パルス仕様を備えており、周波数 5 ~ 10 [kHz]、Duty 50 ~ 100 % で制御可能である。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 (下部電極 LE 側) の入力インピーダンスとを整合させるための回路である。なお、第 1 の高周波電源 6 2 は、整合器 6 6 を介して下部電極 LE に接続されていてもよい。

【 0 0 4 1 】

第 2 の高周波電源 6 4 は、ウエハ W にイオンを引き込むための第 2 の高周波電力、すなわち高周波バイアス電力を発生する電源であり、400 [kHz] ~ 40.68 [MHz] の範囲内の周波数、一例においては 13.56 [MHz] の周波数の高周波バイアス電力を発生する。また、第 2 の高周波電源 6 4 は、パルス仕様を備えており、周波数 5 ~ 40 [kHz]、Duty 20 ~ 100 % で制御可能である。第 2 の高周波電源 6 4 は、整合器 6 8 を介して下部電極 LE 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 LE 側) の入力インピーダンスとを整合させるための回路である。

【 0 0 4 2 】

プラズマ処理装置 1 0 は、電源 7 0 を更に備えている。電源 7 0 は、上部電極 3 0 に接続されている。電源 7 0 は、処理空間 Sp 内に存在する正イオンを電極板 3 4 に引き込むた

10

20

30

40

50

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。このような電圧が電源 70 から上部電極 30 に印加されると、処理空間 Sp に存在する正イオンが、電極板 34 に衝突する。これにより、電極板 34 から二次電子および/または電極材料が放出され得る。また同様に、電極板 34 に付着した銅を含有する堆積物も放出され得る。

【0043】

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。具体的に、制御部 Cnt は、パルプ群 42、流量制御器群 44、排気装置 50、第 1 の高周波電源 62、整合器 66、第 2 の高周波電源 64、整合器 68、電源 70、ヒータ電源 HP、およびチラーユニットに接続されている。

10

【0044】

制御部 Cnt は、入力されたレシピに基づくプログラムに従って動作し、制御信号を送出する。制御部 Cnt からの制御信号によって、静電チャック ESC に接続された直流電源 22 およびスイッチ 23 と、ガスソース群 40 から供給されるガスの選択および流量と、排気装置 50 の排気と、第 1 の高周波電源 62 および第 2 の高周波電源 64 からの電力供給と、電源 70 からの電圧印加と、ヒータ電源 HP の電力供給と、チラーユニットからの冷媒流量および冷媒温度と、を制御することが可能である。なお、本明細書において開示される方法 MT (銅層をエッチングする方法) の各工程は、制御部 Cnt による制御によってプラズマ処理装置 10 の各部を動作させることによって、実行され得る。

20

【0045】

再び図 1 を参照し、方法 MT について詳細に説明する。以下では、方法 MT の実行にプラズマ処理装置 10 が用いられる例について説明を行う。また、以下の説明において、図 2 の (a) 部と共に、図 2 の (b) ~ (d) 部を参照する。図 2 の (b) 部 ~ (d) 部は、図 1 に示す方法 MT の各工程の実行後のウエハ W の主要な構成箇所の状態を示す断面図である。

【0046】

工程 ST1 においては、図 2 の (a) 部に示すウエハ W が、処理容器 12 の載置台 PD 上に用意される。工程 ST1 に引き続くシーケンス SQ は、工程 ST21 (第 1 の工程)、ST22 (第 2 の工程)、ST23 (第 3 の工程) を備える。工程 ST21 は、工程 ST1 に引き続き実行され、工程 ST22 は、工程 ST21 に引き続き実行され、工程 ST23 は、工程 ST22 に引き続き実行される。シーケンス SQ を繰り返し実行することによって、銅を含有する被エッチング層 EL のエッチングを高選択比で進めることができる。

30

【0047】

工程 ST21 は、ウエハ W が収容されているプラズマ処理装置 10 の処理容器 12 内に第 1 のガスのプラズマを生成する工程である。工程 ST21 では、第 1 のガスのプラズマによって、図 2 の (b) 部に示すように、マスク MK によって画定されているパターンの溝 (マスク MK によって画定される溝であり、エッチング後にはエッチングによって形成される被エッチング層 EL のトレンチを含む。以下同様。) の側面 FC (マスク MK の側面を含むと共に、エッチング後にはエッチングによって形成される被エッチング層のトレンチの側面を含む。以下同様。)、および、被エッチング層 EL の主面 SF に対して、ハイドロカーボン膜 (以下、HC 膜 81 という) が形成される。具体的には、ガスソース群 40 の複数のガスソースのうち選択したガスソースから、第 1 のガスを処理容器 12 内に供給する。第 1 のガスは、ハイドロカーボンガスであり得る。第 1 のガスは、具体的には、例えば CH₄ ガスであり得る。排気装置 50 を動作させることによって、処理容器 12 内の圧力を所定の圧力に設定する。第 1 の高周波電源 62 から高周波電力を供給する。第 2 の高周波電源 64 から高周波バイアス電力を供給する。これによって、プラズマが生成される。生成されたプラズマによって、図 2 の (b) 部に示すように、側面 FC、および、被エッチング層 EL の主面 SF に対して、HC 膜 81 が形成される。なお、工程 ST21 の実行時間は、工程 ST21 の実行時においてマスク MK によって画定されているパター

40

50

ンの溝のアスペクト比に応じて増減され得る。なお、パターンの溝のアスペクト比とは、溝の幅と溝の高さとの比である。

【 0 0 4 8 】

工程 S T 2 2 は、ウエハ W が收容されているプラズマ処理装置 1 0 の処理容器 1 2 内に第 2 のガスのプラズマを生成する工程である。工程 S T 2 2 では、図 2 の (c) 部に示すように、第 2 のガスのプラズマによって、主面 S F に形成された H C 膜 8 1 がスパッタされて除去されると共に、H C 膜 8 1 に含まれている炭素が主面 S F から被エッチング層 E L の内側に拡散して銅と炭素とを含有する混合層 8 2 が被エッチング層 E L の主面 S F に形成される。工程 S T 2 2 のスパッタの時間は、主面 S F 上において H C 膜 8 1 が完全に除去され、さらに混合層 8 2 の一部も更に除去されるが、混合層 8 2 が完全に除去されないように設定される。具体的には、ガスソース群 4 0 の複数のガスソースのうち選択したガスソースから、第 2 のガスを処理容器 1 2 内に供給する。第 2 のガスは、希ガス、または、希ガスと水素ガスとの混合ガス、の何れかを含有し得る。排気装置 5 0 を動作させることによって、処理容器 1 2 内の圧力を所定の圧力に設定する。第 1 の高周波電源 6 2 から高周波電力を供給する。第 2 の高周波電源 6 4 から高周波バイアス電力を供給する。これによって、プラズマが生成される。生成されたプラズマによって、図 2 の (c) 部に示すように、主面 S F に形成された H C 膜 8 1 がスパッタされて除去されると共に、H C 膜 8 1 に含まれている炭素が主面 S F から被エッチング層 E L の内側に拡散して銅と炭素とを含有する混合層 8 2 が被エッチング層 E L の主面 S F に形成され、さらに、混合層 8 2 がスパッタリングによって活性化し有機銅化合物を形成してスパッタされた副生成物の揮発性が増すので、混合層 8 2 が存在している間は垂直性の高いエッチングが可能となる。工程 S T 2 2 の実行時間を更に延長していった場合に、工程 S T 2 2 の実行中に混合層 8 2 が完全に除去される場合があり、H C 膜 8 1 が完全に除去された後には、被エッチング層 E L の銅は物理的スパッタリングのみによって除去され、被エッチング層 E L の加工形状はテーパ状となり、側面 F C にはスパッタリングされた銅が付着し得る。

【 0 0 4 9 】

第 2 のガスに含まれる希ガスは、具体的には、例えばアルゴンガス (A r ガス) であり得る。第 2 のガスに含まれ得る希ガスは、アルゴンガスの他に、ヘリウムガス、ネオンガス、クリプトンガス、キセノンガス等であり得る。これらの希ガスが用いられる場合、被エッチング層 E L に含有される銅に対するスパッタ能は、H C 膜 8 1 や混合層 8 2 に含有される炭素に対するスパッタ能、および、マスク M K に含有されるタングステン (W) 等の重元素に対するスパッタ能に比較して十分に多い。従って、希ガスをを用いたスパッタは、ウエハ W に対して高選択比のスパッタとなり得る。なお、本実施形態では、以下の説明において、第 2 のガスの希ガスとしてアルゴンガスのみが例示的に示されるが、本実施形態における以下の記載では、第 2 のガスがアルゴンガスの場合に奏される全ての作用・効果は、他の希ガスにおいても同様に奏される。

【 0 0 5 0 】

工程 S T 2 3 は、ウエハ W が收容されているプラズマ処理装置 1 0 の処理容器 1 2 内に第 3 のガスのプラズマを生成する工程である。工程 S T 2 3 では、図 2 の (d) 部に示すように、第 3 のガスのプラズマによって、被エッチング層 E L の主面 S F に形成され工程 S T 2 2 によって露出された混合層 8 2 から炭素が除去される。更に、側面 F C に形成された H C 膜 8 1 も除去される。具体的には、ガスソース群 4 0 の複数のガスソースのうち選択したガスソースから、第 3 のガスを処理容器 1 2 内に供給する。第 3 のガスは、水素ガスを含有し得る。排気装置 5 0 を動作させることによって、処理容器 1 2 内の圧力を所定の圧力に設定する。第 1 の高周波電源 6 2 から高周波電力を供給する。第 2 の高周波電源 6 4 から高周波バイアス電力を供給する。これによって、プラズマが生成される。生成されたプラズマによって、図 2 の (d) 部に示すように、被エッチング層 E L の主面 S F に形成され工程 S T 2 2 によって露出された混合層 8 2 から炭素が除去されることによって混合層 8 2 が除去され、更に、側面 F C に形成された H C 膜 8 1 も除去される。なお、シーケンス S Q が工程 S T 2 3 を含まない場合には、工程 S T 2 2 の実行後に残る混合層 8

2 中の炭素濃度は、シーケンス S Q が繰り返し行われるごとに増加していき、余剰な炭素が累積し、その結果、エッチングが遂には停止する。また、側面 F C に堆積したハイドロカーボン膜が厚くなることによって、パターンの溝の形状もテーパ状となり得る。

【 0 0 5 1 】

以上のように、1 回のシーケンス S Q の実行によって、銅を含有する被エッチング層 E L においてマスク M K に覆われていない部分が高選択比でエッチングされ得る。

【 0 0 5 2 】

シーケンス S Q に引き続く工程 S T 3 では、シーケンス S Q の繰り返し回数が、予め設定された回数に達したか否かを判定し、当該回数に達していないと判定した場合（工程 S T 3 ; N o ）, シーケンス S Q を再び実行し、当該回数に達したと判定した場合（工程 S T 3 ; Y e s ）, 方法 M T に係る処理が終了され、引き続き所定の処理が実行される。すなわち、工程 S T 3 では、シーケンス S Q の繰り返し回数が予め設定された回数に達するまで、シーケンス S Q の実行が繰り返し行われることによって、銅を含有する被エッチング層 E L に対し所望の深さに至るまで高選択比のエッチングが可能となる。シーケンス S Q の繰り返し回数は、被エッチング層 E L に対するエッチングの深さに応じて決定され得る。

【 0 0 5 3 】

シーケンス S Q の実行時における被エッチング層 E L の主面 S F 上に形成された H C 膜 8 1 および混合層 8 2 に含まれる炭素の量の変化が、図 5 に示されている。図 5 の横軸は、時間を表し、図 5 の縦軸は、被エッチング層 E L の主面 S F に付着している炭素の量を表している。図 5 に示す T s q は、シーケンス S Q の実行時間を表しており、図 5 に示す T s t 2 1 は、工程 S T 2 1 の実行時間を表しており、図 5 に示す T s t 2 2 は、工程 S T 2 2 の実行時間を表しており、図 5 に示す T s t 2 3 は、工程 S T 2 3 の実行時間を表している。工程 S T 2 1 において、第 1 のガスのプラズマによって H C 膜 8 1 が被エッチング層 E L の主面 S F に形成されることによって、被エッチング層 E L の主面 S F に付着する炭素の量が増加する。工程 S T 2 2 では、第 2 のガスのプラズマによって H C 膜 8 1 がスパッタされるので、H C 膜 8 1 に対するスパッタが時間と共に進むにつれて、被エッチング層 E L の主面 S F に付着している炭素の量も減少するが、工程 S T 2 2 の終了時点においても、炭素は被エッチング層 E L の主面 S F において残留する。工程 S T 2 2 の終了時点で被エッチング層 E L の主面 S F に残留する炭素は、混合層 8 2 に含まれる炭素であり、工程 S T 2 2 の終了時点で H C 膜 8 1 は全て除去される。工程 S T 2 2 の終了時点で被エッチング層 E L の主面 S F に残留する炭素は、工程 S T 2 3 において全て除去される。すなわち、工程 S T 2 3 では、第 3 のガスのプラズマによって、工程 S T 2 2 の終了時点で被エッチング層 E L の主面 S F に残留する炭素が混合層 8 2 から除去される。

【 0 0 5 4 】

また、工程 S T 2 2 において第 2 のガスのプラズマによってエッチングされる被エッチング層 E L の銅の量は、工程 S T 2 1 において第 1 のガスのプラズマによってエッチングされる被エッチング層 E L の銅の量および工程 S T 2 3 において第 3 のガスのプラズマによってエッチングされる被エッチング層 E L の銅の量のいずれよりも多い。

【 0 0 5 5 】

次に、図 6 ~ 図 9 を参照して、シーケンス S Q で用いられるプロセス条件について、さらに具体的に説明する。図 6 は、図 1 に示す方法 M T のシーケンスのプロセス条件を決定するために用いられるシミュレーション結果を示す図である。図 9 は、図 1 に示す方法 M T のシーケンスのプロセス条件を決定するために用いられる他のシミュレーション結果を示す図である。図 7 は、図 1 に示す方法 M T のシーケンスのプロセス条件を決定するために用いられる測定結果を示す図である。図 8 の (a) 部および図 8 の (b) 部は、図 7 に示す測定結果を説明するための表を示す図である。図 8 の (a) 部には、図 7 の縦軸の値と横軸の値とに対応する条件でウエハ W をエッチングした場合に得られたエッチング後の被エッチング層 E L における側面 F C のテーパ角 [°] が示されている。図 8 の (b) 部には、図 7 の縦軸の値と横軸の値との比が示されている。図 8 の (a) 部のテーパ角 [

°] は、図 3 に示す角度 θ [°] を示している。図 3 に示す角度 θ [°] は、側面 F C と被エッチング層 E L の主面 S F との成す角度（鋭角）であり（あるいは、当該角度 θ は、側面 F C と、板状のウエハ W の表面（ウエハ W の主面 F W およびウエハ W の裏面）に沿って延びる面との成す角度（鋭角）であるということもできる）、側面 F C の傾斜を表している。図 3 に示す基準線 L N 1 は、側面 F C に平行であり、図 3 に示す基準線 L N 2 は、被エッチング層 E L の主面 S F に平行である（あるいは、基準線 L N 2 は、板状のウエハ W の表面（ウエハ W の主面 F W およびウエハ W の裏面）に沿って延びる面に平行である）。

【 0 0 5 6 】

まず、図 6 を参照して、工程 S T 2 2 のプロセス条件について説明する。図 6 の横軸は、アルゴンイオンのエネルギー（Ion energy）[e V] を表しており、図 6 の縦軸は、銅層（C u）に対するスパッタ能を、マスク M K に用いられ得る各種材料（T i , T a , W , S i）に対するスパッタ能で割って得られる商の値（Sputter yield ratio to Cu）を表している。図 6 に示すように、アルゴンイオンのエネルギーが 2 0 0 [e V] 以下の場合に、各種材料層よりも銅層に対するスパッタ能が顕著に多くなることがわかる。すなわち、工程 S T 2 2 において、アルゴンイオンのエネルギーが 2 0 0 [e V] 以下の場合に、銅を含有する被エッチング層 E L に対するエッチングのほうが、マスク M K に対するエッチングよりも速く進行することがわかる。よって、アルゴンイオンのエネルギーが 2 0 0 [e V] 以下の場合に、工程 S T 2 2 で実行される銅スパッタは、高選択比で実現され得る。

【 0 0 5 7 】

工程 S T 2 2 において、アルゴンイオンのエネルギーの値 [e V] は、第 2 の高周波電源 6 4 によってウエハ W に印加するバイアス電圧の値 [V] の 1 / 2 程度であり、マスク M K に対する高選択比を実現するのに望ましい 2 0 0 [e V] 程度のイオンエネルギーを実現するために実際にウエハ W に印加するバイアス電圧は 4 0 0 [V] 以下が望ましいことがわかる。また、工程 S T 2 2 において、銅層に対するスパッタの効果を得るために必要なアルゴンイオンのエネルギーを得るために必要なエネルギーは典型的には 5 0 [e V] 程度であり、したがって第 2 の高周波電源 6 4 によってウエハ W に印加するバイアス電圧の値 [V] は 1 0 0 [V] 程度であるので、工程 S T 2 2 において、第 2 のガスのプラズマを生成する場合にウエハ W に印加するバイアス電圧は、1 0 0 [V] 以上且つ 4 0 0 [V] 以下の範囲にあり得る。なお、図 6 に示すアルゴンイオンのエネルギーは、ウエハ W に入射する時のアルゴンイオンのエネルギーを表している。

【 0 0 5 8 】

図 7、図 8 の（ a ）部を参照して、工程 S T 2 2 のプロセス条件について更に説明する。図 7 の横軸は、ハイドロカーボン膜に対するスパッタ量 [n m] を表しており、図 7 の縦軸は、ハイドロカーボン膜の膜厚 [n m] を表している。図 7 の横軸に示すハイドロカーボン膜に対するスパッタ量 [n m] は、工程 S T 2 2 における H C 膜 8 1 に対するスパッタの速さが一定であるとして、工程 S T 2 2 の実行時間に対応している。図 7 の縦軸に示す膜厚のハイドロカーボン膜は、測定用に用いられた銅層の表面（被エッチング層 E L の主面 S F に対応している測定用のウエハ上に形成された銅の平面）に形成された膜であり、図 7 の縦軸に示す膜厚のハイドロカーボン膜の膜厚は、マスク M K が設けられた被エッチング層 E L の主面 S F に形成される H C 膜 8 1 の膜厚よりも概ね 0 . 3 [n m] 程度大きい値である。すなわち、図 7 の縦軸に示す膜厚の値 [n m] から 0 . 3 を差し引いた値は、工程 S T 2 1 で形成される H C 膜 8 1 の膜厚に対応している。図 8 の（ a ）部および図 8 の（ b ）部に示す表の列方向（ハイドロカーボン膜のスパッタ量）は、図 7 の横軸に対応しており、図 8 の（ a ）部および図 8 の（ b ）部に示す表の行方向（ハイドロカーボン膜の膜厚）は、図 7 の縦軸に対応している。

【 0 0 5 9 】

図 7 および図 8 の（ a ）部からわかるように、工程 S T 2 1 において第 1 のガスのプラズマによって被エッチング層 E L 上（主面 S F）に形成される H C 膜 8 1 の膜厚は、1 . 0

[nm] (図7の縦軸の値では1.3[nm])を含む0.8[nm]以上1.2[nm]以下の範囲(図7の縦軸の値では1.1[nm]以上1.5[nm]以下の範囲)にある場合に、シーケンスS Q後における側面F Cのテーパ角が比較的大きく、90[°]に近い。更に、図7の横軸(ハイドロカーボン膜に対するスパッタ量)の値が、図7の縦軸の1.1[nm]以上1.5[nm]以下の2.0倍以上3.5倍以下の範囲(図7の横軸の値では2.2[nm]以上5.3[nm]以下の範囲)にある場合に、シーケンスS Q後における側面F Cのテーパ角が比較的大きく、90[°]に近い。すなわち、工程S T 2 2の実行時間(スパッタ時間)は、この実行時間の条件を除く工程S T 2 2のプロセス条件のもとで、0.8[nm]以上1.2[nm]以下の範囲(図7の縦軸の値では1.1[nm]以上1.5[nm]以下の範囲)にある膜厚のH C膜8 1をエッチングし除去するために必要となる時間の2.0倍以上3.5倍以下の範囲(図7では図7の曲線C 1と曲線C 2とによって挟まれた領域であり、より具体的には、例えばエリアA Lを含む領域である)にある場合に、シーケンスS Q後における側面F Cのテーパ角が比較的大きく、90[°]に近い。なお、このような範囲内にある工程S T 2 2の実行時間(スパッタ時間)は、エッチングの進行に伴うエッチング対象となっているパターンの溝のアスペクト比の変化に応じて、更に増減され得る。

【0060】

なお、図8の(a)部のテーパ角の分布と、図8の(b)部の比((ハイドロカーボン膜のスパッタ量)/(ハイドロカーボン膜の膜厚))の分布とには、逆の相関があることがわかる。すなわち、(ハイドロカーボン膜のスパッタ量)/(ハイドロカーボン膜の膜厚)の値が小さいほど、すなわち、ハイドロカーボン膜のスパッタ量が相対的に少ないほど、エッチング後における側面F Cのテーパ角は大きく、90[°]に近くなり、よって、高選択比が実現され得る。

【0061】

図9を参照して、工程S T 2 3のプロセス条件について説明する。図9の横軸は、水素イオンのエネルギー(Ion energy)[eV]を表しており、図9の縦軸は、スパッタ能(Sputter yield)[a.u.] (任意単位)を表している。図9に示すシミュレーション結果G R 1は、炭素層に対するスパッタ能を表しており、図9に示すシミュレーション結果G R 2は、銅層に対するスパッタ能を表している。図9に示すように、水素イオンのエネルギーが50[eV]より大きく且つ300[eV]より小さい場合に、炭素層に対するスパッタ能のほうが、銅層に対するスパッタ能よりも多いことがわかる。すなわち、工程S T 2 3において、水素イオンのエネルギーが50[eV]より大きく且つ300[eV]より小さい場合に、炭素を含有する混合層8 2に対するスパッタが十分に行われ、混合層8 2が十分に除去された後でも、銅を含有する被エッチング層E Lに対するエッチングは抑制され得る。よって、水素イオンのエネルギーが50[eV]より大きく且つ300[eV]より小さい範囲にある場合に、工程S T 2 3では、炭素を含有するH C膜8 1および混合層8 2中から炭素の除去が銅に比べて選択的に行われ得る。工程S T 2 3において、水素イオンのエネルギーの値[eV]は、第2の高周波電源6 4によってウエハWに印加するバイアス電圧の値[V]の1/2程度であるので、工程S T 2 3において、第3のガスのプラズマを生成する場合にウエハWに印加するバイアス電圧は、100[V]より大きく且つ600[V]より小さい範囲にあり得る。なお、図9に示す水素イオンのエネルギーは、ウエハWに入射する時の水素イオンのエネルギーを表している。

【0062】

なお、方法M Tにおいては、シーケンスS Q(特に工程S T 2 2)で行われるエッチングによって生じる(飛散する)銅および有機物等が処理容器1 2の内側に付着し堆積する場合がある。銅および有機物等が上部電極3 0に堆積すると、上部電極3 0の電極板3 4の表面の導電性が変化し、プロセスの再現性も低下する。有機物は酸素や水素等のプラズマにより容易に除去できるが、銅については除去が困難であり、例えばS i製の電極板3 4を使用すると銅がS i中に拡散してしまい除去がさらに困難となる。この状況に対し、上部電極3 0の電極板3 4が炭化シリコンまたは銅を含有する場合には、電極板3 4へ銅が

堆積した場合に電極板 3 4 中に銅原子が拡散することによる導電性の変化が少ない。更に、方法 M T は、図 1 に示すように、炭化シリコンまたは銅を含有する電極板 3 4 を用いて、上部電極 3 0 と下部電極 L E との間において、直流電圧を印加する、または、6 0 [M H z] 程度の高周波電圧を印加する工程 S T 4 (第 4 の工程) を更に備え得る。工程 S T 4 は、上記のように電極 (特に上部電極 3 0) に対する処置を行う工程であり、図 1 に示すように、前記シーケンスが繰り返し実行されて前記銅層のエッチングが終了し、ウエハ W が搬出された後に実行される。

【 0 0 6 3 】

以下、工程 S T 2 1、工程 S T 2 2、および工程 S T 2 3 のそれぞれのプロセス条件の実施例を示す。

< 工程 S T 2 1 >

- ・ 処理容器 1 2 内の圧力の値 [m T o r r] : 1 0 [m T o r r]
- ・ 第 1 の高周波電源 6 2 の高周波電力の値 [W] : 3 0 0 [W]
- ・ 第 2 の高周波電源 6 4 の高周波電力の値 [W] : 0 [W] (高周波電圧 0 [V])
- ・ 処理ガス : C H ₄ ガス
- ・ 処理ガスの流量 [s c c m] : 1 0 0 [s c c m]
- ・ 処理時間 [s] : 3 [s]

< 工程 S T 2 2 >

- ・ 処理容器 1 2 内の圧力の値 [m T o r r] : 5 [m T o r r]
- ・ 第 1 の高周波電源 6 2 の高周波電力の値 [W] : 3 0 0 [W]
- ・ 第 2 の高周波電源 6 4 の高周波電力の値 [W] : 5 0 [W] (高周波電圧 2 0 0 [V])
- ・ 処理ガス : A r ガス
- ・ 処理ガスの流量 [s c c m] : 1 0 0 [s c c m]
- ・ 処理時間 [s] : 1 0 [s]

< 工程 S T 2 3 >

- ・ 処理容器 1 2 内の圧力の値 [m T o r r] : 1 0 [m T o r r]
- ・ 第 1 の高周波電源 6 2 の高周波電力の値 [W] : 3 0 0 [W]
- ・ 第 2 の高周波電源 6 4 の高周波電力の値 [W] : 1 0 0 [W] (高周波電圧 6 0 0 [V])
- ・ 処理ガス : H ₂ ガスおよび N ₂ ガス
- ・ 処理ガスの流量 [s c c m] : (H ₂) 1 5 0 [s c c m]、(N ₂) 1 5 0 [s c c m]
- ・ 処理時間 [s] : 5 [s]

< シーケンス S Q (工程 S T 2 1 ~ S T 2 3) >

- ・ 静電チャック E S C の温度 [] : 1 2 0 []
- ・ 処理容器の温度 [] : 8 0 []
- ・ 繰り返し回数 [回] : 8 0 [回]

【 0 0 6 4 】

一実施形態に係る方法 M T によれば、シーケンス S Q 毎に、工程 S T 2 1 において、銅を含有する被エッチング層 E L 上に炭素を含有する H C 膜 8 1 が形成され、工程 S T 2 1 に引き続く工程 S T 2 2 において、炭素を含有する H C 膜 8 1 に対しパッタが行われ、H C 膜 8 1 が除去されると共に、H C 膜 8 1 に含まれている炭素が被エッチング層 E L に拡散して銅と炭素との混合層 8 2 が被エッチング層 E L の主面 S F に形成されつつ混合層 8 2 が同時に除去され、工程 S T 2 2 に引き続く工程 S T 2 3 において、混合層 8 2 中と、マスク M K によって画定されるパターンの溝 (マスク M K によって画定される溝であり、エッチング後にはエッチングによって形成される被エッチング層 E L のトレンチを含む) の側面 F C (マスク M K の側面を含むと共に、エッチング後にはエッチングによって形成される被エッチング層 E L のトレンチの側面を含む) とにおける余剰な炭素が除去されるので、シーケンス S Q が繰り返し行われる場合に余剰炭素によってエッチングが停止することなく、被エッチング層 E L の銅のエッチングが可能となる。また、パターンの溝の側

10

20

30

40

50

面 F C の余剰炭素が低減されることによって、パターンの溝の側面 F C の垂直性が向上される。

【 0 0 6 5 】

一実施形態に係る方法 M T によれば、銅を含有する被エッチング層 E L の除去を主として工程 S T 2 2 において実施することは化学アシストによる被エッチング層 E L のエッチングにつながるので、被エッチング層 E L の除去が主として物理的スパッタリングによってなされて被エッチング層 E L の加工形状がテーパー状になることを抑制することにつながる。

【 0 0 6 6 】

一実施形態に係る方法 M T によれば、工程 S T 2 1 において第 1 のガスのプラズマによってマスク M K 上および被エッチング層 E L 上に形成される H C 膜 8 1 の膜厚が 0 . 8 [n m] 以上 1 . 2 [n m] 以下であるので、工程 S T 2 2 で実施されるスパッタによるエッチングが高選択比で実現され、マスク M K によって画定されるパターン

10

の溝の側面の垂直性が向上され、よって、銅層の加工の垂直性が向上され得る。

【 0 0 6 7 】

一実施形態に係る方法 M T によれば、工程 S T 2 1 の実行時間は、エッチングの進行に応じて増大するパターン

20

の溝のアスペクト比に応じて増減され得る。従って、アスペクト比に応じて工程 S T 2 1 の実行時間が増減され得るので、工程 S T 2 1 の実行時にマスク M K によって画定されているパターン

の溝のアスペクト比の変化によらずに、第 1 のガスのプラズマによって均一な膜が被エッチング層 E L の主面 S F およびマスク M K の表面に形成され得る。

【 0 0 6 8 】

一実施形態に係る方法 M T によれば、工程 S T 2 2 の実行時間は、エッチングの進行に応じて増大するパターン

30

の溝のアスペクト比に応じて増減される。従って、工程 S T 2 2 の実行時にマスクによって画定されているパターン

の溝のアスペクト比のエッチング進行に伴う変化に応じて工程 S T 2 2 の実行時間が増減され得るので、上記の工程 S T 2 2 の実行時間内において更に、第 2 の工程の実行時にマスクによって画定されているパターン

の溝のアスペクト比によらずに、工程 S T 2 1 で形成され炭素を含有する H C 膜 8 1 に対するエッチング、更には、工程 S T 2 2 で形成される銅と炭素とを含有する混合層 8 2 に対するエッチングが、第 2 のガスのプラズマによって好適に行われ得る。

40

【 0 0 6 9 】

一実施形態に係る方法 M T によれば、工程 S T 2 2 において、第 2 のガスのプラズマを生成する場合にウエハ W に印加するバイアス電圧が 1 0 0 [V] 以上且つ 4 0 0 [V] 以下の範囲にあるので、工程 S T 2 1 により堆積した H C 膜 8 1 を貫通するのに十分なイオンエネルギーが得られ、ハイドロカーボンの H C 膜 8 1 と被エッチング層 E L との混合層 8 2 を形成し、さらに混合層 8 2 をスパッタリングによって除去することが可能となる。なお、この場合にバイアス電圧によって加速されるイオンのエネルギーは、2 0 0 [e V] 以下の範囲に相当する。更に、銅を含有する被エッチング層 E L に対するエッチングの

ほうがマスク M K に対するエッチングよりも速く進行するので工程 S T 2 2 で行われるスパッタが高選択比で実現され、マスク M K によって画定されるパターン

の溝の側面の垂直性が向上される。このように、有機層と銅層の混合の効果によってスパッタされた副生成物の揮発性が増すので、銅層加工において垂直性が向上され得る。

【 0 0 7 0 】

一実施形態に係る方法 M T によれば、工程 S T 2 2 の実行時間は、工程 S T 2 1 で堆積させた H C 膜 8 1 をエッチングし、H C 膜 8 1 を除去するために必要となる時間の 2 . 0 倍以上 3 . 5 倍以下である。従って、工程 S T 2 2 の実行時間が、この実行時間の条件を除く工程 S T 2 2 のプロセス条件のもとで膜をエッチングし膜を除去するために必要となる時間の 2 . 0 倍以上 3 . 5 倍以下である。従って、工程 S T 2 2 中に工程 S T 2 1 で堆積した H C 膜 8 1 と被エッチング層 E L とがイオンエネルギーによって混合され、化学アシストによって銅を含有する被エッチング層 E L に対するエッチングが可能になる。更に、

50

H C 膜 8 1 が完全に除去されて被エッチング層 E L の銅に対する純粋なスパッタリングに移行する前に工程 S T 2 2 の後に実行される工程 S T 2 3 に移行できる。このように、工程 S T 2 2 において混合層 8 2 が完全に除去される前に工程 S T 2 2 が停止することによって銅層の加工の垂直性が増すと共に、工程 S T 2 2 の後に実行される工程 S T 2 3 によって余剰な炭素が除去されエッチング進行に伴う炭素の堆積が抑制されることによって銅を含有する被エッチング層 E L に対するエッチングが確実に実行される。

【 0 0 7 1 】

一実施形態に係る方法 M T によれば、工程 S T 2 3 において、第 3 のガスのプラズマを生成する場合にウエハ W に印加するバイアス電圧が 1 0 0 [V] より大きく且つ 6 0 0 [V] より小さい範囲にあるので、工程 S T 2 3 における被エッチング層 E L に対するスパッタ能は工程 S T 2 2 による被エッチング層 E L のスパッタ能に比べて小さい。さらに、方法 M T によれば、工程 S T 2 3 において、第 3 のガスのプラズマを生成する場合にウエハ W に印加するバイアス電圧が 1 0 0 [V] より大きく且つ 6 0 0 [V] より小さい範囲にあるので、工程 S T 2 3 における炭素を含有する層に対するスパッタ能のほうが銅層に対するスパッタ能よりも大きい。従って、工程 S T 2 3 において、工程 S T 2 1 で第 1 のガスのプラズマによって形成され炭素を含有する H C 膜 8 1 と、工程 S T 2 2 で第 2 のガスのプラズマによって形成され炭素と銅とを含有する混合層 8 2 とから、炭素の除去が選択的に行われ得る。このことは、水素の銅に対するスパッタレートが低いこと、および、炭素はハイドロカーボンの膜が形成されることによって効率よく除去されること、等に起因する。なお、この場合にバイアス電圧によって加速されるイオンのエネルギーは、5 0 [e V] より大きく且つ 3 0 0 [e V] より小さい範囲に相当する。

【 0 0 7 2 】

一実施形態に係る方法 M T によれば、第 1 のガスが C H ₄ ガスを含有するので、工程 S T 2 1 において、炭素を含有する H C 膜 8 1 がマスク M K 上および被エッチング層 E L 上に形成され得る。

【 0 0 7 3 】

一実施形態に係る方法 M T によれば、上部電極 3 0 の電極板 3 4 が炭化シリコンまたは銅を含有するので、上部電極 3 0 の電極板 3 4 に対し、シーケンス S Q で行われるエッチングによって銅が堆積した場合に、電極板 3 4 に銅原子が拡散することによる電極板 3 4 の導電性の変化が低減され得る。ひいては、エッチングプロセスの再現性が向上され得る。

【 0 0 7 4 】

一実施形態に係る方法 M T によれば、プラズマ処理装置 1 0 のクリーニングをするために工程 S T 4 を更に備える。工程 S T 4 では、プラズマの存在下で上部電極 3 0 に対して、負の静電圧を印加する、または、高周波電圧を印加する。工程 S T 4 は、シーケンス S Q が繰り返し実行されて被エッチング層 E L のエッチングが終了し、ウエハ W がプラズマ処理装置 1 0 から搬出された後に実行される。すなわち、プラズマ処理装置 1 0 の上部電極 3 0 にプラズマからイオンが引き込まれ、上部電極 3 0 に付着した銅を含有する堆積物がスパッタされることによって除去され得る。

【 0 0 7 5 】

以上、好適な実施の形態において本発明の原理を図示し説明してきたが、本発明は、そのような原理から逸脱することなく配置および詳細において変更され得ることは、当業者によって認識される。本発明は、本実施の形態に開示された特定の構成に限定されるものではない。したがって、特許請求の範囲およびその精神の範囲から来る全ての修正および変更により権利を請求する。

【 0 0 7 6 】

例えば、シーケンス S Q が複数回数だけ実行され被エッチング層 E L が第 6 の層 (図 1 0 に示す下地層 M L) に至るまでエッチングされた後に、図 1 に示す工程 S T 5 (第 5 の工程) を方法 M T に追加することができる。工程 S T 5 は、第 6 の層の材料が T a である場合に適用され得るものであるが、更に、第 6 の層が T a N または R u である場合にも同様に適用され得る。シーケンス S Q が複数回数だけ実行され被エッチング層 E L が下地層 M

Lに至るまでエッチングされると(工程ST3:YESの後、更には、工程ST4の後)、図10に示すように、当該エッチングによって被エッチング層ELに形成された溝TR(マスクMKによって画定されるパターンの溝)を介して下地層MLが露出され得るが、溝TR内において下地層MLの表面SF1に被エッチング層ELの材料である銅(Cu)が残留する場合がある。図10に示す残留層RMが、被エッチング層ELに対するエッチングによって生じたCuの残留物である。

【0077】

下地層MLに対するエッチングには、下地層MLの材料がTaの場合にフルオロカーボン系ガスのプラズマが用いられ得るが、上記したように、被エッチング層ELの溝TR内においてTaの下地層MLの表面SF1にCuの残留層RMが堆積している場合には、下地層MLに対するエッチングは、下地層MLの表面SF1に残留するCuの残留層RMによって阻害され得るので、困難となる場合がある。このような下地層MLに対するエッチングに係る困難を回避するために、図1に示すように、一実施形態に係る方法MTは、溝TR内における下地層MLの表面SF1に残留するCuの残留層RMをウェット洗浄によって除去する工程ST5を更に備え得る。工程ST5は、シーケンスSQを繰り返し実行して被エッチング層ELを下地層MLに至るまでエッチングした後であって且つ下地層MLをエッチングする前において、下地層ML上に残留する被エッチング層ELの銅を除去する工程である。工程ST5では、フッ化水素酸またはクエン酸等の酸性溶液を用いたウェット洗浄によって下地層ML上に残留する銅を除去する。具体的には、工程ST5のウェット洗浄において、例えば、0.5wt%(重量パーセント)程度の希フッ化水素酸(DHF)、または、8wt%程度のクエン酸が用いられ得る。工程ST5の実行時間[min]は、例えば、0.5wt%程度の希フッ化水素酸(DHF)が用いられる場合には、2.5[min]程度であり得る。希フッ化水素酸やクエン酸等の酸性溶液による酸的作用によって残留層RMのCuがイオンとなって溶け出されることにより、Cuの残留層RMが下地層MLの表面SF1から良好に除去され得る。

【0078】

以上により、被エッチング層ELを下地層MLに至るまでエッチングした後に下地層MLにCuが残留する場合においても、工程ST5において下地層MLに対するエッチングの実行前にCuの除去が行われるので、下地層MLに対するエッチングがCuによって阻害されること防止し得る。特に、下地層MLがTa、Ta_NまたはRuの場合に、工程ST5においては、フッ化水素酸またはクエン酸を用いたウェット洗浄を用いることによって、下地層ML上に残留するCuの除去が可能となり得る。

【0079】

なお、Cuの残留層RMの除去にウェット洗浄ではなくドライエッチングを用いる場合には、ドライエッチングの実行時に生じるスパッタリング的作用によって、残留層RMに接するTa、Ta_NまたはRuの下地層MLに残留層RMのCuが打ち込まれ、溝TR内における下地層ML上にCuとTa、Ta_NまたはRuとの金属間化合物が形成され得る。このようなCuとTa、Ta_NまたはRuとの金属間化合物が溝TR内の下地層MLの表面SF1に形成された状態において、Ta、Ta_NまたはRuの下地層MLをエッチングするためにフルオロカーボン系ガスのプラズマを溝TR内に供給する場合、溝TR内の下地層MLの表面SF1にCuのフッ化物が形成されることとなるが、Cuのフッ化物の蒸気圧は比較的に低く、よって、Cuのフッ化物を気化させることによってCuを飛散させることが困難となる。このために、Cuの残留層RMの除去、更には、下地層MLに対するエッチングが、共に困難となり得る。従って、Cuの残留層RMの除去には、ドライエッチングではなく、工程ST5のように、フッ化水素酸またはクエン酸等の酸性溶液を用いたウェット洗浄が好適である。

【0080】

ここで、下地層MLに対するエッチングで用いられるプロセス条件の具体的な一例を以下に示す。ガスソース群40は、下地層MLのエッチングに用いる下記のフルオロカーボン系ガス(CF₄ガスおよびC₄F₈ガス)のガスソースを更に含み得る。

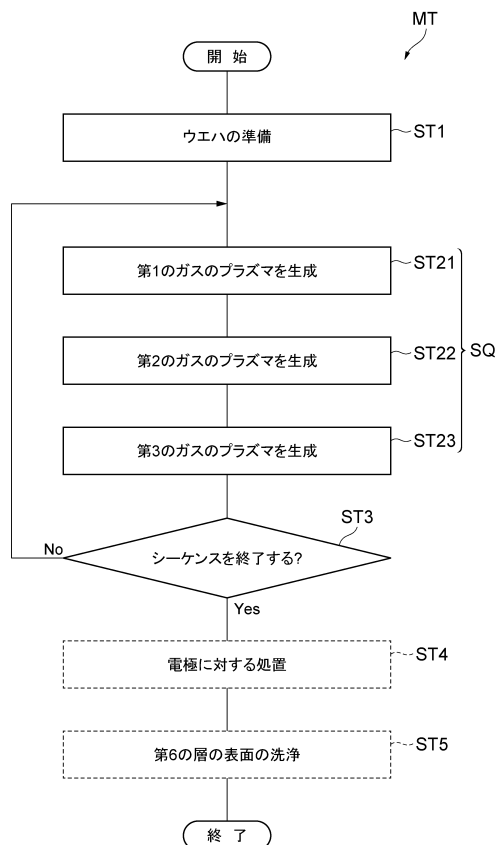
- ・処理容器 12 内の圧力の値 [m T o r r] : 5 0 [m T o r r]
- ・第 1 の高周波電源 6 2 の高周波電力の値 [W] : 5 0 0 [W]
- ・第 2 の高周波電源 6 4 の高周波電力の値 [W] : 1 0 0 [W]
- ・処理ガス : C F ₄ ガスおよび C ₄ F ₈ ガス
- ・処理ガスの流量 [s c c m] : 1 3 5 [s c c m] (C F ₄ ガス)、3 0 [s c c m] (C ₄ F ₈ ガス)
- ・処理時間 [s] : 8 0 [s]

【符号の説明】

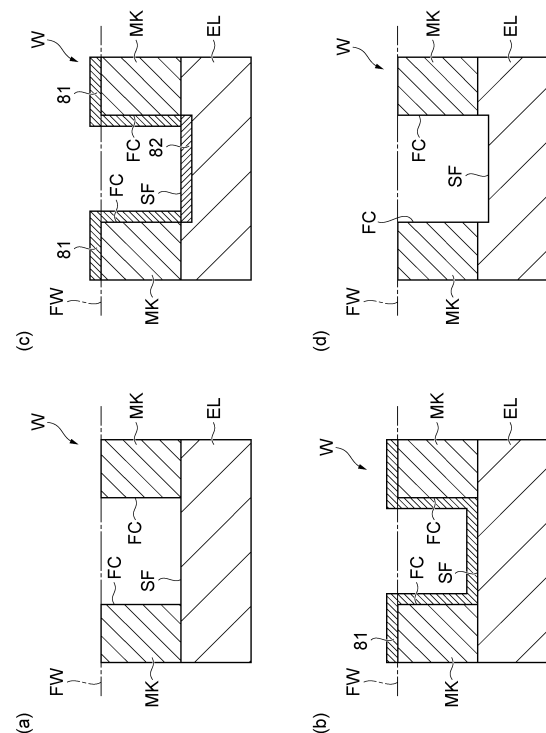
【 0 0 8 1 】

10 ... プラズマ処理装置、12 ... 処理容器、12 e ... 排気口、12 g ... 搬入出口、14 ... 支持部、18 a ... 第 1 プレート、18 b ... 第 2 プレート、22 ... 直流電源、23 ... スイッチ、24 ... 冷媒流路、26 a ... 配管、26 b ... 配管、28 ... ガス供給ライン、30 ... 上部電極、32 ... 絶縁性遮蔽部材、34 ... 電極板、34 a ... ガス吐出孔、36 ... 電極支持体、36 a ... ガス拡散室、36 b ... ガス通流孔、36 c ... ガス導入口、38 ... ガス供給管、40 ... ガスソース群、42 ... バルブ群、44 ... 流量制御器群、46 ... デポシールド、48 ... 排気プレート、50 ... 排気装置、52 ... 排気管、54 ... ゲートバルブ、62 ... 第 1 の高周波電源、64 ... 第 2 の高周波電源、66 ... 整合器、68 ... 整合器、70 ... 電源、81 ... H C 膜、82 ... 混合層、A L ... エリア、C 1 ... 曲線、C 2 ... 曲線、C n t ... 制御部、E L ... 被エッチング層、E S C ... 静電チャック、F C ... 側面、F R ... フォーカスリング、F W ... 主面、G R 1 ... シミュレーション結果、G R 2 ... シミュレーション結果、H P ... ヒータ電源、H T ... ヒータ、L E ... 下部電極、L N 1 ... 基準線、L N 2 ... 基準線、M K ... マスク、S F ... 主面、P D ... 載置台、S p ... 処理空間、W ... ウエハ、M T ... 方法、T R ... 溝、M L ... 下地層、R M ... 残留層。

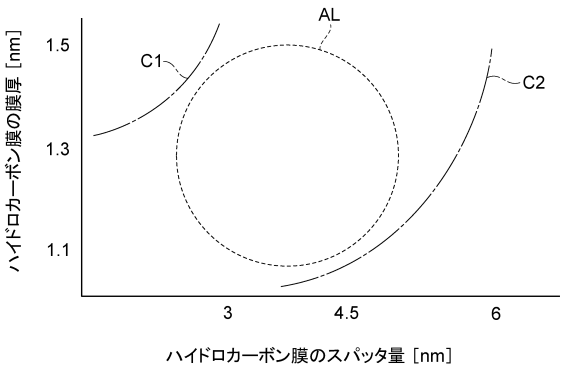
【図 1】



【図 2】



【図 7】



【図 8】

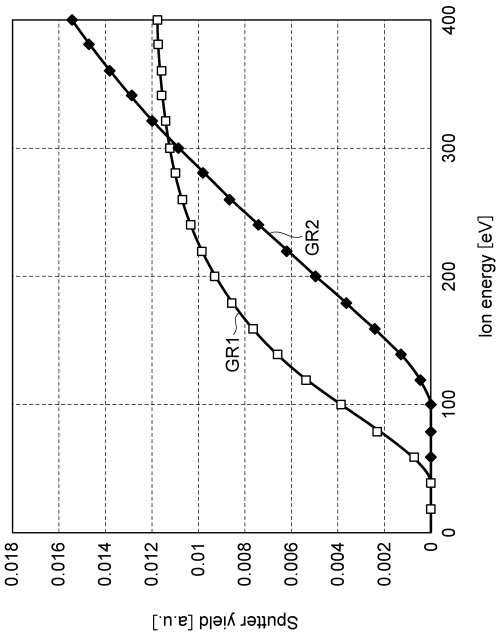
(a)

テーパー角 [°]	ハイドロカーボン膜のスパッタ量			
	3.0 [nm]	4.5 [nm]	6.0 [nm]	
ハイドロカーボン膜の膜厚	1.5 [nm]	84.38	82.36	78.03
	1.3 [nm]	83.45	79.80	77.70
	1.1 [nm]	81.99	78.68	76.34

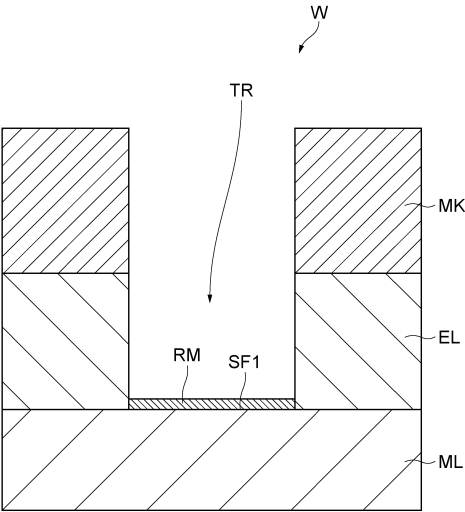
(b)

比: ハイドロカーボン膜のスパッタ量 [nm] ハイドロカーボン膜の膜厚 [nm]	ハイドロカーボン膜のスパッタ量			
	3.0 [nm]	4.5 [nm]	6.0 [nm]	
ハイドロカーボン膜の膜厚	1.5 [nm]	2.0	3.0	4.0
	1.3 [nm]	2.3	3.5	4.6
	1.1 [nm]	2.7	4.1	5.5

【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(72)発明者 松本 賢治

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

(72)発明者 三好 秀典

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 早川 朋一

(56)参考文献 米国特許出願公開第2016/0097131(US, A1)

特開2013-120810(JP, A)

特開2011-094100(JP, A)

国際公開第2016/003596(WO, A1)

特開2015-079797(JP, A)

特開2015-167155(JP, A)

特開2015-149410(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/306 - 21/308

H01L 21/3213

C23F 4/00

H05H 1/46