

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-33982
(P2017-33982A)

(43) 公開日 平成29年2月9日(2017.2.9)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 L 21/3065 (2006.01)	H O 1 L 21/302	4 K O 5 7
C 2 3 F 4/00 (2006.01)	C 2 3 F 4/00	5 F O O 4
	I O 4 C	
	A	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2015-149273 (P2015-149273)	(71) 出願人	000219967 東京エレクトロン株式会社 東京都港区赤坂五丁目3番1号
(22) 出願日	平成27年7月29日 (2015.7.29)	(74) 代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100113435 弁理士 黒木 義樹
		(74) 代理人	100122507 弁理士 柏岡 潤二
		(72) 発明者	久保 卓也 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	康 松潤 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

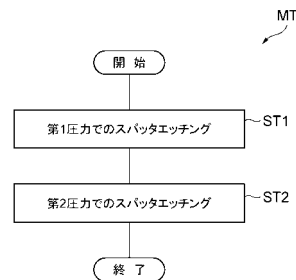
(54) 【発明の名称】 多層膜をエッチングする方法

(57) 【要約】

【課題】金属磁性材料から形成された層を含む多層膜のエッチングにおいて、多層膜の剥がれ及び/又は割れを抑制する。

【解決手段】一実施形態では、プラズマ処理装置の処理容器の内部の圧力が比較的高い圧力である第1圧力に設定された状態で、金属磁性材料から形成された層を含む多層膜がエッチングされる。次いで、処理容器の内部の圧力が第1圧力より低い第2圧力に設定された状態で、多層膜が更にエッチングされる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

プラズマ処理装置を用いて被処理体の多層膜をエッチングする方法であって、
前記被処理体は、金属磁性材料から形成された層を含む多層膜、及び前記多層膜上に設けられたマスクを有し、該方法は、

前記プラズマ処理装置の処理容器の内部の圧力が第 1 圧力に設定された状態で、前記多層膜に対しスパッタエッチングを実行する第 1 工程と、

前記処理容器の内部の圧力が前記第 1 圧力より低い第 2 圧力に設定された状態で、前記第 1 工程で処理された前記多層膜に対しスパッタエッチングを実行する第 2 工程と、
を含む方法。

10

【請求項 2】

前記第 1 圧力は 2 Pa 以上の圧力である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記第 2 圧力は 1.333 Pa 以下の圧力である、請求項 1 又は 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記被処理体は絶縁膜を有し、該絶縁膜は、酸化シリコン、又は窒化シリコンから構成され、前記多層膜は、前記絶縁膜上に設けられている、請求項 1 ~ 3 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 5】

前記第 1 工程は、前記多層膜の膜厚が 31 nm 以下になるまで実行される、請求項 4 に記載の方法。

20

【請求項 6】

前記多層膜は、Ru、Ta、Pt、Pd、Ti、Mg、Al、Ag、Au、Cu、W、Co、Fe、及びNiより選択される 2 種以上の金属を含む、請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 7】

前記処理容器内には、下部電極を含む載置台が設けられており、

前記第 1 工程において、前記被処理体が前記載置台上に置かれた状態で、前記下部電極にバイアスのための高周波が供給される、
請求項 1 ~ 6 の何れか一項に記載の方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、プラズマ処理装置を用いて、金属磁性材料から形成された層を含む多層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】

電子デバイス等の製造過程においては、微細構造を形成するために、プラズマエッチングが行われる。プラズマエッチングには、活性種による反応を主に利用するエッチングと、イオンの衝撃を主に利用するスパッタエッチングとがある。特に、スパッタエッチングは、金属材料といった難エッチング材料のエッチングに用いられている。

40

【0003】

スパッタエッチングでは、通常、プラズマ処理装置の処理容器の内部の圧力が 10 mTorr 以下の低圧に設定される。低圧条件下では、イオンのエネルギー及び直進性が高くなるので、高いエッチングレート、及び高いエッチングの異方性が得られる。このような低圧条件下のエッチングについては、例えば、特許文献 1 に記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】米国特許第 4 5 5 7 7 9 6 号明細書

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、金属磁性材料から形成された層を含む多層膜も難エッチング材料を含んでいるので、当該多層膜のエッチングにもスパッタエッチングを用いることができる。なお、このような多層膜のエッチングは、例えば、MRAM (Magnetoresistive Random Access Memory) などの磁気記憶デバイスの製造において、行われ得る。

【0006】

しかしながら、上記の多層膜に対して低圧条件下でのスパッタエッチングを行うと、多層膜の剥がれ、及び/又は多層膜の割れが生じることがある。スパッタエッチングには、このような剥がれ及び割れを抑制することが求められるが、エッチングレートの低下及びエッチングの異方性の低下を抑えることが必要である。

【課題を解決するための手段】

【0007】

一態様では、プラズマ処理装置を用いて被処理体の多層膜をエッチングする方法が提供される。被処理体は、金属磁性材料から形成された層を含む多層膜、及び多層膜上に設けられたマスクを有する。この方法は、(i)プラズマ処理装置の処理容器の内部の圧力が第1圧力に設定された状態で、多層膜に対しスパッタエッチングを実行する第1工程と、(ii)プラズマ処理装置の処理容器の内部の圧力が第1圧力より低い第2圧力に設定された状態で、第1工程で処理された多層膜に対しスパッタエッチングを実行する第2工程と、を含む。

【0008】

低圧条件下でのスパッタエッチングによって多層膜の剥がれ及び/又は割れが生じる原因は以下のように推測される。多層膜内の異なる膜間の界面、又は多層膜と当該多層膜の下地との間の界面には、有機不純物が混入することがある。この有機不純物がプラズマ中に生成された活性種と反応すると、界面において気体が発生し、気体を含む欠陥が形成される。この欠陥内の圧力と処理容器の内部の圧力の差が大きいと、即ち、低圧条件下では、欠陥内の気体が膨張して多層膜に大きな応力を与える。その結果、多層膜の剥がれ及び/又は割れが生じるものと推測される。

【0009】

上記一態様に係る方法の第1工程では、処理容器の内部の圧力が、比較的高圧に設定される。即ち、欠陥の内部の圧力と処理容器内の内部の圧力の差が低減される。したがって、第1工程によれば、スパッタエッチング中の欠陥内の気体の膨張が抑制される。また、第1工程によれば、スパッタエッチング中に欠陥内の気体が多層膜から漏洩する。故に、第1工程及び後続の第2工程におけるスパッタエッチング中の多層膜の剥がれ及び多層膜の割れが抑制される。また、この方法では、第1工程が実行された後に、第2工程において比較的低圧の条件下でスパッタエッチングが更に行われる。したがって、高いエッチングレートが得られ、多層膜の積層方向に対して高い異方性をもったエッチングが実現される。

【0010】

一実施形態では、第1圧力は2 Pa (15 mTorr) 以上の圧力に設定されてもよい。また、一実施形態では、第2圧力は1.333 Pa (10 mTorr) 以下の圧力に設定されてもよい。また、一実施形態において、多層膜は、Ru、Ta、Pt、Pd、Ti、Mg、Al、Ag、Au、Cu、W、Co、Fe及びNiより選択される2種以上の金属を含んでもよい。また、一実施形態では、処理容器内には、下部電極を含む載置台が設けられており、第1工程において、被処理体が載置台上に置かれた状態で、下部電極にバイアスのための高周波が供給される。即ち、第1工程においては、スパッタエッチングのために比較的高圧の条件が設定され、且つ、スパッタエッチングにおけるイオンの引き込みのために、高周波が利用される。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 1 】

一実施形態では、第1工程は多層膜の膜厚が31nm以下になるまで実行される。第1工程において多層膜の膜厚が31nm以下になるまでエッチングされることで、第1工程の実行中に欠陥内の気体が多層膜からより漏洩しやすくなる。したがって、多層膜の剥がれ及び多層膜の割れが更に抑制される。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 2 】

以上説明したように、エッチングによる多層膜の剥がれ及び割れが抑制され、且つ、エッチングレートの低下及びエッチングの異方性の低下が抑制される。

【 図面の簡単な説明 】

10

【 0 0 1 3 】

【 図 1 】 一実施形態に係る多層膜をエッチングする方法を示す流れ図である。

【 図 2 】 図 1 に示す方法を適用可能な一例の被処理体の一部を示す断面図である。

【 図 3 】 図 1 に示す方法を実行することができるプラズマ処理装置の一例を概略的に示す図である。

【 図 4 】 多層膜 M L と絶縁膜 I S の間に気体を含む欠陥 D が形成された状態の被処理体の一部を示す断面図である。

【 図 5 】 図 1 に示す方法の工程 S T 1 の実行の終了時点における被処理体の一部を示す断面図である。

【 図 6 】 図 1 に示す方法の工程 S T 2 の実行の終了時点における被処理体の一部を示す断面図である。

20

【 図 7 】 実験の諸条件及び結果を示す表である。

【 図 8 】 各サンプルのスputterエッチング中の各種波長の光の強度の時間変化を示したグラフである。

【 図 9 】 各サンプルのスputterエッチング中の各種波長の光の強度の時間変化を示したグラフである。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 4 】

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。

30

【 0 0 1 5 】

図1は、一実施形態に係る多層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 M T は、プラズマ処理装置を用いて、金属磁性材料から形成される層を含む多層膜をエッチングする方法である。

【 0 0 1 6 】

図2は、図1に示す方法を適用可能な一例の被処理体の一部を示す断面図である。図2に示すように、被処理体、即ちウエハ W は、基板 S B 、絶縁膜 I S 、多層膜 M L 、及びマスク M K を含んでいる。ウエハ W は、例えば、M R A M (M a g n e t o r e s i s t i v e R a n d o m A c c e s s M e m o r y) を製造する過程で得られるものである。絶縁膜 I S は基板 S B 上に設けられている。絶縁膜 I S は、例えば、酸化シリコン又は窒化シリコンから構成されている。この絶縁膜 I S 上には、多層膜 M L が形成されている。

40

【 0 0 1 7 】

多層膜 M L は、複数の層を有しており、金属磁性材料から形成された層を含んでいる。例えば、図2に示すように、多層膜 M L は、第1層 L 1 ~ 第15層 L 15 の15個の層を有している。第1層 L 1 ~ 第15層 L 15 の各々は、金属層である。第1層 L 1 は、最下層、即ち、絶縁膜 I S の最も近くに設けられた層であり、T a から形成されている。第2層 L 2 は、第1層 L 1 上に設けられており、R u から形成されている。第3層 L 3 は、第2層 L 2 上に設けられており、T a から形成されている。第4層 L 4 は、第3層 L 3 上に設けられており、P t から形成されている。第5層 L 5 は、第4層 L 4 上に設けられてお

50

り、Pt及びCoから形成されている。第6層L6は、第5層L5上に設けられており、Coから形成されている。第7層L7は、第6層L6上に設けられており、Ruから形成されている。第8層L8は、第7層L7上に設けられており、Pt及びCoから形成されている。第9層L9は、第8層L8上に設けられており、Coから形成されている。第10層L10は、第9層L9上に設けられており、Taから形成されている。第11層L11は、第10層L10上に設けられており、CoFeBから形成されている。第12層L12は、第11層L11上に設けられており、MgOから形成される。第13層L13は、第12層L12上に設けられており、CoFeBから形成されている。第14層L14は第13層L13上に設けられており、Taから形成されている。第15層L15は、第14層L14上に設けられており、Ruから形成されている。第5層L5及び第8層L8は、Pt薄膜とCo薄膜が交互に積層された構造を有している。具体的に、第5層L5は、6層のPt薄膜と6層のCo薄膜が交互に積層された構造を有しており、第8層L8は、2層のPtと2層のCoが交互に積層された構造を有している。

10

20

30

40

50

【0018】

多層膜MLの第1層L1と第2層L2は、下部電極を構成している。第3層L3と第4層L4は、更に上層に膜を成長するためのシード層である。第5層L5と第6層L6は、反強磁性層を構成している。第7層L7は、反強磁性層と上層の磁化固定層の間のスペーサとして用いられる。第8層L8、第9層L9、第10層L10、及び第11層L11は磁化固定層を構成している。第12層L12はトンネルバリア層であり、第13層L13は磁化自由層である。第14層L14と第15層L15は、上部電極を構成している。また、上記の磁化固定層、トンネルバリア層、及び磁化自由層は、即ち磁気トンネル接合(MTJ)を構成している。

【0019】

以下、多層膜MLの各層の厚さを例示する。第1層L1の厚さは5nm、第2層L2の厚さは5nm、第3層L3の厚さは10nm、第4層L4の厚さは5nm、第5層L5の厚さは4.8nm、第6層L6の厚さは0.5nm、第7層L7の厚さは0.9nm、第8層L8の厚さは1.6nm、第9層L9の厚さは0.5nm、第10層L10の厚さは0.4nm、第11層L11の厚さは1.2nm、第12層L12の厚さは1.3nm、第13層L13の厚さは1.6nm、第14層L14の厚さは5nm、第15層L15の厚さは5nmである。

【0020】

多層膜ML上にはマスクMKが設けられている。マスクMKは、金属含有膜から作製されたマスクである。金属含有膜は、例えば、Ta又はTiN等から構成される。マスクMKのパターンは、プラズマエッチングによって形成され得る。

【0021】

なお、図2に示したウエハWの構成、及び上述の各層の厚さは一例であり、方法MTの適用対象は図2に示したウエハWに限定されるものではない。また、多層膜MLの各層は、Ru、Ta、Pt、Pd、Ti、Mg、Al、Ag、Au、Cu、W、Co、Fe及びNiのうち、一以上の金属から構成される層を含み得る。さらに、多層膜MLは、これらの材料より選択される2種類以上の金属の合金から形成される層を含んでいてもよい。

【0022】

方法MTでは、図2に示すウエハWのような被処理体が、プラズマ処理装置の処理容器内で処理される。図3は、図1に示す方法MTを実行することができる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処理装置であり、略円筒状の処理容器12を備えている。処理容器12は、例えば、アルミニウムから構成されている。この処理容器12の内壁面には、陽極酸化処理が施されていてよい。この処理容器12は保安接地されている。

【0023】

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は、処理容器12内において、処理容

器 1 2 の底部から鉛直方向に延在している。また、処理容器 1 2 内には、載置台 P D が設けられている。載置台 P D は、支持部 1 4 によって支持されている。

【 0 0 2 4 】

載置台 P D は、その上面においてウエハ W を保持する。載置台 P D は、下部電極 L E 及び静電チャック E S C を有している。下部電極 L E は、第 1 プレート 1 8 a 及び第 2 プレート 1 8 b を含んでいる。第 1 プレート 1 8 a 及び第 2 プレート 1 8 b 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 1 8 b は、第 1 プレート 1 8 a 上に設けられており、第 1 プレート 1 8 a に電氣的に接続されている。

【 0 0 2 5 】

第 2 プレート 1 8 b 上には、静電チャック E S C が設けられている。静電チャック E S C は、導電膜である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 E S C の電極には、直流電源 2 2 がスイッチ 2 3 を介して電氣的に接続されている。この静電チャック E S C は、直流電源 2 2 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 E S C は、ウエハ W を保持することができる。

【 0 0 2 6 】

第 2 プレート 1 8 b の周縁部上には、ウエハ W のエッジ及び静電チャック E S C を囲むようにフォーカスリング F R が配置されている。フォーカスリング F R 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 F R 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。

【 0 0 2 7 】

第 2 プレート 1 8 b の内部には、冷媒流路 2 4 が設けられている。冷媒流路 2 4 は、温調機構を構成している。冷媒流路 2 4 には、処理容器 1 2 の外部に設けられたチラーユニットから配管 2 6 a を介して冷媒が供給される。冷媒流路 2 4 に供給された冷媒は、配管 2 6 b 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 2 4 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 E S C によって支持されたウエハ W の温度が制御される。

【 0 0 2 8 】

また、プラズマ処理装置 1 0 には、ガス供給ライン 2 8 が設けられている。ガス供給ライン 2 8 は、伝熱ガス供給機構からの伝熱ガス、例えば H e ガスを、静電チャック E S C の上面とウエハ W の裏面との間に供給する。

【 0 0 2 9 】

また、プラズマ処理装置 1 0 は、上部電極 3 0 を備えている。上部電極 3 0 は、載置台 P D の上方において、当該載置台 P D と対向配置されている。下部電極 L E と上部電極 3 0 とは、互いに略平行に設けられている。上部電極 3 0 と載置台 P D 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。

【 0 0 3 0 】

上部電極 3 0 は、絶縁遮蔽部材 3 2 を介して、処理容器 1 2 の上部に支持されている。一実施形態では、上部電極 3 0 は、載置台 P D 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 3 0 は、天板 3 4 及び支持体 3 6 を含み得る。天板 3 4 は処理空間 S に面している。この天板 3 4 には複数のガス噴出孔 3 4 a が設けられている。天板 3 4 は、例えば、シリコン、S i C から形成され得る。或いは、天板 3 4 は、アルミニウム製の母材の表面にセラミックスの皮膜を設けた構造を有し得る。

【 0 0 3 1 】

支持体 3 6 は、天板 3 4 を脱着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。この支持体 3 6 は、水冷構造を有し得る。支持体 3 6 の内部には、ガス拡散室 3 6 a が設けられている。このガス拡散室 3 6 a からは、ガス噴出

10

20

30

40

50

孔 3 4 a に連通する複数のガス通流孔 3 6 b が下方に延びている。また、支持体 3 6 には、ガス拡散室 3 6 a に処理ガスを導くガス導入口 3 6 c が形成されており、このガス導入口 3 6 c には、ガス供給管 3 8 が接続されている。

【 0 0 3 2 】

ガス供給管 3 8 には、バルブ群 4 2 及び流量制御器群 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含んでいる。複数のガスソースは、方法 M T の多層膜のエッチングに用いられるガスソースを含んでいる。一例では、ガスソース群 4 0 は、炭化水素系ガスのソース、及び希ガスのソースを含んでいる。ガスソース群 4 0 は、その他のガス用のソース、例えば、アルコールのソース、窒素ガスのソース、及び水素ガスのソース等を含んでいてもよい。

10

【 0 0 3 3 】

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はそれぞれ、バルブ群 4 2 の対応のバルブ及び流量制御器群 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。

【 0 0 3 4 】

また、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 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。

20

【 0 0 3 5 】

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、複数の貫通孔を有する排気プレート 4 8 が設けられている。排気プレート 4 8 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 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。また、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、この搬入出口 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。

【 0 0 3 6 】

30

また、プラズマ処理装置 1 0 は、第 1 の高周波電源 6 2 及び第 2 の高周波電源 6 4 を更に備えている。第 1 の高周波電源 6 2 は、プラズマ生成のための第 1 の高周波を発生する電源であり、例えば、27 ~ 100 MHz の周波数の第 1 の高周波を発生する。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 6 2 は、整合器 6 6 を介して下部電極 L E に接続されてもよい。

【 0 0 3 7 】

第 2 の高周波電源 6 4 は、ウエハ W に活性種を引き込むための、即ちバイアス用の第 2 の高周波を発生する電源であり、例えば、400 kHz ~ 13.56 MHz の範囲内の周波数の第 2 の高周波を発生する。第 2 の高周波電源 6 4 は、整合器 6 8 を介して下部電極 L E 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。

40

【 0 0 3 8 】

また、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 S 内に存在する正イオンを天板 3 4 に引き込むための電圧を、上部電極 3 0 に印加する。一例においては、電源 7 0 は、負の直流電圧を発生する直流電源である。別の一例においては、電源 7 0 は、比較的 low 周波の交流電圧を発生する交流電源であってもよい。電源 7 0 から上部電極 3 0 に印加される電圧は、-150 V 以下の電圧であり得る。即ち、電源 7 0 によって上部電極 3 0 に印加される電圧

50

は、絶対値が150V以上の負の電圧であり得る。

【0039】

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を管理するためのコマンドの入力操作などを行うことができ、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。

10

【0040】

以下、再び図1を参照して方法MTについて詳細に説明する。ここでは、図2に示すウエハWが、図3に示すプラズマ処理装置10を用いてエッチングされる例について説明する。また、以下の説明においては、図4、図5、及び図6を参照する。図4は、多層膜MLと絶縁膜ISの間に気体を含む欠陥Dが形成された状態の被処理体の一部を示す断面図である。図5は、図1に示す方法の工程ST1の実行の終了時点における被処理体の一部を示す断面である。図6は、図1に示す方法の工程ST2の実行の終了時点における被処理体の一部を示す断面である。なお、図4及び図5では、多層膜MLを一つの領域として示している。

20

【0041】

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12内に搬入され、載置台PD上に載置されて、当該載置台PDによって保持される。

【0042】

方法MTでは、次に、工程ST1が実行される。工程ST1では、処理容器12の内部の圧力が第1圧力に設定された状態で、多層膜MLのスputタエッチングが実行される。このために、工程ST1では、ガスソース群40の複数のガスソースのうち、選択されたガスソースから処理容器12の内部に処理ガスが供給される。一例では、処理ガスは希ガス、及び炭化水素系ガスを含む。また、工程ST1では、排気装置50が作動し、処理容器12の内部の圧力が第1圧力に設定される。さらに、工程ST1では、第1の高周波が第1の高周波電源62から上部電極30に供給される。また、第2の高周波が第2の高周波電源64から下部電極LEに対して供給される。

30

【0043】

工程ST1では、処理ガスのプラズマが生成され、マスクMKの開口から露出している部分において多層膜MLがエッチングされる。工程ST1のスputタエッチング中には、プラズマPLからのイオン又はラジカルといった活性種が多層膜MLの中に進入して有機不純物と反応し、図4に示すように、気体を含む欠陥Dが形成されることがある。しかしながら、工程ST1の実行中の処理容器12の内部の第1圧力は、比較的高い圧力であるので、欠陥Dの膨張は、多層膜MLの剥がれ及び/又は割れが抑制される程度に抑えられる。また、工程ST1では、多層膜MLのスputタエッチングが進行するにつれて、欠陥D内に含まれる気体が多層膜MLの中から徐々に漏洩する。

40

【0044】

工程ST1では、図5に示すように、多層膜MLはその膜厚方向において途中までエッチングされる。一実施形態では、工程ST1は、絶縁膜IS上の多層膜MLの膜厚が31nm以下になるまで実行される。多層膜MLの膜厚が31nm以下になるまでエッチングされることで、欠陥D内の気体が多層膜MLの中から漏洩しやすくなり、欠陥D内の圧力が低下する。したがって、多層膜MLの剥がれ及び/又は割れを更に抑制することが可能となる。

【0045】

以下に、工程ST1における各種条件を例示する。

50

- ・ 処理容器内部の圧力：15 mTorr (2 Pa) 以上
- ・ 処理ガス
 - CH₄ガス：5 sccm ~ 100 sccm
 - Neガス：50 sccm ~ 1000 sccm
- ・ 第1の高周波の電力：100 W ~ 1000 W
- ・ 第2の高周波の電力：200 W ~ 2000 W

【0046】

方法MTでは、次いで工程ST2が実行される。工程ST2では、処理容器12の内部の圧力が第2圧力に設定された状態で、多層膜MLのスputタエッチングが実行される。このために、工程ST2では、ガスソース群40の複数のガスソースのうち、選択されたガスソースから処理容器12の内部に処理ガスが供給される。一例では、処理ガスは希ガス、及び炭化水素系ガスを含む。また、排気装置50が作動し、処理容器12の内部の圧力が第2圧力に設定される。さらに、工程ST2では、プラズマ生成のための第1の高周波が第1の高周波電源62から上部電極30に供給される。また、バイアスのための第2の高周波が第2の高周波電源64から下部電極LEに対して供給される。

10

【0047】

工程ST2では、処理ガスのプラズマが生成され、マスクMKの開口から露出している部分において多層膜MLがエッチングされる。この工程ST2は、図6に示すように、絶縁膜ISの表面が露出するまで実行される。

20

【0048】

工程ST2の実行中の処理容器12の内部の第2圧力は、比較的低い圧力であるが、先に実行された工程ST1により、欠陥D内の気体は減少している。故に、工程ST2の実行中の低圧条件下においても多層膜MLの剥がれ及び/又は割れが抑制される。

【0049】

また、第2圧力は第1圧力に比べて低いので、工程ST1において多層膜MLに入射するイオンのエネルギーに比べ、工程ST2において多層膜MLに入射するイオンのエネルギーは大きくなる。また、工程ST2における多層膜MLへのイオンの入射角は、工程ST1における多層膜MLへのイオンの入射角よりも狭くなる。したがって、工程ST2では、高いエッチングレートが得られ、多層膜MLの積層方向に対して高い異方性をもったエッチングが可能となる。

30

【0050】

以下に、工程ST2における各種条件を例示する。

- ・ 処理容器内圧力：10 mTorr (1.333 Pa) 以下
- ・ 処理ガス
 - CH₄ガス：5 sccm ~ 100 sccm
 - Neガス：50 sccm ~ 1000 sccm
- ・ 第1の高周波の電力：100 W ~ 1000 W
- ・ 第2の高周波の電力：200 W ~ 2000 W

【0051】

以上、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、方法MT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によってプラズマを生成するプラズマ処理装置のように、任意のプラズマ処理装置を用いることが可能である。

40

【0052】

以下では、方法MTの効果を確認するために行った実験について説明する。なお、本発明は以下に説明する実験に限定されるものではない。

【0053】

実験においては、図2に示すウエハWと同じ構造のサンプルNo. 1 ~ サンプルNo. 23を準備した。即ち、各サンプルでは、基板SBはSi製であり、絶縁膜ISはSiO₂製であった。また、各サンプルでは、第1層L1はTa製であり、その厚さは5 nmで

50

あった。第2層L2はRu製であり、その厚さは5nmであった。第3層L3は製であり、その厚さは10nmであった。第4層L4はPt製であり、その厚さは5nmであった。第5層L5は、6層のPt薄膜と6層のCo薄膜が交互に積層された構造を有し、各Pt薄膜の厚さは0.3nmであり、各Co薄膜の厚さは0.5nmであった。第5層L5の総厚は、4.8nmであった。第6層L6はCo製であり、その厚さは0.5nmであった。第7層L7はRu製であり、その厚さは0.9nmであった。第8層L8は、2層のPt薄膜と2層のCo薄膜が交互に積層された構造を有し、各Pt薄膜の厚さは0.3nmであり、各Co薄膜の厚さは0.5nmであった。第8層L8の総厚は1.6nmであった。第9層L9はCo製であり、その厚さは0.5nmであった。第10層L10はTa製であり、その厚さは0.4nmであった。第11層L11はCoFeB製であり、その厚さは1.2nmであった。第12層L12はMgO製であり、その厚さは1.3nmであった。第13層L13はCoFeB製であり、その厚さは1.6nmであった。第14層L14はTa製であり、その厚さは5nmであった。また、第15層L15はRu製であり、その厚さは5nmであった。

10

20

30

40

50

【0054】

この実験では、各サンプルに対するスパッタエッチングを、図3に示すプラズマ処理装置10を用いて実行した。スパッタエッチングでは、処理ガスとして、メタンガス及び希ガスの混合ガスを用いた。図7の表に、実験における他の諸条件を示す。この表において、左から二つ目の列は、各サンプルのスパッタエッチング中の処理容器12の内部の圧力を示している。この表の左から二つ目の列における「15/10」との表記は、工程ST1の実行中の処理容器12の内部の圧力が15mTorrであり、工程ST2の実行中の処理容器12の内部の圧力が10mTorrであったことを示している。また、この表において、左から三つ目の列は、各サンプルのスパッタエッチングを行った時間を示している。この表の左から三つ目の列における「A/B」との表記は、工程ST1がA秒間行われ、工程ST2がB秒間行われたことを示している。また、この表において、左から四つ目の列は、各サンプルのスパッタエッチング時の第1の高周波の電力及び第2の高周波の電力を示している。この表の左から四つ目の列の「200/800」との表記は、第1の高周波の電力が200Wであり、第2の高周波の電力が800Wであったことを示している。

【0055】

図7の表に示すように、この実験では、サンプルNo.1~サンプルNo.9のエッチングにおいては、処理容器12の内部の圧力を低圧、即ち、10mTorrに設定した状態で、スパッタエッチングを実行した。また、サンプルNo.10~サンプルNo.23のエッチングにおいては、処理容器12の内部の圧力を高圧、即ち15mTorrに設定した状態でスパッタエッチングを行い、次いで、処理容器12の内部の圧力を低圧、即ち10mTorrに設定した状態で、スパッタエッチングを更に実行した。

【0056】

そして、処理後の各サンプルを光学顕微鏡を用いて観察し、多層膜の剥がれ及び割れが発生したか否かを判定した。判定結果を、図7の表の最右列に示す。図7の表の最右列において、「有」は多層膜に剥がれ又は割れが発生していたことを示しており、「無」は多層膜に剥がれ及び割れが発生していなかったことを示している。図7の表に示すように、サンプルNo.1~No.9のスパッタエッチングでは、高い確率で多層膜に剥がれ又は割れが発生していた。一方、サンプルNo.10~サンプルNo.23のスパッタエッチングでは、多層膜に剥がれ及び割れが発生する確率が低かった。この結果から、処理容器12の内部の圧力を高圧に設定した状態でスパッタエッチングを行い、次いで、処理容器12の内部の圧力を低圧に設定した状態でスパッタエッチングを行うことにより、多層膜に剥がれ又は割れが発生することを抑制することが可能であることが確認された。

【0057】

次いで、サンプルNo.1~サンプルNo.23の各々と同一の二つのサンプルを準備した。そして、準備した二つのサンプルに対して、プラズマ処理装置10を用いてスパッ

タエッチングを行った。スパッタエッチングでは、処理ガスとしてメタンガス及びNeガスの混合ガスを用い、処理容器12の内部の圧力を10mTorrに設定した。また、プラズマ発光分析エンドポイントモニタを用いて、スパッタエッチング中にプラズマが発する種々の波長の光の強度を計測した。

【0058】

図8及び図9は、各サンプルのスパッタエッチング中の各種波長の光の強度（発光強度）の時間変化を示したグラフである。図8及び図9に示すグラフにおいて、横軸はスパッタエッチングの開始時点（0秒）からの経過時間を示しており、縦軸は発光強度を示している。

【0059】

図8及び図9のグラフ中の波長285nmは、Ta及びMgがエッチングされているときに計測される光の波長である。波長285nmの発光強度がピーク強度となった時点は、Mgを含む第12層L12までエッチングが進行していたことを示している。また、波長345nmは、Coがエッチングされているときに計測される光の波長である。波長345nmの発光強度がピーク強度となった時点は、第6層L6～第8層L8の間までエッチングが進行していたことを示している。第6層L6～第8層L8の間と絶縁膜ISとの間の距離は約31nmである。また、図8及び図9に示すように、波長345nmの発光がピーク強度となった時点よりも前の期間に、各波長の発光が大きな変動を有していた。このような変動は、多層膜に剥がれ又は割れが生じたときに観察される。一方、波長345nmの発光がピーク強度となった時点以降の期間では、このような変動は観察されなかった。したがって、膜厚が31nm以下になるまで比較的高圧の条件下で多層膜のスパッタエッチングを行い、しかる後に低圧の条件下で当該多層膜を更にエッチングすることで、多層膜の剥がれ及び割れを更に抑制することが可能であることが確認された。

【符号の説明】

【0060】

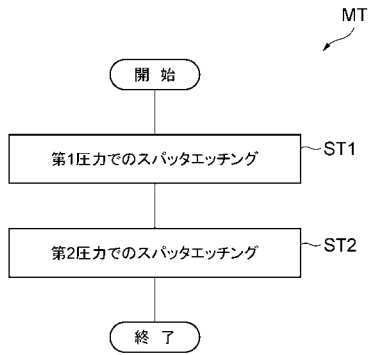
10...プラズマ処理装置、12...処理容器、30...上部電極、PD...載置台、LE...下部電極、ESC...静電チャック、40...ガスソース群、42...バルブ群、44...流量制御器群、50...排気装置、62...第1の高周波電源、64...第2の高周波電源、Cnt...制御部、W...ウエハ、SB...基板、IS...絶縁膜、ML...多層膜、MK...マスク、PL...プラズマ、D...欠陥。

10

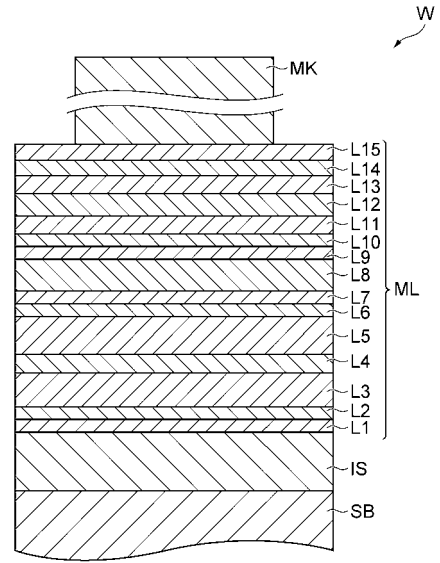
20

30

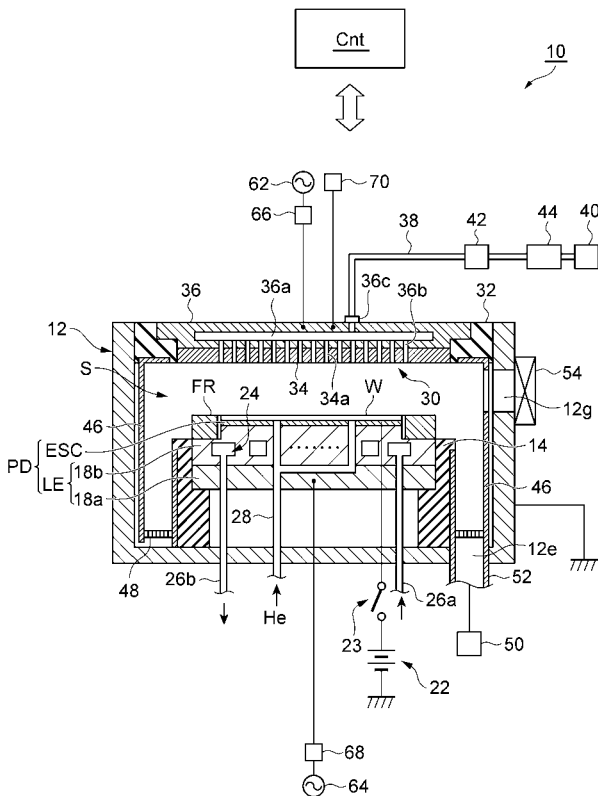
【 図 1 】



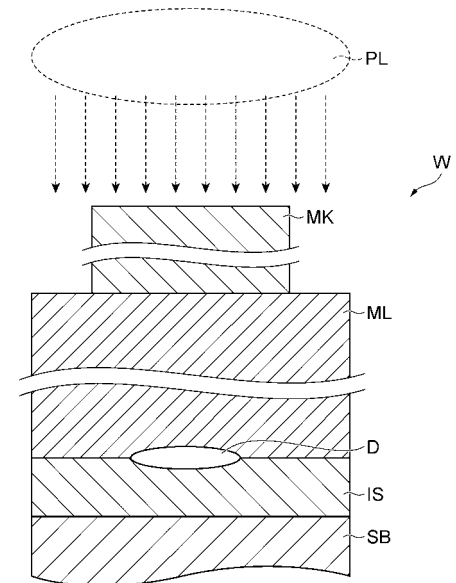
【 図 2 】



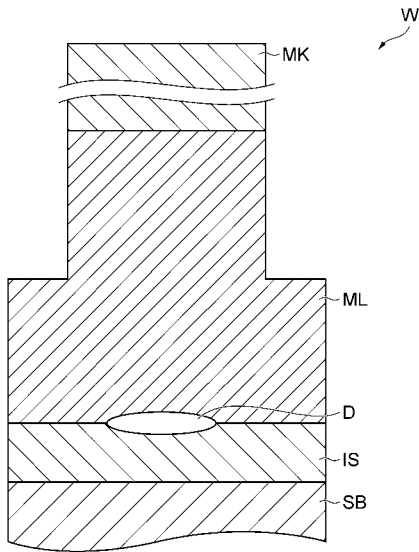
【 図 3 】



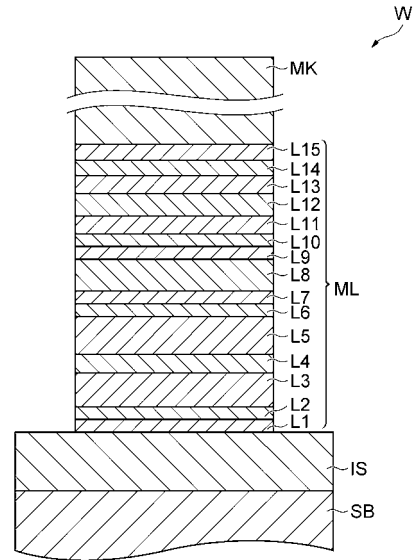
【 図 4 】



【 図 5 】



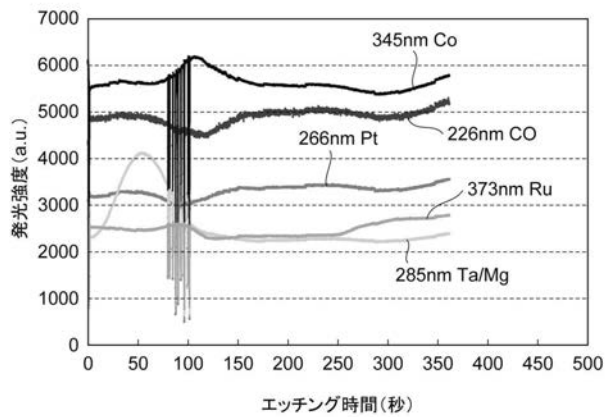
【 図 6 】



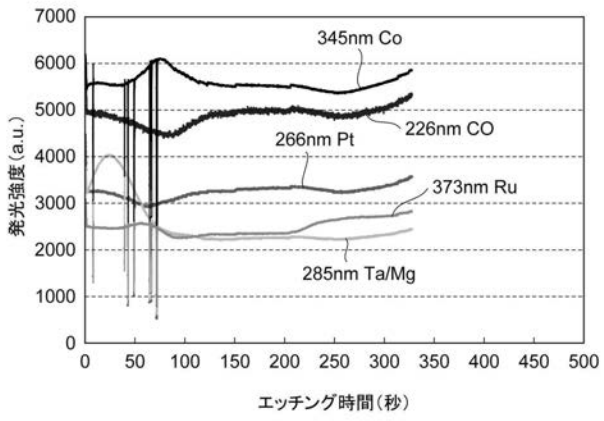
【 図 7 】

サンプルNo	圧力(mTorr)	時間(sec.)	高周波の電力(W)	膜剥がれ・膜の割れ
1	10	365	200/800	無
2	10	365	200/800	有
3	10	425	200/800	有
4	10	375	200/800	有
5	10	325	200/800	有
6	15	425	200/800	無
7	15	425	200/800	無
8	15	425	200/800	無
9	15	425	200/800	無
10	15/10	15/360	200/800	無
11	15/10	15/360	200/800	無
12	15/10	15/360	200/800	有
13	15/10	100/275	200/800	無
14	15/10	100/275	200/800	無
15	15/10	100/275	200/800	無
16	15/10	100/275	200/800	無
17	15/10	100/275	200/800	無
18	15/10	100/275	200/800	無
19	15/10	100/275	200/800	無
20	15/10	100/275	200/800	無
21	15/10	122/253	200/800	無
22	15/10	122/253	200/800	無
23	15/10	122/253	200/800	無

【 図 8 】



【 図 9 】



フロントページの続き

(72)発明者 森本 保

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

Fターム(参考) 4K057 DA11 DA12 DB01 DB02 DB03 DB04 DB05 DB08 DD02 DE14

DE20 DG13 DJ01 DN01

5F004 AA01 AA16 BA09 BB22 BB23 BB25 BB28 CA02 CA06 CB02

DA00 DA23 DB08 DB29 EA05 EA28