

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号  
特許第6077354号  
(P6077354)

(45) 発行日 平成29年2月8日(2017.2.8)

(24) 登録日 平成29年1月20日(2017.1.20)

(51) Int.Cl.  
H O 1 L 21/3065 (2006.01)

F I  
H O 1 L 21/302 I O 5 A

請求項の数 11 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2013-64713 (P2013-64713)	(73) 特許権者	000219967
(22) 出願日	平成25年3月26日 (2013. 3. 26)		東京エレクトロン株式会社
(65) 公開番号	特開2014-192245 (P2014-192245A)		東京都港区赤坂五丁目3番1号
(43) 公開日	平成26年10月6日 (2014. 10. 6)	(74) 代理人	100088155
審査請求日	平成27年12月2日 (2015. 12. 2)		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
		(74) 代理人	100161425
			弁理士 大森 鉄平
		(72) 発明者	沢田石 真之
			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】 プラズマ処理方法及びプラズマ処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

プラズマが生成される処理空間を画成する処理容器及び前記処理空間内に処理ガスを供給するガス供給部を有するプラズマ処理装置を用いて、ポリシリコン層の上に形成されたタングステン層を、マスク層を介してエッチングし、前記タングステン層を所定のパターンにパターニングするプラズマ処理方法であって、

フッ素含有ガスを含む処理ガスを前記処理容器へ供給し、プラズマを発生させて、前記タングステン層を前記タングステン層の上面から前記タングステン層の下面に至る前までエッチングする第1の工程と、

酸素含有ガスを含む処理ガスを前記処理容器へ供給し、プラズマを発生させて、前記タングステン層を処理する第2の工程と、

フッ素含有ガスを含む処理ガスを前記処理容器へ供給し、プラズマを発生させて、前記タングステン層を前記タングステン層の下面に至るまでエッチングする第3の工程と、を含み、

前記プラズマ処理装置が、前記処理容器内に配置される第1電極と、前記第1電極に対して対向して配置される第2電極と、前記第2電極に第1周波数の電力を供給する第1電源部と、前記第2電極に第2周波数の電力を供給する第2電源部と、を備え、

前記第2の工程では、前記第1電源部から前記第2電極へ電力が供給されるとともに前記第2電源部から前記第2電極へ電力が供給されず、かつ、前記第1の工程及び前記第3の工程よりも前記処理空間の圧力が高い、

10

20

プラズマ処理方法。

【請求項 2】

前記マスク層は、SiN層、シリコン酸化層、及びアモルファスシリコン層が積層されたハードマスクである、請求項 1 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 3】

前記ポリシリコン層と前記タングステン層との間にバリアメタル層が形成され、

前記第 3 の工程では、前記バリアメタル層を更にエッチングする請求項 1 又は 2 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 4】

前記第 2 の工程では、前記第 1 の工程及び前記第 3 の工程よりも処理時間が短い請求項 1 ~ 3 の何れか一項に記載のプラズマ処理方法。

10

【請求項 5】

前記酸素含有ガスが、O<sub>2</sub> ガス又は O<sub>3</sub> ガスである請求項 1 ~ 4 の何れか一項に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 6】

前記フッ素含有ガスが、NF<sub>3</sub> ガス、CF<sub>4</sub> ガス又は SF<sub>6</sub> ガスである請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 7】

プラズマ処理装置の処理容器内で、ポリシリコン層、タングステン層、及び、パターンを有するマスク層を含む被処理体をプラズマ処理し、前記マスク層を介して前記タングステン層をエッチングして、前記タングステン層を所定のパターンにパターニングするプラズマ処理方法であって、

20

前記被処理体を前記処理容器内へ準備する工程と、

フッ素含有ガスを含む第 1 の処理ガスを前記処理容器へ供給し、前記第 1 の処理ガスのプラズマを発生させて、前記マスク層の前記パターンを転写するように前記タングステン層を前記タングステン層の上面から前記タングステン層の下面に至る前までエッチングして、該エッチングを終了する第 1 の工程と、

酸素含有ガスを含む第 2 の処理ガスを前記処理容器へ供給し、前記第 2 の処理ガスのプラズマを発生させて、前記タングステン層の表面を酸化処理する第 2 の工程と、

前記第 1 の処理ガスと同一種類の処理ガスを前記処理容器へ供給し、前記第 1 の処理ガスのプラズマを発生させて、前記タングステン層を前記タングステン層の下面に至るまでエッチングする第 3 の工程と、を含み、

30

前記プラズマ処理装置が、前記処理容器内に配置される第 1 電極と、前記第 1 電極に対して対向して配置される第 2 電極と、前記第 2 電極に第 1 周波数の電力を供給する第 1 電源部と、前記第 2 電極に第 2 周波数の電力を供給する第 2 電源部と、を備え、

前記第 2 の工程では、前記第 1 電源部から前記第 2 電極へ電力が供給されるとともに前記第 2 電源部から前記第 2 電極へ電力が供給されず、かつ、前記第 1 の工程及び前記第 3 の工程よりも前記処理容器内の圧力が高い、

プラズマ処理方法。

【請求項 8】

40

前記マスク層は、SiN層、シリコン酸化層、及びアモルファスシリコン層が積層されたハードマスクである、請求項 7 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 9】

前記ポリシリコン層と前記タングステン層との間にバリアメタル層が形成され、

前記第 3 の工程では、前記バリアメタル層を更にエッチングする請求項 7 又は 8 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 10】

前記第 2 の工程では、前記第 1 の工程及び前記第 3 の工程よりも処理時間が短い請求項 7 ~ 9 の何れか一項に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 11】

50

ポリシリコン層の上に形成されたタングステン層を、マスク層を介してエッチングし、  
前記タングステン層を所定のパターンにパターニングするプラズマ処理装置であって、  
プラズマが生成される処理空間を画成する処理容器と、  
前記処理容器内に配置される第 1 電極と、  
前記第 1 電極に対して対向して配置される第 2 電極と、  
前記第 2 電極に第 1 周波数の電力を供給する第 1 電源部と、  
前記第 2 電極に第 2 周波数の電力を供給する第 2 電源部と、  
前記処理空間内に処理ガスを供給するガス供給部と、  
前記ガス供給部を制御する制御部と、を備え、  
前記制御部は、

10

フッ素含有ガスを含む処理ガスを前記処理容器へ供給し、プラズマを発生させて、前記  
タングステン層を前記タングステン層の上面から前記タングステン層の下面に至る前まで  
エッチングする第 1 の工程と、

酸素含有ガスを含む処理ガスを前記処理容器へ供給し、プラズマを発生させて、前記タ  
ングステン層を処理する第 2 の工程と、

フッ素含有ガスを含む処理ガスを前記処理容器へ供給し、プラズマを発生させて、前記  
タングステン層を前記タングステン層の下面に至るまでエッチングする第 3 の工程と、を  
実行し、

前記第 2 の工程では、前記第 1 電源部から前記第 2 電極へ電力が供給されるとともに前  
記第 2 電源部から前記第 2 電極へ電力が供給されず、かつ、前記第 1 の工程及び前記第 3  
の工程よりも前記処理空間の圧力が高い、  
プラズマ処理装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の種々の側面及び実施形態は、プラズマ処理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】

半導体製造装置におけるトランジスタのゲート電極では、ポリシリコン層の上にバリア  
メタル層及びタングステン層を積層させた構造のものが使用されている。このような構造  
のゲート電極を製造する場合に、マスク層を介してバリアメタル層及びタングステン層を  
エッチングするプラズマ処理方法が開示されている（例えば、特許文献 1 参照）。

30

【0003】

特許文献 1 に記載のプラズマ処理方法では、 $N_2$  ガス、 $O_2$  ガス及び  $NF_3$  ガスを含む  
エッチングガスを用いたプラズマエッチングにより、バリアメタル層及びタングステン層  
のエッチングが行われている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

40

【特許文献 1】特開 2003 - 17475 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、上記のプラズマ処理方法では、タングステン層をエッチングする際に、  
ゲート電極の縦方向（深さ方向）のエッチングと共に横方向（水平方向）のエッチングが  
発生する。この横方向のエッチングの結果、メサ形状のゲート電極の幅が細くなってしま  
い所望のトランジスタ構造が形成できず、結果的にトランジスタの電気特性が得られない  
おそれがある。

【0006】

50

本技術分野では、プラズマ処理方法においてタングステン層の横方向のエッチングを抑制することが要請されている。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一側面に係るプラズマ処理方法は、プラズマが生成される処理空間を画成する処理容器及び処理空間内に処理ガスを供給するガス供給部を有するプラズマ処理装置を用いて、ポリシリコン層の上に形成されたタングステン層を、マスク層を介してエッチングし、タングステン層を所定のパターンにパターンニングするプラズマ処理方法であって、フッ素含有ガスを含む処理ガスを処理容器へ供給し、プラズマを発生させて、タングステン層をタングステン層の上面からタングステン層の下面に至る前までエッチングする第1の工程と、酸素含有ガスを含む処理ガスを処理容器へ供給し、プラズマを発生させて、タングステン層を処理する第2の工程と、フッ素含有ガスを含む処理ガスを処理容器へ供給し、プラズマを発生させて、タングステン層をタングステン層の下面に至るまでエッチングする第3の工程と、を含む。

10

【0008】

このプラズマ処理方法によれば、タングステン層をタングステン層の上面からタングステン層の下面に至る前までエッチングする第1の工程と、タングステン層をタングステン層の下面に至るまでエッチングする第3の工程との間に、酸素含有ガスを含む処理ガスを用いたプラズマエッチングによって、タングステン層を処理する第2の工程を含むことにより、タングステン層の側壁にタングステンの酸化物が形成される。タングステンの酸化物は保護膜として作用するため、タングステン層の横方向のエッチングを抑制することができる。

20

【0009】

一実施形態においては、ポリシリコン層とタングステン層との間にバリアメタル層が形成され、第3の工程は、バリアメタル層を更にエッチングしてもよい。

【0010】

一実施形態においては、プラズマ処理装置が、処理容器内に配置される第1電極と、第1電極に対して対向して配置される第2電極と、第2電極に第1周波数の電力を供給する第1電源部と、第2電極に第2周波数の電力を供給する第2電源部と、を備え、第2の工程では、第2電源部から第2電極へ電力が供給されなくてもよい。この形態によれば、タングステン層の側壁が酸化により過剰に変質することを抑制しつつ、タングステン層の横方向のエッチングを抑制することができる。

30

【0011】

一実施形態においては、第2の工程では、第1の工程及び第3の工程よりも処理空間の圧力が高くてもよい。この形態によれば、タングステン層の側壁が酸化により過剰に変質することを抑制しつつ、タングステン層の横方向のエッチングを抑制することができる。

【0012】

一実施形態においては、第2の工程では、第1の工程及び第3の工程よりも処理時間が短くてもよい。この形態によれば、必要以上に時間をかけて処理しなくて済み、生産効率を上げることができる。

40

【0013】

一実施形態においては、酸素含有ガスが、 $O_2$ ガス又は $O_3$ ガスであってもよい。一実施形態においては、フッ素含有ガスが、 $NF_3$ ガス、 $CF_4$ ガス又は $SF_6$ ガスであってもよい。

【0014】

本発明の別の側面に係るプラズマ処理装置は、ポリシリコン層の上に形成されたタングステン層を、マスク層を介してエッチングし、タングステン層を所定のパターンにパターンニングするプラズマ処理装置であって、プラズマが生成される処理空間を画成する処理容器と、処理空間内に処理ガスを供給するガス供給部と、ガス供給部を制御する制御部と、を備え、制御部は、フッ素含有ガスを含む処理ガスを処理容器へ供給し、プラズマを

50

生させて、タングステン層をタングステン層の上面からタングステン層の下面に至る前までエッチングし、酸素含有ガスを含む処理ガスを処理容器へ供給し、プラズマを発生させて、タングステン層を処理し、フッ素含有ガスを含む処理ガスを処理容器へ供給し、プラズマを発生させて、タングステン層をタングステン層の下面に至るまでエッチングする。

【0015】

このプラズマ処理装置によれば、タングステン層をタングステン層の上面からタングステン層の下面に至る前までエッチングする工程と、タングステン層をタングステン層の下面に至るまでエッチングする工程との間に、酸素含有ガスを含む処理ガスを用いたプラズマエッチングによって、タングステン層を処理する工程を含むことにより、タングステン層の側壁にタングステンの酸化物が形成される。タングステンの酸化物は保護膜として作用するため、タングステン層の横方向のエッチングを抑制することができる。

10

【発明の効果】

【0016】

以上説明したように、本発明の種々の側面及び形態によれば、プラズマ処理方法及びプラズマ処理装置においてタングステン層の横方向のエッチングを抑制することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】一実施形態に係るプラズマ処理装置の構成を示す概略断面図である。

【図2】一実施形態に係るプラズマ処理方法を用いたエッチングの工程を示すフロー図である。

20

【図3】図2のエッチングの工程を示す概略断面図である。

【図4】(a)は酸化処理をせずに第2のドライエッチングを行った場合の被処理体の概略断面図、(b)は酸化処理をしてから第2のドライエッチングを行った場合の被処理体の概略断面図である。

【図5】比較例1及び実施例1におけるプラズマ処理後のタングステン層の形状を比較する表である。

【図6】タングステン層の形状に関する指標を説明する図である。

【図7】実施例2～6で測定されたタングステン層の形状を比較する表である。

【図8】実施例4及び実施例6においてタングステン層の側壁が過剰に酸化されたことを示す概略断面図である。

30

【発明を実施するための形態】

【0018】

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ることとする。

【0019】

図1は、一実施形態に係るプラズマ処理装置の構成を示す概略図である。図1に示すプラズマ処理装置10は、容量結合型平行板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は、例えば、その表面が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。

40

【0020】

処理容器12の底部上には、絶縁材料から構成された円筒上の支持部14が配置されている。この支持部14は、例えばアルミニウムといった金属から構成された基台16を支持している。この基台16は、処理容器12内に設けられており、一実施形態においては、下部電極(第2電極)を構成している。

【0021】

基台16の上面には、静電チャック18が設けられている。静電チャック18は基台16と共に一実施形態の載置台を構成している。静電チャック18は、導電膜である電極20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。電極20には、直流電源22が電氣的に接続されている。この静電チャック18は、直流電源22からの直流電

50

圧により生じたクーロン力等の静電力により被処理体（ワークピース）Xを吸着保持することができる。

【0022】

基台16の上面であって、静電チャック18の周囲には、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、被エッチング層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、シリコン又は石英から構成され得る。

【0023】

基台16の内部には、冷媒室24が設けられている。冷媒室24には、外部に設けられたチラーユニットから配管26a、26bを介して所定温度の冷媒、例えば冷却水が循環供給される。このように循環される冷媒の温度を制御することにより、静電チャック18上に載置された被処理体X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18の上面と被処理体Xの裏面との間に供給する。

【0025】

また、処理容器12内には、上部電極30（第1電極）が設けられている。この上部電極30は、下部電極である基台16の上方において、当該基台16と対向配置されており、基台16と上部電極30とは、互いに略平行に設けられている。これら上部電極30と下部電極を構成する基台16との間には、被処理体Xにプラズマエッチングを行うための処理空間Sが画成されている。

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。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、複数のガス吐出孔34aを画成している。この電極板34は、ジュール熱の少ない低抵抗の導電体又は半導体から構成され得る。

【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、スプリッタ43、バルブ42a～42d及びマスフローコントローラ（MFC）44a～44dを介して、ガス源40a～40dが接続されている。なお、MFCの代わりにFCSが設けられていてもよい。ガス源40aは、例えば、CF<sub>4</sub>、NF<sub>3</sub>又はSF<sub>6</sub>等のフッ素含有ガスを含む処理ガスのガス源である。ガス源40bは、例えば、Arガスのような希ガスを含む処理ガスのガス源である。ガス源40cは、例えば、O<sub>2</sub>又はO<sub>3</sub>等の酸素含有ガスを含む処理ガスのガス源である。ガス源40dは、例えば、窒素を含む処理ガスのガス源である。これらのガス源40a～40dからの処理ガスは、ガス供給管38からガス拡散室36aに至り、ガス通流孔36b及びガス吐出孔34aを介して処理空間Sに吐出される。ガス源40a～40d、バルブ42a～42d、MFC44a～44d、スプリッタ43、ガス供給管38、並びに、ガス拡散室36a、ガス通流孔36b、及びガス吐出孔34aを画成する上部電極30は、一実施形態におけるガス供給部を構成している。

40

【0029】

また、プラズマ処理装置10は、接地導体12aを更に備え得る。接地導体12aは、略円筒状の接地導体であり、処理容器12の側壁から上部電極30の高さ位置よりも上方

50

に延びるように設けられている。

【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。また、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、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にエッチングの副生成物(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 $Y_2O_3$ 等のセラミックスを被覆することにより構成され得る。

【0031】

処理容器12の底部側においては、支持部14と処理容器12の内壁との間に排気プレート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の下方において処理容器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の側壁には被処理体X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。

【0032】

また、処理容器12の内壁には、導電性部材(GNDブロック)56が設けられている。導電性部材56は、高さ方向において被処理体Xと略同じ高さに位置するように、処理容器12の内壁に取り付けられている。この導電性部材56は、グランドにDC的に接続されており、異常放電防止効果を発揮する。なお、導電性部材56はプラズマ生成領域に設けられていればよく、その設置位置は図1に示す位置に限られるものではない。例えば、導電性部材56は、基台16の周囲に設けられる等、基台16側に設けられてもよく、また上部電極30の外側にリング状に設けられる等、上部電極30の近傍に設けられてもよい。

【0033】

一実施形態においては、プラズマ処理装置10は、下部電極を構成する基台16に高周波電力を供給するための給電棒58を更に備えている。給電棒58は、一実施形態に係る給電ラインを構成している。給電棒58は、同軸二重管構造を有しており、棒状導電部材58a及び筒状導電部材58bを含んでいる。棒状導電部材58aは、処理容器12外から処理容器12の底部を通して処理容器12内まで略鉛直方向に延在しており、当該棒状導電部材58aの上端は、基台16に接続されている。また、筒状導電部材58bは、棒状導電部材58aの周囲を囲むように当該棒状導電部材58aと同軸に設けられており、処理容器12の底部に支持されている。これら棒状導電部材58a及び筒状導電部材58bの間には、略環状の2枚の絶縁部材58cが介在して、棒状導電部材58aと筒状導電部材58bとを電氣的に絶縁している。

【0034】

また、一実施形態において、プラズマ処理装置10は、整合器70、71を更に備え得る。整合器70、71には、棒状導電部材58a及び筒状導電部材58bの下端が接続されている。この整合器70、71には、第1の高周波電源62(第1電源部)及び第2の高周波電源64(第2電源部)がそれぞれ接続されている。第1の高周波電源62は、プラズマ生成用の第1の高周波(RF: Radio Frequency)電力(第1周波数の電力)を発生する電源であり、27~100MHzの周波数、一例においては40MHzの高周波電力を発生する。また、第1の高周波電力は、一例においては0~2000Wである。第2の高周波電源64は、基台16に高周波バイアスを印加し、被処理体Xにイオンを引き込むための第2の高周波電力(第2周波数の電力)を発生する。第2の高周波電力の周波数は、400kHz~13.56MHzの範囲内の周波数であり、一例においては3MHzである。また、第2の高周波電力は、一例においては0~5000Wである。また、直流電源60は、ローパスフィルタを介して、上部電極30に接続されている。この直流電源60は、負の直流電圧を上部電極30に出力する。上記構成によって、下

10

20

30

40

50

部電極を構成する基台 16 に二つの異なる高周波電力を供給し、上部電極 30 に直流電圧を印加し得る。

【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 C n t を更に備え得る。この制御部 C n t 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、例えば電源系やガス供給系、駆動系及び電源系等を、制御する。この制御部 C n t 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 C n t 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 の各構成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

【0036】

このプラズマ処理装置 10 を用いてエッチングを行うときには、静電チャック 18 上に被処理体 X が載置される。被処理体 X は、被エッチング層と、当該被エッチング層上に設けられたレジストマスクを有し得る。そして、排気装置 50 により処理容器 12 内を排気しながら、ガス源 40 a ~ 40 d からの処理ガスを所定の流量で処理容器 12 内に供給し、処理容器 12 内の圧力を、例えば 0 . 1 ~ 50 P a の範囲内に設定する。

【0037】

次いで、第 1 の高周波電源 62 が、第 1 の高周波電力を基台 16 に供給する。また、第 2 の高周波電源 64 が、第 2 の高周波電力を基台 16 に供給する。さらに、直流電源 60 が、第 1 の直流電圧を上部電極 30 に供給する。これにより、上部電極 30 と基台 16 との間に高周波電界が形成され、処理空間 S に供給された処理ガスが、プラズマ化する。このプラズマで生成される正イオンやラジカルによって被処理体 X の被エッチング層がエッチングされる。

20

【0038】

以下、図 2 及び図 3 を参照して、上述したプラズマ処理装置 10 を用いたプラズマ処理方法の一実施形態について説明する。図 2 は一実施形態に係るプラズマ処理方法を用いたエッチングの工程を示すフロー図、図 3 は図 2 のエッチングの工程を示す概略断面図である。図 2 に示すエッチングの工程における制御は、制御部 C n t により実行される。一実施形態のプラズマ処理方法は、上述したプラズマ処理装置 10 を用いて、ポリシリコン層 P の上に形成されたタングステン層 W を、マスク層 1 を介してエッチングすることにより、タングステン層 W を所定のパターンにパターンニングする。

30

【0039】

図 2 に示すように、まず工程 S1 において被処理体 X が準備され、被処理体 X が処理容器 12 の静電チャック 18 に載置される。図 3 の ( a ) に示すように、被処理体 X は、基板 B 上に、ポリシリコン層 P、バリアメタル (例えば、タングステンナイトライド) 層 W N 及びタングステン層 W が積層された多層膜材料である。タングステン層 W 上には、所定の平面形状を有するマスク層 1 が配置されている。マスク層 1 は、タングステン層 W 上に、S i N 層 7、シリコン酸化層 (例えば、T E O S 層) 5 及び a - S i 層 (アモルファスシリコン層) 3 が積層されて形成されたハードマスクである。以下、図 3 の ( a ) に示す被処理体 X を例に挙げて、一実施形態のプラズマ処理方法について説明する。

40

【0040】

第 1 のエッチング工程 S2 (第 1 の工程: メインエッチング) においては、まず、ガス供給部から処理容器 12 にフッ素含有ガスを含む第 1 の処理ガスを供給し、プラズマを発生させて、タングステン層 W を、タングステン層 W の下面に至る前までエッチングする。すなわち、バリアメタル層 W N が露出し始めるか、露出し始める直前までタングステン層 W をエッチングする。この際に用いられる第 1 の処理ガスは、例えば、N F<sub>3</sub> ガス、C F<sub>4</sub> ガス又は S F<sub>6</sub> ガス等である。第 1 のエッチング工程 S2 において、フッ素含有ガスを含む第 1 の処理ガスにより、タングステン層 W のうち、マスク層 1 で覆われていない領域

50



がエッチングされる。また、マスク層 1 の最上位層にある a - S i 層 3 がエッチングされる。第 1 のエッチング工程 S 2 においては、タングステン層 W の下面に至る前にエッチングが終了する。このため、第 1 のエッチング工程 S 2 が終了した段階で、被処理体 X は図 3 の ( b ) の構成となる。なお、第 1 のエッチング工程 S 2 においてマスク層 1 がエッチングされる領域は、a - S i 層 3 の一部であってもよく、a - S i 層 3 の下面まで至ってもよい。また、後述する第 2 のエッチング工程 S 4 においてエッチングに用いるためのマスク層 1 が確保できる限り、a - S i 層 3 の下に配置された T E O S 層 5 及び S i N 層 7 に至ってエッチングされてもよい。

#### 【 0 0 4 1 】

ここで、第 1 のエッチング工程 S 2 をプラズマ処理装置 1 0 で実施する場合の処理条件の一例を以下に示す。

( 第 1 のエッチング工程 S 2 )

処理空間 S の圧力 : 5 m T r r ( 0 . 6 6 7 P a )

第 1 の高周波電源 6 2 の電力 : 1 0 0 W

第 2 の高周波電源 6 4 の電力 : 2 0 0 W

第 1 の処理ガスの流量

N F <sub>3</sub> ガス : 2 0 ~ 3 0 s c c m

A r ガス : 8 0 ~ 1 0 0 s c c m

O <sub>2</sub> ガス : 3 0 ~ 5 0 s c c m

処理時間 : 6 0 秒

#### 【 0 0 4 2 】

一実施形態のプラズマ処理方法では、続く酸化処理工程 S 3 ( 第 2 の工程 : アッシング ) において、ガス供給部から処理容器 1 2 に酸素含有ガスを含む第 2 の処理ガスを供給し、プラズマを発生させて、タングステン層 W の側壁を酸化処理する。この際に用いられる第 2 の処理ガスは、例えば、O <sub>2</sub> ガス又は O <sub>3</sub> ガス等である。酸化処理工程 S 3 において、酸素含有ガスを含む第 2 の処理ガスにより、タングステン層 W の側壁が酸化処理される。酸化処理工程 S 3 においては、被処理体 X はエッチングされていない。このため、酸化処理工程 S 3 が終了した段階で、被処理体 X は図 3 の ( b ) に示す構成のままである。ただし、実際には、酸化処理工程を経たことにより、タングステン層 W の側壁 1 1 に酸化物が形成されている。このタングステン層 W の側壁 1 1 において形成された酸化物の詳細については後述する。

#### 【 0 0 4 3 】

ここで、酸化処理工程 S 3 をプラズマ処理装置 1 0 で実施する場合の処理条件の一例を以下に示す。なお、以下に示す処理条件のように、一実施形態においては、酸化処理工程 S 3 では、第 2 の高周波電源 6 4 から電力が供給されていない。

( 酸化処理工程 S 3 )

処理空間 S の圧力 : 2 0 0 m T r r ( 2 6 . 7 P a )

第 1 の高周波電源 6 2 の電力 : 2 0 0 W

第 2 の高周波電源 6 4 の電力 : 0 W

第 2 の処理ガスの流量

O <sub>2</sub> ガス : 5 0 0 s c c m

処理時間 : 1 0 秒

#### 【 0 0 4 4 】

一実施形態のプラズマ処理方法では、続く第 2 のエッチング工程 S 4 ( 第 3 工程 : オーバーエッチング ) において、ガス供給部から処理容器 1 2 にフッ素含有ガスを含む第 3 の処理ガスを供給し、プラズマを発生させて、タングステン層 W を、タングステン層 W の下面に至るまでエッチングする。この際に用いられる第 3 の処理ガスは、例えば、N F <sub>3</sub> ガス、C F <sub>4</sub> ガス又は S F <sub>6</sub> ガス等である。一実施形態においては、タングステン層 W の下面に至るまでエッチングされると共に、タングステン層 W の下に位置するバリアメタル層 W N が更にエッチングされる。第 2 のエッチング工程 S 4 において、フッ素含有ガスを含

む第3の処理ガスにより、タングステン層W及びバリアメタル層WNのうち、マスク層1で覆われていない領域がエッチングされる。また、マスク層1のTEOS層5の一部がエッチングされる。第2のエッチング工程S4が終了した段階で、被処理体Xは図3の(c)の構成となる。なお、第2のエッチング工程S4においてマスク層1がエッチングされる領域は、TEOS層5の一部に限らず、TEOS層5の下面まで至ってもよく、タングステン層Wに至らない限り更にその下に配置されたSiN層7まで至ってもよい。また、前述の第1のエッチング工程S3においてマスク層1がエッチングされた領域に応じて、第2のエッチング工程S4においてマスク層1がエッチングされる領域は変化する。例えば、第1のエッチング工程S3においてa-Si層3の全体のうち上層～中層がエッチングされたとすると、第2のエッチング工程S4においてはa-Si層3の中層より下側の領域がエッチングされる。

10

#### 【0045】

ここで、第2のエッチング工程S4をプラズマ処理装置10で実施する場合の処理条件の一例を以下に示す。

(第2のエッチング工程S4)

処理空間Sの圧力：10mTorr(1.33Pa)

第1の高周波電源62の電力：100W

第2の高周波電源64の電力：200W

第3の処理ガスの流量

NF<sub>3</sub>ガス：4～6sccm

Arガス：100～120sccm

O<sub>2</sub>ガス：30～50sccm

処理時間：30秒

#### 【0046】

上述した工程S2～S4に示すように、一実施形態のプラズマ処理方法では、酸化処理工程S3における処理時間は、第1のエッチング工程S2及び第2のエッチング工程S4における処理時間よりも短くなっている。また、酸化処理工程S3における処理空間Sの圧力は、第1のエッチング工程S2及び第2のエッチング工程S4における処理空間Sの圧力よりも高くなっている。

20

#### 【0047】

第2のエッチング工程S4が終了すると、図2に示すエッチングの工程が終了する。このようにして、タングステン層Wが所定のパターンにパターニングされる。以上のように、一実施形態のプラズマ処理方法では、エッチングの工程を第1のエッチング工程S2及び第2のエッチング工程S4の二段階に分け、更にこれらの工程の間に、酸化処理工程S3を追加している。次に、このようなプラズマ処理方法を用いた処理により得られるタングステン層Wの形状について、図4を参照して詳細に説明する。

30

#### 【0048】

図4の(a)は酸化処理をせずに第2のドライエッチングを行った場合の被処理体の概略断面図、図4の(b)は酸化処理をしてから第2のドライエッチングを行った場合の被処理体の概略断面図である。図4の(a)に示すように、第1のエッチング工程S2の後、酸化処理工程S3を経ずに第2のエッチング工程S4を行った場合には、タングステン層Wの上端部の幅が細くなっている。これは、タングステン層Wの上端部が下端部に比べてフッ素を含む処理ガスに長く晒されることにより、横方向にもエッチングされたためと考えられる。一方、図4の(b)に示すように、第1のエッチング工程S2の後、酸化処理工程S3を経てから第2のエッチング工程S4を行った場合には、タングステン層Wの側壁11には、酸化物が形成されていると共に、タングステン層Wの上端部の幅が細くない。すなわち、酸化処理工程S3において形成された酸化物が、第2のエッチング工程S4において保護膜として機能し、タングステン層Wの周囲で横方向におけるエッチングを抑制していることにより、タングステン層Wの上端部の幅が細くならないようにすることができる。

40

50

## 【 0 0 4 9 】

以上、一実施形態に係るプラズマ処理方法及びプラズマ処理装置 10 では、タングステン層 W をタングステン層 W の上面からタングステン層 W の下面に至る前までエッチングする第 1 のエッチング工程 S 2 と、タングステン層 W をタングステン層 W の下面に至るまでエッチングする第 2 のエッチング工程 S 4 との間に、酸素含有ガスを含む処理ガスを用いたプラズマエッチングによって、タングステン層 W を処理する酸化処理工程 S 3 を含むことにより、タングステン層 W の側壁 11 にタングステンの酸化物が形成される。タングステンの酸化物は保護膜として作用するため、タングステン層 W の横方向のエッチングを抑制することができる。これにより、タングステン層 W の上端部における幅が細くならないようにすることが可能となる。

10

## 【 0 0 5 0 】

また、一実施形態に係るプラズマ処理方法では、プラズマ処理装置 10 が、処理容器 12 内に配置される上部電極 30 と、上部電極 30 に対して対向して配置される下部電極を構成する基台 16 と、基台 16 にプラズマ生成用の第 1 の高周波電力を供給する第 1 の高周波電源 62 と、基台 16 に高周波バイアスを印加し、被処理体 X にイオンを引き込むための第 2 の高周波電力を供給する第 2 の高周波電源 64 と、を備え、酸化処理工程 S 3 では、第 2 の高周波電源 64 から基台 16 へ電力が供給されなくなっている。このため、タングステン層 W の側壁 11 が酸化により顕著に変質することを抑制しつつ、タングステン層 W の横方向のエッチングを抑制することができる。なお、酸化処理工程 S 3 において第 2 の高周波電力を供給しないことにより、タングステン層 W の側壁 11 が酸化により顕著

20

## 【 0 0 5 1 】

また、一実施形態に係るプラズマ処理方法における酸化処理工程 S 3 では、第 1 のエッチング工程 S 2 及び第 2 のエッチング工程 S 4 よりも処理空間 S の圧力が高くなっている。このため、タングステン層 W の側壁 11 が酸化により顕著に変質することを抑制しつつ、タングステン層 W の横方向のエッチングを抑制することができる。なお、酸化処理工程 S 3 において第 1 のエッチング工程 S 2 及び第 2 のエッチング工程 S 4 よりも処理空間 S の圧力を高くすることにより、タングステン層 W の側壁 11 が酸化により顕著に変質することを抑制できる効果については、後述の実施例において説明する。

## 【 0 0 5 2 】

また、一実施形態に係るプラズマ処理方法における酸化処理工程 S 3 では、第 1 のエッチング工程 S 2 及び第 2 のエッチング工程 S 4 よりも処理時間が短くなっている。このため、必要以上に時間をかけて処理しなくて済み、生産効率を上げることができる。なお、酸化処理工程 S 3 において第 1 のエッチング工程 S 2 及び第 2 のエッチング工程 S 4 よりも処理時間を短くできることについては、後述の実施例において説明する。

30

## 【 0 0 5 3 】

以上、本発明の好適な実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、各請求項に記載した要旨を変更しない範囲で変形し、又は他のものに適用したものであってもよい。

## 【 0 0 5 4 】

例えば、上述した実施形態では、下部電極を構成する基台 16 に二つの高周波電源が接続されているが、基台 16 と上部電極 30 のうち一方に第 1 の高周波電源が接続され、他方に第 2 の高周波電源が接続されていてもよい。

40

## 【 0 0 5 5 】

## 〔 実施例 〕

以下、上記効果を説明すべく本発明者が実施した実施例について述べるが、本発明は以下の実施例に限定されるものではない。

## 【 0 0 5 6 】

（酸化処理工程 S 3 を加えることによる効果の確認）

実施例 1 では、図 1 に示すプラズマ処理装置 10 により、図 2 に示すエッチングの工程

50

によりプラズマ処理を行った。実施例 1 の工程 S 2 ~ S 4 は、以下に示す処理条件とした。

【 0 0 5 7 】

( 実施例 1 の第 1 のエッチング工程 S 2 )

処理空間 S の圧力：5 mTorr ( 0 . 6 6 7 P a )

第 1 の高周波電源 6 2 の電力：1 0 0 W

第 2 の高周波電源 6 4 の電力：2 0 0 W

第 1 の処理ガスの流量

N F <sub>3</sub> ガス：2 0 ~ 3 0 s c c m

A r ガス：8 0 ~ 1 0 0 s c c m

O <sub>2</sub> ガス：3 0 ~ 5 0 s c c m

処理時間：6 0 秒

( 実施例 1 の酸化処理工程 S 3 )

処理空間 S の圧力：2 0 0 mTorr ( 2 6 . 7 P a )

第 1 の高周波電源 6 2 の電力：2 0 0 W

第 2 の高周波電源 6 4 の電力：0 W

第 2 の処理ガスの流量

O <sub>2</sub> ガス：5 0 0 s c c m

処理時間：1 0 秒

( 実施例 1 の第 2 のエッチング工程 S 4 )

処理空間 S の圧力：1 0 mTorr ( 1 . 3 3 P a )

第 1 の高周波電源 6 2 の電力：1 0 0 W

第 2 の高周波電源 6 4 の電力：2 0 0 W

第 3 の処理ガスの流量

N F <sub>3</sub> ガス：4 ~ 6 s c c m

A r ガス：1 0 0 ~ 1 2 0 s c c m

O <sub>2</sub> ガス：3 0 ~ 5 0 s c c m

処理時間：3 0 秒

【 0 0 5 8 】

比較例 1 では、図 2 に示すエッチングの工程のうち、酸化処理工程 S 3 を行わなかった。すなわち、比較例 1 では、第 1 のエッチング工程 S 2 の後、酸化処理工程 S 3 を経ずに第 2 のエッチング工程 S 4 に進む工程によりプラズマ処理を行った。

【 0 0 5 9 】

上記工程によって得られた実施例 1 及び比較例 1 の断面を走査型電子顕微鏡 ( S E M ) で観察し、タングステン層 W の形状を確認した。ここでは、被処理体 X の中央部 ( C e n t e r ) 及び端部 ( E d g e ) に形成されたタングステン層 W の形状をそれぞれ確認した。測定結果を図 5 に示す。図 5 は、比較例 1 及び実施例 1 におけるプラズマ処理後のタングステン層 W の形状を比較する表である。図 5 の 1 ~ 3 列目は、それぞれ、図 2 に示す第 1 のエッチング工程 S 2 を行った後の結果、比較例 1 を行った後の結果 ( 図 4 の ( a ) に対応 ) 及び実施例 1 を行った後の結果 ( 図 4 の ( b ) に対応 ) を示している。図 5 では、タングステン層 W の形状に関する指標として、タングステン層 W の上端部の幅 ( T o p C D ) を用いている。この指標について、図 6 を参照して説明する。

【 0 0 6 0 】

図 6 は、タングステン層 W の形状に関する指標を説明する図である。図 6 はタングステン層 W の上端部の幅に関する指標を示している。図 6 に示すように、タングステン層 W の上端部の幅 ( T o p C D ) は、タングステン層 W の S i N 層 7 と接する側の端部における横方向の幅である。

【 0 0 6 1 】

再び図 5 に戻り、比較例 1 及び実施例 1 におけるプラズマ処理後のタングステン層 W の形状について説明する。以下、タングステン層 W の下端部と比較して、より誤差が少ない

10

20

30

40

50

被処理体 X の中央部におけるタングステン層 W の上端部の幅を比較対象とした。なお、タングステン層 W の下端部は丸みを帯びているため、その値にばらつきが生じやすい。図 5 に示すように、被処理体 X の中央部におけるタングステン層 W の上端部の幅は、第 1 のエッチング工程 S 2 を行った後は  $16.4 \text{ [nm]}$  であった。これに対し、比較例 1 におけるプラズマ処理後は、 $14.0 \text{ [nm]}$  であった。よって、比較例 1 におけるプラズマ処理後は、第 1 のエッチング工程 S 2 後と比較して、タングステン層 W の上端部の幅が  $2.4 \text{ [nm]}$  小さくなった。一方、実施例 1 におけるプラズマ処理後は、タングステン層 W の幅が  $16.1 \text{ [nm]}$  であった。よって、実施例 1 におけるプラズマ処理後は、第 1 のエッチング工程 S 2 後と比較して、タングステン層 W の上端部の幅が  $0.3 \text{ [nm]}$  小さくなった。以上より、実施例 1 の方が、比較例 1 よりも、被処理体 X の中央部におけるタングステン層 W の上端部の幅が細くならなかった。

10

#### 【0062】

同様にして、被処理体 X の端部におけるタングステン層 W の上端部の幅を比較する。図 5 に示すように、被処理体 X の端部におけるタングステン層 W の上端部の幅は、第 1 のエッチング工程 S 2 を行った後は  $16.8 \text{ [nm]}$  であった。これに対し、比較例 1 におけるプラズマ処理後は、 $14.4 \text{ [nm]}$  であった。よって、比較例 1 におけるプラズマ処理後は、第 1 のエッチング工程 S 2 後と比較して、タングステン層 W の上端部の幅が  $2.4 \text{ [nm]}$  小さくなった。一方、実施例 1 におけるプラズマ処理後は、タングステン層 W の幅が  $16.3 \text{ [nm]}$  であった。よって、実施例 1 におけるプラズマ処理後は、第 1 のエッチング工程 S 2 後と比較して、タングステン層 W の上端部の幅が  $0.5 \text{ [nm]}$  小さくなった。以上より、実施例 1 の方が、比較例 1 よりも、被処理体 X の端部におけるタングステン層 W の上端部の幅が細くならなかった。

20

#### 【0063】

以上、メインエッチング工程（第 1 のエッチング工程 S 2）とオーバーエッチング工程（第 2 のエッチング工程 S 4）との間に、アッシング工程（酸化処理工程 S 3）を行うことで、タングステン層 W の上端部の幅の減少を抑制することができることが確認された。また、上記効果は、被処理体 X の中央部及び端部において同様であり、タングステン層 W の形成位置に依存することなく奏することが確認された。

#### 【0064】

（酸化処理工程 S 3 の処理条件の最適化）

30

（酸化処理工程 S 3 の圧力）

酸化処理工程 S 3 の圧力がタングステン層 W の形状に影響するか否か検証した。実施例 2 は、実施例 1 と同じ処理条件とした。実施例 3 及び 4 は、酸化処理工程 S 3 のみ、実施例 2 と異なる処理条件とし、その他の条件は実施例 2 と同一とした。実施例 3 及び実施例 4 の酸化処理工程 S 3 は、それぞれ以下に示す処理条件とした。

#### 【0065】

（実施例 3 の酸化処理工程 S 3）

処理空間 S の圧力： $20 \text{ mTorr} (2.67 \text{ Pa})$

第 1 の高周波電源 6 2 の電力： $200 \text{ W}$

第 2 の高周波電源 6 4 の電力： $0 \text{ W}$

40

第 2 の処理ガスの流量

$\text{O}_2$  ガス： $500 \text{ sccm}$

処理時間： $10 \text{ 秒}$

（実施例 4 の酸化処理工程 S 3）

処理空間 S の圧力： $10 \text{ mTorr} (1.33 \text{ Pa})$

第 1 の高周波電源 6 2 の電力： $200 \text{ W}$

第 2 の高周波電源 6 4 の電力： $0 \text{ W}$

第 2 の処理ガスの流量

$\text{O}_2$  ガス： $500 \text{ sccm}$

処理時間： $10 \text{ 秒}$

50

すなわち、実施例 3 及び実施例 4 は、実施例 2 よりも酸化処理工程 S 3 の処理空間 S の圧力を低くした。

【 0 0 6 6 】

実施例 2 ~ 4 の断面を S E M で観察し、タングステン層 W の形状を確認した。ここでは、被処理体 X の中央部及び端部に形成されたタングステン層 W の形状をそれぞれ確認した。測定結果を図 7 に示す。図 7 は、実施例 2 ~ 6 で測定されたタングステン層の形状を比較する表である。図 7 に示すように、被処理体 X の中央部におけるタングステン層 W の上端部の幅は、処理空間 S の圧力が 2 0 0 m T o r r の実施例 2 では 1 3 . 6 [ n m ] であった。一方、処理空間 S の圧力が 2 0 m T o r r の実施例 3 では 1 4 . 2 [ n m ]、処理空間 S の圧力が 1 0 m T o r r の実施例 4 では 1 4 . 5 [ n m ] であった。同様にして、被処理体 X の端部におけるタングステン層 W の上端部の幅は、処理空間 S の圧力が 2 0 0 m T o r r の実施例 2 では 1 3 . 4 [ n m ] であった。一方、処理空間 S の圧力が 2 0 m T o r r の実施例 3 では 1 4 . 1 [ n m ]、処理空間 S の圧力が 1 0 m T o r r の実施例 4 では 1 4 . 2 [ n m ] であった。よって、処理空間 S の圧力を低くした方が、タングステン層 W の上端部が細くならなかった。ここで、S E M の反射電子像を用いて組成を詳細に分析した。その結果を図 8 に示す。図 8 は、実施例 4 及び実施例 6 においてタングステン層の側壁が過剰に酸化されたことを示す概略断面図である。図 8 に示すように、処理空間 S の圧力を 1 0 m T o r r とした実施例 4 においては、実施例 2 , 3 に比べてタングステン層 W の側壁 1 1 がより酸化されていることが確認された。これは、処理空間 S の圧力を低くすることによりエッチングの異方性が高まり、処理ガスとしての  $O_2$  が、より深い位置まで到達することからタングステン層 W の側壁 1 1 に届きやすくなり、酸化が進んだためと考えられる。このようにタングステン層 W の側壁 1 1 の酸化が顕著となると、タングステン層 W 自体の幅が減ってしまうため、設計値通りのデバイスができないこととなり好ましくない。よって、酸化処理工程 S 3 における処理空間 S の圧力を 1 0 m T o r r よりも高くしておく必要がある。ここで、一般的に、エッチングの工程は 1 0 m T o r r 以下の低圧において行われるため、酸化処理工程 S 3 における処理空間 S の圧力は、第 1 のエッチング工程 S 2 における処理空間 S の圧力 5 m T o r r 及び第 2 のエッチング工程 S 4 における処理空間 S の圧力 1 0 m T o r r よりも高くしておく必要がある。以上より、酸化処理工程 S 3 における処理空間 S の圧力を、第 1 のエッチング工程 S 2 及び第 2 のエッチング工程 S 4 における処理空間 S の圧力よりも高くしておくことで、タングステン層 W の側壁 1 1 が酸化により顕著に変質することを抑制しつつ、タングステン層 W の横方向のエッチングを抑制することができることが確認された。

【 0 0 6 7 】

( 酸化処理工程 S 3 の処理時間 )

酸化処理工程 S 3 の処理時間がタングステン層 W の形状に影響するか否か検証した。実施例 5 は、酸化処理工程 S 3 のみ実施例 2 と異なる処理条件とし、その他の条件は実施例 2 と同一とした。実施例 5 の酸化処理工程 S 3 は、以下に示す処理条件とした。

【 0 0 6 8 】

( 実施例 5 の酸化処理工程 S 3 )

処理空間 S の圧力 : 2 0 0 m T o r r ( 2 6 . 7 P a )

第 1 の高周波電源 6 2 の電力 : 2 0 0 W

第 2 の高周波電源 6 4 の電力 : 0 W

第 2 の処理ガスの流量

$O_2$  ガス : 5 0 0 s c c m

処理時間 : 2 0 秒

すなわち、実施例 5 では、実施例 2 よりも酸化処理工程 S 3 の処理時間を長くした。

【 0 0 6 9 】

実施例 5 の断面を S E M で観察し、タングステン層 W の形状を確認した。ここでは、被処理体 X の中央部及び端部に形成されたタングステン層 W の形状をそれぞれ確認した。測定結果を図 7 に示す。図 7 に示すように、被処理体 X の中央部におけるタングステン層 W

の上端部の幅は、処理時間が10秒の実施例2では13.6[nm]であった。一方、処理時間が20秒の実施例5では13.3[nm]であった。同様に、被処理体Xの端部におけるタングステン層Wの上端部の幅は、処理時間が10秒の実施例2では13.4[nm]であった。一方、処理時間が20秒の実施例5では14.2[nm]であった。よって、処理時間が10秒でも20秒でも同様にタングステン層の上端部が細くならなかった。すなわち、一般的なエッチングの工程における処理時間よりも短い10秒でも20秒でも十分に効果が得られた。よって、スループットの観点から、必要以上に時間をかけて処理するよりも、第1のエッチング工程S2及び第2のエッチング工程S4における処理時間よりも短い時間で処理することで、生産効率を上げることができることが確認された。

【0070】

10

(酸化処理工程S3の印加電力)

酸化処理工程S3の印加電力がタングステン層Wの形状に影響するか否か検証した。実施例6は、酸化処理工程S3のみ実施例2と異なる処理条件とし、その他の条件は実施例2と同一とした。実施例6の酸化処理工程S3は、以下に示す処理条件とした。

【0071】

(実施例6の酸化処理工程S3)

処理空間Sの圧力：200mTorr(26.7Pa)

第1の高周波電源62の電力：200W

第2の高周波電源64の電力：100W

第2の処理ガスの流量

20

O<sub>2</sub>ガス：500sccm

処理時間：10秒

すなわち、実施例6では、第2の高周波電力(イオン引き込み用のバイアス)を供給した。

【0072】

実施例6の断面をSEMで観察し、タングステン層Wの形状を確認した。ここでは、被処理体Xの中央部及び端部に形成されたタングステン層Wの形状をそれぞれ確認した。測定結果を図7に示す。図7に示すように、被処理体Xの中央部におけるタングステン層Wの上端部の幅は、第2の高周波電力を供給しない実施例2では13.6[nm]であった。一方、第2の高周波電力を100Wとした実施例6では14.7[nm]であった。同様に、被処理体Xの端部におけるタングステン層Wの上端部の幅は、第2の高周波電力を供給しない実施例2では13.4[nm]であった。一方、第2の高周波電力を100Wとした実施例6では16.6[nm]であった。よって、第2の高周波電力を供給した方が、タングステン層Wの上端部が細くならなかった。ここで、SEMの反射電子像を用いて組成を詳細に分析した。その結果、第2の高周波電力を供給した実施例6においては、図8に示すように実施例2に比べてタングステン層Wの側壁11がより酸化されていることが確認された。これは、第2の高周波電力を供給することによりエッチングの異方性が高まり、処理ガスとしてのO<sub>2</sub>が、より深い位置まで到達することからタングステン層Wの側壁11に届きやすくなり、酸化が進んだためと考えられる。実施例4と同様、このようにタングステン層Wの側壁11の酸化が顕著となると、タングステン層W自体の幅が減ってしまうため、設計値通りのデバイスができないこととなり好ましくない。よって、酸化処理工程S3における第2の高周波電力を供給しないことが必要である。よって、酸化処理工程S3における第2の高周波電力を供給しないことにより、タングステン層Wの側壁11が酸化により顕著に変質することを抑制しつつ、タングステン層Wの横方向のエッチングを抑制することができることが確認された。

30

40

【符号の説明】

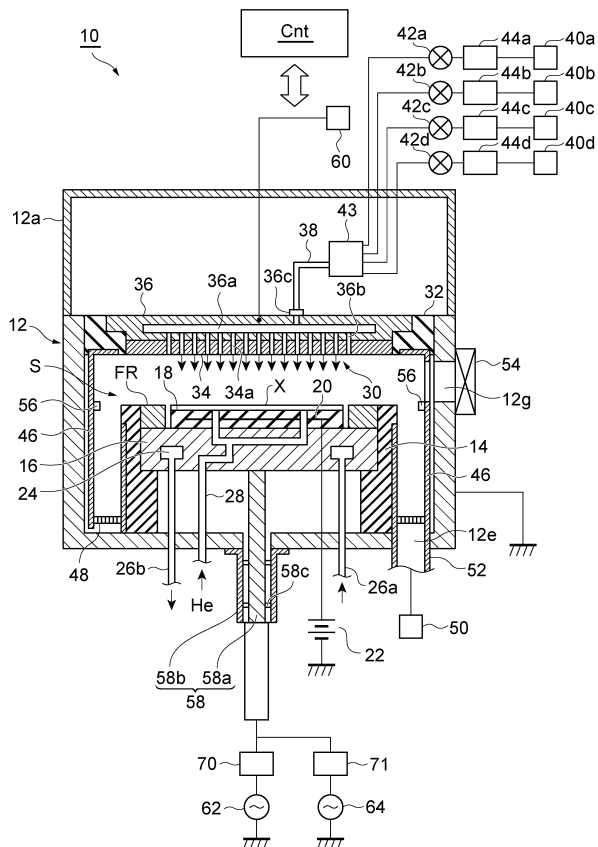
【0073】

1...マスク層、10...プラズマ処理装置、12...処理容器、16...基台(第2電極)、30...上部電極(第1電極)、34a...ガス吐出孔、36a...ガス拡散室、36b...ガス通流孔、38...ガス供給管、40a~40d...ガス源、42a~42d...バルブ、43...

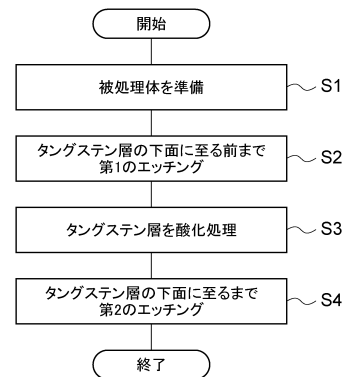
50

スプリッタ、44a～44d…MFC（ガス供給部）、62…第1の高周波電源（第1電源部）、64…第2の高周波電源（第2電源部）、S…処理空間、P…ポリシリコン層、W…タングステン層、WN…バリアメタル層、S2…第1のエッチング工程（第1の工程）、S3…酸化処理工程（第2の工程）、S4…第2のエッチング工程（第3の工程）。

【図1】



【図2】



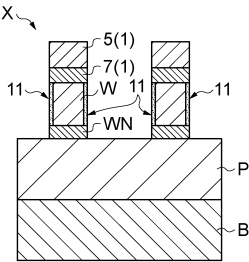




【図 7】

W Top CD [nm]	実施例2		実施例3		実施例4		実施例5		実施例6	
	Center		14.2		14.5		13.3		14.7	
	Edge		14.1		14.2		14.2		16.6	

【図 8】



---

フロントページの続き

審査官 鈴木 聡一郎

- (56)参考文献 特開平09-246245(JP,A)  
特開2005-302840(JP,A)  
特開2008-053496(JP,A)  
特開2005-109035(JP,A)  
特開平11-340213(JP,A)  
特開2007-235136(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H01L 21/302  
H01L 21/3065  
H01L 21/461