

(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.

H01L 21/3065 (2006.01)

F 1

H01L 21/302 105A

請求項の数 11 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2013-64713 (P2013-64713)  
 (22) 出願日 平成25年3月26日 (2013.3.26)  
 (65) 公開番号 特開2014-192245 (P2014-192245A)  
 (43) 公開日 平成26年10月6日 (2014.10.6)  
 審査請求日 平成27年12月2日 (2015.12.2)

(73) 特許権者 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  
 (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  
 (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Biz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形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ゲステン層を、マスク層を介してエッチングし、前記タンゲ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、前記タンゲステン層を前記タンゲステン層の上面から前記タンゲ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、前記タンゲ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、前記タンゲステン層を前記タンゲ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ゲ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ティングする請求項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。 20

**【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、タンゲステン層、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ゲステン層をエッティングして、前記タンゲ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、

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ゲステン層を前記タンゲステン層の上面から前記タンゲステン層の下面に至る前までエッティングして、該エッティングを終了する第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、前記タンゲステン層の表面を酸化処理する第2の工程と、 30

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、前記タンゲステン層を前記タンゲステン層の下面に至るまでエッティングする第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容器内の圧力が高い、

プラズマ処理方法。

**【請求項 8】**

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。 40

**【請求項 9】**

前記ポリシリコン層と前記タンゲ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ティングする請求項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】**

10

20

30

40

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形成する処理容器と、

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、

20

プラズマ処理装置。

【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<sub>2</sub>ガス、O<sub>2</sub>ガス及びNF<sub>3</sub>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】

【特許文献1】特開2003-17475号公報

40

【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ゲステン層の横方向のエッティ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ゲステン層を、マスク層を介してエッティングし、タンゲ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処理容器へ供給し、プラズマを発生させて、タンゲステン層をタンゲステン層の上面からタンゲステン層の下面に至る前までエッティングする第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、タンゲ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、タンゲステン層をタンゲステン層の下面に至るまでエッティングする第3の工程と、を含む。10

【0008】

このプラズマ処理方法によれば、タンゲステン層をタンゲステン層の上面からタンゲステン層の下面に至る前までエッティングする第1の工程と、タンゲステン層をタンゲステン層の下面に至るまでエッティングする第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ティングによって、タンゲステン層を処理する第2の工程を含むことにより、タンゲステン層の側壁にタンゲステンの酸化物が形成される。タンゲステンの酸化物は保護膜として作用するため、タンゲステン層の横方向のエッティ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ゲ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ティングしてもよい。

【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、タンゲ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、タンゲステン層の横方向のエッティ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よい。この形態によれば、タンゲ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、タンゲステン層の横方向のエッティ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<sub>2</sub>ガス又はO<sub>3</sub>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<sub>3</sub>ガス、CF<sub>4</sub>ガス又はSF<sub>6</sub>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ゲステン層を、マスク層を介してエッティングし、タンゲ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、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、プラズマを発50

生させて、タンゲステン層をタンゲステン層の上面からタンゲ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、タンゲステン層を処理し、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、タンゲステン層をタンゲ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、タンゲステン層をタンゲステン層の上面からタンゲステン層の下面に至る前までエッチングする工程と、タンゲステン層をタンゲ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、タンゲステン層を処理する工程を含むことにより、タンゲステン層の側壁にタンゲステンの酸化物が形成される。タンゲステンの酸化物は保護膜として作用するため、タンゲ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ゲ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ゲステン層の形状を比較する表である。

【図6】タンゲ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で測定されたタンゲ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においてタンゲ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を一対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が電気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、エッティ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、被エッティ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にプラズマエッティ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にエッティングの副生成物(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の底部を通って処理容器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とを電気的に絶縁している。

**【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。

#### 【 0 0 3 5 】

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、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 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

#### 【 0 0 3 6 】

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 40a ~ 40d 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 Pa の範囲内に設定する。

#### 【 0 0 3 7 】

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

#### 【 0 0 3 8 】

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 Cnt 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ゲステン層 W を、マスク層 1 を介してエッチングすることにより、タンゲステン層 W を所定のパターンにパターニングする。30

#### 【 0 0 3 9 】

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、タンゲステンナイトライド）層 WN 及びタンゲステン層 W が積層された多層膜材料である。タンゲステン層 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、タンゲステン層 W 上に、SiN 層 7、シリコン酸化層（例えば、TEOS 層）5 及び a-Si 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

#### 【 0 0 4 0 】

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、タンゲステン層 W を、タンゲステン層 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 WN が露出し始めるか、露出し始める直前までタンゲステン層 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、NF<sub>3</sub> ガス、CF<sub>4</sub> ガス又は SF<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、タンゲステン層 W のうち、マスク層 1 で覆われていない領域50

がエッティングされる。また、マスク層1の最上位層にあるa-Si層3がエッティングされる。第1のエッティング工程S2においては、タンゲステン層Wの下面に至る前にエッティングが終了する。このため、第1のエッティング工程S2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のエッティング工程S2においてマスク層1がエッティングされる領域は、a-Si層3の一部であってもよく、a-Si層3の下面まで至ってもよい。また、後述する第2のエッティング工程S4においてエッティングに用いるためのマスク層1が確保できる限り、a-Si層3の下に配置されたTEOS層5及びSiN層7に至ってエッティングされてもよい。

#### 【0041】

ここで、第1のエッティング工程S2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。 10

##### (第1のエッティング工程S2)

処理空間Sの圧力：5mT rr (0.667Pa)

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1の処理ガスの流量

NF<sub>3</sub>ガス：20～30sccm

Arガス：80～100sccm

O<sub>2</sub>ガス：30～50sccm

処理時間：60秒

#### 【0042】

一実施形態のプラズマ処理方法では、続く酸化処理工程S3(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12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、タンゲステン層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S3において、酸素含有ガスを含む第2の処理ガスにより、タンゲステン層Wの側壁が酸化処理される。酸化処理工程S3においては、被処理体Xはエッティングされていない。このため、酸化処理工程S3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、タンゲステン層Wの側壁11に酸化物が形成されている。このタンゲステン層Wの側壁11において形成された酸化物の詳細については後述する。 30

#### 【0043】

ここで、酸化処理工程S3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。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S3では、第2の高周波電源64から電力が供給されていない。

##### (酸化処理工程S3)

処理空間Sの圧力：200mT rr (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：0W

第2の処理ガスの流量

O<sub>2</sub>ガス：500sccm

処理時間：10秒

#### 【0044】

一実施形態のプラズマ処理方法では、続く第2のエッティング工程S4(第3工程：オーバーエッティング)において、ガス供給部から処理容器12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、タンゲステン層Wを、タンゲステン層Wの下面に至るまでエッティングする。この際に用いられる第3の処理ガスは、例えば、NF<sub>3</sub>ガス、CF<sub>4</sub>ガス又はSF<sub>6</sub>ガス等である。一実施形態においては、タンゲステン層Wの下面に至るまでエッティングされると共に、タンゲステン層Wの下に位置するバリアメタル層WNが更にエッティングされる。第2のエッティング工程S4において、フッ素含有ガスを含 50

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。

#### 【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：10mTrr(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。

#### 【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。

#### 【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らない。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することにより、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ます。

10

20

30

40

50

**【0049】**

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、タンゲステン層Wをタンゲステン層Wの上面からタンゲステン層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S2と、タンゲステン層Wをタンゲステン層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S4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、タンゲステン層Wを処理する酸化処理工程S3を含むことにより、タンゲステン層Wの側壁11にタンゲステンの酸化物が形成される。タンゲステンの酸化物は保護膜として作用するため、タンゲステン層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、タンゲステン層Wの上端部における幅が細くならないようになることが可能となる。

10

**【0050】**

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S3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、タンゲステン層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、タンゲステン層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S3において第2の高周波電力を供給しないことにより、タンゲステン層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。

20

**【0051】**

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S3では、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、タンゲステン層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、タンゲステン層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S3において第1のエッチング工程S2及び第2のエッチング工程S4よりも処理空間Sの圧力を高くすることにより、タンゲステン層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。

**【0052】**

30

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S3では、第1のエッティング工程S2及び第2のエッティング工程S4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S3において第1のエッティング工程S2及び第2のエッティング工程S4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。

**【0053】**

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。

**【0054】**

40

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。

**【0055】****[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。

**【0056】****(酸化処理工程S3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に示すエッティングの工程

50

によりプラズマ処理を行った。実施例1の工程S2～S4は、以下に示す処理条件とした。

### 【0057】

(実施例1の第1のエッティング工程S2)

処理空間Sの圧力：5mT rr (0.667Pa)

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1の処理ガスの流量

NF<sub>3</sub>ガス：20～30sccm

Arガス：80～100sccm

O<sub>2</sub>ガス：30～50sccm

処理時間：60秒

(実施例1の酸化処理工程S3)

処理空間Sの圧力：200mT rr (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：0W

第2の処理ガスの流量

O<sub>2</sub>ガス：500sccm

処理時間：10秒

(実施例1の第2のエッティング工程S4)

処理空間Sの圧力：10mT rr (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

### 【0058】

比較例1では、図2に示すエッティングの工程のうち、酸化処理工程S3を行わなかった。すなわち、比較例1では、第1のエッティング工程S2の後、酸化処理工程S3を経ずに第2のエッティング工程S4に進む工程によりプラズマ処理を行った。

### 【0059】

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(SEM)で観察し、タンゲステン層Wの形状を確認した。ここでは、被処理体Xの中央部(Center)及び端部(Edge)に形成されたタンゲステン層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ゲステン層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のエッティング工程S2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、タンゲステン層Wの形状に関する指標として、タンゲステン層Wの上端部の幅(Top CD)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。

### 【0060】

図6は、タンゲステン層Wの形状に関する指標を説明する図である。図6はタンゲステン層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、タンゲステン層Wの上端部の幅(Top CD)は、タンゲステン層WのSiN層7と接する側の端部における横方向の幅である。

### 【0061】

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ゲステン層Wの形状について説明する。以下、タンゲステン層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ゲステン層Wの上端部の幅を比較対象とした。なお、タンゲステン層Wの下端部は丸みを帯びているため、その値には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ゲステン層Wの上端部の幅は、第1のエッチング工程S2を行った後は16.4 [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 [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S2後と比較して、タンゲステン層Wの上端部の幅が2.4 [nm]小さくなつた。一方、実施例1におけるプラズマ処理後は、タンゲステン層Wの幅が16.1 [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S2後と比較して、タンゲステン層Wの上端部の幅が0.3 [nm]小さくなつた。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ゲステン層Wの上端部の幅が細くならなかつた。

#### 【0062】

同様にして、被処理体Xの端部におけるタンゲステン層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ゲステン層Wの上端部の幅は、第1のエッチング工程S2を行った後は16.8 [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 [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S2後と比較して、タンゲステン層Wの上端部の幅が2.4 [nm]小さくなつた。一方、実施例1におけるプラズマ処理後は、タンゲステン層Wの幅が16.3 [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S2後と比較して、タンゲステン層Wの上端部の幅が0.5 [nm]小さくなつた。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ゲステン層Wの上端部の幅が細くならなかつた。

#### 【0063】

以上、メインエッチング工程（第1のエッチング工程S2）とオーバーエッチング工程（第2のエッチング工程S4）との間に、アッシング工程（酸化処理工程S3）を行うことで、タンゲステン層Wの上端部の幅の減少を抑制することができる事が確認された。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、タンゲステン層Wの形成位置に依存することなく奏ずることが確認された。

#### 【0064】

（酸化処理工程S3の処理条件の最適化）

30

（酸化処理工程S3の圧力）

酸化処理工程S3の圧力がタンゲステン層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3及び実施例4の酸化処理工程S3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S3）

処理空間Sの圧力：20mT rr (2.67Pa)

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：0W

40

第2の処理ガスの流量

O<sub>2</sub>ガス：500sccm

処理時間：10秒

（実施例4の酸化処理工程S3）

処理空間Sの圧力：10mT rr (1.33Pa)

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：0W

第2の処理ガスの流量

O<sub>2</sub>ガス：500sccm

処理時間：10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 SEM で観察し、タンゲステン層 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ゲステン層 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 で測定されたタンゲ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ゲステン層 W の上端部の幅は、処理空間 S の圧力が 200 mTorr の実施例 2 では 13.6 [nm] であった。一方、処理空間 S の圧力が 20 mTorr の実施例 3 では 14.2 [nm]、処理空間 S の圧力が 10 mTorr の実施例 4 では 14.5 [nm] であった。同様にして、被処理体 X の端部におけるタンゲステン層 W の上端部の幅は、処理空間 S の圧力が 200 mTorr の実施例 2 では 13.4 [nm] であった。一方、処理空間 S の圧力が 20 mTorr の実施例 3 では 14.1 [nm]、処理空間 S の圧力が 10 mTorr の実施例 4 では 14.2 [nm] であった。よって、処理空間 S の圧力を低くした方が、タンゲステン層 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 においてタンゲ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 10 mTorr とした実施例 4 においては、実施例 2, 3 に比べてタンゲステン層 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、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<sub>2</sub> が、より深い位置まで到達することからタンゲステン層 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。このようにタンゲステン層 W の側壁 11 の酸化が顕著となると、タンゲステン層 W 自体の幅が減ってしまうため、設計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 10 mTorr 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 10 mTorr 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 mTorr 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 10 mTorr 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、タンゲステン層 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、タンゲステン層 W の横方向のエッチングを抑制することができる事が確認された。  
10  
20  
30  
30

#### 【 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 の処理時間がタンゲステン層 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 : 200 mTorr ( 26.7 Pa )

40

第 1 の高周波電源 62 の電力 : 200 W

第 2 の高周波電源 64 の電力 : 0 W

第 2 の処理ガスの流量

O<sub>2</sub> ガス : 500 sccm

処理時間 : 20 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 SEM で観察し、タンゲステン層 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ゲステン層 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ゲステン層 W

50

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ゲステン層 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 秒でも同様にタンゲステン層の上端部が細くならなかった。すなわち、一般的なエッティ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 のエッティング工程 S 2 及び第 2 のエッティング工程 S 4 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 S 3 の印加電力 )

酸化処理工程 S 3 の印加電力がタンゲステン層 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 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 6 の酸化処理工程 S 3 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 S 3 )

処理空間 S の圧力 : 200 mT r r ( 26.7 Pa )

第 1 の高周波電源 62 の電力 : 200 W

第 2 の高周波電源 64 の電力 : 100 W

第 2 の処理ガスの流量

20

O<sub>2</sub> ガス : 500 sccm

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、タンゲステン層 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ゲステン層 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ゲステン層 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 100 W 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ゲステン層 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 100 W 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、タンゲステン層 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 に比べてタンゲステン層 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ティ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ゲステン層 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、このようにタンゲステン層 W の側壁 11 の酸化が顕著となると、タンゲステン層 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 における第 2 の高周波電力を供給しないことにより、タンゲステン層 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、タンゲステン層 W の横方向のエッティングを抑制することができることが確認された。

30

## 【 符号の説明 】

## 【 0073 】

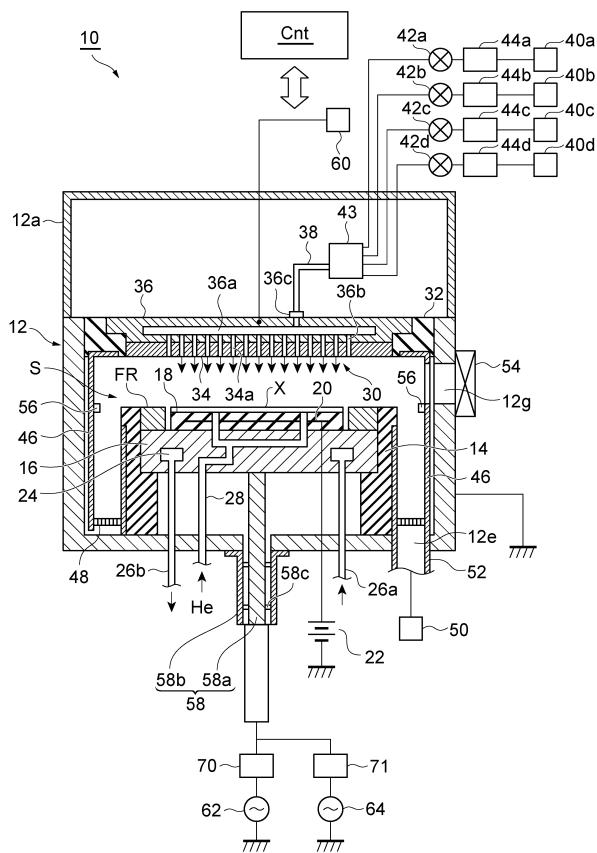
40

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 ...

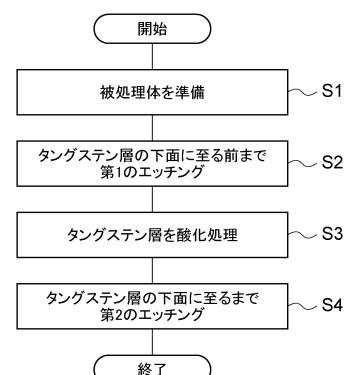
50

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…タンゲステン層、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)。

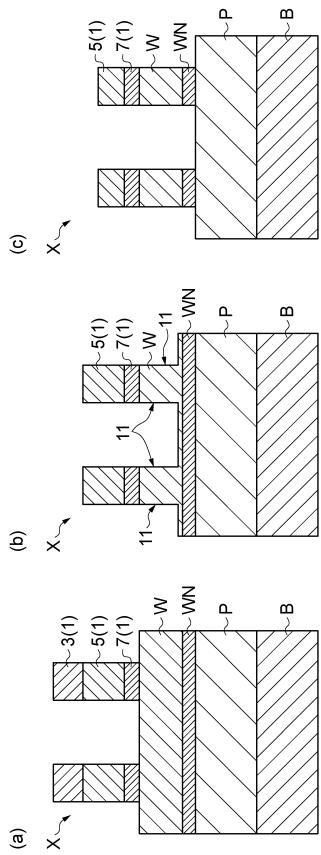
【図1】



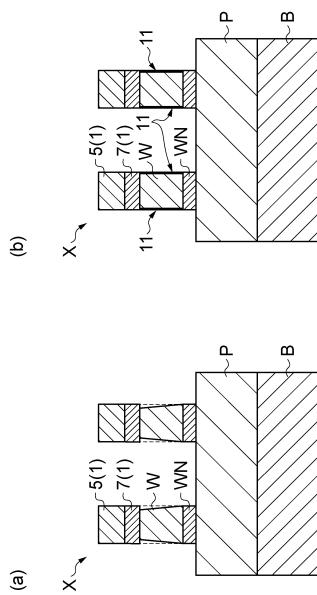
【図2】



【図3】



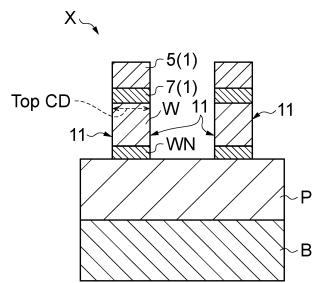
【図4】



【図5】

W Top CD [nm]	第1のエッチング		第2のエッチング(Ash無し)		第2のエッチング(Ash有り)	
	Center	Edge	Center	Edge	Center	Edge
14.0	16.4	14.4	16.1	16.3		

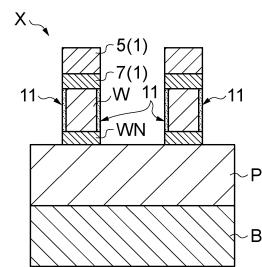
【図6】



【図7】

	実施例2	実施例3	実施例4	実施例5	実施例6
W Top CD [mm]	Center 13.6	14.2	14.5	13.3	14.7
Edge	13.4	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 聰一郎

- (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